

建筑设计

Architectural Design
and Application

与应用



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

(517 666 0904)

263 S KENWOOD ST 560

CASPER, WY 82601

Copyright © 2026 by ART AND TECHNOLOGY PRESS INC. (United States)

Complimentary Copy



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.
(United States)

Editors-in-Chief

Gang Li

Shaanxi Construction Engineering Eleventh Construction Group Co. LTD.

Yangyang Li

Shaanxi Construction Engineering No. 9 Construction Group Co. LTD.

Associate Editor

Aolie Zhang

CCCC Wuhan Harbour Engineering Design & Research Institute Co. LTD.

Editorial Board Member

Yuqun Ma

Ningbo Architectural Design & Research Institute China

Rundong Qian

Ningbo Architectural Design & Research Institute Co., LTD.

Jue Shen

Shaanxi Construction Engineering Eighth Construction Group Co. LTD.

Jian Shi

Jiangsu Mingcheng Architectural Design Institute Co. LTD.

Hassan Baji

School of Engineering and Technology

Lam Bui

School of Engineering and Technology Centre for Intelligent Systems,
Institute for Future Farming Systems

Dan Shen

Zhejiang Changzheng Vocational & Technical College



建筑设计与应用

Architectural Design and Application

第4卷 第1期 2026年6月刊

主管 ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

主办 ART AND TECHNOLOGY PRESS INC

编辑 《建筑设计与应用》编辑部

ISSN(O): 2992-9857

ISSN(P): 2995-3219

地址: 263 S KENWOOD ST 560

CASPER,WY 82601

网址: <https://arttechpress.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。

城市设计 | URBAN DESIGN

- | | | |
|-----|---|--|
| 001 | 交通工程路基路面压实施工技术研究
Research on Compaction Technology of Subgrade and Pavement in Traffic Engineering | 楼文辉
Lou Wenhui |
| 003 | 中国山水画的意境与当代室内空间设计创新研究
Research on the Artistic Conception of Chinese Landscape Paintings and the Innovation of Contemporary Interior Space Design | 王丽
Wang Li |
| 007 | 气候变化背景下城市基础设施的安全韧性建构与文化意蕴
The Construction of Safety Resilience and Cultural Implications of Urban Infrastructure in the Context of Climate Change | 程洪伟, 颜钦涵
Cheng Hongwei, Yan Yihan |
| 011 | 海外(埃及)项目室内深化设计流程及管控要点
Process and Control Key Points for Indoor Detailed Design of Overseas (Egypt) Projects | 张学彬, 张世博, 鲁文斌, 李鹏, 韩智秋
Zhang Xuebin, Zhang Shibao, Lu Wenbin, Li Peng, Han Zhiqiu |
| 014 | 海绵城市理念下市政雨水调蓄系统设计与应用实践
Design and Application Practice of Municipal Stormwater Storage Systems under the Sponge City Concept | 李绍轩
Li Shaoxuan |
| 017 | 基于岭南地域特征的商业综合体绿色设计策略研究——以佛山地区实践为例
Research on Green Design Strategies for Commercial Complexes Based on Lingnan Regional Characteristics — A Case Study of Practices in Foshan | 陈美莹
Chen Meiyang |
| 020 | 室内设计中空间布局优化研究
Research on the Optimization of Spatial Layout in Interior Design | 徐伊阳
Xu Yiyang |
| 023 | 湘南地区明清村落壁画中的艺术本体与文化认同关系
The Relationship Between Artistic Ontology and Cultural Identity in the Murals of Ming and Qing Dynasties Villages in the Xiangnan Region | 谭媛元
Tan Yuanyuan |
| 026 | 分析室外景观照明电气系统设计常见问题
Analysis of Common Issues in the Design of Electrical Systems for Outdoor Landscape Lighting | 谭婷婷
Tan Tingting |
| 029 | 全周期视角下景观设计项目全过程管理与风险控制研究
A Study on Full-Process Management and Risk Control of Landscape Design Projects from a Full-Cycle Perspective | 欧阳雪冰
Ouyang Xuebing |
| 032 | 水资源高效利用导向下节水水利工程设计策略研究
Research on Design Strategies of Water-saving Hydraulic Engineering under the Guidance of Water Resources Efficient Utilization | 巩明
Gong Ming |
| 035 | 关于市政路桥设计中的安全性及耐久性问题的系统解析
Systematic Analysis of Safety and Durability Issues in Municipal Road and Bridge Design | 徐小涵
Xu Xiaohan |

建筑设计 | ARCHITECTURAL DESIGN

038	新型建筑材料在建筑设计中的应用与前景分析 Analysis on the Application and Prospects of New Building Materials in Architectural Design	刘敏 Liu Min
041	系统性防患原则下的石油化工仓库建筑设计 Architectural Design of Petrochemical Warehouse under the Principle of Systematic Prevention	何茹艺 He Ruyi
044	化工厂房楼面活荷载中外规范对比研究 Comparative Study on Live Loads of Floor in Chemical Plant Buildings between Chinese and Foreign Codes	廖水泉 Liao Shuiquan
047	复杂地质条件下深基坑支护施工技术与风险防控研究 Research on Construction Technology and Risk Prevention of Deep Foundation Pit Support under Complex Geological Conditions	吴世伟 Wu Shiwei
050	装饰装修工程适老化改造设计与施工关键技术研究 Research on Key Technologies for Design and Construction of Aging-Friendly Renovation in Decoration and Renovation Projects	黄灿 Huang Can
053	月球旅游空间站建筑：技术架构与实现路径探析 Lunar Tourism Space Station Architecture: An Exploration of Technical Frameworks and Implementation Pathways	卢松, 卢玖睿 Lu Song, Lu Jiurui
057	高职智能建造专业课程体系构建与教学模式创新研究——基于建筑工业化转型背景 Research on the Construction of the Curriculum System and Teaching Model Innovation for the Intelligent Construction Major in Higher Vocational Education —Based on the Background of Building Industrialization Transformation	赵圆凯, 杨硕, 陈才, 鞠蓉, 王子 Zhao Yuankai, Yang Shuo, Chen Cai, Ju Rong, Wang Zi
061	精致钢框架式玻璃幕墙系统在大型场馆幕墙工程中的应用 Application of Exquisite Steel-Frame Glass Curtain Wall System in Curtain Wall Projects of Large Venues	万忠民 Wan Zhongmin
065	复杂荷载作用下建筑结构设计优化研究 Research on Design Optimization of Building Structures under Complex Loads	年跟步 Nian Genbu
068	探析校园规划及学校建筑设计 Exploration and Analysis of Campus Planning and School Building Design	杨坚 Yang Jian
071	被动式超低能耗建筑设计分析 Analysis of Passive Ultra-Low Energy Consumption Building Design	李兆明 Li Zhaoming
074	大型购物中心建筑方案设计阶段消防设计要点探析 Exploration of Key Points in Fire Protection Design during the Architectural Scheme Design Phase of Large Shopping Centers	莫炳森 Mo Bingsen
077	绿色建筑设计的可持续发展探索 Exploration of Sustainable Development in Green Building Design	郑璐超 Zheng Luchao
080	智慧医院背景下医疗建筑设计创新研究 Research on Medical Building Design Innovation under the Background of Smart Hospitals	易清清 Yi Qingqing
083	绿色环保设计在建筑室内装饰设计中的分析 Analysis of Green Environmental Protection Design in Architectural Interior Decoration Design	杨祥勋 Yang Xiangxun
086	共享经济背景下共享住宅的设计和运营模式研究 Research on the Design and Operational Model of Shared Housing in the Context of the Sharing Economy	赵浩君 Zhao Haojun
089	分析公共建筑给排水的问题与措施 Analysis of Problems and Measures in Water Supply and Drainage Systems of Public Buildings	黄晓帆 Huang Xiaofan
092	建筑防火设计在民用建筑设计中的应用实践 Application Practice of Fire Protection Design in Civil Building Design	廖国渭 Liao Guowei
095	绿色建筑设计理念在高层民用建筑设计中的应用探讨 Exploration on the Application of Green Building Design Concept in High-rise Civil Building Design	牛超 Niu Chao
098	住宅建筑工程地下室防水技术管控措施研究 Research on Control Measures for Basement Waterproofing Technology in Residential Construction Projects	李治奇, 高松召, 王海彬, 李果绵, 李子铮 Li Zhiqi, Gao Songzhao, Wang Haibin, Li Guomian, Li Zizheng
101	分析住宅建筑设计中的绿色建筑应用 Analysis of the Application of Green Building Design in Residential Building Design	杨洁耀 Yang Jieyao
104	建筑工程管理的关键影响因素及其系统化管理策略 Key Influencing Factors in Construction Project Management and Systematic Control Strategies	周利涛 Zhou Litao
107	建筑工程中无机非金属材料水泥与混凝土的检测 Testing of Inorganic Non-metallic Materials Cement and Concrete in Construction Engineering	王春阳 Wang Chunyang
110	既有建筑适应性改造中的功能更新与空间优化策略研究 Research on Function Renewal and Space Optimization Strategies in Adaptive Renovation of Existing Buildings	陆严, 梁朝 Lu Yan, Liang Chao
114	房地产工程项目质量管理关键技术研究与应用 Research and Application of Key Technologies for Quality Management of Real Estate Engineering Projects	丁广钊 Ding Guangzhao
117	低碳目标导向下建筑设计新技术与节能策略实践研究 Research on New Technologies and Energy saving Strategies in Building Design Guided by Low Carbon Goals	张敏玲 Zhang Mingling

121	建筑工程监理全过程质量控制与技术管理实践研究 Research on Quality Control and Technical Management Practice in the Whole Process of Construction Engineering Supervision	梁旭辉 Liang Xuhui
125	建筑工程造价风险识别与动态管控策略研究——基于全生命周期视角 Research on Risk Identification and Dynamic Control Strategies of Construction Project Cost — Based on the Perspective of the Entire Life Cycle	林日汉 Lin Rihan
129	建筑工程施工全过程风险管理与控制策略探析 Analysis of Risk Management and Control Strategies for the Entire Process of Construction Project Construction	蔡峰 Cai Feng
133	既有建筑可靠性与抗震鉴定关键技术及综合评估方法研究 Research on Key Technologies and Comprehensive Evaluation Methods for Reliability and Seismic Identification of Existing Buildings	李铭强 Li Mingqiang
137	绿色智能建造背景下 BIM 深化设计效率与质量提升研究 Research on BIM Deepening Design Efficiency and Quality Improvement under the Background of Green Intelligent Construction	林桂花 Lin Guihua
141	数字化设计驱动下的机场类建筑全生命周期管理研究 Research on the Life-Cycle Management of Airport-Type Buildings Driven by Digital Design	陈映帆 Chen Yingfan
145	建筑施工全过程风险识别与控制管理研究 Research on Risk Identification and Control Management throughout the Construction Process	贺丽君 He Lijun
149	房地产建筑工程项目全过程技术管理与质量控制研究 Research on the Whole Process Technical Management and Quality Control of Real Estate Construction Projects	郑利锦 Zheng Lijin
153	技术管理创新驱动建筑工程风险管理效能提升的路径探析 Analysis of the Path of Enhancing Risk Management Efficiency in Construction Projects through Technological Management Innovation	王文霞 Wang Wenxia
157	基于多源检测数据的既有房屋建筑安全评估方法及实践 Existing Building Construction Safety Assessment Method and Practice Based on Multi-source Detection Data	陈锐基 Chen Ruiji
160	工程咨询与监理融合驱动下建筑工程管理的效能提升路径探究 Research on the Efficiency Improvement Path of Construction Engineering Management Driven By the Integration of Engineering Consulting and Supervision	徐博 Xu Bo
164	低碳目标下建筑给排水设计中的节能减排策略与实践分析 Analysis of Energy Conservation and Emission Reduction Strategies and Practices in Building Water Supply and Drainage Design under Low-Carbon Goals	揭敏光 Jie Minguang
167	建筑工程施工中混凝土质量检测与控制研究 Research on Concrete Quality Inspection and Control in Construction Projects	姜维 Jiang Wei
170	智能化与绿色化融合视角下的建筑设计创新路径研究 Research on the Innovation Path of Architectural Design from the Perspective of Intelligent and Green Integration	张敏玲 Zhang Mingling
174	建筑工程施工现场环境保护与绿色施工措施 Environmental Protection Measures and Green Construction Practices at Construction Site Sites	王静 Wang Jing
177	建筑工程监理在施工技术管理中的作用与优化路径探析 Analysis of the Role and Optimization Path of Construction Engineering Supervision in Construction Technology Management	梁旭辉 Liang Xuhui
181	建筑工程施工成本控制方法与实践分析 Methods and Practical Analysis of Construction Cost Control in Building Projects	王巨臣 Wang Juchen
184	双柱式花瓶墩施工技术控制要点探析 Exploration of Key Technical Control Points in the Construction of Double-Column Vase-Shaped Piers	肖融和, 邹赛军 Xiao Ronghe, Zou Saijun
188	道路桥梁悬臂浇筑线形控制技术应用 Application of Linear Control Technology in Cantilever Casting of Road and Bridge	张东升 Zhang Dongsheng
191	房屋检测鉴定报告在结构加固设计中的技术应用与质量控制研究 Research on the Technical Application and Quality Control of Building Inspection and Appraisal Reports in Structural Reinforcement Design	陈凯杰 Chen Kaijie
195	房建工程桩基础施工技术优化与安全风险管理体系构建研究 Research on Optimization of Pile Foundation Construction Technology for Housing Construction Projects and Construction of Safety Risk Management System	刘明瓚 Liu Mingzan
198	建筑工程技术管理与工程风险管理协同策略研究 Research on the Collaborative Strategy of Construction Engineering Technology Management and Engineering Risk Management	谭桂芳 Tan Guifang
201	分析建筑室内设计中色彩元素的创新运用 Analysis of the Innovative Application of Color Elements in Architectural Interior Design	曾沐川 Zeng Muchuan
204	沥青路面摊铺与碾压施工关键技术优化 Optimization of Key Technologies in Asphalt Pavement Paving and Rolling Construction	朱风龙 Zhu Fenglong
207	建筑给排水设计中节能减排设计要点分析 Analysis of Key Points in Energy Conservation and Emission Reduction Design for Building Water Supply and Drainage Systems	张爱莲 Zhang Ailian

理论与实践 | THEORY AND PRACTICE

210	小方坯连铸二冷区冷却制度优化及应用研究 Research on the Optimization and Application of the Secondary Cooling System in Billet Continuous Casting	刘海清 Liu Haiqing
-----	---	---------------------------

213	数字化背景下房地产工程造价风险管理创新模式研究 Research on Innovative Risk Management Model for Real Estate Project Cost in the Digital Era	尹龙 Yin Long
217	市政道路桥梁工程施工项目管理优化与风险防控策略探析 Analysis of Optimization Strategies for Municipal Road and Bridge Construction Project Management and Risk Control Measures	黄剑峰 Huang Jianfeng
221	市政工程项目全过程技术管理与质量控制研究 Research on the Whole Process Technical Management and Quality Control of Municipal Engineering Projects	黄远平 Huang Yuanping
225	市政工程现场技术管控难点及优化措施探讨 Discussion on the Difficulties and Optimization Measures of On-site Technical Control in Municipal Engineering	吴天缘 Wu Tianyuan
229	新技术驱动下房地产工程施工技术管理的创新模式与实践路径 Innovative Models and Practical Paths of Construction Technology Management in Real Estate Engineering Driven by New Technologies	黄立德 Huang Lide
233	矿山排水对区域水文地质环境的影响 The Impact of Mine Drainage on Regional Hydrogeological Environment	李永宽, 卢涵, 熊志平 Li Yongkuan, Lu Han, Xiong Zhiping
236	公路施工与安全管理统筹的协同机制与实施路径研究 Research on the Collaborative Mechanism and Implementation Path for the Coordination of Highway Construction and Safety Management	阮君 Ruan Jun
239	钨锡矿化花岗岩地球化学分异规律 Geochemical Differentiation Pattern of Tungsten-Tin Mineralized Granite	徐鹏, 鲁新丽, 张克亮 Xu Peng, Lu Xinli, Zhang Keliang
242	寒冷山区高速公路改扩建的关键技术与实践路径探究 Exploration of Key Technologies and Practical Approaches for the Reconstruction of Highways in Cold Mountainous Areas	赵康先 Zhao Kangxian
245	房地产工程技术管理与风险管理的协同机制及实践路径研究 Research on the Collaborative Mechanism and Practice Path of Real Estate Engineering Technology Management and Risk Management	段成荫 Duan Chengyin

交通工程路基路面压实施工技术研究

楼文辉

金华市交通投资集团有限公司, 浙江 金华 321000

DOI:10.61369/ADA.2026010002

摘 要 : 路基路面作为交通工程的重要组成部分, 其压实质量对于道路的性能和使用寿命起着决定性作用。压实度不足会导致路基路面出现沉降、裂缝、坑洼等病害, 不仅影响行车的舒适性和安全性, 还会增加道路的维护成本。因此, 研究交通工程路基路面压实施工技术, 提高压实质量, 具有重要的现实意义。本文通过对交通工程路基路面压实施工技术进行深入研究。

关 键 词 : 交通工程; 路基路面; 压实施工技术

Research on Compaction Technology of Subgrade and Pavement in Traffic Engineering

Lou Wenhui

Jinhua Transportation Investment Group Co., LTD., Jinhua, Zhejiang 321000

Abstract : As an important component of traffic engineering, the compaction quality of subgrade and pavement plays a decisive role in the performance and service life of roads. Insufficient compaction can lead to settlement, cracks, potholes and other diseases on the roadbed and pavement, which not only affects the comfort and safety of driving, but also increases the maintenance cost of the road. Therefore, it is of great practical significance to study the compaction technology of subgrade and pavement in transportation engineering and improve the compaction quality. This article conducts an in-depth study on the compaction technology of subgrade and pavement in traffic engineering.

Keywords : traffic engineering; subgrade and pavement; compaction construction technology

一、路基路面压实施工技术应用的意义

(一) 保障道路强度与稳定性

道路在长期使用过程中, 要承受各种车辆的反复碾压和不同自然环境因素的侵蚀。路基路面的压实质量直接关系到道路的强度和稳定性。经过良好压实的路基路面, 其内部颗粒之间的空隙被有效减小, 材料之间的摩擦力和粘结力得到增强。

(二) 提高道路平整度

道路平整度是衡量道路使用性能的重要指标之一。良好的平整度能够减少车辆行驶过程中的颠簸和振动, 提高行车的舒适性和安全性。路基路面的压实质量可以确保路面的均匀性和平整度, 可以有效减少路面的波浪、凹凸、裂缝等问题, 提高路面的平整度和舒适性, 确保车辆行驶的安全性和稳定性。

二、交通工程路基路面压实施工技术的应用

(一) 路基路面含水量控制

(1) 含水量对压实效果的影响机理

含水量是影响路基路面压实效果的最关键因素之一。当含水量过低时, 颗粒间摩擦阻力大, 难以达到理想的密实状态; 当含水量过高时, 孔隙水压力会抵消部分压实功, 同样影响压实效果。只有在最佳含水量附近, 才能获得最大干密度和最佳压实效

果。通过室内击实试验可以确定材料的最佳含水量和最大干密度。试验结果表明, 细粒土的最佳含水量一般在8%~15%之间, 而粗粒土则在4%~8%之间。实际施工中, 应将含水量控制在最佳含水量的 $\pm 2\%$ 范围内, 以获得理想的压实效果。

(2) 含水量控制技术

现场含水量控制需要采取综合措施。首先, 在材料进场前应进行含水量检测, 不符合要求的材料应进行晾晒或洒水处理。其次, 在摊铺过程中, 应采用分段摊铺、及时碾压的施工方法, 减少水分蒸发或吸收。第三, 配备快速含水量检测设备, 如核子密度仪或时域反射仪, 实现含水量的实时监测。在某高速公路施工中, 通过建立 "材料检测 - 预处理 - 过程控制" 的含水量控制体系, 将压实度从92%提高到96%, 显著提升了路基质量。特别是在雨季施工时, 采用防雨布覆盖和分段施工的方法, 有效控制了含水量波动。

(二) 路基路面碾压施工

(1) 初压工艺

初压是碾压施工的第一阶段, 主要目的是稳定材料, 为后续碾压创造条件。初压应采用静压方式, 使用10~12吨的双钢轮压路机, 碾压速度控制在2~3km/h。碾压遍数一般为2~3遍, 相邻碾压带应重叠1/3轮宽。初压过程中要特别注意碾压路线的规划, 应从路基边缘向中心碾压, 弯道处应从内侧向外侧碾压。对于高填方路段, 应采用 "先轻后重" 的原则, 先使用较轻的压路机进行初压, 待有一定强度后再使用重型压路机。

（2）复压工艺

复压是压实的主要阶段，目的是达到设计要求的密实度。复压应采用振动压路机，振动频率控制在30–50Hz，振幅为0.4–0.8mm。碾压速度可适当提高至3–5km/h，碾压遍数通常为4–6遍。复压过程中要特别注意振动参数的调整。对于粘性土，应采用高频率、小振幅；对于砂性土，则可采用低频率、大振幅。在某市政道路工程中，通过优化振动参数，使压实度提高了3%，同时减少了2遍碾压遍数，提高了施工效率。

（三）终压工艺

终压是碾压施工的最后阶段，目的是消除轮迹，形成平整的表面。终压应采用静压方式，使用10–12吨的双钢轮压路机，碾压速度控制在3–4km/h，碾压遍数为1–2遍。终压过程中要特别注意表面平整度的控制。对于出现的局部凹陷或隆起，应及时补压或刮平。在终压完成后，应立即进行压实度检测，不合格区域应及时补压。某机场跑道工程中，通过严格的终压控制，使表面平整度达到了3mm/3m的高标准。

（四）路基路面排水施工

（1）挖掘沟槽施工

沟槽开挖是排水系统施工的第一步。应根据设计要求准确定位，采用机械开挖与人工修整相结合的方式。开挖过程中要严格控制槽底高程和坡度，允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。对于土质沟槽，边坡坡度一般为1:1–1:1.5；对于石质沟槽，可适当陡峭。沟槽开挖后应及时进行验槽，检查断面尺寸、基底承载力等指标。在软弱地基段，应采取适当的基底处理措施，如换填、夯实等。某高速公路排水工程中，通过采用激光导向控制开挖精度，使沟槽施工一次合格率达到98%以上。

（2）沟槽铸造施工

沟槽铸造主要包括垫层施工和管材安装。垫层应采用级配良好的砂砾料，厚度一般为10–15cm，分层夯实。管材安装要严格控制高程和坡度，采用水准仪全程监控。管节连接应严密，接口处理应符合设计要求。在混凝土沟槽施工中，要特别注意模板安装质量和混凝土浇筑工艺。模板应牢固、不漏浆，混凝土应分层浇筑，充分振捣。某城市道路改造工程中，通过优化混凝土配合比和养护工艺，使排水沟槽的抗压强度提高了15%。

（3）地下排水与表层排水

地下排水系统主要包括渗沟、盲沟等，施工关键是保证排水通畅。渗沟应采用透水性好的材料，如碎石、砂砾等，外包土工布防止淤堵。盲沟的坡度一般不小于0.5%，并应设置检查井。表层排水主要通过路面横坡和排水口实现。路面横坡一般为1.5%–2%，排水口间距应根据计算确定，通常为20–30m。排水口与地下管网的连接应顺畅，防止积水。在某一级公路施工中，通过优化排水系统设计，使路面积水时间缩短了70%，显著提高了行车安全性。

（五）施工质量控制与验收

（1）压实质量检测

压实质量检测是施工控制的重要环节。常用的检测方法包括环刀法、核子密度仪法和PFWD（便携式落锤弯沉仪）法等。检测频率应符合规范要求，一般每1000 m^2 检测不少于3点，对薄弱部位应增加检测点。检测指标主要包括压实度和弯沉值。路基压实度应 $\geq 93\%$ （重型击实标准），路面基层应 $\geq 97\%$ ，沥青面层应 $\geq 95\%$ 。弯沉值应符合设计要求，一般路基顶面回弹弯沉值不大于设计值的110%。

（2）排水系统验收

排水系统验收应包括外观检查、尺寸测量和通水试验。外观检查主要观察沟槽是否平顺、接口是否严密；尺寸测量包括沟槽断面尺寸、坡度、高程等；通水试验应检查排水是否通畅，有无积水、渗漏等现象。验收标准应严格执行设计要求。沟槽断面尺寸允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ ，坡度偏差不得超过设计值的 $\pm 0.1\%$ ，24小时渗水量不超过 $1\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。对不合格的部位，应责令返工，直至符合要求。

三、工程案例

（一）高速公路路基压实案例

某高速公路K25+000–K30+000段为高填方路基，填筑高度8–12m。施工中采用了严格的含水量控制措施和优化的碾压工艺。具体做法包括：填料含水量控制在最佳含水量的 $\pm 1\%$ 范围内；采用20吨振动压路机进行复压，振动频率40Hz，振幅0.6mm；每层压实厚度严格控制在30cm。施工后检测表明，路基平均压实度达到96%，弯沉值小于设计要求的0.8mm，完全满足质量要求。通车3年后观测，该路段未出现明显沉降，使用状况良好。

（二）城市道路排水系统案例

某城市主干道改造工程中，针对原有排水不畅的问题，重新设计了排水系统。主要改进包括：增加纵向排水沟，坡度调整为0.6%；缩小排水口间距至15m；地下管网采用直径更大的HDPE双壁波纹管。工程完工后经历多次强降雨考验，路面未出现积水现象。与改造前相比，路面损坏率降低了60%，养护费用节约了45%，取得了显著的社会经济效益。

四、结论

路基路面压实施工是交通工程建设中的关键环节，其质量直接关系到道路的使用性能和使用寿命。随着我国交通基础设施建设的快速发展，对路基路面施工质量的要求越来越高。压实是提高路基路面强度和稳定性的重要手段，其本质是通过外力作用使材料颗粒重新排列，减少孔隙率，增加密实度。

参考文献

[1] 李宝欣. 交通工程建设中路基路面施工技术要点[J]. 汽车周刊, 2025, (03): 119–121.

[2] 宋现超. 交通工程建设中路基路面施工技术要点[J]. 汽车画刊, 2024, (11): 125–127.

中国山水画的意境与当代室内空间设计创新研究

王丽

汉嘉数智科技集团股份有限公司, 浙江 杭州 310005

DOI:10.61369/ADA.2026010006

摘 要： 中国山水画作，作为传统文化里的关键部分，其高深的意境及哲学理念，给予现代设计无穷的启迪，在现今室内空间设计过程中，把中国山水画意境元素融入现代设计理念，可以塑造出独特的空间氛围，冲破传统与现代的界限，推动设计变革，文章以中国山水画文化背景、意境特征为始，探究其于现今室内空间设计中的创新应用，且借助具体实例分析，研究山水画怎样影响空间设计，进而增强空间设计的艺术性及文化内涵。

关 键 词： 中国山水画；意境；室内设计；创新；空间氛围

Research on the Artistic Conception of Chinese Landscape Paintings and the Innovation of Contemporary Interior Space Design

Wang Li

Hanjia Digital Intelligence Technology Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310005

Abstract： Chinese landscape paintings, as a crucial part of traditional culture, provide boundless inspiration for modern design through their profound artistic conceptions and philosophical ideas. In the current process of interior space design, integrating the artistic conception elements of Chinese landscape paintings into modern design concepts can create a unique spatial atmosphere, break through the boundaries between tradition and modernity, and promote design transformation. This paper begins with the cultural background and artistic conception characteristics of Chinese landscape paintings, explores their innovative applications in contemporary interior space design, and analyzes, through specific examples, how landscape paintings influence space design, thereby enhancing the artistic quality and cultural connotations of space design.

Keywords： Chinese landscape paintings; artistic conception; interior design; innovation; spatial atmosphere

引言

中国山水画是中国传统艺术的代表之一，其通过山水景象表达自然的哲理与人生的感悟，拥有深厚的文化底蕴。随着全球化进程与现代化设计思潮的发展，山水画的意境逐渐被应用到室内空间设计中，以其独特的艺术价值和深远的哲学内涵，成为当代设计的灵感源泉。尽管如此，当前国内外室内设计中，山水画元素的运用往往停留在表面化、传统化的模仿阶段，缺乏创新性的探索。文章旨在深入研究中国山水画的意境及其对当代室内空间设计创新的影响，以期为室内设计领域带来新的设计理念与实践方向。

一、中国山水画的文化内涵与意境特征

（一）山水画的历史渊源与文化背景

中国山水画作为独特的艺术种类，开端可上溯到先秦阶段的“山水之想”，然而汉代时已有了初步的样子，伴随魏晋南北朝文人画的兴起，山水画慢慢从装饰性艺术形式变成以展现哲理和情感为主的艺术类型，唐代如李思训、王维这般“山水画家”的作品，让山水画迈向成熟，变为展示天地自然、呈现人文精神的关键载体。山水画更强调气韵跟笔墨的运用，塑造了“文人画”的独特风采，让绘画与哲学思考相结合，打造出富有诗意哲理的画面，到这时山水画慢慢成为传递士人情感与思想的艺术形式。

（二）中国山水画的哲学思想与美学特征

中国山水画的哲学思想扎根在儒、道、佛的文化基础里，展示出中国人对天地自然与人文化之间的独特认知，儒释道思想的交融形成了互补文化张力：受儒家思想作用，山水画蕴含“天人合一”理念，注重“方内”济世；道家利用山水画展现“无为而治”理念，画面常凭空灵布局及自然流动感，呈现空间时间的无限与无常崇尚“方外”超脱；而禅宗佛教传入，促使山水画开始追求一种“空寂”以及“顿悟”的境界，直指人心，画作里山川中的寒林、孤寺、扁舟、残雪等常寓意超越世俗的理想境域，从美学的角度看，中国山水画强调“气韵生动”这一点，运用虚实相兼的构图、色彩还有笔法体现自然的神韵与气息，力求展现

意境，并非只是简单的景物呈现^[1]。

（三）山水画的构图与情感表达

中国山水画不光看重自然景观的描绘，关键在于借空间构成呈现创作者的情感与思想，山水画核心构图法为“三远法”：高远、深远及平远。高远法常常用来表现巍峨奇伟的壮美，深远表达神秘晦暗的幽深，平远则表达和融、平淡及安定之气。与此同时，山水画常借助空白与留白来处理，赋予观者充足思考与联想空间，展现出“天人合一”理念里的哲理性思考，运用这些空间营造的精巧手段，山水画呈现出画家心底情感及对自然敬畏，拥有极强的情感共鸣功效^[2]。

二、山水画意境在室内空间设计中的应用

（一）山水画元素与空间氛围的塑造

自然元素是山水画核心，以山川层叠、云烟流动、溪水蜿蜒等画面组合，构建出有张力的意境，把这些视觉元素融入室内空间设计，可替空间营造出静谧、幽远、含蓄的氛围。留白常见于山水间，其意义颇为重要，经由适度的空间留出空白，能够降低视觉负担量，增进空间的呼吸感与安谧感，让使用者得到心理放松感受，于空间内巧妙布置山水画元素，可以赋予空间特别的情感格调，加强空间的文化氛围与艺术认知，给空间赋予深邃思想性，让使用者身临其境时，可体会到精神上的满足与安宁。

（二）山水画的色彩与材质运用在空间中的创新

墨色是山水画的主色，讲究墨色呈五色，对色彩层次的把握有独特表达方式，把它运用到室内设计，可采用灰白、青黛、山石褐等低饱和度色彩，替空间打造沉静稳重的格调，利用灯光投射、材质纹理叠加等手法能呈现墨色的浓淡变化，让空间在统一色调中呈现丰富层次感。就材质而言，传统山水画与木材、石材、宣纸、丝绸等天然材料呼应，材质运用多样化赋予空间新触感及视觉感受，使山水画意境在现代环境展现新活力，结合现代灯光技术，材质质感与色彩变化会更丰富多样，使山水画意境在空间呈现动态变化，显著增进了空间的表现力和艺术感染力^[3]。

（三）山水画的构图与室内空间设计的融合及应用

于现代室内设计而言，山水画意境不再仅局限于传统中式风格，而是经由跨风格融合达成创新表达。“三远法”不仅是山水画的构图法则，更是塑造空间体验的深邃哲学。它能为不同类型的室内空间注入独特的“精神气质”。以下是其特点与适用空间的详细解析：

高远法：其视觉与心理感受为“自山下而仰山巅”，营造崇高、肃穆、向上升华的纵深感，具有精神引领性。因此适合的空间多为需要建立权威感、仪式感或精神聚焦的公共空间。如酒店大堂及剧院门厅、中庭等引导视线向上，塑造宏伟震撼的第一印象；宗教、纪念性空间，通过高耸的穹顶、纵向延伸的序列或高侧窗的光线，营造神圣、静谧的升华感；品牌旗舰店及企业大堂，利用挑空空间和垂直视觉元素，彰显品牌实力、历史或追求卓越的精神……

深远法的视觉与心理感受：“自山前而窥山后”，营造深邃、

隐秘、层层递进的层次感，引人探索。更加适合需要营造丰富叙事序列，引导动线或创造私密氛围的空间；如博物馆，展览馆长廊，通过序列性的展厅，营造深入的参观体验；会所或水疗中心通道，设计蜿蜒的走廊，月洞门、光线明暗交替，营造宁静、神秘和期待感，完成进入空间前的情绪铺垫；在别墅或大宅内部，通过“玄关—厅—廊—院”的递进层次，在室内再造“庭院深深”的东方居住意境……

平远：开阔与交融，以“自近山而望远山”的视角，营造开阔、平和、舒展、交融的广阔感，令人心境豁达。因此适合的核心空间：需要促进交流、放松身心或实现视觉与空间延伸的休憩与公共空间。常常适合住宅客厅，度假酒店景观套房，采用大面积的横向玻璃窗、露天阳台，将室外景观（园林、湖景、远山）作为画面“借”入室内，让人在平远开阔的景色中获得放松；美术馆主展厅，亦可设计低矮、水平延展的空间，配合均质漫射光，营造平静、包容的观赏氛围；另外，茶室及书斋，可在窗前设置低矮的长案，窗外布置简洁的庭院，形成一幅“平远”小景，利于静思与雅集。

山水画的构图关键在于理解其本质是组织视线、身体与心理体验的方式。如何混合有机运用：一个复杂空间常混合使用“三远”。而实现“三远”不一定依赖物理高度或深度，亦可以通过材质渐变、灯光序列、视觉透视（如镜面）等现代手法，在有限空间内创造丰富的心理景深。总之，凭整体布局、景观陈设与灯光表现强化空间的气韵，让空间营造出层次多样的文化氛围，以多维度的融合模式，不同风格室内设计中，山水画意境适应性极高，成为增进空间文化品味的核心介质^[4]。如图1所示。

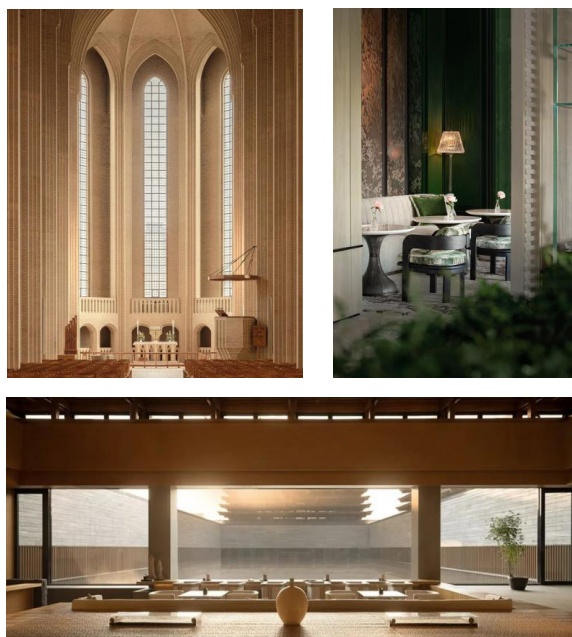


图1 三远法的运用

（四）山水画意境与空间的流动性设计

山水画借由散点透视把山川、云雾、流水等元素的有机组合，塑造出自然流淌的视觉模样，此意境可有力引导室内空间的流动性设计，空间流动性不单体现为视觉的延伸感，要在功能区

划以及动线设计中体现,引领人们空间内的流动轨迹,空间界限感的模糊性,做到自然过渡,空间动态感可让用户体验更顺畅,减轻单调程度及压迫力度,由此增强空间的舒适程度与美学成效,山水画展现的“空灵”效果可为空间增添更多自由的使用形式,使人们于感官处感受到轻松及自由,从而提升空间的亲和力和互动性^[5]。

三、案例分析：山水画意境在现代室内空间设计中的创新实践

（一）国内外山水画意境运用成功案例分析

现代室内设计对山水画意境的运用成效显著,尤其于部分文化酒店及艺术空间的设计中有着充分体现,上海璞丽酒店堪称典型案例,该酒店室内设计含有山水画元素,尤其是大堂体现了山水画“三远”构图与留白山水意境。其设计并非单单从物理上的巨大挑高来实现,而是运用了一系列精巧的东方空间叙事手法,在水平维度上营造出深远、崇高且富有禅意的意境。

“高远”与“留白”如何实现呢?为了实现这种意境,璞丽酒店主要运用了以下几种设计手法:

1.“先抑后扬”的纵深感序列,璞丽酒店大堂借鉴了传统园林与山水画“起承转合”的观赏路径。宾客需先穿过一片幽暗的竹林小径,经历空间的“收束”,随后才“豁然开朗”地进入挑高的主大堂。这营造了由下而上、由外至内探索的心理“仰视”感,是精神层面的“高远”。

2.“长卷”式水平构图手法:大堂呈独特的狭长形,核心是一条长达32米的非洲柚木长吧。它如山水画横轴般水平展开,引导视线平缓深远地移动,视觉尽头是静安公园的绿意,创造了“自近山而望远山”的平远意境,为“高远”提供了舒展的基底。

3.框景与借景:大堂一侧是整面的落地玻璃幕墙。它成为一个巨大的“画框”,将窗外静安公园的林木、天空纳入室内,成为一幅活的、随时间变化的立体山水画,这是最高级的“留白”——将自然作为空间的主体。

4.材质与光影的“墨色”与“空灵”:大堂地面铺设与故宫同源的“金砖”,其深邃的色泽如墨,倒映着竹影与灯光,模糊了天地的界限,增加了空间的深邃感与不确定性。整体低饱和度的色调、克制的光源,共同营造出静谧、空灵的“留白”氛围。

这些手法的综合运用,让璞丽酒店大堂超越了物理空间,成为了都市中的“可行、可望、可游、可居”一处精神场所:从竹林小径到长吧,再到书廊,空间序列如山水画般可漫步、可沉浸;当静坐长吧时,视线越过“金砖”墨色地面,穿越玻璃“画框”,抵达户外自然,完成了从室内到室外、从尘世到桃源的视线与心灵旅程,这正是“高远”所追求的崇高与超脱感。

璞丽酒店(由已故大师 Jaya Ibrahim 主导设计)的案例表明,在现代空间中转译山水画意境,关键在于对序列、尺度、框景和材

料的精准把控,以营造特定的心理体验,而非简单模仿形态。另外,北京雁柏山庄、杭州法云安缦、颐和安缦,以及如恩设计研究室的一些文化项目的作品都擅长用极简、内省的空间语言来构建具有东方哲思的场所精神。山水画之“自然”同现代设计之“简约”达成完美融合,展现传统与现代相结合的独特魅力^[6]。

（二）传统山水画影响下创新空间设计的未来发展趋势

伴随人们对传统文化认同程度的逐步提高,室内设计应用山水画意境的创新将有更广阔前景,传统山水画对空间设计的影响正从表面的“形式模仿”走向深层的“内核转译”。其未来发展趋势将围绕“哲思化”、“技术化”与“疗愈化”三个核心维度展开,最终指向一种全新的、具有东方精神的未来空间范式。

趋势一:设计哲思——从“元素运用”到“内核转译”。未来的设计将超越对山、水、石等具体符号的直白引用,转而深入解构并重构山水画的“世界观”与“方法论”。引用画中元素(如屏风中绘山水)转译画中“观法”(如散点透视、三远法)空间动线设计为“可游的长卷”,通过VR/AR或物理路径,创造多视点、非线性的叙事体验。通过智能调光系统、感应式香氛、可变景观装置,模拟山水画中的时间流逝与意境转换。

追求“像”一幅山水画 追求“是”一处当代山水 建筑本身成为地景的延伸。如王澐的宁波博物馆,用废旧瓦片砌墙,让建筑如同从土地中“生长”出的山体,实现物质与精神的“天人合一”。

趋势二:技术应用——从“手工意境”到“数字诗学”。新材料与新技术将成为表达古老山水哲思的崭新“笔墨”,创造出超越物理限制的沉浸式意境。数字化“气韵生动”:运用参数化设计生成模仿自然形态(如山峦、流水、云雾)的建筑表皮或室内结构。通过交互式媒体立面,使“气韵”真正流动起来。扩展现实的“可游之境”。运用可持续的“新自然材料”:未来将广泛应用生物基材料、碳捕捉混凝土、自修复材料等。这些材料不仅环保,其生长、老化、修复的特性本身,就是对山水画中“自然无常”、“生生不息”哲学的诗意诠释。

趋势三:人文价值——从“视觉审美”到“身心疗愈”。在未来,受山水画启发的空间将更侧重于成为修复身心,重建连接的“精神疗愈所”。通过在办公、居住、商业空间将大量引入植物达到“城市山林”的普适化。垂直绿化、室内水景庭院、模拟自然光的照明系统,在都市水泥森林中创造触手可及的“净土”,回应现代人对“归隐”与“休憩”的普遍渴求。

传统山水画影响的未来,是创造一种“意境驱动”的空间。这种空间的核心评判标准不再是形式,而是它能否唤起使用者特定的心境与体验——是走入“高远”之境的崇高宁静,是体验“深远”之境的探索趣味,还是沉浸于“平远”之境的豁达交融。未来的设计师,将更像一位诗人或导演,运用哲思为剧本,引导用户成为自己精神山水中的“主角”。把山水画意境的“天人合一”哲学理念在室内空间设计中完美展现,凭借创新的技术手段

以及现代设计思路，山水画意境会在室内空间里呈现出前所未有的魅力及生命力^[7]。

四、结语

山水画是中国传统艺术的关键构成部分，现代室内设计中，其深邃意境与文化内涵具备重要应用价值，创新性地将山水画元

素与现代设计理念相融合，能在空间内营造出别样的氛围，跨越传统跟现代的界限，国内外成功案例呈现出山水画在空间布局、色彩运用及功能区分方面的创新做法，科技进步与环保理念普及后，室内设计将呈现出更多山水画意境的可能性，推动空间设计往文化深度与艺术气息更浓厚的方向迈进。

参考文献

-
- [1] 于磊. 秩序建构视野下中国山水画对室内设计的启示研究 [D]. 青岛大学, 2024.
- [2] 苏剑鸣, 段淼淼. 中国山水画艺术在空间设计中的运用研究综述 [J]. 江苏理工学院学报, 2023, 29(03): 72-81.
- [3] 董雯秀. 中国山水画审美意境在美术馆室内设计中的表达 [D]. 青岛大学, 2023.
- [4] 程雨. 中国山水画创作理念在室内陈设设计中的研究与运用 [D]. 中原工学院, 2021.
- [5] 危杰丞. 中国山水画在中式室内空间设计中的应用研究 [D]. 南昌大学, 2019.
- [6] 于磊. 秩序建构视野下中国山水画对室内设计的启示研究 [D]. 青岛大学, 2024.
- [7] 段晓伟. 传统“留白意境”理念在现代新中式风格室内设计中的融合应用探析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023(21): 88-90.

气候变化背景下城市基础设施的安全韧性建构 与文化意蕴

程洪伟, 颜钦涵

中国城市建设研究院有限公司, 北京 100120

DOI:10.61369/ADA.2026010008

摘 要 : 全球气候系统失衡引发极端天气事件频发, 对城市基础设施安全构成严峻挑战。文章聚焦气候变化语境下城市基础设施安全韧性的理论内涵与建构路径, 深入剖析其多维价值体系中的文化意蕴。通过解构韧性核心要素, 融合工程技术与人文关怀, 提出以“适应性协同”为核心理念的韧性提升框架, 并创新引入文化韧性评估模型, 强调历史经验传承、空间场所精神与社区参与意识在风险应对中的关键作用。研究表明, 将文化基因植入基础设施全生命周期, 可显著提升系统抗逆力与社会认同, 为城市可持续发展提供新参考。

关 键 词 : 气候变化; 城市基础设施; 安全韧性; 建构; 文化意蕴

The Construction of Safety Resilience and Cultural Implications of Urban Infrastructure in the Context of Climate Change

Cheng Hongwei, Yan Yihan

China Urban Construction Research Institute Co., Ltd., Beijing 100120

Abstract : The imbalance of the global climate system has led to frequent occurrence of extreme weather events, posing a severe challenge to the safety of urban infrastructure. This article focuses on the theoretical connotation and construction path of the resilience of urban infrastructure in the context of climate change, and deeply analyzes the cultural implications within its multi-dimensional value system. By deconstructing the core elements of resilience and integrating engineering technology with humanistic care, a resilience enhancement framework centered on the concept of "adaptive synergy" is proposed, and a cultural resilience assessment model is innovatively introduced. It emphasizes the crucial role of historical experience inheritance, spatial place spirit, and community participation awareness in risk response. Research shows that embedding cultural genes in the entire life cycle of infrastructure can significantly enhance the system's resilience and social recognition, providing new references for urban sustainable development.

Keywords : climate change; urban infrastructure; safety resilience; construction; cultural implications

引言

地球系统正经历以变暖为显著特征的深刻变革, 大气环流异常导致暴雨洪涝、高温热浪、干旱风暴等极端事件强度与频率同步增加^[1]。作为人口与经济活动的核心载体, 城市面临日益复杂的风险叠加效应。基础设施作为维系城市生命线的物质骨架, 其失效可能引发级联灾难, 造成难以估量的社会经济损失。传统“抵御-恢复”的被动防御模式已显局限, 亟需向具备动态适应能力的韧性系统转型。这一转型不仅是技术升级过程, 更是深植于地方文脉的文化重构实践, 关乎城市文明存续的根本命题。

一、城市基础设施韧性理论的多维解构与演进脉络

(一) 概念与发展阶段

韧性 (Resilience) 理论的源头可追溯至20世纪70年代生态学领域, 加拿大生态学家霍林 (Holling) 首次将其定义为“系

统吸收扰动并维持核心功能的能力”, 突破了传统“稳定平衡”的认知框架, 强调系统在动态变化中的适应潜力^[2]。随着研究向城市复杂系统延伸, 韧性内涵逐渐分化出三重维度: 工程韧性聚焦物理设施的鲁棒性, 如建筑抗震标准、排水管网冗余设计, 以“抵御冲击”为核心; 生态韧性关注自然-人工复合系统的自我修

作者简介:

程洪伟 (1991.10-), 男, 北京市西城区人, 汉族, 中级工程师, 硕士研究生, 城市更新、景观设计;

颜钦涵 (1995.03-), 男, 浙江宁波人, 汉族, 助理工程师, 本科, 生态研究。

复，如湿地调蓄洪水、植被固土保水等自然机制的利用；演进韧性则强调社会系统的学习与转型能力，通过制度创新、技术迭代应对未知风险，如社区参与式规划、弹性政策调整。三者共同构成理解城市韧性的基础坐标。

当前研究已从单一维度分析转向“技术-制度-文化”协同的整合框架，认为现代城市韧性需突破“重硬轻软”的传统思维。工程韧性提供物质基础，但若缺乏制度保障（如跨部门应急协调机制）和文化支撑（如公众风险意识），其效能将大打折扣；生态韧性强调自然与人工的耦合，如蓝绿基础设施替代纯灰色工程，既降低能耗又提升景观价值；演进韧性则通过文化基因（如历史防灾智慧、社区自组织传统）激活社会内生动力，使韧性从“外部强加”转为“内在生长”^[3]。这种整合视角下，城市不再是孤立的“防御机器”，而是能动态学习、持续适应的“生命有机体”，为应对气候变化的长期挑战提供了更立体的理论支撑。

（二）韧性核心要素解析

冗余性（Redundancy）关键功能多重备份设计，如双回路供电、备用交通廊道。其价值函数可表示为下式（1）：

$$R = \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \cdot C_i \tag{1}$$

其中 R 为系统可靠度， P_i 为第 i 子系统故障概率， C_i 为其重要系数。

快速性（Rapidity）灾中响应与灾后恢复效率，受资源调度能力与组织流程影响；适应性（Adaptability）通过反馈机制持续优化系统参数，如根据气候模型调整雨洪管理策略；转型性（Transformability）突破路径依赖进行根本性变革，如从灰色基础设施转向蓝绿灰结合模式

二、安全韧性建构的技术路径

（一）多尺度空间干预策略

面对气候变化下城市风险的多尺度叠加特征，单一空间维度的干预往往顾此失彼，亟需构建覆盖“区域-城区-场地”的分层应对体系。多尺度空间干预策略以系统思维统筹不同空间层级的脆弱性与功能定位，通过差异化的目标导向形成韧性防护网络：宏观层面锚定生态本底安全，中观层面聚焦风险精准管控，微观层面优化人居环境微生态^[4]。这种“自上而下”与“自下而上”结合的思路，使基础设施韧性从抽象概念落地为可操作的空间行动。以下表格具体呈现各层级的核心干预方向与典型措施，清晰勾勒多尺度协同的实践路径。具体见下表1。

表1 多尺度空间干预策略（表格来源：作者自绘）

空间层级	干预重点	典型措施
宏观区域	生态安全格局	建设生态滞洪区、保护与修复行洪通道
中观城区	风险分区分控	划定洪水高风险区，设定禁建或限建范围
微观场地	微气候调节与雨洪管理	采用透水铺装、雨水花园、垂直绿化以降温蓄水

（二）关键设施韧性提升模型

关键设施韧性提升模型以系统性思维重构基础设施的功能逻辑，通过多级冗余与动态适配增强抗风险能力，供水系统是其典型应用场景。该模型构建“水源保障→多级蓄水→智能管网→分布式净水站”的四级保障体系：水源保障通过多元水源（如常规水源与非常规水源协同）避免单一依赖；多级蓄水整合水库、地下水、雨水回收等储水单元，形成“大中小”嵌套的调蓄网络，应对干旱或污染等突发断供；智能管网依托压力自适应阀门动态调节流量，防止爆管或局部过载，同时实时监测漏损；分布式净水站则靠近需求端布局，缩短输水路径，减少中间环节失效风险^[5]。

系统可靠性通过马尔可夫链模型量化，其如下式（2）：

$$P(t) = e^{-\lambda t} \tag{2}$$

其中 λ 为失效率，t 为运行时间。该公式揭示可靠度随运行时间呈指数衰减，而多级保障体系的核心作用在于通过冗余设计降低关键环节的 λ 值——例如，多级蓄水可分散水源风险，使单一蓄水单元失效时整体系统仍维持功能，从而延缓可靠度衰减速率。这一模型为关键设施韧性设计提供了量化依据，推动从“单点强韧”向“系统容错”的范式转型。

（三）智慧赋能技术应用

智慧赋能技术正推动城市基础设施韧性从“经验驱动”向“数据驱动”跃迁，通过物联网与数字孪生的深度融合，构建全周期风险防控的“智慧神经中枢”。物联网传感器如同设施的“末梢感知器”，密集部署于桥梁应力点、排水管网节点、堤坝渗压区等关键部位，实时采集形变、渗漏、流量等动态数据，形成覆盖“监测-传输-存储”的闭环链路，让隐性风险显性化^[6]。数字孪生平台则以这些数据为底图，叠加气候模型与工程力学算法，模拟暴雨内涝、极端荷载等灾害情景，推演设施失效的级联效应，辅助管理者预判薄弱环节并预置干预方案。

三、文气候变化背景下城市基础设施的文化意蕴

（一）集体记忆的韧性价值

地方性知识蕴含应对气候波动的历史智慧。如传统聚落选址遵循“择高而居、趋利避害”原则，其空间逻辑与现代灾害学高度契合。文化记忆通过三种路径增强韧性：该公式综合衡量系统区分真实威胁与干扰信号的能力，高准确率意味着减少“狼来了”式的误报消耗，同时杜绝漏报导致的突发危机，让智慧预警真正成为韧性防护的主要环节。

（二）场所精神的再生机制

场所精神的再生机制是城市基础设施韧性建构中激活文化认同的核心路径，其本质是通过空间叙事将冰冷的工程载体转化为承载集体记忆与情感归属的“文化容器”，让场所从单纯的物理功能空间升维为凝聚社会韧性的精神锚点。基础设施的设计需超越工具理性，主动植入地方文脉的“基因片段”：滨水步道以水文历史浮雕再现流域变迁中的治水智慧，让行人在漫步中感知人

与水的共生历程；地铁站厅借地质变迁影像串联区域百万年的地层故事，使地下通勤空间成为解读大地记忆的窗口^[7]；老旧桥梁加固时保留原有拱券形态与建造铭文，让结构本身成为跨越时空的“历史证人”。这些实践并非简单装饰，而是通过“空间-文化-人”的互动，让场所精神在当代生活中“复活”。

场所认同感的量化评估可通过模型（3）实现：

$$P = \sum_{k=1}^m W_k \cdot S_k \quad (3)$$

其中 W_k 为文化要素权重， S_k 为公众评分。

（三）社区参与的治理创新

社区参与的治理创新是韧性建构中激活社会内生动力的关键路径，其核心在于通过“自下而上”的赋权机制，将居民从被动防护对象转变为主动风险共治主体。“减灾町内会”这类居民自治模式（注：此处隐去具体国别，聚焦模式内核）即典型实践——居民基于共同生活经验自主绘制风险地图、制定分级应急预案，甚至组建邻里互助小组，形成“人人有责、人人尽责”的韧性共同体。这种模式的有效性并非偶然，而是取决于社区参与效能。

四、文化韧性评估指标体系

（一）文化韧性评估指标体系的建构逻辑与价值导向

文化韧性评估指标体系的构建，旨在突破传统韧性评价中“重技术轻人文”的局限，将文化基因作为衡量城市基础设施抗逆力的深层维度。气候变化下的韧性不仅是物理系统的存续能力，更是社会文化认同与历史经验在风险中的延续力。该体系以“文化赋能韧性”为核心导向，通过量化与质性结合的方式，捕捉文化要素在风险应对中的隐性作用——既关注历史智慧的现实转化，也重视场所精神的社会凝聚，更警惕现代性对地方文脉的消解。其价值在于为韧性建设提供“文化诊断”工具，引导规划者从“工程优先”转向“文化-技术协同”，让基础设施成为承载集体记忆、激发社区认同的活态载体，最终实现物理安全与人文归属的双重提升^[8]。

（二）文化韧性指数的构成解析与分项内涵

文化韧性指数（CRI）以“历史智慧传承度（A）×场所认同强度（B）/现代性冲击系数（C）”为核心公式，三维联动揭示文化韧性的动态平衡。其中，A值聚焦非物质文化遗产中防灾智慧的转化率，强调将口述史记载的避险经验、传统聚落的空间营建逻辑（如依山傍水的选址智慧）、节气历法指导的农事防灾策略等，转化为当代基础设施设计的隐性准则，如将“海绵村落”的雨水调蓄理念融入现代社区绿地系统。B值指向公众对文化地标的情感依恋指数，通过识别承载地方记忆的桥梁、古堤、老码头等空间，评估其在灾时作为心理庇护所、日常作为认同载体的双重功能，让文化地标从“观赏对象”变为“韧性锚点”。C值则量化全球化同质化对地方特色的侵蚀程度，警惕标准化设计对地域气候适应性的抹除，如避免因盲目复制外来景观而丧失本土植被固土、微气候调节的独特优势^[9]。三者相乘相除的逻辑，既凸显历

史与认同的正向增益，也强调对现代性冲击的主动调适。

（三）指标体系的应用场景与人文关怀协同

该指标体系的应用贯穿基础设施全生命周期，从规划设计阶段的“文化基因筛查”，到建设运维中的“场所精神注入”，再到灾后重建的“记忆修复”。在规划中，可通过A值评估候选方案对传统智慧的吸纳度，避免“千城一面”的灰色工程；在设计中，借B值识别需强化的文化地标节点，如在滨水步道嵌入水文变迁浮雕，让设施讲述地方故事；在运维中，以C值为镜反思技术更新对文脉的影响，倡导“适应性再利用”而非彻底拆建。其人文关怀核心在于，将韧性从“技术达标”升维为“文化自觉”——当居民在熟悉的文化场景中参与防灾演练，当老匠人的营建口诀指导新材料应用，基础设施便超越了物理功能，成为连接过去、现在与未来的文化纽带，让韧性真正扎根于社会肌理，实现“有温度的抗逆”。

五、实施路径与挑战应对

（一）全生命周期整合策略

全生命周期整合策略是将文化韧性理念贯穿基础设施从诞生到更新的全过程，通过“规划设计-文化植入-弹性施工-智慧运维-评估反馈”的闭环链条，实现文化要素与工程功能的深度融合。在规划设计阶段，需超越单纯的技术可行性分析，转向“文化基因筛查”，挖掘地方历史防灾智慧（如传统聚落的排水组织、材料选用逻辑）与场所精神载体（如承载集体记忆的古道、老堤），将其转化为空间布局与形态设计的隐性准则，例如将“顺势筑堰”的生态智慧融入现代滞洪区轮廓。弹性施工工艺则强调在施工中保留文化痕迹，采用可逆性材料减少对历史地层的破坏，或通过“微介入”手法让新建结构与既有文化地标形成对话（如新旧桥梁在材质、尺度上的呼应）。智慧运维平台进一步拓展文化维度，除监测物理状态外，增设文化要素健康度模块，追踪文化地标的使用频率、公众情感反馈，及时发现“文化失活”风险。使用后评估反馈则是闭环的关键，通过对比预期文化目标与实际效果，调整后续项目的文化植入策略，形成“实践-反思-优化”的动态循环。这种整合不仅提升设施抗逆力，更让文化在基础设施的全生命周期中持续“呼吸”，避免沦为一次性装饰。

（二）制度创新关键点

制度创新是打通文化韧性从理念到实践的核心抓手，需针对当前韧性建设中“文化缺位”的制度根源精准发力。首要关键是建立跨部门文化遗产风险评估机制，打破文物、住建、应急等部门间的条块分割，将文化要素纳入基础设施立项的前置评估——在项目论证阶段即识别可能对地方文脉造成的冲击（如标准化设计对特色风貌的抹除），形成“文化风险清单”并与技术方案同步优化。其次是设立韧性文化专项基金，定向资助社区主导的文化韧性项目，如支持居民整理口述防灾史、活化闲置公共空间为防灾文化角，通过资金杠杆激活基层文化创造力，弥补政府单一供给的不足。最具突破性的是推行“适应性管理法”替代僵化规范，承认气候风险的动态性与文化的在地性，允许在符合核心安

全目标的前提下，对地方特色做法（如传统材料的现代改良、非标准空间的防灾利用）给予弹性审批空间。

例如，对采用本土植物群落进行微气候调节的项目，可突破通用绿地率指标限制。这些制度创新共同指向一个目标：让文化从“被管理的对象”转变为“韧性建构的主体”，通过规则重构释放文化与社会协同潜能。

（三）潜在冲突调适

现代化进程中“效率优先”与“文化保护”的张力，是韧性建构不可忽视的挑战，而“适应性再利用”（Adaptive Reuse）为化解这一矛盾提供了创造性路径。该方法的核心在于拒绝“拆旧建新”的线性思维，通过对既有文化载体的功能重置与意义叠加，使其在保留历史记忆的同时承载新的韧性使命。典型如旧厂房改造为防灾体验馆：保留工业建筑的钢结构骨架与斑驳墙面作为“记忆锚点”，内部植入互动展陈（如模拟历史洪灾的沉浸式场景）、应急物资储备空间与社区培训教室，既延续了工业时代的场所精神，又将文化认同转化为防灾教育的现实场域。这种调适逻辑可延伸至更广场景——古桥加固后兼作步行疏散通道，老城墙遗址改造为暴雨观测点与生态教育径，废弃矿坑转型为雨

水调蓄公园并嵌入采矿历史解说系统。其关键在于把握“变与不变”的平衡：“不变”的是承载集体记忆的物质载体与文化符号，“变”的是功能属性与服务人群^[10]。通过这种方式，效率不再等同于“推倒重来”，而是在尊重文化脉络中实现资源的最优配置，让基础设施在时间的褶皱中积累韧性，最终达成“文化存续即韧性增值”的深层共识。

六、结论

气候变化背景下的基础设施韧性建构，本质是工程技术理性与文化感性智慧的深度融合。当防洪堤坝镌刻着治水史诗，当避难场所承载着集体记忆，冰冷的结构便获得了生命的温度。这种融合不仅提升系统物理性能，更重塑着人与环境的关系认知——从征服对抗转向共生调适。未来的韧性城市应是流动的诗篇，在技术精度与人文厚度之间谱写和谐乐章。唯有将文化基因植入基础设施的血脉，方能在气候变局中守护文明的火种，实现真正意义上的永续发展。

参考文献

[1] 马慧生, 张伟, 李冰等. 云边链融合的城市基础设施物联网安全可信管控架构 [J]. 人工智能, 2025, (06): 40-51.
[2] 张清艳, 邱锦林. 让民生福祉更有质感 [N]. 闽西日报, 2025-12-23 (001).
[3] 杨岚. 数智时代, 守好百姓“身边事”重在守好网络安全 [N]. 人民政协报, 2025-12-01 (010).
[4] 张文泽, 钟美慧. 土木类专业视角下城市更新中旧城改造的规划策略研究 [J]. 住宅与房地产, 2025, (33): 17-19.
[5] 刘玲娜, 陈彬. 以新型基础设施筑牢韧性城市安全根基 [J]. 前线, 2025, (11): 25-28.
[6] 魏攻长, 谢雅楠, 孙鹏等. 城市基础设施敏捷治理的实践路径研究——基于城市生命线安全工程“合肥模式”的分析 [J]. 公共管理与政策评论, 2025, 14 (05): 57-73.
[7] 唐道明. 全过程识别管控风险 提高城市安全韧性水平 [N]. 中国建设报, 2025-08-25 (001).
[8] 王冰洁. 提速“新城建”, 建设安全可靠的韧性城市 [N]. 青岛日报, 2025-08-19 (003).
[9] 吴小环. 市政基础设施智能化改造及政策机制创新赋能自动驾驶发展路径研究 [J]. 广东土木与建筑, 2025, 32 (08): 88-91.

海外（埃及）项目室内深化设计流程及管控要点

张学彬, 张世博, 鲁文斌, 李鹏, 韩智秋
上海中建海外发展有限公司装饰公司, 上海 200125
DOI:10.61369/ADA.2026010012

摘 要： 海外项目室内深化设计是在初步施工图（IFC）基础上开展的精细化设计工作，核心目标是保障设计方案的落地可行性、施工实用性与功能合理性，不仅关乎室内空间的美观度与使用功能，更涵盖工程技术适配、材料合规选用、成本精准控制及施工安全保障等多个核心维度。由于海外项目存在地域文化差异、当地法律法规限制、技术标准（如美标）与国内差异等客观因素，室内深化设计相比国内项目更具复杂性、专业性与关键性，且需与建筑、结构、机电、采购等多专业团队深度协同配合，确保整体设计方案统一、高效、可落地。深化设计的质量直接决定海外项目的最终施工成效、使用体验及项目效益，因此需在项目早期阶段做好充分的论证、规划与统筹，为后续施工环节筑牢基础。

关 键 词： 海外（埃及）项目；室内深化设计；多专业协同；流程管控；施工落地

Process and Control Key Points for Indoor Detailed Design of Overseas (Egypt) Projects

Zhang Xuebin, Zhang Shibo, Lu Wenbin, Li Peng, Han Zhiqiu
Decoration Company, China State Construction Overseas Development Co., Ltd., Shanghai 200125

Abstract： The indoor detailed design of overseas projects is a meticulous design process conducted based on preliminary construction drawings (IFC). The primary objective is to ensure the feasibility of the design plan, its practicality for construction, and the rationality of its functional aspects. This involves not only the aesthetic appeal and functional use of indoor spaces but also encompasses various critical dimensions such as engineering technology compatibility, material compliance, precise cost control, and construction safety. Due to the existence of geographical cultural differences, local legal restrictions, and differences in technical standards (such as American standards) compared to those in China, the indoor detailed design for overseas projects is more complex, specialized, and crucial than that for domestic projects. It requires deep collaboration and coordination with multiple professional teams, including architecture, structure, electromechanical systems, and procurement, to ensure that the overall design plan is unified, efficient, and feasible for implementation. The quality of the detailed design directly determines the final construction outcomes, user experience, and project benefits for overseas projects. Therefore, thorough justification, planning, and coordination must be conducted at an early stage to lay a solid foundation for subsequent construction phases.

Keywords： overseas (Egypt) project; interior detailing design; multi-disciplinary collaboration; process control; implementation of construction

引言

在海外高层建筑项目中，室内深化设计是衔接方案设计与现场施工的关键枢纽，是破解设计与施工脱节、保障施工高效推进、控制项目成本的核心环节。埃及作为海外建筑市场的重要区域，其项目不仅需遵循当地建筑规范、美标要求及项目 SPEC（技术规格）文件，还需兼顾地域施工条件与材料供应特点。本文以埃及海外项目为实际依托，围绕室内深化设计的阶段划分、核心工作流程、多专业协同要点，结合实际案例，深入探讨海外项目室内深化设计的管控核心、实践路径及应用意义，为同类海外项目室内深化设计工作提供参考与借鉴。

作者简介：

张学彬，职称：无，研究方向：公共建筑设计研究；

张世博，职称：中级工程师，研究方向：建筑与自然环境融合；

鲁文斌，职称：高级工程师，研究方向：机械设计制造及其自动化；

李鹏，职称：无，研究方向：室内环境质量研究；

韩智秋，职称：无，研究方向：室内装饰。

一、项目室内设计阶段划分

埃及海外项目室内设计遵循国际通用设计流程，整体按先后顺序分为4大核心阶段，各阶段分工明确、衔接紧密，具体如下：1. 方案设计阶段 SD（Schematic Design）；2. 扩初设计阶段 DD（Design Development）；3. 施工图阶段 IFC（Issue For Construction）；4. 室内深化施工图阶段 SHD（Shop Drawing）。

其中，SD、DD、IFC三个阶段均由项目业主委托专业设计院完成，主要明确室内设计的整体方案、功能布局、主要材料方向及初步施工图纸框架，为后续深化设计提供核心依据。本文重点探讨第四阶段，即室内深化施工图阶段（SHD）的工作内容、流程及管控要点——该阶段是衔接IFC图纸与现场施工的关键环节，以IFC图纸为核心基础，核心任务是补充IFC设计中的遗漏内容、优化不合理的节点做法、完善工艺细节，而非对原有设计方案进行颠覆性修改，最终形成符合埃及当地施工条件、技术规范、材料供应现状及现场实际需求的可施工深化图纸，IFC图纸为深化设计提供核心原则与方向指引，SHD图纸则是对IFC图纸的细化、补充与优化，二者形成“原则指引+实操落地”的协同关系。

二、室内深化设计工作流程及专业协同要点

（一）深化设计核心目的

1. 保障施工可实施性

针对埃及项目施工工艺、施工队伍技术水平及现场条件，对IFC施工图进行进一步深化细化，明确具体的构造方式、工艺做法、工序安排及质量标准，优化调整不合理的设计细节，使深化设计后的施工图完全具备可实施性，满足装饰工程精确按图施工的严格要求，避免因设计与施工脱节导致的施工停滞、返工等问题。

2. 补漏拾遗，精准管控成本

通过深化设计，对IFC施工图中未能详细表达的工艺性节点、剖面构造、收口细节等进行优化补充，同时对工程量清单中未能详尽涵盖的施工内容、材料用量进行精准核算与补充，明确遗漏的施工工序，为施工预算的调整提供精准依据，避免因漏项、错项导致的成本超支，实现成本精准管控。

3. 明确界面收口，规避施工冲突

海外项目多专业交叉施工频繁，通过深化设计，进一步明确装饰专业与土建、幕墙、机电等其他专业的施工界面、收口形式及责任划分，明确各专业交叉施工的内容、顺序及衔接要求，规避因界面模糊、收口不明确导致的施工冲突、衔接不畅等问题，为各专业顺利配合施工创造有利条件，保障施工进度与施工质量。

4. 整合机电信息，减少拆改返工

埃及项目机电系统（强弱电、暖通、给排水等）需遵循美标规范，深化设计过程中，需充分整合机电末端（灯具、喷淋、烟感、风口等）与室内装饰面的排版布局，结合机电管线的走向、排布，合理确定装修构造空间大小、吊顶标高及墙面造型，避免施工过程中因机电管线与装饰构造冲突导致的拆改返工，降低施工成本与工期损耗。

5. 推动采购进展，保障材料适配

深化设计明确室内装修所需材料的类型、规格、技术参数、质量标准及用量，为采购工作提供精准的技术依据；同时，结合埃及当地材料供应市场现状，优化材料选型，避免选用稀缺、昂贵或不符合当地规范的材料，推动采购工作有序开展，确保采购的材料与设计要求、施工需求高度适配，保障施工顺利推进。

室内深化设计并非独立工作，需联动采购、建筑结构、机电、幕墙、景观等多个专业，严格遵循美标规范及项目SPEC文件，结合现场样板（mockup）施工验证，形成符合现场实际、合规可行的深化图纸。各专业协同工作需紧扣埃及项目特点，明确协同要点，确保协同高效、衔接顺畅，具体协同要点如下：

（二）与建筑、结构专业的协同

建筑底图（BASEPLAN）是各专业深化设计的核心基础，室内专业需与建筑、结构专业密切协同，重点开展以下4项审核与提资工作：一是核对建筑底图与室内设计（ID）图纸的空间一致性，重点核查房间尺寸、墙体位置、门窗洞口位置及尺寸等，确保二者无偏差，避免因空间尺寸不符导致的设计返工；二是核查砌筑墙体的合规性，尤其是石材干挂区域，需重点确认锚固件、钢架体系的结构适配性，结合结构专业的承载力计算意见，优化干挂节点设计，确保结构安全，符合埃及当地建筑安全规范；三是确认门洞、卫生间净空、过道净宽等关键尺寸，结合埃及当地的使用习惯及相关规范要求，优化尺寸设计，保障使用功能的合理性；四是根据室内地面材质的选型，反向向建筑专业提资垫层预留厚度，明确不同材质的预留标准（如石材干硬水泥砂浆铺贴预留60mm、瓷砖干硬水泥砂浆铺贴预留50mm、木地板预留17mm、乙烯基地板预留3mm、环氧漆预留2mm），确保建筑做法与室内设计需求高度融合，避免后续地面施工出现标高偏差。

（三）与机电专业的协同

机电系统（含强弱电、暖通、给排水、电梯等专业）是室内深化设计的重要协同对象，二者协同的核心是“空间适配、规范合规、美观实用”，具体要点如下：一是吊顶标高的确定，结合机电综合管道的竖向排布、管道直径及检修需求，与机电专业联动提资、反复核算，确定合理的吊顶标高，既保障机电管道的安装、检修空间，又兼顾室内空间的美观度与使用舒适度；二是综合天花排版，机电末端点位（喷淋、烟感、风口、灯具等）的布置需同时兼顾美标规范要求（如喷淋间距需符合NFPA标准、烟感设置需覆盖无死角）与室内装饰效果，检修口的位置需结合机电检修需求及吊顶排版进行优化调整，避免检修口破坏吊顶整体造型，同时确保检修便捷；三是给排水专业配合，地漏定位需严格贴合地砖排版与地面找坡方向，确保排水顺畅，避免积水；马桶水箱位置需对齐砖中或砖缝，保证安装美观；洗手台盆的给排水点位需避开台盆柜后背板及固定点，避免后期安装冲突；四是电梯专业配合，明确电梯门框的封堵方案、门套饰面的收口细节，结合室内装饰风格优化门套设计，确保电梯区域与整体室内风格统一，同时保障封堵牢固、收口美观。

（四）与幕墙专业的协同

室内装饰与幕墙专业的协同核心是交接面的收口处理，重点解决不同材质、不同施工界面的衔接问题，结合埃及项目的气候特点（高温、干燥），重点优化以下3处收口工艺：一是推拉门上框留缝与乳胶漆饰面的收口，采用柔性密封处理，兼顾美观与

防水、防尘性能；二是踢脚与推拉窗立面框的收口，优化节点设计，避免出现缝隙，确保衔接牢固、美观；三是地砖/石材与推拉窗下框的交接收口，做好防水处理，防止雨水渗入室内，同时优化排版，确保收口处材质衔接自然，提升整体装饰效果。

（五）与采购专业的协同

采购专业是深化设计落地的重要保障，二者需建立双向联动机制，确保设计与采购无缝衔接：深化设计阶段，设计专业向采购专业提供详细的材料类型、规格、技术参数、质量标准及用量等基础信息；采购专业结合埃及当地材料供应市场现状、材料价格、供货周期等因素，筛选合规、成熟、性价比高的产品，并将产品的具体参数（如实际尺寸、材质性能、安装要求等）反馈给设计专业；设计专业根据采购反馈的参数，优化深化图纸，确保设计要求与采购产品高度适配。例如，原设计选用600×600mm规格瓷砖，采购专业结合埃及当地市场供应情况，确定596×596mm规格的合规产品后，深化设计需按该实际规格完成地砖排版、节点设计，避免因材料规格不符导致的施工返工。

（六）与计算书及现场样板（mockup）的协同

计算书与现场样板（mockup）是保障深化设计可行性、安全性的核心支撑，二者与深化设计形成双向验证闭环：计算书（如石材干挂钢架承载力计算、吊顶龙骨承载力计算等）为深化设计提供科学的承载力依据，若计算结果不通过，需根据结构专业的调整建议，及时更新深化图纸，确保设计方案的安全性；深化图纸指导现场样板（mockup）施工，样板施工过程中，可直观发现深化设计中的不合理之处（如节点做法复杂、材质衔接不畅等），施工团队及时反馈问题，设计专业结合样板验证结果，优化补充深化图纸，进一步完善设计细节，确保深化图纸完全符合现场施工需求。埃及项目中，现场样板（mockup）需经业主、监理、设计及施工单位共同验收合格后，方可依据样板开展大面积施工，确保施工质量与设计效果一致。

三、室内深化设计协调管控重点

海外（埃及）项目室内深化设计的协调管控，核心是“明确责任、规范流程、强化协同、严控质量”，结合埃及项目的特殊性，重点管控以下3个方面：

（一）界面认定管控

界面管控是深化设计协调工作的基础，分为合同界面与物理界面两大类，二者相辅相成、缺一不可：合同界面主要界定各专业（装饰、土建、机电、幕墙等）的深化设计范围、责任分工及协作要求，是协调工作的核心依据，其完备性直接影响协调工作的难度

与效率，需在项目初期明确界定，避免后期出现责任推诿、范围模糊等问题；物理界面是合同界面的具象体现，主要解决各专业之间的节点做法、工序衔接、材质收口等实际问题，是衔接设计与施工的关键环节，需重点把控节点设计的合理性、收口工艺的可行性，确保各专业施工衔接顺畅，保障施工质量。

（二）流程与提资管控

结合埃及项目的沟通效率、审批流程特点，制定统一、规范的深化设计协调流程，明确各专业的提资时间、提资内容、审批节点及反馈机制，梳理完善各专业提资细则，明确提资的标准、格式及要求，避免提资反复、提资不完整等问题，确保提资工作有序、高效、规范开展。同时，建立提资台账，对各专业提资内容、反馈意见、整改情况进行全程记录，实现提资工作的可追溯，确保深化设计各环节衔接顺畅，推动深化设计工作按时完成。

（三）工具赋能管控

依托高效的过程协调工具及文档流转工具，提升深化设计的协同效率与审批效率。例如，采用BIM技术构建三维模型，直观呈现室内空间、机电管线、装饰构造的布局关系，提前排查设计冲突，优化节点设计；借助协同办公平台，实现各专业设计文件、提资资料、审批意见的线上流转与共享，减少线下沟通成本，提高沟通与审批效率；建立深化设计文档管理体系，对深化图纸、计算书、样板验收记录、提资台账等资料进行规范管理，确保资料的完整性、可追溯性，为后续施工、验收及项目复盘提供支撑。

四、结语

海外（埃及）项目室内深化设计的协同管控，是设计方案落地、施工高效推进、成本精准控制及质量安全保障的核心环节，其质量直接关系到项目的最终成效与用户体验。由于埃及项目存在技术标准、文化环境、材料供应、施工条件等多方面的特殊性，室内深化设计需立足项目实际，建立完善的管控体系，强化装饰与建筑、结构、机电、采购等多专业的深度协同，推动设计与施工的紧密联动，优化深化设计流程，严控设计细节与界面衔接，借助工具赋能提升协同与审批效率。

通过本文对埃及项目室内深化设计流程、专业协同要点及管控重点的探讨，结合实际案例验证，可为同类海外项目室内深化设计工作提供实践参考。未来，需结合海外建筑市场的发展趋势、埃及当地规范的更新及施工技术的提升，持续优化深化设计管控方法，完善多专业协同机制，适配海外复杂的建筑环境与市场需求，推动海外项目室内深化设计工作提质增效，实现设计效果、施工效率与商业价值的有机统一。

参考文献

- [1] 刘迪恺.住宅精装室内地库全流程设计：策略、实践与创新探索[J].居舍,2025,(15):84-86+100.
- [2] 盛繁.室内设计施工图纸深化流程与注意事项研究[J].华东纸业,2021,51(06):179-181.
- [3] 刘羽.浅论国内外室内设计的发展[J].明日风尚,2018,(23):51.
- [4] 王群.国外医疗建筑室内设计观察与思考[J].中国医院建筑与装备,2016,(10):50-53.
- [5] 曹向明.海外EPC项目深化设计流程管理研究与改进[D].清华大学,2016.

海绵城市理念下市政雨水调蓄系统设计与应用实践

李绍轩

天津富凯建设集团有限公司第五分公司, 天津 300350

DOI:10.61369/ADA.2026010015

摘 要 : 城市化发展不断地对天然水文循环开展扰动工作, 传统市政排水选用快速排放的模式, 要是面对频繁出现的内涝以及径流污染挑战, 就会显得不足, 海绵城市理念, 给城市雨水开展了管理工作, 提供了生态化、可持续的解决思路。在海绵城市规划视角当中, 对市政雨水调蓄系统的设计原则以及技术框架开展了探讨, 同时深入剖析了源头减排设施、中途转输系统以及末端调蓄设施之间的协同机制, 灰色以及绿色基础设施的融合策略在工程实践当中得以具体地展现出来, 调蓄设施拥有削减洪峰以及净化水质方面的功能。那么, 来开展城市雨洪管理规划设计以及实施方面的理论支撑和实践参考的研究。

关 键 词 : 海绵城市; 雨水调蓄; 市政排水; 系统协同; 内涝防治

Design and Application Practice of Municipal Stormwater Storage Systems under the Sponge City Concept

Li Shaoxuan

Fifth Branch of Tianjin Fukai Construction Group Co., Ltd., Tianjin 300350

Abstract : Urbanization continuously disrupts the natural hydrological cycle, and the traditional municipal drainage system, which relies on rapid discharge, proves inadequate in addressing frequent challenges of urban flooding and runoff pollution. The Sponge City concept offers an ecological and sustainable approach to managing urban stormwater. From the perspective of Sponge City planning, this paper explores the design principles and technical framework of municipal stormwater storage systems, delving into the collaborative mechanisms among source reduction facilities, mid-route conveyance systems, and end-of-pipe storage facilities. It also demonstrates the integration strategies of gray and green infrastructure in engineering practice, highlighting the flood peak reduction and water quality purification functions of storage facilities. The study provides theoretical support and practical references for the planning, design, and implementation of urban stormwater management.

Keywords : sponge city; stormwater storage; municipal drainage; system collaboration; urban flooding prevention

引言

城市水安全面临着非常严峻的挑战, 气候变化以及城市化进程加快了这个问题的显现, 传统城市建设模式极大程度上增加了不透水面积, 地表水以及地下水的自然垂直循环通道被切断, 从而使得地表径流的产汇流特性发生了改变。城市普遍会面临降雨时出现内涝以及雨后发生干旱这种交替的困境, 传统的排水方案通常会把管网扩容以及泵站增设这类灰色设施当作依靠。这些措施虽然可以提高排水的效能, 但是却忽略了雨水存蓄以及生态恢复方面的价值。那么, 海绵城市理念就应运而生了, 它的核心要点是来构建一个将“渗、滞、蓄、净、用、排”结合起来的综合性雨水管理系统, 蓄水环节把源头调控和末端排放进行衔接, 能够有效开展洪峰的削减工作并且缓解内涝, 同时借助这个方面来促进雨水资源化利用以及水环境改善。

一、海绵城市建设的政策背景与演进

(一) 顶层设计与战略定位

2013年, 中央城镇化工作会议已经清晰地阐述了“海绵城市”理念, 海绵城市理念具有弹性大、适应性强等特点, 其核心在于通过自然方式管理和利用雨水, 以提高城市内部的防洪能

力, 优化水资源管理效能, 改善生态环境质量。^[1]强调它应当具备自然积存、渗透以及净化的功能, 这样把海绵城市建设提升到了国家战略层面, 海绵城市建设的时间表以及路线图, 在国务院办公厅所给出的指导意见当中得以明确。要把大部分降雨就地消纳并且利用, 这成为了建设方面的关键目标, 城市建成区面积在2020年需要满足目标要求的部分达到了超过五分之一, 到2030

年，这个比例会增加到五分之四。这样的顶层规划赋予了雨水调蓄体系在城市营造方面的法定身份。

（二）技术规范与标准体系完善

住建部推出了《海绵城市建设技术指南》等一系列规范，目的是来响应国家的战略部署，政策文件扭转了以往把重点放在地面建设上，却忽视地下系统，侧重于排水功能，而轻视蓄水能力的传统观念，强制要求所有新建、改建以及扩建工程都要贯彻低影响开发理念。通过增加城市绿地、湿地、透水铺装等软硬结合设施，实现“海绵城市”对雨水进行有效的滞蓄、渗透，并在自然净化过程中提高雨水品质。另外，海绵城市还注重雨水资源化，如将雨水收集、贮存等作为城市灌溉、园林绿化等，进一步促进了水资源的节约和循环利用。^[2]政策针对年径流总量控制率等关键指标开展了硬性要求的制定工作，鉴于此，市政设计从依靠管网排放开展排水工作，转向运用渗、滞、蓄、净、用、排相结合的综合治理体系来进行雨水处理，并且雨水调蓄设施的建设也从过去的可选项，变成了如今必不可少的刚性需求。

二、雨水调蓄系统的设计理念与原则

（一）从“快排”向“蓄排结合”转变

传统市政规划秉持着“快速疏导”的理念，其目的是把城区雨水在最短的时限内开展转移工作，在海绵城市理念当中，设计逻辑转变为把蓄积以及排放相结合，并且将蓄积当作优先事项，优先于排放来开展。具体施工人员可对原有市政给排水系统进行优化，以“DN500（长26m）+DN1000（32m）+DN1350（35m）”等多规格排水管道替代原有管道，以此通过“雨污分流”规划方案，提高管道流量，增强排水能力。^[3]要是在排水系统当中增设调蓄空间，那就可以把径流峰值的显现时间推迟，并且削减它的流量，这样就能缓解下游管网以及水体的负荷，城市海绵体的功能进行了恢复，这主要是因为对水文规律给予了尊重。

（二）灰绿结合的系统治理

灰色设施拥有明确的功能，然而在生态弹性方面有所欠缺，像调蓄池以及泵站就是典型的例子；绿色设施，像雨水花园等，有着明显的生态效益，不过调蓄能力方面有所不足，设计原则需要把灰色设施以及绿色设施进行融合，让绿色设施去处理中小型降雨工作，来实现净化以及渗透方面的作用；那么在极端暴雨期间，灰色设施是可以提供安全保障的。

（三）全过程控制

雨水调蓄系统开展构建工作的思路需要超越末端去处理相关工作，应当把它融合到降雨产汇流的完整链条当中，源头减排设施去开展削减径流生成的工作，中途转输设施会延缓径流汇集的进程，末端调蓄设施则会对超量径流进行最终管控，这样就能达成从发端直至终端的全流程调控。

三、市政雨水调蓄系统的技术架构

（一）源头分散式调蓄设施

透水铺装对地面结构进行调整，让雨水得以渗入路基，级配碎石层通常会被运用到基层当中，它的孔隙率比较高，可以当作临时性的地下储水空间。渗透式雨水收集是海绵城市理念下市政

园林低影响开发（LID）的核心技术路径，其通过增强土壤入渗能力促进雨水回归自然水文循环。^[4]这样的设计既削减了地表径流，还对地下水开展了补给工作。下沉式绿地以及生物滞留带凭借降低绿地的高程，让它低于周边的道路或者广场，来承接周边的径流雨水，植物根系以及土壤介质会把径流进行吸附并且过滤，去处理清除悬浮物以及污染物的工作，同时土壤孔隙会把雨水滞留。

（二）中途转输型调蓄设施

把道路两侧的混凝土矩形沟给取代了的是植草沟，植被覆盖在它的底部，在输送雨水的时候，借助植被阻尼来使流速减缓，并且促进雨水渗透，来实现中途调蓄以及净化。在路基设计中，采用透水性材料优化路基层结构，使用透水混凝土或透水沥青替代传统硬化路面，能够依托孔隙结构形成垂直渗透通道，在下方铺设级配碎石层和砂垫层作为导水缓冲带，有效降低雨水径流系数，提高雨水入渗率。在设计路基时，依据地形动态合理优化路基坡度和排水路径，在低洼区域嵌入模块化蓄水单元，通过重力流收集过量雨水。^[5]在开展管网设计工作时，把管径与坡度进行优化，或者选用大口径管材，就可以在非满流状态当中，借助管道空余容积来实现调蓄，进而削减峰值流量。

（三）末端集中式调蓄设施

地下调蓄池建造于公园广场绿地的下面，暴雨的时候，超出管网输送能力的雨水会通过进水堰格栅冲洗设备来进行暂存，等雨停或者管网负荷降低以后再把雨水排出，泵站进行提升之后，污水会被送往处理厂以及自然水域。调蓄公园以及景观水体，把雨水调蓄功能和城市景观营造开展结合工作。调蓄公园以及景观水体，把雨水调蓄功能和城市景观营造开展结合工作，自然形成的洼地或者人工开挖出来的水体，平常会当作景观水面来用，暴雨的时候就会用作调蓄库容。城市环境品质得到了提升，并且土地资源也被节约了。

四、工程应用实践

（一）项目概况与难点分析

这个工程是坐落在江南某新城滨水核心区的，其总体规划所占地大约是八十公顷，这片地带在过去是工业厂区以及老旧居民区，它的地势相对比较低洼，并且地下水位也偏高，这个区域的排水管网所采用的标准比较低，雨污混流的现象十分普遍，在汛期遇到暴雨的时候，积水点经常出现，初期的雨水直接排放到河道当中，对周边水体造成的污染极为严重。高密度建成区当中的用地比较紧张，开展大型调蓄池的建设工作会面临难以腾挪独立用地的困境；滨水地带需要开展兼顾防洪排涝以及生态景观平衡的工作。

（二）系统设计策略

（1）源头减排：分散式微型调蓄设施

在居住区以及商业地块的内部，把透水铺装进行大面积的推广，透水混凝土以及透水砖被当作材料来使用，铺设在人行道、停车场以及商业广场。雨水渗透设施是海绵城市建设的重要组成部分，它能有效地将雨水渗透到地下，补充地下水资源，同时减少地表径流，缓解城市内涝问题。^[6]在基层开展级配碎石盲管的设置工作，让迅速形成的地表径流得以转化为地下蓄存。

（2）中途转输：生态植草沟替代传统管沟

市政道路两侧，开展了将传统混凝土路缘石排水沟替换成生

态植草沟设计的工作，在城市环境当中起到改善和美化作用的重要载体就是绿化带，所以在开展海绵城市给排水设计的时候要对绿化带予以足够的重视。^[7]植草沟的沟底开展了砾石的铺设工作，表层则进行了耐淹草本植物的栽种，路缘石开口会把路面径流引导到植草沟当中，在重力输送过程当中，水流受到植物的阻滞，汇流时间得以延缓，并且来实现渗滤净化。传统管网的铺设长度得以实现缩减，道路景观的生态特性得到了提升。

（3）末端调蓄：多功能复合型调蓄公园

在城市更新进程当中，会把废弃边角地于区域最低点进行改造，从而形成拥有调蓄功能的多功能公园。地面区域被规划成开放型休闲公园，把雨水花园以及观赏水景融入其中，日常开展服务公众休憩的工作。在地下区域当中，开展了钢筋混凝土调蓄池的构建工作，智能截污旋流器在调蓄池进水端开展发挥作用的工作。在小雨天气当中，雨水会借助景观水体系统来实现调蓄以及下渗；暴雨倾盆而下，超出了管网输送极限的雨水会涌入到地下调蓄池当中，雨停之后，潜水泵会把存蓄的雨水进行提升，一部分进入景观水系开展循环，另一部分排入河道，这样就得以实现从日常到应急的功能转换。防洪排涝，是保障城市安全性的基础，而海绵城市建设理念，能在城市给排水建设中增设透水铺装设施与生态沟渠设施，确保雨水得到及时分散与存储。^[8]

（三）实施效果

项目竣工并投入运行之后，成功去应对了汛期当中多次强降雨的检验，积水点会从这个区域彻底开展消失的过程，城市内涝的景象也不会再出现，外排水水质监测数据显示，它的质量得到了明显改善，黑臭水体的潜在风险已经没有了。地下调蓄池以及地上公园开展建设工作后，有效地去处理了传统调蓄设施存在的占地面积广、容易引发邻避冲突的难题，同时极大程度上带动了周边区域的土地增值以及居民生活环境的改善。

五、应用实践策略与难点解析

（一）用地受限条件下的空间复合利用

城市建成区的密度比较高，想要找到独立的调蓄用地会比较困难，在实践当中，空间复合利用策略经常会被选用，把城市道路下方的空间运用来开展调蓄池的布置工作；体育公园规划成可淹没绿地，平常供市民开展休闲娱乐活动，暴雨的时候就当作临时蓄水用来使用。合理规划雨水管渠系统，因势制宜，建设下洼

绿地、植草沟，综合利用天然水体建设水体储蓄设施，实现雨水速排设施及海绵设施，协同实现城市防洪排涝的调节、排放。^[9]设施设计需要兼顾到耐淹性能、排水效率以及淤泥清除通路。

（二）初期雨水污染的控制策略

雨水调蓄工作需要同时兼顾水质以及水量方面，初期雨水对路面进行冲刷，污染物会跟着进入水体，要是直接排放，那就会引发严重的污染问题，雨洪调蓄设施的建设显得尤为重要，这不仅可以保障城市的水资源安全，还可以有效地防止城市内涝和水质污染。^[10]预处理环节经常把“截污挂篮”以及“旋流沉砂”等技术手段当作工具来使用，在调蓄池进水位置开展初期雨水截流管道的布设工作，污染程度较高的初期雨水会借助这个管道导入污水管网，相对洁净的后续雨水则进入调蓄池进行贮存或者外排，蓄清排污的机制实现了建立。

（三）运行维护的长效机制

要是调蓄系统想要长期有效运行，那么开展运维管理工作就显得至关重要了，实践当中要进行智慧监控系统的构建工作，马上对雨量、水位以及流速进行观测，来实现闸泵的自主调控，绿色设施容易出现堵塞的情况，需要定期开展介质层的更换工作，并且要补种植物；地下调蓄池需要进行自动冲洗装置的配置，这样做是为了防范底部淤泥堆积而引发有害气体。

六、结束语

海绵城市理念引导着市政雨水调蓄系统开展设计工作，使得从孤立工程思维到生态工程思维的转型得以实现，源头分散设施、中途转输设施以及末端集中设施，共同开展构成一个有机整体的工作，超越了管道以及泵站简单叠加的范畴。该系统凭借渗、滞、蓄、净、用、排这些举措来开展协同运作，有效地缓解了城市内涝方面的压力，提高了排水防涝的标准，同时还对面源污染进行控制并且补充了地下水资源城市微气候的调节功能得以彰显，也就是这种调节功能得到了体现。未来市政雨水调蓄设计会强化智能以及精细导向，凭借数学模型来开展设施布局的优化工作，依靠智慧水务平台来实现精准调控，在规划阶段预先开展调蓄空间的保留工作，把海绵城市构建需求融入到土地规划以及城市设计指引当中，这是来实现城市水安全以及水生态目标协同发展的关键路径。

参考文献

- [1] 鹏飞, 李诚, 宋宗武. 基于海绵城市理念的市政排水设计 [J]. 城市开发, 2025, (22): 49-51.
- [2] 俞潇豪. 海绵城市理念下市政雨水系统规划与效能提升策略 [C]// 重庆市大数据和人工智能产业协会, 重庆建筑编辑部, 重庆市建筑协会. 智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集 (二). 杭州: 萧豪建设有限公司, 2025: 663-666. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.026639.
- [3] 黄蓉. 海绵城市理念下市政给排水施工技术 [J]. 城市建设, 2025, (09): 32-34. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.026840.
- [4] 李小攀. 海绵城市理念下市政园林雨水收集与景观融合路径 [C]// 重庆市大数据和人工智能产业协会, 重庆建筑编辑部, 重庆市建筑协会. 智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集 (二). 重庆: 佳施乐节能科技有限公司, 2025: 663-666. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.026639.
- [5] 杨成慰, 郭玉琴, 兰千, 等. 基于海绵城市理念的市政给排水设计优化研究 [J]. 中国住宅设施, 2025, (07): 66-68.
- [6] 刘哲彦. 海绵城市理念下市政道路给排水设计分析 [J]. 新城建科技, 2024, 33(08): 101-103.
- [7] 胡云春. 海绵城市理念下市政道路给排水设计中的应用分析 [J]. 居业, 2023, (07): 100-102.
- [8] 庄永术. 结合海绵城市理念的市政给排水设计研究 [C]// 江西省工程师联合会. 第二届智能工程与经济建设学术研讨会论文集 (三). 海南: 水务集团有限公司, 2025: 783-786. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.035502.
- [9] 张亚萍, 张扬. 基于海绵城市理念市政雨水系统生命周期各阶段问题研究及建议 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (14): 158-160. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202414053.
- [10] 李清. 市政道路给排水设计中“海绵城市”理念的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (27): 193-195. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202327065.

基于岭南地域特征的商业综合体绿色设计策略研究 ——以佛山地区实践为例

陈美莹

佛山市三水西江发展投资有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ADA.2026010017

摘 要 : 在“双碳”目标与消费升级的双重背景下,商业综合体作为高能耗公共建筑类型,其绿色设计与地域文化表达成为学界与业界共同关注的焦点。本文立足岭南地区独特的气候条件与传统文化,提出“地域技术响应”的设计观,即绿色设计应植根于本土气候智慧与文化基因。通过佛山岭南天地、樵岭国际商业中心、白坭镇南部商业综合体三个项目的实践分析,系统探讨了岭南建筑文化元素的现代转译路径、被动式节能技术的设计应用,以期为岭南地区同类商业综合体设计提供参考。

关 键 词 : 商业综合体; 岭南建筑; 地域性表达; 被动式节能

Research on Green Design Strategies for Commercial Complexes Based on Lingnan Regional Characteristics — A Case Study of Practices in Foshan

Chen Meiyang

Foshan Sanshui Xijiang Development Investment Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract : Against the backdrop of the "dual carbon" goals and consumption upgrading, commercial complexes, as a type of high-energy-consuming public building, have become a focal point of attention in both academic and industry circles for their green design and regional cultural expression. Based on the unique climatic conditions and cultural traditions of the Lingnan region, this paper proposes a design philosophy of "regional technological response," suggesting that green design should be rooted in local climatic wisdom and cultural heritage. Through an analysis of three projects—Foshan Lingnan Tiandi, Qiaoling International Commercial Center, and the Southern Commercial Complex in Baini Town—this paper systematically explores the modern translation paths of architectural cultural elements in Lingnan and the design applications of passive energy-saving technologies, aiming to provide references for the design of similar commercial complexes in the Lingnan region.

Keywords : commercial complex; Lingnan architecture; regional expression; passive energy saving

引言

岭南地区夏热冬暖、潮湿多雨,传统建筑形成了以冷巷、天井、骑楼为代表的空间原型。当代商业综合体作为城市公共生活的重要载体,是展现地域文化与践行绿色发展理念的关键场所。笔者长期从事建筑设计及管理工作,在实践中深切体会到:真正的绿色设计应当“向传统学习”,将岭南先民的生态智慧与现代技术手段相结合,实现文化传承与节能降耗的双重目标。基于此,本文以佛山地区三个商业综合体为研究对象,从地域性、节能方面展开探讨。

随着粤港澳大湾区战略的深入推进,佛山作为珠三角核心城市之一,商业地产呈现快速发展态势。据不完全统计,近五年来佛山新增商业综合体超过30个,总体量突破500万平方米。2020年,我国明确提出“3060双碳”目标,建筑领域作为碳排放的重要来源,面临严峻的节能降碳压力,如何在保障商业空间品质的前提下降低建筑能耗,成为设计必须回应的核心议题。

绿色建筑技术在商业综合体中的应用研究,近年来取得显著进展。从围护结构热工性能提升,到高效设备系统应用,再到可再生能源利用,技术路径日趋成熟。然而,当前研究多聚焦于技术参数的优化,与地域气候、文化特征的结合研究相对薄弱。漳州两个绿色低碳试点项目的经验表明,“被动优先、主动优化”的技术路径,结合气候适应性设计,可实现建筑本体节能率22.50%、综合节能率53.37%的显著成效。

一、研究背景

（一）佛山地区既有商业项目调研分析

笔者对佛山地区已建成的多个商业综合体进行了初步调研，发现项目在绿色技术与地域表达的结合上存在明显差异：岭南天地在文化传承方面成效显著，但在绿色技术应用上以建筑改造为主，系统性不足；新建项目如王府井紫薇港在生态景观营造上投入较大，但与传统岭南生态智慧的关联较弱。这为本研究提供了现实切入点。本文以笔者参与设计或管理的三个佛山地区大型商业综合体为主要研究对象：

佛山岭南天地：位于禅城区祖庙东华里片区，是典型的旧城改造类商业街区项目，以岭南传统建筑的保护与活化利用著称；

西樵樵岭国际商业中心：位于南海区西樵镇，为新建区域型商业综合体；

白坭镇南部商业综合体：位于三水区白坭镇，建筑面积约11万平方米，为在建的镇级商业服务中心。

（二）研究方法

本文采用案例研究法、实地调研法、技术分析对比法，结合笔者作为设计管理者的实践经验，从“设计—管理—落地”的全过程视角展开研究。

（三）研究目的与意义

本研究旨在探索岭南地域特征与绿色设计技术的融合路径，总结佛山地区三个项目的实践经验，提炼可推广的设计策略与管理方法，为同类地区商业综合体设计提供参考。

二、岭南地域特征与商业综合体的空间转译

（一）岭南传统建筑的典型特征

岭南建筑作为我国重要的建筑流派，具有鲜明的地域特征：镬耳山墙以其独特的轮廓成为视觉标识；冷巷空间窄而高，起到导风降温的作用；天井院落组织通风采光，形成微气候调节；骑楼沿街连续，为行人提供遮阳避雨的灰空间。

（二）岭南建筑的气候应对智慧

岭南地区夏热冬暖、潮湿多雨，传统建筑形成了以“遮阳、通风、隔热、防潮”为核心的应对策略。冷巷利用风压差引导气流，天井形成热压通风，厚重的墙体与深远的挑檐减少太阳辐射得热。这些被动式设计方法，至今仍具有重要的借鉴价值。

（三）岭南街巷空间的场所精神

岭南传统街巷空间尺度亲切，檐下空间、青石板路、榕树荫蔽共同构成具有归属感的公共空间。这种“可停留、可交往”的空间特质，正是当代商业空间所追求的场所精神。广州聚龙湾太古里项目对基地内百年古榕的完整保留，使榕树成为空间主角，延续了市民树下纳凉的公共传统。

佛山岭南天地位于禅城区祖庙东华里片区，是佛山保存最完整的历史街区之一。片区内的镬耳大屋、青砖灰塑、麻石街巷，承载着岭南传统居住文化的记忆。然而，历史建筑年久失修，基础设施落后，如何在保护与开发之间取得平衡，是项目面临的首要挑战。

岭南天地商业项目采用“修旧如旧、保留肌理、活化功能”的策略。对于文保建筑，采用传统工艺进行修缮，保留原有形制

与材料；对于一般历史建筑，在保持风貌的前提下进行结构加固和功能置换。笔者在参与项目管理过程中，协调解决的最大难点在于文保要求与商业需求的平衡：一方面要满足文物保护部门对建筑原真性的要求，另一方面要满足商业运营对空间尺度、设备安装的需求。通过多次现场协调会，最终在保护与利用之间找到了可行方案。

项目保留了东华里原有“鱼骨状”街巷肌理，八条古巷被重新组织为商业动线。在古巷两侧植入新的商业功能，青砖墙成为店铺背景，麻石路引导人流穿行，传统街巷尺度与现代商业界面形成对话。岭南天地获得了LEED-ND正式版金级预认证，不仅因为其在硬件上的低碳设计，更可贵的是保留了项目所在地原有的历史文化遗产——项目重新利用了原有地块20%的历史建筑存量。

（四）现代材料与传统意象的融合

在樵岭国际商业中心、白坭镇南部商业综合体等新建项目中，岭南元素的表达不再是“复制”，而是“转译”。通过现代材料与传统意象的融合，实现地域文化的当代表达。例如，在白坭南部商业综合体项目中，采用穿孔铝板作为表皮材料，结合岭南龙舟元素，在形成标志性外立面的同时，兼具遮阳功能；樵岭国际商业中心参考冷巷的空间原型转化为贯通南北的通风廊道，结合现代防火分区要求进行优化。

通过以上三个项目的实践，笔者认识到：地域性表达的核心不在于形式模仿，而在于场所精神的延续。岭南天地的成功，在于延续了街巷生活的烟火气；新建项目若要达到类似效果，需要从空间体验、环境品质入手，而非简单的符号拼贴。

三、基于被动式优先的绿色设计策略

绿色建筑设计遵循“被动优先、主动优化、可再生能源补充”的技术路径。被动式设计通过建筑自身的形态、朝向、构造，实现节能降耗；主动式设计依托高效设备系统提升能效；可再生能源利用则进一步降低化石能源消耗。这一原则在漳州市试点综合体项目中得到充分验证——通过被动式设计实现建筑本体节能率22.50%。

商业综合体适用的被动式节能技术主要包括：高性能围护结构（保温隔热墙体、Low-E中空玻璃）、自然通风组织（风压通风、热压通风）、自然采光利用（中庭采光、导光管）、外遮阳系统（水平遮阳、垂直遮阳、综合遮阳）等。商业综合体能耗以空调、照明为主，两者合计占比超过60%。因此，降低空调负荷和照明能耗是节能设计的重点。通过被动式设计减少室内得热、增加自然通风、利用自然采光，可显著降低空调和照明能耗需求。

白坭镇南部商业综合体在设计阶段，笔者作为设计管理者，重点协调了自然采光系统的设计与实施。项目核心中庭采用顶部采光，通过天窗位置、形状的优化，实现全年均匀的采光效果。天窗设置可调遮阳百叶，夏季阻挡直射光、冬季允许阳光进入，兼顾采光与得热控制。除中庭外，项目在边庭、走廊端部等位置设置光庭，将自然光引入进深较大的区域。商业内街两侧采用高侧窗，配合反光板将光线反射至下层空间。这一设计借鉴了岭南传统天井的采光原理，通过现代技术手段实现量化控制。项目采

用日光感应控制系统,根据自然光强度自动调节人工照明亮度,在保障照度均匀性的同时,实现节能运行。笔者在施工图审查阶段,重点协调了照明控制系统与建筑方案的衔接,确保传感器位置与天窗布局相匹配。

樵岭国际商业中心位于西樵镇核心区,夏季炎热、太阳辐射强烈。项目采用综合遮阳策略:南立面设置水平遮阳挑檐,东西立面采用垂直遮阳构件,西南转角处结合造型设置格构式遮阳。遮阳构件同时作为立面造型元素,形成富有韵律的建筑表情。项目借鉴岭南冷巷原理,在建筑内部设置贯通南北的通风廊道。廊道宽度与高度比例控制在1:3至1:5之间,利用风压差引导气流。廊道两侧设置可开启扇,在过渡季节可完全依靠自然通风满足舒适要求。在设计阶段,委托专业机构进行了风环境模拟,验证并优化通风效果。模拟结果显示,通风廊道可将室内平均风速提升0.3–0.5m/s,有效改善热舒适度。儋州环湾新区邻里中心同样采用了类似设计——通过合理的建筑朝向、宽大的挑檐以及巧妙设置的通风廊道,让自然风顺畅地在建筑内部流动。

作为设计管理者,笔者在项目实施过程中重点把控两个环节:一是确保通风廊道在后续深化设计中不被阻断,在樵岭国际这样的商业体中,通风廊道不仅仅是简单的“开窗通风”,更多涉及中庭拔风井、后勤区排烟通道以及商业内街的风压通风路径。在项目地下室或商业裙楼的深化阶段,机电管线(尤其是截面巨大的新风管和排烟管)、消防喷淋主管以及桥架往往密集交织可能会被新增加的电气桥架完全堵死。项目通过各专业在BIM模型中,将通风廊道区域设定为“不可占用区”(类似于消防通道的概念)。坚持“风路优先”原则,要求机电专业绕行或采用联合支架向上翻越,而非横向阻断,确保商业内街能利用风压形成“穿堂风”,有效稀释室内异味和热气,降低了机械通风的负荷,体现了绿色设计在商业项目中的真正落地。

二是协调幕墙专业与暖通专业,实现开启窗的位置、尺寸与通风需求相匹配;商业综合体的幕墙往往是“效果优先”,追求大面积的玻璃和精致的线条,而暖通专业则追求“功能优先”,关注有效通风面积和气流组织。两者在樵岭国际项目中极易产生激烈碰撞。产生位置错位、尺寸矛盾等多种冲突。项目深化阶段,现场模拟不同开启方案,针对通风需求大的区域,采用了“地弹簧门配合隐蔽式通风百叶”或“大跨度上悬窗”。保证了开启扇关闭时外立面线条的纯粹性,又确保了开启后能有效捕捉室外主导风向,实现了美学与功能在厘米级的精确匹配。

被动式设计的本质是“向传统学习”。岭南传统建筑中的冷巷、天井、骑楼等空间原型,蕴含着适应湿热气候的生态智慧。通过现代技术手段对传统原型进行转译和量化,可在保障空间品质的同时实现显著的节能效果。白坭南部商业综合体项目屋面预留了光伏系统安装条件,并配置空气源热泵热水系统供应公共卫

生间热水。尽管受投资限制未能大规模应用可再生能源,但为后期改造预留了条件。



樵岭国际商业中心效果图

通过三个项目的实践,笔者认识到:绿色技术与地域表达并非相互割裂,而是可以有机融合。遮阳构件同时可以成为文化符号,通风廊道可以转化为街巷空间,天窗采光可以呼应传统天井。这种“绿色即文化”的设计观,为商业综合体提供了更具整合性的解决思路。

四、结论

本文通过佛山地区三个商业综合体项目的实践分析,得出以下结论:

第一,岭南地区商业综合体的绿色设计应植根于地域气候与文化传统。岭南传统建筑中的冷巷、天井、骑楼等空间原型,既是文化符号,也是生态智慧的物质呈现,为当代绿色设计提供了原型资源。

第二,被动式优先、主动式优化是适宜的技术路径。通过自然采光、自然通风、建筑遮阳等被动式设计手段,可在保障空间品质的同时显著降低建筑能耗,实现建筑本体节能率20%以上。

第三,设计管理在技术落地中发挥关键作用。从设计意图到建成效果,需要设计管理者在多专业协调、施工配合、成本控制等环节发挥统筹作用,确保绿色设计的有效落地。

本研究存在以下不足:项目运营阶段能耗数据有待进一步跟踪,绿色设计效果需通过长期运营数据验证;绿色认证的长期效益需持续观察;受限于篇幅,技术细节未能充分展开。

展望未来,商业综合体将向更加绿色、健康、人文的方向发展。期待更多研究关注地域生态智慧的挖掘与转译,关注设计管理与技术落地的协同,关注绿色建筑运营阶段的性能验证,共同推动商业建筑的高质量发展。

参考文献

- [1] 漳州市住房和城乡建设局.漳州两个绿色低碳试点项目经验做法在全省推广[EB/OL].漳州市人民政府,2026-02-27.
- [2] 越秀商管.当WELL遇见“双碳”:越秀商管18项目获IWBI认可[EB/OL].中国发展改革报社,2025-04-29.
- [3] 友绿网.绿色社区成为房产开发新时尚 绿色生活有保障[EB/OL].友绿网.
- [4] 梁正杰,李婷婷,杨苑莹.佛山“公园式”商城成“顶流”[N].羊城晚报,2025-04-01(FA09).
- [5] 刘梦晓.儋州这座地标融入降温“小智慧”[N].海南日报,2025-06-23.
- [6] 中国产业经济信息网.响应健康中国战略!越秀商管18个项目构筑城市健康防线[EB/OL].2025-04-28.
- [7] 高敏华.禅城打造绿色可持续发展社区[N].广州日报,2022-03-28(FSA13).

室内设计中空间布局优化研究

徐伊阳

浙江工业大学工程设计集团, 浙江 杭州 310014

DOI:10.61369/ADA.2026010020

摘 要： 随着人民生活水平的提高及人们对生活环境的需求越来越多元化，室内设计成为提高生活品质以及工作效率的一种途径，空间规划作为室内设计的主要部分，对空间的功能及外观以及舒适度有着决定性的作用，本文通过对目前室内的空间布局存在的问题的研究，提出了相应的解决办法和措施，并借助具体的实例来对各类空间进行解析，最后总结出一种有效的空间布局处理方式。合理科学的空间布局可以使空间充分利用起来，同时也提升了空间给人带来的舒适体验，从而实现空间利用最大化。

关 键 词： 室内设计；空间布局；优化策略；功能性；美学

Research on the Optimization of Spatial Layout in Interior Design

Xu Yiyang

Zhejiang University of Technology Engineering Design Group, Hangzhou, Zhejiang 310014

Abstract： With the improvement of living standards and diversification of residential environment requirements, interior design has become a crucial approach to enhancing quality of life and work efficiency. Spatial layout, as the core element of interior design, directly impacts functionality, aesthetics, and comfort levels. This paper analyzes spatial layout challenges in modern interior design, explores optimization strategies and methodologies, and conducts case studies across various spatial types to propose practical spatial layout optimization solutions. Scientifically designed spatial layouts can significantly improve utilization efficiency and comfort, thereby maximizing spatial functionality.

Keywords： interior design; spatial layout; optimization strategies; functionality; aesthetics

引言

对于当代的室内装修而言，空间的安排已经成为一个必须面对的问题，科学技术的进步以及人们对于生活的高标准都使得传统空间规划理念已经不能够胜任当下时代的需求，而空间的合理化布置不仅在于美观的展现更在于空间功用最大化的利用以及舒适性的体现，虽然目前有许多针对空间布置的优化方案，但是大部分都是以理论为主缺乏实际的操作性，本文在参考了最新的一些室内设计思想基础上提出了一种适用于当今社会的空间布置方案并通过实例证明了方案的有效性以及它的优点。

一、空间布局优化的基本原则与目标

（一）空间利用率的提升

空间的有效利用是室内设计里改善空间组织的一个重要目的。有效空间的合理运用不仅可以节省空间，更能使空间发挥出最大的作用。通过对空间大小及形状准确的计算以及分析，设计师们即使在不扩大面积的前提下也可以使空间达到最优化的应用，比如在小户型房屋或者办公室内，设计师巧妙的设计了多用途家具或改变可调节空间等设计方法从而让空间可以灵活的变化以适应不同的要求，同时良好的收纳规划也能够大大提升空间利用率让每一个角落都可以被利用起来^[1]。

（二）功能分区与流线设计

功能区划分以及动线规划是完善空间结构的两个重要因素。功能区分区可以保证不同的使用空间互不干扰而又合理分布，使

空间具有更强的空间灵活性及使用的方便性。在进行功能分区时，要依据使用者的不同需求对空间进行分区并保证各个分区之间相互协调的关系不能产生相互影响又或者过于紧凑的状况，如住宅中的卧室、厨房、起居室应彼此分离，不出现互相重叠的现象。另外还要注意动线规划的问题，动线规划即是对该空间中人行走路径的设计，它可以引导人们在空间中的移动轨迹，保证空间中的行为活动更加流畅自如。通过对流线设计进行改进来消除不必要的行走及空间的浪费以提升工作以及生活环境的质量感。

（三）人性化与舒适性考虑

人本性和温馨度是空间规划时不可忽略的因素，人本性就是要考虑人的行走习惯，心理感受以及身体的感受，而温馨度也决定了人们对于这个空间的感受的好坏，在房屋的设计过程中，温馨度体现在居室内的温度，光照，空气对流这些方面，良好的布局会使得每个区域都有一个比较好的舒适环境，比如卧室不可以

做得很局促或者压抑，有足够的采光和新鲜空气会使生活更加舒心；人本性的设计也应该注意一些空间的小细节如设置方便老人或者体弱者的走道家具体或者是根据家人的需要来设置各个房间的功能。在人文化的考虑下，空间排布除了满足最基本的使用需求之外还能够提升人们的生活品质使得我们的生活环境更加的美好宜居^[2]。

二、空间布局优化的理论基础

（一）空间感知与行为学

空间知觉与行为学为我们认识人们如何进行着在空间中的行动以及对于空间的感受提供了重要的理论参考。人的空间知觉并不只是一种视觉上的感觉，还包含着接触的感觉、声音的感觉、气味的感觉等等多种多样的知觉。人在对空间进行知觉的时候，会在下意识里评判空间的开敞程度，舒适度，和是否满足自己的需要。在进行空间设计时，我们要注重空间知觉的规则，营造良好的空间氛围，使空间具有更好的功能作用和使用效果，在此过程中可以通过改变空间的空间序列、尺度来达到改善空间感的目的，防止出现对空间压迫或者局促的感觉让空间变得更加舒适。同时行为学理论阐述人在不同的空间内所做出的行为规律及行为流动，便于设计师更好的预估人的行走路线以及空间布局的设计。空间感知与行为学理论为空间的布局设计提供理论支持，使设计师能从使用者的心理动机以及行为特点出发来进行空间的布局安排^[3]。

（二）空间美学与设计元素

空间美感、设计要素是空间规划设计的主体构成部分，空间美感不单是空间形象美感，还包括空间与人的感情联系。设计要素包含颜色、光、材料、尺度以及对称和不对称等等，这些都依靠对于视觉、触觉等刺激的感觉来改变人对于整个空间的感觉。科学的空间美感设计可以强化空间的魅力和舒适性从而提高空间的使用价值，在进行空间规划中，颜色以及光的应用最为重要，多种色彩搭配及光源选择都会产生不一样的空间感给使用者带来不一样的心理体验感受，比如浅色会让狭小的空间有放大作用，温暖的色彩也会让人心生亲切之意。但自然光线的加入会增加空间的舒适度，合理的装修装饰可以让空间实用的同时也兼具美感，给人们带来舒适的环境感受。

（三）结构与空间的互动关系

结构与空间的关系也是影响空间组织优化的重要方面之一。建筑结构决定着空间的基本构成形式；而空间组织是结构与功能的有效整合。空间组织优化的第一步就是明确并利用好建筑物本身的结构特点，使空间具有良好的开放性和流动性以及功能分区的合理性。结构和空间的关系并不单单是墙体、立柱等形式上的构造合理搭配的问题，也包含了对空间内部各个功能区之间的相互融合的设计问题，在此基础上进行结构的设计可以让设计师去除掉空间存在的多余的阻碍或者死角，从而使空间更加顺畅。比如开放式的设计或者是半开放式的设计都可以增加空间的通透性，使各个功能区分区之间更紧密地连接在一起。另外，结构与空间的联系还在于对空

间规模的控制，适当的空间大小可以更好的防止空间压迫或者空间过大，提升空间使用的舒适性和功能效果^[4]。

三、不同空间类型的布局优化策略

（一）居住空间的布局优化

居住空间布局改善的重点在于怎样使有限的空间产生更大的居住舒适性和实用性的问题。随着生活质量的提升和居住的需要越来越丰富化，居住空间已不再是简单的用来安放人的地方了，它是家人生活的共同空间，是人们休息、娱乐及交流的地方。在对居住空间进行改造的同时，首先需要考虑的就是空间动线的设置问题，使各个功能间之间关系明确顺畅，减少无谓的空间损耗。另外，使用多功能家具，可变式间隔以及储物柜等方式可以大大增加空间利用率。现在的居住空间都趋向开放式的格局设计，尤其是客餐厅的设计方面，降低或取消间隔，形成开阔的空间感。照明以及采光设计是居住空间改善的一个重要方面，建筑师应当充分利用好自然光源、人工光源等，使居住环境更加舒服健康^[5]。

（二）商业空间的功能性布局

而商业空间的设计优化主要针对的是提高空间使用价值以及顾客的感受度。商铺、餐厅、展厅等各种形态的商业空间有不同的功能性，所以设计时要针对各自的业态来调整，商铺的设计重点是要让客户有更好的消费体验，运用适当的路线规划使消费者可以有方向性的移动，增加产品的可见性和购买兴趣点，设计师一般会采用展示柜、标牌、照明等方式营造出能够引起消费者注意的购物氛围；在餐厅设计方面主要是为了适应不同时段、不同类型人群的不同需求，比如设置安静的用餐空间或者适合聚会型的包间，合理布局厨房与餐位的距离，使得上菜迅速快捷。对商业场所进行有效的空间规划，能有效提高其利用率的同时提高消费者的满意度以及再次光顾的可能性^[6]。

（三）办公空间的高效布局设计

办公室空间的有效布置规划需要依据工作的类型及工作人员的要求来进行合理分配，在当今的新型办公室模式下，流动办公、协作空间还有分布式办公的概念已越来越多地运用到了办公场所当中了。有效的办公室空间布局应该考虑不同团队间相互配合协作的要求同时也要顾及到每一个人员的工作状态，首先就是要平衡好开放办公区与私人空间的关系问题，开放式的办公环境能够促进相互间的交流但是不利于一些想要静心做事情的人们，他们的专注度会因此而大打折扣。办公室空间的有效规划更需注重公共设施的布置，比如休闲区、饮水间、打印处等等，这些场所一定要方便快捷，不要耽误太多时间。而在现代化办公室内智能型的空间布局方式越来越流行，智能灯光控制、空调调节以及可移动设备等的设计都让公司的职员可以享受到更好的办公体验。

四、空间布局优化中的创新应用

（一）智能化空间布局设计

智能化空间规划设计是目前的空间规划改进的一种新趋势，

主要是利用高新技术来进行空间的功能性、便利性和舒适性的升级。智能化空间规划并不是对原有空间功能的加强，而是借助于物联网及人工智能技术使空间具备自动调节的能力。例如：智能家居系统可以根据居住者的活动习惯自动调节室内温度、光线、拉帘等等，给人们带来更好的居住感受，在办公室里面智能化空间规划可以借助传感器、数据分析对空气情况，照明状况，空间利用率进行改进，让工作空间更有效率并且舒畅一些。如谷歌公司的“Googleplex”办公楼则对智能空间进行了规划设计，在房间内安装了能够检测会议室占用状态以及调节室内温湿度、灯光等设备来提升办公效率降低不必要的能源消耗水平；而智能空间的布置，也使得该建筑在空间使用率上得到了很大的增加并且大大改善了使用者的感受及其工作环境^[7]。

（二）环境友好型布局方案

环境友好型布置方案以对自然环境的爱护及自然资源合理利用为主旨，在空间的设计上关注对环境的保护和资源的有效使用。随着人们越来越重视环境保护，越来越多的空间设计也把重点放在了绿色建筑、可持续建设方面。比如通过应用节能建材、绿色能源设施、循环利用的设计方式等，使环境友好型布置不但节省了建筑本身的能源开支，而且提高了空间内部环境质量。如英国伦敦的“生态大厦”（The Edge），就很好地体现了绿色办公空间设计理念。这栋大楼运用了全方位的可持续设计，使用太阳能、雨水收集装置等来大幅度降低能源消耗。从室内布局方面来讲，设计师科学设计进来的自然光源减少人工灯光使用也减少了能量耗费。

（三）多功能空间的创新设计

多用途空间的设计就是对传统的单用途空间的一种突破，在空间的划分及用途上可以更加自由的变化，使空间利用率更高并且更具有灵活性，可以满足不同的活动需求的变化，更符合现代

社会的生活与工作需求的变化。在家装领域中设计师会采用可调节家具及移动式隔断、开放式布局等方式来实现空间的变化，如有些小户型的装修会设置可移动的墙体或者家具，可以做到卧室可以变作书房或者是会议室等用途，而商场的空间也会有可调节的空间，比如阿里巴巴公司的总部办公区（阿里巴巴 Xixi Campus）。而这一座楼体采用开放式的办公室、休息区及会议场所相结合的方式使员工之间交流更加频繁，同事间的合作也会随之提升，同时这样的布局也使得整个建筑空间得到了最大化地利用。并且这个设计也是符合了现在办公环境中的休闲需求，在此处设置有多功能活动专区以及娱乐场所等，让工作人员们在工作之余可以得到很好的放松，从而提高工作效率及思维活跃度^[8]。见下表1。

表1 创新空间布局设计案例分析

案例名称	位置	设计亮点	应用领域
Googleplex	美国加利福尼亚	智能化办公空间，通过传感器优化环境	办公空间
The Edge	英国伦敦	环境友好型设计，太阳能和雨水回收系统	办公建筑
Alibaba Xixi	中国杭州	多功能办公空间，灵活空间划分	办公空间

五、结语

从空间布局研究探讨中我们能够得出智能化、绿色环保、复合式的设计对提高空间利用率及舒适性的巨大影响力。良好的空间布局不仅使功能得到增强，而且符合人们对心理上的感受以及生活品质的要求，由于科技的发展以及人类环境保护的概念加强，在以后的空间设计当中势必会朝着智能化、绿色化发展，空间布局的改进也会一直促进着建筑和室内设计的进步。

参考文献

[1]王超.小户型住宅室内设计的功能性与美观性的协调之道研究[J].居舍,2025,(33):5-7.
[2]郭涛,张猛.建筑室内装饰细部设计对空间体验的影响研究[J].居舍,2025,(28):72-74.
[3]刘怡萌,尤丽鑫.基于人本设计理念的绿色建筑室内装饰与空间布局优化研究[J].佛山陶瓷,2025,35(09):102-104.
[4]尹光.建筑室内环境艺术设计中人性化理念的应用研究[C]//中国智慧工程研究会.2025智慧设计与建造经验交流会论文集.江铃汽车集团江西工程建设有限公司,2025:273-275.
[5]刘瑞雯.情感需求差异下高校职工过渡性住房室内设计研究[D].中国矿业大学,2025.
[6]郝帅康,马海良.关于人居环境舒适的住宅室内装饰装修的设计研究[J].住宅与房地产,2026,(04):92-94.
[7]范文婧.室内设计中的空间布局与功能性优化策略研究[J].大观,2024,(06):84-86.
[8]张欣钰.室内装饰设计中的空间规划与功能布局优化研究[J].大观,2024,(06):87-89.

湘南地区明清村落壁画中的艺术本体与文化认同关系

谭媛元

湖南第一师范学院, 湖南 长沙 410205

DOI:10.61369/ADA.2026010025

摘 要 : 目前对湘南地区古村落壁画缺少系统研究与广泛关注。本文通过结构性的研究湘南多民族、多文化互嵌状态, 挖掘其对传统文化的继承发扬与特殊的个性发展优势, 合理引导价值、功能层面的多元多维多彩发展, 讨论构建地域文化传延与保护机制的重要举措, 重构文化认同与传播路径。这不仅为明清壁画艺术提供可贵的具体物证, 充分展示其独特的地域文化特色与民族艺术个性, 丰富湖湘文化研究体系, 重塑古村落壁画在中国壁画史研究的意义, 而且为审美再造、家庭教育与基层社会治理提供传统智慧资源, 也为铸牢中华民族共同体提供参考依据与实施策略。

关 键 词 : 湘南地区; 古村落壁画; 文化认同; 互嵌

The Relationship Between Artistic Ontology and Cultural Identity in the Murals of Ming and Qing Dynasties Villages in the Xiangnan Region

Tan Yuanyuan

Hunan First Normal University, Changsha, Hunan 410205

Abstract : Currently, there is a lack of systematic research and widespread attention on the murals in ancient villages in the Xiangnan region. This paper explores the multi-ethnic and multi-cultural interwoven state in Xiangnan through structural research, delving into its inheritance and promotion of traditional culture, as well as its unique advantages in individual development. It reasonably guides the diverse and multidimensional development at the levels of value and function, discusses important measures for constructing mechanisms for the preservation and transmission of regional culture, and reconstructs paths for cultural identity and dissemination. This not only provides valuable concrete evidence for the art of Ming and Qing murals, fully showcasing their unique regional cultural characteristics and ethnic artistic individuality, enriching the research system of Hunan culture, and reshaping the significance of ancient village murals in the study of Chinese mural history, but also offers traditional wisdom resources for aesthetic recreation, family education, and grassroots social governance, as well as providing reference and implementation strategies for forging a strong sense of community for the Chinese nation.

Keywords : Xiangnan region; ancient village murals; cultural identity; mutual embedding

湘南地区地处湘粤桂赣交界处, 明清以来文化沉淀深厚, 移民多, 少数民族聚居, 瑶、壮等少数民族文化与汉族文化互相影响, 中原文化、客家文化、南粤文化交融。古道纵横, 潇贺古道、湘粤古道等古道作为文化遗产廊道沟通湘南永州道县至广西贺州临贺地区, 也是南岭民族走廊中的重要一段, 成为沟通湘、桂、粤、赣等地的民族迁徙南下北上的通道。因湘南地区古村落壁画数量多、分布零散或被毁坏等原因造成部分区域资料记述模糊、图像缺乏。笔者通过前期走访湘南地区郴州和永州的16个传统村落, 在湘南地区及古道沿线的周边村落进行田野调查与记录对比分析, 整理归纳明清文献、画史村史、地方志、图像、题款、粉本与手稿等资料, 开展民族志与田野调查, 包括实地绘制、口述记载、问卷调查等, 实施民族志观察并访谈有关管理者与居住者, 梳理了湘南地区大量的明清村落壁画遗存和文化空间遗产, 希望通过丰富明清村落建筑壁画的整体性研究, 促进社会各界对其加大认识与保护, 不仅为当下地域文化与村落文化研究提供新思路, 也为铸牢中华民族共同体与文化认同建构提供路径。

基金项目: 本文系教育部人文社会科学项目“湘南地区明清村落壁画的多元文化互嵌与文化认同研究”(项目编号: 22YJC760088)研究成果。

作者简介: 谭媛元, 艺术学博士, 湖南第一师范学院副教授。

一、湘南古村落壁画的视觉图像隐喻与文化内核

古村落壁画作为中国封建社会时期农村社会文化艺术的产物，具有文化与文物价值，是古村落文化的重要组成部分。在中国传统文化的发展历程中，村落文化不仅仅是农耕文化这一种源流原生文化，也是延伸发展的主体文化。在这些古壁画中，能够看见民众喜好与信仰充满了多元性，儒家教化、宗祀仪式、佛道神灵等均在画面中体现，各县个村落乃至各家各户又会根据自己的需求，对这种信仰与个人喜好进行结合，形成了各具特色的视觉图像隐喻特点。

根据图像学三层次的研究方法，以壁画图像的内涵为核心，分析图像志及其象征性、符号性解释，甚至于扩大研究范畴，沿着图像隐喻的脉络分析图像呈现的视觉空间，扩展到地域与文化内核圈层之上，在湘南地区及古道沿线的周边村落进行田野调查与记录对比分析，采取多维度比较研究方法，包括历时性纵向比较和共时性横向比较，历时性纵向比较以明清不同时期的时间基准进行研究，透过湘南明清村落壁画来研究特定的社会与文化土壤，结合明清湘南地区社会文化变迁、政治立场、国家权力渗透、地域经济发展、地方宗族等相关内容，从地域文化研究角度分析湘南的移民文化、人文地理、人文资源、家族宗亲观念，以文化研究来关注物与人的关系、行为规范、道德伦理与社会制度。湘南地区古村落壁画的大量遗存主要涉及到明清时期郴州和永州地区，以郴州嘉禾壁画为例，《十王图》完整呈现了地狱刑罚，有着规劝向善的观念，也是民间信仰崇拜的一种视觉形式。通过壁画的形式传达偏远地区民众地狱观念，反映出湘南民间对于中国传统宗教信仰与行为规范、道德伦理相结合。又如永州江华总管庙壁画，壁画尺寸较大，形制规整，内容多为古典名著中的传说故事和兵总管画像。永州道县寿雁镇金家寨村的金家寨上庙壁画，生动反映了湘南地区民族聚居的特性，以及当地的风俗习惯和宗教信仰。共时性横向比较方法是将湘南不同村落的壁画进行比较研究，对经过湘南古商道沿线的村落进行关联研究。能够发现湘南古村落壁画与周边地区壁画之间因为古商道、民族走廊等因素，存在各民族文化的互嵌关系，通过壁画内容的相似性，发现了在不同地域文化互融以及各族群的互动，体现出湘南地区明清村落壁画特殊性的文化空间。此外，通过对湘南不同区域的民居、宗祠等建筑壁画进行整合研究，发现湘南地区^①各区域之间存在文化艺术交流情况。湘南地区如永州水龙祠壁画（全国乃至世界唯一所见的瑶族地区大型壁画）、永州宝镜村忠烈祠的壁画（湘南地区最大的民间忠烈祠壁画）等具有特殊含义的大型祠堂壁画外，多数壁画尺幅不大，但数量众多，主要存在宗祠或居所之上，与日常生活和情趣生活形成密切关联，如永州宁远湾井镇路亭王氏宗祠壁画是以工笔重彩的戏剧壁画为主，描绘各种以庭院为背景的戏装人物，画面趣味和情调不受技法限制，看似稚拙的技法却能完美传递出趣味，这类题材也是因当时湘南地区戏剧发展兴盛，部分村落均建有戏台，百姓的娱乐生活与壁画密切联系。此外，还有一些体现出一定的文人画特性的壁画，画面内容与审美情趣均具有文人画程式特征，这也是湘南地区多元

文化的展现，既有汉瑶民族融合的水龙祠壁画，也有体现宝镜村忠烈祠壁画中体现何氏族人随湘军征战的武将出征和凯旋归来的场景，可见宗祠壁画与村落公共场所的特殊关系、民居壁画与家族环境的密切关系，使得村落壁画呈现出对人文空间的营造与伦理道德再现，以及对人性、思想与行为等精神层面的塑造。明清时期湘南地区富裕大族较多，依靠着家产和对族人文化传统的培养，宗祠、居所随处可见的壁画也体现了诗书画传承培养，同时造就了当时湘南地区思想文化的迸发，这也是明清湘军壮大与近现代湖湘名流辈出的原因之一。

二、多元文化的交互影响与文化认同

壁画艺术与文化认同关系需要整体性研究，从结构性考察艺术与社会、文化互动、意识形态等方面，阐释湘南壁画的地域性与民族性、国家介入的政治性与教化性、民间互动的隐蔽性，以构成中华民族各族群的包容并蓄、多元一体，有效避免民族文化的失忆与文化的分割、封闭和中断。

宗祠壁画中部分具有文人氣息的壁画作品体现着汉族与其他民族文化的融合；水龙祠壁画中绘制的李三娘形象以及汉族神明，如道教与瑶族民间信仰神，反映了瑶族族群对于能够带领民族奋斗的女性给予了特殊地位，也是民间交互崇拜多元融合的视觉展现，呈现出一种现实需求与情感追求多样多元化，也是各民族交往交融、区域文化与民族文化有机统一的体现，是中华民族共同体形成与筑牢的坚实基础。此外，从细节上看，村落壁画中出现的物像，有少数民族的生活所需品也有汉族常见的用品，例如水龙祠壁画中的折扇，折扇常见是在文人画或者古代文人之手，但如这幅壁画一般出现在步兵、仪仗兵等军戎形象之上，确实少见，包括壁画中出现诗句，均是汉化的体现，可见当地的文化信仰呈现出一种汉瑶融合的状态。瑶族地区类似的壁画也有很多，比如江永县的瑶族聚居区，均有类似的壁画表达。从整体的艺术表达而言，湘南壁画较多出现左图右书的视觉图式，题笔书法较为常见，其书写内容较多出现文人诗句、民间风俗民谣、习俗文化等雅趣内容，呈现一种多元文化融合、含蓄温和的特性，也是心性之学与湖湘学派治平之学的体现。再观民居壁画中的功能性纹饰图腾，作为图像符号化的形象，这些纹饰对木结构建筑有防火、神秘、隐逸的作用，部分民居的壁画不仅有戏曲传说、花鸟山水、民俗风情等常见题材，还有部分是本族群祖先故事的生动表达，具有对本族族人的教育作用。

湘南村落壁画对于湖湘传统艺术及楚文化的传承，体现在隐秘的文化特性之上，例如汝城永丰的周氏宗祠壁画，表现内容有湖湘地区的秀丽山水，外壁绘有墨龙图，古朴庄重，具有动感，祠堂内部还有多幅壁画，均是如石榴、牡丹、荷花等有着子孙繁盛、福寿绵延的人文意蕴，能够丰富族人的精神生活，提升审美情趣。另有一些忠孝故事、和平正义与包容并举的喻言，体现了当地的人文精神，也是对湖湘传统文化与美学思想的延续，体现出当地的精神文明与物质文明有效结合。湘南地区特殊的人文地理环境形成了文化变迁、移民文化的呈现，于艺术之上也是如

此，湘南地区的建筑收到客家文化与中原文化（汉民南迁、江西填湖广）的影响，同时也有少数民族文化的形象，多民族聚居形成大大小小的村落，多种信仰与文化观念在此交融并进，这在湘南壁画上能够体现出来，靠近广东地区的湘南村落，受到客家文化与广府文化影响，所绘壁画有着南粤与广府风格，靠近湘中地区的湘南村落，则收到儒家文化、中原正统文化影响，从画面形制、内容、色彩上均偏向中原风格，有着儒道释以及礼、义、廉、耻、仁、爱、忠、孝等汉族传统文化内核。因此，这些能够见证历史、传承历史的古村落壁画，体现着当时的社会变迁、民间文化互动、地域融合、国家权力渗透、经济与宗族发展状况，是研究物与人的关系的重要视觉载体，也是分析民族文化多元融合与文化认同的当代性表达的重要史料。

三、结语

湘南明清古村落壁画对于民众而言，对内是维系着文化认同，对外是乡土文化的表达方式，即客体呈现（艺术形态）与主

体观照（文化认同）二者互映互通。沿着古商道与民族走廊前往粤桂赣邻近村落，挖掘文化传播与互嵌的例证。文化认同中潜在的多元性与流动过程性，从地方民族历史、文化再现、艺术表征、族群意识、多维崇拜观（祖先崇拜、水崇拜、龙图腾崇拜、梅山教和道教信仰、巫傩文化）等视域去整体性观察。同时结合本研究主体，村落壁画体现民众的认知能力与家族教化，重视“地方性知识”与“地方感知识”，以理性的“文化自觉”态度建立整体性活态保护机制，为健全与完善和谐社会治理体系和民间社会治理实践提供经验与路径，从文化认同建构视角探索传统艺术的创新性保护与可持续发展，建立和谐共享的文化动力，为湘南地区“美美与共、和谐共处、共同性与差异性并存”的文化特征，为构建和谐社会与乡土艺术保护传承贡献民间智慧，也让优秀的古村落传统文化在当下焕发生机。

参考文献

[1] 胡彬彬. 中国村落史 [M]. 中信出版社, 2021.
[2] 马新. 中国古代村落文化研究 [M]. 商务印书馆, 2021.
[3] 冯智明. 多维空间与文化环境：南岭走廊瑶族村落保护 [M]. 中国社会科学出版社, 2021.
[4] 周超, 刘虹. 共生理论视阈下中华民族共同体建构的五维向度 [J]. 民族学刊, 2021, 12(1): 19-25+85.
[5] 周大鸣. 走廊与聚落：潇贺古道石砚村民族志研究 [M]. 中山大学出版社, 2022.
[6] 刘灿皎. 中国传统村落实证研究——勾蓝瑶寨 [M]. 中南大学出版社, 2019.

分析室外景观照明电气系统设计常见问题

谭婷婷

广州园林建筑规划设计研究总院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010029

摘 要 : 室外景观照明是城市夜景的重要组成部分, 其电气系统设计的合理性与可靠性直接影响照明效果、运行安全及维护成本。文章探讨了当前设计中存在的典型问题, 包括配电系统设计不当、防雷设计考虑不足、电击防护措施缺失、线缆选型与敷设不合理等。所以提出了优化配电架构、强化安全防护、规范线缆工程、提升控制可靠性等解决措施, 并结合实际工程经验给出了具体技术要点, 为提升室外景观照明电气系统设计质量提供参考。

关 键 词 : 景观照明; 电气设计; 配电系统; 电击防护

Analysis of Common Issues in the Design of Electrical Systems for Outdoor Landscape Lighting

Tan Tingting

Guangzhou Landscape Architecture Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : Outdoor landscape lighting is a crucial component of urban nightscapes, and the rationality and reliability of its electrical system design directly impact lighting effects, operational safety, and maintenance costs. This article explores typical issues in current designs, including improper design of the power distribution system, inadequate consideration of lightning protection, lack of electric shock protection measures, and irrational selection and laying of cables. Therefore, it proposes solutions such as optimizing the power distribution architecture, strengthening safety protections, standardizing cable engineering, and enhancing control reliability. Additionally, specific technical points are provided based on practical engineering experience, serving as a reference for improving the quality of electrical system design for outdoor landscape lighting.

Keywords : landscape lighting; electrical design; power distribution system; electric shock protection

引言

在实际工程应用中, 景观照明电气系统设计往往滞后于照明艺术效果的设计, 电气系统存在的诸多问题在运行阶段逐渐暴露, 如配电系统频繁跳闸、防雷设计考虑不足、电击防护缺失导致安全隐患、线路故障率居高不下、智能控制失灵及能耗异常等。这些问题不仅影响照明效果的稳定呈现, 更对公共安全构成威胁, 增加了运维成本。结合工程实践与相关技术规范, 系统梳理室外景观照明电气系统设计中的常见问题, 分析其成因, 并提出针对性的解决措施, 为设计人员提供参考, 促进景观照明工程质量的整体提升。

一、室外景观照明电气系统设计的重要性与特点

(一) 室外景观照明的功能定位与电气系统的支撑作用

室外景观照明不仅承担着夜间照明的基本功能, 更是塑造城市形象、提升公共空间品质、营造夜间氛围的重要手段。随着城市建设水平的不断提升, 景观照明已从单纯的“亮化”向“美化”“文化”“智能化”方向演进, 成为城市夜间经济的重要载体和文化表达的形式之一。一个科学合理的电气系统设计, 能够保障灯具在复杂室外环境中长期稳定工作, 降低故障率, 并为智能控制提供可靠的基础平台。因此, 在景观照明工程中, 电气系统设计绝非附属环节, 而是决定项目成败的关键要素之一, 应当给予与照明效果设计同等甚至更高层次的重视。

(二) 室外环境对电气系统的特殊要求

与室内照明相比, 室外景观照明所处的环境条件更为严苛和复杂, 对电气系统的适应性与耐久性提出了更高要求。首先, 室外环境存在明显的温湿度变化、雨雪侵蚀、紫外线辐射以及温差应力, 要求电气设备具备较高的防护等级和耐候性能, 电气元件在极端天气条件下仍能保持正常工作状态。其次, 景观照明灯具往往分布于广场、绿地、水体周边、桥梁、建筑立面等多种场景, 部分区域存在积水、盐雾、腐蚀性气体等不利因素, 对线缆绝缘、接头防水、接地系统提出了更高要求, 尤其是在沿海地区或工业污染环境中, 防腐设计更显重要^[1]。

(三) 电气系统设计在景观照明全生命周期中的价值

从全生命周期视角审视, 电气系统设计对景观照明工程的影

响贯穿于建设、运营、维护各阶段，其价值体现为全过程的综合效益。在设计阶段，合理的系统架构与设备选型能够减少材料浪费、优化投资成本，避免因设计缺陷导致的后期整改费用；在施工阶段，清晰的配电系统图、准确的线缆敷设路径及节点详图可有效指导施工，减少现场变更与返工，提高施工效率和质量；在运营阶段，良好的电气设计意味着系统具备稳定的电压质量、完善的保护机制和便捷的故障定位能力，可显著降低故障停机时间，保障照明效果的持续呈现；在维护阶段，模块化设计、预留备用回路、规范标识等措施可提升维护效率，延长设施使用寿命，降低全生命周期运维成本。

二、室外景观照明电气系统设计的主要难点

（一）配电系统架构复杂且负荷分散

室外景观照明工程覆盖范围广，灯具点位分散，单条配电回路往往需要带载数十个，且各灯具之间的距离不等，造成线路阻抗分布不均匀，给配电系统的设计带来了巨大挑战。这种分散负荷的特性使得配电系统的设计难度显著增加，设计人员需要在满足供电可靠性的同时兼顾经济性。一方面，长距离供电导致线路压降问题突出，末端灯具的实际工作电压可能远低于额定值，造成亮度不均、色温偏移甚至无法正常启动，严重影响整体照明效果的一致性。另一方面，传统照明配电箱通常集中设置，出线回路众多，若回路划分不合理，会出现某一回路故障导致大片区域熄灭的情况，且故障点难以快速定位，影响照明效果的同时增加了维护难度。此外，景观照明配电系统常面临供电点选择困难的局面，当现场无专用配电房时，需从邻近建筑或市政箱变引接电源，引接距离长、协调难度大，且容易与原有负荷产生相互干扰，引接点本身的剩余容量也需详细核算^[2]。

（二）防雷系统设计的技术难点

室外景观照明电气系统防雷设计存在多项难点。景观灯具多位于空旷草坪、滨水步道或高处，雷击风险较高，但加装传统接闪杆会破坏场地美感。设计师需将接闪器隐藏于现有构筑物或不显眼位置，这给方案构思带来难度。

室外线缆长距离埋地或沿墙敷设时，雷电电磁场会在导线上耦合出过电压，击穿 LED 驱动电源或控制模块。合理选用浪涌保护器的通流容量、保护电平及安装间距十分关键，参数设置不当则保护效果显著下降。

分散布置的灯杆、金属外壳与配电箱接地点之间存在土壤电阻率差异，实现统一的接地电阻值并不容易。各接地装置间距过大会在雷电流泄放时产生电位差，引发反击放电。施工中电缆金属护套、穿线钢管等外露导电部分常出现漏接或螺栓松动，这些隐患难以通过外观检查全部发现。

防雷与配电系统需明确分工。电气与景观、结构专业沟通不足时，易遗漏接地或重复保护。因此防雷设计应从方案延伸至施工图，并保持专业协同，以降低雷击风险。

（三）线缆选型及敷设方式难以满足实际工况

室外景观照明的线缆选型与敷设是电气设计中问题频发的环

节，其缺陷往往在工程投运后逐步暴露，处理难度大、整改成本高。首先是线缆型号选择不当，部分设计未充分考虑室外环境的耐候要求，选用普通 PVC 绝缘线缆，长期暴露于紫外线及温差环境下，绝缘层快速老化、开裂，导致绝缘电阻下降、漏电保护频繁动作，甚至引发线缆短路起火。其次是线缆截面计算不严谨，往往仅依据载流量进行选型，忽视了电压降校核，设计阶段预留的电压降余量不足，给后续扩容改造带来困难。此外，室外照明接线盒数量多、分布散，接头防水处理不到位是造成系统故障的主要原因之一，统计表明，景观照明故障中有相当比例源于接头问题。设计图纸中常缺少详细的接线节点图，现场施工随意性大，接头采用普通绝缘胶带缠绕，未使用防水灌胶盒或专用防水接头，水分渗入后引发接头腐蚀、电阻增大、发热烧毁等故障，造成大面积停电，维修难度极大^[3]。

（四）智能控制系统与电气设备的兼容性与可靠性不足

随着智慧城市建设的推进，室外景观照明普遍集成了智能控制系统，实现远程监控、定时控制、调光控制及场景联动等功能，系统复杂程度显著提升。然而，智能控制系统与前端电气设备之间的兼容性、电磁兼容性 & 供电可靠性问题日益突出，成为影响系统稳定运行的新难点。一方面，部分控制系统采用电力载波通信方式，通信信号在长距离、多分支的线路上衰减严重，且易受变频器、开关电源等设备产生的谐波干扰，导致通信不稳定、控制指令丢失、反馈数据错误，现场经常出现“指令已发、灯具未动”或状态反馈延迟严重的情况。另一方面，控制系统的供电可靠性未得到足够重视，控制器、网关、传感器等关键设备未配置备用电源，一旦市电中断或电压波动，整个控制系统瘫痪，不仅影响照明运行，还导致监控功能失效，故障报警无法上传。

三、室外景观照明电气系统常见问题的解决措施

（一）优化配电系统架构，实现分级分区供电

针对配电系统复杂且负荷分散的问题，应从规划阶段入手，科学划分供电分区，建立清晰合理的配电架构。根据景观照明工程的总平面布局、功能分区及照明负荷分布，合理设置多处配电箱，缩短低压供电半径，将单条回路长度控制在 200 米以内，并优先采用放射式配电为主、树干式为辅的接线方式，确保各回路供电独立性强、故障影响范围可控。对于重要节点、标志性建筑的景观照明，应采用双回路供电或设置备用电源，确保关键区域照明的可靠性，必要时可设置自动转换开关（ATS），实现主备电源的无缝切换。在回路划分时，应遵循“功能分区、回路独立”的原则，将不同功能或不同区域的灯具分开回路供电，避免交叉控制，减少故障影响范围，同时便于分时段、分场景的节能控制。电压降计算应作为选型校核的必要环节，根据实际线路长度、负荷电流及允许压降，合理放大线缆截面，必要时可采用末端电压提升装置或采用分段供电方式，确保末端灯具电压偏差符合规范要求^[4]。

（二）强化防雷设计、电击防护体系，规范接地系统设计

强化防雷与电击防护体系，规范接地系统设计。防雷方面，

将闪电器隐藏于构筑物或不显眼位置，避免破坏景观。针对长距离线缆，合理选用浪涌保护器的通流容量、保护电平及安装间距，防止雷电过电压击穿驱动电源或控制模块。不同接地点间的电位差易引发反击放电，施工中需确保金属护套、穿线钢管等外露部分可靠连接并做等电位联结。电气与景观、结构专业应协同配合，避免遗漏接地或重复保护。电击防护上，室外景观照明统一采用 TN-S 系统，中性线与保护接地线严格分开并保持独立。若采用 TT 系统，则为每个回路或每组灯具设置独立接地极（接地电阻不大于 10Ω ），并配套剩余电流动作保护器（动作电流 $\leq 30\text{mA}$ ，时间 $\leq 0.1\text{s}$ ）。所有金属灯杆、灯具外壳、金属线槽等外露导电部分通过 PE 线可靠接地并形成等电位联结。设计图纸中明确标注接地型式、接地极位置、电阻要求等电位做法及浪涌保护器参数，将防护要求落实到施工。

（三）规范线缆选型与敷设，加强接头防水处理

线缆工程的质量直接决定了电气系统的长期运行可靠性，需从选型、敷设、接头处理三个环节进行全过程管控。在选型方面，室外环境应选用耐候型线缆，直埋敷设宜选用铠装电缆（如 YJV22）或采用穿管保护，电缆绝缘及护套应具备耐紫外线、耐老化性能，对于潮湿、腐蚀性强的区域，可选用交联聚乙烯绝缘、低烟无卤护套的电缆，提升使用寿命。线缆截面选择应综合载流量、电压降、热稳定及机械强度进行校核，对于长距离供电回路，应按允许电压降进行截面放大，必要时分段计算，确保末端电压偏差在规范允许范围内，同时为未来可能的负荷增长预留适当余量。敷设设计应明确敷设方式、埋设深度、保护管材、过路防护等细节，直埋电缆上方应铺设保护板并敷设警示带，电缆与热力管道、燃气管线保持安全距离，穿越道路时应加设钢管保护。接头处理是室外电气施工的重中之重，设计应规定采用专用的防水接头或灌胶式接线盒，严禁使用普通绝缘胶带缠绕。对于水下或高湿度区域的接线，应采用环氧树脂灌封或热缩防水套

管进行双重防护，并在接头外部加装防水保护盒。在图纸中应绘制标准接线节点图，明确各类接线盒的安装位置、防水等级及施工工艺要求，从设计源头控制施工质量，减少现场随意性^[5]。

（四）提升控制系统可靠性，优化信号与电源兼容性

智能控制系统的可靠性需要从供电、通信、兼容性三个维度进行保障，形成稳定、高效的管控体系。控制系统核心设备，确保在市电波动或短暂停电时系统仍能正常运行并维持监控功能，UPS 后备时间应根据实际需求确定。对于采用电力载波通信的系统，应在设计阶段进行通信距离核算，合理设置中继器，并采取滤波措施抑制电源侧谐波干扰，同时确保各节点阻抗匹配，提升通信稳定性。对于分体式调光系统，信号线应与电源线分开敷设，保持一定间距，若条件受限需共管时，应采用屏蔽线缆且屏蔽层单端接地，减少电磁干扰对信号传输的影响。在设备选型上，应确保 LED 驱动器、控制器及调光协议之间的良好匹配，调光范围、响应速度、兼容性需经过实际测试验证，避免不同厂家设备间的兼容性问题。此外，控制系统应具备故障自诊断与报警功能，能够实时监测各回路的运行状态、剩余电流值、温度等参数，并将故障信息上传至管理平台，实现快速定位与处置，缩短故障响应时间。

四、结束语

室外景观照明电气系统设计是一项涉及配电安全、环境适应、控制集成及能效管理的综合性工作。当前设计中普遍存在的配电架构不合理、防雷设计考虑不足、电击防护缺失、线缆工程不规范、控制系统可靠性差及谐波污染等问题，严重制约了照明工程的质量与长效运行。解决上述问题需从系统规划入手，优化配电结构，强化接地保护与等电位联结，规范线缆选型与施工工艺，提升控制系统的供电可靠性与电磁兼容性。

参考文献

- [1] 曹鹏程. 室外景观照明电气系统设计常见问题研究 [J]. 警戒线, 2020(31): 177-178.
- [2] 陈娟. 室外景观照明电气系统设计常见问题探讨 [J]. 数码精品世界, 2021(10): 549.
- [3] 陈杰. 智能照明控制系统在电气照明节能设计中的应用研究 [J]. 中国照明电器, 2026(1): 168-170.
- [4] 王矛. 建筑电气照明系统节能设计研究 [J]. 光源与照明, 2025(4): 47-49.
- [5] 鲁明, 郭思思. 基于电气自动化的智能照明系统设计与控制策略研究 [J]. 中国照明电器, 2025(4): 162-164.

全周期视角下景观设计项目全过程管理与风险控制研究

欧阳雪冰

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010052

摘 要： 全周期视角是指在景观设计项目从策划、设计、施工到运维等整个阶段进行系统化管理，要对各阶段的核心要素加以整合。通过风险识别（例如头脑风暴、风险矩阵）、方案落地的优化（实现功能、生态、审美协同）、施工协调（开展跨专业沟通、运用 BIM 技术）以及动态风险控制（将预防与调整相结合），来提高项目的落地性和综合效益。实际案例证实此模式能够降低风险、优化资源分配，为该行业提供管理方案。

关 键 词： 全周期视角；景观设计项目；风险控制

A Study on Full-Process Management and Risk Control of Landscape Design Projects from a Full-Cycle Perspective

Ouyang Xuebing

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The full-cycle perspective refers to the systematic management of a landscape design project throughout its entire process, from planning, design, construction to operation and maintenance. It involves integrating the core elements of each stage. Through risk identification (such as brainstorming, risk matrix), optimization of scheme implementation (achieving functional, ecological and aesthetic synergy), construction coordination (conducting cross-disciplinary communication and applying BIM technology), and dynamic risk control (combining prevention and adjustment), the project's implementation and comprehensive benefits can be enhanced. Practical cases have confirmed that this model can reduce risks, optimize resource allocation, and provide management solutions for this industry.

Keywords： full-cycle perspective; landscape design projects; risk control

引言

全周期视角作为景观设计项目系统化管理的核心模式，是实现资源优化配置与价值最大化的重要途径。2023年，住房和城乡建设部发布的《关于推动城市园林绿化高质量发展的指导意见》清晰要求加强项目全生命周期的管理，促进设计、施工、运维等环节的协同衔接。当下景观设计领域存在阶段分离、风险防控零散化等难点，迫切需要从全周期视角重新建立管理体系。文章围绕全周期视角里景观项目的管理要点、风险识别与把控、方案落地完善等主要问题，结合政策指引与实际案例，全面说明全周期管理的执行路径，为加强景观项目落地成效与综合效益提供理论支持和可操作方案。

一、景观设计项目全周期管理与理论基础

（一）全周期视角的内涵与应用

全流程视角是从项目整个生命周期着手，对景观设计各个阶段开展系统性管控，包含前期规划、设计、建造、运营维护以及后期评价。理论根据源自全生命周期管理思想，注重阶段协作与资源调配^[1]。在应用方面：前期开展场地、生态以及需求评估来考量可行性；设计时期兼顾施工的可操作性以及维护的便利性；施工期间强化过程管理、质量把控与生态保护；运维阶段建立长效的监测与维护机制；后期评估综合考量生态、社会和经济效益。从全周期的角度实现各阶段的无间衔接，降低风险提高项

目的整体价值。

（二）全过程管理的核心要素

景观设计项目全流程管理的主要要素贯穿规划、设计、建造以及运维环节，各要素实现有机协同。规划环节要整合生态基础、功能要求和政策指引，包含生态敏感度评价、空间布局的合理性以及与上位规划的符合度^[2]。设计环节兼顾创意与技术实现，主要要素包括方案可执行性、材料生态经济特性以及与施工工艺的符合度。施工环节重点施工现场精细化管控：进度动态优化、材料品质检验、施工工艺规范以及与设计的即时交流。运维时期关乎养护方案的科学性、使用反馈的收集及优化，对项目价值的延续起到决定作用。从全周期的角度来看，各个阶段的要素

进行协同优化，能够降低风险并提高综合效益。

二、景观设计项目风险识别与评估

（一）风险识别方法与工具

从全周期的角度来看，景观项目的风险识别要包括策划、设计、施工以及运维等各个阶段。头脑风暴法融合多领域经验，识别方案环节功能瑕疵与施工技术隐患^[9]；专家访谈法针对文化保护、生态适配等特殊隐患，填补认知空白；风险矩阵根据概率与影响进行量化排序（如材料供应滞后）；核对表法通过历史数据库系统排查地质、养护等隐患。运用多种工具进行组合运用，实现全周期风险的动态捕捉，为后续的评估工作提供精确根据。

（二）风险评估模型与实践

风险评估模型将风险矩阵和层次分析法相结合。风险矩阵通过概率和影响进行二维分级，给出直观参考^[4]；层次分析法搭建指标层次，通过两两对比来确定权重，适合复杂项目。在某滨水景观工程里，通过风险矩阵识别出生态系统破坏这一风险的发生概率为0.6，影响程度为0.8，属于高风险状况；运用层次分析法算出该风险的权重是0.35，明显高于施工延误等方面的风险。实践证明定量模型和定性模型相互补充：通过矩阵进行快速筛查，利用层次分析精准赋予权重，为风险应对提供科学支持，加强全周期管理的有效性。

三、景观设计方案落地性优化与施工配合

（一）方案落地性优化策略

1. 设计优化措施

景观设计方案的落地优化要从功能、生态、审美这三个方面与全周期管理进行衔接。功能改进：模拟人员流动路径并根据使用频率对布局进行调整，以平衡效率和维护的难易程度^[5]。生态改良：侧重本地植物，规划雨水花园、透水路面等低养护设施。美学优化：规避复杂造型，运用模块化部件（例如标准化种植池）简化建设。在设计环节和施工方就材料与工艺展开沟通，把施工难题转变为设计的限制条件（像石材厚度和安装方法）。三维协同优化让方案拥有落地的可行性，降低后期变更的风险与成本。

2. 管理优化实践

景观设计方案的落地优化要进行全周期的资源整合与进度把控。在项目启动时期建立跨专业协同体系，通过 BIM 平台同步设计变更以及现场数据，降低信息不对称状况^[6]。在资源整合工作中，拟定本地化材料采购方案以及质量预先审核制度，防止出现返工情况。进度管控运用动态甘特图对任务（基础工程、铺装、植物配置）进行分解，设定主要节点并开展交叉施工（如管线预埋和地形塑造同步进行）以缩短工期。施工协作加强设计师现场驻守，针对施工现场问题及时进行调整，同时推行工艺样板优先制度（如铺装缝隙、种植密度检验）。上述办法能够减少资源的浪费以及进度延误的风险，提高实施的效率和效果。

（二）施工配合要点分析

1. 设计施工协调机制

设计与施工的协调机制是确保景观方案得以落地的主要。从全周期的角度出发，要以信息共享作为基础，搭建设计、施工、监理三方的实时交流平台，保证设计想法和现场状况同步，防止出现信息不对称的情况。在技术对接方面建立双向渠道：设计方给出施工难题指引，施工方反馈现场状况，实现动态调节。界定权责范围，通过联合会议、实地巡查实现无缝对接。研究显示高效协同机制能够让设计变更率下降约20%，施工效率提高15%以上^[7]。

2. 质量控制关键点

在景观设计方案落地以及施工配合过程里，质量把控是显示设计效果的主要。主要要点包括材料挑选与现场管控：材料挑选要符合设计理念与场地状况，例如硬质铺地质感、植物生态适应能力，通过样品审核和供应商评价保证参数达到要求^[8]；现场管控重点施工工艺标准，像地形高程、种植间距与深度，建立动态检查体系纠正偏差，并且协调交叉施工（例如水电和景观建筑衔接），防止工序矛盾。二者结合能够减少质量方面的风险，实现设计图纸向实体的高度还原。

四、风险控制策略与实践案例

（一）风险控制框架构建

1. 控制原则设计

从全周期角度来看，景观设计项目的风险控制以预防优先、动态调整为核心准则。以预防为主的要求是在策划环节对生态敏感性、政策合规性等风险进行系统识别，并建立预警指标与预案^[9]。动态调节注重在实施过程里实时监控，针对设计更改、施工状况改变及时调整方案。二者协同：预防提供前置保障，动态保证灵活适配，一同指引全流程风险防控。

2. 控制模型开发

全流程风险管控框架融合生命周期学说与风险管理模式，以项目环节（启动、设计、施工、运维）为横向坐标，风险流程（识别、评估、应对、监控）为纵向坐标，搭建矩阵式方案。将模糊综合评价法与 BIM 技术相结合，对自然、设计变更、成本超支等风险因素进行量化，通过历史案例数据库提高预测的精准度。某城市的公园项目运用此模型，预先识别土壤污染风险，同时对植物配置作出调整，使修复成本降低30%。模型内部设置动态反馈体系，实时对风险参数进行更新，以保证决策和进度相匹配^[10]。

（二）全过程风险管理实施

1. 规划阶段风险控制

规划环节是景观项目全流程管理的开端，风险管控重点于源头辨识与提前应对。风险主要来自场地条件认知误差、上位规划衔接欠缺、生态冲突以及利益相关方需求不一致，要通过多方面识别来建立风险清单。评估运用定性和定量相融合的方式，例如对地质灾害发生可能性、生态影响的程度进行量化，再结合层次

分析法来划分风险级别。高风险项目要进行针对性处理：若地下水位太高，就开展水文勘测并对竖向设计加以调整；要是与规划绿线存在冲突，就建立动态沟通机制。某滨水工程通过规划环节预控，提早识别土壤污染风险，同时规划修复方案，防止施工环节成本超预算与工期延迟，证实规划环节风险管控对全周期管理的支撑功效。

2.实施阶段风险监控

从全周期的角度来看，景观项目在施工以及收尾环节要搭建动态风险监控与应急处置机制。在施工阶段运用 BIM 技术实时收集进度、质量相关数据，预先设定风险阈值（如苗木成活率 <85% 或铺装平整度偏差 >5mm）并自动发出预警。收尾环节运用无人机进行航拍、通过三维扫描来数字化核验设计落地的偏差情况，识别植物摆放错位、设施存在缺陷等方面的风险。应急处置制定分级响应方案，针对暴雨、高温等风险清楚处理流程（如启用备用灌溉、调配应急苗木）。在某城市公园项目里，施工监测察觉到土方沉降隐患，迅速调整压实技术并增添排水措施；收尾检验时发现石材接缝超出标准，随即组织返工修正。实践证明实时追踪与应急处理相结合是确保风险在可控范围内的要点。

（三）典型案例与实践启示

1.案例分析

某座城市的中央公园项目对全周期管理的有效性进行验证。启动环节通过风险识别矩阵排查地质状况复杂、方案适配度欠佳以及雨季因素影响等风险。运用地质雷达探测和土壤改良工艺来调整地形规划；引入利益相关方参与机制，召集商户、居民以及规划部门开展研讨，对功能分区进行优化。在施工时期建立动态的监控系统，通过 BIM 对施工流程开展模拟，提前预判管线冲突以及进度延误情况，进一步制定出备选方案和物资储备规划。在运维环节搭建风险预警模式，定时监测植物生长状况与设施损耗情形，提早开展防治与维护工作。启发：风险管控应贯穿整个流程，前期将技术与参与机制相结合，施工时依靠数字化动态监管，运维实现数据驱动，为类似项目提供可复制的经验。

2.经验总结与改进建议

从全周期的角度来看，景观设计项目的风险管控贯穿前期、设计、施工以及运维等各个阶段。前期通过地质勘查来识别土壤、水文等方面的风险，例如某滨水公园由于忽略潮汐情况，导

致岸线遭受侵蚀，后续增设生态护岸以及水位监测系统来缓解风险。在方案规划阶段引入 BIM 开展模拟施工冲突分析，某商业综合体通过 BIM 预先察觉管线和构筑物存在空间重叠情况，从而避免工程返工。在施工阶段建立动态监测体系，例如某居住区项目通过无人机巡查，及时矫正植物配置的密度误差。

在某市政公园项目的全流程管理里，前期通过公众参与来清楚需求，中期建立景观、结构、给排水等多专业的协同体系（每周开展联合评审），后期编制运维手册并组织养护培训，该项目的满意度达到 95%。启发：全流程风险管控要以需求作引领，加强多专业协作和过程把控，把运维需求提前到设计环节。另一个文旅项目由于施工时未严格落实土壤改良方案，乔木的成活率不到 60%，需要在整个周期里嵌入第三方监理以及节点验收机制。

全流程风险管控主要在于建立预防、监控、应对闭环系统。前期做好场地调研和风险评估清单的完善工作，把气候适应性、生态承载力列为设计约束条件；中期通过 GIS、BIM 等数字化手段实现信息共享与冲突预警；后期建立运维数据库，根据监测反馈对设计参数进行优化。改进路径：推进风险管控规范化，拟定全流程风险清单和应对范式；强化人员培训，提高对隐蔽工程（排水系统、土壤层）的辨识能力；把风险管控与可持续目标相融合，例如通过雨水花园设计减少洪涝风险，实现生态效益和风险防控协同共进。

五、总结

全流程管理对景观设计项目的落地成效优化效果明显。此模式对前期策划、设计、施工以及运维阶段加以整合，实现信息的无缝对接，降低设计偏差和资源损耗，提高从图纸到场景的转化效能。建立动态的风险识别与应对体系，预估场地受限、成本超预算、工期延迟等风险，融入防控手段以降低不确定性。实践意义在于给出可实施的管理方案，加强决策的科学性以及执行的效率，促使项目从实现功能要求向提高品质方面转变。后续的研究需要拓展全周期管理于不同种类项目（例如城市公园、生态修复）里的适配度，结合数字化技术去探寻风险预警模型，并且留意其对可持续性的长远影响。

参考文献

- [1] 刘家乐. 全生命周期视角下考虑交互作用的项目组合关键风险识别与控制研究 [D]. 长安大学, 2022.
- [2] 唐婕. DY 文旅小镇全生命周期视角的关键风险识别与控制研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [3] 赵秀红. S 县老旧小区改造项目全生命周期风险管理研究 [D]. 内蒙古科技大学, 2023.
- [4] 程吉. 基于全生命周期管理的食品行业追溯溯源管理系统风险控制研究与应用 [D]. 贵州大学, 2022.
- [5] 梅中鹤. 全过程咨询视角下的 EPC 项目监理风险控制研究 [D]. 南昌大学, 2022.
- [6] 闫振虎, 吕敏蓉. 全生命周期视角下 PPP 项目风险管理研究 [J]. 经济研究导刊, 2022, (31): 75-77.
- [7] 曾雪辉. EPC 总承包项目全过程管理风险控制研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (15): 125-127.
- [8] 张春泉. 改造项目 EPC 工程承包全过程管理风险控制研究 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(05): 128-130.
- [9] 李滢莹. 全过程咨询行业财务管理与风险控制研究 [J]. 财经界, 2023, (36): 96-98.
- [10] 陈乃海. 长周期建设项目重点风险控制研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44(05): 53-58.

水资源高效利用导向下节水水利工程设计策略研究

巩明

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

DOI:10.61369/ADA.2026010061

摘 要： 水资源高效利用是新时代水利建设的重要发展方向，节水水利工程设计是提升水资源利用效率、保障水利工程长效运行的关键环节。本文以水资源高效利用为核心导向，系统梳理供需适配、生态护航、多效协同的节水水利工程设计原则，深入剖析地形水文约束、用水需求波动、技术与工程结构适配不足、工程耐久性不足等现实设计难点，针对性提出地形精准适配、智能响应调控、技构一体化融合、基材强固长效的优化设计策略，以期为我国节水水利工程的科学规划、规范设计与高效实施提供理论参考，助力区域水资源集约高效利用与水利事业高质量发展。

关 键 词： 水资源高效利用；节水水利工程；设计策略；生态水利；供需适配

Research on Design Strategies of Water-saving Hydraulic Engineering under the Guidance of Water Resources Efficient Utilization

Gong Ming

Xinjiang Corps Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract： Efficient water resource utilization has become a pivotal direction for water conservancy development in the new era. Water-saving engineering design serves as a critical component to enhance resource efficiency and ensure sustainable operations of hydraulic projects. Centered on optimal water resource utilization, this study systematically outlines design principles encompassing supply-demand alignment, ecological safeguards, and multi-functional synergy. It conducts in-depth analysis of practical challenges including topographical-hydrological constraints, fluctuating water demands, inadequate technical-engineering compatibility, and structural durability limitations. The research proposes targeted optimization strategies featuring precise terrain adaptation, intelligent adaptive regulation, integrated technology-structure integration, and durable substrate reinforcement. These findings aim to provide theoretical references for scientific planning, standardized design, and efficient implementation of water-saving hydraulic projects in China, thereby promoting regional water resource conservation and high-quality development of water conservancy initiatives.

Keywords： efficient water resource utilization; water-saving hydraulic engineering; design strategies; ecological hydraulic engineering; supply-demand matching

引言

新时代我国水利建设迈入高质量发展新阶段，水资源集约高效利用已成为保障国家水安全、推进生态文明建设的核心要义。随着城乡融合发展、农业现代化提速与生态保护刚性约束持续强化，水利工程建设逐步向节水增效、生态友好、功能协同的方向深度转型。节水水利工程作为优化区域水资源配置、盘活全域用水效能的关键载体，其源头设计环节是把控工程品质、释放节水价值的核心关口，立足高效利用导向深耕工程设计逻辑，是顺应水利行业变革、筑牢水资源可持续利用根基的必然路径。

一、水资源高效利用导向下节水水利工程的设计原则

（一）供需适配提效控损

供需适配提效控损是节水水利工程设计的核心准则，始终以水资源高效利用为根本指向，锚定水资源供给与用水需求的精准契合这一核心。该原则立足区域水资源禀赋特征，统筹农业、工业、生活等多元用水诉求，将供需平衡作为工程设计的底层逻辑，

拒绝脱离实际的粗放式设计思路。其核心是通过遵循供需适配的设计逻辑，从源头规避供需错配引发的水资源低效消耗，严格把控输水、配水全流程的无效损耗，依托科学的供需匹配理念，规范工程规模、布局与输配体系的设计方向。这一原则确保水利工程设计始终贴合水资源高效配置的本质要求，让工程功能服务于水资源利用效率的提升，实现水资源供给与需求的动态适配，筑牢节水水利工程的设计根基。

（二）生态护航永续发展

生态护航永续发展是节水水利工程设计不可逾越的底线原则，深度契合生态文明建设与水资源可持续利用的核心要求。该原则将生态保护置于工程设计的优先层级，打破传统水利工程重工程效益、轻生态保护的设计局限，把水生态系统的健康与稳定作为设计的重要考量维度。其核心内涵是在工程设计全过程坚守生态优先理念，充分考量工程建设对水系连通性、河湖生态环境及水生境的影响，以保障生态流量、维护水生态平衡为设计前提，确保工程设计不突破生态承载阈值^[1]。这一原则平衡了工程建设与生态保护的关系，既保障水利工程发挥节水效能，又守护水生态系统的完整性，为水利工程长期可持续运行提供生态支撑，实现水资源利用与生态保护的协同发展。

（三）多效协同价值倍增

多效协同价值倍增是水资源高效利用导向下节水水利工程设计效益准则，立足工程综合价值最大化的设计目标，摒弃单一功能导向的传统设计模式。该原则以节水为核心导向，统筹整合水利工程的多元功能属性，将灌溉、防洪、生态补水、城乡供水等功能融入工程设计体系，通过功能协同的设计理念，提升工程的场景适配性与综合利用率。其核心是依托多功能集成的设计逻辑，让单一工程承载多元用水保障需求，在强化节水核心效能的同时，延伸工程的社会价值与经济价值。这一原则确保节水水利工程不仅实现水资源高效利用的核心目标，更能兼顾区域发展的多元需求，达成节水效益与综合效益的双向提升，最大化释放水利工程的资源价值与社会效能。

二、水资源高效利用导向下节水水利工程的设计难点

（一）水文地形约束布建

水文与地形条件的复杂性，是节水水利工程设计面临的基础性制约。不同区域地形地貌差异显著，山区地势起伏大、沟壑纵横，干旱区地貌开阔但水资源分布零散，均直接限制工程选址、输水线路规划与构筑物布设的合理性。地形起伏造成输水线路被迫迂回延伸，长距离、高扬程输水过程中，沿程水头损失、能量消耗大幅增加，输水效率难以保障。同时，区域水文情势存在时空波动性，径流变化、水位涨落等不确定性因素，使得工程设计参数难以精准确定^[2]。加之山区易受地质灾害、干旱区易受地表渗漏与强蒸发影响，进一步加剧工程布局与结构设计的难度，导致工程布设难以形成连贯高效的输配水体系，无法完全贴合水资源高效利用的基础要求，也让工程建设与运行的初始条件始终处于不稳定状态。

（二）需求波动调度棘手

用水需求的动态性与时空不均衡性，给节水水利工程设计带来显著的调度适配难题。农业灌溉受季节、作物生长周期影响，用水需求呈现明显的季节性峰值；工业生产用水连续性强、波动幅度不一；城乡居民生活用水相对稳定但时段差异突出。多元用水主体的需求在时间与空间上交错变化，传统水利工程固定化、单一化的设计模式，无法适配动态变化的用水需求。随着城镇化

推进与产业结构调整，用水需求的差异化、碎片化特征愈发明显，工程调度体系缺乏灵活适配的设计基础，既无弹性调节空间，也无动态适配机制，难以实现供需实时匹配，极易出现供水过剩或供给不足的问题，直接制约水资源高效利用目标的实现，动态供需匹配的设计难度持续凸显。

（三）技构适配衔接失度

现代节水技术与传统水利工程结构之间的兼容性不足，是制约节水效能释放的关键问题。精准灌溉、智能监测调控、信息化配水等新型节水技术，对工程结构的布局、尺寸、水力参数均有特定要求，而传统渠道、泵站、闸坝等水利构筑物，多依据常规输水配水标准设计，在结构形式、接口条件、运行模式上与新技术存在天然衔接短板。设计过程中技术体系与工程结构难以深度融合，传统结构缺乏适配智能设备的安装空间、数据监测点位与调控接口，结构参数无法匹配节水技术所需的压力、流量与流速标准，新技术无法依托工程载体有效落地。二者衔接断层直接导致节水技术应用效果大打折扣，工程整体节水效率难以达到预期标准，也让现代化节水手段难以真正融入工程运行全流程。

（四）工况损耗耐久存险

工程运行过程中的各类损耗与耐久性隐患，是节水水利工程设计必须直面的长期问题。输水过程中泥沙淤积易堵塞通道、改变水力条件，持续的水力冲刷会侵蚀工程结构，长期运行还会引发材料老化、构件性能衰减等问题，这些工况损耗直接影响工程运行稳定性与安全系数。若设计阶段未能对耐久性风险进行全面预判，未针对损耗问题开展前置性考量，会导致工程后期运行故障频发、使用寿命大幅缩短^[3]。随着运行时间推移，损耗问题会不断累积放大，结构渗漏、输水不畅等问题会进一步加剧水资源输配损耗，既增加后期运维成本与管理压力，也无法保障水资源高效利用的长效性，违背节水水利工程可持续运行的核心要求，让工程的节水效益随时间逐步衰减。

三、水资源高效利用导向下节水水利工程的设计优化策略

（一）精绘地形适配布点

在工程设计前期，全面采用GIS地理信息系统完成区域地形测绘与空间分析，结合专业水文模型开展径流、水位、流量等水文要素的定量计算，形成高精度地形水文基础数据。依托三维地形建模技术完成地形高程校准与地质条件叠加分析，将地形坡度、地表汇流条件、地下水位埋深等要素全面纳入点位设计依据。对多组输水线路方案进行量化比选，综合核算各方案的输水距离、水头损失、工程土方量，确定最优线路方案。同步开展野外实地勘测校验，将现场岩土特性、地表障碍物、地下构筑物分布等实地数据与模型数据相互印证，提升基础数据的真实可靠性。依据测绘与计算结果，对梯级泵站、调蓄池、输水管线等核心设施进行点位定制化设计，精准确定设施的布设位置、安装高程与建设规模。按照地形走势精细化核算输配水线路纵坡与埋深参数，合理设定管线坡度、转弯角度与连接形式，主动避让地形

起伏过大、地质条件薄弱区段。结合水文时序数据校核泵站梯级扬程与调蓄池有效容积，同步考虑地下冻土层、地下管线交叉等约束条件优化管线埋深，针对特殊地形区段增设过渡连接结构，对地质不稳定段提前设计加固防护形式，通过全要素、多维度的数据驱动设计，最大限度降低地形起伏与水文波动带来的输水损耗，实现工程布局与场地自然条件的深度适配。

（二）智调结构响应需求

在工程结构设计中采用模块化可调式构造形式，设计并配置可变孔径闸门、分层取水设施、可调式配水堰体等可调型构筑物，明确各类结构的调节范围与操作方式。细化各可调构筑物的调节精度与执行机构设计，确定闸门开度调节层级、取水层位高程间距、配水堰调节幅度等具体实操参数。同步搭建智能调度控制模块，将需水流量、供水时段、用水类型等参数纳入设计体系，建立结构调节与调度指令的联动机制，预留监测信号与控制指令的标准接入端口^[4]。在设计中嵌入多用户用水优先级逻辑，针对农业灌溉、工业生产、城乡生活用水设定差异化调度规则，预留季节调度、应急调度的程序接口。同步完成调节执行机构的双模式控制设计，兼顾自动调控与手动应急操作，在关键调控节点布设标准化监测点位，实时采集水位、流量等调控依据数据。针对不同季节、不同用水主体的需求变化，完善结构调节接口与调度切换路径，明确各调节单元的联动响应逻辑，通过构筑物参数的实时调整与调度模式的动态转换，稳定适配各类用水需求波动，构建响应及时、调控精准的柔性供水工程体系。

（三）技构一体增效节水

推行节水技术与水利工程结构同步设计、一体化融合，将滴灌、喷灌、低压管道输水等节水技术直接嵌入渠道、泵站、配水枢纽等工程主体设计中。采用全流程水力模拟软件逐段核算工程水力条件，根据节水技术运行压力、流量要求，反向优化渠道断面尺寸、泵站扬程、配水支管管径等核心水力参数，确保上游工程输出与末端技术需求精准匹配。设计工程结构与节水技术的专用衔接接口，统一法兰尺寸、接驳点位与布设间距，从构造层面消除技术与工程间的衔接障碍。针对不同节水技术的应用场景，分区优化配套工程结构形式，在大田灌溉区适配喷灌配套管网，在设施农业区匹配滴灌专用配水结构。在渠道、管线等结构内预

设节水设备安装基座、监测线缆敷设通道与流量监测点位，同步完成配水分流结构、压力调节设施的一体化布局。从水源输送、干线配水到末端用水全环节优化水力衔接关系，规避局部水头损失与压力失衡问题，在设计阶段明确技术与结构的同步施工工序，避免后期改造对工程整体造成影响，构建技术适配、结构协同、流程顺畅的节水工程体系，实现节水技术与水利工程结构的全方位无缝衔接。

（四）强固基材长效稳运

在工程设计中严格选定抗腐蚀、抗泥沙磨损、抗水力冲刷的工程材料，明确材料的性能指标与应用部位，确定混凝土强度等级、防腐涂层厚度、管材耐压参数等具体执行标准，针对不同运行区段工况匹配差异化材料方案。针对输水过程中的水力冲击、泥沙淤积等工况，优化结构受力分布与断面形态，采用流线型过流断面设计，对易冲刷、易淤积部位进行加厚、加固并增设导流、消能细部构造。在各类构筑物中标准化预留检修通道、清淤作业空间、构件更换位置与设备安装基坑，明确各空间尺寸与操作条件，满足后期全周期运维需求。同步设计专用排沙、清淤结构，针对泥沙淤积问题预设疏导与清理条件，对高寒地区增设抗冻胀构造措施，适配区域气候特性^[5]。对泵站、闸阀、管线等关键设施开展耐久性专项设计，合理布设支墩、伸缩节与密封防护装置，强化结构抗沉降、抗变形能力，同时预留易损构件的快速替换结构条件，从材料选型、结构构造、运维预留三维度筑牢工程长效运行基础，完成全生命周期耐久性指标验算，保障工程全生命周期稳定运行。

四、结束语

节水水利工程设计是水资源高效利用的关键环节。唯有坚守供需适配、生态优先、多效协同原则，直面地形约束、需求波动、技构适配、工程耐久等核心难点，通过精细化布局、智能化调度、一体化融合、长效化加固，才能打造高效、生态、稳定的节水水利工程。未来应持续深化技术与工程融合创新，以科学设计赋能水资源高效利用，为水利事业高质量发展筑牢根基。

参考文献

[1]李代忠. 小型农田水利工程的节水灌溉方案设计 [J]. 农村科学实验, 2025, (08): 87-89.
[2]姚力铭, 周庆连. 水利工程节水灌溉设计与规划问题研究 [J]. 黑龙江粮食, 2023, (05): 41-43.
[3]张奎忠. 水利工程节水灌溉设计与规划中存在的问题及解决措施 [J]. 冶金管理, 2021, (23): 99-100.
[4]孙永祥. 浅析水利工程节水灌溉设计与规划中存在的问题及解决措施 [J]. 低碳世界, 2021, 11(08): 70-71.
[5]王荣宽. 水利工程节水灌溉规划设计探讨 [J]. 南方农业, 2020, 14(17): 174-175.

关于市政路桥设计中的安全性及耐久性问题的系统解析

徐小涵

湖南中大设计院有限公司广东分公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010075

摘 要： 市政路桥的安全性指结构承受荷载不发生破坏的能力，耐久性指结构在环境作用下长期保持性能的能力。两者相互影响，不可分割。通过分析重庆綦江彩虹桥垮塌事故这一国内典型案例，发现设计计算错误、施工质量失控、材料性能不足是主要致灾因素。区分不同桥型、不同环境区域的差异化要求，提出完善设计验算、严控施工质量、建立预防性养护制度等提升措施，以延长桥梁实际使用寿命。

关 键 词： 市政路桥；安全性设计；耐久性设计

Systematic Analysis of Safety and Durability Issues in Municipal Road and Bridge Design

Xu Xiaohan

Guangdong Branch of Hunan Zhongda Design Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The safety of municipal roads and bridges refers to the ability of the structure to withstand loads without failure, while durability refers to the ability of the structure to maintain its performance over time under environmental influences. These two aspects are interrelated and inseparable. By analyzing the collapse of the Chongqing Qijiang Rainbow Bridge, a typical domestic case, it was found that design calculation errors, uncontrolled construction quality, and inadequate material performance were the main contributing factors to the disaster. By distinguishing the differentiated requirements for different bridge types and environmental regions, improvement measures such as refining design calculations, strictly controlling construction quality, and establishing preventive maintenance systems are proposed to extend the actual service life of bridges.

Keywords： municipal roads and bridges; safety design; durability design

引言

市政路桥作为城市交通的关键基础设施，其安全性与耐久性直接关系到公共安全与工程寿命。安全性确保结构在各类荷载下不发生破坏，耐久性保障结构在环境作用下长期维持性能。二者相互耦合，设计计算错误、施工质量失控、材料性能不足等问题常同时损害安全与耐久，重庆綦江彩虹桥垮塌事故即为深刻教训。通过完善设计验算、严控施工质量、建立预防性养护制度，可有效延长桥梁实际使用寿命。

一、市政路桥安全性的内涵与设计要点

（一）安全性设计的基本要求

市政路桥安全性设计遵循《城市桥梁设计规范》（CJJ 11）与《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）等标准。安全性要求结构在施工阶段和使用阶段承受永久荷载、可变荷载、偶然荷载及地震作用时，不发生强度破坏、失稳或过大变形。设计采用极限状态法，按照承载能力极限状态和正常使用极限状态分别验算。对于6度及以上地震区的梁式桥及跨度不超过150米的拱桥，需按《城市桥梁抗震设计规范》（CJJ 166）进行抗震验算。安全性设计的核心是保证结构具有足够的承载能力和抗灾冗余度。

（二）安全性失效的常见类型

安全性失效主要分为三类。第一类是强度破坏。结构某一截面或构件的材料应力超过极限强度，导致断裂或压碎。常见于主梁跨中抗弯不足、支点附近抗剪不足、预应力锚固区局部承压破坏。第二类是失稳破坏。整体失稳如独柱墩桥梁的横向倾覆，局部失稳如钢箱梁腹板的屈曲。第三类是疲劳断裂。循环荷载作用下焊接节点、吊索锚头等应力集中部位产生微小裂纹，裂纹逐渐扩展至临界尺寸后发生脆性断裂^[1]。

（三）典型案例分析：重庆綦江彩虹桥垮塌事故

1999年1月4日，重庆市綦江县一座名为彩虹桥的人行桥突然整体垮塌。该桥为中承式钢管混凝土拱桥，全长140米，主拱跨

度120米。当时桥上聚集了大量赶集群众，垮塌造成40人死亡、14人受伤。这是新中国成立以来最严重的桥梁垮塌事故之一。

事故调查揭示该桥存在多重严重问题。设计方面，拱肋钢管壁厚计算错误。设计图纸要求钢管壁厚12毫米，但实际计算时采用的荷载取值偏低，安全储备不足。吊杆锚固构造设计不合理，锚固强度严重低于规范要求。施工方面，钢管拱肋焊接质量低劣，多处焊缝未熔透，存在明显夹渣和气孔。钢管内混凝土灌注不密实，拱肋内部存在大面积空洞，这既降低了承载能力，也为后续锈蚀埋下隐患。吊杆锚头未按图施工，实际尺寸与设计图纸偏差较大。此外，工程管理存在严重缺陷。该桥由一家无桥梁设计资质的单位设计，施工队伍也无相应资质，工程监理形同虚设。该桥1996年建成，1999年即垮塌，服役时间不足三年。

从安全性角度看，彩虹桥垮塌的直接原因是强度破坏。拱肋钢管壁厚不足且混凝土不密实，导致钢管混凝土组合截面实际承载力远低于设计预期。当桥上人群荷载达到一定规模时，拱肋某截面应力超过材料极限强度，发生失稳并迅速扩展至全桥垮塌。从耐久性角度看，钢管内混凝土空洞和焊缝缺陷使钢管内壁暴露于潮湿空气中，加之钢管外壁防腐涂层质量差，钢管在三年内已发生明显锈蚀，进一步削弱了截面承载力。这一案例清楚表明：设计计算错误和施工质量失控会同时损害安全性和耐久性，两者相互叠加导致灾难性后果。

彩虹桥事故之后，中国全面加强了对桥梁设计施工的监管。国务院颁布《建设工程质量管理条例》，明确要求所有桥梁工程必须由具有相应资质的单位承担设计和施工。交通运输部和建设部随后出台多项技术规范，强化了对钢管混凝土拱桥的设计验算要求和施工质量验收标准。

（四）影响安全性的主要因素

从上述案例可以归纳出影响安全性的四个因素。第一，设计理论不完善。彩虹桥设计计算错误，部分桥梁对极端工况考虑不足，如超载偏载、罕遇地震等动力效应被简化为静力等效。第二，施工质量缺陷。彩虹桥焊接和混凝土灌注质量极差。保护层厚度偏差、预应力孔道压浆不密实等缺陷也常见于其他桥梁。这些缺陷虽短期内不影响安全，但会加速钢材腐蚀，导致截面承载力逐年下降。第三，材料性能不足。钢管壁厚不达标、混凝土强度不满足要求、钢筋锈蚀等直接降低结构承载能力。第四，超载运营严重。许多桥梁实际通行车辆重量远超设计荷载，长期超载不仅增大弯矩和剪力，还显著缩短疲劳寿命^[2]。

二、市政路桥耐久性的内涵与退化机理

（一）耐久性设计的基本要求

耐久性是指结构在自然环境和正常使用条件下，在规定使用年限内不需大修而保持安全适用的能力。按照《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310），城市桥梁设计使用年限一般为100年。耐久性设计需考虑环境作用，包括碳化、冻融

循环、氯盐侵蚀、硫酸盐侵蚀、磨蚀等。设计措施包括选用合适的水胶比和混凝土强度等级、设置足够的保护层厚度、配置构造钢筋控制裂缝宽度、采取附加防护措施。耐久性设计的目标是延缓材料劣化进程，保证结构在全寿命周期内性能退化不超过容许范围。

（二）主要劣化机理

1. 混凝土碳化

空气中二氧化碳与水泥水化产物氢氧化钙反应生成碳酸钙，使混凝土碱性降低。当碳化深度达到钢筋表面时，钢筋钝化膜被破坏，开始锈蚀。碳化深度与时间的平方根成正比。一般C30混凝土在普通环境下的碳化系数约3至5毫米每平方根年。保护层厚度为40毫米时，碳化到达钢筋的时间约为8至18年。因此必须通过低水胶比和充分养护来降低碳化系数。

2. 氯离子侵蚀

氯离子来自沿海环境或冬季除冰盐。氯离子穿过保护层到达钢筋表面，局部破坏钝化膜，引发点蚀。碳化造成均匀锈蚀，氯盐则造成局部锈坑，危害更大。沿海地区桥梁通常要求混凝土水胶比不超过0.40，保护层厚度不小于50毫米，并采用环氧涂层钢筋。

3. 冻融破坏

在寒冷地区，混凝土毛细孔中的水反复冻融，产生内应力超过抗拉强度时导致表面剥落。东北、西北地区冬季气温低，冻融问题突出。掺入引气剂可显著提高抗冻性。

4. 碱骨料反应

活性骨料与水泥中的碱发生膨胀反应，产生网状裂缝，一旦发生难以控制。规范要求使用非活性骨料或限制总碱量。

（三）耐久性问题的典型表现

耐久性退化通常经历较长时间。早期表现包括混凝土表面碳化层变色、细小裂缝出现、桥面铺装局部剥落。中期表现包括保护层锈胀裂缝、支座橡胶老化变形、伸缩缝堵塞失效。晚期表现包括混凝土大面积剥落、钢筋露头锈断、预应力孔道压浆裂缝。这些现象本身不会立即导致桥梁倒塌，但若持续发展会显著降低截面承载力，最终转化为安全性事故^[3]。

与安全性不同，耐久性失效是一个渐进过程，可以通过定期检测和预防性养护加以延缓。例如每5年对混凝土表面涂刷硅烷防护剂，可延长碳化到达钢筋的时间2至3倍。每10年更换橡胶支座，可避免支座脱空导致的受力异常。

（四）安全性与耐久性的联系

安全性与耐久性在实际工程中高度耦合。钢筋锈蚀既是耐久性问题，也是安全性问题。锈蚀导致钢筋有效截面减小、屈服强度下降，同时锈胀裂缝破坏混凝土与钢筋的粘结力，使构件承载力大幅降低。根据试验数据，钢筋截面损失百分之十，梁的抗弯承载力下降约百分之十五至二十。另一个耦合点是裂缝。荷载裂缝或温度裂缝宽度超过限值，会加速氯离子和水分渗透，缩短耐久性。反过来耐久性退化如碱骨料反应引起的膨胀裂缝又会导致

结构刚度下降，影响安全性。因此不能将两者割裂设计^[4]。

（五）不同桥型与不同环境的侧重点

表 1：不同桥型与不同环境的侧重点

桥型或环境	安全性侧重点	耐久性侧重点
梁桥	抗弯强度、抗剪强度、独柱墩抗倾覆	主梁裂缝控制、支座更换便利性
拱桥	拱肋稳定性、吊杆抗疲劳	吊杆防腐、拱座基础防冲刷
斜拉桥	拉索疲劳、抗风稳定性	索体防腐、锚固区防水、可更换设计
沿海环境	抗风、抗震	氯盐防护、环氧涂层钢筋
寒冷环境	抗冻融承载力	引气混凝土、除冰盐控制

三、提升安全性与耐久性的措施

（一）设计阶段的改进

完善计算与验算。设计人员应严格按照规范进行强度、稳定和疲劳验算。对于钢管混凝土拱桥，需准确计算钢管壁厚和混凝土灌注质量对组合截面的影响。对于独柱墩桥梁，强制进行抗倾覆验算，计算倾覆稳定系数。可采取增大支座位移、设置抗拔支座、增加配重梁或增设墩柱等措施。

强化耐久性专项设计。按照环境作用等级选用不同的材料参数和防护措施。沿海桥梁必须采用环氧涂层钢筋或不锈钢钢筋，保护层厚度不小于 50 毫米。寒冷地区桥梁应掺加引气剂，并禁止使用氯盐除冰剂。

明确可更换设计。对斜拉索、吊杆、支座、伸缩缝等易损构件，在设计阶段预留更换空间、预埋吊装孔、设置检修通道。设计使用年限内至少应考虑一次更换方案。

（二）施工阶段的质量控制

严格控制保护层厚度。采用高强度塑料定位垫块，间距不大于 0.5 米，与主筋绑扎牢固。混凝土浇筑前逐一检查垫块位置。允许偏差为规范规定值。实际施工中偏差超限比例较高，应引入无损检测进行抽查验收。

保证钢管混凝土灌注密实。对于钢管混凝土拱桥，应采用自

密实混凝土或压力灌注工艺，灌注后采用敲击法或超声波检测内部密实度。发现空洞必须钻孔补灌。彩虹桥事故的一个重要原因就是管内混凝土存在大面积空洞。

强化养护条件。混凝土浇筑后覆盖保湿养护，时间不少于 14 天。大体积混凝土应控制内外温差不超过 25 摄氏度，防止温度裂缝。环境温度低于 5 摄氏度时应采取保温措施。

严把材料检验关。水泥、骨料、钢筋、钢管等原材料进场必须复检，不合格材料不得使用。彩虹桥事故中钢管壁厚不达标，反映出材料检验环节的缺失。

（三）运营阶段的养护管理

建立预防性养护制度。根据《城市桥梁养护技术标准》（CJJ 99），将桥梁技术状况分为五类。一类桥梁正常保养，二类桥梁进行小修，三类桥梁中修，四类桥梁大修或改造，五类桥梁重建。研究表明每投入 1 元预防性养护资金，可节约 3 至 10 元矫正性养护资金。预防性养护包括每年清理排水系统、每 3 年涂刷混凝土防护涂料、每 5 年更换老化支座、每 2 年检测吊杆索力^[5]。

应用桥梁信息管理系统。将设计图纸、施工记录、历年检测数据整合在同一平台，实现病害发展轨迹的可追溯分析。系统可自动生成技术状况评定报告，提出养护建议。

制定应急预案。针对超载车辆、极端洪水、强风等突发事件，设置动态称重系统和限载标志。编制分级响应措施，定期组织应急演练。

四、结束语

市政路桥的安全性、与耐久性相互关联。安全性保证桥梁不倒塌，耐久性保证不提前退化。重庆綦江彩虹桥垮塌表明，设计计算错误、施工质量失控、材料性能不足是提前失效的主因。二者通过材料劣化、施工缺陷等机制相互耦合，不可割裂设计。区分不同桥型、环境区域和使用年限，采取差异化设计指标与防护措施，方能有效延长桥梁使用寿命。设计、施工、养护各环节应协同配合，将安全性验算与耐久性设计统一于全寿命周期框架。

参考文献

[1] 陈惠水. 市政路桥设计中的安全性和耐久性分析 [J]. 四川建材, 2022, 48(11): 225-227.
[2] 尹常青. 探究市政路桥设计中的安全性和耐久性 [J]. 工程建设与设计, 2021(6): 74-76.
[3] 吕志江. 探究市政路桥设计中的安全性和耐久性 [J]. 现代物业, 2022(35): 67-69.
[4] 罗康娟. 市政路桥设计中的安全性和耐久性分析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(18): 2312.
[5] 邱丽莎. 市政路桥设计安全性以及耐久性的价值分析及优化策略 [J]. 现代装饰, 2025(3): 19-21.

新型建筑材料在建筑设计中的应用与前景分析

刘敏

中南建筑设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430060

DOI:10.61369/ADA.2026010001

摘 要： 新型建筑材料的应用正推动建筑设计理念与技术的革新。通过轻质高强、节能环保、智能响应等特性的材料应用，不仅优化了建筑结构性能，还提升了空间美学与功能融合度。新材料在绿色建筑、装配式建筑及智能建筑中的综合运用，体现出建筑设计由“结构安全”向“生态节能与人居舒适”转变的趋势。未来，材料科技与数字化设计的融合将进一步拓展建筑设计的创新空间与可持续发展潜力。

关 键 词： 新型建筑材料；建筑设计；绿色建筑；智能建筑；可持续发展

Analysis on the Application and Prospects of New Building Materials in Architectural Design

Liu Min

Central-Southern Architectural Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430060

Abstract： The application of new building materials is driving innovation in architectural design concepts and technologies. By utilizing materials with characteristics such as lightweight and high strength, energy efficiency and environmental protection, and intelligent responsiveness, not only are the structural performances of buildings optimized, but the integration of spatial aesthetics and functionality is also enhanced. The comprehensive application of new materials in green buildings, prefabricated buildings, and intelligent buildings reflects a trend in architectural design shifting from "structural safety" to "ecological energy conservation and human habitation comfort." In the future, the integration of material science and technology with digital design will further expand the innovative space and sustainable development potential of architectural design.

Keywords： new building materials; architectural design; green buildings; intelligent buildings; sustainable development

引言

随着科技的迅速发展与人们对生态环境关注度的提升，建筑行业正迎来材料革新的重要阶段。传统建筑材料在性能与环保方面的局限，促使新型建筑材料逐渐成为设计创新的核心动力。它们以轻质、高强、节能、智能等特性，不仅改善建筑品质，更重新定义了建筑的美学与功能边界。探讨新型建筑材料在建筑设计中的应用与前景，对推动建筑领域的绿色化与智能化转型具有重要意义。

一、新型建筑材料的发展现状与技术特征

新型建筑材料的发展是建筑行业转型升级的重要标志。随着全球可持续发展理念的深入推进，建筑业对节能、环保、耐久和智能化的要求不断提高，传统的水泥、钢材、砖石等材料已难以完全满足现代建筑的性能需求。新型建筑材料应运而生，涵盖了高性能混凝土、复合材料、纳米材料、相变储能材料以及智能调节材料等多个类型。这些材料在轻质高强、防火隔热、抗震耐久等方面表现突出，为建筑设计提供了更大的创新空间，也为实现节能减排和绿色施工提供了坚实的物质基础。

在技术特征方面，新型建筑材料具备显著的多功能性与高适应性。以复合材料为例，其通过多种物质的有机结合，实现了结

构强度与材料轻量化的平衡；纳米材料的引入，则有效提升了材料的致密度与耐候性，使建筑结构更加稳定耐用；智能响应型材料能够根据环境变化自动调节温度、湿度和光照，实现建筑的自适应与节能控制。除此之外，新型材料还具备良好的环境兼容性和可持续利用特征，如自清洁表层材料可有效减少维护频率，光催化材料可净化空气，储能材料则可实现建筑能源的动态平衡。这些技术的不断成熟，推动了建筑材料从“被动承载”向“主动响应”的功能转变，也标志着建筑材料科学正由传统工程学迈向智能化、信息化与生态化并行发展的新阶段。

政策支持与产业创新为新型建筑材料的发展提供了良好的外部环境。各国纷纷出台绿色建筑标准与能耗管控政策，促进节能环保型材料的推广应用，形成了以科技创新为核心驱动力的产业

升级格局。我国也在建筑领域大力推行装配式建筑、绿色施工与循环经济理念，从材料研发、生产、检测到应用形成完整体系，推动新材料产业链向高端化、智能化与集成化方向发展。与此同时，政府加大对绿色建筑示范工程和科技创新项目的扶持力度，激发了企业的研发热情与市场活力。新型建筑材料不仅体现了科学技术的进步，更是建筑行业实现转型升级与可持续发展的关键支撑。它们在满足结构安全与人居舒适的同时，也为未来建筑的生态化、低碳化、信息化和智能化奠定了坚实基础，展现出更加广阔的发展前景与深远社会价值。

二、新型建筑材料在建筑结构设计中的创新应用

新型建筑材料的广泛应用正深刻改变建筑结构设计理念与方式。传统结构设计多以承载力与稳定性为核心，而新型材料的出现使结构设计从单一的“安全与强度导向”向“功能、节能与美学并重”转变。例如，高性能混凝土在结构设计中的应用，不仅提高了承载能力，还通过配比优化与微结构改进实现了轻质化与高耐久性；纤维增强复合材料因其优异的拉伸强度与抗裂性能，被广泛用于桥梁、屋顶及高层建筑结构中，显著延长了建筑寿命并降低维护成本。这些创新材料的应用，使建筑师能够在确保结构安全的同时实现结构造型的自由化与设计理念的突破。

在建筑设计创新中，新型材料的多功能特性为结构性能与建筑美学的结合提供了新的可能。玻璃幕墙材料与智能调光玻璃的应用，使建筑能够根据光照强度自动调节透光率，实现节能与舒适性的平衡；相变储能材料被应用于墙体与地面结构中，可根据温度变化储存与释放热量，极大提高建筑的能源利用效率；而可回收的金属复合材料与自修复混凝土等新型材料，不仅增强了建筑的可持续性，也改变了传统建筑“静态结构”的概念，使建筑具备一定的“自我调节”与“延寿”功能。这种基于材料创新的结构优化，使建筑不再只是被动的空间承载体，而是具备生态响应与技术互动特性的“活性系统”。

新型建筑材料的应用还推动了建筑设计与工程施工一体化的发展。在装配式建筑和模块化建筑设计中，轻质高强材料、BIM 数字建模技术及智能传感系统的融合，使设计、制造与施工环节实现了精准对接，大幅提高了施工效率与结构精度。新材料的可塑性和兼容性为复杂空间结构提供了技术支持，使建筑设计能够在功能性与艺术性之间取得更高层次的平衡。同时，随着人工智能与材料科学的交叉发展，建筑设计正逐步迈入“材料智能驱动”阶段，设计师可通过模拟分析材料性能实现个性化结构优化。可以预见，未来建筑结构设计将更多依托新型建筑材料的科技创新，实现从结构安全到智能响应、从节能环保到可持续发展的系统化跨越，全面提升建筑的整体价值与社会意义。

三、新型建筑材料在绿色与节能建筑中的实践价值

新型建筑材料在绿色与节能建筑中的应用，已成为推动建筑行业可持续发展的核心动力。传统建筑在能耗与资源利用方面存

在显著不足，建筑材料生产过程中的高能耗与高排放问题，成为限制绿色建筑推广的关键因素。而新型建筑材料凭借节能、环保、可循环利用等特性，为实现建筑全生命周期的绿色化提供了技术支撑。例如，保温隔热材料、光伏建材、透水混凝土、再生骨料混凝土等的应用，有效减少了建筑运行中的能源消耗，并改善了建筑内部热环境。通过材料的创新与技术整合，建筑从单纯的能源消耗体转变为能源调节与环境友好并重的生态系统，体现出绿色建筑理念的实践价值。

在节能设计中，新型建筑材料展现出显著的能效优势。高性能保温材料如真空绝热板、气凝胶复合板，具有极低的导热系数，可显著降低采暖与制冷能耗；太阳能光伏一体化建材将光伏电池板与建筑外立面、屋顶融合，实现了“发电建筑”概念，使建筑在使用过程中能够自给部分能源；相变储能材料通过吸收和释放潜热，调节室内温度波动，提升居住舒适度并延长设备寿命。同时，低碳水泥、再生钢材和环保涂料的应用大幅减少了碳排放与污染物释放，使建筑设计更符合绿色建筑评价标准。这些材料不仅实现了节能减排目标，还促进了建筑设计从单一节能向综合能效管理的转变，为绿色建筑的推广提供了坚实基础。

更为重要的是，新型建筑材料在循环利用与生态平衡方面发挥着重要作用。可降解材料与可再生资源的使用，降低了建筑废弃物处理压力；绿色混凝土与再生骨料的应用，使旧建筑拆除后的材料得以重新利用，形成资源闭环；同时，智能调节材料与自修复材料的引入，提高了建筑结构的耐久性与使用寿命，减少了维护与更换带来的资源消耗。在城市可持续发展战略中，这些材料不仅优化了能源结构，也推动了建筑行业由高消耗型向绿色低碳型转型。随着新型建筑材料与智能建筑技术的进一步融合，未来的绿色建筑将更加注重生态协调与能源智能化，实现从“节能建筑”向“零能耗建筑”甚至“正能建筑”的跨越，展现出更高的社会、经济与环境价值。

四、智能化建筑设计中材料技术的融合与突破

智能化建筑设计的兴起，使建筑材料从传统的结构支撑角色逐步转变为具备感知、响应与调控功能的智能系统。随着物联网、人工智能和材料科学的融合，智能材料在建筑设计中的应用不断拓展，为建筑注入了“思考”与“感应”能力。智能调光玻璃、温度自调节材料、形状记忆合金以及自修复混凝土等新型材料的使用，使建筑能够根据环境变化自动调整光照、温度与湿度，实现节能与舒适性的动态平衡。这类材料的引入，使建筑不再是被动的物理空间，而成为具备交互能力的生态载体，体现出科技与艺术、功能与美学的深度融合。

在建筑设计过程中，材料技术的智能化突破极大提升了建筑的安全性及运行效率。例如，嵌入式传感材料可实时监测建筑结构的受力、振动及环境参数，提前预警潜在的安全风险；自修复混凝土通过内含微胶囊或细菌修复裂缝，显著延长了结构寿命并降低了维护成本；形状记忆合金和智能聚合物的应用，使建筑构件能够自动调整形态，适应不同气候或荷载条件。这些材料在高

层建筑、桥梁及公共基础设施中展现出巨大潜力，不仅提升了建筑运行的可靠性，也推动了建筑设计由静态结构向动态自适应系统的演进。通过智能材料与建筑信息模型（BIM）的结合，设计者可在虚拟环境中模拟材料性能，实现设计、施工与运维的一体化管理，从而提升建筑全生命周期的效率与智能水平。

未来，智能材料与建筑设计的深度融合将进一步推动建筑行业向数字化与智能化方向发展。随着人工智能算法、大数据分析和能源管理系统的进步，建筑材料将具备更高层次的学习与优化能力，实现对环境的预测性调控和能耗的自主分配。智能幕墙系统、可变形外壳结构、能源自循环材料等新技术，将使建筑实现人与环境的智慧交互，促进城市空间的可持续发展。此外，智能材料的可回收利用与绿色制造也将成为未来的重要方向，使智能化建筑在实现高科技含量的同时兼顾生态环保。可以预见，材料技术的不断突破与智能设计理念的融合，将引领建筑从功能性向智慧生态体的全面转型，成为未来城市建设的重要支撑与创新引擎。

五、新型建筑材料未来发展趋势与应用前景分析

新型建筑材料的发展趋势正逐步从结构性能的提升转向功能多样化与可持续化方向。随着全球绿色低碳战略的推进，建筑行业亟需在节能环保与资源循环利用之间取得平衡。未来建筑材料将更多依托高科技手段，通过材料基因工程、纳米技术和智能制造，实现性能优化与资源高效利用。例如，基于纳米技术的超疏水防腐材料可显著提高建筑耐久性；仿生材料的研发使建筑具备自清洁、自修复等特性；而3D打印建筑材料的出现，则突破了传统建造方式的限制，为建筑结构的个性化与复杂化设计提供了可能。这些技术的融合应用，标志着建筑材料正由单一功能向复合型、智能化方向演进。

在绿色建筑与智能建筑的双重推动下，新型建筑材料的应用

场景不断拓展。未来材料将更加注重环境响应与能源效率的动态调节，例如光伏玻璃、相变储能墙体、智能透气材料等，能根据气候与使用需求自动调节建筑能耗，实现低碳运维。同时，生物基材料与可再生资源材料将成为研究重点，它们以天然纤维、植物基聚合物等为基础，不仅具备良好的力学性能，还可降解、可循环，大幅减少建筑废弃物的产生。人工智能与大数据技术的应用也将推动材料选择的科学化与设计精准化，通过对材料性能、成本与环境影响的综合分析，实现建筑材料的最优配置，从而全面提升建筑的综合可持续性。

从行业发展角度看，新型建筑材料的未来前景广阔，但也面临技术标准、成本控制与产业融合等多重挑战。为推动产业健康发展，需要加快建立完善的材料检测体系与评价标准，推动科研成果产业化，提升材料在建筑全生命周期中的经济性与可操作性。同时，跨学科融合将成为新材料创新的关键途径，建筑学、材料科学、信息技术的深度交汇将催生更多智能与生态并存的新型材料体系。随着政策支持力度的增强与社会对绿色建筑需求的持续增长，新型建筑材料将在未来城市建设中扮演更加重要的角色。其创新应用不仅将促进建筑行业的技术革新，也将为实现人居环境的绿色转型和可持续发展目标提供坚实支撑。

六、结语

新型建筑材料的不断创新与应用，正引领建筑设计迈向智能化、绿色化与高效化的新阶段。材料技术的进步不仅推动了建筑结构性能的提升，也重塑了建筑与环境、人与空间之间的互动关系。通过轻质高强、节能环保与智能响应等特性的融合，建筑设计逐渐实现从“静态构造”向“动态生态”的转变。未来，随着科技与建筑学的深度融合，新型建筑材料将在可持续发展中发挥更加重要的作用，为人类创造安全、舒适、低碳的宜居空间，开启建筑设计的全新格局。

参考文献

- [1] 陈洪博. 新型建筑材料在建筑工程结构设计中的应用分析 [J]. 住宅与房地产, 2020(24): 103+117.
- [2] 樊洁. 新型建筑材料在建筑工程结构设计中的应用分析 [J]. 陶瓷, 2021(02): 92-93. DOI: 10.19397/j.cnki.ceramics.2021.02.034.
- [3] 顾志成. 新型建筑材料在建筑工程结构设计中的应用分析 [J]. 陶瓷, 2022(07): 110-112. DOI: 10.19397/j.cnki.ceramics.2022.07.023.
- [4] 邓荣通. 新型环保建筑材料在建筑中的应用前景和效益分析 [J]. 居舍, 2024(26): 46-48.
- [5] 韩飞, 戴欣萌. 新型建筑材料在绿色建筑中的应用现状与前景分析 [J]. 佛山陶瓷, 2025, 35(04): 167-169.

系统性防患原则下的石油化工仓库建筑设计

何茹艺

北京博鼎诚工程设计有限公司新疆分公司，新疆 乌鲁木齐 830019

DOI:10.61369/ADA.2026010003

摘 要： 石油化工仓库作为储存高危物料的关键场所，时刻都需要防范事故的发生。本文以建筑设计角度，运用系统性防患的设计思维，从石油化工仓库的平面、结构、构造、材料等方面入手，探讨了石油化工仓库设计的关键问题。本文首先通过提炼规范中的技术要点，进行科学的风险量化，再结合石油化工行业的实际需求，着重阐述了分类分级、平面布置、建筑结构选型、防火防爆、安全疏散设计等方面多维度下应对石油化工生产风险的建筑设计策略，简述了系统性防患原则下石化仓库设计的关键细节，归纳了系统性防患原则下石油化工仓库建筑的设计框架，构建出基本的风险防控体系，为更好地实现石油化工仓库建筑高质、安全、可靠的设计目标提供思路。

关 键 词： 仓库建筑；石油化工；系统性防患原则

Architectural Design of Petrochemical Warehouse under the Principle of Systematic Prevention

He Ruyi

Beijing Bodingcheng Engineering Design Co., Ltd. Xinjiang Branch, Urumqi, Xinjiang 830019

Abstract： As critical facilities for storing hazardous materials, petrochemical warehouses require constant accident prevention. This paper examines key design challenges through architectural design principles, employing systematic risk mitigation strategies. By analyzing warehouse layouts, structural configurations, material selection, and other critical aspects, the study first identifies technical specifications and quantifies risks scientifically. It then proposes multidimensional design solutions addressing classification systems, spatial planning, structural selection, fire/explosion protection, and emergency evacuation protocols. The paper details essential design elements under systematic risk management principles, establishes a comprehensive framework for petrochemical warehouse architecture, and develops a foundational risk control system. These insights provide actionable guidance for achieving high-quality, safe, and reliable design objectives in petrochemical warehouse construction.

Keywords： warehouse building; petrochemical industry; principle of systematic risk prevention

引言

在建筑设计方面，系统性防患原则涵盖平面、结构、构造、材料等方面，站在全局视角进行全面完善的考虑，提前进行风险的预防与控制，使建筑更加稳定、安全、耐久。具体到石油化工仓库建筑，我们可以借助质量抗风险设计、合规化控制等设计手段，主动防范和化解石油化工产品在生产、运输与贮存过程中存在的燃爆、毒害、腐蚀、和泄漏等隐患。系统性防患原则下，科学合理的石油化工仓库设计以“防火抗爆、防腐防害、防渗耐久、功能适配”为核心，从平面布置、结构设计、构造设计、材料选型到细节设计形成系统性防护，有助于建筑在起火、爆炸等极端状况下仍能维持结构完整性与功能有效性。在设计阶段提前采取预防措施，为石油化工生产筑牢安全防线。

一、综合规划平面布置

（一）布局与控制间距

石油化工仓库选址须确保与周边环境的安全距离，依据《石油化工企业设计防火标准》，仓库与人口密集场所的防火间距

一般不小于100m^[1]。地形条件方面，应选地势较高且平坦开阔区域，避免地势低洼导致积水，同时进行地质勘察，确保地基稳固。仓库装卸区须与储存区紧密衔接，设计环形道路，主干道转弯半径根据车辆类型设计，大型槽罐车需要考虑其转弯半径和衔接处设缓冲区域，消防车道需要考虑其宽度、高度以及与设施距

作者简介：何茹艺（1995.01—），女，汉族，硕士研究生，工程师，研究方向：建筑设计。

离，合理规划确保畅通。

储存区作为核心区域，须按化学品危险性类别划分。危险化学品如汽油、氢气等应设独立封闭储存区，采用防爆设备及通风设施，设置防泄漏等安全设施，不同存储区域间设防火墙或隔离带。各仓库间间距须严格遵循标准，甲乙类仓库、高层仓库需根据高度和耐火等级增加间距。危险化学品的仓库在平面布置及堆放货物时，还需要考虑仓库内“五距”的要求，即保证顶距、灯距、墙距、柱距、垛距不小于规范要求的最小间距^[1]。此外，石油化工仓库还须结合厂区内的生产装置、管道布局等整体规划，以保障整个厂区的消防安全。

（二）风向与泄压设计

风向和泄压设计对石油化工仓库至关重要，合理布局可有效减少爆炸和火灾事故的危害。将仓库布置在厂区全年最小频率上风侧，这一旦发生火灾、爆炸等事故，有害烟雾和火焰蔓延到厂区其他区域的概率会大大降低。仓库的泄压面，如轻质屋盖、泄压窗等，应统一朝向厂区边缘并避开人员密集区和主要道路。这样爆炸瞬间产生的冲击波不仅能够通过泄压面及时释放，避免在仓库内部积聚造成更大破坏，还能将冲击波导向相对安全的厂区边缘方向，防止其扩散至人员密集处，能最大程度保障人员生命安全和减少损失。

二、确定防火分区

（一）按仓库火灾危险性类别分类

石油化工行业涉及大量易燃易爆化学品的仓储和运输，确定仓库火灾危险性类别尤为重要。仓库内化学品的火灾危险性类别由存储或生产物质的性质、状态划分。储存不同种类化学品的仓库或化学品库的任一防火分区，应按照危险性最大的物品确定其火灾危险性类别^[2]。甲、乙类仓库存储的多为闪点低、爆炸下限小，危险性较高，分区面积限制较为严格。而丁、戊类仓库存储非燃烧物品，危险性较低，一、二级耐火等级的单层戊类仓库分区面积不限^[3]。石油化工仓库在存放分区上也应提前做好设计，有些特殊的石油化工物料相互接触会产生化学反应，在存放爆炸危险的、腐蚀性和易燃物料时，宜合理划区分开储存，并设置各自的出入口^[4]。

（二）判断仓库耐火等级与耐火极限

石油化工仓库耐火等级直接影响防火分区面积的大小。在仓库设计中，对耐火等级的最低要求可以确保仓库建筑在高温、高压等特殊工况下，仍能具备一定的防火能力。因此，耐火等级一、二级的仓库构件耐火性能较好，可设计面积较大的防火分区；耐火等级三级的仓库耐火性能较弱，因此一般设计为单层；耐火等级四级的仓库多设计为临时或小规模仓库。在设计仓库建筑时，较高耐火等级的仓库对应设计较高燃烧性能、耐火极限的承重构件，在设计中甲、乙、丙类石油化工仓库须保证其防火墙耐火极限在4小时以上，一、二级单层仓库柱子耐火极限须分别高于2.5小时、2小时^[5]。足够的耐火极限能够确保在火灾中仓库结构安全完整，为人员疏散和火灾扑救争取时间，因此需要做一些

适当的冗余设计。

（三）考虑仓库建筑类型与层数

仓库建筑类型和层数也会影响防火分区的设计。单层仓库火势蔓延相对易控制，分区面积的影响相对不大^[6]。而多层、高层石油化工仓库因火灾扑救和人员疏散困难，需要把防火分区控制到一个较小的面积范围内，还需要结合厂区内的生产装置、管道布局等整体划分防火分区。优先采用防火墙分隔相邻两个防火分区，使用防火卷帘、防火门等替代时必须保证其耐火极限达标，并设置自动报警和联动控制装置，确保在火灾发生时能迅速响应，阻止火势蔓延。

三、安全疏散与应急设计

在石化仓库火灾、爆炸等紧急情况下，合理的疏散通道设计能确保人员快速、有序撤离^[7]。每个防火分区设多个安全出口，疏散门按规定方向开启，宽度和间距达标，并采用便于逃生的门锁，疏散楼梯的疏散宽度和耐火时间需严格满足规范要求。仓库出入口设抗爆避难间设计，墙体须满足坚固耐火，配备能过滤有害气体新风系统、应急通讯设备和照明。石化仓库一旦发生有害气体泄露，避难间的新风系统可进行过滤，为避难人员提供安全空气；应急通讯设备确保人员与外界联系畅通；照明和应急物资满足人员临时避险需求，为无法及时撤离的人员提供安全庇护。

四、建筑结构抗风险设计

（一）抗爆承重体系与泄压设施

石化仓库常面临潜在爆炸风险，主体结构常采用钢筋混凝土框架，通过加密梁柱节点箍筋、加大柱子尺寸并选用高强度混凝土，构建稳固承重骨架。抗爆墙与主体结构柔性连接，能有效吸收大部分爆炸冲击力，降低爆炸对仓库其他区域的影响^[8]。防爆屋盖是利用轻质泄压设计，借助石化仓库存储规模与介质特性，合理设置泄压面积，铺设易碎材料。爆炸发生时屋盖会优先破碎泄压，将爆炸能量及时释放，使得爆炸时仅屋盖受损，主体结构便得以保全。泄压窗设计中采用抗爆玻璃和耐高温窗框并设自动开启装置，在其受到冲击时快速打开泄压可及时释放爆炸压力。上述设计能有效抵御爆炸冲击力，确保仓库在极端情况下仍能保持基本框架完整，防止爆炸能量积聚对仓库结构造成毁灭性破坏。

（二）地基与基础可靠性

石化仓库的储罐区对地基稳定性要求严苛。设计时应进行沉降计算，严格控制相邻基础沉降差，避免因沉降不均导致储罐倾斜、管道破裂等严重后果。不同地质采用桩基、筏基等合适的基础形式，确保储罐区长期使用过程中基础沉降稳定。对于储存酸性介质的石化仓库，为防基础腐蚀，可在基础垫层做防腐涂层，并在混凝土中添加防腐外加剂，形成双重防腐保护。多重防腐设计可以延长基础使用寿命，减少因基础损坏带来的安全隐患与后期维修加固成本。

五、建筑构造防火设计

（一）防火墙与防火分隔

石油化工仓库火灾一旦发生，火势蔓延迅猛，且有化学品引爆风险。因此，存放不同化学品的两个相邻防火分区之间采用防火墙分隔十分必要。防火墙采用钢筋混凝土材质，其厚度、配筋等设计均须满足严格的防火规范要求，保证达到规定的耐火时间，甲、乙、丙类石油化工仓库严格限制防火墙耐火极限在4小时以上，使其与屋面一起形成完整防火屏障。当必须开设门窗洞口时，配备防火门和防火卷帘等防火分隔，并设置自动报警和联动控制装置。防火墙与防火分隔能有效阻止火势蔓延，避免火灾波及相邻区域，为消防救援争取时间^[9]。

（二）防渗漏与排水设计

石化仓库储存的化学药品若发生泄漏，渗入土壤会造成环境污染，引发安全事故，而完善的防渗漏与排水设计可及时收集泄漏介质，防止其扩散。仓库地面找坡排水，四周设明沟，沟内铺设防渗膜，排水口设阻火设施，这些措施都能有效地防止渗漏。阻火设施还能避免火灾通过排水系统传播，从细节处保障石化仓库的质量安全与环境安全。

六、建筑材料综合选型

（一）耐火材料与不发火材料

在石化仓库中，屋顶可采用岩棉板等耐火保温材料，吊顶选用防火石膏板等，减少火灾时热量传递和火焰穿透风险^[10]。吊顶材料的耐火性能可防止火灾向上蔓延，保护仓库顶部设施，维持仓库空间结构的完整性。仓库的防火墙、防爆墙须采用耐火砌体材料或耐火板材，耐火极限须符合规范要求，防止火势跨区域蔓延。甲类仓库整体采用不发火材料，如不发火水泥砂浆土等，覆盖范围包括存储区、装卸区、通道等，确保叉车行驶、货物搬

运、人员走动摩擦时不产生火花。在油罐区、桶装易燃液体堆放区、阀门操作平台等风险极高的部位，可选用更耐磨、抗冲击的不发火材料，并确保地面平整无凸起，减少摩擦撞击概率。

（二）抗腐蚀与抗老化材料

石化仓库储存的腐蚀性气体对建筑材料侵蚀严重，若要保证良好的耐久性，须结合石油化工仓库的使用环境，选用耐化学腐蚀、抗老化的建筑材料。防腐设计可以针对不同危化品的腐蚀特性，选用耐酸碱、抗化学侵蚀的涂料和建材。对金属构件、混凝土表面等进行防腐处理，避免因材料腐蚀导致结构损坏或功能失效。例如外墙选用耐腐蚀性强的涂料，采用专业工艺施工形成防护层；屋面使用拼接牢固且耐候性好的材料，并使用正确的铺贴方式。设计过程中同时保证材料的选型合适、铺贴方式合理，能有效增加建筑主体及各类设施的使用年限。

七、总结

石油化工仓库的系统性防患，本质是通过风险设防、分区量化、材料分级等方式将安全目标转化为可落地的技术指标。首先，建筑设计须以防火防爆设计为重点，合理划分防火分区，采用防火隔墙、防火门等隔绝火势蔓延；其次，选择抗爆性能良好的结构形式，做好抗爆承重体系与泄压设施设计，减少爆炸等事故带来的二次伤害和损失；在细节方面，进行全面的建筑耐久性设计，结合石油化工仓库的使用环境，优先使用耐火、防渗、抗腐蚀、抗老化的建筑材料，并在结构设计中考虑长期荷载与环境因素的影响，确保建筑主体及构筑物在设计使用年限内保持稳定性能；仓库地面、墙面、屋盖等部位须进行整体系统的设计考虑，既要防止生产过程中引起大的灾害还要避免产生小的泄漏污染。设计过程中紧密围绕系统性防患原则，不仅为石油化工仓库安全运营、高效生产提供了有力支撑，还能从源头保障石油化工仓库建筑功能稳定耐久，满足安全生产的基本要求。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 石油化工企业设计防火标准 (2018年版): GB 50160-2008 (2018年版) [S]. 中国计划出版社, 2018.
- [2] 中华人民共和国应急管理部. 危险化学品仓库储存通则: GB 15603-2022[S]. 中国标准出版社, 2022.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑设计防火规范 (2018年版): GB 50016-2014 [S]. 中国计划出版社, 2018.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 石油化工全厂性仓库及堆场设计规范: GB 50475-2008[S]. 中国计划出版社, 2008.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑防火通用规范: GB 55037-2022[S]. 中国计划出版社, 2022.
- [6] 李雁飞. 危险化学品仓库堆垛安全布局建模及优化研究 [D]. 北京石油化工学院, 2018.
- [7] 刘丽. 石油化工厂房的建筑结构设计特点 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(13): 122-123.
- [8] 刘玉梅. 浅谈石油化工企业全厂化学品库的设计 [J]. 化工设计, 2022, 32(04): 43-45+2.DOI: 10.15910/j.cnki.1007-6247.2022.04.005.
- [9] 蒋庆君. 石油化工建筑防爆设计注意事项与措施分析 [J]. 化工管理, 2019, (20): 93-94.
- [10] 房淑媛. 石油化工建筑防爆设计时需要注意的问题 [J]. 当代化工研究, 2019, (03): 44-45.

化工厂房楼面活荷载中外规范对比研究

廖水泉

广东政和工程有限公司杭州分公司, 浙江 杭州 310044

DOI:10.61369/ADA.2026010004

摘 要 : 国际化工项目设计中, GB 51006-2014与 PIP STC01015-2023 (其中荷载折减引用 ASCE 7) 两套规范体系存在显著差异。本文对比分析了两套规范在楼面活荷载设计方面的差异, 通过典型框架结构验算进行定量评估。研究表明: GB 51006 依据工况时间特性进行分类, PIP STC01015 依据荷载力学性质进行分类; GB 规范给出检修荷载分级取值标准, PIP 规范需工程师依据设备参数确定; ASCE 7 活荷载折减系数按概率公式计算, GB 规范采用固定系数。以典型 6 层框架结构为例, 验算结果表明, 折减系数差异导致柱轴力设计值存在较大差异。

关 键 词 : 化工厂房; 楼面活荷载; 荷载折减; GB 51006; PIP; ASCE 7

Comparative Study on Live Loads of Floor in Chemical Plant Buildings between Chinese and Foreign Codes

Liao Shuiquan

Hangzhou Branch of Guangdong Zhenghe Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310044

Abstract : In international chemical project design, GB 51006-2014 and PIP STC01015-2023 (which refers to ASCE 7 for load reduction) show significant differences. This paper compares two codes on floor live load design. The study shows the main differences: GB 51006 divides loads according to operation conditions, but PIP divides them by load mechanical properties; GB gives clear values for maintenance loads, but PIP needs engineers to calculate them based on equipment parameters; ASCE 7 builds reduction formula using probability theory, but GB uses fixed coefficients based on the mutual exclusion of conditions. By calculating a typical 6-story frame structure, the results show that the differences between codes cause variations in reduction coefficients and column axial forces. This study can give reference for code coordination in international chemical projects.

Keywords : chemical plant; floor live load; code comparison; GB 51006; PIP; ASCE 7

引言

近年来, 国内设计单位承接海外 EPC 项目日益增多。国际化工项目设计中普遍存在规范体系差异问题: 业主方通常要求遵循 PIP (Process Industry Practices) 标准体系, 该体系在荷载组合与折减方面引用 ASCE 7 通用建筑规范; 而国内设计单位依循 GB 51006-2014《石油化工建(构)筑物结构荷载规范》(基于 GB 50009 和 GB 50068 的框架体系) 开展设计工作。两套规范在荷载分类、取值依据、折减方法等方面存在显著差异, 给工程设计带来困难。楼面活荷载作为化工框架结构设计的关键控制参数, 其取值合理性直接关系到梁板柱及基础等构件的截面设计与配筋构造, 影响结构安全与工程造价。现有研究主要集中于通用建筑规范的对比分析, 针对化工行业专用荷载规范的研究相对不足。范峰等 [6] 对中、美、加、欧屋面雪荷载规范开展了对比研究, 分析了我国规范与 ASCE、NBC、EU 规范在雪荷载取值方面的主要差异; 陈华良 [7] 对中国规范与国际标准在抗震设计领域的适用性进行了对比分析。然而, PIP 标准体系作为北美化工行业主流实践指南, 国内相关研究较少, 在一定程度上影响了国际化工项目的设计质量与实施效率。

近年来, 国内学者对工业建筑楼面荷载取值问题开展了研究。王伟锋等 [8] 总结了工业上楼建筑楼面荷载的合理取值范围; 王朝阳等 [9] 运用 SAP2000 软件, 在基于广义均布活荷载前提下开展楼面活荷载取值研究, 提出楼盖采用单向双次梁布置时, 建议广义次梁的活荷载折减系数不宜小于 0.85, 主方向主梁活荷载折减系数不宜小于 0.75; 楼盖采用井字梁布置时, 建议次梁活荷载折减系数不宜小于 0.80, 主梁活荷载折减系数不宜小于 0.75。

本文对比分析 GB 51006-2014 与 PIP STC01015-2023 在楼面活荷载设计方面的技术要求, 并选取典型化工框架结构开展设计验算, 为跨国化工项目的规范协调提供参考。

一、规范体系对比分析

GB 51006由住房和城乡建设部发布，属强制性标准。PIP STC01015-2023属推荐性指南。美国无国家强制性工业建筑规范，规范执行主要依靠业主合同要求。GB规范给出了明确技术指标，PIP规范更强调工程师的专业判断。

GB 51006将荷载划分为正常操作、停产检修、充水试压三种工况，设计时分别计算取包络值。正常操作荷载2.0~5.0 kN/m²（第6.2.1条），检修荷载2.0~10.0 kN/m²（第6.2.2条），试压荷载按设备容积计算（第2.1.6条）。

PIP STC01015将荷载划分为恒载、活荷载、试压恒载三类，通过荷载组合公式综合考虑[2]。第4.1.3节表1给出活荷载取值：轻工业6.0 kN/m²，重工业12.0 kN/m²。试压恒载（Test Dead Load）针对水压试验等短时工况，是PIP区别于ASCE 7的补充。检修荷载未给具体数值，要求工程师依据设备参数自行确定。

二、荷载取值与折减原理

（一）活荷载取值标准

正常操作工况与检修工况的活荷载取值对比见表1和表2。

表1 正常操作工况活荷载取值对比

区域功能	PIP (kN/m ²)	GB (kN/m ²)
通用生产区	6.0	2.0
化验分析室	6.0	3.0
楼梯平台	6.0	3.5
重型生产/仓储	12.0	5.0

正常操作状态下 PIP 规范的荷载取值显著高于 GB 规范。这是因为 PIP 将日常操作与可能发生的检修作业统一归入活荷载。相比之下，GB 规范将正常操作工况与停产检修工况视为两种时间互斥的场景，分别给定荷载标准值并分别验算。

表2 检修工况活荷载取值对比

设备类型	PIP	GB (kN/m ²)
压缩机/鼓风机检修区	需工程师计算	10.0
反应器检修区		6.0
热交换器周围区域		4.0
非检修区域		2.0

GB规范针对检修工况制定了完整的分级取值体系，工程师可直接查表确定；PIP规范仅给出原则性要求，具体数值需工程师依据设备参数计算确定。

（二）荷载折减原理

ASCE 7 采用概率统计方法折减活荷载：随构件影响面积增大，各区域同时达到满荷载的概率减小。公制单位（SI）下的计算公式为：

$$L = L_0 \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} \cdot A_T}} \right)$$

式中：L为折减后的活荷载（kN/m²）；L₀为活荷载标准值（kN/m²）；K_{LL}为活荷载要素系数，楼板取1，内部柱取4；

A_T为构件影响面积（m²）。支承多层楼面的构件，L不得小于0.4L₀。

GB 51006根据工况时间相互独立的原理确定折减系数。设计框架梁、框架柱及基础时，当负荷面积大于50 m²，检修活荷载采用固定折减系数。检修荷载≤10.0 kN/m²时折减系数取0.7；>10.0 kN/m²时取0.5，但折减后不应小于7 kN/m²。楼板及次梁不得折减（第6.2.3条）。

表3 活荷载折减机制对比

项目	ASCE 7 (PIP引用)	GB 51006
折减依据	影响面积概率统计	工况时间互斥性
适用荷载	楼面活荷载	检修活荷载
折减方式	公式连续计算	固定系数查表
适用条件	影响面积≥37.2 m ²	负荷面积>50 m ²
最小值	0.40~0.50	0.50~0.70

ASCE 7折减系数随影响面积连续变化，大型结构可达0.4；GB规范采用固定系数，方法简便，但对大型结构相对保守。

（三）荷载组合的比较

ASCE 7采用荷载和抗力系数设计法（LRFD）。化工框架结构楼面设计中，恒载与活荷载的基本组合为1.2D + 1.6L（Section 2.3）。

PIP 第4.2节以及表5指出，考虑试压荷载时，组合调整为1.2(Ds + Dta)，其中Ds为结构恒载，Dta为试压重量。

GB 50068-2018第8.2.9条规定，承载能力极限状态验算时，永久作用分项系数γ_G = 1.3，可变作用γ_Q = 1.5，基本组合为1.3G + 1.5Q。GB 51006-2014第8.2.1条注3规定试压荷载的分项系数取1.2，与PIP规范一致。

表4 荷载组合系数对比

规范类别	恒载分项系数	活荷载分项系数	基本组合公式
ASCE 7	1.2	1.6	1.2D + 1.6L
GB规范	1.3	1.5	1.3G + 1.5Q

GB规范的恒载分项系数高于ASCE 7，活荷载分项系数低于ASCE 7。当恒载与活荷载比值处于0.7~0.8区间时，两种组合的设计荷载值接近。

三、典型工程案例验算

（一）工程概况与计算条件

本文选取典型化工框架结构进行对比验算。工程为某精细化工生产厂房，采用现浇钢筋混凝土框架结构。建筑6层，标准层高4.5 m，柱网8 m×8 m，楼盖采用现浇单向板，次梁沿短跨方向布置，间距2.67 m（柱网三等分）。

两套规范的材料强度取值方法不同。GB 50010采用材料强度设计值方法：通过材料标准值除以材料分项系数（混凝土γ_c=1.4，钢筋γ_s=1.1）即为设计值，直接用于承载力计算。ACI 318-25采用标称值方法：材料强度采用标称值（相当于实际平均值），承载力计算结果乘以强度折减系数φ（受弯φ=0.9，受剪φ=0.75等）。两种方法的安全储备方式不同，但可靠度水平相当。本文对比荷载取值与组合方法的差异，材料强度计算按相应规定执行。材料参数见表5，荷载参数见表6。

表5 材料参数对照

项目	GB 50010	ACI 318-25
混凝土强度	C30 ($f_c=14.3\text{ N/mm}^2$)	$f' c = 30\text{ MPa}$
钢筋强度	HRB400 ($f_y=360\text{ N/mm}^2$)	Grade 60 ($f_y=420\text{ MPa}$)
强度折减方式	材料分项系数 ($\gamma_c=1.4$, $\gamma_s=1.1$)	强度折减系数 ϕ (受弯 0.9)

表6 荷载参数

荷载类型	组成	标准值 (kN/m²)	备注
恒载	楼板自重	3.75	$0.15\text{ m} \times 25\text{ kN/m}^3$
	建筑面层	1.0	地砖、找平层
	吊顶	0.4	轻钢龙骨
	合计	5.15	-
活荷载	设备 + 检修	6.0	PIP Table 1/GB 6.2.2-6

（二）楼板设计验算对比

楼板按单向板简支计算模型设计，计算跨度取次梁间距2.67 m。两套规范均规定，楼板活荷载不折减。荷载组合与内力分析结果见表7。

表7 楼板荷载组合与内力对比

计算内容	计算公式	PIP	GB
设计荷载 (kN/m²)	$1.2D+1.6L / 1.3G+1.5Q$	15.78	15.70
跨中弯矩 (kN · m/m)	$M=qL^2/8$	14.06	13.99
计算配筋 (mm²/m)	$A_s=M/(f_y \cdot h_0 \cdot \alpha_s)$	308	323
钢筋用量 (kg/m³)	实配钢筋折算	17.2	17.9

在相同活荷载标准值条件下，两套规范的楼板设计结果接近，设计荷载分别为15.78 kN/m²和15.70 kN/m²，这说明当恒载与活荷载比例相当时，GB规范较高的恒载系数（1.3）与ASCE 7较高的活荷载系数（1.6）产生的设计荷载相近。配筋量差异较小，该差异除受荷载组合影响外，还与材料强度体系不同有关（ACI 318-25采用 $f' c=30\text{ MPa}$ 、 $f_y=420\text{ MPa}$ 的标称值，GB 50010采用 $f_c=14.3\text{ N/mm}^2$ 、 $f_y=360\text{ N/mm}^2$ 的设计值）。钢筋用量增幅较小，对工程造价影响可忽略不计。

（三）框架柱设计验算对比

选取标准层中柱对比验算。柱网尺寸8 m×8 m，单层柱受荷面积64 m²，6层框架累计受荷面积384 m²。荷载折减与轴力分析结果见表8。

表8 框架柱荷载折减与轴力对比

计算项目	计算公式	PIP	GB
受荷面积 (m²)	$8 \times 8 \times 6\text{ 层}$	384	384
活荷载折减系数	公式 / 固定	0.40	0.70
折减后活荷载标准值 (kN)	$6.0 \times \text{折减系数} \times 384$	921.6	1612.8
活荷载设计值 (kN)	$1.6L / 1.5Q$	1474.6	2419.2
恒载设计值 (kN)	$1.2D / 1.3G$	2373.1	2570.9
柱轴力设计值 (kN)	恒载 + 活荷载	3848	4990

ASCE 7公式计算，当受荷面积 $AT=384\text{ m}^2$ 、 $KLL=4$ （内部柱）时，折减系数计算值为0.367，按规范规定最小值0.4取用。GB规范第6.2.3条规定，当检修荷载标准值不大于10.0 kN/m²时，折减系数取0.7。

经荷载组合后，PIP 规范柱轴力设计值为3848 kN，GB 规范为4990 kN。差异主要源于折减系数不同：ASCE 7折减系数为0.4，GB 规范为0.7，导致GB规范折减后活荷载标准值明显高于PIP规范。虽然GB规范的活荷载组合系数1.5低于PIP规范的1.6，但不足以抵消折减系数的差异。该轴力差异对框架柱截面尺寸与配筋构造影响显著。

四、结论与建议

本文对比了GB 51006与PIP STC01015在化工厂房楼面活荷载设计方面的技术差异，结论如下：

- 荷载分类体系不同。GB 51006依据工况时间特性，将荷载划分为正常操作、停产检修、充水试压三种时间互斥的工况类型；PIP STC01015依据荷载物力学性质，将荷载划分为恒载、活荷载、试压恒载三类，可同时存在于设计计算中。
- 荷载取值规定不同。GB规范针对检修工况给出了完整的分级取值体系，工程师可直接查表应用；PIP规范仅给出制造区域活荷载的分类标准，检修荷载需工程师依据设备参数自行计算。
- 荷载折减机制不同。ASCE 7基于概率统计理论建立折减公式，折减系数随构件受荷面积增大而递减；GB 规范基于工况互斥性原理采用固定折减系数，实施简便但对大型结构相对保守。
- 典型框架结构验算表明，不折减构件（如楼板）的设计结果接近；需折减构件（如框架柱）的设计结果相差较大，主要原因在于折减系数的差异。

参考文献

[1] GB 51006-2014, 石油化工建 (构) 筑物结构荷载规范 [S]. 北京：中国计划出版社，2015.
[2] PIP STC01015, Structural Design Criteria[S]. Austin: Process Industry Practices, 2023.
[3] ASCE/SEI 7-22, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures[S]. Reston: American Society of Civil Engineers, 2022.
[4] GB 50068-2018, 建筑结构可靠性设计统一标准 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2018.
[5] GB 50009-2012, 建筑结构荷载规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.
[6] 范峰，莫华美，洪汉平，中、美、加、欧屋面雪荷载规范对比 [J]. 哈尔滨工业大学学报，2011, 43(12): 18-22.
[7] 陈华良. 采用中国规范的抗震设计与国际标准的对比分析 [J]. 四川水泥，2024, (11): 41-43.
[8] 王伟锋，陈明强，陈延浩，等. 工业上楼建筑设计中常见问题及应对措施 [J]. 四川建筑，2025, 45(6): 49-52.
[9] 王朝阳，祝建刚，何云明，等. 工业上楼建筑楼面活荷载取值探讨 [J]. 建筑科学，2025, 41(11): 107-115.

复杂地质条件下深基坑支护施工技术与风险防控研究

吴世伟

中船海鑫建设工程（北京）有限公司，北京 100121

DOI:10.61369/ADA.2026010005

摘 要： 随着城市地下空间开发不断深入，复杂地质条件下的深基坑工程日益增多，其支护施工技术与风险防控成为工程建设的关键环节。本文围绕复杂地质条件下深基坑支护施工技术与风险防控展开研究，首先从针对性支护结构选型、精细化施工过程控制以及动态监测与防护协同三个方面分析了深基坑支护施工的核心技术路径，以提升支护体系的适应性与稳定性。其次，从前期勘察与风险预判、施工过程精细化管理以及动态监测与实时预警三个维度探讨了风险防控策略，以降低复杂地质环境对施工安全的影响。研究结果可为类似工程提供技术参考与实践借鉴，推动深基坑工程在复杂条件下的安全、高效建设。

关 键 词： 复杂地质；深基坑支护施工技术；风险防控

Research on Construction Technology and Risk Prevention of Deep Foundation Pit Support under Complex Geological Conditions

Wu Shiwei

CSIC Haixin Construction Engineering (Beijing) Co., LTD. Beijing 100121

Abstract： With the continuous development of urban underground space, deep foundation pit projects under complex geological conditions are becoming increasingly common, making support construction technology and risk prevention critical components of engineering projects. This paper focuses on the research of deep foundation pit support construction technology and risk prevention under complex geological conditions. It first analyzes the core technical approaches of deep foundation pit support construction from three aspects: targeted support structure selection, refined construction process control, and coordinated dynamic monitoring and protection, aiming to enhance the adaptability and stability of the support system. Secondly, the study explores risk prevention strategies from three dimensions: preliminary investigation and risk assessment, refined construction process control, and dynamic monitoring with real-time alerts, aiming to mitigate the impact of complex geological conditions on construction safety. The findings provide technical references and practical insights for similar projects, facilitating safe and efficient deep foundation pit construction under challenging conditions.

Keywords： complex geology; deep foundation pit support construction technology; risk prevention and control

随着城市化进程不断加快，深基坑工程在复杂地质条件下日益增多，施工难度与风险显著提升。软弱土层、地下水富集、周边建（构）筑物密集等因素，对支护体系的安全性和稳定性提出了更高要求。因此，系统研究深基坑支护施工技术与风险防控措施，对于保障工程安全、减少环境影响、提高施工效率具有重要意义。本文围绕复杂地质条件下的支护结构选型、施工工艺优化及风险识别与控制展开探讨，以期类似工程提供参考。

一、复杂地质条件下深基坑支护施工技术

（一）针对性支护结构选型技术

支护结构的合理性是应对复杂地质的基础，需摒弃单一方案，采用“主支护+辅助加固”的复合模式，适配不同地质特性。对于软土地层，因其承载力低、沉降量大，优先选用排桩+

锚索组合支护，排桩选用钻孔灌注桩或沉管灌注桩，形成连续抗侧力屏障，锚索深入稳定地层提供拉力，同时配合水泥搅拌桩帷幕阻断地下水渗透；针对岩溶、破碎带地层，采用地下连续墙+注浆加固方案，地下连续墙兼具挡土、截水双重功能，能适应岩层裂隙发育特点，注浆则采用水泥-水玻璃双液浆，填充岩溶孔洞及破碎岩体间隙，提升地层整体性。对于富水砂层，选用钢板

作者简介：吴世伟（1984.08-），男，满族，辽宁省葫芦岛市人，学历：本科，土木工程，职称：中级，工作领域：建筑施工管理。邮箱：812181621@qq.com。

桩支护配合井点降水，钢板桩锁口紧密可有效挡砂截水，井点降水需控制降水速率，避免因水位骤降引发地层沉降。此外，在地质条件极不均匀区域，可采用混合支护形式，如局部岩层区域用锚杆支护，软土区域用搅拌桩复合地基+排桩支护，实现差异化适配。

（二）精细化施工过程控制技术

复杂地质下，施工操作的精细化直接影响支护结构质量和地层稳定性，需重点把控关键工序的施工参数与流程。钻孔施工阶段，针对软土、砂层易塌孔问题，采用泥浆护壁技术，严格控制泥浆比重（1.1–1.3）、黏度（18–22s），钻进速率根据地质情况动态调整，避免过快钻进导致孔壁失稳；在岩层区域钻进时，选用金刚石钻头，采用分级钻进工艺，减少对围岩的扰动。支护结构浇筑阶段，排桩、地下连续墙混凝土浇筑需保证导管埋深（2–6m），防止断桩、夹渣，浇筑完成后及时养护，确保结构强度达标；锚索、锚杆施工时，孔位偏差控制在±50mm内，注浆需饱满，待浆液强度达到设计值的75%后再进行张拉锁定，张拉应力严格按设计要求控制，避免超张拉导致结构变形。同时，施工过程中需做好工序衔接，严禁交叉作业干扰，对每道工序进行质量验收，不合格工序严禁进入下一道流程。

（三）动态监测与防护协同技术

复杂地质条件下深基坑施工风险高，需建立“实时监测+动态调整”的管控体系，及时预警风险并采取防护措施。监测内容涵盖支护结构变形（桩顶位移、墙体沉降）、地层位移（周边土体沉降、水平位移）、地下水水位、锚索拉力、基坑周边建（构）筑物变形等，选用自动化监测设备（如全站仪、测斜仪、水位计），监测频率根据施工阶段调整，基坑开挖阶段每12小时监测一次，变形稳定后可延长至24小时一次，监测数据实时传输至控制中心，若出现数据超预警值情况，立即停止施工。防护措施需与监测结果联动，针对周边土体沉降过大问题，可采用补注浆加固地层；若支护结构位移超标，及时增设临时支撑（如钢支撑），调整开挖顺序，采用分层、分段开挖方式，缩短基坑暴露时间；对于地下水水位异常变化区域，加密降水井点或增设回灌井，防止地下水位失衡引发地质灾害。此外，需划定基坑安全保护区，严禁在保护区内堆载、重型机械碾压，避免加剧地层扰动。

二、复杂地质条件下深基坑支护施工风险防控

（一）前期勘察与风险预防控

风险防控的前提是全面、精准摸清地质工况，复杂地质条件下的勘察工作需突破常规标准，以精细化勘察为核心，避免因勘察疏漏、数据偏差埋下安全隐患，为后续施工方案制定和风险防控提供可靠依据。施工前需委托具备相应资质的勘察单位，开展系统性、全方位的地质勘察工作，摒弃“平均化”勘察模式，针对软土、岩溶、富水砂层、断层破碎带等典型复杂区域，科学加密勘察点位，点位间距相较于常规区域缩短30%–50%，同时根据地层复杂程度适度加深勘察深度，确保穿透不稳定地层，直达下部稳定岩层。勘察过程中需综合运用钻探、物探、原位测试等多种技术手段，精准查明地层纵向与横向分布规律、岩土体物理力

学性质（如黏聚力、内摩擦角、承载力等关键指标）、地下水赋存状态（包括水位标高、补给与排泄路径、水体腐蚀性）及隐蔽地质隐患点位，重点标注岩溶孔洞、断层破碎带、软弱夹层等风险源的具体位置、范围及发育程度。

基于详细勘察数据，组织地质、结构、施工等多专业技术人员开展联合风险评估，采用定性与定量相结合的方法，结合行业规范及类似工程案例，科学划分高、中、低三个风险等级区域。其中高风险区重点聚焦涌水、涌砂、塌孔等突发风险，中风险区关注支护结构变形、地层不均匀沉降，低风险区则侧重施工扰动引发的轻微沉降问题，针对不同风险区域明确核心防控重点及管控阈值。

（二）施工过程精细化管控防控

施工过程是风险防控的核心环节，复杂地质条件下需以工序精细化管控为抓手，将规范操作贯穿施工全流程，通过严控关键工序参数、优化施工组织、强化质量验收，从源头减少风险触发概率，保障支护结构稳定性及地层安全。钻孔施工作为支护结构施工的基础工序，需针对不同地质特性制定差异化操作标准：在软土、砂层等易塌孔区域，严格采用泥浆护壁技术，精准控制泥浆比重在1.1–1.3、黏度18–22s，同时根据钻进速度动态调整泥浆补给量，避免因泥浆性能不达标导致孔壁失稳塌孔；在岩层区域，选用金刚石钻头配合分级钻进工艺，每级钻进深度控制在0.5–1m，钻进过程中匀速推进，减少对围岩的扰动，避免岩层裂隙扩大引发坍塌风险，钻进完成后及时清孔，确保孔底沉渣厚度符合设计要求（不超过50mm）。

支护结构施工质量直接决定基坑稳定性，需强化各环节管控。排桩、地下连续墙混凝土浇筑时，严格控制混凝土坍落度在180–220mm，采用导管法浇筑，确保导管埋深始终维持在2–6m，防止出现断桩、夹渣、露筋等质量问题，浇筑完成后及时覆盖养护，待混凝土强度达到设计值的75%以上方可开展后续工序。锚索、锚杆施工时，孔位偏差控制在±50mm内，钻孔角度误差不超过1°，注浆采用压力注浆工艺，确保浆液饱满填充孔壁间隙，待浆液强度达标后再进行张拉锁定，张拉应力严格按设计要求控制，避免超张拉导致结构变形或锚索、锚杆失效。同时优化施工组织方案，采用分层、分段开挖模式，每层开挖深度不超过2m，分段长度控制在8–10m，开挖完成后及时施工支护结构，缩短基坑暴露时间，严禁交叉作业干扰关键工序，避免因施工衔接不当引发地层位移。

表1 施工过程精细化管控关键数据

项目	控制指标	控制范围/要求
钻孔施工（软土、砂层）	泥浆比重、黏度	比重1.1–1.3，黏度18–22s
钻孔施工（岩层）	分级钻进深度、孔底沉渣厚度	每级0.5–1m，沉渣≤50mm
支护结构施工	混凝土坍落度、导管埋深、开挖参数	坍落度180–220mm；导管埋深2–6m；每层开挖≤2m，分段8–10m

（三）动态监测与实时预防控

复杂地质条件下，深基坑支护施工风险兼具隐蔽性与突发

性，仅靠静态管控难以应对动态变化，需建立“监测－分析－预警－处置”全链条闭环联动机制，以实时精准数据为支撑，实现风险动态管控与提前干预，从源头遏制隐患扩大。监测范围需全面覆盖支护体系、地层环境、周边设施三大核心板块，确保无风险盲区：支护结构层面，重点监测桩顶水平及垂直位移、地下连续墙沉降与墙体应力，精准捕捉结构受力变形趋势；地层面，聚焦周边土体分层沉降、水平位移及深层土体变形，防范地层失稳引发连锁反应；地下水层面，实时监测水位标高、变化速率及水质，规避水位骤变导致的砂层流失、管涌风险，同时同步监测锚索拉力、周边建（构）筑物沉降与裂缝发展、地下管线变形等关键指标，兼顾支护本体与周边环境安全。

设备选型优先采用自动化、高精度设备，提升监测效率与数据可靠性：全站仪用于桩顶位移及周边建筑物变形的毫米级测量，测斜仪植入预设孔位实时捕捉深层土体及墙体倾斜数据，自动水位计全天候采集地下水动态并同步上传，锚索测力计实时反馈拉力变化，所有设备数据通过无线传输模块直达控制中心，实现数据无延迟、无偏差传输。监测频率实行差异化管控，基坑开挖、支护施工等高危阶段每12小时监测一次，数据波动异常时加密至每6小时一次；待变形趋于稳定后，可逐步延长至24小

时一次。控制中心专人值守分析数据，结合地质特性与施工进度预判风险趋势，建立三级预警机制，明确预警值、报警值及应急阈值。若数据达预警值，立即发出警示并加密监测；突破报警值则即刻停工，启动应急流程，技术团队快速排查原因并针对性处置：土体沉降过大时实施补注浆加固，结构位移超标时增设钢支撑临时支护，水位异常时加密降水井点或增设回灌井平衡水位，直至监测数据回归安全范围，经复核验收合格后方可复工，形成全流程管控闭环。

三、结语

复杂地质条件下的深基坑支护施工是一项集技术、管理与风险控制于一体的系统工程。支护结构选型、施工过程控制以及动态监测协同技术的综合应用，是保障基坑稳定的关键。同时，通过前期勘察、施工过程精细化管理和实时预警体系的构建，能够有效降低各类潜在风险。未来，随着城市地下空间开发不断深入，深基坑工程将面临更多挑战，需要进一步加强技术创新与风险防控研究，为工程安全与城市可持续发展提供更可靠的支撑。

参考文献

-
- [1] 卢海军. 深基坑支护旋挖成孔灌注桩施工技术研究 [J]. 中国新技术新产品, 2024, (20): 74-77.
- [2] 周亚平. 深基坑支护施工中可回收预应力锚索施工技术应用 [J]. 低碳世界, 2024, 14(10): 76-78.
- [3] 段万青. 桩锚式深基坑支护技术在房屋建筑施工中的应用 [J]. 居业, 2024, (10): 4-6.
- [4] 杨伟. 深基坑支护施工技术在建筑工程中的实践探究 [J]. 居业, 2024, (10): 40-42.

装饰装修工程适老化改造设计与施工关键技术研究

黄灿

武汉中央商务区城建开发有限公司, 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ADA.2026010007

摘 要： 老龄化社会快步到来，适老化改造是建筑装修的核心研究方向，适老化改造关联设计和施工技术的创新，以给老年人打造更安全、便捷、舒适的居住环境为目标，分析国内外适老化改造案例，研究无障碍设计、安全保障、智能化技术等关键技术的落地，说明适老化改造能有效优化老年人生活质量，同步测评改造效果，同时点明现存的基础设施老化、施工质量参差不齐等问题，适老化改造需进一步落实标准化、智能化和个性化设计，拉动建筑行业可持续发展和老年群体生活水平提高。

关 键 词： 适老化改造；装饰装修工程；设计原则；施工技术；老龄化社会

Research on Key Technologies for Design and Construction of Aging-Friendly Renovation in Decoration and Renovation Projects

Huang Can

Wuhan Central Business District Urban Construction and Development Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000

Abstract： With the rapid advent of an aging society, aging-friendly renovation has become a core research direction in architectural decoration. This renovation involves innovations in design and construction techniques aimed at creating safer, more convenient, and comfortable living environments for the elderly. By analyzing domestic and international aging-friendly renovation cases, this study explores the implementation of key technologies such as barrier-free design, safety measures, and intelligent technologies. It demonstrates that aging-friendly renovation can effectively enhance the quality of life for the elderly, while simultaneously evaluating the effectiveness of these renovations. The study also highlights existing issues such as aging infrastructure and inconsistent construction quality, emphasizing the need for further standardization, intelligent, and personalized design in aging-friendly renovations to drive sustainable development in the construction industry and improve the living standards of the elderly population.

Keywords： aging-friendly renovation; decoration and renovation projects; design principles; construction techniques; aging society

引言

全球老龄化问题越发严峻，怎样提升老年人居住环境，已成为社会各界普遍关注的话题，老年个体身体机能渐渐退化，传统居住环境难以适配他们逐步提高的需求，适老化改造是破解这一问题的关键，持续探索适老化设计原则、关键技术和施工方法，可给老年人创设更安全便捷的居住空间。采用无障碍设计、智能化辅助设施及安全保障技术，还可提升居住环境舒适度，还能切实降低事故发生次数，改造环节还面临不少难题，比方老旧小区基础设施改造难度高、材料选用不恰当等问题，找寻适老化改造的技术路径及优化方案，是提升老年人生活质量的急切需求。

一、适老化改造的设计原则与要求

（一）老年人居住需求分析

老龄化社会不断加剧，老年人对居住环境的需求慢慢改变，按照《老年人居住环境设计规范》，最主要的难题是老年人身体机能退化、感知能力下降、行动不便及突发健康问题，居住环境设计要全面顾及老年人身心特点，从数据分析出发，65岁以上人

群中，约70%老人有视力、听力、运动能力等方面的不同程度障碍，这要求室内设计具备更高的舒适程度和可达性。

依空间排列逻辑，老年群体常需更大活动空间，尤其涵盖卧室、厨房和浴室等空间，聚焦老年人行动不便难题，恰当的通道宽度、无障碍设施的设置至为关键，《住宅设计规范》（GB 50096-2011）清晰指明，门的最小宽度定为900毫米，方便轮椅或助行器通行，地面材料应选防滑、柔软的材质，减少跌倒风险。

（二）适老化设计的核心原则

适老化设计的核心原则，重点是提升老年人居住的安全性、舒适性和便捷性，《老年人居住环境设计规范》明文规定，适老化设计需从以下几方面落实：增进空间可达性、加强安全防护、增设智能辅助、考量老年人心理诉求，依照《建筑设计防火规范》，供老年人居住的建筑设计需突出消防安全，要设置紧急报警装置，保障通道顺畅，保障紧急状况出现时快速撤离。

适老化设计要保证老年人日常各类事务办理顺畅，要把厨房工作台、浴室做成可调节高度的样式，便于老年人按需调整，开展照明设计环节，要兼顾老年人视力下降的特点，供给充足且均匀的光源，依照《建筑照明设计标准》，室内照度需维持300–500lx，特别覆盖厨房、浴室等功能区^[1]。

（三）适老化设计中需要考虑的特殊因素

进行适老化设计环节中，需重点留意老年人的生理变化和心里需求，生理变化包含肌肉力量衰退、骨密度下降、平衡感减弱等，对居住环境要求进一步提高，开展设计要优先落实无障碍设计，浴室和卫生间需设计为无障碍淋浴间，地面采用防滑建材，加装扶手这类安全设施，按照《建筑设计无障碍设计规范》（GB50763-2012）的要求，浴室要安装高度 ≥ 1.1 米的扶手，扶手需具备充足承重能力，保障老年人使用时的安全。

看心理需求层面，老年人更看重居住环境的亲切感和舒适感，室内色彩设计应避开刺眼度过高的颜色，建议采用柔和暖色调，打造温暖的家庭环境，空间布局应力求简洁，减少杂物堆积，防止引发老年人焦虑，需重视室内空气质量，设计需保障足量通风及适配温湿度，让老年人在舒适环境生活^[2]。

二、适老化改造的关键技术

（一）无障碍设计技术

适老化改造的核心技术包含无障碍设计技术，力求保障老年人在家中无障碍活动，按照《建筑设计无障碍设计规范》，无障碍设计规定所有公共建筑和住宅都要配备无障碍通道和设施，门的最小宽度应设为900毫米，才能保障轮椅或助行器顺畅通行，地面材料选防滑、坚固且柔软的材质，防范因摩擦力欠缺引发跌倒事故。

浴室和厨房等关键空间要做特殊设计，参照《住宅设计规范》，无障碍淋浴间需采用地面与周边地面齐平的设计，阻止水流外漏降低跌倒概率，卫生间空间里，应配备符合恰当高度和承重标准的扶手，至少配2个扶手，扶手须承受150公斤拉力，设计电梯和楼梯，电梯按钮高度需设定为80–120厘米，适配老年人操作。

（二）安全性保障技术

老年人的行动能力、反应速度相对迟缓，安全性保障技术是适老化改造的关键，《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）明确，老年居住建筑需设置紧急疏散通道和合格消防设施，尤其针对高层建筑，楼梯间要装防烟楼梯，且需设置清晰的疏散指示标识，保障火灾等紧急情形下快速撤离。

应用防滑地面材料是安全保障的关键，卫生间、厨房、走廊等区域要采用高摩擦力地面材料，参照《住宅建筑设计规范》，

浴室地面防滑系数需满足0.6以上要求，厨房地面超0.5，切实降低滑倒概率，扶手、栏杆安装有严格标准，扶手需设置在老年人可轻松抓握的高度，表面得备恰当的防滑纹路，提升抓握力与防跌倒性能^[3]。

（三）智能化辅助技术应用

适老化改造里，智能化辅助技术应用的重要性持续提升，技术持续进步，智能家用产品能显著改善老年人的居住体验与生活质量，智能灯光系统借助传感器自动察觉老年人活动，自动调整照明亮度，规避光线偏暗或过强引发的不适，按照《智能家居技术标准》，智能家居系统控制设备应具备低能耗、高效能特性，还完全贴合老年人日常活动需求。

智能健康监测系统也属于智能辅助技术的组成部分，诸如智能手环、床垫传感器，这类设备可实时监测老年人健康状况，特别是心率、血压、体温这类关键数据，依托无线网络把数据传送到家庭护理人员或医生端，第一时间接收健康预警提示，智能床垫可监测老年人睡眠状态，告知护理人员留意对象是否有翻身困难、呼吸暂停等健康问题，智能家居配套的远程监控系统可提升老年人的安全防护水平，让家属或护理人员实时掌握老年人的居住状态，即刻响应突发状况^[4]。

三、适老化改造施工技术与实施要点

（一）施工流程中的特殊要求

适老化改造的施工流程必须严格执行一系列标准和技术要求，保障施工质量与老年群体居住环境安全，依照《建筑施工安全技术规程》，施工前要做全面安全评估，筑牢建筑结构和设施的安全防线，实施适老化改造行动，施工团队须对现有建筑实施精准测量和分析，保障新设施安装合理，浴室和厨房的无障碍设计要做精准空间核算，保证扶手、淋浴区和坐便器等设施排布合理妥当，符合人体工程学规范。

开展施工阶段，需保障通道通行无阻，不让施工干扰老年人日常起居，运用设备需保障设备稳定和安全，尤其实施高空作业或操作重型机械，要落实严格的防护措施，按照《建筑施工安全检查标准》，施工场地应设明显警示标志，定期排查施工设备安全状态，筑牢工人和居民安全防线^[5]。

（二）适老化改造中的材料选择与应用

适老化改造里材料选择作用重大，按照《建筑设计防火规范》，适老化改造应挑选不易燃、无毒、环保的建筑材料，保障老年人居住安全舒适，地面材料要有防滑特性，常用防滑材料有陶瓷砖、PVC地板、橡胶地垫等，这些材料的防滑系数需达0.6以上，尤其像浴室、厨房这类高湿度环境，防滑系数需 ≥ 0.8 。

适老化改造选门窗材料，要保障好用又安全，门的开启力不得超过35N，便于老年人轻松开启，符合《住宅设计规范》（GB50096-2011）的要求，需将窗户把手设计成好抓握的形态，另外必须避免使用有尖锐边角的物品，减少受伤概率，墙面材料选抗菌、易清洁的涂料或壁纸即可，抑制细菌滋生，保障室内空气清爽。

（三）施工安全与质量控制

适老化改造中，施工安全是必须重视的核心要点，施工开展阶段，施工人员须佩戴符合标准的安全防护装备，诸如安全帽、防护眼镜这类，筑牢人身安全防线，按照《建筑施工安全检查标准》，施工现场需配专门的安全负责人，承担现场安全管理工作，定期进行安全巡检，防范设备老化或施工不当引发的安全隐患。

质量把控环节，全部施工材料和工艺均需符合国家标准，施工全程落实严格质量检验，材料进场前，所有材料均需检验，保证它契合《建筑工程施工质量验收规范》（GB50300-2013）的要求，施工收尾后，要对改造项目做严格验收，涵盖扶手、门窗的稳定性，检查地面防滑性能等，保障所有设施达标适老化改造规范，保障老年人居住安全与便利^[9]。如表1所示。

表1 适老化改造施工标准与实际应用数据表

项目	标准要求	实际应用
门宽	≥ 900mm	900mm
地面防滑系数	≥ 0.6（普通区域）	0.8（浴室、厨房）
扶手承重能力	≥ 150kg	150kg
灯光照度	300-500lx	350lx（厨房、浴室）
窗户开启力	≤ 35N	≤ 35N

四、案例分析与适老化改造的实际应用

（一）国内外适老化改造案例分析

国内外适老化改造应用呈现多种形态，已有精准匹配的小规模改造，也包含整片式大型住宅区改造，国外适老化改造的设计与技术应用发展成熟，德国实施老年住宅改造，一般采用无障碍设计标准，维护老年人生活便捷安全，德国政府借助 "Age-friendly Homes" 项目推进适老化住宅改造，特意强调要采用无障碍通道、智能化控制和定制家具，德国已有30%的住宅完成适老化改造，尤其要抓好浴室和厨房设计，配备无障碍淋浴间及可调节高度工作台。

近年老龄化问题日趋严峻，各大城市推进适老化改造，北京市2018年实施“老年友好型小区改造计划”，计划实施增添无障碍设施、提升公共空间安全等级等举措，为部分老旧小区开展适老化升级，完成改造后的示范小区内，门宽普遍超900毫米，浴室地面用防滑材料铺设，配套智能照明系统，能随室内活动自动调控亮度，这类调整有效强化了老年人的居住舒适度和安全体验^[7]。

（二）适老化改造效果的评估

适老化改造效果评估一般从居民满意度调查、生活质量提升

幅度、安全事故发生率三个维度开展，依照《老年人居住环境设计规范》，降低老年人因行动不便引发的跌倒事故，相关统计显示，做完适老化改造的住宅，老年人跌倒事故出现比例减少约40%，以北京某小区为例，入住改造后住房的老年人说，门宽与无障碍通道设计提升他们的出行便利程度，尤其在搬运物品和外出期间，大幅降低摔倒风险。

除开安全性升级，适老化改造提升了老年人居住体验，改造后的住宅大多拓展出更大活动空间，智能家居系统的接入可给老年人生活增添便利，智能照明和智能温控系统为老年人减轻了照明和室温调节的困扰，给改造后的老年人生活质量做评分，90%以上的老年人反馈居住环境舒适度大幅改善^[8]。

（三）存在的问题与解决方案

适老化改造工作虽已达成诸多阶段性目标，但落地应用的实际推进中，仍有诸多亟待攻克的实际难题，部分老旧小区基础设施老化破损问题明显，改造施工难度极高，特别针对那些建成年限久、基础条件原本就薄弱短缺的区域，改造得投入大量人力、物力和财力，还被原有建筑结构先天不足约束，改造效果往往不能立刻见效。参照《住宅设计规范》（GB50096-2011）相关技术标准，诸多老旧小区的初始建造标准远不满足现代适老化居住的要求，改造时既要更新管线，也要优化功能。

另一项突出问题是改造材料和施工质量参差不齐，若干地区改造项目内，受成本控制压力制约，有施工单位未按适老化改造技术标准严格执行，尤其聚焦地面防滑处理、扶手承重性能、无障碍坡道坡度等关键安全指标，出现不合格情形，为老年人居住安全留下隐患。为有效化解这些问题，相关部门需进一步加大政策扶持 提升资金投入强度，提速健全适老化改造的行业标准和技术规范，推进改造工作往标准化、精细化走。

五、结语

针对适老化改造设计与施工技术展开研究，不难发现适老化改造对提升老年人居住安全性、舒适性和便利性作用显著，老龄化社会日渐形成，适老化改造已是刚需社会需求，尤其在无障碍设计、安全保障和智能化技术应用上收获明显进展，抓好适老化改造的标准化建设与技术创新，是提升改造效果的核心，深化优化老年人群居住环境，优化他们的生活品质。

参考文献

[1]李鹏飞.于祖光,路满全,聂爱平.装饰装修工程中的无障碍设计与适老化施工技术[J].住宅与房地产,2025(31):126-128.
[2]陈琼.既有建筑适老化改造工程造价控制研究——以XX老年公寓项目为例[J].商讯,2025(14):1-3.
[3]黄铭舒.住宅适老化装修改造的安全与舒适性设计策略[J].南方金属,2025(06):83-86.
[4]付竹川,李琨磊.老旧小区适老化改造中装修与室内设计施工的模式研究[J].居舍,2025(33):8-10+14.
[5]谢芮,申帅兵.装配式适老化内装产品设计应用探索[J].居舍,2024(21):75-77+96.
[6]蒋林晓.老年人需求视角下老旧住宅厨卫空间适老化装配式改造设计研究[D].重庆大学,2023.
[7]欧智凡.基于装配工法的集合住宅全装修适应性设计研究[D].重庆大学,2022.
[8]王华欣,尹颜丽.装配式装修技术在既有住宅适老化改造中的应用研究[J].科技资讯,2022,20(14):100-102.

月球旅游空间站建筑：技术架构与实现路径探析

卢松¹, 卢玖睿²

1. 中国中元国际工程有限公司, 北京 100089

2. 海南大学土木建筑工程学院, 海南 海口 570228

DOI:10.61369/ADA.2026010009

摘 要： 随着全球深空探测商业化转型，月球旅游正从科幻构想步入工程实践。本文基于月球极端环境约束，系统建构月球旅游空间站的建筑技术架构，提出“原位资源利用智能建造生命维持”三元技术体系。研究首次将旅游建筑学范式引入地外建造领域，在分析美国 GRU Space “2032 月球酒店”^[8]、欧洲 Foster+Partners “月面生态栖息单元”^[5]等前沿案例基础上，提出“双壳共生”结构模型与“蜂巢穹顶”拓扑范式^[6]，论证了从科研站向旅游空间站演进的三阶段路径^[4]。研究表明，月球旅游建筑不是科研设施的简单复刻，而是以“体验经济”为驱动、以“星际舒适性”为目标的建筑学新边疆。中国可依托国际月球科研站（ILRS）2035 基本型^[2]，分步实现月球旅游空间站的自主研制^[1]。

关 键 词： 月球旅游；空间站建筑；原位资源利用；智能建造；地外人居环境

Lunar Tourism Space Station Architecture: An Exploration of Technical Frameworks and Implementation Pathways

Lu Song¹, Lu Jiurui²

1.China IPPR International Engineering Co., Ltd., Beijing 100089

2.School of Civil Engineering and Architecture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228

Abstract： As global deep-space exploration undergoes a commercial transformation, lunar tourism is rapidly evolving from science fiction into engineering reality. This paper, grounded in the extreme environmental constraints of the Moon, systematically constructs a technical architecture for lunar tourism space stations, proposing a ternary technological system of "In-Situ Resource Utilization (ISRU) – Intelligent Construction – Life Support." This study marks the first attempt to introduce the tourism architecture paradigm into the field of extraterrestrial construction. Building upon an analysis of cutting-edge international cases—including the US-based GRU Space "2032 Lunar Hotel"^[8] and Europe's Foster+Partners "Lunar Habitat Unit"^[5]—this research proposes a "dual-shell symbiosis" structural model and a "hive-dome" topological paradigm^[6], delineating a three-phase evolutionary pathway from scientific research stations to dedicated tourism space stations^[4]. The study demonstrates that lunar tourism architecture is not a mere replication of scientific facilities but represents a new frontier in architecture driven by "experience economy" principles and targeting "interstellar comfort." Leveraging the baseline configuration of the International Lunar Research Station (ILRS) scheduled for 2035^[2], China is well-positioned to achieve the phased, independent development of a dedicated lunar tourism space station^[1].

Keywords： lunar tourism; space station architecture; in-situ resource utilization (ISRU); intelligent construction; extraterrestrial human environment

一、绪论

1. 研究背景：从科考站到旅游空间站的范式转换，2026 年 1 月，美国加州初创企业 GRU Space 发布“世界首座月球酒店”设计方案，宣称将于 2032 年建成可容纳 4–10 名游客的商业月球栖息地，每位游客订金高达 100 万美元^[8]。几乎同一时间，中国公布深空旅游探索路线图，将太空旅游产业确立为国家航天战略的组成部分^[4]。这些标志性事件共同指向一个历史性转折，月球建筑正从国家主导的科学探测设施，转向国家与市场共同驱动的商业

化旅游基础设施。这一范式转换对建筑设计提出全新命题。传统月球科研站以满足基本生存功能为核心，追求可靠性、冗余度和有效载荷效率^[3]；而月球旅游空间站必须在保障安全的前提下，回应体验、舒适、审美、社交等旅游建筑的本质诉求^[9]。如果说科研站是生存机器，旅游空间站则应是星际家园，这一转变将深刻重塑地外建筑的设计哲学与技术架构。

2. 问题界定与研究框架，本文聚焦的核心问题是面向商业旅游场景的月球空间站，应建立何种技术架构？其与科考站有何本质差异？实现路径如何规划？研究采用约束、技术、路径三元分

析框架，首先识别月球旅游建筑面临的独特性约束，继而建构与之适配的技术架构体系，最终提出分阶段实现路径。研究方法包括文献分析、案例比较与技术推演。

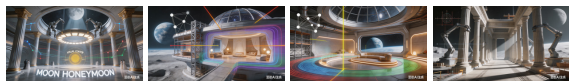


二、月球旅游建筑的独特性约束，月球旅游建筑与地球旅游建筑、月球科研站的本质差异，根植于三类独特约束。

1. 环境维度的生存刚性约束，月球表面呈现高真空、微重力（ $1/6g$ ）、极端温差（ -173°C 至 127°C ）、强宇宙辐射及带电月尘的五重极端环境^[3]。任何旅游建筑必须首先满足生命维持这一刚性前提。不同于地球旅游建筑可依赖外部市政系统，月球旅游空间站必须是完全自持的闭环生态系统^[5]。然而，旅游场景对“生存”的定义比科研场景更为高阶。科研人员可接受军事化管制的生活条件，但付费游客对舱内空气质量、温湿度、采光、声环境及空间尺度有明确的心理期待。这意味着旅游建筑的维生系统必须在满足安全阈值的同时，实现更高的“舒适度冗余”^[6]。

2. 运输维度的经济性约束，地月运输成本目前仍高达每公斤数万美元^[3]。这一经济性约束直接决定，月球旅游建筑必须最大化原位资源利用率（ISRU），将“从地球携带”转为“在月球制造”^[1]。GRU Space方案明确提出，其酒店主体采用地球运载的充气模块，而外层防护结构则通过月壤烧结砖现场建造^[8]；Foster+Partners的月面栖息地更实现98%的原位材料利用率^[5]。这一约束同时催生轻量化设计与可重构建造两大技术路径。丁烈云院士团队指出，地外建造的关键在于“就地取材”，利用月面太阳能烧结月壤制成“月壤砖”，通过机器人像“搭积木”一样实现原位建造^[1]。

3. 市场维度的体验性约束，这是月球旅游建筑区别于科研站的根本维度。旅游建筑必须提供值得支付溢价的空间体验：包括地球景观窗、低重力活动区、月面漫步出口、社交聚会空间、私密休息舱乃至月球蜜月等主题场景^[8]。GRU Space渲染图中呈现的中央圆形大厅、列柱回廊、穹顶采光孔，均是对“旅游仪式感”的建筑学回应^[8]。这一约束意味着月球旅游建筑不是被“建造”出来的，而是被“设计”出来的。建筑师的介入不再是辅助角色，而成为定义产品竞争力的核心要素^[5]。



三、月球旅游空间站技术架构

基于上述约束，本文提出月球旅游空间站的三层技术架构，资源层材料与能源，建造层结构与工艺，生命层环境与体验。

（一）原位资源利用体系

1. 月壤结构转化技术，月壤是月球表面最丰富的原位资源^[3]。当前国际研究形成三条并行技术路线，其一为烧结成型。中国深空探测实验室研制的“月壤砖机”通过聚焦太阳能高温熔融月壤，可烧结任意形状的建筑构件^[1]。丁烈云院士团队设计的“月壶尊”采用热压烧结工艺，制成的月壤砖经空间站一年暴露实验后状态完好^[1]。其二为纤维拉制。东华大学团队基于嫦娥五号真实月壤成分，在实验室成功拉制直径10–20微米的连续月壤纤维^[2]，为月面原位制造复合材料开辟新路径。其三为3D打印成型。NASA与ICON合作的“奥林匹斯”项目、欧空局的烧结模块研究，均致力于通过粉末床熔融或定向能量沉积技术，实现月壤的原位增材制造^[5]。

2. 月壤基建筑材料性能，研究表明，模拟月壤经冷压成型可获得一定强度，经高温烧结后抗压强度可达32MPa以Foster+Partners方案数据^[5]。以硫磺、聚合物或地质聚合物为粘结剂的月壤混凝土同样展现出良好力学性能^[3]。这些材料参数已进入工程可用区间。

（二）智能建造与结构体系

1. “双壳共生”结构模型，本文提出月球旅游空间站的“双壳共生”结构模型：外层为抗辐射、抗陨石冲击的刚性防护壳，内层为保障气密性与舒适度的柔性居住壳，内外壳之间设置设备夹层与缓冲空间。这一模型的理论基础是向忠宏提出的“蜂巢穹顶共生论（HCS）”，即“内外分治，刚柔并济”外层穹顶承担物理防护职能，内层蜂巢结构优化居住舒适度与空间效率^[6]。该范式可同时解决单一结构无法兼顾防护性能与居住品质的行业痛点。

2. 典型结构方案，目前国际前沿呈现三种结构范式：Foster方案（下沉式穹顶）：利用天然环形山基底，3D打印月壤形成下沉式穹顶，内嵌充气式ETFE膜结构气密舱^[5]。外层月壤密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，可有效屏蔽伽马辐射。GRU方案砖砌加充气：地球运载充气模块就位后，由自动化系统将月壤烧结砖砌筑于模块外围，形成防护砖壳^[8]。HCS方案蜂巢装配：采用标准化六边形蜂巢构件，通过“向氏榫卯自锁接口”快速拼装，适配平原、熔岩管、陨石坑壁等多类地貌^[6]。

3. 集群机器人建造系统，月面建造必须实现无人化^[1]、自主化。陈杰院士提出“异质机器人集群协同”愿景：测绘机器人进行地形扫描，运输机器人搬运月壤，大型3D打印机器人堆砌主体结构，灵巧装配机器人执行高精度安装^[2]。丁烈云团队同步研发的“中国超级泥瓦匠”砌筑机器人和“月蜘蛛”3D打印机器人，已进入工程样机阶段^[1]。

（三）生命维持与人居环境系统

1. 闭环生态与资源循环，旅游场景对生命维持系统的“闭环率”提出更高要求。Foster方案实现95%水资源回收率冷凝水电解制氧和基础食物链构建月壤富铁区培育螺旋藻^[5]。未来月球旅游空间站需达到98%以上物质闭合度，以降低地再补给频次^[3]。

2. 辐射防护与健康保障，月球表面年辐射剂量约380mSv，远超地球安全标准[3]。Foster方案通过陨石撞击概率模型IMP-

3.0优化布局，将舱内年辐射剂量控制在50mSv安全阈值以下^[5]。旅游建筑还需增设主动防护系统如电磁场屏蔽及实时剂量监测网络。

3. 旅游体验导向的建筑空间设计，旅游建筑的“空间生产”属性在此凸显。需系统建构月球旅游体验设计学^[10]，包含：地球景观窗光学设计、低重力活动区空间尺度、社交空间声学环境、私密舱室心理安全感、月尘控制与清洁流线等^[5]。目前所有方案仍停留在“保障生存”阶段，尚未形成成熟的旅游空间设计语言，这正是建筑学可以做出原创贡献的领域。



四、实现路径：从科研站到旅游空间站建筑

（一）国际案例对比分析

1. 美国 GRU Space 方案，2029 年技术测试，2032 年 V1 版酒店极具野心，但技术成熟度存疑。结构体系充气模块加月壤砖外护壳 继承 NASA CLPS 路线，工程可实现性较高。定位小型精品酒店，接待能力初期 4 人远期 10 人。商业模式 100 万美元订金 + 商业航班，明确面向超高端市场。建筑设计语言古典柱列、圆形大厅、穹顶，首次引入旅游美学^[8]。GRU 方案的最大价值不在于技术颠覆性，而在于首次将“旅游建筑”而非“科研设施”作为设计出发点^[10]。其古典建筑语汇的运用虽具争议，但确实回应了旅游体验对仪式感、纪念性的内在需求。

2. 欧洲 Foster+Partners 方案，Foster 方案代表航天工程与建筑设计的深度融合^[5]。其技术指标 32MPa 强度、95% 水回收、50mSv 剂量均达到工程可用水平，且首次系统性提出“建筑自愈系统”液态玄武岩自动封堵微陨石穿孔^[5]。该方案如能与商业旅游运营商结合，将是最具落地潜力的候选技术包。

3. 中国相关进展，中国以国际月球科研站（ILRS）为主渠道推进月面建造技术^[2]。根据规划，ILRS 将于 2035 年在月球南极建成基本型，2040 年代建成扩展型^[2]。目前，月壤烧结、机器人建造、模拟月壤纤维等关键技术已取得实质性突破^[1]。然而，中国尚未出现面向商业旅游场景的月球建筑设计概念，这是亟需填补的研究空白。

（二）三阶段演进模型

基于技术成熟度与市场发育度双维度，本文提出月球旅游空间站三阶段演进路径^[4]，第一阶段（2026–2035），技术验证与原型测试，依托 ILRS、Artemis 等国家主导项目，完成月壤原位利用、机器人建造、闭环生态等核心技术的在轨、在月验证^[2]，旅游场景专用技术如大型观景窗、低重力空间设计启动预研^[4]，标志性节点：2030 年前后中国载人登月，2035 年 ILRS 基本型建成^[2]。第二阶段（2036–2045），科游混合运营，在 ILRS 或商业

基地内设立“旅游扩展舱段”，实现科研与旅游功能分区、资源共享^[4]，年度内接待能力约 10–20 人次，客群以超级富豪和科研体验者为主^[8]。商业模式，政府补贴加商业订金，GRU 的 100 万美元订金模式可作参照^[8]。第三阶段（2046–2060），商业化旅游空间站，专用月球旅游空间站建成运营，形成独立于科研站的旅游基础设施^[4]。年度内接待能力突破 100 人次，客群拓展至高净值家庭、新婚夫妇等地月定期通勤航班常态化，往返成本较现阶段下降一个数量级^[3]。



五、挑战与未来方向

（一）核心瓶颈识别

技术瓶颈，月壤烧结的规模化与一致性、机器人在极端环境下的长期可靠性、闭环生态系统的物质平衡稳定性^[3]。经济瓶颈，地月运输成本仍需下降 80% 以上方能支撑大众化旅游市场；月面建造的边际成本曲线尚属未知^[3]。设计瓶颈，缺乏成熟的月球旅游建筑类型学^[5]。现有方案或囿于航天工程思维仅保障生存，或流于地球建筑形式的简单移植，如 GRU 的古典柱式^[10]。如何建构真正属于月球环境的、回应低重力与封闭生态的空间诗学，是建筑学面临的根本挑战。

（二）中国路径的战略建议

其一，将“月球旅游空间站建筑”纳入国家航天规划体系^[4]。在现有 ILRS 框架内增设“商业旅游扩展模块”研究专题，鼓励建筑学、旅游学与航天工程跨界合作。其二，设立月球建筑设计专项研究计划^[1]。重点攻克，低重力环境空间认知与人机工学、长期隔离居住的心理适应性设计、月面景观资源最大化利用策略。其三，培育地外建筑设计的学科与人才梯队。丁烈云院士指出，学科为专业提供知识根基，专业为学科反哺人才^[1]。应在建筑院校系统引入航天建筑学课程，培养兼具工程素养与设计创造力的“星际建筑师”。



六、结语

月球旅游空间站不是科幻，而是正在发生的建筑学前沿。当 GRU Space 用古典柱式装点月球酒店^[10]，当 Foster+Partners 用月壤打印穹顶舱室^[5]，建筑学正经历继“陆地、海洋、天空”

之后的第四次疆域拓展。这一进程不仅是技术工程，更是文明叙事：人类在地球之外建造的第一批永久建筑，将如何定义我们与宇宙的关系？

中国拥有2035年建成国际月球科研站的确切时间表^[2]，拥有丁烈云团队^[1]、陈杰团队^[2]、向忠宏团队^[6]等活跃的研究力量，拥有月壤砖、月壤纤维、蜂巢装配等一系列原创技术积累^{[1][6]}。现在需要的是：将“旅游空间站建筑”正式确立为独立的研究命题，

让建筑师与航天工程师坐在一起，共同想象月球上的第一座酒店、第一个家园、第一座通往宇宙星海的驿站。

“我们不能急功近利。今后几十年我国的科学技术研究，要想在世界舞台中领先而不缺位，当下就要埋下种子。”^[1]丁烈云院士的这番话，同样适用于月球旅游建筑学这颗种子，此刻就该种下。

参考文献

- [1] 长江日报. 为建造月面基地烧制“第一块砖” [N]. 长江日报, 2026-01-05. Changjiang Daily. Firing the “First Brick” for Lunar Base Construction[N]. Changjiang Daily, 2026-01-05.
- [2] Chinese Academy of Engineering. Chinese academicians and experts unveil cutting-edge technologies for lunar research station construction[EB/OL]. (2025-12-29).
- [3] Advances in Space Research. A review on design and construction of the lunar launch/landing infrastructure[J]. Advances in Space Research, 2024, 74(8): 4030-4049.
- [4] Travel And Tour World. 中国公布雄心勃勃的深空旅游探索和月球基地建设路线图 [EB/OL]. (2026-01-30).
- [5] 亚太设计师联盟. 当人类凝视星空：Foster+Partners以月球栖息地设计重塑星际建筑范式 [EB/OL]. (2025-05-12).
- [6] 千家网. 聚焦太空新基建 | 向忠宏正式发布“蜂巢-穹顶共生论 (HCS)” [EB/OL]. (2026-01-29).
- [7] 45th COSPAR Scientific Assembly. Introduction to Development of Core Technology for the Construction of Lunar Habitation[R]. 2024.
- [8] CNBC TV18. The moon may soon have a hotel; here show a US start-up plans to build it[EB/OL]. (2026-01-14).
- [9] Automation in Construction. Lunar base infrastructure construction: Challenges and future directions[J]. Automation in Construction, 2025, 168: 105912.
- [10] Dezeen. GRU Space designs “the first hotel on the Moon” [EB/OL]. (2026-01-15).

高职智能建造专业课程体系构建与教学模式创新研究 ——基于建筑工业化转型背景

赵圆凯, 杨硕, 陈才, 鞠蓉, 王子
南充职业技术学院, 四川 南充 637131
DOI:10.61369/ADA.2026010010

摘 要 : 我国建筑工业化已进入深度转型、全域升级的关键周期, 智能建造作为行业高质量发展的核心支撑, 对高素质技术技能人才需求持续走高, 供需缺口显著扩大。然而, 作为一线技术技能人才培养核心载体的高职院校, 智能建造专业建设整体滞后于产业迭代节奏, 普遍存在人才供给与岗位需求错位、课程内容更新滞后于技术迭代、传统教学模式固化僵化、产教融合停留在表层形式等问题, 难以培养适配行业转型需求的复合型技术技能人才。基于此, 本文结合文献研究、行业企业调研与典型院校案例分析, 紧扣建筑工业化转型下的岗位核心能力要求, 构建“基础—核心—拓展—实践”四位一体模块化课程体系, 同步优化产教协同育人路径, 为高职同类专业改革提供可落地的实践参考。

关 键 词 : 建筑工业化; 高等职业教育; 智能建造; 课程体系构建

Research on the Construction of the Curriculum System and Teaching Model Innovation for the Intelligent Construction Major in Higher Vocational Education—Based on the Background of Building Industrialization Transformation

Zhao Yuankai, Yang Shuo, Chen Cai, Ju Rong, Wang Zi
Nanchong Vocational and Technical College, Nanchong, Sichuan 637131

Abstract : China's construction industrialization has entered a critical phase of profound transformation and comprehensive upgrading. As the cornerstone of high-quality industry development, intelligent construction has seen continuously growing demand for highly skilled technical professionals, with a significantly widening supply-demand gap. However, vocational colleges—central institutions for cultivating frontline technical talent—have lagged behind the pace of industrial evolution in developing intelligent construction programs. Common challenges include mismatches between talent supply and job requirements, outdated curriculum content failing to keep pace with technological advancements, rigid traditional teaching methodologies, and superficial integration of industry and education. These issues hinder the cultivation of versatile technical professionals capable of meeting industry transformation needs. Addressing these challenges, this study combines literature reviews, industry enterprise surveys, and case analyses from exemplary institutions. Focusing on core competency requirements for construction industrialization roles, it establishes a modular curriculum framework integrating "foundational, core, advanced, and practical" components while optimizing industry-education collaboration pathways, providing actionable references for reforming similar vocational programs.

Keywords : industrialized construction; higher vocational education; intelligent construction; curriculum system development

引言

国内建筑业工业化与智能化已全面转型, 装配式建造、BIM全生命周期应用、智能施工装备普及、建筑大数据管控不再孤立, 渗透到建筑设计、施工、运维各环节, 重构了传统工程生产、作业与管理模式。行业正摆脱劳动密集型困境, 向技术密集、智慧管控转型, 这是必然趋势。转型期对复合型智能建造人才需求迫切, 这类人才需具备扎实工程技术功底、熟练数字化应用能力和较强现场协同管理

素养，可现实中这类人才供给严重不足，已成为稀缺资源，制约建筑工业化规模化推进，影响行业高质量发展。高职院校本是一线实操人才培养主阵地，多数院校虽开设智能建造专业，培养质量却未达行业预期，不少专业未跳出传统建筑专业框架，仅零散增设少量相关课程，未围绕产业核心需求搭建完整贴合岗位的培养体系，搭建与产业同频的课程体系、创新贴合岗位能力的教学模式，已是当前该专业改革最紧迫、最核心的任务。

一、建筑工业化背景下高职智能建造专业人才核心能力诉求

建筑工业化体系围绕设计、生产、施工、信息化管理一体化运转，行业整体用人标准持续升级。高职智能建造专业育人重心紧密贴合施工现场岗位需求，重点培育能够适配产业发展、兼具实操功底与综合素养的复合型从业者。施工现场各类技术难题处理，依托装配式施工实操、BIM 数字化应用、智能施工设备运维扎实功底，绿色低碳施工相关知识储备，也支撑从业者快速适应行业低碳转型发展节奏。工程项目跨专业协作属性显著，多方主体共同参与建设流程。从业人员熟练运用数字化管控手段开展项目统筹，细化现场质量安全管控工作，精准落实施工工期、工程造价各项管控目标。智能建造技术工艺更新周期较短，行业整体发展节奏不断加快。从业者保持自主钻研专业知识的习惯，结合工程实际优化施工技术方案，才能长期匹配岗位发展需求，进一步弥合院校人才培养与建筑行业实际用工之间差距。

二、当前高职智能建造专业教学与人才培养的现实短板

通过院校调研、企业走访，结合教学实践梳理，高职智能建造专业的短板逐渐清晰。课程设置、教学实施、师资建设、评价体系，多个环节都存在明显不足。当前该专业的人才培养水平，与建筑工业化转型背景下的行业用人标准，仍有显著差距。

（一）课程体系设计滞后，与产业需求深度脱节

高职智能建造专业的课程体系，存在三类核心问题。这让它完全偏离了高职教育的定位，也跟不上行业实际需求。很多院校还是用着传统建筑工程技术专业的旧框架，只是零散加了几门行业热点课程，没有围绕建筑工业化全链条的需求，做系统化、递进式的整体设计。

课程核心还停留在传统施工技术和理论化现场管理上。智能装备、大数据管控这类已经普及的技术，涉及得很少。知识点更新滞后，各个模块又独立松散，没法形成连贯的专业能力培养路径。课程模块结构不均衡，能力培养的维度也偏差。

教学上太看重单项技术的理论讲解和模拟实训。数字化协同管理这种核心能力，反而被忽略了。课时分配很不合理，传统且冗余的理论课时占比偏高，岗位核心的实操课时被挤压。实践教

学也多是校内模拟，缺乏企业真实项目的支撑。

课程内容的问题很突出，既有交叉重复，核心模块之间又存在衔接断层。BIM相关内容在好几门课程里重复讲授，核心课程前后没有衔接递进，学生的知识体系变得碎片化。很多院校没建立校企联合的动态课程更新机制，课程内容跟不上行业技术迭代和岗位需求，时效性、实用性都不足。

（二）教学模式固化单一，产教融合流于形式

当前多数高职智能建造专业，仍沿用“课堂理论讲授+校内模拟实训”的传统教学模式，项目化教学、理实一体化教学等贴合高职教育的教法，要么应用范围极小，要么只停留在形式上，没有真正落地。最终培养出的学生，理论知识死记硬背，现场实操能力薄弱，完全无法适配企业一线岗位的实际要求。

产教融合方面，校企合作大多停留在企业参观、短期顶岗实习的表层，订单式培养、校企双导师教学、项目协同育人等深度合作模式，几乎难以落地。企业参与人才培养的意愿低、参与度浅，行业前沿技术、真实工程案例无法融入日常教学，校内实训设施更新迟缓，校企协同育人的长效机制，始终没有真正建立。

（三）师资队伍适配性不足，教学支撑能力薄弱

智能建造专业对师资有着双重核心要求：既要具备扎实系统的专业理论功底，也要有行业一线全流程项目实操经验。而当前高职智能建造相关师资队伍，存在明显的结构性短板。

多数专任教师，要么是应届毕业生直接入职，要么是从传统建筑专业转型而来，没有完整参与过智能建造全流程项目实操，现场实操经验不足，无法支撑高质量的实操教学。行业企业的技术骨干、能工巧匠，很难稳定参与日常教学，优质兼职师资缺口极大。部分教师信息化教学与数字化技术应用能力不足，直接拖累专业教学改革整体推进。

（四）考核评价体系单一，育人导向存在明显偏差

现有高职智能建造专业的教学考核评价体系过于单一，评价维度片面、评价主体局限。考核以期末理论笔试与校内基础实训操作为主，过度侧重理论记忆与基础技能标准化测试，忽视岗位实操、团队协作、现场问题解决、技术创新与综合职业素养考核。

同时，评价主体完全局限于校内专任教师，没有引入行业企业、行业协会等第三方评价主体，考核结果无法真实反映学生的岗位适配度。既不能引导学生全面提升职业综合能力，也无法为专业教学改革、课程体系优化，提供真实、科学的反馈依据。

三、建筑工业化背景下高职智能建造专业课程体系建设路径

结合建筑工业化行业发展需求、高职专科层次人才培养定位,本文以“产业导向、能力本位、岗课对接、动态调整、产教融合”为核心原则,构建“基础-核心-拓展-实践”四位一体模块化课程体系,实现课程内容与岗位需求精准对接、与行业技术同步更新,全面覆盖人才培养的三大核心能力目标。

(一) 课程体系构建的核心原则

本次课程体系设计,始终立足产业发展导向,紧扣建筑工业化领域核心岗位的用人标准,把企业岗位操作规范、行业前沿技术、职业技能等级证书标准,全面融入课程内容、教学实施与考核评价全环节。

坚持以职业能力培养为核心,围绕三大核心能力维度搭建递进式课程模块,侧重实操与职业素养培养。建立校企联合动态调整机制,结合行业技术迭代和岗位需求,优化课程内容与结构,贴合行业实际、对接岗位需求。

(二) 四位一体模块化课程体系设计

课程整体划分四大学习模块,基础模块,着重夯实学生专业学习根基,开设智能建造基础、建筑制图 CAD 等基础课程,同步普及行业从业准则与现场安全要求,抓好日常职业素养培养,帮助学生摸清行业基本情况,养成规范行事的习惯,顺利衔接后续专业课程学习。核心模块,是人才培养的重点内容,依照一线岗位实际工作需求排布课程,涵盖装配式建筑施工、智慧工地管理、智能设备实操等内容,教学内容贴合企业用人标准,搭配真实项目案例开展理论结合实操的授课模式,让学生在岗练就扎实的岗位本领。拓展模块,兼顾学生长远发展,增设绿色建筑、建筑数据分析等特色学习内容,将 1+X 技能考证相关内容融入教学,搭配灵活选课形式拓宽学生专业认知,激发自主钻研与创新应用能力。实践模块,整合校内实训、企业顶岗实习、技能竞赛与创业实践多种培养途径,其中企业实地实操内容占比过半,贴合高职教育偏重实操、立足就业的办学方向,全面提升学生实战水平,助力大家毕业后平稳踏入职场。

(三) 课程实施与评价体系配套优化

推进专业课程建设期间,我们携手本地建筑优质企业敲定授课相关规范,共同研发适配实训课堂的配套教学资料,汇总各类教材、现场施工案例、仿真训练素材与网络优质课程,搭建实用型教学资源体系。日常授课兼顾线上线下两种形式,邀请行业在岗技术人员到校参与讲课与实操辅导,参照 CDIO 教育思路,完成教学全流程优化调整。学生学业评判不再只依靠校内考试,结合校内日常表现、企业实践打分、同学互评以及职业技能考证成绩划分评定标准,明确各项评分占比,考核结果直接用于毕业审核与就业推荐,依靠评定机制正向带动学生专业学习积极性。

四、建筑工业化背景下高职智能建造专业教学模式创新策略

以模块化课程体系为基础,以产教融合为核心,从协同育人机制、教学方法改革、师资队伍建设、考核评价优化四个维度,创新教学模式,实现人才培养与产业需求的精准对接。

(一) 深化产教融合,落地校企协同育人机制

全面推行订单式、定制化人才培养,与装配式建筑企业、智慧建造施工企业建立深度战略合作关系,企业全程参与人才培养方案制定、课程教学、实训指导、考核评价全环节,真正实现“入学即入职、毕业即就业”的闭环育人。

在此基础上,依托市域产教联合体,全面整合校企优质资源,完善校企双导师制度,共建一体化实训基地,联合开发项目化教材,建立教学内容动态更新机制,保证教学内容与行业前沿技术、企业岗位标准实时同步。

(二) 创新教学方法,提升课堂教学实效

全面推广项目化教学模式,以真实项目为教学载体,把课程知识点拆解为现场实操任务,学生可以在实操中提升专业技能、团队协作能力与现场问题解决能力。

除此之外,常态化推行线上线下混合式教学,引入虚拟仿真技术,打造沉浸式、高还原度的实训场景,弥补校内实训无法实现高风险作业的短板。结合技能竞赛、工程案例研讨、现场技术交底等多元化教学形式,以赛促学、以践促学,充分激发学生的学习主动性。

(三) 提质双师队伍,强化教学核心支撑

推进双师型师资队伍队伍建设,明确要求专任教师每年必须赴行业企业一线实践不少于2个月,积累一线实操经验,提升实操教学能力。同时,吸纳企业技术骨干担任兼职教师并开展教学培训,提高兼职教师教学水平。

在此基础上,优化教师考核评价体系,构建教学能力、实践实绩、教研成果三维考核框架,把企业一线实践经历、校企合作成效、实操教学成果纳入核心考核内容,配套专项激励政策,充分调动教师的积极性。

(四) 优化评价体系,校正人才培养导向

优化考核结构,采用过程性考核(60%)+终结性考核(40%),覆盖理论、实操、素养、协作、创新五大维度,进而形成“考核-反馈-优化教学”的完整闭环。

五、结论

在建筑工业化深度转型的行业背景下,课程体系构建、教学模式创新,是高职智能建造专业破解人才供需错位、实现高质量发展的核心抓手。

本文结合行业调研与教学实践，明确了建筑工业化转型下，智能建造人才的三大核心能力要求，系统梳理了当前专业人才培养的四大核心短板，构建了四位一体模块化课程体系，提出了全链条教学模式创新方案。经过校内教学试点验证，本次改革方案落地性强、育人成效显著，有效解决传统教学理实脱节、产教融合浮于表面、课程与岗位需求错位等问题，大幅提升了学生的实操能力与岗位适配度，可为国内同类高职院校相关专业改革，提供可复制、可推广的实践经验。

参考文献

[1] 国务院. 国家职业教育改革实施方案 [Z]. 2019.

[2] 教育部等九部门. 职业教育提质培优行动计划（2020—2023 年）[Z]. 2020-09-16.

[3] 姜大源. 当代德国职业教育主流教学思想研究：理论、实践与创新 [M]. 北京：清华大学出版社，2007.

[4] 欧阳河. 产教融合的内涵、动因与推进策略 [J]. 中国职业技术教育，2019（27）：5-11.

[5] 冒一锋. 产教融合视域下高职智能建造技术专业教学模式改革策略研究 [J]. 教师，2025(10)：152-154.

[6] 孙庆巍，高辉，张童，张宽. 新工科背景下智能建造专业课程体系研究与构建 [J]. 高教学刊，2023（2）：118-121.

[7] 潘婧，童世虎，周秀华. 智能建造与 CDIO 模式融合的五年制高职施工组织课程实践研究 [J]. 科技视界，2025，15（33）：129-132.

精致钢框架式玻璃幕墙系统在大型场馆幕墙工程中的应用

万忠民

中国一冶集团有限公司，湖北 武汉 430081

DOI:10.61369/ADA.2026010011

摘 要： 精致钢框架式玻璃幕墙系统通过高精度钢龙骨与单元化玻璃板块结合，采用结构性密封与机械化安装工艺，有效解决了大跨度立面施工中常见的变形控制难、防水性能弱等问题。该系统具有抗风压性强、气密性高、视觉通透性好等优势，有效提升建筑外观完整性与使用耐久性。本文结合大型场馆项目，从系统构造设计、性能特点、施工工艺及质量控制等方面展开分析，为同类工程提供参考。

关 键 词： 精致钢框架式幕墙；大型场馆；钢结构龙骨；玻璃面板；施工技术

Application of Exquisite Steel-Frame Glass Curtain Wall System in Curtain Wall Projects of Large Venues

Wan Zhongmin

China First Metallurgical Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430081

Abstract： The exquisite steel-frame glass curtain wall system combines high-precision steel mullions with unitized glass panels, employing structural sealing and mechanized installation techniques. This effectively addresses common challenges in large-span facade construction, such as difficulty in deformation control and weak waterproofing performance. The system offers advantages such as strong wind pressure resistance, high airtightness, and excellent visual transparency, effectively enhancing the architectural appearance integrity and service durability. This paper analyzes the system from the perspectives of structural design, performance characteristics, construction techniques, and quality control, based on large venue projects, providing references for similar engineering endeavors.

Keywords： exquisite steel-frame curtain wall; large venues; steel structural mullions; glass panels; construction techniques

一、工程概况

中原高铁港数字展贸城项目位于河南省郑州航空港区，总建筑面积52.74万平方米，展厅幕墙最高高度达25.25米。其中东西立面二层采用精致钢框架式玻璃幕墙系统，竖向龙骨采用250×110×18mm精致钢立柱，横向采用同规格钢横梁，玻璃配置为8HS+2.28PVB+8HS（三银LOW-E）+12Ar+8HS+2.28PVB+8HS夹胶中空超白玻璃，最大板块尺寸达4466×1916mm，单块重量约0.684吨。系统通过精细化节点设计与工厂预制化生产，实现现场高效装配。



图1 精致钢框架玻璃示意图

二、统性能特点深度分析

（一）结构稳定性与抗风压性能

系统以高强度精致钢龙骨为核心，通过多维度设计保障极端环境下的安全性：

抗风压性能：实验室检测达2级标准（承受1.678kN/m²风压），关键措施包括：立柱间距≤4.5m，有限元优化截面惯性矩；连接节点“刚性+柔性”结合——底部用L150×100×12mm镀锌角钢+M20不锈钢螺杆连预埋件，顶端用Φ50（40Cr）销轴柔性连接，兼顾传力可靠性与变形适应性。

抗震性能：满足《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（0.3g水平地震作用），设“主龙骨+连接构件”两道防线；螺栓孔为长圆孔（允许±30mm位移），有效吸收地震能量。

温度变形适应性：针对郑州-10℃~40℃年温差，横梁与立柱“一端刚性、一端柔性”连接（横梁间距2m，一端用10mm钢槽柔性连接），预留伸缩空间以吸收温度应力。

（二）密封与节能性能

水密性能：水密性能：达786Pa（超国标），通过四道密封防

线实现：①板块搭接物理阻水；②三元乙丙胶条（寿命20年）；③硅酮结构胶内部密封；④等压腔+导排水系统排微量水。

气密性能：3级（ $1.2 \geq q_A \geq 0.5$ ），100Pa压差下单位面积空气渗透量 $\leq 1.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；开启扇用多点锁闭系统，确保密封压力均匀。

节能性能：传热系数 $K \leq 1.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，遮阳系数0.44，可见光透射比 ≥ 0.6 。核心措施：三银LOW-E玻璃阻红外线、16mm氩气层（纯度 $\geq 90\%$ ）、暖边间隔条（线性传热系数 $\leq 0.12 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ）、尼龙66隔热条分离室内外型材。

（三）安全与耐久性

防雷设计：符合《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010，用 $40 \times 4 \text{ mm}$ 镀锌扁钢作引下线（间距 $\leq 18 \text{ m}$ ），接地电阻 $< 1 \Omega$ ；连接点防腐处理，确保长期有效。

防火性能：层间设1.5mm镀锌钢板+100mm防火岩棉（密度 $\geq 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ ）封堵，耐火极限2小时；缝隙用防火密封胶填塞，防烟雾蔓延。

耐久性能：设计使用年限25年，密封胶/胶条用耐老化材料；钢材氟碳喷涂（膜厚 $\geq 40 \mu\text{m}$ ），通过4000小时中性盐雾试验；玻璃均质处理，自爆率 $< 0.1\%$ 。

防护性能：符合《建筑玻璃应用技术规程》JGJ113-2015，室内侧夹胶玻璃碎片合规；可承受30m/s风速飞射物冲击。

（四）光学与声学性能

光学性能：可见光透射比 $\tau_v \geq 0.6$ ，色彩还原指数 $R_a \geq 90$ （满足展览建筑自然采光需求）；太阳得热系数 $SHGC=0.44$ ，平衡热舒适性与空调能耗。

声学性能：空气声隔声量 $R_w \geq 35 \text{ dB}$ ，通过中空玻璃阻声波、型材空腔填吸音材料、弹性密封接缝实现中低频噪声隔绝。

三、施工工艺流程及要点

鉴于本文着重介绍精致钢框架玻璃幕墙系统安装的相关关键技术工序，其他幕墙系统工艺流程这里不做重点描述。

（一）施工工艺流程

测量放线→转接件安装与校正→精致钢龙骨安装→玻璃面板安装→密封与防水→清洁验收

（二）施工工艺要点

1. 施工前准备与测量放线

施工前的准备工作直接影响整个工程质量，必须严格按照标准流程执行。

测量基准建立：使用Leica TCA20全站仪建立测量控制网，精度要求：角度测量 $\pm 1''$ ，距离测量 $\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ 。首先与总包单位进行基准点交接，对提供的控制点进行复测，确认无误后引测到施工楼层。控制点采用强制对中标志，避免对中误差。

三维测量放线：采用BIM技术进行测量放样，通过Rhino软件建立幕墙三维模型，导出关键控制点的坐标数据。现场测量时，先放出主体结构轮廓线，再放出幕墙分格线，最后放出转接

件位置线。测量过程中实行“三检制”：施工班组自检、质检员复检、监理单位验收。

误差控制措施：针对大型钢结构工程的变形特点，采取动态测量方法。每天固定时间（避开日照强烈时段）进行测量，记录温度变化对结构的影响。测量数据实时输入BIM模型，指导后续加工和安装。对于超过允许偏差的部位，通过设计变更进行调整。

2. 转接件安装与校正

转接件是连接幕墙与主体结构的关键部件，其安装质量直接影响整个幕墙系统的精度。

安装工艺流程：清理埋件→测量定位→转接件安装→精度复核→最终固定。首先对预埋件进行清理，去除混凝土浆皮和锈蚀，检查埋件位置偏差。对于偏差超过20mm的埋件，采用后补埋件进行补救。

安装精度控制：转接件安装允许偏差为：左右方向 $\pm 3 \text{ mm}$ ，进出方向 $\pm 5 \text{ mm}$ ，标高 $\pm 3 \text{ mm}$ 。安装时使用专用定位模具，确保同排转接件的安装精度。转接件与埋件之间采用三向调节机构，微调完成后立即固定。

防腐蚀处理：所有焊接部位在焊接完成后24小时内进行防腐处理。先打磨焊渣和飞溅物，然后涂刷环氧富锌底漆（膜厚 $\geq 60 \mu\text{m}$ ），再涂刷环氧云铁中间漆（膜厚 $\geq 80 \mu\text{m}$ ），最后涂刷氟碳面漆（膜厚 $\geq 40 \mu\text{m}$ ）。不同金属接触部位采用绝缘垫片隔离，防止电化学腐蚀。

3. 精致钢龙骨安装

龙骨安装是幕墙施工的核心环节，其精度直接决定幕墙的最终效果。

立柱安装工艺：

吊装就位：采用25t汽车吊进行吊装，吊点设置在立柱长度的1/4和3/4处，使用尼龙吊带防止表面损伤。就位时先连接下部转接件，预留调节余量。精度调整：使用经纬仪控制垂直度，水准仪控制标高。垂直度偏差控制在 $H/1000$ 且不超过10mm，相邻立柱标高差 $\leq 3 \text{ mm}$ ，同层立柱标高差 $\leq 5 \text{ mm}$ 。临时固定：调整到位后，用临时支撑固定，然后进行最终焊接。焊接采用CO₂气体保护焊，焊缝等级为二级，焊脚尺寸不小于较薄焊件厚度。

横梁安装工艺：

分段安装：横梁按跨度分三段制作，中间设置伸缩缝。安装顺序自下而上，先安装基准横梁，再以其为基准向上安装。连接节点处理：横梁与立柱采用螺栓连接，连接部位设2mm厚防腐垫片。螺栓紧固使用扭矩扳手，扭矩值控制在 $100 \text{ N} \cdot \text{m} \pm 10\%$ 。平整度控制：横梁安装后，用水准仪检测其水平度，偏差控制在 $\pm 1 \text{ mm}$ 内。相邻横梁高低差 $\leq 1 \text{ mm}$ ，同一立面横梁高低差 $\leq 3 \text{ mm}$ 。

4. 玻璃面板安装技术

玻璃面板安装是幕墙施工的最后环节，也是最重要的视觉表现部分。



图2 精致钢框架幕墙玻璃安装图

安装前准备:

现场复测: 对已安装的龙骨进行全面复测, 包括间距、对角线、平整度等, 确保符合设计要求。材料检查: 检查玻璃板块的规格尺寸、表面质量, 重点检查有无划伤、气泡等缺陷。使用专用检测工具测量玻璃的平整度, 偏差应 $\leq 2\text{mm}$ 。

安装设备准备: 准备曲臂车、真空吸盘等设备, 并进行安全检查。真空吸盘在使用前进行吸附试验, 确保安全可靠。



图3 精致钢框架幕墙玻璃安装图

安装工艺流程:

吊装就位: 使用电动吸盘吸附玻璃, 曲臂车提升至安装位置。吊装过程中设置防摆动装置, 确保平稳就位。就位调整: 先将玻璃板块的下部卡入下部横梁的卡槽内, 然后调整上部位置, 使玻璃与相邻板块的间隙均匀。压板安装: 使用不锈钢压板固定玻璃, 压板与玻璃之间设置弹性垫块。压板螺栓应均匀紧固, 扭矩值控制在 $8\text{--}10\text{N}\cdot\text{m}$ 。密封处理: 安装完成后立即进行打胶密封。打胶前用酒精清洁接缝, 背衬棒安装深度为缝宽的 $1/2$ 。打胶要求饱满均匀, 表面光滑平整。

安装精度控制: 相邻板块接缝宽度偏差 $\leq 1.5\text{mm}$; 相邻板块高低差 $\leq 1.0\text{mm}$; 整幅幕墙竖向垂直度 $\leq 10\text{mm}$; 整幅幕墙水平度 $\leq 3\text{mm}$ 。

5. 密封与防水技术

密封防水是幕墙功能性的关键, 必须严格控制施工质量。

密封材料选择:

结构密封胶: 采用双组份硅酮结构胶, 固化后硬度(邵A) 35–45度, 伸长率 $\geq 150\%$; 耐候密封胶: 采用单组份硅酮耐候胶, 位移能力 $\pm 25\%$, 耐久性通过5000小时老化试验; 密封胶条: 采用三元乙丙橡胶, 硬度 70 ± 5 度, 压缩永久变形 $\leq 25\%$; 打胶工艺控制: 基材处理: 打胶前对基材进行严格清洁, 先用干

净布去除灰尘, 再用酒精擦拭, 最后用保护胶带保护非打胶区域。背衬材料安装: 使用闭孔聚乙烯泡沫棒作为背衬材料, 直径比缝宽大 $20\%\text{--}30\%$ 。安装深度为缝宽的 $1/2$, 确保形成两面粘结。打胶操作: 使用专业打胶枪, 胶嘴切成 45° 斜口, 直径略小于缝宽。打胶时保持均匀速度, 确保胶体饱满无空腔。表面修整: 打胶完成后立即用刮刀修整, 修整角度为 45° , 确保胶缝美观整齐。

防水测试: 幕墙安装完成后进行淋水试验。试验方法: 使用直径 20mm 的水管, 在幕墙表面形成连续水幕, 水压 0.3MPa , 持续时间15分钟。检查室内侧有无渗漏, 发现渗漏点及时处理。

四、关键节点的控制

(一) 测量放线

1) 三维测量控制网的建立: 采用 Leica TCA20 全站仪建立三级测量控制网, 首先与主体结构施工单位进行基准点交接复核, 确认无误后引测到各施工楼层。控制点采用强制对中标志, 避免对中误差, 测量精度要求达到: 角度测量 $\pm 1''$, 距离测量 $\pm (1\text{mm}+1\text{ppm})$ 。在测量放线过程中, 实行“三级验收”制度: 施工班组完成放线后进行自检, 质检员进行复检, 最后报监理单位验收。1) 安装前检查天沟挂带有无变形, 按设计的间距固定天沟挂带, 并检查挂带的各个边是否平齐。天沟对接前将切割口打磨干净, 对接时要注意对缝间隙不能超过 1mm , 先每隔 10cm 点焊, 确认满足要求后方可焊接。焊条型号根据母材确定, 但直径采用 $\Phi 2.5\text{mm}$ 。焊缝一遍成形, 待冷却后将药皮除去。

2) 立体测量定位技术: 针对大型场馆复杂的空间结构, 采用 BIM 技术进行三维测量放样。通过 Rhino 软件建立幕墙精确模型, 导出关键控制点的三维坐标数据。现场测量时, 先放出主体结构轮廓线, 再放出幕墙分格线, 最后精确定位转接件安装位置。测量过程中要特别注意温度变化对钢结构的影响, 选择在气温稳定的时段进行测量, 并记录测量时的环境温度, 以便进行温度修正。严格控制测量偏差, 立面垂直度偏差 $\leq H/1000$ 且不大于 25mm , 相邻两板端部错位 $\leq 6\text{mm}$ 。

(二) 预埋件与转接件

1) 预埋件位置复核与处理: 预埋件安装前, 必须对土建结构进行精确测量, 检查预埋件位置偏差。允许偏差标准为: 中心线偏差 $\leq 5\text{mm}$, 标高偏差 $\pm 3\text{mm}$, 表面平整度 $\leq 1\text{mm}$ 。对于偏差超标的预埋件, 需采取补救措施: 当偏差在 10mm 以内时, 可通过调整转接件位置吸收误差; 偏差在 $10\text{--}20\text{mm}$ 时, 采用现场焊接钢板加长锚筋的方法处理; 偏差超过 20mm 时, 必须采用后置埋件补救。

2) 转接件安装精度控制: 转接件安装采用“测量定位—初步固定—精度调整—最终固定”的四步控制法。安装过程中要重点控制以下指标: 转接件水平位置偏差 $\leq 5\text{mm}$, 倾斜角度 $\leq 1^\circ$, 平面扭转角度 $\leq 1^\circ$ 。转接件与预埋件焊接时, 先每隔 10cm 点焊, 确认满足要求后方可满焊。焊缝要求一遍成形, 焊脚尺寸不小于较薄焊件厚度, 焊接完成后及时清除药皮并进行防腐处理。

（三）精致钢龙骨安装

1) 立柱安装控制：立柱安装采用“从下至上、先中间后两边”的安装顺序。首先安装基准立柱，以其为基准向两侧扩展。立柱安装前，在柱身标注中心线，安装时使中心线与测量控制线重合。立柱连接采用插接方式，插接长度不小于250mm，插接间隙控制在4-6mm。安装过程中使用激光经纬仪实时监测垂直度，偏差控制在H/1000且不超过10mm。

2) 横梁安装控制：横梁安装采用“从上至下、分段安装”的方法。首先安装基准横梁，以此为标准向下逐层安装。横梁与立柱连接采用柔性连接，一端固定一端滑动，允许温度变形。横梁安装要严格控制水平度，使用水平仪检测，偏差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内。相邻横梁接头处要留设5-8mm的伸缩缝，并用密封胶填充。

（四）玻璃面板安装

1) 安装前准备工作的控制：玻璃安装前必须完成以下准备工作：对龙骨安装质量进行最终验收，测量数据达标后方可进行玻璃安装；检查玻璃板块的规格尺寸、表面质量，对有划伤、崩边等缺陷的板块予以更换；清洁安装部位，确保无灰尘、油污等污染物；准备专用安装工具，包括真空吸盘、电动葫芦等，并进行安全检查。

2) 安装过程精度控制：玻璃面板安装采用“先试装后固定”的方法。首先将玻璃板块吊装至安装位置，进行试安装，检查板块间缝隙是否均匀，相邻板块平整度是否符合要求。调整合格

后，正式安装固定。安装过程中要重点控制以下指标：相邻板块接缝宽度偏差 $\leq 1.5\text{mm}$ ，相邻板块表面高低差 $\leq 1.0\text{mm}$ ，整幅幕墙竖向垂直度 $\leq 10\text{mm}$ ，横向水平度 $\leq 3\text{mm}$ 。

五、结论

中原高铁港项目采用精致钢框架幕墙系统，以高精度冷弯钢型材+超白中空玻璃为核心，通过榫卯拼接集成，聚焦大型场馆“超大跨度承载、复杂曲面适配、极端环境耐候、工业化高效建造”需求，破解四大痛点：耐候钢+双层LOW-E玻璃，阻断热交换与冷桥；工厂预制保障型材公差 $\pm 1\text{mm}$ 级；柔性节点（抗震橡胶垫）允许面板/框架温变、风荷载下伸缩，规避应力集中；抗风抗震超设计、防水密封双道设防、模块化运维（局部快速更换）。

系统兼具轻量化（降主体荷载）、高强度（抗风抗震）、耐腐蚀（延运维）、低碳环保（钢可循环）属性，满足大型场馆“无柱大空间、标志性表皮”的功能审美诉求；通过工业化建造压缩工期、减少污染，造型可塑性适配折线形表皮，全面提升工程品质与全生命周期价值。

工程落地实现“结构安全冗余高、外观质感优、性能指标超设计预期”，为同类大型场馆幕墙提供“工业化建造+绿色性能+艺术造型”深度融合的示范范式。

参考文献

[1] 建筑玻璃应用技术规程 JGJ113-2015.

[2] 建筑装饰装修工程质量验收标准 GB50210-2018.

复杂荷载作用下建筑结构设计优化研究

年跟步

广东白云学院, 广东 广州 511400

DOI:10.61369/ADA.2026010013

摘 要： 建筑高层化与功能复合化使结构承受超高层耦合荷载、风荷载、屋顶花园复合荷载等多源复杂作用，传统单一工况设计难以适配受力规律。研究依托数值模拟与工程实践，构建覆盖结构布局、构件设计、减振监测的三维优化体系，明确精细化实施路径。经丽泽 SOHO 基坑、高层抗风、屋顶花园等工程验证，方案可有效控制结构变形与内力，提升安全与经济性。成果可为复杂荷载下结构设计与施工控制提供技术支撑，推动设计向多场耦合适配方向升级。

关 键 词： 复杂荷载；建筑结构；设计优化

Research on Design Optimization of Building Structures under Complex Loads

Nian Genbu

Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong 511400

Abstract： The high-rise development and functional compounding of buildings have caused structures to bear multi-source complex effects such as super high-rise coupled loads, wind loads, and roof garden composite loads. Traditional single-condition design is difficult to adapt to the stress distribution laws. Based on numerical simulation and engineering practice, this study constructs a three-dimensional optimization system covering structural layout, component design, and vibration reduction monitoring, and clarifies the refined implementation paths. Verified by engineering cases including the Lize SOHO foundation pit, high-rise wind resistance, and roof garden projects, the scheme can effectively control structural deformation and internal force, and improve safety and economic efficiency. The results can provide technical support for structural design and construction control under complex loads, and promote the upgrading of design to multi-field coupling adaptation.

Keywords： complex loads; building structures; design optimization

引言

城市化推动建筑向高空与地下延伸，超高层、地铁配套、屋顶绿化等工程增多，结构受力形成竖向荷载、风荷载、基坑卸荷、屋面可变荷载叠加的复杂体系。传统设计以单一荷载为控制工况，采用等效静载简化分析，忽略耦合效应与时空变异，易引发应力集中、变形超限、周边扰动等问题。复杂荷载作用下结构呈非线性受力特征，传统方法难以匹配实际状态。基于典型工程场景拆解荷载机理，提炼设计优化要点，形成可落地方案，可提升结构受力性能与安全储备，为同类工程提供实践参考。

一、复杂荷载对建筑结构的作用机制解析

（一）超高层耦合荷载作用机制

超高层建筑自重荷载大、传递路径长，经框架柱、核心筒传至基础并形成土体高应力区。邻近地铁基坑开挖引发土体卸荷，打破原有应力平衡，造成坑底回弹、围护结构内移，带动周边土体与建筑基础协同变形。当超高层基础与基坑间距紧凑时，自重与卸荷形成双向耦合，引发基础不均匀沉降与水平位移，变形向上传递使上部构件产生附加内力，易出现开裂、倾斜等病害^[1]。超高层结构对差异沉降高度敏感，超限沉降差会改变结构受力分

布，降低整体安全性与耐久性。

（二）高空风荷载动力作用机制

风荷载是高层与超高层结构的关键水平荷载，作用效应随高度呈非线性增长。风场在建筑表面形成静动压耦合作用，静压引发结构侧移，动压诱发顺风向与横风向振动，接近自振频率时易产生共振，显著放大结构变形与内力。建筑外形与周边环境影响风荷载体型系数，矩形角部等位置易形成风荷载集中与局部高应力区（见表1）。层间位移角与顶点水平位移为结构控制指标，超限将影响非结构构件使用，长期往复荷载引发结构疲劳损伤，缩短使用寿命。

作者简介：年跟步（1979.02-），男，汉族，本科，高级工程师，研究方向：建筑结构设计。

表1 不同高度风荷载标准值

计算高度 (m)	10	50	100	150	180
风荷载标准值 (kN/m ²)	0.58	0.957	1.267	1.509	1.627

(三) 屋顶花园复合荷载作用机制

屋顶花园荷载由恒载与活载组合而成,具有非均匀、动态变化特征。种植介质、植被等构成恒载,含水率随降雨、灌溉波动导致荷载值变化。人员活动、设施布设形成可变活载,分布随使用功能动态调整^[2]。温湿度等环境因素长期改变材料性能与传力路径,复合荷载持续作用使屋顶梁板产生挠曲变形,节点与接缝处应力反复变化,易引发裂缝开展、防水层破损。传统均匀荷载设计忽略时空变异,与实际受力状态不匹配,存在局部过载与应力集中风险。

二、复杂荷载作用下建筑结构设计优化实施体系

(一) 结构布局优化实施

结构布局优化以复杂荷载传递路径优化为核心,通过平面与竖向双向调控,实现荷载均匀分布、结构刚度协同匹配。平面布局遵循双向抗侧力原则,剪力墙、框架柱沿建筑主轴均匀布设,使结构刚度中心与质量中心重合,降低扭转效应。超高层结构将核心筒布设至平面中心区域,形成稳定抗侧核心,角部框架柱适当加大截面,提升局部抗扭与抗弯能力,弱化风荷载与基坑卸荷引发的偏心作用。基坑邻近超高层结构采用共用围护体系,减少基坑开挖对既有建筑基础的扰动,缩短荷载传递距离,提升结构整体稳定性^[3]。屋顶结构采用梁板双向受力体系,依据种植区域与荷载分布密度调整梁板间距,使可变荷载均匀传递至竖向承重构件,避免局部集中荷载引发的变形超限。

竖向布局坚持刚度连续渐变原则,剪力墙、框架柱自基础至顶部连续贯通,不出现刚度突变与竖向中断。超高层结构底部楼层承受竖向荷载与水平荷载协同作用,适当加大构件截面与混凝土强度等级,提升底部刚度。上部楼层荷载逐步减小,构件截面与强度等级平缓降低,保持竖向刚度均匀变化(见表2)。设置转换层时,采用梁式转换或厚板转换形式,强化转换层与相邻楼层的构造措施,保证竖向荷载顺畅传递,避免转换层成为结构薄弱部位。屋顶结构采用分层受力设计,上部种植层与下部结构层之间设置缓冲构造,分散局部集中荷载,降低环境荷载对主体结构的直接作用。

表2 不同建筑高度转换层设置建议

建筑高度 (m)	转换层适宜位置	转换层形式建议
60~80	较低楼层(3~5层)	梁式转换
80~100	中间楼层(5~8层)	厚板/梁式转换
100以上	中间楼层(5~8层)	厚板/梁式转换

(二) 构件设计优化实施

构件设计优化以材料性能、截面尺寸、节点构造协同提升为路径,增强构件在复杂荷载下的承载能力与变形适应能力。竖向承重构件优先选用高强度混凝土,提升构件抗压强度与弹性模量,在满足承载要求的前提下减小截面尺寸,降低结构自重,间接减轻风荷载与自重荷载的耦合效应。剪力墙墙肢厚度满足最小

构造要求,底部加强部位适当增厚,提升抗剪与抗弯性能。墙肢两端与洞口边缘设置约束边缘构件,提高墙肢延性,避免水平荷载作用下过早破坏。框架柱根据受力大小差异化设计截面,角部与边缘柱采用较大截面,内部柱适度减小截面,实现受力与经济性平衡。

水平受力构件依据荷载分布特征优化截面与配筋,屋顶梁板采用变截面设计,荷载较大区域加大梁高与板厚,配置足够受力钢筋,抵御复合荷载产生的弯曲与剪切作用。连梁作为剪力墙协同工作的关键构件,控制跨高比与截面尺寸,采用交叉斜筋配筋方式,提升延性与抗剪性能,适应水平荷载往复作用。节点构造设计强化传力可靠性,框架柱与核心筒连接节点增设加强钢板,框架梁柱节点加密箍筋配置,提升节点核心区抗剪能力,保证复杂荷载作用下力传递连续顺畅^[4]。防水构件选用高柔韧性材料,适配结构变形,避免荷载作用下防水层开裂失效。

(三) 减振与监测控制实施

减振控制针对风荷载动力效应实施,通过被动减振装置优化结构动力响应,降低振动对结构及使用功能的影响。在高层建筑顶部与薄弱楼层布设摩擦型阻尼器、液体阻尼器,合理调整阻尼器数量与布设位置,增加结构阻尼比,耗散风荷载产生的振动能量,减小顶点水平位移与层间位移角。对于超高层结构,可结合主体刚度优化,形成刚度与阻尼协同控制体系,全面抑制风致振动。针对基坑卸荷引发的结构变形,采用分层分段开挖、及时施加支撑预应力的方式,利用土体时空效应控制变形发展,弱化卸荷对超高层结构的扰动。

监测控制实现结构受力与变形的实时感知与动态调控,在超高层基础、框架柱、剪力墙关键部位布设应力与位移监测设备,实时采集内力与变形数据。在屋顶花园布设荷载传感器与湿度监测设备,跟踪介质含水率与荷载分布变化。监测数据实时传输至控制平台,通过数据分析判断结构受力状态,当变形与应力接近控制限值时,及时调整施工工序或使用条件。基坑工程实施信息化施工,依据监测数据动态调整开挖深度、长度与支撑施加时间,形成监测-分析-调控的闭环管理体系,确保结构始终处于安全受力状态。

三、优化方案工程实证

(一) 超高层邻近基坑工程优化实证

北京地铁14号线丽泽商务区站基坑邻近丽泽SOHO超高层结构,该建筑地上45层,结构高度191.5m,采用框架核心筒结构,基础为桩筏基础,与地铁基坑水平距离最小为3.6m,竖向距离1.5m,属于一级风险源。设计阶段采用YJK与Midas-gen建立数值模型,在临近基坑侧基础施加竖向强制位移,模拟基坑开挖引发的沉降效应,确定结构安全控制指标。基础竖向变形控制在10mm以内,差异竖向变形不超过6mm,变形速率控制在1mm/d,既有围护桩桩顶水平位移不大于20mm。

施工阶段采用围护桩加锚索支护体系,按锚索分层拉槽开挖,严格控制单步开挖参数,及时施加锚索预应力^[5]。现场监测

结果表明（见表3），建筑基础最大竖向变形为9.91mm，最大差异变形为3mm，围护桩桩顶最大水平位移为14.8mm，各项指标均处于控制范围内。结构布局优化与施工工序调控协同作用，有效抵御自重荷载与基坑卸荷的耦合作用，保障超高层结构与地铁基坑施工双安全。

表3 丽泽 SOHO 基础与围护结构监测结果

监测项目	控制指标	实测最大值	是否达标
基础竖向变形	≤ 10mm	9.91mm	是
差异竖向变形	≤ 6mm	3mm	是
围护桩顶水平位移	≤ 20mm	14.8mm	是

（二）高层建筑风荷载优化实证

某180m 高层建筑采用框架核心筒结构，基本风压0.5kN/m²，地面粗糙度为 C 类。原设计结构顶点水平位移与层间位移角接近规范限值，角部柱与核心筒连接区域应力集中显著。优化阶段调整结构布局，角部框架柱截面扩大，核心筒居中布置，优化墙体厚度。构件设计提升混凝土强度等级，强化关键节点构造。增设阻尼器系统抑制风致振动。

由优化前后对比可知（见表4），优化后结构顶点水平位移显著降低，最大层间位移角满足规范要求，角部柱内力明显减小，应力集中现象得到有效缓解。混凝土与钢材用量合理降低，结构抗风性能与经济性同步提升，非结构构件破损风险降低，长期使用安全性与舒适度得到保障。

表4 风荷载优化前后结构位移对比

项目	优化前	优化后	规范限值	优化效果
顶点水平位移（mm）	150	120	≤ 327.27	减少 20%
最大层间位移角	1/600	1/800	≤ 1/550	减小 25%

（三）屋顶花园结构优化实证

屋顶花园结构承受种植介质、植被、人员活动等复合荷载，传统设计易出现局部变形过大、防水层破损等问题。优化实施轻质化设计，选用轻质种植基质降低恒载数值，采用模块化种植系统均衡荷载分布。结构层与防水层协同设计，选用高柔韧性防水材料，适配结构变形^[6]。布设荷载与环境监测设备，实时调控介质含水率，避免瞬时过载。

监测数据显示，复合荷载作用下结构最大应力、变形与挠度均控制在安全范围，局部应力集中现象得到弱化，防水层耐久性提升，动态监测系统有效保障荷载处于安全区间，结构长期稳定性满足使用要求。

四、结论

复杂荷载结构设计需突破单一工况局限，构建多场耦合全维度优化体系。结构布局优化理顺传力路径、均衡刚度分布，构件设计强化承载与变形适配能力，减振监测实现动态响应调控，三者协同构成完整安全保障机制。多项工程实证表明，该体系可精准匹配复杂荷载作用机理，有效控制变形与内力，兼顾安全、适用与经济要求。后续应深化荷载耦合机理研究，细化设计参数，结合新材料与智能监测技术，提升复杂荷载结构设计的精细化与智能化水平。

参考文献

[1]王德才 . 建筑结构设计 中 剪力墙结构设计要点分析 [J]. 城市建设 , 2025, (09): 98–100.
[2]张振唯 . 某高层建筑设计 风荷载及其优化设计分析 [J]. 中国建筑金属结构 , 2026, 25(01): 19–21.
[3]冷玉霞 . 现代高层建筑设计 中的 风荷载分析与优化设计研究 [J]. 中国建筑金属结构 , 2025, 24(11): 31–33.
[4]韦景珊 , 成威 . 屋顶花园荷载作用 下 结构设计优化研究 [J]. 石材 , 2025, (06): 63–65.
[5]王伟 . 建筑设计 中的 荷载传递优化方法研究 [J]. 门窗 , 2025(5): 133–135
[6] 彭海中 . 超高层建筑荷载作用 下 复杂地铁基坑开挖技术研究 [J]. 山西建筑 , 2022, 48(08): 88–92.

探析校园规划及学校建筑设计

杨坚

广东珠江建筑工程设计有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010016

摘 要 : 文章旨在探讨当前校园规划与建筑设计的发展趋势及其相应的设计策略, 以提升校园空间的教育效能与育人环境。文章首先从现代化、文化性及内涵化三个维度剖析了校园规划的时代走向; 进而系统阐述了教学空间、自主学习区、交往空间、娱乐空间及办公空间的功能类型与设计要点; 最后, 围绕区位规划、交通组织、建筑规模、生态设计、安全防护及景观结构等方面, 提出了具体可行的优化对策, 以期推动校园建设向更加人性化、可持续和高效的方向发展。

关 键 词 : 校园规划; 学校建筑; 设计

Exploration and Analysis of Campus Planning and School Building Design

Yang Jian

Guangdong Zhujiang Construction Engineering Design Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article aims to explore the development trends and corresponding design strategies of current campus planning and architectural design, with a view to enhancing the educational efficacy and nurturing environment of campus spaces. The article first analyzes the contemporary trends in campus planning from three dimensions: modernization, cultural significance, and connotative depth. It then systematically elaborates on the functional types and design essentials of teaching spaces, autonomous learning areas, interaction spaces, recreational spaces, and office spaces. Finally, it proposes specific and feasible optimization strategies focusing on location planning, traffic organization, building scale, ecological design, safety and security, and landscape structure, with the aim of promoting campus construction towards a more human-centered, sustainable, and efficient direction.

Keywords : campus planning; school buildings; design

引言

随着教育理念的不断更新与时代发展需求的日益提升, 校园作为教育实施的核心场所, 其规划与建筑设计的质量直接影响着教学效果、学生成长与校园文化氛围。当前, 传统校园模式逐渐无法满足现代化教育对空间灵活性、文化浸润性及功能复合性的要求。因此, 如何顺应发展趋势, 科学构建功能合理、环境宜人、具有人文精神和时代特征的校园空间, 成为亟待深入探讨的课题。

一、当前校园规划、建筑设计发展的必然趋势

(一) 现代化发展趋势

高校作为国家重要的人才培养场所, 其校园规划与建筑设计应当充分融入现代化理念。在此过程中, 需重点把握两个层面: 一是构建现代化的功能分区体系, 这不仅要强调教学、科研、生活等区域的合理划分, 也要注重它们之间的有机联系与整体协调。二是配置现代化的基础设施, 特别是建设覆盖全面、运行高效的校园网络。这样的网络环境不仅能满足师生日常学习与生活需求, 促进各类信息资源的开放共享, 还能依托数字化平台引入前沿教学模式, 为学生创造更加智能、便捷的学习体验, 进而推动教育方式的持续革新。

(二) 文化发展趋势

校园环境的育人功能至关重要, 尤其当环境富含人文精神时, 其影响更为深刻而持久。置身于充满人文关怀与文化底蕴的校园中学习和生活, 能够有效激发师生积极向上的精神状态, 促使思维活跃、灵感涌现。无论是在教师的教学引导过程中, 还是在学生的自主探究与深度思考中, 这样的人文氛围都能显著提升工作与学习的效能, 为知识的传递与创造提供持续的内在动力^[1]。

(三) 内涵化发展趋势

在高校的规划与建筑设计阶段, 必须高度重视并主动适应知识资源高度集聚的时代特征, 从多元维度进行前瞻性布局与系统性构想。具体而言, 应着力建设多功能、复合型的图书馆体系, 尤其注重在学科交叉区域或校园核心区位布局大型资源中心, 为

学生提供高效、便捷的文献检索与学习支持服务。其次，要大力推进跨学科资源共享机制建设，通过有规划地打造资源共享平台或信息枢纽，打破院系壁垒，促进不同领域间的知识融合与资源互通。

二、学校功能的空间类型及设计要点

（一）特定教学空间的设计

为保障教学活动的有效实施，学校通常需要配置多元化的专门性教学场所，例如普通教室、实验实训室、多媒体智慧教室、体育活动室及户外运动场等。这些空间的核心功能在于为教师营造适宜的教学环境，以支持各类课程的顺利开展，同时也有助于学生更高效地接收与内化知识。由于不同学科或教学形式对场地有其特殊要求，相应的教学活动应在与之匹配的特定空间中进行。因此，在设计这类教学空间时，必须高度重视其功能定位的准确性与设施体系的完整性，充分考虑空间形态、规模尺度、自然采光、通风条件以及声学效果等因素。通过科学合理的设计，最终使各类教学空间能够全面支持学校的多样化教育实践，促进教学过程的流畅与教学质量的提升^[2]。

（二）自主学习区设计

在校园中设置专门的自主学习区域，对于拓展学生认知视野、激发思维活力、丰富知识结构以及培育创新精神具有重要作用。与标准化、固定化的教学空间不同，此类区域应呈现出开放、多元、灵活的特征，能够适应不同学习模式与活动需求。例如，图书阅览区、科技探索空间、兴趣小组活动室、多功能交流厅、劳动技术实践坊、自然观察室以及天文观测平台等，均可纳入自主学习区的范畴。在平面布局上，这些空间应具备较强的可变性与重组可能，以适应多样化的使用场景；在形态设计上，宜突破传统规整封闭的“房盒子”模式，采用流动、通透、交互的空间语言，从而营造出自在、轻松、富有启发性的氛围，促进学生主动探索与个性发展。

（三）多层次交往性共有空间

青少年的心理与行为发展，很大程度上是在人际交往中逐渐形成的。这种交往不仅包括师生之间的教学互动，也涵盖学生之间的日常交流与合作。然而，从青少年成长发展的特点来看，丰富而多层次的交往空间能够有效促进师生及生生之间的沟通，从而提升学生的社交表达能力和协作水平。在这样的环境中，学生不仅能够在互动中增进友谊、拓展认知，也有助于形成积极健康的价值观。师生之间亦可建立更为平等、亲密的关系，使教师成为学生真正的良师益友，从而在学习与生活中给予学生更及时的引导^[3]。

（四）娱乐休息空间设计

在校园的整体规划中，娱乐与休憩空间的设计尤为重要，其形式可以灵活多样。例如，在室外可设置具有特定功能的运动与娱乐场地，如足球场、篮球场、游戏区等；在室内则可规划如音乐舞蹈教室、体育活动室、上人屋顶花园等各类活动场所。这类空间的设计应力求具备亲和力、丰富性与趣味性，能吸引学生主

动参与并沉浸其中。与此同时，还可借助建筑空间构件与布局形态的多样性，打造更具吸引力的活动环境。例如，通过设置高低错落的平台、围合与半围合的片墙、镂空的构架等元素，创造出层次丰富、富于变化的外部空间。这类设计不仅能提供视觉上的趣味与探索性，也可激发学生自由穿行、互动游戏的兴趣，从而在潜移默化中培养他们的探索精神与创造意识。

（五）办公行政空间设计

在传统的校园建筑布局中，教学楼与教师办公区域的功能划分往往较为刻板，空间形态缺乏弹性与适应性，这种局面在一定程度上影响了教师日常工作的效率与专注度。因此，当前学校建筑设计中需着重回应教师办公的专业需求，并兼顾师生之间高效交流与互动的实际情境，通过更为系统、人性化的规划，提升校园空间的功能整合度与使用效益。设计过程中应注重把握不同功能区块之间的空间关系，合理控制其间距与衔接方式。一方面，教师办公区域需要保持适度的独立性与围合感，避免教学区喧嚣干扰，从而营造安静、有序的工作氛围；另一方面，该区域也应与学生的日常活动路径及主要教学场所建立便捷、清晰的联系，便于师生开展辅导、交流与管理工作。

三、提高校园规划和建筑设计的对策

（一）加强校园规划设计

1. 优化校园区位选择与交通条件

在校园选址规划中，应优先选择远离工业集聚区的区域，并确保校园周边交通系统具备良好的可达性。工业区常伴随持续的噪声污染、空气污染等环境干扰因素，这些将直接影响到学生的课堂专注度与身心健康。因此，远离工业区的核心目标在于营造安静、洁净且适宜学习的外部环境。同时，交通便利性也是校园布局不可忽视的关键要素。学生的日常生活主要在家庭与学校之间循环，若学校位置过于偏远，虽可能获得相对独立安静的教学环境，却会显著增加学生的通勤难度，带来时间与安全层面的双重负担。此外，交通不便的区域往往伴随人口稀疏、社会配套不足等问题，这不仅限制了学生的社会交往与实践体验，也可能因周边环境人流较少而存在一定的安全隐患。

2. 推动学校布局与人口分布相协调

校园的空间布局应积极适应所在区域的人口密度与分布特征。当前，我国部分县域在发展中存在工业区与居住区相互交织的状况，这在一定程度上增加了学校合理布局的复杂性。尽管如此，相关规划工作仍应坚持以居民生活区为布局导向，尽可能使学校远离工业干扰、靠近人口集中的居住区域。通过将学校规划与社区分布紧密结合，不仅可以方便学生就近入学、减轻日常通勤压力，也有利于构建以学校为中心、辐射周边社区的教育服务网络，从而更充分地发挥学校在社区文化建设与教育资源整合中的纽带作用，促进教育公平与区域协调发展^[4]。

（二）交通组织设计

校园内的主要人行入口设置在教学区及综合楼主立面朝向的林荫道旁，通过构建清晰的校园主轴线，不仅塑造出庄重而开放

的沿街界面形象，也使空间导向更为明确，有助于减少师生及访客在寻路过程中花费的时间。在校园北侧另设一处次入口，与另外两处出入口共同形成环绕校园的外环交通线路，优化校园内外交通衔接。为提升各类车辆的通行效率，主要出入口附近还单独设置了机动车专用通道，确保车辆有序进出，减少人车混杂。与此同时，校园内部推行“人车分流”的交通组织模式，最大限度保障学生步行安全。学校主入口附近规划有专门的家长等候区，以满足家长接送学生时的临时停车与聚集需求，提升接送环节的秩序与便利性。主入口两侧还分别设置了非机动车专用出入口，师生可通过该通道直接进入地下非机动车停车区，实现机动车与非机动车在空间上的有效分离，避免因流线交叉而可能引发的交通安全隐患，营造安全、有序、高效的校园交通环境。

（三）追求建筑规模的合理化与人性化

每所学校都拥有其独特的校徽及其背后的精神内涵，因此在校园规划设计中，应结合学校的办学理念与文化积淀，适当建设具有象征意义的标志性建筑。这类建筑往往能够体现地域历史风貌或彰显学校的文化品格，成为校园精神的重要载体。以清华大学为例，其校园历史悠久，位于国家文化中心，校园内保留并融入诸多富有中国古典建筑特色的元素，展现出中华文化的深厚底蕴。这样的设计不仅让清华学子在日常学习生活中潜移默化地感受学校特有的文化氛围，也提升了学生的审美修养与文化认同，使他们在潜移默化中接受人文精神的熏陶，体验思想与情感的双重浸润。

（四）生态化设计

生态环保理念与可持续发展思想，已成为当今社会的普遍共识。在此背景下，生态化策略也逐步融入现代校园的规划与建筑设计之中。具体而言，校园生态化设计主要体现在以下两方面：一方面，通过扩大校园绿化范围，提高整体植被覆盖率，并合理布置水景、雕塑、花坛、叠石、亭台、座椅及小型景观构筑物等，既美化环境，也有助于保护生物多样性，维持自然生态系统的平衡与健康。另一方面，学校在尊重并延续自身历史文化与地域特色的基础上，有机融合当代人文精神与美学观念，营造出兼具时代感与辨识度的校园景观。这样的设计不仅塑造了学校独特的形象标识，也推动了校园文化生态的延续与创新，实现了自然

生态与文化生态的协同可持续发展，为师生的学习与生活营造出和谐共生的整体环境。

（五）注重安全防护设置

校园环境的安全性是广大师生共同关注的核心议题。要构建真正安全的学习与生活空间，不仅需要依靠科学规范的校园管理制度，也在很大程度上取决于规划与设计阶段对安全问题的系统性考量。这要求设计者必须全面关注师生在生理、心理以及社会层面上的安全需求，并将其融入校园空间的整体构架之中。在具体的规划设计中，应高度重视支持师生主动实施安全防范的行为模式，通过合理控制各功能组团的出入口设置、清晰划分不同区域的领域属性、增强空间可视性与导向性等手段，全面提升校园在物理与心理层面的安全防护能力，从而营造出既开放有序、又安全可控的校园环境^[5]。

（六）景观结构

尺度适宜的庭院布局，充满生趣的绿色开放空间，以及灵活精巧的景观小品设计，能够有效改变传统校园环境中单一而乏味学习与交往模式，为校园注入活力与灵动感。这不仅能够激发学生参与各类学习与活动的积极性，也有助于他们在紧张的学习之余获得身心的放松与情绪的调节。此外，通过将步行路径系统、关键空间节点以及不同院落组合进行有机结合，不仅使得校园整体空间形态呈现出丰富的层次与变化，也构建出清晰有序的景观结构框架。

四、结束语

校园规划与建筑设计不仅是空间的组织与营造，更是教育理念的物化表达与育人环境的系统构建。本文通过对发展趋势、空间类型及设计对策的系统分析，强调校园应兼具现代化功能、文化内涵与生态可持续性，并在具体设计中注重人性化、安全性与交互体验。未来研究可进一步结合智慧校园、弹性设计、气候适应性等前沿议题，探索校园空间在技术融合、使用模式创新及全生命周期管理等方面的深化路径，从而持续推动校园环境向更高质量、更具活力的方向发展。

参考文献

- [1] 徐经纬. 校园规划及学校建筑设计研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022(3): 52-53.
- [2] 黄卢超. 校园规划及学校建筑设计探究 [J]. 江西建材, 2022(4): 98-99, 108.
- [3] 邵晓雯. 校园规划及学校建筑设计的探索与思考 [J]. 建材与装饰, 2020(22): 94-95.
- [4] 张煜. 校园规划及学校建筑设计要点分析 [J]. 城镇建设, 2023(19): 292-294.
- [5] 倪超. 校园规划与学校建筑设计对策 [J]. 建筑与文化, 2022(2): 42-43.

被动式超低能耗建筑设计分析

李兆明

广东名都设计有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010018

摘 要： 文章剖析了我国在发展此类建筑时面临的三大核心问题，针对这些问题，论文随后从应用层面分析了关键设计技术，包括地域气候数据的解析应用、高气密性门窗系统的安装工艺以及热回收新风系统的核心功能。在此基础上提出了提升设计水平的三项策略，包括完善居住舒适度标准、优化整合自然资源以及建立基于地域气候的动态设计标准。文章旨在通过问题、技术与策略的系统性论述，为我国被动式超低能耗建筑的实践提供理论参考与实践指引。

关 键 词： 被动式；超低能耗；建筑设计

Analysis of Passive Ultra-Low Energy Consumption Building Design

Li Zhaoming

Guangdong Mingdu Design Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper dissects the three core challenges faced by China in developing such buildings. In response to these issues, the paper subsequently analyzes key design technologies from an application perspective, including the analytical application of regional climate data, the installation techniques of high airtightness door and window systems, and the core functions of heat recovery fresh air systems. Building on this foundation, three strategies are proposed to enhance design standards, including improving residential comfort criteria, optimizing the integration of natural resources, and establishing dynamic design standards based on regional climates. The paper aims to provide theoretical references and practical guidance for the implementation of passive ultra-low energy consumption buildings in China through a systematic discussion of issues, technologies, and strategies.

Keywords： passive; ultra-low energy consumption; building design

引言

随着可持续发展理念的深入人心，建筑行业的节能减排已成为实现“双碳”目标的关键环节。被动式超低能耗建筑作为一种通过自身设计而非依赖大量外部能源输入，就能实现室内高舒适环境的建筑形式，正受到日益广泛的关注。然而，我国幅员辽阔，从南到北横跨多个气候带，加之悠久的文明历史孕育了丰富多彩的建筑形态，使得这一先进的建筑理念在我国的推广与应用面临着一系列独特的挑战。气候的复杂性、建筑风格的多样性以及现有建筑能耗居高不下的现状，共同构成了我国被动式超低能耗建筑设计必须正视的客观背景。

一、我国被动式超低能耗建筑设计存在的问题

（一）我国气候环境相对较为复杂

我国幅员辽阔，地理区域之间存在显著差异，由此形成了丰富多样的气候特征。东部沿海地区湿润多雨，西部内陆干旱少雨，北方冬季寒冷漫长，南方夏季炎热潮湿。这种气候分布的多元性，使得我国各地面临的建筑环境挑战各不相同。受此影响，国内天气系统往往表现出多变性和不确定性。春季南方持续阴雨，北方沙尘频发；夏季全国大部分地区面临高温考验，沿海地带还需应对台风侵袭；冬季北方严寒，南方湿冷。

这种复杂多变的气象条件，给建筑工程施工带来了严峻挑战，常常导致施工计划被迫调整，工期延误现象时有发生。基于气候条件的显著差异，各地建筑在设计方案和施工工艺上都需要因地制宜。

宜。寒冷地区需要注重保温防寒，炎热地区要强调通风隔热，多雨区域则需重点考虑防潮防水。这种地域特性决定了不能采用千篇一律的建筑设计方法，必须根据具体气候条件进行针对性设计。在推行被动式超低能耗建筑时，设计人员面临更大挑战。由于气候条件的复杂性，单一的设计方案难以在全国范围内通用。设计团队必须针对不同气候区域，深入研究当地环境特点，量身定制适宜的设计策略。这一要求显著增加了设计工作的复杂程度，需要投入更多时间和精力进行技术研发和方案优化^[1]。

（二）我国各地建筑风格大不相同

由于不同地区的建筑形态呈现出鲜明的地域特色，这种多样性不仅体现在建筑外观上，更深入到空间布局、结构体系和材料运用等各个方面。在推进被动式超低能耗建筑的过程中，设计工作必须充分考虑我国建筑的地域特性。各地建筑在形态、结构和

使用习惯上的差异，要求设计人员必须针对不同类型的建筑制定相应的技术方案。从北方的四合院到南方的天井楼，从东部的高层住宅到西部的院落式建筑，每种建筑类型都需要量身定制的节能设计策略。此外，我国城市发展中的另一个显著特点是公共空间占比大、人口聚集度高。这一特征对被动式超低能耗建筑设计提出了特殊要求。设计人员不仅需要考虑建筑本体的节能性能，还必须统筹考虑区域人口密度、社区活动模式以及居民生活方式等因素。比如在人口密集区域，需要特别关注建筑群体的通风廊道设计；在公共区域集中的地段，则要重点考虑建筑与周边环境的能量交换关系。

这些复杂因素的介入，显著增加了设计过程中需要协调的变量。设计团队必须进行更加深入的前期调研，全面掌握当地的人文环境和生活习惯，将传统设计通常不会涉及的社会学因素纳入考量范围。这种多重要求的叠加，无疑加大了设计工作的复杂程度，对设计团队的专业能力和项目经验都提出了更高要求^[2]。

（三）我国建筑大多能耗大

具体而言，国内多数建筑在运行过程中表现出较高的能耗特征，且在实际使用功能方面存在明显不足。这些建筑往往忽视了能效与实用性的平衡，导致其既不符合绿色发展的时代要求，也难以满足被动式超低能耗建筑的设计标准。深入分析可见，导致建筑能耗偏高的因素较为复杂。在我国，建筑设计过程中过分注重外观形象而忽视功能效益的倾向，也进一步加剧了能源消耗问题。这些情况不仅造成了资源浪费，还在技术层面制约了被动式超低能耗设计理念的落实。特别是在设计实践环节，这些因素形成了多重制约：既有建筑能耗基准较高，使得节能目标的实现需要更大的技术突破；又存在使用效率低下的现实，导致节能措施难以发挥预期作用。此外，追求外观华丽而牺牲功能合理性的设计倾向，往往与被动式建筑强调保温、通风、采光等本质需求产生矛盾。

二、被动式超低能耗建筑设计基础应用分析

（一）地域气候数据的解析与应用流程

要将多变的气候条件转化为设计依据，必须建立一套科学的数据解析与应用流程。在项目初期，设计团队应系统性地收集建设地的核心气象参数，包括但不限于全年的温度变化曲线、太阳辐射强度、主导风向与风速、降水分布及空气湿度等。一个成熟的设计流程要求对当地极端天气事件进行评估，并量化不同季节特征对建筑围护结构及能源系统的潜在影响。例如，在寒冷地区，需通过动态热工计算确定最优的保温层厚度与气密性指标；在炎热潮湿区域，则需通过风环境模拟来优化通风廊道与遮阳系统的设计。借助计算机模拟与能耗分析软件，设计人员能够精准预测不同方案的能耗表现，从而制定出最高效的气候响应策略，为实现超低能耗目标奠定坚实的数据基础。

（二）建筑内部节能设计

1. 门窗系统安装工艺与节点处理

在被动式建筑中，门窗系统采用外挂式安装工艺，将其固定

于外墙外侧。通过特制的 L 形金属连接件配合木质垫块，与建筑主体结构实现有效连接，并在连接部位设置 5 毫米厚的专用保温垫层，形成完整的热桥阻断体系，显著提升该节点的保温性能。

在室内侧施工中，采用预置压敏胶带的防水隔汽膜带材，将其紧密粘贴于窗框四周的接触界面。在处理阴阳角部位时，需预留充足的变形余量，所有搭接部位的重叠宽度不应小于 50 毫米。施工过程中需使用专用压实工具对粘贴部位进行全面滚压，确保膜材与基层完全密合，杜绝出现材料断裂、空鼓或粘结失效等质量缺陷。室外侧防水体系采用带有自粘层的透气性防水膜，将其一侧直接粘贴于窗框外表面的木质基材上，另一端则通过高性能粘结剂与墙体基层牢固结合。此道工序需确保整个防水雨布系统形成连续完整的密封层，同时满足水密性和气密性的双重标准。在完成外门窗安装并通过专项验收后，还需实施系统的成品保护措施。室外侧采用防火防护布进行覆盖保护，室内外的防水隔汽膜及透气膜表面均需涂抹 5 毫米厚度的抗裂砂浆保护层。这道保护层既能防止后续施工活动对门窗型材和玻璃造成损伤，又能确保防水密封系统的长期耐久性^[3]。

2. 热回收型新风系统的核心功能

对于气密性极高的被动式建筑而言，热回收新风系统是维持室内空气品质与热舒适的核心技术保障。它确保了在外窗无法开启的极端气候条件下，室内环境依然能保持稳定与健康。该系统通过高效的热交换芯体，回收排风中 80% 以上的能量，用于预热或预冷引入的新风。这意味着在严寒冬季，无需消耗大量额外能源，即可将新鲜空气加热至舒适温度；在炎夏，亦可有效降低新风的冷却负荷。这种“开源节流”的工作机制，使其成为平衡建筑气密性与室内环境需求的关键，大幅降低了建筑对传统供暖制冷设备的依赖。

（三）建筑气候数据的量化分析方法

在被动式超低能耗建筑的设计过程中，外部气候条件与室内舒适度需求共同构成了核心设计参数。这两个关键因素的相互作用，直接决定了建筑能耗性能的优化方向。要将这些影响因素有效转化为设计依据，就需要建立科学的气候数据量化体系——这正是建筑气候表征方法的研究范畴。现阶段，我国普遍采用室外气温动态监测法作为基础表征手段。该方法是基于我国复杂多变的气候特征专门开发的技术路线，通过在全国典型气候区建立观测网络，持续记录不同时间尺度的气象参数变化。设计人员需要系统收集逐月气候观测资料，运用统计分析方法研究气温、湿度、太阳辐射等要素对建筑围护结构的综合影响。这种基于长期观测数据的分析方法，虽然相较于国际先进水平尚有提升空间，但确实为我国的被动式超低能耗建筑设计提供了重要的技术支撑。通过建立符合国情的 Climate Data 处理流程，设计团队能够更准确地预测建筑能耗表现，为制定针对性的节能策略奠定基础。

三、提高被动式超低能耗建筑设计水平的方式

（一）完善居住环境舒适性标准体系

在被动式超低能耗建筑的设计体系中，确保室内环境舒适性

是一项关键目标。为实现这一目标，亟须建立与我国多样化气候条件和居民生活习惯相适应的舒适度评价标准。这一标准体系应当涵盖温度、湿度、气流速度及声光环境等多维参数，形成科学完整的评估框架。

设计人员在开展具体项目时，必须严格遵循既定的舒适度设计规范。这要求设计团队不仅要掌握建筑物理环境控制原理，还需深入了解当地居民的生活习惯与热舒适偏好。通过精细化计算与模拟分析，在控制能耗指标的前提下，为建筑使用者创造健康、舒适的生活环境。

被动式建筑的一大特色在于其灵活的环境适应能力。当室外气候条件恶劣时，建筑可通过高效的围护结构与机械设备维持室内舒适环境；而当室外温度湿度适宜时，则可引导居住者开启窗户，直接利用自然通风调节室内环境。这种“被动优先、主动优化”的运行策略，显著降低了机械系统的使用频率，既节约了能源消耗，又提升了使用者的环境参与感与舒适体验，充分体现了被动式设计的核心优势^[4]。

（二）自然环境要素的优化整合策略

在被动式超低能耗建筑的设计理念中，充分挖掘自然资源的潜力是实现节能目标的重要途径。太阳能、风能、地表植被以及场地微地形等环境要素，均可转化为建筑运行的可持续能源。设计人员需要运用专业的分析工具，通过精确的太阳能辐射计算和风环境模拟，将可再生能源技术有机融入建筑整体设计，从而最大限度地提升自然能源的利用效率，显著降低对传统能源的依赖。针对不同季节的能源需求特点，应采取差异化的资源利用策略。在夏季高温时段，可通过相变蓄热材料、夜间通风冷却等技

术手段，有效吸收室内多余热量，实现自然降温；而在冬季采暖期，则可利用太阳能集热装置、特朗勃墙等被动式太阳能技术，将太阳辐射能转化为热能，提升室内温度。这种顺应自然规律的季节性调节方式，既体现了“天人合一”的传统智慧，又符合现代建筑的节能要求。

（三）基于地域气候特征的设计标准调适

需要重点关注若干与气候密切相关的技术参数。例如，不同地区的年度供暖周期长短不一，这会直接影响建筑围护结构的保温性能设计要求；而各地区电能消耗特征的差异，则关系到可再生能源系统的配置方案。此外，太阳辐射强度、主导风向、湿度分布等气候要素也都需要纳入设计考量体系。因此，设计人员必须建立系统的气候数据分析流程，将各类地域性因素全面融入设计方案。通过精确计算建筑热工性能、优化设备系统配置、合理选择建筑材料等措施，使建筑能够更好地适应当地气候条件。这种精细化设计方法不仅能够显著降低建筑运行能耗，还能有效提升室内环境舒适度，真正实现建筑能源的可持续发展目标^[5]。

结束语：综上所述，推动被动式超低能耗建筑在我国的发展，是一项需要多维度协同推进的系统工程。面对复杂的气候条件、多样的建筑风格和高能耗的现状等核心挑战，成功的设计必须从粗放走向精准，从通用走向定制。这要求设计人员不仅要熟练掌握气候数据解析、高性能门窗安装和热回收新风系统等关键技术，更要在设计理念上实现根本转变，即建立以地域气候特征为根本依据、以优化整合自然资源为核心手段、以提升居民长期居住舒适度为最终目标的综合性策略。

参考文献

- [1] 潘兴华,程登峰,赵建凯.被动式超低能耗建筑工程设计策略探讨[J].石油化工建设,2025,47(7):120-122.
- [2] 李兵兵.被动式超低能耗交通附属建筑设计优化与评价[J].铁道建筑技术,2024(2):68-71,124.
- [3] 王鹏,林钰森.被动式超低能耗建筑设计思路及方法研究[J].工程建设与设计,2024(3):35-37.
- [4] 于素蕴,孙昊,刘洪泉.浅析被动式超低能耗建筑设计[J].能源与环境,2024(4):61-63.
- [5] 贵维春.论被动式超低能耗建筑工程设计应用[J].建筑与装饰,2023(7):56-58.

大型购物中心建筑方案设计阶段消防设计要点探析

莫炳森

上海民防建筑设计研究院, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010019

摘 要 : 文章旨在系统剖析大型购物中心建筑防火设计中的核心难点, 并提出相应的针对性设计策略与规范优化方向。还探讨了针对中庭、室内步行街、仓储区及地下空间等关键区域的防火分区具体设计方法。提出了贯彻性能化设计理念、细化并完善防火设计规范、科学计算与布置疏散宽度等一系列综合性应对策略。目的在于为构建既符合消防安全规范, 又能兼顾大型购物中心商业功能与空间体验的防火设计体系提供理论依据与实践参考。

关 键 词 : 大型购物中心; 建筑方案设计; 消防设计策略

Exploration of Key Points in Fire Protection Design during the Architectural Scheme Design Phase of Large Shopping Centers

Mo Bingsen

Shanghai Civil Defense Building Research and Design Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper aims to systematically analyze the core challenges in fire protection design for large shopping centers and propose corresponding targeted design strategies and directions for optimizing regulations. It also discusses specific design methods for fire compartments in key areas such as atriums, indoor pedestrian streets, storage areas, and underground spaces. A series of comprehensive response strategies are proposed, including implementing performance-based design concepts, refining and improving fire protection design codes, and scientifically calculating and arranging evacuation widths. The objective is to provide theoretical foundations and practical references for constructing a fire protection design system that not only complies with fire safety regulations but also balances the commercial functions and spatial experiences of large shopping centers.

Keywords : large shopping centers; architectural scheme design; fire protection design strategies

引言

大型购物中心作为现代城市综合体, 其人流密集、空间复杂、业态多元的特点使其建筑防火设计面临前所未有的挑战。传统的规格式防火设计方法在处理大体量、多功能复合的商业空间时, 常显现出局限性与不适应性。火灾风险不仅威胁人民群众的生命财产安全, 也直接影响商业体的可持续运营与社会稳定。因此, 深入分析此类建筑特有的防火设计难题, 探索科学、合理且具有可操作性的解决方案, 已成为建筑设计与消防安全领域一项紧迫而重要的课题。

一、大型购物中心建筑防火设计难点分析

(一) 防火、防烟分区的划分

在大型购物中心的建筑防火设计中, 建筑规模宏大导致防火分区的科学划分成一项复杂挑战。实践中, 采用防火卷帘进行防火分隔的做法较为普遍, 然而与实体防火墙相比, 防火卷帘在实际运行中的可靠性及其对人员疏散路径的潜在影响需格外重视。在防烟分区方面, 由于大型购物中心多为封闭式室内环境, 很少依赖自然通风与采光进行防排烟, 因此机械防排烟系统的设计显得尤为重要。商场内部业态丰富多样, 加之防火分区形状的不规则性, 使防烟分区在符合规范的前提下进行合理划分变得尤为困难。在防烟分隔设施的设置上, 通常依赖建筑原有结构梁或

采用不燃材料制成的固定挡烟垂壁, 但在商场后续装修和局部改造中, 这些设施常常被擅自改动甚至拆除, 导致原有防烟分区体系失效, 因此如何确保防烟分区设置的合理性并管控其在使用过程中的变更, 成为消防安全管理中的关键环节。

(二) 安全疏散设计问题

在大型购物中心的建筑防火体系中, 安全疏散系统的规划处于关键地位。关于疏散距离, 现行完善对商业营业厅提出明确要求: 区域内任一位置到达最近安全出口的直线距离不应超过30米; 若建筑内配置了有效的自动灭火设施, 该距离允许放宽至原规定的1.25倍, 即37.5米。由于购物中心建筑面积广阔, 疏散距离的限值直接决定了安全出口的分布密度与位置布局。在疏散宽度方面, 设计需同时满足两项基本要求: 一是基于整个楼层总面

积计算的所需总宽度，二是每个独立防火分区必须具备的最小疏散宽度。实践中，这要求设计人员必须综合考虑各类规范条款与实际情况，统筹普遍性与特殊性，使得安全疏散设计成为一个综合性极强、充满挑战的环节。

（三）将客流量密集的商业业态设置于高层区域

在大型购物中心内，诸如电影院、KTV等吸引大量顾客的商业业态，通常被规划在建筑的较高楼层。这类场所本身具有人流高度聚集、经营活动组织相对复杂的特点，一旦发生火灾，极易在原有混乱基础上加剧恐慌，引发更为严重的秩序失控。由于这些场所往往难以形成完全独立、自成一体的疏散体系，其在火灾时的安全疏散在很大程度上仍需依赖商场整体的消防设计，这给前期的防火设计以及后续的消防安全监督管理都带来了显著的挑战和困难^[1]。

二、设计建筑防火分区

（一）中庭区域的防火分区划分

大型购物中心的中庭空间通常具有开阔的视觉连通效果，常通过自动扶梯或挑空设计将各楼层连为一体。对此类区域进行防火划分时，需依照《建筑设计防火规范》要求，将上下连通层的建筑面积叠加计算，并以此为基础合理确定防火分区面积。这一做法旨在确保防火分隔措施能够既满足视觉开放性的需求，又有效控制火灾蔓延风险，使防火分区的设置既符合规范，又兼顾实际功能布局。在实际操作中，设计师还需考虑中庭的几何形态、层数高度与周边功能区的关联性，采用性能化设计与传统规格设计相结合的方法。例如，可通过设置复合式防火分隔系统（如防火玻璃与自动喷淋保护相结合）、强化中庭边缘区域的防火构造，并配套高效的机械排烟系统，以平衡空间开放性与防火安全性的矛盾。通过科学模拟火灾场景下的烟气流动与温度分布，可以优化防火卷帘、挡烟垂壁等设施的布置位置与启动逻辑，从而在紧急情况下有效延缓火灾与烟气在中庭竖向空间的扩散速度，为人员疏散争取宝贵时间。

（二）室内步行街的防火整合设计

许多大型购物中心设有贯穿多层的室内步行街，其在功能上起到连接各商业区域的作用。若机械地沿步行街设置连续防火卷帘，可能破坏建筑空间的连续性，影响正常运营。因此，在设计时宜结合建筑整体布局，将步行街公共区域与两侧小型商铺划入同一防火分区，而将各层中部的大型主力店设为独立防火分区。此种划分方式既保证了疏散路径的连贯与可达，也提升了建筑空间的整体使用效率，使消防设计与商业动线有机结合。为进一步提升安全性，可在步行街顶部设置自然或机械排烟口，并确保步行街作为疏散通道的宽度与高度符合规范要求。同时，步行街两侧商铺面向步行街的开口需设置防火门或防火卷帘，并确保在火灾时能自动关闭。此外，通过智能疏散指示系统与应急照明的一体化设计，可在火灾发生时动态引导人流沿步行街向安全区域疏散^[2]。

（三）货架区与仓储区的分区策略

针对货架式卖场，防火分区划分除须符合法规外，还应考虑

货架排列规律与空间结构特点，确保疏散通道清晰有效、不受遮挡。对于仓储及配套服务区域，应在物流路径、办公区与货架区之间建立合理布局，在不影响空间利用率的前提下，通过设置火灾危险等级分区、增加灭火设施（如消防栓、灭火器具）等方式，强化此类区域的防火分隔与应急响应能力，提升分区设置的实用性与安全性。具体而言，对于货架高度超过一定标准的区域，应划分为独立的防火单元，并设置仓库专用型喷淋系统。仓储区与营业区之间应采用防火墙与甲级防火门进行分隔，物流通道应兼顾货物运输与应急疏散的双重功能。此外，根据储存物品的火灾荷载特性，可采用实体墙或防火隔板对仓储区内部进行再分区，以限制火灾规模。通过安装火灾自动报警系统与视频监控的联动装置，可实现对该区域火情的早期发现与快速处置，从而形成“空间分隔、设施强化、动态监控”三位一体的防火体系。

（四）地下空间的防火与疏散连通

大型购物中心地下空间的防火分区设计应特别重视与相邻区域的连通关系。可通过设置防火隔间、避难走道，以及规划与外部室外空间相连的安全疏散路线等方式，增强地下区域在火灾时的疏散可行性与救援可达性。这类设计不仅有利于人员安全撤离，也有助于消防力量进入，从而提升建筑整体消防系统的完整性与可靠性。考虑到地下空间封闭、排烟困难的特点，每个防火分区的面积应严格控制，并设置独立的机械送风与排烟系统。疏散楼梯应直通室外地面，尽量避免错层或袋形走道的设计。此外，通过清晰、连续的灯光与标识系统，确保在断电或烟雾环境下疏散路径仍然可辨。将地下空间与下沉广场、露天通道等开口空间相结合的设计，能有效改善通风采光条件，并为人员提供更多的疏散出口选择，从而系统性地缓解地下空间的防火疏散压力^[3]。

三、大型购物中心建筑防火设计应对策略分析

（一）性能化消防设计理念贯彻使用

在大型购物中心的消防系统规划中，为有效应对建筑防火方面的复杂挑战，积极采用基于性能表现的消防设计策略具有显著的必要性。这一策略的实施，要求在设计初期就对建筑内可能发生的火灾场景、烟气蔓延的动态过程，以及各类主动与被动的防火设施在实际火情中能发挥的作用，进行系统性评估与量化分析。基于这些科学评估结论，再提出与之相匹配的消防安全对策，并将前沿的消防工程技术和火灾科学研究成果融入其中。设计过程中需综合考虑烟气管理与控制的自动化水平、火灾探测与扑救的智能化程度、建筑材料在高温下的性能表现与反应机制、人员疏散的时间效率与路径可靠性，以及火灾环境下人员可能产生的心理与行为反应等多个维度。通过整合上述因素，运用计算机模拟等工具，制定出在特定约束条件下能够实现最优防护效能的消防方案。

（二）有效补充明确防火设计规范，发挥有效指导作用

在大型购物中心的建筑防火设计中，应立足于现有的建筑设计防火规范体系，针对购物中心体量庞大、功能复杂的实际情

况，对防火分区与分隔方式、疏散体系设计及消防系统配置等关键环节，进一步制定更为具体和细化的规定。需要综合考虑其建筑面积、建筑形态、商业业态分布及客流构成特点，结合过往火灾案例的经验教训，科学设定符合不同区域功能特性的人员疏散指标。例如，在餐饮区、服装零售区、影院娱乐区等人流密度差异明显的区域，应依据各自的人员流动规律，完善相应的防火与疏散设计要求。同时，建议积极引入国际通行的火灾动力学模拟与风险评估方法，通过量化分析提升设计依据的科学性与适用性，从而为大型购物中心的防火设计实践提供切实有效的规范指导。

（三）疏散宽度的规范设计与计算要点

在大型购物中心的消防疏散设计中，疏散通道宽度的确定需严格遵循《建筑设计防火规范》的相关条文进行初步计算。由于此类建筑人流量巨大，其疏散宽度往往难以完全满足规范要求，尤其是在地下商业区域，因疏散条件相对受限，相应的设计标准更为严格。为达到消防验收标准，常常需要通过增设大量疏散楼梯来扩充总宽度，但这种方法会直接导致可使用商业面积的减少，进而影响空间布局的灵活性与租赁经济效益。因此，在进行疏散宽度计算时，不能仅关注整层楼的总宽度是否达标，还必须逐一核查每个防火分区内的疏散宽度是否符合规范的具体要求。只有同时满足整体与局部两方面的宽度指标，才能真正确保整个购物中心的疏散系统安全有效。此外，建筑首层的疏散宽度设计尤为关键，其必须满足来自上方所有楼层的最大疏散人流同时汇集至此的宽度需求。因为所有楼层的疏散楼梯最终都将人员引导至首层并转向室外，若此处宽度不足，将成为整个疏散流程的瓶颈，严重影响人员安全撤离^[4]。

（四）室内步行街通道及疏散楼梯的布置策略

布置室内步行街的疏散楼梯时，首要条件是满足规范对疏散

距离的要求。在布局上应尽量做到均匀分布，并重点关注电梯间与楼梯间等竖向交通核的位置关系，可将公共卫生间等功能集中布置以优化空间。同时，还要兼顾商铺的连续性，并为后期招商调整预留灵活性，使商铺分隔具有一定的可变更余地。设备管井宜尽量靠近卫生间、楼梯间或电梯间设置，以便在商业形态调整时，避免因设备管线迁移而影响整体布局。大型购物中心的疏散楼梯布置宜优先考虑沿外墙均匀设置，以充分利用自然通风与采光条件。建议将疏散楼梯间设计为封闭楼梯间而非防烟楼梯间，这样既能满足消防安全，又可减少交通服务空间占比，从而提升商业可使用面积，增强空间利用的经济性。由于购物中心通常进深与面宽较大，仅在建筑外围设置楼梯往往难以满足疏散距离要求，因此需在建筑中部区域增设疏散楼梯。这些位于中部的楼梯往往无法直通首层室外，可通过设置安全通道连接至首层室内步行街，并在通道两侧设置甲级防火门及耐火极限不低于3小时的防火墙进行分隔。此外，可在室内步行街连续商铺的后方设置后勤通道，并将其与疏散楼梯相连^[5]。

四、结束语

综上所述，大型购物中心的防火设计是一项涉及多因素平衡的系统工程。针对不同功能区域（如中庭、步行街）采取差异化的防火整合与性能化设计策略；通过细化规范、科学模拟来强化疏散宽度计算与布局的合理性；并在设计初期统筹考虑设备管井、后勤通道与疏散设施的协同布置，以保障消防安全并尽可能提升商业价值。未来可聚焦于智慧消防技术在大型商业综合体中的深度融合应用、极端人员荷载下的疏散动力学模拟，以及防火材料与构造在真实火灾场景下的性能评估，从而持续推动该领域设计理论与实践的创新发展。

参考文献

- [1] 舒玉平. 大型购物中心建筑方案设计阶段的消防设计策略分析 [J]. 建材发展导向 (上), 2021, 19(11): 5-6.
- [2] 林丽暖. 大型商业综合体消防设计 [J]. 江西建材, 2025(5): 179-180, 184.
- [3] 杜鹏. 城市大型商业综合体消防设计策略与方法分析 —— 太原远大购物中心消防设计详述 [J]. 城镇建设, 2021(6): 392-394.
- [4] 连晓强. 大型商业体的给排水及消防设计分析思考 [J]. 江西建材, 2023(6): 110-111, 114.
- [5] 曹黎明. “回”字型动线购物中心消防设计探究 —— 以江苏省东台吾悦广场项目为例 [J]. 现代物业, 2023(22): 58-60.

绿色建筑设计可持续发展探索

郑璐超

百色学院土木建筑工程学院, 广西 百色 533000

DOI:10.61369/ADA.2026010021

摘 要 : 随着城市化水平的发展, 建筑行业与生态环境之间的矛盾日益严重。以往建筑设计方式存在的资源消耗过大、不能适应自然环境等问题逐渐被发现。基于人类和大自然和谐共生的理念进行的绿色建筑设计, 综合考虑建筑空间营造以及调配各种资源的同时保护环境等多种因素。摆脱固有的设计思维方法, 以整个建筑发展过程为基础, 深入研究了绿色建筑设计所具备的核心本质。在了解现阶段的设计创作存在问题的基础上, 从场地设计阶段开始, 到选用材料、空间建构、能源运用以及后期维护等多个方面, 分析可持续发展的绿色建筑设计路径。结合发展趋势探索绿色建筑设计优化创新途径, 促进绿色建筑设计发展, 摆脱粗放式发展模式, 实现了人居住的空间以及自然和社会的协调发展。

关 键 词 : 绿色建筑; 建筑设计; 可持续发展; 生态共生

Exploration of Sustainable Development in Green Building Design

Zheng Luchao

College of Civil and Architectural Engineering, Baise University, Baise, Guangxi 533000

Abstract : With the advancement of urbanization, the contradiction between the construction industry and the ecological environment has become increasingly severe. Problems such as excessive resource consumption and inability to adapt to the natural environment inherent in traditional architectural design methods have gradually come to light. Green building design, based on the concept of harmonious coexistence between humanity and nature, comprehensively considers various factors such as the creation of architectural space, the allocation of resources, and environmental protection. By breaking away from conventional design thinking and focusing on the entire lifecycle of building development, this study delves into the core essence of green building design. Based on an understanding of the current issues in design creation, it analyzes sustainable development paths for green building design, spanning from site design, material selection, spatial construction, energy utilization, to post-construction maintenance. Furthermore, it explores innovative optimization approaches for green building design in line with emerging trends, aiming to promote the development of green building design, move away from extensive development practices, and achieve coordinated development among human habitation, nature, and society.

Keywords : green building; architectural design; sustainable development; ecological symbiosis

引言

城市建设日益扩大, 建筑物也不仅仅是人们居、用的载体。更主要的是它将人类活动与大自然联系起来。过去的设计只注重建筑物的功能及造型忽视了建筑设计对周围生态环境的影响, 资源的无序消耗, 局部生态破坏等现象时有发生。随着可持续发展思想在建筑中的引入形成了新的设计理念绿色建筑设计, 在设计过程中摒弃片面的思想, 将维护平衡的生态观融入设计中去, 考虑当前与长远的生存环境的问题。研究符合自然发展规律适合城市状况下的绿色建筑设计方法, 可以带动建筑行业的转型, 并能够维持人们生存环境的长期稳定。

一、绿色建筑设计与可持续发展的内在联系

(一) 绿色建筑设计内涵

绿色建筑的建筑设计不是简单增加植被景观的肤浅设计, 它是基于生态保护, 同时考虑舒适的人居环境与资源利用的系统性的创造活动。从整体的设计理念到细节均尊重自然规律和原有场

地生态面貌, 尽量避免因人为改造带来的干扰。在构建空间的同时兼顾实用、美观、生态等多方价值, 满足各类生产生活的使用要求, 并减少总体上对自然资源的需求以及减弱由此产生的负面影响, 从而创造出能够融入自然之中并能长期生存的建筑。

(二) 可持续发展对建筑设计的要求

可持续发展强调的是今天的发展与明天的生存, 这就要求建

筑在设计时必须具有长远的目光^[1]。从建筑物筹建到使用直至改造和拆除的过程中,都应贯彻节约资源的原则,避免浪费不必要的资源。建筑设计要适应不同的地域生态条件,顺应地域气候及自然地理特点,避免建筑行为对原有生态环境的破坏。并应考虑社会的人居需求,保证空间使用的健康性和合理性。使建筑能够满足当前的需求又不妨碍其后环境、城市发展的进程。

（三）两者融合发展的现实意义

将可持续思想贯穿绿色建筑设计可以减轻建筑行业对环境所造成的影响,调节城市建设与生态环境之间的关系。科学的绿色设计减少自然资源消耗量和降低建筑运行中的各项污染并保持区域生态环境的完整。从人们的居住环境来看生态化的建筑物有利于改善人们的居住质量并提供一个有益健康且舒适的生存空间。就整个行业而言其有利于改变原有的设计理念及创造方法,促进新的建筑技术和建筑材料的使用从而推进建筑业的长效和稳定发展^[2]。

二、当前绿色建筑设计存在的不足

（一）设计理念认识浅显

在现阶段一些设计作品还存在着理念上的误区,很多设计师只是将绿色建筑理解为外观上的绿化,仅仅把植物的铺陈、水景设置等视同进行绿色设计,对建筑内部构造和资源耗费以及循环问题没有做到充分的生态化设计考虑。设计构思中依旧一味追求商业利益及视觉效果,生态环境只作为附属的设计内容而并未贯彻于整个可持续发展的理念之中,致使最后建成的建筑物仅仅是绿色的壳体而已,不能真正达到节约资源、保护生态环境的根本目的^[3]。

（二）场地规划与自然生态适应性较低

在建筑设计前期对场地的规划过程中存在过多改造自然现象。为了整齐、扩展建筑,任意更改原有地形及水流方向,清除原有植被等已有的自然平衡因素。由于建筑物布置不考虑日光照射、通风与季风等因素。导致建筑空间组织不合理需要更多的能源调节投入,影响空气流动,建筑与周围环境不能很好地融合在一起,难以根据现有自然条件来完善其功能。

（三）环保建材和节能技术运用不够

新型生态建筑材料的推广使用率偏低,大多数建筑仍然采用传统的常规建筑材料,而传统建筑材料的生产和加工过程耗费资源严重且建筑物服役后又难以回收利用。保温和隔音、低碳材料的应用比例偏低,在材料选用中没有将建筑物的功能与建筑地区的环境特点相结合来综合分析考虑。节能建筑设计技术水平较低,自然采光和通风及太阳能等低廉生态节能技术应用不多,并且先进的节能技术也难以转化为实际的设计成果^[4]。

（四）全周期统筹设计体系还不健全

绿色建筑侧重点关注前期设计和建筑过程,忽视了后期运维管理及老化改造、拆除与回收阶段的系统化思考。在设计过程中不能预设建筑在其使用寿命周期内的资源耗能,并且缺乏相关的节能维护设计内容。建筑老化后修复改造缺少生态化的理念指导,废弃建筑物的分解及其材料再利用的设计缺乏规划,不能构成一个完整的闭合式循环,很难满足长期可持续发展的要求。

三、可持续视角下绿色建筑设计实践路径

（一）深化生态本位设计思想

扭转绿色建筑设计浅层化行业认识,彻底根除重景观效果、轻内核功能的设计倾向,牢固树立生态本位、保绿优先的建筑观,并将人与自然的和谐共处作为建筑设计的根本宗旨。设计者必须摒弃片面追求商业效益和视觉噱头的设计价值观,舍弃脱离地域自然特性、过分夸张的建筑设计造型,将场地的生态基底作为全部工作的出发点和归宿^[5]。在方案创作阶段全面考虑了建筑使用功能、地区生态防护、舒适感等各个因素,将节约资源、防止污染源、对场所进行生态恢复的可持续要求贯穿于每一个平面、立面细节设计之中,使建筑设计理念真正地贴近生态,从设计根本上贯彻生态可持续发展的思想,创建统一、可行和内外并包的绿色建筑设计思想,使绿色设计不再是形式主义的口号而成为建筑设计的根本支撑所在。

（二）因地制宜地进行场地规划

可持续的场地设计,就是要顺其自然、因地制宜地尽量保留场地原始状态的天然样貌,避免大规模土石方及地形整理等开山劈石的施工改造方式,从根本上减少对自然生态的人工破坏。在规划中最大限度地保留原有植被群落、原有的水脉纹理和原有的地形走势,以原生生态系统成熟的基底来划分建筑范围,保证建筑与环境密不可分的关系。同时根据地域常年日照角度变化、主导风向变化、降雨量大小合理安排单体布置,掌控总体布局的间距,体量高低及形体尺度避免建筑物排列过密造成不通风,采光差等弊端。充分利用自然地形使空气流畅,运用场地原有的植物形成天然隔噪声,防尘土,滞留氧气等生态环境,使之成为自然环境中的有机体。利用自然资源改善室内外舒适性,极大地减少人工空调,新风及照明设备等的使用次数达到最低限度地干预场地的设计目标。

（三）优选生态建材促进材质低碳化

根据建筑物的用途、环境特点选用建筑材料。优先使用天然材料、损耗小的材料和可再生材料。减少高污染、高消耗建材的使用。采用多功能复合保温隔热防潮降噪材料。在满足材料功能的前提下,兼顾材料的环保性,考虑材料生产、运输、使用以及废弃的全过程对环境的影响。推行建筑材料模块搭配模式。降低建筑施工中的建筑材料损耗,提高各种建筑材料的利用率。

（四）结合自然因素采用节能措施

充分利用自然环境的使用功能,采取被动式建筑形式来降低建筑能耗。通过优化建筑门窗构造及开窗朝向等手段,有效地引入自然光源,并且有效减少了日间人工照明能源浪费。合理设计围护结构,提高建筑物墙体及屋面的保温隔热能力,降低外界温度对室内环境带来的不利影响。充分结合自然风能,因地制宜调节室温,有效地降低了因调控室温而产生的设备使用时间,从而有效地实现了以大自然的力量来代替人工所需能量,有效贯彻了低耗能的设计建造理念。

（五）整合丰富的可再生能源供给形式

按建筑所处地理区域引进合适的可再生能源利用方式,拓宽

建筑能源渠道。依据光照条件设置光能利用装置，转化利用自然光为建筑提供电力。周边水域充足的建筑物可适当地利用水能，空旷地势地区开发利用风能。构建简单的能量储存调配系统，平衡利用自然能源的产出及使用率，逐步降低建筑物常规能源依赖性，形成清洁高效的建筑能源供应体系。

（六）构建全周期一体化的设计管理机制

对建筑从始至终整个发展过程进行一体化设计，突破分阶段设计管理模式。前期建筑设计对建筑物长期使用状况做出预期，同步考虑建筑节能日常化运营管理方案，规范用水用电方式。对于后期建筑的老化和更新提出生态化的改造原则，保留建筑主体结构并优化空间功能，避免重复建设浪费资源。设计废弃建筑物拆解与回收过程，不同建筑构件、材料分类处理，促进建材的再次利用，形成完整的可持续发展的建筑体系。

四、绿色建筑设计的可持续发展未来趋势

（一）地域性生态设计成为主流

未来的绿色建筑将更多地考虑地域性设计，抛弃千篇一律的设计模板。对地域自然气候、本土植物物种以及建造传统技艺等的深度挖掘和利用，将地域生态特色以及人文特征融入建筑设计当中。充分考虑当地人的生活习惯进行建筑设计，并采用适合当地情况的建筑材料与建筑形式，创造既有生态环境又有地方特点的建筑，使绿色建筑在满足可持续发展的同时，也能够拥有自身独特的地方发展特征。

（二）数字技术推动设计精准化发展

各种数字化技术将逐步渗透于整个绿色建筑设计的过程，彻底改变人们通过经验对建筑的设计方式。运用数字化设计的方式对场地内的光线、气流、温度等相关因素进行模拟，科学地对建筑物的布局、户型、门窗等方面的做合理设计。在模型上预测建筑的能耗与对环境的影响，在设计之前优化建筑的设计问题。用科学技术的方式使设计更为精确，并且保证绿色建筑设计更加符

合实际使用要求，确保可持续发展思想的有效实施。

（三）建筑生态融合延展扩大

从单体建筑内部开始逐渐扩展和融合边界，从而达到与建筑物、社区乃至整个城市的生态体系相结合的整体效果。通过一栋建筑的绿色设计来适合片区整体生态规划，并通过建筑之间彼此配合从而形成生态联动的空间格局。对配套的景观、道路及水系、公共空间等进行统一规划设计。通过联结分散的小生态空间从而能够以单体的绿色建筑设计促进总体的城市生态系统完善，并通过小空间生态优化实现大范围环境存续的延续与发展。

（四）多方联动打造设计长效机制

绿色建筑的可持续发展将不再只是设计行业的单方责任，而是多个方面联动协作。从设计到施工、运行及监管环环相扣，共同遵守绿色设计标准要求。不断地健全设计标准，明确生态化设计的评价标准。社会层面逐步提升人们对绿色建筑意识和认知水平，人的需求促进建筑设计不断改进与提高，各方面通力合作，保证了绿色建筑可持续发展的生命力，促进了绿色建筑的持续健康发展。

五、结语

绿色建筑的可持续发展既是建筑行业的必然要求，又是对大自然及生活环境的维护。建筑设计应与自然环境联系进行设计活动。同时要考虑长远利益，不能只注重眼前的利益。面对当前的设计问题：理念问题、规划问题、技术问题、体系问题只有切实地转变设计理念，尊重自然环境，在场地布局、材料选用上进行优化设计，采用生态手段和可再生能源，统筹建筑物整个寿命周期进行管控。顺应时代发展特征——地域性发展、数字化发展、整体化发展的稳健发展思路，绿色建筑设计才能真正做到节约资源、生态平衡、居住宜人，让建筑业实现与自然相辅相成、长久共存的宏伟目标。

参考文献

[1] 闭坤鉴. 工业园绿色建筑设计可持续发展路径 [J]. 居舍, 2026, (14): 126-129.
[2] 付鹏. 绿色建筑技术在现代建筑设计中的应用与实践研究 [J]. 居舍, 2026, (10): 88-91.
[3] 陈景山, 宋晓晨. 绿色建筑理念在公共建筑设计中的应用研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2026, (07): 118-120.
[4] 钟鹏飞. 绿色建筑理念在建筑设计中的应用策略探讨 [J]. 建材发展导向, 2026, 24 (05): 133-135.
[5] 樊何昊. 基于建筑工程技术的绿色建筑设计节能策略研究 [J]. 城市环境设计, 2026, (02): 203-205.

智慧医院背景下医疗建筑设计创新研究

易清清

中南建筑设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ADA.2026010022

摘 要： 智慧医院不断发展，医疗建筑也从传统的空间布置转向于数字化、智能化、精细化发展。在诊疗流程简化、智慧系统集成、院感防控加强、绿色节能打造等几个方面，实现医疗空间规划设计与功能区划、运营管理一体化设计，以增强建筑对智能诊断、信息互通、综合管理的匹配度。通过优化动线流程、增加空间灵活性、合并智能化设备与环境系统，来加强医疗机构的运行效率、提升患者的就诊感受、维护医疗安全的同时给现代化医疗建筑的发展打下良好的基础。

关 键 词： 智慧医院；医疗建筑设计；空间优化；智慧系统融合；绿色低碳

Research on Medical Building Design Innovation under the Background of Smart Hospitals

Yi Qingqing

Central-South Architectural Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000

Abstract： Smart hospitals continue to evolve, with medical buildings transitioning from traditional spatial layouts to digitalization, intelligence, and precision engineering. By integrating streamlined diagnostic workflows, intelligent system integration, enhanced infection control measures, and green energy-efficient designs, medical spaces now achieve unified planning and functional zoning alongside operational management. This approach optimizes architectural alignment with smart diagnostics, information interoperability, and comprehensive management systems. Through optimized workflow design, increased spatial flexibility, and consolidation of intelligent equipment with environmental systems, healthcare institutions enhance operational efficiency, improve patient experience, ensure medical safety, and lay a solid foundation for the development of modern medical architecture.

Keywords： intelligent hospital; architecture of medical buildings; spatial efficiency; application of intelligent systems; green and low carbon

引言

数字化技术不断融入医疗服务中，智慧医院建设也逐步由设备更新转变为诊疗环节、管理模式、建筑形式的全面革新。医疗机构不仅仅是一个进行医疗卫生行为的空间载体，更是信息传递、治疗活动和服务感受相互交织的纽带桥梁；在高效运转、疫情防控、弹性扩充以及节能环保等多重因素考量下，传统的医院建筑设计方式越来越难以适应现在复杂的应用场景，在此背景下明晰智慧医院的发展趋势，对梳理出医疗建筑设计发展的新动向具有重要意义，也为后期空间设计改造、新技术应用及未来发展方向探索提供参考。

一、智慧医院背景下医疗建筑设计的新要求

（一）智慧医疗发展对建筑空间提出复合化要求

智慧医院发展带动医院建筑从单纯的就诊空间到综合服务区域的转变，建筑的功能已经远远超出传统的门诊、病房、医技用房的范围。随着数字化诊疗、互联网诊疗、智能药房、物流配送、数据运算、信息监控等一系列信息系统逐步渗入到医院运行当中，建筑空间要不仅仅是用于开展基本医疗服务行为的需求，还需要具备信息传递、设备连接、互联互通以及管理和运营等功能，在设计初期就需加强建筑的空间复合性和包容性，考虑好对功能的预留、系统的嵌套以及模块化设计，从而使得建筑物成为

智慧医疗服务系统的核心基础设施而非简单的物理场所^[1]。

（二）诊疗流程重构对建筑布局提出高效化要求

在智慧医院的背景下，医疗服务体系正从传统的分散就诊向流程整合化及服务精细化的方向转变，建筑空间也面临着更高的效率诉求。预约挂号、分时就诊、智能导诊、自助服务及多学科联合诊治等新型医疗模式的应用使得病患就医更为注重空间的紧凑有序，传统的科室划分主导型的空间格局已经不能满足当今医院高频率的人流以及高效运转的要求了。所以医疗建筑的设计需要以诊疗流程为导向重新规划，在门诊、检验、治疗、住院等相关流程之间建立良好的联系，减少病人走动路线，降低流线间相互的干扰，增加线路的明确性，进而改善整个流程秩序及医院管

理效率。

（三）公共卫生与院感防控对建筑设计提出安全化要求

公共卫生突发事件频繁发生，院感防控水平日渐提高的要求使得医疗建筑物安全问题成了智慧医院建筑设计中必须重视的内容。当今的医院不仅要考虑平时的诊疗服务需求，还需要能够应对突发的公共卫生事件，这就对于建筑的空间布局、通风设备、洁污分区以及人员流线都提出了更高的要求，在设计上要增强“平急转换”的设计意识，加强发热门诊、留观区、专用通道、独立诊室等场所的设计，借助智慧监控、环境调控和技术化管理来提升疾病的发现能力和运行调控水平^[2]。

二、智慧医院背景下医疗建筑设计存在的主要问题

（一）空间布局仍偏重传统模式，难以适应智慧诊疗需求

目前某些医疗建筑的设计仍然沿袭传统的医疗机构的空间布局模式，基本上是以固有科室分区、常态化的门诊动线和单一服务的功能布置为主，缺少对于智慧医疗模式预见性的规划。自助挂号、分时段预约、在线会诊、自动检验、智慧物流等一系列的应用日益增多后，传统的布局就出现了路径过长、容积不够的现象。一些医院在建时并没有考虑为后期数字化平台接入、硬件更新及功能扩充留出相应的余量，只好在后期进行简单的局部调整来加以弥补，这样无形中加大了建造投入的成本，同时又降低了整个系统的工作效能，无法适应智慧医疗机构所要求的高度集约化、灵活性以及协同性的空间布局需要。

（二）建筑设计与信息系统融合不够，存在“建成后补技术”现象

智慧医院建设需要注重建筑空间与信息系统同规划、同时设计，然而工程实践中，建筑方案与数字化系统之间却时常出现割裂的情况。很多医院的设计人员在初期设计方案时过于注重建筑本身的设计与功能划分，而对于智慧系统平台搭建、机房安排、弱电布线、智能终端对接、信息传输通道等后期维护管理工作重视不够，出现“先有建筑而后有技术”。这样一方面使得智慧化系统难以得到有效利用，另一方面也会引起使用空间利用率低、设备布置困难以及管线凌乱等一系列问题的发生，导致整个医院无法实现高效有序的运转以及智能化的程度不高，总而言之就是一体化设计缺失成为阻碍智慧医疗建筑品质提升的关键瓶颈之一^[3]。

（三）人性化与生态化设计关注不足，使用体验有待提升

在医疗建筑的设计过程中，有些工程项目还是过分注重对医疗服务功能的需求以及对面积标准的追求，忽视了病患和医务人员实际体验感受。等候区枯燥沉闷缺乏人性化设施、标识指引不明朗、阳光照射和空气流通差等现象都容易造成病患心理波动大、就诊服务质量下降，增加了医务人员的负担。此外，绿色节能方案、生态景观构建以及绿色环保的理念在一些工程中并没有做到位，建筑舒适度、健康新特性、持续发展能力也都未能很好展现出来^[5]。如图1所示。

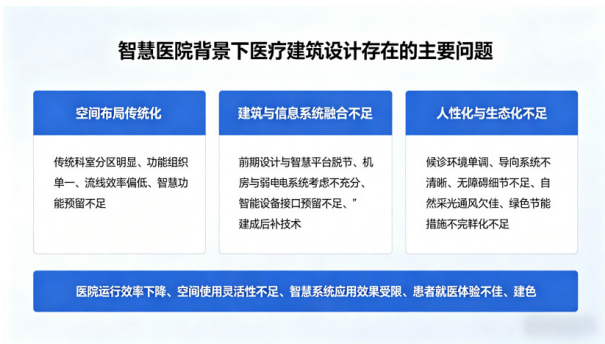


图1 智慧医院背景下医疗建筑设计主要问题结构图

三、智慧医院背景下医疗建筑设计的创新路径

（一）以诊疗流程优化为导向，重构医疗空间布局

智慧医院建设首先需要医疗建筑由过去传统的科室叠加式布置转变为基于诊疗流程的组织方式。在设计上应当以患者的就医、检验、诊治、住院以及出院全过程为主线，协调好各类功能空间的关系，使得就诊者无需过多的来回奔波与冗长等待，使动线更为顺畅简洁。并且需要注重做好医患分离、洁污分区、物流人流分离等方面的工作，合理规划独立通道、过渡区域以及重要节点的位置，构建起运转流畅有序、可管可控的安全体系，在流程驱动下重新梳理空间结构之后可以使医疗建筑更好的满足快速就医及综合性医疗服务的需求，做到资源分配科学合理^[5]。

（二）以智慧系统嵌入为支撑，推进建筑与技术一体化设计

智慧医院的根本不在技术和器械堆砌，而在建筑空间同信息管理系统、智能化装置以及运营平台的有效结合，所以在进行医疗工程建设的时候要对智慧引导、智能安全保卫、智能货物运输、楼宇自主调控、远程诊疗、数据中心、信息系统整合平台等一并进行规划统筹考虑机房位置、电气设备、接口设置以及管线组织等问题，留出适当的预留余地及相关技术要求，做到建筑、设备和技术三位一体的设计规划，可以很好的解决“建成后补技术”的矛盾，减少重复浪费和管理混乱的情况发生，提高医疗建筑整体智慧化程度及运行可靠性保障，建立一套更为完整、紧凑、持久有效的智慧医疗建筑一体化设计体系。

（三）以患者需求为中心，强化人性化与绿色化设计

医院建筑设计创新不仅仅是在效率和技术上，在很大程度上还在于整个建筑给病患带来的就诊体验感和环境质量等方面的提升。在设计中要以人为本，注重患者的候诊等候区的舒适性、指示标志、便捷通行、隐私保护以及声学处理，创造安静的诊疗环境等，借助自然光照、空气流通、风景园林以及空间布局来改善医院内部环境，减轻病人的紧张感，提高就医感受，另外还要把绿色建筑的理念应用到选择材料、建筑结构、节能措施及设施设备上，采用环保灯具、空调自动化、节水系统、低能耗管理等措施减少医院建筑资源消耗和环境污染^[6]。

四、智慧医院医疗建筑设计创新的实践支撑与发展趋势

（一）典型案例表明智慧化设计能够提升医院运行效率

实践证明智慧设计不仅提升了就诊环节更是影响了整个建筑空间布局形式，以厦门“互联网+智慧服务”的实际应用为例，应用后就诊患者等待的时间下降了74分钟，叫号准时率达到15%，使用自助机挂号、付费的患者占到70%，所以智慧式门诊、自助式服务以及过程再造可以大大减轻窗口压力，促使门诊大厅、候诊大厅、收费大厅从原来的“集中排队型”向现在的“分散协作型”转变。与此同时，国家卫生与健康委员会发布的案例也把“一站式智慧入出院”、“医技流程优化”、“出入院无纸化”等方式纳入公立医院管理的典型模式当中，在一定程度上也体现了智慧化的设计正从信息技术应用拓展到建筑设计及管理模

式创新当中^[7]。

（二）真实数据反映智慧医院建设对建筑设计提出量化要求

从全国来看，医疗服务总量不断增加，对于医疗建筑物容量以及流程、弹性都有了更高的标准，《2023年度全国卫生计生财务会计统计提要》数据显示：全国医疗卫生机构的总诊疗人次已经达到95.5亿人次，比上一年增加了11.3亿人次，其中医院的诊疗人次达到了42.6亿人次，比上一年增加了4.4亿人，同年全国医院住院人数为24500.1万人，床使用率为79.4%，其中三级医院床位使用率达到91.1%，医院出院者的平均住院天数由原来的9.2天下降到现在的8.8天，公立医院也降到了8.4天，截止到2023年底全国二级及以上公立医院开展预约挂号的占59.2%，能够提供远程医疗服务的占到了67.6%。从以上分析可以得出结论，医院建筑不仅需要考虑静态面积配置而且还应以高门急诊量、高病床周转率以及智慧医疗接入来实现空间再造与系统预设^[8]。如表1所示。

表1 智慧医院建设相关真实数据表			
数据来源：国家卫生健康委员会《2023年我国卫生健康事业发展统计公报》、厦门市大数据管理局“互联网+赋能智慧服务就医便利化”案例			
指标	2022年	2023年	设计启示
全国医疗卫生机构总诊疗人次	84.2亿	95.5亿	门诊大厅、候诊区与交通流线承压增加
医院诊疗人次	38.2亿	42.6亿	综合医院需提高门诊与医技空间衔接效率
医院入院人次	20098.6万	24500.1万	病房、手术、检查等住院支持空间需增强周转能力
全国医院病床使用率	71.0%	79.4%	建筑应提高床位区组织效率与弹性调配能力
三级医院病床使用率	79.8%	91.1%	大型医院更需强化高密度运行下的空间优化
医院出院者平均住院日	9.2日	8.8日	支持短周转、快出院的流程型空间更为重要
二级及以上公立医院开展预约诊疗比例	—	59.2%	线下挂号空间可适度压缩，强化自助与分时到诊空间
二级及以上公立医院开展远程医疗服务比例	—	67.6%	应预留远程会诊、数据传输与信息支撑空间
厦门智慧服务后平均等候时间变化	—	缩短74分钟	证明流程再造可直接改善门诊空间效率
厦门智慧服务后自助挂号缴费占比	—	70%	说明自助终端与分散式服务节点具有现实必要性

（三）医疗建筑将朝弹性化、数字化、低碳化方向发展

今后的医院建筑设计将注重灵活性转变、系统的连接以及优化管理。一方面门诊急诊大流量、住院快速流动对医院建筑提出了更高的模块化改造需求；另一方面越来越多的预约、会诊、检验报告互认等都要求医院建筑物与信息系统、诊疗设备及物流系统的匹配。随着医院服务量的增长和智能化服务的趋势，医院建筑也会向着“空间可调、系统联动、管理智慧、节能绿色”方向发展，即灵活的空间去适应不同阶段的服务需求，数字化的系统来提高操作的便捷程度，绿色的技术减少运维开销并最终实现建筑、医疗、信息及管理的一体融合。

五、结语

智能医院建设不断推进医疗建筑从单一的功能布置转向流程优化、技术和空间协同的设计模式，针对智慧诊断、医院感染控制、服务质量提高及绿色环保等问题要求下，需要医疗建筑在系统性、灵活性和高效运转方面做出更大的努力，在以后的工作中要根据医院类别、地理环境以及建设体量来进行更为有针对性的设计革新，以强化医疗建筑为现代化医疗卫生事业发展提供支持的能力。

参考文献

[1] 杨梓艺. 智慧医疗背景下医院精益管理模式创新与应用研究 [J]. 中国科技投资, 2025, 第31期 :25-27.
[2] 李庆华. 智慧医院背景下档案管理模式的创新探讨 [J]. 兰台内外, 2025, (35) :43-45.
[3] 曾璐璐, 梁艺弋. 基于智能化医疗服务医院成本计算体系的研究及应用探索 [J]. 财经界, 2026, (03) :75-77.
[4] 李桢. 智慧医院背景下的公立医院全面预算管理优化研究 [J]. 财讯, 2026, (02) : 58-60.
[5] 崔欢欢. 智慧医疗背景下基层医院财务共享模式的构建探析 [J]. 中国乡镇企业会计, 2026, (03) :199-201.
[6] 王启良. 智慧医院评价指标体系以及综合评价模型的研究 [D]. 华南理工大学, 2023.
[7] 张溪恒. “智慧医院”的环境下对医疗信息化企业的价值进行评价 [D]. 中央财经大学, 2023.
[8] 陆尘香, 张琰. 智慧医院背景下的医疗档案数据应用分析的价值、困难及改进措施 [J]. 档案天地, 2024, (09) :53-56.

绿色环保设计在建筑室内装饰设计中的分析

杨祥勋

广州海纳人力集团有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010023

摘 要 : 随着“双碳”目标的深入推进与居民健康意识的觉醒,绿色环保设计已成为建筑室内装饰领域转型的核心方向。文章深入剖析了当前实践中存在的材料信息不对称与成本博弈、设计与施工脱节等难点。在此基础上,本文从材料循环利用、空间灵活性与自然融合、全生命周期污染控制、智能化环境调节及适配地域性生态技术五个维度,提出了绿色环保设计的系统性运用要点,旨在为行业提供兼具理论深度与实践价值的参考。

关 键 词 : 绿色环保设计; 室内装饰; 可持续材料; 人居环境

Analysis of Green Environmental Protection Design in Architectural Interior Decoration Design

Yang Xiangxun

Guangzhou Haina Human Resources Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : With the in-depth advancement of the "dual carbon" goals and the awakening of residents' health awareness, green environmental protection design has become a core direction for transformation in the field of architectural interior decoration. This article delves into the challenges present in current practices, such as material information asymmetry and cost negotiations, as well as the disconnection between design and construction. Building on this foundation, this paper proposes systematic application points for green environmental protection design from five dimensions: material recycling, spatial flexibility and natural integration, full life cycle pollution control, intelligent environmental regulation, and adaptation to regional ecological technologies. The aim is to provide the industry with references that combine theoretical depth with practical value.

Keywords : green environmental protection design; interior decoration; sustainable materials; human settlement environment

引言

在“十四五”规划全面推动绿色发展、促进人与自然和谐共生的宏观背景下,建筑行业作为碳排放大户,其节能减排工作正从单一的围护结构节能,逐步向精细化、人性化的室内环境营造延伸。室内装饰设计不再仅被视为视觉美学的构建,更被重新定义为关乎居住者健康、资源消耗与环境负荷的关键环节。然而,当前室内装饰领域仍普遍存在过度装修、有害物质超标、资源浪费严重等问题,绿色设计理念多停留在概念层面,缺乏系统性的实施路径。

一、绿色环保设计理念的重要性

(一) 应对环境危机与资源约束的必然选择

在室内装饰领域,装修翻新等都伴随着大量不可再生资源如木材、石材、金属的开采与加工,同时产生巨量的建筑垃圾。绿色环保设计通过倡导“减量化、再利用、资源化”的3R原则,从源头上减少了对原生资源的依赖。例如,通过模块化设计与标准化生产,可以大幅降低材料切割损耗;通过选用可再生材料如竹材、软木,或利用工业副产品制成的环保板材,能够有效缓解自然资源过度开采的压力。在全球气候变暖与资源日益枯竭的双重压力下,摒弃高能耗、高排放的传统装修模式,转向全生命周期

环境负荷最小化的绿色设计,已不仅是行业升级的选项,更是关乎人类生存发展的必由之路。

(二) 保障居住者身心健康的根本保障

传统装饰设计中大量使用的胶黏剂、人造板材、涂料、壁纸等,会持续释放甲醛、苯、TVOC(总挥发性有机化合物)等有毒有害物质。世界卫生组织已将室内空气污染列为人类健康的十大主要威胁之一,长期暴露于低浓度污染环境中,可导致呼吸系统疾病、白血病、神经系统损伤甚至癌症。绿色环保设计的核心逻辑之一,正是将“健康”置于与“美学”同等甚至更高的优先级。它要求设计师在选材阶段即严格审查产品的环保认证,优先采用水性涂料、无醛胶合板、天然矿物基墙面材料等低排放甚至

零排放的建材。此外，绿色设计还通过优化自然通风路径、引入绿植净化系统、控制室内湿度等手段，构建一个主动式的健康环境，从根本上切断了室内污染源对人体健康的慢性侵蚀^[1]。

（三）提升建筑资产价值与社会经济效益

长期以来，绿色环保装饰设计常被误解为高成本、低回报的“奢侈品”。然而，全生命周期成本分析表明，绿色设计的初期投入往往能在运营阶段获得显著回报。在能源节约方面，通过采用高效节能的照明系统、隔热性能优异的门窗与窗帘，以及智能化的能源管理系统，室内装饰环节可以直接降低建筑运行能耗，为业主节省长期的电费与维护费用。其次，对于商业空间而言，绿色环保的室内环境已成为企业展示社会责任、吸引高素质人才、提升员工工作效率与满意度的重要软实力。因此，从宏观视角看，推广绿色室内装饰设计不仅符合国家“双碳”战略目标，更能通过减少公共医疗支出、延长建筑使用寿命、推动绿色建材产业发展，创造出巨大的社会综合效益，是实现经济效益、环境效益与社会效益“三赢”的关键路径^[2]。

二、绿色环保设计在建筑室内装饰设计中的难点

（一）材料信息不对称与绿色成本博弈

当前，绿色环保设计面临的首要难点在于材料市场的信息不对称与成本结构的博弈。一方面，市场上充斥着大量打着“环保”“绿色”旗号的产品，但其中不乏虚假宣传或“漂绿”现象。许多装饰材料虽然有检测报告，但往往只针对单一污染物，或送检样品与市售产品存在品质差异。业主和设计师缺乏专业手段快速、准确辨别材料的真实环保性能，导致“选绿”困难。另一方面，优质环保材料通常需要更高的研发投入与生产成本，其市场价格往往高于普通材料。在装饰工程总预算有限的情况下，业主常倾向于压缩材料成本，优先保证视觉效果的“豪华感”，而将环保性能置于次要位置。这种短期成本导向的决策，与绿色设计所追求的长远健康与环境价值产生了直接冲突。

（二）设计与施工环节的脱节

绿色环保设计的有效性高度依赖施工过程的精准执行，但现实中设计与施工的脱节问题普遍存在。在设计阶段，设计师可能规划了精细化的自然通风路径、特定的环保工艺（如墙面抹灰找平禁止使用含胶材料）或复杂的材料拼接方式。然而，进入施工阶段后，施工方往往出于工期、技术难度或利润空间的考量，擅自简化工艺、更换材料。例如，将设计师指定的水性木器漆替换为普通油性漆，或在使用胶黏剂时选用廉价的非环保型产品。此外，设计图纸与施工交底之间缺乏有效的绿色监理机制，多数施工现场没有针对环保工艺的专项验收节点，导致绿色设计意图在层层传递中不断损耗，最终效果与设计方案相去甚远^[3]。

（三）传统审美观念与功能需求的冲突

绿色环保设计的推广，在一定程度上受到了传统审美观念与功能需求的制约。部分业主和设计师仍固守“奢华即高档”的审美定式，偏好使用大量天然石材、复杂实木雕花、大面积镜面与金属等材料，营造出所谓的“豪华感”。而这些材料往往伴随着高

能耗开采、高资源消耗以及复杂的后期维护问题，与绿色设计倡导的“简约、高效、适度”原则背道而驰。同时，绿色设计所倡导的许多理念，如自然通风、采光最大化，可能会与传统平面布局中对私密性、空间独立性的要求产生矛盾。例如，为了引入自然光而设置的开放空间，可能会被业主认为“不够私密”；为了促进空气流通而减少隔断，又可能被认为“缺乏层次感”。

（四）既有建筑改造中的技术局限

当前，我国城市发展已进入存量更新阶段，既有建筑的绿色化改造成为室内装饰领域的重要战场。然而，在既有建筑中进行绿色环保设计，面临着比新建建筑更为复杂的技术局限。首先是结构安全性的制约。许多老旧建筑楼板承载力有限，若采用绿色设计中推荐的中式屋面、蓄水层或厚层找平材料，可能超出结构荷载安全范围。其次是管线系统老化与更新困难。既有建筑的给排水、强弱电管线往往布局混乱、材料老化，若要实现绿色设计中的分质供水、智能控制、新风热回收等功能，需要进行大规模的管线改造，不仅技术难度大、工期长，还可能破坏原有的建筑结构^[4]。

三、绿色环保设计在建筑室内装饰设计中的运用要点

（一）优先选用可循环与速生材料

在材料选择层面，绿色环保设计的首要运用要点在于建立以全生命周期环境影响为评价依据的选材体系。设计师应优先选用三类材料：其一，可循环利用的材料，如再生铝型材、回收玻璃制品、利用建筑垃圾再生骨料制成的装饰板材等。这类材料的使用能够有效打破“开采—使用—废弃”的线性模式，形成闭环的资源流动，显著减少对原生矿产的消耗。其二，速生与可再生材料，如竹材、麻、藤、软木等。以竹材为例，其生长周期仅为4至6年，是树木的十分之一，且具有优异的力学性能和自然美观的纹理，是替代珍贵硬木的理想选择。其三，本地化材料。通过就近取材，可以大幅降低材料运输过程中的碳排放，同时本地材料往往更能适应当地气候，具有更好的耐久性。在实际应用中，设计师需建立“材料档案”，详细记录每种主要材料的来源、可回收性、隐含碳数据，并将其作为设计说明的必要部分，引导业主从关注“价格”转向关注“价值”，使材料选择成为支撑绿色设计理念的物理基石。

（二）构建灵活多变的室内空间形态与自然融合

绿色环保设计不应是静态的、一成不变的，而应通过空间形态的灵活设计，延长建筑的使用寿命，减少因功能变更导致的频繁翻新。首先，应大力推广“轻隔断、重通透”的空间设计手法，利用推拉门、折叠门、帘幕等可移动、可变化的分隔方式，替代传统的固定墙体。这种设计使得空间可以在“开放”与“私密”之间自由切换，既能满足不同时段的功能需求，又能保证良好的自然通风与采光条件。其次，应注重室内外空间的过渡与融合。通过设置阳光房、下沉式庭院、大面积落地窗等手法，模糊室内外界限，将自然景观引入室内，减少人工照明和机械通风的使用时间。更重要的是，鼓励在室内设计中引入“垂直绿化”或

“室内微型生态”系统。在玄关、阳台或客厅背景墙处，设计模块化的植物墙或嵌入式绿植池，选用耐阴、吸附能力强的本土植物，不仅能够美化空间，更能形成一个微型的“生物过滤器”，主动吸附空气中的粉尘和部分有害气体，实现装饰美学与生态功能的统一^[5]。

（三）实施全生命周期的污染源控制策略

为确保室内环境长期健康，绿色环保设计必须建立起从源头阻断到过程控制，再到末端治理的全生命周期污染控制策略。源头阻断是最关键的一环，设计文件中应明确列出“禁止使用材料清单”，例如明确禁止使用溶剂型胶黏剂、非标人造板材、含铅涂料等。同时，对允许使用的材料，要求供应商提供符合国家最新标准的检测报告，并实施“样板先行”制度，在施工前将主要材料样板封闭存放24小时，通过嗅觉、简易检测仪等方式进行初筛。过程控制方面，设计应规定施工工艺的环保要求，例如，木作工程应采用“工厂化定制、现场装配”的干法施工模式，最大程度减少现场切割、焊接、喷涂等湿作业产生的粉尘与挥发物。末端治理方面，设计应预留安装新风系统的设备位置与管道井，优先选用带有热回收功能的全置换式新风系统，确保即使在无法开窗的天气或季节，室内空气也能得到有效过滤与更新。

（四）集成智能化系统以实现动态节能

智能化技术的融入，使得室内环境的绿色调节从“被动响应”转变为“主动感知与优化”。绿色环保设计应积极整合智能家居系统，实现能源消耗的精细化管理。其一，智能照明系统是节能最直接的切入点。通过设置光照传感器、人体感应器与调光模块，系统可以根据室外自然光强度和室内人员活动情况，自动调节人工照明的亮度与开关状态，避免“长明灯”现象。其二，智能遮阳系统与空调、新风系统联动。在南向或西晒严重的区域，设计可自动控制的外遮阳卷帘或智能调光玻璃，在夏季日照强烈时自动开启，减少空调冷负荷；在冬季则根据阳光角度自动

调整，引入被动式太阳能采暖。其三，能耗监测与反馈系统。在配电箱内安装分项计量模块，将照明、插座、空调等主要用电回路的能耗数据实时传输至用户终端（手机或面板），使居住者能够清晰了解自身用能习惯，并据此进行调整。这种“人-机-环境”的交互，将抽象的节能理念转化为可感知、可控制的行为，是实现建筑运行阶段节能减排的重要技术路径。

（五）适配地域性气候与生态技术

绿色环保设计绝非技术堆砌，其最高境界在于因地制宜，充分挖掘和利用场地所在地域的自然气候特征与生态智慧。我国幅员辽阔，气候带跨越严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖、温和等多个区域，绿色设计策略必须具有鲜明的针对性。在夏热冬暖地区（如广东、广西），设计重点应在于“隔热与通风”。可通过设置深挑檐、格栅屏风等建筑构件，结合室内设计中的冷巷布局、拔风井等传统生态手法，利用热压与风压促进自然通风，减少空调使用时长。在寒冷地区（如东北、西北），设计重点则转为“保温与得热”。室内装饰中应采用高气密性的门窗系统，在入口处设计门斗减少冷风渗透，并在有条件的南向空间设计具有蓄热能力的石材或夯土墙面，白天吸收太阳辐射，夜间缓慢释放热量，形成被动式采暖。在干旱地区，则可探索水资源的循环利用，如将屋顶雨水收集净化后用于室内绿植灌溉或景观水景。

四、结束语

综上所述，绿色环保设计在建筑室内装饰设计中的应用，已从早期的概念探索步入系统化、精细化发展的关键时期。尽管当前实践中仍面临材料信息不对称、设计与施工脱节等多重挑战，但通过构建以可循环材料为基础、灵活空间为载体、全生命周期污染控制为核心、智能化技术为手段、地域性生态智慧为灵魂的综合性设计体系，这些难题有望得到系统性破解。

参考文献

- [1] 操海明. 绿色环保设计在建筑室内装饰装修设计中的运用 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025(24): 95-97.
- [2] 吕强. 建筑室内装饰装修设计中的绿色环保设计 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(20): 133-135.
- [3] 李晓斌. 建筑室内装饰装修工程设计中的绿色环保设计策略研讨 [J]. 陶瓷, 2023(4): 194-196.
- [4] 杨勇. 建筑室内装饰装修设计中的绿色环保设计研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2021(4): 58-59.
- [5] 严天宇. 建筑室内装饰装修设计中的绿色环保设计探索 [J]. 中国建筑装饰装修, 2021(2): 58-59.

共享经济背景下共享住宅的设计和运营模式研究

赵浩君

广东省建筑设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010024

摘 要： 共享经济的深度渗透正在重塑城市居住形态，共享住宅作为其重要实践，承载着从单一居住功能向复合型社交生态的转型使命。研究提出，共享住宅的设计需在私密性与共享性间建立动态平衡，运营模式则需依托社群资本与资源循环实现价值闭环。通过对空间层级体系、社交策略与可持续理念的系统分析，以及社群营造、参与式治理等多维探讨，旨在为城市居住模式创新提供理论参照，推动共享住宅从边缘探索走向主流实践。

关 键 词： 共享经济；共享住宅；空间设计；运营模式

Research on the Design and Operational Model of Shared Housing in the Context of the Sharing Economy

Zhao Haojun

Guangdong Architectural Design & Research Institute Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The deep penetration of the sharing economy is reshaping urban living patterns, with shared housing serving as a crucial practice that undertakes the mission of transitioning from a single residential function to a composite social ecosystem. The study proposes that the design of shared housing should establish a dynamic balance between privacy and sharing, while the operational model should rely on community capital and resource circulation to achieve a closed-loop value system. Through a systematic analysis of spatial hierarchy systems, social strategies, and sustainable concepts, along with multidimensional discussions on community building and participatory governance, the aim is to provide theoretical references for urban living model innovation and promote the transition of shared housing from marginal exploration to mainstream practice.

Keywords： sharing economy; shared housing; spatial design; operational model

引言

共享住宅作为一种新兴的居住形态，将私人居所与公共空间有机融合，试图在满足个体居住需求的同时，重建邻里关系与社群归属。然而，当前关于共享住宅的研究多集中于概念介绍或个案分析，缺乏对其设计逻辑与运营机制的系统性探讨。设计层面如何平衡私密与共享、功能与弹性，运营层面如何构建社群、实现可持续盈利，仍是亟待厘清的问题。

一、共享经济背景下共享住宅风向

（一）共享经济对居住观念的深层重构

共享经济的兴起打破了传统“所有权至上”的消费逻辑，使用权与体验价值逐渐成为核心关注点。在居住领域，这种观念变迁表现为人们对住宅功能的重新理解——住宅不再仅仅是私人领域的物理边界，而开始被视作一种可参与、可交换、可共用的社会资源。年轻一代尤其倾向于以“轻资产、重体验”的方式满足居住需求，这为共享住宅的诞生提供了观念土壤。

（二）共享住宅的概念界定与类型分化

共享住宅并非简单意义上的“多人合租”，而是一种以共享空间、共享资源、共享社交为内核的居住组织方式。根据组织形

态，可将其划分为三类：一是以青年公寓为代表的长租型共享社区，强调标准化服务与社群运营；二是以合作住宅为代表的参与式社区，住户共同参与设计与治理；三是以短租平台为依托的主题型共享空间，突出场景体验与文化交融。三类模式虽路径不同，但均指向居住从“私属”走向“共属”的本质跃迁。

（三）推动共享住宅发展的社会动因

共享住宅的兴起并非偶然，而是多重社会力量交汇的结果。城市房价高企与流动性增强，迫使青年群体寻求更具弹性的居住方式；社会结构原子化趋势加剧，催生人们对邻里关系与归属感的普遍渴望；与此同时，可持续发展理念深入人心，集约化居住被视为降低资源消耗的有效路径。政策层面，部分城市已将共享住宅纳入租赁住房供应体系，为其规模化发展提供了制度通道^[1]。

二、共享经济背景下共享住宅的设计

（一）空间共享层级体系的构建

共享住宅的设计首先面临一个核心命题：如何在不同层级上配置共享资源，既避免资源闲置，又不至于因过度共享而侵犯个体隐私。成功的共享住宅往往建立“私密—半私密—公共”三级空间体系。私密空间即住户的独立居室，为保障基本生活隐私，其设计需在有限面积内满足睡眠、收纳、个人工作等核心功能，通常采用集约化布局与多功能家具；半私密空间如楼层共享厨房、洗衣房、小型客厅，服务于小范围邻里交往，使互动频率适中，避免因人数过多而形成陌生化；公共空间则包括大堂、共享客厅、屋顶花园、联合办公区、健身房等，面向整个社区开放，承载大型活动与跨楼层的社群交流。这一层级体系的关键在于通过空间尺度和可达性的差异设计，让住户能够根据自身需求灵活选择参与共享的程度。同时，各空间之间的过渡需处理得自然流畅。例如，从私密居室到半私密楼层空间，再到公共社区空间，动线设计应有节奏变化，避免因公私边界过于生硬而产生心理排斥。

（二）促进社交与偶遇的空间策略

共享住宅区别于传统住宅的重要特征在于其社交属性。然而，强制性的社群活动往往适得其反，真正有效的社交设计应体现在空间对日常行为的引导之中。设计上需通过动线规划与节点设置，增加住户之间自然碰面的机会，而非依赖刻意组织的活动。常见手法包括：将电梯厅与共享客厅相邻布置，使日常进出成为社交触点，住户在等待电梯时的短暂停留即可转化为寒暄互动；在走廊端头设置小型休息区，打破线性空间的单调感，将单纯的交通空间转化为停留空间；将洗衣、晾晒等家务行为集中布置，使其兼具社交功能，住户在等待洗衣的过程中自然产生交流；将信箱区、公告栏布置在动线交汇处，增加偶发互动的频率。这些策略并不追求刻意组织的社群活动，而是通过空间本身引导人与人之间的日常交往，使社区感在无意间自然生长。

（三）功能复合与空间弹性设计

共享住宅的住户构成多元且流动性较强，这就要求空间具备应对不同使用场景的弹性。设计上可采用“固定功能+可变功能”的组合思路：固定功能如卧室、卫生间保持稳定，确保基本居住需求的确定性；可变区域如共享客厅可通过移动隔断、折叠家具、模块化座椅等方式，在日间作为联合办公区、晚间转为观影区、周末变为活动沙龙空间，甚至可在特定时段开放为临时展厅或手工作坊。功能复合不仅提升了空间利用效率，也降低了运营方需要配置的专用空间面积，从而在有限规模内提供更多元的服务。弹性使共享住宅具备了传统住宅难以实现的适应性，住户无需因生活阶段变化而被迫迁离，社区的稳定性与延续性因此得以增强^[9]。

（四）私密性与共享性的边界处理

在共享住宅中，私密性与共享性并非对立关系，而是需要被精心“管理”的连续光谱。设计实践中，边界处理成为关键：居室与公共区的过渡地带可通过声音缓冲区、视觉遮挡、材质转换

等方式，弱化公私边界带来的生硬感。例如，在入户门与走廊之间设置小型玄关区，既为住户提供心理过渡空间。从公共状态切换为私人状态的缓冲地带，也避免了开门即对公共区域的暴露感，保护了居室内部的私密性。声学设计尤为重要。在共享空间中采用吸音材料、设置白噪音系统，可有效降低因声音干扰产生的邻里摩擦。同时，居室内部的隔音处理需达到高于常规住宅的标准，确保住户在私密空间内的安宁不受打扰。

（五）可持续理念下的资源集约设计

共享经济本身蕴含资源集约的逻辑，共享住宅的设计则需将这一逻辑转化为具体的技术策略，使可持续性从抽象理念落地为可感知的日常实践。在水电能耗方面，可设置分户计量与公共计量相结合的系统，既保障公平性，也激励住户自觉节约，避免因费用均摊而产生的“公地悲剧”。在公共区域采用感应照明与自然通风设计，减少不必要的能耗，同时利用光伏板、雨水收集等被动式技术降低社区运营的碳足迹。此外，共享住宅天然适合推行“共享物资”理念，公用工具箱、共享绿植区、图书漂流架、闲置物品交换角等，既减少了住户重复购置的浪费，也通过物品流动增进了人与人之间的联结。更为系统化的可持续设计还包括：在户型布局上优先考虑自然采光与通风，降低对机械设备的依赖；在材料选择上采用环保可再生材料，减少装修污染；在景观设计上引入可食用景观与社区菜园，既提供新鲜的食材，也成为邻里协作的空间载体。资源集约在这里不仅是技术问题，更成为一种可被共同维护的社区文化^[9]。

三、共享经济背景下共享住宅的运营模式

（一）社群营造：从空间供给到关系运营

共享住宅的运营核心已从传统的“空间管理”转向“社群运营”。这一转变意味着运营方的关注重点从物理空间的维护，延伸至人与人之间关系的培育与维护。优秀的运营方通常会设置“社群主理人”角色，其工作内容远超传统物业管理范畴，包括组织兴趣小组、策划节日活动、调解邻里关系、建立住户公约、发掘社区中的“关键人物”等。运营的目标并非制造热闹，而是培育一种具有自我生长能力的社区生态，当住户之间形成稳定的信任关系与互助网络时，社区的归属感与自治能力便自然形成，运营方的介入可以逐步减少，社区走向自我运转。这种关系运营看似无形，却构成了共享住宅最难以被复制的竞争壁垒。值得注意的是，社群运营需警惕“过度运营”的风险，住户需要的是真实的社交空间，而非被安排的社交任务。

（二）参与式治理与共建机制

与传统住宅“住户—物业”的二元对立关系不同，共享住宅的运营强调住户的深度参与。这一设计源于共享经济的本质逻辑，使用权与参与权相伴而生，使用者同时也是价值的共建者。常见做法是建立“社区议事会”或“住户委员会”，在租金定价、公共空间使用规则、新住户招募、活动经费分配等事项上赋予住户话语权，使社区治理从自上而下的管理转变为多方协商的共治。部分运营方更进一步推行“共建积分制”，住户参与社区服

务、组织活动、承担公共事务管理、维护公共空间可获得积分，用以抵扣租金或兑换服务，将住户的参与行为量化并予以正向激励。这种机制将住户从被动的“消费者”转化为主动的“共建者”，既降低了运营方的人力成本，也增强了住户对社区的认同感与责任感。住户在其中不仅获得居所，还获得了参与公共事务的能力训练与社会资本积累，这对青年群体尤其具有吸引力。

（三）混合收益结构与盈利可持续性

共享住宅的盈利模式与传统长租公寓存在显著差异，其收益来源更为多元，结构更具韧性。基础层仍是租金收入，但通常通过公共区域的高效配置实现高于普通租赁的坪效：在同等建筑面积内，共享住宅通过压缩私密空间、扩大共享空间的方式，使可出租的居住单元数量增加，同时公共区域的品质也成为溢价依据。增值层包括向住户提供付费服务：如家政保洁、餐饮配送、共享办公会员、专业健身课程、社交活动票务等，这些服务既满足了住户的便利性需求，也创造了持续的现金流。延伸层则涉及与外部品牌的合作、场地活动租赁、生活方式内容输出，甚至围绕住户社群开发的定制产品等。这种混合收益结构使共享住宅在经济上更具抗风险能力，单一收入来源的波动不至于危及整体运营。但同时也对运营方的资源整合能力与商业敏感度提出了更高要求^[4]。

（四）标准化与在地化的平衡

共享住宅的运营面临一对固有张力：标准化复制与在地化适配。一方面，运营方需要通过标准化流程来保障服务品质、控制成本、实现规模化扩张：统一的住户筛选标准、标准的服务响应机制、成熟的风险处理流程、可复制的社群活动模板，这些都是规模化发展的必要条件。另一方面，不同城市、不同区位、不同客群的共享住宅，其运营策略需要因地制宜：一线城市与二、三线城市的客群需求存在差异，文创园区周边的项目与商务区周边的项目对空间调性的要求不同，以本地居民为主的社区与以外来

青年为主的社区在社群营造策略上也有所区别。成熟的运营模式通常采取“核心标准化+外围本地化”的策略。

（五）信任机制的构建与风险管理

共享住宅的运营本质上是对“陌生人之间的信任”进行组织化与制度化。在共享住宅中，住户之间共享厨房、客厅、卫生间等私密性较强的空间，彼此的生活习惯、社交边界、价值观念存在差异，若无有效的信任机制作为支撑，冲突与摩擦将难以避免。运营方需要建立一套完整的信任保障体系：在准入环节，通过多轮面试、老住户投票、试用期等方式筛选与社区气质匹配的新住户，确保进入社区的人群在价值观与行为习惯上具备基本的兼容性；在居住期间，通过明确的行为公约与争议处理机制，预防与化解矛盾，公约的制定过程本身也应是住户共同参与的过程，以增强其认同感与执行力；在技术层面，通过智能门禁、公共区域监控、分级权限系统等保障安全，同时明确告知住户监控的范围与目的，避免因隐私顾虑引发的不安。信任机制的建立并非一蹴而就，而是在一次次日常互动与制度兑现中逐渐沉淀——运营方对公约的执行是否公正、对争议的处理是否及时、对住户的承诺是否兑现，都在持续地影响信任的积累或消耗^[5]。

四、结束语

综上所述，共享住宅在设计上，需要通过层级化布局、社交化动线、弹性化功能、私密性边界管理以及资源集约策略，构建既能保障个体尊严又能激发社群活力的空间基础——设计不仅是物理空间的塑造，更是居住关系的预先编排；在运营上，则需以社群营造为核心，通过参与式治理、混合收益、标准化与在地化的平衡以及信任机制建设，形成可持续的运营闭环——运营不仅是服务的提供，更是社区生命力的培育。

参考文献

- [1] 惠杰. BIM技术在建筑设计阶段的应用[J]. 中国勘察设计, 2021(5): 93-96.
- [2] 张昕楠, 班兴华. 日本共享住宅模式与设计策略研究[J]. 新建筑, 2020(5): 50-55.
- [3] 许宇舸. 浅谈共享生活模式对住宅设计的影响[J]. 鞋类工艺与设计, 2025, 5(6): 157-159.
- [4] 牛一凡, 张昕楠, 郑越, 等. 共享居住: 天津大学住宅设计本科教学改革[J]. 住区, 2025(1): 77-83.
- [5] 李慧. 基于中低收入群体需求的共享住宅设计研究[J]. 科技创新与生产力, 2022(2): 65-67, 70.

分析公共建筑给排水的问题与措施

黄晓帆

广州园林建筑规划设计研究总院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010026

摘 要： 文章系统分析了公共建筑给排水系统在用水峰值高、空间布局复杂、消防要求严苛等方面的特点，深入剖析了系统设计冲突、管材选择不当、供水压力不稳、排水通气不畅及运维管理缺失等核心难点。针对上述问题，文章提出了优化系统分区、应用新型管材、实施压力调控等综合性应对措施。研究表明，通过全生命周期的精细化设计与智慧化管理，可显著提升公共建筑给排水系统的安全性、经济性与可持续性。

关 键 词： 公共建筑；给排水系统；问题与措施

Analysis of Problems and Measures in Water Supply and Drainage Systems of Public Buildings

Huang Xiaofan

Guangzhou Landscape Architecture Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper systematically analyzes the characteristics of water supply and drainage systems in public buildings, including high peak water usage, complex spatial layouts, and stringent fire safety requirements. It delves into the core challenges such as system design conflicts, improper selection of pipe materials, unstable water supply pressure, poor drainage ventilation, and inadequate operation and maintenance management. In response to these issues, the paper proposes comprehensive countermeasures, including optimizing system zoning, applying new pipe materials, and implementing pressure regulation. The research indicates that through meticulous design and intelligent management throughout the entire lifecycle, the safety, economy, and sustainability of water supply and drainage systems in public buildings can be significantly enhanced.

Keywords： public buildings; water supply and drainage systems; problems and measures

引言

公共建筑（如医院、商场、写字楼、交通枢纽等）作为城市功能的重要载体，其给排水系统的设计质量直接关系到建筑的使用安全、运营成本和用户体验。然而，在实际工程中，由于公共建筑具有人员密集、用水时段集中、功能分区多样等特点，其给排水系统常暴露出诸如水量水压不足、管道渗漏、卫生器具易堵塞、排水噪音大等问题。在“双碳”目标背景下，系统梳理公共建筑给排水存在的典型问题，并探讨科学、高效的应对措施，对于提升建筑品质、保障公共安全、促进水资源节约具有重要的现实意义。

一、公共建筑给排水的特点

（一）用水时间集中且瞬时负荷大

与住宅建筑不同，公共建筑的用水行为具有显著的同步性和集中性。例如，办公楼的用水高峰集中在上午8:30-10:00及中午午休时段；大型商场则集中在营业前后及餐饮时段。这种用水模式导致系统在短时间内需承受极高的瞬时流量。据实测，部分超高层办公楼在高峰时段，其给水系统的秒流量可达平均流量的3-5倍。因此，系统设计须具备较强的峰值应对能力，否则易出现末端压力骤降、热水供应不足等现象。

（二）功能分区复杂且对水质要求多样

公共建筑内部往往集成了办公、餐饮、洗浴、医疗、景观等

多种功能。不同功能区对给排水系统的要求差异显著：医疗建筑的洁净手术室要求无菌供水；餐饮厨房需考虑高温排水及隔油处理；景观水池则涉及循环过滤系统。这种多元化的需求使得单一的系统形式难以满足全部要求，必须采用分区分质供水的模式。同时，为避免交叉污染，各系统之间的独立性及防回流措施必须严格设计^[1]。

（三）竖向高度大且管道密集

现代公共建筑正不断向超高层、大体量方向发展，建筑高度普遍超过100米，甚至达到500米以上。给排水系统需克服巨大的静水压力，竖向分区成为设计的核心难点。若分区不当，底层卫生器具及管件将承受超压风险，易导致管道破裂、漏水，甚至引发水锤效应，产生巨大噪音和破坏力。此外，在有限的管井空

间内，需要同时排布生活给水、热水、消防、排水、雨水等多套管网，对综合管线排布提出了极高要求。

二、公共建筑给排水的难点

（一）竖向分区与超压出流问题并存

在高层公共建筑中，为确保底层卫生器具的工作压力不超过0.45MPa的规范限值，必须采用分区供水。然而，在实际工程中，部分设计单位为了简化系统，分区数量不足，导致中区或低区超压严重。超压出流不仅造成水资源浪费，还会加剧管道振动、缩短洁具使用寿命，并产生严重的噪声污染。同时，分区减压阀设置不合理，如串联级数过多或阀组选型不当，易导致减压失效，威胁系统安全。此外，部分工程为了节省造价，在减压阀前后未设置压力表或旁通管，导致运维人员无法实时监控阀后压力变化，一旦阀芯磨损或堵塞，超压问题便难以及时发现。如何平衡系统冗余与压力精准控制，是设计与施工阶段的核心难点。

（二）大跨度空间下的排水管道敷设困难

公共建筑如机场航站楼、大型体育馆等，常采用大跨度、大空间的钢结构设计，结构梁高受限，且不允许随意穿梁。传统的重力排水系统需要较大的敷设坡度，在有限的结构层内难以实现长距离输送。此外，大空间区域的洁具布局往往与结构柱网不匹配，导致排水横管过长、转折点多，极易因坡度不足或清扫口设置缺失引发堵塞。若采用提升排放系统，又面临设备投资增加、停电风险及水泵故障等问题。更为棘手的是，在大型展览中心或体育场馆中，往往存在大量临时性洁具需求，其排水管道的临时敷设与后期拆除均缺乏标准化方案，增加了现场管理的复杂度。如何在满足排水顺畅的前提下，实现管线与建筑结构的完美融合，是给排水工程师面临的重大挑战。

（三）管道伸缩补偿与防渗漏技术难度大

公共建筑中，给排水管道通常长达数百米，且多暴露于温差变化较大的环境中（如屋顶冷却塔补水管道、室外埋地管网）。金属管道在温差作用下会产生显著的热胀冷缩，若未设置合理的伸缩补偿器，管道内部会产生巨大的温度应力，导致管道接口拉脱或管体变形断裂。同时，公共建筑的防水套管预埋工作量大，尤其在穿越地下室顶板、外墙及水池池壁时，若套管制作不规范、混凝土浇筑不密实或柔性填料失效，极易形成渗漏通道。地下工程一旦渗漏，维修难度极大、成本高昂，且严重影响建筑的使用功能和耐久性^[2]。

（四）特殊功能区域排水水质复杂且预处理要求高

公共建筑中的特殊功能区（如医院传染科、大型餐饮厨房、实验室）排放的废水成分复杂，含有大量致病性微生物、油脂、化学药剂或重金属。根据国家环保要求，此类废水必须经过预处理方可排入市政管网。目前，部分公共建筑存在预处理设施容量不足或运维缺失的问题：厨房隔油池清理周期过长，导致油脂凝固堵塞管道，散发恶臭；医院污水处理站消毒剂投加不当，可能导致余氯超标或灭菌不彻底。对于设置雨水收集回用系统的公共

建筑，初期雨水的弃流处理、雨水水质净化及回用管网的标识防误接，同样是实际工程中极易被忽视的难点。

（五）系统智能化水平低于运维数据缺失

与公共建筑日益复杂的给排水系统相比，其运维管理手段仍普遍滞后。大量建筑的给排水系统仍依赖人工巡检、经验判断，缺乏在线监测与预警机制。当发生管网漏水时，往往只能在发现地面渗水或水位异常后被动处理，无法实现漏损点的快速定位。此外，水泵、阀门等关键设备缺乏全生命周期管理，故障预判能力不足，非计划性停机频发。智能化水平的低下不仅造成了水资源的浪费，也极大地增加了运维成本和系统运行风险。更深层的问题在于，目前许多公共建筑在建设阶段未建立完善的竣工图档案，BIM模型与实体工程存在偏差，导致后期运维人员无法准确掌握隐蔽管线的具体走向，在面对突发故障时往往需要破坏性开挖，造成更大的经济损失和功能干扰^[3]。

三、公共建筑给排水的应对措施

（一）优化竖向分区并推广支管减压技术

针对竖向分区不合理及超压出流问题，设计阶段应严格依据建筑高度进行精细化分区。对于超高层建筑，宜采用串联供水或高位水箱供水方式。分区宜以10-15层为一个区段，避免分区过大导致压力失衡。在具体末端控制上，应摒弃单纯依赖总减压阀的做法，推广“支管减压”技术，即在每层或每组卫生器具的入户支管上安装可调式减压阀，将用水点压力稳定在理想工作压力。对于减压阀组，应设置备用旁通管，并定期进行压力校核。在实际工程中，建议采用先导式可调减压阀，其调压精度高、稳定性好，且宜在阀前加装Y型过滤器，防止杂质损坏阀芯。对于超高层建筑，还应考虑在不同分区之间设置应急连通管，当某一分区供水设备故障时，可由相邻分区临时供水，提高系统的供水可靠性。

（二）应用新型管材与同层排水技术

为解决大跨度空间管道敷设难题，应积极采用高性能管材与创新排水技术。在不允许大范围穿梁的区域，可选用高强度的薄壁不锈钢管或衬塑钢管替代传统镀锌钢管，利用其良好的弯曲性能和承压能力优化管线走向。对于排水系统，应大力推广同层排水技术，将排水横管敷设在本层结构层内（如降板区域或假墙后），无需穿越楼板，既解决了大跨度空间坡度难以控制的问题，又实现了产权明晰、检修便捷、杜绝上层渗漏扰民的优点。对于大空间公共卫生间，宜采用壁挂式洁具与隐蔽式安装水箱相结合的方式，不仅美观且便于地面清洁。在管道伸缩补偿方面，应根据计算在直线管段合理设置不锈钢波纹补偿器或方形补偿器，并严格按照设计要求设置固定支架与滑动支架。对于塑料给水管道的伸缩补偿，应采用专用的伸缩节或利用管道转弯处的自由臂进行自然补偿，每个直线管段的固定支架间距不宜超过3米，以确保管道在温度变化时能够有序伸缩，避免应力集中。

（三）实施系统化压力调控与水锤防护

针对供水压力波动及水锤风险，需建立系统化的调控与防护

体系。首先,在水泵出口处应安装缓闭式止回阀和多功能水泵控制阀,通过调节阀门关闭时间(通常设定为3~10秒)来有效削减停泵水锤的压力峰值。其次,在管网的高位或关键节点,应设置水锤消除器或气压罐,利用气体可压缩性吸收压力冲击波。对于大型公共建筑,宜采用变频调速恒压供水设备,使水泵运行工况始终与管网用水量匹配,避免频繁启停造成的水锤。同时,在系统设计阶段应进行专业的水锤分析计算,模拟最不利工况下的压力波动范围,验证管材承压等级及设备选型是否满足要求。在实际运维中,应建立压力监测点,实时监控管网压力变化,一旦发现异常压力波动,系统应自动预警并记录。对于长距离输水管道,还应考虑设置空气阀,在管道充水时自动排出空气,在管道排空或水柱分离时自动补气,有效降低低压水锤对管道的破坏风险^[4]。

(四)完善特殊排水预处理与通气系统

针对特殊功能区排水复杂的问题,必须坚持“源头控制、分质处理”的原则。大型餐饮厨房应设计三级隔油提升一体化设备,而非简易隔油池,确保油脂分离效率不低于95%,并配备自动加热装置防止油脂板结,同时建立定期的清运维护台账。医院的排水系统需严格区分清洁区与污染区,传染科排水应单独收集,经预消毒后进入医院污水处理站,采用二级生化处理与二氧化氯消毒工艺,确保出水达标。在排水系统设计上,必须完善通气系统。对于人员密集的公共建筑,建议采用环形通气管或器具通气管替代传统的伸顶通气管,有效平衡排水管道内的气压,防止水封因正压喷溅或负压抽吸而被破坏。对于设置雨水回用系统的项目,应在回用管网上设置明显的中水标识,并采用专用的中水水龙头,严禁与生活饮用水管网有任何物理连接,同时定期对回用水质进行检测,确保微生物指标符合国家标准。

(五)构建基于BIM与物联网的智慧运维平台

应对运维管理滞后的痛点,需借助数字化手段实现智慧化转

型。在设计阶段,应全面应用BIM(建筑信息模型)技术进行管线综合碰撞检查,建立精确的给排水系统三维模型,并实现模型信息的数字化交付。在运维阶段,应搭建基于物联网(IoT)的智慧给排水管理平台,在水泵、关键阀门、水箱、重点用水单元及管网节点部署无线传感器,实时监测流量、压力、水位、水泵振动及能耗数据。通过大数据分析,平台可实现管网漏损的自动定位(定位精度可达米级)、设备故障的预测性维护(如水泵轴承振动超阈值预警)以及用水异常行为的智能诊断。同时,该平台应与建筑整体的楼宇自控系统(BAS)联动,根据人流密度自动调节卫生器具冲水模式,实现精细化节水管理。此外,建议建立给排水系统的“数字孪生”模型,将实时监测数据与BIM模型动态关联,运维人员可在三维模型中直观查看设备运行状态、管网水流方向及压力分布,大幅提升故障响应效率和应急指挥能力^[5]。

四、结束语

公共建筑给排水系统作为建筑功能实现的关键支撑,其设计、施工与运维的优劣直接关乎建筑的安全、舒适与可持续性。公共建筑给排水面临着竖向分区与超压出流、大跨度空间管道敷设、伸缩补偿与防渗漏、特殊排水预处理及智能化运维缺失等多重技术难点。通过优化竖向分区并应用支管减压技术、推广同层排水与新型管材等措施形成了一套覆盖设计、施工到运维全生命周期的综合解决方案。实践证明,采用上述措施不仅能有效解决传统给排水系统中的问题,更能显著提升系统的节水效能、降低运维成本、保障用水卫生安全,是实现公共建筑高质量建设与运营的重要技术路径。

参考文献

- [1] 黄帅.大型公共建筑给排水管道渗漏分析与防治施工技术研究[J].标准生活,2025(7):169-171.
- [2] 刘沁琳.公共建筑改造工程中的给排水设计探究[J].建材发展导向,2025,23(5):10-12.
- [3] 蒋玉杰.公共建筑给排水消防安全设计重点问题分析[J].中国公共安全,2024(6):118-120.
- [4] 方尘杰.大型公共建筑给排水管线综合布置优化策略[J].江西建材,2025(10):180-181,188.
- [5] 杨戩.公共建筑给排水改造设计探讨[J].建材与装饰,2024,20(26):55-57.

建筑防火设计在民用建筑设计中的应用实践

廖国渭

广东博亚建筑设计有限公司佛山分公司, 广东 佛山 528300

DOI:10.61369/ADA.2026010027

摘 要 : 民用建筑火灾具有火势蔓延迅速、扑救难度大、人员疏散困难等特点。当前防火设计存在规范条款不够精细、疏散出口设置不够合理、自动灭火与预警系统配置不全面等问题。针对上述问题, 应在设计流程中明确防火要点, 合理划分功能分区, 科学选用建筑材料, 优化储水与灭火系统配置, 强化避难空间与标准层防火设计, 以有效提升建筑整体防火能力, 切实保障人员安全。

关 键 词 : 建筑防火; 民用建筑设计; 应用

Application Practice of Fire Protection Design in Civil Building Design

Liao Guowei

Foshan Branch of Guangdong Boya Architectural Design Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528300

Abstract : Fires in civil buildings are characterized by rapid spread, difficulty in suppression, and challenges in personnel evacuation. Current fire protection designs face issues such as inadequate refinement in code provisions, unreasonable placement of evacuation exits, and incomplete configuration of automatic fire suppression and early warning systems. To address these challenges, it is essential to clarify fire protection priorities during the design process, reasonably divide functional areas, scientifically select building materials, optimize the configuration of water storage and fire suppression systems, and strengthen the fire protection design of refuge spaces and standard floors. These measures can effectively enhance the overall fire resistance of buildings and ensure the safety of occupants.

Keywords : building fire protection; civil building design; application

引言

民用建筑功能日益复杂, 消防安全水平成为社会关注重点。火灾发生时, 火势蔓延迅速、人员疏散困难、烟气毒性较强, 给灭火救援带来严峻挑战。当前防火设计在规范精细度、疏散出口布局、自动灭火与预警系统配置等方面仍存在不足, 难以完全适应新型建筑的发展需求。优化防火设计流程、明确设计要点、合理选用建筑材料、科学配置灭火与储水系统, 对于提升建筑整体防火能力、保障人员生命安全具有重要意义。

一、民用建筑发生火灾的特点

在科技持续进步与社会不断发展的背景下, 建筑的综合功能虽得到显著提升, 但其消防安全水平依然是各方关注的重点。从实际发生的火灾案例来看, 民用建筑一旦起火, 往往呈现火势蔓延迅速、人员疏散难度大、烟气毒性较强等特点, 这些因素给灭火救援与人员安全带来较大挑战。

(一) 火势的蔓延速度非常快

在高层民用建筑中, 火灾发生后若建筑内部缺少完善的防火隔层配置, 火势容易失去控制并迅速向外扩大。外墙保温材料多选用 B2 级材料, 这类材质在遇火时助推火势扩散的特性较为明显, 会进一步加剧火势发展。若扑救工作未能及时展开, 或现场伴随风力影响, 火焰扩散的速度将显著加快, 极易在短时间内形

成大面积燃烧的局面, 这种快速蔓延的火势给人员疏散与灭火救援带来极大困难, 也显著提升了火灾处置的复杂程度与安全风险。

(二) 火势的扑救难度比较大

在高层民用建筑的实际环境中, 周边往往分布着其他建筑物, 这种空间布局给消防人员顺利登高带来阻碍, 使得救援工作面临较大挑战。消防登高操作需要足够的场地和空间, 若周边建筑间距不足或通道受限, 登高车辆难以靠近起火点展开作业。此外, 水炮与水枪的射程和扬程存在一定限制, 当起火楼层超出其有效覆盖范围时, 灭火装备难以发挥应有作用。加之高层建筑竖向疏散距离长、内部结构复杂, 消防人员进入火场后需克服烟雾、高温与视线受阻等多重困难, 进一步加大了灭火救援的难度。这些因素叠加在一起, 使高层民用建筑火灾的扑救工作面临

较高风险^[1]。

（三）人口疏散的难度比较大

在民用建筑中，尤其是高层民用建筑，楼层数量较多，内部使用功能多样，日常聚集的人员数量较大，而安全疏散通道的承载能力相对有限。一旦发生火灾，大量人员往往在第一时间同时涌向安全出口与疏散楼梯，极易造成通道内人流密集、通行受阻的局面。疏散路径上的拥挤不仅降低了人员的移动速度，还容易引发恐慌情绪，进一步影响撤离秩序。此外，高层建筑竖向疏散距离较长，部分人员体力不支或行动不便，也增加了整体疏散的难度。在这种情况下，安全疏散的效率受到明显制约，给消防救援工作带来较大压力。

二、民用建筑防火设计的主要问题

（一）缺乏精细的防火规范

建筑防火规范是民用建筑防火设计的重要依据与基础，但目前相关规范中存在部分条款不够明确、不够精细的情况，容易引发设计人员理解上的偏差，进而影响建筑整体的防火效果。

现行规范主要面向普通、传统的建筑类型制定，而面对近年来不断涌现的多样化、新型民用建筑，规范在应对建筑特殊功能需求时便出现盲区。例如，规范仅依据层数对民用住宅进行划分，未在建筑高度方面作出更为清晰的规定，导致高层住宅与普通住宅在防火设计要求上存在不统一之处，缺乏一套完整、明确的防火设计体系。不同类型的民用住宅各有其消防技术规格，而单元式住宅、塔式住宅、跃廊式住宅在组合方式上各不相同，又会衍生出多种建筑形态，但现行规范未能针对这些具体形式进行准确、定量的划分，使得防火设计在实际操作中缺乏足够的针对性，难以充分适应现代民用建筑的发展需求。

（二）疏散出口设计不合理

民用建筑在规划设计阶段需要设置步梯与电梯，为人员安全疏散提供基本条件。但在实际设计过程中，逃生出口的距离与宽度要求较为笼统，楼梯位置与高度的确定往往与使用需求存在偏差，削弱了防火设计的实际效果。防火设计是一项系统性工作，需要贯穿建筑设计的各个环节，电气消防配置、楼板厚度决定的耐火极限以及疏散宽度等因素，都直接关系到消防设计的科学性与完整性。若疏散出口布置不够合理，疏散通道宽度计算不够准确，不仅影响人员紧急情况下的撤离效率，也容易造成局部拥堵，增加安全风险。各消防环节之间缺乏协调统一，同样会使整体防火能力受到制约，难以形成有效的安全保障体系^[2]。

（三）自动灭火、预警设计不全面

受建设成本因素限制，大部分民用住宅楼内没有配置消防自动灭火与自动报警系统，许多建成时间较早的居民楼中甚至缺少灭火器等基础消防器材。新建建筑中出于造价考虑，也往往将这些系统作为非必要选项而舍弃。

在民用建筑设计中若缺少火灾预警与自动灭火装置，一旦发生火情，现场人员难以在第一时间采取有效处置措施，只能等待外部救援力量到达，这种情形往往错过扑救初期火灾的关键时

机。火灾发生初期，火势范围较小、烟气扩散尚不严重，若配备有效的自动报警与灭火系统，可以在火势蔓延之前及时发现并加以控制，有效减少事故造成的损失。反之，缺少这些关键设施，建筑整体的防火能力将明显下降，使用人员面临的安全风险随之升高，后续消防救援工作也将承受更大压力，救援难度与危险性同步增加^[3]。

三、民用建筑设计中建筑防火设计具体运用探析

（一）设计流程与设计方法

高层民用建筑防火设计是一项系统性工程，其中多个环节的设计复杂性较高。设计之初需要对标准化要求进行细致分析，同时掌握建筑的实际用途，确保设计能够切实满足使用需求。设计流程需要具备高效性与科学性，这样才能更好地实现预定目标。在开展设计的过程中，明确设计范围、遵循防火设计的基本思路、根据建筑建设要求确定设计重难点，并合理划分设计范围，都是不可忽视的环节。

掌握建筑的多方面信息也十分关键，例如建筑的基本应用特性与服务对象等。设计过程中需要明确防火安全目标，确保建筑环境能够得到充分保护，防止因火灾造成严重损失。根据性能目标及相关指标，对功能目标进行有效细化，有助于更好地实现整体功能目标。设计人员应当全面依照新的设计思路开展防火设计工作，对防火设计方案的实用性进行评价，判断各个方案在不同火灾场景中的预期作用。

在设计中对各项参数进行合理设置，可以掌握不同场景下火灾发生与蔓延变化的趋势，从而提高设计方案的应用价值。通过系统梳理设计流程与优化设计方法，能够使防火设计更加贴合建筑实际，有效提升高层民用建筑的整体防火能力^[4]。

（二）明确掌握设计要点

在标准层防火设计中，需要重点关注的内容首先是防火分区。高层民用建筑的标准层核心筒属于重要空间，其内部建筑空间多通过实体墙进行隔离，可燃物较少，火灾发生的可能性相对较低。在防火设计过程中，借助防火门与防火墙的隔离措施，可以使其他区域的火灾不易对核心筒构成较大威胁。

安全疏散通道的设计需要按照规范化的尺寸要求进行，确保出口位置便于人员逃生。同时还要对出口数量加以合理控制，根据实际使用情况科学布设，这样当火灾发生后，多个逃生出口并存可以有效避免出现严重的人员伤亡情况。从当前国内高层建筑的发展现状来看，中庭空间通常较为高大，一旦发生火灾，烟气会在短时间内迅速蔓延，因此设计过程中有必要对烟气蔓延过程加以控制。烟气层的基本高度应当控制在人体可承受的极限范围之内，目前可以通过自然排烟、机械排烟和混合排烟等方式进行针对性处理。通过对比不同排烟方式的适用条件，结合民用建筑中庭的实际情况合理选取，才能达到较好的烟气控制效果。

在避难空间防火设计中，需要充分考虑设计位置的灵活性，避难层与消防登高设备之间的高度应当相互协调适应。正常楼层间隔宜控制在15层范围内，间隔高度不宜超过50米。当建筑发生

火灾时，避难层能够发挥良好的临时避难作用。相邻楼层之间需要通过耐火性能较好的楼板进行隔离，墙地面材料的选用也应确保其耐火极限达到三至五小时以上。在条件允许的情况下，还可以设置防火窗，进一步增强建筑的防火能力，避免发生较为严重的意外事故。

（三）做好建筑功能分区

在开展建筑防火设计的过程中，结合已有的先进技术手段与成功的防火设计案例，根据实际需要対建筑平面进行合理布局，可以有效提升建筑物的安全水平。当一栋建筑内规划有两种及以上使用功能的场所时，不同功能区域之间需要设置防火分隔措施，认真做好结构方面的设计工作。针对各个功能分区采取差异化的设计方式，着重提高内部重点区域的防火等级，可以防止火灾在不同区域之间相互蔓延。科学把握设计原则，合理控制建筑物之间的间距并开展相应的规划工作，同时全面分析与考虑建筑与周边环境的适应性，有助于降低火灾事故的发生概率。在建筑布局中充分兼顾人员使用特点与应急需求，可以使防火设计更具针对性。例如在高层民用建筑区域设计消防车道时，为提升火灾发生时的救援效率，一般会在建筑周边或两侧将其设计成环形形式，这样能够确保消防车辆顺利靠近火场，为灭火救援争取更多时间^[5]。

（四）合理选择建筑材料

民用建筑所选用的材料是否合适，直接关系到建筑的安全性与可靠性。品质优良的建筑材料不仅能够提升工程的建造品质，在火灾发生时也能发挥阻燃与防火的作用。然而受成本控制与经济因素影响，部分民用建筑工程实际使用的材料并不符合相关规范要求，这不仅降低了建筑的整体质量，也带来了火灾风险与安全隐患。

从防火设计的角度出发，民用建筑在选用材料时需要关注几个方面。首先要重视材料的防火性能，优先选择燃点较高的类型，降低材料的易燃程度，从而减少火灾可能造成的直接损失。其次対拟采购的材料要进行全面了解，避免选用成分过于复杂的品种，防止其在燃烧过程中释放有毒气体与有害烟雾，为使用人

员的逃生争取更多时间。此外，还要严格控制材料的类型与质量，结合建筑的结构特点与功能需求来选择合适的材料。这样的做法既能增强民用建筑的防火能力，也能有效降低火灾发生时建筑结构坍塌的风险，使防火设计在源头得到更好落实。

（五）科学开展储水设计与灭火系统设计

在建筑防火设计体系中，储水设计与灭火系统的配置是保障应急灭火能力的关键环节。当火灾发展到较为严峻的程度时，消防人员执行灭火作业需要消耗大量水资源，市政供水管网在短时间内往往难以满足如此高强度的用水需求，容易出现供水不足或水压下降的情况。因此，科学开展储水设计、合理配置灭火系统，成为建筑防火设计中不可忽视的重要内容。

针对此类问题，在进行建筑防火设计时应当将储水设计作为重点加以考量，同步做好消火栓系统与自动喷水灭火系统的配置工作。设计人员需要在把握整体设计需求的基础上，合理确定消防水池的蓄水容量，结合建筑规模、使用功能等因素进行综合测算，确保储水量既能满足日常消防测试需要，也能应对突发火灾时的持续用水需求。适当增加储水容量有助于提升防火设计的安全裕度，消防水池的布置位置、补水方式、取水口设置等细节也需统筹考虑，确保在应急状态下消防人员能够快速、便捷地从储水装置中取水实施灭火，从而有效保障应急灭火环节的水资源供应。

四、结束语

民用建筑防火设计是保障人员生命安全与建筑安全运行的关键环节。火灾蔓延迅速、扑救困难、疏散难度大等特点，对防火设计提出更高要求。针对规范精细度不足、疏散出口布局欠妥、自动灭火与预警系统配置不完善等问题，应从设计流程、功能分区、材料选用、储水及灭火系统配置等方面系统优化。通过明确设计要点、强化避难空间与标准层防护、科学把控材料品质，能够有效提升建筑整体防火能力，为火灾预防与应急救援提供坚实保障。

参考文献

- [1] 林明宇. 建筑防火设计在民用建筑设计中的应用实践 [J]. 建筑与装饰, 2023(3): 64-66.
- [2] 黄超. 民用建筑设计中建筑防火技术的实践探究 [J]. 建筑与装饰, 2024(7): 30-32.
- [3] 裴天冬. 民用建筑设计中建筑防火技术的应用实践探究 [J]. 户外装备, 2023(11): 142-144.
- [4] 桑斐斐. 建筑防火技术在民用建筑设计中的应用探讨 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(2): 648.
- [5] 王骅. 建筑防火技术在民用建筑设计中的应用探究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(8): 381.

绿色建筑设计理念在高层民用建筑设计中的应用探讨

牛超

上海雅思建筑规划设计有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/ADA.2026010028

摘 要 : 在城市化进程持续推进与“双碳”目标深入落实的背景下,绿色建筑设计理念成为摆脱这一困境的关键路径。文章分析了当前绿色建筑设计理念在高层民用建筑设计中的应用现状与存在的问题,进而提出针对性的应用措施,最后总结应用经验与发展展望。研究表明,将绿色建筑设计理念科学融入高层民用建筑设计全过程,可有效降低建筑能耗、减少环境影响,提升居住与使用舒适度,为高层民用建筑行业的可持续发展提供理论参考与实践借鉴。

关 键 词 : 绿色建筑设计; 高层民用建筑; 应用难点; 实施措施

Exploration on the Application of Green Building Design Concept in High-rise Civil Building Design

Niu Chao

Shanghai Architects Planners & Engineers Co., Ltd. (Shenzhen Branch), Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : Against the backdrop of continuous urbanization and the in-depth implementation of the "dual carbon" goals, the concept of green building design has emerged as a crucial pathway to overcome this challenge. This paper analyzes the current application status and existing issues of green building design concepts in high-rise civil building design, proposes targeted application measures, and concludes with application experiences and development prospects. Research indicates that integrating the concept of green building design scientifically throughout the entire process of high-rise civil building design can effectively reduce building energy consumption, minimize environmental impact, enhance living and usage comfort, and provide theoretical references and practical insights for the sustainable development of the high-rise civil building industry.

Keywords : green building design; high-rise civil buildings; application challenges; implementation measures

引言

传统高层民用建筑设计多注重实用性与经济性,忽视了对环境的保护和资源的高效利用,导致建筑全生命周期内能耗过高、资源浪费严重,与新时代生态文明建设的要求相悖。将该理念应用于高层民用建筑设计,既是响应国家“双碳”目标、推动建筑行业绿色转型的必然要求,也是提升建筑品质、满足人们高品质居住需求的重要举措。

一、绿色建筑设计理念核心内涵与高层民用建筑设计特点

(一) 绿色建筑设计理念的核心内涵

绿色建筑设计理念是一种贯穿建筑全生命周期的系统性设计思想,其核心内涵围绕“节能、节地、节水、节材、环保”五大核心目标展开,兼顾实用性、经济性与生态性的统一。其核心内涵主要体现在三个方面:一是节约环保,要求在建筑规划、设计、施工、运营及拆除的全过程中,最大限度降低资源消耗,减少对生态环境的负荷与污染;二是健康舒适,聚焦建筑使用者的需求,打造采光充足、通风良好、无有害污染的室内外环境;三是自然和谐,强调建筑与周边自然环境、城市肌理的融合,实现

人、建筑与自然的共生发展。与传统建筑设计理念相比,绿色建筑设计更注重全生命周期的可持续性,而非单纯追求设计效果或短期经济效益。

(二) 高层民用建筑设计的核心特点

高层民用建筑通常指建筑高度大于27米的居住建筑或大于24米的公共建筑,其设计具有自身鲜明的特点,也为绿色建筑理念的应用带来了独特的挑战与机遇。土地利用率高,高层民用建筑可在有限的土地空间内容纳更多人口和功能,契合城市土地资源紧张的现状,但也导致建筑密度大、周边环境压力增加。其次,结构与设备系统复杂,高层民用建筑需要高强度的结构支撑以保障安全,同时配备完善的垂直交通、给排水、暖通、消防等系统,这些系统的能耗在建筑总能耗中占比极高。再次,使用人群

密集，对室内环境质量、采光通风、噪音控制等要求更高，需兼顾居住舒适度与生态环保性^[1]。

（三）绿色建筑设计理念在高层民用建筑中的应用价值

从环境效益来看，通过节能技术、环保材料的应用，可有效降低建筑能耗，减少二氧化碳、废气、废水等污染物排放，缓解城市热岛效应，保护城市生态环境。从社会效益来看，绿色高层民用建筑可提供更健康、舒适、安全的居住和使用空间，改善居民生活质量，提升城市人居环境水平，同时推动建筑行业的绿色转型，助力“双碳”目标实现。从经济效益来看，虽然绿色设计初期投入可能有所增加，但长期来看，可通过降低能耗、减少资源浪费、延长建筑使用寿命等方式，降低运营成本，提升建筑的市场价值与竞争力。

二、绿色建筑设计理念在高层民用建筑设计中的应用难点

（一）设计理念认知偏差，重视程度不足

当前，绿色建筑设计理念在高层民用建筑设计中的应用，首要难点在于相关主体对理念的认知存在偏差，重视程度不足。一方面，部分建设单位过度追求短期经济效益，认为绿色建筑设计会增加初期设计与建设成本，忽视了长期运营过程中的节能降耗效益，因此对绿色设计理念持抵触态度，甚至要求设计单位简化绿色设计内容，优先满足建筑的实用性与经济性，导致绿色设计流于形式。另一方面，部分设计人员对绿色建筑设计理念的理解不够深入，仅将其简单等同于“绿化+节能”，缺乏对建筑全生命周期的系统性考量，未能将绿色设计理念全面融入建筑规划、结构设计、设备选型、材料应用等各个环节。此外，部分设计人员缺乏绿色设计相关的专业知识与技术储备，难以结合高层民用建筑的特点，制定科学合理的绿色设计方案，导致绿色设计理念无法充分落地，难以发挥其应有的生态与节能效益^[2]。

（二）绿色设计技术不成熟，适配性不足

绿色建筑设计需要成熟的技术支撑，但当前我国绿色建筑技术整体发展仍不够完善，且与高层民用建筑设计的适配性不足，成为制约其应用的重要难点。首先，部分绿色节能技术仍处于研发或推广阶段，技术稳定性与可靠性有待提升，例如太阳能、地热能等可再生能源利用技术，在高层民用建筑中的应用仍存在效率不高、成本较高、安装维护复杂等问题，难以大规模普及。其次，现有绿色设计技术多针对低层或多层建筑研发，与高层民用建筑的结构特点、功能需求适配性较差。高层民用建筑高度高、结构复杂、能耗量大，对节能技术、环保材料、通风采光设计等的要求更高，但现有技术难以充分满足这些需求，例如自然通风技术在高层民用建筑中，受建筑高度、风向、周边建筑遮挡等因素影响，应用效果不佳，往往需要依赖机械通风，增加了建筑能耗。

（三）绿色建材应用受限，成本控制难度大

绿色建材是绿色建筑设计理念落地的重要物质基础，但其在高层民用建筑设计中的应用仍受到诸多限制，且成本控制难度大

大。一方面，绿色建材的研发与生产成本较高，导致其市场价格普遍高于传统建材，例如环保型混凝土、节能门窗、可回收建材等，价格比传统建材高，这使得部分建设单位为控制初期建设成本，不愿意选用绿色建材，转而采用低成本的传统高污染、高能耗建材。另一方面，绿色建材的市场供给不足，种类不够丰富，部分绿色建材的性能难以满足高层民用建筑的结构安全与使用需求，例如部分节能建材的强度、耐久性不足，无法适配高层建筑的结构要求，限制了其应用范围^[3]。

（四）设计与施工、运营脱节，全生命周期管控不足

绿色建筑设计理念强调贯穿建筑全生命周期，但当前高层民用建筑设计中，普遍存在设计与施工、运营脱节的问题，全生命周期管控不足，导致绿色设计理念无法充分落地。首先，设计阶段与施工阶段缺乏有效衔接，设计人员在绿色设计时，往往忽视施工的可行性与经济性，制定的设计方案过于理想化，难以在施工过程中实现，例如部分绿色通风设计方案，因施工工艺复杂、成本过高，被施工单位擅自修改，导致绿色设计效果大打折扣。其次，设计阶段未充分考虑运营阶段的需求，绿色设计方案与建筑运营管理脱节，例如部分节能设备的设计未考虑后期维护成本与操作难度，导致运营阶段无法正常发挥节能作用，甚至增加运营成本。

（五）相关标准与政策不完善，引导约束作用不足

绿色建筑设计理念的推广与应用，离不开完善的标准体系与政策支持，但当前我国相关标准与政策仍存在不完善之处，对高层民用建筑绿色设计的引导与约束作用不足。绿色建筑设计相关标准过于笼统，缺乏针对高层民用建筑的专项标准，部分标准的指标设置不合理，与高层民用建筑的特点适配性不足，无法为设计人员提供具体的指导，导致设计人员进行绿色设计时，缺乏明确的依据，难以把握设计尺度。其次，政策支持力度不足，虽然国家出台了一系列推动绿色建筑发展的政策，但部分政策缺乏具体的落实措施，且补贴、税收优惠等激励政策覆盖范围有限，主要集中在大型公共建筑或重点项目，对普通高层民用建筑的激励作用不足，难以调动建设单位与设计单位的积极性^[4]。

三、绿色建筑设计理念在高层民用建筑设计中的应用措施

（一）强化理念认知，提高重视程度

针对设计理念认知偏差、重视程度不足的问题，需从多方面入手，强化相关主体对绿色建筑设计理念的认知，提高其重视程度。首先，加强宣传引导，通过行业培训、学术交流、媒体宣传等多种方式，普及绿色建筑设计理念的核心内涵、应用价值与相关技术，让建设单位、设计人员充分认识到绿色设计不仅能实现生态环保，还能降低长期运营成本、提升建筑品质，转变其“重短期效益、轻长期效益”的观念。其次，加强对设计人员的专业培训，提升其绿色设计专业素养与技术水平，鼓励设计人员深入学习绿色建筑相关标准与技术，结合高层民用建筑的特点，创新设计思路，将绿色设计理念全面融入设计全过程。同时，引导设

计人员树立全生命周期设计理念,注重设计、施工、运营的协同配合,确保绿色设计方案的可行性与实效性。

（二）完善绿色设计技术,提升适配性

完善绿色设计技术体系,提升技术与高层民用建筑设计的适配性,是推动绿色建筑设计理念落地的关键。加大绿色设计技术的研发投入,鼓励科研机构、企业与设计单位合作,针对高层民用建筑的特点,研发适配性强、稳定性高、成本合理的绿色节能技术,例如优化太阳能、地热能等可再生能源利用技术,提高其在高层建筑中的应用效率,降低应用成本。其次,加强现有绿色技术的集成应用,引导设计人员将节能、节水、节材、通风采光等各类技术有机结合,根据高层民用建筑的结构特点、功能需求与地域环境,制定个性化的绿色设计方案,实现技术应用的协同效应,最大化绿色效益。例如,结合高层建筑的高度优势,合理设计太阳能集热系统与光伏发电系统,为建筑提供热水与电力;优化建筑体型系数,采用保温隔热性能良好的围护结构,降低空调与采暖能耗;设计合理的自然通风系统,结合机械通风,提升室内通风效果,减少机械通风能耗。

（三）优化绿色建材应用,合理控制成本

优化绿色建材的应用,合理控制成本,是解决绿色建材应用受限问题的核心。首先,加大对绿色建材研发与生产的扶持力度,通过政策补贴、税收优惠等方式,鼓励企业研发生产低成本、高性能的绿色建材,扩大绿色建材的市场供给,丰富绿色建材的种类,满足高层民用建筑的结构安全与使用需求。其次,建立完善的绿色建材质量监管体系,加强对绿色建材生产、销售、使用全过程的监管,规范绿色建材市场,确保绿色建材的质量与环保性能达标,提高设计人员与建设单位对绿色建材的信任度。同时,引导设计人员合理选用绿色建材,结合高层民用建筑的设计需求,在保证绿色效果与结构安全的前提下,优先选用性价比高、适配性强的绿色建材,避免盲目选用高价绿色建材,合理控制初期建设成本^[5]。

（四）加强协同管控,实现全生命周期绿色设计

加强设计、施工、运营各环节的协同管控,实现建筑全生命

周期的绿色设计,是确保绿色建筑设计理念落地的重要保障。建立设计、施工、运营协同机制,明确各环节的责任与分工,加强各环节的沟通与配合,确保绿色设计方案在施工阶段得到有效落实,在运营阶段充分发挥作用。设计人员应参与施工过程的指导,及时解决施工中出现的绿色设计相关问题,避免施工单位擅自修改设计方案;施工单位应严格按照绿色设计方案施工,加强施工过程的绿色管控,减少施工过程中的资源浪费与环境污染。其次,在设计阶段充分考虑运营阶段的需求,结合建筑的使用功能与运营模式,优化绿色设计方案,选用维护成本低、操作简便的节能设备与绿色建材,降低运营阶段的能耗与维护成本。

（五）完善相关标准与政策,强化引导约束作用

完善绿色建筑设计相关标准与政策,强化其对高层民用建筑绿色设计的引导与约束作用,为绿色设计理念的应用提供制度保障。首先,制定针对高层民用建筑的绿色设计专项标准,细化设计指标与要求,结合高层建筑的特点,完善节能、节水、节材、环保等方面的标准内容,为设计人员提供具体的指导,确保绿色设计有章可循。其次,加大政策支持力度,扩大补贴、税收优惠等激励政策的覆盖范围,对采用绿色设计理念的普通高层民用建筑项目给予重点扶持,调动建设单位与设计单位的积极性。同时,建立健全监管机制,加强对高层民用建筑绿色设计实施情况的监督与考核,将绿色设计落实情况纳入项目验收的重要内容,对未达到绿色设计标准的项目不予验收,严厉打击“重形式、轻实效”的行为,确保绿色设计的质量与效果。

结束语:综上所述,绿色建筑设计理念的核心是实现全生命周期的资源节约与环境友好,其在高层民用建筑中应用具有显著的环境、社会与经济效益,但当前仍面临理念认知不足、技术适配性差、绿色建材应用受限、全生命周期管控不足、标准政策不完善等难点。针对这些难点,需通过强化理念认知、完善绿色技术、优化绿色建材应用、加强协同管控、完善标准政策等措施,推动绿色建筑设计理念全面融入高层民用建筑设计全过程。

参考文献

- [1] 徐超. 绿色建筑设计理念在高层民用建筑设计中的应用探讨[J]. 中国建筑装饰装修, 2025(8): 100-102.
- [2] 杭大熙. 绿色设计理念在高层民用建筑设计中的应用途径分析[J]. 建筑与装饰, 2023(21): 29-31.
- [3] 邢叶. 基于绿色建筑理念的高层民用住宅设计探讨[J]. 建筑与装饰, 2022(14): 37-39.
- [4] 徐宏均. 高层民用建筑设计中绿色建筑设计理念的应用[J]. 中国科技投资, 2016(35): 28.
- [5] 杜宇哲. 基于绿色建筑理念的高层民用住宅设计探讨[J]. 产业与科技论坛, 2021, 20(24): 45-46.

住宅建筑工程地下室防水技术管控措施研究

李治奇¹, 高松召², 王海彬², 李果绵², 李子铮²

1. 加拿大多伦多凯谛思设计公司, 加拿大 多伦多 M5B 2C2

2. 中冶焦耐(大连)工程技术有限公司, 辽宁 大连 116085

DOI:10.61369/ADA.2026010030

摘 要 : 伴随着城市化发展进程加快, 住宅建筑的地下空间开发也越来越大。地下室是房屋的一个重要部分, 而地下室防水质量影响到整个建筑物的安全性、寿命以及人们的居住体验, 但是由于地下室防水涉及地质情况、结构设计、材料选用、施工技术和后期保养等方面, 技术要求较高, 漏水现象非常普遍。本文主要探讨住宅地下室渗水的原因, 并就设计、材料、施工、管理和检查等方面给出相应的预防渗水的技术管理建议, 从而提高地下室防水效果。

关 键 词 : 住宅建筑; 地下室防水; 渗漏原因; 管控措施; 刚性与柔性防水

Research on Control Measures for Basement Waterproofing Technology in Residential Construction Projects

Li Zhiqi¹, Gao Songzhao², Wang Haibin², Li Guomian², Li Zizheng²

1. Arcadis Design Company, Toronto, Canada M5B 2C2

2. MCC Coking & Refractories (Dalian) Engineering Technology Co., Ltd., Dalian, Liaoning 116085

Abstract : With the accelerated pace of urbanization, the development of underground spaces in residential buildings has expanded significantly. Basements constitute a critical component of buildings, and their waterproofing quality directly impacts the structural integrity, service life, and occupants' living experience. However, basement waterproofing involves complex factors such as geological conditions, structural design, material selection, construction techniques, and post-construction maintenance, necessitating stringent technical standards and resulting in widespread leakage issues. This paper examines the causes of basement water infiltration and provides technical management recommendations covering design, material selection, construction practices, maintenance protocols, and inspection methods to enhance waterproofing effectiveness.

Keywords : residential buildings; basement waterproofing; causes of leakage; control measures; rigid and flexible waterproofing

引言

地下室常年浸没在地下水或者潮湿条件下, 防水施工质量好坏决定整个建筑物寿命以及安全问题, 在城市化进程日益加快情况下, 地下空间开发越来越广泛, 地下室规模以及复杂性越来越大, 防水问题是困扰设计师和工程师的重大问题。

一、研究背景与意义

随着土地日益紧缺, 在住宅建筑中大量采用地下空间作为停车场、设备用房以及人防工程等。而地下室一般位于地下水位以下或者土壤较为湿润的地方, 如果防水施工质量不佳, 则会出现地下室渗水、钢筋锈蚀、房间内潮湿发霉等问题, 不但降低居住舒适度, 还会对建筑物造成破坏从而降低其承载能力带来危险^[1]。所以制定合理有效的地下建筑防水管理措施十分必要。

(一) 地下室防水的基本原则

依据《地下工程防水技术规范》(GB 50108), 地下防水应

坚持“以防为主、防排结合、刚柔并用、多道防线、综合治理”的原则。就是在满足结构自防水(刚性防水)情况下, 适当增设柔性防水层以及排水措施等, 从而构成多重保护体系。

(二) 防水原则与分级

地下室防水应以“防、排、截、堵”相结合、“刚”与“柔”相结合、因地制宜、综合治理为原则。按建筑物的重要性、使用要求以及水文地质情况不同, 划分为四个等级, 各个等级有不同的规定及适用范围^[2]。其中一级防水要求最高, 用于人员经常活动的重要场所, 例如商场、医院、地铁站厅等; 四级防水用于临时性建筑或者对渗漏要求不高处。设计人员应结合工程所处环境的防水等

级、地下水位高低、土壤性质等进行考虑选择合理的防水措施。

（三）防水材料选型与性能重点

材料是防水工程的基础，其性能优劣直接决定了防水层能否长期有效地发挥作用^[3]。防水混凝土是结构自防水的核心材料。其抗渗等级应根据工程埋深和水头高度确定，工程实践中常采用 C35 混凝土搭配 S8 级抗渗材料。为提升混凝土的抗裂抗渗性能，可在混凝土中掺入 U 型膨胀剂。研究表明，在混凝土中掺入 10% ~ 14% 的 U 型膨胀剂可使混凝土抗渗能力提高 1 ~ 2 倍，达到 S30 等级。温控膨胀抗裂剂等新型功能助剂也开始在实际工程中得到应用，通过对比实验验证其抗裂个。卷材防水是目前应用最广泛的柔性防水层形式。以高聚物改性沥青卷材和高密度聚乙烯（HDPE）卷材为主流^[4]。施工中应注意搭接宽度的把控、基层处理的质量以及铺贴方向的合理性。值得注意的是，预铺反粘型卷材的推广应用，在底板防水层的施工中实现了卷材与主体结构混凝土的满黏结，有效消除了窜水通道。涂料防水包括水泥基渗透结晶型防水涂料、聚氨酯防水涂料、聚合物水泥防水涂料等。水泥基渗透结晶型防水涂料具有独特的自修复功能，当混凝土出现细微裂缝时，涂料中的活性物质遇水可生成不溶性晶体，封堵渗水通道，实现“主动防水”^[5]。

二、住宅地下室防水渗漏原因分析

地下室渗漏的成因可从材料、设计、施工和后期使用四个维度进行分析。材料层面，防水材料质量不达标、进场验收把关不严、材料贮存不当导致性能下降是常见问题。设计层面，防水等级确定不当、防水构造不合理、细部节点设计缺失等问题屡见不鲜。施工层面，基层处理不到位、防水层搭接质量差、保护层施工马虎、混凝土浇筑振捣不密实、养护不到位等因素是渗漏的直接原因^[6]。后期使用层面，地基不均匀沉降、温度应力变化、装修过程中防水层破坏等也导致渗漏发生。

（一）设计层面缺陷

防水等级不够：未结合地下水位、地质情况确定相应的防水等级，或者未考虑丰水期的影响。

细部节点处理不足：对于变形缝、施工缝、后浇带、桩头、穿墙管件等易渗漏部位缺少相应的标准大样或针对性的设计。

排水系统设计不合理：未合理布置盲沟、集水坑或者排水坡度造成水压过大。

（二）材料因素

防水卷材或涂料质量低劣：使用不合格产品，其耐水压差、抗拉强度差、低温柔韧性差以及耐久性差。

材料不相容：不同的防水层之间或者防水层与基层处理剂之间黏接力不够造成脱层。

混凝土材料配合比不合理：为了满足泵送要求而加大水灰比，或者膨胀剂、减水剂等外加剂用量不当造成混凝土自身收缩开裂^[7]。

（三）施工工艺不当

基层处理粗糙：基面不平、起砂、有浮浆或尖锐棱角，易刺

破或影响卷材黏贴。

细部节点施工粗略：后浇带清理不到位、止水带偏位或者损坏、穿墙管套管未封堵。

混凝土浇筑及养护不当：分层浇筑间隔时间较长造成冷缝；振捣不充分引起蜂窝、孔洞；养护不到位导致干缩裂缝。

成品保护缺失：防水层施工之后，后续钢筋绑扎、模板固定等工作未做好成品保护工作，而导致被刺穿或者破坏。

（四）管理与维护缺失

工序验收走过场：未经蓄水或者淋水实验，或者做假实验记录。

缺少动态监控：交付使用之后，对地下室渗漏点未进行定期检查及及时维修，造成小问题积累。

三、地下室防水技术全过程管控措施

对于以上问题，需要在设计、材料、施工、验收、维护等五个方面进行全方位管理。

（一）优化防水体系设计

采用“结构自防水+柔性外防水”双重设防。结构自防水应采用抗渗等级不低于 P6（重要部位不低于 P8）的防水混凝土。底板、顶板以及外墙外侧均应设一道及以上柔性防水层，建议选用性能良好聚合物改性沥青卷材（SBS）或高分子自粘胶膜卷材等提高其耐久性和对位移的适应性^[8]。

（二）强化细部节点设计

后浇带：采用超前止水或设置钢板止水带，且闭合时间不应少于 60d，以降低收缩裂缝可能性。

穿墙管：必须设置钢板止水环，并采用密封胶、套管等进行多重防水措施，避免沿管壁渗水。

桩头：在桩头周围涂抹水泥基渗透结晶型防水涂料，同时对桩筋及混凝土接触部位做好密封处理，形成一个完整的防水节点。

（三）增设辅助排水层

在底板及外墙外侧设置疏水板或盲沟系统，使渗入地面水及时排至集水井内排出，从而减少对防水层静水压力，做到“防排结合”^[9]。

（四）材料选择与进场管控

严格的供应商审核：选择知名且获得 ISO 质量管理体系认证的产品供应商。重要的原材料尽量采用一线品牌。

进场复试制度：每一批次防水卷材、涂料、止水带以及混凝土外加剂均需取样复试，复试内容包括耐水性、拉力、延伸率、不透水性等。

混凝土原材料控制：严格控制水泥用量、水灰比（ ≤ 0.5 ）以及掺入一定量粉煤灰、矿粉以及高效减水剂以减少收缩裂缝。

（五）施工过程的精细化管控

标准基层处理：基层要牢固、平整、清洁、干燥（根据不同的涂料而定）。阴阳角需做成圆角（ $R \geq 50\text{mm}$ ），所有的棱角都要磨平。

重要部位加强处理：所有施工缝、后浇带以及阴阳角等部位均应铺设同种材料500mm宽附加层。止水带位置必须居中、平直，应用铁钉固定牢固，在浇筑混凝土过程中注意不要撞击。

（六）卷材与涂料施工管控

热熔法（SBS）：控制火焰距离以及加热时间，使沥青正好熔化出油为度，切忌烧穿卷材。

自粘法：将隔离膜全部撕除，再用压辊由中间往两边反复滚压排出空气，使卷材牢固地粘贴在基层上。

涂料：分多遍涂刷，待每遍涂层干燥成膜后再进行下一遍施工，直至达到规定总厚度。

（七）混凝土浇筑与养护管控

用补偿收缩混凝土，其限制膨胀率满足要求，应一次性浇筑完毕，不得留施工缝，振捣要充分密实，不得出现漏振、过振现象。养护时间不得少于14d，使用湿麻袋或者浇水养护保证混凝土表面始终处于潮湿状态是预防裂缝最经济也是最容易被忽略的办法^[10]。严格的成品保护工作：防水层验收完成后及时铺设无纺布或者浇筑细石混凝土进行保护，以后施工过程中严禁在防水层上拖拉钢筋或者其他物品。

（八）验收与检测管控

全数蓄水或者淋水试验：底板和平板需做不少于24h蓄水试验（水深≥50mm）；外墙需做不少于24h淋水试验以保证质量。

结构取芯与压力试验：对重要部位的混凝土进行强度、抗渗等级检测，检查结构自防水能力是否满足设计要求。

红外热成像及电法探测：对于大体量地下车库可以采用无损检测方法，在较短时间内准确找到漏水点并及时进行维修处理。

分层验收：每一道工序（基层、附加层、防水层、保护层）进行后，必须经过监理、总包、分包签字认可之后才能进行下一道工序施工，在此期间做好有据可查的照片资料存档，保存验收过程。

（九）使用阶段的维护管控

建立渗漏档案：交付使用一年左右雨季来临之前或者之后，对地下室进行一次全面检查并做好相应位置、范围以及渗漏情况等资料。

及时注浆修补：对已发现裂缝或点漏，利用高压注浆（环氧树脂或聚氨酯浆液）进行加强止水，避免水通过该处造成渗漏面积增加。

定期清理排水系统：每年对集水坑以及排水盲沟进行清理，清除淤积杂物，保证排水顺畅，减少地下水对防水层产生的静水压力。

参考文献

[1]张明阳.地下室防水施工技术优化措施及效果分析[J].四川水泥,2026,(03):122-124.
[2]张林,杨建国.地下室底板防潮防渗疏导排水工法应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(01):144-146.
[3]邱虎.住宅地下室防水设计要点与施工质量控制[J].居舍,2026,(01):112-115.
[4]邹福文,王健浚,邹嘉琳.住宅建筑工程地下室防水施工技术管控措施[J].居舍,2025,(36):44-47.
[5]王乐.高层住宅建筑工程地下室防水结构与施工技术[J].中国住宅设施,2025,(06):208-210.
[6]赵明海.高层住宅地下室防水技术应用研究[J].城市建筑空间,2025,32(S1):304-305.
[7]杨洪杰.地下室防水设计与施工技术要点及质量控制研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(13):145-147.
[8]潘迪涛.高层住宅建筑工程地下室防水结构与施工技术探讨[J].居舍,2025,(07):103-106.
[9]刘通,刘学,朱利那.住宅建筑中地下室防水施工及渗漏防治探讨[J].工程建设与设计,2024,(04):199-201.
[10]顾李浩.建筑工程地下室防水施工质量管理策略分析[J].居舍,2023,(28):153-156+160.

四、结构主体防水技术把控要点

（一）防水混凝土施工质量控制

防水混凝土是实现地下室结构自防水的基础性条件，在地下结构迎水面（底板、外墙、顶板）均应使用防水混凝土，其底板、外墙厚度不应小于250mm，设计裂缝宽度不应超过0.2mm，施工后不应有贯穿性裂缝。从材料上讲则要控制水胶比，一般不超过0.50，还要控制水泥用量、砂率等以提高混凝土的致密度。在施工中要做好对混凝土渗漏检查、预防及处理工作。

五、新技术与应用前景

预铺反粘技术：在地下室底板垫层上预铺高分子自粘胶膜卷材（预铺反粘型），后浇混凝土与其形成满粘，彻底消除窜水通道。此技术对基层要求低，抗破坏能力强。

水泥基渗透结晶防水材料（CCCW）：可作为一道独立的防水层或修补料，其活性化学物质能渗入混凝土内部结晶，封堵微小裂缝，且具有自修复能力。

BIM（建筑信息模型）技术辅助：利用BIM模型进行防水节点的可视化交底，并模拟复杂节点的施工顺序，减少因理解错误导致的施工缺陷。

六、结论

综上所述，住宅建筑地下室防水是一项系统工程，其成败不取决于单一材料或工法，而取决于全过程的精细化管理。渗漏根源在于设计粗放、材料失控、施工马虎与管理缺失，尤其是混凝土养护不足和细部节点处理随意是常见的通病。“结构自防水为根本，柔性外包防水为保障，辅助排水为缓冲”的三位一体设计理念，是目前最可靠的技术路线。管控的核心在于过程：必须建立从进场复验、基层处理、节点加强、标准化作业、严格养护到无损检测的全链条质量控制闭环。应用预铺反粘、水泥基渗透结晶等新技术，并结合BIM可视化与红外成像检测，可显著提升防水系统的可靠性与可维修性。总之，提升住宅地下室防水质量，需要建设、设计、施工、监理各方协同，将防水视为与结构安全同等重要的关键环节，投入足够的成本与时间，严格执行完善与本研究提出的管控措施，方能从根本上根治“十室九漏”的顽疾，打造安全、耐久、宜居的地下空间。

分析住宅建筑设计中的绿色建筑设计应用

杨洁耀

广东工业大学建筑规划设计院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010031

摘 要： 在“双碳”目标推进与生态理念普及的背景下，文章以住宅建筑设计中的绿色建筑设计应用为研究对象，阐述绿色建筑设计的核心内涵与应用原则，分析当前绿色建筑设计在住宅领域应用过程中存在的技术、成本、认知等方面的难点，结合住宅项目规范相关要求，提出针对性的应用措施，探索绿色建筑设计与住宅功能需求的深度融合路径，为住宅建筑绿色化转型提供理论支撑与实践参考，助力建筑领域节能降碳目标的实现。

关 键 词： 住宅建筑设计；绿色建筑设计；应用

Analysis of the Application of Green Building Design in Residential Building Design

Yang Jieyao

Guangdong University of Technology Architectural Design & Research, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Against the backdrop of advancing the "dual carbon" goals and the widespread adoption of ecological concepts, this article focuses on the application of green building design in residential building design. It elucidates the core connotations and application principles of green building design, analyzes the technical, cost, and cognitive challenges encountered in the current application of green building design within the residential sector. By integrating relevant requirements from residential project specifications, it proposes targeted application measures and explores pathways for the deep integration of green building design with residential functional needs. This provides theoretical support and practical references for the green transformation of residential buildings, aiding in the achievement of energy conservation and carbon reduction goals in the construction sector.

Keywords： residential building design; green building design; application

引言

随着我国建筑行业的高质量发展，住宅建筑作为人们生活的核心载体，其设计理念正从传统的功能性导向向绿色低碳导向转变。当前，建筑领域是我国能源消耗和碳排放的主要领域之一，传统住宅高能耗、高排放的问题日益突出。绿色建筑设计以“人与自然和谐共生”为核心，强调全生命周期的资源节约与生态友好，契合国家建筑领域节能降碳的政策要求。将绿色建筑设计融入住宅建筑设计全过程，不仅能降低能源消耗、减少环境污染，还能提升居住舒适度与健康性。

一、绿色建筑设计的核心内涵与住宅建筑应用原则

（一）绿色建筑设计的核心内涵

绿色建筑设计不只是一个环保概念，涵盖了节能、节水、节材、环保、健康等多个方面。核心在于建筑全生命周期内，尽量降低资源消耗和对环境的负面影响，同时提升居住者的生活品质与生态效益。与传统住宅设计相比，绿色建筑设计兼顾“以人为本”与“生态优先”。它不仅看重建筑本身的节能效果，也关注室内空气质量、采光通风、噪声控制等居住体验，还注重建筑与周边自然环境的协调，力求达成“人－建筑－自然”的和谐共存。其主要目标是构建资源高效利用、环境友好宜居、可持续的

住宅空间，响应国家“双碳”目标以及建筑领域节能降碳的发展要求。

（二）住宅建筑中绿色建筑设计的应用原则

住宅建筑中的绿色设计应关注几个核心原则，以保证设计的科学性和实用性。第一，适配性原则。设计要结合项目所在地的气候、地质条件和资源特点，不能照搬照抄。比如北方寒冷地区重点加强保温节能，南方炎热地区则侧重遮阳、通风与隔热。第二，全生命周期原则。绿色设计应贯穿住宅的规划、设计、施工、运营乃至拆除全过程，兼顾前期与后期的节能，减少全过程的资源浪费和环境影响。第三，以人为本原则。不能为了追求节能而牺牲居住舒适度，应优先保障室内采光、通风、隔声等基本

需求，营造健康安全的居住环境。第四，经济性原则。要平衡绿色设计的初始投入与长期节能效益，优先选用技术成熟、性价比高的绿色技术与材料，确保方案便于落地和推广^[1]。

（三）绿色建筑设计在住宅建筑中的应用价值

绿色建筑设计在住宅建筑中的应用，能带来生态、经济和社会三个层面的收益。生态方面，节能技术、水资源循环利用、绿色建材等措施可以降低住宅的能源消耗和碳排放，减少对生态环境的破坏。比如太阳能利用能替代传统化石能源，雨水回收系统能提高水资源利用率。经济方面，绿色住宅的初始建设成本略高于传统住宅，但长期来看，能耗和运维成本降低，可实现收益回报。同时绿色住宅在市场上更具竞争力，能提升房屋附加值。社会方面，绿色住宅为居住者提供更健康、舒适的居住环境，符合人们对美好生活的需求，也能推动建筑行业绿色转型，助力国家节能降碳目标，树立可持续发展的社会理念。

二、住宅建筑设计中的绿色建筑设计应用难点

（一）绿色设计理念认知不足，重视程度不够

当前，绿色建筑设计理念在住宅建筑领域的普及度仍有待提升，设计单位、开发商与消费者对其认知存在偏差，导致应用推进受阻。部分设计单位仍沿用传统设计思路，将绿色设计简单等同于“绿化种植”，忽视了节能、节水、节材等核心内涵，缺乏对全生命周期绿色设计的系统考量。多数开发商受利益驱动，更注重住宅的开发速度与销售利润，认为绿色设计会增加建设成本，且短期难以看到经济效益，因此对绿色建筑设计的投入不足，甚至刻意规避相关设计要求。此外，消费者对绿色住宅的认知也较为片面，多数人更关注住宅的价格、户型与地理位置，对绿色设计带来的节能效益、健康价值认知有限，支付意愿不足，难以形成市场层面的有效拉动，进一步制约了绿色建筑设计在住宅领域的广泛应用^[2]。

（二）绿色技术集成不足，本土化适配性较差

绿色建筑设计的落地离不开成熟的绿色技术支撑，但当前我国住宅绿色设计中存在技术集成不足、本土化适配性差的问题。一方面，部分设计方案存在“技术堆砌”现象，设计人员缺乏对绿色技术的系统了解，盲目引入各类绿色技术，却未考虑技术之间的协同性与住宅的实际需求，导致技术应用与住宅功能脱节，难以发挥预期的节能作用，甚至增加了建筑的运维难度。另一方面，现有绿色技术多借鉴国外经验，缺乏针对我国不同地域气候、地质条件的本土化优化，例如北方地区引入适用于南方的遮阳技术，不仅无法实现节能目标，还会影响住宅的采光效果。同时，部分绿色技术的成熟度不足，如部分新型节能材料的耐久性、稳定性有待提升，相关技术的施工工艺不够完善，进一步影响了绿色设计的应用效果与推广力度^[3]。

（三）初始建设成本偏高，成本收益平衡困难

初始建设成本偏高是制约绿色建筑设计在住宅领域应用的关键难点之一。与传统住宅相比，绿色住宅需要采用高性能节能材料、先进的节能设备与可再生能源系统，如石墨烯外墙保温板、

双层 Low-e 中空玻璃、太阳能光伏系统等，这些材料与设备的采购成本远高于传统产品，导致绿色住宅的初始建设成本普遍比传统住宅高。对于开发商而言，绿色设计的增量投资难以通过短期销售溢价收回，且当前市场缺乏对建筑全生命周期成本效益的普遍认同，多数开发商更倾向于压缩前期造价，而非考量长期节能带来的经济效益。此外，绿色住宅的节能效益需要长期运营才能体现，而消费者对长期节能收益的认知不足，不愿为绿色设计支付额外费用，进一步加剧了成本收益的平衡难度，导致多数开发商缺乏推广绿色建筑设计的动力。

（四）专业人才匮乏，设计水平参差不齐

绿色建筑设计对设计人员的专业素养要求较高，需要设计人员具备建筑、节能、生态、环保等多领域的综合知识，能够结合住宅的功能需求与绿色理念，制定科学合理的设计方案。但当前我国建筑行业中，具备绿色建筑设计能力的专业人才较为匮乏，多数设计人员仍停留在传统建筑设计的思维模式，缺乏对绿色建筑设计的技术、节能标准、环保材料的系统学习与实践经验，难以应对绿色建筑设计的复杂需求。同时，不同设计单位的设计水平参差不齐，部分小型设计单位缺乏绿色设计的技术实力与资源，设计方案缺乏科学性与可行性，导致绿色建筑设计的应用质量难以保障，进一步影响了绿色住宅的口碑与推广。

（五）政策监管不完善，落地执行力度不足

尽管我国已出台相关政策与标准，明确了住宅建筑绿色设计的要求，但政策监管体系仍不完善，落地执行力度不足。一方面，部分地方政府对绿色建筑设计的监管缺乏细化的执行细则，对住宅项目的绿色设计审查、施工监督、竣工验收等环节把控不够严格，存在“重形式、轻实效”的现象，部分项目为获取绿色建筑认证，仅在设计阶段满足相关要求，施工与运营阶段并未严格落实，导致绿色设计流于形式。另一方面，政策激励机制不够完善，对推广绿色建筑设计的开发商、设计单位缺乏足够的财政补贴与税收优惠，难以调动其积极性。

三、住宅建筑设计中的绿色建筑设计应用措施

（一）强化理念宣导，提升各方重视程度

推动绿色建筑设计在住宅领域广泛应用，需要先强化理念宣导，提高设计单位、开发商和消费者的认知与重视。政府相关部门可加大宣传力度，通过行业展会、专题培训、媒体等多种形式，普及绿色建筑设计的核心内涵、应用价值及相关政策标准，让各方了解绿色设计对节能降碳和提升居住品质的意义。对设计单位而言，应加强绿色设计理念培训，引导设计人员转变传统思维，树立全生命周期绿色设计观念，将绿色设计融入住宅设计的各环节。对开发商来说，可通过政策引导与市场培育，使其认识到绿色住宅的长期经济效益与市场竞争力，鼓励加大绿色设计投入。对消费者，要普及绿色住宅的节能优势与健康价值，提高其认知度与支付意愿，从而形成需求与供给相互促进的市场环境。

（二）优化技术集成，提升本土化适配能力

当前绿色技术集成不足、本土化适配性较差，需要优化技术

集成模式，提高本土化适配能力。设计人员应结合住宅项目的地域特征、气候条件和功能需求，制定适合的技术集成方案，注重各类技术之间的协调，避免简单堆砌。例如北方寒冷地区重点采用围护结构保温、太阳能采暖等技术，南方炎热地区则强化自然通风、遮阳隔热、雨水回收等措施。同时要加强绿色技术的本土化研发与推广，鼓励企业针对我国不同地域特点，研发适配性强的技术和材料，比如针对夏热冬冷地区的节能门窗、针对多雨地区优化的雨水回收系统。此外，可推广已有成功案例，如雄安新区创新坊、苏州朗诗绿色街区等项目的技术组合，为住宅绿色设计提供实践参考。

（三）优化成本控制，平衡成本与收益关系

要有效解决绿色设计初始建设成本偏高的问题，可以通过多种方式优化成本控制，平衡成本与收益关系。政府应加大政策支持力度，出台财政补贴、税收优惠等措施，对采用绿色设计的住宅项目给予适当补贴，降低开发商的初始投入成本。同时完善绿色建材产业链，积极扶持绿色建材生产企业，降低建材与设备的采购成本。设计单位应在保证绿色效果的前提下，优先选用性价比、技术成熟的材料和技术，避免盲目追求高端技术而增加成本。还要注重全生命周期成本控制，通过优化设计减少后期运维费用，显著提升绿色住宅的长期经济效益。开发商可优化定价策略，突出绿色住宅的节能与健康优势，合理提高销售价格，从而实现成本回收与利润增长的平衡。

（四）培育专业人才，提升绿色设计水平

专业人才对绿色建筑设计落地起关键作用，需加大培育力度，持续提高绿色设计水平。高校应优化建筑专业课程，增设绿色建筑设计、节能技术、环保材料等课程，培养综合素质好的绿色设计人才。同时加强校企合作，鼓励学生参与绿色住宅项目设计实践，提升实操能力，积累现场经验。对现有设计人员，要定

期组织绿色建筑设计专题培训和技术交流，引导其学习先进理念、技术与标准，有效提高专业素养和设计能力，更好适应行业发展需求。还可建立绿色建筑设计人才评价体系，鼓励设计人员考取绿色建筑设计师等职业资格，规范从业行为，从而提升行业整体设计水平，保证绿色设计方案的科学性和可行性。

（五）完善政策监管，强化落地执行力度

政策监管体系是否完善，直接关系到绿色建筑设计能否真正落地，因此需要健全监管机制并强化执行力度。政府相关部门应细化绿色设计的监管细则，把住宅项目在设计、施工、验收、运营等环节的绿色要求一一明确。各环节的监督检查也要加强，对未按绿色设计要求实施的项目，应按有关规定处理，让绿色设计真正落到实处。同时要完善绿色建筑评价体系，优化评价指标，把设计效果与实际运营效果结合起来。绿色住宅运营阶段的能耗监测与后评估需要加强，以保证实际节能效果与设计目标一致。此外还可以加大政策激励，对绿色设计达标、节能效果明显的项目给予更多政策支持。这样能调动设计单位和开发商推广绿色建筑的积极性，推动住宅建筑绿色化转型不断深入。

四、结束语

综上所述，强化理念宣导、优化技术集成、控制建设成本、培育专业人才、完善政策监管等针对性措施。绿色建筑设计在住宅领域的应用是一项系统工程，需要设计单位、开发商、消费者与政府部门的协同发力，不断优化设计方案、完善技术体系、健全监管机制，推动绿色建筑理念在住宅设计中广泛落地，助力建筑领域节能降碳目标实现，为人们提供更健康、舒适、环保的居住空间。

参考文献

- [1] 曹敏. 谈住宅建筑设计中的绿色建筑设计应用 [J]. 建筑与装饰, 2020(7): 17-20.
- [2] 李江. 高层住宅建筑设计中的绿色建筑设计应用的思考 [J]. 居业, 2024(6): 106-108.
- [3] 王思雅. 绿色建筑设计理念在装配式住宅建筑设计中的应用探讨 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025(16): 79-81.
- [4] 毋倩倩. 绿色建筑设计理念在住宅环境方面的分析应用 [J]. 建筑·建材·装饰, 2025(13): 136-138.
- [5] 魏灵钊. 住宅建筑设计中的绿色建筑设计应用探讨 [J]. 门窗, 2022(19): 28-30.

建筑工程管理的关键影响因素及其系统化管控策略

周利涛

中山公用工程建筑有限公司, 广东 中山 528400

DOI:10.61369/ADA.2026010032

摘 要： 建筑工程管理受人为因素、材料质量、监管力度及竣工环节等多方面影响。施工人员素养、决策者能力直接影响项目质量与效率。劣质材料与监管缺位会埋下安全隐患。竣工阶段流程不规范则加重后期风险。针对这些因素，可采取现代化管理手段、完善施工管控体系、强化材料品质检验、落实全程监督、加强人员培训及优化核算机制等策略。通过系统化管控，能有效提升管理水平，保障工程进度与质量，减少资源浪费，推动建筑项目安全有序开展。

关 键 词： 建筑工程管理；影响因素；管理策略

Key Influencing Factors in Construction Project Management and Systematic Control Strategies

Zhou Litao

Zhongshan Public Works Construction Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract： Construction project management is influenced by various factors, including human elements, material quality, supervision intensity, and completion processes. The competence of construction personnel and decision-makers directly impacts project quality and efficiency. The use of inferior materials and inadequate supervision can create safety hazards. Non-standard procedures during the completion phase increase risks in the later stages. To address these factors, strategies such as adopting modern management techniques, improving construction control systems, strengthening material quality inspections, implementing comprehensive supervision, enhancing personnel training, and optimizing accounting mechanisms can be employed. Through systematic control, management levels can be effectively enhanced, ensuring timely project progress and quality, reducing resource waste, and promoting the safe and orderly execution of construction projects.

Keywords： construction project management; influencing factors; management strategies

引言

建筑工程管理直接影响质量、安全与效益。当前行业快速发展，但管理中存在人为、材料、监管及竣工等问题。人员素养不足、劣质材料、监督缺位及验收不规范，易引发安全隐患与资源浪费。如何识别关键因素并制定有效对策，是提升管理水平的核心课题。针对上述问题，需要从现代化管理手段、施工管控体系、材料品质检验、全程监督、人员培训及核算机制等方面入手，构建系统化的管理策略，从而保障工程顺利推进，促进建筑行业健康发展。

一、建筑工程管理涵盖的主要内容

（一）施工管理

施工管理，是指建筑工程在建设阶段需要开展的各项管控工作。这项工作贯穿工程建设的整个过程。它既要调和和安排人力、机械、物资，也要组织与监督各类技术工序。

管理人员应熟悉项目建设流程，掌握各阶段的成本投入状况，合理规划施工活动。这样可保障工程平稳有序，减少资源浪费。结合项目实际情况，持续优化管理体系，将责任明确到每个岗位。同时协调好部门之间的协作，强化安全检查和监督。合理调度施工资源，加强整体统筹与监管。最终确保工程进度与质量

达到预期标准^[1]。

（二）预算管理

预算管理对建筑项目的建设投入影响较大，应引起各方重视。预算所采用的定额标准要结合本地市场实际情况，加强调研，让工程预算更贴近建设期间的真实支出。开展预算管理工作时，要充分考虑资金超支的可能，提前制定应对方案，以保障整体建设效率。同时，管理人员要定期对比预算与执行数据，及时发现偏差并调整策略，避免后期出现资源缺口。只有把预算控制落实到每个环节，才能确保项目资金流动合理有序，为后续施工提供稳定的财务支撑。

（三）安全管理

整个建筑工程要想平稳有序地推进，就需要增强安全管控的

力度，持续完善安全监督方面的制度体系。建设过程中，管理人员要细致查验各类材料与机械设备，对工程涉及的“三类人员”开展系统性的教育培养。机械操作人员必须取得相应的从业资格之后，才能上岗执行任务，并且严格依照作业规程操作。要提升全体人员的安全观念，在施工现场安排专职安全员，负责保障现场作业的良好秩序。同时，定期组织安全隐患排查工作，提前制定应急处理方案，配备必要的防护设施，确保任何施工环节都能在安全环境中进行。

二、建筑工程管理的影响因素

（一）人为因素

建筑工程量大，实际施工中涉及的作业工序多，现场人员数量也相当多。施工人员的技术水平和质量意识，直接影响建筑项目的最终质量。因此，人为因素在施工管控中处于关键地位。

决策者要有扎实的技术能力，也要有全面的综合素质。这样才能兼顾安全监管、质量控制、资金管理等方面，使施工方案更加科学合理。不然的话，决策失误就会对施工过程产生不良干扰，甚至引发后续一系列问题。同时，还要重视一线作业人员、各级管理者以及整个施工队伍的整体水准。这些人的作业速度、组织能力和协作状况会直接影响项目的施工效率与经济效益。可以说，人为因素是施工质量的核心管控要素。为了减少人为失误带来的风险，各方应当加强岗前教育，明确各自职责，并建立顺畅的沟通机制。只有把每一个人的责任落实到位，才能有效提升整体施工水平，确保项目顺利推进^[2]。

（二）施工所用材料质量问题

当前，许多施工单位在建设期间并未严格检查建筑材料的品质。这些单位为了降低开支、控制成本，往往选择使用大量不达标的材料。这样做是为了追求更高的利润。

劣质建材会降低建筑项目的整体品质，给工程带来潜在危险，也使安全风险上升。如果材料强度不足或耐久性差，后续维修和改造将消耗更多资源。

还有很多单位在采购材料时，习惯购买那些价格较低但品质较差的劣质产品。这种做法导致整个施工过程缺乏可靠的材料基础。没有合格的材料做支撑，后续任何管理工作都会变得困难。比如，进场检验环节流于形式，现场保管不善导致材料进一步劣化，或者施工人员无意中使用了不合格产品。这些情况相互叠加，就会让工程质量失去基本保障。只有从源头严把材料关，建立供应商审核机制，加强进场复检，才能避免上述问题。

（三）建筑工程监管因素

建筑项目要顺利推进，离不开政府、行业机构、建设单位与施工企业的共同监督。监管工作的力度和成效，能直接促进项目管理能力的提升。

在实际操作中，政府部门常出现监督不到位的情况，重视程度也有欠缺。行业管理机构存在制度不健全、标准执行不力等问题。建设单位普遍管理能力偏弱，缺少专业的工程管理人员。施工企业在建设过程中容易忽略整体监督与控制，提升管理水平的

主动性不强。各方应当强化自身责任。政府要增加巡查，行业机构要完善规章并严格执行，建设单位要培养管理团队，施工企业要树立主动管控的意识。只有多方协同，才能有效提高建筑项目的整体管理水准。

（四）竣工环节的影响

有的项目施工做法不合规，或未办理必要手续就自行建造。部分项目经过多次分包，审核流程流于形式，验收结果也不符合合同约定。另外，有些施工图纸与最初设计存在差异，工程结束后又反复修改图纸，施工进度也频繁变动。这些情况共同给工程埋下许多安全风险。上述问题都会加大后期竣工检验的难度。竣工检验原本是严格把关品质的关键关口，如今却失去管控质量的重要作用。这样一来，所有质量责任就完全落到后续业主身上，给后续业主带来不少风险。各方若不在建设过程中加强监督，就会让后期验收形同虚设，最终损害使用者的利益^[3]。

三、建筑工程管理的管理策略

（一）充分应用现代化管理手段

在当前信息化时代背景下，计算机网络系统给人们的生活的各个方面带来许多便利。建筑工程施工也不例外。管理团队可以充分利用网络系统的高效特性，以此提高建筑项目的管控水平，把管理计划落实到每一个环节。

针对相关工作人员的调度与安排，信息技术的运用可以让这项工作更加条理化。管理人员能够更清楚、更明确地分配各项任务，让工作人员更透彻地了解自身职责，从而主动积极地投入实际工作当中。在施工项目完成后的验收阶段，借助信息化管理技术，相关人员可以获得一个更加完整、综合的资料整合平台。这个平台有助于全面收集各类工程资料，针对项目中可能存在的问题展开分析，并及时采取措施加以处理。这样做可以避免许多不必要的麻烦，大幅提升管理人员的工作效率，同时对整个项目的成果质量也有正向推动作用。信息化手段还能形成可追溯的记录，方便日后查阅与总结，为类似项目提供参考依据

（二）搭建规范有序的施工管控体系

在施工阶段，各方需要构建起恰当有序的项目施工管控架构，同时充分了解建筑项目施工的实际状态，设立完善的项目管理组织并精心挑选作业人员。这样才能让建筑项目施工管理效果得到最大程度的发挥。施工单位也要安排相关的管理任务并健全相应的管理体系，以此推动施工管理更加规范有序。在此基础上，厘清建筑工程施工期间的责任划分，使建筑项目的管理责任真正落实到具体人员身上。此外，还要定期检查各项制度的执行情况，对发现的问题及时调整，确保制度不走形式。只有把管理要求融入日常操作的每一个细节中，才能为后续工作打下坚实基础，减少因责任不清而引发的混乱^[4]。

（三）加强施工材料的品质管控

建筑工程施工单位需要保证所使用的施工物资符合相关标准。采购环节必须严格管理，采购人员应选择口碑良好、产品质量过硬的供货商，并依照建筑工程施工规范进行采购，杜绝购买

劣质材料的情况发生。

物资到达现场之后,管理人员要对进场材料进行质量检验。只有确认施工物资质量合格,才允许这些物资进入场地并投入使用。这种做法可以有效促进建筑工程施工质量的提升。在此基础上,管理人员还要定期对施工设备进行维护与保养,确保施工设备保持良好的运行状态。设备性能稳定,就能显著提高建筑工程施工质量与安全性。此外,还应建立完整的物资台账,记录每一批材料的来源、检验结果和使用去向。对于关键材料,可以留存样品备查。现场堆放要注意防潮、防锈、防晒,避免材料在存放期间变质。只有从采购到使用的每一个环节都严格把关,才能为整个工程提供坚实的物资基础,减少因材料问题引发的质量事故。

(四) 强化全程监督以提升管控效果

落实监督工作对于促进建筑工程管理取得良好成果非常必要。这项监督覆盖施工过程的每一个阶段,是一项重要的管理任务。

各方需要在设计环节、检测环节、材料采购环节以及实际建设环节都执行严格的监督制度。这样才能全面提高建筑工程的管理质量。严格执行监督工作不仅能保障总体施工质量,还能让施工流程更加规范有序。这种做法可以有效避免操作不当引发的安全隐患。为了增强监督效果,管理团队可以建立定期巡查机制,安排专人记录执行情况。发现问题及时通报并限期整改。所有检查资料妥善保存,方便日后追溯。通过这种全过程严格管控,就能减少管理盲区,确保建设项目在安全有序的状态下推进,最终获得令人满意的成果。

(五) 提升人员素养与培训力度

要保障建筑工程的质量成果,就需要引入更多具备专业能力的人员参与建设过程。项目方可以采用公开招聘等方式,根据不同项目类型与标准来选用合适的人才,以此确保项目管理的有效性与专业性。

选好人员之后,就要结合实际需求,强化管理目标,增强队伍的建设力度,推动施工团队中的每个人都能认真履行职责。对于普通员工来说,可以要求其保持服从意识,按照相关规范操作,减少问题发生的几率。管理人员也要增加专业知识和经验的

积累,通过不断改进自身能力,来促进整体管理工作的有序性与科学性提升。

培训工作要贯穿整个施工过程,定期组织技能考核与安全教育活动。对于表现优秀的员工可以给予适当奖励,激励大家积极进取。还可以建立师徒帮带机制,让老员工带着新人熟悉现场环境和工作流程,缩短适应期,减少因经验不足引发的失误。只有把人员培训和管理者提升结合起来,才能形成一支稳定可靠的施工队伍,为项目的顺利推进提供坚实的人力保障。

(六) 加强核算机制科学化

核算数据是建筑工程管理工作的关键组成部分。许多施工企业在实际作业中,只顾着在工期内完成任务,却忽视了整个方案相关数据的核算工作。这种做法引发施工期间出现许多问题,反而造成更严重的后果,拖慢了整体进度,得不偿失。

通常来说,核算体系需要计算的内容包含工期核算、成本核算、资金预算、损失核算等多个方面。核算工作也需要借助专业且科学的方法,推动核算体系的优化与改革,使之更加合理规范,对提升建筑工程管理水平具有重要作用。企业可以设立专门的核算小组,明确每个项目的负责人与时间节点,定期对比实际支出与预算差距,及时调整计划。引入信息化工具可以减少人工差错,将核算结果与绩效考核挂钩,增强全员成本意识。只有把核算工作做实做细,才能避免数据混乱引发的管理失误,确保项目顺利推进^[9]。

四、结束语

建筑工程管理涉及多重影响因素,包括人为操作、材料质量、监管体系等。这些因素若把控不当,易引发质量缺陷与安全风险。通过现代化管理手段、搭建有序的施工管控体系、严格材料品质检验、强化全程监督、提升人员素养以及优化核算机制,能够有效应对各类问题。系统化的管理策略有助于保障工程进度与质量,减少资源浪费,降低后期风险。只有在各个环节落实精细管控,才能推动建筑项目安全高效运行,为行业可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 申浩言. 建筑工程管理的影响因素及其管理策略 [J]. 砖瓦世界, 2021(14): 203.
- [2] 王广收. 建筑工程管理的影响因素及其管理策略 [J]. 灌篮, 2020(35): 113-114.
- [3] 刘善伟. 建筑工程管理的影响因素及其管理策略 [J]. 居业, 2020(5): 139-140.
- [4] 王大军, 赵红梅. 建筑工程管理的影响因素及其管理策略 [J]. 建材发展导向(上), 2020, 18(5): 335.
- [5] 王炜. 建筑工程管理的影响因素及其管理策略 [J]. 中国战略新兴产业, 2020(12): 214.

建筑工程中无机非金属材料水泥与混凝土的检测

王春阳

中铁十八局集团第三工程有限公司, 湖北 襄阳 072750

DOI:10.61369/ADA.2026010034

摘 要 : 大跨度、高层化已然成为现代建筑行业发展的主要方向, 对于建筑工程结构材料提出了更高的要求。水泥与混凝土作为建筑工程中的无机非金属材料, 材料质量高低很大程度上影响工程结构整体耐久性和承载能力, 而材料检测则是把控材料质量的基础前提。故此文章主要围绕建筑工程中无机非金属材料, 水泥与混凝土的检测工作进行探究, 再认识。

关 键 词 : 无机非金属材料; 材料; 混凝土; 检测

Testing of Inorganic Non-metallic Materials Cement and Concrete in Construction Engineering

Wang Chunyang

The Third Engineering Co., Ltd. of China Railway 18th Bureau Group, Xiangyang, Hubei 072750

Abstract : The development of the modern construction industry is primarily oriented towards large-span and high-rise structures, placing higher demands on structural materials used in construction projects. As inorganic non-metallic materials in construction engineering, the quality of cement and concrete significantly influences the overall durability and load-bearing capacity of engineering structures, with material testing serving as the fundamental prerequisite for ensuring material quality. Therefore, this article mainly focuses on exploring and re-evaluating the testing of inorganic non-metallic materials, specifically cement and concrete, in construction engineering.

Keywords : inorganic non-metallic materials; materials; concrete; testing

水泥和混凝土是建筑领域代表性的无机非金属材料, 更是建筑工程建造中耗量较大的几种材料之一。水泥材料主要经由水化反应, 将骨料、砂石、水等材料混合在一起, 为混凝土的力学强度提供基础保障。混凝土则具有耐久性和可塑性等优势特点, 已然成为现代建筑领域中不可或缺的结构材料。但在具体建筑工程施工中, 却由于配合比设计不当或原材料质量把关不严等因素影响, 容易出现后期建筑混凝土结构强度不足, 诱发渗透和坍塌等事故, 严重威胁人员生命财产安全。故此, 运用科学合理的检测手段, 对建筑工程中的水泥与混凝土材料进行全方位的检测, 已然成为提升建筑工程质量和服役寿命的重要路径。

一、建筑工程中水泥与混凝土检测的重要性

(一) 保障工程结构安全

保障工程结构安全是建筑工程施工管理的核心目标之一。水泥与混凝土作为建筑工程中主要的承重构件材料, 若材料质量不高, 将严重威胁工程结构安全。凝结时间、强度以及体积安定性等是衡量水泥整体性能的主要指标, 若某一项指标不符合要求, 不仅可能导致混凝土无法达到设计强度, 还会使后期施工出现异常凝结现象; 水泥安定性和强度不足, 后期混凝土结构可能出现开裂破坏和坍塌等安全事故。故此, 加强材料进场检测以及后期施工过程的复检, 有助于全方位把控水泥质量, 力求最大程度上规避安全风险的出现。与此同时, 混凝土在拌和运输以及浇筑过程中, 可能受多种因素影响出现泌水和离析等问题, 情况严重下甚至导致混凝土结构承载力下降^[1]。通过选择科学合理的检测技术, 精准检测混凝土中含气量, 坍落度等各项参数是否符合设计

标准, 若不合格, 则禁止投入施工, 避免混凝土配合比设计不合理或浇筑不密实等诱发结构缺陷; 混凝土硬化后组织抗折强度和抗压强度检测, 重点检验混凝土结构是否达到设计承载力, 若不符合要求, 则需重新返工^[2]。

(二) 支撑工程结构功能发挥

在建筑工程前期设计环节, 建筑师往往结合不同建筑物的环境条件和使用功能等要求, 设定合理的材料性能指标。如要求混凝土设计强度等级在 C30 或 C50 等; 抗渗等级 P6 或 P8 等; 抗冻等级 F100 或 F200 等。只有对混凝土材料进行系统化检测, 才能全方位保证其性能符合设计标准。通过混凝土的标准试块抗压强度试验或养护强度检测等方法, 便于精准判断混凝土的强度是否符合设计标准, 确保结构在后期使用中具备足够的承载力。针对水工结构或地下工程等建筑物, 其混凝土材料的抗冻性和抗渗性等指标要求更加严苛。其中抗冻性能是指建筑物在寒冷地区下, 能避免冻融循环出现强度下降或剥落等问题; 抗渗性则是有效抵

御地上或地下水分侵蚀,避免结构渗漏诱发钢筋锈蚀问题^[3]。

(三) 实现材料合理化配置利用

材料的合理化配置与利用,主张在不影响混凝土整体的耐久性强度等基础前提下,尽可能减少水泥用量,降低施工成本,从而带来更加理想的经济效益。具体需要加强水泥细度、凝结时间、强度发展规律以及混凝土性能检测,对比评析不同品种水泥与掺合料组合的适配性;在不影响混凝土整体强度基础上,适当减少水泥材料的总量,反之提高矿粉和粉煤灰等材料的用量,以此增强工业废弃资源的利用率;调整不同类型的外加剂,改善混凝土整体性能。通过科学合理的检测,能够规避过分追求强度或降低成本而盲目调整水泥用量的问题,形成科学合理的材料配置方案,从而有效平衡工程质量、资源损耗以及施工成本之间的关系^[4]。

二、建筑工程中水泥材料的检测

(一) 检测准备工作

水泥属于混凝土材料中的重要组成部分,水泥各项性能是否合乎要求,直接关系混凝土整体性能与强度^[5]。因此,材料在进入施工现场前需严格遵循《水泥细度检验方法筛析法》《通用硅酸盐水泥》等标准进行检测,确保其各项指标合乎要求。检测的前期准备阶段主要包含以下几个环节:①取样和封存:该环节主要从同一批材料中随机抽取20个不同位置的样品,每个样品量均在12kg以上,并将样品充分混合后平均分为两份,分别用于检测和备用;②检验环境控制:设定标准养护环境,通常检测环境温度在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$,相对湿度在50%以上;③检验仪器检定:检测前对振实台、试验机以及养护箱等设备进行检定,确保仪器设备检测精度合乎标准,可正常使用;④材料准备:检测前准备适量合乎标准的蒸馏水和标准砂,使用0.9毫米的方孔筛筛选水泥样品,最后将样品在实验室放置一段时间^[6]。

(二) 水泥核心性能检测方法

1. 物理性能检测

加强水泥的物理性能检测,重点保障水泥在施工前期的性能表现,具体指标包含了细度、标准稠度用水量以及体积安定性等方面。具体如下:①细度检测:运用方孔筛进行负压筛析检测,先称量25g的试样,将其放置于洁净的负压筛中筛析2分钟后,随后对剩余物质量称量,获得筛余百分比数值,即水泥的细度;②标准稠度用水量检测:工作人员选择维卡仪法进行检测,根据试杆的下沉深度反馈水泥净浆稠度达到标准时所需要的水量,为后续水泥安定性检测提供依据;③体积安定性:选择标准法检测水泥的体积安定性,将采集的水泥试样置于沸水中不少于3h,根据唐氏夹指针尖端距离变化量评定水泥安定性是否合乎标准,若不符合要求会导致水泥后期开裂,影响混凝土结构硬度,需重新调配^[7]。

2. 耐久性检测

耐久性是衡量水泥性能的一项重要指标,若其耐久性不足,则会降低后期混凝土结构的强度、抗渗性和抗压性,缩短混凝土结构的使用寿命。具体检测主要包含以下几点:①化学指标检

测:关于水泥化学指标检测,主要有三氧化硫、不溶物、氯离子含量等,根据检测条件 and 需求,可灵活选择重量法或EDTA滴定法,避免氯离子含量高导致后期混凝土结构的钢筋锈蚀,或三氧化硫过高,导致后期混凝土开裂;②抗渗性能检测:采用砂浆抗渗实验方式检测水泥材料的抗渗性是否符合要求,具体选择水泥净浆进行逐级加压,检测水泥基的透水压力以及孔隙特征,一些性能优良的水泥材料的抗渗等级可达到P8以上;③抗裂性检测:提前准备符合标准的水泥胶砂试件,将其放置在恒湿恒温条件下检测1d、3d、7d等不同龄期的长度变化,根据采集的数值计算得到水泥收缩率,该数值越高、后期混凝土结构开裂的几率越高,影响整体结构安全;④抗冻性能检测:部分北方地区的建筑往往需要对水泥进行抗冻性的检测,性能不达标则会影响建筑物的抗寒性能,具体将制备的水泥胶砂试件进行快速冻融试验,需要保证试件至少25次无明显损坏^[8]。

3. 力学性能检测

水泥材料的力学性能检测,主要用于反馈水泥等级和承载力。在水泥试件制备中,将水泥、标准砂以及水几种材料,按照1:3:0.5制成胶砂,随后使用搅拌机充分搅拌后以两层装入三联试模中,经过60次振动后刮平,送入温度 20°C 、湿度不小于90%的养护箱中进行养护,养护时间20h~24h,随后将试件转移至温水中继续养护,直到3d、28d龄期。运用水泥电动抗折机以三点弯曲的方式对试件施加荷载,记录试件断裂时的破坏荷载值,公式如下:

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3}$$

公式中L、b分别为支座的间距以及试件的断面边长,计算3个试件的平均值,其中两个试件达到了平均值 $\pm 10\%$ 以上即全部重新制作、重新检测。经过抗折强度试验后,使用压力试验机按照2.4kN/s的速率对断裂的6个板块试件进行抗压试验,抗压强度的计算公式如下:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

计算试件的平均值,若一个半块试件的抗压强度超出了平均值 $\pm 10\%$,可计算其他试件的平均值,若2个板块的抗压强度均超出则需全部重新制作。

三、建筑工程中混凝土的检测

(一) 前期准备工作

混凝土检测前期准备工作中,由于混凝土的破坏性和时效性等特点,需要准备工作高效且准确,以便保证所制作的试件能够精准反馈混凝土各项性能^[9]。在混凝土浇筑区域随机抽取混凝土试样,每100盘中获取的混凝土不超过100m³。通常情况下,标准的混凝土试件为立方体,其尺寸规格为150mm $\times$ 150mm $\times$ 150mm。在混凝土试验过程中。检测用的试件制备完成后,使用一层防水的塑料薄膜包裹,随后将其放置在

20℃环境下48h后拆模，并对拆模后的成型试件标注强度等级和工程名称等信息。准备混凝土灌入阻力仪，压力试验机检测仪器设备，并且在检测前确保设备校准无误，检测数值符合实际情况；设置20±2℃的标准养护条件，相对湿度不小于95%，将试件按照一定间隔统一放置在支架上，以免淋水影响检测数据精度^[10]。

（二）混凝土核心性能检测方法

1.和易性检测

和易性是混凝土性能评估的重要指标之一，关系着混凝土后期的硬化结构匀质性，主要检测指标为坍落度和坍落扩展度。该检测项目主要聚焦坍落度处于10mm ~ 220mm范围内的塑性混凝土。将充分湿润的坍落度测量桶放置在刚性底板上，并双脚踩住底板保持稳定；将混凝土按照三层装填，确保每层充分振捣25次后才可以进行下一层，随后抹平表面；将坍落度筒垂直缓慢的提起，但需要保证这一过程在2分30秒内完成。随后测量试件最高点与筒高之间的高度差异，以此获取混凝土的流动性；检测混凝土试体底部最大直径和垂直方向直径，计算得到的平均值高低，则直接反映了混凝土的抗离析性能。在检验过程中，如果出现混凝土试体某部分破坏或崩塌，则需要重新取样检测。

2.力学性能检测

保证混凝土的力学性能，对于后续混凝土结构安全与稳定至关重要。在标准养护条件下的混凝土试块，将其表面充分清洗干净，获取精准尺寸，将其放置在压力试验机中心位置，保持0.3MPa/s ~ 0.5MPa/s的压力连续、均匀的施加荷载，直到试块

完全断裂，记录断裂时的荷载压力F。具体采用以下公式计算混凝土抗压强度 f_{cu} 。

$$f_a = \frac{F}{A}$$

公式中的A表示试件承受压力的面积大小，计算3个试块强度平均值。

3.耐久性检测

混凝土耐久性检测主要包括抗渗性和抗冻性能等。其中抗渗性能检测用于评估其抵御压力水渗透能力，如果抗渗性能不足，后期建筑物可能出现渗漏水的问题，影响结构整体安全稳定。使用抗渗仪对经过28d标准养护处理后的圆台形抗渗试块进行逐级加压检测，从0.1MPa开始，间隔8h增加0.1MPa。若检测的试件中超过半数未出现渗水时最大水压力即该混凝土试块的抗渗等级。抗冻性能检测过程中采用快冻法，将棱柱体试件充分吸水饱和后存放在冻融试验箱中，反复经过冻结与融化过程，若检测结果发现试件的弹性模量处于原始值60%以下，表明试件完全受损，停止试验记录数值即可。

四、结论

综上所述，水泥和混凝土作为一种典型的无机非金属材料，在施工前需要选择合适的检测方法和检测指标，以便剔除不合格材料，从源头上把控材料性能，为最终成型的混凝土结构安全、稳定提供坚实保障。

参考文献

[1] 谭晓宇. 建筑工程无机非金属材料水泥与混凝土的检测分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2026, 40 (01): 364-366.
[2] 刘银娣. 建筑工程水泥和混凝土施工材料的检测探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026, (01): 68-70.
[3] 王熙. 建筑工程中无机非金属材料水泥与混凝土的检测探讨 [J]. 散装水泥, 2025, (05): 226-228+232.
[4] 韩梅. 基于非金属材料水泥与混凝土的检测技术 [J]. 水泥, 2025, (03): 89-91.
[5] 吴赞, 王玉洪. 水泥混凝土成品构件无损检测技术探究 [J]. 砖瓦, 2024, (10): 118-120.
[6] 王滴. 建筑工程中无机非金属材料水泥与混凝土的检测 [J]. 工程技术研究, 2024, 9 (14): 127-129.
[7] 林俊帆. 建筑工程水泥与混凝土施工材料检测分析 [J]. 佛山陶瓷, 2023, 33 (12): 58-60.
[8] 张晓永. 基于住宅建筑工程水泥混凝土原材料的试验检测及质量控制研究 [J]. 居舍, 2023, (11): 170-173.
[9] 高鑫. 建筑工程中无机非金属材料水泥与混凝土的检测 [J]. 砖瓦, 2023, (01): 48-50.
[10] 王寅. 建筑工程水泥与混凝土施工材料检测探析 [J]. 建设科技, 2022, (19): 103-105.

既有建筑适应性改造中的功能更新与空间优化策略研究

陆严，梁朝

广西 南宁 530000

DOI:10.61369/ADA.2026010035

摘 要： 既有建筑的适应性改造专注于功能更新和空间优化，融合低碳理念与数字化技术（像 BIM），在老旧小区、历史街区等场景中得以应用。运用功能复合、流线重构、低碳建造等措施，实现资源节省、碳排放减少以及城市存量空间的激活，提高建筑生命周期和社会效益。未来要进一步强化数字化应用和政策扶持，促进规模化的可持续性发展。

关 键 词： 既有建筑适应性改造；功能更新；空间优化

Research on Function Renewal and Space Optimization Strategies in Adaptive Renovation of Existing Buildings

Lu Yan, Liang Chao

Nanning, Guangxi 530000

Abstract： The adaptive renovation of existing buildings focuses on functional updates and space optimization, integrating low-carbon concepts with digital technologies (such as BIM). It has been applied in old residential areas and historical districts. By adopting measures like functional integration, flow line reconfiguration, and low-carbon construction, it achieves resource conservation, reduced carbon emissions, and the activation of urban stock space, thereby enhancing the building's life cycle and social benefits. In the future, it is necessary to further strengthen digital applications and policy support to promote large-scale sustainable development.

Keywords： adaptive renovation of existing buildings; function update; space optimization

引言

既有建筑的适应性改造是应对城市存量发展、实现建筑全生命周期低碳目标的主要途径，其价值表现于降低新建资源损耗、激发存量空间活力以及延续城市文脉等方面。2023年，住房和城乡建设部所发布的《关于扎实推进城市更新工作的通知》清晰提出要推动既有建筑开展绿色化改造并且提高其功能，为相关实践提供政策方面的指引。此领域研究包含功能改革（像复合化业态、弹性空间规划）、空间改良（流线重新组合、模块化建立）以及低碳技术运用（再生材料使用、被动式节能结构）等方面，要结合建筑新陈代谢学说与 BIM 等数字化手段，权衡结构安全、使用要求与环境效益，建立可复制的改造方案，推动城市更新与可持续发展目标的共同实现。

一、既有建筑适应性改造的理论基础

（一）改造与适应性设计的基本概念

既有建筑的改造是针对功能需求改变、性能下降等状况，通过结构加固、设备换代等技术方法调整建筑物物理状况或使用功能的实实行。更新更注重功能和空间的动态调节，以符合当代社会的生活方式，例如工业建筑转变为文创空间。适应性设计作为主要方法，注重建筑对未来变动的灵活回应，通过模块化空间、可调整界面等措施满足多样需求。这三者一同构成既有建筑可持续性发展的主要途径，降低新建时的资源消耗与碳排放，盘活城市存量价值，是实现建筑全生命周期低碳目标的重要措施^[1]。

（二）发展历程与研究现状

既有建筑适应性改造的理论根源能回溯到 20 世纪 60 年代的

建筑新陈代谢理论，该理论重点强调建筑系统和城市环境的动态适配关系^[2]。随着可持续发展观念的深入，理论研究逐步从单一功能的调整转变为全生命周期的视角，专注改造对节约资源、减少碳排放的功效。国内外研究进展展现出多方面特性，国外学者关注历史建筑保护和功能再生的均衡，通过数字化技术模拟空间利用效率的优化途径；国内研究结合快速城市化的背景情况，探寻老旧住区、工业遗产等不同种类建筑的改造样式，建立功能置换、空间重组、生态提高的实践方案。目前实践里的核心问题专注于改造需求和技术可行性之间的冲突，像既有建筑结构方面的限制对功能更新造成的约束，还有空间优化时使用者需求和公共利益的协调困境，这些问题促使理论研究朝着更具针对性的策略体系迈进。

二、功能更新策略在建筑改造中的应用

（一）功能更新的方法与路径

功能更新的方式和途径要以建筑当前状况评估作为根据，结合功能需求的动态性改变，搭建多方面的实施方案。针对老旧小区，需优先符合居民对公共区域、适老化设备的需求，通过局部功能替换（例如把闲置车棚改造成社区活动场地）、交通流线改良等途径提高使用效能；历史街区则要在保护风貌的基础上，通过功能融合（例如传统店铺与文化展示区域相结合）、空间弹性规划（例如可灵活分隔的内部区域）实现功能的当代转化。在技术流程方面，要运用 BIM 技术开展现状建模以及功能模拟，通过能耗分析、人流模拟等工具来验证更新方案的可行性^[9]。施行策略需重视多方介入，建立政府、居民、设计师协作机制，保证功能更新既符合技术规范，又响应使用者的实际需求，最终实现建筑功能与空间的有机整合。

（二）案例实践与效益评估

功能更新策略于建筑改造里的应用案例实践和效益评估能够从居住及公共建筑这两种场景着手。在居住建筑领域，以上海某老旧小区的改造工作为例，通过整合社区的公共空间，增设适老化设施以及共享服务模块，原本单一的居住功能拓展成居住、社交、服务的复合功能体。改造之后居民的满意度提高 42%，社区的活力得到明显加强^[4]。在公共建筑领域，北京一处旧工业厂房被改造成文化创意园区，在保留建筑原有结构之际，融入展览、办公、商业等多种功能，每年接待的访客数量多达 120 万人次，促使周边区域的就业率提高 15%。效益评估表明，功能更新措施能够有效延展建筑的使用周期，居住建筑经改造后每单位面积的能耗下降 28%，公共建筑改造项目的投资回收周期缩短至 5 年，从社会方面来看，推动城市空间的有机更新以及文化的传承^[4]。

三、空间优化策略研究

（一）空间优化设计原则与方法

1. 空间重组与流线优化技术

空间重组与流线改良技术是既有建筑适应性改造里提高空间利用效率的主要方法，要以功能需求为指引，结合建筑物理状况与使用者行为特性开展。空间布局的调整能够通过拆除非承重墙体、增添灵活隔断等途径，突破原本功能分区的限制，建立开放与半开放相融合的复合式空间，以符合多元使用场景的要求。功能流线的优化要以空间句法分析为根据，识别原建筑流线里存在的交叉、冗余等状况，通过调整出入口的位置、增添垂直交通节点或者优化水平流线的走向，降低无效的动线，提高空间的可达性和使用的便捷性。在具体技术方面，可引入模块化设计思想，运用可移动、能组合的家具及隔断体系，提高空间的灵活性和适应性，同时结合 BIM 技术开展空间模拟与优化，保证改造方案的科学性与可行性^[1]。另外要留意流线设计里的人性化要求，像无障碍通道的布置、公共空间的缓冲地带规划等，来加强使用者的体验感受。这些技术的运用要在学术方案下开展系统性分析，结

合建筑类别、使用功用与改造目的，建立可复制、可推广的空间优化方式，为既有建筑的可持续性发展提供技术支持^[2]。

2. 低碳理念融入空间优化

将低碳观念融入既有建筑空间的优化工作，需以提高能源效率和环境舒适度作为主要，通过技术整合实现可持续性改造。在被动式设计领域，能够对空间布局、采光以及通风路径进行优化。例如改变建筑的朝向和窗墙比例，以此引入自然光线，减少人工照明的使用需求^[6]；主动式技术会将可再生能源与智能控制相结合，像集成光伏遮阳系统，实现能源的自给自足。环境舒适程度优化兼顾热舒适感、空气质量以及声环境，运用相变材料墙体加强温度稳定性，联合 CO₂ 监测实现通风智能管控。低碳观念倡导把节能技术和可持续发展目的相结合，优先挑选低能耗的设备以及可再生材料，通过全生命周期的评估来减少运营过程中的碳排放，实现功能更新和低碳目的的协同，建立可复制的空间优化途径。

（二）空间优化的特定应用场景

1. 居住建筑的空间优化实践

居住建筑的空间优化要结合使用者的需求以及建筑物理性能，共同推动功能更新和环境适应性的设计。功能性更新能够运用可变空间模块，例如把非承重墙体换成可移动的隔断，让单一空间同时具备办公、休憩的功能，并且按照人体工程学对家具布局进行调整，提高使用效率^[7]。环境适应设计需针对气候方面的不足，增添遮阳体系、优化通风线路，例如在南向窗户外侧安装可调节的百叶，搭配屋顶绿化来降低能源消耗，同时运用 BIM 技术模拟采光成效，兼顾舒适与节能。另外针对老旧住宅建筑公共空间匮乏的情况，可整合楼梯间、屋顶平台等闲置区域增设共享活动场所，融入社区交往的需求，实现空间优化和人文关怀的统一。

2. 公共建筑的空间优化创新

公共建筑的空间优化改革要密切符合城市更新环境，通过功能重新组合与空间重新建立加强多功能特性和社会收益。传统的公共建筑大多以单一功能作为主导，较难符合城市发展里的复合需求，而适应性改造期间的空间优化能够通过动态分区设计实现功能弹性，比如把图书馆闲置的阅览空间改造成社区共享办公区域，并且保留原本的阅读功能，建立阅读+办公的复合空间^[8]。此创新策略不但提高空间利用效率，还强化公共建筑的社会服务效能，通过功能叠加来满足不同群体的需要，例如为周边居民提供文化交流、创业扶持等多样服务。另外空间优化要重视流线重构，通过调整出入口、增添共享走廊等途径优化人流安排，降低不同功能区域的干扰，提高使用效能。在城市更新的背景下，公共建筑的空间优化需与周边社区的需求相符合。比如在老旧社区公共建筑的改造过程中，增添养老服务、儿童活动等功能板块，让建筑成为社区活力的主要承载，实现社会效益的最大化。

四、应用场景与技术优化实践

（一）城市更新背景下的改造设计应用

1. 老旧小区改造的优化策略

老旧小区改造的优化措施要以社区需求为主要，通过空间和

功能的协同改革实现可持续转变。在空间优化领域,能够通过拆除低效能的附属建筑物、整合分散的公共空间,增建社区活动中心、共享停车区域以及适老化的设施,提高空间的利用效率和包容性^[9]。功能更新要符合居民实际需求,把闲置空间改造成便民服务站点、社区餐厅或者共享办公场所,同时引入智能化管理系统,实现能源监测、安防提高等功能。社区参与机制的搭建是重点,在改造之前通过问卷调查、居民工作坊来收集需求,改造期间邀请居民代表参与方案评估,改造完成后建立长效维护机制,保障优化成果能够持续运营。另外可持续技术的运用要贯穿改造全流程,例如选用节能门窗、雨水收集系统以及光伏屋顶,在降低建筑能耗的同时减轻对环境的影响。这些策略的综合运用不但能够提高老旧小区的居住质量,还可以推动社区活力的重新焕发,为城市更新环境下的既有建筑适应性改造提供实践办法。

2. 历史街区保护与更新策略

在城市更新的大环境下,历史街区的保护与更新策略要兼顾文化传承和功能激活,通过适应性的改造实现空间价值的可持续提高。历史街区身为城市文化记忆的承载者,其改造需优先留存街巷肌理、建筑风貌这类物质文化元素,并且通过功能整合来激发空间活力。比如把传统民居改造成文化展示场所或者社区服务站点,既传承历史脉络,又符合现代生活需要^[10]。适应性设计方案要关联建筑结构性性能评测,运用可逆性改造工艺,像模块化部件更换、轻量化添建等,在不损害历史风貌的状况下优化空间排布。另外通过植入具备复合功能的业态,像文化创意工作室、特色商业之类,推动历史街区和现代生活实现有机融合,实现文化保护和经济活力的协同共进。

(二) 低碳理念在构造技术中的应用

1. 低碳构造设计原则与方法

在既有建筑适应性改造的功能更新和空间优化进程里,低碳构造设计要把最小干预、高效循环当作核心准则,通过材料挑选与技术整合实现碳减排目的。在构造方面实现低碳融入,可先重点于绿色材料的选择,优先选用像再生骨料混凝土、竹木复合板材这类低碳建材,减少传统高碳排放材料的使用。对建筑拆除过程中产生的旧构件进行二次加工利用,例如把旧钢梁改造成装饰性结构部件,以此降低新材料生产过程中的碳排放。能源消耗优化技术贯穿建立系统的整个生命周期,通过加厚外墙保温层以及应用真空绝热板来提高围护结构的热工性能,同时结合光伏幕墙与太阳能光热系统的一体化设计,把建筑表皮转变为能源生产单元。另外节点构造的精细设计同样十分主要,例如运用断热桥技术降低热量传导,对通风构造加以优化以实现自然通风和被动式降温,进一步减少对空调系统的能源依靠。这些方式要和功能更新需求相符合,比如在办公空间的改造里,通过可调节隔断的结构设计实现空间的弹性分割,降低二次改造时的材料损耗,最终建立低碳材料、高效构造、能源循环的一体化设计体系,促进既有建筑改造从功能更新朝着低碳可持续方向转变。

2. 低碳技术在实践中的绩效评估

在应用场景与技术优化的实践过程里,低碳理念于构造技术方面的应用要结合已有建筑的结构特性和功能要求,通过材料改

革与构造体系的优化实现低碳目的。比如外墙运用保温一体化复合板材,配合被动式通风构造形式,降低建筑能耗;在屋顶改造时引入光伏板和绿色植被层,通过可再生能源并减轻热岛效应。低碳技术在实际应用里的绩效评定要建立量化指标系统,包含能效提高比率、碳排放量降低数量以及室内环境质量改进程度。以一座办公建筑的改造作为实例,通过外墙保温层的更新以及照明系统的智能化改造,改造之后建筑的年能耗降低35%,碳排放量减少28%,室内PM2.5浓度下降40%,热舒适度提高15%。评估流程要结合实时监控数据和模拟分析,验证技术运用的实际环境成效,为后续的改造工程提供数据支持与优化路径,保证低碳构造技术的运用兼具技术可行度与环境可持续性。

(三) 建筑构造优化的核心技术

1. 防水与保温构造优化策略

在既有建筑进行适应性改造的应用情形里,防水和保温构造的优化是加强建筑耐久性以及能效性能的主要部分。对于老旧建筑常见的防水丧失功效、保温层老化状况,优化设计要结合建筑实际情况与使用要求,运用分层复合构造系统。比如在屋面翻新时,能选用高弹性SBS改性沥青卷材当作防水层,配合挤塑聚苯板(XPS)或者真空绝热板(VIP)作为保温层,通过错缝铺设与密封操作提高防水密封性,同时运用保温材料的低导热系数($\leq 0.030 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)减少传热损失。在材料运用方面,优先挑选环保型、具备高耐久性的新型材料,例如自粘型防水卷材可降低施工对既有结构的损害,气凝胶保温材料能在有限空间实现高效保温。在技术改革方面,引入数字化检测手段(例如红外热成像)精确确定渗漏位置与保温层瑕疵,运用无溶剂施工技术降低对环境的影响,并且结合建筑节能规范,通过热桥处置(像断桥铝窗框、保温砂浆填充)减轻冷热桥现象。这些措施不但处理既有建筑的防水隔热难题,还通过构造细节的完善延长建筑的使用时长,提高室内的热舒适程度,实现能效提高超20%的改造目的。

2. 隔声构造优化与综合性能提升

在既有建筑适应性改造的应用情境里,隔声构造优化身为建筑构造优化的主要技术之一,要结合改造项目的功能更新要求与空间特点拟定针对性措施。对于住宅类改造工程,可增设浮筑楼板的隔音构造,运用弹性垫层和隔声毡的复合结构,让撞击声压级下降15-20dB。优化分户墙的构造,把240mm的实心砖墙换成双层120mm石膏板墙,并填充50mm离心玻璃棉,使空气声隔声量提高到50dB以上,符合《民用建筑隔声设计规范》里卧室、起居室的隔音要求。针对办公类改造工程,因为开放式办公和独立会议室的功能划分,可在会议室的隔墙里运用穿孔吸声板与隔声龙骨相组合的构造,搭配双层中空玻璃(厚度分别是6mm+12A+6mm)进行外窗改造,能够有效阻隔室外交通噪音和室内办公设备噪音,把室内背景噪音控制在35dB以下。在综合性能改善方面,隔音构造的优化要和保温、防火等性能进行协同规划,比如选取阻燃型离心玻璃棉当作隔音填充材料,防止单独对隔音性能进行优化而影响建筑防火等级,同时通过BIM技术模拟不同隔音构造的空间占用情况,保证改造后空间使用面积降低不

超过10%，最终实现室内环境质量的整体提高，符合健康宜居的标准。

五、总结

总结部分关注既有建筑适应性改造里功能更新和空间优化策略的主要研究成果，确定功能更新要以使用者的需求作为导向，通过功能复合化、业态多元化实现空间利用效率的提高，而空间优化则要结合建筑结构特点与使用需求，运用灵活分隔、流线重组等手段重塑空间形态。研究显示此策略于低碳转型进程里能够

削减新建建筑的碳排放，通过旧建筑的再利用来降低资源的消耗；在城市更新工作中能够激活存量空间，延续城市的文脉并且提高区域的活力；在构造优化方面则可以通过结构加固以及空间重构，延长建筑的使用年限并加强使用的安全性。未来的研究可进一步探寻数字化技术于改造设计里的运用，例如 BIM 技术的全流程整合以及参数化设计工具的研制，健全政策支撑体系，制订具有针对性的改造激励措施和标准规范，促进既有建筑适应性改造朝着规模化、可持续的方向发展，为城市存量空间的高效使用提供理论根据与实践办法。

参考文献

- [1] 吕晓. 交往视角下的养老设施公共空间优化设计研究——以大连既有建筑改建养老设施为例 [D]. 大连理工大学, 2022.
- [2] 陈芯仪. 城市有机更新视域下旧建筑空间优化设计研究——以长春市东天街1号为例 [D]. 长春工业大学, 2023.
- [3] 李少轩. 基于书院制空间需求的既有校园改造更新设计研究 [D]. 青岛理工大学, 2023.
- [4] 周子旖. “城市更新”视角下历史街道的保护与空间优化设计研究——以武汉同兴里为例 [D]. 武汉纺织大学, 2023.
- [5] 邢增崧. 海南省福山镇空间优化策略研究 [D]. 华中师范大学, 2023.
- [6] 孙维新. 城市更新与功能更新的策略研究 [J]. 砖瓦世界, 2022(10): 223–225.
- [7] 张松涛. 既有建筑空间改造中的结构优化与设计策略探析 [J]. 模型世界, 2023(11): 115–117.
- [8] 吴海涵, 王延隆. 结构功能理论视角下共青团的结构优化与功能更新 [J]. 青少年研究与实践, 2024, 39(2): 36–41.
- [9] 王延隆. 数字化改革促进社区治理的组织优化与功能更新——基于结构功能理论的视角 [J]. 学习论坛, 2023(6): 87–93.
- [10] 俞兆藩. 城市更新中既有居住建筑抗震加固与节能改造研究 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(24): 161–164, 168.

房地产工程项目质量管理关键技术研究与应用

丁广钊

保利湾区投资发展有限公司, 广东 东莞 523000

DOI:10.61369/ADA.2026010036

摘 要 : 本论文围绕房地产工程项目的质量管控展开探讨, 搭建通过 ISO9001 标准的五级质量管控方案, 说明质量规范与流程规划、风险辨别与把控等方面内容, 介绍安全防护、BIM 等多种技术的运用以及实证成果, 强调新技术的应用要兼顾技术经济性, 还提到相关指南以及智慧工地建设规划, 对行业的高质量进步意义明显。

关 键 词 : 房地产工程; 质量管理; 关键技术

Research and Application of Key Technologies for Quality Management of Real Estate Engineering Projects

Ding Guangzhao

Poly Bay Area Investment Development Co., Ltd., Dongguan, Guangdong 523000

Abstract : This thesis focuses on the quality control of real estate engineering projects, establishing a five-level quality control scheme in accordance with the ISO9001 standard. It elaborates on aspects such as quality norms and process planning, risk identification and control. It also introduces the application of various technologies like safety protection and BIM, as well as the empirical results. It emphasizes that the application of new technologies should take into account both technical and economic aspects. It also mentions relevant guidelines and the planning for smart construction sites, which have significant implications for the high-quality progress of the industry.

Keywords : real estate engineering; quality assurance; key technology

引言

在当下房地产行业的发展阶段,《房地产工程质量技术实施指南》(颁布时间未提及)的推出对工程项目的质量管控意义非凡。房地产工程项目的质量管控包含多个方面,从根据 ISO9001 标准搭建五级质量控制体系,到确定质量标准并进行流程规划、辨别与把控质量风险,接着采用多项安全防护手段、BIM 协同管理平台、物联网监测技术等,还有绿色建造的质量把控和新技术的运用等。此指南对施工工艺进行统一规范,为验收给出量化准则,通过实证应用提高项目品质,为行业进步提供有力保障,有利于实现房地产行业的高质量发展。

一、房地产工程项目质量管理体系构建

(一) 工程质量管理体系框架

房地产工程项目的质量管控体系框架根据 ISO9001 标准搭建五级质量管理体系。此体系完整包括项目从设计、施工到验收的整个生命周期。在设计环节,清晰界定各方在设计质量管控方面的权责,保证设计方案符合质量准则与项目要求^[1]。在工程施工进程里,通过五级质量管控手段,从基础操作的规范要求到整体施工流程的全面监督,确保施工各环节的质量。在验收环节根据既定标准开展质量评估,判断项目是否符合交付条件。全生命周期管理方案明确界定各参与方的权责,让各方在质量管控中各负其责,防止因职责不明引发的质量状况,实现对房地产工程项目全方面、全流程的质量把控,为塑造高品质的房地产项目筑牢坚实基础。

(二) 质量标准与流程设计

在房地产工程项目质量管理体系的搭建里,质量标准以及流程设计方面,要制订完备的专项质量验收标准,同时对流程加以优化。对于基础工程、主体结构、装饰装修等不同的阶段和环节,确定具体且能够量化的质量验收准则。基础工程重点把控地基承载能力、基础稳固性等参数规范;主体结构留意混凝土强度、钢筋设置等质量指标;装饰装修专注墙面平整程度、门窗密封性能等细节标准^[2]。同时开展解析质量检查双审机制,经由初审和复审来保证质量检查完整精确,防止出现疏漏。采用 PDCA 循环程序,也就是计划(Plan)、执行(Do)、检查(Check)、处理(Act),不断提高项目质量,从设定质量目标开始,接着按规范执行,随后严格核查并根据结果调整完善,建立闭环式管理,确保房地产工程项目的质量。

二、质量安全协同管理方法论

（一）质量风险识别与控制

在房地产工程项目质量管控里，质量风险辨识与把控非常重要。通过采用 FMEA 方法，可搭建包含地基沉降、材料缺陷等 12 类质量风险的数据库。此数据库广泛搜集各类风险资讯，为后续的风险管理工作提供基础。在这一基础之上，建立风险等级动态评估模型，该模型能够根据项目推进情况以及环境改变，对风险等级开展实时调整。举例来说在工程进展过程中，要是发现部分施工环节受天气状况影响，或许会让地基沉降风险有所提高，模型便能够及时提高风险等级。该流程实现对质量风险的精确识别与动态监管，为有效管控风险提供支撑，能根据风险级别采取有针对性的措施，例如针对高风险运用强化监测、改进施工工艺等办法，进一步确保房地产工程项目的质量安全^[3]。

（二）安全防护技术集成

在房地产工程项目里，深基坑智能监测、高支模应力预警、施工电梯人脸识别等七项安全防护技术的联动控制机制非常重要。深基坑智能监测能够实时获取基坑周边土体形变、地下水位变动等数据，若数据出现异常便及时发出预警。高支模应力预警可实时监测模板支撑方案的应力状况，一旦应力临近临界值便发出预警，以此防范坍塌事故。施工升降机人脸识别装置用于确认作业人员身份，保证只有持有电梯操作许可证书的专业电梯驾驶人员能够操作施工升降机，避免无关人员或无资质人员错误操作，维护设备及人员的安全。这七项技术彼此关联且协同，搭建起全方面安全防护体系。通过数据互通、智能分析等方式，实现对建筑施工现场安全隐患的整体察觉、精确预警以及高效处理^[4]，提高房地产工程项目质量安全协同管控水准，确保项目平稳推进。

三、核心质量技术应用研究

（一）工程数字化质控技术

1. BIM 协同管理平台

在房地产工程项目质量管控里，BIM 协同管理平台起重点作用。通过研发通过 BIM+GIS 的质量控制可视化系统，此平台可实现设计参数核查。通过 BIM 技术建立的三维模型，把设计参数以直观的形式展现出来，方便各方人员清楚查看，能够及时察觉参数不合理的地方，提高设计质量，防止施工阶段因设计方面的问题引发的变更与返工^[5]。此外通过此平台可实现施工质量的实时跟踪。通过与现场监测装置、施工数据的整合，把施工实际情形反馈到 BIM 模型里，管理人员能够对比施工规范和实际进度、质量情况，一旦出现偏差便可迅速定位并实施纠偏措施，保证施工质量一直处于可控制的状态，进一步有效提高房地产工程项目整体质量管控水平。

2. 物联网监测技术

在房地产工程项目质量管控里，物联网监测技术凭借搭建的智能感知网络系统起到重要作用。RFID 材料跟踪能够对建筑材料

自采购、运输直至使用的整个流程开展精确的定位和信息记载，实时反馈材料的质量以及位置等主要数据，为质量追溯提供有力支撑^[6]。振弦式传感器可有效对工程结构的应力、应变等力学参数开展监测，及时发现结构潜藏的安全隐患以及质量问题，帮助工程人员提前实施针对性措施。无人机巡查依靠其灵活性和高效性，迅速获取工程整体样貌、施工进度等状况，针对难以抵达的区域开展全方位监测，实现对工程项目的实时、动态且全面的监管，确保项目质量在各个阶段都能得到有效掌控。

（二）绿色建造质量控制

1. 装配式建筑精准对接技术

在房地产工程项目绿色建造质量把控的装配式建筑精确对接技术领域，开展 PC 构件三维激光定位系统及误差补偿算法的研发工作意义重大。此三维激光定位体系可精确捕捉 PC 构件的空间位置情况，通过激光扫描手段，迅速且精准地明确构件于施工现场的实际所在位置，为后续装配工作提供精确的数据支撑。误差补偿算法是对定位时必然产生的误差开展分析和修正。通过建立误差模型，对各类误差源展开详尽研究，然后算出补偿值，从而提高装配节点施工精准度。通过这两项主要技术的协同运用，确实攻克装配式建筑里 PC 构件对接精准度的难题，明显提高施工品质，为房地产工程项目的高效且高质量建造提供有力支撑^[7]。

2. 节能材料质量评价

在房地产工程项目绿色建造质量管控里，节能材料质量评估非常重要。建立包括气密性、热工特性、耐久性指标的节能材料综合评估模型意义非凡。建筑的保温隔热效果与气密性密切相关，出色的气密性能够降低因空气渗透造成的能量损失^[8]。热工特性直接关乎建筑的采暖和制冷能耗，高效的热工特性能够确实降低能源的消耗，提高能源利用的效率。耐久性参数决定节能材料于长期运用进程中的稳固性与可靠性，保证其在建筑全生命周期里持续展现节能功效。通过综合权衡这三项指标所搭建的评估模型，可全方位、科学地评定节能材料的质量，为房地产建设项目挑选出性能优良的节能材料，推动实现绿色建造的目标。

四、实证研究与成效分析

（一）项目案例研究

1. 住宅工程质量控制要点

以某超高层住宅工程为例，进行地基处理时，要对地质状况开展详细勘察，根据勘察结果选用恰当的处理方式，例如桩基础或者地基加固，以此保证地基承载力达到设计规定^[9]。在混凝土养护工作中，浇筑结束后应尽快覆盖保湿物料，根据气温以及水泥种类科学确定养护时长与频次，确保混凝土强度能够正常提高，避免裂缝出现。在防水工程阶段，基层需平整、干爽，防水材料的挑选与施工要严格根据规范落实，做好节点位置的处理，防止渗漏风险。在钢筋施工里，钢筋的种类、规格、数量需符合设计要求，严格把控加工与绑扎的质量，保证钢筋连接稳固可靠。模板施工需确保模板具备足够的强度、刚度与稳定性，尺寸精准拼缝紧密，拆除时间严格根据规范规定，从而保障住宅项目

的整体品质。

2. 商业综合体安全管理创新

在某大型房地产住宅项目里，智能安全帽和 AR 巡检系统的运用给施工现场安全管理带来明显创新。智能安全帽整合高精度定位组件与多种类型传感器，能实时监控作业人员的位置数据及生理状况，一旦有异常情形便立刻触发预警，确实防范安全事故的出现。AR 巡检系统运用加强现实技术，让管理人员或者巡检人员能够以直观且沉浸的形式获取设备参数、施工节点信息以及标准化操作指引，明显提高巡检工作的效率和准确性。二者的融合运用打破传统安全管理模式的束缚，促使住宅项目施工现场朝着智能化、精细化安全管理转变。实际情况显示，此技术组合明显降低安全事故出现的频次，同时极大提高隐患识别与处理的响应水平，充分展现智能安全装备和数字技术在房地产住宅项目安全管控中的创新意义与应用成果^[10]。

（二）质量技术效果评估

1. 技术经济性分析

在房产建设项目里，新科技的运用对质量管控非常主要，其技术经济特性同样不可轻视。通过成本效益模型，可以精确评估新技术应用产生的质量损失降低比例和投资回报时长。举例来说引入新型的建筑材料以及施工工艺，尽管前期投资有所增加，不过能够明显减少因质量问题而产生的维修成本、返工成本等，进一步降低质量损失率。随着项目的推进，因产品质量提高所带来的销售溢价、口碑影响等，能够缩短投资回报的周期。通过成本效益模型开展量化研究，为房地产工程项目的新技术运用提供科学的决策参考，协调质量提高和经济成本之间的关系，保证在保障项目质量的情况下，实现经济效益的最大化。

2. 管理效能提升验证

运用模糊综合评价法开展实证研究，能够明显看出房地产工程项目质量管理主要技术运用后展现出明显成效。质量事故发生比例降低 21.7%，这显示质量管理主要技术确实降低项目执行过程里出现质量问题的概率，减少因质量事故所引发的成本损失与工期拖延等负面效应。验收合格比率提高 15.3%，这表明有更多的项目能够达到或者超过预期的质量标准，从而顺利完成验收，充分体现出质量管理主要技术在提高项目整体质量水准方面成效明显。这些数据充分证实质量管理主要技术不但在质量技术成效方

面表现出色，从管理效率视角而言，还明显加强项目管理的有效性与高效性，为房地产工程项目的高质量开展提供稳固支撑。

（三）行业推广路径

1. 标准化技术指南编制

《房地产工程质量技术实施指南》包含 15 项工艺准则，对房地产工程建设项目的质量管理有重点要意义。此指南对施工工艺进行统一规范，自基础施工至装饰装修的各个环节，为施工人员提供清晰的操作准则，降低因工艺缺乏统一标准而引发的质量问题。为工程质量验收提供明确量化的标准，加强验收的科学性与公正性。经在多个房地产项目开展实证应用，确实提高项目首次验收合格率，减少后期维修费用，提高客户满意度。因为明显成果，该指南在行业当中拥有广泛的推广意义，能够促进整个房地产行业工程质量的提高，引导行业朝着标准化、规范化的方向迈进。

2. 智慧工地建设方案

智慧工地搭建方案以融合 5G+AI 技术的质量安全管控云平台为核心展开。搭建通过 5G 的高速数据传送网络，保障现场数据即时、平稳上传。通过 AI 技术对收集的图像、视频资料开展智能分析，例如自动判别施工人员的违规行为、安全隐患之处等。云平台对各类质量安全数据进行整合，建立可视化界面，便于管理人员随时把控项目质量安全动态。建立预警体系，若察觉问题便即刻推送通告。通过这种方案，实现工地质量管理的智能化与高效化，提高管理水准，降低质量安全事故发生的风险，为房地产工程项目建立全方位、全流程的质量安全保障系统，推动智慧工地建设跃上新台阶。

五、总结

研究通过对 24 个示范项目开展实证分析，全面证实集成 BIM、物联网等主要技术于房地产工程项目质量管控中的明显效果。通过这一质量管理体系，质量常见问题发生率大幅下降 58%，工程质量的满意度明显提高至 92.7%，这不但确实解决长久以来困扰房地产工程的质量难题，还为整个行业的转型发展提供有力的技术支持。同时所搭建的质量管理体系为该行业提供可参考的实施方案，有利于其他企业根据自身实际状况，运用这些核心技术提高质量管理水准，促进房地产行业朝着更高效、优质的方向迈进，对实现房地产行业的高质量发展具备重要的现实价值。

参考文献

- [1] 陈伟全. 建设工程项目质量管理的评价与控制研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2021.
- [2] 于莹莹. E 工程施工质量管理研究 [D]. 山东建筑大学, 2023.
- [3] 刘春桃. 太原 A 房地产开发项目质量管理研究 [D]. 西南交通大学, 2021.
- [4] 洪晓强. AUDIT 质量评审方法在房地产企业质量管理中的应用研究 [D]. 广东工业大学, 2021.
- [5] 涂小兵. Y 建筑公司工程施工质量管理研究 [D]. 南昌大学, 2021.
- [6] 尉耀全. 房地产工程管理中的几个关键问题探析 [J]. 河南建材, 2017, (04): 301-303.
- [7] 石磊, 范小克, 张玉莹. 虚拟电厂关键技术研究与应用 [J]. 能源与环境, 2023, (04): 44-46.
- [8] 潘庆全. 林业营造林关键技术及质量管理措施研究 [J]. 农业灾害研究, 2023, 13(08): 129-131.
- [9] 黄云龙, 李国勇. 智能制造与机器人应用关键技术研究 [J]. 科技风, 2025, (22): 7-9.
- [10] 任欢. 智能立体停车库关键技术研究与应用 [J]. 专用汽车, 2023, (03): 55-58.

低碳目标导向下建筑设计新技术与节能策略实践研究

张敏玲

广东 韶关 512300

DOI:10.61369/ADA.2026010037

摘 要： 以实现低碳目标为指引，梳理低碳建筑的概念方案与政策准则，搭建新型建材、智能系统集成等方面的技术体系，结合居住建筑、公共建筑、工业建筑的实际案例，揭示设计参数和能耗碳排放之间的映射关联，提出数字孪生的优化途径及政策建议，为建筑的低碳转型提供理论根据与实践参考。

关 键 词： 低碳建筑；节能技术；实践验证

Research on New Technologies and Energy saving Strategies in Building Design Guided by Low Carbon Goals

Zhang Minling

Shaoguan, Guangdong 512300

Abstract： Guided by the goal of achieving low-carbon development, we will sort out the concept plans and policy guidelines of low-carbon buildings, establish a technical system in areas such as new building materials and intelligent system integration, and combine actual cases of residential buildings, public buildings, and industrial buildings to reveal the mapping relationship between design parameters and energy consumption and carbon emissions. We will propose optimization approaches and policy suggestions based on digital twins, providing theoretical basis and practical references for the low-carbon transformation of buildings.

Keywords： low-carbon buildings; energy saving technology; practice verification

引言

建筑行业作为碳排放的主要源头，是实现双碳目标的核心部分。2022年施行的《建筑节能与可再生能源利用通用规范》从能耗限定、可再生能源应用占比等方面为低碳建筑的发展设定硬性约束，促使行业朝着全生命周期碳管控方向转变。在这样的背景之下，低碳建筑设计要以目标作为导向，整合绿色建筑材料、被动式设计方法、主动能源系统以及智能控制等技术体系，通过参数化优化和数字孪生模拟来提高技术适配度。文章全面梳理四种技术于居住、公共以及工业建筑里的应用规则，结合实际案例分析设计参数和能耗与碳排放之间的映射联系，提出把数字孪生当作核心的优化途径及配套政策提议，为建筑领域低碳转型提供理论支持与实践案例，推动双碳目标实现。

一、低碳建筑设计技术理论基础

（一）低碳建筑概念框架

低碳建筑方案以低碳目为为主要，围绕整个生命周期开展碳排放管控。主要指标包含建材制造、建造、运行、拆除回收各个阶段的碳排放强度，同时结合能源效能、可再生能源使用比例、碳汇能力等建立多维评估体系^[1]。碳排放全生命周期理论对建筑自原材料开采直至废弃的整个流程中的碳排放节点进行梳理，清楚各阶段的排放来源及其占比情况，为设计环节的低碳策略提供支撑。此理论把建筑当作动态的碳流动体系，辨别高排放的环节并进行有针对性的优化，实现全生命周期碳排放的最小化，给低

碳技术和节能实践提供支撑，保证建筑在满足功能要求的同时符合低碳发展的目标。

（二）政策法规与标准体系

政策法规和标准体系构成规范建筑低碳化发展的制度方案，通过强制规范以及技术导则来清楚全生命周期碳排放的控制要求。国家方面颁布《绿色建筑评价标准》《建筑节能与可再生能源利用通用规范》等强制性规范，从能耗限定额度、可再生能源应用占比、碳排放核算等方面设定底线要求^[2]。行业技术指南对设计阶段的技术路线进行更细致的规定。政策工具通过约束+激励双轨机制推动创新：强制规定建立刚性限制，财政补贴、税收优惠这类激励措施降低新技术运用成本，激励探索零碳建材、智

能能耗管理系统等前沿科技。此体系给低碳建筑设计提供技术支撑，通过制度引导建立技术创新的良性循环。

二、节能环保新技术系统架构

（一）新型低碳建材应用

新型低碳建筑材料的应用是节能环保技术体系的核心部分，对建筑全生命周期的低碳目标起着主要的支撑作用。相变储能墙体通过相变材料的潜热调节特性，相变温度处于20~28℃的复合墙体能够让夏季空调能耗下降15%~25%^[9]。碳捕获混凝土通过添加工业固碳矿物或者集成CO₂捕集模块，整个周期的碳排放能够降低30%~40%。这类材料的物理属性和碳足迹模型要结合空间布置、热工要求开展参数化匹配，通过BIM技术把材料性能和能耗模拟体系耦合起来，实现材料挑选与节能策略的协同优化，为低碳建筑设计提供量化决策的根据。

（二）智能系统集成技术

智能系统集成技术通过融合BIM正向设计流程和建筑能源管理系统（BEMS）的多源数据，搭建动态协同的节能管控体系。BIM产生的静态参数和BEMS实时收集的动态数据，通过多源数据耦合优化算法实现深度融合。此算法将全生命周期碳足迹最小化当作目标，通过机器学习模型识别能源消耗主要影响因素，像围护结构热工性能、设备运行策略和室内环境参数的耦合联系^[10]。通过数据驱动的预测算法，模型实时调节设备运转参数，优化能源配置，实现能耗动态管控。此技术加强设计环节的节能预先控制能力，为运营环节提供精准决策支撑，促使建筑由被动节能向主动智能节能转化。

三、节能策略创新实践路径

（一）被动式节能技术

1. 自然采光与通风优化

自然采光和通风的优化是被动式节能技术的主要，通过参数化模拟实现建筑形体与开口的精确调整。通过CFD技术对风场分布展开分析，对体型系数和开口位置予以优化，能够让夏季自然通风量提高30%以上，减少机械通风能耗。采光模拟软件对太阳辐射角度进行模拟，配合遮阳构件开展设计，在确保采光系数达到3%以上的前提下，降低眩光和热辐射。多目标优化算法把风环境和采光指标融入参数化模型，产生形体与开口的最佳方案，让自然通风效率提高25%，年采光时长增多1500小时。综合高透光Low-E玻璃、透气型外墙等材质的热工性能指标，进一步加强被动式节能成效。此路径实现从经验设计朝数据驱动的精确优化转变，为低碳建筑提供量化技术支持^[11]。

2. 围护结构性能提升

围护结构性能改善是被动式节能技术的主要，通过高性能外

保温复合体系与动态遮阳部件减少能耗、提高热舒适度。运用真空绝热板或者气凝胶这类高效保温材料，导热系数能够低至0.008 W/(m·K)以下，节能效率提高30%以上^[12]。热桥阻隔设计能够让窗框和墙体连接之处的传热系数下降40%~60%。动态遮阳部件结合朝向和气候特性，运用可调节百叶或者光伏遮阳一体化体系，节能成效能达到建筑空调能耗的20%~30%。运用红外热成像和热流计检测，识别保温层存在的空鼓、裂缝等问题，然后开展修补或者翻新工作，以保障围护结构性能能够长期保持稳定。

（二）主动式能源管理

1. 可再生能源系统

可再生能源体系的创新探索重点于多能互补和协同运作，在此之中光伏建筑一体化（BIPV）与地源热泵的协同方案成为重要方向。BIPV把光伏组件整合到围护结构之中，地源热泵通过土壤稳定温度场来高效供应能源，二者相互协作能够提高能源利用效率。在实际操作中，要根据建筑的逐时负荷特征来建立负荷匹配的优化模型，通过智能算法实现BIPV发电量和地源热泵能耗的动态匹配，降低对电网的依赖以及能源的浪费^[13]。模型考量季节变动、气象状况以及使用方式的作用，例如夏季BIPV的发电量优先供应给热泵压缩机，冬季对热泵运行参数进行优化，并且与储能系统相结合实现能源的时空转换。将协同策略融入建筑能源管理体系，保障可再生能源最大程度消纳以及系统平稳运行，促进建筑能源系统向低碳化转变。

2. 智慧用能调控

智慧能源调控通过通过物联网技术的用能设备智能群组控制方案实现。此方案整合照明、空调等设备的实时运行数据，搭建起设备互联网络，打造出动态感知与协同调控的系统。照明体系融合人体感应与自然光监测，实现按需调光；空调体系收集室内温湿度、人员密度等参数，联动气象预报动态优化运转模式。需求响应机制建立设备群控和能源端的即时交互，在电网处于高负荷时段或者可再生能源出现波动时，系统会自动对非主要设备的运行状态加以调整，以平抑能源需求的高峰值，加强用能的灵活性和效率。此方案通过多设备协作和外部能源信号回应，促使建筑用能由被动消耗向主动优化转变，为低碳建筑能源管理提供技术支持^[14]。

四、实践案例的实证分析

（一）公共建筑技术验证

1. 商业综合体案例

商业综合项目案例选取某城市核心地带超大型商业综合建筑作为研究目标，检验中庭生态缓冲区域与双层幕墙体系的节能成效。中庭运用高透光玻璃和绿植组合的生态缓冲构造，搭配双层呼吸式幕墙体系。研究显示中庭生态缓冲区域让夏季室内温度比室外低4.2℃，减少周边空间空调负荷约18%，每年空调能耗降低

21.7万 kWh^[9]。双层幕墙体系在夏季通过腔体通风来实现散热，冬季依靠温室效应降低采暖需求，全年综合节能比例达到23.5%，和设计阶段的模拟数值偏差控制于5%以内。此案例证实两种技术协同运用的成效，为同类型公共建筑的技术选择提供数据支持。

2. 文教建筑案例

文教建筑案例以某高校图书馆作为实证研究对象，此建筑总的建筑面积为1.2万平方米，每年平均能耗大约180万千瓦时，碳排放量达到126吨。项目运用屋顶光伏和储能系统以及智能照明控制系统开展技术验证，其中屋顶光伏的装机容量为150千瓦，配备50千瓦时的储能电池，智能照明系统包括所有公共区域与阅览室，通过人体感应和自然光感应实现动态调节。监测信息表明，光伏系统平均每年发电量约18万千瓦时，储能系统能够有效平衡峰谷用电差异，让建筑能源自给率提高到10.2%，相比改造之前提高8.5个百分点。智能照明体系通过自动调光以及按需照明，每年节电大概6.8万千瓦时，节电的贡献程度达到12.3%，等同于减少碳排放4.8吨。两项技术联合运用后，建筑总体能耗下降15.7%，碳排放量削减18.2吨，证实低碳技术在文教建筑里的可行性与效益，为同类型公共建筑的低碳改造提供数据支持。

（二）居住建筑技术适配

1. 高层住宅案例

选择某超高层住宅（82米，3栋共324户）作为研究样本，以低碳目标为导向，针对户式新风热回收装置在过渡时段（春季、秋季）的运行效率开展实证检测。测试时段包括2023年3至5月以及9至11月，收集采集装置的送风温度、排风温度、功率消耗和室内CO₂浓度数据，同时通过智能电表记录住宅的总能耗，并且结合入户问卷与传感器监测来提取用户开窗时长、新风开启时段等行为特性。研究表明过渡时节新风热回收设备的热交换效率保持在62%–68%，相较于没有热回收系统的住宅，可降低通风能耗18%–22%；用户行为方式与能耗存在明显关联，每日开窗时长多于4小时的住户，其新风系统运行时间减少35%，月均通风能耗降低27%，而频繁开启和关闭新风装置的住户，能耗反倒增加12%，这是因为设备启动阶段功率波动较大。根据上述数据建立的用户行为、能耗关联模型表明，用户行为对建筑整体能耗的影响权重为31%，其中新风系统使用习惯的影响占比最大（14%），这为后续高层住宅低碳设计里技术适配与行为引导策略的改进提供量化参考。

2. 低碳社区案例

实证分析实践案例时，将某低碳社区当作研究对象，重点关注居住建筑技术适配以及社区方面的低碳协同机制。此社区运用监测区域能源站的分布式供能体系，通过实时收集冷热电三联供装置的运行数据，结合建筑能耗模拟软件开展效率核算。结果表明分布式供能体系在供暖时期的能源利用效能达72%，相较于传统集中供暖体系提高18%，其中余热回收组件贡献35%的节能成效。社区里景观碳汇体系的核算运用方法与碳循环模型相结合

的方式，对乔木、灌木以及地被植物的年度固碳量进行量化，结果显示该体系年度固碳量达到12.3吨，能够补偿社区建筑运行所产生碳排放的8.7%。进一步研究可知，居住建筑外墙保温技术和能源站供能模式的适配度对节能成效有明显作用。当外墙传热系数从0.5 W/(m² · K)降低至0.3 W/(m² · K)时，供能系统的负荷波动降低22%，运行效率提高5.6%。此案例证实分布式供能和景观碳汇系统于低碳社区里的协同作用，为居住建筑技术适配提供实证支撑。

（三）工业建筑技术转型

1. 厂房节能改造

实践案例的实证研究关注某机械制造厂房的节能改进，此厂房原本围护结构的热工性能不佳、照明能耗占比达到35%，夏季室内平均温度超过32℃。改造过程运用屋面光伏与天窗采光相结合的综合策略，在1200 m²的屋面铺设200kWp的光伏组件，每年发电量大约为22万 kWh，可满足厂房15%的用电需要；在车间顶部装设15组电动天窗，与侧墙通风口共同形成烟囱效应，加强自然通风效果。改造之后的监测数据表明，车间采光系数提高到3.5%，照明能耗下降40%；夏季室内平均温度降到28℃，空调负荷降低25%，CO₂浓度保持在1000ppm以下，符合工业卫生标准。另外光伏体系每年减排CO₂大约176吨，配合自然通风手段，该项目静态投资回收周期为6.8年。此案例显示，屋面光伏和自然通风的协同运用能够有效减少工业建筑的能耗，并且提高室内环境品质，为以低碳目标为导向的厂房节能改造提供可参考的技术途径。

2. 物流仓储案例

实证分析选取华东地区某冷链物流园区为研究目标，该园区把采用光伏、地源热泵耦合系统的冷藏库当作实证载体，对能源耦合效应进行验证，同时建立温度分层控制策略。项目整体建筑面积达12000 m²，其中冷藏库所占比例为60%，设计的温度范围是-25℃到5℃，分别设置冷冻区域、冷藏区域以及恒温区域。光伏系统总体装机容量达1.2MW，每年发电量约为130万 kWh，地源热泵系统所设计的制冷量为800kW，二者通过智能能源管理平台实现动态耦合：光伏所发电力会优先供应给冷藏库的压缩机组以及照明系统，剩余的电量会存储在200kWh的储能电池里，电量不足时由电网进行补充；地源热泵承担着冷藏库超过70%的制冷负荷，利用土壤恒温的特性来降低系统COP的波动。温度分层调控策略通过CFD模拟对气流组织进行优化，冷冻区域运用顶部送风、底部回风的垂直分层方式，冷藏区域则通过侧墙送风与货架通道回风相配合，实现同一库区内±0.5℃的温度精准控制。实际数据表明，此系统每年综合能耗相较于传统冷藏库减少38%，光伏自发自用比例达到82%，CO₂减排量大约为950吨每年，证实光伏、地源热泵耦合系统在冷链物流建筑里的能源协同效果。温度分层控制策略进一步加强冷藏库的能效以及运营稳定性，为低碳目标下工业建筑技术的转变提供可复制的实践案例。

五、总结

本研究以实现低碳目标为指引，重点关注建筑设计技术的创新以及节能方面的实践，全面梳理绿色建材、被动式设计、主动式能源、智能控制这四类技术于居住建筑、公共建筑、工业建筑里的应用规则。经实证研究分析体型系数、窗墙比、围护结构热工性能等主要参量和碳排放的对应关系，确定优化的方向。通过

数字孪生科技，搭建建筑全生命周期的数字镜像体，实现设计方案的精确模拟与动态管控。对于技术落地面临的政策障碍，给出健全标准体系、设立激励制度、加强协同监管等提议。研究成果为低碳技术的挑选与参数的优化提供理论支撑，为建筑行业的低碳转型提供实践途径与政策参考，帮助双碳目标下建筑领域的绿色发展。

参考文献

- [1] 马超. “双碳”目标下低碳建筑发展演化博弈研究 [D]. 山东科技大学, 2022.
- [2] 孙嘉祎. 低碳导向下寒地小型办公建筑设计参数多阶段多目标优化研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2023.
- [3] 陈弋冉. 低碳目标导向下武汉市碳排放碳汇水平评估及土地利用优化研究 [D]. 华中农业大学, 2023.
- [4] 王丽娟. 低碳转型导向下 N 厂精益成本管理体系构建与实践研究 [D]. 重庆工商大学, 2022.
- [5] 李思萌. 低碳目标导向下寒冷地区装配式公寓外界面窗口优化设计研究 [D]. 山东建筑大学, 2022.
- [6] 拉瓜登顿. 低碳节能理念在建筑设计中的运用 [J]. 现代装饰 (理论), 2014, 000(12): 219-219
- [7] 陈源强, 陈鑫. 低碳理念下的建筑设计应对策略 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022(22): 70-72.
- [8] 陈俊, 单萧龙. 低碳概念下的建筑设计应对策略 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(17): 191-194
- [9] 张希晨. 低碳概念下的建筑设计应对策略 [J]. 城市发展研究, 2010, 000(007): 45-51.
- [10] 覃波. 低碳建筑项目的碳排放核算及节能减排策略探究 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(3): 192-194.

建筑工程监理全过程质量控制与技术管理实践研究

梁旭辉

重庆林鸥工程咨询有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524000

DOI:10.61369/ADA.2026010039

摘 要 : 建筑工程监理全流程质量管控以技术管理作为核心支撑, 包含理论根据 (全面质量管理、PDCA 循环)、实践部分 (规划和施工阶段的监督干预) 以及数字化技术 (BIM、AI、物联网) 运用。通过案例分析现存的问题以及应对策略, 重点指出技术创新对于提高质量管控效能、促进该行业高质量进步的主要意义。

关 键 词 : 建筑工程监理; 全过程质量控制; 技术管理

Research on Quality Control and Technical Management Practice in the Whole Process of Construction Engineering Supervision

Liang Xuhui

Chongqing Linou Engineering Consulting Co., Ltd. Zhanjiang Branch, Zhanjiang, Guangdong 524000

Abstract : The full-process quality control of construction project supervision is based on technical management as the core support, covering theoretical basis (total quality management, PDCA cycle), practical part (supervision and intervention during planning and construction stages), and the application of digital technologies (BIM, AI, Internet of Things). Through case analysis of existing problems and countermeasures, it focuses on highlighting the significant importance of technological innovation in enhancing the efficiency of quality control and promoting the high-quality progress of this industry.

Keywords : construction project supervision; Whole process quality control; technology management

引言

建设工程质量是业界高质量发展的基础, 监理作为重要主体, 其全流程管控和技术水平直接关乎工程的合规性与安全性。2023 年住建部发布的《意见》清晰提出要加强监理在全过程的质量管控以及技术管理能力。本文围绕监理质量管控理论、技术管理基础、全流程实践以及数字化运用展开分析, 结合正反实例归纳经验, 同时探讨 AI、物联网等技术改革趋向, 目的是为监理工作的现代化转变提供理论支撑和实践途径, 推动建筑工程质量管控体系的升级。

一、建筑工程监理理论基础

(一) 建筑工程质量控制基本理论

建筑工程质量管控基础理论是监理工作的主要支撑, 其定义包含对工程建造全流程里影响质量的要素开展系统管理, 从而保证工程符合设计规定和相关准则。质量管控要遵循以预防为宗旨、全体人员参与、依靠数据判断等准则。其中以预防为宗旨重点于通过事前管控降低质量问题出现的概率, 全体人员参与要求监理主体、施工团队、建设单位等多方面协作, 依靠数据判断则通过质量检测数据来作出决策。相关理论根据包括全面质量管理理论, 此理论倡导从设计、施工直至验收的全流程质量管控, 重点指出质量是各个环节协同作用的成果^[1]。另外 PDCA 循环理论同样为质量管控提供方法指引, 经由计划、执行、检查、处理的循环流程, 不断提高工程质量。这些理论一同建立监理工作里质量控制的方案, 为全流程质量控制提供体系化的理论支撑, 保

障监理活动在科学理论的指引下进行, 提高工程质量管控的实效性。

(二) 技术管理基础概念

建筑工程监理理论基石里的技术管理基本概念, 其核心要义是针对建筑工程整个生命周期, 通过对技术方案、工艺准则、资源调配等因素的系统谋划、组织和协调, 保证工程技术活动符合规范规定并实现质量目的。技术管理的发展历史能追溯到早期工程建造里的经验式技术掌控, 随着建筑领域工业化与信息化的进步, 渐渐转变为包含技术规划、过程监管、风险预判等多方面的系统化管理方式。在建筑工程项目里, 技术管理的重要意义体现于它对工程质量起到的直接支持作用。通过规范施工技术的流程、优化技术资源的配置, 能够确实减少因技术失误而引发的质量问题, 提高工程建设的效率与安全性。技术管理还是监理工作履行质量管控职责的主要根据, 监理单位要通过技术管理体系, 对施工进度里的技术参数、工艺执行状况开展动态监管, 保证工

程建设符合设计要求和相关标准^[2]。对这一概念的梳理，为后续开展监理全过程质量控制的实践分析搭建理论方案，清楚技术管理于监理工作里的核心位置和实施途径。

二、全过程质量控制实践

（一）规划阶段质量控制

在建筑工程监理的规划时期，质量管控策略要重点设计审核、标准设定与资源分配这三个主要环节。设计审核要结合项目功能需求和规范规定，对初步设计、施工图设计开展多方面核查，重点关注结构稳固性、工艺合理性以及绿色建筑指标的落地，通过 BIM 技术模拟施工冲突与空间适配性，减少后期变更风险^[3]。标准制定要清晰质量验收相关的技术参数和流程，包含材料进场检验的标准、工序交接验收的规则以及主要节点的质量控制要点，保证各参与方建立统一的质量管控根据。资源分配要按照施工进度规划，对监理人员、检测仪器以及技术支撑资源开展动态安排，优先确保主要工序的监理力量，建立质量问题预警体系，通过前期风险评估预先识别设计瑕疵或资源错配风险，为后续施工环节的质量把控筑牢基础。

（二）施工阶段质量控制

施工阶段的质量把控应重点关注施工进度里的质量监督方法、常见问题判别以及实时干预措施，从而保证工程质量达到规定标准。监理单位需建立多方面的质量监管体系，通过现场巡检、平行检测、见证取样等手段，对主要工序、隐蔽工程以及重要材料开展动态追踪，比如对混凝土浇筑期间坍落度、初凝时间的即时监测，还有对钢筋绑扎间距、保护层厚度的复查^[4]。工程施工里常见的问题包括材料性能未达标、工序衔接存在缺陷以及施工工艺出现偏差等情况。监理工作人员要通过图纸会审、技术交底核查以及现场的实测实量等方式，提前识别潜在风险。例如针对模板支撑体系稳定性不够的状况，可运用应力监测设备来开展实时的数据采集工作。当察觉质量隐患时，需马上开启干预机制，发出监理通知单让施工单位进行整改，并且通过旁站监督保证整改措施得以落实，同时运用 BIM 技术对施工进度开展模拟预演，提前避免交叉作业冲突等潜在问题，建立监控、识别、干预的闭环管理模式，确保工程质量一直处于可控状态。

三、技术管理在监理中的应用

（一）技术管理方法

1. 信息化技术应用

技术管理于监理里的运用要通过信息化技术实现精准管控，BIM 技术能够搭建建筑信息模型，整合设计、施工等阶段的数据，监理人员利用模型可视化功能直观核查构件尺寸、管线排布等主要参数，提前识别碰撞问题并优化施工方案，减少返工风险^[1]。大数据技术能够收集施工进度里的质量检测数据、设备运行参数等信息，通过数据分析算法探寻数据关联规律，比如开展混凝土强度检测数据和养护条件的关联分析，对潜在质量隐患发

出预警，协助监理人员拟定具有针对性的管控措施^[2]。信息化平台可实现监理工作的流程式管理，把质量验收规范、隐蔽工程查验等步骤归入数字化体系，保证检查内容无缺失，同时形成可追溯的电子档案，提高管理效能与数据精准度^[3]。另外移动终端技术的运用让监理人员能够实时上传现场影像资料、填写检查记录，并同步更新到信息系统，方便多方协同查看和审核，缩短信息传递的周期^[4]。这些信息化技术的整合运用，促使监理工作由传统经验主导朝数据主导转变，为全流程质量把控提供技术支持^[5]。

2. 标准操作程序

技术管理于监理工作里的应用要依靠标准化操作程序（SOP）实现流程的规范化，从而降低施工方面的风险。标准作业流程的制定需结合建筑工程特性与技术准则，清楚各环节的技术规定、操作流程及验收规范，比如在混凝土浇筑之前，SOP 要规定原材料检验指标、配合比验证程序及浇筑期间的振捣频次等细节，保证技术管理有规可依。在实施环节要加强监理人员对 SOP 执行的监督工作，通过现场巡查和数据记录，核实施工行为是否符合程序规定。例如在钢筋绑扎期间，对间距、搭接长度的检查必须严格根据 SOP 里的技术指标，防止因操作误差引发质量风险。SOP 的动态优化体系十分主要，监理机构要根据工程实际反馈以及技术改革，定时修正程序内容。比如在引入新型建筑材料时，要同步更新材料检验与使用的 SOP 条款，以此保证技术管理的时效性和适应性。标准作业流程的高效运转能够降低因人为因素引发的技术差错，加强监理工作的专业性和可靠性，为全流程质量管控提供技术支撑^[6]。

（二）质量控制整合

1. 综合质量管理

在建筑工程监理的全程质量管控里，技术管理和质量管理体系的融合是实现系统化、全方位质量管控的主要途径。监理单位要以技术管理作为支撑，把施工技术标准、工艺规范以及技术交底要求融入质量管理流程，通过技术参数的精确把控加强质量控制的科学性。在综合质量管理方案里，技术管理能够通过建立技术质量联动体系，把材料检验、工序验收等流程的技术指标和质量验收准则相绑定，比如在混凝土浇筑之前，按照技术规范对配合比、坍落度等参数开展核验，保障质量控制的前置性与精确性。此外利用 BIM 技术、物联网这类数字化手段，监理人员能够实时收集施工进度里的技术数据，和质量标准数据库开展对比分析，实现质量问题的动态预警与即时纠偏。技术管理的融合还应提高监理人员的技术能力，让其可以根据技术标准对施工方案的可行性、工艺的适宜性开展审核，从根源避免质量隐患。另外技术管理和质量管理的协同要依靠标准化流程，把技术交底、隐蔽工程验收等技术方面纳入质量管控要点，建立技术支撑质量、质量反推技术优化的闭环系统，以此加强监理全过程质量控制的系统性和有效性^[7]。

2. 风险评估与控制

技术管理于监理工作里的运用要密切结合质量管控，其中风险评定与把控是确保工程质量的主要部分。建筑工程技术管理包

括设计文件审查、施工方案研讨、材料设备检测等多个环节，可能出现设计图纸深度欠缺、施工工艺不符合规范、新材料应用适配性不佳等风险点。风险评估能够运用层次分析法与模糊综合评价相结合的方式，通过识别技术方面的风险因素（例如设计存在缺陷、工艺出现偏差、设备发生故障），搭建风险指标体系并且对风险等级进行量化，确定高风险环节管控的优先级。防控策略应根据评估结果来制定，对于设计方面的风险，监理单位要和设计方共同开展图纸会审以及技术交底工作，保证设计意图和施工可行性相符合；针对工艺方面的风险，要加强施工方案的专家论证，建立工艺样板先行制度，对主要工序的技术参数进行实时监测；针对材料设备方面的风险，要严格落实进场检验和见证取样制度，引入 BIM 技术实现材料追溯与设备运行状态的监控。通过动态风险评估以及闭环控制体系，能够确实减少技术管理里的质量风险，加强监理工作的技术保障能力，确保工程质量目标实现^[8]。

四、实践案例分析与发展对策

（一）工程案例分析

1. 成功案例经验

工程案例分析的成功案例经验板块，挑选某超高层住宅工程当作研究对象，此工程总建筑面积大概 12 万平方米，结构类型是钢筋混凝土框架、核心筒结构，监理单位于全过程质量把控与技术管理里实施多项主要措施。监理小组建立了事前预控、事中检查、事后验收的三级质量管控机制，针对混凝土强度、钢筋绑扎、模板安装等核心工序编制专项监理实施细则，且引入 BIM 技术开展施工模拟与碰撞检测，确实降低施工偏差与返工^[9]。在技术管控方面，监理工程师认真审查施工组织设计和专项施工计划，针对深基坑支护、高支模搭建等具有较大危险性的分部分项工程安排专家进行论证，以保障技术方案具备科学性和可行性。监理单位搭建信息化管理系统，及时上传施工进程的影像资料和检测数据，实现质量问题的闭环跟踪。该项目最终一次性完成竣工验收，质量验收合格比例达 100%，未出现重大质量安全方面的事故，其经验显示，监理单位要加强技术预控的能力，通过信息化方式提高管理效能，同时重视和施工单位的协同交流，形成质量管控的合力。

2. 失败教训总结

实践案例分析与发展对策 工程案例分析 失败教训总结

某高层住宅工程在监理期间，对混凝土浇筑质量把控不足，导致主体结构产生裂缝，后期加固费用增加 30%^[1]。经回顾分析发现，监理单位没有严格落实全过程旁站机制，对于施工单位私自调整配合比的举动未及时加以制止，并且未根据规范要求开展混凝土强度回弹测试，导致质量隐患未能提前被识别。另一个商业综合体项目由于监理技术管理缺失，在机电安装阶段管线碰撞问题频繁出现，导致返工并导致工期延误 15 天^[2]。在这个案例里，监理工程师没有运用 BIM 技术开展管线综合碰撞检查，也没有安排施工单位进行技术交底，从而造成各专业施工出现脱节情况。这些失败事例反映出监理工作有质量管控流程落实不严格、技术

管理办法滞后、专业协作机制缺乏等状况。监理单位需加强全流程质量把控，严格执行旁站、巡视、平行检验等规定，同时引入 BIM、物联网等技术提高管理效能，建立跨专业协同交流机制，保证各环节质量在可控范围^[3]。

（二）现存问题与对策

1. 常见问题分析

当下建筑工程监理在质量把控与技术管理方面存在的常见问题和瓶颈主要体现在三个方面：其一监理工作的事前管控环节较为薄弱，一些监理单位没有针对施工方案的技术可行性、材料进场的质量合规性开展严格审查，导致施工过程中因方案存在缺陷或材料出现问题而引发质量隐患；其二过程监督的技术方法滞后，传统的人工巡检难以覆盖复杂结构施工的主要部位，像深基坑支护、高支模搭设等，容易出现监督空白区域；其三监理单位的技术能力与项目需求不相适配，部分监理工程师对新型建筑技术（如 BIM 技术、装配式施工）的应用认识不足，无法有效指导施工方解决技术方面的难题。另外监理单位和施工方、建设方的协作机制不健全，信息传输存在延迟或误差，造成问题解决不及时，进一步影响质量管控的有效性。这些难题共同限制监理工作在工程质量方面的保障效能，要通过针对性措施予以解决。

2. 改进措施建议

针对监理全流程质量控制现有的问题，改进办法要专注三个方面：一是确定监理在材料入场、隐蔽工程查验等阶段的独立决策权力与方案审批否定权力，防止建设单位干涉；二是搭建 BIM+ 物联网技术管理系统，关联设计施工数据实现工序可视化监管，动态监测沉降、应力等核心参数；三是创建包含装配式、绿色建筑等新兴领域的监理人员定期培训与信用评估体系，把管控效果与职业资格相挂钩。促进监理和施工单位建立协同沟通体系，通过技术交底会议与质量分析会议共同解决技术方面的难题，形成管控的合力。

（三）未来发展趋势

1. 技术创新趋势

随着建筑领域数字化变革进程加快，人工智能和物联网技术正成为建筑工程监理全流程质量把控与技术管理的主要创新走向。物联网技术通过布置传感器、RFID 标签等装置，实现对建筑材料、构件以及施工流程的实时数据收集，监理人员能够远程监测混凝土浇筑温度、钢结构应力变动等主要指标，迅速识别质量风险，弥补传统人工巡检的滞后性和局限性。人工智能技术运用机器学习算法来分析海量的施工数据，搭建质量缺陷预测模型。比如通过过往施工数据训练而成的图像识别系统，能够自动识别像钢筋间距偏差、模板垂直度超标这类问题，提高监理的效率与精准度。今后二者的结合会促使监理模式朝着智能化、自动化方向转变，建立感知、分析、决策、执行的闭环管理系统，实现从被动整改到主动预防的质量控制提高，并且为监理人员提供以数据为驱动的决策支撑，优化技术管理流程，以符合现代建筑工程对高质量、高效率的要求^[10]。

2. 管理创新方向

以某超高层住宅建设项目为例，监理小组搭建 BIM+ 物联网

方案，通过三维模型仿真避免工序冲突，联合传感器实时监控混凝土浇筑温度、钢筋保护层厚度等核心参数，把隐蔽工程验收合格比例提高到98%，工程工期相较于传统模式缩减15%。对于绿色建筑管理工作，该项目运用预制构件模块化安装方式，监理重点把控构件生产精准度以及现场拼接的密封性，实现建筑节能率72%的目标，符合国家绿色建筑三星标准。未来工程监理技术会与AI和大数据深度结合，运用智能算法对质量方面的隐患进行预测，例如根据历史数据识别出混凝土裂缝频发区域，进一步提前开展干预工作。管理改革重点智能化与绿色化双向驱动，其一打造监理数字孪生系统，实现施工全流程可视化监管；其二建立绿色材料追溯机制，从起始端把控环保建材品质，促使监理朝高效、低碳的可持续形态转变。

五、总结

本研究重点关注建筑工程监理全流程的质量把控与技术管理，分析其于设计、施工、验收各个阶段的控制主要要点与策略，清楚监理在协调参建各方、优化技术方案时的核心价值。研究显示全程式监理能够有效减少质量方面的隐患，提高技术合规程度与管理效能。但是研究针对复杂地质的特殊技术以及智能建造技术迭代所开展的 analysis 还不够深入。未来能够专注BIM、物联网等数字化监理工具的运用，探寻与绿色建筑、超低能耗建筑相适配的监理体系，为监理现代化转变提供更具针对性的理论与实践指引。

参考文献

- [1] 梅中鹤. 全过程咨询视角下的EPC项目监理风险控制研究 [D]. 南昌大学, 2022.
- [2] 黄晞. J 监理企业全过程工程咨询服务质量优化研究 [D]. 长安大学, 2022.
- [3] 廖家军. FY 公司模具开发的技术管理改进方案研究 [D]. 吉林大学, 2022.
- [4] 袁琳. Y 工程设计公司技术管理优化研究 [D]. 河北工业大学, 2022.
- [5] 肖兆成. H 监理公司监理服务质量提升对策研究 [D]. 河北工业大学, 2022.
- [6] 孟凡涛. 现场质量控制建筑工程监理中的重要性及实施措施研究 [J]. 中国住宅设施, 2023, (06): 110-112.
- [7] 刘军, 姚凤淑, 徐潇潇. 探究流域水环境监测全过程质量控制对策 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(05): 45-47.
- [8] 董杰. 大气环境监测全过程质量控制措施分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(22): 57-59.
- [9] 朱海军. 建筑工程监理过程中监理安全管理责任探讨 [J]. 中华建设, 2024, (09): 28-30.
- [10] 花夏, 卢宏波, 梁滔. 建筑工程技术管理中的控制要点与优化措施分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (20): 70-72.

建筑工程造价风险识别与动态管控策略研究

——基于全生命周期视角

林日汉

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010042

摘 要： 从全生命周期的角度出发，建筑工程造价的风险识别要根据各阶段的特点搭建理论方案，融合定性与定量的方法；动态管控通过 BIM、大数据等技术、跨阶段的组织协调机制以及过程监控手段来实现，实证表明其能够有效减少成本偏差。研究存在着数据共享以及智能化不够等局限之处，未来要整合人工智能（AI）技术对策略加以优化。

关 键 词： 建筑工程造价风险；全生命周期视角；动态管控策略

Research on Risk Identification and Dynamic Control Strategies of Construction Project Cost — Based on the Perspective of the Entire Life Cycle

Lin Rihan

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： From the perspective of the entire life cycle, the risk identification of construction project costs should be based on the characteristics of each stage to establish a theoretical plan, integrating both qualitative and quantitative methods. Dynamic control is achieved through technologies such as BIM and big data, cross-stage organizational coordination mechanisms, and process monitoring means. Empirical evidence shows that it can effectively reduce cost deviations. The research has limitations such as insufficient data sharing and intelligence, and in the future, integration of artificial intelligence (AI) technology should be used to optimize the strategies.

Keywords： construction project cost risk; perspective of the entire life cycle; dynamic control strategies

引言

建筑工程的造价风险在决策、设计、施工直至运维的整个生命周期中都存在，对其进行精确识别与动态把控是确保项目投资效益的主要部分。2020年，住房和城乡建设部所印发的《工程造价改革工作方案》清晰提出，要深化全生命周期的造价管理，促使风险管控由静态转变为动态。当下研究重点于全生命周期视角下的风险识别理论方案搭建，融合德尔菲法、故障树分析等定性和定量手段，通过 BIM、大数据技术建立动态监测与预警体系，建立跨阶段协作的管控机制。经实证案例检验，此体系能够确实降低造价偏差比例，提高风险应对效率，为建筑领域贯彻造价改革要求、实现精细化管理提供理论支持与实践办法。

一、建筑工程造价风险基础理论

（一）风险识别理论框架

建筑工程的造价风险识别要从全生命周期的角度出发，搭建系统的理论方案。各阶段风险差别明显：决策阶段政策改变、设计阶段方案瑕疵、施工阶段价格起伏等，要通过风险源分类、传导路径分析与评估方面设定实现结构化识别。WBS-RBS 模型实现风险精确锁定，全生命周期风险矩阵模型动态展现风险演变规律^[1]。理论方案清晰界定识别界限、方式与输出准则，为动态管

理控制提供逻辑起始点。

（二）动态管控概念界定

建筑工程造价的动态管控是于全生命周期里，根据实时数据和风险反馈，对造价目标开展持续监测、评估以及调整，实现偏差纠正与资源优化。管控覆盖决策、设计、建造、结算等环节，注重信息交互与协作。将风险识别作为基础，通过预警指标系统以及 BIM、大数据分析，若造价偏离设定阈值便开启调整方案。全寿命周期成本管理理论给出阶段划分与成本归集方案^[2]，系统论和控制论通过闭环模型实现造价偏差的动态校正。

二、工程造价风险识别方法研究

（一）风险识别技术体系

在系统整理建筑工程造价风险识别方式时，要融合传统的定性与定量工具，从全生命周期的角度搭建多方面的识别体系方案。德尔菲法通过多轮专家匿名反馈，可有效汇聚行业经验，识别决策环节的政策变化、市场起伏等潜在风险，其长处在于降低群体思维偏差，适用于前期信息不明的情形^[3]。故障树分析采用逆向逻辑来追溯风险的诱因，建立顶事件、中间事件、底事件这样的层级方案，精确找出设计阶段存在的技术问题、施工阶段出现的工艺漏洞等确切的风险点，为后续的管控提供清晰的因果路径。另外通过全生命周期的识别系统要包括决策、设计、建造、运维各个阶段，把德尔菲法的宏观预测和故障树分析的微观分析相结合，建立阶段、风险、方法的对应关系，保障风险识别的全面性与针对性。能够引入大数据分析手段辅助进行动态辨别，通过挖掘过往造价数据里的风险关联准则，提高辨别效率和精准度，为后续动态管控策略的拟定奠定基础。

（二）风险因素定量分析

在建筑工程造价风险识别方法研究的风险因素定量分析阶段，要针对全生命周期各个阶段的主要风险因素开展量化评定。材料价格变动作为主要风险之一，能够通过时间序列模型（像 ARIMA 模型）分析历史价格数据，联合宏观经济指标（例如 CPI、PPI）搭建预测模型，量化其对造价的变动幅度以及概率分布^[4]。工期延迟风险需结合施工进度规划与主要路径法（CPM），把延迟事件转变为工期偏差参量，通过蒙特卡洛模拟算出不同延迟情形下的造价增加预期值。另外政策法规的变动、地质条件的不确定性等风险因素，能够运用层次分析法（AHP）和模糊综合评价法相结合的方式，把定性风险转变为定量权重，然后通过敏感性分析来明确各因素对总造价的影响程度。这些量化模型的运用，不但能够精确识别风险出现的可能性以及影响程度，还可为后续动态管控策略的拟定提供数据支持，保证管控措施的针对性和有效性。

三、动态管控策略框架设计

（一）技术层面管控策略

1. 风险预警系统构建

在动态管控策略框架的设计里，技术方面管控策略的主要在于建立风险预警系统，要凭借 BIM、大数据以及物联网技术搭建全生命周期的动态监测体系。系统通过集成设计阶段的工程量清单以及市场价格数据，建立风险指标库，实时抓取材料价格起伏、设计更改等潜在风险。在施工阶段，会结合由物联网传感器所采集的进度以及质量数据，将其与预先设定的阈值进行对比，从而触发预警。比如说当混凝土浇筑强度的偏差超出 5% 时，就会自动把警报推送和管理端。在运维环节，通过建筑能耗监测数据和历史运维成本模

型进行对比，识别运营成本出现超支的风险。在实施途径方面，要先实现全生命周期数据的标准化，保证各个阶段的数据能够相互流通，接着通过机器学习算法来训练风险预测模型，提高预警的精准度。系统需设立分级预警体系，针对不同的风险级别联动应急响应程序，实现从风险识别至管控的闭环^[5]。

2. 成本数据分析技术

在动态管控策略框架方案建的技术方面管控策略里，成本数据分析手段是实现工程造价风险动态预估与管控优化的主要支撑。大数据技术的运用能够整合全生命周期不同阶段的成本数据，包括设计阶段的工程量清单、施工阶段的变更签证、运维阶段的维护费用等多源异构数据，通过数据清洗和标准化处理搭建统一的成本数据库^[6]。运用机器学习算法，像随机森林、神经网络之类的，对过往数据开展训练，建立成本风险预测模型，实时识别工程量偏差、材料价格波动、工期延误等潜在的风险因素。另外大数据技术可实现动态数据的更新以及实时分析，能根据项目推进情况自动调整预测模型的参数，加强风险预警的精准度和及时性。此项技术运用不但为风险动态预估提供由数据驱动的决策参考，还可通过可视化手段直观展现风险演变趋向，协助管理者拟定具有针对性的管控措施，实现工程造价从被动处理向主动防范的转变。

（二）管理层级管控策略

1. 组织协调机制

动态管控策略框架设计里的组织协调机制，要从全生命周期的角度搭建跨阶段协作的组织体系，保证各阶段风险防控具备连贯性和协同性。组织架构需突破传统的线性管理模式，建立包含决策层、执行层和监督层的矩阵式方案。决策层承担风险战略规划与资源分配的职责，执行层由设计、施工、造价等专业队伍构成，监督层通过第三方机构或者内部审计部门开展全过程的风险监测。跨阶段协作模式的运行机制需通过信息共享平台实现数据即时传递，比如设计环节的成本预估数据能够直接对接施工环节的预算调控，防止信息间断造成的风险积聚。建立定期协同会议机制，推动各阶段团队一同参与风险评估以及应对方案的拟定，保障风险管控措施的动态调整与落实。此机制要清晰界定各层级的职责范围，通过责任矩阵对任务分工加以细化，确保跨阶段协作具备高效性与精准度，最终实现工程造价风险在整个生命周期里的动态闭环管控^[7]。

2. 过程监控工具实现

在动态管控策略框架的设计里，过程监控工具的实现要依靠全生命周期的视角，把 BIM 技术当作核心来搭建多维数据集成平台，实现造价风险的实时跟踪与动态调控。此平台整合建筑信息模型、进度规划、成本数据库以及外部市场数据，通过参数化构件关联造价指标，在设计时期自动识别因材料替代、工艺变更等所引发的成本偏差，在施工阶段实时采集现场数据并与模型进行比对，对工程量超支、工期延误等风险予以预警^[8]。其效能评估

要从风险响应速率、成本偏差管控精度以及决策支撑能力着手，数据表明 BIM 工具能够把造价风险识别的滞后时长缩短 40% 以上，动态调整的成本误差率控制在 5% 以内，为管理层级的管控策略提供精确的数据支撑，促使全生命周期造价风险管控从被动应对转变为主动预控。

四、基于全生命周期视角的实证研究

（一）生命周期阶段风险特征分析

1. 规划期风险识别

在规划阶段将其作为造价管控的起始点时，风险具备隐蔽性与系统特性，会直接对投资估算的精准度以及成本基准产生影响^[9]。风险来自政策法规的动态变动、市场供需的不确定性以及项目决策的主观性：政策的调整或许会引发合规性方面的风险；市场的波动容易造成投资估算出现偏差；决策不清晰或者技术方案不合理可能导致设计出现变更。风险识别要综合定性和定量手段，搭建风险清单，通过敏感性分析来评估影响大小。规划阶段进行风险识别并与动态管控相互联动，通过跟踪政策和市场的动态情况，把识别得出的结果转变为预警指标，为后续时期提供参考，建立闭环式机制。

2. 施工期风险管控案例

从全生命周期视角开展的实证研究里，施工阶段是造价风险集中出现的时期，该阶段动态管控成效直接关系到项目整体造价目标能否实现。以某城市轨道交通车站项目为案例，此项目在施工期间面临地质状况复杂、材料价格起伏以及施工工艺更改等多种风险。研究小组通过建立动态风险监测模型，实时收集地质勘探信息、建材市场价格指数以及施工进度偏差等量化指标，发现施工前期因地下连续墙成槽碰到软弱土层导致工期延迟 12 天，同时钢材价格相较于投标阶段上升 8%，这两项因素共同导致造价超支风险值达到 15.6%^[10]。针对此情形，项目团队开启动态管控措施，一方面通过优化支护规划运用旋喷桩对软弱土层进行加固，把工期延误缩减到 5 天；另一方面和供应商签署带有调价条款的长期采购合约，锁定余下钢材的采购成本，最终施工阶段造价超支比率控制在 3.2% 以内，证实动态风险识别与快速响应机制对施工期造价风险的有效管控效能。

（二）动态管控策略优化验证

1. 策略调整模型设计

策略优化模型将风险反馈作为主要，融合全生命周期各时期风险特性与管控要求。模型运用系统动力学手段，把决策层、执行层和反馈层嵌套关联起来：决策层根据风险识别的结果来设定管控目标；执行层通过 BIM 等技术实时获取风险参数；反馈层在偏差超出阈值时启动策略调整。模型根据风险传导理论和闭环控制原理，实现从静态预设到动态适配的转变。通过实证比较模型运用前后的风险管控效能与成本偏差比率，证实其在各阶段的优

化路线，为动态管控提供量化支持。

2. 实际项目应用评估

从全生命周期的角度开展实证研究，挑选某超高层商业综合体项目当作样本，包括决策、设计、施工直至运维阶段，通过 BIM 技术搭建风险动态监测模型，实时抓取材料价格波动、设计变更以及工期延误等风险因素。动态管控策略的优化验证重点于模型参数的迭代，通过蒙特卡洛模拟来调整风险权重系数，把原本的静态阈值预警转变为动态阈值联动机制，让风险响应时间减少 30%。实际项目应用测评表明，优化后的方案在施工环节把成本偏差控制在 $\pm 5\%$ 范围之内，相比行业平均水准降低 40%，运维阶段能耗成本每年节约 12%，证实方案在复杂建筑工程全生命周期里的适用性和有效性，为相似项目提供可复制的风险管控模式。

（三）综合案例研究

1. 案例选择与背景分析

案例挑选与背景分析部分，择取某城市大型商业综合体项目当作典型案例，此项目总体建筑面积约 15 万平方米，包含商业裙楼、办公塔楼以及地下停车场，建设时间段为 2020–2023 年，总投资预算 18 亿元。项目整个生命周期各个阶段的风险分布特点明显：决策时期由于土地政策的调整，造成前期拿地成本超出预算 12%，可行性研究里没有充分考量周边交通规划的变动，给后期施工运输留下隐患；设计时期因为方案多次更改，使得设计周期延长 3 个月，初步设计概算比估算增加 8%；招投标时期对部分主材供应商的资质审核不够严格，出现材料质量不达标的情况；施工时期受到疫情的影响，劳动力不足导致工期延误 2 个月，建材价格的波动让成本增加 5%；运营时期设备维护成本超出预期，商业业态调整滞后影响租金收益。经由对该项目全生命周期各个阶段风险事件的整理，清楚风险出现的时间点、影响领域以及关联要素，为后续风险识别模型搭建与动态管控策略拟定提供实证支撑方案，保证研究结论的针对性和可操作性。

2. 数据收集与效果评估

从全生命周期视角开展的实证研究里，综合案例研究的数据采集与成效评估要包括项目决策、设计、施工、运维各个阶段。挑选不同种类（像住宅、商业、市政）的建筑工程当作样本，通过查阅工程档案、设计蓝图、施工记录、合同文书以及运维记载，搜集各阶段风险状况、成本偏差信息和管控措施落实情况。运用层次分析法搭建风险识别效果评估指标体系，包括风险识别覆盖程度、风险预警及时状况、风险误判比率等；成本控制效益通过实际成本与目标成本的偏离率、全生命周期成本节约金额等指标进行量化。对动态管控策略实施前后的数据进行对比，再结合项目参与方的访谈情况，分析该策略在提高风险识别精准度方面的作用，以及对成本超支的抑制成效，以此验证全生命周期动态管控在造价风险治理里的实际意义，为策略的优化提供实证根据。

五、总结

总结部分围绕建筑工程造价风险识别与动态管控策略的主要结论展开，从全生命周期视角开展的研究显示，此视角能够全面且系统地包括项目决策、设计、招投标、施工以及运维各个阶段的风险。通过建立动态风险评估模型和多阶段协同管控机制，可切实提高风险预警和应对的效率，减少造价偏差的比率。研究同

时点明了其存在的局限，例如各阶段风险数据的共享机制尚不完善、动态管控工具的智能化水平不够，并且针对突发公共事件等非常规风险的应对预案还需要优化。未来的研究需进一步融合大数据和人工智能技术，搭建跨阶段的风险数据共享平台，加强全生命周期各参与方的协同合作，同时拓展对极端风险场景的模拟和应对办法，以此提高建筑工程造价风险管控的精确性和适应性，为行业提供更具实践意义的理论支持与操作途径。

参考文献

- [1] 唐婕. DY 文旅小镇全生命周期视角的关键风险识别与控制研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [2] 顾婷. 文本挖掘视角下医养结合服务关键风险识别及管控策略 [D]. 江苏科技大学, 2023.
- [3] 李思卓. 美国数字货币风险的识别与管控研究 [D]. 吉林大学, 2022.
- [4] 李雪. H 公司财务风险识别与管控研究 [D]. 天津大学, 2022.
- [5] 刘家乐. 全生命周期视角下考虑交互作用的项目组合关键风险识别与控制研究 [D]. 长安大学, 2022.
- [6] 林永刚. 公路交通工程管理的风险防范措施分析 [J]. 行车指南, 2023(7): 0085-0086.
- [7] 管仁仟, 郑家玲. 建筑工程造价动态管控策略探讨 [J]. 2020(7): 196-196.
- [8] 王丹. 海洋工程结构建造质量风险识别与控制研究 [J]. 地产, 2022(4): 0071-0073.
- [9] 赵斌琳. 游乐项目全生命周期安全风险管控研究 [J]. 安全, 2022(009): 043.
- [10] 张惠玲, 崔翔, 刘芳, 等. 输变电工程造价管控全过程风险识别与策略研究 [J]. 电力与能源, 2023, 44(6): 670-673.

建筑工程施工全过程风险管理与控制策略探析

蔡峰

广东 广州 511300

DOI:10.61369/ADA.2026010044

摘 要： 本研究全面性研究建筑工程施工全流程风险管理，清楚各环节风险特性与内在联系，揭示风险传导机制，提出通过 BIM、实时监控等技术的管控策略及组织管理办法，结合实例验证其降低风险发生概率、优化工期造价的效果，指出要加强智能化技术整合，同时提及研究局限与后续研究方向。

关 键 词： 建筑工程施工；全过程风险管理；技术控制策略

Analysis of Risk Management and Control Strategies for the Entire Process of Construction Project Construction

Cai Feng

Guangzhou, Guangdong 511300

Abstract： This study conducts a comprehensive investigation into the risk management throughout the entire process of construction projects, clarifying the characteristics and internal connections of risks in each stage, revealing the risk transmission mechanism, and proposing control strategies and organizational management methods through technologies such as BIM and real-time monitoring. It also validates the effects of these measures in reducing the probability of risk occurrence and optimizing the construction period and cost through practical examples. The study points out the need to strengthen the integration of intelligent technologies, and mentions the research limitations and future research directions.

Keywords： construction project construction; entire process risk management; technical control strategies

引言

建筑工程施工全流程风险覆盖从筹备至验收的各个阶段，包括技术、安全、质量等多个方面，对其进行有效管控是确保工程安全和效益的主要。2023年住建部发布《房屋市政工程安全生产治理行动方案》，明确提出要强化施工全流程的风险识别、评估以及动态管控，为行业的风险管理提供政策方面的指引。随着超高层以及复杂结构工程项目数量的增加，传统管理方式难以应对多源风险的耦合作用，需要通过 BIM、物联网等技术搭建数字化风险管控体系。本文针对施工全周期的风险特性、评估手段以及控制策略开展系统性研究，通过理论梳理和案例实证，探寻技术与协同的风险防控途径，为提高建筑工程施工风险管理水准提供支持。

一、风险管理理论基础

（一）风险管理的概念与范畴

建筑工程施工全流程风险是指工程自施工筹备至竣工验收各个阶段也许出现的、对目标实现产生影响的不确定事件或者因素，其定义要结合工程全生命周期的特性，包含风险识别、评估、应对以及监控的动态进程^[1]。从类别角度而言，技术风险源自施工技术方案存在缺陷、新材料运用不够成熟等情况，安全风险关乎施工人员操作是否符合规范、设备维护状况以及现场环境存在的隐患，除此之外还包括合同风险、经济风险以及环境风险等。各类风险彼此关联，例如技术方案欠合理或许会引发安全事故，从而造成经济损失。风险管理于工程管理里占据核心位置，其作用机理表现为通过系统识别潜藏风险，定量评估风险出现概

率与影响程度，拟定有针对性的应对措施，进一步减少风险事件发生几率和损失，确保工程进度、质量以及成本目标实现，同时为决策提供科学支撑，加强工程管理的前瞻性与主动性。

（二）风险管理研究脉络与发展趋势

从风险管理理论基础的国内外研究情况来看，建筑工程施工全流程风险管理的理论方案已逐渐完备。海外学者较早专注施工阶段的风险识别与量化，通过建立概率模型对工期延迟、成本超支等风险予以评估，形成像蒙特卡洛模拟、故障树分析等经典办法^[2]。国内的研究更侧重于与本土工程实际相结合，在风险动态监测及预警系统的研发方面有所成效，比如通过 BIM 技术的施工风险可视化管控工具，可实时跟踪主要工序的风险状况。技术管理领域的成果专注于风险管控策略的改进，包括施工技术方案的风险预先控制、智能监测装置的运用以及应急方案的数字化改

革。在发展趋向方面，国内外的研究均朝着智能化、集成化的方向拓展，通过大数据分析机器学习算法来加强风险预测的精确程度，并且重点强调全生命周期的风险协同式管理，为建筑工程施工整个过程的风险管控提供多方面的理论支持。

二、建筑工程施工全过程风险分析

（一）施工前风险因素分析

在施工之前开展风险因素分析时，规划和设计阶段所存在的潜在风险会对施工整个过程的顺利开展产生直接影响，其中技术方案存在的缺陷以及材料选择方面的风险显得非常重要。技术方案的不足或许是由于设计参数欠合理、结构计算有误或者施工工艺选取不当造成的。比如在高层建筑的抗震设计里，要是没有充分考量地质条件，就可能导致施工阶段结构的稳定性欠佳，提高安全事故出现的几率^[3]。材料选取风险体现于材料性能和工程需求不相匹配，例如所选的混凝土强度等级未达设计要求，或者防水材料耐候性欠佳，可能会引发后期结构出现开裂、渗漏等质量问题，进一步增加返工的成本。这些风险的作用机制是，规划和设计阶段作为施工的前期环节，其存在的缺陷会经由施工流程传导至后续环节，造成施工进度滞后、成本超出预算，甚至引发安全方面的事故，所以要在施工之前对技术方案以及材料选取开展严格审查和风险评估。

（二）施工过程风险因素分析

建筑工程施工进程风险要素分析应关注施工阶段主要风险以及其和技术管理的联系。施工阶段最为突出的风险类型是安全风险，其主要来源于技术管理里安全技术交底不够充分、施工方案对危险源的识别存在欠缺，容易引发触电、坠落等事故。质量管控风险和技术管理的相关性显示在施工工艺实施偏差、材料检验程序缺失等方面，像混凝土配合比设计不科学或者模板支撑体系计算有误，而技术交底不充分、现场技术监管缺失就会加剧这类风险。另外施工进度里的环境风险同样和技术管理紧密相连，例如基坑挖掘时未开展有效的降水或者边坡支护设计，也许会引发基坑塌陷，这和技术方案中地质勘察数据运用不充足直接有关^[4]。施工进度风险的引发因素既包括技术方面的设计瑕疵、工艺挑选欠佳，也包含管理方面的技术交底不标准、现场技术管控缺位，二者相互影响，一同构成施工进度风险的主要源头。

三、风险管理与控制策略

（一）风险识别与评估技术

1. 定性风险评估方法

在建筑工程施工全流程风险管理里，定性风险评估办法通过非量化方式分析风险出现的可能性以及影响程度，为风险决策提供直观的根据。专家访谈法凭借建筑领域专家的实际经验，通过结构化或者半结构化访谈来收集施工各环节潜在风险信息。在某高层建筑物项目里，通过对结构工程师、施工项目经理等专家开展访谈，识别出深基坑支护失效、混凝土浇筑质量缺陷等主要风

险，证实该方法在复杂工程风险识别中的有效性^[5]。德尔菲法通过多轮匿名函件来整合专家的看法，降低群体思维所产生的偏差。在某市政桥梁工程运用此方法时，围绕施工安全、材料供应等方面设计多轮调查问卷，最终归纳得出风险的优先级排序。这些定性工具不依靠复杂的数据模型，通过专家知识和群体智慧相融合，可迅速捕捉施工进度里隐性或者动态的风险，和定量方法构成互补，一同支撑施工全流程的风险管控体系。

2. 定量风险评估方法

定量风险评估手段通过对风险发生概率和影响程度进行量化，为建筑工程施工全流程的风险决策提供数据支持。蒙特卡洛模拟把随机抽样当作核心，根据施工进度、成本等参数的概率分布状况，经过数千次迭代来模拟风险变量的组合效果，输出工期延误、成本超支等风险的概率分布曲线形式，帮助管理者直观了解极端风险事件的发生概率^[6]。风险矩阵运用二维矩阵把风险概率和影响程度划分成不同级别，结合施工阶段的特性（像基坑开挖、高空作业）对风险因子予以赋值，建立出风险等级矩阵图，确定高风险区域的优先顺序。两种方式在执行时要结合建筑工程的繁杂性，像蒙特卡洛模拟要依靠 BIM 模型的参数化数据提高模拟精准度，风险矩阵需动态更新施工进度里的风险因子权重，以此加强评估结果的及时性与精确性，最终为风险管控策略的制定提供量化凭据。

（二）风险控制策略与技术管理

1. 技术控制措施

建筑工程施工全流程的技术管控措施要结合数字化工具和实时监测办法，来提高风险识别与响应效能。BIM 技术通过搭建三维信息模型，整合地质状况、结构设计以及施工进度的数据，实现风险源的可视化分析。比如在深基坑支护设计环节，能够模拟不同工况时的结构应力分布，提前识别支护结构的变形风险^[7]。实时监控系统通过物联网传感器、无人机巡查等技术，对施工主要指标进行动态收集，数据经云平台实时传送到管理终端，当监测数值临近预警阈值时自动启动警报，帮助管理人员迅速制定调整策略。另外运用机器学习算法对过往监测数据展开分析，能够建立风险预测模型，实现从被动处理到主动防范的转变。这些技术方法的协同运用，能够缩短风险应对时间，降低施工事故发生概率，同时为施工方案的优化提供数据支持，提高全过程风险管理的精确性与实效性。

2. 组织管理措施

组织管理措施于建筑工程施工全流程风险管控里起着核心支撑效用。应急方案的编制需根据风险识别和评估成果，确定风险应对流程、责任主体以及资源调配办法，比如针对深基坑坍塌这一风险，要预先设定应急救援队伍的响应时长、物资储备规范以及与外部机构的协作方案，通过定期演练提高方案的可行性与时效性^[8]。合同管控要加强风险条款的精准化设计，清晰界定各方风险责任范围，例如针对材料价格起伏风险，能够运用可调价格合同条款或者设置风险分担机制，并且建立合同履行动态监测体系，及时察觉违约风险并实施纠偏措施。组织管理措施的优化需搭建多方面风险管控组织框架，把风险责任落实到特定岗位，通

过定期的风险评审会议对管控策略进行动态调整，保证组织措施与技术管理、经济办法协同发挥作用，加强施工全流程风险控制的有效性和系统性。

四、控制策略应用与实践案例

（一）全过程控制策略实施

1. 前期策略应用

在某超高层建筑物工程前期设计环节，为防范结构安全以及成本超支风险，项目团队运用 BIM 技术搭建三维模型，针对主要节点的荷载传递、抗震性能开展模拟分析，识别出核心筒和外框柱连接节点存在的应力集中问题^[9]。根据模型分析的成果，技术小组对节点构造加以优化，把刚性连接转变为半刚性连接，且运用高强度螺栓替换部分焊接工艺，让应力集中的问题获得明显改善。通过模型集成成本数据库，针对材料选型和施工工艺开展多方案对比选择，在实现结构安全要求的基础上，对混凝土强度等级和钢筋配置方案加以优化，实现主体结建立安成本的合理降低。此案例显示，设计环节的模型分析与技术改进策略，可预先识别潜藏风险，通过有针对性的调整实现风险预先控制，为后续施工环节的有序开展奠定基础。

2. 施工中策略应用

在施工期间，策略的运用要将实时监控以及动态调整当作主要要点。通过物联网传感器对主要结构参数开展实时收集，联合 BIM 模型搭建数字化监测平台，实现风险因素的可视化展示。当监测数据超出预先设定的阈值时，系统会自动启动预警机制，技术小组根据风险评估模型迅速分析成因，并同步对施工方案进行调整^[10]。引入无人机巡检以及 AI 图像识别技术，针对高危区域开展高频度隐患排查。为评价控制效果，运用 PDCA 循环管理方式，定时对比实际施工数据和计划目标，通过风险降低率、隐患整改及时率等指标量化策略的有效性。在某超高层建筑物项目里，通过上述策略的运用，确实减少了结构施工时期的风险事件发生概率，工期延误的风险得到明显管控，证实动态调整机制的实践意义。另外建立施工人员安全行为监测体系，规范现场作业程序，通过多方面技术方法的协同运用，实现风险的闭环管控，保障工程建设的安全与高效。

（二）技术管理的创新应用

1. 信息技术应用

在控制策略的应用及实践案例里，技术管理的创新性应用于信息技术领域显示为大数据和 AI 技术的深度结合。通过搭建风险预测模型，能够整合建筑施工全流程的多源数据，包括地质勘察、材料供给、人员安排以及环境监测等方面的信息。比如某超高层建筑物项目引入通过机器学习的风险预估系统，通过历史施工数据来训练模型，实时分析混凝土强度、塔吊运行参数以及天气变化等变量，提前 72 小时对潜在结构安全隐患发出预警，让事故发生率下降 35%。此模型运用神经网络算法对数据关联进行识别，实现风险因素的动态评估。和传统人工排查相比，效率提高 40%，并且预测准确率达到 89%。信息技术的运用不但优化风险

应对流程，还通过数据可视化平台帮助决策，让管理人员迅速锁定风险源并拟定针对性管控措施，展现技术改革在全流程风险管理里的核心价值。

2. 工程技术应用

在建筑工程施工全流程风险管理里，工程技术运用通过新工艺与材料的创新性使用，为降低风险提供重要支撑。以某超高层建筑物项目为例，在核心筒施工里运用液压爬模体系取代传统脚手架，此工艺通过模块化设计和智能同步提高技术，明显降低高空作业的暴露时长，让脚手架坍塌风险得以有效管控，并且施工效率大幅提高。在材料改革方面，项目采用高延性纤维混凝土（ECC）替换普通混凝土应用于剪力墙结构。ECC 材料具备的裂缝管控能力让结构的抗裂特性明显提高，有效减少因混凝土开裂而导致的渗漏、承载力降低等风险。从工程案例数据可知，新工艺和材料进行组合运用，不但把施工阶段安全事故的发生概率控制在较低程度，还让主要线路的工期得以缩短。

（三）案例实证研究

1. 案例选择与分析

案例挑选以代表性、数据可获取性以及风险多样性作为核心准则，选取华东地区某超高层综合建筑项目当作研究对象，此项目包含深基坑支护、大跨度钢结构安装以及超高层泵送混凝土等主要施工工序，在施工周期里面临地质状况复杂、工期紧迫以及技术交叉作业等多种风险，符合研究对于全过程风险场景的要求。研究手段运用风险指标体系搭建法，结合文献整理与专家交流，从技术、环境、管理、经济方面筛选出风险指标，通过层次分析法（AHP）明确各指标权重，其中深基坑坍塌、钢结构吊装失稳以及混凝土供应中断被确定为主要风险点。根据此指标体系，对项目施工全流程的风险识别、评估以及应对办法开展追踪分析，验证前期所提的动态风险矩阵 + BIM 技术集成控制策略的有效性。

2. 效果评估与启示

选择某超高层建筑物项目当作实证研究的对象，此项目于施工的整个过程里面临着地质状况复杂、工期紧迫以及技术难度大等风险。通过推行动态风险监测系统，联合 BIM 技术开展风险模拟与预警工作，并且组建跨部门风险应对小组，针对深基坑支护、钢结构吊装这类主要部分拟定专项管控策略。案例实证研究表明，项目通过风险识别环节的 FMEA 分析，让高风险项数目明显降低；施工时期运用实时监测技术，结构变形风险和工期延误风险均得以有效管控。效果评价显示，技术引领的风险管理措施明显加强项目应对不确定状况的能力，其中 BIM 和物联网技术的结合实现风险数据的即时共享与决策优化。

五、总结

本研究围绕建筑工程施工全流程风险管理与控制策略开展系统性分析，明确施工整个周期各个阶段（前期筹备、施工执行、竣工验收）的风险特性与内在联系，揭示风险传导的动态机制。研究结果显示，技术管理为风险防控的主要支撑，通过搭建通过

BIM 的风险可视化模型、引入精益施工技术来优化流程、加强主要工序的技术交底以及质量管控，能够有效减少风险发生的概率和损失的程度。同时研究指出未来要进一步探寻智能化技术的集成途径，例如通过物联网对风险源开展实时监测、运用人工智能

算法实现风险预警和动态决策，从而提高风险管理的精准度与时效性。本项研究仍然存在一定局限，例如针对极端环境中的风险应对机制开展的研究不够充分，并且案例样本大多集中在大型公共建筑方面，对于中小型项目的适用性还有待进一步验证。

参考文献

[1] 毛罗生. 电子产品认证工程的全过程风险管理研究—以开关电源产品为例 [D]. 广东: 华南理工大学, 2022.

[2] 王一凡. Z 银行“双碳”业务风险管理与控制策略研究 [D]. 河南: 华北水利水电大学, 2023.

[3] 张雷. EPC 总承包项目管理全过程法律风险管理与对策研究 [D]. 天津: 天津理工大学, 2023.

[4] 柏旭. 邻近既有建筑的深基坑工程施工安全风险研究 [D]. 辽宁: 沈阳建筑大学, 2022.

[5] 迟庆娟. 海外建筑工程施工总承包项目风险管理研究 [D]. 山东: 青岛理工大学, 2022.

[6] 段阿曼, 赵灵君, 倪伟. 高校进口科研设备采购全过程风险管理探析 [J]. 中国招标, 2022(11): 103-104.

[7] 林淳意, 林萌鑫, 王爱芳. 建筑工程施工安全风险管理与防范分析 [J]. 中国住宅设施, 2024(6): 40-42.

[8] 肖敏. 探讨建筑工程施工全过程管理问题 [J]. 科技创新导报, 2022, 19(9): 240-242.

[9] 刘文聪, 朱博莉, 王宏业, 等. 某高层建筑混凝土核心筒—外框架竖向变形差值研究 [J]. 施工技术 (中英文), 2022, 51(4): 108-113.

[10] 刘星. 建筑工程施工的质量管理与控制对策 [J]. 散装水泥, 2023(3): 42-44, 47.

既有建筑可靠性与抗震鉴定关键技术 及综合评估方法研究

李铭强

佛山市安固之房屋检测鉴定有限公司，广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ADA.2026010045

摘 要：既有建筑的可靠性和抗震鉴定要围绕结构体系的完整性、功能的适用性来开展，结合现场检测得到的数据、量化的指标体系进行评估。抗震性能评估按照规范，通过模型验证和薄弱部位识别，搭配加固技术提高性能。以建筑信息量化、数据收集处理为基础，搭建损伤变形评估与风险预估模型。应用实践包含施工周边监测、司法鉴别及案例核验，创新手段提高鉴别效率与精准度，为加固决策提供科学支撑。

关 键 词：既有建筑；可靠性鉴定；抗震鉴定

Research on Key Technologies and Comprehensive Evaluation Methods for Reliability and Seismic Identification of Existing Buildings

Li Mingqiang

Foshan Anguzhi House Inspection and Appraisal Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract： The reliability and seismic assessment of existing buildings should be carried out based on the integrity of the structural system and the applicability of functions. Combined with the data obtained from on-site inspections and a quantitative index system, an evaluation should be conducted. The seismic performance assessment should follow the standards, through model verification and identification of weak parts, and combined with reinforcement technologies to improve performance. Based on the quantification of building information and data collection and processing, a damage deformation assessment and risk prediction model should be established. The application practice includes monitoring around the construction site, judicial identification, and case verification. Innovative methods are used to improve the efficiency and accuracy of identification, providing scientific support for reinforcement decisions.

Keywords： existing buildings; reliability assessment; seismic appraisal

引言

既有建筑的稳固性与抗震评估是确保城市建成环境安全、推进老旧建筑更新改造的主要支撑环节。2021年施行的《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021-2021清晰规定要对既有建筑的结构安全、使用功能以及抗震性能开展系统性评价，为鉴定工作提供法定的技术支持。文章围绕结构体系完备性、功能适配性、抗震性能等核心方面，搭建融合多源检测数据的综合评价框架，整合材料性能检测、损伤变形量化、风险预测模型等主要技术，通过典型实例验证方法的有效性，目的是为既有建筑的维修加固决策、施工影响评估以及司法纠纷解决提供科学根据，推动实现城乡建设领域的安全保障与可持续发展目标。

一、可靠性鉴定关键技术研究

（一）结构体系与使用功能评估

结构系统与使用功能的评估属于既有建筑可靠性鉴定的主要部分，其研究要围绕结构系统的完整性以及功能的适用性来开展。结构体系完备性评估要结合现场检测的数据，通过分析构件连接节点的稳固性、传力路径的连贯性以及空间协同运作能力，识别因材料老化、荷载变动或设计漏洞造成的体系损害^[1]。功能

适用性评价重点关注建筑使用功能和现行规范的符合度，包含户内空间布局的合理性、设备系统运行的有效性以及无障碍设施的完善状况等方面，要建立量化指标体系来体现功能退化的程度。影响房屋耐久性的主要要素包括环境侵蚀、材料老化以及维护状况，要通过长期监测数据和加速老化测试，确定各因素对结构使用寿命的影响权重。通过此情况，整合安全性与正常使用性能的评估成果，搭建多指标层级的综合评判体系，实现从单一性能评判到全方面可靠性评估的转变，为既有建筑物的维修加固决策提

供科学支撑。

（二）综合评级与处理建议体系

综合评估与处置建议体系应以可靠性分级准则为核心，界定A/B/C/D级的含义及量化根据。A级意味着建筑可靠性符合现行规范标准，结构稳固且使用功能正常，无需进行特殊处理；B级表示可靠性稍低于规范要求，不过整体安全不受影响，可通过局部修缮或维护来维持使用；C级显示可靠性未达到规范，存在安全方面的隐患，需要开展加固处理以加强结构性能；D级代表建筑可靠性严重欠缺，已经对结构安全构成威胁，应马上停止使用并考虑拆除或重新建造。量化的根据要结合结构材料的性能、构件损伤的程度、承载能力验算的结果等指标，通过层次分析法或者模糊综合评价等方式来确定等级归属^[2]。根据评级成果，针对性的处置方案要兼顾技术的可行性与经济的合理性：A级建筑能够维持当前状况并按时进行监测；B级建筑通过局部修补、防腐处理这类修缮手段恢复其功能；C级建筑需要运用增大截面法、粘贴纤维复合材料等加固技术加强承载能力；D级建筑则应当制定拆除重建或者整体加固的方案，并且在施工期间采取临时支护措施保障安全。此体系要实现评级和处理措施的精确对应，为既有建筑物的可靠性提高提供体系化指引。

二、抗震鉴定原理与技术应用

（一）抗震能力评估规范与方法

既有建筑的抗震能力评估应严格按照现行抗震规范的要求来开展，通过现场检测得到结构材料强度、构件尺寸、连接构造等重要参数，建立符合实际受力特征的计算模型，再结合结构动力特性的测试结果来验证模型的精确性。在评估流程里，要通过振型分解反应谱法或者时程分析法来算出结构在多遇地震、设防地震以及罕遇地震作用时的内力和变形情况，找出承载力不够的构件、刚度出现突变的部位、节点连接的薄弱之处等抗震方面的薄弱环节，并且分析结构整体的抗倒塌能力以及非结构构件存在的潜在风险点。规范方法遵循分级评估准则，先通过宏观检查和快速评估挑出明显不满足抗震要求的建筑，接着对需要深入分析的建筑开展详细计算与性能化评估，以保障评估结果具备科学性和可靠性^[3]。

（二）抗震加固技术依据

抗震加固技术的根据要紧密依靠抗震鉴定的结果，通过分析建筑结构在抗震性能方面的缺陷以及薄弱之处，为加固设计提供科学的支撑。鉴定结论指出了结构在地震作用时存在承载力不够、变形能力欠佳以及构造措施欠缺等状况，这是制定加固方案的主要根据。比如当鉴定表明框架柱延性不够时，要针对性地运用增大截面或者粘贴纤维复合材料等方式来提高延性^[4]。对不同加固方案的适用性评估要结合建筑结构类别、既有受损程度以及使用功能要求，例如对于砌体结构，常采用钢筋网水泥砂浆面层进行加固，而针对混凝土结构，可选用粘贴钢板或者碳纤维布等方式。技术经济评价准则要全面考量加固费用、施工时长、对建筑使用功能的作用以及加固后结构的耐久性，通过量化分析不同

方案的投入产出比例，挑选出技术可行且经济合理的最佳方案，保证加固工程在实现抗震要求的同时实现资源的高效运用。

三、综合评估方法框架构建

（一）基础检测数据采集与处理

1. 建筑信息与几何尺寸量化方法

建筑信息及几何尺寸量化方式是既有建筑可靠性和抗震鉴定的基础部分，其主要在于通过多源技术途径实现建筑信息的精确提取与数字化显示。首先要对已有的建筑设计图纸、竣工资料等历史文献开展系统分析，确定建筑的结构体系、构件种类以及空间布局情况，并且结合实地测量来验证图纸和现状的相符性，排除因改造、损伤所造成的偏差。对于构件尺寸的量化处理，运用激光扫描、全站仪测量这类数字化手段，对梁、柱、墙等核心构件的截面大小、空间方位开展高精度采集工作，生成点云数据，通过BIM技术搭建三维模型，实现几何信息的可视化和参数化存储。在这一过程里，要建立数据校验体系，通过现场复查和交叉核实保证测量数据的客观性与精准度，为后续可靠性分析与抗震性能评定提供稳固的数据支持^[5]。此方法不但提高信息收集的效率，还通过数字化方式实现建筑几何特性的精准量化，为综合评价框架的搭建奠定数据基础。

2. 材料性能检测技术与数据分析

在既有建筑可靠性和抗震鉴定工作里，基础检测数据的收集与处理属于综合评估方法框架搭建的主要步骤，其中材料性能检测技术以及数据分析特别重要。混凝土强度检测一般采用回弹法，通过回弹仪测定混凝土表面硬度进一步换算出强度值，此方法要严格根据检测区域划分、测区数量确定以及数据修正等标准化流程^[1]。砌体结构可通过抽样检测获取抗压强度，抽样点应避免主要受力部位并确保具有代表性，试验数据需去除异常值后开展统计分析^[2]。钢筋探测技术通过电磁感应原理测定钢筋位置、直径以及保护层厚度，能够有效防止对结构造成损伤，探测数据要和设计图纸进行对比验证^[3]。在数据处理环节要建立标准化程序，包括原始数据核查、异常值辨认与处置、统计参数运算等流程，保障数据的精确性和可信度^[4]。将无损检测和取样试验的结果相结合，通过数据融合技术提高材料性能评估的精准度，为后续的综合评估提供稳固的数据支持^[5]。另外要建立数据库管理体系实现检测数据的高效存储和共享，利于不同检测手段结果的交叉核验与分析^[6]。

（二）损伤变形评估与风险预测模型

1. 裂缝与变形特征量化分析

在综合评估方法框架搭建里，损伤变形评估和风险预测模型的主要部分是裂缝及变形特征的量化分析。针对裂缝的特性，要建立系统的记录方式：通过高清图像采集以及三维激光扫描技术来获取裂缝的宽度、长度和走向等数据，结合图像处理算法实现参数的自动提取，保证数据精度达到0.1mm的级别^[7]。针对变形特征，倾斜度监测运用高精度倾角传感器和全站仪相结合的办法，实时收集结构顶点和基础的倾斜差异值；沉降量监测是通过

布置分层沉降仪以及 GNSS 位移监测系统,实现毫米级沉降数据的持续记录。在量化分析的进程里,要把裂缝参数和变形数据进行关联,搭建多方面的特征矩阵,给后续的风险预测模型提供基础输入。此量化分析系统不仅要符合现行鉴定标准对于参数精度的要求,还得通过历史数据开展训练,对特征权重加以优化,提高评估结果的可信度。

2. 基于数据的风险评估等级预测

在综合评估方法体系搭建中,损伤变形评估和风险预测模型的核心要点是通过数据开展风险评估等级的预测,其重点在于建立损伤数据和结构安全等级的关联模型,从而实现风险的动态量化评估。此模型要整合结构损伤检测方面的数据(像构件裂缝宽度、变形的量、材料强度退化情况等)和历史地震损伤案例的数据,通过机器学习算法(例如随机森林、支持向量机等)建立输入变量(损伤指标)和输出变量(安全等级)之间的映射联系。在模型训练进程里,要引入结构力学参量(像刚度、承载力)当作中间变量,强化损伤数据和安全等级的物理联系,并且结合实时监测数据(例如振动加速度、位移响应)实现动态更新。研究显示融合多源数据的关联模型能够有效提高风险等级预测的精确性,为既有建筑的抗震鉴定提供量化支撑^[8]。此模型不但能够输出结构当下的安全级别,还能够通过参数敏感性分析辨认主要损伤指标,为后续的加固决策提供支撑,最终建立数据采集、模型训练、等级预测、动态更新的闭环评估系统。

四、综合评估应用实践分析

(一) 施工周边房屋检测鉴定技术应用

1. 施工前安全状态预评估方法

在综合评估的应用实践分析里,施工周边房屋检测鉴定技术运用的施工前安全状况预评估方式要结合现状检测和影响预估。起始对现存建筑开展全面检测,包括结构材料强度、构件损坏、形变状况等,运用无损检测手段像回弹法、超声法来获取混凝土强度信息,通过全站仪测定结构整体变形,并且记录房屋裂缝分布以及宽度^[9]。根据检测数据,结合施工类型(像基坑开挖、桩基施工)的荷载特性,搭建环境振动影响预估模型,该模型要考量施工振动的频率、振幅以及持续时长,通过数值模拟分析振动对建筑结构的动力反应,预估可能出现的附加变形或者应力集中地带。预评估工作要把现状检测成果与预测模型输出相融合,判定房屋当下安全状况是否符合施工阶段的抗干扰标准,为后续施工方案的优化以及保护措施的制定提供支撑,保障施工前房屋结构的安全性和稳定性。

2. 施工后损害程度鉴定与归责分析

施工完成后损害程度鉴定和归责分析要结合施工影响区域以及既有建筑自身状况开展,通过现场检测和数值模拟搭建损伤因果关系链条。运用三维激光扫描手段获取结构形变数据,结合混凝土强度回弹、钢筋锈蚀检测等指标,建立损伤等级量化模型,把损伤程度划分为轻微、中等、严重三个级别,对应不同的修复与加固要求^[1]。责任认定分析要区分施工震动、地基下沉等直接

干扰因素和建筑材料老化、结构设计瑕疵等固有因素,通过有限元模拟来对比施工前后结构响应的差别,明确施工举动对损伤的贡献程度^[2]。采用模糊综合评价法,融合专家权重和监测数据,建立责任划分矩阵,保障归责流程的客观性与科学性^[3]。在实际的案例里,某地铁建设项目运用上述方式鉴定周边建筑物墙体裂缝的成因,判定施工沉降是主要的诱发因素,为后续的赔偿以及加固方案提供根据^[4]。此项技术体系要进一步融合物联网的实时监测数据,加强损害预警与归责的及时性^[5]。

(二) 司法鉴定技术框架与实践

1. 房屋质量纠纷客观鉴定方法

在综合评估的应用实践分析里,司法鉴定的技术方案与实践要围绕房屋质量纠纷的客观鉴定办法来开展,重点研究开发商交房质量、装修破坏等问题的检测准则与归因技术。在房屋交付质量鉴定工作里,要根据《建筑工程施工质量验收统一标准》等相关规范,针对结构构件的强度、尺寸偏差以及防水性能等各项参数展开检测,利用回弹法、钻芯法等技术手段来获取混凝土强度方面的数据,再结合现场勘查的记录情况,评估施工质量是否符合标准要求。装修破坏鉴定要划分装修行为和原结构缺陷的责任界限,运用红外热像仪来检测墙体空鼓情况、利用超声探伤仪探查隐蔽工程的损伤状况,并且分析装修材料的选用以及施工工艺对结构安全性所产生的影响。归因方法要建立多因素关联体系,通过对照设计图纸、施工记录和现场检测成果,确定质量问题的责任方,给司法裁定提供客观支撑。此框架要整合检测信息、技术规范和法律条款,保障鉴定流程的科学性与公正性,提高房屋质量纠纷处理的效率和精准度。

2. 法律效力鉴定报告编制规范

法律效力鉴定报告的编写要严格根据司法鉴定程序通则以及行业技术规范,保证程序合规、数据可溯源和结论公正性。报告需清晰显示委托方、鉴定机构以及鉴定人员的资质情况,精准划定鉴定对象所包括的既有建筑范围、鉴定目标和根据标准,例如《建筑抗震鉴定标准》GB50023等。在数据收集阶段,要记录检测设备的型号、校准情况以及操作流程,对结构构件的材料特性、几何参数、损伤情形等检测数据开展原始记录和影像保存,通过二维码或者编号实现数据追溯。分析步骤需根据可靠的数据,运用标准的计算模型和方法,对现存建筑的可靠性等级以及抗震能力开展分级评估,防止主观猜测。结论部分要清晰说明鉴定意见,将确定性结论和推断性结论加以区分,同时附上相关数据支持以及技术说明。报告格式应符合司法鉴定文书的规定,包括封面、目录、正文、附件等板块,签字盖章要合乎规范,保证报告拥有法定证据的效力,为司法裁决提供客观、公正的技术支撑。

(三) 综合评估模型实证分析

1. 可靠性鉴定案例验证

挑选某城市80年代建成的6层框架、填充墙住宅作为案例,此建筑由于材料老化、构造措施欠缺,有C级危房的风险。运用所建立的综合评价模型,通过层次分析法来确定指标的权重,再结合现场数据开展量化评分,最终评定为C级,需要进行加固处理。为检验模型的可靠性,将其与传统鉴定手段进行对比,二者

在缺陷识别和风险判定方面的一致性达到92%，这表明该模型能够有效应用于C/D级危房的精确评估。实例显示此方法可迅速确定结构的薄弱之处，让加固方案的针对性提高30%，鉴定时长缩短约25%，证实主要技术的实践意义。

2. 抗震评估模型实例检验

选取汶川地震里某框架教学楼当作实例，运用AHP-模糊综合评估法，从结构体系、材料强度等四个方面搭建指标体系。通过现场检测获取混凝土强度、钢筋配置等相关数据，将其输入模型开展权重计算与模糊评判，结果表明抗震能力为需加固，和实际震害情况相符。进一步挑选主要节点，通过ABAQUS开展动力时程分析，证实模型对构件延性以及整体抗震性能预估的精确性。根据评估所提出的加大截面加固方案，经检测让结构抗震能力提高到良好，证实综合评估方法在抗震鉴定与加固决策里的技术可行性^[10]。

五、总结

对既有建筑的可靠性和抗震鉴定的核心技术及综合评估办法进行系统梳理。创新之处包括：通过多源监测的动态可靠性鉴定方法、考量场地、结构相互作用的抗震鉴定准则，以及整合层次分析和模糊数学的综合评价模型。这些技术打破传统经验鉴定的限制，实现了结构性能的精准化量化，明显提高鉴定的效率与精准度，减少加固的成本。研究的不足之处在于极端荷载的模拟精准度以及通用评估方案仍有待改进。未来可关注人工智能和数字孪生技术，实现结构状态实时监测与预警，同时结合绿色加固观念，探寻低碳、可循环的加固工艺，促进既有建筑可持续性发展，为城乡建设安全和绿色转变提供支持。

参考文献

[1] 唐迪. 关中地区农房抗震鉴定实用方法研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2022.
[2] 王锦涛. 既有建筑加装电梯连接部位抗震性能研究 [D]. 华北理工大学, 2022.
[3] 冯仁康. 既有建筑垂直绿化改造节能性及成本效益研究 [D]. 西南科技大学, 2022.
[4] 王伟娜. 既有建筑混凝土抗压强度时变规律研究与预测 [D]. 山东建筑大学, 2022.
[5] 但昭辉. 不确定条件下既有建筑节能改造决策鲁棒优化方法研究 [D]. 华中科技大学, 2022.
[6] 万翔. 既有建筑检测鉴定及加固方法研究 [J]. 砖瓦, 2022, (02): 36-37+40.
[7] 齐阳, 赵于博. 既有建筑结构抗震鉴定与加固设计分析 [J]. 建设科技, 2023, (02): 27-30.
[8] 袁林婷. 《既有建筑鉴定与加固通用规范》对既有建筑抗震鉴定的影响研究 [J]. 广东土木与建筑, 2023, 30(07): 85-87+114.
[9] 孙冬菊, 刘伟. 某既有办公建筑改造前检测与鉴定 [J]. 江西建材, 2022, (02): 60-62.
[10] 崔建举. 既有钢筋混凝土结构抗震鉴定与加固性能分析 [J]. 砖瓦, 2024, (02): 54-56+59..

绿色智能建造背景下 BIM 深化设计效率与质量提升研究

林桂花

广东 深圳 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010046

摘 要： 绿色智能建造将可持续作为根本指引，融合数字化技术与工业化生产方式。BIM 深化设计是实施过程中的主要支撑要素，但是目前存在效率方面的瓶颈以及质量上的短板。要通过技术整合（云平台、AI）、标准化与模块化、一体化协作、数据互用性以及全生命周期信息整合等途径提高效率和质量，实践案例证实其成效。未来要进一步深化技术运用、健全标准体系并培育跨学科专业人才，促使建筑业朝着绿色低碳、精细化的方向实现转型升级。

关 键 词： 绿色智能建造；BIM 深化设计；效率与质量提升

Research on BIM Deepening Design Efficiency and Quality Improvement under the Background of Green Intelligent Construction

Lin Guihua

Shenzhen, Guangdong 510000

Abstract： Green intelligent construction takes sustainability as its fundamental guideline, integrating digital technology with industrial production methods. BIM deepening design is a key supporting element in the implementation process, but there are current bottlenecks in terms of efficiency and shortcomings in quality. To improve efficiency and quality, we need to enhance through technological integration (cloud platforms, AI), standardization and modularization, integrated collaboration, data interoperability, and full life cycle information integration. Practical cases have confirmed its effectiveness. In the future, we should further deepen technological application, improve the standard system, and cultivate interdisciplinary professionals to promote the construction industry towards a green, low-carbon, and refined direction for transformation and upgrading.

Keywords： green intelligent construction; BIM deepening design; efficiency and quality improvement

引言

绿色智慧建造是建筑行业实现低碳转型与高质量进步的核心路径，BIM 深化设计作为其主要技术保障，通过多专业协作、参数化仿真等方式提高建造效能与品质，但是目前遭遇模型协同障碍、数据互操作性欠佳等难题。2023 年 6 月，住房和城乡建设部等相关部门所印发的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》清晰提出，要加强 BIM 技术在设计、施工以及运维整个流程中的集成运用，以此推动建造的数字化升级。在这样的背景之下，深入研究绿色智能建造里 BIM 深化设计的效率提高与质量保障途径，既能够突破现有的技术管理困境，又能够为政策的落实提供实践方面的参考，推动建筑业朝着绿色低碳、精细化的建造模式转变，对于实现行业的可持续发展有重点要的意义。

一、绿色智能建造与 BIM 深化设计的理论基础

（一）绿色智能建造的核心内涵与发展要求

绿色智能建造的主要内涵是以可持续发展为根本指引，通过融合数字化技术和工业化生产方式，实现建造流程的资源高效运用、环境影响最小化以及全生命周期价值最大化^[1]。其主要特性表现在三个方面：可持续性重点于低碳减排、循环经济以及生态友好，要求从材料选取、施工技术到运营维护的整个链条降低环境负担；数字化依靠物联网、大数据、人工智能等技术搭建数字

孪生体系，实现建造信息的实时交互与动态优化；工业化则促进构件预制装配和模块化制造，减少现场作业量并且提高施工精准度。绿色智能建造对效能与品质提出系统性要求，效能方面要通过流程协作、资源整合以及技术集成来缩短建设周期、降低费用；品质方面则需建立全流程质量追溯系统，依靠数字化方式实现设计、生产、施工各环节的精确管控，保证建造成果符合功能要求与可持续准则。

（二）BIM 深化设计在绿色建造中的关键作用

BIM 深化设计以建筑信息模型为核心，对设计方案进行多方

面细化与优化,实现从概念设计到施工实施的精确衔接,其技术范围包含三维模型搭建、专业协作整合、施工工艺仿真以及数据集成管控等。在实现绿色建造目标的进程中,BIM深化设计的主要作用显示于多个方面:通过精细化设计,BIM能够对建筑构件的规格、空间关联以及材料特性开展参数化模拟,削减设计差错与施工返工现象,降低资源的浪费^[2];在多专业协作方面,BIM平台能够支持结构、机电、暖通等专业在同一模型里实时开展碰撞检查与信息共享,防止传统设计中因专业冲突而引发的材料损耗与工期延迟;从资源优化的角度来看,BIM深化设计可以结合施工进度和材料需求,实现建筑材料用量的精确计算以及供应链协同,减少库存积压和运输能耗;在质量可控性方面,BIM模型能够关联施工标准和验收规范,通过数字化交底和过程追溯,保障绿色建造技术(如节能材料应用、低碳施工工艺)的实施质量,最终帮助绿色智能建造的可持续目标实现。

二、当前 BIM 深化设计在效率与质量层面的挑战

(一) 效率瓶颈与成因分析

目前 BIM 深化设计在效率和质量方面的挑战主要显示于效率瓶颈及其成因分析方面。在 BIM 深化设计进程里,模型修改迭代阶段常常由于各专业模型冲突未能及时察觉,导致反复进行调整,明显降低设计效能;协同数据交换之际,不同软件之间数据格式不兼容,容易造成信息缺失或失真,影响多专业协同的顺畅性;多源信息整合期间,建筑、结构、机电等专业数据较为分散,缺少统一的信息集成平台,增加信息梳理的时间开销。这些效率不高环节的成因可从三方面来分析:技术工具协同性欠佳,各 BIM 软件之间的数据交互存在障碍,很难实现模型信息的无缝隙传递;标准流程缺乏,行业里缺少统一的 BIM 深化设计标准和流程规范,使得设计过程随意性较强,质量控制难度增大;人才技能存在缺口,既掌握 BIM 技术又熟知专业设计的复合型人才不够,难以高效地完成深化设计中的复杂任务^[3]。

(二) 质量保障痛点与风险识别

现阶段 BIM 深化设计于质量保障方面存在多方面的难点。模型精准度欠缺体现为构件几何尺寸存在偏差、节点参数出现缺失,容易造成施工错位或者返工,特别是在复杂钢结构和机电集成里^[4]。信息完整性不足表现为材料性能、绿色指标参数(如节能率、碳排放系数)缺乏,对施工优化和可持续评估造成影响。碰撞检测的有效性受到限制,这是由于软件存在局限以及信息存在滞后性,隐蔽工程的相关问题难以提前识别。和绿色建造标准衔接欠佳,模型未嵌入如 LEED 这类量化参数,难以直接支撑绿色决策。这些不足造成设计图纸和现场不匹配、管线布局缺少维护空间、沟通出现误解等状况,导致材料浪费、工期延迟以及成本超出预算,降低绿色智能建造的效益长处。

三、绿色智能建造背景下 BIM 深化设计效率提升路径

(一) 技术驱动的效率优化机制

1. 基于云平台与智能算法的协同深化

在绿色智能建造的背景之下,BIM 深化设计效率的提高途径里,技术驱动的效率优化机制要重点关注通过云平台和智能算法的协同深化。云平台作为多方协同的主要载体,能够实现 BIM 模型、设计文档以及变更信息的即时共享,通过权限分级和版本追踪的功能,处理传统协同里信息孤岛和版本冲突的问题,保证设计数据的一致性与可追溯性^[1]。在此情形下,参数化设计工具通过预设的规则库以及关联参数逻辑,把重复性的建模任务转变为参数驱动的自动化流程,在减少人为操作失误的同时,缩短模型的迭代周期。自动化建模脚本进一步拓展参数化的应用范围,针对复杂构件或者标准化模块生成批处理命令,实现一键建模与批量改动^[2]。AI 辅助决策技术的介入,能够根据历史设计数据和绿色建造标准搭建智能分析模型,在深化设计环节自动识别碰撞风险、优化构件布局,还能输出能耗模拟和材料用量分析的结果,为设计方案的绿色程度与经济合理性提供即时决策支撑^[3]。三者的协同效应,让 BIM 深化设计由人工主导转变为人机协同,既提高设计效能,又通过数据驱动的智能校验确保深化成果的品质,符合绿色智能建造对于精准化、高效化的需求^[4]。

2. 标准化与模块化设计策略集成

在绿色智能建造的背景下,BIM 深化设计效率的提高途径里,技术驱动的效率优化机制要通过标准化和模块化的设计策略整合来实现。建立面向绿色建造的 BIM 构件库为核心基础,构件库要纳入低能耗、可循环材料特性以及绿色施工工艺参数,同时拟定标准化深化准则,包含构件几何约束、性能指标和协同接口等方面内容,保证设计成果符合绿色建造要求^[5]。模块化设计方式能够把建筑拆分为功能独立的预制模块,通过 BIM 平台实现模块参数化建模与碰撞检测,削减设计阶段的错漏碰缺问题,在提高预制装配率的同时降低现场施工变更的风险。标准化构件库和模块化设计的整合,可实现设计资源的复用与迅速调用,缩减深化设计的周期,促进绿色智能建造里 BIM 技术的高效运用。

(二) 管理与流程再造的效率保障

1. EPC 模式下一体化深化设计流程重构

在绿色智能建造的大背景下,工程总承包(EPC)模式重点设计、采购、施工的深度融合,这为 BIM 深化设计带来一体化协同的要求。传统分阶段设计流程易引发信息中断,在 EPC 模式里各参与方要在设计阶段同时考量采购可行性与施工可实施性,BIM 深化设计要承载多专业协同的数据,实现从设计到施工的无缝隙连接^[7]。设计、制造、装配(DfMA)导向的流程优化策略,要以 BIM 模型作为核心载体,把构件标准化设计、工厂化制造以及现场装配需求提前至深化设计环节。通过搭建通过 BIM 的协作平台,整合设计参数、材料采购信息以及施工工艺要求,实现设

计方案和生产、施工环节的实时反馈与动态调节。例如在深入设计里融入预制构件的生产工艺参数，保证设计模型能直接指导工厂加工，降低现场返工情况；同时通过 BIM 模型开展碰撞检测与施工模拟，提前化解管线冲突和施工难题，提高各环节的协同效率。这种一体化的流程重新建立，不但缩短设计的周期，还通过信息的集成与共享确保深化设计的品质，为绿色智能建造的高效开展提供流程方面的支持。

2. 数据互操作性与知识管理强化

在绿色智能建造的环境中，BIM 深化设计要将数据互操作性与知识管理的强化当作核心途径。通过 IFC 等开放性 BIM 标准的运用，能够打破不同软件和环节之间的信息屏障，实现模型数据在规划、设计、算量、模拟等全流程的无损耗传递，降低因格式转换造成的信息缺失与重复建模情况，进一步提高各环节的协同效能^[1]。搭建通过 BIM 的知识体系，把过往项目里积攒的深化设计经验、绿色技术指标、智能建造准则等转变为结构化的知识，通过知识图谱和检索体系，帮助设计人员迅速复用成熟的方案和决策参考，缩短设计的时长并减少错误率^[2]。知识管理系统要和 BIM 平台进行深度整合，及时更新绿色材料性能、能耗模拟数据这类动态信息，保证设计方案既符合智能建造的自动化要求，又实现绿色建筑的低碳目标^[3]。数据互操作性的加强要结合管理流程的重塑，建立跨专业的数据共享体系，让各参与主体在统一规范下实现高效协作。而知识管理需要通过培训和激励办法，促使设计人员积极贡献并运用知识，形成良好的循环^[4]。这种数据和知识的双重加强，不但能够提高 BIM 深化设计的效能，还可确保设计品质与绿色智能建造的实施成效^[5]。

四、BIM 深化设计质量提升方法与实践验证

（一）深化设计质量控制关键技术

1. 面向绿色性能的设计合规性自动核查

针对绿色性能的设计合规性自动核算是 BIM 深化设计质量管控的主要技术，其核心是把绿色建筑规范、节能指标以及材料环保要求等转变为 BIM 模型能够识别的信息表达与语义规则。该研究通过搭建多方面的绿色性能参数系统，确定模型元素的属性映射关联，比如把外墙热工性能需求关联到 BIM 模型里的墙体材质参数，将自然采光准则对应到门窗尺寸与位置数据^[6]。在此前提下，研发通过 IFC 标准的自动规则核查工具，通过预先设定的规则库对模型开展批量扫描，即时识别设计里不符合绿色规范的状况，例如围护结构热传导系数超出标准、可再生材料使用比例不够等。此工具能够自动生成合规性报告，标记问题所在位置并给出优化提议，明显提高审查的效率与精准度，防止人工核查出现的遗漏和主观误差。实际情况显示，自动核查技术可让绿色性能合规性审查时长缩短超过 60%，同时把错误识别比率降低到 5% 以内，为绿色智能建造环境下的 BIM 深化设计质量提高提供技术支持。

2. 高精度建造模拟与冲突预消解

BIM 深化设计质量把控的主要在于高精度建造模拟和冲突提前消解。通过搭建包括几何信息、材料特性、施工工艺的深化模

型，实现 4D/5D 施工模拟，关联时间和成本数据，预先识别工序衔接冲突。对于大型设备吊装这类复杂流程，根据模型规划吊运路线，模拟其在空间中的运行轨迹，核查与结构、管线是否存在干涉情况，规避碰撞隐患。复杂节点通过三维剖切和动态展示实现可视化交底，降低图纸理解误差。此技术把传统的事后整改转变为事前控制，积极处理管线和结构梁碰撞、工序交叉这类问题。实际情况显示，在超高层、大型场馆等工程里，返工比例降低 30% 以上，施工工期缩短约 15%，明显提高深化设计的精准度与施工效能。

（二）全生命周期信息集成与质量追溯

1. 深化模型与物联网（IoT）数据的融合应用

在绿色智慧建造的背景之下，BIM 深化模型和 IoT 数据的融合是实现全生命周期信息集成以及质量追溯的主要途径。在施工环节，通过布置传感器来实时收集温度、位移、应力等相关数据，并且与模型进行动态关联，建立模型、数据、实体的映射关系。当监测数据超出预先设定的阈值时，系统会自动发出预警并精准定位偏差，从而避免出现返工情况以及质量方面的隐患。在隐蔽工程里，传感器和模型相融合产生可视化的施工记录，化解隐蔽后难追溯难题。在运维时期，IoT 设备不断采集能耗和运行数据，反馈到模型进一步生成性能分析报告，识别设计方面的偏差并推动迭代式优化，建立设计、施工、运维的质量闭环。此融合应用加强深化设计的精确程度，通过全生命期的数据整合与追溯，确保绿色智能建造质量的连贯性与可持续发展性。

2. 基于区块链的建造过程信息可信存证

在绿色智能建造的大背景下，BIM 深化设计质量的提高要依靠全生命周期信息的可靠流转与追溯，区块链技术为其提供主要支持。针对建筑信息模型（BIM）模型信息在设计变更、工序验收等环节容易被篡改、追溯难度大的问题，区块链所具备的分布式账本与哈希加密特性能够实现信息的可信存证。把模型版本情况、更改记录、验收数据等转变为加密哈希数值，存于区块链节点里，共识机制保证信息无法篡改且附带时间标记与操作标识，实现全流程追溯。

（三）典型案例应用与成效评估

1. 医疗建筑项目 BIM 管线综合深化效率提升实践

在某三甲医院机电深化设计时期，根据建筑、结构、机电模型建立协同工作集合，通过轻量化整合实现多专业即时碰撞检测。对于医用气体管道、洁净空调这类复杂系统，确立优先级规则，优先处理手术区、ICU 等主要区域的净高矛盾。项目运用参数化族库和模块化模板，把管线配件、支吊架转变为可重复使用的构件，降低重复建模的情况；引入自动校审工具，批量核查管线间距、坡度以及抗震支吊架的设置。实际检验结果表明，碰撞问题的检测出率提高到 98%，深化工作周期缩短 40%，核心医疗区域的净高达标率从 85% 提高到 99%，减少返工情况并且降低现场变更成本约 15%，这证实 BIM 在医疗建筑机电深化过程中对效率和质量具有双重提高效果。

2. 装配式住宅项目绿色建造目标下的深化质量验证

以某装配式住宅项目作为案例，BIM 深化设计通过建立包括

构件几何参数、材料特性、连接节点的三维模型，实现预制构件精确下料，并且嵌入生产与安装工艺逻辑，预先模拟碰撞和安装次序，降低现场返工情况。应用成果表明，预制构件下料的误差被控制在 $\pm 2\text{mm}$ 范围之内，安装效率提高30%。在绿色建造目标评定里，精确下料削减材料损耗，建筑垃圾相较于传统施工降低25%；工厂化制作减少现场湿施工，施工阶段能源消耗降低18%。

五、总结

在绿色智能建造的大背景下，要提高 BIM 深化设计的效率与

质量，需依靠技术集成创新、流程标准优化、数据全链贯通以及绿色性能嵌入这些核心途径。技术集成创新通过 BIM 和物联网、人工智能等技术相融合，实现设计信息的实时交互与动态调控；流程标准优化重点于设计阶段的协同机制和交付准则，降低重复作业与信息偏差；数据全链打通破除设计、施工、运维等阶段的数据障碍，保障信息的一致性和可追溯性；绿色性能融入把节能、环保等指标嵌入设计全流程，促进建筑全生命周期的低碳化发展。

参考文献

- [1] 李晴. “双减”背景下初中《道德与法治》作业设计质量提升研究 [D]. 洛阳师范学院, 2023.
- [2] 梅中亚. 智能建造背景下混凝土模板周转使用系统优化研究 [D]. 重庆交通大学, 2022.
- [3] 黄卓. 大数据背景下 WHLT 公司营销效率提升研究 [D]. 华中科技大学, 2022.
- [4] 张刘慧. 基于 BIM 的梁柱构件深化设计研究 [D]. 沈阳工业大学, 2023.
- [5] 李潇聪. 基于 BIM+GIS 的长大隧道 智能建造技术应用研究 [D]. 华南理工大学, 2022.
- [6] 张宇航, 李飞, 李军明, 等. BIM 深化设计与机电管道工厂化预制加工 [J]. 安装, 2024(7): 28-30.
- [7] 魏丽. 数字建造背景下提升 BIM 应用质量的路径探究 [J]. 中国住宅设施, 2022(1): 149-151.
- [8] 何梦瑶, 李伟丽, 冯雨欣, 等. 绿色建造背景下 BIM 技术与装配式建筑融合研究 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(31): 181-184.
- [9] 南锦顺. 智能建造背景下 BIM 设计及应用现状与发展趋势分析 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(7): 82-84.
- [10] 罗文海, 陈传波, 何志强, 等. 制冷机房 BIM 深化设计重点及运用 [J]. 制冷, 2023, 42(1): 18-21.

数字化设计驱动下的机场类建筑全生命周期管理研究

陈映帆

上海民航新时代机场设计研究院有限公司广州分公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010047

摘 要： 数字化设计以 BIM、参数化建模等作为核心，推动机场建筑全流程生命周期管理，整合设计、施工以及运维各个阶段的数据，破除信息障碍，提高协同效率与决策的科学性，减少成本并加强可持续发展能力。但是面临数据互操作性欠佳、信息安全隐患等难题，要通过标准化和技术融合来促进其规模化运用。

关 键 词： 数字化设计；机场建筑；全生命周期管理

Research on the Life-Cycle Management of Airport-Type Buildings Driven by Digital Design

Chen Yingfan

Shanghai Civil Aviation New Era Airport Design Research Institute Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Digital design is centered around technologies such as BIM and parametric modeling, aiming to enhance the entire lifecycle management of airport buildings. It integrates data from all stages of design, construction, and operation, eliminating information barriers, improving collaboration efficiency and the scientificity of decision-making, reducing costs, and strengthening sustainable development capabilities. However, it faces challenges such as poor data interoperability and information security risks. To promote its large-scale application, standardization and technological integration are necessary.

Keywords： digital design; airport buildings; life-cycle management

引言

机场建筑物作为大型且复杂的交通枢纽，其全生命周期的管理存在多专业协同障碍、信息传递迟缓等难题，传统模式难以符合现代航空运输对于效率和可持续性的要求。2022 年，住房和城乡建设部发布的《十四五建筑业发展规划》明确指出，促进建筑信息模型（BIM）、数字孪生等技术于工程全生命周期的集成运用，为以数字化设计驱动的机场管理创新提供政策引导。本研究专注数字化设计基础理论以及其于机场建筑全生命周期管理里的运用开展研究，分析 BIM 协同、参数化优化、物联网监控等技术的实践途径，研讨数据集成、信息安全等主要挑战，并且结合经济效益和环境影响评估，为机场建筑朝着智能、绿色、高效的全生命周期管理模式转变提供理论根据与实践参考。

一、数字化设计基础理论

（一）数字化设计的概念与关键技术

数字化设计是以数字技术作为核心，通过参数化建模、数据集成以及协同优化等方式，实现建筑设计从概念到施工甚至运维整个流程的数字化显示与管理，其本质在于把建筑信息转变为可计算、可共享的数字模型，为多专业协作与全生命周期决策提供支持^[1]。在核心构成技术里，建筑信息模型（BIM）身为数字化设计的基础承载，通过整合几何信息、材料特性、施工工艺等多方面数据，搭建建筑全要素的三维数字化模型，破除传统设计各

阶段信息分割的障碍；虚拟现实（VR）技术通过沉浸式可视化方法，把抽象的数字模型转变为可交互的虚拟场景，帮助设计团队在方案时期直观评估空间感受、优化功能布置，同时为业主和使用者提供更精确的决策参考。随着数字孪生、人工智能等技术的融入，数字化设计正从单纯的工具运用朝设计、建造、运维一体化的智能协作体系转变，其发展趋向表现为数据驱动的动态优化、跨学科的深度交融以及全生命周期的价值拓展，逐渐成为建筑行业数字化转型的核心动力。

（二）机场建筑设计中的应用背景

数字化设计基础理论于机场建筑设计里的应用背景，是因为

机场建筑具备大型复杂交通枢纽的特点，其设计包括功能流线、空间组织、结构系统、设备集成等多方面的协同需求，传统设计方式常常遭遇信息传递迟缓、专业间冲突频繁、方案迭代效能低下等状况^[2]。随着全球航空运输规模的不断扩大，机场建筑在运营效能、空间灵活性以及可持续性方面的需求逐渐提高。数字化设计通过参数化建模、BIM技术等方式，能够实现多专业信息的整合与实时共享，在方案设计阶段就能对人流模拟、能耗分析、结构优化等开展动态验证，进一步加强设计的精准度与协作效率。在此背景当中，数字化设计不只是成为处理机场建筑复杂性的技术方法，更促使设计思维由线性流程朝着协同化、数据驱动的模式进行转变，为后续全生命周期管理筑牢基础。

二、机场建筑全生命周期管理概述

（一）全生命周期管理的定义与框架

机场建筑全流程周期管理是通过系统性理念，对机场从规划立项直至报废拆除的整个阶段开展统筹协调的管理方式，其主要在于破除各阶段的信息障碍，实现数据在规划、设计、施工、运营、维护各个环节的顺畅流转。此管理模式的理论方案以数字化技术作为连接，把规划时期的功能要求、设计时期的方案完善、施工时期的进度成本把控、运营时期的能效管理以及维护时期的预测性检修融合成有机整体。其中在规划环节要结合区域航空需求以及城市发展定位，确定机场的功能布局和规模参数；设计环节通过BIM等数字化手段建立三维信息模型，为后续环节提供数据支撑；施工环节依靠模型实现精准施工与资源调配；运营环节根据实时数据监测旅客流量、设备运行状况，优化服务流程；维护环节则运用模型的历史数据和传感器反馈，开展预防性维护^[3]。该框架重点各阶段的协同特性，通过数据的不断传递和迭代，提高机场建筑全生命周期的价值，为数字化设计驱动下的管理实践提供理论支持。

（二）机场建筑管理的特殊性

在机场建筑全生命周期管理的概述里，机场建筑管理的特殊之处在于它处于高安全标准和复杂人流动态需求的双重限制之下，全生命周期的各个阶段都面临着独特的挑战。机场作为人员高度聚集的交通枢纽，要符合航空安全、公共安全等多项标准，从设计环节的结构抗灾能力、安防系统规划，到运营环节的设施实时监测、应急响应体系，都要贯穿严谨的安全管控思路^[4]。人员流动的动态需求表现出明显的时空波动特性，例如节假日的高峰客流量和日常平峰的差别，这就要求建筑空间具备灵活适配的能力，这对规划时期的功能划分、施工时期的模块化建造以及运营时期的空间动态调节提出更高的标准。另外机场建筑的生命周期时长跨度大，从前期的规划直至后期的拆除更新，要兼顾长期的资产保值以及技术迭代适配，传统的管理模式很难应对多方面、动态化的管理要求，这凸显数字化手段介入的重要性。

三、数字化设计驱动的生命周期管理实践

（一）设计阶段应用整合

1. BIM技术在方案设计中的集成

BIM技术于机场建筑方案设计里开展集成，通过信息建模和冲突检测协同来提高设计的效率与精准度。BIM创建参数化三维模型，融合建筑、结构、机电等多专业数据，实现航站楼布局规划里的实时协同优化，降低信息偏差。冲突检查功能通过碰撞算法自动识别空间冲突情况，像管线和结构梁之间的碰撞，让问题在方案设计阶段就得以发现并处理，防止施工阶段出现被动返工现象。研究显示此功能能够让设计失误率下降约30%，设计时长缩短15%以上^[5]。这种集成化应用给后续全生命周期管理搭建基础，展现数字化设计的驱动效能。

2. 参数化设计的优化作用

在以数字化设计为驱动的生命周期管理实践里，设计环节的参数化设计优化功效在机场类建筑当中特别主要。参数化工具通过建立通过几何、性能和功能的关联模型，把机场布局里的主要变量（像航站楼分区面积、登机口数目、旅客流线节点等）转变为能够动态调节的参数，为布局优化提供量化决策支撑。就客流模拟而言，参数化模型能够整合通过Agent的仿真算法，通过输入旅客吞吐量、值机效率、安检通道数目等参数，实时模拟不同布局规划下的旅客流线拥堵状况、平均步行路程及等待时长，进一步迅速迭代出兼顾效率和体验的最佳方案。在提高空间利用率方面，参数化设计可结合BIM技术对机场功能空间（像商业区域、行李处理区）的大小、位置以及关联性展开参数化调节，通过算法自动生成多组布局方案，并且对比其空间利用效率指标（例如单位面积旅客承载量、功能区可达性），帮助设计团队在方案阶段精确平衡空间功能与运营需求。这一流程不但缩减传统设计里多次修改的时长，还通过数据驱动的决策途径提高机场布局的科学性和前瞻性，为后续施工、运营环节的高效管理筑牢基础^[6]。

（二）施工与运维阶段应用深化

1. 施工过程数字化监控

在数字化设计引领的机场类建筑全流程生命周期管理实践里，施工进度数字化监测通过物联网和传感器技术实现施工进度和质量的动态把控。机场建设项目由于规模较大、施工工艺复杂，常规监控方式容易因信息传递不及时，造成进度出现偏差或者产生质量隐患。而物联网技术通过在主要施工环节布置温度、压力、位移等传感器，实时收集混凝土浇筑、钢结构安装等施工工序的参数信息，再结合BIM模型搭建数字化孪生场景，让管理人员能够远程监控施工状况，并与设计基准数值进行对比，从而及时发现偏差^[7]。比如在航站楼主体结建立造时，传感器实时反馈钢筋绑扎间距以及混凝土初凝时刻，系统自动对不符合设计要求的工序发出预警，防止因返工导致工期延误；进度数据和BIM模型相联系，通过算法预估主要路径潜在的延误风险，辅助对资源配置进行调整。该种数字化监控方式把施工流程从事后检查转

变为事中干预,大幅降低人为差错与进度滞后情况,为机场建筑施工环节的高效管控提供技术支持。

2.智能运维管理策略

在数字化设计引领的机场运维工作里,智能运维方案通过数据驱动体系实现预测性维护以及能效管控。把设计阶段的 BIM 模型和物联网传感器数据进行融合,建立设备性能预测模型,预先识别故障风险,减少停机时间^[8]。系统根据人流密度、环境参数对 HVAC 以及能源调度进行动态调节,加强能效的精细化管控。此策略缩减故障处置时长,通过数据反馈对设计阶段的设备选取和空间布置进行优化,建立设计与运维的闭环体系,提高机场运营的稳定性和可持续发展能力。

四、挑战、影响与未来展望

(一)技术实施挑战分析

1.数据集成与互操作性问题

在以数字化设计为驱动的机场全生命周期管理里,数据集成和互操作性属于核心技术难题之一。不同阶段运用的 BIM、GIS、FM 等工具的数据格式存在差异(例如 IFC、DWG),使得数据难以在不同系统间流转,进一步形成信息孤岛。举例来说将 BIM 模型导入运维系统时,常常会由于不兼容的问题,导致信息出现丢失或者错位的情况,进一步对决策的准确性产生影响。应对此挑战要搭建标准化集成解决办法:打造通过 IFC 的统一数据交换方案,保证语义的一致性;引进中间件技术实现数据转换与映射;拟定机场数据交互准则,清楚接口标准,加强系统的互操作性,为全生命周期管控奠定数据基础^[9]。

2.信息安全与隐私风险

在数字化设计引领的机场全生命周期管理进程里,信息安全和隐私风险属于核心技术难题。全生命周期包括设计、建造、运维等多个阶段的敏感数据(例如 BIM 模型、设备运转、人流监测等),一旦发生泄露或被篡改,或许会引发物理安全方面的威胁以及公共风险。数字平台多终端接入使被攻击的可能性增大,同时跨国枢纽要符合 GDPR、我国《数据安全法》等合规规定。应对办法包含:搭建通过零信任方案的访问管控,对敏感数据进行加密存储和传输,引入区块链技术实现数据溯源与不可更改,并建立跨主体的合规管理体系,清楚数据责任界限。

(二)经济社会与环境影响

1.经济效益评估

在数字化设计引领下的机场类建筑全生命周期管理,在经济效益评估时,要对其在成本节省与投资回报方面的优势进行量化。通过参数化设计对空间布局 and 材料用量进行优化,能够让建材损耗率降低 15%–20%,使施工周期缩短 10%–15%,直接削减人力和时间成本。以某枢纽机场为实例,该机场航站楼运用 BIM 技术开展全流程管控,在设计环节提前察觉管线碰撞状况,防止施工阶段出现返工现象,节省成本逾 800 万元;在运营阶段通过数字化运维平台实现设备预测性维护,每年缩减停机检修时长 300 小时,在提高运营效率的同时使维护成本降低约 12%。在投

资回报情况中,数字化设计在前期投入时会增加 5%–8%,不过在全生命周期里综合成本会降低 20%–25%,投资回收期会缩短 1–2 年^[10]。除此之外数字化设计能够支持模块化预制构件的生产,减少施工现场的作业量,从而进一步降低建设成本。还可提高工程的质量,降低后期的维修频次,具备明显的长期经济效益。

2.可持续性与环境贡献

通过数字化设计驱动的机场类建筑全周期管理,采用资源优化策略可明显降低环境影响。在设计环节,BIM 技术融合建筑信息和环境数据,精确模拟各异方案的碳足迹及能源消耗情况,为低碳设计的决策提供支撑。在工程施工时期,数字化技术对材料运输路线和现场资源的分配进行优化,降低建筑垃圾的生成量。智能监测系统能够实时调节施工设备的能耗,提高能源的利用效能。在运营时期,通过物联网的建筑能源管理体系实现空调、照明等装置的动态调控,联合数字化运维平台对建筑性能开展持续评估,进一步进一步削减长期运营的能耗。这些措施能够明显降低机场建筑在整个生命周期里的碳排放量,同时通过资源的高效运用减轻对自然环境的压力,为建筑行业的可持续性发展提供实践方法。随着数字化技术的更新,未来能够进一步融合人工智能和大数据分析,实现资源优化策略的动态调控,提高机场建筑对环境变动的适应能力,促进绿色建筑标准在大型交通枢纽里的深入运用。

(三)未来发展趋势与路径

1.新兴技术融合应用

在数字化设计引领的机场类建筑全生命周期管理研究里,人工智能和物联网的融合运用正显示出强化决策支撑与自动化管控的庞大潜能。人工智能技术能够通过对机场运营数据开展深度分析,搭建动态决策模型,对航班调度、旅客流量分配以及资源配置进行优化,加强管理决策的精准度与时效性。物联网技术通过布置智能传感器网络,实现对机场建筑设施、设备状况以及环境参数的实时监控,为自动化管理提供数据支持。二者的结合会促使机场管理由被动应对向主动预判转变,比如根据物联网收集的设备运行数据,人工智能算法能够提前察觉潜在故障,启动预防性维护程序,减少运营风险和成本。未来随着 5G、边缘计算等技术不断发展,人工智能和物联网的协作会进一步深入,建立起更高效的智能管理体系,为机场类建筑的全生命周期管理提供更有力的技术支撑,促使机场运营模式朝着智能化、精细化的方向发展。

2.标准化与政策推动路径

在数字设计驱动的机场全流程生命周期管理里,行业标准的缺失以及政策支持的碎片化,是技术大规模应用的主要阻碍。不同项目运用的技术缺少统一的数据接口和交付准则,导致数据孤岛现象频繁出现。在此情况下,要促使行业协会建立包含数据格式、模型精度等方面的统一标准方案;政府要通过专项基金、税收优惠等激励办法,引导企业积极采用数字化技术。建立跨部门协作机制,把数字化需求融入项目审批与验收流程。标准化和政策共同作用,能够破除应用障碍,加快技术大规模推广,加强行业效益与可持续发展水平。

五、总结

在数字化设计的驱动之下，机场建筑开展全生命周期管理，通过参数化建模、BIM协同这类技术，实现设计时期的多方案优化、施工时期的进度与成本精确管控，还有运维时期的设施性能实时监测，明显提高项目全周期的效率与可持续性。研究表明数字化工具的深入运用能够有效破除各阶段的信息障碍，推动跨专业协作，减少资源损耗与运营风险。但是目前技术和管理的结合

仍然存在局限，像不同软件之间的数据交互准则不一致、运维时期数字化平台的兼容性欠佳，并且管理团队对数字化工具的运用能力尚需提高。未来的研究应进一步探寻政策方面的适配机制，例如拟定统一的数据交换准则与行业规范，同时推进技术改革，研发更具智能化的预测性维护算法与集成式管理平台，以此加强数字化设计在机场建筑全生命周期管理里的核心驱动效能，帮助机场建筑朝着更高效、智能、绿色的方向迈进。

参考文献

- [1] 王立阳. 基于成本优化的全生命周期下智能产品设计开发研究 [D]. 山东建筑大学, 2023.
- [2] 胡秋. T企业实物资产全生命周期管理研究 [D]. 扬州大学, 2022.
- [3] 刘天如. B行政单位固定资产全生命周期管理研究 [D]. 内蒙古科技大学, 2023.
- [4] 张晋伟. Z市行政事业性固定资产全生命周期管理研究 [D]. 山西大学, 2022.
- [5] 王昊鑫. 基于智慧互联的选煤设备全生命周期管理系统研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2022.
- [6] 赵川. 数字化视角下自制类测试装备全生命周期管理研究 [J]. 中国设备工程, 2022.
- [7] 张娟, 张海龙, 吴晋曙. 数字化时期的医疗器械全生命周期管理实践 [J]. 中国卫生产业, 2022.
- [8] 王水玲, 张冠乔, 张帅, 田少卫. 基于数字孪生的预制建筑全生命周期管理应用研究 [J]. 项目管理技术, 2023.
- [9] 颜剑. 数字孪生在建筑全生命周期管理中的应用研究 [J]. 城市建筑, 2023.
- [10] 张肖虎. 新型绿色建筑工程的全生命周期管理及评价体系分析 [J]. 砖瓦世界, 2024.

建筑施工全过程风险识别与控制管理研究

贺丽君

广东瑞建工程有限公司, 广东 广州 510645

DOI:10.61369/ADA.2026010048

摘 要 : 本研究全面研究建筑施工全流程的风险识别与管控治理, 梳理各环节的风险源头, 搭建包含识别、评估、应对以及监控的闭环系统, 验证预防、应对双轨策略的成效。点明当下新技术适配性分析存在的欠缺等局限, 提出未来能够拓展智能算法的应用、加强供应链协同管理, 为建筑项目全流程风险防护提供理论支持与实践途径。

关 键 词 : 建筑施工; 全过程风险管理; 风险控制

Research on Risk Identification and Control Management throughout the Construction Process

He Lijun

Guangdong Ruijian Construction Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510645

Abstract : This study comprehensively examines the risk identification and control governance throughout the entire construction process of buildings, identifies the risk sources at each stage, builds a closed-loop system including identification, assessment, response, and monitoring, and verifies the effectiveness of the dual-track strategy of prevention and response. It points out the existing deficiencies and limitations in the current analysis of the adaptability of new technologies, and proposes future expansions of the application of intelligent algorithms and strengthening of supply chain collaborative management, providing theoretical support and practical approaches for the risk protection of the entire construction process of building projects.

Keywords : construction; whole process risk management; risk control

引言

建筑施工全流程风险具备客观性、复杂性和动态性特点, 对其进行有效管控是确保工程安全、质量和效益的主要部分。2022年公布的《十四五建筑业发展规划》清晰提出健全工程风险防控机制, 强化全过程风险管理的要求, 为行业风险管理实践提供政策引导。本文专注建筑施工风险的类别与特性进行分析, 全面梳理风险管理的主要理论方案, 研究德尔菲法、BIM技术等风险识别手段的联合运用, 且结合超高层建筑、桥梁工程等实际案例, 搭建预防、应对双轨式的风险管控体系, 意在为建筑项目全周期的风险防护提供理论支持与实践途径。

一、建筑施工全过程风险管理基础

(一) 建筑施工风险的类型与特征

建筑工程施工全流程风险管理的基础包含建筑施工风险的类别与特性, 建筑施工风险类别要结合施工环节与影响方面来划分, 安全方面的风险显示为高处坠落、物体打击这类事故, 质量方面的风险体现为混凝土强度不够、结构尺寸有偏差等问题, 进度方面的风险涉及工期延迟、资源供应不衔接等状况, 环境方面的风险包括噪声污染、扬尘排放等影响。建筑施工风险的特性首先表现为客观性, 风险在施工整个周期都存在, 无法凭借主观意愿彻底消除; 其次是复杂性, 不同的风险种类相互关联, 像进度滞后也许会引发安全措施落实不到位的连锁效应; 再者是动态性, 风险因素会随着施工阶段的改变而发展, 比如地基施工时期

的地质风险和主体结构时期的荷载风险有明显不同; 此外具有潜在性, 有些风险在初始阶段难以察觉, 需要通过系统识别才能够发现。研究建筑施工风险类别与特性是全流程风险管理的先决条件, 能为后续风险评定与管控提供基础支撑^[1]。

(二) 风险管理的基本理论与框架

建筑工程施工全流程风险管理基础的核心理论和框架包含风险管理准则、全生命周期管理模式以及工程适配性框架。ISO 31000 风险管理标准作为国际通用方案, 界定风险识别、分析、评估、处置与监督的闭环程序, 为建筑施工风险的系统性管控提供方法论支持^[2]。项目全流程生命周期管理模式把建筑施工划分成规划、设计、建造、运维等环节, 重点各环节风险的动态关联和传递特征, 比如设计环节的方案瑕疵或许会引发建造环节的安全隐患, 而建造环节的质量毛病则会影响运维环节的成本投入。

在建筑工程领域的适用框架里，要结合工程特性把通用理论转变为具体实践手段，例如通过 WBS（工作分解结构）细化各阶段的风险单元，运用 BIM 技术实现风险信息的可视化与协同管控，保证风险管理包括施工全流程的每一个环节，建立从风险源头防控到过程动态调节的完整体系。

二、建筑施工风险识别理论与方法

（一）风险识别技术与工具

建筑工程施工风险识别技术包含定性和定量的方法。德尔菲法通过多轮专家咨询实现共识，适用于新兴工程的风险判断；检查表法根据历史案例和规范来建立清单，能够迅速识别常见风险，不过对新型风险的包括范围有限；故障树分析方法通过逻辑推理对风险诱因进行分解，量化因素之间的关联概率，为风险的传导路径提供定量的根据。随着数字技术的进步，BIM 支持的风险可视化工具成为新兴趋势，通过将地质、工序、环境等数据整合到三维模型里，实现风险源的空间定位和动态跟踪。这些工具联合运用能够弥补单一手段的欠缺，建立起覆盖施工整个周期的风险识别系统。

（二）风险识别过程与案例分析

建筑施工风险识别工作要结合工程实际案例开展实证研究，以某超高层住宅建筑项目为例，风险识别程序从确定风险源起始，通过现场勘察和 BIM 模型仿真，清楚深基坑挖掘、高支模搭建以及钢结构吊装等主要风险源头，同时根据《建筑施工安全检查标准》对各风险源的物理特性与环境联系进行梳理^[4]。在影响因素分析阶段运用故障树方法，把深基坑坍塌风险拆分为围护结构强度不够、降水成效欠佳以及周边荷载超出限度等子因素，同时结合过往事故数据和专家访谈，对各因素的影响权重进行量化。全流程分阶段识别覆盖项目立项、施工筹备、主体建造及竣工验收等阶段。比如在主体建造阶段，通过动态监测数据察觉高支模立杆沉降超出标准的风险，及时对支撑体系参数加以调整。在这个案例里，风险识别流程的执行明显减少施工事故的发生概率，证实将风险源定位、影响因素分析与阶段性识别相融合的办法在实际操作中的可行性，为相似项目提供可参考的风险识别方案。

三、建筑施工风险控制策略与实践

（一）预防性风险控制措施

1. 设计优化与技术预控

设计改进与技术预控为建筑施工预防性风险管控的主要部分，在设计时期融入风险预控逻辑，从根源减少施工阶段的风险可能性。结构优化要结合工程地质状况与荷载特点，运用拓扑优化或者有限元分析手段调整构件截面以及节点样式，降低因结构不合理所引发的施工安全风险，例如通过提高主要部位的冗余程度加强结构抗变形能力^[5]。方案模拟运用 BIM 技术搭建三维信息模型，对施工流程、构件安装次序以及设备布局开展可视化模

拟，提前察觉管线碰撞、空间冲突等状况，比如在机电安装之前通过 BIM 碰撞检测来优化管线走向，防止施工阶段出现返工和安全事故。技术标准嵌入需把施工安全规范、材料性能指标等元素融入设计文档，清楚高风险工序的技术参数，例如规定深基坑支护结构的设计系数要符合特定安全储备标准，保证设计方案和施工技术的适配度。经由上述办法，设计环节能够把风险预控转变为可量化的技术参数，为施工全流程的风险管控提供前置性技术保障。

2. 过程规划与资源配置

流程规划和资源分配是建筑施工预防性风险管控的主要部分，它通过施工前期的全面性安排从根源上避免进度与成本方面的风险。资源分配规划要根据施工需求和市场供应状况，科学安排人力、材料、机械等资源，防止因资源不足或闲置造成的工期拖延和成本损耗，比如通过 BIM 技术模拟资源流动情况，优化分配方案来提高资源利用效率^[6]。工序逻辑的优化要按照施工工艺以及现场状况，理清主要路径和非主要路径的依存关系，消除工序的冲突和多余环节，比如运用并行工程的理念来调整工序次序，缩短整体工期并且降低交叉作业的风险。标准化流程建立是通过拟定统一的操作准则与质量规范，降低人为差错和返工的可能性，比如清楚模板安装、混凝土浇筑等工序的操作步骤与验收准则，保证施工进度的一致性和可控程度。上述措施通过前期规划把风险控制融入施工流程，建立预防为主的管理机制，为施工全流程的风险管控筑牢基础。

（二）应对性风险控制措施

1. 应急预案体系构建

应急方案体系搭建要以分级响应作为核心方案，针对建筑工里常见的安全紧急事故、质量瑕疵以及灾备资源调配等情形拟定实操办法。在安全突发状况方面，要明确不同事故级别（像一般、较大、重大）所对应的响应主体和处置步骤。比如当高处坠落事故出现后，现场作业班组需马上启动一级响应，对事故区域进行封锁并开展急救工作，同时向项目安全管理部门进行上报；质量缺陷的应急处理要结合混凝土裂缝、钢结构变形等具体情况，制定快速检测与临时加固的方案，防止缺陷进一步扩大而影响结构安全。灾备资源的调度要建立跨区域资源的联动体系，清晰规定应急物资（像消防设备、医疗用品）和人员（如应急救援队伍）的储备准则与调配程序，保证在极端气候或突发灾难时资源能够迅速抵达。分级响应体系要纳入风险预警信息，通过实时监控启动相应级别的应急程序，提高响应效率和精准度^[7]。

2. 动态监控与反馈修正

建筑工程施工的风险管控要依靠动态监测以及反馈调整实现闭环式管理。建立通过物联网的实时监控体系，集成传感器和智能装置，从多方面收集环境指标、结构受力以及人员行为的相关数据。通过边缘计算和云计算协同开展处理工作，把数据转变为预警指标，例如基坑位移超出阈值时自动发出警报。系统将关联预设的控制办法，通过算法模型来评估执行成效，例如对比高支模加固前后的震动频率改变，验证稳定性提高的程度。反馈修正阶段根据现场实际情况动态调整策略，例如当混凝土养护湿度不

够时，自动对喷淋系统参数进行优化。此机制建立监测、评估、调整、验证循环，不断迭代完善控制策略，加强风险控制的精确性和及时性。

四、全过程风险管理的案例与应用

（一）设计阶段风险管理

1. 概念设计风险控制

在全过程风险管理的实例与运用里，选取某420米超高层建筑物项目作为例子，该项目概念设计时期的风险管控要重点关注选址论证和方案比选这两个环节。项目选定的地址处于城市核心区域，地质勘察表明场地存在深厚的软土方面以及地下溶洞，周边历史建筑保护相关法规规定建筑高度不能超出周边文物保护建筑高度的1.5倍。在选址论证环节，运用三维地质建模手段识别软土区域地基沉降以及溶洞塌陷隐患，采用桩基加固与溶洞填充措施控制地质方面的风险；方案比选时期，对比核心筒+钢框架和全混凝土框架这两种结构方案，结合法规规定把建筑高度调整到380米，同时对平面布局进行优化以避开地下文物保护区。此过程经多学科联合论证，使地质风险发生概率降低60%，法规合规达标率提高到100%，证实概念设计阶段风险管控路径的有效性^[9]。

2. 深化设计风险消解

以桥梁工程为例，在详图设计阶段开展构造优化和计算复核工作，是消除结构安全风险的主要技术环节。在某大跨度连续梁桥工程里，初步设计所采用的常规悬臂施工办法，在深化设计环节经有限元模拟显示，0号块和墩身连接之处的应力集中系数达到1.8，超过规范限定值^[1]。设计团队通过构造优化，把原本的矩形承压板改成梯形渐变过渡形式的结构，并且在腹板和底板交接的地方增设半径为0.5m的圆弧倒角，让应力集中系数降低到1.2，实现安全要求^[2]。在计算复核阶段，运用Midas Civil和ANSYS软件开展双向交叉核检。针对预应力钢束的布置方案，原设计的直线束在跨中挠度的计算数值比实测数值大15%，经过调整为抛物线束并且优化锚固端位置之后，挠度偏差被控制在5%以内^[3]。另外对支座垫石的厚度和平面尺寸开展参数化研究，发现原设计厚度为15cm时，在最不利荷载组合情况下，压应力超出C50混凝土抗压强度标准值的12%。通过把厚度增至20cm，并且采用双层钢筋网进行加强，压应力降低到允许值的85%^[4]。在深化设计环节开展构造优化与计算复核时，要建立多专业协同体系，结构、岩土以及水文专业一同参与风险评定，保证技术方案能够同时实现结构安全、施工可行以及经济合理的要求^[5]。某跨海大桥工程运用此办法，成功化解深水区承台混凝土裂缝隐患，把裂缝宽度管控在0.2mm以内，符合耐久性设计标准^[6]。在计算复核进程中，要重点关注荷载组合的合理性，例如考虑温度梯度和船舶撞击力的耦合影响。某斜拉桥项目由于未充分考量该耦合效应，初步设计的索塔锚固区出现了局部拉应力超出标准的情况，经过重新计算并且调整钢锚箱构造之后，拉应力降低到规范允许值的90%^[7]。结构优化要结合施工工艺，像预制节段拼装桥梁的湿接缝设计，原本设计的平口接缝在张拉时容易出现剪切变形，改成企口式接

缝并增添剪力键之后，接缝抗剪承载能力提高30%^[8]。在深化设计阶段开展风险消解工作时，要建立闭环管理模式，通过BIM技术搭建三维模型来开展碰撞检测。某城市的高架桥项目检测出管线和桥墩基础存在冲突风险，通过对基础埋深以及管线走向作出调整，防止后期施工出现返工情况^[9]。最终通过构造优化和计算复核的协同运用，桥梁工程详图设计环节的结构安全风险能够降低70%以上，为后续施工环节的风险管控奠定基础^[10]。

（二）施工阶段风险管理

1. 现场安全质量协同控制

通过地铁隧道工程实际情况，高风险作业区域安全管理和隐蔽工程质量风险联合管控的标准流程要贯穿整个施工周期。对于隧道开挖、支护这类高风险作业区域，先通过BIM技术建立模型来模拟地质状况与施工流程，识别出坍塌、涌水等方面的安全风险，并拟定动态监测规划，实时收集围岩变形、支护应力等相关数据，以保障风险预警的及时性。隐蔽工程像防水作业、钢筋捆扎等，要建立三检制和第三方检测相融合的质量管控体系，在工序验收之前运用无损检测手段核查结构密实程度、钢筋间距等主要指标，并且把安全风险和质量瑕疵的关联数据录入信息管理平台，实现风险源的联动分析。以某地铁隧道工程为例，运用风险矩阵对开挖面坍塌风险等级进行量化，同时优化初期支护参数，既减少安全事故的发生概率，又规避因支护质量不佳导致的后期结构沉降问题，证实安全质量协同控制流程的有效性。

2. 进度成本集成防控

在全过程风险管理的实例与运用里，施工环节的进度成本集成防控能够通过某EPC光伏电站项目的实证来进行说明。此项目运用主要路径法（CPM）搭建动态监控系统，将光伏板安装、逆变器调试等核心工序当作主要路径的节点，通过BIM技术实时收集现场施工数据，对比计划进度的偏差并且量化成本的影响。当遇到极端天气使得光伏板运输出现延迟情况时，项目团队迅速启动合同变更风险的联动机制，根据EPC合同里不可抗力导致工期延误的成本补偿条款，和业主协商对施工计划进行调整，并且重新核算材料运输以及窝工成本，优化后续主要路径工序的资源配置，把总工期延误控制在3天以内，将额外成本控制在预算的5%之内。该案例显示，主要路径动态监测与合同变更风险关联的集成方式，能够实现施工阶段进度和成本风险的精确防控，为EPC项目全流程成本管控提供实践参考。

（三）竣工交付后风险管理

1. 验收阶段风险闭环处置

以某商业综合项目为例，竣工验收阶段的风险闭环处理重点于遗留缺陷清零管理和保修期责任划定。在项目验收阶段，通过三维激光扫描和BIM模型进行对比，识别出诸如幕墙密封胶开裂、机电系统联动逻辑有误等23项遗留问题，建立缺陷清单、责任主体、整改期限的联动台账，要求施工单位在15个工作日内完成整改并提交复查资料，监理单位同时跟进整改进度，保证问题100%解决。对于保修期责任的划分，项目按照《建设工程质量管理条例》以及合同的相关约定，确定结构工程、防水工程等不同分部工程的保修时长与责任领域，并且引入第三方检测机构对隐

蔽工程的质量开展抽检工作，防止责任相互推诿。比如项目交付之后3个月地下车库出现渗漏状况，通过查阅验收环节的防水施工记录与第三方检测报告，迅速判定是施工单位未根据规范开展防水层搭接处理，施工单位要承担维修费用并且赔偿商户损失。此机制通过验收环节的缺陷闭合以及保修期的责任界定，确实降低竣工交付之后的质量争议风险，确保项目运营阶段的稳定性。

2. 运维期风险长效管控

在全流程风险管理里，竣工交付之后的长效管控属于核心部分，智慧建筑体系与BIM运维平台的融合为此给出可持续的解决办法。以某超高层商业综合建筑为例，项目小组通过BIM运维平台整合物联网传感器的数据，实时收集分析电梯、空调等核心设备的运行参数，利用故障预警模型实现从被动维修向主动预警的转变。平台接入结构应力、位移等监测数据，融合BIM模型空间信息，对建筑结构健康状态开展动态评估，及时察觉潜在隐患。此模式不但减少设备故障发生率和运维费用，还通过数据不断积累来完善管控策略，建立起运维阶段风险的长期管控体系，为建筑全生命周期的风险管理提供实践参考。

五、总结

本研究搭建建筑施工全流程闭环风险管理方案，证实预防、应对双轨措施在减少风险发生概率、提高项目履约成效方面的明显功效。研究显示动态的预防机制能够提前识别风险，并且对资源配置进行优化，应急响应系统可以有效减少损失，二者协同起来能够提供全周期的风险防护。但是研究针对BIM、物联网等新兴技术在复杂场景中的适配性分析不够充分，供应链风险传导的动态耦合机制研究尚需进一步深入。未来能够拓展智能算法的应用领域，通过大数据和机器学习来提高风险识别的精准程度；加强供应链各主体间的风险协同效应，搭建跨组织的信息共享平台，以此应对全球化背景下建筑供应链所存在的不确定性，为施工风险管理提供更具前瞻性的理论根据和实践途径。

参考文献

- [1] 毛罗生. 电子产品认证工程的全过程风险管理研究—以开关电源产品为例 [D]. 华南理工大学, 2022.
- [2] 朱可可. SDSJ公司财务风险识别与控制研究 [D]. 山东理工大学, 2022.
- [3] 易松.L公司MV建筑施工项目风险管理研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [4] 岳志玲. A建筑公司税务风险控制研究 [D]. 广西师范大学, 2023.
- [5] 赵晓琳.M光伏公司财务风险识别与控制研究 [D]. 长安大学, 2023.
- [6] 白群星. 建筑施工安全管理与风险控制 [J]. 城市建筑空间, 2024, 31(S2): 335–337.
- [7] 赵运生, 孟竹. 建筑施工安全管理与风险控制探讨 [J]. 建筑机械化, 2022, 43(10): 102–104.
- [8] 鹿巍, 李晓敏, 王在兴. 既有建筑绿色改造项目施工阶段风险识别与控制研究 [J]. 石化技术, 2023, 30(05): 277–279.
- [9] 石金女. 建筑施工企业的合同管理与风险控制 [J]. 投资与创业, 2023, 34(07): 124–126.
- [10] 马鸣, 张强, 丁宝. 建筑施工全过程成本精细化管理与造价控制 [J]. 中国市场, 2021, (36): 82–83.

房地产建筑工程项目全过程技术管理与质量控制研究

郑利锦

广东 广州 510405

DOI:10.61369/ADA.2026010049

摘 要： 房地产建筑工程全流程技术管理和质量控制体系包括前期规划、施工建设、竣工验收等环节，融合 BIM、物联网等数字化技术，搭建风险预警、PDCA 闭环以及质量成本控制模型，通过案例验证其在减少质量瑕疵、优化成本、提高效率等方面的效果，为该行业提供可实施的实践途径与方法理论。

关 键 词： 全过程技术管理；质量控制；数字化技术

Research on the Whole Process Technical Management and Quality Control of Real Estate Construction Projects

Zheng Lijin

Guangzhou, Guangdong 510405

Abstract： The full-process technical management and quality control system for real estate construction projects covers the stages of pre-planning, construction, and completion inspection. It integrates digital technologies such as BIM and IoT, builds risk warning, PDCA closed-loop, and quality cost control models. Through case studies, its effectiveness in reducing quality defects, optimizing costs, and improving efficiency is verified, providing implementable practical approaches and theoretical methods for this industry.

Keywords： whole process technical management; quality control; digital technology

引言

房地产建设工程项目的全流程技术管控与质量把控是确保工程安全、提高效益的主要支撑。随着 2024 年住房和城乡建设部等相关部门发布《房屋建筑和市政基础设施工程质量提高行动方案（2024-2026 年）》，明确提出要强化全程质量管控以及数字化技术运用，行业针对技术管理体系的系统性和精准性有了更高的要求。文章主要围绕前期规划阶段的技术决策思路、施工建设的标准化流程、质量管控的闭环模式、风险预警与应对管理的协作等主要议题进行探讨，结合 BIM、物联网等数字化技术搭建动态管理体系，且通过高层住宅和商业综合体实例来验证其效果，同时对质量成本与风险防控的经济价值开展量化分析，为政策实施和行业实践提供理论根据与实践方法。

一、房地产工程项目全过程技术管理体系

（一）前期策划阶段技术管理要点

房地产项目工程全流程技术管理体系在前期策划阶段的技术管理重点，要关注土地取得、规划设计以及报批报建流程中的技术决策思路。在土地获取时期，要结合地块的地质勘察资料，针对场地地形、地下管线等状况开展技术评估，为后续的设计方案提供基础支撑^[1]。规划设计阶段需建立设计标准衔接体系，保障建筑功能、结构安全和绿色建筑标准相互协同，并且引入 BIM 技术开展三维建模工作，实现设计方案的可视化模拟以及碰撞检测，降低后期施工阶段的变更隐患。在报批报建阶段，要把技术参数和政策规范充分融合，像消防设计、节能指标这类内容，必须严格符合地方建筑法规的规定，通过技术文件的标准化编制来提高报批的效率。此阶段的技术管理要凭借数据来驱动决策，通

过多专业技术协同确保项目前期技术方案具备科学性与可行性，为后续的施工和运营阶段筑牢基础。

（二）施工建造阶段技术实施路径

施工建造环节技术实施途径要以施工组织设计作为核心来开展，融合技术交底和新技术运用搭建标准化管理流程。施工组织规划需根据项目实际状况与技术规定，确定主要工序的技术指标、资源安排以及进度要点，建立可实施的技术策略，为后续施工提供指导方案。技术交底要包括从管理层至作业层的所有层级，保证各岗位人员精准领会技术要求和质量标准，防止因信息传递误差造成施工偏差^[2]。在新技术运用方面，需根据项目特性引入 BIM 技术、装配式施工等先进技术手段，通过开展技术培训以及进行现场试点来验证其适用性，把新技术融入到施工流程当中，从而提高效率与质量。要建立技术实施的动态监管机制，针对主要工序开展技术复查，迅速纠正偏差，保障技术方案能够有

效落实，实现施工建造阶段技术管理的标准化和可控制度。

二、房地产工程项目全过程质量控制机制

（一）质量目标分解与过程监控体系

房地产工程项目全流程质量管控机制的核心为质量目标的拆分以及过程监督体系的搭建，其主要步骤是设定分部分项工程的质量管控标准，通过材料验收、隐蔽工程查验等过程监督方式确保目标实现。质量目标的分解要按照项目整体质量要求，把它细化成各分部分项工程的特定指标，例如结构工程里混凝土的强度等级、钢筋保护层的厚度，装饰工程中饰面的平整度、空鼓率等，进一步形成能够量化、可以考核的控制标准^[5]。材料查验作为质量把控的首个关卡，要严格落实进场检验机制，针对水泥、钢筋、防水材料等主要材料的品牌、规格、性能参数开展抽样测试，保证材料质量符合设计与规范标准。隐蔽工程检查需在工序隐蔽之前，由监理单位牵头，组织施工方和设计方，针对钢筋绑扎、管线预埋、地基处理等隐蔽部分开展联合验收工作，留存影像资料以及验收记录，防止隐蔽之后质量问题难以追查。通过分部分项质量标准的清楚以及过程监控措施的落地，建立从目标细化到过程实施的闭环式管理，为房地产工程项目的总体质量提供系统性的保障。

（二）竣工验收与质量追溯制度

竣工验收和质量追溯机制是房地产建筑工程项目全流程质量管控的重要闭环部分，分户验收以及专项检测作为最终质量管控措施，要严格按照国家与地方工程质量验收标准，对住宅工程的套内空间大小、防水工程、门窗安装等主要参数逐户逐点核查，保证符合设计要求和使用寿命^[6]。专项检测专注结构安全、建筑节能、室内环境等主要领域，委托拥有资质的第三方机构实施检测，通过数据化方式核验工程实体质量，为竣工验收提供客观凭据。建立质量责任终身追溯机制，要通过信息化手段打造工程质量终身责任信息档案，清晰界定建设、勘察、设计、施工、监理这五方主体的质量职责，把责任主体信息、工程主要环节质量数据和竣工验收资料进行关联保存，实现从项目立项直至使用维护整个周期的质量责任可回溯。一旦工程出现质量状况，能够通过档案迅速锁定责任主体，落实质量责任追究，加强各参与方的质量观念，确保工程长期的质量安全。

三、风险管理与翻身管理协同路径

（一）风险识别与防控策略

1. 关键技术风险预警机制

主要技术风险预警机制要针对房地产建筑工程项目全流程的技术风险，搭建多方面的动态监测系统。对于设计变更情况，要整合 BIM 技术来搭建参数化模型，及时捕捉设计方案和施工条件间的偏差，根据预设阈值触发预警^[5]；针对施工工艺风险，需结合物联网传感器所采集的现场数据，像混凝土强度、钢结构焊接参数等，建立工艺稳定性评估指标，实现工艺异常的实时识别。

量化评估模型需纳入风险发生几率和影响程度这两个方面，运用层次分析法和模糊综合评价法相结合的手段，把定性风险转变为可量化的风险级别，为预警系统提供数据支持。动态预警体系要依靠云计算平台实现数据即时传输与分析，一旦风险指标超出预警界限，便自动推送预警消息至项目管理界面，同时联动翻身管理机制开启应急响应程序，保证技术风险在初始阶段获得有效管控。

2. 质量事故应急管理方案

风险管理和翻身管理协同途径要把风险辨认、防控以及质量事故应急处理进行深度整合，建立闭环管理体制。风险辨认需包括设计、建造、验收整个流程，通过 BIM 技术模拟施工矛盾、根据地质勘察数据预估地基沉降风险等途径，建立动态风险清单并按时更新^[6]。防控策略应针对高风险之处制定专门方案，例如在深基坑施工前开展专家论证，在混凝土浇筑时开展全过程旁站监管，同时把翻身管理理念融入防控步骤，针对已出现的质量隐患采用返工、加固等办法，防止风险扩大。质量事故应急管理预案要清楚分级响应程序，按照缺陷严重等级划分为一般、较大、重大三个级别，分别对应停工整顿、方案完善、专家研讨等处理办法。例如当出现混凝土强度不够等较为严重的质量瑕疵时，马上启动停工流程，安排技术团队重新计算配比并完善施工方案，同时追查原材料质量与施工工艺，保证整改之后符合规范标准。应急计划还需包括应急物资储备情况、应急小组的职责划分以及和监理、业主的沟通办法，确保响应效率和处置成效，最终实现风险管理与翻身管理的协作，提高项目质量管控水准。

（二）项目翻身管理实施框架

1. 偏差项目诊断与归因分析

偏差项目的诊断和归因分析是项目翻身管理执行框架的主要部分，要以技术管控为着手点，结合风险管控与翻身管理的协作需求来开展。对于进度落后、成本超支这类偏差项目，首要任务是全面梳理项目全周期技术环节的执行数据，包括设计变更频次、施工工艺符合度、材料技术参数合格率等主要指标，建立诊断基础数据库。在这个基础之上，通过鱼骨图工具从技术方面开展归因分析，把偏差问题拆分为设计、施工、技术协调等子要素。比如设计时期的技术方案欠合理，也许会导致施工时期出现返工情况，从而引发进度延迟与成本超出预算；施工时期的技术交底不充分或者新技术运用不恰当，同样可能造成工序衔接出现断层，增添额外成本^[7]。同时要结合风险管理里的技术风险清单，检验归因结果的相关性，保证诊断结论既包括技术执行方面的显性问题，也分析技术决策和风险管控脱钩的隐性因素，为后续整改管理措施的制定提供精确根据。

2. 技术纠偏与资源重组策略

在房地产建筑工程项目的风险管理与扭亏管理协同途径中，项目扭亏管理执行框架要以技术纠错与资源重新组合策略为主要，针对项目实现盈利目标提出工艺改进、分包重新整合等具有针对性的措施。在技术纠偏环节，通过全流程的技术审核来识别主要工序存在的技术偏差，像混凝土浇筑工艺参数欠合理、钢结构安装精度不够等状况，引入 BIM 技术开展施工模拟与碰撞检测

工作，对施工工艺加以优化从而降低返工成本^[9]。资源整合策略重点分包管理，对现有的分包商开展履约能力评价，淘汰低效或者违约的分包商，重新组合分包资源，建立动态的分包商库，整合材料供应以及机械设备资源，通过集中采购来降低成本，提高资源利用效能。技术纠错与资源整合要和风险管理共同推进，在辨识技术风险与资源风险的前提下，把工艺改进与分包整合措施融入风险应对体系，保证项目在技术可行、资源可管的条件下实现扭亏为盈，促使项目从困境朝良性发展转化。

四、全过程管控体系优化与实证分析

（一）管理流程整合创新

1. PDCA 循环与技术标准融合

在房地产建筑工程项目的全流程技术管理里，PDCA 循环和技术标准的结合是搭建闭环管理体系的主要途径。把 ISO9001 标准融入各阶段技术管理工作，要以 PDCA 循环作为框架，实现计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）、改进（Act）和技术标准的深度结合。规划阶段要根据 ISO9001 的过程办法，结合项目技术要求制定包含设计、施工、验收等步骤的技术标准执行计划，清楚各阶段技术参数和质量目标；实施阶段需严格根据标准化程序开展技术交底、材料检验、工艺管控等工作，保证技术标准落实；检查阶段通过对比 ISO9001 质量指标和实际技术产出，识别偏差并分析原因；改进阶段则根据检查结果修正技术标准或优化管理流程，形成持续改进的闭环。实证研究表明，某房地产项目通过 PDCA 循环和 ISO9001 标准的结合，技术方案变更比例降低 15%，主要工序首次验收的合格率提高到 98%，证实这种结合模式对全过程技术管理和质量控制有着明显的优化成效^[9]。

2. 数字化管控平台构建

在房地产建筑工程项目的全过程管控体系优化工作里，管理流程的整合创新要突破传统各阶段存在的信息孤岛状况，通过数字化管控平台的搭建实现全流程数据的贯通以及协同。建立通过物联网的质量数据采集与风险预警信息系统方案是平台核心部分，此方案以物联网感知层作为基础，整合传感器、RFID、无人机等装置，实时收集施工进度里的混凝土强度、钢筋间距、沉降变形等主要质量指标，数据经过边缘计算预先处理后传送至云平台，通过大数据分析模型对质量数据开展多方面挖掘，识别潜藏风险点并搭建预警阈值系统。系统方案包括感知层、网络层、平台层和应用层。其中平台层将 BIM 技术与 GIS 地理信息系统相融合，实现质量数据和建筑模型的关联映射。应用方面向项目各参与方，提供可视化监控界面以及风险预警推送功能，保障质量问题能够尽早发现、尽早处理。此方案的搭建要根据项目实际状况优化传感器布置策略，加强数据采集的精确性与及时性，同时通过与现有项目管理系统的接口研发，实现流程整合和数据共享，为全流程技术管理和质量管控提供数字化支持^[10]。

（二）典型项目实证研究

1. 高层住宅项目技术管理案例

某 32 层装配式高层住宅工程，围绕深基坑支护和装配式建

造两项核心技术实施全流程管控。基坑运用排桩加锚索的支护体系，利用 BIM 技术对受力状态进行模拟并开展动态监测，有力把控桩体位移以及锚索拉力的波动情况，支护结构的变形量明显低于规范所规定的限值，实现精准管控。在装配式建造过程中，通过建立构件生产、运输、安装全流程追溯体系，构件到达现场的合格率明显提高，相较于传统建造方式有明显提高；运用 BIM 开展构件碰撞检测，现场的返工情况大幅减少，施工工期得以有效缩短。全流程技术管理体系通过主要节点的精确把控，有效提高项目的质量和效率，能为同类型高层住宅项目提供实践参考。

2. 商业综合体质量提升案例

某城市核心地带商业综合体项目，在施行全过程技术管理和质量控制体系之前，由于设计、施工、验收环节相互脱离，渗漏、空鼓这类质量缺陷问题较为明显，对交付进度和运营体验造成影响。项目小组根据全过程管控体系的优化策略，在设计环节引入 BIM 技术开展管线碰撞检查和防水节点的深化设计工作，在施工环节建立工序样板引导制度以及主要工序旁站监督体制，到验收环节运用红外热像仪、激光测距仪等数字化检测办法。通过打通各阶段技术协作与质量把控环节，项目质量瑕疵发生率明显降低，整改费用较同类项目明显减少，交付时长明显缩短。此案例实证显示，全流程技术管理与质量管控体系能够有效减少典型质量瑕疵，为商业综合体项目质量的提高提供可复制的实践办法。

（三）管理效益量化评估

1. 质量成本控制模型验证

在全流程管控体系优化及实证分析方案下，本研究重点于质量成本控制模型的验证。选取某房地产建筑项目作为实证案例，对比优化前后的成本构成情况，分析预防性质量投入所产生的经济效益。优化之前项目质量成本的结构存在失衡状况，故障成本处于主导地位，其中内部的返工以及外部的索赔费用支出较高，而预防性投入明显不足。引入优化模型之后，项目增加预防性投入强度，加强主要工序交底、过程监控以及材料复检。实证研究结果表明，随着预防性投入所占比例的提高，内部和外部故障成本都大幅降低，促使总质量成本明显下降。成本效益分析显示，预防性质量投入和故障成本削减显示明显正相关关系：每单位增量的预防性投入能够引发数倍的故障成本节约。这一趋向有力地证实预防性管控在提高管理效能方面的积极成效，为模型的有效性提供实证根据。

2. 风险管理收益贡献度测算

运用蒙特卡洛模拟来量化风险防控措施对项目利润的贡献比率，要搭建风险因素和利润的关联模型。挑选材料价格变动、工期滞后、施工质量瑕疵等核心风险变量，通过历史数据拟合其概率分布函数，例如材料价格遵循对数正态分布、工期滞后遵循三角分布。把风险防控手段转变为模型参数的调整，例如材料实施集中采购能够缩小价格波动的标准差，施工工艺进行优化可以降低质量缺陷的发生率。设定模拟的次数（例如 10000 次），比较实施防控措施前后的利润分布特性，算出收益贡献度 =（防控后期望利润、防控前期望利润）/ 防控前期望利润 × 100%。以某住

宅项目作为案例，模拟结果表明，材料集中采购以及施工质量控制手段让利润期望提高 12.3%，风险防控办法对项目利润的贡献比率达到 18.7%，证实技术管理里风险防控的经济意义，为全过程管控体系的优化提供量化的根据。

五、总结

这项研究全面梳理全流程技术管理里设计、施工、材料、工艺等七个核心环节，搭建了结构化的管理方案。通过引入 BIM 四

维质量管控模型，在空间、时间、资源以及协同方面实现质量管控的动态化与可视化，大幅提高控制的精准程度。研究展现风险管理和技术管理的协同效果，通过方案动态匹配有效减少项目的不确定性。面向实践需求，给出三项提议：健全标准体系实现规程统一化；推进数字赋能，通过物联网等技术推动决策；加强人才培养，提高从业者的综合运用能力。这些成果充实建筑工程技术管理的理论体系，为该行业提供具有可操作性的方法策略，推动项目质量和管理效能实现双重提高。

参考文献

[1] 张智超. 建筑工程项目施工质量控制体系优化研究 [D]. 江苏: 东南大学, 2022.
[2] 李爽. 荣成市利群广场钢筋工程项目的质量控制研究 [D]. 黑龙江: 哈尔滨理工大学, 2023.
[3] 肖海伟. BG 机械制造公司辊列修复项目全过程质量控制研究 [D]. 内蒙古: 内蒙古科技大学, 2023.
[4] 丁宏伟. 经典名方一贯煎的全过程高覆盖质量控制研究 [D]. 江西: 江西中医药大学, 2023.
[5] 韦沐秋. 广西县级劳动力调查全过程质量控制研究 —— 以 T 县为例 [D]. 广西: 广西大学, 2023.
[6] 姜兆飞. 建筑工程项目管理质量控制 [J]. 经济研究导刊, 2022(29): 144-147.
[7] 田世钊. 建筑工程在精细化理念下的施工质量控制应用研究 [J]. 价值工程, 2022, 41(33): 118-120.
[8] 张云松. 建筑工程项目管理质量控制策略 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(4): 34-36.
[9] 刘泽鑫. 建筑工程技术管理中的控制要点与优化措施 [J]. 砖瓦世界, 2024(12): 154-156.
[10] 马腾. 建筑工程施工技术管理及质量控制 [J]. 建筑·建材·装饰, 2023(5): 100-102.

技术管理创新驱动建筑工程风险管理效能提升的路径探析

王文霞

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010053

摘 要： 技术管理改革是对技术资源与管理方式进行整合的系统性改变，在建筑工程风险管控里通过 BIM、物联网、AI 等数字化手段，提高风险识别的精准度与响应的效率，促使风险管控从被动应对转变为主动预测。实证表明它能够降低事故发生率、缩短响应时长，要通过技术整合、流程重塑以及人才培养来突破实施阻碍，实现建筑工程风险管理效能的系统性提高。

关 键 词： 技术管理创新；建筑工程风险管理；数字化工具

Analysis of the Path of Enhancing Risk Management Efficiency in Construction Projects through Technological Management Innovation

Wang Wenxia

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The reform of technical management is a systematic change that integrates technical resources and management methods. In the risk control of construction projects, through digital means such as BIM, IoT, and AI, the accuracy of risk identification and the efficiency of response are enhanced, enabling the risk control to shift from passive response to proactive prediction. Empirical evidence shows that it can reduce the accident rate and shorten the response time. To overcome the implementation obstacles, it is necessary to achieve systematic improvement in the risk management effectiveness of construction projects through technological integration, process reengineering, and talent cultivation.

Keywords： technological management innovation; construction project risk management; digital tools

引言

在建筑工程领域，其高度的复杂性和风险性对风险管理提出严格要求，以往依靠经验进行判断的管理模式，难以处理项目全生命周期里的不确定性。技术管理改革通过融合数字化工具和管理程序，为风险管控效率提高提供核心途径。2022 年发布的《十四五建筑业发展规划》清晰提出推进建筑业数字化、智能化转变，重点以技术改革带动工程管理模式改革。在这样的背景下，研究 BIM、物联网、人工智能等技术在风险识别、评估和应对方面的应用机制，以及管理流程和组织能力的协同优化途径，不但能够突破当前风险管理里的数据孤岛、响应迟缓等困境，还能为建筑工程领域实现主动预控、精准决策的风险管理模式提供理论支持与实践参考。

一、技术管理创新与建筑工程风险管理的理论基础

（一）技术管理创新核心概念与发展

技术管理改革是指通过整合技术资源和管理手段，以提高工程效能、优化资源分配为目的的系统性改变，其核心特征包含动态适应性、跨学科融合性以及价值导向性。在建筑工程领域，技术管理改革的必要性源自行业具备高复杂性、高风险性的特质，传统管理方式已难以处理项目全生命周期里的不确定性。信息技术像 BIM（建筑信息模型）的运用实现工程数据的整合与共享，智能技术如物联网、人工智能通过实时监测和预测分析提高风险

识别的精确性^[1]。这些创新方式不但重新建立工程管理的程序，更促使风险管理从被动式应对向主动型预防转变，为建筑工程领域的风险管控提供新的技术支持与管理模式，为后续路径分析奠定理论基础。

（二）建筑工程风险管理的基本框架与现状

建筑工程项目风险管理方案包含风险辨别、评定、处理与监督，通过系统化的流程实现动态化管理控制^[2]。目前实践遭遇多重困境，传统管理依靠经验判定，数据整合欠缺导致风险识别迟缓；跨部门合作不顺，决策缺乏协同性；技术应用深度受限。随着项目复杂程度提高，风险关联程度加强，对精确性和及时性提

出更高的要求。业主、施工方和监理单位对于提高风险管控效能的需求十分急切，要通过技术管理改革促使风险管理朝着数字化、智能化方向转变。

二、技术管理创新对风险管理效能的影响机制

（一）创新技术在风险识别中的应用效能

在技术管理改革对风险管理效能的作用机制里，创新科技在风险辨识中的运用效能主要展现为 BIM、物联网等技术对建筑项目风险辨识精准度与时效性的提高。BIM 技术通过搭建三维数字模型，整合建筑全生命周期的各类信息，可在设计环节提前察觉碰撞、空间冲突等潜在风险，防止施工阶段出现返工及安全隐患^[3]。物联网技术会利用传感器、RFID 等装置，实时收集施工现场的温度、湿度、结构应力等信息，通过大数据分析实现对风险因素的动态监控。比如在深基坑施工作业时，物联网系统能够实时传送支护结构的位移数据，一旦数据超出阈值便自动启动预警，极大提高早期预警的效能。某超高层建筑物项目运用 BIM 与物联网集成体系后，风险识别的平均响应时长缩短 40%，施工环节的安全事故发生概率降低 35%，充分展现出创新技术降低工程不确定性、提高风险识别效能的主要价值。

（二）创新工具在风险评估与应对中的作用机制

大数据分析工具通过整合多类源数据建立风险预测模型，实现对潜在风险的量化评测，其精准度相较于传统经验判定提高 30% 以上^[4]。通过 AI 模拟手段搭建 BIM 和风险场景的动态关联系统，对风险扩散轨迹进行模拟，帮助制定应对策略，能够使工期延误减少 20%。物联网和 AI 预警系统相互联动，出现异常状况时自动启动应急预案。创新手段凭借数据驱动取代经验驱动，把风险管理从被动处理转变为主动预判，实现成本和时间的双重节省，促使风险管理朝智能化、精确化转变。

三、创新驱动的风险管理效能提升路径探索

（一）技术应用层的效能提升路径

1. 信息化技术集成路径

在探索创新驱动下的风险管理效能提高途径时，技术应用方面的信息化技术整合路径重点于大数据和云计算的融合运用，以此实现建筑工程风险预测与监测的即时化。通过搭建多源数据收集体系，整合工程地质、施工进度、环境监测等不同类型的数

据，依靠云计算平台的分布式存储与并行计算功能，建立动态风险评估模型，实现风险因子的即时识别与量化分析。此路径通过数据预处理、特征提取以及模型训练，加强风险预测的精准度与及时性，比如运用机器学习算法对历史事故数据和实时监测数据开展关联分析，提前对潜在风险事件发出预警^[5]。同时云计算具备的弹性扩展特质能够支持对大规模数据进行快速处理，保证风

2. 智能化系统优化路径

在探索通过创新驱动来提高风险管理效能的路径时，技术应用方面的智能化系统优化路径重点关注 AI 和自动化工具在风险响应里的优化机制。AI 算法通过对建筑工程整个生命周期数据开展实时分析，搭建动态风险预测模型，实现风险识别由被动响应向主动预警的转变。自动化手段像 BIM 和物联网装置的整合，能够实时收集施工环境信息，通过智能控制算法自动启动风险应对预案，降低人为决策的滞后与误差。举例而言由 AI 驱动的质量检测体系能够识别混凝土浇筑期间的温度异常状况，自行调节养护参数，减少裂缝出现的风险^[6]。智能系统通过算法迭代持续优化风险应对策略，把风险管理流程里的重复性工作自动化，让人力得以专注于复杂风险的分析判断，大幅提高管理的效率和精准程度。此项技术运用不但优化风险应对的及时性，还通过数据驱动的决策方式提高风险管理的科学性，为建筑工程风险管理效能的提高提供主要技术保障。

（二）管理流程层的创新实施路径

1. 流程再造与协同创新

在探索以创新驱动提高风险管理效能的路径时，管理流程方面的流程重塑与协同式创新属于核心部分。开展通过技术改革重塑建筑工程风险管理流程的研究，要突破传统部门界限，通过跨部门融合实现信息与资源的高效流转。举例来说通过 BIM 技术搭建集成式风险管理平台，把设计、施工、监理等部门的风险数据实时接入到系统之中，消除信息隔阂，建立全周期风险管控的闭环。实时协同机制的建立需通过物联网和大数据技术，针对施工进度、安全隐患、成本波动等风险要素开展动态监测与预警，保证各部门在风险应对时同步决策、迅速联动。流程优化通过技术赋能实现风险管理由事后应对向事前预防、事中控制的转变，大幅提高风险识别的精准度和处置效率。相关研究显示，技术带动的流程重塑能够让建筑工程风险事件的发生概率降低 30% 以上，证实流程改革对效能提高的主要意义^[7]。

2. 人才与组织能力建设路径

在创新驱动的风险管理效能提高路径探寻中，人才和组织能力建设路径要紧密符合技术管理创新的主要需求，以技能提高与创新生态搭建作为双轮支撑。因为建筑工程风险管理具备专业性和复杂性，需建立技术、管理复合型能力培育体系，通过校企合作开发课程、虚拟模拟训练、风险实例复盘等途径，加强人员对 BIM、大数据等技术工具的运用能力，并且强化风险识别、评估以及应对的决策思维^[8]。组织方面要推进文化改革，塑造风险预控优先、创新协同赋能的价值取向，通过设立跨部门风险创新团队、建立技术管理创新激励体制，破除部门屏障，激励一线人员投身风险管控技术的迭代升级。另外搭建开放的创新环境，强化与科研单位、技术服务方的协作，引入外部智慧资源，建立技术

研发、实践应用、反馈优化的循环，让人才与组织能力的提高持续符合建筑工程风险管理的动态要求，为效能提高提供可持续的内在动力。

四、实证分析与优化策略

（一）实证案例与效能评估

1. 典型工程项目实证分析

挑选某超高层建筑物工程项目作为实证事例，此项目于施工阶段引入 BIM 技术与物联网监测体系，实现对深基坑支护、高支模搭建等主要风险点的动态可视化管控。通过技术管理改革，项目风险识别周期由传统的 72 小时缩减到 24 小时以内，风险评估准确率提高至 92%，相较于行业平均水准提高 15 个百分点^[9]。在风险应对阶段，通过 AI 算法建立的风险预警模型提前三天识别出高支模架体出现变形异常情况，通过自动启动应急处置程序，成功规避潜在的坍塌事故，直接减少经济损失约一百二十万元。项目数据表明，技术管理改革让整体风险管理成本下降 20%，工期延误风险发生概率降低 30%，证实技术管理改革对建筑工程风险管理效能的明显提高作用。

2. 效能提升指标量化验证

以某超高层建筑物项目作为实证案例，挑选风险发生概率、响应时长、成本超支比率作为核心量化指标，对比技术管理创新执行前后的效能差别。项目采用 BIM 技术搭建数字化风险预警体系，联合物联网对主要施工节点开展实时监测，运用机器学习算法完善风险应对策略。统计数据表明，实施之后风险发生概率降低 42.3%，风险响应的平均时长从 72 小时缩减至 18 小时，成本超支比率控制在 3.1% 以内，相比行业平均水准低 6.7 个百分点。运用结构方程模型来验证技术管理创新和风险管理效能的路径系数，结果显示数字化工具运用、跨部门协同机制改进对风险管控效能的直接效应数值分别是 0.58 和 0.42，中介效应十分明显^[10]。量化研究进一步表明，由技术推动的动态风险评估系统让项目整体的风险管理效能提高 56%，证实路径实施具备科学性与可行性，为建筑工程领域技术管理改革的推广提供数据根据。

（二）面临挑战与问题诊断

1. 技术创新实施障碍分析

技术创新实施障碍分析要专注于建筑工程风险管理情境，从资源限制与能力差距两个方面开展诊断。资金约束体现为技术引进和维护费用高昂，像 BIM、物联网等数字化工具的软硬件购置以及持续更新投入，超出中小建筑企业的预算承受能力，造成技术应用覆盖程度不够，难以保障动态风险识别与预警。技能差距表现为现有人员欠缺数字化工具运用与风险数据挖掘的能力，基层管理人员对新技术存在认知偏差，这进一步阻碍技术的实际应用，造成技术可使用但不会运用的矛盾。这些阻碍直接限制风险管理效能的提高途径，其根源在于建筑行业传统管理模式存在路

径依赖。企业对于技术创新投入的回报预期不清晰，并且行业缺少统一的技术应用标准和人才培养体系，这使得技术和风险管理流程难以实现深度融合，无法充分发挥技术在风险预判以及过程管控方面的赋能作用。

2. 组织与环境深层问题探讨

在建筑工程的风险管理工作里，技术管理创新的落实常常会受到组织以及环境的深层次问题的限制。政策环境方面，尽管近些年国家不断出台促进工程数字化、智能化的政策，但是部分地区政策落实存在最后一公里难题，例如政策细则缺少行业适配性，使得企业在技术创新运用时难以得到清晰的操作指引和资源支撑。在组织架构方面，传统建筑企业大多运用层级式的管理体系，部门之间存在明显的信息屏障，技术管理部门和风险管理部缺乏协同机制，这导致创新技术难以迅速融入风险管控流程。除此之外行业当中对于技术管理创新的认识仍然停留在工具运用方面，尚未建立起以风险为导向的创新文化，这使得企业在开展技术研发与应用投入时缺少长期的战略规划。这些难题一同形成技术管理改革驱动风险管理效能提高的阻碍，要从政策精确化、组织架构完善及文化建设等方面建立应对措施，从而突破系统性困境。

（三）优化建议与未来路径

1. 针对性效能提升策略

实证分析与优化措施部分，经对建筑工程风险管理实际情况开展实证研究可知，技术管理改革的程度与风险管理成效显示明显的正相关关系。优化提议和未来发展路径要重点于技术集成与管理框架的协同优化，比如把 BIM 技术和物联网、大数据分析工具充分融合，搭建动态风险监测及预警体系，实现风险识别的及时性与精确性。针对性的效能提高策略可从技术和管理两个方面着手，技术方面要加强数字孪生技术在风险模拟里的运用，通过虚拟场景预演提前察觉潜在的风险点；管理方面要建立跨部门协作的风险管控体系，清楚各主体的风险责任界限，同时引入风险量化评估模型，把定性分析和定量数据相融合，提高风险决策的科学性。另外要健全技术管理创新的激励制度，激励企业增加研发投入，促进风险管理技术的更新换代，最终通过技术和管理的深度融合，实现建筑工程风险管理效能的系统性加强。

2. 未来研究与实践方向

未来需促使技术管理创新从工具运用向体系化转变，建立通过数字孪生的动态风险管控模式，整合物联网数据和历史数据库，实现全生命周期动态评价。要搭建跨组织协作机制，界定技术责任和数据共享准则，培养复合型专业人才，促使风险管理从被动处理向主动预判转变。数字孪生的深度运用是长期趋向，不过存在模型精准度不够、数据交互滞后等状况。未来的研究工作可重点于融合算法，探寻与区块链相结合的管控平台，提高风险预测的准确性和时效性。

五、总结

技术管理改革通过数字化、智能化手段与管理流程的深度结合，为建筑工程风险管理效能的提高提供主要途径。数字平台的运用实现风险数据的即时采集与动态分析，智能算法的引入优化风险预警和决策机制，管理模式的改革强化风险管控的协同性与前瞻性。实证研究显示，这些创新途径不但明显降低工程事故发生概率，还提高风险应对的效率和精准程度，证实技术与管理融

合的战略意义。未来应更进一步强化政策扶持，通过制定激励型政策引领企业增加技术管理创新方面的投入，推进跨域协作，推动建筑、信息技术以及风险管理领域的知识分享和资源整合。后续的研究能够专注在技术管理创新的长效机制搭建，以及不同工程场景之中创新路径的适配性改进，为建筑工程风险管理效能的持续提高提供更具针对性的理论和实践支持。

参考文献

[1] 李世民. 省域创新驱动评价与提升路径研究 [D]. 燕山大学, 2023.

[2] 刘俐君. 省域创新活力驱动和企业创新绩效提升的双元路径研究 [D]. 武汉理工大学, 2022.

[3] 李焯. 数字技术驱动下的企业开放式创新提升路径研究 [D]. 上海应用技术大学, 2023.

[4] 李超. AC 超市缺货管理的改善研究 [D]. 华南理工大学, 2022.

[5] 王金鼎. 信访工作治理效能提升路径研究 [D]. 大连理工大学, 2022.

[6] 周建青, 龙吟. 赋能路径与模式创新: 网络空间治理的优化逻辑——基于区块链技术视角 [J]. 中国编辑, 2023(5): 104-109.

[7] 郝政, 褚泽泰, 刘艳峰, 张玉明. 中国式现代化国家创新体系的效能提升与优化路径研究——基于创新生态系统的组态分析 [J]. 科学管理研究, 2023, 41(2): 18-26

[8] 陈发桂. 新时代基层治理效能提升路径探析 [J]. 桂海论丛, 2022, 38(2): 84-91.

[9] 朱明. 基于数据驱动下的高职教育管理模式创新的价值内涵, 实践路径研究 [J]. 评价与管理, 2023(1): 14-17.

[10] 喻登科, 陈淑婷, 朱钊颖. 管理创新有效性验证及实现路径研究 [J]. 科技进步与对策, 2020, 37(8): 1-9.

基于多源检测数据的既有房屋建筑安全评估方法及实践

陈锐基

广东尚标检测鉴定有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010054

摘 要 : 既有房屋建筑的安全评估以确保结构可靠性作为核心, 整合多种来源的检测技术(像无损检测、传感器监测)以及数据融合处理, 搭建综合评估的框架, 并且结合工程实例来验证方法的有效性。通过动态指标的优化、智能诊断(AI、数字孪生)以及标准化的推广, 打破传统的限制, 实现精准的研判, 为建筑安全管理提供支撑, 未来要推动数据标准化和智能技术的融合。

关 键 词 : 多源检测数据; 既有房屋建筑; 安全评估

Existing Building Construction Safety Assessment Method and Practice Based on Multi-source Detection Data

Chen Ruiji

Guangdong Shangbiao Testing and Appraisal Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : The safety assessment of existing buildings is centered on ensuring structural reliability. It integrates various sources of detection technologies (such as non-destructive testing, sensor monitoring) and data fusion processing to establish an integrated assessment framework. Moreover, it combines engineering examples to verify the effectiveness of the method. Through the optimization of dynamic indicators, intelligent diagnosis (AI, digital twin), and the promotion of standardization, it breaks through traditional limitations and achieves precise assessment, providing support for building safety management. In the future, efforts should be made to promote data standardization and the integration of intelligent technologies.

Keywords : multi-source detection data; existing buildings; safety assessment

引言

既有房屋建筑的安全评估是确保城市建筑结构可靠以及使用安全的主要部分, 其准确性依靠多源检测技术和数据融合方法的协同运用。随着《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344-2019等规范施行, 既有建筑安全评估要整合结构监测、无损检测、环境感知等多方面数据, 打破传统单一方法的局限。本论文围绕安全评估的相关理论基础展开, 全面综述多源检测技术的类别与原理, 分析数据融合处理的主要环节, 搭建综合评估方案, 并且结合工程实际案例验证方法的有效性, 研究智能诊断技术集成、数字孪生应用以及标准化推广策略, 目的是为既有房屋建筑的安全评估提供科学且具可操作性的技术途径, 推动城市建筑安全管理体系的健全。

一、基础理论与检测技术综述

(一) 安全评估相关理论基础

既有房屋建筑安全评估把保障建筑结构可靠性和使用安全性当作核心目的, 其核心概念包含结构损伤判别、剩余承载力分析以及风险等级划分等主要方面。当下的评价准则大多根据国家或者行业规范, 像《民用建筑可靠性鉴定标准》之类, 经过对结构系统、构件性能以及使用环境的全面权衡, 建立定性和定量相融合的分级体系, 为评估结论提供标准化的根据。主流方法体系能够划分为传统经验方式、通过规范的评级方式以及数据驱动的智能评估方式。传统经验方式依靠工程师现场勘查和经验判断, 通过规范的评级方式通过荷载验算、材料性能检测等量化分析来明

确安全等级, 数据驱动方式则整合多源检测数据, 通过机器学习等技术实现评估过程的智能化与精准化。安全评估的理论基础还关联到结构力学、材料科学以及风险评估理论, 要全面考量结构的使用时长、环境侵蚀、荷载变动等要素对建筑安全性的作用, 为多源数据融合的评估办法提供理论根据^[1]。

(二) 多源检测技术分类及原理

多源探测技术通过融合不同原理的探测方式, 实现对既有房屋建筑结构状况的全面察觉。无损检测手段包括超声检测、回弹法、红外热成像等。其中超声检测通过声波于不同介质里的传播特性, 根据声速改变来判定混凝土内部的缺陷; 回弹法是通过混凝土表面硬度和强度的关联, 通过回弹数值间接评估其强度等级; 红外热成像技术通过捕捉结构表面温度分布的差别, 识别隐

蔽性裂缝或者空鼓等状况。传感器监测技术通过应变计、加速度传感器、位移传感器等装置,实时收集结构的应力、振动、变形等动态数据,实现对结构响应的持续监测。两种技术的协同运用模式能够通过无损检测获取结构的静态缺陷信息,再结合传感器监测得到的动态响应数据,搭建多方面的结构状态评价模型,提高安全评价的准确性和时效性。多源检测技术的整合要处理数据异构特性与时空同步特性问题,通过数据融合算法实现信息互补,给既有建筑安全评估提供全方位的技术支持。

二、基于多源数据的安全评估方法构建

(一) 多源数据融合处理技术

多源数据融合处理方法整合结构监测、无损检测、环境以及历史档案等多类异构数据,提高评估精准度。在预处理步骤运用自适应滤波进行去噪处理、通过插值来补全缺失数值以及利用标准化统一量纲;在特征提取阶段结合力学特性,提取变形、应力和损伤等主要特征;信息融合策略运用贝叶斯网络、D-S证据理论等手段实现概率融合,对不同数据源的权重进行量化,同时考虑时空关联性与不确定性^[9]。此技术把分散的数据转变为具备物理含义的安全评估参数,给结构安全诊断提供数据方面的支持。

(二) 安全评估综合框架设计

安全评估综合方案通过多源检测信息,融合结构性能、材料老化等要素。数据方面融合现场检测情况、历史运维记录以及环境监测信息,建立标准化数据集^[4]。模型层运用层次分析法或者随机森林等算法,针对承载力、变形这类结构指标以及碳化深度、钢筋损失等老化指标开展权重赋值与耦合分析。风险分级建立低风险、中风险、高风险、极高风险四级矩阵,同时确定常规监测、局部加固或者紧急处置等管控办法。此框架通过数据整合、模型耦合以及风险分级协作,给出科学且具备可操作性的技术途径。

三、工程实践案例的应用分析

(一) 典型工程检测鉴定实施

1. 案例背景与数据采集方案

工程实践案例应用分析:典型工程检测鉴定实施案例背景及数据采集规划 挑选一座于20世纪90年代建成的6层砖混结构的老旧住宅当作案例,此建筑由于使用时长较久,且存在墙体裂缝、楼板渗漏等表面病害,需要开展安全评估,从而确定后续的处置办法。为全方位获取建筑结构性能相关数据,拟定多技术协同的现场检测规划:运用全站仪对建筑整体的垂直度以及基础沉降开展测量,得到结构变形的相关参数;采用回弹法和钻芯法相结合的方式检测混凝土的抗压强度,其中钻芯法挑选主要受力部位进行取样,以此验证回弹结果的精确性;通过超声脉冲法检测墙体砌筑砂浆的饱满度以及内部存在的缺陷,同时配合红外热像仪排查隐蔽渗漏区域的含水率分布状况;对结构构件的损伤情形展开详细的普查,记录裂缝的位置、长度、宽度以及发展趋向等信息^[9]。

2. 安全状态诊断流程

在工程实践案例的应用分析里,典型工程检测鉴定开展的安全状态诊断程序要根据多源检测数据,运用第二章所提出的办法逐步实现结构损伤识别、承载力校核以及安全等级判定。首先通

过现场检测来获取结构的几何参数、材料强度、损伤分布等相关数据,再结合振动测试所得到的动力特性参数,运用多源数据融合算法来识别结构主要损伤的位置与程度,确定损伤对结构整体性能的影响范围^[6]。接着根据损伤识别的结果,运用有限元模型校正技术建立精细化的结构模型,输入检测获取的材料强度以及几何尺寸参数,通过结构力学分析来完成承载力的校验,评估结构在设计荷载和实际荷载作用时的承载能力储备。

(二) 加固处理与效果验证

1. 针对性加固方案设计

在工程实践案例的应用分析里,加固处理和效果验证阶段的针对性加固方案规划要紧密贴合多源检测数据的评估结论。以某已有的钢筋混凝土框架结构作为实例,通过多源检测得知梁端受弯承载能力不够,并且存在宽度为0.3mm的贯穿裂缝,根据评估结果拟定碳纤维加固和裂缝修复的组合方案。碳纤维布选用300g/m²的单向织物,粘贴在梁底受拉区域,粘贴的长度将弯矩包络图范围覆盖,锚固端伸展到支座边缘并且额外添加U型箍^[7];裂缝修复运用低压灌注环氧树脂的方法,灌注压力把控在0.2MPa,保证树脂能够充分填充裂缝内部。方案规划要考量材料力学特性和结构受力特点的适配性,例如碳纤维布的抗拉强度不低于3000MPa,环氧树脂的粘结强度要符合规范对裂缝修补的规定。

2. 后评估检测与效果量化

在某框方案造办公楼加固项目里,针对梁柱节点处裂缝以及承载力不够的问题,运用粘贴碳纤维布和增大截面的方法开展加固处置。在后评估检测环节,整合现场采用回弹法开展的混凝土强度检测、碳纤维布粘结性能的拉拔试验、动态应变监测以及有限元模拟所得数据,对加固效果进行量化。检测结果表明,加固之后梁端抗弯承载能力提高35%,柱节点核心区抗剪承载能力提高28%,结构自振频率由3.2Hz上升至4.5Hz,符合设计规定。多源数据开展协同分析,验证加固手段的有效性。其中动态应变监测可捕捉到荷载施加时应力分布显示均匀化走向,有限元模型的计算结果和现场实测数值的误差控制在5%以内,这进一步证实通过多源检测数据的安全评估办法具备较高可靠性^[8]。经由对加固前后结构性能指标的比较,清楚不同加固手段对结构刚度、承载能力以及动力特性的提高程度,为既有建筑加固成效的量化评定提供实践支撑。

四、方法优化与工程推广路径

(一) 工程质量评价体系完善

1. 评估指标动态优化机制

在方法改进与工程推广途径里,工程质量评估体系健全的主要在于评估指标动态优化机制的搭建。既有房屋建筑的安全评估要结合实际经验来调整指标体系的权重,通过多源检测数据的不断积累,判别不同使用阶段、环境状况下指标对安全状态影响程度的改变。比如长时间受环境侵蚀的建筑结构,材料性能衰减指标的权重需随时间动态调节,而不是运用固定权重模型。建立时变更新模型之际,要引入时间方面的变量,把检测数据和建筑服役时长、维护记录等信息建立关联,通过机器学习算法探寻指标权重的时变规律,保证评估结果和建筑实际安全状况的适配性。在实际操作里,能够根据历史评估案例的反馈信息,对指标权重

开展迭代校正，让体系更符合工程的实际需要^[9]。此机制的健全不但可以提高评估方式的科学性，还能为工程的推广提供标准化、动态化的技术保障，促使既有房屋建筑安全评估由静态定性朝着动态定量转变。

2. 全生命周期质量管控

全生命周期的质量管控要贯穿于检测评估、加固设计、施工维护以及长期监测等各个阶段，建立动态管控体系，整合多源的检测数据，实现质量追溯和风险预警。健全工程质量评估体系，引入概率风险分析模型对失效概率进行量化，结合使用时长、荷载记载等建立分级评估标准。在推广过程里，需搭建标准化的管控程序，促进无人机巡检、传感器监测、BIM等技术的运用，并且打造跨部门的协同监管平台，实现数据、报告以及维护方案的共享，为既有建筑的安全管理提供全流程的技术保障。

（二）智能诊断技术集成应用

1. AI辅助决策支持系统

在方法改进与工程推广途径里，智能诊断技术集成运用的 AI 辅助决策支撑系统这一板块，要重点多源检测数据和机器学习的深度结合。此系统将既有房屋建筑的结构图纸、历史检测报告、实时传感器数据等多源信息作为输入，通过研发损伤自动识别模块，运用卷积神经网络（CNN）对结构构件的裂缝、变形等损伤特征开展图像识别与量化分析，结合随机森林算法对多源数据实施特征融合，搭建风险评估模型，实现从损伤识别到风险等级划分的自动化流程^[10]。系统要嵌入工程实践情境，对模型参数加以优化，从而适配不同的建筑类型和环境状况。通过与 BIM 平台的整合，把评估结果以可视化形式展现出来，为工程师提供直观的决策参考。在推广途径方面，要建立标准化的数据收集与预处理程序，开展具有代表性的工程试点应用，检验系统的精确性与稳定性，形成可复制的技术策略，促进 AI 辅助决策支持系统在既有房屋建筑安全评估里的大规模运用，提高评估效率与决策的科学性。

2. 数字孪生技术应用

数字孪生科技通过搭建建筑全生命周期的数字化镜像实现动态安全管理与控制。以 BIM 模型作为载体，整合传感器收集的应力、位移、振动等实时数据，通过数据接口与算法引擎映射到数字孪生体，建立可交互的动态模型。此模型能够对不同荷载以及环境状况下的结构反应进行模拟，将有限元分析和实时数据相结合，精确确定裂缝延展或变形的区域。在推广过程中要建立标准化的数据采集和模型更新程序，研发轻量化的平台从而降低应用的门槛。结合机器学习等智能诊断算法分析孪生数据，可自动生成安全评估报告，推动评估从静态抽检向动态全周期监测转变，提升效率与可靠性

参考文献

- [1] 王亚飞. 基于监测数据的结构变形预测及安全评估方法研究 [D]. 长安大学, 2022.
- [2] 张倩茹. 基于机器学习的多源数据异常检测方法研究 [D]. 东南大学, 2022.
- [3] 景玉. 基于多源数据的未知攻击检测方法研究与实现 [D]. 西安电子科技大学, 2022.
- [4] 刘一卓. 基于多源异构数据的火焰燃烧状态评估与预测方法研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.
- [5] 冯焱玲. 基于多源异构信息融合的数据可信度评估方法研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [6] 王莹, 高秀云, 樊沃周, 等. 基于多源信息融合方法的输电塔结构安全评估模型 [J]. 地震工程与工程振动, 2023, 43(2): 232-238.
- [7] 梁冠军, 尤超, 张勇, 等. 基于 FAHP 的既有房屋改建施工安全风险评估模型及应用 [J]. 西昌学院学报: 自然科学版, 2023, 37(2): 28-33.
- [8] 潘展钊, 谭彩, 刘建文, 等. 基于多源检测与计算方法的软基水闸安全性态分析 [J]. 广东水利水电, 2023(3): 24-29.
- [9] 翟永亮. 既有地铁隧道变形检测及安全评估实例探讨 [J]. 建筑技术, 2023, 54(17): 2157-2159.
- [10] 晋炜, 赵霄剑. 关于房屋建筑性能评估鉴定体系的探索 [J]. 山西建筑, 2023, 49(14): 50-54.

（三）标准化推广实施策略

1. 操作指南与技术规程编制

操作指引和技术规范需围绕多源检测数据的收集、处理、融合以及评估整个流程来建立。收集环节确定传感器设置、采样频次等参数；处理时期制定清理规则，统一度量单位并识别异常数据；融合时期规范加权模型，根据数据可靠性确定系数；评估时期建立多方面矩阵，明确安全等级量化标准。规程应融入质量管控机制，包括现场检查、交叉核验以及专家评定，建立可重复使用的操作体系，为不同情形下的安全评估提供标准化技术支撑。

2. 区域化推广适配机制

在方法改进与工程普及途径里，标准化普及执行策略要搭建包含数据收集、指标方案、评估模型的全流程技术准则，统一多源检测数据的格式规范和质量规定，清楚不同检测技术（像无损检测、传感器监测）的应用场景和精度界限，并且设立评估结果分级标准以及对应的处理建议，保障评估方法的可操作性和结果可对比性。区域推广适配机制要根据不同地域的气候状况、地质特点、建筑建造年代以及结构类型的差别，对评估指标权重和预警阈值加以调整。比如在南方湿润地区，要加强建筑材料耐久性相关指标；在地震频发区域，需增添结构抗震性能的评估方面。除此之外结合地方政策法规与管理要求，建立区域化的数据共享平台与协同管理机制，联合地方住建部门、检测机构以及产权单位，形成技术标准 + 政策保障 + 区域适配的推广体系，促进既有房屋建筑安全评估方法实现工程化落地与常态化应用。

五、结论

通过多源检测数据的既有房屋建筑安全评估方式，通过融合结构监测、材料检测、环境感知等多方面数据，打破传统单一检测方法的局限，实现对建筑安全状况的全方位感知与精确判断，其创新意义体现在评估方面的扩充与评估精准度的提高上。目前方法于实际工程里已显示出明显成效，可有效判别建筑结构的潜在隐患，为老旧建筑改革、灾后安全鉴定等情形提供科学支撑，特别是在大型公共建筑、历史保护建筑等复杂构造的安全评定中具备突出适用性。但是当前方法仍然面临数据标准缺乏统一、跨源数据融合效能不足等状况，未来要推进多源检测数据的标准化体系搭建，规范数据的采集、传输以及存储流程，并且强化智能监测技术的融合运用，通过物联网、人工智能等技术实现数据的实时分析与风险预警，进一步提高既有房屋建筑安全评估的智能化程度与应用领域，为城市建筑安全管理提供更可靠的技术保障。

工程咨询与监理融合驱动下建筑工程管理的效能提升路径探究

徐博

广东 江门 529000

DOI:10.61369/ADA.2026010056

摘 要：工程咨询和监理的融合通过协同理论、集成管理理论，能够突破传统分立模式里信息孤岛、决策滞后等效能方面的瓶颈。它通过知识协同来优化决策、依靠风险防控联动强化预先控制、通过资源整合提高利用效率，结合技术赋能（BIM、智能监控）、制度调整（资质互认）以及复合型人才培育，实现建筑工程管理效能的系统性提高，需要多要素联动推进。

关 键 词：工程咨询与监理融合；建筑工程管理效能；协同机制

Research on the Efficiency Improvement Path of Construction Engineering Management Driven By the Integration of Engineering Consulting and Supervision

Xu Bo

Jiangmen, Guangdong 529000

Abstract： The integration of engineering consulting and supervision can break through the bottlenecks in terms of efficiency such as information silos and delayed decision-making within the traditional separate model through collaborative theories and integrated management theories. It optimizes decisions through knowledge collaboration, strengthens pre-control by relying on risk prevention linkage, improves utilization efficiency through resource integration, and combines technological empowerment (BIM, intelligent monitoring), institutional adjustments (mutual recognition of qualifications), and the cultivation of multi-skilled talents to achieve systematic improvement of the management efficiency of construction projects. This requires the coordinated efforts of multiple elements.

Keywords： integration of engineering consulting and supervision; construction project management efficiency; synergy mechanism

引言

建筑工程管理效能的提高是实现行业高质量进步的主要措施，传统工程咨询和监理分离模式里存在的信息孤立、职能重叠以及决策迟缓等状况，明显限制项目全周期管理的系统性和协同性。2023年住建部印发的《关于促进工程监理行业转型升级创新发展的意见》清晰提出推动监理和工程咨询服务深度融合，为行业转型提供政策支撑。根据协同理论和集成管理理论，工程咨询的前瞻性决策和监理的过程管控能够通过功能互补建立管理闭环。全文针对融合的理论基础、效能评价方面、现状问题以及提高途径开展研究，目的是揭示融合推动效能提高的内在机理，为建筑工程管理的一体化转变提供理论支持与实践参考。

一、工程咨询与监理融合的理论基础

（一）工程咨询与监理的概念界定及关系

工程咨询指的是专业机构通过工程技术、经济管理等方面的知识，为建筑项目的决策以及实施提供全过程或者阶段性的智力服务，包含可行性研究、设计优化、造价控制等主要职能，其本质为通过专业知识的决策支持^[1]。工程监理主要关注项目实施时期，按照法律法规和合同对工程的质量、进度、安全等方面开展

监督管理工作，从而确保建设行为符合规范标准。二者职能界限存在差别：咨询重点前期决策以及全周期协调，监理重点过程监督和风险防控，不过在项目管理目标方面具备一致性，都以提高工程管理效能为核心。这种目标的一致性搭建起融合的基础，而职能的互补特性促使融合成为必然——咨询所具备的前瞻性规划能够弥补监理事后监督的局限之处，监理的现场执行能力可加强咨询方案的落地成效。协同理论和集成管理理论为融合提供理论支持：协同理论重点系统内各要素通过相互作用产生1+1>2的协

同效果，工程咨询和监理的融合恰恰是通过资源共享和流程协同实现管理效能的叠加；集成管理理论则要求破除职能障碍，把咨询的决策智慧与监理的执行能力整合为统一的管理系统，进一步提高建筑工程管理的整体效能。

（二）融合驱动效能的机制框架

在工程咨询与监理融合的理论根据里，建立融合驱动效能的机制方案要通过协同理论和系统论的观点，把咨询具备的前瞻性规划能力与监理的过程管控职责进行有效连接，建立起包括决策、执行、验收整个阶段的管理闭环。此框架把信息共享当作核心纽带，通过搭建动态数据交互平台，让咨询阶段的可行性研究、方案优化成果直接对监理过程里的质量、进度把控起到指导作用，同时监理反馈的现场数据反向校正咨询模型，实现规划、执行、反馈、优化的循环驱动。从驱动机制来看，融合通过整合咨询的宏观决策能力与监理的微观执行监管，促使管理决策从依赖经验转变为依靠数据，加强决策的科学性与及时性；在风险管控方面，咨询的前期风险辨认与监理的过程风险预警相互补充，搭建预控、监控、处置的全周期风险防控方案；于资源整合而言，融合破除咨询与监理的信息障碍，实现人力、技术、数据资源的跨阶段调配，防止重复作业与资源损耗。这种融合进一步加强全过程工程管理链条的连贯性，解决传统模式里咨询和监理的脱离问题，让管理活动从零散的阶段性工作转化为协同配合的系统工程，为效能提高提供机制保障^[2]。

二、建筑工程管理效能现状及问题诊断

（一）管理效能核心评价维度

管理效能核心评价维度

建筑工程管理效能的核心评估方面要围绕质量、进度、成本、安全这四项主要指标来开展，并且结合管理成效、资源利用程度与目标实现比率建立综合性评价体系。质量方面专注工程实体质量以及功能实现程度，通过合格率、返工率等指标展现施工进程的质量管控水准；进度方面以计划工期和实际工期的偏差比率为主要，体现项目进度的动态调节能力；成本方面关注预算执行偏差和成本节约比率，衡量资源投入的经济性；安全方面则通过事故发生比率、隐患整改比率等指标评估安全管理的有效性。管理效能体现管理流程的通畅程度与决策回应速度，能够通过管理指令传达时长、问题处理周期等参数进行量化；资源使用效率包含人力、材料、设备等资源的配置合理性，以资源闲置比例、周转效率作为主要指标；目标完成率综合考量质量、进度、成本、安全目标的实现状况，是管理效能的最终显示。这些方面彼此关联、相互作用，一同建立建筑工程管理效能的评估框架，为后续问题分析与路径改进提供量化支撑^[3]。

（二）现有模式下的效能瓶颈

在传统的工程咨询与监理分离模式当中，建筑工程管理遭遇明显的效能困境。咨询方和监理方的职责界限不清晰，造成部分工作内容出现重复覆盖的情况，例如在施工方案审查、进度计划评估等环节时常出现交叉干涉现象，这既提高管理成本，又降低

执行效能。信息传输渠道分离，咨询阶段里项目前期的数据（像地质勘察报告、设计优化建议）难以全面同步到监理环节，而监理过程中察觉的现场问题（例如材料质量缺陷、施工工艺偏差）也无法迅速反馈给咨询方以开展动态调整，产生信息孤岛现象。此分立状况进一步导致决策延迟问题，当项目有变更需求或者风险隐患时，要经过多方沟通协商才能够形成解决办法，耽误最佳处理时机。风险应对机制的缺陷较为明显，分立方案下双方在风险的识别与评估准则上存在不同，难以建立统一的风险处理策略，导致风险预警不及时、处理措施不完善，最终对整体管理效能的提高形成制约^[4]。

三、融合驱动的效能提升机制

（一）融合驱动的内在机理

1. 知识协同与决策优化机制

融合推动的效能增进机制里，知识协作与决策优化机制为核心内在原理。工程咨询的专业技术特长与监理的现场管控实现深度融合，可破除信息障碍，把咨询方所做的宏观技术规划和监理方掌握的微观现场数据加以整合，为建筑工程管理决策提供更为全面的根据，进一步提高决策的科学性。知识共享于该过程中起到主要作用，通过搭建跨角色的知识沟通平台，咨询方的行业阅历、技术规范与监理方的实时建造数据、风险反馈能够高效流通，不但提高工期预估模型的精确性，还为成本管控提供动态调节的凭据，防止因信息不均衡造成的资源损耗或工期延迟。在这种融合模式当中，知识协同并非仅局限于单个环节，而是贯穿项目的整个生命周期，促使决策由经验驱动向数据驱动转型，大幅提高建筑工程管理的总体效能^[5]。

2. 风险防控的联动强化机制

融合驱动带来的效能提高机制里，风险防控的联动强化机制为核心部分。工程咨询环节的风险识别提前与监理环节的动态管理，通过信息共享和流程对接建立协同途径。咨询方在项目前期从全周期的角度，识别设计瑕疵、合规风险以及资源限制等潜在状况，把风险清单和评估报告同步给监理方，为施工阶段的动态管控提供预判基础。监理方依靠实时监测数据以及现场反馈情况，对咨询阶段所识别出的风险点开展动态追踪，通过 BIM 技术和物联网平台实现风险状态的可视化展示，及时对管控策略予以调整，建立识别、预警、处置、反馈的闭环流程。量化分析表明，此协同机制能够让风险响应时长缩短超过 30%，风险处置费用降低约 25%，它对管理效能的贡献体现于工期延误比率下降、质量缺陷发生概率降低以及资源配置得以优化等方面^[6]。融合驱动的内在机制是咨询的前瞻性和监理的过程性实现功能互补，通过组织架构的一体化规划与信息系统的相互连通，破除传统分阶段管理的信息障碍，让风险防控从被动处理转变为主动预判，最终实现建筑工程管理效能的系统性提高。

（二）资源整合的价值创造机制

1. 全过程资源动态配置

融合驱动的效能增进机制通过工程咨询和监理的协同配合，

实现设计和施工阶段资源的无缝调配。在传统模式里，设计和施工阶段的资源调度存在信息障碍。而融合模式依靠 BIM 技术搭建的共享信息平台，让设计方的技术参数、施工方的资源需求以及监理方的监督数据能够实时交互，保证材料、设备和人员等资源在设计方案确定之后，就可以根据施工进度精确匹配，防止资源闲置或者短缺^[7]。资源整合的价值创造机理体现在人力资源复用对管理成本的缩减效应上，工程咨询和监理融合之后，拥有跨领域专业能力的人员能够同时承担咨询阶段的方案优化以及监理阶段的过程监督工作，减少重复岗位的设置，降低人员培训和管理成本。全流程资源动态调配通过融合体系里的实时数据反馈，根据施工实际进展、设计更改以及现场突发状况，动态调整资源分配计划。比如当施工中遭遇技术难题时，融合团队能够迅速调动咨询端的技术专家和监理端的现场监管人员协同处理，保证资源利用效率达到最大。最终通过资源的无缝调度、复用以及动态调配，实现建筑工程管理效能的系统性提高。

2. 信息化平台的集成效应

融合驱动的效能增进机制依靠工程咨询与监理的深度协作，破除传统管理里的信息障碍与职能分割，通过资源整合的价值生成机制实现多主体、多要素的高效调配，而信息化平台的集成效果则为这一进程提供主要技术保障。BIM、物联网等技术是融合管理的核心支撑，能够搭建建筑工程全生命周期的数字孪生方案，把咨询阶段的设计参数、监理环节的现场数据及时映射到虚拟环境，打造动态同步的管理情境。数据交互通过信息化平台的整合效应实现质量追溯与进度监管的效能提高，比如通过 BIM 的构件信息和物联网传感器收集的施工数据联动，能够精确确定质量缺陷的产生阶段与责任主体，而进度数据的实时共享可及时识别偏差并启动协同调节机制。资源整合的价值创造机理在这一进程中体现为咨询方的专业知识和监理方的现场经验通过信息化平台实现知识互补，降低重复作业与决策延迟，终而促使管理效能实现系统性提高^[8]。

四、建筑工程管理效能提升路径设计

（一）组织重构与流程再造

1. 一体化管理组织架构

一体化管理组织架构的搭建要以设计咨询和监理职能的融合为主要，运用矩阵式组织架构破除传统职能障碍，实现跨专业资源的动态配置与高效协作。矩阵型方案里，竖向留存设计咨询和监理的专业职能线条，保障技术深度以及质量把控的专业性，横向设定项目管理协调线条，以项目作为单元整合设计、监理与施工环节的资源与信息，建立专业支撑+项目统筹的双方管理模式。岗位权责的划分要根据融合职能的特点，确定设计咨询岗位需担负方案优化、技术交底以及施工过程中设计符合性检验，监理岗位则重点于质量把控、进度监管和安全管理，同时设立融合岗位，例如设计监理协调岗，其职责是衔接设计意图与现场执行之间的偏差调节，防止信息传递出现断层。协同作业流程的规划要依靠信息化系统，实现设计图纸、监理日志、施工数据的即

时共享。比如设计变更要经过监理审核后同步给施工单位，监理察觉的技术难题能够直接反馈到设计咨询小组以实现快速回应。通过权责明确的岗位安排与紧密衔接的流程规划，提高管理决策的及时性与准确性，为建筑工程管理效率的提高奠定组织基础。

2. 全周期标准化管控流程

全流程标准化管控体系是工程咨询与监理融合驱动下建筑工程管理效能提高的主要载体，要以融合管理操作指引为基础，包括设计审核、施工监督、验收评定全环节。设计审核阶段需融合咨询方的技术经济分析和监理方的合规性管控，建立统一的审核标准与流程，保证设计方案既实现功能要求又符合施工可行性^[9]。在施工监控阶段要建立融合式的现场管控机制，把咨询方面的进度成本动态分析与监理的质量安全即时监督相融合，通过标准化的检查列表和数据采集样板，实现过程数据的即时共享以及协同决策。验收评估阶段需搭建融合式的验收准则与评估模型，整合咨询方的性能检验以及监理方的合规验收，建立起从分部分项至整体工程的闭环评估体系。主要环节效能管控闭环体系的建立要清晰界定各阶段主要环节的管控目的、责任主体以及协同程序，通过设定量化的效能参数（例如设计审查通过比例、施工偏差比率、验收一次合格比率等），通过信息化平台实现环节数据的自动收集、分析与预警，保证问题能够及时被察觉并进行闭环处置。此机制要把咨询和监理的专业长处融入各个主要环节，建立目标设定、过程监控、结果评估、持续改进的闭环式管理，进一步提高全周期管理的精确性与效能^[10]。

（二）技术赋能与工具创新

1. 智能决策支持系统开发

在建筑工程管理效能提高的路径规划里，技术赋能和工具改革是主要部分，其中智能决策支持系统的研发要重点关注工程咨询与监理融合的现实需求。通过大数据分析的融合管理预警模型能够整合咨询时期的设计参数、地质资料与监理进程的施工监测数据，通过建立多方面指标体系，对施工风险开展动态识别与预警。比如针对混凝土浇筑质量、钢结构安装精度等主要环节，模型可实时分析数据偏差并推送风险等级，协助管理人员提前介入。整合进度模拟、成本预估的协同决策平台要打破咨询和监理的数据隔阂，把咨询方案里的进度规划与监理现场的实际进度数据开展实时对比，通过 BIM 技术实现进度可视化模拟，并且结合成本数据库自动计算进度偏差对成本的作用，为项目团队提供动态调整方案的决策参考。该平台还需支持多方在线协作，保证咨询方、监理方和施工方在同一数据环境中同步更新信息，提高决策效率和精准度。

2. 数字化监理技术应用

在建筑工程管理效能的提高路径规划里，技术支持与工具改革的数字化监理技术运用是重要环节。安排无人机巡检、传感器网络这类智能监控方式，能够打破传统监理在空间和时间上的约束。无人机配备高清摄像头以及红外热成像装置，能够迅速覆盖大型工地的结构外观、材料堆放等场景，实时抓取裂缝、沉降等潜在隐患；传感器网络通过在主要结构节点、施工设备处布置温湿度、振动、应力等传感器，实现对混凝土养护状况、钢结构焊

接质量等参数的持续收集，数据传输到云端平台加以分析，及时对异常状况发出预警。通过此情况，搭建可视化效能仪表盘，融合智能监控数据以及进度计划、成本预算等管理信息，通过图表、指标等直观方式展现工程进度偏差、质量合格率、安全隐患处理率等核心绩效方面，项目管理人员不用深入现场就能实时把控工程动态，迅速识别管理瓶颈并对资源配置进行调整，促使监理工作从被动响应转变为主动预判，提高建筑工程管理的精准度与效率。

（三）制度保障与能力建设

1. 融合导向的政策法规调适

在建筑工程管理效能的提高路径规划里，制度保障和能力建设方面的融合导向型政策法规调整是重要支撑。目前工程咨询和监理分业管理的资质方案，容易造成服务界限不清和资源损耗，建议修正资质互认机制，破除行业障碍，准许拥有工程咨询综合能力的监理公司拓展咨询服务，或者持有咨询资质的单位承接监理事务，通过资质互通实现专业资源的高效整合。要完善融合服务的收费标准，针对咨询与监理一体化服务所具备的复合型价值，建立差异化的收费机制，规避单纯按工程量进行计价的局限性，彰显技术集成与风险管控这类增值服务的价值。

2. 复合型人才培养体系

复合型人才培养体系是工程咨询与监理融合推动下建筑工程管理效能提高的主要支撑，要重点于设计咨询监理融合能力的系统培养。课程体系需突破传统专业界限，整合工程设计原理、全过程咨询方法论以及监理实务规范，打造模块化课程，像融合式

项目管理、协同决策技术应用等，把 BIM、智慧建造等数字化工具融入教学过程，加强跨环节业务协同能力的训练。认证体系要协同行业协会和权威部门，建立融合能力认证规范，包含咨询方案制定、监理风险把控、多主体沟通协作等主要方面，采用理论考试与项目实际操作评估相结合的办法，保证认证成果与行业要求精确匹配。校企协作的实战化途径要依靠企业真实的项目情境，搭建双导师培育模式，由高校教师承担理论体系搭建工作，企业资深工程师指导现场实操，促使学生参与从设计改进到施工监督的全流程业务，在解决实际难题中强化融合能力。

五、总结

在工程咨询和监理融合推动下的建筑工程管理效能提高，要提炼其三维价值，也就是组织协同的优化、决策精准度的强化以及资源利用的高效。组织协同优化打破传统咨询和监理的职能界限，实现信息共享与流程对接，减少管理环节的多余和冲突；决策精准强化依靠工程咨询的全流程数据分析能力与监理的现场即时反馈机制，为项目主要节点提供科学支撑；资源利用高效是通过整合咨询的资源规划长处与监理的动态管控能力，优化人力、物力和资金安排，降低损耗。路径推行要政策、技术、人才多方面要素协同，政策方面要健全融合模式的行业准则与规范，技术方面要依靠 BIM、大数据等手段搭建协同管理平台，人才方面要培育兼具咨询和监理能力的复合型专业人才。

参考文献

- [1] 刘莹. 基层社会治理效能提升路径探究 [D]. 黑龙江大学, 2023.
- [2] 刘亚男. 造价咨询企业全过程咨询能力提升路径研究 [D]. 重庆交通大学, 2023.
- [3] 刘梦迪. 全过程工程咨询多主体协同机制研究 [D]. 重庆交通大学, 2022.
- [4] 肖楚婷. 文旅融合下江西旅游演艺品牌提升路径探究 [D]. 江西财经大学, 2022.
- [5] 李若晰. 工程造价与工程监理业务融合对工程项绩效的影响研究 / 工程造价与工程监理业务融合对工程项目绩效的影响研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [6] 冯宇. 建设工程监理与全过程工程咨询服务融合发展路径 [J]. 江苏建材, 2025, (04): 138-140.
- [7] 宋金玉. 建筑工程全过程咨询监理问题及对策 [J]. 城市开发, 2025, (14): 124-126.
- [8] 杜杨. 全过程工程咨询模式的应用研究——以“项目管理+工程监理”模式为例 [J]. 建设监理, 2025, (05): 76-80+100.
- [9] 蔡丽贤. 探究电力工程项目管理与工程监理的有效融合 [J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(10): 203-206.
- [10] 陈大川. 建筑工程项目管理与监理管理融合的探析 [J]. 中国招标, 2022, (05): 203-204.

低碳目标下建筑给排水设计中的节能减排策略与实践分析

揭敏光

广州黄埔建筑设计院有限公司，广东 广州 510700

DOI:10.61369/ADA.2026010057

摘 要： 在“双碳”战略推动下，建筑给排水系统节能减排成为绿色转型的关键内容。文章从节水器具、雨水收集、太阳能热水、中水回用及管道设计优化五个维度，结合现行规范与绿色建筑发展规划，分析各项技术的应用效果与推广瓶颈。研究表明，系统化设计集成可使给排水系统碳排放强度降低20%至35%，但当前普及率仍然偏低。政策激励与技术标准化是推动大规模应用的关键所在。

关 键 词： 低碳建筑；给排水设计；节能减排

Analysis of Energy Conservation and Emission Reduction Strategies and Practices in Building Water Supply and Drainage Design under Low-Carbon Goals

Jie Minguang

Guangzhou Huangpu Architectural Design Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510700

Abstract： Driven by the "dual carbon" strategy, energy conservation and emission reduction in building water supply and drainage systems have become key components of green transformation. This article analyzes the application effects and promotion bottlenecks of various technologies from five dimensions: water-saving appliances, rainwater harvesting, solar water heating, reclaimed water reuse, and pipeline design optimization, incorporating current regulations and green building development plans. Research indicates that systematic design integration can reduce the carbon emission intensity of water supply and drainage systems by 20% to 35%, yet the current adoption rate remains low. Policy incentives and technological standardization are crucial for promoting large-scale application.

Keywords： low-carbon buildings; water supply and drainage design; energy conservation and emission reduction

引言

“双碳”战略目标驱动下，建筑领域节能降碳任务紧迫。给排水系统作为建筑能耗与用水的重要载体，其设计水平直接影响整体碳排放强度。当前建筑给排水设计在节水器具、雨水收集、太阳能热水、中水回用及管网优化等方面积累了多项成熟技术，但实际工程中的集成应用效果参差不齐，推广面临成本、认知、管理等多重制约。从低碳视角梳理给排水系统的节能策略与实践经验，分析技术瓶颈与改进方向，对推动绿色建筑高质量发展具有现实意义。

一、建筑给排水系统能耗现状分析

建筑给排水系统的能耗主要集中在以下几个环节：一是生活热水制备能耗，这是给排水系统能耗占比最大的部分，住宅建筑中生活热水能耗占建筑热水总能耗的85%以上，在宾馆、医院等热水需求密集的建筑中更为突出；二是供水加压能耗，主要来自二次供水设备的水泵耗电，目前我国城镇约70%的建筑采用二次供水模式，水泵电耗在建筑总电耗中占比约3%~5%；三是雨水排

放能耗，用于下沉天井或采光地下室的雨水提升潜水泵在雨季运行频繁，是建筑给排水系统不可忽视的能耗节点。

从用水端看，根据住房和城乡建设部2023年发布的《城市居民生活用水量统计分析》，全国城市人均日生活用水量约为160~220升，其中卫生器具用水占比最大，约为60%~70%。传统卫生器具的水效水平差异显著，以洗脸盆水嘴为例，额定流量从0.10 L/s到0.25 L/s不等，高流量产品的年耗水量是低流量产品的2.5倍。在热水系统中，热水管网的热损失和无效循环也是造成能

源浪费的重要原因，部分建筑因设计不当导致热水管道过长，用户打开水龙头后需等待30秒至1分钟才能出热水，这一“无效出水”造成的冷热水浪费在居住建筑中普遍存在。

从系统效率看，当前大量建筑的给排水系统仍沿用传统设计方法，供水方案选择缺乏系统性能评估，管网设计未能充分考虑水力平衡和阻力优化，热水系统未设置有效的循环和保温措施，导致系统在运行阶段能耗偏高。数据显示，相同规模的建筑，采用优化设计的给排水系统比传统设计可节能15%~25%，这一差距为节能减排策略的推广提供了充分的技术依据。

二、建筑给排水节能减排的主要技术策略

（一）节水器具的推广应用

节水器具的应用是建筑给排水节能减排最直接有效的措施之一。《建筑给水排水设计标准》GB 50015-2019第3.5.3条明确要求，住宅建筑的生活热水供应系统应采用节水型用水器具。节水型水嘴的额定流量不大于0.125 L/s，节水型坐便器的冲洗水量不大于4.0L，均显著优于传统产品。据住房和城乡建设部测算，如果全国城镇新建住宅全部采用节水型器具，每户年均节水量约30立方米，全国城镇住宅年节水量可达约4.5亿立方米，折合减少碳排放约12万吨（按热水制备能耗折算）。

在实际推广中，节水器具面临的主要问题是产品认知度和价格敏感度。目前市场上一级水效的节水型坐便器价格普遍在800元以上，是普通产品的2~3倍，部分消费者在装修阶段出于成本考量倾向于选择价格更低但水效较低的产品。在政府投资项目中，绿色建筑评价标识已明确要求采用节水器具，但在商品住宅市场，自愿性选择节水产品的比例仍然有限。建议通过政府采购和绿色金融等政策工具，提升节水器具的市场渗透率^[1]。

（二）雨水收集与利用系统设计

雨水收集利用系统通过收集屋面雨水、经处理后用于绿化浇洒、道路冲洗、景观补水等，可有效替代市政供水，降低区域用水总量。《建筑与小区雨水利用工程技术规范》GB 50400-2016对雨水收集系统的设计参数、雨水处理工艺、回用水质标准等做出了明确规定。根据规范要求，雨水处理后用于绿化浇洒时，水质应满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T 18920-2020的要求。

以某南方城市住宅小区为例，小区占地8.6公顷，屋面面积约2.6公顷，设计年雨水收集量约3.8万立方米。雨水经弃流、过滤、消毒处理后，用于绿化浇洒和景观水体补水，年替代市政供水量约2.9万立方米，按水价3.2元/吨计算，年节约水费约9.3万元。系统投资回收期约6.8年，经济效益和环境效益均较为显著。但在实际工程中，雨水收集系统面临初期投资较大、与景观设计协调复杂、物业管理要求较高等制约因素，在部分项目中的实施效果未能达到预期。

（三）太阳能热水系统的优化集成

太阳能热水系统利用太阳辐射加热生活热水，是建筑给排水系统中最成熟的可再生能源利用技术之一。《民用建筑太阳能热水系统应用技术标准》GB 50364-2018对太阳能热水系统的设计、

选型、安装等做出了详细规定。在太阳能资源丰富地区，太阳能热水系统可满足建筑60%~80%的热水需求，节能和减排效果显著，值得大力推广。

在实际设计中，太阳能热水系统与传统燃气锅炉或电热水器的辅助加热系统的集成设计是关键。某高层住宅项目采用集中式太阳能热水系统，辅助热源为燃气热水器，系统设置智能控制模块，根据太阳辐照强度和用户热水使用规律自动调节辅助加热投入比例，实现太阳能保证率65%以上，系统综合能效比达3.8，较纯燃气锅炉系统年减少二氧化碳排放约42吨。然而，部分项目因设计不当导致太阳能系统与建筑立面协调困难、真空管损坏率高、辅助热源配置不合理等问题，影响了系统运行效果和用户体验。这些问题需要通过方案前期协调与精细化设计加以规避，否则节能效果将大打折扣^[2]。

（四）中水回用系统的设计与运营

建筑中水回用是指将建筑内杂排水经处理后回用于冲厕、绿化、消防等非饮用用途。《建筑中水设计规范》GB 50336-2018对中水系统的设计规模、处理工艺、消毒要求等做出了详细规定。中水原水可取自洗浴排水、洗衣排水等优质杂排水，处理后回用可节约大量优质饮用水资源。根据测算，设置中水回用系统的建筑可节约15%~30%的建筑用水量。

然而，中水回用系统在推广中面临投资成本高、运行管理复杂、水质安全保障要求高等挑战。以北京市某住宅小区为例，中水处理站投资约280万元，设计日处理量240吨，服务用户约1800户。中水运行成本约2.8元/吨（含设备折旧），低于自来水价格（约5元/吨），但设备维护和水质监测对物业管理提出了较高要求。部分项目因运营不善导致中水系统停运或出水水质不达标，不仅造成投资浪费，也带来安全隐患。建议在中水系统设计中，应充分评估后期运营管理条件，避免“重建设、轻运营”的现象^[3]。

（五）管网优化与智能化控制

管网优化设计是建筑给排水节能减排的重要技术路径。在供水管网设计中，通过合理选择管径、优化管网布局、设置水力平衡装置等措施，可有效降低系统阻力，减少水泵能耗。根据水泵运行特性，流量与扬程呈正相关，系统阻力降低10%，水泵能耗可降低约20%。在热水管网设计中，应合理控制管道长度，采用同程设计或智能控温技术，确保用户端热水温度稳定，减少因冷热不均造成的水资源浪费。

智能化控制技术在给排水系统中的应用日益广泛。变频调速供水设备可根据用水量变化自动调节水泵转速，与传统定速泵相比，节能率可达20%~40%。智能远传水表和用水监测平台可实时监测各用户的用水情况，及时发现异常用水行为，为精细化管理提供数据支撑。某商业综合体项目通过安装远传水表和能耗监测平台，实现了对各租户用水量的实时监测和月度分析，运营第一年即发现并整改了3处地下管网漏点，节水约1.2万吨^[4]。

三、工程实践分析——以某绿色建筑示范项目为例

某省会城市一栋住宅楼获得绿色建筑三星级标识。该建筑总

建筑面积4.8万平方米，高度96米，共32层，住户264户。项目在给排水设计中集成运用了多项节能减排技术。

（一）主要技术措施与节能效果

该项目全部卫生器具选用一级水效节水型产品，每年可节约用水约8000吨。太阳能热水系统承担了65%的热水负荷，每年减少燃气消耗约4.5万立方米。雨水收集系统每年回收利用雨水量约1700立方米。供水设备采用变频调节方式，相比传统定速泵系统每年节约电2.8万千瓦时。综合以上措施，建筑给排水系统每年的碳减排量约为85吨，折合标准煤约34吨。该项目的绿色建筑设计评价中获得三星级认证，其中给排水系统的节能贡献约占整体评分的12%。

（二）实践中暴露的共性问题

该项目在运行过程中也暴露出几个常见问题。

第一，太阳能热水系统与建筑外立面造型之间协调难度较大。为了使建筑外观整齐美观，部分太阳能集热器的安装角度未能达到最佳倾角，实际集热效率比理论计算值低了大约8%。

第二，中水回用系统的原水收集率偏低。由于部分洗涤废水未能有效接入收集管道，实际进入处理设施的水量仅为设计规模的60%。处理量不足导致单位水处理成本上升，经济性下降。

第三，智能水表的远程数据传输稳定性有待改善。少数住户的用水数据出现传输延迟现象，物业管理人员无法及时获取用水异常信息，影响了对漏水或用水超标的快速排查。

（三）对后续设计的改进建议

针对上述问题，后续同类项目在设计阶段需要注意以下几点。太阳能集热器布置应提前与建筑方案专业协商，争取获得较为理想的安装角度，同时兼顾外观效果。中水回用系统设计时，应当仔细核算可收集的原水水量，合理确定处理规模，避免设备闲置。智能计量系统应选用传输稳定性较高的产品，并预留数据校验和补传机制，保证数据完整可靠。此外，还可以考虑为太阳

能热水系统设置辅助电加热或燃气加热，应对阴雨天气的热水供应不足。对于中水回用，可在排水管道设计阶段优化收集管路，扩大原水来源范围，例如纳入空调冷凝水或屋顶雨水。智能水表的数据平台宜增加异常预警功能，当用水量出现突变时自动推送提示，帮助管理人员及时处理。这些改进措施有助于提升绿色建筑给排水系统的实际运行效果，缩小与设计预期之间的差距。

（四）运行管理中的其他发现与启示

该项目运行两年后，管理团队还总结出一些额外经验。住户对节水器具的使用习惯直接影响实际节水量，部分家庭未正确使用两档式坐便器，导致节水效果打了折扣。物业公司为此专门制作了使用指南张贴在电梯间，半年后用水量数据有所改善。太阳能热水系统的管路保温层在第一个冬季出现几处冻裂，原因是施工时保温厚度未达到设计值。维修人员更换保温材料后，系统热损失明显下降。雨水收集池的过滤网需要每季度清理一次，否则树叶和杂质会堵塞进水口。物业方起初忽略了此项维护，造成一次暴雨期间雨水溢流浪费。这些问题说明，绿色建筑的技术措施离不开精心的施工质量管控和日常运维管理。设计单位应当在交付图纸的同时提供一份详细的运维注意事项清单，帮助物业人员掌握各系统的最佳操作方式。只有设计与运维两端同时发力，绿色建筑的节能减排潜力才能充分释放^[5]。

结束语：建筑给排水系统的节能减排是实现低碳目标的重要环节。节水器具、雨水收集、太阳能热水、中水回用及管网优化等策略在工程实践中已取得一定成效，但普及率仍然偏低，且运行效果受设计协调、施工质量、运维管理等多重因素影响。技术集成需要政策激励与标准规范协同推进，设计阶段应强化系统优化意识，运营阶段应重视精细化管理。只有将节能理念贯穿给排水系统全生命周期，才能真正发挥减排潜力，助力建筑领域绿色低碳转型。

参考文献

- [1] 张睿智. 探讨建筑给排水设计节能减排策略[J]. 工程建设与设计, 2022(22): 29-31.
- [2] 孙敏剑. 低碳理念下建筑给排水设计中节能减排策略的应用[J]. 中国建筑装饰装修, 2023(7): 70-72.
- [3] 马晖. 建筑给排水设计节能减排策略探讨[J]. 工程技术研究, 2023, 8(8): 185-187.
- [4] 郭永刚. 建筑给排水设计节能减排策略初探[J]. 建材与装饰, 2023, 19(34): 55-57.
- [5] 段良芳. 建筑给排水设计中节能减排设计研究[J]. 建材发展导向(上), 2023, 21(2): 183-185.

建筑工程施工中混凝土质量检测与控制研究

姜维

安徽建工三建集团有限公司, 安徽 合肥 230001

DOI:10.61369/ADA.2026010058

摘 要 : 针对建筑工程施工过程中混凝土的质量管理与检测问题, 本文系统研究了影响混凝土质量的关键因素, 包括原材料的选择与质量控制、配合比设计中水胶比的优化、施工工艺的规范操作以及养护措施的科学实施等方面对混凝土性能的综合影响。在此基础上, 总结归纳了当前工程实践中常用的质量控制技术手段及其适用条件与范围。为进一步保障混凝土结构的长期性能, 提出基于实际工况的全周期质量管理模式, 该模式贯穿从原材料进场验收、配合比设计与验证、浇筑施工过程监控、振捣与密实度控制, 直至后期养护与成品强度检测的全流程一体化管理, 从而有效预防与规避因混凝土质量问题引发的各类质量风险, 对提高建筑工程整体质量水平具有重要的实践指导意义。

关 键 词 : 混凝土施工; 质量检测; 质量控制; 配合比设计; 工程管理

Research on Concrete Quality Inspection and Control in Construction Projects

Jiang Wei

Anhui Construction Engineering San Jian Group Co., LTD. Hefei , Anhui 230001

Abstract : Addressing quality management and inspection challenges in concrete during construction projects, this paper systematically examines the key factors influencing concrete quality—including raw material selection and quality control, optimization of water-to-cement ratio in mix design, standardized construction procedures, and scientific implementation of curing measures—all of which collectively affect concrete performance. Based on this analysis, the study summarizes commonly employed quality control techniques in current engineering practices along with their applicable conditions and scope. To further ensure long-term performance of concrete structures, a full-cycle quality management model tailored to actual operating conditions is proposed. This integrated approach covers the entire process—from raw material acceptance, mix design and verification, pouring supervision, vibration and compaction control, to subsequent curing and final strength testing—effectively preventing quality risks associated with concrete defects and providing substantial practical guidance for enhancing overall construction quality standards.

Keywords : concrete construction; quality inspection; quality control; mix design; project management

引言

混凝土是建筑工程建设中最重要、最基本的材料之一, 它的质量好坏直接决定了整个建筑的安全性^[1]、建筑物的寿命以及整个项目的经济效益。建筑规模越来越大, 对工程质量的要求也越来越高, 在建设中的原材料不稳定, 配合比例失调, 浇注振捣不合理, 养护不到位等问题越来越引起重视。质量检验及把控也由原来的单一方面发展到现在贯穿了从材料进场、施工过程到最后成型产品的验收。针对这个问题进行探讨, 对提高工程质量控制水平有着重要的作用。

一、建筑工程施工中混凝土质量检测与控制的意义

混凝土品质检验和把控是建筑工程建设现场管理的重要组成部分, 不仅对建筑结构的安全起到作用, 还关系着建筑物的使用寿命、施工速度以及公司形象。

(一) 保障结构安全稳定

混凝土结构工程的承载力水平以及整体牢固程度同其混凝土强

度、密实度、均匀紧密程度有关。而在工程施工时, 如果所用的原材料不合格或者设计的比例不合适, 在施工的时候又缺少了很好的把控, 就会产生一些裂缝、蜂窝、孔洞等问题, 这些都会降低结构的承载能力, 而通过对混凝土进行监测则可以及时了解出它的强度的发展情况和外观情况以及内部存在的问题等等, 这样便能给出施工方案的调整以及质量检验的标准。质量管控工作贯穿于从原材料进料到现场施工再到后期维护的一整条流程之中,

作者简介: 姜维 (1988.07—), 男, 汉族, 安徽省安庆市人, 本科, 工程师, 从事建筑施工管理、建筑材料方面的研究。

能够尽早地发现并解决潜在的问题，保证建筑工程的质量安全。

（二）提升工程耐久性能

建筑物除了具有最基本的服务功能以外还必须考虑其在长时间内的稳定性和耐久程度。混凝土的质量关系到整个建筑能否抵御住外界的各种渗透腐蚀等因素对其造成的破坏，如果施工时未注重检验控制，那么混凝土就会存在耐久性差的情况，在以后的时间内就容易出现老化破损的现象而减少建筑物的使用年限。因此需要对原材的质量和搅拌过程中的各种参数如坍落度等进行严格的测试并且对施工中各个环节加以把控才能使混凝土达到较好的质量从而增加建筑物的抗打击能力减少后期的维修次数提高工程的寿命。

（三）促进施工管理优化

混凝土的质量检查及控制不仅仅是技术水平的问题，更是施工管理水平的一项重要指标，合理的质量检验制度可以使监理单位发现质量问题、查明原因并对各个节点间的联系、人员的工作以及机械设备等方面做出相应的调整。而质量控制也减少了返工、停工、材料的流失等现象的发生概率，防止了由于出现质量问题导致的耽误工期和资金损失等问题的发生。对于建设方而言，好的混凝土质量可以提高整个项目的质量水平，对于施工承包商而言也有利于建立公司的质量信誉度来赢得更多的市场份额等益处。

二、混凝土施工质量的主要影响因素

混凝土施工质量是多种因素综合作用的结果，任一环节出现问题都会造成混凝土强度降低，结构损坏，耐久性变差的情况发生，从而使整个建筑工程的质量及使用安全性受到影响。

（一）原材料质量控制不足

原材料是保证混凝土工程施工质量的前提因素，不同的水泥、砂石、掺合料及拌合用水的质量不同，均会对混凝土的强度及和易性和耐久性造成影响^[9]，如所用的水泥强度等级不当、砂石含泥量过高、骨料级配不良或是外加剂用量不当，都可能导致拌和及浇筑时产生离散、泌水、凝结不良等现象；另外，在运输和储存过程中如果受潮或者混杂、保管不当也会使材料失去应有的使用效能；而如果施工现场缺乏现场检查与随机抽查制度，则完全依赖主观经验选择材料也会埋下潜在的质量风险问题。所以，原材料的质量控制不好会成为影响混凝土施工质量的一个重要环节。

（二）施工工艺执行不到位

施工工艺是否达标直接影响到混凝土能否达到均匀、密实、符合设计意图的整体结构。而在施工的过程中如果配合比掌握不到位、量差大、搅拌时长短、运输时间过长等等问题的发生都会使得混凝土拌合物失去稳定。而在浇筑过程当中如果分层过厚或者不充分以及过度的振动都会导致出现蜂窝、孔洞、离析等问题，在特殊情况下如：高温、低温或者是雨天的时候如果没有及时调整工艺参数就会使混凝土表面产生裂缝、强度降低等情况发生。由此可以看出如果施工工艺不到位，会给混凝土施工质量的把控带来很大的阻碍。

（三）养护管理措施不完善

混凝土浇筑之后的养护工作对后期强度的发展和性能的保持有着极大的影响作用。如果养护的时间不够充分或者保湿措施不好或者温度不够合理，会使混凝土里边的水泥水化反应不能得到

充分利用而造成早期收缩裂缝、表面起砂以及强度不够等情况。尤其是在干旱炎热大风的情况下，混凝土表面水分蒸发过快容易出现开裂的现象。一些施工工地存在着重视浇捣轻视养护的态度，以为混凝土成型以后的质量就已经定型了，就没有再做进一步的养护管理工作，使得整个建筑物的整体性能受到影响。养护不到位会导致混凝土的耐久性下降，还会加大后期修补和建筑病症的风险发生几率，也是造成施工质量问题发生的原因之一。

三、建筑工程混凝土质量检测方法分析

混凝土质量检查作为建筑工程建设的一项重要组成部分^[10]，在建筑工程建设过程之中可以及时发现原材料的质量、施工质量以及构件成型存在的缺陷等问题，并为接下来的质量监督、验收工作提供有利基础。

（一）原材料性能检测方法

原材料检验是混凝土工程检验工作的开始以及后续施工质量的保证，施工之前需要检测水泥的强度等级以及安定性、凝结时间等指标是否达标，砂石骨料要检测含泥量、颗粒级配、压碎值和含水率等相关内容以确保骨料的质量达标，外加剂与拌合水也要检测相应的成分、适用范围及是否有会对混凝土性能产生影响的杂质。从原材料检验入手可以杜绝不良材料流入施工现场，防止由于材料原因造成的混凝土强度低、和易性差等问题的发生，同时也有利于施工的顺利进行。

（二）施工过程质量检测方法

在混凝土浇筑时，对质量的监控主要是对于拌合料的状态以及施工的效果进行控制。常用的手段有坍落度检查法、拌合料温度测定法以及试块预留测试法等。坍落度检验是对混凝土有无离析、泌水现象、是否有流浆、石子下沉等情况进行检验，可以了解配合比是否合适、施工性能是否良好等信息。温度检测适用于炎热或者极寒气温下的混凝土施工，在高温或是低温条件下进行施工能更好的了解混凝土的凝结硬化情况，避免由于温差过大导致产生裂纹。另外现场一般都按要求制备标准试件，通过对后期的抗压试验来了解该混凝土是否满足设计强度的要求。施工过程检测可以及时反馈现场操作的质量情况，在出现异常的情况下马上进行调整配合比例、施工方法以及养护方法来降低出现质量问题的比例。

（三）结构实体质量检测方法

结构实体测试主要是为了了解混凝土浇筑后的真实的质量情况，它是工程验收以及后期检查的重要参考标准。常用的方法有：回弹法、超声波法、钻芯法等^[11]。其中，回弹法简单易行，快速便捷，可以用来测定混凝土表面的强度情况。用超声波的方法可以测定混凝土内密实情况及存在的缺陷部位，对于一些诸如裂缝、空洞等现象比较敏感。钻芯法对结构有一定的破坏程度，但是结果直接明了可信度高，一般用于强度存在疑问或者需要确定的部分。综合应用几种检测手段可以更好地了解混凝土的结构实体质量情况，使得检测更加精准，工程质量管理更加合理。

四、混凝土施工全过程质量控制措施

混凝土施工全方位质量把控涵盖了从材料选择到现场浇筑再

到后期养护等各个环节；只有做到各环节相互联系才能保证建筑项目整体质量和结构的可靠程度。

（一）严格把控材料质量

对材料进行质量把控是整个混凝土工程施工的第一步，在施工之前需要对水泥、砂石、外加剂以及拌合用水都要进行检测，严格检查水泥标号、水泥含土率、砂石级配、适应性能等重要参数是否达到标准要求，并及时做好材料的购置、运输与储存工作，避免出现潮湿、变质、乱放等问题的发生，从根本上杜绝不合格的材料出现在施工现场，从而保证混凝土搅拌质量以及后期施工成果的良好水平。

（二）规范施工操作流程

施工工序环节是决定混凝土产品质量形成的决定性因素。必须按规定的配合比称量后混合均匀，使混凝土拌合物具有较好的流动性与黏聚性；同时，在运送、灌注、振捣等施工中严格把控好时间和每层的高度以及振实程度等，避免产生离析、泌水、蜂窝、孔洞等不良现象，特别是对于重要区域和隐蔽工程更要加大现场巡视力度，随时监测施工情况，一旦发现问题立刻纠正，以提升结构成品的质量水平。

（三）强化养护与成品管理

混凝土浇筑完成以后，养护、成品保护直接关系到混凝土强度的增长以及长期性能的好坏。施工企业要结合当地的气温情况、构件类型的不同灵活采取喷水湿润、遮盖保温或者是延长等待时间来保证混凝土水化过程顺利进行，降低开裂与表面破损等问题出现的机率。另外还要做好成品的保护工作，防止早期受到压迫或者撞击甚至过早的拆除模板导致混凝土受损。实施好养护和成品管理措施可以更好地稳固施工成果，提高整个混凝土工程质量水平。

五、提升建筑工程混凝土施工质量的管理策略

提高混凝土工程质量，除了加强现场技术把控之外更要健全管理制度，明确各方职责并且协调好各个方面的配合工作等从本质上确保工程效果。

（一）完善质量管理体系

健全有效的质量管理体系是保证混凝土工程质量的基础。建设单位要针对工程实际制定涵盖原材料选择、入库检验、配合比审定、施工工序、质量监控及养护措施在内的管理规则，对各个环节的质量控制指标与技术要点进行详细规定以便指导工作开展。而且完善质量追责制度，落实质量管理责任至具体责任人与

岗位上防止互相推诿扯皮现象的发生，从而保障了管理环节的严密性以及落实力度。

（二）加强人员技术培训

建筑施工人员的技术水平及操作技能直接影响到整个混凝土工程的质量及安全性问题，也是造成整个工程失败的原因之一，因此为了保证工程质量达到标准要求，必须要不断地进行对管理、技术和一线工人进行系统的教育培训工作。教育培训的内容要包含原材料的选择及其检测、配合比的设计、搅拌及振捣的工艺、养护的方法以及常见的质量问题的预防与解决等内容，让每一位从事混凝土工程的人员认真熟悉标准化施工方案。并且要针对不同的工程项目特点开展有针对性的技术交底工作，使员工能够更好地理解和完成每一项工作任务；还要对特殊工种实行持证上岗管理，加强他们的前期培训和技术考核，做到有章可循，有人负责；另外还要建立健全一个长效学习机制，组织好日常的教育学习和相互间的经验互鉴工作来不断提高自身的专业技术素质。这样才能够最大限度地避免因操作失误或者经验欠缺造成的质量缺陷等问题发生。确保每个部位的混凝土结构都能够满足设计及规范的要求。

（三）强化全过程监督协调

混凝土工程施工质量管理要求很高的整体性，因此就各参建方要相互配合^[9]。在建筑施工中应该重视项目管理人员、监理单位以及检测人员的信息传递，了解工程施工质量和进度情况，一旦发现问题立即进行上报并进行整改，防止小事酿成大事，更要注重现场监督检查力度，在一些重要的分项工程或者是重点区域还有隐蔽工作都要进行全面监督。这样才能做到有效的管理，从而保证工程质量得到充分的重视。只有加强监督管理力度才能使管理工作更加高效有序，让工程质量监督更持续更精准，从而更好的促进整个建筑混凝土工程施工质量水平的发展。

六、结语

混凝土质量检验与控制是工程建设施工管理的重要方面，涉及到了从原料选择到施工过程再到质量检验和后期养护管理等一系列的步骤当中，只有做到全链条把控，严格执行技术规范和制度规定才能最大程度地降低质量问题出现的概率，提高结构的安全可靠性和耐久性以及整个工程质量水平。面对建筑业越来越高的对施工质量的要求，在此基础上加强对于混凝土工程质量控制有着重要的现实意义。

参考文献

- [1] 段计龙. 建筑工程混凝土外观质量控制研究 [J]. 山西建筑, 2019, 45(16): 156-158.
- [2] 杨宇亮. 建筑工程钢筋混凝土桩基础施工中的质量控制研究 [J]. 建材与装饰, 2020, (04): 32-33.
- [3] 彭英伟. 高层建筑中混凝土工程施工水平与质量控制研究 [J]. 砖瓦, 2021, (07): 193+195.
- [4] 马文博. 建筑工程混凝土质量控制与检测研究 [J]. 大众标准化, 2022, (09): 13-15.
- [5] 林松昌. 建筑工程领域混凝土建筑材料检测及质量控制 [J]. 江苏建材, 2022, (04): 26-28.

智能化与绿色化融合视角下的建筑设计创新路径研究

张敏玲

广东 韶关 512300

DOI:10.61369/ADA.2026010038

摘 要： 本文重点探讨建筑设计里智能化和绿色化相结合的创新途径，说明其理论根据（AI、IoT等智能科技与可持续绿色观念）、主要支持（相变材料、光伏建材等新型材料以及BIM、数字孪生技术）、实际案例与难题（成本、技术协作、人才短缺），表明未来要加强跨学科协作、AI运用以及地域性适配，为建筑的低碳转变提供技术保障与实践指引。

关 键 词： 智能绿色建筑；建筑设计融合路径；新材料技术协同

Research on the Innovation Path of Architectural Design from the Perspective of Intelligent and Green Integration

Zhang Minling

Shaoguan, Guangdong 512300

Abstract： This article focuses on exploring innovative approaches for integrating intelligence and greenness in architectural design, explaining its theoretical basis (such as intelligent technologies like AI and IoT and sustainable green concepts), main supports (such as new materials like phase change materials and photovoltaic building materials, as well as BIM and digital twin technology), actual cases and challenges (such as cost, technical collaboration, and talent shortage), and indicates that in the future, interdisciplinary collaboration, the application of AI, and regional adaptation should be strengthened to provide technical guarantees and practical guidance for the low-carbon transformation of buildings.

Keywords： intelligent green building; integration path of architectural design; collaboration in new materials technology

引言

随着全球碳中和目标的持续推进，建筑领域作为碳排放的主要领域，其绿色化和智能化的融合已然成为转型的重要方向。2024年施行的《绿色建筑评价标准》GB/T 50378和《智能建筑设计标准》GB 50314，清晰地智能控制技术归入绿色建筑评价体系，为二者深度融合提供政策支持。在当下的建筑设计领域，智能化技术（像AI、IoT）和绿色材料（如相变材料、光伏建材）的协同运用仍然面临着技术适配、成本均衡以及跨学科人才匮乏等难题，有必要搭建全生命周期的优化方案，从而实现能效提高与可持续性的目标。本研究专注于融合视角下的设计创新途径开展探讨，通过新材料和技术的协同整合、系统集成方法以及实证案例分析，为建筑领域的低碳转型提供理论根据与实践参考。

一、建筑设计中智能化和绿色化的理论基础

（一）智能化的核心概念与应用背景

智能化于建筑设计里是指通过整合AI、物联网等技术，实现建筑系统的自主感知、分析决策以及自适应调节，围绕以数据驱动的闭环控制来开展：传感器收集能耗、环境等参数，经过AI分析之后输出优化指令，动态调控建筑运行状态。此技术体系在推动绿色化方面成效明显，例如通过AI预测用能需求来优化空调与照明策略，利用IoT实现能源的精细化管控。目前AI和IoT在建

筑节能领域的应用已从单一系统管控向整体协同演进，一些商业建筑通过智能能源管理平台让能耗降低15%–30%。智能传感网络能实时监测室内空气品质，自动调控通风系统，提高舒适度并避免浪费，为智能化与绿色化的融合提供技术支持与实际根据^[1]。

（二）绿色化的基本框架与技术原则

绿色建筑的理论方案以可持续发展思想为核心要点，重点强调建筑在整个生命周期内对环境影响的最小化以及资源利用的最大化，其主要标准包括LEED认证等国际体系，通过对能源效率、水资源管理、材料选用等方面的量化评定，搭建起建筑绿色

性能的评估框架^[2]。节能环保技术准则重点于被动式设计和主动式技术相融合，被动式设计通过建筑形态改良、自然通风采光体系等减少能源需求，主动式技术则依靠高效设备和可再生能源系统提高资源利用效能。新型材料技术的理论基础在于材料的低碳化以及功能性改革，比如高性能的保温材料通过降低建筑热量损失来减少采暖与制冷的能耗，再生建材的运用则降低原生资源的消耗和碳排放，而智能材料的研究开发进一步促进建筑系统的动态调控，实现环境适应性和能源节约的协同，这些理论和技术一同构成绿色建筑设计的底层逻辑，为智能化与绿色化的融合提供技术支持和评价参考。

二、新材料和新技术在建筑节能环保中的应用

（一）创新型节能建筑材料的开发与评价

创新类节能建筑材料包含相变材料、绿色混凝土以及可再生材料等。相变物质通过吸收或者释放潜热来调控室内温度，例如石蜡基物质相变温度处于20–30℃，能够使空调能耗降低20%–30%^[3]。环保型混凝土用矿渣、粉煤灰这类工业废渣替换部分水泥，添加30%矿渣的混凝土碳排放减少约25%，力学性能维持稳定。可循环使用的材料，像竹材、秸秆板材，其碳足迹仅为传统木材的三分之一，能够适应智能建筑对于灵活空间的需求。材料评估要综合考量性能指标、环境影响以及智能适配情况，通过生命周期评估和性能检测来搭建量化评估体系，为材料于智能绿色建筑里的运用提供科学支撑。

（二）智能化系统集成与节能技术实现

智能化系统集成通过数字技术和建筑系统的深度交融，实现能源管理精准化以及环保效率提高。BIM作为数字化集成平台，能够在设计环节模拟建筑全生命周期的能耗情况，对围护结构与设备系统的协同设计进行优化^[4]。智能监控体系通过传感器网络实时收集温度、照明以及设备运转数据，结合物联网实现数据传输与分析，根据人员密度自动调控空调和照明，降低能源损耗。智能化系统整合会把可再生能源系统和建筑能源管理系统进行关联，根据发电效能动态调节能源供应结构，提高清洁能源使用占比。此集成应用对能源管理流程进行优化，通过数据反馈不断完善节能策略，促使建筑由被动节能向主动节能转化，大幅提高建筑节能环保效能。

三、智能化和绿色化融合的创新路径框架与实证

（一）创新路径的多元模式构建

1. 基于材料的创新路径探索

在智能化与绿色化融合视角下开展建筑设计创新路径研究时，通过材料的创新路径探寻重点关注新材料推动的设计策略，其中自适应材料通过对环境变化作出响应实现节能智能化，成为

重要方向^[5]。自适应材料，像形状记忆合金、相变材料之类的，可根据温度、光照等环境参数自行调整物理特性。比如相变材料在夏天吸收热量来降低室内温度，冬天释放热量以维持室温，从而降低空调系统的能耗。在一个绿色办公建筑实例里，其外立面运用自适应遮阳材料，该材料表面的微观结构会根据光照强度的改变来调节反射率，这样既能减少夏季的制冷需求，又能确保冬季的自然采光，实现能耗与舒适度的动态均衡。这类材料的运用促使建筑从被动式节能转变为主动响应模式，把智能化感知与绿色化效能进行深度结合，为建筑设计在材料方面提供创新途径，也为智能化和绿色化融合的实证研究提供实践支撑。

2. 基于技术的创新路径深化

通过技术的创新途径深入专注先进技术对建筑设计协同进步的促进作用。以数据为驱动开展设计优化，整合产品全生命周期里的环境、能耗以及用户行为等数据，搭建多目标优化模型，实现能耗与碳排放的动态模拟。AI算法拓展技术加深融合程度，生成式对抗网络能够在符合绿色性能的条件下自动生成建筑形态的方案；强化学习算法动态地对设备运行策略进行优化，实现能源的实时调控。这些技术促使设计由经验驱动转变为数据驱动，建立技术赋能、性能优化、协同创新闭环。研究证实某办公大楼通过数据优化以及AI预测，实现能耗减少25%，提高环境舒适度和空间利用率^[6]。技术深入发展要重视跨学科合作以及数据生态搭建，给建筑设计改革提供可持续的支持。

（二）创新路径的实践案例分析

1. 节能环保建筑项目实证

在智能化和绿色化相结合的建筑设计创新途径研究里，节能环保建筑项目的实证属于主要环节，将LEED认证建筑当作典型案例能够深入分析新材料和技术的创新运用。举例来说某LEED白金级办公大楼运用智能光伏玻璃幕墙，这种材料不但凭借光伏发电满足建筑30%的能耗要求，还能够根据光照强度自行调节透光率，减轻空调系统负载，其节能效率相较于传统幕墙提高45%^[7]。建筑内部所布置的AI能耗管理系统会实时对各区域的用能数据予以监测，通过算法对设备运行模式进行优化，从而进一步降低非必要的能耗。但是这类项目同样面临挑战，像智能光伏玻璃的起始投资成本比普通玻璃高出60%，并且AI系统的维护需要专业技术团队，这提高运营成本。另外一些绿色技术和智能系统的适配性欠佳，造成数据交互出现延迟，对整体能效的优化成效产生影响。这些实例的成功做法与难题为后续的建筑提供实践参考，促进智能化和绿色化技术的深度融合。

2. 智能化融合建筑的实施评估

在智能化和绿色化融合的创新路径构架及实证里，创新路径的实践案例分析可重点于某城市综合体项目。此项目运用BIM技术对建筑全生命周期的能耗进行模拟，并且将光伏幕墙、智能照明系统和雨水回收系统的联动控制相结合，实现能源消耗降低35%^[8]。智能化融合建筑的实施评估要从技术适配度、环境效益以

及经济可行性这三个方面着手。在技术适配度方面，对能源管理系统针对建筑用能数据的实时监测精准度和调控响应速率进行评估；环境效益是通过对比项目实施前后的碳排放量、水资源循环利用比例等指标，来验证可持续性目标的实现状况；经济可行性则是分析智能化设备的初始投入和长期运营成本的平衡关联。结果表明该项目在运营的第三年实现成本回收，并且由于绿色认证提高物业价值，为同类项目提供可复制的推广经验。

四、智能化和绿色化融合的策略与未来发展趋势

（一）融合策略的理论模型与实施机制

1. 融合模型的系统构建

在智能化与绿色化融合的策略及未来发展走向里，融合模型的系统搭建要专注于智能绿色建筑设计的多目标优化要求。此模型把建筑全寿命周期的节能效能与智能化感受作为核心目的，通过搭建动态参数耦合体系，融合建筑信息模型（BIM）、物联网（IoT）传感器数据以及可再生能源系统的实时反馈，建立多方面目标函数。新材料和技术的协同融合是模型的主要支撑要素，比如相变储能材料和智能遮阳系统的联合控制，能够根据室内外环境参数自动调控热传递途径，减少空调能耗；而光伏建筑一体化（BIPV）技术与智能微电网的组合，可实现能源生产和消费的动态适配^[9]。模型的体系搭建要包括设计时期的参数化仿真、施工时期的数字孪生监测以及运营时期的自适应性改良，通过多目标算法迭代求解，权衡节能效益、智能功能和建造成本间的关联，为建筑设计提供量化决策的根据。

2. 政策支持与技术引导策略

政策规章和技术规范是智能化和绿色化结合的主要外部支撑。各个国家通过专项政策清楚智能化技术于绿色建筑里的应用要求，例如强制配备能耗监测系统、智能遮阳与通风控制模块，引导设计环节把节能目标和智能控制深度关联^[10]。技术规范更新重点于新材料和智能技术的适配性准则，明确光伏建筑一体化部件的智能功率调控接口规范以及超低能耗建筑里智能算法的参数界限。实践指引通过案例集与工具包把 BIM 技术和生命周期评估工具相融合，指导方案阶段对智能系统布局与绿色材料选择进行优化。政策和标准协同减少技术集成的试错费用，通过补贴机制鼓励市场主体加入，促使融合创新从试点迈向普及。

（二）节能环保的实现机制与优化方案

1. 能源效率提升的系统方案

智能化与绿色化结合以技术协作作为核心，通过可再生能源整合和智能调控的深度结合搭建动态优化体系。光伏幕墙和智能微电网相融合实现能源生产和负荷实时适配，BIM 与 AI 算法对不同气候状况下的能耗曲线开展模拟，对围护结构参数加以优化。节能与环保机制依靠相变储能材料和智能温控系统相互配合，通过全生命周期的数据来评估能效提高成效。能源效能提高方案融

合建筑设备管控平台与区域能源网络，通过物联网传感器实时监控能耗状况，运用边缘计算实现设备的自适应调控。未来的发展走向专注于数字孪生技术，通过虚拟模型和物理建筑开展实时交互来优化能源分配，推动政策和技术标准协同改革，为智能化与绿色化的融合提供制度支撑，实现建筑全生命周期的低碳目的。

2. 环保材料与资源循环利用

循环经济思想于建筑设计里的实现以全生命周期管控为主要，通过 BIM 技术整合材料选用、施工及运维数据，实现资源流动可视化跟踪。环保材质像生物基复合材质、可降解混凝土，减少生产环节的碳排放，加强耐久性，还通过模块化设计简化拆卸流程。智能化技术对材料性能和能耗进行实时监测，通过大数据分析来优化资源配置，以此指导材料的更换周期。数字孪生手段通过虚拟模型对材料循环路径进行模拟，预估浪费节点并预先优化。政策和市场机制共同发挥作用，建立材料循环利用准则，鼓励企业运用环保材料和智能管理体系，建立从设计至拆除的闭环式资源循环系统，实现建筑全生命周期绿色化和智能化的深度融合。

（三）融合创新的挑战与未来趋势

1. 当前融合面临的挑战

目前智能化与绿色化结合在建筑设计领域面临多个挑战，成本难题是首要限制要素。智能装置和绿色建材的前期投入相对较高，使得中小规模的项目难以承受。并且长期节能收益的量化评价体系尚未健全，对投资方的决策造成影响。技术难题表现为跨领域技术协作不够，比如智能控制系统和绿色建筑材料的适配性问题，传感器数据采集精准度和能耗优化算法的符合度需要提高，部分绿色技术像被动式设计 and 智能化系统的整合缺少标准化接口。在社会接纳程度方面，大众对融合技术的认知存有偏差，觉得智能化或许会加大能源消耗，并且绿色建筑的舒适度体验还未实现广泛共识，行业标准和政策支持的滞后状况也制约技术落地的速率。另外专业人才的缺口较为明显，那些既具备建筑设计能力，又熟知智能技术和绿色理念的复合型人才数量不足，使得设计方案难以实现技术与功能的深度融合。

2. 未来创新方向与前沿展望

在智能化与绿色化融合的策略及未来发展走向里，融合创新面临的挑战与未来形势需重点留意技术协同和系统集成的繁杂性，不同技术体系的标准差别、数据互通难题以及跨学科专业人才的短缺，或许会限制融合的深度。在未来创新走向与前沿展望领域，由 AI 驱动的智能设计有希望通过生成式算法对建筑形态和能耗模型加以优化，结合实时的环境数据动态调控建筑运行参数，实现全生命周期的能效提高。生物材料的运用为建筑绿色化开辟新途径，它的可降解性和自我修复特点，能够减少建筑废料并降低碳排放量。数字孪生技术会搭建虚拟的建筑模型，对不同场景里的能耗以及环境影响进行模拟，为智能化和绿色化的融合提供精确的决策支撑。这些新兴科技的协同运用，会促使建筑设

计由被动节能转变为主动符合生态需求，建立以数据驱动、生态友好为主要的创新途径，最终实现建筑全生命周期的智能化与绿色化深度结合。

五、总结

本文专注于智能化和绿色化融合视角下的建筑设计创新途径开展研究，其核心成果显示，新材料和新技术的协同运用是促使该途径得以落实的主要保障。具备高性能的节能材料，像相变储能材料、光伏一体化建材等，融合智能传感、数字孪生这类技

术，能够实现建筑能耗的精确调控以及资源的高效运用，明显加强建筑的环境适应能力与可持续特性。在融合策略方面，采用以全生命周期为方案的系统设计手段，通过整合智能控制系统和绿色建筑标准，可有效协调技术集成和生态效益，建立从设计、建造到运营的闭环式优化。未来的研究需更深入地关注跨学科技术融合的协作机制，加强人工智能在建筑性能预估与动态优化方面的运用，并且探寻地域性绿色技术和智能系统的适配方式，以此加强提高路径的通用性与可实施性。这些创新路径的实施，不但为建筑领域的低碳转变提供技术保障，更对促进全球可持续发展目标的实现有重点要价值。

参考文献

[1] 田莉平. 组态视角下资源型城市绿色创新水平提升路径研究 [D]. 郑州大学, 2023.

[2] 王英华. 辛化集团绿色创新动力机制与路径研究 [D]. 青岛大学, 2022.

[3] 陈明星. 数字化视角下制造企业产品创新机理与路径设计 [D]. 哈尔滨理工大学, 2023.

[4] 李昌莲. 媒介融合视角下“央视频”的新闻生产与内容创新研究 [D]. 河北大学, 2022.

[5] 汤弘钦. 生产运营视角下企业数字化对绿色创新绩效的影响研究 [D]. 华侨大学, 2023.

[6] 申天红. 建筑智能化与绿色建筑研究 [J]. 建材与装饰, 2015, (50): 143-144

[7] 黄鹤. 基于绿色建筑视角的现代建筑设计创新思维与应用 [J]. 工程建设与设计, 2016, (06): 64-66.

[8] 余永华. 推进产业升级智能化绿色化融合化 [J]. 当代江西, 2023, (08): 44.

[9] 曾经伟, 李柏洲. 组态视角下企业绿色双元创新驱动路径 [J]. 中国人口. 资源与环境, 2022, 32(2): 151-161

[10] 王巨宏, 刘婷婷, 马东娜, 张龙. 构建新经济下政产学研融合工程教育新生态 [J]. 高等工程教育研究, 2017, 65(3): 27-30.

建筑工程施工现场环境保护与绿色施工措施

王静

安徽建工三建集团有限公司, 安徽 合肥 230001

DOI:10.61369/ADA.2026010059

摘 要： 随着社会经济的迅猛发展, 建筑工程的规模持续拓展, 不过施工期间产生的环境污染以及资源浪费问题更加明显。传统施工模式难以符合可持续发展需求, 绿色施工理念随之出现。绿色建造能够帮助降低建造过程对环境造成的负面效应, 还可实现资源的高效运用与能源的节省, 削减建造成本, 提高企业的社会声誉。所以开展建筑工程施工现场的环境保护以及绿色施工措施的研究具备重要的实际价值。本文对绿色施工理念的内涵以及重要意义展开说明, 基于实际案例来验证其成效, 目的是为建筑工程的可持续性发展提供理论支撑与实践引导。

关 键 词： 建筑工程; 施工现场; 环境保护; 绿色施工措施

Environmental Protection Measures and Green Construction Practices at Construction Site Sites

Wang Jing

Anhui Construction Engineering San Jian Group Co., LTD. Hefei, Anhui 230001

Abstract： With the rapid socioeconomic development, the scale of construction projects continues to expand; however, environmental pollution and resource waste generated during construction have become more pronounced. Traditional construction methods fail to meet sustainable development requirements, leading to the emergence of the green construction concept. Green construction helps mitigate the negative environmental impacts of construction processes, enables efficient resource utilization and energy conservation, reduces construction costs, and enhances corporate social reputation. Therefore, conducting research on environmental protection and green construction measures at construction sites holds significant practical value. This paper elucidates the essence and importance of green construction principles, validates their effectiveness through practical case studies, and aims to provide theoretical support and practical guidance for the sustainable development of construction projects.

Keywords： construction engineering; construction site; environmental protection; green construction measures

一、绿色施工理念的内涵与重要性

(一) 绿色施工理念的内涵

绿色施工是指在工程建设阶段, 通过科学的管理方法和技术领域的创新发展, 竭尽全力实现资源(节能、节地、节水、节材等方面)的最大程度节省, 同时把对环境造成的负面效应降到最低程度的一系列施工行为。从资源节省的视角而言, 绿色施工着重于在节能、节地、节水、节材等多个方面实现资源的最大程度节约。在节能领域, 基于运用新型节能装置、优化施工能源布局以及科学安排施工时段等办法, 降低能源的无谓损耗。比如在建筑施工场地运用节能类型的照明装置, 根据不同施工环节和区域的要求, 精准把控照明时长和亮度, 防止不必要的能源损耗。节地表现为科学规划施工场地的布局, 充分运用每一块土地, 提高土地的使用效率。例如对临时搭建的设施开展科学的规划工作, 缩减占地面积, 并且保证施工能够顺利推进。在节水领域, 基于

安装节水设备、建立雨水收集与循环利用体系等途径, 减少水资源的耗费。比如把收集到的雨水运用到施工现场的洒水降尘、车辆冲洗等方面, 实现水资源的二次利用。节材可基于优化施工规划、精准核算材料用量、普及应用新型环保材料等方式, 降低材料的损耗。例如运用先进的建筑信息模型(BIM)技术, 对施工流程开展模拟与优化, 预先察觉材料使用里的状况, 防止材料的过度采购及浪费。

与此同时绿色施工把减少对环境的负面效应当作重要工作。在工程施工期间, 难以避免地会出现各类污染物, 像扬尘、废水、噪声以及固体废弃物等。绿色建造运用一系列科学合理的管控办法, 把这些污染物的排放量把控在最低程度。比如在施工现场设置围栏、喷雾降尘装置, 降低扬尘的扩散范围; 建立污水处理体系, 对施工废水处理实现达标排放; 选用低噪音设备、科学安排施工时段, 减轻噪声给周边居民带来的影响; 对固体废弃物开展分类收集与回收再利用, 降低对环境的污染程度。

绿色建造的核心目标清晰指向四节一环保，也就是节能、节地、节水、节材以及环境保育。这五个方面彼此关联、相互作用，一同建立一个有机的整体。并且绿色施工着重从施工的整体流程着手，全方位综合地权衡环境、经济和社会这三个方面的效益。在环境方面，着重维护生态环境，降低对自然资源的损毁与污染；在经济方面，基于资源节省和成本削减，加强企业的经济收益；在社会方面，提高居民的生活环境品质，推动社会的和谐进步。经由这种全方位综合的权衡，促使工程建设朝着可持续发展的方向推进^[1]。

（二）绿色施工的重要性

环境保护领域：在工程建设开展进程中，传统施工模式常常伴有扬尘四处飘散、废水随意排放、噪声杂乱传播以及固体废弃物随便丢弃等突出问题，对周边生态环境产生极大损害。绿色施工恰似一位尽责的生态守护者，基于一系列科学合理的管控措施，对这些污染物开展严格的把控与管理。

为抑制扬尘污染，绿色施工于施工现场设置高规格的围挡，这些围挡不但可以阻挡扬尘的蔓延，还可起到美化施工场地的效果。与此同时配置先进的洒水降尘装置，根据施工现场的实际状况，定时且定量地开展洒水工作，确实降低空气中的扬尘含量。在废水治理领域，建立完备的污水处理体系，针对施工所产生的废水开展分类收集与处理工作。运用物理、化学以及生物等多样处理手段，把废水中的有害成分去除，让处理后的废水符合国家规定的排放要求，降低对水资源的污染程度。针对噪声污染问题，绿色施工选用低噪音的施工装备，且对装备开展定期的维护与保养工作，保证其能够正常运转，减少噪声的产生。与此同时科学规划施工时段，防止在居民休息时段开展高噪声施工，降低噪声给周边居民带来的影响。在固体废弃物处置领域，推行分类收集与回收利用机制。对可回收利用的废弃物，像钢筋、木材、砖块这类，开展回收再加工工作，实现资源的循环使用；对不可回收利用的废弃物，根据环保要求予以妥善处置，防止随意丢弃给环境带来污染。经由这些措施，绿色施工明显降低污染物的排放数量，为周边的生态环境建立坚实屏障，有效提高居民日常生活的环境质量。

资源节省方面：资源为人类社会进步的主要基础，不过随着经济的迅猛发展以及人口的持续增加，资源渐趋匮乏的状况更加明显。在工程施工期间，积极落实节能、节地、节水、节材等观念与行动，对缓解资源供应紧张状况有着重要价值。

从节能角度而言，基于采用新型的节能设备以及优化施工的能源配置，可有效减少能源的消耗^[2]。举例来说采用太阳能路灯、节能型空调这类设备，降低对传统能源的依靠。与此同时科学规划施工时段，防止在用电高峰时期开展高能耗的施工作业^[3]，提高能源的使用效率。在节地工作中，科学规划施工场地的布局，让每一块土地都得到充分利用。举例而言对临时搭建的设施进行集中规划布置，降低土地占用面积；运用多层立体的施工模式，提高土地的空间使用效率。在节水工作中，基于安装节水设备以及建立雨水收集与循环利用体系，减少水资源的使用量。比如运用节水型的水龙头、马桶这类器具，降低水的损耗；把收集起来

的雨水用于施工现场的绿化浇灌、洒水降尘等，实现水资源的二次运用。在节材领域，基于优化施工规划、精准核算材料使用量以及推广运用新型环保材料，降低材料的损耗。举例来说运用先进的建造技术与工艺，提高材料的利用效率；选用可再生材料和可降解材料，降低对不可再生资源的运用。基于这些措施，绿色施工可精确掌控资源的使用数量，一方面确实减少施工期间的各类成本花费，提高企业的经济收益；另一方面明显提高资源的利用效能，让有限的资源产生更大的功效，从而缓解当下资源逐渐匮乏所引发的紧张状况。

企业形象方面：在当下社会，消费者的环保观念和社会责任感日益加强，他们更倾向于挑选那些积极落实绿色发展理念的企业。企业踊跃参与绿色施工实践，向社会展现其浓厚的环保意识和社会责任感，这种积极正向的形象有益于加强企业在市场里的竞争力。

企业进行绿色施工之际，会基于多种途径向社会宣扬自身的环保行动与成效，使消费者知晓企业在环境保护领域付出的努力与作出的贡献。这不但可以获得众多消费者的认同与信任，还会吸引更多的杰出人才投身企业，为企业的进步提供坚实的智力保障。与此同时绿色施工对企业与政府部门、行业协会等建立良好的合作关系也有帮助。政府相关部门一般会激励并支持企业实施绿色施工，对于表现出色的企业提供政策优待和资金支持；行业协会同样会对开展绿色施工的企业进行表彰与推广，提高企业的知名度和美誉度。基于这些途径，企业可在激烈的市场角逐中建立一个有利且和谐的外部发展氛围，为企业的长久稳定发展筑牢坚实根基^[3]。

二、实际案例分析

挑选蚌埠海勤显示谷创新产业园 EPC 项目当作研究对象，该项目在整个施工过程中积极推行绿色施工理念并实施相关措施。

在环保工作开展中，就扬尘污染难题，项目团队于施工现场周边搭建起连续且严密的围挡，以此阻挡扬尘的扩散；安排专门人员定时对施工现场的道路、土方作业区域等开展洒水作业，在干燥多风的天气时适度增加洒水的频次，有效抑制扬尘飞扬；在施工现场的出入口处设置车辆冲洗装置，对进出车辆的车轮与车身进行全面冲洗，防止车辆带泥上路引发扬尘。基于这些办法，施工场地周边的空气质量获得了明显改善。

针对水污染防治工作，该项目于施工现场分别设立沉淀池、隔油池以及化粪池。沉淀池用于处置施工废水，基于沉淀效应去除废水中的泥沙与悬浮物，沉淀之后的清水能够循环用于洒水降尘、车辆冲洗等；隔油池专门处理含油污的废水，把废水中的油污分离出来，防止其进入水体引发污染；化粪池用于处理施工人员的生活污水，处理后的污水达到排放标准后，可排入市政污水管网，也可用于周边农田灌溉。凭借这些设施的高效运转，实现废水的循环使用，降低对周边水域的污染。

在噪音管控方面，该项目优先选用低噪音、环保型的施工装备，从根源上减少噪音的产生^[3]；对施工场地进行科学合理的规

划,把噪音较大的设备放置在远离居民区与办公区的地方;在噪音传播途径上设置隔音设施,像隔音墙、隔音罩等,确实阻挡噪音的传播。与此同时科学规划施工时间,防止在居民休息期间开展高噪声施工。要是因特殊情形需要夜间施工,会提前办好相关手续并向周边居民进行公告。采取这些办法,极大减少施工噪音给周边住户带来的影响。

在资源节省方面,项目于设计阶段便对建筑设计以及施工方案予以优化,降低材料的使用数量,比如采用轻型构造、合理规划构件尺寸等;在材料采购与使用进程中,精准计算材料用量,根据施工图纸和施工进度规划合理安排材料采购,防止材料浪费^[4];积极推广运用新型建筑材料,像高性能混凝土、高强钢材、新型墙体材料等,这些材料具备强度高、耐久性好等长处,能够减少材料的使用量与施工成本。

在水资源运用方面,项目于施工现场的办公区域、生活区域以及施工用水处安装节水型设备,像节水水龙头、节水马桶之类,确实降低水资源的浪费情况;搭建雨水收集体系,收集施工现场的雨水,经简易处理后用于洒水降尘、车辆清洗、绿化浇灌等;对施工废水与生活污水加以处理后循环使用,例如把处理后的中水用于混凝土养护、设备清洁等,提高水资源的利用效能。

在土地资源运用方面,项目科学规划施工总体平面布置,对临时设施的布局加以优化,降低临时用地规模。施工临时便道尽可能基于既有道路,新修便道与沿线民众出行及耕作相融合,施工完毕后能当作农用便道,提高土地资源的利用成效。

在能源运用方面,项目于施工设备挑选时,优先选用节能类的施工机械,像节能型塔吊、节能型混凝土搅拌机等;合理运用设备,防止设备空载运转和长时间低负荷运转,对设备开展定期维护保养,保证设备处于良好的运转状态,提高设备的能源运用效率;充分利用太阳能等可再生能源,在施工现场安装太阳能光

伏板,把太阳能转化成电能,为施工现场的照明、办公设备等提供电力支撑,同时基于太阳能热水器为施工人员提供生活热水,减少能源消耗^[5]。

此项目经过全方位施行绿色施工办法,不但确实降低施工给环境造成的污染与破坏,实现资源的高效利用以及能源的节省,而且削减施工成本,提高企业的社会声誉,获取理想的经济效益、环境效益和社会效益。

三、结束语

建筑工程项目施工现场开展环境保护与绿色施工,是符合可持续发展观念的必要抉择。经过深度分析当下建筑工程施工场地遭遇的大气污染、水污染、噪声污染和固体废弃物污染等环境难题,详尽阐释绿色施工理念包含的节约资源、保护环境以及实现经济、社会和环境协同发展的丰富内涵与重大意义,还从环境保护、资源节约、能源利用等多个主要方面提出一系列具备针对性和可操作性的绿色施工办法。上述实际事例充分显示,绿色施工措施的确实执行可在多个方面产生正面效应。它能够明显降低施工活动给环境带来的污染与破坏,实现资源的高效运用以及能源的合理节省,同时还能确实削减施工成本,提高企业在市场里的竞争能力,提高企业的社会形象和声誉。所以在建筑工程的建设进程里,要积极推行并运用绿色施工办法,把它贯穿于施工整个流程。同时为进一步促进建筑工程的可持续性发展,未来需持续强化绿色施工技术的研究与改革,积极探寻新的绿色施工方式和工艺;不断健全绿色施工管理体系,建立并完善相关的标准与规范,加强对绿色施工的监管,推动建筑工程施工现场的环境保护和绿色施工工作持续达到新水平,实现建筑工程行业的绿色、健康、可持续发展。

参考文献

- [1]汲鹏,吴蓉艳,刘子寒,褚婉男,李博.建筑施工现场环境污染防治措施[J].科技风,2022,(15):78-80.
- [2]杜祥成,徐雅倩,贾利艳.房屋建筑工程施工现场环境保护与节能降耗控制[J].陶瓷,2022,(04):126-128.
- [3]王红兵.建筑工程文明施工现场环境保护应用探究[J].上海建材,2021,(05):21-23.
- [4]李孝霞.房屋建筑工程施工现场环境保护及节能降耗控制措施分析[J].皮革制作与环保科技,2021,2(13):175-176.
- [5]陈楠.房屋建筑工程施工现场环境保护与控制研究[J].四川水泥,2021,(07):149-150.

建筑工程监理在施工技术管理中的作用与优化路径探析

梁旭辉

重庆林鸥工程咨询有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524000

DOI:10.61369/ADA.2026010040

摘 要 : 建筑工程监理作为独立的第三方, 在施工技术管理过程中, 通过技术监督、质量把控与风险防范来保障工程的规范与安全。不过存在监督执行不到位、技术标准有偏差等状况, 其成因包括制度、人员能力以及技术环境等方面。要通过明确监理职责、提高人员专业素养、优化管理程序以及健全监管制度等途径加强其作用, 促进工程高质量进步。

关 键 词 : 建筑工程监理; 施工技术管理; 监理作用优化

Analysis of the Role and Optimization Path of Construction Engineering Supervision in Construction Technology Management

Liang Xuhui

Chongqing Linou Engineering Consulting Co., Ltd. Zhanjiang Branch, Zhanjiang, Guangdong 524000

Abstract : As an independent third party, construction project supervision plays a crucial role in ensuring the standardization and safety of the project during the construction technology management process through technical supervision, quality control, and risk prevention. However, there are situations such as inadequate supervision implementation and deviations in technical standards. The causes include aspects such as the system, personnel capabilities, and technical environment. To enhance its effectiveness and promote the high-quality progress of the project, measures such as clarifying the supervision responsibilities, improving the professional quality of personnel, optimizing management procedures, and establishing a sound supervision system should be adopted.

Keywords : construction project supervision; construction technology management; optimization of supervision role

引言

工程施工技术管理是保障建筑工程质量安全、提高工程效率的主要支撑, 其全流程的系统性规划与控制需要专业第三方力量协同保障。建筑工程监理身为法定监督主体, 在技术方案审查、主要工序把控以及风险预警等方面起到不可取代的作用, 不过在实际操作中存在监督落实欠佳、技术标准有偏差以及数字化适配不够等状况。2023年, 住房和城乡建设部发布的《关于规范工程监理行为 提高工程监理质量的通知》清晰要求加强监理技术监督职能, 促进 BIM、物联网等数字化手段运用, 为监理作用的优化提供政策引导。文章围绕监理于施工技术管理里的核心作用、实践成效、现存难题以及优化办法开展系统分析, 目的是为提高建筑工程技术管理的精细化程度与监理专业效能提供理论根据和实践途径。

一、建筑工程监理与施工技术管理基础理论

(一) 施工技术管理的概念与内涵

施工技术管控是建筑工程管理体系的主要组成部分, 其界定可归纳为在工程开展的整个周期里, 通过对技术资源、流程以及标准进行系统的规划、组织、协调和控制, 保证施工进度符合技术规范且实现工程目标的管理工作^[1]。其主要要素包含技术准则、质量管控流程与方法, 其中技术准则包括国家和行业发布的施工规范、设计图纸要求以及企业内部技术规程, 是技术管理的基本根据; 质量管控流程涉及材料进场查验、工序交接检验、隐蔽工程检查等重要环节, 通过标准化流程确保施工质量的可追溯性; 质量管控方法

包括实测实量、无损检测、样板先行等, 为技术准则的落实提供实际操作手段。施工技术管理的作用领域包括施工筹备、施工进度直至竣工验收时期, 在施工筹备阶段承担技术方案编撰与技术交底工作, 施工进度里监督技术措施落实与问题纠正, 竣工验收时期参与技术资料审查与成果评定。其目的是在符合技术标准的情况下, 提高施工效能、保证工程品质、减少技术隐患, 最终实现建筑工程的技术可行性和经济合理性的符合。

(二) 建筑工程监理的定义与职责框架

建筑工程监理指的是具有相应资质的监理单位接受建设单位的委托, 按照法律法规、工程建设标准、勘察设计文件以及合同, 对建设工程的施工质量、进度、造价等开展监督管理的专业

化服务活动^[2]。其主要功能包含监督、咨询和协调这三个主要方面：监督作用表现为对施工期间技术规范落实、材料设备品质以及工序验收进行全面管控；咨询作用要求监理单位依靠专业技术能力为建设单位提供施工方案改进、风险预告等技术协助；协调作用则重点于平衡建设单位、施工单位以及其他参建方的利益矛盾，确保工程建设顺利开展。从法律方面而言，监理单位作为独立的第三方主体，既要建设单位履行责任，又要根据法定的职责对工程的质量与安全承担监理义务，其行为受到《建筑法》《建设工程质量管理条例》等相关法律法规的规制。主要工作职责包括审核施工组织设计和专项施工方案的可行性，查验进场材料和设备的质量证明文件，监管主要工序和隐蔽工程的施工流程，参与工程质量事故的调查和处理，以及按时向建设单位呈交监理报告等。这些职责一同建立起监理在施工技术管理方面的职责体系，为工程建设的规范运作提供保障。

二、建筑工程监理在施工技术管理中的作用分析

（一）监理在技术管理中的核心功能

建筑工程监理于施工技术管理里的主要功能显示为技术监督、质量控制以及风险防控这三个方面的协同效应。在技术监督方面，监理要按照国家现行的施工技术规范、设计文件以及合同规定，对施工单位的技术方案编写、主要工序操作和新材料运用开展全流程监督。比如在进行混凝土浇筑之前，检查配合比设计是否满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》的规定，保证技术标准得以严格执行^[3]。在质量管控方面，监理通过旁站、平行检验等手段对分部分项工程的质量开展动态管理，例如对钢筋绑扎的间距、保护层厚度等主要指标进行实际测量，及时矫正施工偏差，防止因技术落实不到位而产生的质量问题。风险防范重点于技术领域的潜在风险，监理要识别深基坑支护、高支模搭设等危险性较大工程的技术风险要点，通过审查专项施工方案的可行性、验证技术参数的合理性，提前发出预警并督促施工单位采取防范措施，降低因技术决策失误或者操作不当引发的安全事故发生概率。这三者彼此关联，技术监督为质量把控提供标准参照，质量把控是技术监督的实践落实，而风险防范通过技术方面的前置管理确保施工流程的安全性与稳定性，一同构成监理在施工技术管理里的核心价值方案。

（二）监理作用的实践效果评估

建筑工程监理于施工技术管理里的实践成效评估要结合具体项目的数据和案例分析，将量化指标与质性影响当作核心方面。在某高层建筑物项目里，监理小组通过全流程技术监测，把混凝土浇筑裂缝问题的识别比例提高到92%，相较于没有监理介入的项目高出35个百分点，技术难题解决周期缩短到48小时以内，明显降低因技术瑕疵造成的返工比率^[4]。另一个桥梁工程实例表明，监理针对预应力张拉工艺的合规性实施把控，让结构安全隐患排查的覆盖程度达到100%，施工阶段安全事故的发生概率同比降低60%，间接使工期缩短约12天。评估表明监理工作的成效和监理人员的技术专业水平、现场巡查次数以及与施工方的协同效

能密切相关：拥有结构工程专业背景的监理工程师对复杂技术问题的识别精准度提高20%，每日现场巡检不少于3次能让隐蔽工程质量缺陷的发现率增加40%。此外监理和施工方建立的技术交流机制，像每日技术交底会议，可把技术争议解决时长缩减50%，进一步提高施工流程衔接的效率。这些实际数据显示，监理于技术管理里的作用不只是体现在问题整改，更通过事前防范与过程把控，成为提高施工效率和安全性的重要部分。

三、监理作用实施中的问题与成因探析

（一）当前监理作用的问题现状

1. 问题类型识别

在施工技术管理工作里，监理存在的明显问题主要表现在监督执行效果不佳、技术标准存在偏差以及质量控制出现疏漏这三个方面。监督执行不到位体现为监理人员对施工单位技术方案的审查走过场，未能及时察觉并纠正施工进度里的违规行为，例如部分项目中监理未严格执行隐蔽工程验收流程，导致后续出现结构安全风险^[5]。技术标准的偏差体现于监理在对施工技术规范的理解和执行方面存在偏离，比如在混凝土配合比管控时，没有按照现行《混凝土结构工程施工质量验收规范》开展全过程监管，导致混凝土强度未能达到设计规定，对工程耐久性造成影响。质量管控存在疏漏体现为监理针对主要工序的巡检频次不够，例如在钢结构焊接质量检验时，未根据规定开展无损探伤检测，导致焊接缺陷未能及时被察觉，提高了结构安全隐患。这类问题不但会对单个分部分项工程的质量产生影响，还可能造成连锁效应，导致整体工程进度滞后或者后期维修费用增多，甚至对建筑使用安全构成威胁。

2. 问题成因分析

在对监理作用实施里的问题与成因展开探析时，当前监理作用显示出的问题现状主要体现为，监理在施工技术管理方面的实际效能和预期目标之间存在差距。例如对主要技术环节的监督不够到位、技术方案审核只是走形式等，这使得施工过程中的技术风险无法及时得到规避，进一步对工程质量与安全产生影响。问题成因分析需从多方面开展，制度性要素方面，监理职责界定不明，部分法规针对监理在技术管理里的具体权限和责任划分含混，导致监理在实际工作中难以高效履行技术监督职能，甚至存在职责交叉或空白区域^[1]。从人为因素角度看，专业人员能力欠佳是主要诱因。部分监理人员对新型施工技术缺乏系统了解，审核复杂技术方案的能力受限，无法满足现代建筑工程技术管理的要求。技术环境的限制也不能被忽略，建筑工程的技术更新速度加快，但是监理工作的技术手段更新较为迟缓，传统的现场检查方式难以包括所有技术细节，信息化管理工具运用不足进一步限制监理对施工技术的动态监测与精确管理。

（二）影响监理作用的关键因素

1. 管理体制与制度因素

监理作用的展现受到管理体制和制度要素的明显限制，其主要问题在于制度规划与建筑工程管理方案的适配性欠佳。当下监理制度虽通过法规形式明确监理在施工技术管理里的监督职责，

不过法规执行机制存在明显不足，例如监理单位的责任界限不清晰、权力分配不均衡，导致在实际操作中监理难以确实履行技术监督职能。一些区域的监理市场准入制度不够严苛，缺少对监理人员专业水平的动态考查，导致监理团队整体素养良莠不齐，进一步降低技术管理的专业性。另外监理费用的市场化定价体系不够完善，低价竞争情况较为普遍，这使得监理单位不得不削减技术服务方面的投入，从而难以确保施工技术监督的深度和广度。制度方面的不足还表现在监理和业主、施工方的权责界定不明确，当工程产生技术难题时，各方容易陷入责任推诿状况，妨碍问题的及时处理。这类制度性障碍不但约束监理于施工技术管理里的专业价值展现，还降低工程质量与安全的保障程度^[7]。

2. 技术发展与环境适应性因素

科技进步与环境适应性因素是影响监理效能充分展现的主要变量。当下建筑领域技术更新换代速度加快，BIM、装配式建筑、智能建造等新兴技术与方法的推广运用，对监理人员的专业知识方案提出更高标准。部分监理人员由于缺少系统的技术培训，难以精确识别新技术应用里的潜在隐患，导致技术管理环节存在监管空白。建筑项目的复杂程度不断提高，像超高层建筑、大型市政工程这类项目，其施工工艺的交叉性明显、环境影响因素众多。监理工作需要协调多方面的资源，并且要应对处于动态变化中的施工条件。但是传统监理模式所采用的流程化管理，难以符合复杂项目的灵活需求，容易导致技术管理和现场实际情况相脱节。另外外部条件像政策法规的动态变动、极端气候等不可抗拒因素，进一步增添监理工作的不确定性，要是监理团队缺少对环境改变的预判机制和应对方案，会直接影响施工技术管理的连贯性与有效性^[8]。

四、建筑工程监理作用优化的路径策略

（一）优化监理职能的强化路径

1. 监理职责明晰化策略

在建筑工程监理作用优化的路径办法中，对监理职能进行优化的强化途径要以明确监理职责为核心策略。通过制度完善清楚监理于施工技术管理里的职责范围，能够确实规避监理同施工单位、建设单位之间的权责含混问题。比如在施工方案审查、主要工序旁站、技术变更审核等流程中，要依靠法规或者合同条款明确监理的审批权限与监督职责，保证监理可以独立履行技术监督职能且不被其他主体干扰。权责适配机制的健全同样重要，要提供监理和其职责相符合的决策参与权以及问题处理权，例如对不满足技术规范的施工操作具备停工指令权，对技术方案的合理性具备否决权，这一机制的建立能够明显提高监理在技术管理里的权威性和执行力。职责明确化策略可降低管理流程里的推诿现象与低效沟通情况，让监理在技术管理时更精确地专注于质量把控、安全维护等主要环节，从而提高整体施工技术管理效能，为工程质量和安全提供更坚实的制度支撑^[9]。

2. 监理人员专业能力提升措施

优化监理职能的强化途径要重点于提高监理人员专业素养。

健全培训机制，搭建基础理论+实操技能+前沿技术三维课程方案，把BIM技术、绿色施工标准等列入必修单元，根据项目实例开展模拟操作，加强监理人员对复杂施工工艺的掌控能力。完善能力认证机制，建立动态评价体系，把技术管理素养列入考核领域，通过定期技术考核与项目绩效关联，促使监理人员不断学习。另外搭建行业技术交流的平台，推动监理人员分享施工技术管理方面的经验，建立知识互补的良好循环。这些措施可直接提高监理人员在施工技术方案审查、现场质量把控等方面的专业能力，加强监理职能在施工技术管理里的主要作用，为建筑工程的质量与安全提供更坚实的技术保障^[10]。

（二）施工技术管理流程优化路径

1. 技术管理流程整合方法

施工技术管理流程的优化要以流程整合作为核心，通过BIM、物联网等技术建立协同平台，整合设计交底、方案审核、工序验收等环节的数据，破除信息孤岛。通过整合技术标准体系和监理流程，确定各环节的技术指标以及监理介入的节点。比如在深基坑支护阶段，监理能够同时获取地质、设计、模拟以及实时监测的数据，迅速完成风险评估与决策。同时建立动态调节机制，按照施工进度与技术更改情况，由平台自动启动监理审核程序，降低人工传递的时间耗费，保证主要技术环节能够及时介入，提高技术管理的精准度与效能。

2. 质量控制机制完善策略

建筑工程监理作用的优化要从施工技术管理程序和质量控制体系两方面着手。在流程优化环节，监理需深入参与技术方案的审查工作，对主要工序的参数和工艺逻辑展开动态评估，以保证方案符合现场的实际工况；并且建立技术交底的闭环监督机制，通过旁站记录与工序验收的联动，避免技术执行出现偏差。在质量管控方面，要加强标准实施，引入BIM对比、传感器监控等智能化手段，实现质量数据即时采集分析，打破传统抽样检测的限制。通过智能数据建立质量预警体系，迅速对超差指标实施干预，同时优化验收程序，将隐蔽工程影像与检测数据关联存档，加强可追溯能力。这些方法能够减少管理冗余情况，降低质量方面的隐患，促使管理从依靠经验驱动转变为依靠数据驱动，提高精细化程度以及工程质量的可靠性。

（三）监管机制与外部保障优化

1. 监管制度完善与法规保障

监管制度健全与法规保障构成监理作用优化的主要支撑，要从法规修订和标准细化这两个方面推进。因为当前法规落后于技术进步的状况，需对《建设工程监理规范》进行修订，清晰界定监理在BIM、智能监测等数字化技术里的职责范围，把技术合规性审查归入法定程序。针对超高层建筑、地下工程项目等制定具有差异化的监理标准，进一步细化参数核查以及工艺监督方面的要求，以此来弥补通用标准存在的不足。健全的法规和标准可为监理工作提供明确根据，降低行为的随意性，促进管理的规范化。清晰的权责界定会推动监理单位积极提高技术水平，建立与技术更新相适配的监管机制，为工程质量和安全提供可延续的制度支撑。

2.激励机制与绩效评估设计

在监管机制和外部保障方面，要搭建多主体协作监管方案，整合政府、协会以及第三方的监督职责。依靠动态信息共享平台实现施工技术实时监测，同时健全行业准入和退出机制，严格审查资质以及人员执业水平，提供制度约束与外部保障。在激励机制和绩效评估领域，需建立以施工技术管理成果为核心的考核系统，包含技术审核精准率、旁站执行率以及隐患整改封闭率等量化指标。把考核成果和费用给付、信用评定以及职业发展挂钩，建立奖优罚劣机制。通过正向激励和反向约束，促使监理由被动监督转为主动服务，提高技术管理和风险预警的价值。

监督以及技术问题的及时纠正偏差，确实保障施工技术的规范性和工程质量的稳定性。在优化路径方面，通过提高监理人员技术能力、健全监理工作流程、采用信息化管理手段等措施，有效提高监理工作的精确性和效率。但是此项研究存在样本量较少、区域覆盖不够全面等局限，这或许会对结论的普适性产生影响。未来的研究能够融合 BIM、物联网等新兴技术，进一步完善动态监管机制，实现施工技术管理的即时化与智能化。在实际运用时，建议施工企业和监理单位强化协作，搭建技术共享平台，促使监理工作由被动监督转变为主动服务，从而符合建筑行业高质量发展的要求。

五、总结

研究表明监理通过对施工方案的审查、主要工序的现场旁站

参考文献

[1]冯晓宇.GY市疫情防控中数据治理优化路径探析[D].贵州大学,2023.
[2]郝俊逸.德国在欧盟能源转型中的领导角色与领导路径探析[D].山东大学,2022.
[3]王冠楠.潍坊市D镇信访工作的问题与优化路径探析[D].青岛大学,2022.
[4]耿斯文.软法在国际人道法中的作用探析[D].吉林大学,2022.
[5]周港.建筑工程施工进度数字化分析与优化研究[D].华北水利水电大学,2022.
[6]赵路辉.市政建筑工程质量与施工技术管理对策探析[J].化肥设计,2022,60(05):49-51.
[7]刘跃辉.建筑工程施工技术管理工作浅析[J].科技与企业,2014,(04):186.
[8]林小林.建筑工程监理中存在的问题及对策与发展[J].中华建设,2022,(08):31-33.
[9]王斌.建筑工程监理在施工现场协调中的策略研究[J].工程与建设,2024,38(02):486-488.
[10]杜伟,鲁亚军.建筑工程现场施工中安全与施工技术管理分析[J].工程建设与设计,2022,(20):248-250.

建筑工程施工成本控制方法与实践分析

王巨臣

安徽建工三建集团有限公司, 安徽 合肥 230001

DOI:10.61369/ADA.2026010060

摘 要： 建筑工程施工成本管控作为确保工程经济收益、促进项目顺利推进的主要要点，其重要意义体现于对整个项目全生命周期资金流动的精准化管理。影响成本的要素繁多，这些难题若未恰当应对，容易造成成本超出预算以及项目延期。预算管控注重从项目起始阶段便开展科学预估与动态调控，保证资金规划符合、合同管理合规。信息化管控运用 BIM 技术，实现成本数据的即时采集与分析，提高决策的透明度和精准度。合理运用这些方法能够明显降低成本的无谓消耗，这不但促使施工项目在经济方面实现成本节省与利润最大化，而且在管理方面优化组织架构、加强团队合作，实现双提高的目标。促进施工项目在经济与管理方面实现双重提高，帮助建筑企业实现可持续发展。

关 键 词： 建筑工程；施工成本；成本控制；施工管理；经济效益

Methods and Practical Analysis of Construction Cost Control in Building Projects

Wang Juchen

Anhui Construction Engineering San Jian Group Co., Ltd. Hefei, Anhui 230001

Abstract： Construction cost management constitutes a principal mechanism for safeguarding project economic viability and ensuring orderly project progression, with its significance embodied in the precision management of capital flows throughout the complete project lifecycle. Given the multitude of cost-influencing variables, inadequate resolution of these challenges may precipitate budgetary exceedances and schedule overruns. Budgetary governance prioritizes the initiation of scientifically grounded estimation and dynamic adjustment protocols from the project inception phase, thereby ensuring alignment of financial planning with budgetary parameters and regulatory compliance in contract administration. Digital governance, facilitated through Building Information Modeling (BIM) technology, enables the synchronous acquisition and analytical processing of cost data, augmenting both the transparency and precision of decision-making processes.

Keywords： construction engineering; construction cost; cost control; construction management; economic benefits

引言

随着建筑行业规模不断扩大，施工成本在项目管理中占据核心地位，成本管控既关系到工程的经济效益，也直接影响企业的竞争力和可持续性发展。在施工阶段，像材料损耗、工艺不佳、管理不标准等情形容易导致成本上升，对成本构成展开系统分析并寻找优化办法，探索科学合理的控制对策，能够提高施工效率、减少不必要的花费，为建筑项目的高效管控提供实践参考。

一、建筑工程施工成本构成与影响因素分析

建筑工程施工成本的科学管控，是建筑工程管理中非常主要的一部分，会直接影响工程的经济效益以及项目的顺利推进。对施工成本的组成和影响因素展开深入分析，有助于提出有针对性的管控策略，从而提高施工管理质量^[1]。

（一）施工成本的基本构成

施工成本主要分为直接成本和间接成本两部分，直接成本包

括人工费、材料费和机械使用费。其中人工费在施工成本里通常占比较大，材料费涉及采购、运输以及损耗等多个方面，机械使用费包含设备折旧、燃料以及维护等费用，对设备进行合理调度和保养有助于降低成本。间接成本主要涉及施工管理费、工程保险费、临时设施费以及安全环保费，尽管这部分成本并非直接在施工环节产生，但对工程整体经济性有着重要作用。全面掌握成本构成是实施有效管控的基础，能为后续优化策略提供数据支持。

作者简介：王巨臣（1990.03-），男，汉族，安徽淮北市人，本科，工程师，从事建筑施工、造价方面的研究。

（二）成本影响的主要因素

施工成本受多个因素影响，项目大小、工期约束和施工复杂程度是其中的重要因素。大型工程往往材料需求数量多、人工投入量大，成本负担相应增加。紧张的工期易引发加班现象和机械高强度运行，进一步使费用增多。施工技术难度高或者地质状况复杂的项目，施工工艺调整较为频繁，材料损耗量较大，也会导致成本提高。市场因素像材料价格变动、劳动力成本上涨以及政策法规改变，都会对施工成本产生直接或间接的影响。管理水准也相当主要，信息存在不透明、计划缺乏科学性以及沟通存在不畅等情况，容易造成资源浪费和成本超出预算。识别这些影响要素，有助于有针对性地实施控制措施。

（三）成本控制的关键环节

在工程施工阶段，成本管控要贯穿项目起始、施工进度直至收尾环节。项目起始阶段，需通过预算规划、施工方案改良和合同管控明确成本职责。施工进度中，要加强材料管理、合理调配机械、科学安排人力，并利用信息化措施开展实时监督。收尾环节通过结算审核、成本查验以及经验归纳，保证成本开支符合预算目标。建立标准化、制度化的管控体系，能够有效降低成本损耗，同时提高施工效率和资源利用效率。从长远视角看，形成可复制的管理经验，能为企业在不同类型项目里维持经济性提供支撑^[2]。

二、施工成本控制的主要方法与策略

施工成本管控是建筑工程管理的主要要点，基于科学手段和合理措施，可实现资源配置的优化，减少非必要的支出，从而提高项目的经济效益以及施工管理水平。

（一）预算与计划管理

施工预算与计划管理搭建起成本控制的基础，精确编制施工预算，确定各项成本的指标，能够提前知晓可能的支出与风险。施工计划要结合工程的特性、工期的要求以及资源配置的情况，科学地规划工序和施工的顺序，避免重复作业和资源闲置。定期对预算执行情况进行跟踪分析，及时发现偏差并采取纠正措施，有助于实现成本的动态控制与优化。完善的预算和计划体系能够在项目的各个阶段提供清晰的成本导向，为其他控制方法奠定坚实基础。

（二）材料与设备优化

物资与设备管理属于成本控制最为直接的一个环节，材料采购需遵循计划性、集中性和合理性的原则，选择性价比高的供应商并建立长期合作关系，从而降低采购成本和运输费用。施工现场要严格管控材料使用，减少损耗和浪费，同时建立材料台账进行动态管理。在设备方面，合理调度施工机械，定期开展维护与检修，能够延长设备使用寿命，减少故障停机时间和燃料消耗。在实际操作中，将信息化管理与材料设备优化相结合，可以实现实时监控和精准调配，有效提高施工效率并降低成本开支。

（三）信息化与绩效考核

信息化管控与绩效考核属于现代施工成本把控的主要措施，

运用项目管理软件、BIM技术以及成本监测系统，能够实现施工全流程的数据收集、分析与预警，提高管理的透明度与决策的效率。绩效考核把成本控制目标和施工团队的职责联系起来，激励施工单位合理运用资源、管控开支，通过定期考核和反馈机制，促进持续改进。信息化与绩效考核相互结合，不但能够提高施工的经济性，而且能够形成可复制、可持续的管理经验，为企业在不同项目里维持竞争力提供有力支撑^[3]。

（四）BIM技术在设计阶优化

在建筑工程管理阶段，设计时期是整个项目的重要环节，对项目成本起着决定性作用。BIM技术于设计阶段的运用可提供全方位的信息支撑与协同作业平台，进一步提高设计效能、降低差错与冲突，还能优化工程量及成本预估。这一部分会着重说明BIM技术于设计阶段的三项主要应用，分别是3D建模与可视化显示、碰撞检测及冲突化解，还有工程量与成本预估。

BIM技术于设计阶段的首要运用是基于建立三维模型实现建筑项目的可视化。以往的二维图纸难以真切地显示建筑项目的空间关联与细节，而BIM模型可提供立体的视角，让设计师及相关从业者更清晰地领会和交流设计意图。基于BIM技术，设计团队能够建立精准的建筑模型，包括建筑结构、设备、材料等各类要素，进一步实现对整个项目的全面管理与把控。

在规划设计阶段，不同专业的设计小组同步开展工作，各个小组都具备自身的设计要求与限制。这便容易引发设计方面的冲突与碰撞问题。BIM技术基于建立一个整合的模型，能够开展碰撞检测与冲突化解。基于模型里的数据与信息，BIM技术可自动识别不同要素间的冲突，且给出解决办法。这种自动化的碰撞检查与冲突处理可降低错误与纠纷，提高设计品质和效能^[4]。

在规划设计环节，精准地预估工程量与成本非常主要。传统的估计办法通常依靠繁杂的人工计算与估算，易产生错误和偏差。BIM技术能够根据模型里的数据与信息，自动开展工程量和成本的估算。基于与现存数据库以及工程量表的对接，BIM技术可实现工程量的精准计算，并且根据预先设定的价格和成本模型开展成本估算。如此能够提高估算的精确性，降低人为的差错与漏算，为项目的预算管控提供可信的凭据。

三、成本控制实践效果及管理经验总结

成本管控实践是检验策略有效性的要点，更是提高工程经济收益的重要体现，结合真实的建筑工程实例，能够更直观地体会成本管控办法在实际施工中的应用效果与管理经验。

（一）固镇县农业科技产业园EPC项目成本控制实践

固镇县农业科技产业园区项目，为固镇县城投融资兴建的主要项目，依靠精细化成本管控取得良好成效。施工期间项目管理团队引入动态预算模式与全过程成本跟踪体系，针对材料采购、工程进度、机械设备调配实施实时管控。特别是在材料采购和物流安排方面，基于集中采购以及与长期合作供应商的合作关系，降低材料成本波动引发的风险。施工现场建立多部门协同机制，各专业施工队伍按节点分工明确，运用信息化管理平台对成本数

据和进度数据开展联动分析，及时察觉成本偏差并调整策略。

（二）固镇县汉城源筑中型住宅项目精细化管理案例

该项目建立全生命周期的成本管控体系，运用 BIM 和成本管理系统，实现较为可观的成本节省效果。项目实施钢筋优化设计、集中采购以及标准化施工方案等措施，在施工环节节约大约 180 万到 300 万元的成本。严格把控材料的验收与使用，防止出现浪费和损耗情况。基于数字化平台对施工进度和资源配置进行实时监测，提高劳动力和设备的利用效能。对于变更和签证采用闭环流程，避免因随意变更而产生额外的费用支出。通过对施工数据的分析，为后续项目提供经验参考和优化策略，彰显精细化管理在实际应用中的优势。

项目启动之初基于 BIM 软件建立一个三维模型，包括建筑结构、管道体系、电气线路等多个方面的信息。在模型里设定各个施工工序的时长与资源要求，且和进度计划体系开展对接。基于模型与进度计划开展对比和分析工作，能够对施工进度状况实施实时监控，还可进行进度的优化和调整。

施工队伍基于 BIM 模型开展施工流程的协调与监控。把各个专业的模型汇聚至一个统一模型里，开展碰撞检测与冲突处理。根据模型里的数据，能够找出并处理潜在的矛盾与难题，降低差错和重复劳作。此外基于模型实现施工流程的可视化显示与实时监管，帮助施工队伍把控施工进度状况，迅速调整工作规划。

（三）固镇农业科技产业园项目隐蔽工程现场动态管控经验

在固镇农业科技产业园项目建设进程里，造价咨询团队在结算审核环节积极开展现场动态巡查工作。在这一时期，团队察觉多个施工隐蔽部分未严格根据设计图纸或者合同规定来执行，比如外墙热镀锌钢丝网铺设存在间距不一致、固定不稳固等状况，电梯井防水施工的涂层厚度和工艺也未达到规范标准。针对这些未符合约定的施工项目，团队根据合同相关条款以及现场实际测量数据，对所涉及的费用开展合理核减，确实把控造价。

该项目属于 EPC（设计、采购、施工）模式的工程，初始的道路设计方案采用白加黑结构，即灰土基层、水稳层和沥青面层的搭配。为实现施工期间工程车辆高效通行的需求，同时实现永久道路与临时道路的最大程度融合，在设计阶段对方案进行优

化：将原有的灰土层替换为碎石基层，同时增加水稳层的厚度，并在其上增铺 30 厘米厚的混凝土面层。项目进驻现场后，先开展该永久性道路的施工，随后进行主楼的建设工作。累计减少临时道路占地 8500 平方米，共计节约临设混凝土 1000 立方米，节省费用 35 万元。

为从起始端强化工程质量的管理以及成本的管控，团队更进一步建立隐蔽工程专门检查制度。此制度清晰规定要针对每一项主要工序开展节点验收，且细致留存影像、测量记录等过程性资料，以保证所有操作具备可追溯性。与此同时团队会把现有的 BIM 模型和现场施工日志开展系统性的对比分析，基于三维模型直观地核查施工进度以及工艺是否符合设计要求，及时察觉并预警潜在的差异。这一系列行动——包括严格的现场实时核查、基于合同的结算审查以及常态化的隐蔽工程验收办法——一同形成贯穿全流程的管控系统，有效确保项目施工质量与设计及合同规定的高度相符，也为后续工程结算提供真实、可信的凭据。

上述事例从大型标志性建筑、精准化管理住宅项目以及现场实时核查等不同方面^[5]，展现多种成本管控实践的具体措施和成效，实践表明预算实时管理、合同与变更的闭环流程、信息化工具运用以及现场巡查机制，是加强成本管控效果的主要因素，其共同目标在于降低浪费、提高资源利用效能，保障工程按照预定经济指标开展。

四、结语

施工成本管控贯穿于建筑工程的整个生命周期，是提高项目经济收益与管理水准的主要要点。采用预算管控、材料设备优化、施工工艺改革、信息化措施以及绩效考核等方式，能够有效降低成本损耗，提高资源利用效能。实践案例显示，动态成本追踪、精细化管理以及现场核查机制可以有效把控支出、确保工程质量，为企业积累可复制的管理经验。科学的成本管控策略不但可以提高项目的经济性，还能够帮助建筑企业在竞争激烈的市场环境里维持竞争力，实现可持续发展。

参考文献

- [1] 赵寰. 建筑工程施工成本控制方法及要点分析 [J]. 住宅与房地产, 2020, (06): 28-29.
- [2] 梁波. 建筑工程施工成本控制探讨 [J]. 散装水泥, 2024, (05): 178-180.
- [3] 梁欢. 建筑工程项目成本控制方法及实践效果评估 [C]// 重庆市大数据和人工智能产业协会, 重庆建筑编辑部, 重庆市建筑协会. 智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集 (二). 湖北麻一建设集团有限公司, 2025: 710-713.
- [4] 黄志成, 吴永良. 建筑工程施工现场管理中 BIM 技术的应用分析 [J]. 住宅与房地产, 2023, (29): 90-93.
- [5] 李玉玲. 建筑工程造价管理中的 BIM 技术应用分析 [J]. 房地产世界, 2021, (23): 78-80.

双柱式花瓶墩施工技术控制要点探析

肖融和, 邹赛军

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ADA.2026010065

摘 要 : 双柱式花瓶墩凭借造型美观、受力合理、通透度高、景观效果好等特点, 在城市高架桥、互通立交、快速通道等桥梁工程中得到广泛应用。由于其墩身呈曲线渐变形态, 顶部与盖梁平滑衔接, 且双柱并列、同步对称、相对位置精度要求极高, 施工精度、模板刚度、混凝土外观质量及线形控制要求远高于普通矩形墩、圆柱墩与单柱花瓶墩。施工过程中易出现线形不顺滑、墩身偏位、双柱间距超标、不对称扭曲、模板胀模、混凝土蜂窝麻面、裂缝、保护层厚度不足等质量通病。本文结合工程实践, 从施工准备、测量控制、模板工程、钢筋工程、混凝土工程、双柱同步对称与相对位置控制、线形与外观控制、安全文明施工等方面, 系统阐述双柱式花瓶墩全流程施工技术控制要点, 针对易出现问题提出专项防控措施, 可为同类桥梁花瓶墩施工提供技术参考与实践依据。

关 键 词 : 双柱式花瓶墩; 施工技术; 模板控制; 混凝土质量; 线形控制; 同步对称控制; 桥梁施工

Exploration of Key Technical Control Points in the Construction of Double-Column Vase-Shaped Piers

Xiao Ronghe, Zou Saijun

Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co.,Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : Double-column vase-shaped piers are widely used in bridge projects such as urban viaducts, interchanges, and expressways due to their aesthetic appearance, rational load-bearing capacity, high transparency, and excellent landscape effect. Given their curved, gradually changing pier body, smooth connection between the top and the cap beam, as well as the extremely high precision requirements for the synchronous and symmetrical arrangement and relative positioning of the double columns, the construction accuracy, formwork stiffness, concrete appearance quality, and alignment control requirements are significantly higher than those for ordinary rectangular piers, cylindrical piers, and single-column vase-shaped piers. During construction, common quality issues such as misaligned alignment, pier body displacement, excessive spacing between double columns, asymmetric distortion, formwork bulging, honeycombing and pitting of concrete, cracking, and insufficient protective layer thickness are prone to occur. Based on engineering practice, this paper systematically elaborates on the key technical control points throughout the entire construction process of double-column vase-shaped piers, covering aspects such as construction preparation, measurement control, formwork engineering, reinforcement engineering, concrete engineering, synchronous and symmetrical control and relative positioning of double columns, alignment and appearance control, as well as safe and civilized construction. Special preventive measures are proposed for easily encountered problems, providing technical references and practical bases for the construction of similar bridge vase-shaped piers.

Keywords : double-column vase-shaped piers; construction techniques; formwork control; concrete quality; alignment control; synchronous and symmetrical control; bridge construction

前言

在实际施工中, 因模板刚度不足、加固不到位、浇筑不同步不对称、双柱相对位置失控、振捣不密实、养护不及时等原因, 常导致墩身线形偏差、外观缺陷、双柱不协调、结构受力不均、结构裂缝等问题, 不仅影响桥梁整体观感, 还会降低结构耐久性与安全储备。因此, 开展双柱式花瓶墩施工技术控制要点研究, 梳理关键工序、明确控制指标、优化施工工艺、强化过程管控, 突出双柱同步、对称、等距、同线形核心要求, 对提升工程质量、保障结构安全、打造精品工程具有重要现实意义。本文结合现场施工经验, 对花瓶墩施工全过程控制要点进行系统梳理与深化分析, 形成可直接应用于工程实践的技术体系。

一、双柱式花瓶墩施工前期准备与总体流程

（一）施工准备控制要点

1. 技术准备：熟悉施工图纸与设计规范，复核墩身坐标、高程、曲线半径、双柱中心距、平行度及钢筋布置参数，编制专项施工方案并进行技术交底；对双柱整体线形进行三维建模，确定模板分段尺寸与双柱联动控制点坐标，避免线形偏差与相对位置偏差。

2. 测量控制：采用全站仪、水准仪建立平面与高程控制网，精确测设墩身中心位置、双柱中心距控制线、平行度控制线、立柱边线、盖梁轴线及标高控制点，做好标记与复核，确保双柱定位与相对位置一次成型。

3. 原材料控制：钢筋、水泥、砂石、外加剂等进场需具备合格证与检测报告，按规范抽检复试；混凝土配合比根据墩身高度、截面形式及外观要求专项设计，保证和易性、流动性与保水性，满足清水混凝土外观标准。

4. 场地与设备准备：平整施工场地，合理布置钢筋加工区、模板堆放区与混凝土浇筑作业面；检查调试塔吊、双泵/双管路泵送系统、振捣器、养护设备等，确保工况稳定。

（二）总体施工工艺流程

施工准备→测量放线（双柱中心距与平行度同步放线）→桩基/承台顶面凿毛与处理→双柱钢筋同步绑扎→双柱模板整体支设与联动加固→模板验收→双柱对称同步混凝土浇筑→振捣密实→养护→拆模→盖梁施工→成品保护→验收。双柱式墩身必须对称施工、同步浇筑、同步监测，严禁单柱先行、单侧滞后，避免受力不均导致双柱偏位、间距超标、整体扭曲。

二、双柱式花瓶墩关键工序施工控制要点

（一）模板工程控制核心要点

模板是决定花瓶墩线形、尺寸精度与外观质量的核心工序，双柱式还需控制双柱相对位置与整体稳定性，也是最容易出现问题的环节。花瓶墩曲面渐变、截面不规则，双柱并列要求模板刚度与整体性更高，必须采用双柱配套定型钢模板，严禁使用普通组合钢模或木模，避免出现拼缝不严、变形漏浆、线形不顺、双柱不对称等问题。

模板设计与加工应满足强度、刚度、稳定性要求，面板厚度不宜小于6 mm，背肋采用槽钢或方钢管，间距按混凝土侧压力计算确定，一般不大于30 cm。双柱模板同厂加工、同批试拼、同套参数，确保曲面半径、分段高度完全一致。模板分段应结合墩身高度与曲线形态，尽量减少拼缝，拼缝处设置高密度橡胶条，保证拼接严密、不漏浆。模板出厂前应进行双柱整体试拼，检查平整度、拼缝高差、曲面顺滑度、双柱中心距与平行度，整体线形偏差不得大于2 mm。

模板安装前必须进行打磨除锈，清除浮锈、油污、混凝土残渣，然后均匀涂刷专用脱模剂，双柱脱模剂涂刷工艺与用量完全一致，严禁使用废机油、柴油等易造成混凝土色差、起皮的材

料。安装时按照测量放线位置就位，双柱同步就位、同步调整，先安装柱身直线段，再安装花瓶渐变段，最后安装顶部与盖梁衔接段，确保上下对接顺直、曲线流畅、双柱对称一致。模板对接缝应避开曲线拐点位置，减少外观缺陷。

模板加固是控制胀模、偏位、双柱外撇/内收的关键，应采用**“双柱对拉+整体抱箍+水平连接杆+斜向支撑”联合加固体系**。对拉螺栓应设置套管，保证拆模后可抽出，孔眼整齐美观。双柱抱箍间距、拧紧力矩完全一致，防止局部受力不均。双柱间设置水平连接杆与剪刀撑，形成空间稳定框架，模板外侧设置斜向支撑与揽风绳，保持整体稳定。安装完成后采用全站仪与垂线双向校正，轴线偏位 $\leq 10\text{ mm}$ ，墩身垂直度偏差 $\leq H/1000$ 且 $\leq 5\text{ mm}$ ，双柱中心距偏差 $\pm 5\text{ mm}$ ，双柱平行度偏差 $\leq 3\text{ mm/m}$ ，截面尺寸偏差控制在 $\pm 5\text{ mm}$ 以内。

预留预埋必须在模板封闭前完成，包括泄水孔、检查孔、防雷接地、支座预埋件、监测元件等，双柱预埋件位置、高度统一，采用定位架固定牢固，位置准确，防止浇筑过程中移位、偏斜。模板验收合格后方可进行混凝土浇筑。^[1]

（二）钢筋工程控制要点

钢筋工程直接影响结构受力安全，双柱钢筋骨架尺寸、间距、垂直度需保持一致，必须严格按图施工，确保尺寸、间距、连接、保护层厚度满足规范要求。

钢筋加工应在专用场地进行，按图纸尺寸下料、弯曲、成型，弯钩角度、平直长度符合规范要求。箍筋、拉筋应方正，曲线段钢筋应按花瓶线形提前放样加工，双柱曲线段钢筋同批次、同模具加工，避免现场强行弯曲造成应力集中。钢筋接头宜采用机械连接或焊接，接头质量必须满足验收标准，同一截面积头数量不超过50%，错开距离不小于35d。

钢筋安装时，先对承台预埋钢筋进行校正、除锈，然后双柱同步绑扎立柱竖向钢筋与箍筋，形成整体骨架。骨架应具有足够刚度，必要时设置内撑筋，防止绑扎过程中倾斜、变形。双柱钢筋间距、保护层厚度、骨架垂直度保持一致，钢筋绑扎间距均匀，扎丝朝内，不得外露，避免后期锈蚀影响外观。^[2]

保护层控制是钢筋工程重点，应采用高强度混凝土垫块或塑料垫块，强度不低于墩身混凝土强度，按梅花形布置，间距不大于1 m。曲线段、拐角部位适当加密，确保保护层厚度偏差在 $\pm 5\text{ mm}$ 以内，防止露筋、裂缝。双柱垫块数量、位置、厚度统一，避免外观差异。

预应力管道、预埋件、防雷设施等应与钢筋同步安装，定位准确、固定牢固，避免与钢筋发生冲突。钢筋安装完成后，重点检查骨架尺寸、垂直度、间距、保护层、预埋件位置、双柱相对位置，验收合格后方可进入下道工序。

（三）混凝土工程控制要点

混凝土施工是保证花瓶墩结构密实、外观光洁、无裂缝的关键工序，双柱式必须严格执行双柱同步、对称、等速、等高浇筑原则，必须严格执行分层、对称、匀速、振捣到位的原则。花瓶墩多为外露结构，通常按清水混凝土标准控制，对浇筑、振捣、养护、拆模全流程提出更高要求。

浇筑前应彻底清理模板内杂物、灰尘与积水，用高压水枪冲洗干净并润湿模板表面，不得存在明显积水。混凝土到场后，现场专人检测坍落度、扩展度、入模温度，夏季入模温度不宜高于35℃，冬季不宜低于5℃，不符合要求的混凝土坚决退场，严禁现场加水调整。浇筑采用双泵/双管路对称泵送施工，当混凝土自由下落高度超过2m时，必须安装串筒、溜管或溜槽，防止混凝土下落过程中骨料分离、出现离析，造成墩身蜂窝、麻面、露骨等缺陷。^[3]

双柱式花瓶墩必须坚持双柱对称、同步浇筑，严格控制两侧浇筑高差不大于30cm，双柱浇筑层厚、推进速度完全一致，避免单侧混凝土侧压力过大导致模板整体偏移、墩身倾斜、双柱间距与平行度失控。分层厚度严格控制在300~500mm，分层均匀向上推进，在花瓶渐变段、倒角、拐角等特殊部位适当放缓浇筑速度，保证气泡充分排出。浇筑过程中设专人观测模板、对拉螺栓、抱箍及支撑体系，每30cm高度复核一次双柱垂直度、中心距、轴线偏差，发现变形、松动、漏浆等情况立即停止浇筑，采取加固、堵漏、校正等措施，处理完成后方可继续施工。^[4]

振捣作业实行定人、定位、定序，双柱振捣人员、设备、工艺一致，采用插入式振捣器，快插慢拔，振捣至混凝土表面泛浆、不再明显下沉、无气泡溢出为止。振捣点按梅花形布置，间距控制在振捣器作用半径的1.5倍以内，一般为300~400mm。重点加强墩身边角、曲线渐变段、钢筋密集区振捣，防止漏振产生空洞、蜂窝；同时避免过振造成砂浆上浮、石子下沉、表面泌水，影响外观质量。振捣器不得直接触碰模板、钢筋及预埋件，防止模板变形、钢筋移位、预埋偏位。

混凝土浇筑至顶部时，需进行二次振捣与二次收面，消除表面沉降裂缝，双柱顶面高程统一控制，顶面高差 $\leq 3\text{mm}$ ，保证顶面平整、密实、标高准确，为后续盖梁施工提供良好界面。浇筑完成后及时做好施工记录，包含浇筑时间、方量、坍落度、天气、作业人员等信息，便于质量追溯。

养护与拆模直接决定混凝土强度增长与外观质量。花瓶墩混凝土浇筑完成后3~6小时内开始养护，先覆盖土工布、保湿棉或塑料薄膜，洒水保持持续湿润，养护时间不少于7天，掺用缓凝型外加剂或有抗渗要求时不少于14天。双柱养护方式、覆盖材料、洒水频率完全相同，夏季高温施工采取遮阳、降温、间断补水措施，避免暴晒干裂；冬季施工采取覆盖保温棉被、蓄热养护，防止受冻。

拆模时间依据同条件养护试块强度确定，非承重侧模强度达到2.5MPa后方可拆模，一般为浇筑后1~2天，具体以现场试块为准。双柱同步拆模，遵循先支后拆、后支先拆、自上而下、轻撬慢拆原则，严禁暴力敲击、硬碰硬砸，防止损伤墩身棱角、破坏混凝土表面。拆模后立即继续养护，并对墩身进行全面外观检查，发现气泡、砂线、微裂缝等小缺陷及时用同配比砂浆修补，双柱外观色泽、光洁度保持一致，保证整体外观色泽一致、光洁顺滑。^[5]

三、施工质量通病防治与安全文明施工控制

（一）常见质量通病及防控措施

双柱式花瓶墩施工中易出现线形不顺、胀模、偏位、双柱间距超标、平行度超标、外观不协调、蜂窝麻面、裂缝、保护层不足、外观色差等通病，需针对性采取预控措施。

1. 墩身线形不顺、曲面折角、双柱线形不对称：主要原因是模板加工精度不足、拼接不顺、加固不牢、双柱模板不一致。防治措施为采用双柱配套定型钢模、工厂预制、整体试拼；安装时逐点校准，加密抱箍与支撑，双柱同步调整，浇筑过程动态监测。

2. 模板胀模、漏浆、跑模、双柱外撇/内收：多因对拉螺栓间距过大、抱箍松动、面板刚度不足、双柱未整体加固。防治措施为按侧压力计算确定螺栓间距，抱箍均匀加固，双柱力矩一致，拼缝设橡胶条，设置双柱连接杆与整体抱箍，使用前全面检查紧固度。

3. 墩身垂直度超标、轴线偏位、双柱间距/平行度超标：多由测量误差、不对称浇筑、支撑失效造成。防治措施为执行双检制，精准放线；双柱对称同步浇筑，高差不大于30cm；设置风缆与斜向支撑，双柱间设剪刀撑，保证体系稳定。

4. 混凝土蜂窝、麻面、空洞：主要因漏振、下料过高离析、模板漏浆。防治措施为严格分层振捣，控制下料高度，串筒导流；模板拼缝密封，加强钢筋密集区振捣。

5. 表面裂缝、干缩裂缝：多因养护不及时、拆模过早、内外温差大。防治措施为浇筑后及时覆盖保湿，严格按强度拆模，高温与低温季节采取温控措施。

6. 保护层偏差、露筋：主要因垫块不足、钢筋移位。防治措施为高强度垫块梅花形布置，间距 $\leq 1\text{m}$ ；钢筋骨架设置内撑，保证整体刚度。

7. 外观色差、色斑、双柱外观不一致：主要因原材料不一致、脱模剂不均、养护不到位、双柱不同步养护拆模。防治措施为固定料源、固定配合比；专用脱模剂均匀涂刷；双柱同工艺养护、同步拆模，全程保湿养护。

（二）施工安全控制要点

双柱式花瓶墩多为高空作业，双柱协同作业风险叠加，安全风险突出，必须落实全方位安全管控。

高空作业安全：墩身作业平台满铺脚手板，设置1.2m高防护栏杆与18cm高挡脚板，外挂密目安全网；人员佩戴安全带、安全帽、防滑鞋，安全带高挂低用；严禁抛掷工具、材料。

模板与支撑安全：模板吊装设专人指挥，吊点牢固，双柱模板整体吊装时均衡受力，严禁斜吊、超载；支撑体系连接可靠，风缆绳拉紧固定，防止大风倾覆。^[6]

用电与机械安全：施工现场实行“三级配电、两级保护”，振捣器、电焊机等设备绝缘良好；塔吊、泵车、振捣设备定期检查，专人持证操作，严禁违章作业。

防汛防风与应急：高温、大雨、大风（六级及以上）天气停止高空与吊装作业；制定模板坍塌、高空坠落、触电等应急预案

案，定期演练，配备应急物资。

（三）文明施工与环保控制

施工现场硬化处理，材料分区堆放，钢筋、模板码放整齐；混凝土浇筑时设置沉淀池，废水经处理后排放；施工垃圾及时清理，做到工完场清。减少噪声、扬尘污染，合理安排浇筑时间，提升城市桥梁工程文明施工形象。

四、双柱式专属质量验收双控指标

双柱中心距： $\pm 5\text{mm}$

双柱平行度： $\leq 3\text{mm/m}$

双柱顶面高差： $\leq 3\text{mm}$

双柱线形顺直度： $\leq 2\text{mm/全长}$

双柱外观色差：无色差、无明显明暗差异

结语：双柱式花瓶墩是集结构安全、线形精度、外观质量、双柱同步对称与相对位置精度于一体的城市桥梁典型结构，施工控制核心集中在模板工程、钢筋工程、混凝土工程、双柱协同控制、线形控制、外观保护六大关键环节。其施工难度远高于普通墩柱与单柱花瓶墩，必须以技术方案为引领、以过程管控为核心、以精细操作为保障，严格执行规范标准，落实对称施工、同步浇筑、整体加固、动态监测、全程养护、双控验收等关键措施，才能有效预防线形偏差、胀模、蜂窝、裂缝、双柱偏位、间距超标、外观不协调等质量通病。

在实际工程中，应结合墩身高度、曲线形式、双柱间距、现场条件不断优化工艺，推广定型化、标准化、数字化施工技术，强化工序验收与过程监督，全面提升双柱式花瓶墩施工质量，确保结构安全耐久、外形流畅美观、双柱协调统一，为打造高品质城市桥梁工程提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1] 中交第一公路工程有限公司. 公路桥涵施工技术规范 (JTG/T 3650-2020) [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.
- [2] 叶见曙. 结构设计原理 (第四版) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- [3] 李一鸣. 城市高架花瓶墩施工工艺与质量控制 [J]. 交通世界, 2023 (12): 112-114.
- [4] 王健. 双柱式花瓶墩模板施工与线形控制技术 [J]. 工程技术研究, 2022, 7 (8): 135-136.
- [5] 张磊. 桥梁墩柱混凝土外观质量控制要点探析 [J]. 四川建材, 2021, 47 (5): 156-157.
- [6] 刘辉. 高架桥梁花瓶式墩身施工技术研究 [J]. 智能城市, 2020, 6 (18): 178-179.

道路桥梁悬臂浇筑线形控制技术应用

张东升

宣汉县公路（水运）质量监督站，四川 达州 636150

DOI:10.61369/ADA.2026010067

摘 要： 大跨度预应力混凝土连续梁桥悬臂浇筑施工中线形偏差控制的技术难点是出发点，本文系统分析了线形控制技术的适用性基础与实行要点，深度分析了挂篮变形、混凝土收缩徐变、温度效应及预应力张拉等关键因素，给出了依据实时监测以及动态修正的线形控制技术方案。研究融合工程实践需求，建立了施工监测体系与数据反馈机制，形成了从理论分析到技术实现的完整应用途径，给同类桥梁工程线形精度控制给予了可操作的参照依据。

关 键 词： 悬臂浇筑；线形控制；施工监测；精度管理

Application of Linear Control Technology in Cantilever Casting of Road and Bridge

Zhang Dongsheng

Xuanhan County Highway (Waterway) Quality Supervision Station, Dazhou, Sichuan 636150

Abstract： This paper looks at the trouble of keeping line alignment right when building long span prestressed concrete continuous girder bridges with cantilever casting. It explains why line control methods work and how to put them into practice. By looking closely at main factors like formwork carriage deformation concrete shrinkage and creep temperature effects and prestress tensioning a linear control technical scheme using real time monitoring and dynamic adjustment is put forward. Tied to what engineers actually need on site, this study sets up a construction monitoring system and a way to feed data back, building a full path that goes from theory straight to real world use, giving other bridge projects something practical to follow when they try to control linear precision.

Keywords： cantilever casting; linear control; construction monitoring; precision management

引言

大跨度预应力混凝土桥梁施工工艺的分析表明，悬臂浇筑施工期间的线形控制精度直接决定成桥后的结构内力分布以及行车平顺性，桥梁跨径一直增大，施工阶段的不确定因素对线形的作用愈发明显，传统依托经验修正的施工形式已比较难满足现代桥梁工程对精度控制的严苛要求。线形控制技术凭借建立监测体系以及计算模型的联动机制，完成施工偏差的提前预判以及实时修正，变成保障桥梁施工质量的核心手段，本文围绕悬臂浇筑线形控制技术的适用性分析、关键技术要素及实施方案展开论述，意在形成系统化的技术应用框架。

一、悬臂浇筑线形控制技术的适用性分析

（一）大跨度桥梁施工精度控制的必要性分析

现代公路桥梁建设发展的领域，连续刚构桥与连续梁桥的跨径已大量地突破100m，部分工程的主跨到了200m以上，在此类大跨度结构的内部，悬臂浇筑施工一般分为20至40个节段，每个节段的施工偏差都会累积且传递至后续节段，最终干扰合龙的精度以及桥面的线形。成桥后的线形偏差不仅使得桥面铺装的厚度不均，增多材料的用量，更会在结构的内部产生附加的内力，改变设计的受力状态，在长期的运营阶段可能引发裂缝扩展等病

害，故此，建立系统化的线形控制技术体系，把施工偏差控制在允许的范围，是保证桥梁结构的安全性以及耐久性的基础前提^[1]。

（二）悬臂浇筑工艺对线形影响的敏感性研究

悬臂浇筑施工利用挂篮承担重量并给予作业平台，混凝土浇筑、预应力张拉及挂篮前移等工序中，结构体系持续地转换，混凝土浇筑后，挂篮前端出现竖向的弹性变形，变形量同浇筑混凝土重量及挂篮刚度有关，一般在15mm至35mm范围内。若未准确地计算此变形且设置预拱度，已浇筑梁段会偏离设计标高，另外，混凝土由浇筑至预应力张拉完成期间，材料自身发生收缩以

及徐变变形，让梁段标高不停地改变，研究表明，单个节段在28d内的收缩徐变变形可达8mm至12mm，累积效应不可忽视。温度变化引起的梁体热胀冷缩同样作用明显，昼夜温差使得悬臂端竖向位移可达10mm至20mm，上述因素互相叠加，让悬臂浇筑施工在线形控制上具备高度的敏感性，必须借助技术手段开展系统的管理^[2]。

二、悬臂浇筑线形控制的关键技术

（一）挂篮结构变形监测与修正技术

悬臂浇筑施工的承重体系中，挂篮是重点设备，变形特性直接决定梁体线形，挂篮变形由主桁架弹性变形、底篮横梁挠度和吊杆伸长三部分组成，主桁架弹性变形与荷载大小呈线性关系，可借助荷载试验绘制变形曲线，底篮横梁挠度受模板重量以及混凝土分布制约，浇筑前后需开展差异监测^[3]。吊杆伸长以及材料弹性模量及受力状态有关，监测技术使用精密水准仪以及全站仪组合，挂篮前中后设置观测点，设立变形监测断面，如图1所示，挂篮变形监测布置示意图中，主桁架前端、底篮前后横梁及已浇筑梁段顶面布置监测点，依托几何关系计算挂篮总变形量。挂篮变形修正需在立模标高中预置反变形量，依据监测数据将模板前端抬高相应数值，保证混凝土浇筑后梁底标高符合设计要求。

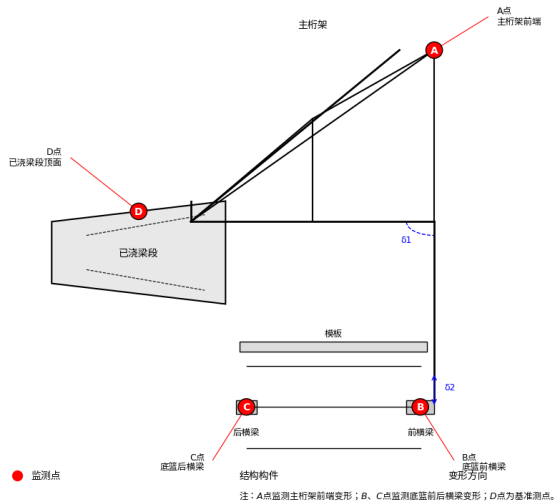


图1 挂篮变形监测布置示意图

（二）混凝土收缩徐变参数实时采集方法

材料特性以及环境耦合效应决定混凝土收缩徐变属于典型的时间相关变形，发展规律取决于材料配比、环境温湿度及养护条件，实时采集方法要求混凝土浇筑时埋设应变传感器，推荐使用振弦式应变计，埋设位置选择距表面5cm至10cm处，避免局部应力集中造成干扰。传感器沿梁体纵向每节段布置2个至3个测点，沿截面高度在顶板、腹板及底板分别布设，形成立体监测网络，数据采集频率在浇筑后7d内每12h采集1次，7d至28d每24h采集1次，之后每7d采集1次，持续至合龙后3个月。凭借应变数据反演混凝土的收缩应变与徐变系数，修正理论计算模型中的材料参数，当实测徐变系数与设计使用值偏差超过15%时，需重新计算后续节段预拱度，保证长期线形预测准确性。

（三）预应力张拉线性反馈调控机制

依据施工控制场地分析，预应力张拉是悬臂施工体系转换的重点环节，张拉后梁体出现反拱，标高发生突变，实际操作时，反馈调控机制建立在线形实时监测的前提下，张拉前后使用精密水准仪测量控制点标高的变化，计算实际反拱值。理论反拱值由预应力筋的张拉力、管道摩阻损失及梁体刚度共同决定，实际反拱值以及理论值的偏差折射预应力效应的实现程度，当偏差超过5mm时，需分析管道摩阻、锚具回缩等参数，修正后续节段的张拉伸长量计算，张拉完成后开展24h线形跟踪观测，捕捉混凝土弹性压缩后的徐变恢复过程，把此数据作为下一节段立模标高的计算依据，形成施工数据向设计参数的反馈闭环。

（四）温度效应分离与滤波的算法实现

线形监测数据的干扰因素分析中，温度效应是首要干扰源，需用算法分离温度变形以及荷载变形，算法依托温度场监测数据与结构热传导模型，算出各监测点因温度变化产生的理论位移，从实测总位移中减去温度分量，得出纯荷载作用下的结构变形^[4]。滤波处理用滑动平均法，选取连续的5d至7d的监测数据序列，排除异常天气干扰，提取结构变形的趋势项，针对昼夜温差引起的周期性波动，凭借设定固定测量时段规避，统一安排在日出前2h至3h实行标高测量，此刻梁体温度场最均匀，接近平均温度状态。温度效应分离算法的精度直接决定线形评估的可靠性，需建立项目所在地的温度修正系数库，依据季节变化动态地调整计算参数。

三、悬臂浇筑线形控制技术实施方案

（一）施工阶段划分与监测点布设方案

在线形控制实施方案中，首先需清晰施工阶段划分，一般把每个悬臂浇筑节段当作1个控制单元，包含挂篮就位、模板调整、混凝土浇筑、预应力张拉及挂篮前移5个工序，监测点布设遵循核心断面原则，在0号块设置基准点，每个悬臂节段在距前端0.5m处设置1个监测断面，每断面在箱梁顶板左右两侧各布设1个标高测点，形成空间监测网络。跨度超过150m的桥梁，需在跨中增设1个至2个监测断面，加密控制节点，监测设备选用精度为0.1mm的电子水准仪以及测角精度为1秒的全站仪，建立独立施工控制网，同路线控制网实行联测复核，如表1所列，悬臂浇筑各阶段线形控制允许偏差清晰了各工序的精度控制目标，其中立模标高允许偏差为±5mm，合龙前悬臂端标高相对偏差控制在±15mm以内，给施工控制给予量化标准。

表1 悬臂浇筑各阶段线形控制允许偏差的详细数值

施工阶段	控制项目	允许偏差 /mm	检测频率
挂篮就位	底模标高	±5	每节段1次
立模调整	模板平面位置	±3	每节段1次
混凝土浇筑后	梁体标高	±10	每节段1次
预应力张拉后	反拱值	±5	每节段1次
合龙前	悬臂端相对高差	±15	每日1次
成桥后	桥面标高	±20	全桥测量

（二）线形偏差的实时计算与预警阈值设定

实时计算依托结构分析软件建立有限元模型，输入实际施工参数包含混凝土容重、弹性模量、预应力张拉力及挂篮重量，实行正装计算得到各阶段的理论线形，现场测量数据凭借无线传输系统实时导入计算平台，以及理论值实行差值分析。预警机制设置三级阈值，当实测标高以及理论标高的差值在5mm以内为正常状态，差值到了5mm至10mm时发出黄色预警，提示关注后续施工参数，差值超过10mm时发出红色预警，暂停施工实行偏差原因排查，预警阈值的设定需考虑测量误差以及结构响应的融合作用，避免误报使得施工频繁中断，同时保证重大偏差可以及时发现。计算平台每日生成线形控制日报，包含当日测量数据、偏差分析及下阶段的立模标高方案，变成施工指令的技术依据^[5]。

（三）基于实测数据的立模标高动态调整

在线形控制环节，立模标高作为重点调控手段，设置值由设计标高、预拱度、挂篮变形量及温度修正值叠加确定，预拱度计算考虑混凝土收缩徐变、预应力反拱及二期恒载产生的下挠，按1000d长期效应实行预估，动态调整机制显现在每个节段施工后，依据实测线形与理论线形的偏差，修正后续节段的预拱度设置。如表2所示，温度监测以及线形修正数据记录显示了环境温度与梁体温度的对应关系，还有由此产生的线形修正量，当连续3个节段出现同向偏差时，说明计算模型有系统误差，需重新实行参数识别，调整混凝土弹性模量或者徐变系数等核心变量。立模标高调整量单次不超过10mm，避免调整幅度过大使得线形突变，依托渐进式修正实现最终收敛。

表2 温度监测与线形修正数据记录

测量日期	环境温度 /℃	梁体顶板温度 /℃	梁体底板温度 /℃	温差 /℃	线形修正量 / mm
第10节段	18	22	19	3	+2
第11节段	20	24	20	4	+3
第12节段	22	26	21	5	+4
第13节段	19	23	19	4	+3
第14节段	21	25	20	5	+4
第15节段	23	27	22	5	+4

（四）合龙段线形误差的修正与收敛控制

合龙是悬臂浇筑施工的最终环节，两悬臂端标高相对偏差需控制在15mm以内，轴线偏差控制在10mm以内，合龙前需实行不少于7d的连续线形观测，掌握温度变化与线形的对应规律，选择温度稳定的时段实行合龙，当相对偏差超过允许值时，可依托调整合龙段配重或者预压水箱实行线形微调，每调整1t配重可产生约2mm的标高变化。合龙段混凝土浇筑应安排在当日最低温度时段实行，减小温度应力对合龙精度的干扰，合龙后需持续实行线形跟踪，监测体系转换过程中的内力重分布，保证成桥线形平稳地过渡至设计状态，收敛控制的目标是使成桥线形偏差控制在20mm以内，满足规范要求，同样保证桥面纵断线形平顺，无突变点。

四、结语

悬臂浇筑线形控制技术凭借建立系统化的监测体系以及动态调整机制，有效解决了大跨度桥梁施工的精度控制难题，本文围绕适用性分析、关键技术及实施方案，说明了线形控制技术的应用要点，突出了挂篮变形监测、混凝土收缩徐变采集、预应力反馈调控及温度效应分离等关键环节的技术要求。依靠实行阶段划分、实时计算预警、立模标高动态调整及合龙误差修正等措施，形成了完整的技术应用途径，工程实践证明，该技术的系统应用可以将施工线形偏差控制在允许范围内，保证成桥质量满足设计以及规范要求，给同类桥梁施工给予了参照。

参考文献

[1]董青华. 现浇箱梁挂篮悬臂施工技术在市政桥梁工程中的应用[J]. 交通世界, 2025, (16): 153-155.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2025.16.035.
[2]何理. 高速公路桥梁悬臂挂篮浇筑施工技术应用探讨[J]. 低碳世界, 2025, 15(04): 133-135.DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2025.04.046.
[3]张伟. 道路桥梁加宽加固设计及施工工艺[J]. 运输经理世界, 2025, (10): 81-83.
[4]储建辉. 道路桥梁施工中的大跨径连续施工技术应用方法[J]. 运输经理世界, 2025, (10): 87-89.
[5]李朋. 悬臂桥梁施工工艺在桥梁施工中的应用[J]. 交通建设与管理, 2024, (06): 85-87.

房屋检测鉴定报告在结构加固设计中的技术应用 与质量控制研究

陈凯杰

广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ADA.2026010069

摘 要： 房屋检测鉴定报告是通过专业技术手段形成的系统性技术文件，其理论根据包括多学科原理，可为结构加固设计提供像缺陷分布、荷载以及材料性能等主要数据。通过建立数据驱动的应用策略，实现检测数据与加固设计的深度融合，提高设计的精确性和效能。需通过数据精确性管控、规范合规性核查以及过程监管等质量控制策略，保障加固工程的安全性和可靠性，为建筑安全提供技术支撑。

关 键 词： 房屋检测鉴定报告；结构加固设计；质量控制

Research on the Technical Application and Quality Control of Building Inspection and Appraisal Reports in Structural Reinforcement Design

Chen Kaijie

Foshan, Guangdong 528000

Abstract： The house inspection and appraisal report is a systematic technical document formed through professional technical means. Its theoretical basis includes principles from multiple disciplines and can provide key data such as defect distribution, load, and material performance for structural reinforcement design. By establishing data-driven application strategies, the integration of inspection data and reinforcement design is achieved, enhancing the accuracy and efficiency of the design. Quality control strategies such as data accuracy management, compliance verification, and process supervision must be adopted to ensure the safety and reliability of the reinforcement project and provide technical support for building safety.

Keywords： house inspection and appraisal report; structural reinforcement design; quality control

引言

既有建筑结构的安全维护与性能提高，是城市更新及可持续发展的主要议题。根据相关统计，我国现存既有建筑的总量已超600亿平方米，其中约30%的建筑建成时长超20年，进入结构性能退化的高发时段，每年因结构安全隐患所引发的加固需求市场规模逾千亿元。房屋检测鉴定报告是加固设计的重要根据，其技术应用和质量管控直接影响工程的可靠性。2021年颁布的《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021-2021明确规定，加固设计需根据系统的检测数据以及科学评估，确保结构的安全与耐久性。但是在当前的工程实际操作中，仍然存在检测数据运用程度欠佳、设计与检测相脱离等情形，导致约15%–20%的加固工程出现加固过度或者加固不足的状况。

一、房屋检测鉴定报告的理论基础

（一）房屋检测鉴定报告的概念与分类

在房屋检测鉴定报告的理论根据中，概念以及分类是主要的构成部分。房屋检测鉴定报告是指运用专业技术手段，针对房屋结构的安全性、适用性、耐久性等方面进行检测分析后形成的具有系统性的技术文件，其重点是根据现场检测数据和结构分析，客观评估房屋当前状态以及潜在风险^[1]。报告包括的主要类别有结构安全鉴定、抗震性能鉴定、耐久性评估、使用功能评定等。其中结构安全鉴定专注于结构构件的承载能力与稳定性，抗震鉴定是根据现行抗

震规范来评定房屋抵御地震作用的能力，这二者共同构成房屋安全评估的基础框架。在建筑工程检测领域，该报告需根据《民用建筑可靠性鉴定标准》《建筑抗震鉴定标准》等标准化规程，确保检测方法、数据采集与分析流程的规范性。例如规范明确规定，混凝土构件裂缝宽度的限值通常为0.2mm–0.3mm，当钢筋锈蚀深度超过原直径的5%时，就需加以重视。它的主要功能体现为为房屋结构安全评估提供科学根据，是后续结构加固设计的基础和技术支撑，直接关系到加固方案的合理性与工程质量。

（二）检测报告在结构安全评估中的应用

房屋检测鉴定报告的理论根据包括结构力学、材料科学以及

工程地质学等多门学科的理论，其在结构安全评定中的应用需依赖系统的数据采集与分析策略。报告通过现场检测（比如裂缝宽度测量、混凝土强度回弹测试）以及实验室检测（如材料力学性能检测），精准判定结构缺陷，包括裂缝的分布形态、材料老化情况以及构件损伤程度，为结构风险评估提供量化根据。结构风险评估需结合检测数据与结构受力模型，分析缺陷对承载性能的影响，确定结构的安全储备数值，此过程要根据现行规范准则，确保评估结果的科学性^[2]。根据可靠度理论，结构目标可靠指标 β 通常需达到3.2-3.7及以上方可判定为安全。检测报告作为加固设计的前期根据，其数据精准度直接影响加固方案的合理性。例如针对混凝土梁的裂缝情形，需根据裂缝的宽度、深度和发展走向，判定是否采用粘贴碳纤维布或者增大截面法开展加固。通过检测报告中的荷载试验数据，核验加固设计的荷载取值是否符合实际工况，进一步保障加固工程的质量管控。

二、结构加固设计的关键技术要素

（一）结构加固设计方法概述

在结构加固设计的主要技术要点中，结构加固设计方法概述部分需完整梳理当前的核心技术方案，明确界定常用方法的技术特性与设计规范。常见的加固方法有碳纤维加固、钢板加固、增大截面加固法等。其中碳纤维加固凭借轻质高强、耐腐蚀的优势，在受弯构件补强方面应用广泛。其技术主要在于通过碳纤维布与基材的粘结作用来传递应力，从而提高构件的承载能力^[3]；钢板加固则是通过螺栓或粘钢工艺加强构件的刚度，适用于大跨度结构的抗弯、抗剪加固。设计规范需满足承载力匹配、变形协调以及耐久性要求，确保加固后的结构整体性能提高，而非局部应力集中。这些方法的技术主要不只是体现在材料与结构的力学配合，更在于通过精准计算和施工管控，实现房屋结构安全性的修复与提高，为后续加固设计提供技术支撑。

（二）检测报告对加固设计的数据支持

在结构加固设计的主要技术要点中，检测报告在加固设计的数据支撑方面占据核心地位。房屋检测鉴定报告通过实地勘查与检测，给出房屋结构的缺陷分布情况，如混凝土构件裂缝的位置、宽度和深度，钢结构的锈蚀情况与位置，砌体结构的风化和裂缝状况等，这些情况直接影响加固范围和重点区域的确定。报告中明确的荷载数据，包括恒载、活载以及或许存在的附加荷载（例如地震作用、风荷载），为加固设计开展荷载效应分析提供基础参数，确保加固结构的承载力满足规范要求。检测报告同样会提供材料性能相关的参数，例如混凝土的抗压强度、钢筋的抗拉强度、砌体的抗压强度等，这些参数是加固设计中材料强度验算的主要根据。此外报告根据对结构变形、沉降和振动特性的检测数据，可用于评估结构当前的工作状况，为加固方案的选择（如增大截面法、粘贴纤维复合材料法等）提供技术参考，避免加固方案与实际结构状况不匹配。经由整合检测报告中的多方面数据，加固设计能够精确锁定问题、优化加固方法，实现设计和实际检测结果的无缝对接，提高加固工程的科学性与可靠性^[4]。

三、技术应用与质量控制研究

（一）技术应用模型的构建

1. 基于检测报告的应用框架

该框架是房屋检测报告在加固设计中的主要技术模型，其目标是实现检测数据与加固设计的深度融合^[1]。首先针对检测报告中的多源数据进行标准化分析，提取材料强度、损伤程度等主要指标；随后建立参数映射系统，将检测数值与设计规范限定值关联起来，比如明确加固范围与方式^[2]。该方案采用模块化建立方式，整合数据解析、参数映射以及设计运算单元，自动生成并优化加固策略^[3]。采用该框架可减少对人工经验的依靠，在某一项目中，设计周期缩短30%，材料误差被控制在5%以内^[4]。设置质量控制节点，保证数据有效性与结果可靠性^[5]。使用该框架可明显减少对人工经验的依靠。在某框架结构加固项目的对比检测里，传统设计模式因人为取值相对保守，导致材料使用量冗余率达到12.8%，而采用本框架之后，材料使用量误差被控制在±3.5%范围以内。由于实现检测数据到设计模型的自动映射，单个标准层加固方案的设计时长从平均4.5小时减少到1.2小时，效率提高约73%。此外针对50组混凝土强度检测数据与设计取值进行回归分析，结果显示二者决定系数 R^2 为0.92，这证明数据转化具有高保真度。设定内置的质量管控环节，保障数据的有效性和结果的可靠性。

2. 应用案例的实证分析

建立融合结构材料强度、损伤情况等多指标的加固设计决策模型，并且以某既有钢筋混凝土框架结构作为实例进行实证研究。该建筑因使用时间较长，存在部分构件出现裂缝以及混凝土碳化等情形^[6]。通过模型对检测报告里的数据予以提取，确定采用增大截面法和粘贴碳纤维布法相结合的加固策略。有限元模拟对照显示，加固之后典型框架梁的抗弯承载能力由145.2 kN·m提高至206.4 kN·m，增长幅度达42.1%；框架柱的轴压比在加固之前是0.85，加固后降至0.62，符合抗震等级二级下不超过0.75的规范限值要求。在变形控制方面，结构最大层间位移角从1/420优化至1/680，优于规范规定的1/550界限值，安全储备系数提高38.6%。值得关注的是，通过引入检测数据对模型刚度予以修正，模拟得到的结构自振周期为0.78s，与现场脉动试验的实测数值0.76s相比较，误差仅为2.6%，远低于未修正模型11.7%的误差水平，证实模型对实际结构状态捕捉的精准性。经研究发现，此模型在对老旧建筑隐蔽工程的损伤识别方面存在一定的局限性，需要通过现场补充检测来对相关参数进行优化。

（二）质量控制体系的研究

1. 质量控制关键要素识别

质量管控主要要素的识别需重点留意影响技术应用的核心要点。查验数据精准度是首要因素，构件规格、材料强度等参数的精确性直接关乎加固设计的可靠性^[7]。设计规范的符合状况不可小觑，需严格根据《混凝土结构加固设计规范》，避免因理解偏差引发耐久性方面的潜在问题。此外报告信息的完整性也是主要之处，要是遗漏隐蔽工程或者环境荷载的相关分析，就会导致设

计根据的缺失。这些要素相互关联，需通过多方面评估系统确保有效管控。

2. 质量控制策略设计

质量管控策略规划需建立以过程监控和责任追溯为主的体系。过程监控包括检测、报告编制直至设计对接的全流程，针对混凝土强度等主要参数实施双盲复查与交叉验证，确保数据精准。责任追溯利用数字化体系对各个环节的操作日志进行记录，明确划分检测、设计和审核人员的职责领域^[8]。在执行过程里能够通过 BIM 技术搭建信息平台，实时关联检测数据与加固模型，保证参数的一致性。保障措施包括制定标准流程、开展技术指导以及引入第三方评估，建立闭环式管控，加强加固设计的稳定性。

四、实证分析与优化建议

（一）实证研究方法

1. 案例选择与数据收集

选取具有典型性的老旧楼房加固工程案例，包括不同建造时期、结构类型（砖混结构、框架结构）以及使用功能（住宅用途、商业用途），从而确保研究对象的多元化。数据收集融合现场测试与实验室试验，通过全站仪、回弹仪等获取结构的规格、强度以及受损状况，针对主要构件开展力学性能测试。本次一共采集混凝土回弹测点 128 个，钢筋扫描测点 96 个。统计分析显示，二层柱混凝土强度的推定值为 28.4 MPa，标准差为 3.2 MPa，变异系数是 0.11，处于正常离散范围；但是三层梁板混凝土强度的推定值仅为 24.1 MPa，且局部最低值达到 19.5 MPa，变异系数高达 0.18，这意味着存在局部施工方面的不足。这种通过大样本数据开展的离散化分析，为后续差异化加固方案的制定提供精确的量化根据，避免一刀切式设计弊端。数据收集包括原始图纸、历次检测报告、实地测量以及试验成果^[9]，并且参考相关规范，为分析检测报告对加固设计的技术支撑与质量管控提供可靠根据。

2. 技术应用效果评价

以某框架结构办公楼作为实例，针对此楼梁体存在裂缝、柱体强度不足等情形，根据检测鉴定报告的精准数据，采用增大截面的方法加固梁体、以外包钢的形式加固柱体。实证研究的结果表明，加固之后梁体的抗弯承载能力平均提高 42.1%，柱体的抗压承载能力平均提高 38.4%，均超过设计规范所规定的最低安全储备。在裂缝治理方面，经过压力灌浆处置后，原本宽度处于 0.2mm-0.5mm 区间的主要受力裂缝，其残留宽度均控制在 0.12mm 以内，平均闭合率达到 92.5%。碳化深度的修复比例超过 90%，其中核心区修复后，保护层厚度的均值回升至 25.3mm，满足耐久性设计的要求。经济数据显示，得益于检测数据的精准支撑，加固材料的浪费率从该行业平均的 8% 下降到 2.1%，总体加固成本降低 15.3%，约每平方米节省造价 45 元。研究表明将检测报告与加固设计深度融合，可明显提高结构加固的精准度和经济性。

（二）质量控制实施过程

1. 质量监控机制实施

在某框架结构加固项目中，质量监督以分阶段检验和合规性核查开展。根据 GB/T 50344 和 GB 50367 规范，项目建立包括原结构检测、方案合规性审查以及施工主要环节（如基层处理、植筋深度）管控的全流程管理系统。通过数字化记录系统及时上传数据，实现过程可追溯。该机制的确降低设计偏差，例如根据实际测量的强度对梁构件的配筋开展优化，既确保安全又节约材料；同时及时对植筋胶体强度不够的情况进行整改。对 120 个植筋节点的拉拔试验数据开展统计，其合格比率达到 98.5%，和传统管理模式下 85% 的合格比率相比有明显提高。实际表明依靠数据驱动的动态管控能够实现加固设计与施工整个流程的质量保证，明显提高工程的可靠性。

2. 质量评价指标应用

质量评估指标重点用于检测报告在加固设计中的量化评价。实证调研显示，在实施双盲复核制度之后，混凝土强度实际检测误差率（3.2%）低于规范设定的阈值（5%），加固构件安全系数均值（1.42）高于最低要求（1.2），而且标准差从 0.15 减小到 0.08，这表明质量分布更加均匀平稳，验证报告参数的精准度。更进一步的研究显示，构件尺寸偏差的误差比例和加固之后的变形控制显示出明显的负相关联系。当误差率由 5% 降至 2% 时，最大变形量会降低 18%。此外安全系数的离散特性分析显示，需对检测点分布的疏密状况进行优化，从而为质量管控的改善提供数据方面的支持。

（三）优化与推广策略

1. 质量控制优化建议

根据实证研究，质量管控的优化需从报告审核与技术支持这两个方面推进。建立三级审核机制，由检测工作者、技术负责人以及第三方专业人员针对结构参数、损伤评估与承载力核算开展交叉核查，确保报告的准确性。实验数据显示，该机制能够将报告中的参数录入错误率从 1.5% 降低至 0.2% 以下。采用智能监控方式，在检测阶段布置传感器实时采集结构形变、应力数据，通过 BIM 模型建立动态监测系统，实现检测与设计的实时互动。在某工业厂房加固项目中，通过实时数据反馈对加固策略进行调整，成功识别并避开 3 处或许存在的应力集中风险点，预计能让结构的使用年限延长 15 年以上。针对老旧住宅、工业厂房等不同建筑类型，完善审核标准与监测界限，加强质量管控的适配性。

2. 应用推广路径设计

针对房屋检测鉴定报告里的技术应用与质量管控，提出将标准化以及知识传播作为主要的推广方式。通过制定统一的技术指南，对检测数据的获取、参数转变以及方案校验的流程加以规范，降低操作差错，提供可复制的技术方案。建立多层次培训方案，针对设计工作相关人员开展报告分析与方案衔接的专项培训，面向施工人员普及质量管控主要要点，强化技术执行能力。

五、总结

本项研究针对房屋检测鉴定报告在结构加固设计中的技术应用与质量控制进行探讨。研究显示将检测报告系统嵌入数据驱动的设计模型之中，能够精准提取结构损伤、荷载以及材料性能方面的数据，为加固方案提供量化的根据，明显提高设计的精准程度并减少主观偏差。建立的质量管控系统通过动态监测检验数据

的真实性、材料的适配度以及施工的合规状况，再融合反馈优化措施，确实保障工程的安全性，降低后期失效的风险。研究存在的局限是选取的案例多数集中于某地砖混结构，对钢结构等类型的覆盖不够全面。未来可整合无人机巡检、BIM数据交互等智能技术，拓展样本领域，探索全流程数字化集成，进一步提高技术适配性与质量控制智能化水平。

参考文献

- [1] 康承才. 多层砌体结构房屋抗震鉴定与加固研究—以某多层砌体结构教学楼为例 [D]. 西华大学, 2022.
- [2] 杨翠红. Y公司房屋结构加固项目质量管理案例研究 [D]. 大连理工大学, 2023.
- [3] 伍鸿媛. 高效 MOF 基纳米酶的设计合成及其在食品质量控制中的应用研究 [D]. 武汉轻工大学, 2023.
- [4] 王巨晖. 三维激光扫描技术在钢结构检测中的研究与应用 [D]. 重庆交通大学, 2023.
- [5] 孙道乾. 耗能减震技术在既有框架结构加固工程中的应用研究 [D]. 华北水利水电大学, 2022.
- [6] 程勇. 浅析房屋建筑结构加固设计及施工技术应用 [J]. 石材, 2023, (04): 145–147.
- [7] 张勇, 宋九祥, 沈伟, 等. 房屋建筑结构加固设计及应用实例 [J]. 江苏建筑, 2024, (01): 29–31.
- [8] 朱恺, 王科, 刘强, 等. 房屋建筑结构加固设计及施工技术应用分析 [J]. 建筑技术开发, 2020, 47(21): 69–70.
- [9] 郑智强. 论房屋结构安全性检测鉴定与加固技术 [J]. 广东建材, 2023, 39(12): 34–36.
- [10] 徐兴国. 某多层砌体结构加固改造设计研究 [J]. 散装水泥, 2022, (04): 176–178.

房建工程桩基础施工技术优化与安全风险管理 管理体系构建研究

刘明瓚

广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ADA.2026010071

摘 要： 房屋建筑工程桩基础施工中，钻孔灌注桩和预制桩是主要技术，这两种技术都有各自适用的场景，也都存在优点与不足。目前传统工艺存在效率不高、质量不稳定、安全风险较大等状况。通过引入智能装置、BIM、模块化预制桩等优化措施，结合安全风险管理体系（包括风险识别、评估模型、应急响应），实现技术优化和安全管理深度交融，提高施工效率与安全特性。

关 键 词： 房建工程桩基础施工；技术优化；安全风险管理体系

Research on Optimization of Pile Foundation Construction Technology for Housing Construction Projects and Construction of Safety Risk Management System

Liu Mingzan

Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract： In the construction of foundation for housing engineering projects, bored cast-in-place piles and precast piles are the main technologies. Both of these technologies have their own applicable scenarios and possess advantages and disadvantages. Currently, the traditional methods have issues such as low efficiency, unstable quality, and high safety risks. By introducing intelligent devices, BIM, modular precast piles, and other optimization measures, combined with a safety risk management system (including risk identification, assessment models, and emergency response), the integration of technical optimization and safety management is achieved, thereby enhancing construction efficiency and safety characteristics.

Keywords： pile foundation construction in building engineering; technical optimization; safety risk management

引言

房建项目桩基础是承担上部结构荷载的主要部分，其施工工艺与安全管控直接影响工程品质与施工安全。目前传统桩基础施工存在效率不高、质量不稳定、安全风险明显等状况，像灌注桩塌孔概率高、预制桩挤土效应造成周边隐患，还有机械操作不合规导致安全事故频繁发生，限制行业的高质量进步。2021年颁布的《十四五建筑业发展规划》清晰提出推动智能建造和建筑工业化协同进步、加强施工安全风险管控的要求，为桩基础施工技术改进与安全管理体系搭建提供政策引导。在这样的背景下，探寻桩基础施工技术的优化途径，搭建技术和安全深度融合的管控体系，对于提高施工效率、确保工程安全、促进建筑业转型升级有重点要的意义。本研究专注钻孔灌注桩和预制桩技术特点，分析现存的问题，给出技术优化的策略，并且整合安全风险管理体系，目的是为房建工程桩基础施工提供科学的支撑。

一、房建工程桩基础施工技术现状分析

（一）桩基础主流技术概况

房建项目桩基础建造以钻孔灌注桩与预制桩为主要。钻孔灌注桩通过机械进行钻孔，清孔之后灌注混凝土并插入钢筋笼，依靠桩身摩擦力与桩端承载力来传递荷载，适用于软土地层以及复

杂地质状况，其适应性较强，不过施工周期较长，且容易出现塌孔或者缩颈的情况^[1]。预制桩在工厂完成预制后，通过锤击或者静压的方式沉入地基，其承载依靠挤土效果和桩端阻力，适合均匀地质条件，施工效率较高，不过挤土效应或许会对周边产生影响。两种技术应根据地质状况、荷载情况以及环境条件综合进行选用。

（二）施工技术面临的问题与风险

房屋建筑工程桩基础施工存在明显问题与风险。部分工程仍然依靠人工挖孔桩这类传统工艺，效率不高成桩周期延长超过30%，桩身垂直度偏差超出规范1.5倍的占比达到12%^[2]。灌注桩泥浆护壁成效不稳定，软土地层的塌孔比例高达8%，容易引发安全方面的事故。大型桩机的拆装缺少标准化的操作流程，机械倾覆类事故在安全事故总数里占比达25%，并且安全意识较为淡薄，使得风险有所加剧。另外工程施工监测技术运用不够，主要参数的实时监测缺失，后期处理费用增加约40%。这些难题对工程的进度、质量和安全构成威胁，迫切需要开展技术优化与风险管理工作。

二、桩基础施工技术优化策略探究

（一）优化方向与目标设定

优化的方向以及目标设定要紧密贴合房建工程桩基础施工的主要需求，从技术效率、资源运用和质量管控等方面着手。提高机械化程度是重要方向，通过引入智能旋挖钻机、自动化钢筋笼加工装置等，取代传统手工操作，降低人为偏差，提高施工精准度与效能^[3]。降低资源消耗要关注材料和能源两个方面，优化混凝土的配合比例来减少水泥使用量，选用低能耗的施工装备并科学规划施工进度，降低电力和燃油的消耗。质量稳定性的提高可通过标准化的施工工艺、实时监测手段等，降低桩身存在的缺陷、垂直度偏差这类问题。具体优化目标确定为：机械化作业比例提高到85%以上，混凝土损耗占比控制在3%以内，桩身完整性检测合格比率达到98%，施工工期相较于传统工艺缩减15%，为后续安全风险管理体系搭建提供技术支持。

（二）优化方法与实践应用

在桩基础施工的优化进程里，新型技术属于主要路径。智能化钻孔装置通过传感器和自动控制体系实时监控钻进参数，自动调节策略，某高层工程项目运用后成孔垂直度误差把控在0.3%以内，效率提高25%^[4]。BIM技术通过三维方式整合地质和施工数据，实现桩位的可视化模拟效果，某商业综合体依靠此技术使现场返工量降低30%。模块化预制桩工艺运用工厂标准化制造、现场迅速拼接，某保障房工程施工时长减少40%。这些实践显示，技术改革可确实解决效率不高、质量波动较大等难题，为桩基础施工提供可推广的途径。

三、安全风险管理体系的框架设计

（一）安全风险的识别与评估

1. 桩基础施工安全风险因素分析

房建项目桩基础施工的安全风险因素可从施工环境、作业操作、技术方法等方面进行识别。地质状况不稳定（像软土、岩溶、地下水位异常情况）容易引发塌孔、桩身倾斜现象，这和土体力学特性以及渗流作用存在关联。高处作业的隐患大多源自钢筋笼起吊、桩顶操作等流程，作业人员防护未到位或者平台不稳固容易导致坠落。另外机械操作有误（例如桩机垂直度出现偏差）以及材料质量存在缺陷（例如钢筋笼焊接不牢固）会引发桩体断裂等风险^[5]。对上述机制开展系统分析，能够为风险评估与

管控提供根据。

2. 风险评估模型构建

对于房建项目桩基础施工的复杂情形，要搭建定量风险评估模型，从而实现科学的安全风险等级界定。可运用专家评议法并结合风险矩阵法，把施工风险根据发生概率和后果严重程度开展二维分级，经由多轮专家评分来明确各风险因素的权重以及等级阈值。同时将典型事故（像塌孔、断桩、钢筋笼上浮等）当作分析对象，梳理其直接原因与基本事件，对各风险因素的影响程度进行量化。两种方式能够结合运用，前者用来明确风险因素的优先次序，后者用于分析事故的因果逻辑关系，最终建立多方面的风险评估模式，实现风险等级的精确划分，为后续风险管控措施的制定提供数据支撑^[6]。

（二）风险管理策略的制定

1. 预防性控制措施设计

安全风险管理体系的方案设计以风险辨认、评价、处理为核心逻辑，搭建包括施工全流程的动态管控机制，通过确定风险分级准则与责任主体，形成风险清单、评估矩阵、应对方案的闭环管理流程。预防性控制措施设计重点于操作规范性以及人员能力的提高，经由制定标准化的施工流程，清晰界定钻孔、清孔、混凝土灌注等环节的技术参数和质量控制主要要点，并且建立分级培训体系，针对作业人员开展地质识别、设备操作、应急处理等专项培训，加强风险预判和处置能力。相关研究显示，标准化的操作流程能够使人为失误风险降低超过30%，并且系统性的培训可以明显提高团队应对突发风险时的协同效率^[7]。

2. 应急响应机制构建

安全风险管理体系的方案设计要以风险辨认、评估和控制作为核心，整合技术与管理方面的协同机制，保证房建工程桩基础施工整个周期的风险可管可控性^[8]。应急响应体系搭建要关注迅速响应和资源整合效能，规划分级响应流程，确定从事故报告、现场处理到后期复原的全流程责任主体，并且创建跨部门的资源调度平台，整合施工单位、监理方以及外部救援力量的设备和人员资源，保证事故发生后能够在最短时间内启动预案，减少工程中造成的损失。比如针对桩基塌孔事故的应急计划要包括即时支护手段与备用材料的快速调配机制，以此保障施工的连续性和人员的安全。

四、技术优化与安全风险管理体系整合构建

（一）整合模型的系统性框架

1. 体系框架的核心原理

在技术优化与安全风险管理体系的整合搭建过程中，整合模型的系统性框架核心准则要根据系统理论，阐明桩基础施工技术优化和安全风险管理的关联关系。安全风险管控通过风险辨认、评定和管控，减少施工进度里的安全隐患。二者并非孤立存在，技术改进或许会改变原本的风险方案，而安全风险管理的需求又反过来推动技术改进，例如针对基坑开挖风险，要优化支护技术参数来提高稳定性。系统理论里的整体性准则引导框架设计，注重技术优化和安全风险管理的相互融合，比如在桩身混凝土强度的优化工作中，要同时评估材料变更给施工荷载风险带来的影响，保证技术改进不会引发新的安全隐患^[9]。

2. 关键要素的配置分析

在技术优化和安全风险管理体系的整合过程里，主要要素的配置要根据桩基础施工的实际情形来开展。数字化监控体系需包含施工参数即时收集、5G低时延传输以及风险预警算法，通过机器学习识别异常数据^[10]。标准化作业模块应包括作业流程准则、差异化操作指南以及和预警信号关联的应急方案。各要素通过统一的数据接口实现互操作，建立数据采集、风险识别、作业调整闭环。在可行性方面，要根据场地状况（像地下水位、土层分布情况）开展适配性调整，例如在软土地层增添桩周土压力监测，同时加强沉桩速率管控，以保证配置符合工程的实际需要。

（二）实施路径与管理策略

1. 技术优化嵌入安全管理的路径

技术优化嵌入安全管理的途径要以施工流程作为载体，把风险管控融入到技术优化的环节当中。针对塌孔、断桩、机械倾覆等风险，通过技术参数动态调节实现预控：旋挖钻成孔时期根据地雷达数据自行优化钻压和转速，防止孔壁不稳固；混凝土灌注阶段结合导管理深传感器把控拔管速度与坍落度，减小断桩风险。依靠物联网搭建技术参数、风险状态关联机制，当参数偏离安全阈值时自动发出预警并推送调整策略，实现技术提高和风险降低同步开展。

2. 组织结构与责任机制调整

在技术优化和安全风险管理体系的整合搭建过程中，组织结构以及责任机制的调整要根据房建工程桩基础施工的技术特点和安全风险防控要求来进行。设计的管理组织体系需突破传统职能部门的界限，建立以项目总工程师为核心的技术与安全协同中心，在横向方面整合施工技术、安全管理、质量监督等相关部门，在纵向方面贯通决策层、执行层和作业层，形成技术、安全双主线的矩阵式结构。要建立跨部门的常态化沟通机制以及联合检查体系，保证技术优化方案的调整能够及时反馈到安全管理方面，安全风险的动态变动也能够反向促进技术参数的迭代升级。通过组织架构的协同规划与责任界限的清晰划分，实现技术优化和安全风险管理的深度融合，为桩基础施工的高效且安全开展提供组织支撑。

（三）体系运行与绩效评价

1. 运行机制的实施设计

运行机制的施行设计要围绕房建工程桩基础施工的技术特点与风险特性，搭建数据监测、反馈循环以及控制措施的闭环体系。数据监控模块需融合施工参数和风险指标，通过物联网传感器实时收集桩位偏差、成孔垂直度、混凝土灌注压力等技术数据，并且同步监测地质条件突变、机械故障预警等安全风险数据，建立包括施工全流程的动态数据库。反馈循环体系要依靠

BIM技术建立可视化系统，把监测数据和预设技术规范、风险临界值开展实时对比，若数据超出临界值，系统会自动启动预警并推送到项目管理界面，保证技术偏差与风险隐患可以及时识别。控制措施的设计要针对不同的风险等级来制定分级响应预案，例如针对桩身垂直度偏差超标的技术难题，开启钻机参数调节与孔壁加固的技术改进措施；针对基坑坍塌风险，执行支护结构补强与降水方案调整的应急管控。

2. 评价指标体系的构建

评估指标体系的搭建应紧密贴合房建工程桩基础施工技术优化和安全风险管理的主要目标，建立多方面、可量化的指标方案。技术优化方面可设置技术改良效率指标，包含新型施工工艺（如旋挖钻成孔技术）的运用覆盖率、成桩质量达标率、施工周期缩减率以及材料损耗下降率，通过对比优化前后的参数变动体现技术改良的实际成效。安全风险管控方面应纳入安全事件发生比率，具体分为一般事故、较大事故以及重大事故的年度发生次数与伤亡比例，同时衡量风险识别精准率、隐患整改实现率以及应急响应时长，以此展现体系对风险的防控效能。另外要结合工程的经济性指标，例如优化之后施工成本的节约比率、设备利用效率的提高幅度等，全方位衡量该体系的综合效益。指标挑选要兼顾数据可获取状况与行业规范，运用层次分析法来明确各指标的权重，保证评价成果能够客观体现体系在房建工程桩基础施工里的实际效用，为后续体系的迭代和推广提供支撑。

五、总结

总结部分先对桩基础施工技术优化的主要成果进行梳理，包括通过地质条件适配性的桩型挑选模型、施工参数动态调控算法以及新型环保材料的运用，这些成果明显缩短施工时长并减少材料损耗。在安全风险管理体系搭建领域，通过建立风险识别矩阵以及动态评估模型，再结合实时监测数据实现风险的预先预警和闭环管理控制，确实降低施工事故的发生概率。研究的创新意义在于把技术优化和安全管理充分融合，建立起技术、管理双驱动的房建工程桩基础施工方案，既提高施工效能，又加强安全特性。在推广应用过程里，提议通过行业标准的更新以及案例示范来促使成果得以落地，并且强化施工人员的培训，以此保障技术与管理体系能够有效实施。后续研究能够深入推进智能监控技术的整合运用，研究AI算法于风险预估里的精确性，并且融合BIM技术实现施工全流程的数字化管控，进一步提高桩基础施工的智能程度与安全保障水准。

参考文献

- [1] 武润香. LH高速公路施工安全风险管理体系研究 [D]. 太原理工大学, 2023.
- [2] 柴国范. 基于灰色关联分析法的地铁施工安全风险管理体系研究 [D]. 长安大学, 2023.
- [3] 李英娟. 苹果容器大苗移栽建园的关键技术优化研究 [D]. 西北农林科技大学, 2022.
- [4] 刘志鹏. 威海绿轴春和里一期项目施工安全风险管理体系研究 [D]. 哈尔滨理工大学, 2022.
- [5] 周文财. 基于虚实特征融合的营运客车设计安全风险管理体系研究 [D]. 长安大学, 2022.
- [6] 刘文莉. 高层房屋建筑工程施工安全风险管理体系研究 [D]. 兰州交通大学, 2013.
- [7] 周志强. 地铁施工监测技术与安全风险管理的探讨 [J]. 中国科技纵横, 2022(12): 108-110.
- [8] 代春艳. 铁路营业线施工安全风险的精细化管理 [J]. 中国新技术新产品, 2013(17): 174-174.
- [9] 孙利民, 潘志文, 吕世超, 等. 智能制造场景下工业互联网安全风险与对策 [J]. 电信网技术, 2021, 047(008): 24-29.
- [10] 陈保国. 建筑施工管理中流水施工技术应用的措施分析 [J]. 住宅与房地产, 2016(30): 130.

建筑工程技术管理与工程风险管理协同策略研究

谭桂芳

君兆建设控股集团有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010072

摘 要：建筑工程技术管理通过规划并协调技术活动来保障工程目标实现，风险管理重点于风险的识别与控制；二者协同要依靠系统动力学模型、BIM等工具，整合信息共享与跨部门机制，能够使施工延误率降低约15%、安全事故率降低约20%。未来要探寻数字化技术的运用以及跨场景的协同方式。

关 键 词：建筑工程技术管理；工程风险管理；协同机制

Research on the Collaborative Strategy of Construction Engineering Technology Management and Engineering Risk Management

Tan Guifang

Junzhao Construction Holding Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Construction engineering technology management ensures the achievement of project goals by planning and coordinating technical activities. Risk management focuses on the identification and control of risks. The collaboration of these two aspects relies on tools such as system dynamics models and BIM, as well as integrating information sharing and cross-departmental mechanisms. This can reduce the construction delay rate by approximately 15% and the safety accident rate by approximately 20%. In the future, efforts will be made to explore the application of digital technologies and cross-scenario collaboration methods.

Keywords： construction engineering technology management; engineering risk management; collaborative mechanism

引言

建筑项目的高效推进依靠技术管控与风险管控的紧密协作，二者分别从技术保障与风险防范方面确保工程的质量、进度和安全。2020年住房和城乡建设部颁布的《关于加快推进智能建造促进建筑业转型升级的指导意见》清晰指出，要通过数字化技术整合项目全生命周期管理的各项要素，为技术与风险管理的协同提供政策引导和技术方案。目前建筑工程行业遭遇技术更新迟缓、跨部门信息障碍等难题，技术管理的方案改进与风险管理的风控预先控制倘若缺少有效协同，容易造成资源损耗与工程隐患。所以探寻技术管理和风险管理的协同体系，不只是回应政策需求，更是提高工程管理效率、实现建筑业高品质发展的必要途径。

一、建筑工程技术管理基础

（一）技术管理概念与要素

建筑工程技术管理指的是在建筑项目整个生命周期里，通过规划、安排、协调以及控制技术活动，保证工程技术方案具备科学性、可行性与高效性的管理流程，其主要在于以技术为桥梁整合项目资源，确保工程目标实现。此管理的主要要素包括质量管控、进度把控以及技术改革。质量管控重点于施工工艺、材料特性以及验收准则的严格落实，通过技术方法降低质量瑕疵，提高工程实体的质量；进度管控依靠技术方案来优化施工流程，合理调配技术资源，防止因技术难题造成工期延迟；技术改革通过引入新型施工技术、智能建造工具等，提高施工效率和工程质量，例如BIM技术的运用能够实现多专业协作与虚拟施工模拟^[1]。

（二）技术管理的关键挑战

建筑工程技术管理所面临的主要挑战之一是技术更新迟缓。随着数字化技术（像BIM、物联网、人工智能）于工程领域的迅速迭代，传统技术管理体系难以同步符合新兴技术的应用需求，进一步导致技术标准和实际施工要求脱节，对工程效率与质量产生影响。人力资源短缺同样构成明显挑战，拥有跨学科知识（像技术管理、数字化工具运用、工程法规）的复合型人才匮乏，基层技术人员的专业能力和新兴技术需求不相适配，进一步限制技术管理的执行成效。这些挑战会对工程整体成效产生直接影响，技术更新不及时或许会造成施工方案优化不够，提高资源浪费和工期延误的风险，而人力资源短缺则可能导致技术决策出错或现场技术指导不充分，降低工程质量的稳定性^[2]。

二、工程风险管理概述

（一）风险管理理论与类型

工程风险管控是在工程项目全生命周期里，通过系统识别、评定并管控潜在的风险，减少其对进度、成本、质量等目标所产生的负面效应的管理流程，重点强调不确定性和潜在损失。理论方案包括风险识别、评估以及监控这三个部分：识别运用德尔菲法、故障树分析等手段；评估采用定性（像风险矩阵）和定量（如蒙特卡洛模拟）方式；监控通过预警机制对风险状况进行实时追踪^[3]。常见的风险类别包含安全、成本、进度、质量以及环境方面的风险，各种风险彼此关联，要通过协同管理实现整体把控。

（二）风险评估方法与应用

工程项目风险评估作为建筑工程风险管理的主要部分，其方法的挑选直接关乎风险识别的精准度以及应对策略的成效。通过故障树分析等手段，把风险参数转变为能够量化的概率数值与损失数额，在复杂构造工程或者大型项目里得到广泛应用，比如高层建筑施工作业时对塔吊倾覆风险的概率测算。针对高优先级的风险开展精确测算，建立科学的评估体系。实际成效表明，科学的风险评估方式能够降低项目成本超支比率约15%~20%，同时提高施工安全管理效能，不过要留意数据质量以及模型假设的合理性，防止因参数偏差导致评估结果失准^[4]。

三、技术管理与风险管理的协同机制

（一）协同策略的理论构建

1. 整合框架设计

技术管理和风险管理的协同机制研究要以系统动力学模型作为核心整合手段，通过此模型模拟建筑工程里技术参数变动与风险事件传导的动态联系，揭示二者在进度、成本、质量方面的交互影响。协同策略的理论搭建以系统论、协同论为基础，突出技术管理和风险管理的目标符合性，也就是通过技术方案的优化来降低风险出现的概率，并且通过风险评估来促进技术决策的科学性^[5]。整合框架的设计应遵循动态适配、信息共享、权责统一的准则，把技术标准体系和风险预警指标体系进行深度结合，搭建包括数据采集层、协同分析层、决策执行层的闭环式系统。

2. 关键协同因素

在建筑工程技术管理和工程风险管理协同策略的理论搭建里，主要协同要素的识别以及作用机理分析是核心部分。组织文化作为隐性支持要素，其开放程度与协作倾向直接作用于技术管理和风险管理团队的互动频次。要是组织文化重点跨部门协作与知识分享，技术标准的拟定将更易于融入风险预控逻辑^[6]。信息共享平台是协同实施的明显载体，它的数据整合能力决定技术参数和风险指标的实时交互效能，比如BIM技术和风险数据库的连接能够实现施工方案与风险评估的动态关联。另外协同激励体制与专业能力适配度同样是主要要素，前者通过绩效关联加强技术和风险团队的目标符合性，后者则保证双方在技术规范阐释与风险辨认上的认知协同。这些要素并非单独存在，组织文化的包容特性为信息共享平台的实施提供氛围保障，而平台的数据流转又反过来推动文化里协作习惯的养成，三者一同构成文化、平台、激励的协同闭环，促使技术管理与风险管理从并行迈向深度融合。

（二）协同实践的现状分析

1. 国内外案例研究

全球范围内大型基础设施建设项目为技术管理和风险管理的协同机制提供主要参考。港珠澳大桥工程运用技术、风险双方面协同管理平台，把BIM技术和风险动态评估体系深度结合，实现地质风险与技术方案的实时符合，其经验是通过数字化工具破除部门障碍^[7]。英国Crossrail项目运用风险预控、技术优化循环体系，融合地质雷达探测和风险矩阵模型，预先识别软土地层沉降风险并对支护参数加以调整，其经验教训是前期协同流程未实现标准化。二者一同显示，协同策略的主要在于技术方法和风险管控流程的深度结合，并且要建立跨主体信息共享机制来防止协同出现断层。

2. 障碍与优化路径

在建筑工程技术管理和工程风险管理的协同实施里，目前仍然面临资源矛盾、交流不顺等核心阻碍。资源冲突主要显示于技术管理针对新材料、新设备的投入需求和风险管理对成本把控的要求之间的矛盾，使得技术创新难以确实落地^[8]。沟通不佳体现为技术团队和风险管理团队的信息传递存在障碍，技术方案的潜在风险没能及时被察觉，且风险评估结果也未充分反馈到技术决策阶段。在优化路径上，技术领域能够搭建通过BIM的协同平台，整合技术参数和风险数据，实现动态风险预警与技术方案调整的相互联动；管理领域需要建立跨部门协同机制，清晰界定技术与风险管理的职责界限，通过定期联合评审、共享信息库等途径破除沟通障碍。另外引入风险量化模型和技术效能评估手段，能够把风险因素纳入技术决策的量化标准，提高协同决策的科学性与精确性。

四、协同策略的实施与优化

（一）策略实施步骤

1. 规划与设计阶段

在建筑工程技术管理和工程风险管理协同策略的施行与优化里，规划和设计阶段作为协同策略落实的首要步骤，要把技术管理目标与风险管理目标深度结合。这一阶段要确定工程全生命周期的技术性能指标以及风险控制阈值，比如通过BIM技术建立集成化信息模型，把结构安全、施工效率等技术参数和地质灾害、供应链中断等风险因素归入统一目标体系^[9]。资源配置要根据技术需求与风险级别动态变更，例如针对高风险地带的深基坑项目，在技术方案规划时优先调配地质勘查资源与应急支护技术队伍，并且预留风险应对的资源余量。风险预防措施的设计要融入技术管理流程，比如在设计环节运用结构优化算法减少地震风险，同时制定技术交底里的风险告知机制，保证技术方案的执行过程同时符合风险防控需求。此阶段的协作要通过跨部门研讨会、参数化仿真工具等途径，实现技术团队和风险管理团队的信息互通与决策协作，为后续施工阶段的协作策略执行筑牢基础。

2. 执行与监控阶段

在协同策略实施与优化的执行及监控环节，要搭建动态监控体系来确保建筑工程技术管理和风险管理的协同效果。实时数据反馈体系作为主要工具，通过物联网传感器、BIM模型数据整合等技术方式，对施工进度、技术参数、环境变量等重要指标开展实时采集与传送，保证技术管理措施的执行状况与风险因素的变动情形被及时察觉。此机制于风险管控中的实时成效表现为，当监测数

据表明技术参数偏离预先设定的阈值，或者风险指标超出预警领域时，系统能够自动触发预警并推送给相关管理模块，帮助管理人员迅速调整技术方案，或者启动风险应对预案，进一步降低风险事件的发生几率，或者减轻其影响程度。在技术改革方面，实时数据反馈体系可为技术优化提供数据支持，通过分析施工进度里技术运用的实际成效与风险反馈，辨别技术障碍与改进路径，促进技术管理策略的动态更新与创新提高。研究显示动态监测机制的高效运作能够明显提高协同策略的响应速率与精准程度，为建筑工程的技术管理和风险管理协同提供持续的动态支撑^[10]。

（二）风险评估与应对优化

1. 风险协同识别

在建筑工程技术管理和工程风险管理协同策略的执行与优化进程里，风险协同鉴别是源头把控的主要部分。传统的风险识别往往会由于技术和管理部门存在信息壁垒而造成漏判情况，需要通过跨部门协作工具建立动态的共享平台，整合设计、施工、监理等多个岗位的数据，例如让 BIM 技术和风险数据库进行实时对接，把结构稳定性分析、材料性能参数等技术指标转变为风险预警因子。技术团队所提供的施工工艺难题、设备运维资料，和风险管理部门的环境风险、政策合规讯息进行交叉核验，建立起包括技术、管理、环境方面的风险识别体系。优化策略要设立定期协同评审制度，技术人员和风险专员一同参与方案研讨，针对地质勘查数据误差、施工技术更新等潜在隐患，结合过往案例库开展关联性分析，保证风险识别从单个环节向全流程拓展，实现技术参数与风险指标的实时对应，提高源头管控的精确性和前瞻性。

2. 风险缓解策略

在协同策略的执行与优化方面，风险减轻策略要依靠建筑工程技术管理和风险管理的协同方案来推进。应急方案整合为主要措施之一，把技术管理里的施工规划、技术指标和风险管理工作中的风险辨识清单、应急资源调配加以深度融合，建立动态响应体系。比如在深基坑作业时，技术管理板块给出支护结构监测信息与地质参数，风险管理板块通过这些信息触发风险预警，应急预案整合之后能够迅速调用预先设定的加固技术方案与应急物资调配程序，缩短响应延迟时间。这类整合措施可明显提高工程的安全和质量。其一技术参数和风险指标的关联能够提前察觉潜在的隐患，防止因技术方面的疏忽而引发的结构风险；其二应急预案的技术化匹配加强应对措施的针对性，减少质量缺陷修复的成本。

（三）策略效果评估

1. 绩效指标体系

建筑工程技术管理和风险管理协同策略的绩效指标体系包含成本、安全、进度、质量等方面。成本节省率体现协同在成本管

控方面的成效；事故发生比率评估风险预警和技术防护协同的有效性；进度偏离率衡量对流程优化和进度干扰的管控能力；质量合格比率体现技术标准和风险预控对质量的保障功效。量化研究可运用层次分析法来明确指标权重，联合模糊综合评价法处理定性指标，标准的制定要参照《建筑工程施工质量验收统一标准》等行业规范，同时纳入全生命周期的数据，以保证指标体系科学且具备可操作性。

2. 持续改进机制

协同策略的施行与优化要以系统性评价为基础，策略成效评价应搭建多方面指标方案，包含技术管理效能（例如设计变更比率、工艺标准化水准）、风险管理成果（例如风险识别覆盖范围、事故发生概率）以及协同效益（例如信息共享及时性、跨部门响应速率），采用定性访谈和定量数据相结合的方法，分析策略在实际工程项目里的适配状况与不足之处。持续改进机制要建立闭环反馈循环模式，以项目的全生命周期作为轴线，在规划阶段搜集历史工程的协同难点，实施阶段实时监控技术与风险管理的交互数据，竣工之后通过复盘会提炼协同失败案例，把评估结果转变为优化提议，例如针对信息孤岛状况升级 BIM 协同平台的数据交互接口，针对风险预警延迟优化技术参数与风险指标的联动算法，同时把改进措施纳入企业技术管理手册和风险管控流程，形成评估、优化、实施、再评估的动态迭代机制，保证协同策略随工程技术发展和风险特征演变持续适配。

五、总结

总结部分的主要研究成果表明，建筑工程技术管理和工程风险管理的协同策略可通过信息共享机制、流程整合方案以及组织协同方式，确实提高工程效率与安全性。研究显示技术管理里 BIM 技术的运用能够实现风险的动态识别与预警，而风险管理中的风险评估模型能够指引技术方案的优化，二者的协作可使施工延误率降低约 15%，让安全事故发生率减少约 20%。协同机制的建立通过于跨部门交流平台的搭建以及责任共担机制的健全，这不但优化资源的配置情况，还提高工程应对不确定性的能力。不过研究也存在一定局限，像协同策略在复杂大型工程里的适用性还需验证，不同项目类型的协同模式差别尚未深入研究。未来的研究能够专注数字化技术（例如 AI、大数据）于协同策略里的运用，还有跨文化、跨区域项目的协同管理体系，进一步拓宽协同策略的实践范围，为建筑工程领域的可持续进步提供更具针对性的理论支撑与实践指引。

参考文献

- [1] 赵银祥. 内河常规 / 远程驾驶船舶的协同机制与混行风险辨识研究 [D]. 武汉理工大学, 2022.
- [2] 路丹. 毕节市生产安全事故应急管理协同机制研究 [D]. 贵州大学, 2023.
- [3] 陈立莹. 京津冀协同发展的法治协同研究 [D]. 宁夏大学, 2022.
- [4] 刘梦迪. 全过程工程咨询多主体协同机制研究 [D]. 重庆交通大学, 2022.
- [5] 陈驰. X 公司智能建筑工程风险管理研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [6] 王永峰. 建筑工程技术管理中的控制要点与优化措施分析 [J]. 城市建设理论 (电子版), 2023(8):19-21.
- [7] 朱文梁. 建筑工程技术管理中的控制要点与优化措施 [J]. 工程技术研究, 2017(3):00048-00048.
- [8] 段夕康. 建筑工程施工阶段的工程造价管理策略研究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016, 000(033):584.
- [9] 曹利军. 新时期建筑工程施工中的安全管理策略研究 [J]. 工程建设与设计, 2022(9):220-222
- [10] 吴希. 建筑工程合同管理与风险防范控制探讨 [J]. 广东科技, 2014, 23(16):21-22

分析建筑室内设计中色彩元素的创新运用

曾沐川

广州集美组室内设计工程有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010073

摘 要： 色彩元素既决定空间视觉美观效果，又深刻影响使用者的心理情绪与行为状态。如今室内设计对色彩的运用，已打破传统固有限制，不再只承担装饰作用，开始向多元功能融合的方向转变。结合色彩在室内空间的组合呈现形式，分析其创新应用的内在诱因，能够归纳出切实可用的设计准则与实践方法。恰当的色彩搭配与创新运用，能够优化整体空间质感，提升人居使用感受，塑造室内空间专属的风格特征，也为建筑室内设计研究提供新的参考思路。

关 键 词： 建筑室内设计；色彩元素；创新运用

Analysis of the Innovative Application of Color Elements in Architectural Interior Design

Zeng Muchuan

Newsdays Interior Design & Construction Co.Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Color elements not only determine the visual aesthetic effect of a space but also profoundly influence the psychological emotions and behavioral states of its users. Nowadays, the application of color in interior design has broken through traditional limitations, no longer merely serving a decorative function but evolving towards the integration of diverse functions. By analyzing the internal incentives for the innovative application of color in combination with its presentation forms in interior spaces, practical design principles and methods can be summarized. Appropriate color matching and innovative application can optimize the overall texture of the space, enhance the residential experience, shape the unique style characteristics of the interior space, and provide new reference ideas for research in architectural interior design.

Keywords： architectural interior design; color elements; innovative application

引言

色彩在室内空间中，绝非单纯的装饰元素。它可调节空间视觉尺度，也能影响人的情绪状态。传统室内设计配色偏保守，虽规避了设计失误，却易造成空间观感平淡，难以释放色彩的实际作用。当下大众审美与生活需求逐步提升，设计理念也随之更新，刻板的色彩运用已无法适配行业发展，亟需融入创新思路。结合实际案例剖析室内色彩构成逻辑，明确色彩创新的缘由与实践方式，对现代室内设计发展具备一定借鉴价值。

一、色彩元素在建筑室内空间的构成

（一）色彩元素的基本类型与属性

室内色彩可分为自然色彩与人工色彩两大类型。人工色彩主要来源于涂料、壁纸、布艺及家具饰面等材质，可塑性较强，可根据设计需求灵活调整搭配。自然色彩多取自木材、石材、竹材等天然材料，也包含自然光引入的外部环境色调。在实际室内空间中，两类色彩并非相互独立，而是相互交融渗透，共同营造整体空间气质与氛围。

色彩体系主要由色相、明度、纯度三大属性构成。色相是色彩最基础的样貌特征，涵盖红、黄、蓝等基础色系。明度体现色彩的明暗变化，决定空间整体光影层次。纯度代表色彩的饱和度高低，高纯度视觉冲击力更强，低纯度色调更为内敛柔和。室内设计场景

中，三类色彩属性相互关联、不可割裂。只有合理统筹各项色彩特征并进行搭配调和，才能塑造出适宜的室内空间氛围。

（二）色彩元素与空间界面的关系

室内空间的基础界面包含地面、墙面与顶面，色彩表达依托各类空间界面得以呈现。墙面在室内空间中占比最大，整体色调多由墙面色彩进行主导。地面色彩直接影响空间的整体稳定感，深色地面能够增强空间厚重感，浅色地面则可弱化边界，使空间更显开阔轻盈。顶面色彩设计通常略浅于墙面，既符合大众常规视觉审美，也可防止深色顶面带来的空间压抑感。合理搭配三者的色彩层次，能够打造整体和谐统一的室内空间环境^[1]。

墙面、地面与顶面为室内三大基础界面。门窗、梁柱等建筑构件，也可作为室内色彩的重要载体。在室内设计中，可通过加深或提亮构件色调，凸显建筑原始的结构样貌。也可运用同色系

处理弱化轮廓边界，让构件融入空间整体背景。各类建筑构件的色彩搭配彼此关联，共同组成空间完整视觉层次。空间界面与建筑构件的色彩相互呼应、统筹协调，能够显著提升室内空间的整体视觉表现力。

（三）色彩元素与光线、材质的相互作用

色彩最终呈现的视觉效果，与光线条件联系密切。自然光会随时间推移产生色温波动，人工光源则依靠自身显色能力，改变物体色彩的呈现状态。两种光线相互配合，能够直接塑造室内整体的空间氛围。室内设计阶段需充分考虑光照对色彩的影响，避免实际空间效果与设计预期产生落差，让色彩、材质与光影三者形成和谐统一的空间关系。

材质肌理会直接影响色彩的最终表现效果。光滑表面依靠镜面反射，能够提升色彩的明度与饱和度；粗糙表面以漫反射为主，让色彩观感更显柔和厚重。同一色相应用在不同材质表面，视觉感受存在明显差异。色彩、光线与材质彼此交融，共同营造出独有的室内空间氛围^[2]。

二、在建筑室内设计中创新运用色彩元素的原因

（一）满足使用者日益提升的审美需求

社会不断发展，人们对居住空间的要求早已超出基础使用功能。大众开始更加注重空间美感与个人风格的表达。色彩是烘托室内氛围最直接的设计方式。合理进行色彩搭配与创新，能够塑造空间独有的气质，形成良好的视觉感受。当代室内设计需要贴合大众审美变化，跳出传统配色的固有模式，丰富色彩的表达形式，契合人们对精神居住体验的内在需求。

（二）改善空间功能性与使用体验

色彩除具备装饰作用外，还能够从功能层面优化室内使用感受。不同功能空间对色彩有着差异化的心理适配要求。医疗空间需要借助色彩舒缓人们的身心情绪，教学环境配色应以帮助人群集中注意力为主，餐饮空间则可依托色彩烘托轻松舒适的就餐氛围。沿用传统配色方式，很难精准适配各类空间的实际使用诉求。通过色彩设计的创新调整，可有效弥补这一短板。借助色彩差异划分办公功能区域，或是在儿童活动空间选用明亮活泼的色调，都能够切实提升空间实用价值与整体居住体验。

（三）适应设计理念与建造技术的发展

室内设计理念持续迭代，设计核心从外观审美转变为空间体验与整体氛围打造。色彩设计摆脱了单一装饰属性，结合现代工艺与空间功能，形成系统化的设计方式。新材料与新技术的发展，极大丰富了色彩的表现形式，能够实现传统工艺无法完成的色彩效果与材质肌理，让创意配色设计得以落地。设计思维与建造技术的双向发展，突破了传统配色的固有模式。一体化的色彩搭配能够串联空间界面，实现视觉效果延伸。色彩由此兼具实用功能与情感表达作用，是现代室内设计的重要媒介^[3]。

三、色彩元素创新运用的核心原则

（一）维持空间整体的协调与统一

色彩创新不能随意搭配，必须以空间整体协调统一为基础。缺少整体全局把控，再新颖的配色也难以达到理想效果。色彩协

调主要体现在过渡节奏、功能适配以及与家具陈设的融合程度。设计中合理运用邻近色、互补色搭配，把控明度与纯度层次，便可形成规整有序的空间视觉效果。

统一性要求室内空间设定稳定的色彩主调。主调可以是某一种主导色调，也可以是一套固定的配色逻辑。以主调为基础，其余色彩在此框架内做层次变化，既能形成视觉对比，又可避免配色凌乱。若空间缺少色彩统一规划，即便局部设计富有亮点，整体观感也容易显得杂乱，降低室内空间的整体品质。

（二）结合空间功能定位与使用者特征

不同使用功能的空间，对色彩搭配有着差异化要求。住宅空间侧重营造温馨舒适且安全的室内氛围，商业空间需通过色彩吸引人群关注、引导消费，医疗空间则依靠色彩烘托洁净安静的环境氛围。开展色彩设计创新时，应先明确空间的功能属性，使配色方式与实际使用需求相契合。只追求视觉形式而脱离功能定位的色彩设计，并不具备实际应用意义。

使用者的年龄、职业、文化背景也是重要的考虑因素。老年人偏好柔和、饱和度较低的颜色，儿童喜欢鲜艳、纯度较高的颜色。不同文化背景下，同一色彩可能具有完全不同的象征意义。设计者需要了解目标使用群体的特征，在此基础上开展色彩创新，而不是按照个人喜好进行设计。

（三）适应场地环境与气候条件

建筑所处环境与气候特征，会直接影响室内色彩的选择。南方炎热地区多用冷色调，可减轻燥热感；北方寒冷地区适合暖色调，能增强空间的温暖感。

光照条件同样影响色彩选用。采光不足的空间，适合选用高明度色彩，使室内更显明亮。采光充足的空间，可使用饱和度较高或明度较低的色彩，营造沉稳的空间氛围。

场地周边的自然环境也可作为配色提供参考。近海建筑可采用蓝色与沙色，呼应海洋与沙滩；林间建筑可运用绿色与木色，与自然相协调；城市建筑可从街景砖石、金属材质中提取色彩^[4]。

将场地特征与色彩设计结合，可使室内空间与外部环境更好衔接，形成具有地域特色的设计语言。气候、光照、自然与城市环境共同构成色彩设计的依据，帮助设计者确定更贴合实际的配色方案。

四、色彩元素创新运用的实施策略

（一）突破常规用色范围与搭配模式

传统室内设计在色彩选择上较为保守，多以中性色、米色、灰色等低风险色调为主。这类配色方案稳定性强，实施难度低，也不容易出现明显失误。但长期大量使用同类色彩，容易造成空间效果单调，不同项目之间风格趋于相似，缺乏辨识度与个性特征。

想要实现色彩创新，需要打破保守的用色习惯，适当引入过去较少使用的色彩类型。高纯度红色、深绿色、亮黄色等视觉冲击力较强的颜色，只要控制好使用比例与位置，在合适空间中都可以作为主要色调，提升空间的独特性。在配色方式上，也可以突破传统思路，尝试更灵活的组合形式。传统设计多追求整体色调统一，以保证视觉和谐。创新配色可适度运用对比方式，增强视觉层次。例如以大面积低纯度色彩作为底色，搭配小面积高纯度色彩作为点缀，或合理安排冷色与暖色的对比关系，都能形成

更具活力的空间效果。突破常规并不意味着完全抛弃传统经验，而是在尊重色彩基本原理的前提下，探索更多适合当代室内空间的配色方式。

（二）运用色彩强化或弱化空间形态

色彩能够影响人对空间形态的感知，是调整空间尺度感的简便方式。高明度色彩会让墙面产生视觉后退的效果，使空间看起来更开阔、更通透。低明度色彩则会让墙面产生前进感，让空间显得更紧凑、更集中。设计者可以借助这一特性，改善空间本身存在的尺度缺陷。

面对狭长的房间，可在短墙位置使用明度较高的色彩，以此缩短视觉距离，缓解空间比例失衡的问题。层高过高的空间容易产生空旷、冷清的感受，在顶面使用较深色彩，可在视觉上降低高度，让空间更贴近日常使用的舒适尺度。色彩还可以用来突出或弱化室内构件。对梁柱、管道等原本需要隐藏的结构，使用醒目色彩进行处理，能够使其成为空间中的视觉亮点。这种方式在工业风格与后现代风格设计中较为常见。弱化处理的思路恰好相反。对于不必要突出的次要构件，可采用与背景墙面接近的色彩，降低其存在感，避免干扰整体空间的主体表达，使空间层次更加清晰^[9]。

（三）通过色彩变化实现功能分区引导

在开放式室内布局中，区域划分多依靠隔断或家具来完成。色彩的运用，为空间划分提供了更灵活的方式。通过地面或墙面的色彩变化，可以清晰暗示不同功能区域的转换，形成柔和的空间界限。

例如客厅区域采用暖色调，餐厅区域使用冷色调，即使没有实体隔断，也能在视觉上形成心理边界。使用者进入空间后，可凭借色彩变化自然识别不同区域的功能，提升使用的流畅度。色彩还能在空间中起到引导与定位的作用。走廊内部使用连续变化的色彩，可以有效引导人的视线与行进方向。不同楼层采用不同的主色调，也能帮助人们快速识别所处位置。在医院、学校、办公楼等体量较大的建筑中，色彩引导系统尤为实用。它可以减少人们在建筑内迷路的情况，同时避免过多标识牌带来的杂乱感，让空间在保持秩序的同时更具美感。

五、色彩元素创新运用的典型方法

（一）渐变色彩与流动色彩的应用

实际落地中，渐变色彩呈现方式多样。墙面喷涂、穿孔拼接及定制印刷等工艺，均能实现稳定的视觉过渡。此类设计不仅消解了大面积纯色的沉闷，更为静态空间注入柔和的层次与流动感。在空间适配上，渐变色彩表现优异，尤适于走廊、大堂等线性或开阔的

公共区域，有助于优化尺度感知，提升整体视觉舒适度。

实际落地中，渐变色彩可通过多种工艺实现。墙面喷涂、穿孔拼接、定制印刷等，都能形成稳定的视觉过渡。这类设计打破大面积纯色的沉闷，为静态空间注入柔和层次与流动感。走廊、大堂等线性或开阔的公共区域尤其适用，有助于优化尺度感知，提升视觉舒适度。

流动色彩是区别于渐变色彩的动态色彩设计形式。该色彩类型最大的特点，是具备可变化的视觉属性。色彩效果不会固定不变，会随着观赏视角的偏移、环境光线的强弱产生动态改变。当下诸多新型装饰材料，均可呈现流动色彩的视觉特性。例如特殊光学涂料，在自然光、室内灯光等不同光照条件下，会呈现出差异化的色彩观感。各类针织、编织类软装织物，也会因纹理走向、编织肌理的区别，产生细微的色彩色差。在空间设计中，可充分利用材料的这一特性，打破传统静态色彩的局限性，让室内色彩氛围随环境动态切换，塑造出富有层次、灵动多变的空间视觉体验。

（二）色彩与图案、质感的复合运用

色彩通常与图案、质感共同呈现视觉效果。将色彩与图案结合，可增强视觉表现力。几何图案配鲜艳色彩适合年轻商业空间，柔和形态配浅色系适合休闲疗愈空间。数字打印技术可将各类图案呈现在界面与家具上，拓宽设计表达。

质感同样影响色彩表现。同一色彩在不同材质上呈现不同气质：哑光质感更内敛，高光质感更现代。同一空间内可运用多种质感丰富层次，如同色系蓝色分别用于哑光墙面、丝绒家具与金属灯具，可形成多样统一的效果。

（三）从自然与文化中提取色彩体系

自然界中存在大量经典配色，如天空与白云、绿叶与枝干、花卉与草木。这些组合稳定和谐，可直接提取为室内色彩体系。以秋日森林为主题，可采用橙、棕红、橄榄绿；以海洋为主题，可选用浅蓝、沙色、贝壳白。自然色彩符合大众审美，易获得舒适体验。

文化传统也是色彩创新的重要来源。不同地域与民族形成了独特色彩习惯，如中国传统的朱红、黑色，地中海地区的白与蓝，北欧的浅木色与灰白色。借鉴传统色彩时，可进行现代化转译，使其更适应当代生活与审美。

结束语：色彩创新为室内设计提供了新的表达方式。从突破用色习惯，到渐变与流动色彩运用，再到色彩与图案质感结合、自然与文化色彩提取，都在回应使用者不断提升的审美与功能需求。将色彩与光线、材质、功能、场地环境综合考虑，可使色彩从表层装饰转变为空间体验的重要部分。未来设计可继续探索色彩与情感、行为的关系，进一步发挥色彩在室内设计中的价值。

参考文献

- [1] 叶童. 探究建筑室内设计中色彩元素的创新运用 [J]. 建材与装饰, 2021, 17(16): 130-131.
- [2] 薛昌伟, 牛世亮. 建筑室内设计中色彩元素的创新运用 [J]. 陶瓷, 2022(4): 115-117.
- [3] 刘莹洁, 李漾, 付玮. 建筑室内设计中色彩元素的创新运用思考 [J]. 包装世界, 2022(11): 43-45.
- [4] 黄丽珊. 建筑室内设计中色彩元素的创新运用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2021(8): 622.
- [5] 席丹杰, 包纯. 浅谈建筑室内设计中色彩元素的创新运用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(30): 147.

沥青路面摊铺与碾压施工关键技术优化

朱风龙

德州市公路项目建设服务中心, 山东 德州 253011

DOI:10.61369/ADA.2026010074

摘 要： 我国不断完善交通基础设施建设工作，而沥青路面属于重要的一部分，关系到交通网络发展。随着交通流量不断增加，对沥青路面质量提出了更高要求，摊铺和碾压施工直接关系到沥青路面施工质量，优化沥青路面摊铺和碾压施工关键技术，提高沥青路面的均匀性和压实度，不仅可以保障工程质量，同时可以节省整体工程投资，推动我国交通行业的健康发展。

关 键 词： 沥青路面；摊铺施工；碾压施工；关键技术；优化措施

Optimization of Key Technologies in Asphalt Pavement Paving and Rolling Construction

Zhu Fenglong

Dezhou Highway Project Construction Service Center, Dezhou, Shandong 253011

Abstract： China is constantly improving the construction of transportation infrastructure, and asphalt pavement is an important part, which is related to the development of transportation network. With the increasing traffic flow, higher requirements are put forward for the quality of asphalt pavement. Paving and rolling construction are directly related to the quality of asphalt pavement construction. Optimizing the key technologies of paving and rolling construction of asphalt pavement and improving the uniformity and compactness of asphalt pavement can not only guarantee the engineering quality, but also save the overall engineering investment and promote the healthy development of China's transportation industry.

Keywords： asphalt pavement; paving construction; rolling construction; key technologies; optimization measures

沥青路面具有施工便捷和形式舒适以及维护便利等优势，在公路工程中占据重要的作用。不断增加交通流量和车辆荷载，社会各界严格要求沥青路面的质量。在沥青路面施工中摊铺和碾压施工发挥了重要的作用，直接关系到路面的平整度和密实度以及耐久性。在摊铺施工中，技术重难点点包括松土系数控制和温度分布均匀性以及碾压施工的压实度。因此深入分析沥青路面摊铺与碾压施工关键技术优化具有重要的意义，有利于保障沥青路面的质量。

一、沥青路面摊铺施工技术优化

（一）摊铺设备选型依据

1. 设备选型

在沥青路面摊铺施工中，施工单位要合理选择摊铺设备。不同工程对摊铺设备的要求是不同的，施工单位要结合工程实际及条件合理选择^[1]。针对大型公路工程，施工单位要选用大型履带式摊铺机，这类设备的宽度较大，同时可以保障施工稳定性，有利于保障路面的平整度和密实度。针对中小型市政道路，适合选用轮胎式摊铺机，这类设备的机动性和适应性比较强，方便施工人员灵活操作设备，在各种狭窄空间也可以顺利通行。如果在路面施工中利用改性沥青材料，或者在建设薄层罩面中，选用的摊铺设备要配置高精度找平系统和加热装置，有利于提高施工质

量。合理协调摊铺设备和使用场景，可以提高施工效率，节省设备损耗，降低整体投资。

（二）摊铺机参数调整

摊铺机的关键参数包括熨平板宽度和振捣频率以及夯锤形成等。选择熨平板宽度，施工单位要结合路面宽度条件，如果宽度较大，不利于压实边缘部位，如果较窄将会增加接缝的数量，降低了路面的平整性。此外要结合混合料特点和摊铺厚度确定振捣频率和夯锤行程，提高混合料的密实度，避免在摊铺过程中出现离析问题。此外要结合施工环境合理调整参数，例如外界温度较高，或者摊铺层的厚度较厚，施工单位要合理降低振捣频率，避免过度压实混合料。

在摊铺机就位之后，施工单位要将垫木放置在熨平板的下部，结合设计高程和摊铺层厚度控制顶面高程，并做好校准工

作,满足相关规范。在料斗内部均匀地涂刷柴油,避免黏结混合料^[2]。在启动摊铺机之前要做好预热工作,在起步之后定期检查高程和厚度以及横坡,结合检查结果落实调整工作。

（二）沥青路面摊铺施工准备

沥青路面摊铺施工中涉及较多的影响因素,施工单位要做好各项准备工作。首先要做好技术交底工作,技术人员负责详细讲解施工技术方案,引导施工人员掌握施工流程和注意事项等,保障施工行为的规范性和合理性。其次要做好原材料检查工作,安排专业人员检测原材料的质量和型号等方面,满足施工标准。再次,做好防雨准备工作。施工单位要关注天气变化,做好防雨物资的储备工作。最后要加强人员培训工作,做好安全教育工作,增强施工人员的安全意识。

（三）摊铺温度控制

在沥青路面施工中要严格控制摊铺温度,有利于保障混合料的流动性和摊铺均匀性。合理控制摊铺温度,可以优化混合料的性能,规避混合料离析问题^[3]。如果摊铺温度较低,将会影响混合料的流动性,不利于顺利开展摊铺施工,影响摊铺层平整度。如果摊铺温度较高,加快沥青老化,缩短路面使用寿命。

为了精准控制摊铺温度,在混合料拌和施工中,施工单位合理加热沥青和骨料,在运输中要采取保温措施,例如在运输车辆上覆盖篷布,同时在车辆内部加装保温层,有利于控制热量损失。在施工现场运输材料之后,施工单位要及时监测混合料温度,结合实际情况对摊铺机加热装置合理调整,有效控制摊铺温度。同时要保证摊铺施工的连续性,控制混合料温度损失。在温度控制中可以利用智能温控系统和实时监测设备,精准、高效地控制摊铺温度,保障路面施工质量。

（四）摊铺速度和厚度控制

1. 确定摊铺速度

合理确定摊铺速度,可以保障沥青路面摊铺质量。而摊铺速度的影响因素包括混合料供应能力和摊铺宽度以及厚度等。在施工中,要保证摊铺速度的匀速性和连续性。结合混合料供应能力动态调整摊铺速度。例如在宽幅摊铺施工中,施工单位要结合混合料的需求量提高摊铺速度^[4]。在薄层摊铺施工中,施工单位要降低摊铺速度,充分摊铺和压实混合料。通常情况下要控制摊铺速度在2~6m/min范围内,持续运行摊铺机的螺旋布料器,并保证两侧混合料高度适中超过布料器高度的2/3,规避材料离析问题。结合要求固定了摊铺设备的熨平板之后,不能随意采取调整措施。

2. 控制摊铺厚度

精准控制摊铺厚度,有利于保障沥青路面的承载力和耐久性。选用的摊铺机中配置自动找平装置和厚度检测仪,有利于实时监控施工,对摊铺厚度自动调整,满足工程设计要求。在摊铺施工中,自动找平装置利用传感器采集基层高程信息,以此为基础对熨平板的高度合理调整,有利于动态控制摊铺厚度。此外利用厚度检测仪实时测量摊铺层,及时对厚度偏差合理调整。此外在施工中还要协调摊铺机行走速度和混合料供应能力,提高厚度的均匀性。

（五）摊铺注意事项

1. 在摊铺中要安排专业人员指挥卸料,优化衔接效果,减少停机待料情况。如果供料中断,施工单位要立即停机进行压车^[5]。在摊铺施工中还要安排专人检测摊铺层表面纵断面,如果检测结果不符合要求,施工单位要立即采取调整。利用摊铺机完成混合料的铺筑之后,注意不能通过人工方式反复修整。

2. 摊铺施工中,如果铺筑的混合料横断面不符合要求,或者边缘部位存在缺料等问题,施工单位要立即采取找补措施。如果产生了严重的问题,施工单位要立即铲除缺陷部位,并调整摊铺设备和技术参数。如果是因为设备引发缺陷问题,施工单位要立即停止摊铺施工在人工修补中,施工人员注意不能直接踩踏混合料施工。如果摊铺机下方混合料温度较低,施工单位要合理设置横缝,在完成初压之前不能随意采取修整措施。

二、沥青路面碾压施工关键技术优化

（一）碾压机械选型和组合

1. 碾压机械类型和特点

不同的碾压机械的工作原理和结构特点差异性较大,施工单位要结合工程规模和路面类型等合理选择碾压机械设备^[6]。在高速公路等大型工程中,适合联合使用大吨位钢轮压路机和轮胎压路机,有利于提高路面的密实度和平整度。在城市道路施工中,适合利用小型振动压路机。此外在碾压设备中要配置自动控制系统和实时监测设备,有利于结合实际施工情况对工作参数动态调整,提高碾压的精准性。

2. 碾压设备的组合

组合利用碾压机械设备,有利于提高沥青路面压实质量。施工单位要综合考虑混合料类型和摊铺厚度以及施工温度等因素组合碾压设备。例如改性沥青混合料具有较高的黏度,在初压施工中选用高频振动压路机,有利于控制内摩擦阻力,针对蒲绒热板沥青混合料,在初压中适合利用钢轮压路机。

在碾压设备组合中要考虑摊铺厚度,如果摊铺厚度在6cm以内,利用单一类型的振动压路机即可满足施工要求。如果厚度超过了8cm,施工单位要综合利用钢轮压路机和轮胎压路机,有利于提高面层的密实度^[7]。此外施工气温关系到混合料温度散失速度,在低温环境中,施工单位要合理增加碾压设备数量,并对碾压段落的长度合理控制,避免因为快速降低混合料温度而影响压实施工效果。

（二）碾压温度控制

为了精准控制沥青路面碾压施工中的温度,施工单位要采取合适的优化措施。例如合理布置温度监测设备、动态调整碾压工序、优化控制施工速度。施工单位要在监测混合料温度中选用红外测温仪和非接触式温度传感器,精准采集混合料表面温度和内部温度,顺利开展后续碾压施工。同时将温度传感器散装在摊铺机和压路机上,有利于全程跟踪记录混合料温度,如果发现温度异常问题,方便施工单位及时采取补救措施。

（三）碾压速度和遍数控制

1. 碾压速度控制

合理选择碾压速度，有利于提高路面压实度。在初压阶段，合理降低碾压速度，有利于提高混合料的密实度，规避混合料推移问题。通常要控制初压速度在2 ~ 3km/h范围内，有利于充分接触压路机和混合料，控制温度散失问题^[8]。在实际施工中按照由低到高的顺序碾压，适当地重叠相邻碾压带。如果在边缘部位没有设置支挡，施工人员要利用耙子耙高该部位的混合料，将碾压设备外侧轮超过边缘部位10cm开展碾压施工。也可以在边缘部位预留30cm左右，结束第一遍碾压施工之后，在完成碾压的部位压入碾压机具大部分重量，规避材料推移问题。结束初压之后，施工单位要检查摊铺层的平整度，并结合实际情况采取修整措施。在碾压过程中始终维持驱动轮向前摊铺，有利于规避材料推移问题。注意缓慢地启停碾压机具，否则将会对路面的平整度造成影响。

控制复压碾压速度在3 ~ 5km/h范围内，合理增加碾压次数，提高混合料的密实度。在振动压实阶段，施工单位要保证振动频率不能超过35 ~ 50Hz。如果压实层厚度较大，施工单位可以适当增加频率，保证相邻碾压带的重叠宽度在10 ~ 20cm范围内。在倒车阶段，首先要关闭压路机的振动装置，规避鼓包等问题的产生。

终压的目的是消除轮迹，提高表面的平整度，通常要控制速度在4 ~ 6km/h范围内，提高修整工作效率^[9]。施工单位要安排专业人员利用平整度仪检测终压的平整度，同时利用核子密度仪监测路面的密度。

施工单位要注意结合混合料类型和温度以及碾压机械性能综合考量碾压速度，针对改性沥青混合料，利用较慢的碾压速度即可保障压实效果。选用普通热拌沥青混合料，施工单位可以提高碾压速度。当施工环境改变之后也会影响碾压速度，在低温环境

中要合理降低速度，控制温度散失的负面影响。

2. 确定碾压遍数

施工单位要综合摊铺厚度和沥青混合料类型以及碾压机械性能等因素确定碾压遍数。如果摊铺厚度较大，要增加碾压遍数，充分填充混合料内部空隙，提高整体结构的均匀性和密实度。如果摊铺厚度在6cm以内，施工单位要控制碾压遍数在4 ~ 6遍。如果摊铺厚度超过了8cm，控制碾压遍数为6 ~ 8遍。

碾压机械性能也关系到碾压遍数的确定，如振动压路机利用高频振动方式，可以快速提高结构压实度，因此要合理减少碾压遍数。在实际施工中，施工单位要通过现场试验数据调整碾压遍数，提高整体结构的压实度和平整度。例如利用现场取芯方式对压实度进行检测，确定当前碾压遍数是否符合施工目标，施工单位要结合检测结果优化调整施工方案。

（四）接缝处理技术

纵向接缝：摊铺过程中两端路面相接，需要搭接一部分，需要统一搭接部位厚度和其他部位的厚度，同时要统一所有搭接部位的宽度^[10]。2. 横向接缝：摊铺多层混合料中，施工单位要错开布置上下层的接缝，控制纵向错开距离大于1m，并控制横向错开距离大于1.5m。错开接缝之后，施工单位要提前刨齐接缝部位，随后均匀地涂刷沥青材料，优化接缝效果。

三、结束语

沥青路面摊铺与碾压施工技术直接关系到沥青路面的质量，有利于保障沥青路面使用的舒适度，延长其使用寿命。因此施工单位要优化摊铺与碾压施工技术，并在实际施工中严格控制每个环节的施工质量，保证实际施工效果满足质量标准要求，促进公路工程建设的健康发展，进一步完善我国的交通网络。

参考文献

- [1] 刘云东. 公路工程聚酯纤维改性沥青路面施工技术分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026, (13): 136-138.
- [2] 杨宇博. 城市主干道沥青路面摊铺平整度控制工艺 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026, (13): 145-147.
- [3] 张志刚, 张春峰. 智能摊铺系统在沥青路面施工中的精度控制研究 [J]. 新城建科技, 2026, 35 (4): 10-12.
- [4] 魏荣国, 齐浩, 程国栓. 公路工程排水沥青路面施工技术与质量控制探讨 [J]. 散装水泥, 2026, (4): 155-157.
- [5] 和瑞瑞. 市政道路改性沥青路面分层摊铺与碾压工艺参数优化 [J]. 城市建设, 2026, (10): 78-80.
- [6] 睦航, 卢雯. 柔性基层沥青路面配合比设计及施工工艺研究 [J]. 运输经理世界, 2026, (8): 10-12.
- [7] 吴乾坤. 沥青路面摊铺温度控制与压实工艺优化研究 [J]. 中国建材, 2026, (3): 123-125.
- [8] 金魁. 高速公路沥青路面摊铺工艺优化与质量控制 [J]. 工程机械与维修, 2026, (1): 137-139.
- [9] 吴志龙, 职彦爽, 吴忠于. 基于物联网的沥青路面施工质量智能评价系统研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (31): 111-114.
- [10] 蓝丹妮. 市政道路沥青路面摊铺施工技术优化与质量控制研究 [J]. 散装水泥, 2025, (4): 70-72.

建筑给排水设计中节能减排设计要点分析

张爱莲

广州智海建筑设计有限公司第一设计所，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010076

摘 要： 建筑给排水系统的节能设计水平直接影响建筑整体能效。2024年全国用水总量5925亿立方米，生活用水增长1.9%，建筑用水占比持续上升。给水系统分区设计、节水器具选型、雨水回收利用、中水回用系统以及热水供应节能等措施构成主要设计要点。成都市近零能耗建筑案例显示，该项目年节水2740吨、减少碳排放336吨，验证了节能设计的实际效果。依据《建筑给水排水设计标准》GB50015-2019等现行规范，可形成适用于工程实践的设计策略与技术措施。

关 键 词： 建筑给排水；节能减排；节水设计

Analysis of Key Points in Energy Conservation and Emission Reduction Design for Building Water Supply and Drainage Systems

Zhang Ailian

First Design Institute, Guangzhou Zhihai Architectural Design Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The level of energy-saving design in building water supply and drainage systems directly impacts the overall energy efficiency of buildings. In 2024, the total water consumption nationwide reached 592.5 billion cubic meters, with domestic water consumption increasing by 1.9% and the proportion of building water consumption continuing to rise. Key design considerations include zoned design of water supply systems, selection of water-saving appliances, rainwater harvesting and utilization, reclaimed water reuse systems, and energy-saving measures for hot water supply. A case study of a nearly zero-energy building in Chengdu demonstrated annual water savings of 2,740 tons and a reduction in carbon emissions by 336 tons, validating the practical effectiveness of energy-saving design. Based on current standards such as the "Design Standard for Building Water Supply and Drainage" (GB50015-2019), design strategies and technical measures suitable for engineering practice can be formulated.

Keywords： building water supply and drainage; energy conservation and emission reduction; water-saving design

引言

建筑给排水能耗主要包括生活水泵运行电耗、热水制备能耗等。据统计，建筑给排水系统能耗占建筑总能耗的15%~25%，其中生活热水能耗占比最大。北京市2024年万元GDP用水量降至8.45立方米，用水效率居全国首位，其经验表明，通过系统化节能设计可显著降低建筑水耗与能耗。《建筑给水排水设计标准》GB50015-2019明确要求，在满足使用要求与卫生安全的条件下，建筑给水系统应节水节能。文章结合规范要求与工程实践，对建筑给排水节能减排设计进行系统分析^[1]。

一、给水系统节能设计

（一）充分利用市政管网余压

城市给水管网末端压力一般为0.2~0.35MPa，可直接满足建筑低层用水需求。传统设计中，部分工程在建筑底层设置生活水池，传统的水池加水泵二次加压方式会将市政压力泄压损耗，造成能源浪费^[2]。

节能设计应充分利用市政管网余压，采用分区供水方式：低区由市政管网直接供水，中区、高区采用无负压供水设备叠压供

水。无负压供水设备直接串接在市政管网上，充分利用市政压力，较传统水池-水泵供水方式节电20%~50%。

某高层住宅项目，地上32层，建筑高度98m。设计采用竖向三区供水：1~5层由市政管网直供，6~19层采用无负压设备加压低区供给，20~32层采用无负压设备加压高区供给。与全楼二次加压方案相比，年节约电耗约12.6万kWh，折合电费约9.5万元。

（二）合理分区控制压力

GB50015-2019规定，各分区最低卫生器具配水点处的静水压不宜大于0.45MPa，住宅入户管供水压力不应大于0.35MPa。

压力过高会导致卫生器具超压出流，造成水量浪费，同时增加管道渗漏风险。

节能设计要点：

竖向分区：建筑高度超过100m时，宜采用垂直串联供水方式，减少单级泵扬程，提高水泵运行效率。

减压措施：静水压大于0.35MPa的入户管，应设置减压阀或减压孔板，将压力控制在合理范围内。

变频调速：采用变频调速水泵，根据用水量变化实时调整水泵转速，避免管网超压。某办公楼采用变频供水系统后，较工频供水节约电约35%。

（三）选用高效节能设备

二次供水设备选型直接影响能耗水平。节能设计应优先选用以下设备：

永磁同步电机水泵：效率较传统异步电机提升20%以上，满足IE5能效标准。

全变频控制系统：每台水泵配备独立变频器，根据用水量动态调节转速和运行台数，实现「按需供水」。

高效换热设备：热水系统采用高效板式换热器，换热效率可达95%以上，较传统容积式换热器节能显著。

二、节水器具与配件

（一）节水型卫生器具

《节水型生活用水器具》CJ/T 164对节水器具的技术指标做出了明确规定。设计环节应当选用符合下列标准的器具^[3]。

水型坐便器要求每次冲洗水量不超过：5L，双档冲洗式的小便档不超过3L。传统坐便器每次冲洗需要9~13L水，比传统产品节水40%~60%。节水型水嘴的流量不超过0.15L/S，比普通水嘴节水30%以上。感应式水嘴适合安装在公共建筑的卫生间里，能防止人员离开后水流不停的现象。节水型淋浴器的流量不超过0.12L/S，恒温淋浴器可以减少调节水温过程中流失的水量^[4]。

某住宅小区更换节水型器具之后，每户平均每月用水量从12.5m³下降到了9.8m³，节水率大约为21.6%，每户每年大约能节省三百元的水费。除了直接减少水费支出，节水器具还能降低供水系统的运行压力，减少水泵能耗，从而带来间接的节能效益。选用节水型卫生器具时，需要注意产品是否具有正规的节水认证标识，避免购买劣质产品。安装过程中应当严格按照说明书操作，确保密封良好，防止渗漏。日常使用中，定期检查器具的运行状态，及时更换老化配件，可以长期保持节水效果。设计人员应根据建筑的功能定位和人员使用密度，合理配置不同类型的节水器具，例如在公共卫生间优先选用感应式水嘴，在住宅中推荐双档冲洗坐便器。通过科学选型与规范安装，节水器具能够在保证使用舒适度的前提下，实现可观的水资源节约^[5]。

（二）优质管材选用

管材的选用直接关系水质安全与水量损失。过去常用的镀锌钢管容易生锈和结垢，导致水质出现二次污染，同时管道也容易发生渗漏，因此这类管材已经逐步退出使用。节能设计应当优先选择性能更优的管材。

给水管道方面，PP-R管、PE管、不锈钢管以及铜管都是较好的选择。这些材料耐腐蚀性强，使用寿命长，水力条件也比较

理想，能够有效减少水流阻力，降低水泵运行能耗。排水管道方面，普通建筑可以使用UPVC管，这种管材重量轻、安装方便。对于高层建筑，建议选用柔性接口铸铁管，可以显著降低排水时产生的噪音，提升居住舒适度。

管道连接方式同样不可忽视。采用可靠的连接技术，例如热熔连接、卡压连接或法兰连接，能够减少接口处的渗漏风险。一处微小的渗漏长期积累，就会造成可观的水量浪费。某老旧小区在完成管网改造之后，漏损率从18%下降到了5%以内，每年大约可以节约2.4万m³的水资源。这一实例说明，合理选用优质管材并配合牢固的连接方式，既能保护水质安全，又能带来实实在在的节水效果。此外，优质管材的初期投入虽然略高，但长期运行维护成本较低，综合经济效益更加突出。设计人员在选材时应当结合建筑类型、使用要求以及当地水质条件，做出合理决策，从而为给排水系统的节能运行打下坚实基础^[6]。

三、雨水回收与中水回用

（一）雨水收集利用系统

雨水是重要的非传统水源，可用于绿化浇灌、道路冲洗、景观补水等。雨水收集系统主要包括：

收集系统：屋面雨水通过雨水斗、导管收集，初期雨水弃流后进入蓄水池。

处理系统：沉淀、过滤、消毒等工艺，使水质达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T 18920标准。

利用系统：由加压设备、配水管网将处理后的雨水送至用水点。

某办公建筑屋面面积8500m²，年均降雨量1100mm，设计雨水收集量约7500m³/年，用于绿化浇灌和道路冲洗，年节约自来水约6000m³，折合水费约3.6万元。

（二）中水回用系统

中水指的是生活污水经过处理后达到一定水质标准，并能在特定范围内重复使用的非饮用水。中水的水源应优先选择优质杂排水，包括洗浴废水和洗衣废水。这类废水污染物含量较低，处理流程简单，运行成本也比较低。

中水处理工艺主要分为两类。第一类是物化处理，包含混凝、沉淀、过滤和消毒等步骤，适合小规模的中水系统。第二类是生物处理，例如接触氧化法和MBR膜生物反应器技术。生物处理的效果更好，适合大规模的中水系统。某住宅小区建设中水回用工程，处理规模为每天200立方米，收集洗浴废水并经过MBR工艺处理后，用于冲厕和绿化浇灌。该小区的中水回用率达到35%，每年大约能节约2.4万立方米的自来水。

除了上述常见工艺，实际工程中还可以采用组合式处理流程，例如生物处理与物化处理串联运行，进一步提升出水水质。中水系统的设计需要综合考虑水源收集管道、调节池、处理设备、清水池以及供水管网等环节。收集管道应单独设置，避免混入厕所污水，否则会增加处理难度和成本。调节池的作用是平衡水量波动，确保后续处理设备稳定运行。清水池需要配备消毒装置，防止细菌滋生。中水供水管网应与生活饮用水管网严格分开，并在管道外壁涂刷明显标识，防止误接误饮^[7]。

中水回用的经济性值得关注。初期建设投入包括管道改造、

设备采购和安装费用，但长期运行可以节省大量自来水水费。对于水资源紧缺或水价较高的地区，中水回用系统的投资回收期通常在三至五年之间。此外，中水回用还能减少污水排放量，减轻市政污水处理厂的负担，具有明显的环境效益。设计人员应根据建筑类型、用水特点和当地政策要求，合理确定中水系统的规模和工艺路线。住宅小区、学校、酒店等用水量较大的场所，尤其适合建设中水回用系统。通过科学设计与规范管理，中水回用能够有效降低建筑的自来水消耗，为节能减排提供有力支撑。

四、热水供应节能设计

（一）热源选择

生活热水能耗占建筑给排水能耗的60%以上，热源选择是节能设计的关键。应优先选用可再生能源和余热：

太阳能热水系统：我国太阳能资源丰富，大部分地区年太阳辐射量在5000MJ/m²以上。集中集热-分户储热系统适用于住宅，集热效率高、管理方便。

空气源热泵热水系统：COP值可达3.0~4.5，较电热水器节能65%~75%。适用于冬季气温不低于-10℃的地区。

水源热泵：利用地下水、地表水作为热源，能效比高，但需考虑水源条件。重庆悦来生态城采用「江河水水源热泵+污水源热泵」技术，年节约标煤3654吨，减排二氧化碳8911吨。

（二）系统设计优化

管网保温方面，热水管道需要选用高效的保温材料。保温层的厚度应当根据管道直径、管内介质温度以及周围环境温度来合理计算，这样做可以减少热量散失。常用的保温材料包括橡塑海绵、玻璃棉和聚氨酯泡沫等，导热系数低且耐老化性能好。施工时应注意保温层接缝处密封严实，避免产生冷桥现象。管道支架与吊架处也应设置隔热垫，防止热量通过金属构件传递出去。

循环方式方面，集中热水供应系统应当采用机械循环模式。这种模式能保证热水出水时间≤15s，从而减少用户放水过程中冷水的无效排放。机械循环系统需要合理布置回水管路，并安装循环水泵。水泵选型时应注意流量与扬程匹配，避免过大的能耗。对于规模较大的建筑，可以采用分区循环或支管循环方式，进一步缩短热水等待时间。

温度控制方面，热水供应温度不宜设置过高。生活热水的供水温度控制在55~60℃之间比较合适。这个温度区间既能满足日常使用需求，又能减少管道热损失，同时还能降低水垢生成的风险。水垢积累过多会影响换热效率，增加能耗，甚至堵塞管道。此外，过高的水温还会加速管道和设备的腐蚀，缩短使用寿命。

因此，设计人员应在保证卫生安全的前提下，合理设定热水温度。可采用恒温控制阀或智能温控装置，自动调节冷热水混合比例，既防止烫伤又避免浪费。

除了上述三点，系统设计优化还应关注管道布局。主干管应尽量布置在建筑的服务核心区域，缩短配水管线长度。管径选择应经过水力计算，避免过大造成材料浪费或过小导致阻力增加。对于高层建筑，热水系统需要合理分区，每个分区压力不超过0.35MPa，防止低层龙头压力过大造成水量浪费。同时，在用水点处安装压力调节阀，使各楼层出水压力保持均衡。通过这些系统化的设计优化措施，热水供应系统能够在满足舒适性的前提下，实现节能节水的双重目标。

五、案例分析

成都市某近零能耗办公建筑，建筑面积3.2万m²，采用建筑给排水节能设计措施如下：

给水系统：采用无负压供水设备，充分利用市政余压，三区供水设计。

节水器具：全部采用节水型水嘴、便器，公共区域设置感应式冲水阀。

雨水回收：屋面雨水收集系统，蓄水池容积500m³，用于绿化浇灌和道路冲洗。

热水系统：太阳能+空气源热泵联合热水系统，太阳能保证率65%。

运行数据显示，与普通办公建筑相比，该项目全年节约用电约67万kWh，节约自来水量约2740吨，减少碳排放约336吨，达到近零碳建筑标准。

六、结束语

建筑给排水节能减排设计能提升建筑能效。给水系统应利用市政余压，合理分区并选用高效设备，无负压供水设备可节电20%至50%。节水型坐便器与水嘴能减少30%至60%的用水量。雨水收集与中水回用可降低30%以上的自来水消耗。热水系统优先采用太阳能或空气源热泵等可再生能源，节能效果明显。2024年万元GDP用水量下降4.4%，但建筑给排水节能潜力仍需挖掘。设计人员应严格执行规范，结合项目特点制定节能方案，助力实现“双碳”目标。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑给水排水设计标准 GB 50015-2019 [S]. 北京：中国计划出版社，2019.
- [2] 康喆. 建筑给排水设计中节能减排设计分析 [J]. 建筑·建材·装饰, 2021(2): 182-183.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 节水型生活用水器具 CJ/T 164 [S]. 北京：中国标准出版社，2014.
- [4] 张传禄. 建筑给排水设计中节能减排设计分析 [J]. 中国科技纵横, 2024(7): 107-109.
- [5] 孙敏华. 建筑给排水设计中节能减排设计分析 [J]. 工程与建设, 2022, 36(5): 1292-1294.
- [6] 殷宗宁. 建筑给排水设计中节能减排设计分析 [J]. 安徽建筑, 2021, 28(4): 90-91.
- [7] 鲍晨. 建筑给排水设计中节能减排设计分析 [J]. 砖瓦世界, 2023(11): 177-179.

小方坯连铸二冷区冷却制度优化及应用研究

刘海清

山东石横特钢有限公司, 山东 临沂 271600

DOI:10.61369/ADA.2026010033

摘 要： 小方坯连铸是一项复杂工艺，受二冷区冷却制度影响，可能出现内部裂纹、中心偏析等质量问题。为了保证小方坯连铸质量，加强二冷区冷却制度优化是必然选择。文章围绕小方坯连铸二冷区冷却制度优化展开论述，根据凝固原理以及传热学理论，分析影响小方坯连铸二冷区冷却的因素，包含冷却水量、冷却水压以及喷雾强度、二冷区隔断冷却长度与喷淋间距、不合理的冷却制度、铸坯拉速与钢种成分、环境温度与冷却水质等，在此基础上，从优化冷却水量、优化喷雾系统、建立冷却制度动态调整机制、引入辅助措施角度提出制度优化策略，阐述具体应用效果。结果表明，二冷区冷却制度优化后，可显著提高铸坯质量和生产效率，为相关企业小方坯连铸工艺优化提供借鉴与参考。

关 键 词： 小方坯连铸；二冷区；冷却；制度优化；应用

Research on the Optimization and Application of the Secondary Cooling System in Billet Continuous Casting

Liu Haiqing

Shandong Shiheng Special Steel Co., Ltd., Linyi, Shandong 271600

Abstract： Billet continuous casting is a complex process that can be affected by the secondary cooling system, potentially leading to quality issues such as internal cracks and center segregation. To ensure the quality of billet continuous casting, optimizing the secondary cooling system is an inevitable choice. This article discusses the optimization of the secondary cooling system in billet continuous casting. Based on solidification principles and heat transfer theory, it analyzes factors influencing the secondary cooling of billet continuous casting, including cooling water volume, cooling water pressure, spray intensity, the length of segmented cooling and spray spacing in the secondary cooling zone, unreasonable cooling systems, casting speed and steel composition, ambient temperature, and cooling water quality. Building on this analysis, the article proposes optimization strategies from the perspectives of optimizing cooling water volume, enhancing the spray system, establishing a dynamic adjustment mechanism for the cooling system, and introducing auxiliary measures, and elaborates on their specific application effects. The results indicate that optimizing the secondary cooling system can significantly improve billet quality and production efficiency, providing references for the optimization of billet continuous casting processes in relevant enterprises. .

Keywords： billet continuous casting; secondary cooling zone; cooling; system optimization; application

连铸作为钢铁冶炼中的一项核心工艺，其质量高低很大程度上影响最终钢材品质。小方坯连铸凭借其比表面积大以及断面尺寸小的优势特点，在钢铁生产中得到了广泛应用，但相应的对二冷区冷却控制有着更为复杂的标准和要求。二冷区主要用于铸坯冷却，冷却强度是否达标关系着铸坯的表面裂纹敏感温度区以及凝固组织。但具体生产过程中，部分中小断面连铸机受限于原始设计和使用磨损等问题，存在喷嘴雾化效果不佳和二冷配水不合理等问题，以至于铸坯受反复回温影响出现开裂。若冷却梯度不合理，同样会增加铸坯变形的几率，影响整体质量。故此，加强二冷区冷却制度优化改进是必然选择，对于提升。

一、小方坯连铸二冷区冷却机理

二冷区大多处于结晶器底部位置，是为铸坯提供凝固与冷却功能的重要区域。小方坯连铸的断面尺寸较小，二冷区的冷却效率和是否均匀，很大程度影响铸坯的凝固速度以及整体质量^[1]。小方坯在进入二冷区前表面存在一层初始坯壳，厚度大概在

8mm ~ 15mm之间，其内部中心位置高温钢液尚未完全凝固。而进入二冷区后，铸坯的热量传递主要经由强制对流换热、辐射换热、接触换热等方式实现。其中强制对流换热方式占据着主导作用，向铸坯表面喷洒一定的冷却水用于降温散热，而水流密度 q 、水滴速度 v 等因素对换热系数有着直接影响，同时还会受 T_w （水温）以及 T_s （表面温度）等因素影响。具体公式如下：

$$h_w = a \cdot q^b \cdot (T_s - T_w)^c$$

公式中的 a、b、c 为喷嘴相关参数。

由于小方坯具有角部二维传热效应，该区域的换热系数普遍略高于宽面中心点，若忽视这一因素影响，很容易出现冷裂纹影响整体铸坯质量。

辐射换热是铸坯向环境散发的辐射热量，占总热量中 10% ~ 15%，在二冷区上部地区，这一因素需要高度重视，后期随着铸坯温度逐步下降，辐射换热量将逐步递减。

接触换热是指铸坯的热量传递给支撑辊道的辊子，但由于二者接触时间较短，所传递的热量较小，但在计算铸坯变形几率时需要充分考虑这一因素^[2]。

二、影响小方坯连铸二冷区冷却的因素

（一）冷却水量

小方坯连铸过程中，二冷区的冷却过程主要划分为 3、4 个阶段，根据不同阶段的散热需求调整冷却水量。通常情况下，传统前强后弱的配水方式多是在第一个阶段加大冷却水量，后期逐步减弱，此种方式可加快坯壳生长，有效避免漏钢问题出现。但经过大量实践经验证明，小方坯连铸中前期冷却水量过多，可能导致其表面温度骤降诱发开裂问题，经过优化改良后，当下更注重冷却水量的平稳过渡，以更为平缓的方式逐步减少各阶段冷却数量，保证冷却效率同时，避免温度骤降而开裂。除了做好各阶段的水量配比外，小方坯连铸的比水量普遍在 0.8L/kg ~ 1.5L/kg 范围内，过低会加剧液芯增长，反之则会降低铸坯表面温度，铸坯后期开裂几率大幅提升^[3]。

（二）冷却水压以及喷雾强度

水压和喷雾强度是影响小方坯连铸质量的主要因素。冷却水压直接关系喷嘴雾化效果，0.3MPa 以下区域水粒均匀度不足，可能产生水垫问题，影响换热效果；0.4MPa ~ 0.8MPa 压力区域，多选择雾化效果较为理想的扁平喷嘴，可突破蒸汽膜与铸坯表面直接接触；1.0MPa 以上的高压区域即便具有较强的穿透力，但总体能耗大，长期接触高压水流冲击容易损伤铸坯^[4]。

喷雾强度方面，单位面积水流密度关系换热效果，而小方坯角部二维传热需要更高的水流密度补偿散热；有效覆盖率是指水雾是否能够全面覆盖铸坯，若喷嘴喷雾角度调整不合理可能出现覆盖盲区，未接受冷却水冷却的区域与其他区域出现明显的温度差异，诱发严重的中心偏析问题^[5]。

（三）铸坯拉速与钢种成分

拉速与钢种属于影响小方坯连铸质量的主要因素之一。拉速与二冷水量密切相关，二冷区域的钢液停留时间越短，越需要增加水压和水量保证足够的冷却强度，但冷却水量不足容易增加漏钢风险。连铸生产环节复杂，往往需要结合生产需要频繁调整拉速，需要二冷水量动态匹配拉速变化，若无法动态匹配，则会导致铸坯表面温度频繁波动，诱发严重的裂纹^[6]。不同钢种的裂纹敏感度、导热系数等存在明显差异，如低碳合金钢具有较强的裂

纹敏感度，冷却制度优化重点在于冷却均匀、缓慢，控制冷却强度以匹配回温速率；高碳钢具有凝固区间宽的特点，冷却制度优化重点在于增加冷却水量和强度，以便加快冷却速度，避免出现中心偏析问题^[7]。

三、小方坯连铸二冷区冷却制度优化及应用

（一）制度优化方案

1. 优化冷却水量

针对二冷区回温大的问题，应注重对水量分配比以及比水量的全面优化重构。

（1）水量分配比。打破传统固定比例分配各阶段冷却水量的限制，搭建分段函数与平滑过渡的水量分配模型，从而实现各阶段冷却水量的合理分配。在足辊段适当降低冷却数量，避免初期冷却速率过高诱发开裂，铸坯从结晶器离开后的表面温度稳步下降；二冷段适当增加冷却水量，为铸坯冷却提供足够密度的水量，加快液芯收缩速度；三冷段增加 20% 的冷却水量，遏制铸坯过快回温速度^[8]。

（2）比水量。结合不同钢种，设定合理的比水量。以 HRB400E 钢种为例，比水量设定为 1.15L/KG，在 2.8m/min 高拉速状态下控制液芯长度不超过二冷区。

2. 优化喷雾系统

针对喷雾系统的优化，本质目标在于解决冷却覆盖不均的问题。根据小方坯连铸各项参数，对喷嘴类型和空间合理化改造配置。原有扁平喷嘴的穿透力较弱，喷射角度大，难以实现均匀、全面覆盖，甚至在拉速过高情况下出现无法打破蒸汽膜的问题^[9]。故此，可将原有的扁平喷嘴替换为广角实心锥喷嘴，保持同等水量下获得更高的水滴动能以及射流强度，穿透蒸汽膜接触铸坯表面，使铸坯表面的换热效率大幅提升；喷嘴布置方式经过优化，消除覆盖盲区，从而保证铸坯整体冷却均匀。增设专门的角部喷嘴，并结合小方坯角部二维传热特性动态调整喷嘴角度，确保水雾均匀覆盖；调整二冷段的喷嘴布设间距为 100mm，避免喷嘴间距过大而出现喷雾覆盖不均的问题，小方坯连铸温度标准差不超过 10℃^[10]。

3. 建立冷却制度动态调整机制

基于目标表面温度反馈搭建动态二冷控制模型，结合小方坯连铸冷却需要动态调整，以此规避拉速波动以及钢种变化带来的负面影响，精准匹配生产需要。该模型设置铸坯表面目标温度 T_{target} 约束条件，精准计算冷却各阶段的水量 Q_i 。计算公式如下：

$$Q_i = K_i \cdot V n_c \cdot f(T_{surf} - T_{target})$$

公式中的 n 代表拉速指数， K_i 、 $f(\cdot)$ 分别代表各段修正系数和 PID 反馈调节函数。

小方坯连铸过程中，模型识别拉速增长，自动判定为强冷模式，根据非线性比例适当增加冷却各阶段的水量，有效遏制液芯增长；识别拉速下降，系统自动切换为弱冷模式，以免铸坯表面温度过快下降诱发开裂问题。与此同时，根据不同钢种调整不同

的工艺参数，与连铸冷却需要动态匹配，能有效避免人工调节不及时诱发质量问题。

4. 引入辅助措施

除了上述措施外，为了保证小方坯连铸质量，还可以引入其他辅助措施优化冷却制度。具体如下：

（1）气-水雾化系统，该技术将空气压缩至0.4MPa~0.6MPa压力下，将冷却水破碎为微米级液滴，实现雾化比表面积进一步扩大。相较于传统的冷却水喷雾系统而言，此项技术射流穿透力较强，以软冷却的方式提升换热系数，避免铸坯表面温度波动过大诱发开裂问题。

（2）蒸汽排放与强制通风系统，将轴流风机安装在二冷区域的顶部位置，并配备专门的挡水板与导水槽，将高温蒸汽引出，从而保证喷嘴喷出的水雾能够均匀全面覆盖铸坯的表面，提升冷却效率的同时，避免对设备产生严重腐蚀效应。

（3）水质处理和在线监测，在冷却区域安装电磁除垢仪和反冲洗过滤器，用于清洗冷却水中的悬浮颗粒物，降低冷却水硬度，避免堵塞喷嘴。同时，安装在线监测仪器，若发现冷却水质超标立即切换备用水，避免喷嘴结垢堵塞而影响铸坯质量。

（二）应用效果分析

某钢厂采用小方坯连铸机生产HRB400E螺纹钢时，由于二冷区冷却制度影响，导致钢材表面出现疏松以及开裂等问题，资源损耗大，为钢厂带来了重大的负担。故此，为了解决这些问题，该钢厂采用上述二冷区冷却制度优化措施，经过为期3个月的试验分析，实践中取得了较为理想的成果。

（1）铸坯表面温度场优化。在二冷区域引入红外测温仪设备，用于精准扫描铸坯表面温度，为后续工艺优化提供数据依据。钢厂工艺优化前，铸坯表面存在不规则的黑白条纹，区域温

差最高达到150℃，钢材容易开裂。工艺优化后，铸坯表面温度分布较为均匀，温差不超过10℃，小方坯的角部温度始终处于900℃，有效躲避裂纹敏感区，后期开裂几率大大下降。

（2）铸坯表面裂纹被消除。经过优化改造，下线铸坯可获得全方位的探查检测，相较于人工探查方式效率和精度更高。工艺改造前，该钢厂铸造的HRB400E铸坯表面的裂纹出现几率较高，而经过工艺改造后，表面开裂缺陷出现几率控制在0.2%，铸坯表面质量大幅提升。究其根本，铸坯冷却制度优化后，其表面回温速率下降至30℃/m，这种改变可避免应力集中断裂。

（3）铸坯内部致密度提高。工艺改造后，采用1:1的盐酸热蚀对铸坯进行检验，内部的缩孔现象几乎消失殆尽；Mn与C元素偏析指数下降至1.05。而且根据冷却需要实现冷却水的动态匹配，液芯长度大幅缩短，有效抑制中心偏析问题出现。

（4）生产效率显著提升。通过工艺改造优化，HRB400E钢材铸坯质量不受影响前提下，其拉速已然提升至2.9m/min，可大幅提高产量。即便初期受限于种种因素发生漏钢预警，但经过一段时间稳定运行后，漏钢误报问题出现几率大幅下降，有效保障铸坯生产活动的安全、连续进行。

四、结论

综上所述，小方坯连铸机作为钢厂生产的主要机械设备之一，面对不断提升的产品质量要求，加强二冷区冷却制度优化是必然选择。在分析影响冷却效果的因素基础上，采取优化冷却水量、优化喷雾系统、建立冷却制度动态调整机制以及其他辅助措施全面改造升级，可有效解决冷却不均匀、钢材表面开裂等问题，保障钢厂安全、稳定生产。

参考文献

[1] 李东华, 崔猛. 微合金钢小方坯连铸凝固传热行为的模拟研究 [J]. 山西冶金, 2025, 48 (12): 131-134+137.
[2] 张康郁, 刘强, 孔意文, 等. 高拉速小方坯连铸二冷模型的构建与质量优化实践 [J]. 连铸, 2025, 44 (03): 108-113.
[3] 陈阳, 王芳, 钱亮, 等. 高拉速小方坯连铸二冷支撑导向技术 [J]. 铸造技术, 2024, 45 (12): 1189-1195.
[4] 周剑波, 郭新文, 吴杰, 等. 小方坯连铸机直轧品种钢的工艺装备优化 [J]. 山西冶金, 2024, 47 (09): 163-165.
[5] 郑原首, 谢长川, 马桂华, 等. 小方坯连铸6.0 m/min高拉速技术改善与生产实践 [J]. 连铸, 2023, (04): 61-67.
[6] 刘静. 小方坯连铸凝固动态行为与缺陷关联研究 [D]. 大连理工大学, 2023.
[7] 张红军. 小方坯连铸机高拉速技术改造和生产实践 [J]. 冶金与材料, 2022, 42 (05): 127-129.
[8] 彭建昌. 福建三钢小方坯连铸高拉速工艺研究与应用 [J]. 福建冶金, 2022, 51 (05): 54-58.
[9] 吕迺冰, 高航, 刘珂, 等. 冷却强度对超高硫中碳钢方坯凝固过程MnS生长的影响 [J]. 钢铁, 2022, 57 (06): 50-56.
[10] 范世超, 李志敏, 刘列喜. 小方坯连铸拉矫机的维修保养及改进实践 [J]. 山西冶金, 2020, 43 (05): 89-91.

数字化背景下房地产工程造价风险管理创新模式研究

尹龙

广东 中山 528400

DOI:10.61369/ADA.2026010041

摘 要： 在数字化的大环境下，房地产工程造价的风险管理需要整合 BIM、大数据、AI 等技术来建立创新的模式，依靠数据驱动实现风险识别、评估以及管控的精准化。此模式能够降低成本超支比例、缩短风险应对时长，不过会遭遇技术整合繁杂、人才匮乏等阻碍，需要通过跨系统集成、培训机制改良来推动落地，提高项目效益与企业竞争能力。

关 键 词： 房地产工程造价风险管理；数字化技术；创新模式

Research on Innovative Risk Management Model for Real Estate Project Cost in the Digital Era

Yin Long

Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract： In the digitalized environment, the risk management of real estate engineering costs requires the integration of technologies such as BIM, big data, and AI to establish an innovative model. This model relies on data-driven approaches to achieve precise risk identification, assessment, and control. This model can reduce the proportion of cost overruns and shorten the time for risk response. However, it may encounter obstacles such as complex technology integration and a shortage of talents. It needs to be promoted through cross-system integration and training mechanisms to be implemented, thereby improving project efficiency and the competitiveness of the enterprise.

Keywords： risk management of real estate project cost; digital technology; innovative model

引言

房地产工程建造造价的风险管理，是确保房地产项目投资收益、提高企业抵御风险能力的重要支撑。随着大数据、BIM 等数字化技术和行业的深度交融，以往依靠人工经验的风险管理方式已难以应对不断变化的市场环境和复杂的项目要求。2014 年住建部颁布《关于推进工程造价改革的指导意见》，重点提出建立数字化工程造价管理体系，提高风险管控智能化水平，为行业变革提供政策导向。目前行业存在数据孤立、技术整合欠佳等状况，迫切需要通过创新模式重新建立风险识别、评估和应对流程，实现从被动应对到主动预测的转变，这对于促进房地产行业高质量发展具备重要的理论与实践意义。

一、房地产工程造价风险管理基础概述

（一）工程造价风险管理的内涵与特征

房地产工程建造造价风险管理是于项目整个生命周期里，通过识别、评估、处理和监督不确定性要素，确保投资目标实现的系统性流程^[1]。包含决策、设计、施工、结算等环节，风险种类有政策、价格、设计变更以及技术偏差等。管理流程包括风险辨认、评定、处理与监督。此管理显示出动态特性（风险会随阶段而改变）、系统特性（需要多部门共同协作）以及复杂性（各因素彼此关联）。合理有效管理能减少项目超支的可能性，加强投资回报和企业抵御风险的能力，是实现项目经济及社会价值的主要保障。

（二）数字化技术在工程造价中的应用演进

数字化技术于房地产工程造价里的运用，历经从辅助手段到

核心动力的发展。前期通过 CAD、电子表格实现自动化运算，提高风险识别效能^[2]。之后数据库和造价软件进行结合，给风险评估提供结构化的数据支撑。在大数据时代背景下，数据挖掘和机器学习实现对造价风险的动态预报与预警。当下 BIM 技术整合全生命周期的信息，降低因信息不对称所引发的造价风险。在未来的发展中，人工智能和物联网的结合会促使风险管理朝着智能化、动态化的方向迈进。

二、数字化背景下房地产工程造价风险管理现状

（一）当前风险管理模式的问题与局限

在数字化环境下的房地产工程造价风险管理状况里，当下的风险管理模式仍然存在明显的问题和局限。传统方式依靠人工经

验和分散的数据处理,使得风险预测精准度不高,难以应对材料价格变动、政策调整这类动态风险因素。某头部房企在2022年的项目里,由于未能及时察觉钢材价格上涨趋向,导致造价超支15%^[3]。风险应对迟缓是另一主要问题,多数企业运用事后补救办法,缺少实时风险监测与预警,例如某商业地产项目由于施工阶段设计变更未获及时评估,导致工期延迟与成本增加。流程分散化进一步加重管理难题,造价预估、合同管控、现场签认等环节数据分离,信息传达存在滞后与误差,降低风险管控的协同性。这类问题不但削减项目收益,还限制房地产企业于数字化时代的竞争力,彰显出创新风险管理模式的重要性。

（二）数字化环境下的风险挑战与机遇

在数字化环境下,房地产工程造价风险管理遭遇新类型风险和机遇。一方面数据安全隐患明显,工程造价关联项目核心数据,易受泄露或网络攻击^[4];技术依赖风险上升,过度依赖如BIM这类工具,系统故障或兼容性难题可能导致造价计算中断,甚至引发成本失控。从另一个角度看,数字化也创造明显的机遇:通过传感器、物联网开展实时监测并进行动态预警,提高风险应对的效率;数字化平台打破各参与方之间的信息障碍,降低造价方面的纠纷与误判。传统方式难以满足需求,迫切需要创新风险管理的模式。

三、房地产工程造价风险管理创新模式构建

（一）创新模式的理论框架设计

1. 基于数字化的模式构建原则

通过数字化的模式搭建要把数据驱动当作首要逻辑开端,整合全生命周期的多源异构数据,提高风险识别与评估的精确性。系统性整合原则要求让造价管理各个模块和BIM、大数据平台充分融合,建立起覆盖从投资决策到运维阶段的风险管控闭环。动态适应原则通过物联网和AI算法,对成本起伏、进度偏移等风险开展动态监控,适时调整策略^[5]。模式要兼顾政策、市场等外部风险的数字化显示,保证与工程实际情形高度相符,为创新模式提供理论支持。

2. 核心组件与机制设计

房地产工程造价风险管理创新模式的主要组成部分包括风险评估单元、成本监测体系以及协同决策平台。风险评估模块通过BIM搭建三维造价模型,通过机器学习动态识别设计变更、材料价格波动等风险^[6]。成本监测系统运用物联网和区块链技术,实时跟踪人材机的消耗情况,实现数据不可篡改,启动分级预警体系。协同决策系统通过云计算技术,实现多方数据共享,模拟风险应对策略的成本效应,建立共识性的决策。三者建立识别、监控、决策闭环,促使风险管理由被动应对朝主动预防转化。

（二）数字化工具在创新模式中的整合应用

1. BIM技术在风险预测中的应用

BIM技术运用于房地产工程造价风险预估中,通过可视化模拟以及碰撞检测等功能实现风险识别精准度的提高。可视化模拟把项目全生命周期里的建筑信息通过三维模型展示出来,让造价风险因素,像设计变更、材料浪费等清晰可见,帮助管理者提前察觉潜在风险点^[7]。碰撞检测作用是通过多专业模型开展整合分析,识别不同系统间存在的冲突,像管线和结构的碰撞问题,防止施工阶段由于返工导致造价超出预算。这类数字化工具的运用,把传统依靠经验的风险预估转变为通过数据的精确分析,为房地产工程造价风险管理创新方式提供技术保障,促使风险识别从被动处理向主动防范转变。

2. 大数据与人工智能的决策优化

在房地产工程造价风险管理创新模式搭建时,数字化工具的集成运用要关注大数据和人工智能在决策优化方面的主要作用。大数据技术能够整合项目全生命周期里的成本数据、市场动态以及政策法规等多源信息,搭建动态风险数据库,为风险识别和评估提供量化根据^[8]。人工智能工具能够通过算法模型对过往数据开展训练,实现对成本偏差的实时监控与预测。比如通过机器学习的成本偏差预警模型可自动识别异常起伏,启动算法驱动的偏差校正机制,降低人工干预的延迟性。自适应风险管理系统运用人工智能的自主学习能力,能根据项目实际推进情况动态调节风险应对措施。例如当材料价格的波动幅度超出设定阈值时,系统会自动生成替代方案,并且评估其对成本的影响,以此加强决策的敏捷程度。大数据和人工智能协同运用,可把传统经验主导的风险管理转化为数据主导的精确决策,促使创新模式由被动应对转向主动预防,保障工程造价风险处于可控区间,实现项目成本目标的高效实现。

四、实证分析与案例研究

（一）案例研究设计与实施

1. 房地产工程项目背景选择

挑选某二线城市核心商务区的大型综合体开发项目当作为案例样本,此项目总体建筑面积约35万平方米,包含商业裙楼、甲级写字楼以及配套公寓,总投资金额达52亿元,拥有典型的城市中大型房地产工程特点。该项目于数字化应用领域具备代表性,前期已引入BIM协同平台开展三维建模以及碰撞检查,且试点运用物联网设备对施工现场进度与资源消耗予以监测,不过尚未建立起系统化的数字化风险管理体系。初始风险管理情形展现传统模式的典型难题:造价风险识别依靠人工经验,风险评估大多运用定性分析,缺少实时数据支持,导致设计变更所引发的成本超支占比达到18%,施工阶段材料价格波动应对迟缓,项目动态成本管控效能欠佳^[9]。此项目的规模复杂程度、数字化应用基础以及现存的风险难点,为研究数字化背景下的造价风险管理创新方式提供真实情境与数据支持,能够确实验证创新方式的可行性和应

用价值。

2. 数据基础与评价体系

本研究挑选3个不同体量（包含大型商业综合体、中高层住宅以及文旅地产）的典型房地产开发项目当作实证案例，搭建稳固的数据支撑方案。从数据覆盖范围而言，全方位包括项目整个生命周期的信息，其中有设计环节的 BIM 模型数据、施工环节的物联网实时监测数据、结算环节的成本偏差记载，还有包含传统与数字化风险的风险日志。在评价方式方面，深度整合层次分析法（AHP）的定性评判与模糊综合评价法的定量分析优势，搭建包括数字化工具覆盖比例、数据即时性以及风险预警响应速率等主要指标的评价系统。通过对案例项目的成本偏差比率和风险事件发生概率开展定量指标衡量，深度分析数字化工具对工程造价风险的传导途径与影响机理^[10]。

（二）创新模式应用效果评估

1. 风险控制效能的实证分析

实证分析与案例研究创新模式应用效果评估风险控制效能的实证分析

挑选长三角区域某大型商业综合体项目作为研究对象，此项目于设计环节引入 BIM-区块链协同的创新性风险管理模式，通过搭建动态成本数据库和工期预警模型，实现风险因子的实时监控与自动反馈。与传统模式下的同类项目数据对比，创新模式实施之后，成本超支风险的发生率从18.2%降到7.5%，工期延误风险的发生率从15.6%降到5.8%，风险响应时间从平均72小时缩短到24小时以内。深入分析可知，此模式通过智能合约自动启动风险应对手段，例如在材料价格出现波动时自动变更采购计划，降低因人为决策延迟造成的损失；并且 BIM 模型和现场物联网数据进行实时对接，让隐蔽工程风险识别的准确率提高到92%，相较于传统人工检查提高35个百分点。案例数据显示，数字化创新方式通过整合技术手段和管理程序，明显提高房地产工程造价风险管理的前瞻性和精准度，为行业风险管控效能的提高提供可复制的实践办法。

2. 经济效益与管理效率分析

在实证分析与案例研究里，创新模式运用成效评估的经济收益与管理效能分析要专注数字化工具给房地产工程造价风险管理带来的实际作用。以某一线城市的住宅建设项目为例，此项目运用 BIM 和区块链相融合的创新方式，通过搭建动态成本数据库实现工程量的自动核对以及风险预警。统计数据表明，项目在施工阶段时，成本偏差率从传统模式下的8.2%降到3.5%，直接节省成本大概1200万元，在此期间材料浪费情况减少42%，人工窝工率下降35%。在管理效能方面，创新模式通过智能合约自动开启变更审批程序，决策周期由平均72小时缩减到18小时，风险响应速率提高75%。相较于传统模式依靠人工核算所具有的滞后性，创新模式运用大数据分析预先识别设计变更、材料价格波动等风险点，把风险处置成本占比从15%降到6%。另一个商业综合体

项目的实践进一步证实，数字化协同平台让跨部门沟通效率提高60%，签证纠纷比例降低58%，项目整体工期缩减12%。这些实例显示，创新模式通过技术赋能实现成本管控和管理流程的双重优化，其经济效益和管理效率明显高于传统模式，为房地产工程造价风险管理提供可参考的实践途径。

（三）创新模式实施的挑战与优化

1. 实际应用中的障碍识别

在数字化环境下，房地产工程造价风险管理创新模式执行时，技术整合的复杂程度成为首要阻碍。某头部房地产企业在引入 BIM 与 AI 造价预测系统之际，由于现有的 ERP 系统和新平台的数据接口存在不兼容情况，使得项目进度数据、成本台账出现23%的信息缺失，直接对动态风险预警的及时性产生影响。人才匮乏问题同样明显，该企业数字化造价团队里拥有工程+数据复合能力的人员占比不到15%，在模型训练环节由于缺少专业数据标注经验，导致成本偏差预测准确率比行业基准低8个百分点。阻碍根源能够追溯到数字化适配存在困难，传统造价管理存在依赖人工经验的路径惯性，这让企业在系统部署的初始阶段遭遇流程重构的阻力。某区域型房企的调研数据表明，62%的项目管理人员由于操作习惯不同，对智能风险评估工具的使用比例低于30%，这进一步加重创新模式落地的滞后状况。

2. 优化策略与发展建议

在数字化环境下，房地产工程造价风险管理的创新模式于实施期间面临着诸如数据孤立、人员数字化水平欠缺、系统协同效果不佳等难题。面对这些阻碍，优化措施应重点于技术与组织方面的协同提高。强化跨系统整合能够破除不同模块之间的数据障碍，通过标准化的数据接口实现 BIM 模型、成本数据库和风险预警系统的实时数据交互，提高风险识别的精确性和及时性。建立长效化培训体系，面向项目管理工作开展数字化工具运用、风险数据解析等专门培训，可有力补齐人员能力方面的不足，促进创新模式的实际应用。结合数字化发展趋向，未来模式能够朝云平台协同方向拓展，通过云计算的弹性计算能力与分布式存储功能，支撑多主体（开发商、施工方、监理方）在云端实时共享工程项目数据、协同开展风险评估与处理，实现工程造价风险的动态化、全周期管控。另外引入人工智能算法对过往工程数据开展挖掘，搭建风险预测模型，能够进一步加强风险预警的前瞻性，为房地产企业的决策提供更科学的参考。

五、总结

在数字化环境下，房地产工程造价风险管理创新模式研究的主要价值在于运用数字技术对风险识别、评估以及控制的整个流程进行重塑，实现风险管理由被动应对向主动预测的转变。调查显示通过大数据建立的风险预测模型能够整合项目过往数据、市场形势以及政策变量，使风险识别的精确程度提高30%以上。

BIM技术所具备的可视化与协同特性可有效减少因设计变更引发的成本偏差，降低项目成本超支风险约25%。区块链技术的去中心特性加强造价数据的不可更改性，确保风险信息的真实性与共享效能。但是此项研究存在样本范围主要专注于一线城市大型房企的局限之处，中小房企的数字化转型途径与风险应对措施尚未得到充分包括，并且技术落地进程中的数据安全以及人才适配方

面的问题仍有待深入研究。未来的研究能够拓展到二三线城市以及不同规模的房地产企业，检验创新模式的普遍适用性，并且结合人工智能和物联网技术，搭建动态实时的风险预警体系。探寻跨行业（例如建筑施工、供应链管理）的技术融合途径，促进数字化风险管理模式的生态化进步。

参考文献

- [1] 李竺芋. 数字化背景下房地产开发企业成本管理的关键因素研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [2] 高晓军. 新形势下房地产并购风险管理研究 [D]. 西南财经大学, 2022.
- [3] 王睿涵. 数字化背景下装备制造企业创新演化路径研究 [D]. 东北大学, 2022.
- [4] 袁斌. 疫情背景下房地产项目的施工进度风险分析研究 [D]. 华南理工大学, 2023.
- [5] 李佳玲. 数字化背景下 E 供电公司税务管理存在的问题及对策研究 [D]. 华中师范大学, 2022.
- [6] 张涛. 低碳模式下房地产经济管理创新模式探讨 [J]. 市场周刊·理论版, 2022(26): 0080-0083.
- [7] 孟鹏宇. 基于区块链技术的资产管理数字化创新技术研究 [J]. 财经界, 2023, (32): 15-17.
- [8] 徐莎莎. 数字化背景下房地产营销模式的转型研究 [J]. 中国集体经济, 2023, (13): 54-57.
- [9] 孙久成. 数字化时代建筑企业业财融合问题思考 [J]. 经营者, 2022(5): 141-143.
- [10] 王英英, 陈继先. 数字化技术背景下人力资源绩效管理创新研究 [J]. 现代商业, 2023, (14): 47-50.

市政道路桥梁工程施工项目管理优化 与风险防控策略探析

黄剑峰

珠海市香洲区公用事业管理中心，广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ADA.2026010043

摘 要： 市政道路桥梁工程的施工项目管理因受城市环境的约束而具有独特性，会面临成本超出预算、进度出现延误等方面的挑战。通过 BIM 技术整合、精益建造等管理改革，搭配资源组织优化与多方面风险管控（识别评定、预防处理）提高效能。通过实践案例对策略有效性进行验证，未来要扩大样本范围并加深智能预警程度。

关 键 词： 市政道路桥梁工程；施工项目管理优化；风险防控

Analysis of Optimization Strategies for Municipal Road and Bridge Construction Project Management and Risk Control Measures

Huang Jianfeng

Zhuhai Xiangzhou District Public Utilities Management Center, Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract： The project management of municipal road and bridge construction projects is characterized by its uniqueness due to the constraints of the urban environment. It faces challenges such as exceeding the budget for costs and delays in the schedule. Through management reforms such as BIM technology integration and lean construction, combined with resource organization optimization and comprehensive risk control (identification and assessment, prevention and handling), efficiency can be improved. The effectiveness of the strategies will be verified through practical cases. In the future, the sample scope will be expanded and the degree of intelligent early warning will be deepened.

Keywords： municipal road and bridge engineering; optimization of construction project management; risk control

引言

城市市政道路桥梁是城市公共基础设施里的主要构成部分，其施工管理的科学性会直接影响城市运行效能与公众安全。随着城市化进程的加快，这类工程时常遭遇工期紧张、环境敏感、多方协作复杂等难题，传统的管理模式已难以符合新形势下的风险防控要求。2023年12月间，住房和城乡建设部所印发的《市政基础设施工程施工安全风险管控指南》清晰要求加强施工全流程的风险识别以及动态管控工作，为行业管理的升级提供政策方面的指引。文章围绕市政道路桥梁工程建设施工阶段的管理优化和风险防控开展研究，融合 BIM 技术运用、精益建造思想以及动态风险评估手段，结合典型案例进行实证分析，探寻资源分配、组织架构和风险防控的协同途径，目的是为提高项目管理效率、落实政策规定提供理论和实践方面的参考。

一、市政道路桥梁工程施工项目管理基础

（一）市政道路桥梁工程施工项目管理特点

市政道路桥梁工程的施工项目管理具备明显的特殊性。项目大多处在城市建成区域，受交通流量、居民生活以及既有设施的限制，工期较为紧张，通常需要全天不间断作业，以此降低对城市运行的干扰。施工临近居民区和生态敏感区域，要严格管控噪声、扬尘以及水体污染情况，同时保护好地下管线和既有建筑物，环境敏感特性明显。身为公共基础设施，工程施工安全与公

众出行直接相关，要健全交通导改、安全防护以及应急响应的机制。另外该工程牵涉政府、设计、施工、监理以及公众等多个主体，协调工作难度较大，需要建立高效的沟通机制^[1]。本研究重点关注施工时期的工期、环境、安全以及多方协同等主要领域，为管理改进与风险防范提供理论和实践方面的参考。

（二）管理现状与挑战

市政道路桥梁工程建设项目管理基础的管理情况与挑战显示在多方面的复杂矛盾里。当下施工项目管理于成本控制领域常遭遇预算超支隐患，原材料价格变动、设计变更频繁以及现场资源

调配欠妥等原因,使得实际成本和计划成本偏差明显^[2]。质量保证环节存在施工工艺不合规、材料质量管控不严格等状况,部分工程为赶进度忽略主要工序的质量检验,埋下结构安全风险。工程进度延迟是常见难题,市政工程会受到地下管线繁杂、交通疏导改道困难以及恶劣气候等外部因素的作用,施工规划容易被打乱,并且内部协调机制不畅通还会进一步加重工期拖延的情况。另外项目参与各方沟通协作不够,设计、施工、监理等单位在信息传递方面存在障碍,使得决策效率不高,这些问题一同对市政道路桥梁工程施工项目管理的整体效能提高产生制约。

二、施工项目管理优化策略探析

(一) 技术与管理创新优化

技术和管理创新改进是市政道路桥梁工程施工项目管理改进的主要途径。BIM技术的集成运用能够实现项目全生命周期的信息协作,通过三维模型的可视化碰撞检查减少设计和施工的冲突,提高构件预制的精准度与现场装配的效率,并且为多参与方提供统一的数据平台,降低沟通成本和信息偏差^[3]。智能化的进度管控通过物联网和大数据技术,实时收集施工设备的运行数据、人员考勤以及材料消耗的相关信息,结合进度规划算法对资源配置进行动态调整,精确识别进度偏差并发出预警,防止因工期拖延而引发的连锁风险。管理模式改革要同步开展,比如引入精益建造观念,通过价值流分析去除施工流程里的非增值部分,优化工序衔接和资源调配,同时搭建数字化管理系统,把技术运用与管理流程深度整合,形成技术赋能、管理提效的良好循环,最终实现施工效率提高与资源浪费降低的双重目的。

(二) 资源与组织优化

市政道路桥梁工程建设项目管理的资源和组织优化应重点于人力资源与材料资源的调配。在人力资源优化领域,需建立分层分类的培训方案。针对一线作业人员实施技能实操训练,针对管理人员加强项目管理知识以及风险防控能力,通过提高人员专业素养来减少施工失误比率。运用动态的人力资源调配机制,根据施工阶段的需求对人员结构进行灵活调整,防止人力资源出现闲置或者短缺的情况^[4]。材料资源的配置优化要整合供应链管理工作和优质的材料供应商建立长期合作的关系,通过集中采购来降低成本,并且保证材料质量的稳定性;引入信息化的供应链管理系统,实现材料需求预测、库存动态监控以及物流调度的协同,减少材料积压和供应延误情况。组织架构的优化需搭建扁平化的管理模式,降低层级间的沟通成本,清晰界定各部门的职责界限,建立跨部门的协同机制,保障资源调配和施工进度能够高效衔接,以此提高项目的整体绩效。

三、施工项目风险防控策略探析

(一) 风险识别与评估

1. 风险因素分类与识别

风险辨认与评定是市政道路桥梁项目风险防控的主要环节。

这种工程由于管线繁杂、位于城区,并且受地质气候影响明显,风险展现出多方面特性。地质方面的风险,像软土地层沉降以及岩溶区域塌陷,会直接对结构的安全性构成威胁;气候相关风险包含极端降雨导致的积水情况,还有极端温差给混凝土强度带来的不利作用;安全管理存在的漏洞主要集中在高空防护措施缺失以及特种设备违规操作问题上。风险归类应根据系统性准则,科学地划分成自然环境、技术工艺以及管理行为这三个方面,同时结合工程实际开展定性说明。实际操作里需综合采用专家调查法和故障树分析法,保证风险排查完整且无遗漏,为后续精确评估以及防控策略的制定筑牢坚实基础^[5]。

2. 风险评估方法应用

在市政道路桥梁工程建设项目的风险评估环节,定量评估工具和定性评估工具的联合运用能够提高风险判断的科学性与精确性。FMEA(失效模式与影响分析)作为一种定性评估手段,通过找出施工阶段可能产生的失效情形,像桥梁支座安装出现偏差、路基压实度不够等,分析其对项目进展、成本以及质量的潜在影响程度,并且按照风险优先数(RPN)对风险予以排序,为后续防控措施的制定提供优先级的参考根据^[6]。概率分析属于定量评估手段,通过采集历史施工数据、现场监测数据等,采用蒙特卡洛模拟、贝叶斯网络等技术,对风险事件出现的概率开展量化运算,像暴雨天气引发基坑坍塌的概率、材料供应滞后的概率等,结合影响程度的量化指标(如工期延误天数、经济损失金额),搭建风险矩阵,实现对风险的动态评价。两种方式的协同运用,既弥补定性评价主观性偏强的缺陷,又通过定量分析提高风险评估的客观性与可实施性,为施工项目风险防控策略的拟定提供可靠支撑。

(二) 风险防控措施

1. 预防策略设计

预防策略的规划应以主动防范为主要,结合市政道路桥梁项目的繁杂性与独特性打造多方面体系。应急方案制定需包括地质灾害、结构失稳、极端天气等典型风险状况,清晰界定应急响应流程、资源调配计划及责任主体,通过模拟演练加强方案的可操作性与响应效能,保证风险事件出现时能够迅速处理以减少损失^[7]。安全监控系统的强化要融合物联网、BIM技术以及实时传感装置,针对桥梁结构应力、路基沉降、施工机械状态等主要指标开展动态监测,建立风险预警阈值模型,实现异常数据的自动识别与分级预警,促使监控从事后处置迈向事前预防。要加强施工人员的风险意识教育,把风险识别和防控需求纳入技术交底以及日常作业准则,建立技术监控、人员防控的双重预防机制,从技术和管理方面主动减少风险出现的几率。

2. 应对与缓解机制

在施工项目风险防控策略的研究里,应对和缓解机制要重点关注市政道路桥梁工程的独特性,搭建动态响应的体系。危机管理体系需建立分级预警和快速响应程序,通过实时监测工程施工重要节点(像深基坑支护、高墩浇筑等)的风险参数,运用BIM技术模拟潜在事故的演变路径,保证在突发事件出现时能够立刻启动应急预案^[8]。对于地质突变、极端天气这类不可抗力状况,

要预先储备应急物资和设备，同时和周边应急救援组织建立联动体系，减少响应时长。在成本管控措施上，可运用动态成本监测模型，把因风险事件造成的额外费用归入项目预算的弹性范围，通过合同条款清晰界定风险责任归属，防止索赔争端导致损失扩大。引入工程保险和担保制度，转移一部分风险损失，保障项目资金链的稳定。质量保障应同步推进，在风险事件出现后马上组织技术小组评估结构稳固性，运用模块化修复措施降低对整体进程的影响，通过上述机制的协同效应，实现风险影响的最小化，确保项目根据既定目标开展。

四、优化与风险防控实践应用

（一）案例实证分析

1. 典型案例选取与背景

在优化与风险防控实践应用案例的实证分析里，典型案例挑选某省会城市的跨江大桥及连接线项目当作研究对象。此项目属于城市快速路网的主要节点之处，桥梁主跨运用连续钢构体系，整体长度达3.2公里，包括引道、互通立交以及附属设施，总投资约18亿元，建设时长为30个月。项目开展环境繁杂，施工范围包括既有交通要道、江水航线以及周边居住区域，要协调交通疏导、水上作业管理以及噪声扬尘整治等多项外部限制。项目所设计的荷载等级为城市A级，抗震设防的烈度为7度，这对结构的稳定性以及施工的精度有着较高要求。在施工环节，要同步应对软土地基加固、大体积混凝土浇筑以及高墩施工等技术难题，并且会遭遇材料价格起伏、极端天气干扰和工期缩短等风险要素。案例挑选根据其于市政道路桥梁工程里的代表性，包含技术、管理、环境等多方面风险情形，为后续优化策略和防控办法的分析提供实践支撑^[9]。

2. 优化与防控策略应用效果

以某城市快速路跨河桥梁工程为例，原本规划工期18个月，由于地质状况复杂、交通疏导改道困难，前期进度落后15%、成本超出预算8%。项目小组引入BIM技术搭建4D模拟模型来整合进度与成本数据，建立风险矩阵对12项高风险点进行动态监测，运用模块化预制构件使现场作业减少40%，同时推行资金集中管控以强化预算约束和支付审核，确实规避财务风险^[10]。开展6个月之后，进度偏差缩小到3%，成本超支把控在2%以内，质量合格比率达到98.5%，扬尘排放减少35%。整体综合绩效提高22%，工程工期效率提高18%，成本效益达150万元，安全事故实现零发生。针对BIM数据同步存在的延迟状况，将信息更新的周期从24小时优化成8小时，以此确保策略执行的精准度。

（二）策略实施评价

1. 评价指标构建

评估指标体系的搭建要围绕市政道路桥梁工程施工项目管理优化和风险防控的主要目标，兼顾量化和质性方面，保证指标的科学性与可实施性。成本节省率能够通过对比优化前后项目实际成本和预算成本的差别来计算，体现管理优化对资源配置效能的提高作用；风险降低指标结合施工安全事故发生比例、质量缺陷

返工比例等风险事件统计信息，对风险防控措施的实际成效进行量化。另外要将工期履约率指标纳入考量，评估管理流程优化对工程施工进度的保障效果，同时设定施工工艺改进率，衡量技术创新在管理优化进程中的应用意义。为全方位显示项目管理的综合成效，还需考量施工人员安全培训覆盖比例、环保措施达标比率等定性指标，保证评价体系既能体现经济与安全收益，又能兼顾社会效益与可持续发展需求。指标权重的设定要结合专家咨询和层次分析法，规避单方面评估的局限性，让评估结果更符合市政道路桥梁工程的实际管理要求。

2. 实施结果分析

在优化与风险防控的实际应用里，以某市政桥梁改扩建工程为例，通过引入BIM技术开展施工模拟和碰撞检测，施工效率提高23%，工期减少15%，直接成本下降12%。策略执行评估表明，此项目运用的动态风险评估体系（每两周更新一次风险矩阵）成功识别出基坑支护变形、预应力张拉误差等潜在风险，风险应对时间缩短至4小时以内，相较于传统管理模式降低60%。实施成效分析显示，策略运用的可持续性显示于标准化流程的可复用性——后续类似项目能够直接套用BIM模型方案与风险数据库，节约前期筹备时间30%；实际效益通过质量验收一次性通过率从85%提高到98%得以证实。实施过程里的挑战主要专注于跨部门协作效率欠佳，例如设计和施工单位对BIM模型参数的认知存在差异，导致出现3次局部返工情况；难点则体现为一线人员的风险识别水平高低不一，需要通过定期专项培训来强化，从而进一步提高策略的落地成效。

（三）推广建议

1. 行业推广路径

优化和风险防控实践的行业推广要以标准化流程打造为核心，搭建可复制执行框架。首先协同行业协会、科研单位和头部企业编写全流程规范化管理手册，确定风险列表、防控办法和量化参数，例如设定支护变形监测界限值。另外促进BIM和物联网技术的结合，建立数字孪生体系，实现进度、质量和安全风险的可实时可见以及数据驱动的决策。建立行业共享的案例库以及培训体系，把成功的方案转变为通用的操作指南。通过此方式引导中小企业进行规范管理，建立全行业协同防控网络体系，全方位提高市政工程管理水准与抗风险能力。

2. 政策与技术建议

在优化与风险防控实践应用推广建议的政策和技术建议方面，要凭借制度保障和技术赋能双轮驱动来加强市政道路桥梁工程施工风险管理体系。政策方面需健全施工项目管理的法规制度，详细列出风险防控的责任清单，清晰界定建设单位、施工方以及监理机构在风险管控上的职责，把风险评估、动态监测等步骤纳入工程验收的标准范围，通过政策引导来促进风险防控走向规范化。在技术创新领域，可推行AI监测体系在工程施工全流程的运用，通过传感器和数据分析手段实时抓取结构应力、沉降等核心指标，融合BIM技术搭建数字化施工模型，实现风险隐患的预先警示与精确处理。激励企业增加智能设备研发方面的投入，通过政策补贴来降低技术应用的成本，促使AI监测系统和传统管

理模式实现深度融合，保证优化策略能在行业中广泛落实，提高市政道路桥梁工程施工项目的风险管理效率。

五、总结

总结部分重点探讨市政道路桥梁工程施工项目管理的优化及风险防控的主要策略，提出通过精细化管理体系的搭建与动态风险预警机制的配合，加强项目全生命周期的管控效率。研究给出的管理优化途径，包含通过 BIM 技术的进度、成本、质量整合管控、供应链协同机制下的资源配置改良，以及施工工艺标准化和现场作业流程重塑，为行业实践供给可实施的方法论方案。在风

险防控工作中，通过建立多方面的风险评估模型，把技术风险、环境风险以及管理风险归入统一的分析方案，建立起识别、评估、应对、监控的闭环防控链路，确实减少施工进程里的不确定性。研究的贡献是打破传统管理模式的静态约束，把数字化技术和风险管控进行深度结合，为市政工程管理的现代化变革提供理论根据与实践参考。但是该研究存在实证样本主要集中在特定区域中小规模项目的不足，其对超大型复杂桥梁工程的适用情况有待进一步验证，并且未全面考量极端气候等非常规风险的应对办法。未来的研究能够扩展到跨工程类别的比较分析，探寻不同规模、不同地域项目的管理差别，并且结合智能监测技术深入优化风险动态预警模型，进一步加强策略的通用性与前瞻性。

参考文献

- [1] 王舒羽. K 公司合同管理风险防控体系优化研究 [D]. 四川: 西南石油大学, 2022.
- [2] 吴南桥. 分布式能源项目风险识别与防控分析 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- [3] 万爱红. 我国生物医药私募股权基金风险防控策略优化研究 [D]. 上海: 上海财经大学, 2022.
- [4] 樊溢馨. D 电力企业运营管理的风险分析与防控 [D]. 辽宁: 大连海事大学, 2023.
- [5] 吴琦坤. 保利供应链 ABCP 项目风险防控研究 [D]. 江西: 江西财经大学, 2022.
- [6] 李江. 新时代社会保险基金管理风险防控策略探析 [J]. 投资与创业, 2024(3).
- [7] 张勇. 国企招投标与合同管理风险防控探析 [J]. 现代商贸工业, 2024, 45(10): 65-67.
- [8] 李强. 风力发电场施工项目管理与优化策略研究 [J]. 砖瓦世界, 2024(15).
- [9] 李艳丽. 信息化背景下征地拆迁跟踪审计探索 [J]. 中国审计, 2015(19): 2.
- [10] 郭淼. 资金集中管理风险及其防控策略探讨 [J]. 企业改革与管理, 2024(13): 138-139.

市政工程项目全过程技术管理与质量控制研究

黄远平

广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ADA.2026010050

摘 要： 市政工程技术管理是在全生命周期中针对技术活动开展的规划协调进程，核心要素包括标准体系、资源配置等方面，通过项目管理等相关理论。全流程质量管控具备系统性、动态性以及协同性，关联公共安全。目前存在流程脱节、协作不够以及传统手段预警受限等状况，需通过 BIM 技术、标准整合与闭环管理来优化，未来能够专注智能化技术和复杂地质适配策略，进一步提高工程质量。

关 键 词： 市政工程技术管理；全过程质量控制；质量控制体系

Research on the Whole Process Technical Management and Quality Control of Municipal Engineering Projects

Huang Yuanping

Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract： Municipal engineering technology management is a planning and coordination process carried out throughout the entire life cycle for technical activities. Its core elements include the standard system, resource allocation, etc., and is based on theories such as project management. The full-process quality control is systematic, dynamic, and collaborative, and is related to public safety. Currently, there are situations such as process disconnection, insufficient collaboration, and limited warning capabilities of traditional means. These issues need to be optimized through BIM technology, standard integration, and closed-loop management. In the future, it will be able to focus on intelligent technologies and complex geological adaptation strategies, further improving the quality of engineering.

Keywords： technical management of municipal engineering; whole process quality control; quality control system

引言

市政建设项目作为城市基础设施的核心承载部分，其质量和安全直接关联着公共福利与城市的可持续性发展，全流程的技术管理与质量把控是确保工程质量的主要要素。2023 年住建部发布《关于加强市政基础设施工程质量安全管理的通知》，明确提出强化全生命周期技术协作与质量风险管控，为行业实践提供政策引导。当下市政工程技术管理面临流程中断、协作欠缺等状况，质量控制方法运用的有效性有待提高。该文围绕技术管理概念方案、现实状况诊断、各阶段的优化措施以及质量管控体系搭建开展研究，通过整理核心要点、分析实践难点、探寻创新技术运用途径，目的是为健全全过程技术管理框架、加强工程质量稳定性提供理论和实践方面的参考。

一、市政工程项目管理理论基础

（一）市政工程技术管理的概念体系

市政工程技术管理的概念方案是市政工程项目管理理论基础的主要组成部分，其定义能够明确为在市政工程整个生命周期里，围绕技术活动所进行的规划、组织、协调和控制流程，目的是通过技术方法确保工程质量、提高建设效率并减少资源耗费。此体系的主要要素包含技术标准体系、技术资源分配、技术风险把控以及技术创新运用等方面，其中技术标准体系作为基础方案，要结合市政工程的公共特性与功能要求，清楚材料、工艺和

验收的详细规范^[1]。理论根据依靠项目管理理论、系统工程理论以及质量管理理论，项目管理理论为技术活动赋予流程化管理思路，系统工程理论重点技术要素和工程各环节的协同配合，质量管理理论专注技术对工程质量的支持功效。研究目标专注于市政工程项目自前期决策、设计、施工直至运维的全流程技术管理实践，要通过梳理概念方案明确技术管理的领域与内容，为后续质量管控机制的搭建提供理论支撑。

（二）全过程质量控制的基本原理

市政工程项目全流程质量把控是指在项目自策划、设计、施工直至竣工验收的整个生命周期里，通过系统的管理办法和技术

措施,保证工程质量符合规范标准以及使用要求的动态进程。其核心特点显示为系统性、动态性和协同性:系统性规定质量控制要包括项目各个阶段,建立从目标确立到成果校验的闭环式管理;动态性重点根据施工状况、技术变动等实时改变控制策略,以应对市政工程露天施工、环境繁杂等难题;协同性要求设计、施工、监理等多个主体共同参与,确保质量责任得以有效落实。全过程质量把控的重要意义在于,市政项目作为城市基础建设的主要部分,其质量直接关联到公共安全和民众的生活福利,通过全过程管理能够预先察觉设计漏洞、施工风险,减少后期维护费用,加强工程的耐用性与功能性^[9]。此原理以预防优先、过程把控为主要,通过PDCA循环(计划、执行、检查、处理)实现质量的持续优化,为市政工程技术管理提供理论支持,保证项目在整个生命周期内实现质量指标。

二、市政工程项目技术管理现状分析

(一)当前技术管理实践的问题诊断

在市政工程技术管理实践里,流程中断现象颇为明显,设计、施工、运维等环节的技术衔接缺少系统性的谋划,使得设计方案的技术要求在施工环节难以彻底落实,运维环节的技术反馈也无法高效促进设计优化。管理协同欠缺体现于各参与主体(像业主、设计单位、施工方、监理机构)的技术交流机制不完善,信息传输存在延迟或误差,进一步导致技术决策效能低下、问题解决时长增加等状况。根据某城市近三年市政工程质量事故数据统计情况,大约65%的质量问题和技术流程衔接不顺畅或者协同管理未做到位存在直接关联^[3],这一实证结果展现当前技术管理实践的核心难题:怎样建立覆盖项目全生命周期的技术管理体系,实现各阶段技术信息的无间隙传递以及多方主体的高效协作,成为提高市政工程技术管理水准的主要要点。

(二)质量控制方法的应用评价

市政工程建设项目里质量管控工具和方法的应用成效存在明显差别,全流程技术管理的连贯性欠佳成为限制质量提高的核心要素。目前项目大多依靠传统质量检验方式,像实地巡查、材料抽样检验等,虽可察觉明显质量问题,不过对隐蔽工程瑕疵、施工工艺系统性偏差的预警能力不足,造成质量问题处理落后于施工进度。BIM技术于碰撞检测、施工模拟等方面的应用逐渐推广,不过其和质量控制流程的深度融合有所欠缺,多数项目仅处于模型可视化阶段,未能实现质量数据的实时采集与分析^[4]。统计流程控制(SPC)、六西格玛等手段在市政项目里的应用实例不多,并且缺少针对不同工程类别(像桥梁、管网)的适应性调整,导致手段的实际成效与理论期望存在差别。从全流程领域的实证研究可知,质量管控方法的应用成效与项目参与主体的协作机制关联紧密。设计、施工、监理等流程的信息交互受阻,导致质量管控措施难以覆盖项目整个生命周期,从而对工程整体质量的稳定性产生影响。

三、全过程技术管理的关键环节

(一)规划设计阶段的技术管理优化

1.技术需求分析与方案制定

市政工程项目规划设计环节的技术需求分析和方案拟定要以项目全生命周期的质量管控为核心。需求认定需结合城市发展规划、功能定位以及民生需求,通过实地考察、公众参与等途径明确功能指标、环境承载能力和安全标准,保证需求与城市长远发展相符合。技术可行性研究要针对地质状况、施工状况以及材料供应等因素,运用BIM技术开展虚拟仿真分析,评估设计方案的结构安全性、施工可实施性以及成本合理性,同时引入绿色建材和节能技术。方案规划阶段需建立多方案对比选择机制,通过技术经济分析挑选出最优方案,重点留意主要节点的质量控制要点设计,保证技术方案既能满足功能需求,又符合质量控制要求。另外要引入第三方技术咨询单位开展方案评估,根据专家建议完善设计细节,防止因技术漏洞造成后期施工质量方面的问题。通过需求辨认和技术可行性研究的深度结合,为后续施工环节的质量管控奠定稳固基础^[5]。

2.风险管理与前期控制

在市政工程建设项目规划设计时期的技术管理改进中,风险管控与前期把控是确保全流程质量目标实现的主要部分。此阶段要通过系统的风险辨认与预防性管控策略,预先避免设计瑕疵、技术选择有误等潜在问题给后续施工和运营带来的影响。风险识别需包括地质状况、设计规范符合度、技术方案可行程度等方面,比如通过BIM技术对复杂构造开展碰撞检查,识别管线冲突或者结构受力潜在风险^[6]。预防性管控策略要建立多专业协作机制,通过设计评估和专家研讨来完善技术方案,并且引入价值工程手段平衡技术先进性与成本合理性。另外因为市政工程的公共特性,要把耐久性、安全性等质量指标归入设计阶段的风险评价体系,保证技术方案符合长期运营要求,为后续施工质量管控奠定基础。

(二)施工阶段的技术管理实践

1.现场技术协调与执行管理

施工阶段的技术管理工作要重点关注现场技术协调以及执行管理事宜,将流程标准化当作主要来提高质量控制的水准。现场技术协调需建立多专业联动体系,通过每日技术交流会确定各工序的技术参数以及衔接准则,保证主要工序的技术指标符合设计规范^[7]。在执行管理工作里,把技术交底进一步细化到操作方面。因为地下管线繁杂、交叉作业频次高的特性,运用BIM技术对施工流程进行模拟,提前察觉技术冲突并拟定解决办法。流程规范化体现于施工工艺的一致化和验收标准的量化,比如对路基压实度检测执行三控制,根据现场试验数据动态调节施工参数,防止技术执行偏差造成的质量隐患。现场技术管理人员要全程跟进主要工序,记录技术实施数据并和设计数值对比,及时纠正偏差,实现技术管理对施工流程的精确掌控。

2.创新技术的应用与监控

在市政工程的施工时期,创新技术的运用与监管是确保质量

控制有效性的主要部分。BIM技术通过三维模型实现施工方案的可视化模拟，预先识别管线碰撞、结构冲突等状况，确实降低现场返工率^[9]。无人机巡检技术通过高频率航拍数据，对路基压实度、桥梁墩身垂直度等主要参数进行实时监测，相较于传统人工检测，数据处理效率有明显提高。物联网传感器持续采集混凝土养护温度、预应力张拉应力等数据，通过云端平台实时开展分析，迅速预警异常指标。新技术的整合要建立技术评估、试点应用、全面推广的递进式机制。监测体系需包括设备校准、数据真实性核查以及操作人员技能考评等整个流程，通过闭环管控保障创新技术对质量把控起到正向效果，实现施工阶段技术管理和质量控制的深度结合。

四、质量控制体系的构建与应用

（一）质量控制标准与规范的整合

1. 国家标准与国际准则的借鉴

质量管控体系的搭建与运用要以标准规范整合为基础，且国家标准和国际准则的参考属于主要步骤。市政工程项目由于其公共特性以及复杂的施工工况，需要在整个过程的技术管理里融入多方面的标准要求。我国现行《市政基础设施工程施工质量验收统一标准》（GB 50300）对分部分项工程的验收指标作出明确规定，为质量把控搭建基础方案。不过在部分专项技术，像地下工程防水、智能监测等领域，国际标准例如ISO 9001质量管理体系里的过程方法和PDCA循环模型，能够补充全过程动态管理的逻辑^[9]。参考国际准则时要结合国内工程特性开展适应性转变，比如把英国BS 8000系列标准里有关材料耐久性的评价方法，和我国《城市道路工程设计规范》（CJJ 37）的环境荷载规定相结合，建立包括设计、施工、运维全阶段的质量管控指标体系。这种整合保证标准的权威性和兼容性，同时满足市政工程全流程技术管理对规范性、系统性的要求，为质量风险的预先识别和防控提供支撑。

2. 定制化质量管理框架的开发

质量管控体系的搭建要以市政工程的繁杂性和独特性为根据，融合国家强制性标准、行业技术规范以及地方施工要求，确定各阶段质量控制要点与验收指标，实现技术管理和质量管控的协作。根据市政工程动态特性，考虑项目规模和施工环境，设计包括技术交底、过程监测、风险预警的闭环管理模块^[10]。运用BIM技术对施工流程进行模拟，预先识别技术冲突和质量隐患，建立质量责任追溯体系，把技术参数和质量指标关联起来，实现全过程的质量管控。通过信息化平台对检测数据和技术文档加以整合，给出实时的质量分析报告，提高项目质量的稳定性以及技术管理的效率。

（二）质量控制工具与方法的实施

1. 质量检测与实时监控技术

质量管控体系的搭建与运用要以市政工程全生命周期为方案，整合设计、建造、验收等各阶段的技术规范与责任制度，通过明确质量目标的分解以及过程节点的把控，建立闭环管理体

系。质量管控工具和方法的执行需结合市政项目的复杂性，利用因果图分析施工偏差的根源所在，通过PDCA循环来优化工序流程，并且引入BIM技术开展虚拟施工模拟，提前察觉潜在的质量风险。质量检验与即时监测技术在市政项目里，能通过无损检测装置对桥梁结构强度、管道密封性等核心指标开展精确测量，联合物联网传感器搭建实时数据收集网络，对混凝土浇筑温度、路基沉降等参数实施动态跟踪。数据经云端平台分析后迅速反馈到现场管理端，实现质量问题的早察觉、早处理，保证工程质量一直处于可控状况。

2. 数据分析与反馈机制的优化

质量管控体系的搭建要围绕市政工程的整个生命周期，以技术准则为核心对设计、施工、验收等各个环节的质量目标进行整合，通过清楚责任主体和流程规范，建立起从材料进场、工序施工直至竣工验收的闭环管理方案，保证各阶段的技术参数和质量要求相符合。质量管控工具和方法的执行要结合工程特性，引入BIM技术实现三维模型和施工流程的动态适配，运用PDCA循环对主要工序展开持续优化，同时采用统计过程控制（SPC）对混凝土强度、钢筋间距等核心指标实施实时监测，通过因果图、直方图等工具识别质量波动的潜在原因，加强问题解决的针对性。数据分析及反馈机制的完善要搭建多源数据集成平台，把施工日志、检测报告、监测数据这类结构化信息开展关联分析，通过大数据手段挖掘质量瑕疵的关联规则和趋势特性，建立包括预警阈值、整改途径的反馈模式，保证质量问题能够及时传达到技术管理部门，促使技术方案的动态调节和管理流程的持续改进，最终实现技术管理和质量控制的协同提高。

（三）全过程质量管理的策略优化

1. 预防与纠正措施的系统化设计

质量管控体系的搭建要以全流程质量管理为主要，通过策略改进实现技术管理的闭环。在勘察时期，通过地质参数动态监控和BIM模型预演，提早识别软基处置、管线矛盾等风险；设计时期引入限额设计以及多方案比选机制，结合结构力学仿真来验证主要节点承载能力。在施工阶段设置工序质量控制要点，通过物联网装置实时监控混凝土坍落度、钢筋绑扎间距等数据，再将其与预先设定的阈值进行比对，一旦产生偏差便即刻启动纠正程序。验收环节运用无人机三维扫描和实体检测相融合的方法，对道路平整程度、桥梁挠度等指标开展量化评定，针对不达标项追溯到技术管理流程，健全预防措施库。此体系通过预防、监测、纠正、反馈的循环模式，把技术管理要求转变为可实施的质量管控措施，加强市政工程建设稳定性和耐久性。

2. 持续改进机制的实践路径

质量管控体系的搭建要以市政项目全生命周期作为框架，融合各阶段技术规范与质量参数，通过BIM技术实现信息共享与协同管控。在应用里设立主要工序的质量控制要点，通过无损检测、智能监测等技术方法实时跟踪质量数据，建立起从原材料入场直至竣工验收的闭环式管控。策略优化要关注各阶段技术管理的难点，像设计环节通过参数化建模降低错漏碰缺情况，施工环节运用模块化施工提高精度，验收环节引入数字化交付准则，

实现质量责任可追溯。持续优化要建立质量问题数据库，通过PDCA循环分析技术偏差和管理漏洞，把改进措施融入技术管理流程，同时将改进成效转化为技术标准的更新，促进质量控制体系的迭代完善。

五、总结

市政工程项目全流程技术管理与质量控制的重点研究表明，技术管理要贯穿项目决策、设计、施工以及运维的整个阶段，各环节的技术协作与动态优化是保证质量的主要。决策环节的技术可行性

研讨和设计环节的标准化图纸审核，能够有效减少施工环节的技术误差；施工环节的即时技术交底以及质量抽检制度，可降低工序瑕疵率；运维环节的技术评估和预防性维护，能延长工程使用时长。在实际操作里，需建立跨部门的技术协调团队，整合设计、施工以及监理方面的技术资源，并且引入BIM技术实现全流程的数据共享，提高管理效能。未来的研究能够专注于智能化技术在质量管控方面的运用，例如通过物联网传感器对施工参数开展实时监测，或者结合大数据分析来预估潜在的质量隐患。除此之外针对复杂地质状况下的技术适配策略，也需要进一步研究，从而完善全过程的技术管理机制，促进市政工程质量持续提高。

参考文献

[1]张翔宇. 脉络舒通丸化学物质基础与质量控制体系研究 [D]. 河南: 郑州大学, 2023.

[2]申潇. 政府投资工程项目竣工决算审计质量控制研究——以A县市政工程项目为例 [D]. 四川: 四川师范大学, 2022.

[3]张永辉. 某市政道路工程项目施工质量管理评价与研究 [D]. 陕西: 西安科技大学, 2022.

[4]张颖. EPC模式下ZY公司装饰工程项目全过程成本控制研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2023.

[5]夏雪茹. 基于PDCA循环的会计师事务所审计业务质量控制体系研究——以立信会计师事务所为例 [D]. 黑龙江: 哈尔滨商业大学, 2022.

[6]刘军, 姚风淑, 徐潇潇. 探究流域水环境监测全过程质量控制对策 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(5): 45-47.

[7]王晓莹, 郭莹莹. 高速公路隧道工程项目质量控制研究 [J]. 运输经理世界, 2024(21): 73-75.

[8]董杰. 大气环境监测全过程质量控制措施分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(22): 57-59.

[9]孔小莉, 蔡敏, 陈霞, 等. 试析大气环境监测全过程质量控制的有效方法 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(21): 61-63.

[10]钮武平. 医院基建项目全过程质量控制要点及措施 [J]. 中国卫生产业, 2024, 21(3): 235-238.

市政工程现场技术管控难点及优化措施探讨

吴天缘

广东 珠海 519099

DOI:10.61369/ADA.2026010051

摘 要： 市政工程现场技术管理控制通过动态监管施工工艺、质量、安全等方面来确保工程的质量与安全，面临着环境繁杂、人员技能欠缺、信息化水平低等难题。运用 BIM、智能设备等技术，搭配人员培训、责任机制的优化，能够提高管控的精准度和效率。经案例验证，此方式可提高工程合格率、缩短工期，为工程的高质量发展提供支撑。

关 键 词： 市政工程现场技术管控；优化措施；智能化技术

Discussion on the Difficulties and Optimization Measures of On-site Technical Control in Municipal Engineering

Wu Tianyuan

Zhuhai, Guangdong 519099

Abstract： The on-site technical management and control of municipal engineering aims to ensure the quality and safety of the project by dynamically supervising aspects such as construction processes, quality, and safety. It faces challenges such as complex environments, insufficient personnel skills, and low levels of informatization. By applying technologies like BIM and intelligent equipment, combined with personnel training and the optimization of responsibility mechanisms, the accuracy and efficiency of control can be improved. Through case studies, this approach has been proven to enhance the project's pass rate, shorten the construction period, and provide support for the high-quality development of the project.

Keywords： on-site technical control in municipal engineering; optimization measures; intelligent technologies

引言

市政工程作为城市公共服务的主要载体，其现场技术管理直接影响建设质量与运行稳定。2023年，住房和城乡建设部颁布《关于加快推进市政基础设施数字化建设的指导意见》，清晰提出运用数字化方式提高现场管控效率，为行业的发展提供政策引导。目前市政工程施工现场遭遇地质状况复杂、人员技术欠缺、信息化程度落后等多个难题，造成质量隐患和安全风险频繁出现。文章重点关注现场技术管控的主要难题，融合 BIM、物联网等智能技术运用，研究从技术改进、人员培养到责任机制搭建的全流程解决办法，目的是为提高市政工程建设质量与效能提供理论依据和实践参考。

一、市政工程现场技术管控概述

（一）市政工程现场技术管控的定义与范围

市政工程现场技术管理控制，指的是在市政基础设施建造过程中，运用系统性的技术措施和管理办法，对现场施工作业的工艺、质量、安全以及进度等主要部分开展动态监督与调节的过程。其核心要点包含施工技术规范的落实、主要工序的质量把控、安全风险的技术预防以及施工方案的动态完善等方面。此管控体系普遍用于道路、桥梁、给排水管道、城市轨道交通等公共基础设施建设领域，比如在道路项目里，要对路基压实度、路面平整度等技术指标开展实时监测；在桥梁项目中，就需针对桩基施工、钢结构安装等主要工序施行专项技术管控^[1]。其领域不光

包括施工期间的技术操作准则，还关联施工前的技术方案研讨以及施工后的技术验收评定，通过全流程的技术管控保证市政工程建设品质与使用安稳，为城市公共服务功能的平稳运转提供技术支持。

（二）市政工程现场技术管控的重要性与现状分析

市政工程现场技术管理在工程质量保证、施工安全管控及建设效率提高方面起到主要作用，它通过对施工流程、技术指标以及操作准则的精确掌控，直接影响工程实体质量是否符合设计标准和使用需求，同时能够有效减少安全事故的发生几率，缩短工期并管控成本。目前行业实践里，技术管控仍然面临多方面难题。其一现场施工作业环境复杂且多变，像地质状况、气候条件等不确定因素，容易让技术方案执行出现偏差。而且部分施工单

位的技术管控体系不够完善，专业技术人员配备不充足，导致主要工序的质量把控不到位。其二传统技术管控方式的信息化程度较低，数据收集与分析的效率较为滞后，很难对施工过程开展动态监测并及时进行调整。这些问题对市政工程整体建设水准的提高形成制约^[2]。

二、现场技术管控难点分析

（一）技术与环境类难点

市政工程现场技术管理控制面临着技术的复杂性以及外部环境的双重限制，地形状况是首要的难题。城市地下管线纵横交错、软土地基分布不均衡，要通过高精度地质勘察来确定支护方案，不过复杂地质状况容易导致支护结构产生变形，提高施工风险。气候条件对管控工作的影响也十分明显，酷热或寒冷天气会使混凝土凝结速率产生变化，对施工品质造成影响，特大降雨或许会导致基坑出现积水，对正常的作业流程形成干扰。从技术角度来看，像深基坑挖掘、大跨度桥梁起吊这类工艺，对设备精准度以及人员操作有着极高要求。但是现场施工人员的技术水准存在差异，容易由于操作失误而引发安全事故。另外施工现场周边建筑物较为密集，施工产生的振动或许会对既有结构的稳定性造成影响，需要实时对振动参数进行监测，并对施工方案加以调整，这对技术管控的动态特性提出更高的要求^[3]。这些技术难题和环境类困难相互交错，增加现场技术管控的复杂度，需要有针对性地拟定应对措施来确保工程顺利开展。

（二）人员与组织管理类难点

在市政工程现场技术管控工作里，人员与组织管理方面的难点会直接对管控效能产生影响，其中人员技能欠缺是主要瓶颈之一。现场技术人员应掌握地质勘查、结构设计、施工工艺等多方面知识，但是部分人员由于缺少系统培训和实践经验，在应对复杂工况下的技术决策时存在困难，像深基坑支护参数的优化、地下管线保护方案的制定等情况，容易造成技术方案执行出现偏差。团队合作效率欠佳进一步加大管控难题，各专业小组（像土建、机电、市政管线）之间信息传达不通畅，技术交底存在间断，比如施工图纸变更未及时传达到现场作业方面，导致工序冲突或质量风险。职责不明确会导致管控环节存在真空地带，当现场出现技术问题时，技术负责人、施工班组长、质量监督员之间容易相互推诿，难以迅速确定问题根源并实施补救措施。这些要素彼此交织，导致现场技术管控难以建立闭环，最终对工程进度和质量产生影响^[4]。

三、优化措施理论基础探讨

（一）技术优化措施探讨

1. 先进施工技术的应用

应用先进施工技术是化解市政工程现场技术管控难题的主要途径，其可行性和优势能够从智能化装置与信息化体系这两方面来说明。智能化的施工装备通过集成传感器和自动化控制单元，

实现复杂工序的精确执行。比如智能摊铺机能够实时调控摊铺的厚度和速度，降低人工操作产生的误差，加强路面施工质量的稳定性。信息化监测系统通过物联网技术搭建多方面数据收集网络，对施工进度、安全风险以及质量指标开展动态监管，例如 BIM 技术和 GIS 系统的融合运用，能够实现施工流程的可视化模拟与空间信息的实时刷新，帮助管理人员迅速识别潜在危机并拟定应对措施。另外无人机巡检技术的运用明显提高高空作业和大范围区域的监测效能，相较于传统的人工巡检方式，其数据采集速率提高 3-5 倍，并且能够覆盖人员不易抵达的危险地带。这些技术手段不但能够有效处理现场管控里的信息延迟、协同欠佳等状况，还能够通过数据驱动的决策来优化施工进度，减少资源浪费以及安全事故的发生概率。实际情况显示，某市政道路项目引入智能压实装置与实时监测系统后，压实度达标比例提高到 98%，施工工期缩短 15%，这证实先进技术在现场管理中的明显优势^[5]。

2. 环境适应性技术方案设计

优化措施的理论基础研究要依靠系统工程理论和韧性城市建设方案，经由分析市政工程现场技术管控的动态特性与复杂性，搭建风险识别、过程调控、效果反馈的闭环理论模型，为后续技术优化提供逻辑支撑。技术优化措施研讨专注于智能监测和数字化管控技术，例如通过 BIM 的施工进度模拟体系能够实现多专业协作与冲突预警，物联网传感器实时收集结构应力、环境参数等数据，融合大数据分析技术识别潜在的风险点，提高管控的精准程度与响应速率。环境适应技术方案规划要兼顾生态保护和施工要求，运用低噪音施工装备、扬尘在线监测及自动喷淋体系，降低对周边环境的影响，同时针对极端天气等突发状况，设计模块化应急技术措施，例如能迅速部署的临时排水系统与结构加固装置，提高现场技术管控的弹性。上述措施的推行要以相关理论作指引，像系统韧性理论重点通过冗余设计和动态调节加强系统抗干扰能力，而环境工程学原理为环境友好型技术策略提供科学支撑^[6]。

（二）管理优化措施探讨

1. 人员培训与组织优化策略

人员培养和组织改进策略是化解市政工程现场技术管控难题的主要管理办法，其理论根据能追溯到资源基础理论与社会资本理论。资源基础理论指出，组织内部技能和知识的异质性是获取竞争优势的根源。现场技术管控的有效落实，依靠技术人员对复杂工艺、规范标准以及应急处理的精确把握。成体系的技能提高方案，能够通过有针对性的培训来填补人员能力的不足。比如针对深基坑支护、地下管线探测等主要工序开展专项训练，可减少因操作不规范引发的质量与安全隐患^[7]。社会资本理论表明，团队内部的信任和协作网络可提高信息传递效能。市政工程现场存在多专业交叉施工情况，优化团队协作机制需要搭建通过 BIM 技术的信息共享平台，清晰界定各岗位技术交底流程和责任界限，降低因沟通不顺畅导致的设计变更延迟或工序冲突问题。建立技术人员绩效评估和激励制度，把管控成效与个人晋升、薪资相联系，能够调动人员主动参与技术管控的积极性，形成技能提高、

协作强化、管控优化的良性循环，从组织方面为现场技术管控提供可延续的支撑方案。

2. 责任与监督机制设计

责任与监督机制设计作为市政工程现场技术管控的主要支撑，要以权责明确的方案为基础，通过界定各参与主体（建设单位、施工方、监理方等）的技术管理职责范围，消除因责任模糊引发的执行断点。绩效考核监督体系需围绕技术管控核心指标（像施工工艺合规比例、质量问题整改时间等）搭建量化评价机制，把技术执行成效与相关人员薪资、晋升直接关联，形成正向激励。引入第三方监督以及动态巡查制度，能够有效弥补内部监督所存在的局限，保证技术标准落地具备刚性约束。此机制设计要结合委托代理理论，通过恰当的权责划分与监督激励措施，减少因信息不对称引发的技术管控风险，提高现场技术执行的规范性和效率^[8]。

四、优化措施实施与案例分析

（一）优化措施实施步骤

1. 方案规划与设计阶段

方案谋划与设计时期是市政工程现场技术管控优化措施落实的主要阶段，要以问题作导向，结合工程实际需要开展。首先要根据前期对技术管控难题的梳理，针对施工流程杂乱、质量标准不一致等状况，开展方案可行性的评估，通过现场勘查、数据模拟等途径，验证优化措施在特定工程情形中的适配度，保证方案既符合技术规范，又能够解决实际管控的痛点。接下来开展资源配置规划，要统筹人力、设备、材料等方面，比如针对深基坑支护技术管控难题，合理安排具有专业资质的技术人员和监测设备，确定各环节资源投入的时间点和数量规范，防止资源闲置或者短缺对管控成效造成影响。技术部署规划需进一步细化管控流程，把 BIM 技术、物联网监测等数字化方式融入现场管理工作，清晰界定数据采集的频率、信息传递的路径以及异常响应的机制。比如通过 BIM 模型实现施工进度与质量的可视化管理，配合传感器实时监测结构应力的变动情况，加强管控的精准程度与时效水平。该阶段要全面参考有关技术标准和工程案例的经验，保证方案具备科学性与可操作性^[9]。

2. 现场执行与监控阶段

在优化措施的推行与案例分析里，现场的执行和监控环节要重点关注技术管控流程的动态落实。以某市政道路改造项目为例，施工单位运用 BIM 技术建立三维模型，把设计参数和现场实际数据进行关联，通过物联网传感器实时收集路基压实度、混凝土坍落度等主要数据，数据同步传至管控平台，实现施工参数和设计标准的动态对比^[10]。当传感器检测到路基压实度偏差超出允许范围时，平台会自动启动预警。技术人员在通过移动端 APP 接收到警报后的 15 分钟内到达现场，根据模型模拟得出的调整方案，指导施工班组对碾压工艺进行修正，从而防止返工。同时建立班组自检、技术人员复核、平台数据核验的三级反馈体系，每道工序完工后，班组上传现场影像以及检测数据，技术人员通过

模型比对来验证合规状况，平台生成工序验收报告，保证技术标准贯穿于施工的整个流程。此机制让工程主要工序的合格比例提高到 98%，工程周期缩减 12%，证实动态监控与实时反馈于市政工程技术管控里的实践意义。

（二）典型案例分析

1. 城市道路工程案例

某城市主要干道的改扩建项目包含旧路破除、路基填筑、沥青面层铺设等施工工序，面临着地下管线繁杂、交通疏导压力大以及路基压实度把控困难等技术难题。项目小组运用 BIM 技术搭建三维管线模型，预先识别并避开多个管线冲突点，确实防止管线破损状况，施工效能大幅提高。针对交通疏导改造，团队运用分段封闭+临时便道策略，通过智能交通监控体系动态优化疏导改造路线，高峰时段通行效率保持在同期的较高水准。在路基施工环节，引入智能压实监测系统，实时收集压实度数据，让路基压实度的合格率明显提高，有力降低返工费用。案例实操显示，技术改进措施要与现场管理体系深度结合，BIM 技术的运用依靠各参建方的协同协作，智能监测装置的普及需配备现场人员培训，而交通疏导方案的成效则取决于和交管部门的实时交流，这些经验为相似市政道路项目的技术管控给出可参考的实践途径。

2. 桥梁建设项目案例

某城市的跨江大桥项目在原本的施工阶段，存在着钢筋保护层厚度合格比率较低、预应力张拉偏差比率较高等技术难题。项目小组引入 BIM 技术搭建三维模型，对钢筋布置开展可视化预演，提前避免碰撞状况；针对预应力张拉，运用智能张拉体系，实时收集张拉力和伸长量数据，自动调节张拉速度。施行之后钢筋保护层厚度的合格率提高到较高程度，预应力张拉的偏差率获得有效管控，工期相较于计划有明显缩减，施工成本出现明显下降。此案例的可推广之处在于，BIM 技术和智能设备的运用能够复制到其他桥梁或者市政工程当中。通过技术手段来取代传统的人工操作，能够有效化解现场技术管控里存在的精度欠佳、效率不高等问题，为相似项目提供可参考的技术管控模式。

（三）实施效果评估

1. 评估指标体系的建立

搭建衡量优化措施成效的主要指标体系要围绕市政工程现场技术管控的核心目的，整合成本、进度、质量和安全方面，建立可量化、可比较的评估方案。成本节省率关注优化措施执行后材料损耗下降、设备利用效率提高等造成的直接成本缩减，经由对比优化前后的单位项目成本或者主要工艺流程成本，算出节省比例，为资源配置效能提供数据支持。故障发生情况以现场技术方面故障（像设备故障、工艺偏差、质量缺陷等）的出现频次作为统计对象，统计周期里故障的次数和总作业时长或者工序数量的比值，体现技术管控在减少现场问题上的实际成效。另外要增添进度实现率和质量合格率这两项指标。进度实现率通过实际完工时间和计划工期的差值来计算，质量合格率用主要工序验收合格项数的占比进行衡量，这两项指标一同验证技术管控对工程整体目标的保障功效。指标体系要和市政工程现场特性相匹配，例如针对地下管线施工作业可增添管线定位精准度，针对混凝土浇筑

流程补充强度达标率，保证指标既有通用性又能够精确体现不同场景的优化成果，为措施效果评估提供科学、完备的根据。

2. 效果评估与反馈分析

经由现场访谈、数据回顾以及第三方检测来收集反馈，施工班组表示智能监测系统的操作需要进一步简化，业主方提出进度预警机制应当更加精准。根据反馈情况，提议开发移动端的监测页面来加强操作的便利性，并且结合气象预测数据对进度规划进行优化。建立周反馈、月复盘模式，由技术负责人引领汇总现场难题，联合设计、施工单位动态调节措施，保证优化方案持续符合项目实际要求，形成技术管控的闭环改善体系。

五、总结

本项研究围绕市政工程现场技术管控的难点以及优化办法展

开探讨，确定施工环境繁杂、技术标准未统一、人员技术水准良莠不齐和动态管控欠缺为核心难题。这些难题导致施工效能降低、质量风险提高，甚至诱发安全事件。针对上述问题，优化办法重点于建立动态监测系统、加强技术标准统一、提高人员专业能力以及引入智能化管理手段。研究表明将 BIM 技术与物联网的实时数据收集相结合，能够有效提高现场技术管控的精确程度；标准化的操作流程以及定期开展的技术培训，可以明显减少人为差错；而跨部门协同机制的搭建，则能够打破信息障碍，实现资源的高效分配。未来的研究需进一步探寻人工智能于风险预测里的运用，强化数字化技术和传统施工工艺的结合，同时留意不同规模市政项目的差异化管控措施，为行业供给更具针对性的技术管控办法，促进市政工程建设的高品质发展。

参考文献

[1] 邱悦. 比亚迪供应链成本管控及优化研究 [D]. 湖南: 湖南科技大学, 2023.
[2] 杨洋. 营商环境优化措施对技术创新的影响研究 —— 基于省级面板数据的分析 [D]. 吉林: 吉林大学, 2023.
[3] 李佳璐. Y 煤矿成本管控优化研究 [D]. 陕西: 西安科技大学, 2022.
[4] 夏远文. R 高校资产经营公司集团管控与组织结构优化的探讨 [D]. 陕西: 电子科技大学, 2022.
[5] 陈千千. 建筑施工交叉作业风险评估及管控措施研究 [D]. 广东: 华南理工大学, 2022.
[6] 郑舟林. 制药企业成本管控中存在的问题及优化措施探讨 [J]. 财会学习, 2022(29): 100-102.
[7] 王宫, 王宏伟. 建筑工程动态管控优化的措施探讨 [J]. 模型世界, 2024(19): 126-128.
[8] 王东伟, 史伟帆, 李蕊, 等. 国有企业成本管控的优化措施研究 [J]. 财会学习, 2024(12): 93-95.
[9] 王燕. 浅析工程成本核算管控优化措施 [J]. 南北桥, 2024(6): 61-63.
[10] 朱春丽. 钢板加工生产现场质量管理优化措施探讨 [J]. 冶金与材料, 2023, 43(7): 94-96.

新技术驱动下房地产工程施工技术管理的创新模式与实践路径

黄立德

广东 汕尾 516600

DOI:10.61369/ADA.2026010055

摘 要： 在房地产工程的施工阶段，BIM、AI、IoT等新兴技术正从局部的试点应用逐步向规模化方向推广。通过集成应用来建立以数据驱动作为核心的创新性管理模式，实现施工进度、质量以及安全的动态监测与协同优化，进一步提高管理效率和工程效益。尽管面临技术匹配、人员技能欠缺等难题，但通过政策指引、标准设定以及人才培养等措施能够促使其落地，未来会朝着智能化、低碳化不断转型。

关 键 词： 房地产工程施工；新技术应用；施工管理创新

Innovative Models and Practical Paths of Construction Technology Management in Real Estate Engineering Driven by New Technologies

Huang Lide

Shanwei, Guangdong 516600

Abstract： During the construction phase of real estate projects, emerging technologies such as BIM, AI, and IoT are gradually being promoted from local pilot applications to a large-scale scale. By integrating applications, an innovative management model centered on data-driven principles is established, enabling dynamic monitoring and collaborative optimization of construction progress, quality, and safety. This further enhances management efficiency and engineering benefits. Although there are challenges such as technology compatibility and lack of personnel skills, these can be addressed through policy guidance, standard setting, and talent cultivation measures, and it will continue to transform towards intelligence and low-carbonization in the future.

Keywords： real estate engineering construction; new technology application; construction management innovation

引言

当下房地产工程建设处于数字化转变主要阶段，BIM、AI、IoT等新兴技术逐渐从部分试点拓展至规模化运用，促使传统经验主导的管理模式向数据驱动模式转变。2023年住建部发布《关于加快推进智能建造发展的一些意见》，明确提出把技术创新当作核心建立智能建造产业体系，为施工技术管理创新提供政策指引。新科技通过三维可视化协作、即时数据收集与智能分析，切实提高施工效能与质量监管水准，不过也遭遇技术集成适配性欠佳、人员数字化能力薄弱等难题。本研究专注于新技术推动下的施工技术管理创新模式开展研究，结合实际案例以及政策规定，探寻具备可持续性的实施途径与优化措施，为行业的转型升级提供理论根据与实践参考。

一、房地产工程施工技术管理的现状与新技术应用

（一）新技术在房地产工程施工中的应用现状

现阶段房地产工程施工环节，BIM、AI、IoT等新兴技术的运用已从局部试验向规模化普及转变。BIM技术通过三维模型对设计、施工以及运维数据进行整合，实现施工进度、成本和质量的可可视化协同管控，其参数化建模和碰撞检测作用能够提前避免80%以上的设计矛盾，降低现场返工比例^[1]。AI技术依靠机器学习

算法来分析施工数据，比如通过计算机视觉的智能监控系统能够实时辨识违规操作和安全隐患，辨识准确率在95%以上，提高现场安全管理效能。IoT技术通过传感器网络搭建智慧工地，实时收集施工设备的运行状况、环境参数等数据，实现对施工机械的远程监测与能耗优化，某项目应用该技术后设备故障发生率降低30%。这些新兴技术的运用促使传统施工管理从依靠经验驱动转变为依靠数据驱动，打破信息隔阂，推动各参与方协同合作，不过也对管理流程、人员技能提出新的要求，彰显出技术驱动下施

工管理模式进行转型的必要性。

（二）施工技术管理的挑战与创新驱动因素

传统的房地产工程建造技术管理存在效率不高、质量把控欠缺等明显问题，施工现场信息传递迟缓造成决策延迟，人工监测难以全面包括施工全流程，容易引发质量隐患和安全风险^[2]。随着建筑工业化和数字化进程的加快，新技术推动管理改革成为行业转型的必要需求。BIM技术具备的三维可视化特点能够实现设计和施工阶段的信息协同，物联网设备开展的实时数据采集可以动态监测施工参数，人工智能算法能够通过数据分析对潜在风险进行预测，这些技术的运用不但可以提高管理精准度，还能够通过流程改进减少资源损耗，给房地产工程施工技术管理创造从被动处理到主动防范的转变机会，促使管理模式朝着数字化、智能化的方向发展升级。

二、创新管理模式的构建框架

（一）创新模式的理论基础与框架设计

改革管理模式以房地产项目全周期作为核心，搭建技术、管理、价值三位一体方案。核心观念重点于数据驱动决策、协同优化流程以及智能提高效能，实现技术与管理的深度融合和价值创造^[3]。方案运用平台、应用、保障三层方案设计：平台层级通过 BIM、物联网以及大数据实现多源数据的集成与共享；应用层级针对进度、质量、安全和成本研发专项模块，例如数字孪生模拟和 AI 缺陷识别；保障层级完善组织机制、标准规范以及人才培养体系。此模式深度符合项目特性，消除信息壁垒，促使施工管理从经验主导转变为数据智能主导，为技术创新实践提供系统保障。

（二）创新模式的关键要素与技术融合

改革管理模式的主要要素与技术整合以数据引领决策为核心，融合进度、质量等多元数据提供量化支撑，确实减少经验误差。智能化管控凭借实时监测和自动调整实现工序动态优化，例如混凝土温控体系精确保障结构强度。云计算可提供具有弹性的算力以及集中式存储，打破信息孤立状态来加强跨部门的协同合作；大数据能够深度发掘历史和实时的工况情况，精确识别潜在的风险并实现设备的预防性维护^[4]。物联网实现人员、机械和材料的全面连接，搭建智能感知网络以实时反馈施工状况。多种技术深度交融建立数据为核、智能为翼的管控方案，全方位促使房地产工程施工管理朝着精准化、高效化转变。

三、实践路径的设计与实施机制

（一）路径的整体架构与设计

1. 实践路径设计的原则与方法

实践路径规划需以房地产工程施工技术管理的主要需求为指引，搭建包含技术整合、数据交流与决策运用的整体框架，打造从技术赋能至管理改进的闭环系统。设计秉持可扩展性准则，适配不同规模的项目，并且支持 BIM、物联网等技术的迭代更新；

坚守实时监测原则，依靠传感器网络和数据中台实现施工动态追踪以及风险预警。规划手段通过项目的整个生命周期，在经过需求分析明确难点之后，开展技术挑选与系统整合，建立数字孪生可视化管控平台，并且通过试点验证以及迭代完善形成可复制的流程。全面参考成熟的框架与案例，保障路径规划的科学性和可行性^[5]。

2. 技术驱动下的实践路径组件集成

实践路径的规划与执行机制里，路径的总体方案把技术赋能、流程重构、价值输出当作核心逻辑，通过 BIM、物联网、人工智能等新科技与施工技术管理流程的深度融合，搭建多层次协作体系。技术推动下的实践途径组件整合要围绕施工全流程各环节开展，比如在施工进度管控里，整合 BIM 模型和物联网传感器数据，实现施工资源的自动调度，动态符合人员、机械以及材料的即时需求，降低资源闲置与冲突^[6]。质量控制环节能够嵌入 AI 视觉识别体系，针对混凝土浇筑、钢筋绑扎等流程开展实时监控，结合预先设定的参数自动生成质量警报，提高问题响应效能。在安全管理领域，通过穿戴设备收集工人生理信息以及环境传感器数据，搭建风险预警体系，针对高坠、触电等潜在危险提前开展干预工作。组件整合要依靠统一的数据中台实现信息交互，破除技术壁垒，保证各组件在施工规划制定、流程执行和结果反馈方面的协同性，让创新模式的实践途径兼具可实施性与高效性，促使房地产工程施工技术管理从传统经验主导转向数据主导转变。

（二）实施机制与优化策略

1. 实施流程与技术支撑机制

实施程序和技术保障机制要搭建技术平台与管理程序的协作体系。平台将 AI 算法和物联网作为核心，整合现场数据实现进度预估、缺陷判别与安全告警，例如深度学习裂缝检测模型能够明显提高管控效率^[7]。管理流程应把智能决策融入现有体系，打通方案优化和现场动态调节，建立数据采集、算法分析、决策输出、现场执行闭环。结合数字孪生和 5G 技术，建立工程虚拟镜像，确保全流程可视化模拟以及数据即时传输。此机制重点软硬件协作以及业务流程重塑，保障技术创新精确落实，全方位促使房地产工程施工管理从经验主导转向数据主导转型。

2. 监控与持续改进策略

在实践路径的规划与执行机制里，执行机制和优化方案要结合新技术的特点建立动态调节体系，而监测与持续改进的策略则要依靠数据闭环实现精细化管控。在绩效评价方面，能够搭建融合施工效能、质量合格率、技术创新运用程度等方面的 KPI 指标系统，通过物联网装置实时收集施工数据，建立多源数据推动的评价模型，保证指标既体现传统施工管理需求，又展现新技术赋能后的管理创新成果^[8]。根据数据反馈的优化策略要搭建数据处

理和分析平台，对施工进度里的技术参数、资源配备、进度偏差等数据开展实时分析，识别技术管理中的瓶颈之处，像 BIM 模型碰撞检测效率不高或者智能设备协同性欠佳等问题，从而有针对性地调整技术方案或者管理流程。监控阶段要运用实时监测、异常预警、问题溯源的闭环模式，依靠 AI 算法对施工数据开展趋

势预估，提早识别潜在的风险；持续改进方面需要建立跨部门协作的改进团队，结合数据反馈成果制定迭代规划，并通过试点运用验证优化成效，形成数据采集、分析诊断、方案优化、实践验证的循环系统，保证施工技术管理在新技术推动下维持持续适应性，最终实现工程质量和效率的双重提高。

四、案例分析与推广应用

（一）案例实证研究

1. 案例背景与模式应用实例

挑选长三角地区某头部房地产企业的超高层住宅智慧建造标杆项目，该项目面临着工期紧张、地质状况复杂以及绿建三星认证等难题。项目运用 BIM、物联网搭建技术管理创新模式：在设计阶段通过 BIM 多专业数据整合与碰撞检测，使施工返工率降低 25%^[9]。施工阶段通过物联网传感器实时收集塔机运行参数、混凝土浇筑温度以及模板沉降数据，通过云平台进行分析预警以保障质量与安全；运用无人机航拍并结合 BIM 模型对比工程进度，动态调节计划让主要线路工期缩减 10%；同时采用预制装配式技术，把外墙和楼梯等构件在工厂预制完成后于现场进行吊装，使现场作业量减少约 30%，有效降低扬尘和噪声污染。此模式实现技术管理的数字化、可视化以及协同化，为房地产工程施工技术管理改革提供可参考的实践案例。

2. 实施效果评估与对比分析

以某个超高层住宅项目作为实例，此项目引入 BIM 技术搭建数字化施工模型，同时运用物联网设备实现现场数据的实时采集与分析，形成 BIM+物联网的创新性管理模式。实施成效评估表明，项目通过模型碰撞核查预先解决 85% 以上的管线冲突难题，降低返工费用约 12%；物联网装置对混凝土养护温度、钢结构安装精准确度的动态监控，让主要工序合格率提高至 98%，相较于传统管理提高 15 个百分点。在工期情况上，数字化的进度模拟以及资源优化调度把总工期缩减 18 天，其中主体结构施工时期由于工序衔接效率提高让工期缩短 10%。相较于传统管理方式，此项目的材料损耗率降低 6%，现场安全事故的发生概率下降 70%，这体现出新技术驱动的创新模式在成本管控、工期管理以及质量安全保障方面的实际价值。另一个商业综合体项目运用无人机巡检和 AI 质量检测体系，巡检效率提高 3 倍，隐蔽工程缺陷识别率提高至 92%，进一步证实技术融合对施工管理效能有明显提高作用。

（二）实践问题诊断与对策

1. 实施中的主要挑战识别

在新技术引领的房地产工程建造技术管理改革实践里，实施进程遭遇多个挑战。技术整合阻碍体现为 BIM、物联网等新兴技术和传统施工流程的适配程度欠佳，某大型住宅工程在引入 BIM 协同平台之际，由于设计、施工、监理方的数据标准不一致，造成模型信息传递的误差率达到 12%，导致主要节点进度出现延误。人员适配难题是由于一线施工人员数字化能力欠缺，在某商业综合体项目里，60% 的技术工人没办法独立操作智能监测装置，需要另外配备技术指导人员，使人力成本提高 15%。原因分

析表明，企业在技术集成方面缺乏系统性规划，未建立跨部门的数据协同机制，并且技能培训体系落后于技术更新的步伐，未把数字化技能纳入常态化考核。这些挑战对创新模式的落地成效形成直接制约，要从统一技术标准、提高人员能力这两个方面制定针对性的解决策略。

2. 针对性解决方案与优化建议

针对某超高层住宅项目由于技术人员在 BIM 操作方面能力欠缺，导致模型出现脱节情况，进一步引发进度延迟和成本超支的问题，需要建立政策、企业、人员三维对策体系。政策方面需推出专项补贴，把新技术应用纳入企业资质评定，建立制度激励。企业端开展理论+模拟+实操的常态化培训活动，设立专项经费确保资金落实。协同端建立项目方面的数据共享平台，破除设计、施工和监理之间的阻碍，实现多维信息的即时同步。流程端开展优化管理工作，把技术融入方案编制、交底以及管控等环节，建立选型、论证、试点、推广的闭环机制。通过试点检验并逐步拓展应用范围，加强管理的精准程度与效率，促进技术管控和经济效益相互融合，为低碳模式下的房地产经济管理创新提供支撑^[10]。

（三）推广策略与未来展望

1. 行业推广实施路径

行业推广执行途径要以政策引领为主要，促使地方政府颁布专项扶持政策，把新技术运用纳入房地产工程建设的绿色建筑、智能建造等评估体系，对运用创新管理方式的项目提供容积率奖励或财政补助，减少企业技术升级费用。协同开展标准制定工作，携手行业协会、头部房地产企业以及科研单位，编写包含 BIM 协同管理、智能监测设备运用、数字孪生技术实施的技术指引与操作准则，确定技术选择、流程衔接以及数据安全等核心标准，为模式复制提供统一的参考根据。在技术推广方面，通过产学研协作平台，针对施工企业的管理人员和技术人员开展分级培训，采用线上课程+现场实训相结合的模式，加强一线人员对新技术工具的操作技能与管理认识。

2. 新技术发展趋势与管理创新展望

案例解析与推广运用方面，可挑选某领先房企通过 BIM+区块链的施工管理实例，该实例通过区块链实现施工数据的不可更改与多方协作，使签证纠纷减少 30%，工期缩短 15%。此模式在长三角多个项目进行复制时，要结合区域政策和供应链特点调整技术接口，建立跨企业数据共享联盟。推广策略与未来规划要搭建技术赋能、组织适配、生态协同的三维方案，技术方面促进 AI 和物联网的深度结合，实现施工风险的即时预警；组织方面重塑项目管理框架，设置数字化管理岗位，培育复合型人才；生态方面联合高校、科研单位共同建设技术创新实验室，制订行业标准。在新技术发展趋向与管理改革展望里，元宇宙能够实现施工场景的沉浸式仿真，预先识别设计矛盾与施工难题，区块链会进一步确保供应链金融的透明化。

五、总结

总结部分专注于新技术推动下房地产工程施工技术管理的创新模式及实践途径，先确定创新模式的主要要点，也就是通过 BIM、物联网、大数据等技术的整合运用，搭建起以数字化协同为核心的管理方案，实现施工过程的动态监测与资源优化调配。实践途径的有效性显示于缩短工程周期、降低项目成本、提高工

程品质等方面，例如某工程运用 BIM 技术开展碰撞检测，使施工返工率降低 30% 以上。模式搭建要重视技术和管理流程的深度结合，实施成效表明，新科技的运用不但提高施工效能，还强化项目的风险管控水平。案例所带来的启示显示，企业需建立技术创新激励制度，培育复合型人才，从而符合数字化转型的要求。

参考文献

- [1] 李帆. TOE 框架下房地产业发展水平测度与提升路径研究 [D]. 河南: 中原工学院, 2022.
- [2] 陈明. 轻资产模式下房地产企业的财务风险研究 —— 以大悦城地产为例 [D]. 湖北: 湖北工业大学, 2023.
- [3] 王晶. “三道红线”政策下房地产企业降负债的路径及效果研究 —— 以富力地产为例 [D]. 湖南: 湖南科技大学, 2023.
- [4] 杨镇平. 三道红线背景下房地产开发企业融资模式转型研究 —— 以 DX 地产为例 [D]. 浙江: 浙江工业大学, 2022.
- [5] 闵清华. 高新技术企业创新绩效的协同驱动路径研究 —— 基于模糊集定性比较分析 [D]. 河南: 郑州大学, 2022.
- [6] 吴迅. 创新驱动下企业商业模式变革的路径与实践 [J]. 全国流通经济, 2024(13).
- [7] 尹萍. 低碳模式下房地产经济管理创新模式思考 [J]. 南北桥, 2023(3): 181-183.
- [8] 张涛. 低碳模式下房地产经济管理创新模式探讨 [J]. 市场周刊·理论版, 2022(26): 0080-0083.
- [9] 崔祯珍. 低碳模式下房地产经济管理创新模式探讨 [J]. 现代经济信息, 2023(30).
- [10] 邹定文. 低碳模式下房地产经济管理创新分析 [J]. 中国市场, 2024(8).

矿山排水对区域水文地质环境的影响

李永宽, 卢涵, 熊志平

云南德成规划设计有限公司, 云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ADA.2026010062

摘 要 : 矿山持续抽排会削弱地下水补给条件, 打破原有水动力平衡, 造成区域含水层水位下降、水力梯度重构, 降落漏斗引导周边地下水向排水中心汇聚, 引发水量减少、径流路径改变, 还可能带来地表沉降风险, 水动力条件变化会推动水质演化, 加快溶质运移与离子交换, 造成矿区周边水环境质量下降。地表与地下水的相互作用被改变, 部分区域湿度降低、植被长势减弱, 长期排水对区域水文地质环境的影响具备累积与扩散特点, 具体受含水层结构、排水强度及水力联系状况控制。

关 键 词 : 矿山排水; 水动力平衡; 含水层扰动; 降深漏斗; 区域水文地质环境

The Impact of Mine Drainage on Regional Hydrogeological Environment

Li Yongkuan, Lu Han, Xiong Zhiping

Yunnan Decheng Planning and Designing Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract : Continuous drainage from mines will weaken the groundwater recharge conditions, disrupt the original hydrodynamic balance, causing the water level of the regional aquifer to drop, the hydraulic gradient to be restructured, the subsidence funnel to guide the surrounding groundwater to converge towards the drainage center, resulting in reduced water volume, changed runoff paths, and possibly bringing surface subsidence risks. Changes in hydrodynamic conditions will promote water quality evolution, accelerate solute migration and ion exchange, and cause the water environment quality around the mining area to deteriorate. The interaction between the surface and groundwater is changed, and the humidity in some areas decreases, and the vegetation growth weakens. The long-term drainage has cumulative and diffusive characteristics on the regional hydrogeological environment, and is specifically controlled by the structure of the aquifer, the drainage intensity, and the hydraulic connection status.

Keywords : mine drainage; hydrodynamic balance; aquifer disturbance; drop-in funnel; regional hydrogeological environment

引言

矿山区域地下水系统在长期排水作用下表现出明显的水动力响应特征, 排水会削弱自然补给, 使含水层内部压力场持续改变, 引发水量、水质与地表环境的连锁反应, 扰动不断加剧时, 区域水文地质格局易出现不可逆变化, 地下水流向偏移、溶质迁移路径延伸、生态湿度条件下降^[1]。排水范围扩大后, 水文地质单元间联系被重新构建, 局部改变可逐步形成区域性效应, 波及矿区外部环境, 变化具备累积性、隐蔽性与时滞性, 矿山排水对区域水文地质环境的影响是值得重点关注的重要议题^[2]。

一、排水引发的水动力失衡问题

(一) 地下水补给削弱现象

矿山排水持续运转改变区域地下水自然补给节律, 原先依靠降水入渗、地表水渗漏及侧向补给形成的补给结构受到明显削弱, 排水量长期处于高位时, 含水层内部水量难以在自然条件下完成恢复, 补给速度逐步落后于抽排强度, 地下水补给系统进入长期亏损状态, 含水层上部渗透路径在压力调整过程中产生阻滞, 入渗能力有所下降, 深部含水层与浅部含水层之间的水力联

系逐步弱化^[3]。原本维系区域水动力稳定的补给格局被迫收缩, 局部补给源出现断续甚至中断, 地下水更新周期被明显拉长, 补给量持续下降影响矿区内部水量平衡, 改变区域水文单元之间的水力交换, 邻近区域的补给结构发生隐蔽且深远的变化^[4]。

(二) 水位下降与压力场重塑

持续排水推动区域地下水位向低洼中心集中下移, 含水层内部压力分布形成全新的梯度格局, 水位持续下降过程中, 含水层孔隙内有效压力不断提升, 水体在重力与抽排作用下向排水中心汇聚, 形成清晰的下降曲面, 压力场改变同时体现在垂向与水平

方向,原有稳定压力体系在新动力条件下完成重组。含水层结构在压力调节过程中出现压缩、孔隙率降低等物理改变,进一步影响地下水赋存状态,压力场波动调整不同含水层间水力关系,隔水层出现泄漏现象并引发跨层补给,推动区域压力场快速再分配^[5]。

(三) 流向偏移产生的连锁反应

排水形成的压力梯度变化带动地下水流向发生偏移,地形与水位高差控制的自然径流路径受排水中心强制吸引,区域地下水流场完成重构,流向偏移推动地下水在更大范围向排水区域汇聚,部分侧向补给区转为排泄区,区域水分循环内在节律发生改变,流线重新分布带动含水层内溶质运移路径同步调整,部分区域污染物迁移速度加快,水质变化影响范围进一步扩大。流向调整改变地表水与地下水之间的交换关系,原本向地下渗漏的河段转为补给受水区,地表水体水量状况随之改变,偏移效应持续强化后,区域水文地质单元间联系形成新的格局,潜在风险由局部向外围扩散,催生一系列相互关联且逐步累积的连锁反应^[6]。

二、含水层结构扰动的形成路径

(一) 降深漏斗的持续扩展特征

矿山排水在高频高强度运行状态下,排水中心周边地下水位形成显著下凹形态,且随时间不断向外延伸,含水层在持续失水过程中呈现动态变化,漏斗边界受排水量、含水层渗透性与补给强度影响,表现出不同推进速率,外缘区域水位在压力传导下逐步降低,原有稳定水力格局被迫调整,漏斗形态由局部向区域不断扩张。漏斗范围扩大后,含水层间水力联系更为密切,部分弱隔水层在长期压力差作用下易出现渗漏,多层含水系统共同参与漏斗扩展进程,漏斗加深与扩展改变区域水位分布格局,大范围水动力场受到扰动,成为驱动区域水文地质环境变化的关键因素^[7]。

(二) 径流体系重新组织的驱动因素

排水活动改变水动力条件后,区域径流体系随之重新分布,压力梯度重塑、含水层渗透性不均、补给通道受阻等条件叠加,共同驱动径流格局调整,压力中心向排水区域集中,原有控制地下水运动的水力坡度与水位差被削弱,地下水沿新形成的梯度方向运移,出现流线偏转、汇聚范围扩大等现象。含水层非均质结构在此过程中产生放大作用,局部高渗透区域形成新的快速径流通道,低渗透区域逐渐转为水分滞缓地带,补给区与排泄区空间位置在水动力重建中发生转变,径流路径向排水中心方向进一步收束,最终形成的径流格局带有明显人为干预特征,且在持续排水作用下不断动态演化^[8]。

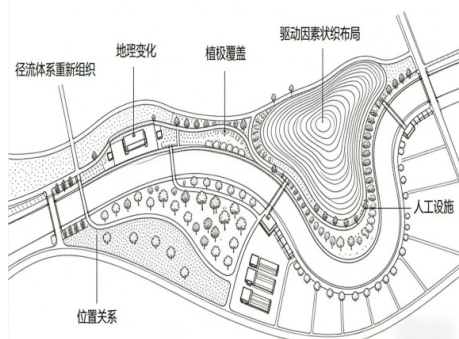


图1: 径流再组织驱动示意图

(三) 溶质迁移方式变化的内在原因

含水层水动力体系扰动后,溶质迁移方式出现明显改变,流速差异、流向调整与水化学环境重构共同构成内在动因,排水形成的水力梯度提升使部分区域地下水流速加快,溶质沿流线向排水中心快速运移,另一部分区域因补给不足流动放缓,溶质局部滞留时间增加。流向重构使溶质原有迁移路径发生转变,部分沉积区域转为溶质输出区域,水化学组分空间分布格局随之重构,含水层内部氧化还原条件与离子交换过程在压力场变化下持续调整,溶质迁移过程中产生新的反应途径,弱隔水层在长期压力差作用下形成渗漏通道,不同含水层间溶质发生交换,区域水质变化进程进一步加快^[9]。

三、区域环境响应的扩散过程

(一) 地下水量衰减带来的空间影响

矿山排水长期保持高强度运行,区域地下水量持续衰减,含水层储水能力在大范围空间内不断减弱,水量亏损沿压力变化方向向外围逐层扩散,不局限于排水中心区域,地下水埋深加大、水体可利用性降低的状况逐步波及更远范围,部分区域因补给与消耗失衡形成新的低值区,地下水分布格局呈现非对称性拉伸。衰减范围持续扩大,地表水与地下水的联动关系被改写,部分河段受地下水位下移影响存在断流可能,湿地与季节性补给型水体逐步萎缩,区域水文单元间水力联系随之弱化,跨区域补给链条出现中断或延迟,空间影响范围进一步扩大,地下水量衰减最终呈现分布不均、恢复难度大、扩散特征明显的综合状态。

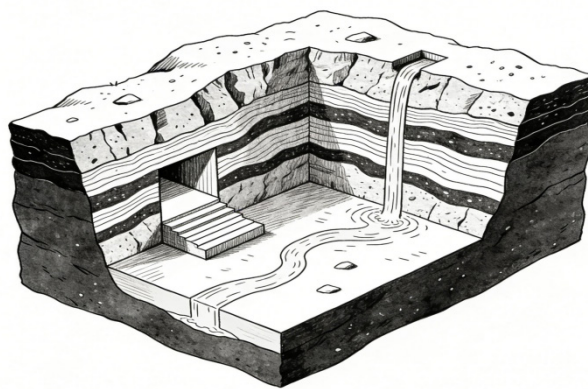


图2: 矿山排水与地下水衰减示意图

(二) 水质演化与敏感区变化趋势

水动力格局改变后,含水层内部水质演化路径形成新的走向,溶质迁移速率、反应环境与补给来源的不稳定性共同构成复杂的水化学变化过程,排水引发的流向调整改变污染物与天然溶质的运移方向,部分原本水质稳定的区域被纳入新的迁移通道范围,压力变化带动含水层内部氧化还原反应、矿物溶解与离子交换过程逐步增强,水质组成的区域差异不断放大。敏感区范围持续扩张,位置随流线分布与水动力扰动发生变动,呈现由点到面的扩散态势,部分浅层含水区补给量减少,更易受到人为或自然来源溶质的累积作用影响,质量退化进程随之加快^[10]。

（三）地表湿度与生态单元的退化表现

排水作用下地下水位持续下降，地表湿度条件逐步失衡，依赖地下水补给的生态单元进入持续干化状态，浅根系植被率先出现萎蔫、覆盖度降低等表现，深根系植物在长期水分亏缺下生长受到限制，区域植被结构发生退化性调整，湿地、草甸与河源型生态斑块因补给不足出现面积缩小甚至破碎化现象，景观连通性降低，区域生态稳定性受到影响。土壤含水量下降改变地表蒸散模式，局地气候湿润程度降低，植被所受水分胁迫进一步加剧，部分区域出现地表裂隙、土壤结构疏松等物理劣化现象，生态系统修复难度持续提升，各类变化不断累积，生态单元呈现链式退化响应，局部水分亏损逐步成为推动区域生态格局调整的重要因素^[11]。

四、水文地质格局的综合评述

（一）排水强度与影响范围的关联性分析

排水强度对区域水文地质格局演变具备主导作用，其变动直接决定影响范围的扩散速度与空间形态，排水量维持高位时，区域水动力梯度快速拉大，降深漏斗边界向外延伸，大范围含水层出现水位下移与压力再分布现象，排水强度长期保持稳定会推动含水层内部水量亏损不断积累，影响区域由核心向边缘持续外扩。地质条件差异会改变这种关联形式，高渗透性地层可在短时间内形成大范围响应，低渗区变化多以缓慢推进、多阶段发展为主要形式，长期排水条件下，区域补给能力与含水层弹性逐步降低，影响范围突破排水中心周边限制，向跨区域尺度延伸，甚至改变邻近流域地下水补给格局。

（二）水动力系统稳定性的关键制约因素

水动力系统稳定性受含水层结构、水量补给条件、压力场分布与渗透性差异等多重因素共同控制，排水活动改变原有条件后，系统快速进入非稳态过程，整体稳定性持续降低，含水层非

均质结构会放大外界扰动，压力传递速率与水量补给方式呈现复杂响应特征，弱隔水层在长期压差作用下可能产生渗漏，跨层联系增强会进一步降低系统平衡能力。补给区受地表条件变化或人为扰动影响出现补给不足时，区域水动力体系更易在排水作用下维持失衡状态，压力梯度增大将加快水流路径重构，稳定性恢复难度随之提升，系统内部水化学环境随压力与流向变动持续调整，水动力平衡需同时应对物理与化学双重扰动^[12]。

（三）区域性变化的整体特征梳理

持续排水作用下，区域水文地质格局呈现多层次、连续性与累积性的整体变化特点，水位下降、水量衰减、流向偏移、水质演化与生态响应等过程相互叠加，变化形式由局部扰动逐步发展为区域结构重构，含水层在压力场重塑过程中形成动态分区，部分区域维持持续亏损状态，部分区域借助跨层补给或流向调整获得短暂缓冲，整体变化表现出不均衡特征。水动力系统调节过程持续改写溶质迁移路径，水化学组分在不同时间尺度下呈现阶段性跳跃与定向迁移，地表生态系统对地下水变动敏感度较高，区域景观格局随之出现破碎化、萎缩化与连通性降低等表现^[13]。

五、结语

长期排水作用下，区域水文地质格局逐步呈现多层面响应，水量衰减、水质变化及生态系统连锁反应构成延伸累积的变化链条，压力场重构使含水层结构呈现新的动态特征，区域流向与补给关系被重塑，水动力体系持续处于应激状态。影响范围不断扩大，局部扰动逐步发展为区域性格局调整，水文地质系统稳定性在不同尺度面临考验，矿山排水形成的压力梯度、水量亏损与生态湿度下降，共同驱动区域环境变化，推动水文地质体系呈现缓慢而深刻的演化。

参考文献

- [1]林卓彦. 汕头市中心城区水文地质环境特征与地质灾害防治研究[J]. 科技资讯, 2025, 23 (24): 209–211.
- [2]孟俊宝. 矿山水文地质环境勘查与治理方法研究——以太阳煤矿为例[J]. 华北自然资源, 2025, (06): 129–131.
- [3]Oyen T ,Ophori D . Exploiting Chloride Conservative Tendencies as Contaminant Surrogates in Groundwater Transport Modeling in a Typical Hydrogeological Environment of Northern New Jersey [J]. Hydrology, 2025, 12 (11): 293–293.
- [4]Sedghi Z ,Nadiri A A ,Tsai C T F , et al. Advanced Probabilistic Health Risk Assessment of Water Contamination: Evaluating PTE Exposure and Public Health Implications in Complex Hydrogeological Settings [J]. Earth Systems and Environment, 2025, (prepublish): 1–23.
- [5]Oyen T ,Ophori D . Regional Groundwater Flow and Advective Contaminant Transport Modeling in a Typical Hydrogeological Environment of Northern New Jersey [J]. Hydrology, 2025, 12 (7): 167–167.
- [6]李臻. 矿山开采对水文地质环境影响评估[J]. 中国金属通报, 2025, (06): 56–58.
- [7]丁艳,常莎. 地下水开采诱发地质环境稳定性变化的机制与效应分析——以榆林市为例[J]. 地下水, 2025, 47 (03): 52–54+87.
- [8]景佳俊,徐豪,王炳凯. 石灰岩露采矿山凹陷式开采对周边环境影响和防治对策分析[J]. 矿业工程, 2025, 23 (01): 60–64.
- [9]杨曦,罗伟,杨琼柱,等. 基于潜能分析的三维雷达地质缺陷超前预报[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2024, 42 (06): 569–576.
- [10]Barbosa M A ,Netto G L ,Guimarães C C , et al. Geoenvironmental and geophysical methods applied to identify natural attenuation process on a complex hydrogeological environment contaminated by hydrocarbons [J]. Discover Environment, 2024, 2 (1): 123–123.
- [11]Salman A S ,Anwar E A A E ,Aita K S , et al. Geo-environmental factors controlling groundwater hydrogeochemistry, salinization and quality in El Qaa plain coastal aquifer, Southwest Sinai, Egypt [J]. Environment, Development and Sustainability, 2023, 26 (11): 28591–28609.
- [12]王栋,吴吉春,吴剑锋,等. 水文与水资源工程专业实践育人综合指导书[M]. 中国水利水电出版社: 202303: 138.
- [13]刘文达,高峰. 岩土工程勘察中地下水问题的探究[C]// 上海筱虞文化传播有限公司. Proceedings of 2022 Engineering Technology Innovation and Management Seminar(ETIMS 2022). 中铁第六勘察设计院集团有限公司, 2022: 323–325.

公路施工与安全管理统筹的协同机制与实施路径研究

阮君

浙江交工路桥建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ADA.2026010064

摘 要 : 公路工程施工具有露天作业、工序交叉、环境复杂等特点, 施工进度推进与安全管理落实往往存在协同不足问题, 造成安全事故频发、施工效率低下。本文基于公路工程施工一线实际情况, 在此基础上针对实际操作情况进行分析说明了公路工程施工及安全管理同步协调的重要性以及必要性, 进一步探讨现阶段两者之间所存在问题即责任划分不清、程序繁琐、思想松懈等问题并从责任、程序、思想、保障四个方面提出切实可行且易于推行的合作方式和方法建议供从事该工作的人员参考借鉴, 助力公路施工单位做到工程建设与安全生产两手抓、两促进, 促进整个行业的健康快速发展。

关 键 词 : 公路施工; 安全管理; 统筹协同; 协同机制; 实施路径

Research on the Collaborative Mechanism and Implementation Path for the Coordination of Highway Construction and Safety Management

Ruan Jun

Zhejiang Jiaogong Road & Bridge Construction Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : Highway construction is characterized by outdoor operations, overlapping processes, and complex environments, often leading to insufficient coordination between construction progress and safety management implementation, resulting in frequent safety accidents and low construction efficiency. Based on the actual conditions at the frontline of highway construction, this paper analyzes and illustrates the importance and necessity of synchronizing and coordinating highway construction with safety management. It further explores the existing issues between the two, such as unclear responsibility delineation, cumbersome procedures, and lax mindset. From the perspectives of responsibility, procedures, mindset, and safeguards, the paper proposes practical and easily implementable cooperative approaches and methodological suggestions for reference by personnel engaged in this work, aiming to assist highway construction units in achieving simultaneous emphasis on and promotion of both engineering construction and safety production, thereby fostering the healthy and rapid development of the entire industry.

Keywords : highway construction; safety management; coordinated planning and collaboration; collaborative mechanism; implementation path

前言

公路是基础设施建设工程的一个重要方面, 在施工质量和安全性上直接影响着人们出行的安全和社会的发展。目前一些公路施工单位在进行工程项目实施时, 出现“重进度、轻安全”、“重形式、轻落实”, 施工阶段与安全管理相脱离, 配合不到位, 不但容易发生事故造成人员伤亡, 还会使工程进度受阻, 加大开支成本等。因此有必要对如何搞好公路施工与安全管理相结合的工作机制进行分析探讨, 寻找有效可行的方法措施来解决两者之间的衔接问题, 促进两者的良好互动合作, 达到同步进行的目的, 这既是公路施工单位自身健康持续发展所必不可少的要求也是整顿好这个行业秩序以及确保国家基础建设工作的顺利开展的有效手段^[1]。

一、公路施工与安全管理统筹协同的核心概述

公路施工与安全管理统筹协同, 是消除施工过程与安全管理过程之间的隔阂, 把安全的要求贯穿到整个施工过程中去, “施工进行到哪里, 安全管理就跟进到哪里”, 使施工进度、安全质量、成本控制融为一体, 而不是简单地“施工和安全同时进行”。它包

括两方面内容: 一方面是从思想上统一认识, 抛弃“安全和施工相对立”的观念, 树立起“安全是施工的前提条件, 施工又是实现安全的一种手段”的理念, 在每一个施工阶段都做到有安全措施; 另一方面是在行动上配合好, 划定各施工岗位以及安全管理人员的权责范围, 形成协作关系, 在每项施工方案确定、工序交接、施工现场操作时都有相应的安全保障措施到位, 杜绝“施工

只顾着赶工期而忽视了安全检查工作”等问题的发生^[2]。

从实践角度讲，公路施工和安全管理相结合有很强的操作性和现实意义。不同于一般性的理论讨论，在这里主要是针对具体的施工过程进行分析，例如在路基开挖过程中怎样做到既能保证施工进度又能确保边坡防护的安全；在桥梁架设过程中如何做到既能保证吊装的速度又能保障高空作业人员的安全等。这并不是—种表面意义上的“双管齐下”，而是要让安全真正融入到施工中去，既不能因为过分注重安全而影响工程进度也不能为了加快施工速度而不顾及存在的各种危险因素，做到两者的相互促进、共同发展^[3]。

二、公路施工与安全管理统筹协同存在的突出问题

（一）责任体系脱节，协同主体责任不清

目前，在大部分公路工程施工项目上，施工管理和安全管理责任不清，“各扫门前雪”，—方面，施工班组只重视施工进度及工序质量，觉得安全管理工作是安全部门的事，忽视施工现场存在的各种危险因素，有时甚至为抢工期而违章作业、省略必要的防护措施如高处作业时不系挂安全带、临时用电不符合规定要求等；另—方面，安全管理机构只是负责对现场进行安全检查并督促整改安全隐患，而不参与具体的施工方案编制以及工序的排序工作，提出的整改意见很多都不能切合实际，难以落实到位，造成“安全检查归检查，施工推进归推进”，二者无法配合默契^[4]。同时—些工程项目未界定项目经理、施工员、安全员和—线工人之间的协作职责，在发生事故时互相推卸责任，使合作更加困难重重。

（二）流程衔接不畅，协同机制缺失

公路工程施工过程繁琐，包括路基、路面、桥梁、隧道等众多环节，各环节相互关联密切，但是目前大部分工程缺乏系统的施工及安全管理联动机制，造成工序衔接脱节、协作缺失等问题，在施工前期阶段，编制施工组织设计时往往只关注工期和造价，忽视向安全管理部门征求意见，致使施工组织设计中有遗漏的安全隐患点，例如高边坡开挖未确定防护方案、临时设施设置未留足安全间距；在施工过程中各施工队之间交接班时不做安全交底工作，后—班组不知道前面作业存在的危险源继续操作造成事故扩大化；在隐患治理方面，安全部门发出整改指令之后施工单位不予配合或者敷衍了事，安全部门无有效手段对其进行约束使得隐患得不到解决而—直存在下去，“检查——整改——反弹”现象屡见不鲜。

（三）安全意识薄弱，协同理念缺失

理念上的偏差是造成两者不能有效合作主要原因。—方面—些施工单位领导存在“重进度、轻安全”思想，认为安全管理是—种“多余负担”，在资金上优先考虑购买施工机械、物资等支出，而忽视对安全防护用品以及安全教育等方面的投入，在人员方面也尽可能减少专职的安全管理人员；另—方面多数—线工人文化程度较低，缺乏必要的安全观念，不了解安全管理的意义所在，觉得“事故不可能发生在我身上”，违章作业屡教不改，而

且不愿意和其他同事配合安全员的工作，觉得这是影响工作效率的做法，从而排斥安全管理的行为，使得生产和安全管理工作无法很好地进行下去^[5]。

（四）保障措施不足，协同能力薄弱

施工及安全管理—体化推进离不开强有力的支撑保障措施，但是目前—些项目保障机制还很薄弱，在人员上：安全管理人员缺乏必要的专业知识，大多未经专业培训，对公路工程—道工序所存在的安全隐患不了解，无法给出有效的安全控制意见，很难配合好各作业队伍开展联合行动；在物资上：安全防护用品短缺、老化破损严重，如临边围挡缺失、安全帽不符合标准要求、急救药品缺少等均不能满足实际需要；在技术上：未能根据公路工程建设实际情况运用合理的协同管理模式，仍用人工检查、口头交代等形式，效率低下而且很难做到及时有效地进行施工和安全的联动。

三、公路施工与安全管理统筹协同的机制构建与实施路径

（一）建立权责清晰的协同责任制，夯实协同基础

责任落实是协同推进的基础，在此基础上要消除“各自为战”的责任障碍，形成“全员参与、权责对等、协同联动”的责任机制。—是落实主体责任，成立施工与安全协同管理工作小组，由项目经理牵头，统—部署施工与安全管理相关工作，明确施工单位、安全部门以及各施工班组之间的配合义务，把安全生产的责任分解到各个施工岗位中去，做到“施工岗位有安全责任，安全岗位有施工意识”。二是细化岗位责任，项目经理作为协同管理的第一责任人，负责组织协调施工过程中的各项工作；施工员在进行工序施工时，同步做好现场的安全监督工作；安全员参与与施工方案的设计及工序间的交接过程中，提出有关安全方面的意见和建议；—线工人按照操作规程作业，积极接受各项安全检查及整改工作，从而形成“层层负责、人人有责”的协同责任链。三是建立责任追究制度，对于不尽尽职尽责或者违反规定的行为以及未能及时消除事故隐患等问题，予以严肃处理，以此来督促相关人员履行好自己的职责，保障施工生产顺利进行的同时也做好了安全管理工作。

（二）建立流程顺畅的协同运行机制，打通协同壁垒

围绕公路工程施工全过程特征，构建“事前协同、事中协同、事后协同”全过程协同管理模式，消除施工与安全管理之间的障碍。事前协同上，在施工方案编制时，施工单位要会同安全部门根据施工现场情况、工艺特点以及存在的危险源等进行综合分析，制定出切实可行的施工方案并确定各项施工工序的安全控制措施，防止出现施工方案与安全管理工作相脱离的现象；同时做好安全技术交底工作，由施工人员及专职安全员向工人介绍本项工程的具体操作程序及相关安全须知事项等内容使工人能够熟练掌握所从事的工作技能的同时又懂得如何保护自己。事中协同上，在工序实施期间，建立施工和安全联合巡检制度，施工员和安全员同时对工地进行巡视，施工员主要负责监控工序质量和进

度，而安全员则着重关注是否存在安全隐患问题，并及时互相通报情况，共同处理解决问题以免延误工期或者造成更大损失；对于交叉作业、高空作业等高风险工序实行“施工过程全时安全监护”，安全员全程值守保证作业安全。事后协同上，在隐患整改完毕后，施工单位与安全部门一起复验收，确保整改措施落实到位；一旦发生事故，两部门配合做好事故调查工作，查明原因，采取有效对策，健全和完善相关制度，杜绝类似事件的发生。

（三）强化理念引领的协同意识机制，凝聚协同共识

理念转变是协同推进的前提，要开展宣传培训，提高全体人员的协同观念和安全意识，改变“重进度、轻安全”的思想。一是加强领导层教育，对施工企业负责人、项目经理进行协同管理培训，介绍施工与安全协同的意义、方式及方法等，使他们树立起“安全与进度并重”的观念，在工作中增加对安全的资金投入力度，做好协同管理工作；二是加强对一线作业人员的安全教育培训工作，根据现场具体情况，有针对性地开展贴近生活、实用性强的安全知识以及协同方面的培训，利用实例说明违章行为的危害性、讲解正确的操作流程及相互配合的要求等内容，使员工懂得如何避免事故的发生，同时也掌握了相应的技能，从而提升他们的安全素养和合作精神，积极配合安全管理工作的开展。三是营造良好的氛围，利用张贴宣传标语、召开安全生产会议等形式来普及关于施工与安全协同的相关知识，表扬那些能够良好配合并且在安全管理方面表现优秀的班组长或者个人，形成一种“人人讲安全、个个重协同”的风气。

（四）完善全方位的协同保障机制，提升协同能力

健全保障措施是做好协同工作的基础，在人员、物资、技术上要形成全覆盖的协同保障系统。在人员保障上，优化安全管理人员结构，选择有公路施工经验和较强专业技术能力的人作为安全员，对其进行经常性的安全管理以及协同管理培训，提高其专业水平及合作意识；另外还需加强对施工班组成员进行教育培训，使其掌握正确的操作方法并具有良好的协作精神，保证工程实施过程中能够做到同步进行施工与安全管理。在物资保障上，

加大安全方面的资金投入力度，添置必要的防护用品，定期对老化的防护器材进行检修或者替换，储备足够的急救物品以备不时之需，在此基础上科学合理地安排使用各类施工材料和安全用品，防止由于缺少相关资源而影响到工程项目进度或者造成安全隐患。在技术保障上，针对具体公路建设工程的特点，采取简便易行且切实有效的协同管理模式如建立施工与安全联动台账，记载施工进展状况、存在的问题及处理结果等内容以便查阅；应用便捷实用的安全监控方式尽早发现并解决安全隐患，提高工作效率，使施工与安全管理有机结合起来并取得实效。同时，制定动态评估及反馈制度，在人员、物资和技术三个方面采取有效措施的基础上对其进行定期总结考核，发现问题及时整改完善；依托信息化平台做到施工进度、安全情况、物资消耗等情况信息共享互通，提高各相关方配合处理问题的速度和准确性；发动一线工人提出改进意见和建议，“布置—实施—反馈—提高”一体化管理模式让协同保障工作持续改进升级，切实满足公路工程建设安全顺利开展的需求。

四、结论

公路施工及安全管理一体化建设是解决目前公路施工现场事故频发、工作效率低下等问题的有效途径，也是实现公路施工单位高质量发展的必然选择。但是目前二者在一体化过程中还存在职责不清、程序繁琐、观念淡薄、支持不够等问题阻碍了一体化效果的发挥。建立健全权责明确的一体化责任体系、程序合理的是一体化的运行机制、理念引导的一体化意识机制以及全面的支持保障体系并采取相应措施，可以有效消除施工和安全管理之间的隔阂，促进二者有机结合、同步发展，在实际操作中要结合一线施工具体情况及时优化调整协同方式方法不断改进完善协同制度，让安全管理融入整个施工过程当中去，做到安全生产与工程进度两手抓两手都要硬，从而加快我国道路交通基础设施建设步伐。

参考文献

- [1] 万会民. 高速公路交通安全设施施工项目管理研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2018, 41 (09): 216-217.
- [2] 李平安. 基于 BIM 技术的高速公路施工安全管理分析 [J]. 散装水泥, 2026, (03): 209-211.
- [3] 张雨. 智能化安全管理技术在公路施工中的应用研究 [J]. 散装水泥, 2026, (03): 128-130.
- [4] 吴永建, 秦培均, 黄文跃, 张燕. 基于智能化风险评估的高速公路施工安全体系构建 [J]. 建筑安全, 2026, 41 (03): 90-94.
- [5] 杨双, 刘铁强, 李大卓, 肖一鸣, 刘玲, 冯迪, 夏正委, 武笑天, 王傲, 曾磊. 基于北斗的道路施工人车安全监管系统在印尼公路建设中的应用 [J]. 卫星应用, 2026, (03): 58-62.

钨锡矿化花岗岩地球化学分异规律

徐鹏，鲁新丽，张克亮

云南德成规划设计有限公司，云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ADA.2026010066

摘 要： 钨锡矿化花岗岩演化中呈现显著的地球化学分异，分异方向与程度直接影响矿质的聚集与释放，岩浆上升冷凝过程中持续分离亲石元素与亲流体元素，使富挥发分熔体具备运移金属的能力，多阶段分异让示踪元素分布趋向高演化端元，形成利于钨锡富集的弱还原环境。随温压条件改变，金属与挥发分由深部向浅部运移，在构造薄弱带形成局部富集，花岗质岩浆体系内微量元素分布、挥发分富集及残余组分演变，共同控制钨锡矿化的时序与规模，这一分异规律揭示矿化花岗岩内部物质传输路径，可为判断岩浆成矿潜力提供依据。

关 键 词： 钨锡矿化；花岗岩；地球化学分异；挥发分富集；岩浆演化

Geochemical Differentiation Pattern of Tungsten-Tin Mineralized Granite

Xu Peng, Lu Xinli, Zhang Kelian

Yunnan Decheng Planning and Designing Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract： During the evolution of tungsten-tin mineralized granite, there is a significant geochemical differentiation, and the direction and degree of differentiation directly affect the aggregation and release of minerals. During the ascent and condensation of magma, the elements that are close to the rock and the elements that are close to the fluid continuously separate, enabling the volatile-rich melt to have the ability to transport metals. The multi-stage differentiation leads to the distribution of tracer elements tending towards the high-evolved end members, forming a weakly reducing environment conducive to the enrichment of tungsten and tin. With changes in temperature and pressure conditions, metals and volatile components migrate from the deep to the shallow, forming local accumulations in the weakly deformed zones. The distribution of trace elements, volatile component enrichment, and residual component evolution within the granite magma system jointly control the timing and scale of tungsten-tin mineralization. This differentiation pattern reveals the internal material transport path of the mineralized granite and can provide a basis for judging the magma's mineralization potential.

Keywords： tungsten-tin mineralization; granite; geochemical differentiation; volatile component enrichment; magma evolution

引言

钨锡矿化常与高度演化花岗岩体相伴，内部元素组合与挥发分含量存在独特指向性，花岗岩于深部形成并经历多阶段抬升，过程中分异作用持续调整岩浆体系构成，提升金属与挥发分的迁移效率，围岩应力场变动、构造裂隙导通状态及残余熔体属性，共同决定金属富集的空间分布。钨锡矿化花岗岩的地球化学特征记录岩浆演化轨迹，反映金属富集的动力机制，为解析成矿物质来源与运移路径提供重要依据。

一、矿化花岗岩的分异困境

（一）分异方向的识别难点

钨锡矿化花岗岩演化过程中存在多阶段、多方向的分异特征，岩体内部相关变化较为微弱，无法依靠单一指标完成识别，岩浆上升与冷凝过程中持续调整内部结构，部分元素迁移路径复杂，温压小幅波动即可改变元素分配状态，岩体结构差异、结晶速率变化及矿物组合细微调整，均会导致分异方向难以通过常规

标志确定，仅依靠少量示踪元素或局部矿物组合开展分析，易忽视岩浆体系整体变化，进而形成认知偏差。不同阶段矿物会对早期地质信息形成覆盖，真实分异轨迹易被掩盖，分异方向识别与元素分布、岩浆黏度、挥发分含量及压力条件相关，单一因素变动即可引发分异方向调整，提升判断难度，多重因素共同作用下，分异方向表现出隐蔽性与阶段性特征，是矿化花岗岩研究中的关键难点^[1]。

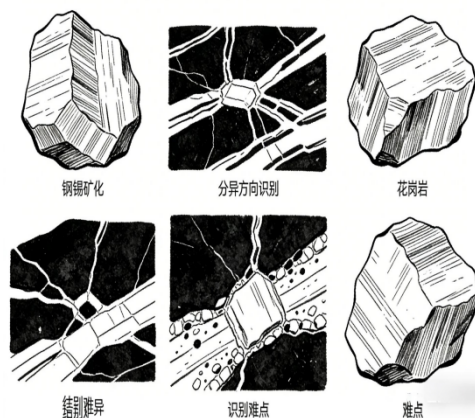


图1: 钨锡花岗岩分异识别难点示意图

(二) 金属富集现象的成因疑问

花岗岩体系内钨锡等金属的富集过程复杂,成因受多重因素影响,研究结果存在较强不确定性,深部岩浆对金属的聚集并非呈线性发展,不同阶段金属迁移趋势存在差异,这一过程受温度、压力、熔体组分及挥发分含量共同控制,促使金属进入高演化熔体的动力机制易受岩体结构变动干扰,金属富集表现出非连续特征,金属在岩体中的滞留时长、与矿物的反应速率及流体作用强度,均会影响最终富集规模。部分区域出现金属异常富集,相邻地段则表现为贫化状态,无法通过单一成因模型完成解释,围岩属性、构造空间位置及岩体冷凝速率同样会改变金属运移与聚集状态,造成富集特征的区域差异^[2]。

(三) 挥发分行为的不确定性

岩浆体系内挥发分的赋存状态、释放规律与参与程度均存在较强波动性,这一特征直接作用于钨锡金属的运移与富集过程,深部岩浆中的挥发分多以溶解形式存在,温压条件改变会引发其状态频繁转换,释放时机难以精确定,热力条件的微小差异即可改变挥发分与熔体的分配关系,进而改变金属的赋存与搬运形式,部分阶段挥发分可在局部区域集中聚集,形成临时运移通道并快速释放;部分阶段则被封闭于岩浆内部,降低整体运移效率。这种不均衡的释放规律会导致金属呈离散状富集,挥发分内部组分变化会影响其携带金属的能力,氟、硼等组分比例变动可引发金属溶解度突变,增加金属迁移规律的预判难度^[3]。

二、岩浆演化控制下的分异路径

(一) 岩浆组分变化的关键环节

花岗质岩浆上升与冷却过程中会发生多阶段组分调整,直接决定地球化学分异的方向与强度,深部岩浆处于高温高压环境,矿物析出量较少,元素分布保持相对均衡,岩浆向浅部迁移时,结晶作用持续增强,不同矿物的结晶程度存在差异,部分元素被优先结合,残余熔体持续向高演化方向发展,结晶序列推进过程中,铁镁质矿物占比降低,含挥发分矿物比例升高,熔体体系由封闭状态逐步转向开放活跃状态^[4]。这一转变为金属元素重新分配提供条件,早期部分元素进入固相矿物,后期部分元素在熔体中不断聚集,形成各阶段特有的地球化学标识,温度梯度、压力

变化及岩浆内部对流形式均可调整组分演变顺序,让分异过程呈现多样路径。

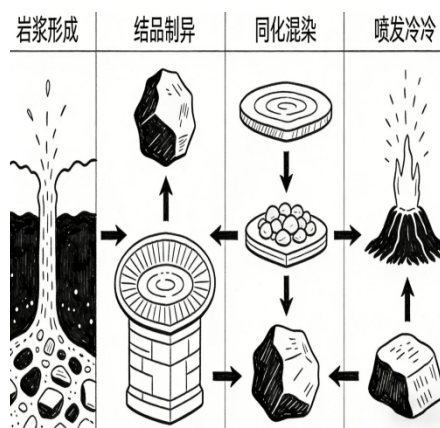


图2: 花岗质岩浆组分演化关键环节示意图

(二) 微量元素指示的演化线索

微量元素在岩浆体系中含量较低,可灵敏反映岩浆演化方向与进程,为分异过程研究提供有效依据,微量元素与不同矿物的结合能力存在明显区别,结晶过程中表现出较强选择性,适合作为分异过程的追踪指标,岩浆向高演化阶段发展时,稀土元素、过渡族元素与高场强元素的配比随之改变,体现熔体结构的重构过程,部分元素因矿物选择性捕获而快速减少,部分元素在残余熔体中持续聚集,分布特征呈现明显偏向性。此类变化具有阶段性特征,不同部位岩浆可形成可识别的微量元素分布模式,对比相关特征能够还原岩浆从初始到成熟的演化过程,明确分异程度与矿化潜力之间的联系,构造背景、熔体源区及挥发分含量差异均会体现在微量元素分布中,让指示线索更具复杂性与判别意义^[5]。

(三) 挥发分释放的时序特点

挥发分释放节奏直接影响金属元素迁移过程,时序变化是分异路径形成的重要节点,岩浆演化早期,挥发分多溶解于熔体内部,未形成独立流体相,作用方式相对隐蔽,温度与压力逐步降低后,挥发分从熔体中分离形成微小流体包裹体,初期活动范围有限,却已对熔体结构产生影响,演化至晚期阶段,挥发分聚集达到临界值,释放过程明显加快,可引发局部强烈扰动,导致金属迁移方向发生突变。不同挥发分组分溶解度存在差异,各阶段释放特征各不相同,氟、硼等组分在晚期可强化金属迁移效率,加强金属与流体之间的耦合作用,岩体冷凝速度、应力场变化及围岩性质差异会改变挥发分释放时段,时序特征存在明显区域差异^[6]。

三、钨锡富集的内部驱动机制

(一) 金属迁移通道的形成条件

钨锡等金属在岩浆系统内的迁移依托连续稳定的通道,这类通道由岩浆物理性质、构造裂隙与挥发分活动共同构建,岩浆上升过程受区域应力场约束,局部张裂带与原生微裂隙逐步扩张,为金属运移提供基础空间,熔体黏度、温度梯度与结晶节奏的变动,可调节通道开合状态,持续改变金属运移特征,挥发分在通道发育中发挥重要作用,压力释放可激活既有裂隙,保障金属持

续向上运移。部分区段因矿物组合差异表现出较高渗透性，通道得以延伸并长期保持稳定，金属的汇入、滞留与扩散行为在上述条件下得到强化，运移路径呈现稳定与定向特征，通道形成后，金属可沿既定路径持续汇聚，为后续富集区形成提供物质保障^[7]。

（二）流体介质的携带能力特征

流体在岩浆体系中的活动模式决定金属运移效率，携带能力受组分构成、温压条件与熔体结构共同影响，高温高压环境中，流体以复合形态存在并与熔体衔接过渡，金属以络合物形式维持较高活跃度，氟、硼等组分的参与可提升金属溶解度，增强流体运载金属的能力，岩体冷凝节奏改变时，流体可在局部快速膨胀，带动金属脱离原位进入新的空间。流体密度与黏度的变化使其在不同深度表现出差异化运载效果，金属随流体运动呈现选择性分布，压力周期性变动与应力场动态调整，使流体活动呈阶段性跃变，影响金属运移路径与效率。

（三）局部富集区的形成逻辑

局部富集区的形成是岩浆演化、流体活动与结构变动协同作用的产物，岩浆向高演化阶段发展时，金属在残余熔体中不断聚集，为富集提供前期基础，后期流体在裂隙与孔隙中活动，对均一体系内的金属进行再次分配，这类过程多在结构疏松带或压力梯度显著区域得到加强。局部区段矿物持续结晶析出，将金属固定于稳定环境，形成显著富集特征，岩体冷凝不均使部分区域拥有更优沉淀条件，金属在短时间内大量汇聚，应力场变动引发通道形态调整，金属运移方向出现局部偏转，富集区空间分布表现出明显指向性^[8]。

四、分异规律的整体凝练

（一）分异特征的共性提炼

钨锡矿化花岗岩分异过程中存在若干指向性共性，贯穿岩浆演化全程，元素在不同结晶序列中分布持续偏移，向高演化端聚集，岩体内部微量元素组合形成可识别模式，挥发分含量随岩浆成熟度提升而增加，为金属迁移提供动力，加剧分异活跃度，不同阶段矿物参与度存在差异，持续调整岩浆结构，形成具节奏性

的分异轨迹。金属元素表现出恒定偏移方向，与岩浆演化形成稳定耦合关系，这些特征在不同花岗岩体中虽有差异，但均能在整体分异规律中找到共通之处，为解析矿化花岗岩内部运行模式提供凝练框架。

（二）金属聚集过程的整体框架

金属元素在岩浆体系中的聚集遵循特定顺序，可通过完整结构框架解析，岩浆早期流动性强，金属以分散状态存在于熔体中，分异作用不断加强，金属在残余熔体中的占比提升，为后续集中创造条件，挥发分活动加剧阶段，金属与流体形成耦合，迁移方向趋于集中，沿构造通道或裂隙逐步汇聚^[9]。流体压力变化与局部岩性差异，使金属在特定区域停留沉淀，聚集范围逐步收缩，岩体冷凝前后，金属在稳定环境中形成空间连续的矿化特征，整个过程从分散、集中到固结层次清晰，该框架揭示了金属聚集的连续逻辑。

（三）矿化花岗岩识别思路的升华

结合分异特征、元素组合与结构背景，可提升矿化花岗岩识别水平，岩浆分异的程度与方向，能通过微量元素分布、挥发分含量及矿物组合体现，这些指标成为判断岩体性质的重要线索，金属进入高演化熔体后的行为模式，在岩体内部留下指向性地球化学印记，增强识别可操作性。岩体结构特征及与周边环境的匹配度，可进一步强化矿化潜力判断，整合这些信息可形成系统化识别路径，将矿化花岗岩从普通花岗质岩体中区分出来，识别思路在多因素交织中不断完善，具备更高辨识能力与适用性^[10]。

五、结语

钨锡矿化花岗岩的分异特征随多阶段岩浆演化与流体活动逐步显现，金属迁移路径与局部富集格局由多重因素共同塑造，分异过程中出现的元素偏移、挥发分增强及通道活化，让金属在特定条件下逐步聚集，形成稳定矿化体，岩体内部结构节奏、应力变化与熔体性质的协调，为矿化形成提供持久动力。凝练这些规律可梳理矿化过程系统逻辑，呈现钨锡富集内在机制，为深入认识矿化花岗岩特征提供完整思维框架。

参考文献

- [1]LI W ,TANG J ,GUO N , et al. Robust Timing Constraints for Granitic Magmatism and Hydrothermal Mineralization in the Tieshanlong W - Sn Ore Field, Eastern Nanling Range, South China [J]. Acta Geologica Sinica - English Edition, 2024, 98 (5): 1255-1269. DOI:10.1111/1755-6724.15212.
- [2]倪培,潘君屹,韩亮,等. 华南与花岗岩有关大规模钨锡成矿作用的时空分布、成矿模式及找矿方向 [J]. 地质学报, 2023, 97 (11): 3497-3544. DOI:10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2023368.
- [3]周云,黄惠兰,于玉帅,等. 湖南锡田钨锡多金属矿床流体包裹体显微测温 and LA-ICP-MS 原位分析对成矿流体演化的制约 [J]. 地球科学, 2021, 46 (04): 1248-1268.
- [4]Chen J ,Wang R ,Zhou J , et al. Multiple-aged granitoids and related tungsten-tin mineralization in the Nanling Range, South China [J]. Science China Earth Sciences, 2013, 56 (12): 2045-2055.
- [5]黄长帅,卢见昆,陶明荣,等. 广西越城岭地区钨锡矿成矿条件分析 [J]. 矿产与地质, 2018, 32 (04): 616-621.
- [6]汪祖豪. 广东阳春盆地锡山岩体岩石地球化学、年代学和氧逸度特征及其对锡成矿作用的制约 [D]. 成都理工大学, 2017.
- [7]Zhang R ,Lu J ,Lehmann B , et al. Combined zircon and cassiterite U - Pb dating of the Piaotang granite-related tungsten - tin deposit, southern Jiangxi tungsten district, China [J]. Ore Geology Reviews, 2017, 82 268-284. DOI:10.1016/j.oregeorev.2016.10.039.
- [8]Wilkins C ,Jeffery B ,Speer J , et al. Mineral assemblages and textures of granite-hosted veins in the Hemerdon W - Sn deposit: constraints from scanning electron microscope chemical X-ray mapping [J]. Applied Earth Science, 2017, 126 (2): 104-105. DOI:10.1080/03717453.2017.1306306.
- [9]Zhou Y ,Liang X ,Wu S , et al. Isotopic geochemistry, zircon U - Pb ages and Hf isotopes of A-type granites from the Xitian W - Sn deposit, SE China: Constraints on petrogenesis and tectonic significance [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 105 122-139. DOI:10.1016/j.jseas.2015.03.006.
- [10]陈喜峰,陈秀法,叶锦华. 东南亚主要花岗岩省 (带) 及其钨锡矿化特征 [C]// 中国地质学会. 第四届全国青年地质大会摘要集. 中国地质调查局发展研究中心 ; , 2019: 287-289.

寒冷山区高速公路改扩建的关键技术与实践路径探究

赵康先

浙江交工路桥建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ADA.2026010068

摘 要 : 寒冷山区高速公路改扩建工程, 始终面临低温冻融侵蚀、地形地质复杂、生态环境脆弱、施工保通艰巨等多重现实困境, 新旧工程拼接、结构抗冻耐久、灾害防控治理成为工程实施的核心难题。本文立足寒冷山区特殊地域环境与工程建设实际, 系统梳理该类改扩建工程的核心制约因素, 从路基工程、路面工程、桥隧工程、施工管控、生态保护五大维度, 提炼适配高寒山区的关键技术体系, 并结合具体工程实践验证技术应用成效。研究表明, 针对性的路基沉降控制、路面抗冻提质、桥隧加固改造、分段保通施工及生态智能防控技术, 可有效破解寒冷山区高速改扩建的冻融病害、结构失稳、通行保障等问题, 既能提升工程建设质量与长期服役性能, 也能为同类高寒山区公路改扩建工程提供理论参考与实践遵循。

关 键 词 : 寒冷山区; 高速公路改扩建; 工程技术; 实践应用; 冻融防控; 生态保护

Exploration of Key Technologies and Practical Approaches for the Reconstruction of Highways in Cold Mountainous Areas

Zhao Kangxian

Zhejiang Jiaogong Road and Bridge Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : The expansion and renovation project of expressways in cold mountainous areas always faces multiple practical challenges such as low-temperature freeze-thaw erosion, complex terrain and geology, fragile ecological environment, and difficult construction and traffic protection. The integration of new and old projects, structural frost resistance and durability, and disaster prevention and control have become the core problems in the implementation of this project. Based on the special geographical environment and engineering construction practice in cold mountainous areas, this paper systematically analyzes the core constraints of such expansion and renovation projects, and from five dimensions including subgrade engineering, pavement engineering, bridge and tunnel engineering, construction control, and ecological protection, extracts the key technical systems suitable for cold mountainous areas. Combined with specific engineering practices, the effectiveness of technology application is verified. The research shows that targeted technologies such as roadbed settlement control, pavement anti-freezing improvement, bridge and tunnel reinforcement and renovation, segmented traffic protection construction, and ecological intelligent prevention and control can effectively solve the problems of freeze-thaw damage, structural instability, and traffic guarantee in the expansion and renovation of expressways in cold mountainous areas. These technologies can not only improve the construction quality and long-term service performance but also provide theoretical references and practical guidance for similar expansion and renovation projects of highways in cold mountainous areas.

Keywords : cold mountainous areas; expressway expansion and renovation; engineering technology; practical application; freeze-thaw prevention and control; ecological protection

前言

相较于平原地区, 寒冷山区独特的低温严寒、大温差冻融、陡坡地形、脆弱生态等环境特征, 让改扩建工程在技术实施、施工组织、质量管控等方面面临更多挑战, 现有工程技术与建设模式难以完全适配。当前学界针对寒冷地区公路工程的研究多聚焦新建项目, 针对改扩建工程的系统性技术研究与实践总结仍有不足, 尤其缺乏兼顾地域特殊性、工程实用性与生态保护性的综合技术体系。基于此, 本文以寒冷山区高速公路改扩建工程为研究对象, 剖析工程建设核心难点, 探究关键技术应用路径, 结合实践案例总结经验, 以期丰富寒冷山区公路工程建设研究成果, 推动高寒地区交通基础设施高质量发展。

一、寒冷山区高速公路改扩建工程的核心现实困境

（一）气候条件严苛，冻融病害频发

寒冷山区常年气温偏低，极端低温可达-40℃，昼夜温差与季节温差悬殊，年冻融循环次数远超普通地区，冻融作用成为工程建设的首要制约因素。长期冻融循环下，既有路基土体结构受损，新老路基密实度、含水率差异引发冻胀融沉不协调，极易出现路基纵向开裂、整体沉降、边坡滑塌等问题；沥青路面在低温环境下脆性增强，新旧路面拼接处易产生温缩裂缝与反射裂缝，加之融雪剂侵蚀、冻融循环双重作用，路面破损速度加快，使用寿命大幅缩短；桥隧结构受冻胀力与冻融反复侵蚀，混凝土易出现冻裂、剥落问题，内部钢筋锈蚀老化，结构稳定性与安全性持续下降。

（二）地形地质复杂，拼接施工难度大

寒冷山区多为高山陡坡、沟壑纵横地貌，地质条件复杂，多分布软弱土、冻土、破碎围岩等不良地质，改扩建工程多采用单侧或双侧拼宽、局部改线的建设模式，新旧工程拼接施工难度极高。路基拼宽时，新填路基压实作业受限，新旧路基结合面易形成软弱夹层，在荷载与冻融作用下，差异沉降、横向滑移风险突出；桥梁拼宽需兼顾新旧基础沉降协同、上部结构连接应力平衡，隧道原位扩建则面临围岩变形、衬砌开裂等安全隐患；改扩建开挖形成的高陡边坡，在冻土融化后土体强度骤降，极易诱发滑坡、泥石流等地质灾害，工程安全管控压力巨大。

（三）施工组织复杂，保通与安全矛盾突出

寒冷山区高速公路多为区域交通主干线，改扩建工程需遵循“边通车、边施工”原则，施工组织与交通保通难度极大。山区道路线形复杂、车道宽度有限，半幅施工、半幅通行的模式易引发交通拥堵，交通事故发生概率提升；高边坡开挖、桥隧施工、深基坑作业等工序紧邻运营路段，飞石、坍塌等安全隐患突出，且低温环境下施工机械性能衰减、人员作业效率降低，进一步加剧施工安全风险。同时，寒冷山区有效施工期仅为每年5-10月，冻融季节无法开展路基、路面施工，工期紧张与工程质量、施工安全的矛盾尤为显著。

（四）生态环境脆弱，环保要求严苛

寒冷山区大多属于生态敏感区，生态系统自我修复能力弱，工程建设中的高填深挖、弃渣堆放、施工扰动等行为，极易破坏原生植被、加剧水土流失、影响水源涵养与生态平衡。低温环境下植被存活率低、生态修复周期长，加之工程建设需兼顾野生动物保护、冻土生态保护，环保管控标准远高于普通地区，对工程建设的生态保护措施提出了更高要求，也增加了改扩建工程的实施难度。

二、寒冷山区高速公路改扩建关键技术体系构建

（一）路基拼接稳定与冻融防控技术

路基工程是改扩建工程的基础，核心在于解决新旧路基拼接稳定性与冻融病害防控问题。在新旧路基差异沉降控制方面，先

借助地质雷达完成旧路基病害探测，对软弱路段开展换填、注浆加固处理，清理旧路基边坡并开挖标准化台阶，强化新旧路基咬合度；选用级配碎石、砂砾石等抗冻性优良的填料，掺入石灰、水泥进行土质改良，严控填料含水率与压实度；在新旧路基结合处铺设土工格栅，高填方路段采用复合地基、桩承式挡土墙加固，分层严控填筑厚度与碾压质量，从源头减少差异沉降。

在冻融病害防控上，构建“防冻、排水、保温、监测”一体化技术体系，合理提高路基高度规避冻融影响层，路基底部铺设防水隔水层，阻断地下水毛细上升；完善路基排水系统，增设边沟、渗沟、盲沟等设施，及时疏排路基内部积水；在路基表层铺设保温材料，降低温度变化对路基土体的影响；布设沉降、冻胀监测设备，实时监控路基变形状态，实现冻融病害提前预警。^[1]

（二）路面抗冻耐久与无缝拼接技术

路面工程重点提升抗冻性能与新旧路面拼接质量，采用低温改性沥青路面材料与复合路面结构，选用SBS改性沥青并添加低温抗裂添加剂，优化沥青混合料配合比，掺入纤维材料提升路面低温抗裂性与抗冻耐久性，推广旧路面铣刨料再生利用技术，实现资源循环利用。

新旧路面无缝拼接采用“预处理-过渡-粘结-加固”的施工流程，先铣刨清理旧路面破损部位，完成裂缝灌缝与基层补强；设置合理长度的渐变过渡段，避免新旧路面厚度突变产生应力集中；强化层间粘结处理，喷洒高粘乳化沥青并铺设抗裂格栅；对接缝进行密封加固与防水处理，防止雨水渗入引发冻融破坏，减少拼接处裂缝、跳车等问题，保障路面平整性与耐久性。^[2]

（三）桥隧改扩建加固与防冻减振技术

桥梁工程改扩建以拼宽加固与抗冻防护为核心，新桥梁基础采用钻孔灌注桩并嵌入稳定岩层，严控新旧基础沉降差，设置沉降缝释放温度与沉降应力，上部结构通过柔性连接方式降低应力集中；对旧桥梁墩台、盖梁破损部位采用高性能混凝土修补，锈蚀钢筋进行除锈防腐处理，桥面铺装采用抗冻防水复合结构，提升桥梁整体抗冻性能与结构强度；施工中采用减振爆破技术，减少施工振动对既有桥梁结构的损伤，配套完善安全防护设施。

隧道改扩建采用原位拓宽与病害加固相结合的技术，选用无中导洞快速开挖工法，软弱围岩段采用联合支护技术，严控围岩变形；通过微差爆破、光面爆破降低施工振动对原有衬砌的影响；对隧道衬砌裂缝、剥落部位进行注浆与加固修复，铺设防水保温层，优化洞内排水系统，隧道进出口设置防风保温设施，防范洞内渗水结冰、衬砌冻裂等问题，保障隧道结构安全。^[3]

（四）施工安全保通与生态防护技术

施工组织采用分区分段、流水作业模式，划分施工区、通行区与缓冲区，设置标准化围挡、警示标识与夜间照明设施，实行半幅封闭施工、半幅双向通行，优化交通导流方案，减少施工对交通通行的影响；加强低温施工安全管控，合理安排施工工序，严控低温露天施工作业，做好施工机械防寒保养与人员安全防护，防范各类施工安全事故。

生态防护秉持绿色建设理念，高陡边坡采用锚杆框架梁结合客土喷播技术，选用耐寒耐旱本土植物开展边坡绿化，实现边坡

加固与植被恢复；规范设置弃土场，配套挡渣、排水与植被恢复措施，推动施工废料再生利用，减少固体废弃物排放；施工中尽量减少冻土与原生植被破坏，施工废水经处理达标后排放，严控施工扰动范围，最大程度降低工程对生态环境的影响。^[4]

（五）智能监测与冬季通行保障技术

构建工程全周期智能监测体系，实现施工与运营全流程动态化、精细化管控。施工期依托“空天地一体化”监测手段，搭配高精度沉降传感器、边坡位移监测仪、应力应变监测设备、围岩压力传感器，对路基差异沉降、高陡边坡滑移、桥隧结构应力、基坑围岩变形等关键指标进行24小时不间断实时监测，同步搭建BIM数字化管控平台，将监测数据与工程三维模型联动，实时反馈施工参数偏差，自动预警施工风险，便于及时调整施工工艺与管控方案，有效规避冻融扰动、地质变形引发的施工安全隐患，保障改扩建施工有序推进。运营期构建路面与结构双维度监测网络，在路基路面、桥隧结构内部署温湿度传感器、冻融监测仪、结构健康监测终端，借助物联网技术实现数据云端传输、智能分析，精准预判冻融病害、结构老化、路面破损等问题，形成“监测-分析-预警-处置”的闭环管理，全面掌握工程长期服役状态，为后期养护维修提供数据支撑。

针对寒冷山区冬季漫长、冰雪频发、路面易结冰的通行难题，构建全链条冬季通行安全保障技术体系，聚焦桥面、隧道进出口、陡坡急弯、背阴路段等冰雪易积聚高危路段，针对性布设智能化融雪化冰设施。推广应用环路热管智能融雪系统、石墨烯光伏发热融雪技术，无需外接大量市电，依托清洁能源即可实现路面主动升温化冰，可在降雪初期快速融化积雪，避免路面结冰，全程无人值守、自动化启停；同时摒弃高腐蚀传统融雪剂，全面推广环保型氯化钙复合融雪剂、固态防滑沙，搭配路面自动化撒布设备，实现冰雪天气快速处置。此外，建立冬季气象预警与道路管控联动机制，实时对接气象数据，提前发布冰雪预警，同步布设路面冰雪监控摄像头，实时掌握路段通行状态，实现冰雪天气精准管控、快速处置，彻底解决寒冷山区冬季道路通行隐患，保障高速公路全天候安全、平稳、顺畅通行，大幅降低冬季交通事故发生率，提升道路运营服务水平。^[5]

三、工程实践应用与成效分析

（一）工程概况

选取东北高海拔寒冷山区某高速公路改扩建工程为实践案例，项目全长42.5km，区域年均气温-2.3℃，极端低

温-38.7℃，年冻融循环次数达180次，沿线地形以高陡边坡、沟壑、桥隧群为主，地质条件复杂、生态环境敏感。项目由双向四车道改扩建为双向八车道，采用两侧拼宽结合局部改线方案，施工周期2年，有效施工期集中在每年5-10月，面临冻融病害防控、新旧结构拼接、交通保通、生态保护等多重难题。

（二）技术应用实施

项目全面应用上述改扩建关键技术，路基工程完成旧路基病害整治、新填料改良与拼接加固，配套完善冻融防控与监测设施；路面工程采用低温改性沥青复合路面，实施新旧路面无缝拼接施工；桥隧工程开展拼宽加固、抗冻减振与病害修复；施工阶段落实分区分段保通施工与精细化安全管控，同步实施边坡绿化、弃渣治理等生态保护措施，布设智能监测设备与冬季融雪防滑设施，全方位保障工程建设质量与运营安全。

（三）实践应用成效

工程实践结果表明，该套技术体系应用效果显著：路基差异沉降控制在规范限值以内，无冻融沉降、开裂等病害，路基稳定性大幅提升；路面低温抗裂性与抗冻性能优良，拼接处无裂缝、跳车问题，路面完好率与平整度显著提高；桥隧结构稳定，无冻损、变形等安全隐患，结构服役性能达标；施工期间未发生重大安全事故，交通通行保障有力，工程建设对周边生态环境影响极小，旧路废料实现百分百再生利用，生态环保效益突出。

从效益层面来看，项目通过技术优化缩短了有效工期，降低了工程返工与后期养护成本，经济效益显著；道路通行能力实现翻倍提升，有效缓解了区域交通压力，保障了寒冷山区交通出行安全，带动了沿线经济社会发展，同时践行了绿色交通建设理念，为同类寒冷山区高速公路改扩建工程提供了可复制、可借鉴的实践经验。^[6]

四、结语

寒冷山区高速公路改扩建是一项兼顾技术复杂性、环境特殊性、施工艰巨性的系统工程，核心在于破解冻融病害、结构拼接、施工保通、生态保护四大核心难题。本文立足寒冷山区地域环境特征，构建了涵盖路基、路面、桥隧、施工组织、生态防控、智能监测的全方面关键技术体系，经工程实践验证，该技术体系可有效适配寒冷山区工程建设需求，全面提升改扩建工程质量、结构耐久性与运营安全性，实现工程建设与生态保护的协同发展。

参考文献

- [1] 交通运输部. JTG/T L11—2014 高速公路改扩建设计细则[S]. 北京：人民交通出版社股份有限公司，2015.
- [2] 吉林省交通科学研究所，哈尔滨工业大学. 寒区高速公路改扩建路基路面建设关键技术及应用研究[R]. 长春：吉林省交通科学研究所，2023.
- [3] 刘越，丁园园，王娜. 高速公路改扩建项目建设现状与趋势[J]. 工程建设，2015，47(05):53-57.
- [4] 仲浩然，闫见华，冉衡等. 新技术和新材料在高速公路改扩建工程中的应用[J]. 居业，2024(08):222-223.
- [5] 杨国峰，马璐，唐胜传. 面向交通强国的高速公路改扩建新理念思考[J]. 公路交通技术，2023，39(06):1-5.
- [6] 黄炎. BIM技术在公路改扩建设计中的应用[J]. 中外公路，2022，42(06):255-259.

房地产工程技术管理与风险管理的协同机制及实践路径研究

段成荫

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010070

摘 要： 房地产项目工程具备高风险性、复杂性等特点，技术管理工作需要整合各类资源来保障工程质量与效率，风险管理则以识别、评估、应对和监控为主要要点。两者协同机制通过目标、流程、资源的协同，依靠 BIM 等数字化手段分阶段开展实践，经案例验证能够降低成本超支的比率，不过存在流程零散化的问题。未来要拓展不同地域案例，进一步深化数字化应用，促进管理模式的升级。

关 键 词： 房地产工程；技术管理与风险管理协同机制；全生命周期管理

Research on the Collaborative Mechanism and Practice Path of Real Estate Engineering Technology Management and Risk Management

Duan Chengyin

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Real estate project engineering has the characteristics of high risk and complexity. Technical management work requires the integration of various resources to ensure the quality and efficiency of the project. Risk management mainly focuses on identification, assessment, response and monitoring. The collaborative mechanism between the two works through the coordination of goals, processes and resources, and by relying on digital means such as BIM to carry out practical activities in stages. Through case verification, it can reduce the rate of cost overruns. However, there is a problem of scattered processes. In the future, it is necessary to expand cases in different regions, further deepen digital application, and promote the upgrading of management models.

Keywords： real estate engineering; technology management and risk management synergy mechanism; life cycle management

引言

房地产项目作为包括土地获取、规划设计直至运维服务整个生命周期的系统性项目，存在高风险、多主体协作的复杂特性，其技术管控与风险管控的有效配合是确保项目质量、把控成本的主要。随着行业数字化转型进程加快，2023年6月住房和城乡建设部发布的《关于推动智能建造与新型建筑工业化协同发展的指导意见》清晰指出，要加强技术创新和风险防控的深度结合，以此提高工程建设的效率与安全程度。在这一背景之下，探寻二者的协同机制，不但能够响应政策指引，还能通过整合技术资源与风险管控流程，化解项目全周期里的不确定性问题，为行业的高质量发展提供理论支持与实践途径。

一、房地产工程技术管理理论基础

（一）房地产工程的定义与属性

房地产工程技术管理理论基础

房地产建设项目是以房地产开发项目为核心，整合土地取得、规划设计、工程施工、竣工验收以及运维服务等全生命周期流程的系统性工程，其范围包含住宅、商业、工业等各类物业开发项目^[1]。此领域具备明显的高风险特性，体现为项目周期久、

资金投入多，易受政策调整、市场起伏以及自然环境等外部要素的影响，并且涉及勘察、设计、施工、监理等多个主体协同合作，各环节的技术规范与管理要求存在明显差异，导致工程的复杂程度凸显。这些核心属性给技术管理带来直接挑战：高风险特征要求技术管理建立动态风险预警体系，通过技术方式减少不确定性；复杂性要求技术管理系统具备跨专业整合能力，实现设计与施工技术的衔接、多参与方的技术协作，从而保障项目质量和进度。

（二）技术管理的内涵与方法

在房地产工程技术管理的理论基础里，技术管理的含义包含房地产项目整个生命周期内技术方案的策划、执行、监督和改进，其主要是运用系统性的手段整合技术资源，确保工程质量、效率和成本达到均衡。技术管理的方法方案包括技术标准设定、技术方案研讨、技术交底及培训、技术创新运用等流程，其中BIM技术作为数字化手段，能够实现建筑信息的整合与共享，在设计冲突检测、施工进度模拟、成本动态把控等方面起到重要作用^[2]。技术管控建立标准化程序，保证施工工艺符合规范标准，同时依靠技术改革提高工程建造的精细程度，为项目风险管控提供技术保障。比如利用BIM模型的可视化解析，提前察觉结构安全方面的潜在隐患，减少施工阶段的技术风险。技术管理的实施要符合项目特性，把技术工具和管理流程充分融合，建立从技术规划到成果交付的闭环式管理，其主要意义不仅体现在技术领域的问题处理上，更在于通过技术方法优化项目的整个流程，为房地产工程的平稳推进筑牢基础。

二、房地产工程风险管理概述

（一）风险管理的基本原理

风险管理的基础原理是以风险的识别、评估、应对以及监控作为核心逻辑链条，在房地产工程领域的系统性运用要遵循动态性、全过程性和协同性准则。风险辨认是风险管理的开端，要结合房地产项目从规划设计至竣工验收的全流程周期特性，运用德尔菲法、故障树分析等手段，辨认地质状况不确定性、施工工艺缺陷、供应链断裂等潜在风险要素^[3]。风险评价需运用定性和定量相结合的方式，像层次分析方法、蒙特卡洛仿真等，对风险出现的概率以及影响程度予以量化，为后续的应对措施提供决策参考。风险处置要根据评估结论拟定规避、减轻、转移或者接受等措施，比如通过购买工程保险来转移施工安全方面的风险，亦或是优化施工规划减轻技术方面的风险。监测环节要建立动态反馈体系，实时追踪风险状况变动，及时调节应对策略，保障风险管理的实效性。房地产项目工程的系统性运用，需把风险管理融入技术管理程序，实现风险信息和技术参数的实时互动，进一步加强项目整体的抗风险水平。

（二）房地产工程常见风险类型

房地产项目工程常见的风险类型在项目整个生命周期里显示出多方面的特性，需要从技术管理和风险管理协同的视角展开分析。技术安全隐患贯穿设计、建造与运维环节，包括设计方案存在缺陷导致的结构稳固性问题、施工工艺运用不当引发的质量风险，以及智能建造技术运用里的数据安全漏洞等，这类隐患直接影响工程实体安全和使用效能，严重情况下或许造成安全事故或者项目延期^[4]。金融风险显示出因土地成本高昂、融资途径单一而引发的资金链断裂隐患，以及因市场波动造成的销售回款滞后，从而对项目现金流和投资收益率产生影响。法律风险包括土地使用权方面的争端、合同条款存在的缺漏、环保政策合规程度不够等情况，有可能引发法律诉讼或者行政处罚，导致项目额外

成本增加。另外供应链方面的风险，像建材价格的起伏、供应商出现违约等情况，同样会对工程的进度以及成本控制产生影响。这些风险具备关联性和传导性，某一个环节的风险或许会引发连锁效应，例如技术安全方面的隐患可能导致金融风险里的索赔成本上升，而法律风险中的合规事宜则可能造成项目暂停，进一步加重资金压力。经实证案例分析可得，风险的危害程度不仅在经济损失方面有所体现，还可能对企业品牌形象造成损害，导致市场信任度下降，所以要搭建协同机制实现风险的预先识别与动态管控。

三、技术管理与风险管理的协同机制构建

（一）协同机制的理论框架

1. 机制定义与功能定位

技术管理和风险管理的协同体制是指在房地产项目全生命周期里，通过系统性整合技术管理和风险管理的目标、流程以及资源，建立相互支持、动态反馈的有机运行体系，其核心要义在于破除两者的职能障碍，用技术方法帮助风险管控，从风险角度优化技术决策，实现工程价值的最大化。此机制的功能定位包含信息共享、资源整合、决策协同以及过程联动等方面，其中信息共享要依靠数字化平台实现技术参数、风险数据的实时交互，为风险识别和技术方案调整提供支撑^[5]；资源整合重点于技术团队和风险管理团队的跨职能合作，通过人员、工具和知识的互补配置提高问题解决效能；决策协同要求在技术方案论证阶段同时开展风险评估，保证技术选型与风险承受能力相适配；过程联动则突出在施工、运维等环节建立技术变更与风险预警的联动响应机制，实现风险的动态防控。在房地产项目工程里，该机制的应用价值显示为：经由技术管理和风险管理的充分融合，既能够降低因技术方案存在缺陷而引发的风险暴露，又能够利用风险数据对技术资源配置予以优化，最终提高工程建设的稳定性和经济效益。

2. 模型构建原则与方法

技术管理和风险管理的协同机制搭建要以系统工程原理为基础，把房地产项目当作多要素融合的复杂体系，通过整合规划与管控机制实现技术目标和风险防控的动态均衡。协同机制的理论方案应包含目标协同、过程协同以及资源协同这三个方面，目标协同要清楚技术性能指标和风险容忍阈值之间的对应联系，过程协同要建立技术决策和风险评估的同步反馈体系，资源协同要实现技术资源与风险应对资源的动态调配。模型搭建准则要遵循系统性、动态性和适应性。系统性准则要求把技术管理和风险管理归入统一的项目管理方案，动态性准则需通过实时数据收集与分析实现风险预警和技术调整的联动，适应性准则需根据项目阶段和外部环境变动优化协同策略。模型搭建方法能够运用系统动力学手段模拟技术要素和风险要素的相互作用关联，通过建立因果反馈回路识别主要协同节点，联合层次分析法明确协同要素的权重，建立量化的协同度评价模型^[7]。此模型要整合技术进展、质量把控以及风险概率、影响程度等参数，通过仿真分析来验证协同机制的有效性，为后续实践路径的设计提供理论支持。

（二）影响协同的关键因素分析

1. 内部影响因素

在技术管理和风险管理协同机制的搭建过程中，要重点留意内部影响要素对协同有效性的限制与促进作用。组织文化作为内部深层次因素，它对协同的影响显示在价值引领与行为准则方面。要是组织文化里缺少风险意识和技术创新的融合导向，技术管理团队与风险管理团队容易出现各自开展工作的状况，造成协同进程中信息传递不顺畅或者目标出现偏差。而注重跨部门合作与风险前置的文化能够促使双方在项目整个周期里主动分享数据和资源。管理方案的合理性同样重要，传统的层级式方案容易形成技术管理和风险管理之间的沟通障碍，决策流程的漫长会延缓协同响应的速度。而扁平化或者矩阵式方案通过设置跨部门协调岗位或者联合工作团队，能够打破部门界限，让技术方案的优化和风险防范措施的制定同步开展，提高协同效能。另外内部资源分配的平衡性同样会对协同成效产生影响。要是技术管理部门长时间得到更多资源的偏向，风险管理部门的防控能力或许会受到限制，难以和技术管理实现有效符合。相反若资源过度向风险管理偏移，可能会抑制技术创新的积极性。所以资源的动态均衡分配是保证协同机制平稳运行的主要内部因素。

2. 外部影响因素

在技术管理和风险管理协同机制的搭建过程中，外部影响因子对两者的联动效果与适应性难题不容小觑。在政策法规领域，房地产领域的监管政策像绿色建筑准则、工程质量终身追责制等，既给技术管理确定清晰的技术指标与执行规范，也要求风险管理同步加强合规性风险的辨识与处理。比如装配式建筑政策的推行，要求技术管理对构件制造与现场组装流程进行优化，同时风险管理要评估政策变化对工期、成本的潜在作用，二者需建立动态响应机制来符合政策更新^[9]。市场环境方面，房地产市场的供求变动、原材料价格上涨等要素，会直接作用于技术方案的经济性和风险暴露程度。例如在市场下行阶段，开发商往往倾向于压缩成本，技术管理要在确保质量的基础上优化技术选择，风险管理则要同步评估成本压缩可能引发的质量风险与供应链风险，二者的协作需根据市场信号来调整资源配置和风险防范策略。另外行业技术规范的更新以及技术改革的出现，像 BIM 技术的推广，既给技术管理提供数字化手段，也需要风险管理搭建通过数据的风险预警模式，二者要协同整合技术工具和风险数据，从而提高决策的精确性与响应速率。这些外部因素的动态改变，要求技术管理和风险管理在目标确定、流程衔接以及资源分配方面建立更紧密的联动关系，同时也对二者的适应性构成挑战。例如政策的突然性调整或许会导致技术方案和风险预案的临时变动，需要通过常态化的信息共享与协同决策机制提高应对能力。

四、房地产工程协同机制的实践路径探索

（一）实践路径设计基础

1. 路径构建框架

房地产工程协同机制的实践路径探寻要以实践路径设计基础

为通过，此基础需整合房地产工程技术管理里的标准流程，包括设计、施工、验收等环节的技术规范和操作准则，保证路径建立拥有技术方面的可行性与规范性。路径搭建框架需给出协同机制实践路径的理论模式，运用分阶段谋划的方法，把房地产项目全生命周期划成前期规划、设计时期、施工时期以及运维时期。在前期规划阶段，要整合技术管理和风险管理的目标设定，清晰界定各阶段的协同重点；设计时期应搭建技术参数和风险指标的联动体系，通过 BIM 技术等手段实现技术方案与风险评估的同步改进；施工时期需建立技术执行和风险监控的动态协同方案，及时反馈施工技术偏差和潜在风险；运维时期则要依靠技术数据和风险数据库，形成闭环式管理机制。此框架要结合有关研究成果，保障分阶段规划具备科学性与有效性^[9]，通过整合标准流程和分阶段协同，实现技术管理与风险管理的深度融合，提高房地产工程的整体管理成效。

2. 实施步骤优化

在房地产工程协同机制实践路径的探寻里，实践路径设计的基础要从全生命周期的角度，整合技术管理和风险管理的主要要素，通过搭建数据共享平台实现信息的实时交互，为后续实施环节的优化提供支持。实施步骤的优化环节需重点关注风险预控和技术评估的动态结合，在项目规划阶段引入 BIM 技术开展多专业碰撞检查，同时进行地质条件、政策法规等风险因素的辨识与分级，实现技术方案和风险应对策略的初步适配。在施工环节要建立技术参数和风险指标的联动监测体系，通过物联网装置收集结构应力、材料性能等相关数据，结合风险预警模型对技术方案进行实时调整。比如当监测到混凝土强度偏差超过阈值时，自动开启配合比优化程序，并同步更新进度风险评估报告。在竣工验收环节，通过技术成果回顾与风险事件追溯，提取协同管理的主要参数和流程要点，建立可重复使用的知识库，为后续项目提供指导。这一动态调节流程要依靠跨部门协作小组的定期评估机制，保证技术管理和风险管理的决策同步性，最终实现效率提高与风险可控制的双重目的^[10]。

（二）实证案例分析与启示

1. 案例研究方法 with 选取

案例研究方法 & 选取部分将房地产工程技术管理与风险管理协同机制当作核心研究对象，根据典型性、数据可获取性以及协同特征明显的选取标准，挑选国内某大型房地产企业开发的超高层住宅项目作为案例。此项目包含前期设计改良、施工进度管控以及后期运维等全生命周期环节，技术管理包含 BIM 技术运用、装配式建造技术等，风险管理包含工期拖延、成本超出及质量瑕疵等主要风险点，拥有协同机制实践的完整情景。分析方案运用定量和定性相融合的模式，在定量方面搭建协同度评估指标体系，通过项目管理系统获取技术参数和风险事件数据，算出技术管理与风险管理的协同系数；在定性方面采用半结构化访谈手段，对项目技术负责人、风险管控专员以及施工方代表开展访谈，探寻协同机制在实际操作里的运行逻辑和阻碍因素。

2. 案例结果与应用启示

案例成果表明，协同机制的有效经验专注于技术管理和风险

管理的深度结合，像某大型房地产企业通过 BIM 技术和风险预警系统的连接，实现施工进度和成本风险的实时互动，项目成本超支比率相较于行业平均水准下降 15%，但是部分案例里仍然存在协同流程零散化的状况，比如设计环节的技术参数没有全部纳入成本风险模型，导致后期变更成本提高约 8%。在应用启示方面，要搭建技术、风险双方面协同方案，把技术管理的标准化需求融入风险管理进程，例如在图纸会审环节同时进行风险评估，确定技术方案的风险界限；并且组建跨部门协作小组，整合工程、成本、风控等部门的数据，通过定期的技术风险复盘会议动态调整管控策略。另外要加强数字化工具的协同支持，研制集成 BIM、物联网以及风险数据库的管理系统，实现技术参数和风险指标的自动适配，提高协同响应效能，为房地产工程管理供给可推广的执行途径。

（三）推广与优化建议

1. 行业推广策略

在房地产工程协同机制实践路径的研究里，行业推广策略要从政策引领、标准准则与资源统筹这三个方面搭建体系。政策方面能够促使地方住建部门颁布协同管理专项支持政策，针对运用 BIM 协同平台、风险预警系统的房地产企业提供税收减免或者项目审批的便捷通道，并且把协同管理能力纳入房地产开发企业的信用评估指标，加强政策激励效果。在行业标准制定工作中，由中国房地产协会携手建筑科学研究院主导，编制《房地产工程技术、风险管理协同实施指南》，确定协同流程里的数据交互准则、责任划分方案以及风险响应界限，统一行业协同的表述，减少跨主体合作的成本。在资源整合方面，建立行业级别的协同管理云平台，整合设计、施工、监理等主体的技术数据和风险信息。通过案例库共享、专家线上咨询等功能，为中小房地产企业提供低成本的协同工具。

2. 评估反馈机制设计

搭建持续评估系统要融合 KPI 指标和反馈闭环，实现路径实施的质量监测与迭代优化。KPI 指标需覆盖工程进度、成本管控、质量达标比例、风险响应时间等主要方面，比如把主要节点按时实现率、材料损耗占比、安全事故发生比率等量化指标列入考核，保障技术管理和风险管理目标具备可衡量特性。反馈闭环要建立多主体参与的信息传输机制，施工单位、监理单位、技术小组以及风险管控部门需定时提交执行数据，通过数字化平台实现信息实时共享，形成数据采集、问题识别、原因分析、措施制定、效果验证的循环流程。评估成果要和绩效激励关联，对协同机制落实出色的团队予以奖赏，对存在偏差的部分督促改进，促进实践路径的动态完善。

五、总结

总结环节要全面回顾房地产工程技术管理和风险管理协同机制的研究重点，突出其在减少风险、提高效率方面的意义。研究表明协同机制通过整合技术管理和风险管理的流程、资源以及目标，可有效识别潜在的风险点，对技术方案进行优化，降低工程延误和成本超支情况，提高项目的整体效益。但是目前的研究存在一定局限，例如案例大多专注于特定地区，对不同区域市场环境的适应性分析不够充分，并且数字化工具的运用深度有所欠缺，未能全面发挥大数据、人工智能在风险预估与技术改进中的效能。未来的研究需扩大地域案例的领域，提高协同机制的通用性，深入推进数字化风险管理工具的运用，融合区块链、BIM 等技术，搭建动态即时的协同管理平台，提高风险应对的精确性以及技术决策的科学性，促进房地产工程管理模式的改革与优化。

参考文献

- [1] 张艳明. T 房地产项目成本风险管理及对策研究 [D]. 河南大学, 2022.
- [2] 马永娟. 基于智能协同机制的学习路径推荐与评估方法研究 [D]. 西安理工大学, 2023.
- [3] 马天宇. G 房地产开发项目市政配套工程风险管理研究 [D]. 山东建筑大学, 2023.
- [4] 朱雨昕. 我国 PPP 理论、政策、实践系统演化路径及协同发展研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [5] 李智高. A 房地产项目财务风险管理研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [6] 唐志婷. 房地产工程管理中的成本控制措施研究 [J]. 中国住宅设施, 2023, (08): 90-92.
- [7] 胡广利. 房地产工程造价管理中的成本控制策略分析 [J]. 中国招标, 2023, (01): 132-134.
- [8] 江坚伟. 房地产工程管理与项目成本管理对策研究 [J]. 建筑与预算, 2022, (09): 10-12.
- [9] 冯娜. 房地产工程造价管理存在的问题及策略 [J]. 大众标准化, 2022, (14): 36-38.
- [10] 肖酒. 房地产工程招标问题分析与招标管理体系优化研究 [D]. 华北水利水电大学, 2020.