

建筑设计

Architectural Design
and Application



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



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

(半年刊)

第3卷 第2期 2025年12月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《建筑设计与应用》编辑部

ISSN(O): 2992-9857

ISSN(P): 2995-3219

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.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 | 以历史文化街区保护为导向的建筑、景观更新概念方案构思
Conceptual Proposal for Architectural and Landscape Renewal Guided
by Historic District Preservation | 黄洁
Huang Jie |
| 004 | 智慧城市背景下地下交通枢纽空间整合设计
Spatial Integration Design of Underground Transportation Hub under the
Background of Smart City | 毛贝娜
Mao Beina |
| 007 | 有关“心灵”领域的空间设计
Space Design in the Field of Spirituality | 方崇立
Fang Chongli |
| 010 | 基于数智融合的乡村公共文化空间设计研究
Research on the Design of Rural Public Cultural Spaces Based on
Digital-Intelligence Integration | 林立, 包佳承
Lin Li, Bao Jiacheng |
| 013 | 解析人性化理念在当代风景园林设计中的运用
Analyzing the Application of Humanized Concepts in Contemporary
Landscape Architecture Design | 何晓桐
He Xiaotong |
| 016 | 园林项目养护施工技术管理的关键要素探究
Exploration of Key Elements in Maintenance and Construction Technology
Management of Landscape Projects | 林坚
Lin Jian |
| 019 | 基于海绵城市理念的市政道路景观设计分析
Analysis of Municipal Road Landscape Design Based on the Concept
of Sponge City | 林琳
Lin Lin |
| 022 | 住宅小区的园林景观设计与植物配置研究
Research on Landscape Design and Plant Arrangement in
Residential Communities | 洪渝
Hong Yu |
| 025 | 园林工程施工中新技术与新材料的应用分析
Analysis on the Application of New Technologies and Materials in
Landscape Engineering Construction | 钟颖涛
Zhong Yingtao |
| 028 | 城市轨道交通与地下空间一体化规划体系研究
Research on the Integrated Planning System of Urban Rail Transit and
Underground Space | 周勇, 丁润涛, 汪锦昆
Zhou Yong, Ding Runtao, Wang Jinkun |

建筑设计 | ARCHITECTURAL DESIGN

- | | | |
|-----|---|------------------------------|
| 032 | 跨文化视角下中西方建筑的互鉴机制研究
Research on the Mutual Learning Mechanism of Chinese and Western
Architecture from a Cross-Cultural Perspective | 马丽雯
Ma Liwen |
| 035 | 房地产工程中的设计管理与工程管理协同机制研究
Research on the Collaborative Mechanism of Design Management and
Engineering Management in Real Estate Engineering | 潘保良
Pan Baoliang |
| 038 | 基于全生命周期理念的总部办公空间 ESG 设计策略
ESG Design Strategies for Headquarters Office Spaces Based on the
Full Life Cycle Concept | 张兰侠
Zhang Lanxia |
| 041 | 虚拟现实技术在体验馆空间设计中的应用探究
Research on the Application of Virtual Reality Technology in the
Spatial Design of Experience Centers | 林立, 谢雨欣
Lin Li, Xie Yuxin |

044	某大退台超高层项目的设计与实践 Design and Practice of a Mega Super High-rise Project with Large Terraces	方晓彤 Fang Xiaotong
047	论述数字化时代建筑设计管理发展研究 Research on the Development of Architectural Design Management in the Digital Era	廖振洪 Liao Zhenhong
050	深析绿色建筑在高层民用建筑设计中的应用 A Deep Analysis of the Application of Green Building Design in High-Rise Civil Building Design	林立成 Lin Licheng
053	建筑工程桩基础检测技术发展特点研究 Research on Development Characteristics of Pile Foundation Testing Technology in Construction Engineering	郑月棠 Zheng Yuetang
056	珠海某超限高层建筑工程抗震分析和设计 Seismic Analysis and Design of a Certain Out-of-Codes High-Rise Building Project in Zhuhai	邹洁明 Zou Jieming
059	公共建筑单体设计中校园空间规划与创新 Campus Space Planning and Innovation in the Design of Public Buildings	郭奕爽 Guo Yishuang
063	现代产业园的绿色建筑设计 Green Building Design for Modern Industrial Parks	郭优源 Guo Youyuan
066	建筑电气防雷接地设计要点探究 Exploration of Key Points in the Design of Lightning Protection and Grounding for Building Electrical Systems	黄静文 Huang Jingwen
069	数字化时代下的建筑设计管理变革与发展趋势 Transformation and Development Trends in Architectural Design Management in the Digital Era	江恩远 Jiang Enyuan
072	分析大型购物中心建筑方案设计阶段的消防设计策略 Analyze Fire Protection Design Strategies in the Architectural Scheme Design Phase of Large Shopping Malls	李步将 Li Bujiang
075	高层建筑给排水设计研究 Research on Water Supply and Drainage Design for High-Rise Buildings	刘碧清 Liu Biqing
078	建筑工程设计质量管理问题分析 Analysis of Quality Management Issues in Architectural Engineering Design	叶鸿创 Ye Hongchuang
081	基于 EN14470-1 标准的防火存储柜耐火性能优化设计 Optimized Design for Fire Resistance Performance of Fireproof Storage Cabinets Based on EN14470-1 Standard	张建华 Zhang Jianhua
084	综合医院给排水系统设计关键问题与应对措施 Key Issues and Countermeasures in Designing Water Supply and Drainage Systems for General Hospitals	钟维嘉 Zhong Weijia
087	建筑结构设计优化提高结构设计质量探析 Exploration on Optimizing Architectural Structure Design to Improve Structural Design Quality	魏木洪 Wei Muhong
090	景观绿化配置指引智慧健康道法自然 Guidelines for Landscape Greening Configuration: Wisdom, Health, and Harmony with Nature	黄利萍 Huang Liping
095	工业厂房钢筋混凝土框架结构设计策略 Design Strategies for Reinforced Concrete Frame Structures of Industrial Buildings	朱晓霞 Zhu Xiaoxia
098	建筑结构设计中的抗震结构设计理念 Seismic Design Concepts in Architectural Structure Design	姚震 Yao Zhen

理论与实践 | THEORY AND PRACTICE

101	智慧电厂燃料全流程智能化管理系统开发研究 Research on Development of Intelligent Management System for Whole Process of Smart Power Plant Fuel	高杰，马战南，王东清 Gao Jie, Ma Zhannan, Wang Dongqing
104	工业与民用建筑工程风险管理体系的构建与优化 Construction and Optimization of Risk Management System for Industrial and Civil Building Engineering	李坊寿 Li Fangshou
107	论公共建筑中装配式施工过程易出现的问题及解决办法 On the Common Issues and Solutions in Prefabricated Construction of Public Buildings	吴永庆 Wu Yongqing
110	牡丹纹样的文创设计应用研究——以洛阳旅游伴手礼设计为例 Research on the Application of Peony Patterns in Cultural and Creative Design — A Case Study of Luoyang Tourism Souvenir Design	刘如意，刘大军 Liu Ruyi, Liu Dajun
113	西南山区典型地质灾害（崩塌/泥石流）与地下水动力条件的关联性及综合治理技术 Correlation Between Typical Geological Hazards (Rockfalls/Debris Flows) and Groundwater Hydrodynamic Conditions in Southwest Mountainous Regions and Integrated Management Technologies	施炳军，廖绍忠，刘湘 Shi Bingjun, Liao Shaozhong, Liu Xiang
117	图像与中国古代建筑研究 The Study of Image and Ancient Chinese Architecture	杨晨 Yang Chen
120	新媒体时代版式设计的转变与融合研究 Research on the Transformation and Integration of Layout Design in the New Media Era	郭碧璇 Guo Bixuan
123	火电厂虚拟现实培训系统开发与应用 Development and Application of Virtual Reality Training System in Thermal Power Plant	蒋勇，李兆男，丁戈，安菁菁 Jiang Yong, Li Zhaonan, Ding Ge, An Jingjing

126	如何切实落实安全措施费在建筑施工总承包项目的落地使用 How Can The Safety Measures Fee Be Effectively Implemented And Utilized in General Contracting Projects for Construction	刘强, 苏象贞 Liu Qiang, Su Xiangzhen
128	论建筑施工安全重大事故隐患的精准识别与系统化管控 On the Precise Identification and Systematic Control of Major Accident Hazards in Construction Safety	王祚文, 苏象贞 Wang Zuowen, Su Xiangzhen
130	工业铝型材挤压加工质量控制及工艺改进探析 Analysis of Quality Control and Process Improvement of Extrusion Processing of Industrial Aluminum Profile	余洋, 陈群宏, 罗伟浩, 廖结容 Yu Yang, Chen Qunhong, Luo Weihao, Liao Jierong
133	建筑与桥梁钢结构检测: 焊缝无损检测技术的实践与探索 Testing of Steel Structures in Buildings and Bridges: Practice and Exploration of Non destructive Testing Technology for Weld Seams	陈盛弦 Chen Shengxian
136	建筑工程检测在房地产项目中的应用: 材料检测的关键作用 Application of Construction Engineering Testing in Real Estate Projects: The Key Role of Material Testing	卢攀 Lu Pan
139	住建局测绘工作中的技术应用与规范管理探究 Exploration of Technical Application and Standardized Management in the Surveying Work of the Housing and Urban-Rural Development Bureau	彭星华 Peng Xinghua
142	EPC 总承包模式下建筑工程项目造价超支风险识别与预警机制构建 Construction of a Risk Identification and Early Warning Mechanism for Cost Overruns in Construction Projects under the EPC General Contracting Model	张河 Zhang He
145	水工建筑物混凝土无损检测技术应用与精度提升研究 Research on the Application and Accuracy Improvement of Non destructive Testing Technology for Concrete in Hydraulic Structures	张小宇 Zhang Xiaoyu
148	智能墙体抹灰机器人在房屋建筑中的应用研究 Research on the Application of Intelligent Wall Plastering Robots in Building Construction	陈旺, 高杨, 方炎博, 李新革, 廖红玉 Chen Wang, Gao Yang, Fang Yanbo, Li Xinge, Liao Hongyu
151	工程造价动态监控与成本精细化控制方法研究 Research on Dynamic Monitoring of Engineering Costs and Methods for Refined Cost Control	谢淑芬 Xie Shufen
154	基桩检测技术在建筑工程中的应用研究 Research on the Application of Foundation Pile Detection Technology in Construction Engineering	李子荣 Li Zirong
157	岩溶地质条件下基建项目风险识别与防控策略分析 Analysis of Risk Identification and Prevention and Control Strategies for Infrastructure Projects under Karst Geological Conditions	陈珍元 Chen Zhenyuan

以历史文化街区保护为导向的建筑、景观更新概念方案构思

黄洁

广州诠释建筑设计有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020004

摘要： 随着历史文化街区保护与城市更新需求的交叠，建筑、景观更新方案构思要在历史真实性与功能适应性之间寻求平衡。在现状建筑与景观更新的问题基础上，提出了以保护真实性、更新功能性为核心的设计路径，并强调建筑本体修缮与公共空间协同提升。方案设计过程中贯穿全过程控制理念，从立项、深化到落地施工阶段，制定细化的材料优化、参数化深化与节点验收机制，保证街区历史风貌保护、空间环境更新与城市活力复兴的协同推进，为历史文化街区建筑概念设计实践提供可操作性路径。

关键词： 历史文化街区保护；建筑活化；景观协同设计；建筑与景观衔接

Conceptual Proposal for Architectural and Landscape Renewal Guided by Historic District Preservation

Huang Jie

Guangzhou Interpretation Architectural Design Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： As the demands for historic district preservation and urban renewal intersect, conceptual approaches to architectural and landscape renewal must balance historical authenticity with functional adaptability. Building upon existing challenges in building and landscape renewal, this study proposes a design pathway centered on preserving authenticity and enhancing functionality, emphasizing coordinated improvements in building restoration and public space enhancement. The design process incorporates comprehensive control principles throughout all phases—from project initiation and detailed design to construction implementation. Detailed mechanisms for material optimization, parametric refinement, and node acceptance are established to ensure the coordinated advancement of historic character preservation, spatial environment renewal, and urban vitality revitalization. This approach provides an actionable pathway for conceptual design practices in historic cultural districts.

Keywords： historic cultural district conservation; building revitalization; landscape coordination design; building-landscape integration

引言

建筑景观更新方案在历史文化街区保护导向下的构思，需要在延续历史环境特征与适应城市功能演变之间实现动态平衡。城市更新加速带来的空间需求变革，使得历史文化街区原有格局、建筑肌理与场所精神面临多重冲击，让建筑设计从单体修缮扩展到整体空间环境的综合干预^[1]。传统保护模式已难以满足当代街区复合功能与活力提升的要求，建筑与景观界面的协同优化成为提高环境连续性与体验完整度的重要方向。本人在过往4年内负责的实际改造项目背景下，对历史文化街区建筑保护与更新议题在形态控制、功能更新与景观融合方面提出了更高层次的挑战，推动了建筑、景观更新方案在技术路径与空间逻辑上的演变^[2]。

一、现状问题分析 —— 历史建筑现状、空间断裂与景观协同缺失

（一）历史建筑风貌受损与空间格局破碎

历史文化街区内建筑外立面普遍存在建筑立面表层剥落风

化、建筑风貌与街区整体风貌不符、随意搭建等普片现象。如建筑立面脱落严重，破坏了街区建筑风貌。屋面瓦片缺失、山墙开裂、门窗更换不规范，导致建筑整体形象与历史辨识度下降。如木结构建筑出现挑檐坍塌，街巷连续界面被破坏，原有街道尺度感遭受侵蚀。如因违章搭建与局部拆除造成巷道空间宽度不一，

作者简介：黄洁（1986.10—），女，汉族，广东韶关人，助理工程师，研究方向：环境艺术设计。

街墙与巷道比例失调，街区肌理趋向碎片化、断裂化，整体环境秩序与场所感明显削弱^[3]。

（二）建筑与公共景观空间脱节

历史文化街区人行步道铺装老化破损严重，存在行走隐患。街区内部动线布局混乱，节点缺乏引导标识，中断了步行流线连续性。沿街建筑前场空间界面处理粗放，两侧建筑退界无统一尺度，局部侵占步道空间，街道尺度感受到了影响。节点空间小广场铺装杂乱，与周边建筑缺少材质与尺度呼应，开敞布局零散，街角绿化随意布置，弱化了公共环境的连续性与视觉引导作用。

（三）保护与利用之间的矛盾

历史建筑在保护中存在结构条件与新功能适配冲突，部分保留建筑因空间尺度局促、布局封闭，难以直接承载新兴商业、文创等功能，导致空间闲置或低效使用。传统民居因净高不足、进深短小，引入咖啡馆、书店等业态时无法满足通风、采光及消防标准。部分历史建筑在二次加固时，由于保护优先要求，未同步更新水电气设施，后续使用适应性受限。形态保护优先的策略在一定程度上制约了空间功能的再生，街区整体活力释放受阻。

（四）落地阶段技术与系统统筹不足

尽管目前国内有大部分优秀的改造项目，设计与施工的技术和规范也日渐成熟和完善，但在有一部分改造项目，到了深化设计与施工阶段，仍然存在测绘精度不足与现场对接滞后问题。部分在现状勘测阶段对门窗、山墙、挑细部记录不完整，施工中出现历史构件复原偏差、选材误差。修缮阶段历史肌理保护措施执行不严，局部修复粗糙，细部还原度与初期设计存在差异。建筑修缮与步行空间铺装、节点绿化施工缺乏细致协调，造成节点小广场与周边建筑过渡失衡，街巷尺度感弱化。材料样板制作与应用环节缺少专项比对与质感检验，最终成品在色调、肌理等方面呈现出人不统一现象，影响了整体保护质量效果。

二、思考 —— 保护、更新与景观协同的整体策略构建

（一）保护与更新并重的价值取向

历史文化街区建筑概念方案构思以尊重原有空间肌理、历史文脉和建筑特征为前提，兼顾空间适应性与功能可持续性，平衡保护真实性与现代使用需求。历史文化街区内，部分历史建筑因空间尺度局限、结构形式传统，直接复原容易造成功能滞后，功能置换又易破坏建筑特征，二者协调处理成为设计核心^[4]。保护不仅涉及外观修复，还包括结构加固、设施更新与功能置入，最大限度保留历史信息并激活空间潜能，提升街区整体活力。建筑功能重塑需在形态控制下进行，维持街巷格局、建筑体量与节点秩序，使保护建筑与环境形成延续历史记忆且适应当代使用的综合空间。

（二）建筑—景观一体化设计理念

历史建筑与公共空间构成街区连续体验的重要要素，建筑概念方案需统筹建筑立面、街巷空间、节点广场与绿化布局的整体关系，街区的步行空间与建筑前场区域在尺度、材质、流线衔接

上要自然过渡。建筑前场通过铺装、绿化与街具尺度控制，形成空间递进，避免界面与动线生硬分割，街巷动线结合原有格局来强化街墙连续性与街巷深度感，串联建筑节点与公共活动空间^[5]。节点广场与开敞空间布局结合街区结构演绎，围绕尺度适配、动静分区、视线引导展开，打造活动密度适宜、停留体验丰富的微空间，进而促成建筑保护与景观塑造的深度融合。

（三）从概念设计到施工落地的全过程控制

建筑概念方案构思不仅涉及空间意向表达，还需提前预设深化设计与施工落地阶段的衔接策略，确保历史文化街区保护与更新措施在全周期内具有可执行性。概念构思应同步嵌入测绘信息分析、构造节点细化、材料色彩控制等内容，为施工图阶段的落地操作提供准确依据。施工组织需依据建筑与街巷空间保护优先级合理安排施工顺序，历史建筑修缮与步行空间铺装、节点绿化布局的时序衔接需在概念层面预判，避免现场施工阶段出现界面处理脱节、材料不协调等现象^[6]。全过程中需注重关键节点部位的样板制作与阶段验收机制，以强化对街区整体风貌连续性的保护与精细还原。

（四）文化记忆重塑与街区活力复兴

历史文化街区概念方案构思以激活原有场所精神为核心，重塑具地域特征与情感归属的公共空间体验。历史文化街区承载着传统建筑与传统巷道等文化记忆，这些微场景塑造了街区氛围，构成了居民生活的集体记忆。现状街区风貌呈现了不同节点场所曾经的日常景象，体现了独特的空间肌理与生活节奏。文化记忆重塑以叙事化路径为线索，将传统街巷格局、建筑形态与生活气息融入现代城市语境。建筑细部修缮中强化历史质感，步行空间与节点布局沿历史脉络串联，局部小型绿化与街角公共空间结合地方材料与传统纹样，延续视觉记忆与触觉体验，促使历史文化街区在功能更新中保持文化韵味，形成当代城市生活与历史记忆交融的活力空间。

三、对策 —— 从设计到实施的历史文化街区建筑与景观更新实践路径

（一）分类分级的建筑保护与活化措施

建筑保护依据现状勘察成果进行分类分级管理，根据保存状态与历史价值的不同，对历史文化街区内的建筑、构筑物的保护与整治方式应符合《历史文化名城保护规划标准》《广东省城乡规划条例》《广东省历史建筑 and 传统风貌建筑保护利用工作指引（试行）》的规定。历史建筑采用修缮、维修、改善方式，完整保存建筑采取原貌修复工艺，依据历史档案与现存构件考证结果，恢复外立面砖石砌筑、传统屋面瓦片铺设与木质门窗形制，细部节点如挑檐、滴水线、窗套线脚使用传统工艺手法复原^[7]。在局部受损建筑修缮中，保留原有承重墙体与主要结构框架，结合补强与局部构件更换，如在屋顶修复时使用手工烧制青瓦与传统榫卯木结构，提升建筑整体稳定性。传统风貌建筑的保护与整治的方式采取维修改善。对应历史文化街区内与历史风貌有冲突的其他建筑、构筑物进行整治、拆除。对于保存价值较低或严重损毁的

建筑片段，依据原有街巷尺度、建筑体量与材质关系进行尺度控制更新，内部植入小型文创、商业展示等新兴功能，强化街区整体肌理连续性与历史氛围完整性。

（二）景观系统提升与建筑界面协作

景观空间提升以优化步行体验与重塑节点空间秩序为导向，历史文化街区步行空间铺装宜采用仿古石材与小块石条等传统路面材料结合布局，在保持历史质感基础上提升耐久性和防滑性能。道理宽度、断面、路缘石半径、消防通道的设置局部可拓宽至宽度标准及符合历史风貌分保护要求，整合沿街前场空间，结合建筑退界调整形成连续顺畅的人行体验，对步行道铺装优化、节点空间改造与沿街建筑立面协作后的节点进行效果演示。如节点小广场设置依据街巷交汇节点布置，地面铺装在意调与质地上与周边建筑立面协调统一，铺设图案设计参考历史文化街区传统地面样式，提升空间记忆感。局部设立可移动城市家具，包含长椅、信息标识牌、街角小型植物岛，增强节点停留体验^[8]。建筑界面前场以铺装延伸方式自然过渡至步行道，界面尺度控制在1.2米至1.8米之间，绿化带通过低矮植被形成柔性过渡，街道整体视觉体验与行走节奏连贯统一。

（三）建筑与景观衔接的关键手法

建筑与景观衔接采用渐进式空间过渡设计策略，沿街建筑前场统一设置宽度在1.5米左右的铺装过渡带，与步行主通道保持色系统一但铺装模数细微变化，形成自然分区。安平路永顺区片段铺装实践中，通过石材纹理走向引导行走方向，同时在局部节点处微调铺装密度，丰富视觉节奏感。建筑立面前绿化带设置低矮乡土植物如小叶榄仁与野牡丹，高度控制在0.4米以下，既柔化硬质铺装与立面交界，又避免遮挡建筑细部特征^[9]。节点广场建筑周边结合绿植池与局部镶嵌式铺装，打破硬质边界感，强化出入口与广场活动空间的流动连接。小尺度转角空间设置石材坐凳与单株行道树，坐凳与绿化元素高度控制与街巷尺度协调，材质

选用统一规格天然石材，使建筑与景观在材质、色彩与空间节奏上形成整体一致的过渡体验。

（四）落地阶段全过程技术保障

历史文化街区建筑与景观更新施工阶段采用精细化节点控制与全过程质量追踪机制。概念设计阶段同步建立历史构件保护目录，涵盖外立面构造、门窗细部、山墙节点与挑檐结构，配合深化设计补充精确测绘数据，确保每一项修缮内容具有可量化依据。材料选型实行样板先行机制，外立面砖材、屋面青瓦、步行铺装石材与景观植物均在施工前通过实体样板确认材质、色泽与肌理质感，并形成专项审批流程^[10]。施工组织以街区保护优先级为指导，先行完成核心街段历史建筑修缮，之后依序推进铺装、绿化、节点建设，保证施工期间街区步行动线基本贯通与环境秩序可控。在节点区域与道路交汇广场等施工过程中，首选建筑立面修缮后，再进行景观铺装、地下管线等工程，避免建筑施工过程中破坏地面工程，所有细部交界处按照深化节点图指导施工，现场阶段性验收与即时调整机制确保细部还原效果与初期保护设计一致，保证街区更新后整体风貌连续性与空间体验完整性。

四、结语

文章围绕以历史文化街区保护为导向的建筑概念方案构思，基于本人过往4年内负责的项目中，对现状问题分析提出保护真实性与功能适应性并重的设计取向，构建建筑与景观一体化的空间逻辑，强调从概念到落地全过程的控制策略。实践路径结合建筑保护分级修缮、步行空间与节点景观衔接、前场铺装与立面过渡细化、材料样板与施工阶段联动优化，形成了建筑本体修缮与公共空间提升协同并进的更新模式，为历史文化街区建筑与环境的整体性保护与活化利用提供了可执行性的技术路径。

参考文献

- [1] 翟绿绮. 历史文化街区景观色彩的保护与更新 [J]. 色彩, 2025, (01): 79-81.
- [2] 赵君诚. 建成遗产的保护与再生设计策略探索——以成都市祠堂街历史街区为例 [J]. 美与时代 (城市版), 2025, (01): 23-25.
- [3] 郑嘉贤. 历史文化街区保护开发模式的在地实践 [J]. 福建建设科技, 2024, (06): 23-25.
- [4] 畅真, 程炎豪. 城市化下历史街区的改造规划研究——以新乡市关帝庙历史街区为例 [J]. 绿色科技, 2024, 26(21): 212-216.
- [5] 丁先. 武威市历史文化街区保护建设项目木结构安装技术研究 [J]. 新疆有色金属, 2024, 47(05): 92-93.
- [6] 程颢. 关于历史风貌街区更新与保护的思考和设计实践 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (21): 13-15.
- [7] 黄艳雁, 陶紫茵. 基于多元参与的历史街区保护更新机制研究 [J]. 城市建筑, 2024, 21(13): 55-60.
- [8] 陈国瑞, 王薇. 传统历史街区空间风貌的保护与更新——以泾县厚岸老街为例 [J]. 住宅科技, 2023, 43(06): 7-12.
- [9] 李霜, 左玉翌. 历史文化街区房屋修缮保护研究 [J]. 工业建筑, 2023, 53(S1): 73-77+26.
- [10] 于鑫, 邹赣昌. 集体记忆视角下保护历史文化街区的路径研究——以桂林市为例 [J]. 文化学刊, 2023, (05): 56-59.

智慧城市背景下地下交通枢纽空间整合设计

毛贝娜^{1,2}

1.宁波市建筑设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315000

2.宁波市土木建筑学会, 浙江 宁波 315000

DOI:10.61369/ADA.2025020006

摘 要 : 本文以宁波东部新城中央公园工程为实证, 聚焦地下交通枢纽“功能—交通—环境—智慧”四维整合的设计路径与成效。项目为地下三层结构, 总建筑面积 14.1 万 m², 整合公交枢纽、机动车停车、商业配套及人防功能, 服务宁波东部新城 CBD。通过柱网优化、“小环+大环”交通流线、下沉广场自然采光、智能标识系统及无障碍设计, 解决“停车难、流线乱、环境差”问题。实现地铁—公交—非机动车无缝换乘, 促进周边地块联通便捷性及资源共享, 强化地下交通枢纽与城市肌理的有机融合。为同类项目提供“高效、绿色、人性化”设计范式。

关 键 词 : 地下交通枢纽; 空间整合; 交通优化; 绿色设计; 智慧化

Spatial Integration Design of Underground Transportation Hub under the Background of Smart City

Mao Beina^{1,2}

1.Ningbo Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315000

2.Ningbo Civil Engineering and Architectural Society, Ningbo, Zhejiang 315000

Abstract : Taking the Central Park Project in Ningbo Eastern New City as an empirical case, this paper focuses on the design path and effects of the "function-transportation-environment-intelligence" four-dimensional integration for underground transportation hubs. The project features a three-story underground structure with a total construction area of 141,000 square meters, integrating functions of a bus hub, motor vehicle parking, commercial supporting facilities and civil air defense, and serving the CBD of Ningbo Eastern New City. By means of column grid optimization, the "small loop + large loop" traffic flow pattern, natural lighting through sunken plazas, intelligent signage systems and barrier-free design, the project solves the problems of "difficult parking, chaotic traffic flow and poor environment". It realizes seamless transfer among subways, buses and non-motorized vehicles, enhances the connectivity and resource sharing of surrounding plots, and strengthens the organic integration of the underground transportation hub with the urban fabric. This study provides an "efficient, green and human-oriented" design paradigm for similar projects.

Keywords : underground transportation hub; spatial integration; traffic optimization; green design; intelligentization

引言

随着我国城市化进程不断推进, 土地资源日益紧张, 地下空间的集约化开发与高效利用已成为提升城市综合承载能力的重要途径^[4]。地下交通枢纽作为城市交通网络的关键节点, 其功能复合性与空间整合质量直接影响到城市交通效率与空间品质^[2]。宁波东部新城中央公园工程采用“地面公园+地下三层枢纽”的立体开发模式, 总用地面积 7.4 万 m², 地下建筑面积 14.1 万 m², 是宁波市目前最大的城市公共地下停车库。主要服务周边高端商务办公与城市商业综合体^[3]。面对区域停车供给不足、交通流线交叉干扰、地下空间环境压抑等问题, 本项目以“功能—交通—环境—智慧”四维整合为设计核心, 系统性地实现了空间高效利用与人文生态协同发展^[4]。本文旨在通过该案例的系统解析, 为同类地下交通枢纽提供可借鉴的设计理论与实践经验。

一、地下交通枢纽空间整合的理论基础与设计原则

地下交通枢纽的空间整合设计需依托功能复合理论与绿色建筑理念的双重支撑^[5]。功能复合理论通过垂直分层与水平分区实现空间资源的高效配置,如本项目地下一层布局公交枢纽与商业配套,地下二、三层则集中设置社会停车与人防设施,形成“交通—服务—防护”多功能协同体系。绿色建筑理念则强调资源节约与生态友好,项目通过下沉广场引入自然采光与通风,结合再生水利用系统与高效设备,显著降低运行能耗,提升环境舒适度。在具体设计过程中,应始终坚持“以人为本、高效集约、可持续发展”三大原则。以人为本体体现为无障碍电梯、专用停车位与母婴室等全龄友好设施配置;高效集约则通过结构优化与跨区域通道预留实现空间使用效率的最大化;可持续发展则强调生态技术与被动式设计的应用,如顶板绿化、自然采光与节水系统,以实现长远的环境与经济共赢^[1]。

二、地下交通枢纽空间整合的关键挑战

本项目在设计初期主要面临三方面核心挑战：功能需求的矛盾性、物理环境的局限性以及智慧化水平的不足。在功能方面，中央公园地下空间为城市公共空间，在平面与竖向设计中需要做到不同区域、不同层面、不同功能空间的无障碍联系。公园活动人流、轨道交通人流与公交车流及社会车辆流线交叉存在安全隐患。在环境方面，地下空间封闭依赖人工照明与通风，能耗高且体验差，地铁与公交换乘距离过长；在智慧化方面，传统标识系统导向不清，设备控制缺乏联动机制，导致运营效率低下与管理成本攀升。这些问题的存在非常制约地下枢纽的综合服务能力与城市空间品质的提升。

三、地下交通枢纽空间整合设计策略

（一）功能整合多功能复合布局

功能整合采用“垂直分层+水平联动”的复合布局策略,实现地下空间高效利用。内部功能集约化、内部交通分区化、车库车道分级制、连贯的垂直交通、公交站场地下化。

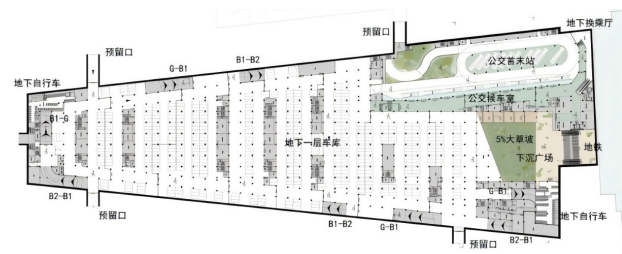


图1 地下一层平面功能布局

垂直分层方面,地下一层以交通换乘与服务功能为主,设置下沉式地下公交首末站、商业配套及非机动车库,形成“换乘-消费-停车”一站式服务体系(见图1)。该层不仅高效集成了公交首末站、商业配套与非机动车库,还通过预留多个地下连接

道实现了与东西侧地块的无缝对接和停车资源共享，为枢纽的区域协同效能提供了基础。

地下二、三层聚焦停车与人防功能，布置社会车库及兼顾等级人防的人防工程，通过平灾结合提升空间利用率。水平联动层面，项目预留5个人行通道与周边地块联通（地下一层3个、二层2个），促进跨区域停车资源共享，强化地下交通枢纽与城市肌理的有机融合。该布局既满足日常交通与服务需求，又通过功能叠加实现空间使用效率最大化。

（二）交通优化：高效流线与空间利用

交通优化通过柱网调整与流线重构实现空间效率与通行安全的协同提升。考虑到项目为超大型地下停车库，社会车流线采用顺时针循环设计，车行流线组织采用“小环+大环”分层模式。主通道宽度设定为8.0m，次通道宽度设定为7.0m，相比普通地下车库通道宽度尺寸适当放大。地下停车库柱网尺寸为9m×8.4m，设计成三跨四排的背靠背停车布局模式，有效提升地下停车效率。公交流线独立设置于河源路东南角出入口，避免与社会车流交叉。人行系统依托公交始末站的地下下沉式广场构建垂直换乘枢纽，尽量将地铁-地面-地下三层的换乘距离缩短。同时，公园景观踏步与绿植墙形成连续导向，提升沿途步行体验感。通过上述措施，项目有效解决了各种流线的冲突问题，同步提升了停车容量与换乘效率。

（三）环境改善：自然与人文融合

物理环境改善通过自然生态技术与人文关怀设计的协同，构建舒适包容的地下空间。自然采光通风方面，项目设置深达两层的中央下沉广场，引入自然光覆盖约30%地下区域；利用开敞式下沉空间实现自然通风，减少机械通风能耗。人文关怀层面，坚持人性化设计，为各种需求的人群提供便捷的公共绿色服务。项目中配置8部无障碍电梯（服务半径小于60m）；几十个邻近垂直电梯的残疾人车位及一处母婴室（含护理台与微波炉）；下沉式广场与室内、地铁与地下空间连通口采用无高差设计，推行无障碍设计。通过自然环境优化与全人群设施配置的结合，项目既降低了长期运维能耗，又满足了不同群体的使用需求，形成“生态-人文”双驱动的地下环境提升路径。

（四）智慧化应用：低技术高成效路径

基础智慧化设计以“低技术高成效”为原则，通过智能标识与节能自动化技术提升运营效率。智能标识系统构建三级引导体系：高位动态屏显实时更新空余车位，中位柱面箭头灯以红绿双色指示流向，低位地面投影在火灾时自动切换疏散路径，综合提升寻路效率40%。节能自动化方面，通风全面采用楼宇设备自动控制系统（BAS），所有通风设备均配以必要的自动控制，实现中央监控智能化管理；照明系统整合光感与时控智能调光，结合再生水冲洗车库（年节水3000m³），使得整体能耗有效降低。上述技术均基于成熟设备与简易控制逻辑。在控制成本的同时，有效解决了传统地下空间标识混乱、能耗浪费等问题，形成可复制

的基础智慧化应用范式。

四、案例成效与设计启示

本项目在实施后取得了显著的技术与经济成效。在空间功效方面，交通流线优化使高峰期车流通过率、轨交与公交换乘效率大幅提高；环境方面，通过地面大片公园植被和下沉空间的自然采光与再生水利用，有效优化区域环境和环保效果，能耗降低约18%。这一案例表明，地下交通枢纽设计应坚持需求导向、技术适度和生态优先三大原则。类似项目可以解决停车与换乘等刚性需求为核心，通过功能复合提升空间价值，结合成熟可靠的智慧技术实现整体品质提升。

五、结论

宁波东部新城中央公园地下枢纽项目通过“功能复合、交通优化、环境改善、基础智慧化”四维整合策略，实现了地下空间从单一停车功能向城市活力节点的转型。项目以14.1万 m^2 地下三层结构为载体，整合公交枢纽、地下公共停车、商业配套及人防功能，通过柱网优化、“小环+大环”流线设计、下沉广场自然采光及智能标识系统等措施，有效解决了停车难、流线乱、环境差等核心问题，形成智慧地下空间的可复制设计范式。未来可探索数字孪生与物联网技术在车位监控、能耗优化中的应用，并深化地下-地面景观一体化设计，进一步增强场所认同感。

参考文献

- [1] 安伟佳, 任同瑞, 郭亮. 交通枢纽导向下的地下空间结构设计研究 [J]. 广东土木与建筑, 2025, 32(01): 71-76.
- [2] 赵晨, 张晴. 地下综合交通枢纽一体化防灾现状综述 [J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(S1): 148-154.
- [3] 翟扬, 李彦潼, 张赫, 等. 基于应急疏散的滨海地下交通枢纽空间精细化分区研究 [J]. 灾害学, 2025, 40(01): 227-234.
- [4] 张笑海, 董建锴, 郝爽, 等. 夏热冬暖地区地下交通枢纽内部环境实测研究 [J]. 暖通空调, 2023, 53(11): 156-163.
- [5] 尹富秋, 孙培翔, 游克思, 等. 地下道路智慧化分级研究综述 [J]. 交通与运输, 2022, 38(02): 67-72.

有关“心灵”领域的空间设计

方崇立

广州城建职业学院, 广东 广州 510900

DOI:10.61369/ADA.2025020009

摘 要： 精神疾病成为阻碍社会发展和人们健康生活方式的沉重包袱；发展精神理疗机构势在必行。后疫时代，休闲娱乐业发展更是举步维艰；引导它们良性发展、健康向上发展很有必要；让精神理疗与娱乐休闲、心里教育相结合；我们大胆提出“心灵净化空间”设计创想，在负起社会责任的同时，实现双赢！

关 键 词： 心里健康；精神理疗；心灵空间；休闲娱乐空间；寓教于乐

Space Design in the Field of Spirituality

Fang Chongli

Guangzhou City Construction College, Guangzhou, Guangdong 510900

Abstract： Mental illness has become a heavy burden that hinders social development and people's healthy lifestyle; it is imperative to develop mental physiotherapy institutions. In the post-epidemic era, the development of the leisure and entertainment industry is even more difficult; it is necessary to guide them to healthy and upward development; to combine mental physiotherapy with entertainment, leisure, and psychological education; we boldly put forward the design idea of "soul purification space", and in charge While fulfilling social responsibility, we can achieve a win-win situation!

Keywords： mental health; mental physiotherapy; spiritual space; leisure and entertainment space; entertainment and education

引言

心灵，人健康之本也；如水木之精华，滋养着人之正常工作、生活、学习、成长，生生不息！不同时代的人儿都无时地充斥着不同的生活矛盾，正在消磨我们精神和意志。加之，后疫情时代和网络时代在不断的改变我们的精神领域；焦虑、烦躁、抑郁症、精神病接踵而来；人不是在年龄的老去，而是在精神的衰亡……

一、提出设计理念

“心灵空间”的设计创新构想，正是填补当前我国“心里健康”咨询业的短板；为“心灵亚健康者”创造一个精神康复的疗养场所，重拾自信与梦想！

我们的设计理念主要从两方面入手：通过查阅相关资料和现实的考察。了解到：大多数“心里健康”者被当成精神病治疗，更多的是药物治疗；“心里咨询”、“心里辅导”的专业机构相对甚少、相对落后；其次利用我们空间设计专业的团队优势，通过对相关专业知识的学习，创造一个“寓教于乐”的集教育、理疗、休闲娱乐三位一体的实验空间；为人民健康和社会创新发展贡献一份社会责任感与力量^[1]。

二、目前国内外研究现状、水平和发展趋势分析

近年来，精神疾病患者人数呈逐年上升趋势。中国精神障碍

人群超2亿，相对应的是从未接受治疗的患者比例高达92%。有调查数据表明，60%以上的精神分裂患者、躁郁症患者会拒绝看医生，或者不遵照医嘱按时按量吃药。精神疾病缺乏科学治疗，除了病患自身缺乏病识感，精神卫生医疗行业的发展也存在不足：另一方面，在精神卫生医院的建设上，我们也还需要改进。

美国在上世纪相继制定了《国民精神卫生法》、《社区精神卫生法》等保障精神障碍患者各项权利的法律条文，并致力于改善精神障碍患者的生活环境和医疗救助制度。国外先进发达国家社会福利条件优越，技术水平和研究水平比较高；具有较高的精神疾病社会保障制度和公费医疗基础；美国在这方面的发展是最完善的。

而国内在这方面现状是短板，主要是集中民营企业的力量；精神疾病保障服务相对短缺，主要集中在：从业人员短缺、心里咨询行业的缺口；目前国家的对外制度是允许外资企业参与进行建设。比照美国一家精神卫生机构的设计，或许我们能从中借鉴先进之处。

作者简介：方崇立（1977—），男，汉族，广东惠来人，本科，广州城建职业学院专任教师，工艺美术师，讲师，研究方向：建筑室内空间设计、餐饮空间设计、公共空间设计、乡村民居设计。

三、概念设计方案的研究

（一）方案的设计构思

我们的研究目标就是利用我们空间设计专业的优势，对相关休闲娱乐场所进行设计改造、产业升级；创造一个“寓教于乐”的集教育、理疗、休闲娱乐三位一体的实验空间；建立心理健康预防和干预平台，亚健康理疗空间。所以，我们研究内容主要从三步走：一、通过熟悉“心里咨询”、“心里辅导”整个医疗的过程，有效的引导我们对空间项目的进行组织；二、对有关康体娱乐中心的研究，通过合理的改造升级，把它引纳到我们的项目中来；三、对相关心理咨询业的业务管理以及空间设计项目进行研究。

由于前面的设计工作的投入，我们的研究方案具体如下：项目计划用“解梦”“追梦”“圆梦”的三大计划进行空间特色项目设计的。

通过“解梦”诊断患者需要进行的训练计划，这里我们需要设计“解梦空间”；通过与各类俱乐部、康体中心营业体合作，创造一个亚健康康复中心；创造多种休闲、娱乐空间，空间的主体；“追梦人”可以通过发泄、暴击、唱K、呐喊、诅咒、喝酒、劳动、游戏、书画、艺术等有趣形式的训练，使患者告别心理健康问题；这里我们需要进行“追梦空间”设计。最后通过引进公益栏目，引领患者实现梦想（“圆梦”）。当然，也为疫后时代的康体娱乐行业不景气的商业景象注入了发展动力；这里我们需要设计一项“圆梦平台”！

（二）方案的设计目标

1. 提高经济效益，有利于增强企业的市场竞争力

经济的高速发展，催生了快节奏的生活方式，随之而来的问题是社会成员的心理压力倍增；物质文化需求的不断增长，加速了精神医疗方面的细化及发展速度。

反观休闲娱乐业的发展。因在疫情期间许多企业无法正常运营，继而导致各大企业没有收入来源，例如餐饮企业限制客源、歌舞厅和KTV客流量下滑加剧，企业发展举步维艰。人们的生活理论逐步回归生态养生和精神品质；发展精神理疗业大有可为。

同时，发展精神理疗机构需要大面积的场地和休闲娱乐设施；精神理疗业和休闲娱乐行业可以强强联手，达到双赢；从而提高经济效益，增强企业的市场竞争力。对休闲娱乐行业深度调研及市场前景分析，为投资者进行投资作出精神理疗行业前景预判，挖掘精神理疗行业投资价值，同时提出精神理疗行业投资策略、营销策略等方面的建议。

2. 以娱乐的名义保护“患者”的个人尊严

全国的心理病患者庞大，但真正医院治疗的不到30%；除经济因素外，更多考虑的是自尊心；因此，空间的形象设计应该打破医院的形象；而更多体现的是休闲康乐空间概念。

空间设计体现在提高效益且增强企业的市场竞争力的同时，能够同时解压及释放给这些患有心理疾病的人群创造解压地方，即娱乐企业——KTV、健身房等，这些地方能够有效的帮助患有心理疾病的人群很好的释放压力，在娱乐的同时也能够做到保护“患者”的个人尊严^[2]。

3. 创建一个“寓教于乐”三位一体的实验空间

合并康体中心、疗养院、健身房、社区医院等利用我们团队自身的结构与资源，创造一个集教育、理疗、休闲娱乐三位一体

的实验空间，为人民健康和社会创新发展贡献一份社会责任感与力量！服务内容包括青少年自闭症、成人急性精神病学、成人精神病学重症监护、神经认知障碍，及针对儿童和青少年的心理医学项目。

作为长期性的心理健康护理机构，我们将医院环境设计纳入中心的一部分。舒缓的疗愈感从医院外墙设计开始：“蓝+白+灰”3种色彩搭配，瞬间想到了微风轻拂的海岸，平静放松。我们设计团队还把树木啊、草地啊，还有长角鹿、瓢虫这些可爱的小动物都搬进空间，将理疗机构打造成一片奇幻森林。艺术体验室的画具有直观的视觉效果，理疗中心的这些环境图形还被用心地设计成各种形式，比如摄影图集、图画壁纸、手绘水彩插画，看上去超可爱超治愈！

4. 实现全套服务体系，能够更多的容纳“心理患者”

设计从关爱和尊重出发，尽量保证患者安全的基础上，美化患者活动的环境。空间设计中患者活动区域相对较少，单个空间小，这就需要我们考虑用特殊的设计理念和手法改变这一问题，我们在空间规划中，将康复区放在中部，重症监护放在护理站旁边，方便护士对重患者做到时时护理，病人活动室构建在护理站对面，有利护理师、医生随时观察患者的活动情况。在我们的设计中，男女病房是分层设置，做到既有针对性又方便管理。机构中心设置集中活动区，为患者提供更宽阔的休闲活动空间，其中包括形体、书法、美术、唱K、发泄、康复等功能区；理疗中心设计了户外活动空间，包括室外野餐区，以及屋顶有围栏保护的儿童游乐场，通过积极的社交关系促进患者的精神康复。我们尽力将患者医疗环境设计成生态花园，帮助患者在自然阳光中接受快乐治疗^[3]。



四、空间概念的成果展示

（一）设计成果展示

“心灵空间”的艺术形态，取决于娱乐休闲空间与精神理疗空间的一切商业行为、生活行为的优势。在上述的行为分析中，人不仅是健康理疗的主体，还是休闲生活的主体。随着消费、生活水平的提高，他们的生活质量变得空前强大，他们需要自我设计，把自我设计作为生活的一部分，正所谓自我满足，让休闲的精神状态服务于工作；保持充沛的工作活力，就必修要有良好的精神状态。因此，他们需要不断的为自己解压，充电。这就需要建立工作之外的生活桥梁^[4]。

设计强调了“公开性和透明度”。在使患者在进行每一个医疗环节的同时，也得到了隐私保护。对娱乐中心的改造，包括中层的理疗中心和护理室；较低楼层的咨询部。中心坐落在人流密集的市区，整个计划的重点就是要在空间的公共娱乐大厅改造成一个项目理疗中心。为患者提供了一个体验、发泄、休闲、玩耍的乐园。空间格局开敞、隔而不断，有利于光线和空气的进入。

中庭与不同的理疗部门相连，设计成半球状，不但使看病更加方便，还使得建筑更有特点。该计划侧重于合理的理疗体验路线，体现出了病人和工作人员的相互理解，创造了一个安静的环境。整个大厅空间明净洁白，白色代表稳定和安全，心境平和；会让人联想到自己的家。空间的交互设计设计和连续性的组合，使空间更富有弹性的活动空间；隔而不断、井然有序；减少理疗机构所需的庞大机构，大量机器设备，节省工作流程、效率。

在对休闲娱乐空间的改造上，强调空间高效的动线设计。同时避规尖锐的造型实体设计，还应对色彩的心理效应作进一步的深入研究。例如对环境图形的装饰、色彩的运用：湖水蓝的柔和，那橘黄色的积极，还有原木色的自然，合奏出宁静空间的意境之歌。

空间的细节处理上，配备的医疗家具也应具有个性的张扬，例如：儿童门诊区的圆几和沙发椅是童趣的，而病房层活动区域以家庭为单位进行家具陈设。无论是患者还是家属，在医院里都能感觉到方便、自在，以及被支持。透过这些医院设计的细节，不难体会该中心“以人为本”的服务准则。诊疗室内部的设计也在鼓励人们去体会生活的美好：透过窗户迎接洒进来的日光，从边柜里拿出一本书来看看，家人或朋友来探望，可以坐在沙发凳上随意闲聊。在这里，哪怕只是一个人发呆也是安全而放松的。

“心灵空间”的设计成果正是展现了该生活新理念的核心：无论从企业内部的经营模式还是生活与理疗之间都有较高的工作协调和井然有序分工协作能力，这在设计中就需要缩短精神咨询与精神理疗过程的间隔（时间间隔和空间间隔），而解决这一问题需要借助于专业的精神理疗技术，转化精神理疗过程为休闲娱乐教育过程。网速科技的不断更迭使得图象和影视传播更加高速，使患者身临其境，提升精神理疗的品质生活和治疗效果；这一切都为我们提升了理疗空间的艺术创造动力和空间的视觉效果^[5]。



空间改造与概念设计

“心灵空间”将以人性为本，不仅解决了病者与医生的治疗过程，它还引导和改变人们的新生活方式。在应对将来各种病毒横行、娱乐场所经营日下，社会扫黑除恶的新环境下，“心灵空间”的概念设计无非也是一次娱乐休闲空间的升级改造和健康良性的发展，为目前我国精神病治疗资源短缺注入了一方造血功能；为它们的高速发展拉近人与人之间的距离。而对于空间艺术性而言，后现代的设计理念和人文关怀，早已为“心灵空间”设

计的理论首选；更加安全性、人性化和亲切感在空间的设计中都得到一一的呈现。

（二）企业内外运营展示

“心灵空间”的设计取决于设计师的创造力和商业运营模式上；各企业之间的资源整合“心灵空间”的行为主体，体现于他们的企业管理和企业运作模式上。

首先，在广泛性焦虑障碍的治疗中，基于VR的正念疗法和解释的认知偏差修正疗法显著改善患者焦虑、抑郁、正念、情绪调节水平以及感官意识，提高依从性；增加患者对事件正面解释的认可，减少负面解释，降低状态焦虑和对应激源情绪。在社交焦虑障碍的治疗中，能有效减少了患者抑郁、焦虑和偏执，提高生活质量。VR社交场景中没有认知成分的言语互动有效减少了患者的焦虑和回避，会通过增加患者在虚拟环境中的存在进一步提高治疗效果。正如研究发现患者在与他人的积极对话中存在眼神交流，而在冲突对话中一旦担心拒绝被激活，就会减少眼神交流，并且这种影响会持续到最终的对话中。在特定恐惧的治疗中，当患者暴露在其恐惧对象相关的场景中时，其恐惧和回避症状得到了有效缓解，且疗效与实景暴露和增强现实暴露相似。

其次，企业管理者要提高自身的管理素质，增强塑造品牌形象的意识，把品牌形象塑造作为企业的优先课题，作为企业发展的战略性问题，要把企业的经营理念反映在品牌形象上。“解梦空间”模块、“追梦空间”模块和“圆梦空间”模块这三大模块之间还需做好咨询空间与体验康复空间的配合，建立起病人与医生的协调沟通。通过“心灵净化空间”这种互动体验加强与消费者的认知和全面心理健康新生活方式。

总之“心灵空间”是后精神理疗的发展新领域，体现了精神理疗空间的新设计理念，提高了精神理疗水平和人们的生活质量。它的出现是商业理疗空间设计史上亮丽的又一笔，推动了经济的新一轮发展方向。

五、结语

历史不可谏，来者犹可追。后疫时代，世界各国都在积极调整自己的经济结构；医疗、养老与健康是后疫时代经济发展战略之一。“心灵空间”概念设计，精神理疗、教育、休闲娱乐三者的统一资源联合，将扮演推广者及催生原创者的角色，必然在中国新精神理疗领域独树一帜，使精神理疗进入后现代生活的新时尚。跃升为一个以全面精神健康、生活与工作为主导的“心灵净化空间”，赢得光明与未来！

参考文献

- [1] 李纾. 环境心理学视角下的疗愈空间特征及其对心理恢复的影响[J]. 心理学报, 2020, 52(8): 987-1001.
- [2] 梁宁建. 基于感知与行为的健康空间设计心理学研究[J]. 心理科学, 2021, 44(2): 345-356.
- [3] 李建明. 物理环境对焦虑及抑郁情绪的干预效应研究[J]. 中国健康心理学杂志, 2020, 28(5): 641-647.
- [4] 朱宝荣. 应用心理学在公共空间设计中的实践与发展[J]. 应用心理学, 2018, 24(3): 215-226.
- [5] (德) 贝克尔, (德) 莫伊泽, 诊所规划设计手册[M]. Wang S, 译. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2010.

基于数智融合的乡村公共文化空间设计研究

林立, 包佳承

长春理工大学, 吉林 长春 130022

DOI:10.61369/ADA.2025020015

摘 要： 在“第四次工业革命”的时代背景下，数字技术和人工智能在彰显空间主题、营造空间氛围方面展示出了与过往传统材料与众不同的新优势，如何把握科技与空间融合尺度更好展现乡土个性，增强人与空间的互动沟通为当下乡村公共文化空间的阶段升级提出新思路。本文以新技术要素和人文特征作为空间设计特征的首要内核，依据动态适配性、沉浸互动性以及间断融合性原则提出以数智化适配乡村文化空间的设计方法，以期为乡村空间设计工作提供新方向。

关 键 词： 数智化；乡村公共文化空间；融合创新

Research on the Design of Rural Public Cultural Spaces Based on Digital-Intelligence Integration

Lin Li, Bao Jiacheng

Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022

Abstract： Research on Designing Digital-Intelligent Integrated Rural Public Cultural Spaces by Lin Li and Bao Jiacheng, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022 Abstract: In the context of the "Fourth Industrial Revolution", digital technologies and artificial intelligence have demonstrated unique advantages over traditional materials in highlighting spatial themes and creating atmospheres. This study explores how to balance technological integration with spatial expression to better showcase rural characteristics and enhance human-environment interaction, offering new perspectives for upgrading rural public cultural spaces. By prioritizing technological elements and humanistic features as core design principles, this paper proposes a digital-intelligent adaptation methodology for rural cultural spaces based on dynamic adaptability, immersive interactivity, and discontinuous integration. The research aims to provide innovative directions for rural spatial design practices.

Keywords： digital intelligence; rural public cultural space; integrated innovation

引言

根据2023年《国家统计局关于修订2023年国内生产总值数据公告》显示，我国生产总值已超129万亿，GDP总量排名第二，世界第二大经济体实至名归。在目前的国际背景下，我国经济结构持续向优，。此外，我国已经将文化传承提高到了重要战略地位，构建互联网、数据要素与文化空间之间形成水乳交融的新形态对具象乡土文化特征并使其在新时代的浪潮下得以脱颖而出具有积极倍增作用。乡村文化公共空间作为扎根一线的文化传播主阵地，应该以开放包容的态度接纳新技术和新思想，展现出更适合现代审美品味的空间内容。

一、相关概念辨析

（一）数智化

数智化是由数至智，因数而智，是信息社会向智能社会过渡过程中，数字化与智能化并行发展的新阶段^[1]。数智化的最突出表现就是希望能够将现有数据模型与人工智能、AI技术和物联网等新型科技产物相互结合，达到“1+1大于N”的效果。当前我

国生产要素和科学技术正处于快速迭代时期，如何在数据洪流中以互联网和人工智能新技术介入乡村空间要素推动其稳步发展建设、如何更好发挥数智融合锚的有力效用成为新的时代课题。

（二）乡村公共文化空间

乡村公共空间所指的是村庄中为村民提供进行常态化生活互动与活动、娱乐休闲、行政机构运行等种种活动所需要借助的空间载体。这些空间不仅承担了日常生活的功能，同时也是村民社

作者简介：

林立（1979.04—），女，汉族，党员，吉林长春人，硕士研究生，副教授，文学院副院长，环境设计专业，就职于长春理工大学；

包佳承（2000.10—），男，汉族，共青团员，河北沧州人，硕士研究生，环境设计专业。

交、娱乐和信息传播的重要场所^[2]。乡村公共文化空间是直观展现区域特征、乡村文化、乡土情怀的重要场所，暗含了不同社群所长期沉淀出的“共通语言”，因此向这类空间的设计需要能够提取转换在地乡土文化信息资源并以合理设计方法将其转换为能够为村民所能直接感受和触感的具象构成，通过空间场地的原生交流彰显在地要素，以更好维系社群共通的精神需要。

二、数智融合与乡村公共文化空间的适配性

（一）数智融合助力乡村文化公共空间形态新发展

数智赋能改变了传统农业农村发展的思维和模式，为新农村建设发展注入了前所未有的动能^[3]。数智化依托大数据、物联网、人工智能等现代技术为文化空间同人为互动沟通模式提供新路径。过去传统乡村公共文化空间设计的氛围营造主要依托足材质选择、陈设搭配、建筑结构，尺度把握完全取决于设计师个人判断。而数智技术作为新型科技产物，更多的是技术的迭代升级，不仅打破原有设计工艺的技术壁垒，更为设计师的创新思维能够有效落地提供理性数据。其在空间互动上不仅为结构创新提供更多思路，也在于立足多媒体和数据优势精准把握用户需求，对于主题性文化空间可以采用虚实场景结合增添场所趣味性。

（二）乡村文化公共空间凸显数智融合表现新优势

现如今，村民参与意识和参与能力得到了较大幅度的提升，为数字技术在村庄公共空间规划中的应用开展提供了新的机遇^[4]，为乡村公共空间设计创造新模式提供了新契机。当下文化空间设计不在于仅仅思考如何有效划分动线分隔人流或考虑照明展现藏品，也在向通过交互设计来打破物理限制，实现空间与人的对话方向延展，观众在当今信息爆炸的时代期望通过多感官、多层次的手段去理解展览内容。数字化技术能够通过增强现实、虚拟现实、多点触控等方式，打破传统展示的物理局限，使得虚拟与现实相结合的展陈方式成为趋势^[5]，这种暗含的设计诉求也为此类空间接受数智辅助提供了契机，乡村文化公共空间为数智技术在新时代彰显新鲜活力提供了广阔平台，助力其以技术优势传递文化精神。

三、数智融合下的乡村公共文化空间设计原则

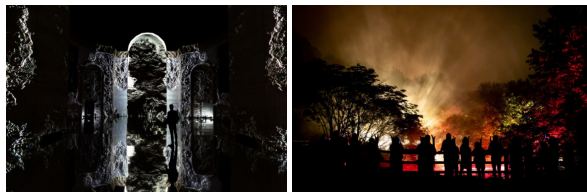
（一）动态适配性

数智时代以数据为核心，数据的产生、收集和分析使人们得以洞察潜在的趋势、捕捉市场的脉搏^[6]。以数智技术介入乡村公共空间设计意在以一种不断与时俱进的动态构成活化静态的物质文化载体，设计过程是不断运动的，意在帮助当地村民思维感知空间立场来维持场地有效性。其可以体现在通过三维模型解构乡土文化造型，发挥数据优势收集大众认同的符号元素，利用底层代码通过编辑罗列、叠加、扭转等方式创造出暗含意象思维的立体构成，存在于“似与不似”之间。

（二）沉浸互动性

空间传递情感需要依附于个体媒介来实现，媒体的发展大致

经历了语言媒体、文字媒体、印刷媒体和数字媒体四个阶段，在数字时代的今天，正是基于沉浸式新媒体传播的媒介^[7]，才让数智技术在空间设计中得以发展运用。这种沉浸观感集中体现在通过空间路径引导创设叙事序列、过渡空间设计互动装置增添趣味、创设视觉锚点强化场地主题等。如 Moment Factory 与意大利餐厅 Cipriani 合作的 SuperReal 视觉艺术展通过运用全息影像、交互视觉、灯光和布景等技术搭建了5个不同的场景，模糊了虚拟和现实空间，强化了视觉感受（如图2.5）。



2.5 SuperReal 视觉艺术展 来源：百度百科

2.5 阿寒湖森林灯光秀 来源：百度百科

（三）间断融合性

数智融合在空间设计中的应用涵义不以侵占主体为导向，乡村文化空间区别于常规的展厅主题性空间，强调文化因素是这类空间设计的首要前提，这就要明确设计师需平衡两者之间的内在联系，秉持最小干预原则，在空间设计上以在地文化转换为主题，通过技术营造视觉焦点；或通过展陈方式和立体装置创设叙事序列，构建线性空间传递情感方式。当展示空间具备连续性和整体性时，可以给参观者提供更加流畅的参观体验^[8]。

四、数智融合下的乡村公共文化空间设计方法

（一）活化空间平面立面，赋予空间流动体验

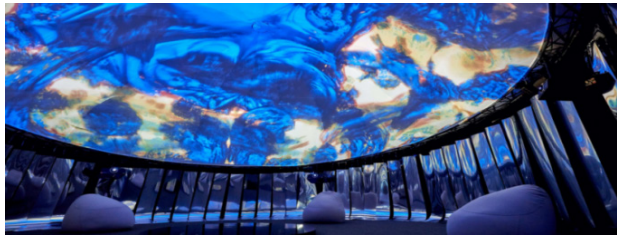
乡村公共文化空间设计创设的首要前提是尊重在地文化的多元化和独特性，其次在有限的技术和条件范围内衬托其寓教于乐的二级属性，更好的为大众所接受所认同。空间平面和立面是直观展示场地特征的首要因素，构建平面和立面与乡土文化外延的或暗含的联结关系，是形塑公共文化空间的关键。发挥数智融合优势，推动空间动态适配文化功能以增强空间趣味性，可以表现在创设空间形成可变平面，利用灯光、声音、视频影像投影等方式影响观者视听五感，呼应空间文化主题，依据不同视觉呈象打造不同空间领域，通过数字界面把室内一个较大的空间划分成若干个小的空间以及把若干小的空间融合成为一个大的使用空间，实现空间的分割与融合^[9]（如图4.1）。或也可通过形成虚拟隔断做到划分空间网格，做到路径分流，使空间设计突破原有依靠物质硬性分隔的局限性，提供多种空间动线，也可依据数智技术营造响应式建筑立面以展现文化资源或立面构成影像，赋予建筑生命感，丰富建筑空间的视觉表现（如图4.2）。



4.1 TeamLab 无界美术馆 来源：百度百科 4.2 拉斯维加斯 “MSG Sphere”
来源：百度百科

（二）嵌入感官交互装置，打造沉浸心流场域

数智技术在空间设计中呈现的创新优势就是通过附着现代载体突破过去由建筑形态、结构等传统设计手法搭配调和空间氛围和精神的局限性，以整合现有技术配合大数据收集来聚焦和延伸观者的视、听、触、嗅，搭建观者与空间共振的沉浸场域，帮助空间同观者的对话交流，模糊虚拟与现实的明确界限，使观者全身心投入文化空间营造的叙事环境。这其中的设计方法可以通过某个独立的多媒体装置来实现，也可以通过多个不同装置分别针对不同感官来完成，如在视觉上利用投影融合技术打破天花板上顶天和地板下顶地的空间包围感，打造无边界的巨幕影像（如图4.3），配合三维空间音效营造精准的声场环境。在游览过程中，通过新媒体技术与场景、灯光设计相结合，可以创造一种与展示内容所对应的时空感，将参观者带入一个丰富的文化之旅^[10]，能够使观者能够设身处地感受空间表达内容，强化公共文化空间精神属性，达到既定传播传承目的。



4.3 球幕全息影院 来源：百度百科

（三）强化过渡空间导向，紧密空间审美节奏

过渡空间是指在空间整体构造中不具备指定功能的空闲场地，其最主要的作用是衔接两个不同性质功能的中介区域，是介于室内和室外之间的流动空间。在乡村公共文化空间的部分设计过程中往往忽视了过渡空间的重要作用，割裂了空间的主题性，存在设计“断点”。而提升过渡空间设计的重要性有助于整合空间整体叙事主题，通过不同的设计手法把握好“转、平、始、承、终”的空间节奏，配合数智技术创造不同具有观赏性的景观节点，如通过音视频虚化流水印象使观者平复心情，或依靠香氛系统使观者产生联想记忆，做好情绪预备。数智技术在强化过渡空间设计方面不仅可以帮助观者先行提供目标区域的心理暗示，还可以能够提升整个空间的审美价值和主体导向。

五、总结

乡村建筑、乡风乡俗都是乡村文化信息资源的重要组成部分，也是维系村落价值取向和有序运行的重要载体，乡村公共文化空间作为“讲故事的人”，自然应挑起文化传承的大旗。乡村文化公共空间形成有地域特色、可辨别的发展模式需要在长期渐进过程中不断汲取新生力量并转换为主体能动资本。现行“数智化”产业应用范围越来越广，其也为乡村提供大量可借鉴参考范本。乡村产业转型升级和文化传播传承需要把握这一契机，在尊重当地实际的基础之上接纳新型实践方式，通过适应性改造实现文化科技的有机融合，以“针灸式”介入实现科技与传统的共生共荣。

参考文献

- [1] 张建峰, 肖利华, 李道亮著. 数智驱动乡村振兴 [M]. 电子工业出版社, 2022: 35.
- [2] 刘亮廷. 装置艺术在乡村公共空间中的在地性研究 [D]. 山东工艺美术学院, 2024.
- [3] 王万江. “数智”赋能融入乡村振兴发展的路径研究 [J]. 长春大学学报, 2024, 34(09): 1-5.
- [4] 钟玉华. 数智化背景下村民参与村庄公共空间规划技术方法研究 [D]. 浙江工商大学, 2023.
- [5] 蔚薇. 数智化在展陈空间的视觉体验和美学设计中的运用分析 [J]. 产品设计, 2024(2): 34-37.
- [6] 宁琳琳. 基于数智时代的幼儿园空间设计策略研究 [J]. 鞋类工艺与设计, 2024(19): 105-107.
- [7] 罗娟. 沉浸式新媒体艺术视域下的互动体验性展示空间设计探索与实践 [D]. 云南艺术学院, 2018.
- [8] 吴宇雄. 基于沉浸理论的展示空间设计研究——以黄鹤楼文化展厅为例 [D]. 湖北: 武汉工程大学, 2024.
- [9] 芮铭达. 基于室内空间可变性的苏州保障性住房模块化设计策略研究 [D]. 江苏: 苏州大学, 2022.
- [10] 任辰怡. 基于沉浸式体验视角下葡萄酒文化展示空间设计研究 [D]. 上海: 东华大学, 2022.

解析人性化理念在当代风景园林设计中的运用

何晓桐

广州市城建规划设计院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020018

摘 要： 文章阐释了城市更新改造背景下人性化设计应遵循的多元融合与地域共生、历史文脉传承及整体系统性三大核心原则。进而，深入剖析了当前城市更新改造中存在的设计趋同、原创性缺失及专业素养不足等突出问题。为应对这些挑战，文章从明确设计目标、统筹总体布局到细化分段设计，构建了一套层次分明的策略体系，强调通过设计哲学的内化、公共服务设施的精细化配置，最终创造出既能满足现代功能需求，又富含地域特色与文化认同的高品质景观环境。

关 键 词： 人性化理念；当代风景园林设计；运用

Analyzing the Application of Humanized Concepts in Contemporary Landscape Architecture Design

He Xiaotong

Guangzhou Urban Construction Planning and Design Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper elucidates three core principles that human-centered design should adhere to in the context of urban renewal: multi-dimensional integration and regional symbiosis, preservation of historical context, and holistic systemic approach. It further analyzes prominent issues in current urban renewal projects, including design homogenization, lack of originality, and insufficient professional expertise. To address these challenges, the paper constructs a tiered strategy system—from defining design objectives and coordinating overall layouts to refining segmented designs—emphasizing the internalization of design philosophy and the meticulous allocation of public service facilities. This approach ultimately creates high-quality landscape environments that satisfy modern functional demands while embodying regional characteristics and cultural identity.

Keywords： human-centered philosophy; contemporary landscape architecture design; application

引言

随着社会经济发展与居民生活水平的显著提升，人们对城市更新改造中的风景园林期望已超越了基本的绿化与游憩功能，转向对精神满足、文化认同与个性化体验的更高层次追求。要求设计不仅关注形式美感，更需深度回应人的行为模式、情感需求及地域文脉。然而，在实践中，我国城市更新改造中的风景园林设计仍面临着特色匮乏、设计失语等多重挑战。

一、人性化设计在城市更新改造风景园林设计中的应用原则

（一）多元融合与地域特征的协调共生

随着城市更新改造的深入推进与居民生活质量的显著提高，人们对园林景观环境的期待已不再局限于基础功能，而是更加注重其精神层面的满足与个性化表达。在当前的行业环境中，如何在国际化潮流中保持本土文化的独立性与识别度，成为城市更新改造中值得深入探讨的课题。设计者需要在吸收外来优秀理念的同时，坚守地域文化根基，通过提炼具有代表性的本土符号、材料与工艺，构建既具开放视野又不失地方韵味的设计语汇。通过在地文化与现代设计手法的有机结合，最终在城市更新改造中形

成兼具时代感与地域认同的创新型景观风貌，实现多元文化与地域特征的有机统一与协调共生。

（二）在时代发展中传承历史文化

现代城市更新改造的建设与发展，与园林景观的规划营造密不可分。优秀的风景园林不仅是城市更新改造的绿色基础设施，更是推动城市空间品质升级、促进社会和谐的重要载体。从这个角度看，城市更新改造中园林景观的演进与城市化步伐实则是协同并进、相辅相成的统一体，二者共同塑造着城市的未来图景。设计应致力于在空间中巧妙地讲述地方故事，使深厚的历史文化底蕴与鲜明的现代审美同频共振。最终目标是让园林景观不仅作为使用功能的载体，更能成为连接过去与未来的桥梁，既传承了集体记忆与文化基因，也生动地展现着当代城市更新改造的精神

风貌与创新活力^[1]。

（三）在统一主题下构建景观秩序

在城市更新改造的景观设计实践中，系统性思维要求所有构成元素必须服务于一个明确且统一的经营理念，以此保障空间视觉与功能体验的连贯性。城市更新改造项目应注重景观空间布局的整体协调性，通过合理的功能分区和流线组织，构建清晰的景观秩序。在老旧小区改造中，尤其需要强化景观空间配套的系统性规划，确保公共空间、活动场地、休闲设施等要素在统一主题下形成有机整体，提升场地的整体性和识别度。

二、城市更新改造风景园林设计现状

（一）设计趋同与特色匮乏

当前，在我国城市更新改造的风景园林建设中，一个突出的问题是景观面貌的趋同化与个性化表达的缺失。目前许多城市更新改造项目中的园林设计在风格与形式上呈现出高度相似性，缺乏能够体现本地气质的独特印记。这种“千区一面”的现象，在老旧小区改造中尤为明显，使得建成环境与市民日益增长的个性化审美需求之间产生了显著落差，导致公众对景观作品的认同感与满意度普遍不高，园林本应承载的社会与文化效益也因此难以充分实现。究其根源，在于城市更新改造项目规划设计过程中，往往过度聚焦于宏观的城市形象宣传功能，或是片面追求某种标志性的视觉符号，而未能深入考量在地居民的真实使用需求与情感连接^[2]。

（二）原创性式微与设计失语

当前，我国大量城市更新改造景观项目呈现出显著的原创性匮乏问题，设计语言单调重复，导致城市空间面貌趋于同质化，难以唤起市民的审美共鸣，甚至引发视觉与心理上的倦怠感。这一困境的根源是多方面的。从历史维度看，我国现代风景园林学科与实践起步相对较晚，尚未构建起一套成熟、系统且富有文化适应性的设计理论体系。在此背景下，城市更新改造中的许多设计者为追求所谓的“现代感”与“国际范式”，往往倾向于直接移植和模仿国外的设计风格与符号。这种“拿来主义”使得设计过程简化，却不可避免地忽视了对本土人文脉络与市民实际需求的深度考量，最终导致建成的景观与当地文化语境产生隔阂，显得格格不入。

（三）专业素养缺失与设计僵化

在城市更新改造的规划与设计流程中，确立一个统领全局的核心风格是首要的专业步骤。其理想目标是在统一的主题框架下，对不同区域进行富有创意的差异化演绎，从而在保证整体协调的同时，营造出丰富而富有深度的空间体验。然而在实践中，部分设计人员对这一核心理念存在认知偏差，片面地将“风格统一”等同于“形态单一”。这种误解直接导致了设计手法的僵化，在老旧小区改造规划过程中未能充分考虑儿童、长者、家庭等不同使用群体的多样化需求，也缺乏对场地特有地形、水文与植被等自然条件的巧妙利用。最终形成的景观空间往往流于平淡，功能单一，缺乏必要的叙事节奏与情感张力，其呈现效果自然难以

获得公众的认可，导致建成后的使用满意度普遍偏低。当城市更新改造方案过分追求短期的经济指标，便会倾向于压缩必要的设计投入与高品质材料的使用。这种“为成本论”的导向，使得景观元素的应用极为俭省，社会服务、生态效益及人文关怀等核心公共功能被严重弱化^[3]。

三、城市更新改造中人性化理念运用的策略

（一）明确设计目标

1. 设计哲学的内化融合

城市更新项目在启动风景园林设计时，首要任务是确立其核心定位与整体风格导向。要求设计者具备前瞻性的动态视野，充分认识到城市面貌始终处于持续演进之中。因此，城市更新改造中的景观规划不应是一次性的静态蓝图，而须具备足够的弹性，能够积极整合并优化城市中各类资源，特别是对陆地肌理与蓝色水系进行系统性统筹。通过这种整合设计，强化地域自然特征的表达，营造出更具生命力的生态基底，为构建可持续的城市环境奠定基础。其次，设计应致力于营造开放与共享的公共领域。这种融合不是生硬的功能叠加，而是让人性化的关怀在景观体验中自然流露，从而在本质上强化园林空间的人文属性与亲和力。

2. 系统性设计策略的构建路径

为确保城市更新改造中的风景园林在空间结构与美学表达上达到统一性与丰富性的平衡，设计实践必须将人性化理念转化为可执行的具体方案。这要求设计者遵循整体协调、文脉延续、空间差异及亲水自然等一系列核心原则，构建起一套系统、科学且具备可操作性的设计策略框架。城市更新改造设计团队需全面调研城市近期的规划方向与建设动态，深刻理解城市发展的宏观目标与功能需求。基于此，才能为园林项目确立精准的风格定位，使其不仅能融入城市肌理，更能积极塑造独特的城市品牌形象，最终在提升环境质量的同时，强化公众的城市认同感。深入的前期公众调研是不可或缺的环节。应采用定量与定性相结合的方法，如结构化问卷、深度访谈等，广泛收集不同市民群体对园林景观的功能期待、审美偏好与改进建议。通过对这些一手资料的整合分析，可以精准描绘出使用者的真实需求画像，为设计提供关键依据。对城市更新改造项目场地进行详尽的实地踏勘至关重要。勘察内容需涵盖场地的地形特征、地质条件、水文状况、既有植被以及周边建成环境等各类要素，从而全面掌握基地的客观条件与潜在约束^[4]。

（二）园林总体设计

1. 人文导向的景观空间规划

在人性化设计理念的指导下，城市更新改造中的风景园林总体规划与空间布局应始终将人的体验置于核心地位，着力营造具有人文关怀的场所精神。这意味着设计需要超越单纯的绿化装饰，转而构建能够回应人们行为模式与情感需求的景观区域。为增强场地活力并呼应区域发展需求，城市更新改造规划中应重视引入多样化的参与式与体验型活动空间。通过将生态植被、艺术景观与人的互动行为有机融合，不仅能激活场地的社交与休闲功

能,更能深度诠释园林所承载的文化价值与生态智慧,使其内在魅力得以充分展现。这包括但不限于构建层次清晰的视觉景观序列,规划安全便捷的慢行交通流线,以及设置容量合理、布局科学的停车与服务区域。

2. 服务设施的系统化配置

在城市更新改造风景园林设计中贯彻人性化理念,离不开一套完善且布局合理的公共服务设施体系作为支撑。这些设施的配置水平与规划逻辑,直接决定了景观空间的实际服务能力与公众的使用满意度。设计人员必须从使用者视角出发,充分考虑不同年龄、能力及出行目的群体的多元需求,紧密结合场地的地形特征与功能分区,对各类基础设施进行系统性布局。这涵盖了卫生设施(如洗手间)、停车系统、康体活动区、静态休憩节点以及各类户外活动装置等。通过科学规划,确保这些设施既能满足基础功能,又能与环境和谐共生,共同提升园林的整体服务品质。这种配置不仅高效应对了私家车、旅游巴士等不同车型的停靠需求,也为携带儿童的家庭、无障碍车辆等提供了便利,从细节处彰显了设计对各类使用者实际诉求的周到考量。

(三) 园林分段设计

1. 滨水廊道的生态化设计挑战

在人性化理念的引导下,城市更新改造中的滨水路段设计呈现出较高的复杂性。其核心挑战在于如何实现自然水域生态系统与人工水岸景观空间的有机衔接,同时还需审慎权衡该区域的自然资源承载能力。任何考虑不周的设计都可能引发滩涂退化或岸线侵蚀等生态问题,对场地可持续性造成长远影响。回顾城市更新改造既有项目经验可以发现,滨水路段建成后若缺乏与生态系统相适应的维护策略,极易出现路基损毁、护岸结构失效或植被群落衰退等现象。这些问题不仅增加了后期管护成本,更导致自然生态效益难以充分发挥,最终使设计愿景大打折扣。为确保城市更新改造中滨水景观的设计效果与生态稳定性,在方案构思阶段就必须深入把握场地的特定条件^[5]。

2. 城市/住宅小区公共空间的美学构建与生态适配

城市/住宅小区公共空间作为城市更新改造中的重要构成单元,其景观营造水平直接关系到整体环境的美学品质与艺术感染

力。在具体设计过程中,需要设计人员将主观艺术创造与客观环境条件进行系统性结合。设计实践的首要环节,是深入洞察当代人们的审美取向与精神需求。在此基础上,必须对项目所在地的微气候特征、土壤理化性质等自然条件进行科学评估,以此作为筛选植物品种的根本依据。应紧密结合场地的现有布局结构与既定的区域主题定位,综合分析不同植物的形态、质感、季相变化以及群落层次结构对空间氛围的潜在影响。进而运用艺术构图原理,对这些植被与景观元素进行精心组织与巧妙搭配,塑造出在垂直维度上错落有致、在时间维度上四季有景、在色彩构图上和谐丰富的立体景观画面。

3. 人文路径的场所精神重塑

在人性化理念的引导下,城市更新改造中人文路径的设计需要超越单纯的交通功能,转向对场所历史文脉与集体记忆的深度唤醒。对于老旧小区改造中承载历史印记的传统建筑群落,不应采取简单的保留或拆除,而是通过恰当的现代设计语言进行介入与转译,使其在延续时间质感的同时,焕发新的生机与功能。通过提取当地特有的文化符号、工艺技艺或历史事件等元素,并将其巧妙地融入铺装、景观小品、照明设施等细节设计中,使地域文化的表达不再停留于表面装饰,而是转化为可感知、可阅读的空间体验。

四、结束语

综上所述,将人性化理念全面融入城市更新改造风景园林设计,是回应时代需求、提升城市品质的必然选择。这一过程要求设计者坚守地域特色、历史文脉与整体秩序的基本原则,并深刻反思与克服当前城市更新改造设计中存在的趋同化与表面化倾向。成功的实践有赖于一个从目标设定、策略构建到细节落地的完整体系,体现于以人文导向为核心的总体空间规划与服务设施配置,通过生态化的手法、艺术化的营造与文化性的叙事得以完美呈现。

参考文献

- [1] 杨洁. 人性化理念在风景园林设计中的运用[J]. 城市建筑, 2023, 20(20): 201-204.
- [2] 王树峰. 简析人性化理念在风景园林设计中的运用[J]. 居业, 2022(2): 192-194.
- [3] 曾先国. 人性化理念在风景园林设计中的运用方式[J]. 黑河学院学报, 2019, 10(8): 188-190.
- [4] 缪文巧. 简析人性化理念在风景园林设计中的运用[J]. 园林建设与城市规划, 2022, 4(2).
- [5] 党丹丹. 人性化理念在风景园林设计中的运用探究[J]. 数码精品世界, 2021(7): 107-108.

园林项目养护施工技术管理的关键要素探究

林坚

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020028

摘 要： 园林养护施工技术管理涵盖多方面。需构建养护技术标准体系，建立施工流程闭环管理机制，精准调控提升植物成活率，多方面实施养护作业标准化。同时，重视人力资源配置、智能装备应用、极端天气应急及技术档案信息化管理，设立多维度管理效果评价体系，还应探索集成模型等优化路径。

关 键 词： 园林养护；技术管理；标准体系

Exploration of Key Elements in Maintenance and Construction Technology Management of Landscape Projects

Lin Jian

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The management of garden maintenance construction technology covers multiple aspects. We need to establish a standard system for maintenance technology, establish a closed-loop management mechanism for construction processes, accurately regulate and improve plant survival rates, and implement standardized maintenance operations in multiple aspects. At the same time, emphasis should be placed on human resource allocation, intelligent equipment application, extreme weather emergency response, and information management of technical archives. A multidimensional management effectiveness evaluation system should be established, and optimization paths such as integrated models should be explored.

Keywords： garden maintenance; technical management; standard system

引言

随着《国家园林城市评选标准（2023 年修订版）》的颁布，对园林养护施工技术管理提出了更高要求。园林养护技术标准体系构建需科学设定核心指标，施工流程需闭环管理。从提升植物成活率到作业标准化实施，从优化人力资源配置到应用智能装备，再到应对极端天气及管理技术档案，各个环节都至关重要。设立多维度评价模型衡量管理效果并持续改进，也不可或缺。通过系统集成关键要素、建设智慧化平台及完善行业标准，虽能助力管理，但仍有探索空间，需进一步优化以符合最新政策导向，提升园林养护施工技术管理水平。

一、园林养护技术管理关键要素基本构成

（一）养护技术标准体系构建

园林养护技术标准体系构建需以科学依据为基础。解析园林植物分类养护规范，要依据不同植物习性，比如喜光植物和耐阴植物养护方式有别，对光照、温度、湿度等环境要求不同，从而制定针对性养护规范^[1]。水肥管理标准参数设定，需考虑植物生长阶段，幼苗期、生长期、成熟期对水分和肥料需求各异，同时结合土壤肥力状况，确保既满足植物生长，又不造成浪费与污染。修剪整形技术规程制定，应根据植物观赏特性与生长规律，像观花植物要在花后合理修剪以促进下次开花，行道树要考虑树

形整齐与交通安全，使修剪后的植物既美观又健康生长，通过这些核心指标体系的科学制定，完善养护技术标准体系。

（二）施工流程闭环管理机制

园林养护施工流程闭环管理机制需建立从任务派单、现场实施到质量验收的全流程标准化管理路径。任务派单环节应清晰明确工作内容、标准及时间节点，确保养护任务精准传达。现场实施阶段，施工人员严格依据派单要求与技术规范开展作业，运用科学的养护技术，保障植物健康生长。质量验收至关重要，需执行严格的交接验收制度，对照任务标准，对养护成果进行全面细致检查，保证质量达标。同时，基于验收结果，建立持续改进机制，分析养护过程中存在的问题，总结经验教训，不断优化养护

施工流程与技术措施，从而提升园林养护整体水平^[2]。

二、养护质量过程控制要点

（一）植物成活率影响因素控制

园林项目中植物成活率至关重要。土壤改良方面，不同植物对土壤酸碱度、肥力等要求不同，需针对性调整，如喜酸性植物可添加硫磺粉改良碱性土壤，为植物根系营造良好生长环境。栽植深度也不容忽视，过深易导致根部缺氧腐烂，过浅则根系易外露受旱，需依据植物种类及土球大小严格把控。支撑固定方式也影响植物成活，新移栽植物根系未稳固，合理支撑能防止倒伏，像高大乔木宜采用三角支撑法，确保支撑牢固且不伤树皮^[3]。通过精准调控这些技术参数，能有效提升植物成活率，保障园林项目养护质量。

（二）养护作业标准化实施

园林项目养护作业标准化实施需从多方面着手。在病虫害防治药剂配比方面，要依据不同病虫害类型及园林植物特性，严格参照相关标准与规范，精准确定药剂的种类、浓度与用量，比如针对常见的蚜虫，按照^[4]中推荐的配比调制吡虫啉溶液，确保有效防治同时避免药害。灌溉系统运行参数设置同样关键，需根据植物需水规律、季节变化以及土壤湿度等因素，合理设定灌溉时间、频次与水量，例如夏季高温时段适当增加灌溉频率。有机覆盖物应用规范也不容忽视，要根据植物生长需求和景观效果，选择合适的有机覆盖物，明确铺设厚度与范围，像在花卉种植区域，按标准铺设5-8厘米厚的木屑作为覆盖物，以起到保水、增肥与美化作用。

三、资源配置优化管理

（一）人力资源配置模型

在园林项目养护施工中，人力资源配置模型至关重要。构建基于养护面积、植物种类复杂度的技工配比算法，能够精准规划人力投入。以养护面积为基础，若养护区域面积较大，需相应增加技工数量，确保养护工作覆盖全面；考虑植物种类复杂度，若植物种类繁多且养护要求各异，就需配备更多具备专业知识的技工。通过此算法，可科学确定不同区域、不同植物所需的技工数量与技能类型。同时，结合分级培训体系，针对不同技能水平的技工开展分层培训，提升其专业素养，以适应复杂的养护任务。再配合绩效考核方案^[5]，激励技工高效工作，促使人力资源在园林项目养护施工中实现优化配置，提高养护工作质量与效率。

（二）智能装备应用策略

在园林项目养护施工技术管理中，智能装备的应用至关重要。智能滴灌系统可依据土壤湿度、气象条件等精准控制灌溉水量与时间，避免水资源浪费，实现节水灌溉，提高水资源利用

效率^[6]。植保无人机能快速且均匀地对大面积园林进行病虫害防治，相较于传统人工喷洒，效率大幅提升，同时减少人工成本与农药残留。土壤监测传感器可实时采集土壤养分、酸碱度等数据，为精准施肥与改良土壤提供科学依据。为确保这些智能装备有效运行，需制定完善的运维管理规范，包括定期检查、校准设备，及时更新软件系统，保障其持续稳定工作，从而优化园林项目养护资源配置，提升养护施工技术管理水平。

四、风险管理体系构建

（一）极端天气应急管理

在园林项目养护施工中，极端天气应急管理至关重要。针对台风暴雨等灾害天气，需制定科学合理的加固防护方案。例如，对高大树木进行支撑加固，提前修剪过密树枝，减少风力阻力。同时，灾后恢复技术预案不可或缺，如及时清理倒伏树木、扶正倾斜苗木，并对受损植物进行针对性养护，促进其恢复生机^[7]。为保障应急工作的有效开展，还应建立应急物资储备机制。储备充足的支撑材料、排水设备、修剪工具等物资，确保在极端天气来临时能迅速调配使用，从而将极端天气对园林项目的损害降至最低，维护园林景观的稳定性与美观性。

（二）技术档案信息化管理

园林项目养护施工技术管理中，技术档案信息化管理至关重要。构建数字化管理系统，涵盖植物生长档案，详细记录植物种类、来源、生长周期、健康状况等信息，为精准养护提供依据；养护操作记录则记录每次养护活动的时间、人员、内容、效果等，便于追溯与分析；设备维护日志记录园林设备的维护时间、故障情况、维修措施等，保障设备正常运行。通过建立数据应用机制，深度挖掘这些数据，如分析植物生长与养护措施的关联，评估养护操作的有效性，预测设备故障，为园林项目养护施工技术管理决策提供科学支持，提升管理效率与质量^[8]。

（三）管理效果评价体系

管理效果评价体系应设立多维度评价模型。通过设立植物生长指标，评估植物的健康状况、生长速度等，了解养护施工技术对植物生长的影响，比如植物的成活率、病虫害发生率等数据能直观反映技术应用效果。景观效果评估旨在考量园林景观的美观度、协调性等，从视觉角度评判养护施工技术是否达成预期景观目标，像景观色彩搭配、空间布局是否符合设计要求。生态效益测算则分析园林项目对生态环境的积极作用，如空气净化、水土保持等效益。借助这些多维度评价模型，全面衡量管理效果。同时，建立持续改进机制，依据评价结果，针对性地优化养护施工技术与管理策略，以不断提升园林项目养护施工技术管理水平^[9]。

五、总结

园林项目养护施工技术管理涵盖诸多关键要素。通过系统提炼关键要素集成模型，为养护施工技术管理提供了全面且具针对性的架构，助力管理者精准把握各环节要点。而智慧化管理平台的建设，能充分利用现代信息技术，实现养护信息的实时收集、

分析与处理，提升管理效率与决策科学性。行业标准的完善则为养护施工技术管理提供规范与依据，保障工程质量与效果。然而，园林养护施工技术管理领域仍有进一步探索空间，后续研究可围绕集成模型的优化、智慧化平台的深度应用以及行业标准的动态更新等方面展开，不断推动园林养护施工技术管理水平迈向新高度^[10]。

参考文献

[1] 潘少峰. 国家先进技术光伏发电 H 项目施工技术管理研究 [D]. 东南大学, 2021.
[2] 张文超. BIM 助推新基建项目智慧建造关键技术应用研究 [D]. 山东建筑大学, 2022.
[3] 包素云. HY 园林项目施工进度管理研究 [D]. 青岛大学, 2023.
[4] 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.
[5] 董钰莹. 《楚辞》中的园林要素研究 [D]. 长江大学, 2023.
[6] 沈德胜. 辽宁园林养护方法探究 [J]. 吉林蔬菜, 2021, 000(001): 48-49.
[7] 刘坤. 浅析园林施工及园林养护管理问题 [J]. 花卉, 2022(10): 97-99.
[8] 王燕玲. 园林施工技术管理及后期养护分析 [J]. 房地产导刊, 2021(15): 186.
[9] 纪继伟. 探讨园林施工与园林养护的有机结合 [J]. 居业, 2023(4): 52-54.
[10] 杨永. 园林施工与园林养护技术应用研究 [J]. 风景名胜, 2021(3): 17.

基于海绵城市理念的市政道路景观设计分析

林琳

海南文昌国际航天城投资开发有限责任公司，海南 文昌 571300

DOI:10.61369/ADA.2025020032

摘 要： 海绵城市道路设计通过整合景观绿化与低影响开发（LID）技术，构建了可持续的雨水管理与生态基础设施系统。文章系统阐述了顺应地形、衔接现有设施及经济合理三大设计原则，并详细分析了透水铺装、植草沟、雨水调蓄等核心技术的应用路径。旨在实现径流控制、污染削减、水资源回用与生态修复的综合目标，为城市道路建设向绿色、韧性方向转型提供理论依据与实践指南。

关 键 词： 海绵城市理念；市政道路；景观设计

Analysis of Municipal Road Landscape Design Based on the Concept of Sponge City

Lin Lin

Hainan Wenchang International Aerospace City Investment and Development Co., Ltd., Wenchang, Hainan 571300

Abstract： Sponge city road design integrates landscape greening with Low Impact Development (LID) technologies to establish a sustainable stormwater management and ecological infrastructure system. This paper systematically elaborates on three design principles: topography adaptation, integration with existing facilities, and economic rationality. It provides a detailed analysis of the application pathways for core technologies such as permeable pavements, vegetated swales, and stormwater storage. Aiming to achieve comprehensive objectives including runoff control, pollution reduction, water reuse, and ecological restoration, this study offers theoretical foundations and practical guidelines for transforming urban road construction toward greener and more resilient approaches.

Keywords： sponge city concept; municipal roads; landscape design

引言

随着城市化进程加速，传统道路建设模式导致的径流加剧、内涝频发及生态退化等问题日益凸显。海绵城市理念为破解这一困境提供了系统性方案，其核心在于将道路系统从单一的交通载体，转变为兼具雨水管理、生态服务与景观提升功能的复合空间。文章基于海绵城市理论框架，深入探讨道路景观绿化设计的基本原则，并围绕 LID 设施的组合应用与道路各要素的生态化设计展开全面论述，以期为推动城市道路工程的绿色低碳发展提供技术参考与创新思路。

一、海绵城市道路景观绿化设计原则

（一）顺应地形高差进行整体规划

在推进海绵型道路绿地景观建设时，即使处于同一城市的不同片区，也必须依据具体地形的高差变化开展系统性设计。位于低洼区域的绿地，不仅要有效促进雨水下渗与储存，还需重点防范积涝及径流污染风险。此类区域应优先采用渗透、截流与调蓄等工程技术手段，实现雨水的源头控制和就地消纳，从而有效削减地表径流总量，减轻道路排水系统的行洪压力。而在地势较高的区段，设计重点应集中于增强雨水的滞留、渗透与净化能力，可通过优化铺装材料与绿地结构等方式，全面提升道路绿地系统对雨水的渗透、收集与污染控制功能。

（二）衔接现有海绵设施实施协同设计

当前，海绵设施建设已成为现代城市道路景观规划的重要方向，各地在推进基础设施改造过程中，普遍将雨水回用与径流排放系统作为关键环节。这类设施不仅能够强降雨期间有效引导地表径流，减轻城市排水管网的压力，还可显著提升区域防涝减灾的能力。在进行道路景观设计前，需系统调研场地内已有设施的布局状况，充分参考原有道路工程设计资料，从而确保设计方案具备良好的适应性与可实施性。对于已建成的海绵设施，应优先采取保护性设计策略，如在布置植草沟、下凹式绿地时，需合理核算植物所需的种植土层厚度与根系发展空间，防止因覆土不足制约植物正常生长，或对地下管线等既有设施造成损害。设计过程中，应深入解读道路现状与设施条件，推动新建景观与原有

海绵设施的功能衔接与形态融合，在维护设施完整性的同时，实现景观与基础设施的协同发展^[1]。

（三）贯彻经济节约与功能合理的设计导向

作为市政道路工程建设的关键环节，道路景观绿化设计在方案构思阶段就必须高度重视其成本效益与功能合理性。设计方案不仅要实现美化道路环境、提升出行体验等基础功能，还需全面考量雨水回收系统等海绵设施的建造与长期运维成本。因此，设计人员应在规划初期就将全生命周期的经济消耗纳入分析范畴，通过精细化设计与多方案比选，实现对项目成本与效益的有效平衡，最终确保所形成的方案兼具技术可行性、经济节约性与实施合理性。

二、海绵城市理念下道路设计的主要应用方式

（一）透水铺装技术的实施路径

透水铺装系统通过其大孔隙、高渗透性的面层与基层结构，使自然降水能够快速下渗，并直接补给路基土壤，从而将地表径流有效地转化为土壤涵养水源。这一过程显著增强了道路本身对雨水的渗透、存储与缓慢释放能力，有助于涵养地下水资源，遏制因过度硬化所导致的地下水位持续跌落等环境问题。同时，该结构在雨水下渗过程中还能对地表残留的油污等污染物起到一定的过滤与净化作用，减轻其对周边环境的污染负荷。此外，透水铺装的广泛应用，对于促进区域水循环、保护地下水系、改善局部生态平衡以及缓解城市热岛效应，均能产生积极的综合生态效益^[2]。

（二）植草沟与下凹式绿地的系统化构建

植草沟是一种植被覆盖的浅层地表沟渠系统，主要承担径流雨水的收集、转输与排放功能，并在水文过程中同步实现水质的部分净化。在海绵城市设施体系中，它发挥着重要的衔接作用，能够将场地内的分散性低影响开发设施与城市雨水主干管渠系统、超标雨水的应急排放通道进行有效串联。在实际工程应用中，植草沟常与雨水管渠协同运行，形成“旱季蓄存水源、雨季快速排涝”的联合调蓄模式。其典型的下凹式地形结构，有助于在城市建成区内形成一系列分散式的小型湿地单元，为蛙类、水生昆虫等亲水生物创造适宜的栖息环境。这类绿色基础设施的推广，不仅有助于丰富城市区域的生物多样性，更可逐步修复被硬质化工程割裂的生态链条，增强城市生态系统的稳定性与完整性，实现雨洪管理与生态修复的双重目标。

（三）雨水调蓄与资源化利用系统

传统城市排水模式以“快速外排”为主导，雨季时大量地表径流通过管网直接汇入河道，不仅加剧了市政管网的行洪压力，也造成了水资源的严重流失，导致旱季面临用水紧张的局面。海绵城市理念对这一问题提出了系统性解决方案，其核心在于构建雨水的储存与调控机制。通过在既有排水系统中增设雨水调蓄设施，可有效收集并临时贮存高峰径流，从而错峰排放、减轻下游负担。在干旱少雨时期，这些储存的雨水经过适当处理后，可用于市政绿化灌溉、道路喷洒等公共用水领域，显著提升水资源的

循环利用效率，实现从“快速排放”到“慢排缓释、循环再用”的生态化转变^[3]。

三、基于海绵城市理念的市政道路优化设计策略

（一）道路铺面材料的生态化选型与优化

在常规城市建设中，路面工程普遍采用水泥混凝土或沥青混合料等传统材质。为增强道路的雨水渗透性能并促进地表径流的有效汇集，机动车道区域宜优先选用孔隙率较高的透水沥青铺面。通过在道路两侧及结构层内部设置一体化排水系统，可对降落于地面的雨水实现快速导流与集中收集。对于因既有规划条件限制而难以布置集水设施的区段，雨水仍可经由透水面层逐渐下渗至基层，这一过程有助于显著降低暴雨期间城区内涝发生的风险。在住宅区道路等承载要求较低的区域，推广使用植草六角砖等生态铺材，既能扩大植被覆盖范围，又能同步实现雨水的就地吸纳与贮存。需要指出的是，此类生态材料的力学性能与承载能力存在一定局限。因此，亟需持续推进材料技术创新，致力于研发兼具高渗透系数与优异结构强度的新型绿色铺面材料，以平衡生态效益与工程安全需求。

（二）基于径流组织的横坡与绿化带协同设计

在传统道路工程中，普遍采用路拱高于两侧的“单向横坡”或“双向路拱”形式，以此引导路面雨水向边侧快速汇集，减少路面积水风险。与之相应，道路中央及两侧的绿化带通常采用高于路面的设计形式，主要承担美化景观与净化空气的功能。基于海绵城市理念，可通过将绿化带改造为低于路面的下凹式结构，使其转变为有效的雨水蓄渗空间。同时，结合盲管、渗渠等地下排水设施，构建智能化的径流引导系统。当绿化带或盲管中蓄积的雨水量达到设定水位时，过剩径流可经由专用管道输送至集中调蓄或处理设施，实现雨水的有序管理。通过这种新型道路断面设计，城市道路系统从单一的管道排水模式，升级为“绿化带渗透蓄滞”与“路面径流引导”相结合的综合处理体系^[4]。

（三）人行道系统的生态化构造与水文协调设计

鉴于人行道所承受的荷载相对较小，这为采用透水型铺装材料提供了有利条件，可广泛选用透水人行板、植草六角砖等具有生态效益的铺面形式。在结构层次设计上，需科学配置各功能层材料：垫层宜采用级配碎石等大孔隙材料，基层则可使用透水混凝土配合生态砖进行铺筑。需要强调的是，此类结构设计必须确保人行道的使用安全性与长期稳定性，严格控制对路基工作区的扰动影响。通过在道侧设置竖向隔离层，并与道路内部渗水结构有效衔接，可构建连贯的雨水下渗与导排通道。其两侧绿化带的设计可借鉴机动车道下凹式绿地的技术经验，选用渗透性优良的土基材料，同步实现雨水的收集与定向引流。在此过程中，需特别注重土基标高与地下水位之间的安全距离管控，防止因渗透设施与地下水层过近而引发结构性隐患或生态风险，确保水文系统与道路结构的和谐共生。

（四）生态化边坡支护与水文协同设计

在山区道路工程中，受复杂地形及地质条件制约，为确保行

车安全与路基稳定,实施边坡支护工程具有必要性。在满足结构稳定这一根本前提之下,将生态理念融入边坡防护体系已成为低影响开发道路建设的重要维度。现代护坡技术已从传统的坡面防护与防冲刷功能,逐步拓展至生态复合型模式,如在石笼网、格宾网等结构性防护体表层培植耐旱灌木与地被植物,或铺设生态草毯,借助植物根系的固土作用与茎叶的截流效应,实现力学稳定与生态修复的协同发展。针对岩质边坡等植被生长困难区段,需综合勘察坡体走向、岩层特性等地质要素,因地制宜地采用方格梁或窗式护面墙等构造形式进行生态复绿,最大限度减少纯硬质化抹面与喷浆工艺的使用频率。

（五）道路排水系统的生态化组织与调控

基于水文分析与工程标准,道路横断面应采用精准的坡向设计,通过优化路面结构形态引导地表径流。在典型设计中,雨水被定向引至相邻的下凹式绿化带,实现自然导流;同时在绿带边缘设置智能排水口,根据实时降雨强度自动调节排放模式。该系统兼具蓄滞与调控功能:通过分析区域需水量与降雨规律,可充分发挥排水设施的“蓄-排”双重能力。当遭遇强降雨时,绿化带作为初级调蓄空间;雨量减小时,系统则可储存部分雨水用于早期灌溉。对于未设置绿化带的机动车道,需通过预埋式排水沟与线性排水槽收集径流,经沉淀过滤后汇入蓄水模块。通过系统监测与方案优化,最终形成“收集-净化-储存-回用”的完整径流管理链条,显著提升道路排水系统的资源化利用水平与内涝防治能力。

（六）低影响开发（LID）设施的系统化整合设计

海绵城市体系通过有机整合三大子系统构建而成:低影响开发雨水系统、传统城市雨水管渠系统以及超标雨水径流排放系统。其中,低影响开发系统主要承担雨水的渗透、蓄存、调控、转输与净化等核心功能,通过这些过程有效管控径流总量、削减污染负荷并平抑峰值流量。传统城市雨水管渠系统作为基础排水网络,需要与LID设施协同运行,共同构建分级有序的雨水收集、输送与排放体系。当遭遇超过常规设计标准的强降雨时,超

标雨水径流排放系统随即启动,通过综合利用多功能调蓄水体、自然河道、行泄通道及专用调蓄池等设施,实现超标雨水的安全疏导与调蓄管理,确保城市在极端天气下的防汛安全。

1. 机动车通行区域的生态型路面结构设计

为应对城市地下水位下降及热岛效应等生态环境问题,提升雨水资源对地下含水层的自然补给能力,可在机动车道及公交专用道采用透水铺面技术。此类路面允许部分降水透过表层材料下渗,从而逐步补充地下水储量。考虑到车辆荷载对路基结构的稳定性要求,需在透水功能层下方设置防渗型基层作为阻隔。当雨水下渗至该防水层界面时,将依托其表面坡度被有序导流至预先设置的盲沟或道路侧向分隔带等集水设施中,既有效保护了路基结构,又实现了雨水的有序汇集与转移^[9]。

2. 慢行交通系统的全透水铺装方案

相关研究显示,采用传统密实铺装的非机动车道及人行道,在降雨期间易形成路面积水,对行人及非机动车的通行安全造成隐患。为兼顾消除积水与促进地下水回补的双重目标,可在慢行系统全面采用全透水铺装结构。该类设计使雨水能够迅速经由面层与基层直接下渗至路基土体,不仅显著提升路面的防滑性与通行安全,也同步实现雨水资源就地入渗补给,形成生态与功能兼备的绿色交通空间。

四、结束语

海绵城市理念下的道路设计是一项融合水文学、生态学与工程学的系统性工程。通过将透水铺装、下凹式绿地、植水沟及调蓄设施等技术措施,与道路的铺面材料、横坡设计、绿化带、人行道、边坡及排水系统进行一体化整合,能够有效实现雨水的渗透、滞蓄、净化与回用。未来的技术发展应持续聚焦于新材料研发、智慧管控与多系统协同,以不断优化海绵道路的综合效益。

参考文献

- [1] 张翥. 海绵城市视角下市政道路景观绿化设计分析 [J]. 花卉, 2025(9): 16-18.
- [2] 赵明, 王旖静. 基于“海绵城市”理念的市政道路景观绿化设计 [J]. 现代园艺, 2021, 44(4): 71-72.
- [3] 张浩桦. “海绵城市”理念下市政道路景观绿化设计研究 [J]. 绿色科技, 2020(15): 39-40.
- [4] 董丽. 基于“海绵城市”理念下市政道路景观绿化设计的研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2021(15): 77.
- [5] 彭轩. 海绵城市视角下的道路“绿化景观设计简析 [J]. 中国住宅设施, 2023(12): 19-21.

住宅小区的园林景观设计 with 植物配置研究

洪渝

海南机场设施股份有限公司, 海南 海口 570100

DOI:10.61369/ADA.2025020043

摘 要 : 文章系统探讨了住宅小区园林景观设计的核心要点、现实挑战与优化路径。设计要点涵盖科学的空间布局、人性化的道路规划以及功能与情感并重的场所营造。文章进一步剖析了实践中面临的挑战, 如绿化效能的立体化提升、原生肌理的存续与消防场地的景观融合。最后, 提出了以分级配置、生态规划、全过程管控和精细化养护为核心的植物配置优化措施, 旨在构建兼具生态价值、美学品质与社区活力的高品质居住环境。

关 键 词 : 住宅小区; 园林景观设计; 植物配置

Research on Landscape Design and Plant Arrangement in Residential Communities

Hong Yu

Hainan Airport Facilities Co., Ltd., Haikou, Hainan 570100

Abstract : This paper systematically explores the core principles, practical challenges, and optimization pathways in landscape design for residential communities. Design essentials encompass scientific spatial layout, human-centered pathway planning, and the creation of places that balance functionality with emotional resonance. It further analyzes practical challenges such as enhancing greenery efficiency through vertical integration, preserving native textures, and integrating fire safety zones with landscaping. Finally, it proposes optimized plant configuration measures centered on tiered allocation, ecological planning, full-process management, and meticulous maintenance. These aim to create high-quality residential environments that harmonize ecological value, aesthetic quality, and community vitality.

Keywords : residential community; landscape design; plant configuration

引言

随着人们对居住环境品质要求的不断提高, 住宅小区的园林景观已从单纯的绿化点缀, 演变为承载居民日常生活、休闲交往与精神归属的重要空间。住宅区景观, 不仅需要满足基本的生态与审美功能, 更应深刻回应使用者的行为模式与心理需求, 将自然、建筑与人的生活有机融合。当前的设计实践在追求艺术性与功能性的同时, 也面临着如何在高密度开发中最大化生态效益、如何尊重并延续场地历史文脉、以及如何将强制性功能空间(如消防场地)巧妙融入整体环境等多重现实挑战。

一、住宅小区园林景观设计要点

(一) 园林景观空间的科学布局手法

在居住区园林景观营造中, 空间组织是影响整体效果的核心要素。设计过程中应立足基地现状条件与整体建筑规划结构, 运用科学的空间布局方法, 在有限用地内实现绿化覆盖的最大化, 切实回应居民对自然环境的向往。当前居住区景观空间组织主要包含两种相互关联的处理方式: 一是空间的划分界定, 二是空间的渗透融合。空间划分需要充分考虑使用者的行为模式与心理感受, 通过合理的边界设置形成尺度适宜的功能区域。单纯依靠硬性分隔容易造成视觉阻隔与压抑感, 因此需同步注重空间的延伸与渗透。巧妙运用虚实相生的设计语言, 能够强化景深效果, 构

建丰富的视觉层次, 使各功能区既保持独立又相互关联, 最终形成流动贯通的空间体验^[1]。

(二) 住宅区道路设计要点

住宅区道路设计应重点从动线组织与铺装材料两方面进行统筹考虑。在动线组织方面, 应合理规划人车分流系统, 确保行人安全与车行效率。通过道路网络将住宅区的各个功能空间(如入口景观、中心花园、组团绿地、活动场地等)有机串联, 形成层次分明、连贯流畅的交通流线。良好的动线设计不仅能满足基本通行需求, 更能引导居民体验丰富的空间序列。在铺装材料运用方面, 需根据道路的不同功能与荷载要求进行差异化选择。车行道路通常采用坚实耐用的花岗岩石材或沥青路面; 人行道路则多选用仿石砖、花岗岩等兼具安全性与装饰性的材料; 健身活动区

及慢跑道等特定区域宜采用 EPDM 胶垫、橡胶跑道、悬浮拼装地板等柔性铺装材料，以提供必要的缓冲保护与舒适脚感。此外，铺装设计应注重与整体环境的协调统一。

（三）场所景观设计的关键维度

场所景观的设计，其核心在于回应居民的真实生活，将空间从“可看”的景观，转化为“可用”且“愿留”的日常场所。所以，设计不仅仅是划分出一片区域，更是为具体行为提供专属的舞台。为儿童规划一片安全且富有探索趣味的游乐天地，为青少年设置能够挥洒汗水的健身空间，为长者提供静谧闲适、便于交流的休憩角落，并为社区邻里创造可举办小型聚会的共享平台。功能的实现保障了场所的“可用”，而舒适性则决定了人们是否“愿留”。例如户外家具的选型是否符合人体工学，提供恰到好处的支撑；庭院灯的灯光是否柔和宜人，既保证安全又不扰眠；在炎炎夏日，雾森系统能否带来一丝清凉的慰藉；以及艺术小品的点缀能否引发情感共鸣^[2]。

二、园林景观设计中需要考虑的问题

（一）优化空间利用以提升绿化效能

在居住区规划领域，绿化覆盖率是一个受到普遍关注的基础性指标。行业惯例通常要求项目整体的绿地面积占比不低于百分之三十五，而绿地空间自身的植被覆盖率则需维持在百分之七十以上。然而，这些量化数据仅仅是衡量绿化水平的最基本维度。真正决定环境品质的，是那些无法被简单计算的生态美感与空间体验，这要求设计者进行超越数字的、更为深邃的构思。尤其在现代居住模式以高层建筑为主的背景下，绿地的价值已不再局限于为低层住户提供直接的接地性接触。它同时承担着为中层乃至高层居民创造视觉景观的重要功能，他们的居住体验很大程度上源于从空中俯瞰绿地的整体画面。因此，一个成功的景观构想，必须将植物从二维的地面分布，延伸至三维的立体视觉呈现之中，确保绿色生态效益在垂直向上也能被充分感知和享有。

（二）场地原生肌理存续的现实挑战

在常规住宅开发范式下，从初期的地形勘察开始，一场对土地自然形态的系统性重塑便已注定。随之而来的场地平整、土方开挖与回填，直面的是室外空间高差的处理挑战——是彻底推平以寻求效率最大化，还是审慎顺应原有地势进行微调，这不仅关乎成本，更是一场对场地个性的抉择。还有绿化工程中常见的“堆坡造型”手法，其意图虽在于塑造丰富的空间层次，但若过度人工化，也极易模糊乃至抹去那片土地最初的起伏脉络。将这些珍贵的自然要素从需要避让的“障碍”，转化为未来景观中有机的、主导性的组成部分，这一过程充满了技术与理念的双重挑战。而当人工构筑物试图与这片已被简化的生态基底重新建立对话时，最大的考验便在于：如何超越形式化的“生态表演”，避免刻意的、符号化的自然元素堆砌，真正实现人与土地历史及自然的情感连通^[3]。

（三）消防场地与整体空间的整合困境

在住宅小区的景观塑造中，消防场地——尤其是大面积的消

防扑救面与消防车道——构成了一个独特而棘手的设计命题。规范以其强制性逻辑，要求它们以硬质铺装和清晰标识的姿态存在，这往往使它们在视觉与功能上自成孤岛，与追求柔化、生态与美学的景观环境格格不入。在于如何为这些不可或缺的“灰色巨斑”赋予双重生命。设计师必须在严格保证其消防功能绝对不受任何妨碍的前提下，探索形式上的可能性。无论是通过铺装材质的微妙变化、嵌入式的线性绿化，还是在非干预区域进行可移动的模块化景观设计，其核心挑战在于实现一种“常态下的隐匿”与“应急时的绝对高效”，让这片硬质空间在平日能消融于社区的生活场景，而非一个生硬的功能提醒。其次，是标识系统的融合艺术。鲜亮的红色、严格的字体与尺寸，消防标识自成一套功能语言。如何将这套语言不着痕迹地编织进小区雅致的整体标识系统之中，既在需要时无比醒目，又在日常中不显突兀，这要求设计超越简单的粘贴，转而追求一种系统性的整合——或许是通过材质的呼应、造型的统一，或是灯光设计的巧妙介入，使其成为导向系统中的一个有机层次，而非之上的一个冲突图层。

三、住宅小区的植物配置优化措施

（一）住宅区绿化成本的分级配置

住宅区绿化成本的合理分配应遵循分级配置的逻辑，根据空间功能与视觉重要性进行差异化投入。在售楼处、主次入口、单元入户区等重点展示区域，需要投入较高成本营造多层次、精细化的植物景观，通过乔木-灌木-地被的复合搭配塑造富有艺术感染力的视觉效果，以彰显社区品质并营造归属感。对于宅间绿地、活动场地等日常使用区域，则应以满足功能与舒适尺度为优先，采用疏林草地、阵列树阵等简洁实用、易于维护的配置方式，在控制成本的同时保证空间的使用品质。而在围墙边界、建筑山墙面等边缘区域及视线盲区，则着重满足绿地率与基础功能需求，选用抗逆性强、养护成本低的乡土植物进行简化配置，实现空间遮蔽与隔离，以此构建既重点突出又经济高效的整体绿化体系^[4]。

（二）植物景观的前置规划与生态价值实现

科学完善的植物配置方案是维持居住区生态平衡的重要保障，在建设过程中严格遵循既定的景观规划，是实现植被系统最优布局的关键所在。以某住宅项目为例，通过前期系统的植物规划，不仅显著提升了施工效率，减少了工期延误风险，还有效降低了人力与机械资源的重复投入。该项目根据建筑布局与空间特征，将不同习性的植物精准配置于相应区域，形成了层次分明、功能互补的绿化体系。在具体实施中，公共活动区域栽植冠大荫浓的乔木，为居民提供夏季遮荫纳凉的休憩空间；园区步道两侧搭配观赏性强的开花灌木，营造四季变幻的视觉体验；建筑单元周边则选择性种植具有驱蚊抑虫功效的芳香植物，构建天然的生物防护屏障。

（三）强化植物景观施工的全过程管控

施工团队需建立系统化的管理体系，以确保居住区绿化工程达到最优质量水准。行业主管部门有必要提升从业人员的准入门

槛,要求其具备专业素养并严格遵循标准化作业流程。在实施阶段,应配置专业监理团队对每道工序开展独立核查,严格执行工序交接验收制度,从源头上减少质量缺陷的产生,保障施工流程的规范有序,最终实现植物配置的科学性与合理性。要建立图纸会审与技术交底机制,保证操作人员充分理解设计意图后再开展种植作业。在监管层面,应当完善监理人员的选拔与考核机制,优先选用职业操守优良的专业人才,通过制度设计防范渎职舞弊行为,切实保障绿化建设质量与投资效益。

(四) 遵循生态规律的植物配置原则

居住区微气候条件,特别是光照分布与湿度变化,深刻影响着植被的生长发育。因此在植物选择阶段,必须充分掌握不同树种的生物学特性,包括成林高度、花期时序及生长速率等关键参数,进而根据具体生境条件采用差异化的种植策略。在空间布局上,应当构建错落有致的垂直结构,通过乔木、灌木与地被植物的科学搭配,既确保群落稳定性,又避免因不当竞争导致的生长受限。在美学层面,应注重植物季相变化的协调性,通过花色、叶色与果色的时序组合,展现自然生态的韵律美感。在整体规划中还需确立明确的主次关系:在核心景观节点配置特色主导树种,形成视觉焦点;在过渡区域则选择辅助植物品种进行衬托。这种层次分明的配置方式,既能强化空间导向性,又能使居民在日常生活中感受到四季更迭的景观变化,从而深化对居住环境的情感认同^[5]。

(五) 构建精细化园林养护体系

在住宅小区的长效管理机制中,组建具备专业资质的园林养护团队具有关键意义。这些技术人员应当系统掌握植物生理学、园艺管理等专业知识,能够胜任现代居住区绿化的综合养护需求。其核心职责包括建立常态化巡检机制,持续跟踪植被生长动态,对各类生长异常状况进行早期诊断与干预,从而维持园林景观的持久品质。通过实施科学的整形修剪技术,专业人员能够有

效引导植物生长方向,维持其固有的自然形态与结构美感。这种艺术性与科学性相结合的处理方式,不仅利于植物的生理健康,更能显著提升观花观果类植物的观赏效能。修剪作业产生的冠层疏透效应,可显著改善植株间的通风透光条件,形成不利于病虫害滋生的微环境。面对已出现的植物健康问题,养护人员需具备精准的病害识别与分类处置能力。根据病害类型及严重程度,可采取营养调控、水分管理或靶向药剂防治等差异化措施。

(六) 构建双重属性的标识系统

消防标识与景观环境的融合难题,关键在于构建一套具备"双重属性"的标识系统。具体可通过材质转译、色彩调和与系统整合三个层面推进。在材质方面,应摒弃简单的粘贴式反光膜,转而采用与景观环境协调的耐候钢、金属蚀刻或铺装镶嵌等工艺,使标识在满足规范的同时获得质感上的升华;在色彩策略上,通过控制标志红色的面积比例,将其作为点缀色与深灰、青铜色等环境主色调结合,并运用内嵌式照明替代外置灯箱,在保障夜间识别性的同时融入景观光环境;在系统整合层面,需将消防标识与小区导视系统进行一体化设计,使其在造型语言、安装高度和布局逻辑上与各类指引牌形成系列感,例如将消防车道标识与地面导向流线结合,或将扑救面标识与建筑立面装饰线条有机统一。

四、结束语

住宅小区园林景观设计是一项集技术、生态与艺术于一体的系统工程。在设计中,应注重功能与美学的统一,强化空间组织的逻辑与层次,同时积极应对场地原生保护与复合功能整合等现实挑战。通过科学配置植物、完善施工管理与后期养护,才能实现景观资源的可持续运营。最终,优质的小区景观不仅提升居住的物理舒适度,更在塑造社区认同、促进人与自然互动中发挥深远作用,成为现代人居生活中不可或缺的生态与文化载体。

参考文献

- [1] 李艳飞,白恒勤.住宅小区的园林景观设计 with 植物配置分析[J].河北农机,2022(5):130-132.
- [2] 许鳳霖.住宅小区园林景观设计 and 植物配置探讨[J].花卉,2021(8):124-125.
- [3] 徐渭.住宅小区的植物配置 and 园林景观设计探讨[J].建筑·建材·装饰,2020(15):155-156,192.
- [4] 李洪.浅谈住宅小区园林景观设计 with 植物配置方法[J].吉林蔬菜,2021(2):83-84.
- [5] 李晓明.住宅小区园林景观施工 with 苗木的合理配置[J].花卉,2024(12):139-141.

园林工程施工中新技术与新材料的应用分析

钟颖涛

华南理工大学建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020046

摘 要 : 文章系统探讨了现代园林工程的核心特征、关键技术难点及创新解决方案。文章首先剖析了园林工程兼具艺术审美、生态生命与跨专业综合的基本特征,进而分析了植物科学遴选与地形艺术塑造两大技术挑战。为应对这些挑战,文稿重点介绍了坡体生态加固、机械化植被建植、水资源集约利用及精准节水灌溉等一系列新技术,并阐述了透水铺装、生态滤水管、模块化支撑器与生态木纹混凝土等新型材料的应用优势。

关 键 词 : 园林工程施工; 新技术; 新材料; 应用

Analysis on the Application of New Technologies and Materials in Landscape Engineering Construction

Zhong Yingtao

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

Abstract : This paper systematically explores the core characteristics, key technical challenges, and innovative solutions in modern landscape engineering. It first analyzes the fundamental features of landscape engineering—combining artistic aesthetics, ecological vitality, and interdisciplinary integration—and then examines two major technical challenges: plant science selection and topographic artistic shaping. To address these challenges, the paper highlights a series of new technologies including slope ecological reinforcement, mechanized vegetation establishment, intensive water resource utilization, and precision water-saving irrigation. It also elaborates on the application advantages of novel materials such as permeable paving, ecological filter pipes, modular support systems, and ecological wood-textured concrete.

Keywords : landscape engineering construction; new technologies; new materials; application

引言

在生态文明建设与城市品质提升的双重驱动下,现代园林工程已远超传统绿化的范畴,演变为一项融合艺术、生态、工程与技术的复杂系统工程。然而,在实践过程中,如何平衡美观性与生物性,如何统筹复杂的技术要素,如何克服植物配置与地形改造中的具体难点,成为制约园林工程品质提升的关键问题。为此,文章将从工程的基本特征出发,层层深入,梳理施工中的技术挑战,并探讨前沿技术与新型材料如何为构建可持续、高性能、高品位的现代园林空间提供核心支撑。

一、园林工程的基本特征

(一) 可观赏性

在园林建设项目中,可观赏性成其核心属性之一,任何园林项目的实施均需将这一要素作为首要考量。在园林设计过程中,需融合平面的构图原理、空间的营造和构建、工业设计的细部表达等多种艺术表现手法,来实现园林可观赏性的提升。

园林设计包括硬景和软景设计,所谓硬景,是指园林内部各类景观构筑物,包括亭台、水景、铺装、坐凳、设施等;软景即植物设计,即从植物生态特性与周围环境之间的关系进行选择配

置,最终呈现其在专业上的可观赏性。硬景和软景搭配是否和谐,是提高园林可观赏性的关键。

(二) 生物性

前一节提到软景设计,实际上就是生物性的体现。植物配置是园林设计中极为重要组成部分之一,纵观当前国内的园林建设项目,均将植物配置作为设计的基础要素和提升关键。在园林营造过程中,需要通过科学的植物造景手法,对各类层次植物进行组合与布局,从而弥补场地中的硬景的空缺,形成层次丰富的生态画面。我国地域跨度广阔,各地园林设计在植物选择上呈现出鲜明的地域特色。园林工程与传统土木工程形成最大的区别正是

这种对生命体生长规律的尊重与运用，是有生命的设计，园林工程展现了其独特的生物性——即通过活体植物的持续生长与新陈代谢，赋予园林动态演变的生命魅力^[1]。

（三）综合性

园林工程本质上是一项高度复杂的综合性、系统性工程，从其规划到落地过程融合了多学科多专业的知识。在技术层面，从硬景构筑物外观材料的选用及搭配、构筑物结构性安全问题，到配套的基础设施完善，包括供电照明系统、给排水管网、生态水循环装置、海绵城市等专项设计。这种跨专业的统筹整合需求，要求项目负责人必须具备全局视野及专业间的协调处理能力，从整体规划、方案设计、方案深化、图纸制作，沟通协调、施工组织、现场处理到后期维护，各阶段均需进行整体性、全面性的考量，最终实现艺术性、功能性与生态性的有机统一的现代园林空间。

二、园林施工技术难点分析

（一）施工工艺及技术水平

每个工程的施工过程，是对施工工艺的考量，施工工艺影响着项目落地效果，硬景构筑物因选用的材质不同，其收口的处理方式也各不相同，选择了不相配的做法会使成果大打折扣。如地面石材铺装的分缝，从形式上是对缝还是错缝，密缝还是留缝，留缝的宽度，勾缝与否；景墙的转角收口采用45°拼接，或是海棠角处理，都影响着项目的风格；就算选对了处理方式，但是若施工的精细度不够，如直线不直，曲线不圆滑，收口处理毛糙等，都会影响项目的品质。

（二）植物品种的遴选要素

植物品种选择的合理程度将深刻关系到园林景观项目的实施成效与艺术价值。在规划设计阶段必须充分考量区域的气候特征及植物自身的在地性，来进行总体规划和造景，通过缜密的品种遴选来打造四季绿植效果，同时保障栽植成活率，进而确保工程的品质和细节。技术人员不仅需要熟知当地物候特征、各类植物的在地条件需求、形态特点及季相变化，还要统筹协调空间结构、经济成本与长期维护等复杂因素。

（三）场地地形的塑造手法

地形塑造作为园林景观营造的手段之一，其目的在于突破原有场地的平面局限性，通过创造起伏变化的场景来增强园林景观的立体层次。在实际施工阶段，常常面临现场实际情况与测绘数据及设计方案存在偏差的状况，这种情况需及时根据实际情况进行地形及节点的调整，才能保证项目场地内各个景点的连续及贯通。因此，在工程推进工程中有必要对原始地形进行一定的改造，通过土方调整、微地形塑造等技术手法重构空间格局。如何在地形改造过程中兼顾工程技术规范与景观美学价值，实现安全性与艺术性的统一，已成为园林施工领域需要持续探索的专业课题^[2]。

三、园林工程施工新技术类型

（一）坡体稳定与生态加固技术

随着边坡防护技术在园林工程中的广泛应用，不仅为各类引水工程的顺利实施提供了技术保障，更有力推动了园林工程整体品质的跨越式发展。在实施坡体加固工程时，承建单位需要系统

整合边坡的垂直高度、倾斜角度、地层结构及土壤特性等多维参数，以此形成科学严谨的专项施工方案。这种系统化的技术处理既能够增强坡体自身的结构承载力，又可有效改善表层土体的抗剪切性能，从而建立更为可靠的长效稳定机制。当前行业普遍采用的砌体护坡作为结构防护的重要实现形式，通过采用石材或混凝土构件在坡面构建防护层，显著提升了坡体的结构整体性与力学稳定性。值得注意的是，现代砌体防护技术已发展出格宾网箱、生态砌块等创新形式，在保证结构安全的同时，兼顾了生态环境与景观协调的需求^[3]。垂直绿化的出现，也为单调的坡体立面增加了丰富的元素，弱化了僵硬的结构线条，使整个环境更为生态、舒适。现阶段常用的护坡绿化技术有生态种植盘锁系统、模块化种植盒、种植袋、HDPE土工格等形式，适应各种不同结构形式和不同场景的垂直绿化需求，达到从视觉上和技术上创造优美的场景。

（二）机械化植被建植技术

植物景观作为展现园林艺术效果的重要载体，其建植质量直接影响整体工程的观赏价值。施工单位需建立规范的植被种植与管护体系，才能保障不同生态习性的植物保持健康生长状态。近年来，机械化喷播工艺在园林实践中的推广应用取得了显著成效，该技术通过将草种、营养基质、土壤固着剂、水分保持材料及基质改良剂按科学配比制成混合浆液，借助高压喷射设备将复合浆料均匀覆盖于地表。这种机械化作业方式不仅有效提升了种子发芽率，还通过形成均匀的基质覆盖层为植物生长创造有利条件。因其具备工艺流程标准化、作业效率高、适应性强等突出优势，该项技术已在城市公园绿地、道路边坡绿化等场景中展现出显著效益，成为现代园林绿化工程的重要技术支撑。

（三）水资源集约利用技术

随着海绵城市理念的深入推广，现代园林景观工程需系统构建雨水资源化利用体系，这对实现城市可持续发展目标具有战略意义。该技术的实施不仅显著提升了自然降水的利用效率，更为园林工程的生态效益和长期运维提供了重要保障。在具体实践中，工程团队需要采用现代化的收集装置、净化设备和智能控制系统，对降水进行多级处理与循环利用。这种系统化的水资源管理方式，既能充分发挥雨水回收技术的环境适应性与资源互补性优势，又可为园区植物生长提供稳定的灌溉水源。通过建立这种节水型园林的水分供给模式，不仅有效缓解了城市供水压力，更显著改善了植被立地条件，为构建自维持、低消耗的生态园林系统奠定了坚实基础^[4]。

（四）精准节水灌溉技术

植被种植作为园林工程的核心构成要素，其生长状况直接关系到整个生态系统的稳定运行。只有保障各类植物的健康生长，才能使园林真正发挥调节微气候、净化环境的生态功能，实现项目在视觉艺术与生态服务价值方面的双重提升。在植物养护管理中，精准的水分供给是维持植物生理活动的基础条件，这要求园林建设与管护单位结合场地特征及植物需水规律，采用与之匹配的智能灌溉方式。微灌技术通过精准布设低压灌水器，根据植物需水特性进行局部精准供水，形成均匀细密的水分分布。该技术

体系不仅创造了适宜植物生长的水分环境，还通过减少蒸发损失与深层渗漏实现了水资源的高效利用，这种精细化的水分管理模式完全契合生态城市对资源节约与环境友好的建设要求。

四、园林工程施工中的新型材料

（一）透水铺装系统的生态应用

前面章节里提到现阶段海绵城市正全面推广，各种透水铺装材料便应运而生，透水铺装已成为园林工程中不可或缺的重要元素。这类特制铺装体凭借其独特的孔隙结构，在园路系统建设中展现出显著优势。当其在基层上进行标准化铺设后，自然形成的立体网格空隙将成为雨水下渗的高效通道。在土壤毛细作用与储水功能的协同效应下，这种铺装系统构建出具有优良透蓄能力的三维空间结构，为城市园林的水循环调节创造了理想条件。通过材料内部形成的虹吸效应与重力差作用，不仅显著加速了水体的渗透过程，更有效增强了土壤层的吸水饱和度，从而在源头实现了雨水径流的生态化处理。这种将硬质铺装与生态功能完美结合的技术方案，正逐步成为海绵城市理念在园林建设中的典型实践。因应海绵城市要求而生的透水材料的不断涌现，为园林景观设计不同的场景效果提供多种选择，如产品技术日趋成熟的仿石透水砖，效果已与真实石材效果相差无几，各种透水混凝土、透水沥青实际效果也是不断更新，性能上也不断提升，以满足人行、车行及消防通行等基本要求。且新一代材料会加入一定的可循环利用的再生材料，使材料本身成为环保的代名词，更能被业界认可。

（二）生态滤水导管的应用优势

在园林工程的建设实践中，生态滤水导管主要采用天然材质构成，其制造过程严格避免使用再生合成材料，从而确保了材料的原始性与纯净度。这种纯天然成分使其具备优异的物理稳定性与材料均质度，被业界公认为当代创新型环保管材的代表。得益于其与生俱来的耐化学腐蚀、抗冻融循环、卓越抗拉伸强度及持久使用寿命等综合特性，该管材在园林地下排水、植被根系灌溉等场景中展现出显著技术价值。其独特的纤维间隙结构在保持通水能力的同时，还能有效过滤杂质，这种多重技术优势使其在各类园林基础工程中发挥着不可替代的作用，为构建可持续的园林生态系统提供了重要的材料支撑^[5]。

（三）模块化架空支撑系统

模块化架空支撑装置是当代园林工程领域涌现的创新建材，该技术体系最初源自欧洲工程技术，采用高密度聚丙烯复合材料精密制造，在实际应用中展现出卓越的性能表现。在园林水景工程与防腐木结构施工中，这类支撑系统主要承担架空层构建的关键功能，其特有的轻量化构造与模块化设计，兼具施工便捷、承载性能优越及耐久可靠等综合优势，在有荷载限制前提下的场景中，如天台花园、上人水景等，兼顾了减荷的功能。系统核心由可旋转连接件与高度可调基座组成，这种精巧的结构设计在实现精准调平的同时，确保了排水通道的畅通无阻。该技术的推广应用不仅有效解决了传统园林工程在管线维护、地面沉降、荷载不足等方面的技术难题，更为设计师创造了前所未有的创作空间，使复杂地形条件下的多层次景观构建成为可能，从而整体提升园林工程的建造精度与艺术表现力。

（四）生态木纹饰面混凝土技术

生态木纹饰面混凝土作为一种创新型景观材料，在耐火性能、耐水特性及抗腐蚀能力等方面展现出显著优势。相较于天然木材，这种复合材料在现代园林工程中呈现出更广泛的应用适应性。在物理特性方面，该材料既保留了混凝土固有的稳重特质与结构强度，又克服了天然木材易褪色、易腐蛀的缺陷。这种耐久耐候的特性使其在户外环境中能长期保持稳定的观赏效果，既符合绿色环保的建设要求，又显著提升了材料的使用寿命与资源利用效率。

五、结束语

综上所述，现代园林工程的成功营建是一个多目标优化的过程。它根植于美观性、生物性、综合性三大核心特征，必须在项目伊始就确立艺术引领、生态优先、系统整合的指导思想。面对植物科学遴选与场地地形塑造等关键技术难点，行业需依赖专业智慧与精细化管理。而新时期的园林发展，则极大地得益于技术创新与材料革命的推动，从稳定坡体、高效建植，到循环用水、精准灌溉，再到一系列生态功能性铺装与材料的应用，这些要素共同构成了现代园林工程的核心竞争力。展望未来，随着新材料、新工艺、新理念的不断涌现，园林工程必将更深入地与城市发展融合，为人居环境创造更高层次的生态、艺术与社会价值。

参考文献

- [1] 孙西岭. 园林工程施工中新技术与新材料的应用 [J]. 装饰装修天地, 2020(10):289.
- [2] 胡惠清. 园林工程施工中新技术与新材料的应用分析 [J]. 环球市场, 2019(13):274.
- [3] 张银国. 园林工程施工中新技术与新材料的应用 [J]. 智能城市, 2020, 6(6):55-56.
- [4] 苏嵩焘. 园林工程施工中新技术与新材料的应用探讨 [J]. 建材与装饰, 2019(4):63-64.
- [5] 郑慧真, 赵娟. 园林工程施工中新技术与新材料的应用 [J]. 中国房地产业, 2020(13):229.

城市轨道交通与地下空间一体化规划体系研究

周勇¹, 丁润涛², 汪锦昆³

1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 广东 广州 510000

2. 佛山轨道交通设计研究院有限公司, 广东 佛山 528000

3. 致正建筑工作室, 上海 200232

DOI:10.61369/ADA.2025020047

摘 要 : 文章聚焦城市轨道交通地下空间规划体系, 结合上海、广州、佛山等城市实践案例, 梳理该体系的核心内容与技术要点。明确以佛山市城市轨道交通三号线东平站及地下空间开发为实例, 展现复杂环境下地下空间开发场景; 剖析现状, 指出规划衔接不足、功能配置失衡等问题; 最后提出优化措施, 包括强化与国土空间规划衔接、完善资源评估体系等。研究旨在为城市轨道交通地下空间规划提供理论与实践参考, 推动其集约、可持续发展。

关 键 词 : 城市轨道交通; 地下空间; 规划体系

Research on the Integrated Planning System of Urban Rail Transit and Underground Space

Zhou Yong¹, Ding Runtao², Wang Jinkun³

1. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

2. Foshan Rail Transit Design & Research Institute Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

3. Zhizheng Architecture Studio, Shanghai 200232

Abstract : This paper focuses on the planning system for underground space in urban rail transit, examining core elements and technical essentials through case studies in Shanghai, Guangzhou, and Foshan. Using Foshan's Urban Rail Transit Line 3 Dongping Station and its underground space development as an example, it illustrates underground space development scenarios in complex environments. The analysis identifies existing issues such as inadequate planning coordination and imbalanced functional allocation. Finally, optimization measures are proposed, including strengthening integration with territorial spatial planning and improving resource assessment systems. This research aims to provide theoretical and practical references for urban rail transit underground space planning, promoting its intensive and sustainable development.

Keywords : urban rail transit; underground space; planning system

引言

随着城市化进程加快, 城市面临土地资源紧张、交通拥堵、生态环境压力等多重挑战, 城市轨道交通地下空间作为缓解这些问题的重要载体, 其规划体系的科学性与完善性愈发关键。文章以上海等城市轨道交通地下空间开发实践为基础, 系统研究规划体系, 分析意义、现状与优化措施, 为构建高效、集约、韧性的地下空间规划体系提供支撑, 助力城市高质量发展。

一、工程概况

以佛山市城市轨道交通三号线东平站工程如图1所示, 为典型案例, 该站位于佛山市顺德区裕和路与文华南路交叉路口, 沿文华南路南北向布置, 为地下三层岛式站台车站, 与已运营的广佛线东平站、广佛南环城际线顺德北站形成三线换乘枢纽, 远期与规划佛穗莞(广州28号线)及广佛江珠城际线换乘。站台中心

处顶板覆土约3m, 车站长度约191.35m, 净宽43.85m, 车站共设6个出入口与5组风井。站址周边环境复杂, 东侧有保利商务中心等, 西北侧为中欧中心, 西端为建设中的佛山金融中心地块, 东侧为已建成的东平广场地块。裕和路及文华南路均为双向8车道的城市主干路, 车流密集。



图1 东平站及地下空间开发剖切效果示意

二、城市轨道交通地下空间规划的意义

（一）缓解城市土地资源供需矛盾

城市化进程中，城市人口持续集聚，土地资源供需矛盾日益尖锐，地面空间开发接近饱和，拓展地下空间成为必然选择。以上海为例，其地下空间开发规模庞大，像徐汇西岸传媒港地下总建筑面积约47万 m^2 ，通过地下空间开发，有效释放地面土地用于生态绿化与公共活动，提高土地利用集约化程度，缓解土地资源紧张压力，为城市可持续发展预留空间^[1]。

（二）提升城市交通运行效率

城市地面交通拥堵是普遍难题，轨道交通虽能缓解交通压力，但单纯的地面轨道交通建设易受地面空间限制。轨道交通地下空间规划，可构建立体化交通网络，实现地铁、地下车库与人行道、地下停车等设施的有机衔接。如香港西九龙站，通过5层地下空间设计，实现出入境流线无交叉，且与周边商业、交通设施高效连通，提升换乘效率。

（三）增强城市韧性与防灾能力

在全球气候变化背景下，极端天气与公共卫生事件频发，城市韧性建设至关重要。地下空间具有封闭性、稳定性特点，在抵御自然灾害与应对公共危机方面优势显著。城市轨道交通地下空间可作为防灾避难场所、物资储备空间，如日本东京在地下空间开发中注重防灾功能，构建了完善的地下防灾体系。

（四）推动城市空间立体集约发展

传统城市空间发展以平面扩张为主，导致城市布局分散、资源浪费。城市轨道交通地下空间规划，推动城市空间从平面向立体分层发展，统筹竖向层次资源利用。通过合理的竖向分层设计，浅层空间可布置商业、人行通道，中层空间用于轨道交通、地下停车，深层空间规划市政设施与战略储备。以上海为例，如图2所示，其地下空间开发向次深层和深层发展，北外滩星港国际中心工程地下空间最深处达36m，实现了城市空间的立体利用，提升空间利用效率，促进城市紧凑、集约发展。

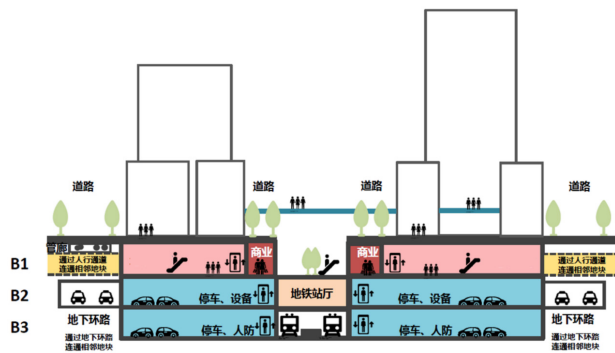


图2 地下空间开发模式示意

（五）促进城市可持续与高品质发展

可持续发展是城市发展的核心目标，轨道交通地下空间规划与可持续发展理念高度契合。地下空间开发减少地面建筑密度，增加绿化空间，改善城市生态环境；同时，地下空间恒温、恒湿特性，可降低能源消耗，符合低碳发展要求。

三、城市轨道交通地下空间规划体系现状

（一）规划与国土空间规划体系衔接不足

当前，部分城市轨道交通地下空间规划未能充分融入国土空间规划体系，存在“两张皮”现象。国土空间规划强调“生态优先、节约优先、高质量发展”，而部分地下空间规划仍沿用传统条块分割思路，未与国土空间规划“一张图”有效整合。例如，在规划编制中，地下空间的地质条件、生态保护等要素未与国土空间规划的生态红线、资源评估等充分衔接，导致地下空间开发与国土空间总体布局不协调。如一些城市在地下轨道交通规划中，未充分考虑国土空间规划中的土地利用性质与开发强度要求，造成地下空间功能与地面发展不匹配，影响城市空间整体效益发挥。

（二）资源评估体系不完善

城市轨道交通地下空间开发需以科学的资源评估为基础，但目前部分城市的资源评估体系存在缺陷^[2]。评估指标方面，虽涵盖地质自然条件、城市环境制约条件等，但部分指标权重设置不合理，对社会经济条件中的人口密度、地均GDP等与地下空间开发的关联性考虑不足。评估方法上，部分城市仍依赖经验判断与定性分析，定量分析深度不够，如对地下空间资源潜力的调查不够全面，评估模型与计算方法未能充分结合GIS等新技术，导致评估结果精准度不足^[3]。

（三）功能比例配置与实际需求脱节

城市轨道交通地下空间功能配置需结合城市发展阶段与区域需求，但现状中部分规划存在功能比例失衡问题。一方面，部分城市过度重视地下商业功能开发，忽视市政基础设施与防灾设施配置，导致地下空间功能单一，难以满足城市综合需求；另一方面，功能比例配置未考虑城市不同区域特点，如在居住区周边轨道交通地下空间，商业功能占比过高，而停车功能不足，影响居民使用体验。

（四）竖向分层规划缺乏科学性

竖向分层是地下空间高效利用的关键，但部分城市轨道交通地下空间竖向分层规划存在不合理之处。分层标准不统一，不同城市对浅层、中层、深层地下空间的划分深度差异较大，导致区域间地下空间开发难以协同；分层功能配置缺乏统筹，如将高人流密度的商业功能布置在较深地下空间，影响使用便利性；同时，竖向层高确定未充分考虑设施需求与人体舒适度，部分地下空间层高过低，给人压抑感。如北京部分早期轨道交通地下空间，因竖向分层不合理，导致后续功能拓展受限，难以满足城市发展新需求。

（五）新技术应用与量化规划滞后

当前，城市轨道交通地下空间规划中，新技术应用与量化规划程度不足。传统规划多依赖经验判断，定量分析集中在开发总量，难以指导具体站点区域规划设计；GIS、空间句法等新技术未充分融入规划全过程，多源数据如 POI 兴趣点数据、手机信令数据的利用不充分，无法精准研判城市发展需求。例如，在部分城市轨道交通地下空间规划中，未能通过大数据分析人流特征，导致地下步行系统布局不合理，人流拥堵问题突出；量化模型的缺失，也使得规划方案的科学性与可操作性降低，影响地下空间开发效益。

四、城市轨道交通地下空间规划体系优化措施

（一）强化与国土空间规划体系的深度衔接

推动城市轨道交通地下空间规划与国土空间规划体系深度融合，将地下空间纳入国土空间规划“一张图”管理。在规划编制初期，梳理地下空间与国土空间规划的核心要素，如生态红线、地质资源、土地利用等，实现数据共享与整合。借鉴上海“市域—分区—特定地区”的地下空间分级规划体系，如图3所示，构建与国土空间规划“五级三类”相匹配的轨道交通地下空间规划层级，市级层面明确地下空间总体发展格局，分区层面细化重点区域规划，特定地区聚焦站点周边精准规划。同时，建立规划衔接机制，在国土空间规划编制中，同步开展地下空间适宜性评价，确保地下空间开发与国土空间总体布局协调，如在生态敏感区严格限制地下轨道交通开发，优先保障基础设施与公共服务设施地下空间需求^[4]。

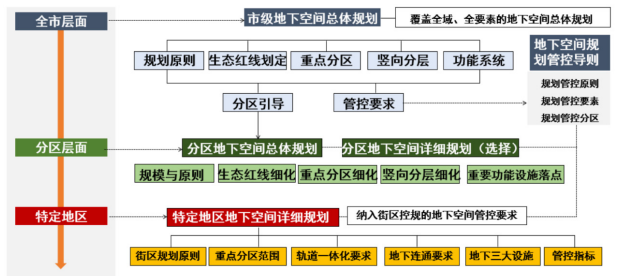


图3 国土空间体系下的地下空间规划体系示意

（二）完善地下空间开发资源评估体系

构建科学完善的城市轨道交通地下空间开发资源评估体系，优化评估指标与方法。评估指标方面，在地质自然条件、城市环境制约条件基础上，增加人口密度、地均 GDP、交通流量等社会经济指标，合理确定指标权重，采用 AHP 层次分析法结合专家调研，提高权重赋值科学性。评估方法上，引入 GIS 技术与多源数据，开展地下空间资源潜力全面调查，建立资源质量评估分析模型，实现定性与定量评估相结合。以上海后世博会央企总部集聚区项目为参考，通过“GIS + 数据”分析，识别地下空间资源特征与潜力，划分适建区、限建区与禁建区，为轨道交通地下空间选址与开发规模确定提供精准依据，避免资源浪费与开发风险。

（三）优化地下空间功能比例配置

结合城市发展阶段与区域特点，优化城市轨道交通地下空间功能比例配置。首先，根据城市不同发展阶段确定适宜开发规模，参考城市样本数据分析结果，以常住人口、GDP 为总规模预测指标，以人口密度、地均 GDP 为开发强度预测指标，确保开发规模与城市需求匹配。其次，按区域功能需求配置功能比例，在商业中心周边，适度增加地下商业与停车功能比例；在居住区周边，强化地下停车与社区服务功能；在交通枢纽区域，重点布局轨道交通与换乘设施，兼顾商业配套。如香港九龙站，通过7层立体空间开发，整合地铁、商业、住宅等功能，实现功能比例优化，提升地下空间综合效益。同时，建立功能动态调整机制，根据城市发展变化及时调整功能比例，适应实际需求^[5]。

（四）科学规划地下空间竖向分层

制定统一的城市轨道交通地下空间竖向分层标准，结合国内外经验与城市实际，明确浅层（0—15m）、中层（15—50m）、深层（50m以下）的划分范围，实现区域协调发展。合理配置各竖向层次功能，浅层空间布置地下商业、人行通道、综合管廊等与人联系紧密的设施；中层空间用于轨道交通车站、地下停车、地下道路等；深层空间规划地下大型市政设施、战略储备空间等。

（五）推动新技术应用与量化规划

加强新技术在城市轨道交通地下空间规划中的应用，推广 GIS、空间句法、大数据分析等技术，构建多源数据融合的规划平台。利用 POI 兴趣点数据、手机信令数据等，分析城市活力与人流特征，精准研判地下空间需求；借助 sDNA、UNA 等工具，实现地下空间三维分析与可视化展现，优化地下空间布局。开展量化规划，建立地下空间规模预测、功能配置、交通组织等量化模型，如基于 SPSS 样本分析，确定地下空间规模与人口、经济的关联关系，为规划提供数据支撑。以上海轨道交通站点地下空间研究为参考，通过 LBS 数据与客流时序数据筛选高活力站点，构建量化测度框架，提取共性指标区间，形成图示化导控量表，提升规划方案的科学性与可操作性，推动城市轨道交通地下空间规划向精细化、量化发展。

五、结束语

城市轨道交通地下空间规划体系对城市发展意义重大，能缓解土地矛盾、提升交通效率、增强城市韧性等。当前该体系存在规划衔接不足、资源评估不完善等问题。通过强化与国土空间规

划衔接、完善资源评估体系、优化功能与竖向规划、推动新技术应用等措施，优化规划体系。未来需结合城市发展实践，持续完善规划理论与技术，实现地下空间集约、可持续利用，助力城市高质量发展。

参考文献

-
- [1] 张涵. 基于城市轨道交通的地下物流网络规划与协同优化研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2024.
- [2] 程磊, 丁志斌. 城市轨道交通地下车站与周边地下空间的连通方式研究 [J]. 重庆建筑, 2021, 20(9): 9-13.
- [3] 王当仁. 城市轨道交通车站商业业态选择研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [4] 张维娜. 城市轨道交通车辆基地综合开发设计策略研究 [D]. 辽宁: 大连理工大学, 2024.
- [5] 叶树峰, 谢志明, 罗晨伟, 等. 广州市轨道交通地下空间规划及管控思考 [J]. 交通与运输, 2021, 37(6): 36-39.

跨文化视角下中西方建筑的互鉴机制研究

马丽雯

兰州交通大学 建筑与城市规划学院, 甘肃 兰州 730070

DOI:10.61369/ADA.2025020007

摘 要： 本文从跨文化视角出发，将中西方建筑进行对比，剖析中西方建筑在设计理念、营造技艺及审美情趣等维度的内在差异，进而体现两者之间的潜在交流障碍；依托时间脉络对中西方建筑的互鉴历程进行划分，探讨中西方建筑互鉴的丰富性与复杂性；然后引入具有突出特点的中西方跨文化建筑实例，揭示异质文化的本土融合方式，剖析中西方建筑互鉴的深刻内涵，以期能够推动世界建筑文化的创新与发展。

关 键 词： 跨文化视角；中西方建筑；互鉴；机制研究

Research on the Mutual Learning Mechanism of Chinese and Western Architecture from a Cross-Cultural Perspective

Ma Liwen

School of Architecture and Urban Planning, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730070

Abstract： From a cross-cultural perspective, this paper compares Chinese and Western architecture, analyzes the internal differences between Chinese and Western architecture in the design concept, construction skills and aesthetic taste, and then reflects the potential communication barriers between the two; The mutual learning process between Chinese and Western architecture is divided based on time context and integration mode, and the richness and complexity of mutual learning between Chinese and Western architecture are discussed; Then it introduces the cross-cultural architectural examples of China and the West with outstanding characteristics, reveals the local integration of heterogeneous cultures, and analyzes the profound connotation of mutual learning between Chinese and Western architecture, in order to promote the innovation and development of world architectural culture.

Keywords： cross-cultural perspective; Chinese and Western architecture; mutual learning; mechanism research

引言

在全球化的语境下，文化交流与融合已成趋势，建筑作为文化的载体，同样具备着流动性与传播性。中西方建筑作为世界上最具代表性的两大建筑文化体系，其交流与互鉴影响深远。从丝绸之路的开通到中西方建筑师的跨国合作，中西方建筑文化相互影响、相互熏陶，两者之间的交流互鉴涉及历史、文化、艺术、地理和社会等多个方面，研究中西方建筑的互鉴机制，可以直观地了解不同地域文化背景下建筑需求及价值观的转变，可以更好地探讨建筑思潮对本土建筑的影响，实现建筑符号的融合与再生。

一、中西方建筑差异

中西方两种不同的价值文化催生出了其各自的建筑文化，两者之间存在着较大的差异性，这种差异性主要体现在建筑的设计理念、营造技艺及审美情趣等方面。

（一）中国建筑

中国属于农耕文明，古代多数王朝政权定都于水源充足，土壤肥沃的地带，优越的自然环境造就了中国“天人合一”的自然

环境观，强调生命万物的和谐之美^[1]，在建筑营造上，倡导让自然成为建筑的有机部分，因势就利，和谐共生。同时，中国经历了几千年的封建社会，建筑带有明显的权力中心思想，君臣秩序、长幼尊卑也体现在了建筑文化当中，宫室建筑多采用中轴对称的布局，多重院落相套而成，注重多层次纵深的平面围合空间，庄严雄伟，突出皇权统治；民居建筑亦恪守礼制与宗法思想，进出有别，男女有别，家长居于上房堂屋，子孙住在厢房偏厦^[2]。

中国传统建筑选材以“木”为主，砖、瓦、石为辅，一方面

来讲,古代大兴土木会规定建造时间,以木取材会节省建造时间、精力与财力^[3],另一方面,木构建筑曲线精美柔和,强调线性美感,细腻内敛,符合中国人的低调谦逊的性格特点,一直沿用至明清时期。此外木材有延伸之感,隐喻繁荣昌盛之势,致使中国木构建筑呈现生生不息的增长姿态,木材的可塑性也造就了木构建筑的多样性与独特性,其包括抬梁式、穿斗式及井干式三种基本结构,兼顾美观与实用,按力学承重原理营造,体现构造工艺的高度^[4]。中国传统建筑通常包括台基、墙柱构架、屋顶三个主要组成部分^[5]。其中,柱子连接屋顶与台基起承重作用,柱身断面一般为圆形,表面光滑少有雕刻;屋顶的形式有很多,其五种基本形式为硬山、悬山、歇山、庑殿和攒尖^[6],象征着权力与威严,有着严格的等级划分,不同样式的屋顶代表了建筑的不同等级,屋顶都为斜坡面,利于排水。

在审美情趣上,讲究整体的平衡,强调折中、婉约的建筑美学,追求意境上的延伸感,体现“空”与“虚”的审美哲学。装饰手法相对丰富,以突出图案的线条为主,由此构成平面或浅浮雕图案,除雕饰(主要是土雕、木雕和石雕)外,还有彩饰,且装饰色彩具有较长时期的稳定性,以红、黄、蓝、绿为主色调^[7],鲜艳夺目,与台基对比强烈。

（二）西方建筑

西方属于海洋文明,发源于两河流域,始于古希腊,海洋环境的不稳定性造就其冒险与探索精神,其文化特征以理性、抗争、个体意识为主,推崇“天人相分”的自然环境观。西方社会是彰显“神”性的社会,建筑突出神力的崇高,建筑高大挺拔,采用向上的垂直叠加,偏好自然开放的单体空间形式,重视外部空间的营造。

西方建筑选材以“石”为主,由于两河流域湿润多雨,受制于自然环境影响,木构建筑易于被雨水侵蚀腐烂,无法满足建筑长久留存的需求,而石材抗压性强,坚固防腐,不易侵蚀,且西方石材分布较广,品类丰富,因此成为了西方建筑长时间使用的原材料。除此之外,石头本身质地坚硬,量感较大,拥有着“永恒不朽”的寓意,便于营造肃穆庄严的宗教氛围,符合西方国家的精神追求。在西方建筑中,石墙与梁柱是其最主要的结构体系,不仅能够满足承重的需求,也满足了人们对艺术的热情高涨,从石材的叠构、多样的柱式与繁复的雕刻可以见得。在营造技术上,以实用性为前提,将建筑与数学、几何学、力学、地质学、哲学相结合^[8],使其更加精细化与模数化。

在审美情趣上,西方古代建筑多以雕饰(石雕)为主,注重块面和形体,立体感较强,建筑强调几何美与体积美^[9],看重实体与物质,追求神秘与视觉上的震撼。西方建筑的装饰色彩则没有贯穿始终的单一色调,而是随着时代的变更不断地变换着色调,从装饰色彩这一侧面也可充分说明西方古代建筑剧烈变革的总体特点。建筑室内颜色风格,明亮多彩,体现迷幻、朦胧的宗教气氛^[10]。

二、中西方建筑的互鉴历程

中西方建筑文化交流与碰撞由来已久,以时间为序,现将其

大致分为以下四个阶段。第一阶段为早期接触与创造条件阶段,15世纪以前中西方建筑文化的交流虽不深入,但已展现出了一些交流迹象。张骞出使西域开辟了古代丝绸之路^[11],丝绸之路的交流,不仅是商品贸易的物质交流,更是中西方文化交流的通道,同时马可波罗抵达元朝首都^[12],刺激了西方国家找寻中国的欲望;这一时期是中西方建筑文化的初步交流与碰撞。16-18世纪,大批传教士的涌现致使中西方建筑的互鉴来到第二阶段,此时西方文艺复兴正值鼎盛,科学技术、艺术文化空前发展,这些传教士在中国建造教堂,引进西方建筑样式,同时将中国的宫殿、墓陵及风水传入西方^[12,13]。到了第三阶段,中西方建筑的互鉴伴随着近代的战争与冲突,19-20世纪初随着列强的入侵和通商口岸的开放,中国开始大规模的吸收西方建筑技术与理念。这一时期,西方建筑风格、施工方法大规模应用于中国的建筑实践^[14],一些海外留学的建筑师也开始将西方建筑理念带回国内,推动中国建筑的发展。20世纪80年代至今为第四阶段,这一阶段体现的是现代建筑技术的融合与创新,改革开放以后,中国进入快速建设阶段,中国建筑师在国际上的地位与声誉日益显著,中西建筑文化交流达到高峰,中西方建筑师合作密切,共同探索新的建筑理念与技术,推动建筑设计创新与发展。

三、中西方建筑的互鉴实例

（一）中国建筑文化在西方的应用实践——加州大学伯克利分校东亚图书馆

加州大学伯克利分校的东亚图书馆由纽约华裔女建筑师钱以佳和她的先生威廉姆斯设计,是中西合璧的建筑代表。图书馆整体采用白墙红瓦,借鉴中国传统建筑的色彩搭配,体现古朴典雅之感,同时融入加州传统建筑风格,避免与附近建筑群产生突兀。外部立面采用了中式传统的条形花窗,结合光影变化与气氛烘托,形成独特的辨识度。建筑内部的屋顶打造了横跨整个平面的天窗,用以平衡整体采光氛围,营造图书馆的宁静之感,符合中式审美需求。从建筑材料上看,选取木材进行装饰体现东亚文化的沉静之美,同时可以平衡其他材料的冷感,把握空间风格带给人的温度感受。此外,该建筑还综合运用了“框景”、“对景”的中式园林设计手法,借助空间透视,创造出一些平面上的退让和错层,实现步移景易的变换。

（二）西方建筑文化在中国的应用实践——北京国家大剧院

北京国家大剧院由法国著名建筑师保罗·安德鲁主持设计,该建筑设计融合了中西方的艺术特点。建筑整体由曲线组成,是西方现代主义的体现,它打破了中国传统建筑所追求的方正形制,同时,外部形态为椭球形,坐落于近乎方形的水池之上,寓意着“天圆地方”,是对中国文化的彰显,该建筑体现了传统与现代的结合。细节上,采用地下入口,以水下通道为过渡空间,顶部玻璃反射阳光的投影,具有中国传统文化含蓄内敛的意味。橄榄厅中铜门上的椭圆由中国古代门钉演变而来,是中国传统元素与现代理念的融合。外部建筑材料以金属和玻璃为主,在视觉上形成多维空间,加强了建筑的纵深感与现代感;建筑内部的

穹顶以巴西红木来进行装饰，深红色调暗合中国传统审美意趣。

四、中西方建筑的互鉴机制

结合中西方建筑的差异背景和实践历程来看，中西方建筑的互鉴机制是以文化碰撞为起始，以文化输出为动向，最终实现双方文化的正向融合，为彼此发展注入新的生机与活力。

（一）观念交织：文化的碰撞

中西方在审美观念、价值观念、生活方式等诸多方面都有着显著差异，这些差异反映在建筑上，表现为对建筑功能、形式、材料等的不同理解和偏好。所以，在本土文化与外来文化碰撞的过程中，无法避免产生冲突和矛盾。面对这种情况，我们要以尊重理解为前提，以吸收接纳为目标，学习对方建筑文化的优秀之处。如果一味地排斥外来建筑文化，始终对其持有抵触、否定和贬低的情绪，会在一定程度上造成本土建筑文化的退步与落伍，只有对外来文化进行正确解读与合理吸收，才能为本土的建筑市场带来新的机遇。

（二）文化自信：文化的输出

建筑是文化的载体，建筑文化自信是本土文化自信的表现之一。本土建筑文化想要得以传播、输出，离不开其本身的文化自信。一方面，本土建筑文化要始终坚持自身的主体性，要保留住建筑本源文化的核心要素，以此来维持自身文化的独特性，这需要对本土建筑文化保持充分的肯定与认同；另一方面，本土建筑文化还应自我革新、自我发展、自我适应，面对复杂的社会环境，如若一成不变，其必将面临被淘汰、被边缘化的命运，所以想要保证在世界范围内传播与输出，必须跟上时代，挖掘其在当下时空内的价值，保证其自身的活力。

（三）符号转译：文化的再生

中西方建筑的互鉴，是寻求内与外、新与旧平衡的过程。本土建筑文化的坚持和外来建筑文化的认同，是一个辩证的命题，在与外来建筑文化的互动过程中，要实现从“翻译”到“转译”的过程，两者之间不是一味的单纯模仿，更不是相互的批评贬低，而是要借鉴彼此的长处，来实现自我本源建筑文化的再解释与再创造。要将外来建筑文化元素融入新的场所，实现传统与现代的结合，保证彼此文化的再生。在今天，没有任何一种建筑文化生活在单一的语境中，没有任何一种建筑文化是尽善尽美的，不同文化应保持正向竞争，最终实现美美与共。

五、结语

建筑是人类精神文明的集中呈现，它通过固态空间的呈现映射出一个民族或地区的文化内涵。在全球化背景下，推动中西方建筑的跨文化交流符合文化传播的趋势，也迎合了现代建筑发展的趋势。但中西方建筑之间的交流互鉴并非是简单的形式挪用或风格杂糅，而是对各类文化要素的深度拆解与再创造，它的最终目的是实现不同文化之间的和谐共生。本研究从不同角度解析了中西方建筑的差异，并探究其互鉴历程，引入实践案例，解释了中西方建筑互鉴的深刻内涵，以期为中西方建筑的发展提供思路。未来，随着数字化技术的推进，中西方建筑的本土环境将受到不断地冲击与挑战，双方的交流互鉴会更加复杂多变，我们要时刻以发展的眼光来审视两者之间的关系，寻求两者之间的动态平衡，拓展现代建筑设计的内涵。

参考文献

- [1] 姜洪庆. 空间的原型批评——中西方传统建成空间比较研究 [J]. 新建筑, 2010, (02): 111-115.
- [2] 王贵祥. 中西方传统建筑：一种符号学视角的观察 [J]. 建筑师, 2005, (04): 32-39.
- [3] 魏星. 以“石”与“木”为契机比较中西建筑文化 [J]. 建筑与文化, 2020, (10): 86-87.
- [4] 赵潇欣. 抬梁?穿斗?中国传统木构架分类辨析——中国传统木构架发展规律研究(上)[J]. 华中建筑, 2018, 36(06): 121-126.
- [5] 聂晶鑫, 陈雷. 中西方建筑的差异探析 [J]. 住宅与房地产, 2023, (12): 92-94.
- [6] 孙嘉瞳, 陈红俊. 中西传统建筑艺术对比研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2022, (01): 122-123+126.
- [7] 潘明率, 王聪. 中西方石材建筑文化探析 [J]. 山西建筑, 2021, 47(02): 19-22.
- [8] 蔡秋莹, 朱盈, 罗丁豪. 探析东西方建筑设计文化的差异和发展 [J]. 家具与室内装饰, 2019, (11): 26-27.
- [9] 郭宜展. 基于中西方文化背景的建筑差异与发展研究 [J]. 文化月刊, 2024, (02): 135-137.
- [10] 张举. 浅谈中西方建筑产生差异的原因 [J]. 建筑, 2021, (23): 65-67.
- [11] 陈宇宏. 张骞出使西域 [J]. 西部大开发, 2015, (Z1): 174-179.
- [12] 王其亨. 《当代中国建筑史家十书：王其亨中国建筑史论选集》[M]. 沈阳：辽宁美术出版社. 2014. 168-190.
- [13] 李晓丹, 王其亨. 17 ~ 18 世纪中西建筑文化交流 [J]. 新建筑, 2006, (03): 122-123.
- [14] 朱友利, 杜书波. 本土转译视角下的福建近代“中西合璧式”教堂建筑 [J]. 建筑遗产, 2024, (02): 74-83.

房地产工程中的设计管理与工程管理协同机制研究

潘保良

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020011

摘 要： 本文围绕房地产工程设计与工程管理协同机制展开，阐述其理论基础，剖析当前协同管理实施问题及障碍成因，提出构建组织协同体系、流程协同再造、深化 BIM 技术应用等多种协同策略，强调复合型人才培养等要点，并指出该机制可提升项目管控水平，未来应向新兴领域拓展。

关 键 词： 房地产工程；设计管理；工程管理

Research on the Collaborative Mechanism of Design Management and Engineering Management in Real Estate Engineering

Pan Baoliang

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article focuses on the collaborative mechanism between real estate engineering design and engineering management, elaborates on its theoretical basis, analyzes the current implementation problems and obstacles of collaborative management, proposes various collaborative strategies such as building an organizational collaborative system, process collaborative reengineering, and deepening the application of BIM technology, emphasizes the key points of cultivating composite talents, and points out that this mechanism can improve project control level and should be expanded to emerging fields in the future.

Keywords： real estate engineering; design management; engineering management

引言

随着房地产业发展，提升项目质量、进度与成本控制至关重要。2021年《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》推动行业转型，对设计与工程管理协同提出更高要求。当前协同受制于组织架构、信息传递与权责不清等问题。需从组织、流程、技术、合同等多维度构建协同机制，以实现高效联动。该研究具重要实践价值，助力项目效益提升，顺应政策导向与行业发展趋势。

一、房地产工程设计管理与工程管理的理论框架

（一）设计管理与工程管理的核心内涵

房地产工程的设计管理，旨在依据项目定位与目标，对设计全过程进行科学规划、组织、协调与控制。设计标准的确立是关键，需契合项目定位、满足市场需求及规范要求，确保设计成果的实用性与前瞻性；界面协调则着重处理各专业、各参与方间的接口问题，避免设计冲突与疏漏，保障设计的系统性与完整性。工程管理侧重于项目实施阶段，进度管理致力于制定合理的施工计划，精准把控各环节时间节点，确保项目按时交付；成本管理通过成本预算、监控与控制，优化资源配置，在保证质量前提下降低成本；质量管理围绕质量目标，建立质量管理体系，对施工全过程进行质量监督与检验，确保工程符合质量标准。设计管理为工程管理奠定基础，工程管理将设计意图转化为现实成果，二

者紧密关联、相互影响，在房地产项目中共同保障项目的顺利推进与目标达成^[1]。

（二）协同机制的理论基础

房地产工程设计管理与工程管理协同机制的理论基础主要涉及系统论、集成管理理论和利益相关者理论。系统论强调将房地产项目视为一个有机整体，设计管理与工程管理是其中相互关联的子系统，各子系统相互作用、相互影响，共同推动项目系统目标的实现。集成管理理论倡导打破设计与工程管理间的壁垒，通过整合资源、信息与流程，实现无缝对接与高效协同，提高项目整体绩效^[2]。利益相关者理论指出，房地产项目涉及众多利益主体，设计管理与工程管理的协同需平衡各方利益诉求，诸如开发商、设计师、施工方、业主等，以保障项目顺利推进，实现多方共赢。这些理论为设计管理与工程管理协同机制提供了坚实的理论支撑，且适配于房地产开发项目复杂多元的特性。

二、房地产工程协同管理现状及问题分析

（一）当前协同管理实施现状

基于问卷调查与案例研究发现，房地产工程当前协同管理实施存在一定问题。在实际开发项目中，设计变更响应滞后是较为突出的现象。当项目需求变动或发现设计瑕疵时，相关部门无法及时响应并处理设计变更，导致工程进度受阻，延误工期，增加额外成本^[3]。同时，施工图深化脱节问题也较为普遍。设计单位与施工单位在施工图深化环节缺乏有效沟通与协作，施工单位对设计意图理解偏差，使得深化后的施工图与原设计理念不符，无法满足实际施工要求，影响工程质量，甚至可能引发安全隐患。这些典型的协同失效现象反映出当前房地产工程协同管理实施尚未达到理想状态，亟待优化。

（二）协同障碍的形成机理

房地产工程设计管理与工程管理协同障碍的形成，主要源于组织架构碎片化、信息传递损耗以及权责划分模糊。组织架构碎片化方面，设计与工程部门常各自为政，缺乏有机整合，工作流程相互脱节，难以形成协同合力^[4]。信息传递损耗上，设计与工程环节信息复杂，在传递过程中易因理解偏差、沟通不畅等出现失真，使得对方无法准确把握意图，阻碍协同。而权责划分模糊导致设计与工程管理职责界限不清，遇到问题时易出现相互推诿、扯皮现象，无法明确责任主体，难以有效推进工作，进而造成协同失效。

三、设计管理与工程管理协同机制构建

（一）协同机制框架设计

1. 组织协同体系构建

为构建房地产工程中设计管理与工程管理的组织协同体系，提出矩阵式项目管理组织架构优化方案。在该架构下，设计经理与工程经理需紧密协同。设计经理负责把控设计方向、质量与进度，对设计变更等关键事项有专业建议权；工程经理则专注于现场施工管理、资源调配及与各方的协调沟通，在施工方案执行等方面有决策权。同时，明确双方协同职责划分，针对项目各阶段任务，界定各自核心工作与协作范围，避免职责不清产生的矛盾与延误。对于重大决策，制定科学合理的决策权限配置规则，确保权力分配既有利于发挥双方专业优势，又能保障项目整体目标的实现，以高效协同推动房地产工程项目顺利开展^[5]。

2. 流程协同再造

在房地产工程中，实现设计管理与工程管理的协同，需注重流程协同再造。针对设计阶段可施工性审查流程，应组建跨部门团队，设计人员与工程人员共同参与，依据以往项目经验及施工技术规范，对设计方案进行全面审查，重点考量施工工艺、施工难度及成本等因素，及时发现并解决潜在施工问题，确保设计方案具有良好可施工性^[6]。对于施工阶段设计变更快速响应流程，当出现设计变更需求时，需明确各方职责与沟通渠道，建立高效信息传递机制。工程人员及时将变更需求反馈给设计人员，设计

人员快速评估变更影响并给出解决方案，同时各方共同协商变更实施细节，保障变更有序推进，减少对工程进度、质量及成本的不利影响，实现设计与工程管理在关键节点的协同作业，提升项目整体效益。

（二）技术支撑平台开发

1. BIM技术应用深化

在房地产工程中，深化BIM技术应用对于设计管理与工程管理协同机制构建至关重要。构建基于BIM的协同管理平台，能实现设计模型与施工进度、成本的动态关联分析。通过BIM模型集成设计信息，将施工进度计划与之关联，实时模拟施工过程，预测不同设计方案下的进度情况，提前发现潜在工期风险。同时，关联成本数据，精确计算各阶段成本，助力成本控制。利用平台的冲突自动检测功能，对设计与施工环节可能出现的碰撞、空间冲突等问题自动识别并预警，减少施工变更与返工，提升协同效率与工程质量^[7]。

2. 数字化决策支持系统

在房地产工程中，数字化决策支持系统对设计管理与工程管理协同机制构建意义重大。开发具备方案比选、风险预警功能的信息集成系统，能够有效强化多专业协同决策能力。通过该系统，可将设计与工程管理相关数据全面整合，实现信息实时共享与交互。例如，在方案比选环节，系统能够综合考虑设计方案的成本、施工难度、工期等多方面因素，为决策者提供量化分析和直观对比，助力选出最优方案。同时，凭借大数据分析 with 智能算法，系统可提前对潜在风险进行精准预警，让设计与工程管理团队及时采取应对措施。这种信息集成系统的应用，打破专业壁垒，显著提升多专业协同决策效率与质量，为房地产工程的顺利推进提供有力支撑^[8]。

四、协同机制实施保障体系

（一）制度保障措施

1. 合同约束条款设计

在EPC总承包合同中嵌入设计施工协同条款，是保障房地产工程设计管理与工程管理协同机制有效运行的关键。需详细明确设计与施工各方的界面责任，包括工作范围、时间节点、交付成果等，避免因职责不清导致协同障碍。同时，精心设计违约赔偿责任条款，对于未能履行协同义务的一方，依据违约程度制定合理的赔偿标准，赔偿范围涵盖直接经济损失以及因延误工期等造成的间接损失。通过这种清晰且具有约束性的合同条款设计，使各方在房地产工程实施过程中重视协同工作，积极履行协同义务，确保设计与施工的紧密配合，提升工程整体质量与效率^[9]。

2. 绩效考核体系重构

在房地产工程的设计管理与工程管理协同机制中，绩效考核体系重构尤为关键。应建立包含协同效率指标的KPI考核体系，将设计与工程管理部门间的沟通频率、信息传递准确性、问题解决时效性等协同相关因素纳入考核范畴。例如，明确规定每周的跨部门沟通会议次数，若达到则给予相应绩效加分。同时，制定

利益共享的激励机制，当项目因协同良好提前竣工或节省成本时，按一定比例对设计与工程管理团队共同奖励，使双方切实从协同工作中获利，激励其主动提升协同效率。通过这种方式，重构绩效考核体系，为设计管理与工程管理协同机制的有效运行提供有力保障^[10]。

（二）人力资源培养

1. 复合型人才培养

为实现房地产工程设计管理与工程管理的协同，复合型人才培养至关重要。实施设计管理人员工程管理知识培训专项计划，可邀请资深工程管理专家开展系统讲座，内容涵盖工程施工流程、项目进度把控、现场管理要点等，让设计人员深入了解工程实际操作，使设计方案更具可行性与可施工性。同时，针对工程管理人员设计读图能力提升制定计划，通过专业设计课程学习，掌握建筑、结构、水电等各专业图纸识读技巧，熟悉设计规范，以便在施工过程中精准理解设计意图，及时发现并解决设计与施工的矛盾，有效促进设计与工程管理的深度融合，提升项目整体质量与效率。

2. 团队协作能力建设

在房地产工程中，开展跨专业工作坊与协同沙盘演练对培育项目团队共同价值认知、提升团队协作能力至关重要。跨专业工作坊打破专业壁垒，让设计与工程人员齐聚一堂，围绕特定项目问题进行深入探讨与交流。大家分享各自专业视角下的见解，增进对彼此工作的理解，在思维碰撞中找到更优解决方案，由此凝聚共同攻克难题的价值认知。协同沙盘演练则模拟项目全流程，各专业人员以团队形式参与，在模拟操作中明晰自身职责以及与其他专业环节的关联。通过应对各种模拟状况，强化彼此间的协作配合，体会团队共同目标的重要性，进而在实践中构建起基于共同价值认知的高效协作模式，为房地产工程设计与工程管理协同机制的有效运行筑牢团队基础。

（三）风险防控机制

1. 风险识别与评估

在房地产工程设计管理与工程管理协同机制中，风险识别与

评估至关重要。对于技术风险，需关注设计方案的可行性与合理性，如建筑结构设计是否满足安全标准，新技术应用可能带来的潜在问题等。管理风险方面，着重识别协同流程中的衔接不畅，例如设计变更管理不规范、各部门沟通协调存在障碍等。市场风险识别则聚焦市场需求变化、竞争对手动态等因素。评估时，采用科学的方法，如层次分析法、模糊综合评价法等，对已识别的风险进行量化分析，确定风险发生的可能性和影响程度，以便为后续制定针对性的防控策略提供依据，确保房地产工程在设计与管理协同过程中有效应对各类风险，保障项目顺利推进。

2. 动态监控与应急响应

在房地产工程的设计管理与工程管理协同机制中，动态监控与应急响应极为关键。一方面，需建立风险预警阈值与分级响应机制。针对设计与工程管理过程中可能出现的各类风险，如设计偏差、进度延误等，依据风险影响程度设定不同的预警阈值。一旦监测到相关风险指标接近或突破阈值，立即启动相应级别的响应措施。另一方面，要制定设计变更快速审批等应急处置预案。在项目推进过程中，设计变更难以避免，通过建立快速审批流程，确保变更能在最短时间内得到处理，减少对工程进度与成本的影响。同时，预案还应涵盖其他突发状况的应对策略，保证在面对各种意外情况时，设计管理与工程管理协同工作能迅速调整，维持项目的顺利进行。

五、总结

研究表明，设计与工程管理协同机制显著提升房地产项目在质量、进度与成本控制方面的水平。通过打破部门壁垒，促进信息共享，减少变更与延误，有效降本提质，提升综合效益。未来，应拓展研究至绿色建筑、智能建造等新兴领域，探索协同机制的应用，顺应行业转型趋势，推动房地产工程向绿色化、智能化发展，增强行业竞争力与可持续发展能力。

参考文献

- [1] 吕竺霖. 价值共创视角下工程总承包商设计管理跨组织协同路径研究 [D]. 天津理工大学, 2022.
- [2] 王超. 施工方牵头的工程总承包项目设计管理研究 [D]. 北京交通大学, 2022.
- [3] 赵乐. 基于协同设计平台的设计管理评价研究——以某设计院为例 [D]. 山东建筑大学, 2021.
- [4] 贾贺翔. 工程总承包 (EPC) 项目的设计管理研究 —— 以 Y 项目为例 [D]. 山东建筑大学, 2023.
- [5] 李佳恬. 全过程工程咨询视角下 EPC 项目设计管理核心业务研究 [D]. 天津理工大学, 2021.
- [6] 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, (9): 10-12
- [7] 曹泽芳. 全过程工程咨询服务组合方式研究 [D]. 东南大学, 2020.
- [8] 程廉. 试论房地产工程管理中的几个关键问题 [J]. 数码世界, 2019, (09): 211.
- [9] 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.
- [10] 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.

基于全生命周期理念的总部办公空间 ESG 设计策略

张兰侠

深圳杰恩建筑设计有限公司, 广东 深圳 518100

DOI:10.61369/ADA.2025020013

摘 要： 随着全球可持续发展战略的深入推进，ESG（环境、社会、治理）理念已成为企业可持续发展的核心评价标准。总部办公空间作为企业形象展示与价值输出的重要载体，其设计需突破传统模式，融入全生命周期理念，实现环境效益、社会效益与治理效能的协同优化。本文基于全生命周期理念，从规划设计、建设施工、运营维护到最终拆除回收的完整阶段，系统探讨总部办公空间的 ESG 设计策略，包括生态化设计、人性化关怀、智慧化运维及透明化治理等维度，旨在为企业打造绿色、健康、高效且具有社会责任感的办公环境提供理论参考与实践路径，助力企业实现可持续发展目标与 ESG 价值提升。

关 键 词： 全生命周期；总部办公空间；ESG

ESG Design Strategies for Headquarters Office Spaces Based on the Full Life Cycle Concept

Zhang Lanxia

Shenzhen J&A Design Consultant Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518100

Abstract： As global sustainable development strategies advance, ESG (Environmental, Social, and Governance) principles have become core evaluation criteria for corporate sustainability. Headquarters office spaces, serving as vital vehicles for corporate image display and value delivery, require design approaches that transcend traditional models. By integrating the full life cycle concept, these spaces can achieve synergistic optimization of environmental benefits, social benefits, and governance effectiveness. This paper systematically explores ESG design strategies for headquarters office spaces based on the full life cycle concept, spanning planning and design, construction and operation, maintenance, and eventual demolition and recycling. It covers dimensions including ecological design, human-centered care, intelligent operation and maintenance, and transparent governance. The aim is to provide theoretical references and practical pathways for enterprises to create green, healthy, efficient, and socially responsible office environments, thereby supporting the achievement of sustainable development goals and enhancing ESG value.

Keywords： full life cycle; headquarters office space; ESG

引言

在全球气候变化和资源环境约束严峻背景下，ESG 理念因综合考量环境、社会和治理维度，成为衡量企业可持续发展能力的关键指标。总部办公空间是企业运营核心与文化投射，其设计影响员工体验、企业 ESG 绩效及社会形象。传统办公空间设计侧重短期功能与美学，缺乏对长期环境、社会和治理的考量，难以适应企业可持续发展要求。全生命周期理念强调全过程管理，关注资源、环境、社会和治理的持续性，为总部办公空间 ESG 设计提供方法论。所以，将全生命周期理念融入总部办公空间设计实践，构建一体化 ESG 设计策略，是当前建筑设计和企业可持续发展亟待解决的课题。

一、全生命周期理念下总部办公空间 ESG 设计的原则与框架

（一）设计原则的确立

基于全生命周期理念，总部办公空间的 ESG（环境、社会、

治理）设计需要遵循一系列核心原则。系统性原则要求将 ESG 目标融入空间设计的每一个环节和层面，确保环境、社会和治理因素在整体上得到平衡与协调，而非孤立处理。前瞻性原则强调在项目初期就预见未来可能出现的挑战与机遇，采用适应性强、可持续性高的设计策略，避免后期改造带来的资源浪费和环境负

担。资源效率原则关注在全生命周期内最大限度地减少资源消耗和废弃物产生，包括能源、水、材料等，追求高效利用和循环再生。以人为本原则将使用者的健康、舒适、安全和工作效率置于重要位置，通过优化室内环境质量、提供灵活多样的工作空间、促进健康行为等方式，体现对人的关怀。责任明确原则则要求在项目全过程中，清晰界定各参与方在 ESG 方面的责任与义务，建立有效的沟通与监督机制，确保各项 ESG 目标得以落实。这些原则共同构成了指导总部办公空间 ESG 设计的价值基础和行为准则。

（二）ESG 设计总体框架构建

构建一个整合环境（E）、社会（S）、治理（G）三个维度，并覆盖从项目规划、方案设计、施工建设、日常运营、维护管理直至最终拆除或改造终结的全生命周期的总体设计框架，是实现上述原则的关键。该框架将 ESG 目标分解并落实到每一个生命周期阶段的具体任务和决策中。在规划阶段，需进行 ESG 目标设定、场地评估与可持续策略规划；在设计阶段，需进行绿色材料选择、节能方案设计、健康空间布局、无障碍设计等；在建设阶段，需关注施工过程的环保管理、资源节约、工人安全与权益；在运营阶段，需建立能源与水资源管理系统、实施室内环境质量监控、制定健康安全规程、推行绿色采购与废弃物管理；在维护阶段，需采用预防性维护策略、选用耐用且可修复的部件；在终结阶段，则需考虑材料的回收利用、拆除过程的环保要求等。该框架通过设定各阶段具体的 ESG 绩效指标和评价方法，确保不同阶段之间的策略能够有效衔接，形成连贯的、相互支持的流程。例如，设计阶段的节能方案需要考虑建设阶段的可实施性和运营阶段的可管理性，运营阶段的反馈数据又可为未来的维护和改造提供依据。这种全生命周期的整合与协同，旨在实现总部办公空间在环境友好、社会价值和良好治理方面的综合最优表现^[1]。

二、全生命周期各阶段 ESG 设计策略的制定

（一）ESG 导向的选址与定位

选址阶段需系统评估多因素。考量交通便捷性，优先选靠近公共交通枢纽或有完善慢行系统区域；评估周边生态，避免破坏敏感区，与自然景观融合；考察社区融合，预留共享空间或设施。基于 ESG 考量制定空间功能定位与规模规划策略，如靠近科研机构定位为创新研发中心，位于成熟社区强化社区服务功能。规模规划精确计算需求，确保空间利用率与 ESG 目标匹配。

（二）集成化的 ESG 技术方案

环境维度落实设计策略，节能采用高性能围护结构等，节水用节水器具等，节材用本地化、标准化材料等，利用可再生能源，优化室内环境质量。社会维度实施健康办公、无障碍设计、灵活空间布局、促进协作交流等策略。治理维度通过空间布局支撑透明沟通，共享空间助知识共享，特定空间塑造企业文化。

（三）绿色施工与供应链管理

施工阶段减少负面影响和管理资源流。减少施工扰民，合理安排作业时间等；建立废弃物分类收集和回收利用体系；选用环

保建材，优先考虑有环保认证、低 VOC 排放材料；加强供应链 ESG 表现，评估供应商，合同明确要求^[2]。

（四）高效管理与持续优化

运营管理阶段，环境维度借助技术和管理手段，用智能楼宇系统监控数据，精细化管理能源，完善垃圾分类回收，采用环保绿植养护方法。社会维度监测员工健康，建立空间使用反馈机制，利用社区活动空间。治理维度采集 ESG 绩效数据，评估空间使用效率，落实责任制度。

（五）资源回收与责任延伸

项目终结阶段重点是资源循环利用。拆除前制定资源回收利用计划，识别可回收材料，保护性拆除并联系回收商处理。项目初期和中期评估改造再利用可能性，选择易改造结构和材料，延长建筑寿命，体现责任延伸理念。

三、ESG 设计策略的实施保障与协同机制

（一）组织与流程保障

企业内部建立跨部门协作机制是推动总部办公空间 ESG 设计策略落地的核心组织基础。这种机制需要整合设计部门、可持续发展部门、行政部门、财务部门等多部门资源，明确各部门在 ESG 设计全生命周期中的具体权责。例如，设计部门负责将 ESG 目标转化为具体设计方案，可持续发展部门提供政策与标准解读，行政部门协调施工与运营阶段的资源调配，财务部门负责将 ESG 投入纳入预算并跟踪成本效益。某跨国企业 2021 年在总部办公空间改造中，成立由高管牵头的跨部门 ESG 设计委员会，每月召开协调会议，解决设计方案与施工进度、预算控制之间的冲突，使项目的碳排放降低目标达成率从预期的 70% 提升至 85%。

明确责任主体是避免流程脱节的关键。需指定专职 ESG 设计负责人，全程跟踪从前期规划到后期运营的每个环节，确保各阶段工作均围绕预设的 ESG 目标展开。在前期规划阶段，负责人需组织各部门确认办公空间的 ESG 核心指标，如节能率、可再生材料使用率、室内空气质量达标率等；在设计阶段，审核方案是否符合指标要求；在施工阶段，监督材料采购与施工工艺的合规性；在运营阶段，定期评估 ESG 绩效并推动优化。

将 ESG 目标纳入设计全流程，需建立标准化的嵌入节点。在项目启动阶段，将 ESG 指标写入设计任务书，作为方案评审的硬性标准；在方案设计阶段，要求设计团队提交 ESG 影响评估报告，分析方案对能源消耗、水资源利用、废弃物产生的潜在影响；在施工招标阶段，将施工过程的碳排放控制要求纳入招标文件；在验收阶段，增加 ESG 专项验收环节，对照初始目标评估实际达成情况。2022 年某国内科技企业总部项目中，通过这种全流程嵌入方式，使办公空间的可再生能源使用占比达到 30%，较未纳入流程前的同类项目提升 18 个百分点^[3]。

（二）技术与标准支撑

数字化工具的应用为 ESG 设计的全生命周期管理提供了技术支撑，其中 BIM（建筑信息模型）的作用尤为显著。在设计阶段，BIM 可模拟不同方案的能耗、采光、通风等性能，帮助设计

团队优化布局与材料选择，例如通过模拟计算确定光伏板的最佳安装角度，提升太阳能利用效率；在施工阶段，BIM 可实现材料用量的精准核算，减少浪费，同时通过施工模拟优化工序，降低机械使用带来的碳排放；在运营阶段，BIM 与物联网设备联动，实时监测办公空间的能源消耗、设备运行状态，为节能改造提供数据支持。2021 年《建筑科学》杂志公开数据显示，采用 BIM 技术的办公建筑项目，设计阶段的能耗模拟准确率达到 92%，施工阶段的材料浪费率降低 25%，运营阶段的能源管理效率提升 30%。

绿色建筑标准为 ESG 设计提供了明确的技术指引，国际上的 LEED（能源与环境设计先锋）、国内的《绿色建筑评价标准》（GB/T 50378）等，从节能、节水、节材、室内环境质量等多维度设定了具体要求。例如，LEED 认证中对办公建筑的节能率要求不低于 10%，可再生能源占比需达到 5% 以上，室内空气质量需满足特定的污染物浓度限值。2022 年住建部公开数据显示，我国获得绿色建筑评价标识的办公建筑项目中，90% 以上在设计阶段均参照了 GB/T 50378 标准，这些项目的平均节能率达到 15%，较未采用标准的项目高 8 个百分点。

第三方评估体系能够客观验证 ESG 设计策略的实施效果，避免企业自评的主观性偏差。第三方机构会依据既定标准，对办公空间的 ESG 绩效进行全生命周期评估，包括设计方案的合规性、施工过程的环保措施落实情况、运营阶段的资源消耗数据等，并出具独立评估报告。某国际认证机构 2021 年的统计数据显示，经过第三方评估的办公空间项目，其 ESG 目标实际达成率比企业自评结果平均高 12 个百分点，且后续优化措施的针对性更强^[4]。

（三）文化与意识培育

提升企业管理者对 ESG 理念及全生命周期管理重要性的认知是推动设计策略落地的前提。管理者的认知会直接影响资源投入与决策倾向，通过组织 ESG 专题培训、邀请行业专家分享成功案例、参观优秀 ESG 办公空间项目等方式，可帮助管理者理解 ESG 设计不仅能降低长期运营成本，还能提升企业品牌形象与员工满意度。2022 年某企业联合会调研显示，接受过系统 ESG 培训的企业管理者，在总部办公空间项目中对 ESG 设计的投入占比平均达到总预算的 15%，较未接受培训的管理者高 7 个百分点。

培育员工对 ESG 设计的认同与参与意识，能确保运营阶段的策略有效执行。通过内部宣传（如海报、公众号推文）普及办公空间 ESG 设计的具体措施与个人关联，例如说明节水龙头的使用可减少企业水费支出、绿色植物的摆放能改善室内空气质量等；开展节能降耗活动，如“低碳办公周”，鼓励员工参与关灯、垃圾分类等行动，并建立激励机制，对表现突出的团队或个人给予奖励。某企业 2021 年的数据显示，经过系统宣传与活动引导后，员工对办公空间 ESG 措施的主动遵守率从 60% 提升至 85%，办公区域的日均耗电量下降 12%。

营造支持可持续设计的组织文化，需要将 ESG 理念融入企业日常运营的价值观与行为准则中。例如，在企业内部规章制度中明确员工在办公过程中的环保责任，将 ESG 绩效纳入部门考核指标，使各部门在协作中主动考虑环境与社会影响。长期来看，这种文化氛围能推动 ESG 设计从“被动执行”转变为“主动创新”，员工会自发提出优化建议，如改进办公设备的使用方式以降低能耗，或反馈室内环境问题以推动设计调整。2022 年某行业报告显示，具备成熟可持续文化的企业，其总部办公空间的 ESG 设计策略持续优化率比其他企业高 20 个百分点^[5]。

四、结语

基于全生命周期理念的总部办公空间 ESG 设计策略，为企业应对可持续发展挑战提供全面系统方案。从确立设计原则、构建总体框架，到制定各阶段策略，再到建立实施保障与协同机制，形成有机整体，有助于提升总部办公空间环境、社会和治理综合价值。此外，ESG 理念随时代发展不断深化，总部办公空间 ESG 设计策略需与时俱进、持续创新。如结合人工智能、大数据等新兴技术实现智能精细管理，关注员工多元需求提升人性化水平，加强与周边社区互动合作扩大社会影响力。总之，总部办公空间 ESG 设计是长期复杂过程，需企业、政府、社会等各方共同努力探索实践。持续优化完善策略，有助于企业打造绿色、健康、高效且有社会责任感的办公环境，为自身及社会可持续发展奠定基础、贡献力量。

参考文献

- [1] 涂可灏. 基于 ESG 理念的碳审计研究——以长城汽车为例 [D]. 中南财经政法大学, 2022.
- [2] 赵旭. ESG 表现对企业非效率投资的影响研究 [D]. 浙江工商大学, 2023.
- [3] 李庆江, 王艳, 邹贵林, 等. 从工程项目管理视角构建 ESG 评价体系的探索与建议——南方电网公司工程 ESG 评价体系研究案例分析 [J]. 可持续发展经济导刊, 2023(5): 59-61.
- [4] 张盈华. 我国养老金 ESG 投资的受托责任: 辨析、趋势与建议 [J]. 复印报刊资料: 社会保障制度, 2022(8): 9.
- [5] 李怡然. 基于 ESG 理念的 PPP 项目全生命周期管理研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44(S01): 139-142. DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.2023S1139.

虚拟现实技术在体验馆空间设计中的应用探究

林立, 谢雨欣

长春理工大学, 吉林 长春 130000

DOI:10.61369/ADA.2025020014

摘 要 : 虚拟现实技术的快速发展, 为体验馆空间的创新打开了新的路径。这种先进的技术手段创新了人们获取知识和信息的方式, 为体验馆向数字化的转型注入了强大动力。本文旨在探讨虚拟现实技术在体验馆空间设计中的应用, 通过明确体验馆空间设计的应用原则, 从而确定具体的应用方法, 虚拟现实技术不但能提供沉浸式的游览体验, 提升体验者的满意度, 还能够帮助体验馆打破空间与时间的边界, 为体验者创造更自由、更有趣且更有意义的空间。这种结合使得体验馆成为一个充满活力、互动性强的新型文化空间, 为公众提供了更加丰富和多元的文化体验。

关 键 词 : 虚拟现实技术; 体验馆; 空间设计

Research on the Application of Virtual Reality Technology in the Spatial Design of Experience Centers

Lin Li, Xie Yuxin

Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130000

Abstract : The rapid development of virtual reality technology has opened up new paths for the innovation of experience center Spaces. This advanced technological means has innovated the way people acquire knowledge and information, injecting strong impetus into the digital transformation of experience centers. This article aims to explore the application of virtual reality technology in the spatial design of experience centers. By clarifying the application principles of the spatial design of experience centers, specific application methods can be determined. Virtual reality technology not only provides immersive visiting experiences and enhances the satisfaction of visitors, but also helps experience centers break the boundaries of space and time. Create a freer, more interesting and more meaningful space for the experiencers. This combination makes the experience center a vibrant and highly interactive new cultural space, providing the public with a richer and more diverse cultural experience.

Keywords : virtual reality technology; experience hall; spatial design

引言

随着科技进步的不断推进, 虚拟现实技术正逐渐渗透至众多领域, 其应用范围日益拓展。在这一趋势下, 将此技术融合至体验馆空间设计之中, 已成为一种创新的尝试, 为体验馆的空间布局 and 用户体验带来了创新性的变革。可以为体验者带来身临其境的视觉效果, 可以通过 VR 设备, 将人们带入到一个接近真实的三维虚拟环境当中, 亲身体验各项虚拟活动。这不仅避免了真实体验过程中的危险因素, 还为体验者展现出了一种全新的艺术欣赏体验。虚拟现实技术为体验馆空间的展示方式带来了革命性的变革, 使得体验馆的展示类型、效果和风格都变得更加丰富和具有创新性。

一、虚拟现实技术与体验馆空间设计相关概述

(一) 虚拟现实技术与体验馆空间设计发展现状

虚拟现实技术 (简称 VR) 是一项融合计算机技术、感应设备以及人机互动手段, 以打造近似现实世界的沉浸式数字化体验的

技术。该技术通过构建数字化场景, 并借头戴式显示器、手柄、数据手套等输入输出装置, 让用户仿佛置身于虚拟世界之中, 感受其中的视觉、听觉及触觉。VR 技术的工作原理在于将用户的感官信息与计算机生成的虚拟空间相结合, 营造出一种真实感。具体而言, 通过精准的追踪与感知设备, 用户得以在虚拟空间中

作者简介:

林立 (1979.04—), 女, 汉族, 党员, 吉林长春市人, 硕士研究生, 副教授, 文学院副院长, 环境设计专业, 就职于长春理工大学;

谢雨欣 (2000.01—), 女, 汉族, 山东东营人, 硕士研究生, 环境设计专业, 长春理工大学学生。

自由移动并与之互动,如进行触碰、探索、操作等活动。VR技术在众多行业均得到广泛应用:在游戏领域,它为玩家带来更为真实、沉浸的体验;在教育领域,它构建虚拟实验室和场景,助力学生更深入地学习和实践;在医疗领域,VR技术可用于手术模拟和康复训练;在建筑行业,它能够实现即时三维可视化,协助设计师更有效地审视和调整设计方案^[1]。

进入21世纪,随着信息技术的飞速发展,人与物之间的关系逐渐向以人为主体的方向发展,注重消费者的个性化需求,创造“情景体验”,“互动体验”和“一站式体验”的空间环境,让消费者在活动的过程中积极地参与,从而获得自身的价值,因此体验馆空间逐渐发展起来。例如,位于江苏苏州的拙政园VR体验馆项目《梦隐拙政园-VR幻境画中游》。通过幻境式园林文化主题游的方式,人们在游憩之间,就可以重返那个“丘园养素,林泉之志”的风雅时代。体验馆空间的设计不再局限于实体布局,而是通过数字技术扩展空间功能,使同一区域能够灵活切换不同主题场景,大幅提升空间利用率^[2]。

(二) 虚拟现实技术在体验馆空间设计中的独特优势

虚拟现实技术为体验馆空间设计提供了全新的创意表达平台,能够将抽象的空间概念具象化,直观呈现空间布局、视觉效果与互动元素,显著提升设计的直观性与说服力。同时,作为设计工具,它可模拟真实环境,使设计者与参观者在虚拟空间中自由行走,感知比例、光线与氛围,从而优化设计方案,提前发现并解决潜在缺陷,减少实际施工中的调整。虚拟现实还具备较强的交互性,使参观者能够参与设计过程,通过互动体验评估可行性与吸引力,为方案改进提供全面、客观的反馈。此外,该技术尤其适用于历史文化的再现,通过融合现代科技复原历史场景,使公众沉浸其中,深入感知历史内涵^[3]。在体验馆中,其最突出的优势在于创造沉浸式体验,使观众从被动观看转为主动参与,真正与虚拟情境融为一体,增强叙事的代入感和体验的真实感(如图1)。



图1 虚拟现实技术（图片来源：全息光影）

虚拟现实技术为体验馆提供了前所未有的互动性,体验者可以与虚拟的环境、角色和场景进行实时的互动,并由互动影响体验馆故事的发展,创作出更具有个性化的体验空间。同时,虚拟现实技术下的体验空间具有强大的创意表达能力和想象力释放,为艺术创作者提供了无限的创作可能。

二、虚拟现实技术在体验馆空间设计中的应用原则

(一) 沉浸式与交互性原则

沉浸式与交互性是虚拟现实技术在空间设计中最核心的应用原则,是用户对计算机模拟世界的一种虚拟感受,强调采用逼真的三维世界,用户处于虚拟世界之中,通过视觉、嗅觉、触觉等多种感官刺激,以增强虚拟世界的代入感,使得体验者仿佛与虚拟的场景互动并沉浸在虚拟世界的乐趣中^[4]。虚拟现实体验馆的设计主要分为物理沉浸感和精神沉浸感两个方面。物理沉浸感是通过合成的感官刺激来替代自然刺激,而精神沉浸感是指体验者在体验虚拟世界时产生的真实感和互动感。而互动性是体验者可以通过修改界面、移动位置、改变视角等方式在体验馆中与场景互动,并通过操作、导航、通信等方式与虚拟空间实时互动,从而真正产生身临其境的感觉和体验^[5]。

(二) 整体性与个性化原则

整体性强调体验馆空间内VR体验的统一感、连贯性、流畅性和主题一致性。用户从一个场景或环节过渡到另一个时,感觉自然、协调,整体空间叙事和氛围营造是完整且无割裂感的。个性化原则强调基于用户显性或隐性数据、偏好、行为或选择,提供差异化的、量身定制的VR内容、交互方式和叙事路径,满足不同用户的独特需求和兴趣点,提升参与感和沉浸感^[6]。

(三) 创新性与环保性原则

在创新性与环保性原则中,设计过程通过节能减排、可持续性材料、资源循环利用等环保措施,减少对环境的影响。同时,利用虚拟现实技术对室内空间结构、建材、设备等进行准确的分析和优化,以满足低耗能设计的同时,对小空间进行模拟无限场景创新效果,同时也可以利用虚拟现实技术对感官进行扩展和加强体验者的认知,在尽可能环保的同时实现空间设计的创新革命^[7]。

三、虚拟现实技术在体验馆空间设计中的应用方法

(一) 营造沉浸氛围,激发互动与参与体验

在体验馆空间设计中,通过虚拟现实技术将人们的感官刺激跃升至情感共鸣,是通过结合视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉等多个感官体验营造的沉浸式体验氛围,创造出更具有真实性、互动性的体验馆空间。如虚拟现实技术能够模拟真实环境,为参观者带来高度逼真的视觉效果。在体验馆空间设计中,可以利用这一特点,打造具有视觉冲击力的展示效果^[8]。例如在Foster+Partners森林馆体验中心中(如图2),设计师采用数字互动装置,在感官互动区邀请游客通过专注于视觉、嗅觉、触觉、味觉和听觉的互动体验真正发现幸福的意义;自然漫步区,游客将沉浸在一个随着路过而不断变化的动态森林装置中。再例如BubblePlanet所设计的“泡泡星球”主题体验馆(如图3),通过数字化多媒体投影、互动感应、全息与VR技术,为体验者带来五感沉浸式和交互性的“泡泡星球”之旅。体验者戴上头显,化身一颗自由漂浮的泡泡,潜入巨型蛤蜊的内部,听见细微的蛤蜊吐气;或跃入晶莹的香槟杯,感受自己变成一颗活泼的气泡……VR技术

让人们以第一人称视角穿越奇幻场景，开启奇幻的跨界体验。



图2 Foster+Partners 森林馆体验中心（来源：全息光影）



图3 “泡泡星球”主题体验馆（来源：全息光影）

（二）融合叙事互动，创造共性与差异场景

融合叙事交互机制强调在体验馆设计中建立一套贯穿整个体验馆 VR 空间的、风格统一且符合设计主题的设计叙事，创设一系列符合整体艺术风格和主题设定虚拟场景提供体验者进行个性化选择，同时个性化设定在色彩、材质、形态上遵循统一的设计主题，以确保在任何场景中都不会太突兀^[9]。例如位于新加坡的“SG60 心灵体验”展览空间（如图4），在虚拟现实（VR）与生成式 AI 等技术的整体支持下，以“过去—现在—未来”的清晰叙事脉络贯穿始终，实现了空间设计与故事叙述的高度统一。各功能区虽在内容上各有侧重——从“时光之轮”的回望过去，到“好奇心之城”的感知现在，再到“天空之窗”的展望未来——但均通过统一的沉浸式数字交互手法，营造出连贯的科技未来感风格。这种技术在统一风格与差异内容之间的精妙平衡，共同构建了一个层次分明、体验丰富的沉浸式叙事环境，使空间本身成为讲述新加坡故事的核心载体。



图4 “SG60 心灵体验”沉浸式展览（来源：全息光影）

（三）优创虚实联动，实现绿色与环保体验

艺术装置作为环境空间设计的灵魂所在，同样在体验馆设计中扮演着至关重要的角色。通过巧妙地运用虚拟现实技术，将这些技术巧妙地嵌入体验馆的艺术装置之中，能够创造出一个集科技感与可持续性于一体的虚拟现实体验空间。这个空间不仅展现了科技的魅力，更引领体验者进入一个全方位的沉浸式体验之中，让他们在艺术的氛围中感受虚拟现实的无限魅力，开启一段前所未有的探索之旅^[10]。在奥拉维尔·埃利亚松的《融化的记忆》（如图5）艺术装置中通过卫星扫描格陵兰冰川融化数据，生成实时变化的虚拟冰川景观，并采用太阳能供电，VR 设备搭载低功耗眼动追踪技术，在装置中体验者手势“触摸”虚拟冰川时，冰川加速崩塌，触发气候危机数据可视化，引发即时情感共鸣，实现环保可持续发展的同时以科技手段创设虚实联动空间。

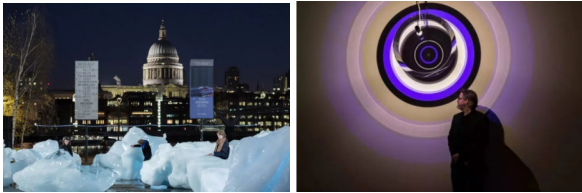


图5 融化的记忆艺术装置（来源：百度百科）

四、结语

在体验馆空间设计中，虚拟现实已从一种可选的“显示技术”跃升为一种核心的“空间设计语言”。它不再是简单地为物理空间增加一个屏幕，而是直接创造了一个叠加在物理空间之上或完全替代物理空间的、可交互的、沉浸式的叙事环境。在体验馆设计中，虚拟现实技术的核心优势在于实现空间利用率的最大化，可通过三维建模与虚实映射，将有限的物理空间扩展成丰富的效果。还可以通过体感追踪与数据收集，及时调整场景布局与导览策略，提升空间使用的灵活性与效率。要实现空间的沉浸式最关键的是要让设备实现贴合人类的虚拟方式，而不是让游客在虚拟环境中利用交互方式来适应环境本身。未来，随着智能化、科技化概念的发展，虚拟现实技术将进一步推动体验馆向智慧化、自适应化方向发展，但同时也需关注可持续性以及跨文化叙事等挑战，以确保科技与人文的平衡发展。

参考文献

- [1] 孙艺菲. 基于虚拟现实技术的空间设计研究——以文创空间为例[J]. 设计, 2024, 37(20): 74-76.
- [2] 韩淑梅. 疗愈系植物的艺术体验馆设计研究[D]. 江汉大学, 2024.
- [3] 牛浩. 基于互动理念下保定农耕体验馆空间设计研究[D]. 河北大学, 2022.
- [4] 孙斌. 人工智能时代下虚拟现实技术在室内设计中的应用研究[J]. 上海包装, 2023(11): 27-29.
- [5] 易欣玥, 祝冰谦, 吴青霞, 等. 基于虚拟现实技术的儿童科普空间交互设计研究[J]. 大众文艺, 2023, (16): 23-25.
- [6] 唐雁. 虚拟现实技术在酒店设计中的应用与游客体验研究[J]. 城市建筑, 2024, 21(13): 160-162.
- [7] 赵彬. 虚拟现实技术在乡村振兴室内设计中的传统与现代结合应用研究[J]. 居舍, 2024, (29): 10-13+32.
- [8] 邹显丰. 论虚拟现实（VR）技术在博物馆空间艺术设计中的应用[D]. 苏州大学, 2017.
- [9] 周晓成, 蒋心一, 李欣鑫. 虚拟现实交互设计[M]. 化学工业出版社: 202408: 157.
- [10] 朱婷. 文化可持续视域下的纸艺术体验馆空间设计研究[D]. 华中师范大学, 2023.

某大退台超高层项目的设计与实践

方晓彤

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.2025020017

摘 要 : 某247米超高层项目, 建筑方案采用大退台造型, 在约140米高处大尺度收进。由于大退台体型引起塔楼竖向荷载严重不均, 重心偏置, 使建筑仅在恒荷载作用下就产生较大的侧移。大退台体型也引起结构刚度突变, 相关位置结构有较大的应力集中。此外, 因建筑方案需求, 底部楼层需要进行搭接柱转换。本文以该项目为研究对象, 采用YJK、ETABS、SAUSAGE等软件进行计算分析, MIDAS GEN进行施工模拟分析、ABAQUS进行结构节点分析, 针对大退台体型带来的结构受力不利影响, 采取了加强薄弱部位构件、桩基变刚度调平、控制施工调平等针对性解决方案, 为同类大退台超高层项目设计提供参考。

关 键 词 : 超高层建筑; 大退台; 大尺度收进; 搭接柱; 抗震性能化设计

Design and Practice of a Mega Super High-rise Project with Large Terraces

Fang Xiaotong

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

Abstract : A 247-meter super high-rise project features a large stepped design with a significant setback at approximately 140 meters. The large stepped form causes severe vertical load imbalance in the tower, resulting in a displaced center of gravity that induces significant lateral displacement even under dead load alone. This form also causes abrupt changes in structural stiffness, leading to substantial stress concentration at relevant locations. Additionally, the architectural design requires a column transfer at the base floors. This paper studies the project using YJK, ETABS, and SAUSAGE for computational analysis, MIDAS GEN for construction simulation, and ABAQUS for structural node analysis. To mitigate the adverse structural effects of the large setback, targeted solutions were implemented: reinforcing vulnerable components, adjusting pile foundation stiffness for leveling, and controlling construction leveling. These findings provide reference for designing similar large-setback super high-rise projects.

Keywords : super high-rise building; large-scale setbacks; large-scale recesses; lap columns; performance-based seismic design

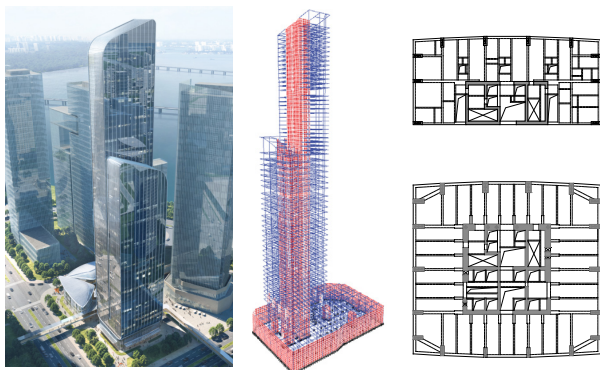
引言

在城市高密度开发背景下, 超高层建筑对外观造型的创新要求不断提高。本项目采用大退台造型, 以形成空间层次感与良好的观景效果。然而该造型引起了结构竖向体型突变、质心偏移、局部构件受力复杂等问题, 对结构设计的安全性、经济性与施工的可行性带来较大挑战。项目塔楼在约140m高度处实现单侧约50%的退台, 并包含搭接柱转换及局部楼板大开洞等超限设计内容。本文对项目的关键技术问题进行计算分析并提出解决措施, 为类似的大退台超高层结构提供参考。

一、工程概况

本项目位于珠海市横琴新区核心商务区, 总建筑面积110833 m², 其中地上建筑面积81934 m² (塔楼占72000 m²), 地下建筑面积28899 m²。项目由主塔楼、裙楼及地下车库组成, 塔楼功能为办公与公寓, 裙楼为商业, 地下4层为停车库及核(常)六级人防地下室。塔楼采用钢筋混凝土框架-核心筒结构体系, 主屋面高度235.2m, 幕墙顶高度247.2m; 裙楼3层, 屋面高度16.2m。项

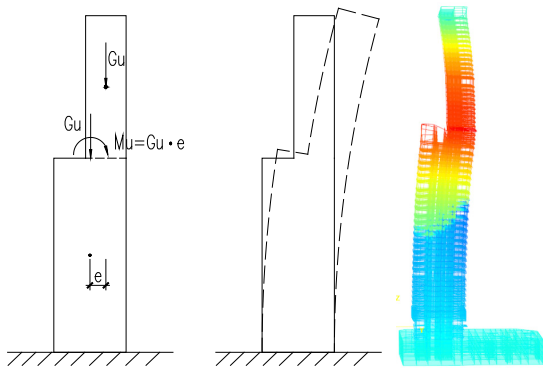
目最核心特征为竖向大退台设计, 塔楼在32层(标高139.7m)处实现单边大幅退台, 退台后高区平面尺寸由中低区43.7m×41.1m缩减至43.7m×21.0m, 退台幅度达50%, 形成“高低塔”造型, 如下图所示:



二、质心偏心与结构整体水平侧移

（一）质心偏心造成竖向位移差与结构整体水平侧移

由于大退台体型，总高247米的建筑在约140米高处单边收进约1/2平面，140米以上的楼层质心与140米以下的楼层质心之间，偏心距高达9米。在恒、活荷载的作用下，竖向荷载与9米的偏心距对下部楼层产生较大的倾覆力矩。受力简图示意如下图所示。在YJK和ETABS整体建模分析结果中，由于采用施工模拟3，即在第n层（楼层n在140米以上）施工完成后，结构已经产生水平侧移后，再施工第n+1层，此n+1层按楼层水平线施工，所以最终结果出现顶部楼层的水平位移反向回正，具体如下图所示。



由于上述偏心效应和水平侧移，导致结构在地震组合和风荷载组合中，层间位移角超过规范限值，所以需要采取有效措施，减少恒、活荷载下产生的水平侧移^[1]。

（二）通过轴压比差异减少水平侧移

在结构布置上，将北半塔（高塔）的竖向构件截面尽量做大，使得轴压比比规范限值有约0.05以上的富余，而南半塔（低塔）的竖向构件截面则尽量接近规范限值设计，减少富余。以首层墙柱为例，核心筒北面的墙厚为1400，南面的墙厚为900。北面的柱截面为1200x2800，轴压比约0.50~0.58，南面的柱截面为800x2200，轴压比约0.62~0.67。通过调节南、北两部分的墙柱轴压比，来减小大尺度收进带来的不利影响。

（三）通过桩基变刚度调平减少水平侧移

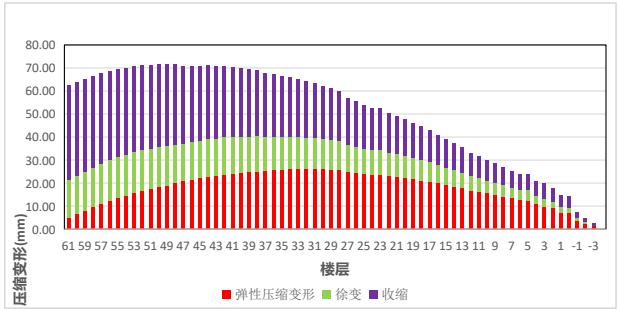
在桩基设计时，采取“变刚度调平”的思路，将南半塔和北半塔的桩取不同的入岩深度和桩距，北半塔桩入中风化岩深度

为2.5m，桩距约3.75m，南半塔入中风化岩深度为0.5m，桩距约4.95m，令南半塔（低塔）的沉降比北半塔（高塔）的稍大，从而达到调平的目的。为平衡大尺度收进引起的竖向沉降差和水平位移，后面将结合塔楼竖向施工模拟分析专题，提出相关处理措施。

（四）通过楼层高差施工补偿减少水平侧移

在设计中，考虑通过控制施工时的楼面标高，使楼面轻微找坡，以减少水平侧移。为了实现这一目的，需要对结构进行深度的施工模拟分析。本项目设计中，利用MIDAS-GEN软件，分析施工阶段和使用阶段中，恒活荷载、混凝土收缩、混凝土徐变等荷载效应对墙柱压缩变形及水平变形，为指导后期施工阶段楼板找平，对墙柱压缩变形量提供一个更准确的评估^[2]。主要分析内容如下：

根据以往实际项目经验，多处资料查证^[3]，也在与业主、施工单位沟通了解后，施工进度假定按10天/层。长期徐变和收缩计算模型采用CEB-FIP(2010)混凝土模型，考虑100%恒载+100%附加恒载+50%活载(持续的活载)的工况。附加恒载应于标准层施工40天后才加载。顶层施加附加恒载后，一次性加载使用活荷载。在结构平面中，选取有代表性的墙柱进行分析计算，北半塔（高塔）取外框柱 COLUMN 1和核心筒墙肢 WALL 1，南半塔（低塔）取外框柱 COLUMN 2和核心筒墙肢 WALL 2。由于篇幅限制，此处仅展示部分结果，考虑长期荷载效应，施工开始12年后的外框柱 Column 1压缩变形如下图所示：



在经过更多的计算对比后，得出外框柱及核心筒在目标时间（施工开始后3年、7年和12年）达到预定设计标高所需的楼面标高施工补偿量如下表所示。

楼层	可用于施工补偿的柱压缩变形 -- 柱 COLUMN 1(毫米)			楼层	可用于施工补偿的柱压缩变形 -- 墙肢 WALL 1(毫米)		
	3年	7年	12年		3年	7年	12年
59	34	51	65	59	26	43	58
55	40	56	69	55	30	46	61
50	45	60	71	50	34	50	63
45	47	60	71	45	38	52	64
40	49	61	70	40	40	52	63
35	48	59	68	35	41	52	63
30	47	56	68	30	42	52	62
25	42	50	56	25	40	48	56
20	37	43	48	20	35	42	49

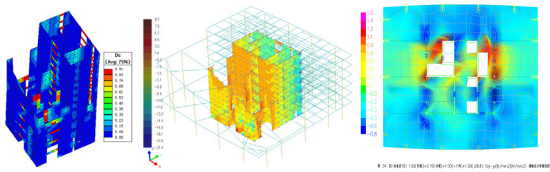
15	31	36	39		15	30	36	40
10	23	26	29		10	24	28	32
5	17	19	21		5	18	21	23

以上有关施工补偿的计算基于多项假定,包括材料特性,施工进度,特定的混凝土收缩徐变理论模型等,塔楼外框柱和核心筒剪力墙的压缩变形受到许多因素的制约。本文提供的施工补偿计算值仅供参考。后续施工阶段,还需要根据实际施工进度和实测的混凝土特性,不断对混凝土收缩徐变计算模型进行校核和调整,得到对施工具有指导性的变形补偿。

三、大退台相关范围的应力集中

(一) 薄弱位置分析

由于本项目的大退台体型,在约140米高处(即31层处)单边收进约1/2平面,收进处楼层刚度突变,在地震和风荷载工况下产生较大的应力集中^[4]。本项目使用YJK、ETABS作小震、中震弹性分析,SAUSAGE作大震动力弹塑性分析,经计算得出,未作加强设计时,30~32层剪力墙在大震作用下受压损伤因子局部位置达0.91%,局部剪力墙在风荷载作用下出现拉应力,30~31层楼板在小震作用下剪应力超限。



(二) 采取的加强措施

针对上述薄弱位置,在30至33层的Y向核心筒中设置钢板剪力墙,墙厚700mm、钢板厚度40mm,以承担收进处的应力集中,同时也承担风、震作用下,墙肢底部的拉应力。31至32层楼板加厚至180mm,配置双层双向 $\Phi 16@150$ 钢筋,并在核心筒交接区域增设放射筋,以承担楼板在传递水平力时出现的集中应力。结构加强设计后,经计算复核,所有构件均满足规范受力需求。

四、搭接柱相关区域结构设计

受建筑方案效果限制,本工程需在建筑三层~四层设置搭接

柱转换。由于在竖向荷载作用下,搭接柱转换处相关楼盖会产生水平分力,导致与其相连接的梁与楼板会产生一定的拉压作用,尤其在搭接柱上一层(6F楼盖)也会产生一定的轴拉力,因此需特别关注与搭接柱相连楼层及其上一层的梁与楼板的受力。

用YJK和ABAQUS软件对搭接柱转换处的主要受拉层楼板(建筑5层、6层)在组合1.3D+1.5L作用下进行应力分析,并按有/无楼板建模分别计算包络设计。结果显示搭接柱转换处(5F)对框架梁产生的附加拉力最大。在有楼板的实体有限元弹性应力分析中,楼板分担了一部分受拉框架梁由搭接柱引起的附加拉力,分担比例为68%左右。按照以往工程经验做法,在受拉主框架梁中设置钢筋,接柱转换处的全部拉力由梁中的钢筋承担,不考虑其他构件的贡献。但考虑到受拉楼层的重要性,楼板事实上存在拉应力,设计中将5~6层板厚均加厚至180mm,楼板配筋加强为双层双向 $14@150$ 。同时结合梁板受力特点,在主要的Y向梁两侧的楼板内增设缓粘结预压应力钢筋。通过上述措施,5层楼板应力平均3.5MPa左右、6层平均1.2MPa左右,与搭接柱相连区域的5层楼板最大拉应力约为6.8MPa,6层楼板最大拉应力约为1.6MPa,满足规范裂缝要求。节点核心区混凝土最大压应力为29.81兆帕,型钢最大应力为112.2兆帕,均满足中震不屈服的性能指标^[5]。

五、结束语

本文以某大退台超高层项目为研究对象,通过采用多种计算软件、建立多个不同工况不同状态下的模型进行计算分析和对比,针对特殊建筑体型引起的质心偏移、结构侧移、应力集中及搭接柱等受力不利因素,提出了包括竖向构件截面优化、桩基变刚度调平、退台区域结构加强、楼面高差施工补偿、以及搭接柱节点加强等一系列措施。研究表明,这些措施能够有效改善结构整体受力性能,使结构满足规范要求和超限审查标准。实现了建筑创新效果,保证项目落地,为日后类似大退台超高层建筑的设计提供了有益的工程经验与参考。

参考文献

- [1] 王伟. 退台式收进体型超高层建筑结构设计[J]. 四川水泥, 2020(6):88.
- [2] 赵志忠. 超高层城市综合体建筑设计研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2025(2):66-68.
- [3] 佟祥君. 超高层建筑设计策略与趋势研究[J]. 城市建筑空间, 2025, 32(5):96-99.
- [4] 韩海亮. 超高层建筑设计中风荷载效应控制策略分析[J]. 模型世界, 2025(2):87-89.
- [5] 杨晓川, 李纹瑾, 张健. 超高层塔楼顶部酒店空间高效利用设计研究[J]. 建设科技, 2023(2):67-71.

论述数字化时代建筑设计管理发展研究

廖振洪

保利华南实业有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ADA.2025020019

摘 要： 文章系统探讨了数字化技术在建筑设计领域的全方位应用，重点分析了三维建模、虚拟现实、建筑信息模型等关键技术如何重塑设计方法、优化工作流程并推动行业变革。研究同时揭示了当前设计流程中存在的构想与实施脱节、多方协作困难等核心问题，并针对性提出了构建数据集成平台、强化智能装备应用、建立数字化人才培养体系等优化策略，为建筑行业数字化转型提供了理论支撑与实践路径。

关 键 词： 数字化时代；建筑设计管理；发展

Research on the Development of Architectural Design Management in the Digital Era

Liao Zhenhong

Poly South China Industrial Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract： This paper systematically explores the comprehensive application of digital technologies in architectural design, focusing on how key techniques such as 3D modeling, virtual reality, and Building Information Modeling (BIM) are reshaping design methodologies, optimizing workflows, and driving industry transformation. The study also identifies core challenges in current design processes, including disconnects between conceptualization and implementation, and difficulties in multi-party collaboration. It proposes targeted optimization strategies—such as establishing data integration platforms, enhancing smart equipment applications, and developing digital talent training systems—to provide theoretical foundations and practical pathways for the architectural industry's digital transformation.

Keywords： digital era; architectural design management; development

引言

在数字经济蓬勃发展的时代背景下，建筑设计行业正经历着前所未有的技术变革。从三维数字建模对设计语言的革新，到虚拟现实技术创造的沉浸式体验，再到贯穿建筑全生命周期的信息管理范式，数字化技术不仅改变了设计工具与表达方式，更深刻重构了建筑行业的协作模式与价值创造逻辑。文章旨在系统梳理数字化技术在建筑设计中的应用现状，剖析当前设计流程中存在的结构性矛盾，进而探索通过技术整合与流程再造提升行业整体效能的可行路径，为构建更高效、更智能、更可持续的建筑行业未来提供思考框架。

一、数字化技术在建筑设计中的应用

（一）建筑领域的数字化模型构建

在当前以数字技术为主导的时代背景下，三维模型构建已成为建筑设计与规划过程中至关重要的核心环节。它彻底改变了传统的设计表达范式。借助功能强大的专业三维建模程序，建筑师能够突破二维平面的限制，将其创意与构思以高度立体化和可视化的形态进行全方位呈现。设计师得以构建出精准度极高的数字化建筑原型，这一原型不仅完整勾勒出建筑物的整体外观形态与内部空间布局，还能精细地模拟出不同材质的具体肌理与光影反射特性。此类高度仿真的三维模型，为设计师、业主及所有项目参与方提供了一个共同审视设计的直观平台，极大地便利了各方

之间的沟通协作，使得设计方案的讨论与修改能够基于可视化的成果实时、高效地展开^[1]。

（二）沉浸式交互体验在建筑设计中的应用

虚拟现实（VR）科技的成熟，为建筑设计与展示领域开创了革命性的互动感知模式。它超越了传统效果图与模型的静态表达，构建出一个可供探索的动态数字空间。当设计师佩戴上专用的虚拟现实头戴显示设备，便能瞬间“进入”一个由计算机生成的、完全拟真的建筑场景内部。这种全方位的感官包围，创造出一种亲临其境、置身于未建成项目之中的深刻体验，从而打破了图纸与现实之间的鸿沟。借助这种身临其境的体验，设计师与项目委托方能够以真实的“人”的视角，去直观地感受空间的尺度关系、不同体块之间的比例协调性，以及人在空间中移动时所形

成的流动感。这种基于第一人称的评估方式，使得对设计方案在实际使用中的舒适度、合理性与最终效果的判断变得前所未有的精准和直接。

（三）建筑全生命周期信息管理范式

建筑信息模型（BIM）作为一种集成化的数字方法论，其影响力已贯穿于建筑项目的规划、设计、施工乃至后期运维的全过程。其核心在于构建一个富含参数化信息的中央三维数据库，该模型不仅仅是几何形态的呈现，更是一个集成了物理特性与功能属性的综合信息库。这一范式彻底革新了传统的工作模式，促成了项目所有参与方在统一数据源下的协同作业与信息无缝共享。借助 BIM 系统，设计师能够以前所未有的深度和广度，对建筑项目的复杂系统——包括隐蔽的结构工程、错综复杂的设备管线以及各类建筑材料——进行集成化管理和可视化分析。这种深度整合使得设计师能够在虚拟环境中提前预演施工过程，精准识别并化解不同专业之间的设计冲突，从而在动工前就将潜在问题予以解决。

（四）数字技术引发的行业协作与能力变革

建筑设计领域的数字化浪潮，不仅带来了工具层面的效率提升，更深刻地重构了行业内部的协作生态与专业要求。设计师与业主、施工方及其他利益相关者之间的互动方式，正因这些技术而发生根本性改变。通过逼真的三维可视化成果和沉浸式的虚拟现实体验，设计方案得以更直观、更具感染力地呈现，这极大地消除了专业壁垒，促进了多方之间的深度理解与高效合作，使沟通变得更为顺畅。然而，这场技术变革也伴随着显著的挑战。前沿软件平台的引入与团队技能培训带来了高昂的技术学习与经济成本，同时，高度集成和网络化的数据模型也引发了对核心项目信息隐私与网络安全的严峻关切。面对这一局面，设计师个人必须主动进行知识更新，持续学习以提升自身的数字技术应用能力。在更宏观的层面，整个行业与相关政府管理机构也亟须携手，共同建立与之配套的标准体系、政策框架与法律法规，从而对数字化实践进行有效规范，并确保关键数据资产得到充分的保护与合规使用^[2]。

二、当前建筑设计流程中的问题

（一）建筑构想与工程落地的执行断层

项目前期的规划与创意工作通常由建筑师主导，其核心任务是融合客户愿景、美学追求与实用功能进行方案创作。然而，这些精美的设计方案在向具体施工图纸转化时，往往因前期缺乏与工程团队的系统性对接而隐藏风险。进入建设阶段，承包商在落实设计方案时，常受制于自身工艺水平、材料采购现实及严格的造价控制等实际因素。这些现实约束使得他们难以精准无误地实现全部设计细节，最终导致建成效果与原创意出现偏差，或引发施工过程中频繁的图纸修改。这种从图纸到现场的衔接失灵，直接引发了建设周期的延长、工程造价的超支，并对项目最终品质构成隐患^[3]。

（二）多方协作下的项目治理困境

在当代建筑设计项目中，众多专业团队共同参与已成为常

态，这使得确保信息高效流转、职责清晰界定以及工作进度同步变得至关重要，但也异常困难。各合作方之间因专业背景与目标差异，普遍存在沟通壁垒，致使信息在传递过程中易产生延迟、失真甚至误解。项目管理过程中所涵盖的技术文档、设计图纸及各类工程数据不仅数量庞大，其格式与来源也极为多样。由于缺乏统一且高效的信息聚合与分发平台，这些关键资料往往处于零散状态，极大地增加了跨专业、跨阶段协同作业的烦琐程度。此外，项目实施中难以避免的设计变更与突发状况等不确定因素，进一步加剧了整体管理与协调的负荷，对管理人员的现场统筹与即时响应能力提出了极高要求。因此，如何有效应对这种内在的复杂性，已成为当前建筑项目流程中一个核心的挑战。

三、数字化时代下建筑设计管理流程与效率的优化策略

（一）项目数据集成管理系统的构建

现代工程项目管理正逐步采用集中化的数字解决方案，将全流程产生的文档、图纸与数据统一归档至核心数据库，从根源上保障信息资源的完整度与标准化程度。基于云计算架构提供的可扩展存储与高效处理能力，所有项目成员均可通过网络连接实现跨地域的即时数据调取，确保在任何时间、任何地点都能同步掌握项目最新动态与所有变更细节。实施此类数字化管理平台，需要对企业现有管理流程实施系统性的诊断与再造。这包括精准定位项目各阶段的核心控制点，明确规定每个环节所需的数据支持、产出成果与审批依据，同时清晰划分不同参与部门的责任边界与协同机制。在平台开发阶段，需重点考虑人机交互体验，设计符合用户认知习惯的直观界面与简便操作流程，同时构建多层防护体系来保障系统的可靠运行与数据安全，有效防范未授权访问及信息篡改风险^[4]。

（二）构建项目数据的深度治理与智能洞察体系

在当代工程项目规模持续扩大、系统复杂度不断提升的背景下，项目管理过程中产生的数据总量正经历爆发式增长。在此环境下，增强数据的系统性整合与深度分析能力，已成为推动项目管理决策从经验化向科学化、精细化转型的关键支撑。数据整合的核心目标，是将分布于不同系统、呈现异构特征的多源信息进行标准化处理，最终形成统一规范的数据集合。通过采用现代数据集成技术，可将散落在各业务系统的碎片化数据汇集至集中管理的存储架构，有效破除信息壁垒，在确保数据准确与逻辑一致的前提下，为后续开展的深度分析工作奠定坚实基础。数据分析则是在整合后的数据基础上，运用统计建模、机器学习等先进算法，对海量信息进行多维度挖掘与解析，从而揭示其中隐含的规律特征与发展动向。在建筑工程管理领域，这种分析能力能够赋能风险预警——通过融合历史案例与实时监测数据的比对分析，精准识别可能影响工程进度与质量的潜在风险要素，为前瞻性防控措施制定提供可靠依据。

（三）智慧化机械装备在建造现场的应用实践

以智能砌砖机器人为代表的自动化装备，凭借其卓越的作业

精度与稳定的产出效率，正在重塑传统砌筑工艺的实施模式。这类机械系统通过集成高精度传感装置与智能运动控制模块，能够精准调控砌块的空间坐标与铺放力度，实现批量化、标准化的精准砌筑作业，显著消除了人工操作中难以避免的个体差异与质量波动。智慧化施工装备的另一突出优势在于其可持续作业能力，完全摆脱了人体生理极限与主观状态对生产效率的制约。例如，具备自动配比功能的混凝土搅拌机器人，可严格遵循预设的配合比参数完成拌和流程，从根本上保障了混凝土制品的均质性与强度稳定性；而智能喷涂机械臂则能通过路径规划与流量控制，实现涂层厚度的均匀控制，在提升作业速度的同时有效减少了材料损耗与挥发性有机物排放。这些智能化装备的规模化应用，不仅带来了施工效率的跨越式提升，更通过“机械代人”作业模式显著降低了高空作业、粉尘环境等高风险场景的人身伤害概率，为推动建筑业向安全、高效、绿色方向发展提供了关键技术支撑。

（四）构建物联网驱动的智能化工地管控体系

在数字化技术深度渗透的背景下，智慧工地管理模式正以其全面感知、动态监控与智能决策的特点，引领建筑施工现场管理的革新。该体系深度融合物联网、生物识别等前沿技术，构建起全方位、实时化的数字管控网络。通过部署物联网传感装置，施工现场的机械装备与建材物资均被纳入远程监控体系。各类传感器持续采集设备的运转参数与材料的存放位置，管理人员可通过数字平台实现资源的远程调度与精准管控。这一技术举措不仅显著提升了机械设备的综合利用效率，更有效预防了因设备突发故障或材料供应脱节导致的工期延误。同时，集成人脸识别技术的智能门禁系统，实现了进场人员的自动化身份核验与考勤记录。该系统通过生物特征比对，精准识别未授权闯入行为，从源头强化工地的安全防线。其人脸数据库更可与项目管理系统实现数据联通，确保人员信息的动态同步与跨部门共享，为项目用工分析、安全责任追溯等管理决策提供精准的数据支撑。

（五）构建面向数字时代的建筑从业者能力发展体系

在建筑业数字化转型的浪潮中，全面提升设计师、工程师及施工管理等岗位人员的数字技术应用能力，已成为推动行业进步与个人职业发展的关键环节。面向不同岗位需求构建系统化的培训机制，需要涵盖从工具使用到创新思维的多层次培养内容。在基础能力培养层面，应着重普及行业核心软件的操作技能，包括建筑信息模型（BIM）系统的协同管理、计算机辅助设计（CAD）的精准绘图以及参数化设计平台的逻辑构建等。在能力提升阶段，培训重点应转向大数据分析技术、云端项目管理平台以及虚拟现实（VR）与增强现实（AR）等沉浸式技术的深度应用。这些前沿技能的掌握，使技术人员能够在方案可行性论证、施工流程模拟及工程问题预判等环节做出更科学的决策。培训过程应特别强调理论与实践的结合，通过还原真实工程场景的案例教学与模拟实训，让学员在解决具体问题的过程中深化对数字技术的理解与运用^[5]。

四、结束语

通过对数字化技术在建筑设计中的应用全景分析，以BIM、VR、物联网为代表的数字技术正在构建一个从设计创作到施工管理的全链条数字化生态系统。这个系统不仅显著提升了设计精度与工程效率，更通过数据驱动实现了项目全生命周期的精细化管理。然而，技术应用也面临着流程重构、人才培养和数据安全等多重挑战。未来建筑行业的发展必将建立在数字技术与传统建造工艺深度融合的基础上，需要通过建立标准化体系、完善人才培养机制、加强数据安全保障等措施，推动建筑设计向智能化、协同化、可持续化的方向持续演进，最终实现建筑行业质量与效率的全面提升。

参考文献

- [1] 陈军. 数字化时代下的城市更新及建筑设计策略 [J]. 砖瓦世界, 2024(14): 7-9.
- [2] 党宏伟. 数字化时代背景下的建筑设计 [J]. 建筑与装饰, 2021(24): 30-32.
- [3] 路晓娜. 数字化时代下建筑设计信息安全管理研究 [J]. 城市建筑与发展, 2025, 6(6).
- [4] 李成磊. 新时代挑战下的建筑设计院绩效管理数字化研究 [J]. 建筑技术, 2022, 53(11): 1599-1602.
- [5] 朱静君, 关洪臣, 徐国庆. 数字化时代下建筑设计优化策略探究 [J]. 产品设计, 2024(18): 71-73.

深析绿色建筑设计在高层民用建筑设计中的应用

林立成

广东省建工设计院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020020

摘 要： 文章阐述了绿色建筑设计在提升经济效益、促进材料创新与资源高效利用方面的重要性，论述了绿色建筑设计理念在场地选择、围护结构、采光通风、植被系统、材料优化及水资源循环等方面的具体应用策略。最后，展望了未来高层建筑绿色设计向自然整合与智慧资源循环深化的发展趋势，为推动建筑行业绿色转型与可持续发展提供了理论参考与实践路径。

关 键 词： 绿色建筑设计；高层民用建筑；绿色建筑发展趋势

A Deep Analysis of the Application of Green Building Design in High-Rise Civil Building Design

Lin Licheng

Guangdong Provincial Construction Engineering Design Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper elucidates the significance of green building design in enhancing economic efficiency, promoting material innovation, and optimizing resource utilization. It discusses specific application strategies for green building design principles in site selection, building envelopes, daylighting and ventilation, vegetation systems, material optimization, and water resource recycling. Finally, it explores future trends toward deeper integration with nature and intelligent resource circulation in high-rise green design, providing theoretical references and practical pathways for advancing the green transformation and sustainable development of the construction industry.

Keywords： green building design; high-rise civil buildings; green building design trends

引言

绿色建筑设计作为协调建筑与自然、资源与需求之间关系的关键途径，已然成为高层建筑发展的必然方向。它不再局限于单项技术或材料的应用，而是涵盖从规划、设计、施工到运营的全过程，强调在保障建筑功能与舒适性的基础上，实现能耗控制、资源循环与环境友好。文章旨在系统梳理绿色建筑设计在高层民用建筑中的多重价值、关键影响因素及具体实施策略，并对其未来发展趋势进行展望，以期对相关实践提供理论支撑与设计参考。

一、绿色建筑设计的重要性

（一）提升建设项目经济效益的策略

建筑设计的根本追求，是在保障工程品质持续优化的前提下，最大限度地实现经济价值与社会效益的协同增长。绿色理念为设计决策提供了科学的理论框架与技术路径，有助于优化方案比选、提升资源利用效率，从而合理压缩施工周期，显著降低整体建造成本。从更宏观的视角看，此类实践也积极响应了我国绿色低碳发展的政策导向。我国自“十三五”规划起明确提出绿色发展理念，“十四五”规划进一步强调推动经济社会发展全面绿色转型；2020年，国家明确提出碳达峰、碳中和目标，并在《2030年前碳达峰行动方案》中系统部署了重点行业节能减排路径。绿色建筑设计正是对国家绿色转型战略的具体落实，为构建资源节

约与环境友好型产业体系提供了有力支撑。

（二）创新环保建材与提升人居健康水平

建筑材料作为建筑工程的核心要素，其性能与安全性直接影响项目品质与使用者福祉。在传统施工模式下，为求工程利润最大化，大量使用含有过量有害化学成分的建材，例如装饰材料中普遍存在甲醛超标问题，这些物质不仅持续污染周边生态环境，更会对人体呼吸、免疫等系统造成显著损害。引入绿色建筑设计理念后，行业对建材选用标准进行了系统性革新，推动研发低毒、低排放的新型环保材料，显著削减了有害物质含量，为人居环境健康构筑了重要防线^[1]。

（三）促进建筑行业资源高效利用

在绿色建筑设计实践中，各类环保建材与节能技术正获得广泛推广与应用。这些创新成果通过系统化的设计整合与施工管

理，显著降低了建筑全生命周期内的能源需求与资源消耗，有效提升了项目的生态效益。与此同时，随着市场向低碳化、可持续方向转型，越来越多的企业开始将绿色理念纳入发展战略，强化其在设计阶段的应用深度。在此背景下，企业对现有资源实施精细化配置与系统性整合，通过优化材料选择、施工工艺和运营维护方案，实现对工程总造价的科学控制。

二、高层民用建筑绿色设计的影响因素

（一）人文关怀导向的绿色建筑设计

在高层民用建筑设计中融入绿色建筑理念，不仅要促进城市经济活力、优化空间结构、提升城市整体形象，更重要的是要求设计从使用者需求出发，营造出舒适健康、富有人文关怀且支持身心发展的生活与工作空间。现代高层建筑多以玻璃幕墙造型为主、趋同性强，基于此，人文环境要素已成为高层民用建筑绿色设计中不可或缺的核心维度，要求设计人员深入调研和理解项目所在地的文化传统、风土民俗、历史脉络及地域特征，并在设计中有机融合这些人文元素，从而打造出既符合可持续发展目标，又具有鲜明地方特色的现代民用建筑作品。通过这种文化与技术相融合的设计路径，建筑不再是孤立的功能载体，而成为延续地域文脉、增强社区认同的情感空间，进一步体现了绿色高层建筑对人、环境与文化和谐共生的深层追求^[2]。

（二）绿色技术体系的构建与支撑

要在高层民用建筑中充分落实绿色设计理念，必须不断推进相关技术体系的完善与创新。当前，随着科技进步与行业转型，适用于高层民用建筑的绿色技术呈现多元化发展态势。在围护结构方面，相较于多层建筑，高层建筑面临更严苛的风、热荷载，其保温体系需兼具高效保温与抗风压、防火安全的性能，例如采用岩棉带等 A 级防火保温材料构成薄抹灰系统，并使用单元式幕墙、高性能节能窗与活动外遮阳相结合，以应对高空风环境。在节水技术方面，高层建筑供水系统需分区设置，并采用变频调速水泵等节能供水设备；其水循环系统也呈现立体化、模块化特征，可在避难层、设备层等设置分散式的水处理与回用设施。在材料层面，高层建筑对结构自重更为敏感，因此轻质高强材料（如高强度钢材、高性能混凝土）以及工厂化生产的预制装配式构件（如预制楼梯、叠合板）的应用更具针对性优势。

三、绿色建筑设计在高层民用建筑设计中的应用

（一）基于绿色理念的场地选择与评估

在高层民用建筑项目启动初期，选址环节便需系统融入设计要素。专业技术人员通过现场踏勘，结合地理信息系统、环境模拟等数字化工具，对拟建区域的地形、地质及生态条件进行科学评估，优先选择气候稳定，台风影响较少的区域进行开发。这种数据驱动的决策方式有助于在项目前期识别并规避潜在风险，增强工程建设的可控性与安全性。在绿色理念指导下，选址工作还需综合考虑建筑层数、结构形态与场地特征的协调关系。设计团

队应在高层建筑方案阶段明确开发强度与结构选型，确保选址结果既满足技术可行性，又符合节地、生态保护等可持续发展原则。通过科学评估地基处理与上部结构施工的匹配度，进一步提升建筑全生命周期的安全性能与环境适应性，实现绿色建筑与场地环境的有机融合^[3]。

（二）围护结构节能设计与保温体系优化

在高层民用建筑设计中，节能保温技术对提升建筑能效与室内环境质量具有关键作用。设计师需重点优化建筑外围护结构的节能性能，在确保建筑整体安全稳定的前提下，充分满足高层建筑特有的热工与功能需求，进而实现绿色建筑在能耗控制方面的核心目标。在具体实践中，高层建筑需重点优化围护结构节能设计：除在屋面、外墙采用高性能保温材料构建连续保温体系外，还应针对其外部表面积大、窗墙比高、高空风速大的特点，采用单元式玻璃幕墙、Low-E 中空玻璃断桥铝窗框等高效节能窗型，并结合立面设计进行一体化遮阳优化；同时对结构挑板、线脚等易产生热桥的节点实施专项保温处理，多措并举显著削弱室外温度波动与太阳辐射对室内环境的影响，最终达成“冬暖夏凉”的热舒适效果并有效降低建筑能耗。

（三）建筑采光与自然通风系统设计

在高层民用建筑的光照环境规划中，通过科学的建筑布局控制楼间距，确保室内获得充足的日照时长与合理的采光面积，既满足用户对自然光照的健康需求，又有效降低日间人工照明能耗，契合绿色建筑的节能导向。通风设计方面，应优先采用南北通透的平面布局方案，充分遵循自然通风主导原则，利用风压与热压效应引导气流，改善室内热舒适度，减少对空调和机械送风的依赖。例如，在高层建筑底层、中层、顶层穿插设计架空室外休憩空间设计中可采用架空层结构，不仅增强高层建筑内部的空气流通效率，还能在夏季形成遮阳避暑的灰空间，提升区域微气候环境。设计过程中还需结合场地风环境特征，制定科学的通风组织策略，通过优化开口位置与通风路径，确保气流顺畅循环，将无所不在的气流纳入为建筑降温减排的设计中，有效降低建筑运行能耗。同时，应针对用户通风需求配置合理的窗墙系统，采用具有保温隔热性能的节能窗型，在提升通风效率的同时避免光污染等次生问题。

（四）绿色植被系统在高层建筑中的生态化应用

在现代建筑设计实践中，绿色植被已成为不可或缺的生态要素，园艺与建筑技术正加速融合，形成协同发展的新趋势。在植被选择方面，绿色高层建筑外部优先选用适应性强、维护成本低的攀缘类藤本植物，形成自然垂直绿化覆盖层。这种“生态外衣”不仅有效调节建筑表面温度，实现冬夏两季的热舒适平衡，还能丰富立面视觉效果，回应使用者对绿色自然环境的诉求。在室内环境营造中，模块化绿植成为高层建筑空间组织的重要媒介。通过绿植对大面积室内区域进行柔性分隔，既能划分出功能明晰的休憩、工作等不同区块，又能借助植物本身的空气净化特性改善高层建筑微环境质量。这种将生态功能与美学价值相结合的绿建设计策略，在优化高层建筑空间的同时，也为使用者构建出更健康、更具生命力的室内环境^[4]。

（五）建筑材料优化与装配式施工策略

在建筑材料选择方面，应优先选用高性能混凝土、高强度钢材等优质节能高效材料。现浇混凝土作业推荐采用工业化预拌工艺，墙面抹灰与砌筑工程推广使用标准化商品砂浆。此类集中生产的建材不仅能提升施工效率，更可显著减少现场扬尘和废料产生，实现施工环境的洁净化管控。推行装配式设计及土建装修一体化施工模式是节材设计的关键环节。对公共区域实施全装修交付，其余空间则系统预留接口及预埋构件，为后续装修提供条件。协同施工方式既可压缩总体工期、控制项目成本，又能从源头避免拆改浪费，有效降低建筑垃圾产生量。通过模块化布局与统一规格选型，大幅减少现场裁切与定制作业，从而控制工程材料的损耗率。

（六）高层建筑水资源循环系统的设计与实施

高层建筑工程作为资源密集型活动，其施工及运营阶段均需消耗大量水资源。在高层建筑全生命周期内引入水循环利用技术，已成为推动行业可持续发展和贯彻绿色建筑设计理念的重要路径。通过构建科学的水资源管理体系，不仅能够显著降低建筑对外部供水的依赖，还可以有效减少污水排放对周边环境的影响。在各类水循环技术中，雨水回收系统具有突出的适用性与生态价值。该系统通过雨水集水装置、初期弃流设施、多级过滤模块及消毒储存装置，将自然降水转化为符合特定使用标准的非饮用水资源。经处理的雨水可用于绿化灌溉、道路冲洗及空调冷却等场景，实现水资源的分质分级回收再利用。当前，建筑工程领域的水循环利用技术正呈现多元化发展态势，除雨水回收外，中水回用与灰水处理等模式也逐步推广。在高层建筑设计的具体实践中，可利用其垂直高度形成重力势能，在屋顶及避难层等空间中设置集成式雨水回用模块，搭配分区供水的智能监测与收集系统形成分级式、模块化的立体水循环利用体系。

四、绿色建筑设计在高层民用建筑设计中的应用趋势

（一）更注重自然整合

绿色建筑设计在高层民用建筑中的应用，正经历从孤立技术

应用向全生命周期系统性整合的深刻转变，其核心是秉承“被动式设计优先”的原则。设计师在建筑规划初期便主动回应自然条件，通过数字化模拟分析风、光、热等环境因素，结合高层建筑特点优化建筑的朝向、形体、窗墙比和平面布局，从根本上降低高层建筑对机械采光、供暖与制冷的依赖。同时，立体绿化不再是单纯的装饰，而是演变为建筑本体的“活性表皮”。遍布于裙房、高层空中平台和立面的垂直绿化和空中庭院，不仅提升了美学价值，更在遮阳、降温、净化空气、涵养雨水以及为城市恢复生物多样性方面发挥着关键的生态服务功能，标志着高层建筑正从一台笨重的能耗机器转变为一个能与环境协同呼吸的有机生命体^[9]。

（二）更注重“智慧化”与“资源循环”的深度融合

借助物联网、大数据和人工智能算法，高层建筑的能源管理系统实现了从感知、分析到决策的智能化闭环，对空调、照明、电梯等用能系统进行精细化、自适应调控，极大提升了能效。中水回用、雨水收集系统与高效节水器具则构建了内部的水循环体系。绿色建筑设计这种将能源生产、水资源回收和废弃物管理内部化的“循环代谢”模式，不仅显著提升了高层建筑本身的韧性与可持续性，更使其成为推动城市实现碳中和目标的关键节点。

五、结束语

绿色建筑设计在高层民用建筑中的系统化应用，标志着建筑行业从传统高耗能模式向绿色、低碳、智能化方向的重要转型。通过从项目前期的科学选址，到过程中的节能技术集成，再到运营阶段的资源循环管理，绿色理念已深度融入高层建筑全生命周期。未来，随着被动式设计、自然整合策略与智慧化技术的不断融合，高层建筑将更加注重与环境的协同共生，从单一的空间载体升级为具有生态调节与资源生产能力的城市节点。

参考文献

- [1] 朱系文. 高层民用建筑设计在绿色建筑设计中的应用策略 [J]. 鞋类工艺与设计, 2024, 4(24): 138-140.
- [2] 邱晓敏, 刘洋洋. 高层民用建筑设计在绿色建筑设计中的应用 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(15): 106-108, 99.
- [3] 张华军. 绿色建筑设计在民用建筑设计中的应用分析 [J]. 大众标准化, 2024(11): 81-83.
- [4] 杨斐, 李万强. 浅析绿色建筑理念在高层民用建筑设计中的应用 [J]. 北方建筑, 2023, 8(2): 40-44.
- [5] 安顺杰. 探析绿色建筑设计在民用建筑设计中的应用 [J]. 陶瓷, 2023(1): 102-104.

建筑工程桩基础检测技术发展特点研究

郑月棠

广东祥泰检测鉴定有限公司, 广东 广州 510378

DOI:10.61369/ADA.2025020021

摘 要： 文章分析了在复杂地质条件下桩基技术的关键特征与实际作用，强调了精细化施工与质量控制的重要性。详细评述了静载试验、动力触探、桩侧阻力法及射线与超声波检测等多种现有检测技术的优势与局限性，指出其各自在精度、成本、效率及适用性方面的特点。最后，展望了桩基检测技术的未来趋势，认为智能化与非损伤检测技术的深度融合，将推动该领域向更高效、精准、无损的方向发展，为建筑工程的质量与安全提供更为可靠的保障。

关 键 词： 建筑工程；桩基础检测技术；发展特点

Research on Development Characteristics of Pile Foundation Testing Technology in Construction Engineering

Zheng Yuetang

Guangdong Xiangtai Testing and Appraisal Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510378

Abstract： This paper analyzes the key characteristics and practical applications of pile foundation technology under complex geological conditions, emphasizing the importance of precision construction and quality control. It provides a detailed review of the advantages and limitations of various existing testing technologies, including static and dynamic load tests, dynamic cone penetration tests, side resistance tests, and radiographic and ultrasonic inspections, highlighting their respective features in terms of accuracy, cost, efficiency, and applicability. Finally, it explores future trends in pile foundation inspection technology, suggesting that the deep integration of intelligent and non-destructive testing techniques will drive the field toward greater efficiency, precision, and non-destructive capabilities, providing more reliable safeguards for the quality and safety of construction projects.

Keywords： construction engineering; pile foundation inspection technology; development characteristics

引言

桩基础作为建筑物下部结构的关键组成部分，其核心功能是将上部荷载有效传递至深层稳定岩土层，是确保各类工程结构，尤其是在复杂地质条件下构筑物安全与稳定的根本。我国地域广阔，地质条件迥异，这对桩基工程的施工质量与控制标准提出了极高的要求。同时，桩基作为隐蔽工程，其成型后的质量状况难以直接观测，因此，发展可靠、高效的检测技术已成为工程界至关重要的课题。从传统的静载、动载试验到现代的无损检测技术，各类方法不断演进，旨在实现对桩基性能的精准评价。本文旨在系统梳理桩基础技术的特点与作用，深入分析现有主流检测技术的优缺点，并展望其智能化与非损伤化的未来发展趋势，以期对相关工程实践与技术选择提供参考。

一、建筑桩基础技术的特点及实际作用

（一）桩基础技术的主要特征

我国幅员辽阔，不同区域的地质结构和岩土构成差异明显。在如此复杂多变的地层条件下开展预制桩基工程，必须采取更为严格的质量控制措施与精细化施工工艺。当前工程领域的核心任务之一，是全面提升桩基施工的技术水平与质量稳定性，同时建立起更为系统、严格的桩基施工质量控制标准体系。从大量工程实践反馈来看，许多桩基施工事故的发生，往往与桩型选择不合理、预制桩成品进场验收不到位，以及现场施工工艺控制不严等

因素密切相关，这些因素直接导致最终成型的桩基础无法满足设计要求及相关规范标准。

（二）桩基础技术的功能与应用

桩基础技术能够有效将建筑上部荷载传递至下部更为坚实的土层或岩层，从而弥补浅层土体承载力不足的问题，确保建筑物整体稳定。以砂砾石桩为例，当其被压入疏松砂质地基时，会对周边砂土产生横向挤密作用，显著降低土层孔隙率，提高土体密实度与整体承载力，进而优化地基力学性能。在具体施工过程中，测量人员需严格依据前期设计的桩位布置图，借助经纬仪等精密仪器，精确定位各灌注桩的平面坐标，并设定桩基控制基准

点。规范要求桩位放样误差不得超过10mm，同时还需结合地面高程测量，准确计算灌注桩的成孔深度与桩身实际长度，为后续施工提供可靠依据^[1]。

二、建筑工程桩基础检测现有技术的优缺点

（一）静载试验技术的优势与局限分析

静载试验与动载试验作为桩基检测中两种经典方法，各自具有明确的技术侧重点：静载试验主要用于测定桩基的实际承载力，而动载试验则侧重于分析桩体在动力荷载作用下的响应特性。尽管这两种方法在工程实践中应用广泛，但它们各自存在一定的局限性。静载试验需在桩基施工完成后实施，一旦检测结果显示承载力不达标，往往需拆除重建，显著增加工期与成本投入。此外，该试验过程通常耗时较长，所需加载次数多，进一步推高了经济与时间成本。动载试验虽具快速响应优势，但对测量设备的精度要求极高，仪器购置与维护费用昂贵。在部分复杂地质或桩体损伤识别场景中，其检测结果所能提供的信息较为有限，难以全面诊断桩基质量问题。

为克服上述方法的不足，近年来工程界不断探索新型检测技术与手段，旨在提升桩基检测的精准度与工作效率。无损检测技术即为其中一类重要发展方向，它能够在不对桩体造成破坏的前提下，有效识别内部缺陷。部分新兴检测方法更可在施工前阶段实施，有助于早期发现潜在问题并采取预处理措施，从而显著节约后期整改成本与时间。尽管静载与动载试验在当前仍为桩基质量评定的主要方式，但随着检测技术的持续进步，更多高效、精准且经济的检测手段将不断涌现，推动桩基检测水平整体提升^[2]。

（二）动力触探技术的优势与适用性分析

动力触探技术是近年来发展起来的一种桩基检测新方法，具备检测效率高、经济性好且对桩体结构无损伤等显著优点。该技术借助钎杆与套管将锤击荷载产生的应力波传入桩体及周边土层，通过接收并分析反射波与透射波信号，可有效判断桩身长度、混凝土强度及周边土层的力学性能。相较于传统的静载试验和动载试验方法，动力触探在多个方面展现出更强的适用性。其一，检测速度快，能够在较短时间内完成单桩或多桩测试，大幅节约工期；其二，所需设备简单，材料消耗少，整体成本较低；其三，作为一种无损检测手段，其测试过程基本不损伤桩体结构，有利于桩基的后续使用安全。尽管动力触探技术具备上述优势，其应用仍存在一定局限性。首先，该技术对桩径和土层性质较为敏感，在桩径过小或土质过于松软的情况下，信号质量易受影响，导致数据准确性下降。此外，该方法难以直接测得桩基的极限承载力，通常需与静载试验等其他方法配合使用，才能全面评估桩基性能。

为弥补这些不足，当前研究方向包括开发新型复合检测工艺，以及引入数据分析算法提升信号解析能力。一些可在施工前期实施的检测手段也逐渐被引入，以实现早期问题识别与风险防控，从而整体上节约工程成本与时间。同时，采用多种检测方法

协同工作，能够整合各自优势，提高检测结果的准确性与可靠性。尽管存在一定局限，动力触探技术因其高效、经济和无损的特点，仍在现代桩基检测中占有重要地位。在实际工程中，应结合具体地质条件、桩型特点及检测目标，综合选用最适合的检测方法组合，以实现质量、成本与进度的最优平衡^[3]。

（三）桩侧阻力法的技术特点与适用范围

桩侧阻力法是一种通过测量桩身侧面土体抗剪强度来推算桩基承载力的检测手段。该方法在实施过程中不损伤桩体结构，且具备较高的测量精度，能够较为准确地反映桩-土相互作用机制，因此在特定工程条件下被视作一种可靠的检测方式。

然而，该方法亦存在一定局限性。首先，为获取准确的桩侧阻力参数，需对桩周土体开展大量现场或室内试验，导致检测周期延长、经济成本上升。其次，该方法所获数据需经过复杂的土力学分析与数值处理，对人员专业能力及计算工具要求较高，一定程度上限制了其推广应用。作为对比，传统的静载试验通过逐级施加静态荷载至桩顶，能够直接测定桩基承载力，并可绘制荷载-沉降关系曲线，直观反映桩土体系受力变形特性。但其缺点在于属于破坏性试验，仅能在工程后期进行；若桩基承载力不达标，则面临返工重建，造成工期与资源的浪费。另一方面，动载试验虽具备快速检测的优点，但对设备精度要求严苛，仪器成本较高，且在复杂土层或桩身存在轻微缺陷时，其识别能力与数据完整性常显不足，往往需辅以其他方法进行综合判断。

为解决上述各类方法的不足，近年来无损检测技术不断发展，例如超声波成像、高应变动力测试等，可在不损伤桩身的前提下识别内部缺陷，部分方法更可在施工前实施，实现早期质量控制。多种检测技术的融合应用，也成为提升检测精度与工程适用性的重要发展方向。尽管静载、动载试验目前仍为规范中的主流方法，但随着传感技术、信号处理与人工智能分析的进步，桩基检测正朝着更高效、精准、非破坏的方向演进。在实际工程中，应根据地质条件、桩型特点、检测目标与经济性等因素，合理选择或组合使用不同检测方法，以实现桩基性能的全面、可靠评价^[4]。

（四）射线与超声波检测方法的技术特性分析

射线透射法与超声波检测法均属于非破坏性桩基检测技术，通过物理手段获取桩体内部结构信息，具有精度高、不损伤桩基结构等共同优势，在建筑工程质量评估与桩基可靠性判断中应用广泛。射线透射法主要利用X射线等电离辐射的穿透特性，对桩体进行成像检测。该方法具备较高的空间分辨能力，且无需直接接触被测桩体。然而，由于其涉及放射性物质，操作过程中必须采取严格的防护措施，并需由具备相应资质的专业人员执行，以防止辐射危害。

超声波检测法则依赖高频声波在混凝土中的传播与反射行为，通过分析声波信号推断桩身完整性及缺陷位置。该方法不涉及辐射源，现场操作更为安全环保，但其有效应用同样依赖于专业人员的操作经验与信号解读能力。为保障检测结果的准确可靠，采用这两种方法前均需结合桩型尺寸、设计要求和场地条件进行详细的检测方案设计。应当注意的是，两种方法均受到桩径

尺寸与周边土质条件的制约。当桩径过小或土层过于松散时，信号衰减加剧，可能影响数据质量与判读有效性。

当前，为弥补传统方法的局限，各类无损检测新技术不断涌现。例如，基于电磁波的地质雷达、基于光纤传感的分布式监测等，均能在不破坏桩身的前提下识别内部缺陷。部分方法还可在施工前期介入，实现早期质量预警，从而有效节约后期处理成本与时间。尽管射线法与超声波法在应用中均需依赖专业团队与周密计划，它们仍是目前桩基质量检测中不可或缺的技术手段。未来随着传感技术、成像算法与智能诊断模型的进一步发展，桩基无损检测将逐步实现更高精度、更强适应性与更优经济性的目标。在实际工程中，建议结合项目具体要求、设备条件与操作资源，科学选择适合的检测方法或方法组合。

三、建筑工程桩基础检测技术发展趋势分析

（一）智能化技术在桩基检测中的发展与应用

当前，智能化技术的快速演进正深刻改变着桩基检测领域的技术格局。随着人工智能、物联网及大数据分析等新一代信息科技的融合发展，桩基检测过程逐步实现自动化采集、智能诊断与数字化管理，显著提升了该技术领域的现代化水平。通过引入智能传感设备与自动化监测系统，桩基检测的数据获取环节更加高效可靠，有效减少了人为操作误差。基于机器学习算法构建的数据分析平台，能够对采集的桩身完整性、承载力等参数进行深度挖掘与智能判读，不仅大幅提升了检测结果的准确性，也为工程设计与施工决策提供了更为科学的依据^[5]。

此外，智能化技术的全面应用还有助于优化检测资源配置，降低重复作业与人力投入，从而在控制总体成本的同时提高工作效率。随着相关技术体系的不断完善，智能化检测模式正逐步成

为保障桩基工程质量、提升行业技术水平的重要支撑，并在未来基础建设领域中展现出广阔的应用前景。

（二）非损伤检测方法的技术优势与工程价值

非损伤检测技术是一类在不影响桩基结构完整性的前提下，对其质量状况进行有效评估的先进检测手段。该类技术借助超声波探测、磁粉探伤、涡流检测等多种物理方法，能够系统评估桩身材料的均匀性、连续性及潜在缺陷，无需开展钻芯、静载试验等传统破坏性检测，从而在最大程度上保持桩基原有承载性能。相较于有损检测方式，非损伤技术具有显著的工程适用性优势。它不仅能够有效避免因检测操作对桩体造成的结构性损伤，还可通过高精度传感器与数字信号处理系统，提升数据采集的准确性与结果判读的可靠性。此外，该技术具备良好的可重复检测特性，便于在桩基服役期间进行周期性质量监测，从而动态掌握其长期性能演变趋势，为早期识别潜在安全隐患、实施预防性维护提供科学依据。

四、结束语

综上所述，建筑桩基础技术及其质量检测是涉及设计、施工与验收的复杂系统工程。面对多变地质条件，必须重视桩型选择与全过程质量控制。传统静载、动载试验能提供直接承载力数据，但存在成本高、周期长的局限；而动力触探、超声波等无损检测技术虽在效率和经济性上更具优势，却受桩径、土质等条件限制。当前技术发展呈现融合趋势：智能化技术推动检测过程向自动化、精准化发展；无损检测技术因其不破坏结构的特性，工程价值日益凸显。通过综合运用多种检测方法并融合智能化技术，将构建更加科学可靠的桩基工程质量保障体系。

参考文献

- [1] 李鑫. 建筑工程桩基础检测技术发展特点探析[J]. 建筑与装饰, 2024(17): 151-153.
- [2] 王安兴. 建筑工程桩基础检测技术发展特点分析[J]. 百科论坛电子杂志, 2019(14): 226.
- [3] 刘芾. 建筑工程桩基础检测技术发展特点探析[J]. 中国科技投资, 2018(31): 39.
- [4] 魏建智. 关于建筑工程桩基础检测技术的相关研究分析[J]. 百科论坛电子杂志, 2019(21): 140.
- [5] 孙源. 自平衡静载检测技术在建筑工程桩基础检测中的应用[J]. 科学技术创新, 2025(15): 99-102.

珠海某超限高层建筑工程抗震分析和设计

邹洁明

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.2025020022

摘 要 : 为解决珠海横琴某超限高层建筑的抗震设计难题, 确保结构在地震作用下的安全性与稳定性, 文章以该工程为研究对象, 结合项目所处的抗震设防环境与结构超限特征, 开展抗震分析与设计研究。并通过小震、中震、大震作用下的结构性能验证, 证明所采用的抗震设计方案可实现“C级”抗震性能目标, 保障结构在不同地震水准下的安全可靠, 为同类超限高层建筑抗震设计提供参考。

关 键 词 : 超限高层建筑工程; 抗震分析; 设计

Seismic Analysis and Design of a Certain Out-of-Codes High-Rise Building Project in Zhuhai

Zou Jieming

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

Abstract : To address the seismic design challenges of an over-limit high-rise building in Hengqin, Zhuhai, and ensure structural safety and stability under seismic forces, this study focuses on the project. Considering its seismic design environment and structural over-limit characteristics, seismic analysis and design research were conducted. Through structural performance verification under minor, moderate, and major seismic actions, the adopted seismic design scheme demonstrates the capability to achieve “Class C” seismic performance objectives. This ensures the structure's safety and reliability across varying seismic intensities, providing a reference for seismic design of similar super-high-rise buildings.

Keywords : super-high-rise building engineering; seismic analysis; design

引言

部分超高层建筑因功能需求与造型设计, 常突破现行规范对结构高度、平面规则性等方面的限制, 成为超限高层建筑。此类建筑的抗震设计直接关系到生命财产安全与城市抗震防灾能力, 是结构工程领域的重点与难点问题。珠海地处我国东南沿海, 受台风与地震双重作用影响, 超限高层建筑的抗震设计需同时兼顾抗风与抗震性能。文章以珠海横琴某超限高层建筑为研究背景, 该建筑为 B 级高度超限结构, 且存在扭转不规则、局部转换等问题, 抗震设计难度较大。

一、工程概况

珠海横琴某超高层塔楼位于珠海市十字门中央商务区横琴片区离岸金融岛东北角, 是集公寓、商业及配套功能于一体的综合性建筑。项目总用地面积 11752 m², 总建筑面积 132113 m², 其中地上总建筑面积 99881 m², 地下总建筑面积 32232 m²。本塔楼地上 36 层, 主屋面高度 122.8m; 地下 4 层, 底板面标高 -19.40m, 其中地下 4 层为核

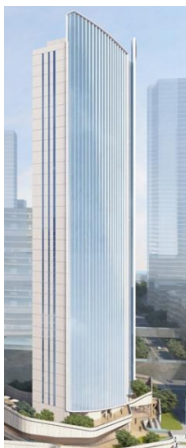


图 1 珠海横琴某超高层塔楼建筑效果图

(常) 六级人防地下室, 主要功能为商业、停车库及设备用房。 $\pm 0.000\text{m}$ 相当于测量高程标高 4.150m, 建筑室内外高差根据场地地形合理设置。塔楼建筑平面外包尺寸为 61.1m \times 14.9m, 长宽比 4.12, 整体高宽比结合核心筒尺寸计算为 8.24, 核心筒高宽比 16.56, 高宽过大对建筑的抗震性能、抗风性能均有较大影响。主建筑效果图如图 1 所示。

二、该超限高层建筑工程抗震设计遇到的难题

(一) 高度超限导致的结构刚度与延性平衡难题

项目楼作为 B 级高度超限结构, 主屋面高度 122.8m 超出 7 度区钢筋混凝土剪力墙结构 A 级高度限值 (120m)。高度超限使得结构在地震作用下的侧向位移与倾覆力矩显著增大, 需通过提高

结构整体刚度来控制位移，但过度增加刚度又会导致结构延性降低，不利于地震能量耗散。同时，随着结构高度增加，重力二阶效应（P- Δ 效应）对结构受力的影响逐渐凸显，若处理不当，可能加剧结构内力集中，降低结构抗震性能，如何在保证结构刚度满足位移要求的同时，兼顾延性与抗倒塌能力，成为设计首要难题。

（二）扭转不规则引发的受力不平衡难题

结构平面存在扭转不规则问题，考虑偶然偏心的扭转位移比X向1.25、Y向1.26，超出规范限值1.2。扭转不规则会导致结构在地震作用下产生附加扭转效应，使得部分竖向构件受力集中，内力显著增大，而部分区域构件受力不足，整体受力不平衡。这种不平衡可能引发结构局部率先破坏，进而影响整体抗震性能，如何通过调整结构布置与构件刚度，降低扭转效应，实现结构受力均匀化，是设计过程中的关键挑战^[1]。

（三）局部转换构件的抗震性能保障难题

塔楼中部因裙楼走道宽度限制，存在局部剪力墙转换，转换构件需承担上部剪力墙传递的巨大竖向荷载与水平剪力，是结构受力的关键部位。转换构件的存在打破了结构竖向刚度的连续性，易在转换层形成薄弱层，地震作用下转换层构件易发生剪切破坏或弯曲破坏，危及结构整体安全。如何通过合理的截面设计、材料选用与构造措施，保障转换构件在中震、大震作用下满足“抗弯抗剪弹性”“抗弯抗剪不屈服”的性能要求，是设计的重点难点。

（四）风致层间位移超限与抗震性能协同难题

项目地处沿海高压风地区，50年一遇风荷载作用下，项目楼Y向最大层间位移角为1/736，略超出《高层建筑混凝土结构技术规程》中1/800的限值。风致位移超限不仅影响结构正常使用（如幕墙变形、电梯运行），还需与抗震位移要求协同考虑。若为控制风致位移过度增加结构刚度，可能导致地震作用下结构延性进一步降低；若优先保障抗震延性，又可能无法满足风荷载下的位移要求，如何实现风致位移控制与抗震性能的协同优化，是设计过程中的重要矛盾点。

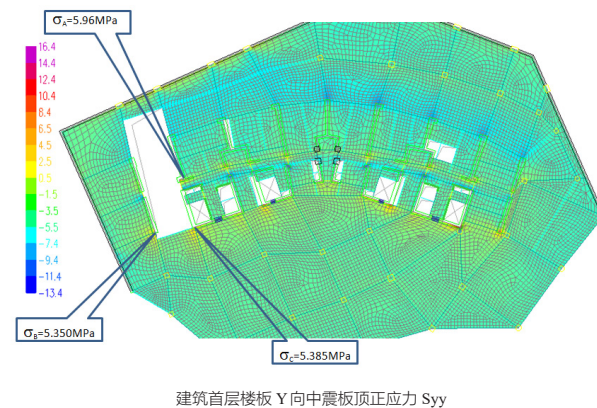
（五）薄弱部位楼板的受力与抗裂难题

结构存在多处薄弱部位楼板，包括首层车道入口大开洞楼板、塔楼中部薄弱连接部位楼板以及超长屋面层楼板。首层大开洞楼板作为上部结构的构造嵌固端，开洞会削弱楼板整体性，影响水平剪力传递；中部薄弱连接部位楼板需协调相邻区域的受力变形，易产生应力集中；超长屋面层楼板受温度变化影响显著，易出现温度裂缝。这些薄弱部位楼板在地震、风荷载与温度作用下，易发生剪切破坏或开裂，如何通过加强设计保障其受力性能与抗裂能力，是设计中不可忽视的难题^[2]。

（六）复杂地质条件下的基础抗震稳定性难题

项目场地为Ⅳ类场地，土层主要由人工填土、淤泥质砂土、淤泥、粘土等组成，属于软弱土，对建筑抗震不利。复杂地质条件导致地基承载力与刚度分布不均，地震作用下易产生不均匀沉降，影响结构整体稳定性。同时，地下水位较高，地下室抗浮与基础抗拔需求突出，抗拔桩的布置与承载力验算需结合地震作用

综合考虑，如何在软弱地基与高水位环境下，保障基础的抗震稳定性与抗浮能力，是设计的重要挑战。



三、该超限高层建筑工程抗震设计解决措施

（一）多程序协同计算，优化结构抗震分析方法

为精准评估结构在不同荷载作用下的受力性能，采用多程序协同计算的分析方法。选用YJK（盈建科V1.8.2.3版）与PKPM-SATWE（V3.1版）两种不同力学模型的空间分析程序进行整体结构弹性分析，验证计算结果的一致性，确保小震作用下结构内力与位移计算的准确性。同时，补充小震弹性时程分析（采用5组实际地震记录与2条人工波），作为反应谱法的补充，验证结构在动力荷载下的响应；采用PKPM-PUSH&EPDA程序进行大震静力弹塑性推覆分析，明确结构在罕遇地震作用下的塑性发展路径与抗倒塌能力；对楼板薄弱部位采用YJK软件进行弹性楼板应力分析，评估其在地震、风荷载与温度作用下的受力状态。多程序协同计算可全面覆盖结构不同受力阶段的分析需求，为抗震设计提供可靠依据^[3]。

（二）优化结构布置，降低扭转不规则效应

针对扭转不规则问题，从结构平面与竖向布置两方面进行优化。平面布置上，调整核心筒位置，使结构质心与刚心尽量重合，减少偏心距；增加外围剪力墙的布置密度，尤其是在结构扭转较大的一侧，适当加大剪力墙厚度（如底部加强区剪力墙厚度增至600mm），提高结构抗扭刚度。竖向布置上，控制相邻楼层的刚度变化，确保楼层侧向刚度比不小于1.0，避免刚度突变加剧扭转效应；对局部刚度较弱的楼层，通过增加连梁数量与截面尺寸，提升楼层整体刚度。经优化后，结构扭转位移比虽仍超出规范限值，但已得到有效控制，X向、Y向扭转位移比分别稳定在1.25、1.26，附加扭转效应显著降低，结构受力更趋均衡。

（三）加强关键构件设计，保障转换部位抗震性能

针对局部转换构件的抗震性能需求，采取多维度加强措施。截面设计上，加大框支柱与框支梁截面尺寸，框支柱截面采用800mm×800mm，框支梁截面采用800mm×1500mm，同时将框支梁混凝土强度等级提高至C60，与框支柱保持一致，提升转换构件的承载能力与刚度。配筋设计上，框支梁纵筋采用HRB500钢筋，配筋率提高至1.0%，箍筋采用井字复合箍，间距

不大于100mm，肢距不大于200mm，直径不小于12mm，保障其抗剪与延性；框支柱沿全高设置芯柱，附加纵向钢筋截面面积不小于柱截面面积的0.8%，提高柱的延性与抗倒塌能力。性能验算上，对转换构件按中震抗弯抗剪弹性、大震抗弯抗剪不屈服的要求进行验算，确保其在地震水准下的安全可靠。

（四）协同控制风致位移与抗震延性，优化结构刚度

为解决风致位移超限与抗震延性的协同问题，采用“刚度优化+附加措施”的综合方案。首先，通过调整剪力墙布置与截面尺寸，在保障结构抗扭刚度的同时，控制整体刚度适度增长，避免过度刚化导致延性降低；小震作用下结构X向、Y向层间位移角分别为1/1529、1/1158，满足规范限值1/800，大震作用下最大层间位移角为1/189（Y向），小于限值1/150，抗震延性得到保障。其次，针对风致位移超限问题，从嵌固端取值与实际使用需求两方面进行论证：计算嵌固端采用地下室底板（基础面）与首层双重考虑，首层作为构造嵌固端时，Y向风致层间位移角降至1/932，满足规范要求；同时，考虑填充墙对结构刚度的贡献，实际使用中填充墙可进一步提升结构抗侧刚度，降低风致位移，且结构顶点风振加速度为0.12m/s²，满足公寓类建筑舒适度限值0.15m/s²，实现风致位移控制与抗震延性的协同优化^[4]。

（五）针对性加强薄弱部位楼板，提升抗裂与受力性能

针对不同类型的薄弱部位楼板，采取差异化加强措施。首层大开洞楼板作为构造嵌固端，将板厚加厚至180mm，采用双层双向拉通钢筋（配筋率不小于0.25%），同时对洞口角部与核心筒交接部位增设放射筋，削弱应力集中，保障水平剪力传递能力；塔楼中部薄弱连接部位楼板，板厚加厚至300mm，配筋率提高至0.56%（双层双向HRB400钢筋，直径16mm，间距120mm），连系梁纵筋在计算结果基础上放大15%、箍筋放大20%，连系板纵筋放大20%，确保其满足中震抗弯抗剪弹性、大震抗弯抗剪不屈服的性能要求；超长屋面层楼板，板厚加厚至120~180mm，设置温度伸缩缝，同时配置双层双向拉通钢筋（配筋率不小于0.2%），针对温度应力较大区域，额外增设温度筋，控制温度裂缝的产生。通过针对性加强，薄弱部位楼板的受力性能与抗裂能力显著提升，可满足不同荷载作用下的使用要求。

（六）优化基础设计，保障复杂地质条件下的抗震稳定性

在复杂地质条件下，从地基处理、基础选型与抗浮设计三方面保障基础抗震稳定性。地基处理上，对软弱土层采用深层

搅拌桩进行加固，提高地基承载力与刚度均匀性，减少地震作用下的不均匀沉降；基础选型上，采用钻孔灌注桩基础，桩端嵌入中风化花岗岩层（ $f_{rk}=28.5\text{MPa}$ ），有效桩长约60~63m，单桩竖向承载力特征值根据桩径不同分别为18000kN（1.4m桩径）与13500kN（1.2m桩径），确保基础承载能力满足要求；抗浮设计上，裙楼与纯地下室区域柱下承压桩兼做抗拔桩，桩径1.2m/1.0m对应的单桩抗拔承载力特征值为3000kN/2500kN，同时在底板中部增设抗拔桩，平衡水浮力。此外，对基础进行整体稳定验算，结构刚重比X向6.52、Y向5.22，均大于规范限值2.7，整体屈曲因子为186，远大于限值10，保障基础在地震作用下的稳定性^[5]。

（七）设定分级抗震性能目标，实施性能化设计

根据结构超限特征与构件重要性，设定分级抗震性能目标，实施性能化设计。整体结构抗震性能指标为“C级”，在此基础上，对不同类型构件制定差异化性能要求：关键构件（底部加强区剪力墙、框支柱、框支梁、中部薄弱连接部位连系梁与连系板）需满足小震无损坏、中震轻微损坏（抗弯抗剪弹性）、大震轻度损坏（抗弯抗剪不屈服）；普通竖向构件（其他区域剪力墙、框架柱）需满足小震无损坏、中震轻微损坏、大震部分中度损坏；耗能构件（框架梁、剪力墙连梁）需满足小震无损坏、中震轻度损坏（部分中度损坏）、大震中度损坏（部分比较严重损坏）。为实现性能目标，对关键构件采取加强措施，如底部加强区剪力墙竖向分布筋配筋率提高至1.0%，局部超过2倍 f_{tk} 的区域提高至1.5%，水平钢筋配筋率提高至0.6%；通过性能化设计，确保结构在不同地震水准下均能达到预期性能状态，保障整体抗震安全。

四、结束语

综上所述，文章以珠海横琴某超限高层建筑为研究对象，该工程高度122.8米，高宽比大于8.0，存在扭转不规则和局部转换、位移角超限等难题。基于7度抗震设防和Ⅳ类场地条件，确立了“C级”抗震性能目标。项目面临刚度与延性平衡、受力不均、风震协同控制等多重挑战。通过采取多程序协同计算、优化结构布置、加强关键构件等综合措施，有效解决了各项难题。分析结果表明，结构在小震、中震及大震下的各项性能指标均满足规范要求，实现了“小震不坏、中震可修、大震不倒”的设防目标。

参考文献

- [1] 王坤宁. 超限高层建筑工程抗震设防与研究[J]. 建筑·建材·装饰, 2024(14): 160-162, 15.
[2] 王莉娜. 基于超限高层建筑的抗震设计与加固改造综合技术[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(3): 22-24.
[3] 叶浩. 浅析超限高层建筑抗震结构设计[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(24): 118-121.
[4] 周瞰. 结构设计优化在超限高层建筑抗震中的应用[J]. 建材与装饰, 2024, 20(22): 52-54.
[5] 龚健, 杨恩杰, 夏念涛, 等. 某超限高层建筑抗震性能设计分析[J]. 工程抗震与加固改造, 2023, 45(4): 42-49.

公共建筑单体设计中校园空间规划与创新

郭奕爽

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020027

摘 要：江苏省梅村高级中学空港分校设计响应绿色校园与智慧人文融合政策，以“梅花”母题重构传统书院轴线秩序，以学术交往环为立体枢纽整合教学空间。通过首层架空、多层连廊构建晴雨无阻流线，优化功能分区与动静序列；应用暖色系立面、本土“软瓷”材料及纵向百叶强化遮阳与地域文脉。设计实现60%高绿化率与27%低建筑密度，融入海绵城市理念，将校园从功能载体转为育人场域，为中小学空间规划提供文化传承与创新范式。

关 键 词：校园空间规划；文化传承；学术交往环

Campus Space Planning and Innovation in the Design of Public Buildings

Guo Yishuang

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The design of Konggang Branch of Jiangsu Meicun Senior High School responds to the policy of green campus and integration of smart and humanistic environments. It reconstructs the axis order of traditional academies with the "plum blossom" motif and integrates teaching spaces through the academic communication ring as a three-dimensional hub. Via ground floor overhead design and multi-level corridors, it builds all-weather circulation, optimizing functional zoning and dynamic-static sequences. Warm-toned facades, local "soft ceramic" materials and vertical louvers are applied to enhance sunshading and regional context. The design achieves a 60% high greening rate and 27% low building density, integrates the sponge city concept, transforming the campus from a functional carrier to an educational field, providing a paradigm of cultural inheritance and innovation for primary and secondary school space planning.

Keywords： campus space planning; cultural inheritance; academic communication ring

引言

校园空间作为育人的物质载体，其规划设计需统筹功能性、文化性与可持续性。2020年住建部《绿色建筑创建行动方案》明确要求“推动绿色校园建设”，2021年教育部等六部门《关于推进教育新型基础设施建设构建高质量教育支撑体系的指导意见》强调“智慧学习空间与人文环境融合”。江苏省梅村高级中学空港分校项目响应政策导向，以文化传承与技术创新为双核驱动：通过“梅花”母题重构传统书院轴线秩序，植入学术环立体枢纽实现教学生态重组；在有限用地条件下实现高绿化率，践行生态校园标准。其设计将功能分区系统、流线设计系统与生态交互系统整合为有机整体，为《中小学设计规范》（GB50099-2011）的深化实施提供创新范式，体现了新时代校园建筑从空间容器向育人场域的转变。

一、校园规划的文化传承与空间布局

（一）文化符号的设计与融入

无锡梅村，古称梅里，是吴文化发祥地，位于太湖之滨、泰伯故里的江南水乡。创立于1913年的百年名校——江苏省梅村高级中学，屹立于此。空港分校作为百年老校拓展的新校区，用现代设计语言赓续“敏毅诚朴，至贤至德”的名校精神。新校区空港分校的设计，将师承百年老校梅村中学的梅文化与精神。设计中以“梅”入题，设计核心区“梅苑”作为校园场地的中心，加

强原校园文化与新校区的精神文化关联。围绕这一精神场所，结合校园空间结构布置环形建筑，形成具有垂直纵深的核心校园公共建筑学术交往环，形成层级分明的空间结构，并作为校园的空间枢纽串联教学楼、图书馆、实验楼等主要教学空间。这一校园结构打破传统校园中以单一教学建筑为核心的空间形式，以梅苑作为枢纽中心，既强调新校区的文化内涵，也在实际使用中优化师生动线，其核心空间不仅是师生生活和展示交流的平台，更是校园学术与精神凝聚的枢纽，实现了传统书院“礼序空间”文化基因与现代功能的有机统一^[1]。将传统书院的进深布局进行现代

化演绎。



“梅苑”精神场所作为校园核心

（二）现代与传统的融合

设计将传统书院空间范式与现代教育需求深度融合，以活动区、教学区、生活区三大板块作为基础分区，融入院落式结构，重构教学、生活与学术交流的流线关系，并植入开放共享的现代空间特征。教学区通过“梅苑-学术交往环-水系”的布局，形成中心学术岛板块，营造开放包容的校园氛围^[2]。西部设置活动区，东部设置生活区，空间上形成由西向东“动-静”的空间序列。学术环作为校园整体空间锚点，延续书院讲学论道的文化内核，同时借助连廊系统实现空间互联。“重要的创意往往产生于非正式的交往空间”，设计过程中连廊系统不仅为江南多雨地区提供生活庇护，也形成丰富的非正式交往空间，让师生对话、学术交流发生在课室以外的公共场所。这既是对传统书院学习交流方式的继承，也是激发学生交往、师生交流的重要空间平台。



校园教学区空间序列

二、功能分区的科学性与创新性

（一）核心功能区的设计

校园用地较局促，设计通过首层架空与内退处理释放地面空间，减少建筑体量对空间产生的压迫感。学术岛核心区域以学术交往环为核心，构建多层立体连接体系：首层学术环整体架空，以遮雨连廊联系主要教学板块，实现上学流线全遮雨覆盖；二层水平连廊联通东区教学组团、西区实验楼组团及图书馆综合楼，形成完整室内流线网络，便于学生课间快速到达下一目标区域；三层为学术环屋面，设置环形跑道与种植屋面，还是学生课件的活动操场。教学区采用院落式布局提供安静的学习环境，生活区（宿舍、食堂）与运动区（体育馆、活动平台）分置东西两侧，实现课时-课间与课时-课后分区管理。核心区学术交往环作为创新型校园空间，整合校史馆、师生交流中心、活动课堂等功能，

与梅苑形成跨学科互动与精神凝聚的复合载体，是非教学空间提升课间交流密度的创新型实验场所，也是组织校外学术交流、带领学生家长参观、感受校园氛围的标志性空间。同时作为交通性建筑，学术交往环环体宽度10米，满足全校学生课间峰值流量通行。在实际使用中，通行、功能空间与中心梅苑形成空间对视关系，让学生活动产生正向积极的相互反馈。学术环设置四处连接廊桥，与首层地面活动衔接，西北侧独立旋转景观梯提供独特视角，多流线设计使活动场所成为流动的、充满活力的空间平台，强化“学习-生活-交流”的有机生态^[3]。



学术共享环作为校园的核心设计

（二）辅助功能区与屋顶花园的优化设计

学术环屋面打造“第二花园”，设置环形跑道与绿化，利用屋顶空间增强图书馆、教学楼与实验楼的联系，方便师生课间亲近自然。屋面跑道释放学生运动活力，支持短课间、大课间及体育课的多功能使用，形成空间功能互利的正向局面。为支持地面空间集约化利用，停车场接送系统与主要设备用房设置于地下，深度空间纵向设计，让校园建筑密度控制在27%，地面绿地系统覆盖率近60%，远超同体量校园指标，实现功能与生态协同^[4]。

三、建筑单体的特色与技术创新

（一）立面设计与材料选择

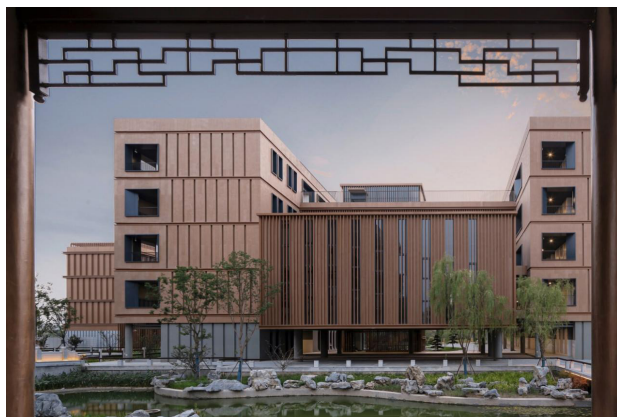
1. 暖色系立面与纵向百叶的遮阳秩序强化

建筑立面延续地区周边建筑风格与梅村本校的在地文脉，采用暖色基调，与形成视觉连续性。纵向金属百叶发展于岭南夏氏遮阳体系^[5]，韵律化排列的竖向垂直百叶以木纹转印铝板为材料，兼具立面秩序，强化遮阳功能：百叶间距经日照模拟优化，形成多次漫反射，阻隔夏季直射光对室内活动的影响，营造适合四季的自然光环境。竖向线条延伸至坡屋顶檐口，形成充满现代感的建筑轮廓，和教学区建筑形成曲直的空间呼应。空间质感上，营造现代铝板与陶土质感的碰撞，在光影下形成细腻的肌理变化。这种设计消解体量厚重感，利用色彩心理学原理营造温暖静谧的教学氛围，使现代钢结构与传统意象达成美学平衡。



2. 本土材料的地域表达

材料选择方面，校园公共空间大面积选用本地制造的创新性改性无机粉复合建筑饰面片材（“软瓷”），应用于教学区教学楼、实验楼组团外立面。该材料呈现独特的有机黏土质感，让建筑具备乡土温度；同时技术上具备自重轻、易施工、易附着的材料特色，在校园公共建筑实际应用中可减轻建筑自重、从而降低结构荷载，减少工程造价，同时考虑到其质软、质轻的材料特色，在校园建筑中应有可发挥优势。项目设计阶段，团队对该类材料开展数月环境测试，在实际测试过程中，“软瓷”在城市环境展现不易变色、质量轻、易施工、牢附着的特点，被最终选用于教学区主体建筑立面上，是该材料于公共建筑的一次创新性应用，也是对本土材料与技术的一次重要落地实践。



木纹转印铝板与软瓷组成的校园建筑立面

3. 屋面铺砖完善第五立面设计

项目场地毗邻城市空港，在设计中增强对建筑第五立面的形象设计。除学术环屋面外，教学区与实验楼屋面通过分区结构降板，将大部分建筑设备布置于女儿墙阴影区，加盖同色金属格栅，保证校园屋面整体干净、整洁；同时屋面主体利用参数化设计，设计8种模块化砖图案进行覆面，让整体校区形成自然、柔

和、延续的屋面效果。确保校园在高空看依然保持整体干净、统一，增强建筑与空港环境的协调性。



（二）绿色建筑与可持续性

1. 高绿地率与低容积率的生态规划

场地规划通过“分散组团+集中绿地”实现生态效能最大化：校园整体架空设计，让校园各区域无论晴雨实现无伞到达，校园建筑架空形成的首层景观化地面与屋面绿化结合，让项目在方案阶段实现60%绿化率。首层空间最大化，让学生在用地有限的场所保留充足的户外活动空间。校园整体引入海绵城市设计，建筑排水点通过景观自然蓄水、排水点绿化设计等多种方式融入校园景观区域，实现雨水自然灌溉复用。活动场地设置自然缓坡，能有效防止低洼积水。建筑南北向布置，形成高效风廊通道，建筑密度控制在27%，日照遮挡率低于5%，确保教室冬季满窗日照 ≥ 2 小时^[6]。

2. 节能技术与自然通风系统的应用

技术应用层面，校园建筑大部分采用内保温形式，选用当地较为通用的50mm岩棉作为保温层材料，外窗玻璃Low-E涂层太阳能得热系数 ≤ 0.35 ，使建筑综合节能率提升至65%。建筑空间布置方面，被动式节能设计也在方案阶段充分考虑：教学楼呈东南-西北向布局，利用常年主导风实现穿堂通风。学术交流环窗户采用错位布局，以多而密的水平开窗使自然风辐射更广区域，避免过强直线风道影响教学环境，在不消耗额外能源前提下实现被动式节能。外窗可开启扇占比45%，配合中庭热压拔风效应提升换气率^[7]。

四、流线组织与以人为本

（一）交通流线的合理性

1. 人车分流的动态分析

校园采用三级分流系统：外围环形消防车道与行车流线结合，与地下师生接送系统相连，从而实现校园内部无车通行，在规划层面保障校园安全；人行主入口设于南侧，通过广场缓冲带分离接送车辆。设备补给、后勤通道、垃圾转运设备独立布置于靠近食堂的东北侧辅助区，避免与日常师生教学生活流线交叉。宿舍区设置独立自行车专用道保障骑行行人安全，实现“到门不入”的交通组织逻辑^[8]。

2. 垂直设计中的动线连接

建筑组团采用有效的垂直疏散系统，在教学楼区、实验楼区

部分疏散楼梯间设置于教学楼连廊之间，形成组团内3栋单体、5个垂直交通枢纽的高效空间设计。学术环作为校园的主立体枢纽，水平连接教学组团、实验楼组团与图书馆组团，4组坡道加强各组团之间联系，3.5米连桥宽度容纳双向人流。利用学术环这一纵横连通的交通空间，让学生多形式、高效率到达校园各处的空间。坡道表面压花防滑铜板（摩擦系数 ≥ 0.6 ），校园符合无障碍设计要求，利用办公楼外垂直楼梯间布置无障碍校园流线，配以盲文导视系统^[9]。实验楼与图书馆通过悬挑连廊直通学术环，路径效率提升40%，雨天下80%室内空间可达无需雨具。

（二）视觉与景观的协调

1. 中心环与梅苑的景观渗透

直径90米的学术环内嵌梅苑景观，通过5组视廊贯通内外：首层为全开敞空间，二层连桥底部采用格栅透景（孔隙率50%）。梅苑种植朱砂梅、绿萼梅等12个本土品种，地被层配以书带草与麦冬，形成四季可观的“梅花图谱”。环内休憩台阶呈涟漪状扩散，与屋面景观铺装图案构成空间呼应，石材拼缝精确对齐梅树投影轨迹，冬至日正午树影恰与坐席中轴重合^[10]。

2. 水系与建筑的生态呼应

环形生态水系（宽度4-8米）环绕学术岛，驳岸采用石笼网箱与湿地植物带划分校园片区，水系划分生活、学习、运动三个主体分区，强化“学术岛屿”的意象。水系与生活区联系紧密，为生活区带来自然的视觉景观。水系蓄水为无锡地区雨季蓄洪带

来缓冲，保障暴雨时滞洪效果。给排水设计与海绵城市设计、景观设计深度绑定，保障校园整体生态、自然的校园环境。

五、总结

江苏省梅村高级中学空港分校的设计实践体现了校园建筑从功能载体向育人场域的转型。核心创新在于以“梅花”文化母题重构传统书院轴线秩序，学术交流环与梅苑景观通过架空设计和立体连接体系，整合教学组团、师生交流中心及非正式互动空间，营造开放、流动的学习氛围，显著提升课间交流密度与空间利用效率。创新性改性无机粉复合建筑饰面片材（“软瓷”）应用于教学楼与实验楼外立面，结合暖色系砖木立面与纵向百叶系统，融合地域文脉与现代技术。流线设计通过人车分流、多层连廊及垂直设计优化师生通行效率，首层架空确保晴雨无阻的便捷性。生态设计在方案阶段实现60%绿地率，融入海绵城市理念，通过雨水花园与环形水系提升公共建筑生态性，建筑密度控制在27%，保障通风与日照。上述设计以学术环和梅苑为核心，协同新材料应用、精密流线组织及生态技术整合，响应《绿色建筑创建行动方案》（2020）及教育新型基建对“智慧人文环境”的要求，为新时代校园建筑提供兼具文化传承与前瞻创新的范式参考。

参考文献

- [1] 吕滨澧. 建筑设计在公共空间规划中的运用分析 [J]. 工程设计与施工, 2024, 6(03): 49-51.
- [2] 何江鑫. 新时代校园建筑规划设计要点与具体方法 [J]. 建筑与装饰, 2023, (07): 43-46.
- [3] 葛松筠, 陈全慧, 范旭艳. 基于场所精神的人文校园“传承”与“创新”——以甬直镇人民教育出版社附属实验小学建筑设计为例 [J]. 华中建筑, 2023, 41(02): 30-34.
- [4] 杨路, 万继伟, 吴磊. 校园公共共享空间设计策略研究——以中国西部科技创新港人文交流厅为例 [J]. 城市建筑, 2022, 19(22): 14-17.
- [5] 马朝琦. 建筑投影艺术在高校室外公共空间中的应用与实践——以华北理工大学图书馆建筑投影设计为例 [D]. 河北省: 华北理工大学, 2022.
- [6] 夏冰. 创新型校园空间规划设计研究回顾与展望 [J]. 城市建筑, 2020, 17(16): 70-72.
- [7] 李跃. 浅谈北京某单体公共建筑的整体结构设计 [J]. 中国住宅设施, 2017, (01): 28-33.
- [8] 土豪. 校园文化传承下的河南大学新区教学科研建筑群设计研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2022.
- [9] 陈纵. “两观三性”视角下的当代大学校园空间更新、改造设计策略研究 [D]. 华南理工大学, 2020.
- [10] 梁炜莹. 建构易于交流和激发创新的未来校园——浅析适应未来教育现代化理念的中小校园建筑空间规划布局设计 [J]. 建设科技, 2023(2): 72-74.

现代产业园的绿色建筑设计

郭优源

广东维美工程设计有限公司, 广东 东莞 523000

DOI:10.61369/ADA.2025020035

摘 要： 现代产业园的绿色建筑设计是实现可持续发展的核心路径。文章针对当前设计实践中面临的高成本投入、技术整合复杂等难题，在此基础上，提出了建立多元化成本分摊机制、加强技术研发与整合、构建多主体协同沟通平台、完善长期运营维护体系以及优化政策标准与市场监管等一系列具有针对性的解决措施，旨在为构建资源节约、环境友好、高效和谐的现代产业园提供理论参考与实践指导。

关 键 词： 现代产业园；绿色建筑设计

Green Building Design for Modern Industrial Parks

Guo Youyuan

Guangdong Weimei Engineering Design Co., Ltd., Dongguan, Guangdong 523000

Abstract： Green building design in modern industrial parks is a core pathway to achieving sustainable development. Addressing challenges such as high investment costs and complex technological integration in current design practices, this paper proposes a series of targeted solutions. These include establishing diversified cost-sharing mechanisms, strengthening technological R&D and integration, building multi-stakeholder collaborative communication platforms, improving long-term operation and maintenance systems, and optimizing policy standards and market supervision. The aim is to provide theoretical reference and practical guidance for constructing resource-efficient, environmentally friendly, and harmonious modern industrial parks.

Keywords： modern industrial parks; green building design

引言

现代产业园作为产业集聚、创新驱动和经济发展的主要载体，其建设模式深刻影响着区域的资源消耗、环境质量与长期竞争力。将绿色建筑理念深度融入产业园的规划、设计、建设与运营全过程，不仅是响应国家“双碳”目标的必然要求，更是产业园提升自身吸引力、降低运营成本、实现高质量发展的内在需求。然而，在从理念到实践的转化过程中，产业园的绿色建筑设计面临着一系列严峻的挑战，这些挑战涉及经济、技术、管理与政策等多个维度，制约着绿色建筑效益的充分发挥。

一、绿色现代产业园的核心要点

（一）绿色建筑理念内涵

绿色建筑理念，是在建筑的全寿命周期内，最大限度地节约资源（节能、节地、节水、节材）、保护环境和减少污染，提供健康、适用和高效的使用空间，与自然和谐共生的建筑理念。是一种全方位、系统性的设计思路和运营模式。绿色建筑理念贯穿于建筑从最初的规划设计，到施工建设、运营使用，直至最后的拆除等各个环节。在规划设计阶段，充分考虑建筑场地的自然条件，如地形、地貌、气候、日照、通风等因素，合理布局建筑，使其能够充分利用自然能源，减少对人工能源的依赖。通过优化建筑朝向和空间布局，使建筑能够获得充足的自然采光和良好的

自然通风，从而降低照明和空调系统的能耗。

（二）对现代产业园的重要意义

绿色建筑理念对现代产业园的可持续发展与综合竞争力提升具有关键作用。在经济效益方面，绿色建筑通过节能、节水及资源循环利用技术，显著降低了园区长期运营成本，虽然初期投资可能较高，但全生命周期的费用节约效益显著。在人才集聚方面，绿色建筑营造的健康、舒适、自然采光充足的工作环境，不仅提升员工工作效率与满意度，还有助于吸引和留住高端人才，激发创新活力，为园区发展提供持续动力。在品牌形象方面，践行绿色理念塑造了园区先进的可持续发展形象，增强了行业声誉，有助于吸引优质企业和投资项目入驻，形成产业集聚效应，提升整体市场竞争力^[1]。

二、现代产业园的绿色建筑设计的难题

（一）高成本投入与短期收益失衡难题

现代产业园绿色建筑设计在初期阶段面临着显著的高成本投入问题，这成为许多开发商推进绿色建筑建设的首要阻碍。从材料选用来看，绿色建筑所需的环保节能材料，如高效保温隔热的岩棉保温板、断热型材门窗、透水铺装材料等，其市场价格普遍高于传统建筑材料。以透水混凝土为例，其单价相比普通混凝土高出 30% ~ 50%，而一个占地面积较大的产业园，仅地面铺装这一项，成本增量就十分可观。同时，绿色建筑技术的应用，如太阳能光伏发电系统、地源热泵系统、智能新风系统等，不仅设备采购成本高，安装调试过程也需要专业的技术团队，进一步增加了前期投入。

然而，这些绿色设计带来的收益，如能耗降低、水资源节约等，往往需要长期运营才能逐步体现。对于追求短期经济效益的开发商而言，短期内难以看到明显的投资回报，这种成本与收益在时间维度上的失衡，使得不少开发商对绿色建筑设计持观望态度，甚至选择放弃部分绿色设计方案，转而采用成本更低的传统建筑模式^[2]。

（二）技术整合与适配性不足难题

现代产业园绿色建筑设计涉及多种前沿技术，如节能技术、环保技术、智能控制技术、海绵城市技术等，但在实际设计过程中，常常面临技术整合与适配性不足的问题。不同技术体系之间可能存在兼容性问题，例如太阳能光伏发电系统与建筑主体结构的结合，若在设计初期未能充分考虑光伏组件的安装位置、承重要求以及建筑外立面美观性的协调，后期可能需要对建筑结构进行改造，不仅增加成本，还可能影响建筑的整体性能。

（三）多主体协调与利益平衡难题

现代产业园绿色建筑项目涉及多个参与主体，包括开发商、设计单位、施工单位、运营管理方以及政府相关监管部门等，各主体之间的利益诉求和关注点存在差异，导致协调难度较大，利益平衡困难。开发商更关注项目的投资成本和经济效益，希望在保证绿色建筑标准的前提下，尽可能降低成本；设计单位致力于实现绿色建筑的技术指标和设计理念，追求设计方案的科学性和创新性，但可能对成本控制考虑不足；施工单位注重施工进度和施工难度，绿色建筑施工过程中对工艺要求更高，可能会增加施工难度，延缓施工进度，影响施工单位的经济效益；运营管理方则关心后期运营维护的便利性和成本，希望绿色建筑设施在运营过程中易于维护，降低运营成本。

（四）长期运营维护体系不完善难题

现代产业园绿色建筑在建成投入使用后，需要完善的长期运营维护体系来保障其绿色性能的持续发挥，但目前许多产业园在这方面存在明显不足。一方面，绿色建筑的运营维护需要专业的技术人员和管理团队，而目前市场上具备绿色建筑运营维护专业知识和技能的人才相对匮乏，导致运营管理团队难以准确掌握绿色建筑设施的运行规律和维护要点。另一方面，运营维护成本较高，且缺乏有效的成本分摊机制。绿色建筑的运营维护成本通常

高于传统建筑，包括设备维护费用、能源消耗监测费用、专业技术咨询费用等。部分产业园的运营管理方为降低成本，可能会减少对绿色建筑设施的维护投入，甚至停止部分绿色设施的运行，使得绿色建筑的节能、环保等优势无法充分体现^[3]。

（五）政策标准与市场衔接不紧密难题

尽管我国已出台一系列支持绿色建筑发展的政策法规和标准规范，但在现代产业园绿色建筑领域，政策标准与市场需求之间仍存在衔接不紧密的问题。一方面，部分政策标准过于宏观，缺乏针对产业园绿色建筑的具体实施细则和差异化要求。不同地区、不同类型的产业园在产业定位、规模大小、气候条件等方面存在差异，对绿色建筑的需求也各不相同，但统一的政策标准无法充分满足这些差异化需求，导致部分产业园在执行政策标准时，难以结合自身实际情况制定合理的绿色建筑设计方案。另一方面，政策激励措施力度不足，市场引导作用有限。目前政府对绿色建筑的激励措施主要包括财政补贴、税收优惠等，但补贴金额相对较低，税收优惠范围较窄，难以充分调动开发商和投资者参与绿色建筑建设的积极性。

三、现代产业园的绿色建筑设计的解决措施

（一）建立多元化成本分摊与收益保障机制

为解决绿色建筑设计初期高成本投入与短期收益失衡的问题，需要建立多元化的成本分摊与收益保障机制。政府应加大政策扶持力度，提高财政补贴标准，扩大补贴范围，对采用高标准绿色建筑设计的产业园项目给予更多的资金支持。同时，完善税收优惠政策，如对绿色建筑项目免征或减征房产税、城镇土地使用税等，降低开发商的税收负担。通过推广 PPP（政府和社会资本合作）模式，吸引社会资本投入到绿色建筑的建设和运营中，实现风险共担、利益共享。例如，社会资本可以参与太阳能光伏发电系统、雨水回收利用系统等绿色设施的投资建设，通过收取电费、水费等方式获得收益。此外，建立绿色建筑保险制度，为绿色建筑项目提供保险保障，降低项目投资风险，提高投资者的积极性。在项目运营过程中，将绿色建筑带来的能耗节约、水资源节约等收益，按照一定比例在开发商、运营管理方和入驻企业之间进行分配，激励各主体共同关注绿色建筑的长期运营效果，实现经济效益与环境效益的双赢^[4]。

（二）加强技术研发与整合适配体系建设

要加大绿色建筑技术研发投入，鼓励科研机构、高校和企业开展产学研合作，重点研发适用于不同气候条件、不同产业类型的产业园绿色建筑技术。例如，针对高温高湿地区，研发高效的自然通风和降温技术；针对高耗能产业园区，研发新型的节能设备和能源回收利用技术。同时，加强对国外先进绿色技术的引进、消化、吸收和再创新，结合我国实际情况进行技术改良，提高技术的适配性。其次，建立绿色建筑技术整合平台，加强各技术体系之间的协调与配合。在项目设计初期，组织设计单位、技术供应商、施工单位等多方参与技术论证，制定科学合理的技术整合方案，明确各技术之间的接口标准和协同工作机制。

（三）构建多主体协同沟通与利益平衡机制

要成立产业园绿色建筑项目协调小组，由政府相关监管部门、开发商、设计单位、施工单位、运营管理方等共同组成，负责项目建设全过程的协调沟通工作。协调小组定期召开会议，及时解决项目实施过程中出现的问题，加强各主体之间的信息共享和交流合作。例如，在设计方案调整过程中，协调小组组织各主体共同参与方案论证，充分听取各方意见，确保方案调整既满足绿色建筑标准要求，又兼顾各主体的利益诉求。在项目前期，通过签订合作协议，明确各主体的权利和义务，以及利益分配和风险承担方式。例如，开发商和施工单位可以约定，若施工单位提前完成施工任务且工程质量达到绿色建筑标准，给予一定的奖励；若因施工单位原因导致工期延误或工程质量不达标，由施工单位承担相应的赔偿责任。同时，设立项目风险基金，用于应对项目建设和运营过程中出现的突发风险，如原材料价格上涨、技术故障等，降低各主体的风险损失。

（四）完善长期运营维护与人才培养体系

为保障绿色建筑长期运营效果，需要从运营维护体系建设和专业人才培养两方面入手，构建长效运营保障机制。建立专业化的绿色建筑运营维护团队。通过招聘、培训等方式，组建具备绿色建筑运营维护专业知识和技能的团队，负责绿色建筑设施的日常运行监测、维护保养和故障维修。同时，加强与专业运营维护服务机构的合作，引入第三方服务，为产业园提供全方位的运营维护服务，如定期对太阳能光伏发电系统、雨水回收利用系统等进行检测和维护，确保设施的正常运行。利用物联网、大数据、人工智能等技术，对绿色建筑的能耗、水资源消耗、室内环境质量等数据进行实时监测和分析，实现对绿色建筑运营状态的精准掌控。通过信息化平台，及时发现运营过程中存在的问题，并制定针对性的解决方案。例如，当监测到某区域能耗异常升高时，平台可自动发出预警信号，运营维护人员及时排查原因，采取节能措施，降低能耗。另外，高校和职业院校应增设绿色建筑运营

维护相关专业，培养具备专业知识和实践技能的高素质人才^[5]。

（五）优化政策标准与强化市场监管引导

政府应根据不同地区、不同产业园区的特点，出台具体的实施细则，明确产业园绿色建筑的建设目标、技术要求和扶持政策。例如，对于新能源产业园区，可重点扶持太阳能、风能等可再生能源技术的应用；对于高新技术产业园区，可加强对智能绿色建筑技术的支持。在现有国家标准和行业标准的基础上，结合产业园的实际需求，制定更加具体、细化的专项标准，如产业园绿色建筑设计标准、施工标准、运营维护标准等。专项标准应明确不同类型产业园绿色建筑的评价指标和技术要求，增强标准的针对性和可操作性。例如，在产业园绿色建筑设计标准中，可针对不同功能区域（如办公区、生产区、公共服务区）制定不同的采光、通风、节能标准。最后，加强绿色建筑市场监管，规范市场秩序。建立健全绿色建筑市场监管机制，加强对绿色建筑项目设计、施工、验收和运营全过程的监管，严厉打击虚假宣传、偷工减料等违法行为。

四、结束语

综上所述，绿色建筑理念是现代产业园提升综合竞争力与实现可持续发展的灵魂所在。通过建立多元化的成本与收益保障机制、强化技术体系的研发与整合、构建高效的多主体协同与利益平衡平台、完善专业化的长期运营维护与人才培养体系，并辅以精准化、差异化的政策标准与强有力的市场监管，能够系统性地摆脱当前困境。未来现代产业园的绿色发展必将依赖于技术创新、管理创新与制度创新的深度融合，从而最终实现经济效益、社会效益与环境效益的和谐统一，引领产业园区迈向更绿色、更健康、更智慧的未来。

参考文献

- [1] 桑映辉, 李佳. 现代产业园中绿色建筑的技术应用与探讨 [J]. 中国建筑金属结构, 2022(3): 43-45.
- [2] 林晓明. 现代工业建筑设计新思维探析 [J]. 江西建材, 2023(7): 90-91, 95.
- [3] 刘晓曦, 王毅琳, 彭开宇. 浅析现代产业园建筑地下空间规划与利用 [J]. 山西建筑, 2019, 45(16): 17-18.
- [4] 陈峰. 现代工业园设计绿色生态智能制造 [J]. 建材与装饰, 2016(29): 96-97.
- [5] 宋延琦, 田伟. 产业园规划与建筑设计的对策与趋势探究 [J]. 房地产导刊, 2023(2): 107-109.

建筑电气防雷接地设计要点探究

黄静文

广州市建工设计院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020036

摘 要： 文章旨在系统构建现代建筑，尤其是高层建筑的电气防雷接地设计体系。目的是深入剖析防雷系统的核心构成与设计原则，识别并探讨在侧击雷防护、雷电波侵入、直击雷防护及接地装置设置中的关键技术与难点问题，进而提出一套涵盖接闪、引下、接地等电位联结及屏蔽的综合防护措施。期望能为提升建筑的整体防雷安全性与可靠性提供系统的理论指导和实践框架。

关 键 词： 建筑电气；防雷接地设计；要点

Exploration of Key Points in the Design of Lightning Protection and Grounding for Building Electrical Systems

Huang Jingwen

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

Abstract： This paper aims to systematically establish an electrical lightning protection and grounding design framework for modern buildings, particularly high-rise structures. It seeks to thoroughly analyze the core components and design principles of lightning protection systems, identify and address key technical challenges in side-flash protection, lightning wave intrusion, direct lightning strike protection, and grounding device installation. Consequently, it proposes a comprehensive protection strategy encompassing lightning arresters, down conductors, equipotential bonding, and shielding. It is hoped that this work will provide systematic theoretical guidance and a practical framework for enhancing the overall lightning protection safety and reliability of buildings.

Keywords： building electrical systems; lightning protection grounding design; key points

引言

雷电对现代建筑的威胁日益复杂，不仅包括直接的物理摧毁，更包括通过多种途径侵入的雷电波、感应过电压对内部精密电气电子设备的致命损害。随着建筑形态向高层化、智能化发展，其防雷接地设计已超越简单的避雷针安装，演变为一个涉及建筑结构、电气工程、电磁兼容等多学科的系统工程。因此，对建筑电气防雷接地设计进行系统性的梳理与研究，明确其设计要点、应对技术挑战、集成防护措施，具有极其重要的现实意义和工程价值。

一、建筑电气防雷接地相关概述

（一）雷电防护系统构成

建筑防雷体系由外部防护与内部防护两大模块共同组成。外部防护模块具体涵盖引下导体、拦截接闪装置以及大地接入装置三个核心组件，其设计直面雷击威胁，核心目标在于最大限度降低直击雷对建筑本体造成的物理损伤。内部防护体系则聚焦于建筑内部环境安全，由电势均衡系统、线缆路径规划、电磁屏蔽体系及瞬态过电压保护装置四大要素构成。其中等电位连接保障了建筑内部导电位差均衡，科学布线规避了感应雷入侵路径，屏蔽体系抑制了电磁脉冲干扰，而电涌保护器则有效吸收了线路中的瞬态浪涌。这些子系统协同运作，共同守护建筑电气绝缘安全，

确保内部各类系统在雷暴环境下仍能持续稳定运行。

（二）接闪与引下导体系统

接闪与引下导体系统需与接闪杆协同工作，以此构筑建筑抵御直接雷击的第一道防线。其核心使命在于，当建筑物遭遇雷击的瞬间，能够安全地将巨大的雷电流引导至大地深处。在此关键过程中，该系统实质上是充当了雷电流泄放的主通道，确保能量得以快速消散。针对该系统导体的选型，高导电性仅是基础要求。为确保其在服役期内能持续可靠地工作，材料还必须具备优异的抗腐蚀能力与足够的机械强度，从而应对长期自然环境侵蚀与瞬时电动力冲击，保障防雷效能不随时间衰减^[1]。

（三）等电位均衡联结

等电位均衡联结的核心作用，是借助低阻抗导体构建一个统

一的电气连接网络。该网络将建筑结构内部及周边广泛分布的金属部件，诸如结构主筋、给排水管道、燃气线路、信号线缆屏蔽层以及电力系统的接地干线等进行一体化连接。通过这种广泛的互联，整个建筑物在电气特性上得以整合为一个近似同步的电位体。当强大的雷电流侵入时，此系统能迅速均衡不同金属物体之间可能产生的危险电压，将瞬态电位差抑制在安全范围内。其根本目的在于，最大限度地消除由雷击引发的火花放电、旁侧闪络等二次危害，从而为建筑物内部复杂的电气与电子系统提供基础性的安全防护。

（四）防雷系统协调配合

现代建筑防雷系统强调各子系统之间的协调配合与整体效能。接闪器、引下线、接地装置需要形成连续、通畅的雷电流泄放通道，任何环节的缺失或薄弱都会影响整体防护效果。防雷系统还需与建筑结构、设备布置、管线综合等专业密切配合，在建筑设计初期就统筹考虑防雷需求。例如，建筑结构中的钢筋网可以作为自然引下线使用，但需要确保其电气连通性；设备布置应避免可能遭受直接雷击的区域；管线布置应避免形成感应环路。通过系统化的设计与协调，才能实现经济、有效的防雷保护^[2]。

二、建筑电气防雷接地设计中的问题

（一）侧击雷防护设计策略

在高层建筑的施工过程中，通常采用钢结构或钢筋混凝土结构作为主要承重体系。因此，在进行侧击雷防护设计时，必须充分考虑这两种结构形式的特点及其对雷电效应的影响。建议在设计过程中积极引入相关领域专家的意见，确保对结构因素的评估全面且深入，从而提升整体设计的合理性与安全性。此外，作为引下线使用的钢筋材料，其选型与布置应兼顾科学性与实用性。设计人员需结合建筑结构的实际条件，合理规划引下线的走向与连接方式，确保雷电流能够被安全、高效地导入接地装置，从而有效降低雷击带来的风险。对于建筑外立面可能存在的装饰构件，如金属幕墙、玻璃饰面等，同样需纳入防雷设计的综合考量。这些外部元素可能改变建筑物的电场分布或引雷路径，因此应通过系统的电气分析与接地设计，最大限度地减少其对防雷系统的不利影响，避免因雷击导致的附加经济损失。

（二）雷电波侵入防护设计

低压线路的选型与配置需综合考虑其引入建筑的不同路径及相应的雷电波侵入防护方式。例如，若低压线路采用地下敷设方式进入建筑物，可优先选用电缆直埋入户的方案，并将电缆入户端与建筑防雷系统进行可靠连接，从而构建有效的雷电波泄放通道。建筑内部各类用电设备同样面临雷电波过电压侵袭的风险。为此，宜将重要设备布置于接闪装置所形成的保护空间内，利用其屏蔽作用减弱电磁脉冲的影响，提升设备运行的可靠性。当建筑物内部存在架空敷设或埋地安装的金属管道时，这些长导体可能成为雷电波传导的路径。应在设计阶段充分考虑其与防雷系统的电位连接要求，通过完善的等电位联结措施，防止因雷电感应产生的高电位差对人员与设备造成危害。

（三）直击雷防护系统设计

在防御直接雷击的工程实践中，避雷网与避雷针是应用最为广泛的防护装置。此外，也可根据实际情况选用其他结构相对简单的接闪设施，作为建筑防雷接地系统的组成部分。这些接闪装置若能满足建筑电气防雷接地的技术要求，均可应用于高层建筑的防雷设计中。需要指出的是，部分民用住宅中自行选用的接闪设备，在规格参数或安装方式上可能未能完全符合国家相关规范的标准要求。在民用建筑的防雷接地系统构建过程中，地下引线部分的规划设计尤为关键。通常建议将建筑内部的相关施工设备与接地导体连成环状通路，形成闭合的接地环路结构。这种布置方式有助于实现电位的均衡分布，为雷电流提供低阻抗的泄放路径，从而增强整体防雷效果^[3]。

（四）防雷感应系统设计

为提升建筑整体防雷系统对雷电感应的防护能力，需将建筑物内部各类金属构件及设备装置纳入统一的防雷接地体系。通过可靠的电气连接与接地处理，可显著降低雷电流侵入风险，同时确保防雷装置具备足够的感应灵敏度与响应能力。在工程实施阶段，还需特别关注建筑内部金属管道的防雷感应设计。无论是给排水管道、通风管道还是其他贯穿建筑结构的金属管线，均应采取适当的屏蔽与接地措施。通过建立完整的等电位连接网络，有效抑制因雷电磁脉冲引发的感应过电压，从而保障建筑内部设备与人员安全，实现预期的防雷保护效果。

（五）接地装置设计难点

在建筑电气防雷接地系统中，接地装置的设置面临多重技术挑战。不同地质条件下的土壤电阻率存在显著差异，直接影响接地电阻的达标难度。特别是在城市密集区域，可用接地面积有限，使得传统辐射状接地极的布置受到限制。此外，地下管网错综复杂，接地装置与其他地下设施之间需要保持足够的安全间距，这在空间有限的场地中往往难以实现。接地装置还需要考虑与建筑基础接地体的有效连接，以及在腐蚀性土壤环境中的耐久性问题。这些因素共同构成了接地装置设计过程中的关键技术难点，需要在设计阶段进行充分的勘测与评估。

三、建筑电气防雷接地设计的措施

（一）接闪装置配置要点

接闪装置作为防雷体系中的首要拦截单元，其性能优劣与配置合理性直接影响整体防雷工程的效果。在具体设计中，应结合建筑造型、功能分区及周边环境等特点，充分利用建筑本体中适宜接闪的构造部位，实现接闪装置的优化布置。设计过程中需深入分析建筑的结构形式与空间特征，确保接闪装置与建筑主体之间形成稳固可靠的电气贯通。当遭遇雷击时，这一设计能够促使雷电流通过预设的引下通路快速导向接地装置，完成能量的有效耗散，从而实现防雷系统保障建筑安全的核心目标。通过对接闪装置的科学选型与精准定位，不仅可提升雷电流导泄的可靠性，还能增强建筑整体防雷系统的协调性与稳定性，为建筑物及其内部设备提供更为完善的防护^[4]。

（二）优质防雷导线的选型要求

我国现行防雷技术规范对雷暴条件下建筑物与地面之间的电气安全距离有明确限定。当建筑结构超过这一限定高度时，必须按照标准要求设置完整的电气防雷接地系统。对于多层及高层建筑，需优先构建完整的避雷网格系统，使其能够有效覆盖建筑易受雷击部位。当建筑遭遇直接雷击时，完善的接闪引流系统可将雷电流通过预设路径安全导引至接地装置。高层建筑因其竖向高度与结构特点，在防雷系统设计时应充分利用其空间优势，通过立体化的避雷网络实现更大范围的保护覆盖。在防雷导线的选型方面，必须严格遵循国家规范中对导体截面、材料导电性和耐腐蚀性等参数的要求。优质电缆及配套装置的应用，不仅能确保雷电流泄放通道的可靠性，还能显著提升建筑整体防雷系统的耐久性与稳定性，为防雷接地系统的长期有效运行提供保障。

（三）防雷接地系统的关键考量

在高层建筑的防雷接地系统设计中，雷电流的有效疏散与均衡分布是需要重点解决的技术问题。由于建筑高度带来的雷击风险增加，设计人员需特别关注电流泄放路径的合理性与可靠性。为控制高层建筑可能承受的过大雷电流，并有效降低建筑表面不同位置间的雷电电位差，工程上常采用沿建筑外围设置均压环的方案。这些环状导体与建筑内部结构构件相连，形成贯通整栋建筑的等电位连接网络。此种设计不仅增强了引下线在引导雷电流时的安全性能，还能促进电流的多路径分流。通过构建完善的等电位体系，可实现建筑各部位电势的有效均衡，显著改善雷电流在建筑结构中的分布状态。这种系统化的接地设计既提升了建筑整体的防雷保护效果，也为建筑内部人员与设备提供了更可靠的安全保障，从而增强建筑应对雷击风险的综合能力。

（四）屏蔽防护的系统设计

在高层建筑中，纵向敷设的强弱电线路应规划于具备屏蔽功能的专用竖井内。竖井在各楼层的连接部位需保持可靠的电气连通，并通过工艺控制最大限度降低接触电阻，从而确保屏蔽体系的完整性。从电磁防护角度考虑，竖井宜设置在建筑中心区域。该区域在雷击电磁脉冲作用下场强相对较弱，常见适宜位置包括

电梯井道侧边及疏散通道相邻区域。为提升高层建筑防雷及抗电涌干扰能力，还应对电子设备及其连接线路采取系统的屏蔽保护措施。高层建筑的主要电气干线通常沿竖井垂直敷设，此时应合理规划线路走向，使其尽量邻近作为引下线使用的结构主筋。敷设过程中使用的金属线槽、穿线钢管等屏蔽构件，均需与各楼层的等电位连接端子及接地干线实现有效联通，从而形成完整的立体屏蔽网络^[5]。

（五）综合防雷系统构建

现代建筑防雷应采取综合防护的理念，将接闪、引下、接地、屏蔽等电位连接等措施有机结合，形成多层次防护体系。首先需要建立完善的雷电防护区划分，根据各区划的防护要求采取相应的防护措施。重要电子设备机房应设置在建筑中心区域，并采用屏蔽机房结合电涌保护器的综合防护方案。各类金属管线在进入建筑时需做等电位连接，并通过协调配合的多级电涌保护器抑制雷电过电压。此外，还应建立定期的检测维护制度，通过测量接地电阻、检查连接点状态等措施，确保防雷系统持续有效。通过这种系统化的防护思路，可以显著提升建筑的整体防雷能力。

四、结束语

综上所述，只有通过系统性思维和综合性防护措施，才能有效应对雷电多路径威胁。构建以接闪器、引下线和接地装置为核心的外部拦截系统；完善以等电位联结、屏蔽保护和电涌保护为核心的内部防护体系；采用优质导线确保泄流通道可靠性；设置均压环实现电势均衡；建立立体屏蔽网络抑制电磁干扰。这些措施共同构成了多层次、全方位的综合防护网络。未来可着眼于智能防雷系统开发，实现雷击预警与状态监测的深度融合；研发新型防雷材料以提升系统耐久性；探索特殊建筑结构的防雷新技术；加强防雷系统全生命周期效能评估研究，推动建筑防雷技术向智能化、精准化方向发展。

参考文献

[1] 杨东. 建筑电气防雷接地设计及施工要点 [J]. 城市建筑, 2020, 17(20): 92-93.
[2] 司思. 建筑电气防雷接地系统设计要点及分析 [J]. 中国科技纵横, 2022(23): 87-89.
[3] 吴汉涛. 建筑电气防雷接地设计要点分析 [J]. 城市情报, 2024(18): 224-225.
[4] 廖召勇. 建筑电气防雷接地系统的设计和防雷措施分析 [J]. 砖瓦世界, 2025(2): 133-135.
[5] 张震震. 关于建筑电气防雷接地设计要点解析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(12): 3725.

数字化时代下的建筑设计管理变革与发展趋势

江恩远

广州市小坪房地产开发有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020037

摘 要： 文章从科技驱动、市场需求与行业理念三大维度，分析了 BIM、VR/AR、人工智能等关键技术如何推动设计方法升级；进而从数据获取、方案生成与协同展示等环节，具体说明了设计流程的数字化变革路径；最后提出以矩阵化团队、统一数据平台与角色重构为核心的协同创新模式。研究表明，数字化不仅提升了设计效率与科学性，更通过全流程整合推动了建筑行业向数据驱动、协同创新与可持续发展的方向转型。

关 键 词： 数字化时代；建筑设计；管理

Transformation and Development Trends in Architectural Design Management in the Digital Era

Jiang Enyuan

Guangzhou Xiaoping Real Estate Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper analyzes how key technologies such as BIM, VR/AR, and artificial intelligence drive design methodology upgrades from three dimensions: technology-driven innovation, market demand, and industry philosophy. It then details the digital transformation pathways of design processes through stages including data acquisition, scheme generation, and collaborative presentation. Finally, it proposes a collaborative innovation model centered on matrix teams, unified data platforms, and role restructuring. The study demonstrates that digitalization not only enhances design efficiency and scientific rigor but also drives the architectural industry's transformation toward data-driven, collaborative innovation, and sustainable development through end-to-end integration.

Keywords： digital era; architectural design; management

引言

随着信息技术的深度渗透与行业变革的加速，建筑设计正经历从传统经验型向数字化、智能化方向的根本性转变。这一转型不仅源于 BIM、人工智能、虚拟现实等前沿技术的集群突破，也受到用户需求个性化、市场竞争加剧与绿色可持续发展理念的双重驱动。在此背景下，建筑设计流程在数据采集、方案生成、成果呈现与团队协作等方面均呈现出全新特征。文章旨在系统梳理数字化对建筑设计流程的多重影响，分析其具体表现形式，并进一步探讨适应这一趋势的协同设计组织与实施策略，以期为行业实践提供理论参考与方法支撑。

一、数字化时代对建筑设计流程的影响因素

（一）科技驱动力

在信息化浪潮的推动下，各类前沿技术正持续赋能建筑行业的设计方法。建筑信息模型（BIM）作为一项关键创新，实现了建筑、结构和机电等多个专业数据的系统整合。借助统一的三维数字平台，项目各方能够高效交换信息，从而增强团队协作质量。不同领域的工程师可在同一模型基础上展开实时沟通与交叉验证，大幅提高了项目整体执行效率。虚拟现实（VR）与增强现实（AR）的引入，彻底改变了建筑成果的视觉表达与感知方式。利用 VR 设备，用户能够沉浸于虚拟建筑空间中，获得直观的空间体验；而 AR 技术则将数字模型叠加至真实环境中，使设计意图更

为具象和可感知。这一转变不仅加强了客户的参与感，也使设计方能够根据实时反馈迅速做出方案修正，提升响应速度。人工智能（AI）与机器学习等智能分析工具，正在重塑建筑设计的生成与评估机制。它们依托大数据分析，自动生成满足功能、审美与环境要求的多样化设计概念。

（二）市场环境 with 用户需求演变

在当前的数字化浪潮中，建筑使用者的期待正变得更加多样和独特。他们不再仅仅满足于空间的基本实用性，而是愈发重视建筑所呈现的美学风格、空间体验以及其中蕴含的文化价值。这种转变推动着设计工作从过去的通用模式，逐步走向针对不同用户的个性化定制。建筑师需要提前介入，与客户进行深入沟通，精准把握其具体诉求，从而打造出真正契合使用者个性与功能需

要的建筑方案。设计流程必须进行效率升级，通过优化工作顺序、整合相关环节、应用数字化工具等方式，压缩不产生价值的等待与重复时间，实现整体流程的提速与精简，从而在保证质量的同时，更快响应市场变化^[1]。

（三）行业发展与理念革新

在全球范围内，对环境保护与生态文明的追求已形成广泛共识，并深刻影响着建筑领域的价值取向。为响应这一理念，现代设计程序必须系统地融入环境友好型策略，例如在材料选择上优先考虑可再生或低碳排放的建材，并通过科学规划空间形态与朝向，最大化地利用自然采光与通风，从而切实降低建筑的能源消耗需求。它要求将建筑视为一个从最初的策划、中期的设计施工直至后期长期运营与维护的完整、连续的动态过程。这种贯穿始终的视角，必然要求建筑设计流程打破传统的阶段壁垒，主动与施工、运维等下游环节建立更早、更深入的协同。关键在于确保所有关键信息，特别是设计意图与可持续性参数，能够在全过程中准确、流畅地传递与共享，以此保障建筑项目不仅在建设期内高效推进，更能在其整个使用年限内实现资源节约与环境友好的长效运营目标。

二、数字化时代建筑设计流程的具体变革表现

（一）数据获取与解析模式的演进

当前，数字化手段正深度重塑建筑设计中信息收集与处理的传统模式。在数据采集前端，无人机高空摄影结合三维激光扫描技术，已逐步替代了效率有限且易出错的人工实地勘测，能够迅速生成高精度的场地三维点云模型。与此同时，部署在环境中的各类物联网传感装置，可持续捕捉包括温湿度、光照及噪声在内的多种动态参数，为设计策略的制定提供了实时、连续的数据流。在数据分析层面，地理信息系统（GIS）的强大功能在于它能够将地形、地貌及周边环境等多元信息进行分层整合与叠加，从而构建出全面的立体化场地分析图景。此外，大数据分析技术的引入，使得设计师能够从海量的既往项目信息中识别出隐藏的价值模式和趋势，将这些深度挖掘的规律作为支撑未来设计决策的重要参考。这一系列技术的综合应用，共同推动了设计前期工作范式的根本性转变——从以往较多依赖个人经验和主观判断，转向了以量化信息和客观分析为核心的数据驱动模式。这一转变显著增强了设计基础的科学性与可靠性，为后续创作奠定了坚实基础^[2]。

（二）设计生成与方案深化的智能路径

在当代建筑实践中，方案的形成与精进已构建起一套成熟的数字化工具体系。参数化设计方法允许设计师借助可视化编程界面，将形态的生成逻辑与各种限制条件关联起来，形成一个动态的关系模型，从而精准地实现从基础规则到复杂建筑形体的演绎与操控。性能化设计范式则更进一步，它将建筑物理环境模拟软件（如能耗、光照、通风分析）深度嵌入到设计推演过程中。这使得建筑师在概念形成阶段，就能同步对方案的能效表现、结构可行性及人体舒适度等进行量化评估与优化。生成式设计技术引

入了新的可能性，它运用多目标优化算法，在设计师设定的各项边界条件内，自动计算并呈现大量高性能的备选方案，极大地拓展了创作的探索边界。同时，机器学习技术通过消化和理解海量的建成案例数据，能够帮助设计师预见方案中可能存在的缺陷，并主动提供数据支持的优化建议。此外，实时合规审查工具将繁复的建筑规范条文转换为可被计算机直接执行的逻辑规则，在设计过程中无缝地进行自动校验，确保方案的合法性。上述技术共同塑造了一个智能化的协同工作环境，驱动建筑创作从过去依赖个人经验的模式，转向由数据与算法支撑的、循环反馈的迭代过程，从而显著提升了设计成果的创新水准与技术完成度^[3]。

（三）设计呈现与多方协同的交互革新

当前，数字技术正深刻改变着建筑设计的成果展示与专业协作方式。借助虚拟现实（VR）设备，客户与合作方能够进入一个与未来建筑等比例的仿真环境，在其中自主漫游，从而获得对空间体量、光影效果及材料质感的超前感知与真实体验。混合现实（MR）技术将数字化设计方案无缝叠加至真实的物理场地中，使虚拟建筑能与现实环境进行即时、直观的对比与整合，有效辅助场地决策。与此同时，支持多用户在线操作的交互式三维平台应运而生，不同参与者可在共享的虚拟场景中直接进行标记、讨论乃至动态调整设计元素，实现了跨地域的实时协同。

在协作管理层面，基于云端的项目协同系统记录了从概念到深化的完整修改历程，任何设计变更及其责任人都有迹可循，确保了流程的透明与可追溯。此外，轻量化的模型浏览技术打破了专业软件的限制，使得设计评审得以在移动端便捷进行，极大提升了参与灵活性与评审效率。

作为数字化集成的进阶形态，数字孪生技术构建起与实体建筑完全对应的动态信息模型，为规划、施工乃至后期运营提供全过程的可视化数据支持。这一系列技术突破，共同推动了设计沟通从依赖抽象二维图纸的符号解读，转向基于沉浸式、可交互空间体验的直观对话，从而在整体上提升了多方协作的精准度与项目推进效率。

三、建筑设计协同创新模式的构建策略

（一）面向协同创新的团队组织模式

在数字化驱动的设计环境中，必须突破各专业领域间的传统界限，构建起灵活高效的矩阵型项目管理结构。这一体系的核心通常由建筑、结构与机电等关键专业的负责人共同构成，他们组成核心团队，对项目的整体方案构思与技术路线进行统筹决策。为满足项目的特定需求，这一架构还设有一个动态的外围专家支持网络，其中汇聚了声学、照明、智能化等领域的专家顾问。这些专家并非全程参与，而是在方案深化、技术攻坚等关键节点介入，提供精准的专业技术支持。项目经理在这一架构中扮演着核心枢纽的角色，其职责是全面统筹人力、技术与管理资源，确保数据与指令在跨专业团队间实现无缝流转与精准同步。同时，制度化的跨专业协调会议成为必不可少的机制，其目的在于及时识别并解决不同专业设计之间的交叉与冲突问题，从而有效预防

“信息孤岛”的形成。这种兼具稳定性与弹性的组织形态，其优势在于：它既保障了各专业领域内技术方案的深度与专业性，又通过高效的协同机制，确保了不同系统间的有机整合，从而能够更好地响应复杂建筑项目全周期中不断变化的动态需求^[4]。

（二）协同工作平台的数据融合与交互机制

在数字化协同设计领域，构建统一高效的信息共享环境已成为提升项目质量的关键。基于云技术的协同平台采用分布式数据架构，支持多终端实时同步，确保全球分布的团队成员能够随时获取最新的项目文件与设计状态。通过采用 IFC、BIM 等国际通用数据标准，平台有效打通了建筑、结构、机电等不同专业软件之间的格式壁垒，实现了多专业三维模型的深度集成与数据互用。版本管理模块不仅完整追踪设计文件的历次修改记录，更能通过智能比对，自动检测不同专业模型之间的空间冲突与逻辑矛盾，及时发出协同调整提示。借助先进的轻量化处理技术，平台可将复杂的全专业 BIM 模型转换为可在浏览器中直接浏览的轻量化格式，极大降低了技术门槛，使业主、施工方等非专业参与者也能直观理解设计内容与空间关系。

此外，平台引入知识图谱技术，对过往项目中的经验与解决方案进行结构化整理，构建起设计问题与对应措施的智能关联网络，为团队决策提供数据支持。精细设计的权限管理体系，实现了从模型构件到文档注释的多级访问控制，在保障核心知识产权的同时促进必要的协作共享。平台还集成了即时通讯与批注工具，支持设计问题的快速定位与在线协同处理，形成了“设计－反馈－优化”的闭环工作流程，显著提升了跨专业协作的效率与设计成果的整体质量^[5]。

（三）数字化协同中的角色重构与责任分配

在数字化协同设计模式下，各参与方的职能定位与协作机制正经历系统性重塑。作为项目创作的核心，建筑师需承担信息枢纽的重要职责，不仅要统合建筑、结构、机电等多专业模型数

据，更需确保整体设计理念与空间意图在不同专业间得到准确贯彻与呈现。项目中开始出现专门的 BIM 协调岗位，其核心任务包括制定统一的建模准则与工作规范，监督各专业模型的合规性与数据完整性，并主导定期的模型整合检测与跨专业协调会议，及时发现并解决潜在冲突。各专业负责人也被赋予新的使命，除完成本专业的技术设计与质量控制外，还须具备全局视野，主动识别本专业系统与其他专业之间的技术接口与配合问题，在深化阶段提前消除设计矛盾。

业主方在此模式下需配置具备数字化管理能力的代表，全程参与关键节点的模型评审与确认工作，从使用功能、运营效率等维度确保设计成果与需求匹配。为确保模型质量与项目进程同步，独立的 BIM 审计角色应运而生，其通过周期性检查，评估模型细度是否达到各阶段交付要求，保障数字化成果的有效传递。施工顾问团队需在设计早期即介入项目，基于丰富的工程经验，从施工工艺、工序安排等角度对设计方案提出优化建议，提升项目可施工作业。同时，物业运维团队也需提前参与最终模型交付验收，确保 BIM 模型中集成的设备参数、维护信息等资产数据满足建筑全生命周期管理的需要。

四、结束语

数字化技术已全面融入建筑设计的各个环节，深刻改变了传统的工作逻辑与组织方式。在影响因素层面，科技发展为设计提供了新工具与新方法，市场与环境需求推动了设计目标与价值的重新定位。在流程变革层面，数据驱动的分析方式、智能生成的创作路径与沉浸交互的沟通机制，共同构建起高效、精准与透明的设计新范式。在协同模式层面，跨专业矩阵团队、统一数据平台与重新定义的职责分工，形成了支持复杂项目全程协同的创新架构。

参考文献

- [1] 谢美军. 数字化时代建筑设计管理发展研究 [J]. 建材与装饰, 2024, 20(30): 61-63.
- [2] 何立群. 数字化时代建筑设计管理发展探究 [J]. 建材与装饰, 2019(33): 69-70.
- [3] 李孟磊. 数字化时代下建筑设计管理模式创新研究 [J]. 魅力中国, 2025(6): 194-196.
- [4] 郭丽红, 山英涛. 数字化时代下建筑施工信息管理系统的设计与应用 [J]. 传奇故事, 2023(43): 90-92.
- [5] 党宏伟. 数字化时代背景下的建筑设计 [J]. 建筑与装饰, 2021(24): 30-32.

分析大型购物中心建筑方案设计阶段的消防设计策略

李步将

广东粤建设计研究院有限公司粤西分公司, 广东 湛江 524000

DOI:10.61369/ADA.2025020038

摘 要 : 文章旨在系统分析大型购物中心的火灾危险性特征、建筑防火设计难点及应对策略,明确防火设计中的关键问题与解决路径。研究重点包括:火灾诱因的多样性、火势蔓延机制、人员疏散困境及灭火救援挑战;防火防烟分区划分、安全疏散体系、消防救援设施及预警系统的设计要点;并从水平与垂直防火分区、特殊场所分隔、疏散路径优化及设施联动控制等方面提出具体设计方法,以为大型商业综合体的消防安全设计提供理论依据与技术参考。

关 键 词 : 大型购物中心; 建筑方案设计; 消防设计策略

Analyze Fire Protection Design Strategies in the Architectural Scheme Design Phase of Large Shopping Malls

Li Bujiang

Guangdong Yuejian Design & Research Institute Co., Ltd. Western Guangdong Branch, Zhanjiang, Guangdong 524000

Abstract : This paper aims to systematically analyze the fire hazard characteristics, architectural fire protection design challenges, and countermeasures for large shopping malls, identifying key issues and solutions in fire protection design. Key research focuses include: the diversity of fire initiation factors, fire spread mechanisms, challenges in occupant evacuation, and firefighting/rescue difficulties; design essentials for fire and smoke compartmentation, safe evacuation systems, firefighting/rescue facilities, and early warning systems; and specific design methodologies proposed for horizontal and vertical fire compartmentation, special area separation, evacuation path optimization, and facility interlocking control. This study aims to provide theoretical foundations and technical references for fire safety design in large commercial complexes.

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

引言

大型购物中心作为人员密集、功能复杂的公共建筑,其消防安全已成为社会关注的焦点。随着商业业态不断丰富与建筑空间持续扩大,传统防火设计方法面临严峻挑战。火灾诱因的多元化、烟气蔓延的不可控性以及疏散救援的复杂性,共同构成了现代购物中心特有的火灾风险图谱。在此背景下,深入剖析其火灾危险性特征,精准识别防火设计难点,并构建科学有效的应对策略体系,对保障公众生命安全、维护社会公共安全具有重大意义。

一、大型购物中心的火灾危险性特点

(一) 火灾诱因复杂多样

现代购物中心内商品种类繁多,其中不乏各类易燃物品,例如服装纺织品、家用电器、纸质书籍、音像制品及食品包装等。这些商业空间在装修布置时普遍采用大量可燃性材料,包括装饰构件、LED显示屏以及燃气输送管道等设施。由于商业综合体建筑面积庞大且易燃物集中存放,致使火灾荷载显著增加,特别是在餐饮区域表现得尤为突出。该区域不仅频繁使用明火作业,还密集布置电力设备,诸如火锅料理和烧烤烹饪等操作环节都潜藏着火灾隐患。值得关注的是,当今大型商业综合体普遍采用多元

化经营模式,融合影院、电子娱乐城、特色餐饮等不同业态。更有一部分城市综合体还将酒店服务、公寓住宅和办公空间纳入同一建筑体系。随着人们对商业空间功能和室内环境品质要求的不断提升,电气线路系统日趋复杂。在实际运营中,由于施工安装不规范、定期检修维护不及时等原因,导致线路老化问题突出,最终引发电气火灾事故^[1]。

(二) 火势发展与蔓延极为迅速

购物中心内部存放有大量可燃物料,加之其内部空间通常十分开阔,能为燃烧提供充足的氧气条件。一旦发生火情,火焰极易迅速增强并扩大规模,其蔓延途径也呈现多样化特征。例如,贯通各楼层的挑高中庭、自动扶梯的井道、疏散楼梯间以及各类

设备管道井，都会形成天然的“烟囱效应”，成为火势与高温烟气快速扩散的主要通道。此外，现代购物中心广泛采用的外悬挂幕墙系统，若其与建筑主体结构之间的防火封堵措施不到位，会存在明显的竖向缝隙。当火灾突破窗口时，这些缝隙便会成为火苗向上层蹿升的快捷路径，导致立体燃烧，急剧加速整体火势的蔓延。因此，必须在幕墙与结构层之间设置完整且有效的防火隔断，以阻断这一危险路径。

（三）有毒烟气构成致命威胁

购物中心内部，尤其是其中庭区域，通常设计有巨大的共享空间。火灾发生时，燃烧生成的高温烟气首先会迅速向上部空间升腾聚集。然而，在上升扩散过程中，热烟气会与周围的冷空气不断混合，导致其自身温度逐渐下降、浮力减弱，最终形成沉降效应。与此同时，烟气在水平方向的蔓延也会随着与火源距离的增大而温度降低，致使部分有毒颗粒物和气体在远离起火点的区域沉积下来。因此，在火灾中必须采取有效措施，确保烟气能够被快速、高效地排出。一个关键的安全指标是防止烟气层高度下降至距离地面2米以下。若烟气层沉降到这一高度，将直接阻碍疏散人员的视线与呼吸，在极短时间内对被困者构成致命的生命威胁。

（四）火灾扑救面临多重挑战

购物中心的建筑外立面常被大量广告牌、装饰物所覆盖，这些设施极易遮挡外墙上的通风采光窗口。若火灾发生在建筑内部，消防人员从外部进行射水灭火时，水流难以通过被遮挡的窗口有效作用于火点，致使灭火效率大打折扣。加之此类商业建筑体量庞大、功能分区复杂，火灾发生时常常难以在第一时间准确定位起火的具体位置。尤其值得注意的是，部分特殊区域的隐蔽火源更难被及时发现，例如安装在吊顶上方或夹层内的电气线路若发生故障，初期阴燃现象往往被完全遮蔽，待明火突破结构层面被发现时，火势通常已发展到难以控制的阶段。地下空间面临的扑救挑战更为严峻，由于其环境封闭、能见度低且通风不畅，火灾发生后不仅起火点难以判断，救援人员深入内部也面临巨大风险，这些因素共同导致初期火灾扑救的有效性被严重削弱^[2]。

二、大型购物中心建筑防火设计难点分析

（一）防火防烟分区划分的技术难点

在大型购物中心的建筑防火设计阶段，如何在其广阔的空间内科学划定防火分区，始终是一项关键挑战。当前工程实践中，普遍采用防火卷帘作为分区隔离手段，这种方式虽具备灵活性，但其在实际火灾中能否完全发挥预期功能存在不确定性，同时这类设施对人员疏散路径可能产生的阻碍效应也需重点评估。此外，现代购物中心内中庭结构日趋复杂，由此形成的不规则平面轮廓，进一步加大了防火卷帘系统设计与安装的复杂性。防烟分区划分同样面临严峻考验。由于购物中心多为封闭式建筑，难以依赖自然通风进行排烟，这使得机械防烟系统的设计变得尤为关键。商场内部多样的商业形态及不规则的防火分区布局，直接增大了防烟分区合理设置的难度；其次，在具体设施层面，防烟分

区通常依赖结构梁或固定式挡烟垂壁进行划分，然而商场后续装修与空间改造中，常出现随意拆改、遮蔽甚至拆除这些设施的情况，导致原有防烟体系被破坏，如何确保其长期完整有效成为重大管理难题。

（二）安全疏散设计面临的双重挑战

在大型购物中心的消防安全体系中，人员安全疏散设计始终占据核心地位。其中，疏散距离的控制是首要考量：根据商业场所设计规范，营业区域内任意位置到最近安全出口的直线距离通常不应超过30米；若建筑内配备自动灭火系统，此段距离允许放宽至37.5米。由于商业综合体空间尺度巨大，这一距离限制直接决定了安全出口的分布密度与空间布局。与此同时，疏散宽度的计算同样构成设计难点。设计人员不仅需要确保各楼层整体满足基于总面积计算的宽度要求，还必须保证每个独立防火分区均达到相应标准。此外，建筑物自身属性如建筑高度、所在楼层位置及商业场所具体功能分类等，都会成为影响疏散宽度计算的关键参数。这些错综复杂的技术要求，使得安全疏散设计成为一个需要统筹全局又需精准把控细节的系统工程，显著增加了设计工作的复杂性与实施难度^[3]。

（三）高层人员密集场所的疏散困境

现代大型购物中心在业态布局上，通常将吸引大量人流的商业项目设置在建筑上层区域，例如将影院、电玩城及KTV等娱乐场所集中安排在三层及以上楼层。这类场所本身具有客流量大、环境嘈杂的特点，日常运营中人员流动已呈现无序状态。当火灾等紧急情况发生时，恐慌情绪会迅速蔓延，使得原本就复杂的现场状况进一步恶化。更突出的是，由于这些场所位于建筑高处，其疏散路径难以实现完全独立，必须依赖商场主体疏散系统，这种依赖性大大增加了安全疏散体系的设计难度，同时也对日常消防安全监管工作提出了更高要求。

三、大型购物中心建筑防火设计应对策略分析

（一）防火分区设计

1. 水平防火分区划分设计

每个防火分区的最大允许建筑面积根据建筑耐火等级、是否设置自动灭火系统等因素确定，通常设置自动灭火系统后地上部分不大于5000平方米，地下部分不大于2000平方米。防火分区边界应优先利用防火墙设置于商铺后场通道、主力店独立边界、疏散楼梯间及前室等位置；当因商业动线需要无法设置墙体时，可采用防火卷帘、防火玻璃墙等替代措施，其中防火卷帘的宽度需满足规范要求，且应与火灾自动报警系统联动控制。

2. 垂直防火分区与中庭设计

中庭区域必须作为一个独立的防火分区与其周围连通的商业空间进行防火分隔，分隔构件可选用耐火极限不低于3.00小时的防火卷帘、防火玻璃墙或防火墙，并应在各层回廊出入口设置甲级防火门。当中庭空间高度超过规范要求时，需设置有效的排烟设施，其排烟量应根据中庭体积换气次数或热释放速率计算确定；同时应防止中庭区域作为上下楼层的疏散通道，确保人员疏

散路径的独立性与安全性。

3. 特殊场所防火分隔设计

对于购物中心内的电影院、KTV、儿童活动场所、大型超市及餐饮区域等火灾危险性较大或人员密集的场所，应采用耐火极限不低于2.00小时的防火隔墙和甲级防火门将其划分为独立的防火分区或防火单元。餐饮区域的厨房区域必须采用耐火极限不低于2.00小时的防火隔墙和乙级防火门与其他部位完全分隔，其排油烟罩及烹饪部位应设置自动灭火装置。仓库、设备用房等也应采用防火墙和甲级防火门与其他区域进行严格分隔^[4]。

4. 防火分隔构件与措施选择

防火墙是首选的防火分隔物，其上不得随意开设门窗洞口，如需开设必须采用甲级防火门、窗。防火卷帘应选用符合认证的钢质防火卷帘或特级防火卷帘，其控制须具备自动、手动和机械控制功能。防火玻璃墙系统在追求视觉通透性的区域优先选用C类非隔热型防火玻璃，并配套以钢制或特制木质框架。所有穿越防火墙、楼板的管道、桥架等空隙必须采用防火封堵材料进行严密封堵，以保证分隔构件的整体耐火完整性。

（二）疏散体系设计的技术要求

为确保紧急情况下人员能够安全、迅速地撤离，建筑疏散体系的设计必须满足多项具体技术要求。疏散路径的规划应确保其清晰明确、畅通无阻，并且易于识别。在量化指标上，疏散通道的总宽度需依据商业区域预估的最大人员荷载进行精确计算，且必须符合国家建筑防火规范的强制性标准。同时，在每个独立的防火分区单元内，至少应设置两个方向互不干扰的安全出口，以提供冗余的逃生保障。对于商业空间内部的疏散距离，也有着严格的控制要求：从商铺内部任一位置到最近安全出口的实际行走距离，不得超过规范所规定的极限值。此外，所有疏散楼梯的设计必须确保其能直接通往建筑外部安全区域，或通过具备防烟功能的扩大前室、专用避难走道等缓冲空间进行有效衔接。在整个疏散路线上，还需配备充足的应急照明系统和醒目连续的导向标识，为人员在能见度可能受限的环境下提供持续的视觉引导。

（三）消防救援系统的关键配置

完善的消防救援设施是有效控制火情和实施紧急救助的重要基础。在建筑规划阶段，需在建筑物外围设置无间断的环形消防

通道，该通道的净宽度、净空高度及转弯半径等参数，必须严格符合重型消防车辆通行与作业的荷载标准。同时，建筑主体应预留不少于两处可供消防人员快速进入建筑内部的专用电梯入口。此类消防电梯须具备通达所有使用楼层的运行能力，其配套前室的空间尺寸与建筑构造也须遵循专业技术规范。此外，为便于消防人员从外部识别火情并采取行动，应在建筑外墙立面或屋顶区域规范设置明显易辨的救援窗口。在消防通道邻近位置，还需同步配备消防水泵接合装置与室外消火栓系统，确保外部供水能够与建筑内部消防管网实现快速有效对接^[5]。

（四）防排烟与火灾预警系统的技术要点

在建筑消防系统中，科学有效的防排烟设计对保障人员生命安全具有决定性作用。根据规范要求，需合理设置防烟分区，针对无法采用自然排烟方式的封闭楼梯间及其前室，必须安装机械加压送风装置，以维持这些关键疏散区域的空气正压状态。对于购物中心内部的大型商业区域及贯通多层的中庭空间，则需要配置独立的机械排烟设施，确保火灾时能及时将高温有毒烟气排出室外。设计时应结合不同功能区域的环境特点，科学选用感烟、感温或火焰探测等不同类型的探测器。该报警系统还需与建筑内的其他消防设施建立完整的联动机制，能够自动激活排烟天窗、控制防火卷帘降落、启动应急照明系统等，形成统一的火灾应急响应体系。

四、结束语

文章通过系统梳理大型购物中心的火灾危险性特点与防火设计难点，提出了以防火分区精细化设计为核心、以安全疏散体系为支撑、以消防救援设施为基础、以防排烟与预警系统为保障的综合应对策略。这些策略共同构建了多层次、立体化的防火安全体系。未来研究应进一步关注新型商业业态的火灾风险演化规律，探索智能化防火监控技术与自适应疏散引导系统的集成应用，以持续提升大型商业综合体的火灾防控能力。

参考文献

- [1] 吕艺峰. 大型购物中心防火设计研究 [J]. 今日消防, 2023, 8(7): 73-75.
- [2] 田黎明. 大型商业建筑的防火设计分析 [J]. 中国房地产业, 2021(25): 65.
- [3] 邢志浩. 基于性能化防火设计的大型商综防火设计探究 [J]. 山西建筑, 2023, 49(14): 187-190.
- [4] 苏恩忠. 公共建筑防火设计与安全研究 [J]. 消防界, 2024, 10(22): 72-74.
- [5] 林丽暖. 大型商业综合体消防设计 [J]. 江西建材, 2025(5): 179-180, 184.

高层建筑给排水设计研究

刘碧清

湖南省建筑设计院集团股份有限公司珠海分公司，广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ADA.2025020039

摘 要： 高层建筑给排水系统是保障建筑功能与居住品质的核心环节。文章系统分析了管道渗漏、堵塞、异味及水压不稳等常见问题的成因，从设计优化、施工管控与运维管理三个维度提出了针对性解决方案，并深入探讨了高位水箱、气压罐及变频调速三种给水系统的技术特性与适用条件，同时对排水系统的分流设计、管道布置与通气管系配置等关键技术要点进行了全面阐述，为高层建筑给排水系统的科学设计与可靠运行提供了系统性的理论依据与实践指导。

关 键 词： 高层建筑；给排水；设计

Research on Water Supply and Drainage Design for High-Rise Buildings

Liu Bqing

Hunan Provincial Architectural Design Institute Group Co., Ltd. Zhuhai Branch, Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract： The water supply and drainage system in high-rise buildings is a core component ensuring building functionality and living quality. This paper systematically analyzes the causes of common issues such as pipe leakage, blockages, odors, and unstable water pressure. It proposes targeted solutions from three dimensions: design optimization, construction control, and operation and maintenance management. Furthermore, it thoroughly examines the technical characteristics and applicable conditions of three water supply systems: elevated water tanks, air pressure tanks, and variable frequency drive (VFD) water supply systems. It comprehensively addresses critical aspects of drainage system design, including separate drainage systems, pipe layout, and venting system configuration. This study provides systematic theoretical foundations and practical guidance for the scientific design and reliable operation of high-rise building water supply and drainage systems.

Keywords： high-rise buildings; water supply and drainage; design

引言

随着城市化进程加速，高层建筑规模持续扩大，其给排水系统的复杂性与重要性日益凸显。作为建筑内部的关键功能系统，给排水系统不仅直接关系到用户的日常使用体验，更影响着建筑的整体安全与可持续运营。当前，在高层建筑给排水系统设计、施工与运维过程中，仍面临着管道渗漏、排水堵塞、气压失衡、水力失调等多重技术挑战。这些问题的有效解决，需要从系统设计源头进行科学规划，在施工阶段实施精细化管控，并在运维期间建立全过程管理机制。

一、高层建筑给排水常见问题

（一）管道渗漏问题的成因分析

在当代高层建筑的建造与日常运维过程中，给排水管道的渗漏是一种较为常见的工程隐患。此类渗漏一旦出现，往往会对建筑安全构成显著威胁。从施工工艺角度来看，若作业人员能够严格遵循相关操作规程，多数渗漏隐患是能够有效避免的。反之，如果施工过程中存在操作不规范、工艺粗糙等问题，就容易导致管道接口封闭不严、螺栓紧固不到位等缺陷，从而显著增加泄漏发生的概率。在材料选用方面，部分施工单位出于成本控制考虑，选用了质量不达标的管材或配件。这类材料本身性能较差，

不仅耐高温能力不足，抗低温性能也较弱，严重影响管道系统的整体质量。

（二）管道堵塞隐患及其影响

在高层建筑的施工过程中，排水系统堵塞是较为常见的工程问题。特别是在建造阶段，若施工人员未对卫生间的下水管道采取有效防护，水泥砂浆等建筑垃圾极易进入管道内部造成堵塞。管道一旦堵塞，受阻段内部压力会显著升高。这不仅可能损坏管道，还可能因排水不畅导致地漏返水等问题。对现场作业环境造成负面影响。建筑垃圾进入排水系统不仅会拖慢施工进度，还会增加后期维修成本。更需要关注的是，当排气阀门未能有效阻挡砂浆、碎料等杂物的侵入，且在项目收尾阶段未对这些堵塞点进

行彻底清理和修复，将会影响整个楼层的排水功能正常运行，严重时甚至波及整栋建筑的给排水系统效能^[1]。

（三）排水系统异味成因分析

高层建筑投入使用后，排水管道时常出现异味扩散现象，这一问题的根源主要在于管内有毒有害气体发生反流。通常情况下，此类气体逆流可归因于多个技术环节的缺陷：例如水封弯管结构设计不合理、水封内部有效液面高度不足，或针对高层特性设计的排气系统存在配置缺陷。在常规设计中，高层建筑的排水管网与排气系统相互连通，排水过程中产生的气体应被顺利导至建筑外部。但若在方案设计阶段存在考虑不周或技术疏漏，就容易导致排气效率不足、气压平衡被破坏。此时，气体无法正常排出，反而逆流至室内空间，最终在卫生间、厨房等用水频繁区域形成明显的臭味积聚，严重影响使用环境的舒适性与健康安全。

（四）供水压力稳定性分析与优化

在当代建筑行业快速发展的背景下，社会对高层建筑功能性及可靠性的要求持续提高，以满足日益复杂的使用需求。为避免高层用户在日常生活中遭遇水流量不稳定或供水压力不足等问题，在工程设计与施工阶段需采取系统性对策：包括选用管径合理、承压能力强的输水管道，增强泵站及竖向供水系统的加压能力，同时保证管道连接处密封严密，最大限度减少压力输送过程中的损耗。通过对已投入使用的高层建筑供水管网进行观测分析可发现，在集中用水时段或用水负荷显著增大时，容易出现整体水压下降或末端流量不足的现象，直接影响到用户的日常用水体验。若供水系统在设计阶段未进行科学的分区压力计算与平衡调节，将导致不同楼层间出现明显的水力失调，进而降低建筑使用品质^[2]。

二、高层建筑给排水常见问题解决措施

（一）高层建筑给排水系统设计的科学优化路径

在开展高层建筑给排水系统设计工作时，必须紧密结合项目实际条件与使用需求，并由具备丰富实践经验的专项技术团队负责整体规划与细节把控。若设计方案与现行国家标准或行业规范存在不一致之处，应及时组织专家评审会进行论证，获取相应的技术认可与合规性证明。在供水子系统设计阶段，应充分利用现代模拟分析技术，对系统在不同用水负荷、水质条件及压力波动下的运行状态进行多场景仿真测试，尤其需要验证其在消防用水等极端工况下的响应能力与持续供水可靠性。此外，还应重视设计与运维的衔接，通过开展系统性的岗位培训与安全警示教育，提升相关人员对给排水系统潜在风险的识别与防控能力，使其掌握必要的专业技能，从而在设计源头及后续使用中有效规避可能的故障与安全事故。

（二）加强施工过程管控与材料选用管理

在高层建筑给排水系统实施阶段，应制定科学完善的施工组织方案，并对参与作业的人员开展系统培训与技能考核，通过标准化的工程管理流程全面提升施工质量。例如，可组建专门的现场监理团队，实施常态化巡查、及时协调解决施工问题、严格执行

行质量验收与整改闭环管理等手段，确保施工全流程规范可控、精度达标。此外，合理选用管材、管件及配套部件同样是高层给排水施工中不可忽视的关键环节。在实际建设中，部分项目为控制成本而选用低价劣质材料的现象时有发生，这将显著增加系统后期运行的故障概率与维护负担。因此，在材料采购与进场环节，必须严格遵循设计文件中的技术参数要求，优先选用性能可靠、耐久性好的优质产品，建立健全材料溯源与质量审查机制，最大限度避免因使用不合格建材引发的工程质量隐患与长期运营风险^[3]。

（三）构建精细化运维管理体系

为确保高层建筑给排水系统持续稳定运行，应制定系统化、周期性的维护方案，内容需覆盖管道清洗、设备检测、故障修复等全流程作业。在此基础上，为提升维护工作的规范性与执行效果，还应编制详细的维护作业指导手册，并加强对技术人员专业能力的持续培训，通过标准化操作与技能提升相结合的方式，优化维护工作的整体质量与响应效率。实施过程中，需建立常态化设备运行状态监测机制。高层建筑给排水系统所涉及的水泵机组、输配水管道、储水装置、控制阀门及计量仪表等设备，普遍存在服役周期短、损耗快的特点，必须安排定期检查、保养与更新计划。建议采用行业认可的专用检测仪器与智能诊断工具，对关键设备开展精准化巡检，实现隐患早期识别与快速处置，保障系统始终处于可靠运行状态。此外，应重视建筑排水体系中污水处理环节的效能提升。高层住宅的排水系统通常包括污水收集、多级净化与达标排放等流程，其中净化处理环节的技术水平与运行状态，直接影响周边环境质量与用户健康安全。为此，需加强对净化装置的日常保养与周期性清洗，及时更换性能衰退或技术落后的设备单元，并通过引入自动化控制与过程监控手段，持续提升污水处理系统的调控精度与运行稳定性。

三、高层建筑给水系统设计

（一）高位水箱供水系统配置方案

在高层建筑供水体系中，高位水箱系统主要由加压水泵与顶部储水箱两大部分构成。该系统中，位于建筑上部的水箱主要承担着本区域供水压力稳定与流量调节的双重功能，其内部储水通常由安装在底层或地下泵房内的离心式水泵负责输送提升。根据不同建筑结构特点与供水需求，目前常见的系统配置可分为四种典型模式：一是采用多套独立水泵与水箱并行运行的并列供水方式；二是通过多级水泵与水箱逐级提升的串联供水方式；三是利用设于中间楼层的水箱进行压力分级的减压水箱供水方式；四是借助阀门装置实现压力控制的减压阀供水方式。各类配置方案在能耗特性、适用高度及系统复杂度等方面均存在显著差异，需结合具体项目条件进行针对性选择与优化设计。

（二）气压罐供水系统技术分析

气压罐供水系统的核心设备由离心水泵与密闭压力容器共同构成。该系统通过罐内压缩空气维持供水管网所需压力，当系统检测到压力降至预设最低值时，水泵将自动启动并向罐内补水，

直至压力恢复至设定上限后停止运行。该供水形式特别适用于无法安装高位水箱的建筑项目，以及对抗震设计有特殊要求的地区。其在工程应用中展现出多项优势：包括建设成本相对较低、便于实现集中监控与自动化运行、能够有效保持水质卫生等。然而，该系统也存在若干技术局限性，主要表现为输出压力存在周期性波动、调蓄容量有限、水泵启停较为频繁、设备运行效率偏低，以及在持续高需求工况下供水保障能力不足等问题，需在方案设计阶段予以充分评估^[4]。

（三）变频调速供水系统技术解析

变频调速供水系统是当前高层建筑供水设计中广泛采用的技术方案，该系统通过将离心水泵与变频调控设备相结合，借助改变电机供电频率实现水泵转速的精确调节。这种转速控制机制使得水泵的出水流量、输送扬程及运行功率等参数能够根据实际用水需求进行动态调整，从而实现按需供水的智能化运行模式。该供水方式具有多方面的技术优势：其节能效果显著，设备空间占用较小，能有效防止供水过程中的水质二次污染问题，同时有助于简化整体给水系统架构。然而，该系统在应用过程中也存在若干局限性，包括变频控制设备采购成本较高、运行环境要求严格、抗电磁干扰能力较弱等问题，这些因素都需要在工程设计与设备选型阶段进行综合考量。

四、高层建筑的排水设计

（一）分流式排水系统的设计要点

在高层建筑排水系统设计中，针对生活污水、废水及雨水等不同性质排水的特点，需采用分流制设计原则。该设计方法要求建立独立的管道网络，实现不同类别排水的分类收集与分别输送。分流制设计应合理规划管道布局，确保各排水系统独立运行且互不干扰；其次需精确计算不同排水系统的管径尺寸与坡度参数，满足各自的流量与流速要求；同时还要在适当位置设置分流装置和转换接口，为后续的水资源回收利用创造有利条件。此外，设计中还需充分考虑管材选择、防堵塞措施以及系统维护便利性工程实际问题，确保分流系统能够长期稳定运行^[5]。

（二）排水管道系统布置要点

在高层建筑的排水系统设计中，管道布置需在继承低层建筑基本原则的基础上，结合高层特点进行专门优化。由于高层建筑

内部吊顶空间较为有限，而需要隐蔽敷设的管道数量较多，这种空间约束大大增加了管道综合布局的难度。同时，高层建筑在施工及使用过程中可能产生的不均匀沉降，会对水平管道的预设坡度造成不利影响。因此在设计阶段，需要充分考虑建筑结构变形因素，通过设置柔性接头、预留调节余量等技术手段，确保管道坡度在允许范围内保持稳定。基于上述特点，高层建筑排水管道设计必须统筹考虑空间利用与功能保障：一方面要合理规划管道走向，充分利用有限空间完成系统敷设；另一方面要通过精确的水力计算，确定合适的管径与坡度，确保排水畅通无阻。此外，还需注重管道固定支架的合理设置，避免因管道位移引发渗漏或结构损坏，从而保障建筑使用的长期安全可靠。

（三）通气管系设计与排水流量控制

在高层建筑排水系统设计中，通气管系的设置旨在使排水管道系统与大气保持连通，有效平衡管道内部气压，排除积聚的废气。该系统的设计需综合考虑建筑高度、排水立管布局及卫生器具数量等因素，通过合理设置专用通气管、环形通气管或结合排水立管延伸至屋面等方式，形成完整的气流通道。在排水流量控制方面，设计过程中需对排水立管中的水流状态进行精确计算与调控。为确保系统稳定运行，必须将立管内的实际流量严格控制在最大允许值范围内。同时，为降低高速下落水流对管系的冲击，设计中应采取有效的消能措施，如在适当位置设置减压弯头、消能装置或采用特殊管件等，通过改变水流形态和运动轨迹来消耗部分动能，从而减轻对管道系统的冲击影响，保障排水系统的安全稳定运行。

五、结束语

高层建筑给排水系统是一个涉及多环节、多专业的复杂工程体系，其良好运行依赖于设计、施工与运维全过程的系统协同。在设计阶段，应科学选型给水方案，合理规划排水路径，完善通气管系配置，从源头保障系统的功能性与适应性；在施工阶段，需严格执行工艺标准，强化材料质量控制，实施精细化过程管理，确保工程实体与设计意图的高度一致；在运维阶段，要建立系统化、周期性的维护体系，引入智能监测与诊断技术，实现系统状态的实时感知与隐患的早期防控。

参考文献

- [1] 李善凯. 探究高层建筑给排水消防设计关键技术[J]. 建筑·建材·装饰, 2025(8): 136-138.
- [2] 贺博. 高层建筑给排水系统优化设计探讨[J]. 信息系统工程, 2025(2): 28-30.
- [3] 方洪伟. 超高层建筑给排水系统精细化设计[J]. 工程建设与设计, 2025(13): 72-74.
- [4] 段慧永. 高层建筑给排水设计的要点探讨[J]. 建材发展导向, 2025, 23(1): 16-18.
- [5] 刘刚. 高层建筑给排水及消防设计特点[J]. 建筑·建材·装饰, 2024(14): 133-135.

建筑工程设计质量管理问题分析

叶鸿创

广东博亚建筑设计有限公司江门分公司, 广东 江门 529000

DOI:10.61369/ADA.2025020040

摘 要： 当前,我国建筑工程设计领域在设计思维、监理机制、现场调研、图纸深度及勘察工作等方面仍存在显著问题。针对这些问题,文章系统提出了包括强化前期数据采集、恪守技术规范、优化系统构思、提升图纸质量管理、完善监理体系及加强团队建设在内的六项改善措施,旨在构建一个科学、全面的设计管理与质量控制体系,为提升工程项目整体价值提供理论依据与实践路径。

关 键 词： 建筑工程设计; 质量管理; 控制体系

Analysis of Quality Management Issues in Architectural Engineering Design

Ye Hongchuang

Guangdong Boya Architectural Design Co., Ltd. Jiangmen Branch, Jiangmen, Guangdong 529000

Abstract： Currently, China's architectural engineering design sector still faces significant challenges in design thinking, supervision mechanisms, site investigations, drawing depth, and survey work. To address these issues, this paper systematically proposes six improvement measures: strengthening preliminary data collection, adhering to technical specifications, optimizing system conceptualization, enhancing drawing quality management, refining the supervision system, and strengthening team building. These measures aim to establish a scientific and comprehensive design management and quality control system, providing theoretical foundations and practical pathways for enhancing the overall value of engineering projects.

Keywords： architectural engineering design; quality management; control system

引言

建筑工程设计远非简单的图纸绘制,它是一个融合技术、经济、环境与艺术的综合性创造性过程,是工程建设价值链的起点与灵魂。卓越的设计始于科学的管理,设计管理作为连接构想与现实的核心纽带,通过统筹各专业、协调全过程,对整合资源、控制风险、实现项目目标发挥着不可替代的作用。然而,在实践中,设计环节常因思维局限、管理疏漏与体系不完善等问题,成为项目风险的源头。

一、建筑工程设计管理的重要性

(一) 建筑工程设计的内涵与领域

建筑工程设计作为项目全周期中的关键步骤,涉及建筑结构体系构建、设备系统配置、材料性能选用及施工工艺确定等多项内容。这一创造性活动不仅包含技术图纸的绘制工作,更需要统筹考虑技术经济指标、环境影响因素与资源约束条件,通过系统化分析实现有限资源条件下的最优方案决策。设计成果的优劣将对项目实施的可行性、建造过程的效率以及竣工后的使用维护产生决定性影响。正因如此,建筑工程设计在整体项目建设过程中具有不可替代的核心地位与战略价值。

(二) 设计管理在工程项目建设中的职能与价值

设计管理是保障项目设计工作高效推进的核心支撑体系,其职能范围包括团队协同机制建立、信息数据有序传递及各类资源

合理分配等重要内容。在工程实施过程中,设计管理需要统筹建筑、结构、机电等不同专业团队的设计工作,通过系统化的协调机制确保各专业设计方案保持高度统一与有机衔接。同时,该管理体系还需与施工准备、成本控制等后续环节建立有效对接,使设计方案具备可实施性,并能够准确转化为实体工程。贯穿项目从策划到运营的全过程,设计管理始终发挥着跨阶段、跨专业的纽带功能,为工程各环节的顺畅衔接提供重要保障^[1]。

(三) 设计管理对工程成效的关键作用

高效的设计管理是决定工程项目最终成果的核心要素。科学的设计管控体系能够显著降低施工阶段的技术风险与协调冲突,增强项目全过程的掌控能力。通过优化资源配置架构与建立跨专业协同机制,设计团队可系统性地化解技术衔接矛盾,确保最终设计方案在品质标准、投资预算与工期要求之间取得最佳平衡。成功的项目设计管理不仅能大幅提升设计阶段的工作效能,更能

有效驱动后续建造环节的有序开展，为工程按期验收和投入运营奠定坚实基础。由此可见，设计管理在建筑工程体系中具有不可替代的重要地位。

二、建筑工程设计中存在的问题

（一）设计思维存在两极分化，创新意识明显不足

当前国内建筑设计行业从业者数量庞大，然而真正能够凭借设计作品获得广泛行业认可的建筑师却寥寥无几。这种现象的深层次根源在于设计人员普遍存在思维方式的失衡——部分设计者固守传统设计理念，另一部分则过度追求形式创新，形成两种相互对立的创作倾向。保守思维在工程实践中常表现为结构设计的冗余配置。以高层住宅为例，部分设计会布置密度过高、截面过大的剪力墙体系，造成结构刚度远超实际需求，建筑相对侧移值显著低于规范允许范围。这种设计不仅造成建材浪费和造价上升，更会削弱建筑在地震作用下的耗能能力，影响抗震性能。与之相反，过度追求创新的设计往往陷入为差异化而差异化的误区。这类设计常片面强调视觉冲击力，却忽视项目所在地的气候条件、施工技术条件等现实约束，导致设计方案与实施环境脱节^[2]。

（二）监理机制尚不健全，图纸审核环节尤为薄弱

当前建筑工程领域的监理体系，在项目资金管控与施工质量监督等方面已取得显著提升，但在设计图纸审查这一关键环节，其应有的监督效能尚未得到充分发挥。尤其在设计方案审核阶段，监理人员往往仅开展表面化的技术讨论，未能建立系统化的评估标准与全方位的审查机制，导致设计图纸中潜藏的技术矛盾与不合理构造难以被及时发现。这种审查缺位不仅直接影响设计方案的可行性与经济性，更会引发施工阶段的频繁变更、工期延误及成本超支等问题，最终造成项目投资效益下降与工程整体品质的受损。

（三）建设项目缺乏多维度综合研判

建筑工程实施过程中的各个作业环节，都需要经过多视角的系统性论证与全面评估方可推进，工程设计阶段尤其需要遵循这一原则。考虑到工程项目在正式施工期间往往会对场地周边的自然生态产生负面影响，设计团队理应在方案形成初期就将生态保护纳入核心考量，通过前瞻性的环保设计策略来减轻建设活动对生态环境的冲击。但现实情况显示，当前多数设计人员在编制具体方案前，普遍缺乏对项目现场的实地踏勘与深度调研。由于未能系统掌握场地地形特征、周边环境敏感点及潜在施工约束条件，导致最终形成的设计方案与现场实际情况存在显著偏差，不仅难以有效指导施工，还可能引发后续一系列工程适应性问题^[3]。

（四）设计图纸深度欠缺，细节表达不充分

施工图纸设计作为建筑工程项目中最核心的基础性工作，其完成质量直接关系到后续建造阶段的实施效果。一套完善的施工图应当对各个专业系统的构造做法、技术参数及材料规格作出清晰明确的标注，为现场作业人员提供准确可靠的依据。特别是在在

涉及结构安全的关键部位，如抗震设防参数、抗裂性能指标、结构构件配筋及承重体系等核心数据，更需要通过标准化图示和详尽注释进行系统化表达。然而在实际操作中，部分设计人员为追求出图效率，往往简化必要的技术标注，忽视细节构造的完整表达。这种图纸深度不足的情况，容易导致施工人员在理解设计意图时产生偏差，在工序安排、材料选用和节点处理等方面出现疏漏。

（五）勘察调研深度不足，基础数据支撑薄弱

场地勘察与前期调研是建筑工程设计的重要根基，这一环节要求对建设区域的地质构造、水文特征、地形地貌、气候条件及周边环境等要素进行全面探测与系统记录。基于这些详实的现场数据，设计团队才能制定出技术可行、经济合理的建筑布局方案、结构体系选型与施工工艺规划。然而在实际勘察作业中，受限于技术装备水平、专业人员素养及作业时间等因素，普遍存在数据采集不完整、参数记录缺失等现象。当设计工作建立在这样不完善的勘察基础之上时，必然导致建筑方案与场地实际条件产生偏差，进而引发施工阶段的结构变更、基础返工等连锁反应，最终造成工期延误和建设成本的大幅增加。

三、建筑工程设计的改善措施

（一）强化前期数据采集，建立完整信息基础

工程设计团队应在项目启动阶段系统开展现场调研与数据收集工作，确保获取资料的完整性与准确性。尤其需要对建设场地的工程地质条件、水文特征、土壤性质以及周边社区的生产生活模式等关键因素进行充分调研，从而为后续的专项设计提供扎实依据。在掌握原始数据的基础上，设计人员还应当运用专业判断力对海量信息进行科学筛选和分类整理，剔除无效和干扰数据。通过建立系统化的数据分析流程，确保最终采纳的设计参数既符合现场实际情况，又能满足技术规范要求，从源头上杜绝因信息缺失或失真可能引发的设计缺陷。

（二）恪守技术规范与标准，保障设计成果质量

在建筑工程设计领域，严格遵循专业技术标准是实现工程项目价值的基础保障。为确保设计成果兼具实用性与专业性，设计人员不仅需要保证图纸表达的准确性，更要注重技术细节的规范呈现。这要求设计团队在方案深化过程中，既要确保各类构造节点、技术参数符合国家强制性规范，又要使设计表达方式符合行业制图标准。在实际设计作业中，设计人员应当全面遵循设计合同约定的技术条款，将工程基本信息、设计依据、材料性能指标、施工工艺要求等核心要素通过标准化方式完整呈现。特别是涉及结构安全、消防安全等关键环节的技术说明，必须采用明确无误的表达方式，彻底消除可能存在歧义或模糊的技术表述，从而为施工环节提供清晰可靠的技术指导^[4]。

（三）优化设计方案的系统性构思

建筑工程设计涵盖建筑空间规划、结构体系构建以及给排水、电气、暖通等设备系统的综合配置。这些专业领域虽然在设计过程中各有侧重，但要实现高品质的设计成果，就必须打破专

业壁垒，建立整体化的设计思维。建筑专业作为项目设计的引领者，需要统筹考虑使用功能需求、场地环境特征、施工技术条件及材料设备选型等多重因素，同时兼顾项目的实用价值、经济效益与美学表现。在设计深化阶段，还需重点处理建筑内部的功能流线组织、防火疏散设计、自然采光通风等关键技术环节，以此构建完整的建筑方案框架。基于系统集成理念，设计团队应对多个备选方案开展技术经济比较，从空间效率、结构合理性、设备协同性等维度进行综合评估。方案决策阶段应始终秉持技术可靠、经济合理、造型美观的核心原则，通过多方案比选机制提升设计成果的整体完成度，最大限度预防潜在设计缺陷。

（四）提升施工图设计质量的管控体系

确保施工图设计品质的核心在于保障各专业图纸体系的规范性与完整性。建设单位需构建系统化的图纸审查机制，对建筑、结构、机电等各专业设计成果实施全过程质量管控。当前，数字化技术为施工图质量提升提供了重要支撑：基于协同管理平台的设计校核系统可实现专业间的数据互通，BIM技术的深度应用则能通过三维碰撞检测提前发现设计冲突，显著降低图纸差错率。要实现高标准的施工图设计，除严格遵循规范要求外，还需在设计中充分融入项目成本控制、材料工艺要求、设备参数匹配及施工可行性等现实要素。在方案深化阶段就应全面识别影响施工图质量的关键因素，通过多轮内部校审与跨专业会签机制，确保设计成果既满足技术规范又具备现场可实施性，从而有效控制施工阶段的设计变更频率^[1]。

（五）构建全过程工程设计监理体系

建立科学完善的建筑工程设计监理机制，需要从根本上实现设计过程的标准化、系统化与全面化管理。监理工作应当覆盖从方案设计到施工图审查的全过程，对所有关键设计环节实施动态监督，将可能出现的质量隐患消除在萌芽阶段。在具体实施过程中，需重点强化监理人员的专业判断能力和质量责任意识，通过

建立分层级的质量责任制，确保每个设计阶段都符合规范要求。为保障监理工作的有效实施，还应建立包括设计文件联合会审、重大技术问题专家论证在内的多级审核机制。通过标准化的工作流程和量化的评估指标，使监理工作真正成为保障工程设计质量的重要屏障，最终为项目顺利实施奠定坚实的技术基础。

（六）强化设计团队资质管理与能力建设

要系统提升建筑工程设计质量，首先应当从设计团队的准入机制着手完善。在人才选拔阶段，需重点考察设计人员的专业履历，优先选用具有同类项目实战经验的技术骨干。针对入职设计人员，应建立系统的产品标准培训体系，通过案例解析、标准宣贯等方式，帮助设计人员准确把握建设方的产品定位要求与品质标准。设计单位还需建立持续性的技术更新机制，定期组织新型设计方法、前沿技术规范等专项培训。特别是对国家强制性条文修订内容、节能环保新标准等关键规范，应及时开展全员轮训与考核认证。通过构建覆盖全员、全专业、全过程的能力提升体系，有效预防因技术滞后或认知偏差导致的设计缺陷，从源头上提升设计成果的专业水准。

四、结束语

综上所述，建筑工程设计及其管理是一项复杂而关键的系统工程。它不仅是技术层面的集成，更是管理艺术与创新思维的体现。面对这些挑战，根本的解决之道在于构建一个覆盖项目全生命周期的、系统化的管理体系。通过从数据源头、规范标准、系统构思、质量管控、监理监督和人才建设六个维度协同发力，方能从根本上提升设计成果的质量与可靠性，确保设计方案不仅能精准落地，更能创造卓越的工程价值，最终推动建筑行业的高质量与可持续发展。

参考文献

- [1] 李新增. 建筑工程设计质量管理问题探析[J]. 建材发展导向(下), 2021, 19(9): 56-57.
- [2] 杨胜鱼. 建筑工程设计质量管理问题探析[J]. 建筑与装饰, 2020(8): 56, 59.
- [3] 米江南. 建筑工程质量管理中常见问题及应对策略[J]. 建材与装饰, 2025, 21(20): 79-81.
- [4] 段引弟. 建筑工程管理及施工质量控制的问题及对策研究[J]. 建材与装饰, 2025, 21(19): 97-99.
- [5] 陆正刚. EPC 建筑工程项目设计管理的问题与策略[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(23): 125-127.

基于 EN14470-1 标准的防火存储柜耐火性能优化设计

张建华

广东劳安职业安全事务有限公司，广东 广州 511430

DOI:10.61369/ADA.2025020041

摘 要： 防火存储柜是危化品存储的核心安全设备，其耐火性能直接决定易燃易爆、腐蚀性物品存储的安全性。文章以 EN14470-1 标准为核心依据，通过分析现有设备在耐火极限不足、结构稳定性差、防爆防火协同性弱等难题，提出高性能材料复合应用、结构高温强化、智能联动系统等优化方案。实践表明，优化后的存储柜耐火极限达 30 分钟以上，满足 EN14470-1 标准要求，为危化品存储设备设计提供技术参考。

关 键 词： EN14470-1 标准；防火存储柜；耐火性能；优化设计

Optimized Design for Fire Resistance Performance of Fireproof Storage Cabinets Based on EN14470-1 Standard

Zhang Jianhua

Guangdong Lao'an Occupational Safety Services Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 511430

Abstract： Fire-resistant storage cabinets serve as core safety equipment for hazardous chemical storage, with their fire resistance directly determining the safety of storing flammable, explosive, and corrosive substances. This paper, centered on the EN14470-1 standard, analyzes existing challenges such as insufficient fire resistance limits, poor structural stability, and weak explosion-proof/fire-resistant coordination. It proposes optimization solutions including the composite application of high-performance materials, high-temperature structural reinforcement, and intelligent interlocking systems. Practice demonstrates that the optimized cabinets achieve a fire resistance limit exceeding 30 minutes, meeting EN14470-1 requirements and providing technical reference for hazardous chemical storage equipment design.

Keywords： EN14470-1 standard; fire-resistant storage cabinet; fire resistance performance; optimized design

引言

随着化工、电子行业发展，危化品存储规模扩大，安全风险防控成为重点。防火存储柜作为阻断火灾蔓延的关键设备，性能优劣直接影响事故损失。EN14470-1 标准作为防火存储柜的国际核心标准，对耐火性能、结构设计等提出明确要求，为设备设计提供统一规范。当前市场产品虽符合基础标准，但复杂工况下仍存短板，部分产品材料选型不合理，火灾中易变形穿透；针对不同危化品的适配性不足；防爆与防火系统协同性差。

一、工程概况

本工程聚焦危化品存储安全，针对易燃易爆化学品、破损锂电池、腐蚀性液体等存储需求，开展符合 EN14470-1 标准的防火存储柜设计优化。工程覆盖甲类库危化品防爆暂存、环保安全型油漆操作间、腐蚀性液体存储等场景，涉及化工、涂装等领域。项目核心需求为提升耐火性能，确保火灾时隔离危险品、阻断火焰与有毒气体蔓延。设计目标包括：耐火极限达到 EN14470-1 标准 30 分钟以上，高风险场景提升至 90 分钟；高温下柜体结构稳定；集成防爆、气体探测、自动灭火等系统。工程严格遵循

EN14470-1 标准以及国内《建筑设计防火规范》等，通过材料升级、结构优化完成设计应用。

二、防火存储柜相关标准与技术基础

（一）EN14470-1 标准核心要求

EN14470-1 标准规定易燃液体存储柜的耐火测试方法与指标：柜体需按 EN1363-1:1999 温度 - 时间曲线加热，内部温度从 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 上升不超过 180K 的时间，需满足 15、30、60 或 90 分钟等级，30 分钟为常规场景基础标准。标准要求柜体保持结

构完整性（无火焰穿透、裂缝 $\leq 25\text{mm}$ 、无坍塌）与隔热性（背面平均温升 $\leq 140^{\circ}\text{C}$ 、任一点温升 $\leq 180^{\circ}\text{C}$ ），同时对材料耐高温、密封防泄漏、防爆适配性提出原则性要求，为设计、生产、检测提供依据。

（二）防火存储柜核心技术参数

防火存储柜的核心技术参数直接决定其耐火性能与安全防护效果。结合工程案例中的实际设备配置，关键技术参数主要包括柜体尺寸、材料性能、耐火极限、防爆等级、密封性能等。内部容积需满足存储需求的同时，保证结构稳定性。材料性能方面，柜体主体多采用双层钢结构，中间填充防火材料，板材厚度需达到 3mm 以上，防火材料厚度不低于 50mm ，耐火极限根据设计要求分为 30 分钟、90 分钟、240 分钟等等级。防爆等级需达到 Exd IIC T4 Gb 及以上，以适配易燃易爆危化品存储场景。密封性能方面，柜门需配备防火密封条，门缝间隙需控制在规定限值内，防止火焰与有毒气体泄漏。

三、防火存储柜耐火性能优化设计的难题

（一）耐火材料选型与适配难题

耐火材料的选型与适配是防火存储柜设计的核心难题之一。EN14470-1 标准对柜体耐火性能的严格要求，需要材料既具备优异的耐高温性能，又能满足结构强度、轻量化等设计需求。现有部分产品选用的常规防火板材存在耐火极限不足的问题，在高温火焰持续作用下易出现碳化、脱落，导致柜体隔热性能快速下降。

同时，不同类型危化品的存储对材料提出了个性化要求：存储腐蚀性危化品（如冰醋酸）时，材料须具备强耐腐蚀性能；存储易燃易爆物品时，材料须具备防静电、防爆燃特性。此外，材料的兼容性也存在挑战，部分防火材料与钢结构的粘结性能不佳，在高温环境下易出现剥离，影响柜体整体耐火性能。如何平衡材料的耐火性、腐蚀性、兼容性与成本，成为耐火材料选型与适配的核心难题^[1]。

（二）柜体结构稳定性设计难题

柜体结构稳定性直接影响防火存储柜在火灾中的防护效果，也是优化设计面临的重要挑战。EN14470-1 标准要求柜体在耐火试验期间保持结构完整，不得出现明显变形或坍塌。现有部分存储柜因结构设计不合理，在高温环境下易出现热胀冷缩不均匀，导致柜体扭曲、柜门变形卡死等问题，影响应急情况下的人员疏散与救援。

结构设计的难点一是柜体整体刚度优化，需在保证轻量化的同时，提升结构抗高温变形能力；二是柜门与柜体的连接结构设计，需确保密封性能的同时，避免高温下连接部位失效；三是内部隔断与支撑结构的布局，需兼顾存储需求与结构稳定性，防止局部应力集中导致的结构破坏。在大尺寸存储柜（如长度 12000mm 的柜体）设计中，结构稳定性问题更为突出，对设计方案的合理性提出了更高要求。

（三）防爆与防火系统协同难题

防火存储柜需同时满足防火与防爆双重要求，两者的协同设

计是优化过程中的关键难题。EN14470-1 标准主要聚焦耐火性能，而危化品存储场景中，易燃易爆气体泄漏引发的爆炸风险同样突出，需要防爆系统与防火系统形成有效协同。现有部分设备存在防爆与防火设计脱节的问题，例如防爆电气元件的安装破坏了柜体的密封性能，导致耐火极限下降；或者防火密封结构影响了防爆通风系统的正常运行。

防爆电气设备的选型与安装需兼顾防爆等级与柜体密封性能，避免因设备安装导致火焰穿透通道；防爆通风系统与防火密封结构的切换机制需可靠，火灾发生时能快速关闭通风口，阻断火焰蔓延；气体探测系统与防火门、灭火系统的联动响应需及时准确，确保在爆炸风险发生前启动防护措施。如何实现防爆与防火系统的功能互补、互不干扰，是协同设计需要解决的核心问题。

（四）温度控制与热传导抑制难题

温度控制与热传导抑制是提升防火存储柜耐火性能的关键环节，也是设计过程中的技术难点。EN14470-1 标准要求柜体在火灾中能够有效阻断热传导，控制内部温度上升幅度。现有部分存储柜因热传导抑制措施不足，在高温环境下通过柜体钢板、连接部位等路径的热传导较为严重，导致内部温度快速上升，难以满足耐火极限要求。温度控制的难点一是柜体材料的热导率控制，需选用低导热系数的材料，但低导热材料往往成本较高、加工难度大；二是关键部位的热传导阻断，柜门边缘、铰链、螺栓等连接部位易形成热桥，导致局部温度快速升高；三是内部空间的温度均匀性控制，部分存储柜因内部气流组织不合理，易出现局部热点，影响整体耐火性能。此外，存储柜的温控系统在高温环境下的稳定性也面临挑战，需确保在火灾初期仍能正常运行^[2]。

（五）密封性能与安全防护适配难题

密封性能是防火存储柜阻断火焰与有毒气体蔓延的关键保障，其与安全防护系统的适配性是优化设计的重要难题。EN14470-1 标准要求柜体在耐火试验期间保持良好的密封性能，防止火焰穿透。现有部分产品存在密封设计不合理的问题，柜门与柜体之间的密封间隙过大，或密封条在高温下易老化、熔化，导致密封失效。同时，密封性能与其他安全防护系统的适配存在矛盾：密封过严可能影响防爆通风系统的通风效果，增加内部易燃易爆气体聚集风险；密封不足则会降低耐火性能。

四、防火存储柜耐火性能优化设计的解决措施

（一）高性能耐火材料选型与复合应用

针对耐火材料选型与适配难题，采用高性能耐火材料选型与复合应用的解决方案。优先选用符合 EN14470-1 标准要求的耐火板材，如耐火极限达 90 分钟以上的防火板、耐火 240 分钟的专用板材，确保材料核心性能达标。对于特殊危化品存储场景，采用针对性的材料组合：存储腐蚀性物品时，柜体采用 304 不锈钢板材，表面进行喷塑防腐处理；存储易燃易爆物品时，选用具备防静电性能的复合防火材料。同时，优化材料的复合结构，采用“双层钢结构 + 中间防火填充材料”的三明治结构，中间填充

厚度不低于 50mm 的高性能防火材料，提升隔热性能。加强材料与钢结构的兼容性设计，采用专用粘结剂确保防火材料与钢板紧密贴合，防止高温下剥离。通过材料选型的个性化适配与复合结构设计，在满足耐火性能要求的同时，兼顾耐腐蚀、防静电等多维度需求^[3]。

（二）柜体结构优化设计与强化

为提升柜体结构稳定性，采取多维度的结构优化与强化措施。首先，优化柜体整体结构布局，采用框架式钢结构设计，增加纵向与横向支撑梁，提升整体刚度，减少高温下的变形风险。对于大尺寸柜体，在侧板、顶板等关键部位增设加强筋，间距控制在合理范围内，避免局部应力集中。其次，优化柜门与柜体的连接结构，采用甲级防火门设计，配备双机械锁与防火自闭装置，门周边安装耐高温防火密封条，确保密封性能的同时提升结构稳定性。铰链选用耐高温不锈钢材质，增加铰链数量并优化布局，均匀分散受力。此外，优化内部隔断结构，采用中间完全隔断型设计，隔断材料与柜体主体材料一致，确保整体耐火性能均衡。通过结构优化与强化，使柜体在高温环境下能够保持结构完整，满足 EN14470-1 标准的结构完整性要求。

（三）防爆与防火系统协同设计

针对防爆与防火系统协同难题，采用系统集成化的协同设计方案。严格按照防爆等级 Exd IIC T4 Gb 选用电气设备，所有柜体内电路安装采用防爆穿线管穿线，线路接头使用防爆接线盒，确保防爆设备的安装不破坏柜体密封性能。在柜体关键位置设置泄压阀，当内部压力达到 580Pa 时自动开启泄压，平衡防爆与防火需求。其次，构建防爆与防火联动系统，将防爆温烟感探测器、可燃气体探测器与防火门电磁门吸、声光报警器、灭火系统联动。当探测器检测到异常时，立即触发声光报警，电磁门吸释放，防火门自动关闭，同时启动灭火系统。优化通风系统与密封结构的协同，采用防爆机械通风系统，配备可调节的通风阀门，在火灾发生时自动关闭阀门，确保密封性能。通过系统协同设计，实现防爆与防火功能的互补联动，提升整体安全防护水平。

（四）热传导抑制与温度控制优化

为解决温度控制与热传导抑制难题，采取多路径的热传导阻

断与温度控制优化措施。首先，选用低导热系数的柜体材料，钢板采用 3mm 以上厚度的耐高温不锈钢，中间填充低导热防火材料，降低材料本身的热传导效率。在柜门边缘、铰链、螺栓等关键部位加装隔热垫片，阻断热桥效应，减少局部热传导。其次，优化柜体内部空间的气流组织，合理布置通风口与导流结构，避免局部热点形成。配置防爆温控系统，采用分体式防爆空调，可对柜内温度进行制冷或制热控制，确保在正常存储与火灾初期的温度稳定性。在柜体内部关键位置安装温度传感器，实时监测温度变化，为温控系统提供数据支撑。通过热传导抑制与温度控制优化，有效降低柜体内部温度上升速率，满足 EN14470-1 标准的隔热性要求。

（五）密封结构优化与安全防护适配

针对密封性能与安全防护适配难题，采用可调节、耐高温的密封结构优化方案。选用耐高温、耐老化的硅橡胶或石墨密封条，安装在柜门与柜体的贴合面，采用嵌入式设计，确保密封间隙控制在限值内。对于需要通风的存储场景，设计可切换的密封结构，在正常工况下开启通风模式，火灾发生时通过电磁驱动机构快速关闭密封，实现密封与通风的灵活切换。同时，根据不同存储场景的需求，优化密封性能参数：存储易挥发危化品时，采用双重密封结构，强化密封效果；存储需要通风的危化品时，采用可控式密封设计，通过调节通风量平衡密封与通风需求。

五、结束语

文章以 EN14470-1 标准为依据，分析防火存储柜设计的目标、现状、难题与措施。现有设备在材料、结构、系统等方面存在短板，提出的优化方案从材料、结构、系统、热控、密封五维度解决痛点。实践表明，优化后设备耐火极限达标，结构与隔热性满足标准，为危化品存储设备设计升级提供参考，后续可探索智能化与轻量化发展方向，提升综合性能。

参考文献

- [1] 冯伟，彭力. 实验室危化品试剂智能存储柜系统的设计与实现 [J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(6): 158-163.
- [2] 郑宏，房亚兵，李孟昕，等. 高校实验室危化品智能专用柜及管理系统设计 [J]. 化工管理, 2024(12): 104-107, 111.
- [3] 姜阔胜，段惠中. 校园多分布式危化品的智能测控系统研制 [J]. 物联网技术, 2024, 14(5): 68-70.

综合医院给排水系统设计关键问题与应对措施

钟维嘉

广州市建工设计院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020042

摘 要： 文章系统分析了综合医院给排水系统在设计阶段存在的典型问题，如医疗功能区排水系统规划不当、水量预留不足的问题及进水净化系统缺陷等。针对这些问题，文章提出了以“安全为本、功能适配、绿色可持续”为核心的设计理念，并详细阐述了包括系统性分区策略、关键设备选型、智能化运维在内的具体设计要点。旨在构建一个安全、高效、可靠且符合绿色医院标准的给排水系统，为医疗活动的正常开展提供坚实保障，并提升医院的整体运营效能与环境友好性。

关 键 词： 综合医院；给排水设计；要点

Key Issues and Countermeasures in Designing Water Supply and Drainage Systems for General Hospitals

Zhong Weijia

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

Abstract： This paper systematically analyzes typical problems encountered during the design phase of water supply and drainage systems in general hospitals, including improper planning of drainage systems in medical functional zones, insufficient water volume reserves, and deficiencies in water purification systems. To address these challenges, the paper proposes a design philosophy centered on “safety as the foundation, functional adaptation, and green sustainability.” It elaborates on specific design principles, including systematic zoning strategies, critical equipment selection, and intelligent operation and maintenance. The aim is to establish a safe, efficient, reliable, and green hospital-compliant water supply and drainage system that provides robust support for normal medical activities while enhancing overall hospital operational efficiency and environmental sustainability.

Keywords： general hospital; water supply and drainage design; key points

引言

给排水系统是综合医院的“生命线”工程，其设计的科学性与可靠性直接关系到医疗工作的正常运行、院内感染的控制以及患者的诊疗安全。一个优秀的医院给排水设计，远非满足基本的供水与排水功能即可，它需要深度融合医疗工艺、感控要求与绿色可持续发展理念。文章将从分析当前医院给排水设计中的常见问题入手，进而探讨其核心设计原则，并最终提出一套系统化的具体设计要点，以期创建安全、高效、现代化的医院水系统提供有价值的参考。

一、医院建筑给排水系统设计中的问题

（一）医疗功能区排水系统规划不当

当前，许多医院在前期设计中对功能区域的排水管线规划存在显著缺陷，由于医院内部的用水房间数量较多，且每一层的功能不一致，上下层同一位置的房间有可能功能不同。例如在护士站、处置室或诊室等辅助用房的上方存在卫生间，但没有设置沉箱，排水管道敷设在下层房间顶部，这为医疗运营带来了诸多不便。虽然规范上没有明确的条文不允许这样设计，但是定制安装的医用柜体、器械架或操作台必须为管道让位，或对其进行额外

的封闭装饰，这直接增加了医院的装修投入与建造成本。其次，这种不科学的管道布局严重制约了房间的功能规划，不仅破坏了医疗空间应有的整洁与高效，还可能影响医护人员的工作动线，甚至挤占关键的医疗设备摆放空间。这种设计缺陷在同一医疗楼层的不同房间内出现，形成了系统性的问题。这种欠考量的布局不仅大幅降低了医护人员日常工作的便捷性与满意度，从患者视角看，其专业性与可靠性也会大打折扣，正如在病房中看到布局杂乱无章的管线，会直接影响对医院管理水平和医疗质量的信任感。

（二）水量预留不足的问题

与其他公共建筑相比，医院拥有较多的用水点位，且根据我

国国情，医院来往的人员众多，按照不同的功能划分人员的水量预留也有不同，在设计中较为容易遗漏。不同功能的医院之间的人员构成不同，对应的用水定额也不同。用综合医院举例，里面不仅包含住院与门诊的病人，还有另外的陪护人员，医院的医护人员和后勤人员等等，这些人员的用水定额也不一致，设计中也需要一并罗列出来。在条件允许的前提下，生活水箱容积适当增大30%。

（三）院区进水净化系统存在缺陷

部分医院在建设初期的给排水规划中，未能充分结合市政供水条件进行专项评估，对原水水质波动性考虑不足，导致院区进水净化环节存在短板。这一设计疏漏可能引发日常供水洁净度不达标，甚至在管道中可见细小颗粒物。此类杂质随供水进入医院各功能区后，会对医疗设备运行及用水安全构成威胁。例如，手术器械清洗单元、消毒供应中心、制剂室及实验室等区域的精密仪器，若长期使用含杂质的未充分净化水，其内部阀门、滤芯及管路易发生堵塞与磨损，不仅缩短设备使用寿命，增加医院运维成本，还可能因水质问题影响器械灭菌效果，干扰实验准确性，甚至对患者诊疗安全造成潜在风险。

二、核心理念与原则

（一）构建全方位的医疗用水安全保障体系

医院内部多个核心诊疗单元，如手术室、口腔科、产房及眼科等，因其操作直接关乎患者安全，对水质有远超民用标准的特殊要求，必须依赖经过严格消毒、深度净化乃至无菌处理的水源^[1]。因此，在给排水系统设计中，必须为这些区域集成安装具备过滤、灭菌、隔热等功能的专用净水装置，确保水源在到达使用终端前已完成所有必要的工艺处理。此外，医院内的检验科、中心制剂室等部门在开展日常检验与药品配制工作时，需大量使用蒸馏水与纯化水。这就要求设计独立的蒸馏水与纯化水供应系统，并在管网末端根据实际压力需求增设局部增压设备，同时所有输水管道材质与连接工艺必须满足医疗实验室与制剂用水的高标准规范。为确保持续稳定的水质安全，全院还应建立一套完整的水质、水量与水压在线监测系统。该系统能实时反馈供水状态，便于工程人员及时发现并排除隐患。最后，该体系还需与医院的中央冷却水循环等系统协同运作，从整体上保障医疗环境的可靠性与安全性，为患者提供更高水平的诊疗服务保障^[2]。

（二）实现精细化与差异化的系统设计

医院作为人员高度密集的公共场所，始终面临着交叉感染的风险管控挑战。为最大限度降低因接触导致的病原体传播，在供水终端的设计上应优先采用非手动接触式开关。具体可推广脚踏式、肘击式或感应式等控制方式，从源头保障用水环节的卫生安全。在选用这些非接触设备时，需同步考虑其可能带来的次生风险。例如，脚踏式阀门必须具备优良的密封性能，杜绝因滴漏造成地面积水，从而避免医护人员或患者滑倒的安全事故。对于需要提供稳定冷热水的洗手池，则应配备由智能感应系统控制的恒温混水阀，以确保出水温度恒定，防止烫伤或冷刺激。针对实验

室、制剂室等对水质有特殊要求的部门，给排水设计需进行专项定制。这些区域不仅要安装满足特定纯度要求的终端净水装置，其排水系统也需特别考量。检验科与病理科日常产生的废水中可能含有致病性微生物、化学试剂残留或具有腐蚀性的酸碱液体，若直接排放会侵蚀管道并污染环境。因此，必须选用具有卓越耐腐蚀性能的管材（如优质的UPVC或PP材料），并对连接处进行特殊的防腐密封处理。

（三）贯彻节能环保与资源循环理念

在现代医疗机构给排水系统的规划设计中，必须将环境保护作为核心指导原则，通过采用先进的生态友好型技术实现水资源循环利用与污染排放最小化。针对医疗活动中产生的特殊废水，需建立完善的多级处理流程，运用生物化学与物理消毒等组合工艺，彻底去除废水中可能含有的病原微生物、残留药物及有害化学制剂，确保最终出水水质符合国家规定的医疗污水排放标准。同时，系统设计应积极引入雨水资源化管理模式，通过设置屋面雨水收集装置与蓄存设施，将降水经适当净化后用于院区绿化灌溉、景观水体补充及道路清洗等非饮用用途，这种循环利用机制不仅显著减少市政供水的消耗量，还能有效削减雨季时院区管网的外排负荷，降低污水处理系统的运行压力。此外，在设备选型方面优先考虑低能耗、低噪音的环保产品，通过优化系统运行策略减少碳足迹，全面构建符合绿色医院评价标准的节能型给排水体系，实现医疗设施与环境承载力的协调发展^[3]。

三、综合医院给排水设计的具体要点与管理措施

（一）实施系统性分区供水与排水策略

在医疗建筑的给排水系统规划中，分区设计是确保系统高效安全运行的基础环节。这一设计方法的核心在于根据不同功能区的使用特性和水质要求，制定差异化的供水标准与废水处理方案。病房区域需保障生活用水及洁具的稳定供应，同时要考虑患者可能产生的特殊医疗废水，这类废水往往含有传染性物质，必须经过严格的消毒预处理方可排入管网。手术部作为医院的核心洁净区域，其对供水水质有着极为严苛的无菌要求，而术中产生的废水可能混杂着生物组织与消毒药剂，必须通过专业的医疗废水处理设备进行无害化处置。实验区域在开展检测与研究工作时，不仅需要不同纯度的实验用水，其排放废液中更可能含有化学试剂或微生物培养物，这就要求配套建设具有中和、降解功能的特种废水处理装置。餐饮部门在运营中会产生大量含油脂与有机残渣的污水，必须设置隔油池等预处理设施以防止管道堵塞。此外如洗衣房等后勤保障区域同样需要针对其布草洗涤产生的洗涤剂残留进行专门的水质管理。所有这些分区设计都需要在整体系统框架内实现有机衔接，既要满足当前各科室的运营需求，也要为医院未来的规模扩展预留足够的系统容量与升级空间，从而构建一个安全可靠、可持续运行的医疗水系统^[4]。

（二）关键设备选型与技术考量

医疗机构的给排水系统需要依托各类专业设备构建完整运行体系，在设备选型过程中需综合评估其技术参数与适用场景。供

水单元的核心设备包括水泵组、储水装置及压力稳定设备，选型时需重点考察其持续供水能力与动态调节性能，确保在就诊高峰时段仍能维持足够的水量与水压，同时设备应具备根据实际负荷自动调节的运行模式以保障系统稳定性。鉴于医疗场所的特殊性，供水设备的可靠性尤为关键，任何运行故障都可能直接影响临床工作的正常开展。排水系统所需的泵组、管材、控制阀门及检查井等设施，必须满足最大排污流量的输送要求，其材质选择需充分考虑医疗废水中可能含有的腐蚀性成分，通过采用耐腐蚀材料与优化管道敷设坡度来确保排放畅通并防范堵塞风险。各类水质净化装置包括过滤系统、软化处理器、消毒单元及污水净化设备，需要针对源水特性和排放标准进行专项配置，如在水质硬度较高区域必须配置效能可靠的软化处理装备。为实现系统智能化运行，还需配备包括流量监测仪、压力传感器、水质分析探头与中央控制平台在内的完整监控体系，通过实时数据采集与自动预警机制确保系统始终处于受控状态。在整体设备选型策略中，应统筹考虑运行能效、维护周期及设备寿命等全生命周期成本，优先选用节能环保、维护简便且耐久性强的产品，以构建安全高效的医疗水系统。

（三）构建智能化运行与故障预警体系

现代医院给排水系统需要建立具备高度自适应能力的智能控制架构，通过集成先进传感器与自动控制单元，实现系统在不同工况下的精准调节与稳定运行。该控制系统能实时感知管网压力变化与流量需求，在就诊高峰时段自动提升水泵输出功率，确保临床用水点的压力恒定；当监测到主要运行设备出现异常参数时，可立即启动备用装置完成无感切换，最大限度降低对医疗工作的影响。系统还需构建多层级的故障诊断机制，通过分析设备振动频率、电机电流曲线与水质参数等关键指标，对潜在风险进行预判与预警。当检测到管道压力异常波动、水质菌落超标或设

备效率下降等状况时，控制中心应同步触发声光报警与数字工单，并自动生成应急处置方案。这种集成了智能调控、冗余备份与预测性维护功能的控制系统，不仅能显著提升给排水系统的可靠性，更可通过早期干预机制有效防范运行风险，为医疗活动提供坚实的水务保障^[5]。

（四）强化设计团队的专业能力与责任意识

在医疗建筑给排水系统的规划中，必须杜绝因设计疏忽导致的管道布局不合理等基础性错误。尤其在当前建设标准日益提高的背景下，此类看似简单的管线排布问题，直接关系到医院日常运营的效率 and 感控安全，并成为评估项目整体质量的关键指标，最终影响建设单位的市场声誉与专业形象。为从根本上提升设计质量，首要任务是深化设计人员的现场勘察理念。应确保他们能够深入理解医院各功能科室的实际用水需求与流程，从而科学、精准地规划每一路给水与排水管线的走向与定位。在日常管理层面，建议设计与管理者定期收集、整理院内因设计缺陷引发的典型管线案例，并通过内部学习平台进行分享与剖析，以此作为全员持续警示与教育的鲜活教材。

四、结束语

综合医院的给排水设计是一项复杂而关键的系统工程。它首先要求设计者从根本上转变观念，确立以医疗安全为核心、以功能需求为导向、以绿色生态为目标的先进设计理念。通过对院区进行科学的分区供水与排水规划，精选安全可靠且节能环保的关键设备，并构建具备预测性维护能力的智能运维体系，才能有效解决管线布局混乱、排水隐患及水质风险等传统弊病。一个成功的给排水设计方案，不仅取决于技术措施的完善，更有赖于设计团队专业能力与责任意识的持续提升。

参考文献

- [1] 刘乐嘉. 医院建筑给排水系统设计优化研究 [J]. 建材与装饰, 2025, 21(29): 40-42.
- [2] 吴春燕. 医院建筑项目给排水建设与改造设计分析 [J]. 中国房地产业, 2020(36): 93.
- [3] 宋玉素. 综合医院建筑给排水优化设计方法初探 [J]. 城市建筑, 2020, 17(3): 63-64.
- [4] 黎敏杰. 现代医院建筑给排水设计的要求及措施研究 [J]. 中国房地产业, 2025(28): 182-185.
- [5] 温智理. 医院建筑给排水优化设计研究 [J]. 智能建筑与工程机械, 2022, 4(8): 7-9.

建筑结构设计优化提高结构设计质量探析

魏木洪

广州黄埔建筑设计院有限公司普宁分公司, 广东 普宁 515300

DOI:10.61369/ADA.2025020048

摘 要： 文章旨在系统阐述建筑结构设计优化的内涵、作用及实施方法，明确其在提升建筑质量、控制工程成本及实现资源高效配置方面的核心目标。文章重点论述结构优化模型的构建流程变量筛选、目标函数确立与约束条件界定、多种求解策略及其在上下部结构、全寿命周期等具体场景中的应用，旨在为设计人员提供一套兼顾安全性、经济性与实用性的结构化优化方案。

关 键 词： 设计优化；提高；结构设计质量

Exploration on Optimizing Architectural Structure Design to Improve Structural Design Quality

Wei Muhong

Guangzhou Huangpu Architectural Design Institute Co., Ltd. Puning Branch, Puning, Guangdong 515300

Abstract： This paper aims to systematically elucidate the essence, functions, and implementation methods of structural design optimization in architecture, clarifying its core objectives in enhancing building quality, controlling project costs, and achieving efficient resource allocation. The paper focuses on the structural optimization model construction process, including variable screening, objective function establishment, constraint definition, and diverse solution strategies. It details their application in specific scenarios such as upper/lower structure integration and full life cycle management, aiming to provide designers with a structured optimization solution that balances safety, economy, and practicality.

Keywords： design optimization; enhancement; structural design quality

引言

随着建筑行业对资源效率与结构性能要求的不断提高，结构设计优化已成为实现工程精益化管理的必要途径。文章从建筑结构设计的内在逻辑出发，系统分析其在提升整体工程质量、增强企业经济效益方面的重要价值，并围绕结构建模、系统协调、分阶段优化等关键方法展开深入探讨，以推动建筑结构设计从经验判断向科学决策的全面转型。

一、建筑结构设计优化的内涵

建筑结构设计优化，是指在既定的工程条件下，系统地对建筑结构的若干关键参数——例如工程造价、结构刚度等——进行综合调整与改进，从而寻求最合理、高效的设计途径。其核心要义在于对建筑结构开展全面而深入的分析与评估。通常，结构优化设计的流程包含几个关键环节：首先提出初步的结构设想，随后对这一假设方案进行详细验算，接着在多种可能性中探寻最佳解答，最终确定最适宜的设计成果。在此过程中，“搜索”意味着不断调整与完善方案，使其逐步接近理想状态。设计人员需要综合考量各类边界条件，评判当前方案是否已实现最优配置；如尚未达到，则应在约束条件允许的范围内持续修正。结构设计的优化，必须统筹建筑材料、成本投入等多重因素，通过系统分析得出理想方案，为达成工程结构的预设性能与效益目标提供可靠支撑。

二、建筑结构设计优的作用

（一）增强建筑结构整体性能与可靠性

在建筑工程中引入结构设计优化的方法，能够有效提升结构方案的技术合理性与经济性，从而在整体上提升建筑物的质量水平，降低因设计不当带来的潜在安全隐患。当前，我国建筑设计机构在技术能力、专业经验与管理水平方面存在差异，部分设计师因经验不足或技术积累有限，所完成的设计成果往往难以完全满足实际施工需求，易出现细节考虑不周、构造处理不当等问题。这些问题若未被及时发现和修正，将在施工阶段转化为工程风险，甚至导致返工、延误或成本超支，对施工单位的正常运营构成压力。因此，在行业中全面推广结构设计优化理念，不仅有助于提升设计成果的科学性与适用性，也对推动整个行业设计水平的进步具有重要的现实意义^[1]。

（二）增强建筑企业经济效益与成本控制能力

在建筑工程的总成本构成中，钢筋、混凝土等大宗建材所占比重尤为突出，通常可达到工程总造价的50%以上。通过实施建筑结构设计优化，能够在确保结构安全的前提下，显著降低此类主要材料的用量，使其在总造价中的占比下降约20%。这一优化路径并不会削弱建筑的整体质量与结构稳定性，反而有助于建设投资方缓解资金压力，提升资金使用效率，加快项目整体的资金流动速度。结构设计优化作为一种重要的技术管理手段，能够从设计源头实现材料的高效利用与构造形式的合理简化，从而有效节约建设投入，拓展盈利空间。持续推进结构设计的精细化与合理化，不仅有助于企业在激烈市场竞争中保持成本优势，也为建筑行业实现集约化、可持续的发展目标提供了可靠路径。

三、建筑结构设计优化的方法

（一）结构设计模型的构建与优化方法

在建筑结构设计优化过程中，首要任务是构建能够准确反映建筑各项参数与影响因素之间内在联系的数学模型。此类模型通常基于结构力学原理与数学规划方法建立，是实现科学化、精细化设计的基础。整个建模流程可分为变量选取、目标函数设定与约束条件界定三个关键环节^[2]。

1. 设计变量的识别与筛选

在结构设计过程中，设计人员需从众多参数中识别出可由设计决策控制的关键变量。这些变量通常涉及构件截面尺寸、材料强度等级等可由设计师调整的核心参数。为提高模型求解效率，应优先选择那些变化范围明确、影响因素相对集中的参数作为设计变量。例如，当参考工程参数中的造价指标与损耗指标时，若这些参数波动幅度有限，将显著降低模型复杂度，使设计人员能够更高效地定位满足设计目标的最优参数组合。

2. 目标函数的建立与表达

基于工程经济性要求，需要构建能够精确反映设计目标数学关系的一个或多个函数表达式。这些目标函数通常用以描述在满足安全性与使用功能前提下，如何实现成本最小化或性能最优化的设计目标。具体而言，可通过建立截面几何特性、配筋面积与结构失效概率之间的数学关系，形成可量化评估的设计目标体系，为优化算法提供明确的搜索方向与评判标准。

3. 约束条件的分类与界定

结构设计模型的约束条件主要可分为几何约束与性态约束两大类。几何约束通常指对结构构件尺寸、布置方式等方面的限制，确保构件间几何关系的协调性与施工可行性，这类约束通常具有明确的范围界限。性态约束则涉及结构固有动力特性与使用性能要求，如限制结构在风荷载或地震作用下的振动频率、位移响应等动力参数，保证结构在全寿命周期内满足安全性与舒适性要求。这两类约束共同构成了结构设计的技术边界，确保优化结果既符合工程实际又满足规范要求^[3]。

（二）结构优化模型的求解策略与实现路径

结构设计的优化问题在数学上通常表现为具有多变量、多约

束的非线性规划模型，其求解过程需要借助专门的数学方法与计算策略。在具体求解过程中，一项关键处理方式是将原问题中的约束条件通过数学变换转化为无约束形式，从而应用高效的优化算法进行求解。目前工程实践中常用的转换与求解方法包括拉格朗日乘子法、复合形法以及Powell直接搜索算法等。这些方法各有特点，能够针对不同性质的优化问题实现约束的处理与目标函数的极值搜索。在确定适用的计算方法后，需要进一步开发或选用相应的计算程序，将结构参数、目标函数及约束条件转化为可执行的数值分析流程。通过编制专门的运算程序，可以实现对设计变量的自动调整与目标函数的快速评估，进而系统地搜索满足各项技术要求的最优设计方案。这一程序化实现过程不仅保证了计算结果的精确性与可靠性，也为结构设计人员提供了科学决策的有效工具，最终推动设计成果在安全性与经济性上达到更高水平的平衡。

（三）结构系统全局优化与分层设计策略

建筑结构设计具有明显的系统层次性与技术复杂性，需要采用系统化的方法统筹整体性能与局部构件之间的协调关系。设计过程中应当根据建筑功能需求与结构受力特点，逐层优化各子系统的设计参数，最终实现整体结构性能的协同提升。同时，结构设计还涉及材料规格选型、构件尺寸确定、连接节点设计及结构布置方案等多个维度的决策，这些因素相互影响，共同决定了结构的最终性能与经济性。面对这种多层级、多专业交叉的复杂系统，设计人员需要建立从全局到局部的系统化设计思维，通过分层优化与集成决策的方法，将宏观要求逐步细化为具体设计参数^[4]。

（四）建筑上部结构抗震与材料优化策略

在房屋建筑上部结构的优化设计中，科学布置剪力墙是提升结构性能的首要环节。具体实施时，应确保剪力墙的质量分布保持均匀，并尽量使楼层平面的几何形心与结构重心相重合，这一措施有助于降低地震作用或强风荷载对建筑产生的扭转效应，提高整体抗震与抗风性能。当建筑类型符合规范要求时，推荐采用大开间剪力墙结构体系。该体系通过适当增加单个墙肢的长度、减少墙肢总数，实现混凝土用量的有效控制。同时，由于剪力墙边缘构件（如暗柱）通常需配置大量纵向钢筋，采用大开间布置方式可在保证结构刚度的前提下，减少暗柱设置数量，从而显著降低钢筋用量。在这种情况下，大开间剪力墙体系的适用性将受到限制，需根据实际工程条件进行专项论证，或采用其他更适合的结构方案。

（五）地基基础选型与地质适应性优化

地基基础的设计优化是提升建筑整体稳定性的关键环节，同时也在工程总投资控制中扮演重要角色。在方案设计阶段，需综合考虑上部结构特征与场地工程地质条件，通过多方案比选确定技术可行、经济合理的基础形式。当场地土层承载力较高、地质条件简单时，应优先考虑采用天然地基方案。若地质条件较差，需采用桩基础时，则应根据勘察报告中的土层分布、地下水位情况及现场施工条件，选择最适合的桩型与施工工艺。例如，灌注桩的桩长直接受桩端持力层深度控制，而持力层的位置又直接影

响施工工期与造价，因此需通过详细测算确定最优方案。在岩溶发育地区进行基础设计时，必须详细勘探溶洞的空间分布、规模尺寸及顶板埋深。若探测表明溶洞自身稳定性较好，且洞顶覆层具有足够承载力时，可优先考虑将基础设置在溶洞上部稳定土层中，避免直接处理溶洞带来的技术风险与成本增加。当必须处理时，需综合比较溶洞处治方案与减轻上部结构自重等多种技术路径，通过对处理难度、施工周期与投资总额的综合评估，选择最适合工程实际的技术对策

（六）全寿命周期分阶段设计优化策略

在建筑工程的设计使用年限内，项目的每个实施环节往往存在多种可行的技术方案。这意味着从规划到施工的各个阶段，都蕴含着通过优化提升项目价值的潜力。设计人员需要根据各阶段的特点和目标，采用针对性的优化方法，形成系统性的全周期优化路径。这种基于寿命周期的分段优化理念，要求设计团队在项目实施的各个阶段——包括方案设计、技术设计、施工图设计和现场配合等环节——分别采取最适合的优化措施。通过在每一个环节实施精细化的设计优化，不仅能够保障工程的整体质量与性能达标，还能显著提升资源利用效率，有效控制建设成本。将优化理念贯穿于建筑全寿命周期的各个阶段，既实现了技术方案的持续改进，又为投资方创造了显著的经济效益。这种系统化的优化方法，为建筑产品的全周期价值提升提供了可靠保障。

（七）基于概念设计与细部优化的协同设计方法

在建筑结构设计，概念设计主要适用于那些难以精确量化的复杂受力状况，例如地震作用等具有显著不确定性的荷载工况。由于此类工况的理论计算值与实际响应往往存在差异，设计中需要以概念设计原则为主导，将数值计算结果作为辅助参考。这要求设计人员能够基于力学概念和工程经验，灵活运用结构优化方法，在保证安全的前提下实现最优设计效果。与整体概念把握相对应的是细部设计的精细化处理。在构件层面，需要针对易

出现应力集中的部位进行专项优化。比如现浇楼板中的异形板角部容易产生裂缝，可通过合理的板块划分将其转化为矩形板区域，有效改善受力性能。在材料选用方面，虽然Ⅰ级钢筋与冷轧带肋钢筋的市场价格相近，但二者的极限抗拉强度存在显著差异。因此在满足塑性要求的前提下，现浇板的受力钢筋宜优先选用强度更高的冷轧带肋钢筋，以提高材料利用效率。对于建筑外立面的悬挑板等非结构构件，其设计应在满足基本规范要求的基础上，避免不必要的安全冗余^[5]。

（八）建筑使用功能与结构性能的协同优化

在房屋结构设计的初始阶段，应当优先考虑建筑使用功能的合理性与空间效率，通过优化结构布置方案来提升建筑物的使用价值。这一过程需要设计人员在满足基本使用需求的前提下，不断调整和完善结构体系，确保建筑在实现功能目标的同时具备可靠的安全储备。具体而言，设计人员应对建筑平面与立面的规则性、竖向构件布置的对称性以及荷载传递路径的直接性进行重点优化。在追求建筑艺术表现力的同时，必须始终将结构安全与使用便利作为设计的基本前提，避免因过度强调造型独特性而导致结构体系复杂化或使用功能受限。

四、结束语

文章通过建立数学模型、明确变量与约束条件、运用拉格朗日乘子法等数值算法，结构设计可在全寿命周期内实现分阶段、分层级的系统性优化。具体措施涵盖上部结构的剪力墙布置与材料选型、地基基础的地质适应性设计，以及概念设计与细部构造的协同整合。未来研究应进一步探索智能算法在结构优化中的深度融合、多专业协同平台的构建，以及在低碳目标下结构可持续性能的量化评估与优化，以推动建筑结构设计向更高效、绿色与智能的方向发展。

参考文献

[1] 徐林波. 建筑结构设计中的建筑结构设计优化 [J]. 城市建筑与发展, 2025, 6(10).
[2] 滕飞. 建筑结构设计中的建筑结构设计优化 [J]. 城市建筑与发展, 2025, 6(19).
[3] 于洪军, 张楠. 基于优化设计的建筑结构加固方法及实例研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(6): 130-132.
[4] 王文涛. 基于可持续发展的建筑结构材料选择与优化设计 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(15): 37-39.
[5] 朱洪伟. 高层建筑钢结构设计的问题和优化改进措施 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(2): 150-152.

景观绿化配置指引智慧健康道法自然

黄利萍

广州城勘技术咨询有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020050

摘 要： 住宅小区景观设计里，绿化面积占比高达60%~70%。她为儿童提供一方草地，为老人留出一垄菜地，为路人洒下一片绿荫，为所有业主盛开春花秋月，吸尘减噪，高氧赋能。在植物设计师眼里，景观是“春有花、夏有荫、秋有果、冬有枝”，是建筑与室内的延续，是链接自然天地的桥梁，是人与自然和谐共处的生态元素。

关 键 词： 绿化模块设计；植物景观底线；智慧健康生态环境

Guidelines for Landscape Greening Configuration: Wisdom, Health, and Harmony with Nature

Huang Liping

Guangzhou City Survey Technology Consulting Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： In residential community landscape design, green space accounts for 60% to 70% of the total area. It provides children with a patch of grass, reserves vegetable plots for the elderly, offers shade to passersby, and blooms with spring flowers and autumn moonlight for all residents—absorbing dust, reducing noise, and enriching the environment with oxygen. To plant designers, landscapes embody “flowers in spring, shade in summer, fruit in autumn, and branches in winter.” They extend architecture and interiors, bridge the natural world, and serve as ecological elements fostering human–nature harmony.

Keywords： greening module design; plant landscape baseline; smart healthy ecological environment

引言

规范交付区景观绿化产品配置，为项目管理人员与项目设计人员提供产品评判依据文件。提高节点绿化设计效果，大范围的控制景观植物品质，提升全民幸福指数^[1,2]。

一、住宅区绿化配置总要求

(一) 住宅景观档次与绿化配置原则

分档		草灌比	基调树种	主景乔木	行道树	设计原则
普通住宅	种植手法及品种需与方案风格及定位相匹配	≥ 7:3	Φ ≤ 25cm	Φ ≤ 35cm	Φ ≥ 12cm	住宅区园林绿化以轻养护、功能性为设计原则，降低物业维护成本，为业主打造更多的亲近自然的空间； 以项目为单位，明确植物景观主题，形成项目植物名片，以形成公司品牌的循环推广； 严格遵循国家、地方规范，减少项目开发成本。
中档住宅		≥ 6:4	Φ ≤ 30cm	Φ ≤ 45cm	Φ ≥ 15cm	
高档住宅		≥ 4:6	Φ ≤ 35cm	Φ ≤ 60cm	Φ ≥ 18cm	
超高档		根据项目实际情况而定				

(二) 绿化区域划分

北部：黑龙江、吉林、辽宁、北京、天津、河北、山东、山西、陕西、甘肃、宁夏、内蒙古、新疆、河南、青海、西藏。

南部：广东、广西、福建、海南；

中部：湖南、江西、安徽、江苏、上海、浙江、四川、重庆、云南、贵州；

植物种植覆土厚度要求，见下表：

植物类型		栽植厚度（cm）	排水层厚度（cm）	土质要求
草坪		15-30	20	1. 园林植物栽植土应包括客土、原土利用、栽植基质等，栽植土应符合下列规定： 1.1 土壤 pH 值应符合本地区栽植土标准或按 pH 值 5.6 ~ 8.0 进行选择。 1.2 土壤全盐含量应为 0.1% ~ 0.3%。 1.3 土壤容重应为 1.0g/cm ³ ~ 1.35g/cm ³ 。 1.4 土壤有机质含量不应小于 1.5%。 1.5 土壤块径不应大于 5cm。 2. 地下建筑顶板种植宜采用田园土为主，土壤质地要求疏松、不板结、土块易打碎
地被		30-50	20	
小灌木		45	20	
大灌木		60	20	
≤ Φ20cm 乔木	浅根	100-120	30	
	深根	120-150	30	
Φ20cm-Φ30cm 乔木		120-150	30	
Φ30cm-Φ40cm 乔木		150-180	30	
Φ40cm-Φ60cm 乔木		180-200	30	
≥ Φ60cm 乔木		200 以上	30	

二、绿化景观设计配置模块指引

（一）构筑物系统

绿化模块分类指引以市场通用设计模块为依据，结合绿化设计特有属性，适当增减模块品类^[3]，配置指引详见下文。其中品种及规格选用各项目根据项目地苗木市场及项目定位细化确定。

突起于地表的各类景观元素，有景观观赏、功能性设置两大类；在植物设计版块，对前者协调、加强，对后者则屏蔽之；配置要求及注意事项如下^[4-7]：

构筑物周边植物配置原则					
功能场地		场地属性	规范要求	植物配置原则	品种建议
入口模块	主入口	指引性功能为主；对外形象展示区，强调入口景观的统一性、形象性；	1) 场地与厂房、仓库、民用建筑之间不应设置妨碍消防车操作的树木、架空管线等障碍物和车库出入口；详见消防消防车登高操作场地与建筑之间的园林设计要求 2) 近人区域忌有毒有刺易过敏品种	1)宜规则式种植；根据空间需求可列植、对植； 2)入口两侧宜进行分隔式种植； 3)全冠容器精品秒苗为首选，宜常绿寓意美好的精品种。乔木种植时分枝点需≥ 2.5m； 4) 不可影响门楼影响展示。	南部：香樟、小叶榄仁、造型罗汉松 中部：丛生香橿、造型黑松、造型罗汉松 北部：广玉兰、国槐、造型黑松
	次入口			1)种植形式根据空间需要设计，但需有点景苗木指引； 2)点景苗宜全冠精品寓意美好品种； 3)苗木规格较主入口可下降。	南部：香樟、小叶榄仁、红花鸡蛋花 中部：银杏、丛生香橿、鸡爪槭 北部：银杏、国槐、巴陵海棠
	栋入口	指引性功能为主，无对外展示功能，宜注重人性化考虑		1)以自然式种植为主；同条园路的入口品种宜统一并区分于其他邻近园路建筑栋入口，以形成主题个性化观赏及功能指引明晰； 2)点景苗木宜全冠寓意美好品种。	南部：桂花、红花鸡蛋花、红果冬青 中部：桂花、丛生香橿、海棠 北部：枣树、巴陵海棠、山楂
构筑物周边植物配置原则					
功能场地		场地属性	规范要求	植物配置原则	品种建议
建筑两侧及后场		以弱化建筑阳角及满足住户采光，为住户打造私密空间的功能性种植为主，同时注重阳角位视线焦点的观赏性种植	1) 乔木种植点位及大灌需避让主窗位及阳台，原则上乔木种植点位需离建筑开窗、阳台》3m； 2) 近人区域忌有毒有刺易过敏花香浓郁品种； 3) 各电器外挂设备忌飘絮品种。	1)宜组团式种植；为建筑两侧狭小绿化地设置最大的绿量，形成强生态性改善环境的绿色景观； 2)建筑转角处，其勒脚部分为三个向面的交汇点，除中下层密植以形成主视点观赏外，还应塑造地形，并配置大乔木以掩其锐； 3)后场宜设置半开敞空间，满足与中心场地或园路的分隔，同时对住户形成开敞。忌形成全封闭的草坪空间	南部：凤凰木、香橿、红花鸡蛋花、黄榕球、亮叶朱蕉、满天星 中部：香樟、紫玉兰、红枫、红叶石楠球、海桐球、槭棠、杜鹃 北部：蒙古栎、红松、山楂、山芍药、黄杨
亭		为园林林空间重要端点景观，场地设置有休憩的需求。绿化配置宜在此基础上强化分隔功能并提升其观赏性，协调之，使人之停、歇空间的私密性及观赏性更强	近人逗留区域忌有毒有刺易过敏香味浓郁品种	1)宜自然式种植，结合亭之形态形成构图式四季景变的节点性端景； 2) 主景大乔木宜亭高2-3米或亭子高之2倍，伞状，观赏性树种为宜，加强景观亭的焦点性； 3)1.8m-2.5m处宜布置特选精品，提高逗留时的景观观赏。	南部：凤凰木、蓝花楹、鸡蛋花、细叶紫薇 中部：乌桕、五角枫、红枫、果石榴 北部：蒙古栎、榆树、杏树、苹果
廊架				1)宜规则式同品种种植，以加强及协调廊架平立面空间；后侧场地允许下可增加自然式片林，加强背景厚度。 2)列植苗木宜高廊架2-3米，宜观赏性较强品种； 3)中下层区域可通过规则式花境手法增加植物丰富度。	南部：竹子、风铃木、桃叶珊瑚、金叶假连翘 中部：竹子、细叶紫薇、红叶石楠、金叶女贞 北部：竹子、白桦、槭棠、黄杨

景墙	为园林林空间重要端点景观，场地设置有休憩的需求。绿化配置宜在此基础上强化分隔功能并提升其观赏性，协调之，使人之停、歇空间的私密性及观赏性更强	近人逗留区域忌有毒由刺易过敏香味浓郁品种	1)可列植亦可自然式种植；根据场地周边实际空间选择； 2)列植苗木或主景乔木高度宜景墙高之1.5倍； 3)不论何种种植形式，皆需对侧边进行植物弱化，以弱化视觉观赏的刀劈之感。	南部：风铃木、竹子、角茎野牡丹、细叶紫薇 中部：榉树、竹子、细叶紫薇、红枫 北部：竹子、白桦、杏树、紫叶矮樱
构筑物周边植物配置原则				
功能场地	场地属性	规范要求	植物配置原则	品种建议
栏杆	加强版分隔元素，设在绿地边界及分区地带，绿化需强化分隔；现状项目受成本影响围墙美观性一般，可通过绿化弥补，形成项目对外展示的名片	近人逗留区域忌有毒由刺易过敏香味浓郁品种	1)宜规则式同品种种植，以加强分隔功能； 2)宜耐修剪品种，中北部可以考虑花篱；	南部：九里香、翠芦莉 中部：黄杨、槲棠 北部：朝鲜黄杨、丁香
围墙		/	1)根据围墙长度可进行不同品种的分段设计，但注意控制3-4个品种为宜； 2)宜藤本+乔木的种植形式，以形成预见性景观； 3)为加强分隔及安全作用，可设置有刺苗木。	南部：洋紫荆、凤凰木、叶子花、炮仗花 中部：银杏、黄山栾、紫藤、凌霄 北部：白桦、红花刺槐、紫藤、蔷薇
人防、采光井、通风口	不可调节的高出地面构筑物，为园林美观计，需分隔以屏蔽之		1)以遮挡性功能种植为主，弱化立面空间对园林景观的影响 2)宜常绿品种，避免形成焦点观赏性种植。 3)通风口处需选择耐热耐风吹品种	南部：香樟、黄槿、扶桑 中部：香樟、法国冬青 北部：樟子松、冷杉、偃柏
地库出入口	为园林功能性构筑物之一，是归家的第一站，在满足功能性指引的同时需加强景观绿化的观赏性种植	1)植物不应遮挡路旁标识； 2)车道的弯道内侧及交叉口视线三角形范围内，不应种植高于车道中线处路面标高1.2m的植物，弯道外侧宜加密种植以引导视线；	1)宜自然式种植；强调主景树的焦点指示作用； 2)弯道外侧1.8m-2.5m处宜布置特选观赏性强品种，加强视线引导	南部：苹婆、凤凰木、红花鸡蛋花、细叶紫薇 中部：香樟、乌桕、香橼、红枫 北部：旱柳、榆树、稠李、山楂

（二）水景系统 安全性、低养护性、可持续使用性原则并存。详细配置要求及注意事项如下。

水无形态，因容器而形成灵气各异的景观；植物在分析水景形态的基础上进行景观的加强与协调，不可喧宾夺主，美观性、

水景系统植物配置要求				
功能场地	场地属性	规范要求	植物配置原则	品种建议
游泳池	水无形态，因容器而形成灵气各异的景观；植物在分析水景形态的基础上进行景观的加强与协调，不可喧宾夺主，美观性、安全性、低养护性、可持续使用性原则并存	近人区域忌近人区域忌有毒有刺易过敏品种	1)地、灌木层宜规则式种植，乔木层可根据场地自由选择； 2)宜加强私密性设计； 3)基调宜常绿，可点缓开放时间内的观赏性苗木设计，南方区域可确定棕榈类的种植基调。 4)观赏性植物宜大叶大花。	南部：银海枣、狐尾椰子、大叶紫薇 中部：香樟、乐昌含笑、细叶紫薇 北部：不建议设置户外泳池
跌水			1)根据风格选择相匹配种植方式，现代风格地被宜规则式，上层简洁，起强调协同作用； 2)基调宜常绿。	南部：银海枣、黄槐、红花鸡蛋花 中部：乐昌含笑、朴树、乌桕 北部：雪松、五角枫、槲棠
点式水景		近人区域忌近人区域忌有毒有刺易过敏品种	1)宜规则式种植为宜； 2)上层乔灌种植高度需与水景相匹配； 3)基调宜常绿，观赏性植物宜大叶大花。	南部：大叶杜英、鸡蛋花、角茎野牡丹 中部：樱花、果石榴、香橼 北部：巴陵海棠、山楂
溪流			宜自然式种植；植物设计需接驳山水，使山水融成一体；对驳岸有遮有露，造水出无源之感； 植物宜柔软、飘逸耐修剪种，以观赏性种植为基调，多色叶、开花类；可点缓水生植物。	南部：垂柳、鸡蛋花、野牡丹、杜鹃 中部：垂柳、水杉、迎春、红枫 北部：旱柳、腊梅、红枫、槲棠、

（三）功能性场地 首选喜日照时间长、无浆果及分泌物降落品种；配置要求及注意事项如下。

根据场地使用人群进行绿化主题性种植与区分，并明确种植事项如下。

注意事项，其中遮阳苗木南方宜常绿，北方宜落叶（冬不蔽日），

功能场地	场地属性	规范要求	植物配置原则	品种建议
儿童活动场地	服务儿童为主；场地喧闹，日照时间常，部分区域设置与主干道相接壤	1)儿童游乐区严禁配置有毒、有刺等易对儿童造成伤害的植物。 2)儿童活动场内宜种植萌芽力强、直立生长的中大型灌木或乔木，并宜采用通透式种植，便于成人对儿童进行看护。	1) 种植形式不限，但需进行分隔性种植；节点指引性密植，不少于30㎡的草坪外拓； 2) 宜科普性、趣味性、知识性种植为主题；品种为强阳或喜阳品种； 3) 遮阳性考虑，南方宜常绿乔木为基调；北方宜落叶为基调（冬不蔽阳）	南部:洋紫荆、凤凰木、香樟、杨桃 中部: 银杏、乐昌含笑、紫玉兰、紫薇 北部: 银杏、柿子树、鸡爪槭、山杏
健康慢跑道 户外健身区	服务群体不限；有白天及夜晚需求；运动强度一般；有遮阴需求	近人区域忌有毒有刺易过敏品种；忌香味浓郁品种	1) 种植形式不限；为舒适性考虑，步道转角处水平视线内宜通透式种植； 2) 有遮阴需求，可行道树或分段式片林； 3) 宜设置分段式观赏植物主题及保健型植物栽植，以形成智慧科学的绿色式健身	南部:香樟、小叶榄仁、九里香 中部: 香樟、天竺桂、桂花、含笑 北部: 樟子松、蒙古栎、天山圆柏
运动场地	服务群体不限；运动强度大，有噪音		种植形式不限，但需进行分隔式密植，以减噪为第一考虑，并打造高氧的小气候环境	南部:大叶杜英、香樟、灰莉 中部: 广玉兰、乐昌含笑、法国冬青 北部: 蒙古栎、大叶榆、圆柏
宠物乐园	过程存污染情况，需考虑放养及保护环境的结合		1) 种植形式不限，但分隔性密植需加强；不少于30㎡的草坪外拓； 2) 有遮阴性及观赏性需求，可加强观赏性种植	南部: 香樟、风铃木、桂花 中部: 广玉兰、黄山栎、香樟 北部: 大叶榆、五角枫、圆柏
开心农场	过程存污染情况及噪音产生；功能性种植区域		种植形式不限，但需分隔性种植形成封闭空间；入口区域宜组团式点景指引性种植； 遮阴性需求较大，可列植形式及片林形式； 首选减噪、抗污染品种； 3) 观赏性种植需求一般，中下层宜常绿为主。	南部:小叶榄仁、香樟、翠芦莉 中部: 香樟、重阳木、红叶石楠 北部: 银杏、红花刺槐、朝鲜黄杨

（四）园路系统

园路系统植物配置原则				
功能场地	场地属性	规范要求	植物配置原则	品种建议
一级 主干道	人流量大；与各级园路、空间接驳口多，有消防需求；部分项目兼有行车需求	园路两侧的种植应符合下列规定： 1 植物不应遮挡路旁标识； 2 通行机动车辆的园路，两侧的植物应符合下列规定： 1) 车辆通行范围内不应有低于4.0m高度的枝条； 2) 车道的弯道内侧及交叉口视线三角形范围内，不应种植高于车道中线处路面标高1.2m的植物，弯道外侧宜加密种植以引导视线； 3) 交叉路口处应保证行车视线通透，并对视线起引导作用。 3 近人区域忌有毒有刺易过敏品种；忌香味浓郁品种； 4 行道树应选择深根性、分枝点高、冠大荫浓、生长健壮、适应城市道路环境条件，且落果对行人不会造成危害的树种； 5 满足国家及地方消防规范。	1) 宜规则式列植，加强园路指引性，快速通过； 2) 列植行道树品种及规格需以项目定位相匹配，形成主路的气势和氛围； 3) 遮阳性需求强，南方宜常绿乔木为基调；北方宜落叶为基调（冬不蔽日）； 4) 中下层观赏性种植除接驳处外，宜简单处理，避免行人在主路上随时逗留； 5) 行道树种植时，枝下净空》2.2米。	1)南部:银海枣、香樟 2)中 部: 银 杏、 洋紫荆 3)北部: 银杏、垂榆
二级 园路	人流量较少，为便捷式人性归家道路，兼顾有一定的观赏性需求		1) 种植形式不限；归家指引与观赏性并存，植物种植需收放有序，控制节奏； 2) 有遮阴需求，宜华林形式进行，满足功能与观赏需求	1)南部:风铃木、小叶榄仁 2)中 部: 榉 树、 紫玉兰 3)北部: 五角枫、白栎
三级 游园路	多为宁静散步式小道，观赏性需求较强		1) 宜自然式种植；可接势形成各种主题小径 2) 需加强植物观赏性的营造	1)南部:黄槐、黄槿 2)中部: 香樟、竹 3)北部: 金枝槐、樱花

园林道路为景观游憩型干道，兼顾观赏和归家功能，需从人的需求出发，设计可供住户游赏及指引明晰的植物景观空间；配置要求及注意事项如下

三、结束语

经济快速发展，植物景观表现良莠不齐。有初心，能生态，方能怡人。搭建植物景观底线，延续植物人文生态。为业主打造“智慧、健康、和谐”新社区。

参考文献

[1]GB 50420-2007. 城市绿地设计规范 (2016 年版) [S]. 北京：中国计划出版社，2016.

[2]昆明市市场监督管理局. 公园绿地设计规范：DB5301/T 19-2025[S]. 2025.

[3]杰基尔. 花园的色彩设计 [M]. 尹豪，王美仙，郝培尧，译. 北京：中国建筑工业出版社，2011.

[4]顾小玲. 花之景：植物配置艺术设计 [M]. 南京：江苏凤凰科学技术出版社，2015.

[5]顾小玲. 景观植物配置设计 [M]. 上海：上海人民美术出版社，2008.

[6]陈卫元，胡正勤. 瘦西湖园林植物及造景特色 [M]. 南京：江苏广陵书社，2019.

[7]林福昌. 西湖风景园林艺术 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2018.

工业厂房钢筋混凝土框架结构设计策略

朱晓霞

博罗县建筑设计院, 广东 惠州 516100

DOI:10.61369/ADA.2025020051

摘 要 : 文章以某工业厂房项目为研究对象, 围绕工业厂房钢筋混凝土框架结构设计展开系统分析。文章阐述工程概况, 深入探讨工业厂房钢筋混凝土框架结构设计的重要性, 剖析设计过程中的关键难题, 提出针对性设计策略, 旨在为同类工业厂房钢筋混凝土框架结构设计提供可借鉴的思路与方法, 保障工业厂房结构安全稳定、功能适配生产需求, 同时提升工业建筑设计的整体质量与经济性。

关 键 词 : 工业厂房; 钢筋混凝土框架; 结构设计; 策略

Design Strategies for Reinforced Concrete Frame Structures of Industrial Buildings

Zhu Xiaoxia

Boluo County Architectural Design Institute, Huizhou, Guangdong 516100

Abstract : This paper systematically analyzes the reinforced concrete frame structure design of an industrial plant building, using a specific industrial facility project as the research subject. The paper outlines the project overview, emphasizes the significance of reinforced concrete frame structure design for industrial plants, dissects key challenges during the design process, and proposes targeted design strategies. It aims to provide reference ideas and methods for similar reinforced concrete frame structure designs in industrial plants, ensuring structural safety and stability while meeting production requirements. Concurrently, it seeks to enhance the overall quality and economic efficiency of industrial building design.

Keywords : industrial plant; reinforced concrete frame; structural design; strategy

引言

钢筋混凝土框架结构凭借承载能力强、稳定性佳、空间可塑性高的优势, 成为工业厂房的主流结构形式之一。某工业厂房项目作为典型案例, 涵盖地下消防水池、电梯基坑、多标高吊车梁等复杂设计内容, 在满足工业生产多样化功能需求的同时, 也面临荷载复杂、多专业协同难、地下结构防水等一系列设计挑战。深入研究此类项目的钢筋混凝土框架结构设计策略, 不仅能有效解决项目实际设计问题, 更能为行业内同类项目提供参考, 具备重要的工程实践价值与行业指导意义。

一、工程概况

本研究依托的某工业厂房项目, 项目整体布局为地上4层、地下1层, 其中地下1层为无等级人防工程, 同时包含地下消防水池, 地下室防水等级需严格遵循相关规范要求。基础设计方面, 项目采用天然地基基础, 基础埋深暂定内地台下2000 mm, 同时配套静压预应力混凝土管桩基础设计与施工, 管桩类型涵盖摩擦桩、端承桩等, 需通过试桩确定单桩承载力特征值。厂房内部包含多组楼梯结构、5.30米及12.00米标高处吊车梁、电梯基坑等关键设施, 各结构构件混凝土强度等级覆盖C20(素混凝土垫层)、C25(预制构件)、C30(梁板、天面)、C35(基坑、柱)、C50(特殊受力构件)等, 钢筋主要选用HRB400级, 部分构件涉及CRB550级钢筋, 全面呈现了工业厂房钢筋混凝土框架结构

的复杂性、功能性与专业性。

二、工业厂房钢筋混凝土框架结构设计的重要性

(一) 有利于规避安全风险

工业厂房的生产场景具有荷载大、设备重、作业环境复杂的特点, 如重型设备长期运行、货物集中堆放、吊车频繁作业等, 对结构的承载能力与稳定性提出极高要求。钢筋混凝土框架结构作为厂房的受力核心, 其设计质量直接决定整体结构的安全底线。科学的钢筋混凝土框架结构设计, 通过精准计算恒载、活载、吊车荷载、地震作用等各类荷载, 优化结构布置与构件选型, 合理确定材料强度等级, 能确保结构在各类工况下保持稳定, 有效抵御荷载冲击与环境影响, 从根本上规避安全风险, 为

企业生产安全提供坚实保障^[1]。

（二）有利于提升运营效率

工业生产对厂房空间布局、层高、楼面荷载、设施配套的需求具有显著多样性，如办公室需满足人员办公的轻便荷载与舒适空间，车间需适配大型设备安装与物料运输的大跨度、大空间，实验室需承载精密仪器的集中荷载。钢筋混凝土框架结构凭借良好的空间可塑性，能通过灵活的柱网布置、合理的层高设计与差异化的荷载适配，满足工业生产的个性化需求。合理的框架结构设计能使厂房空间布局与生产流程高度契合，减少空间限制对生产的影响，提升企业运营效率。

（三）有利于优化工程成本控制

工业厂房建设投资规模大，结构设计阶段对工程成本的影响占比超60%，科学的设计是实现成本优化的关键。钢筋混凝土框架结构设计中，材料选型、构件尺寸确定、施工工艺选择等环节均与成本直接挂钩。某工业厂房项目在成本控制方面提供了典型参考，在基础设计结合地质勘察报告下，优化静压预应力混凝土管桩的桩长与桩型，在确保单桩竖向承载力特征值满足要求的前提下，避免不必要的桩长增加；在混凝土强度等级选择上，根据构件受力特性差异化配置，如垫层用C20、梁板用C30、基坑与柱用C35，实现材料性能与受力需求的精准匹配；在钢筋连接方式上，明确直径大于25 mm时采用机械连接，既保障连接质量，又避免焊接工艺的额外成本。通过此类设计优化，能在保障安全与功能的基础上，有效控制工程建设成本，实现项目经济合理性。

三、工业厂房钢筋混凝土框架结构设计的难题

（一）复杂荷载下结构受力分析的精准性难题

工业厂房承受的荷载类型远复杂于民用建筑，除自重、楼面荷载等常规荷载外，还包含吊车冲击荷载、设备振动荷载、温度应力荷载、地质水文荷载（如地下水浮力）等，且部分荷载具有随机性（如吊车作业位置变化）与动态性（如设备运行振动），给结构受力分析带来极大挑战^[2]。

某工业厂房项目中，吊车梁需承受100 kN竖向荷载及附加冲击系数，同时传递水平制动力至框架柱，导致梁柱节点产生复杂的内力响应；地下结构需抵抗地下水浮力，若浮力计算偏差，可能导致底板开裂；此外，厂房跨度较大，需考虑温度变化引发的结构伸缩变形，避免裂缝产生。设计过程中，若荷载计算遗漏荷载组合系数取值不当，或未充分模拟动态荷载对结构的影响，可能导致结构设计偏于不安全或过于保守，难以精准把握结构真实受力状态，增加设计风险。

（二）多专业协同设计的衔接性难题

工业厂房设计涉及结构、建筑、电气、给排水、暖通、消防等多个专业，各专业设计内容相互关联、相互制约，钢筋混凝土框架结构设计需与其他专业深度协同，才能避免设计冲突。但实际设计过程中，多专业协同常面临三大问题：一是设计进度不同步，如建筑专业调整墙体布局后未及时反馈结构专业，导致结构

梁、柱受力体系需重新验算；二是设计标准不统一，如电气专业管线预留孔洞尺寸与位置未结合结构钢筋布置，导致孔洞与主筋冲突，需重新调整钢筋配置；三是信息沟通不及时，如给排水专业消防管道走向与框架梁冲突，未提前协调导致后期施工凿梁，影响结构安全。

（三）地下结构防水与抗渗的设计挑战

包含地下设施（如地下消防水池、地下室）的工业厂房，地下结构防水与抗渗是设计的重点与难点。地下环境长期受地下水侵蚀，若防水设计不当，易出现渗漏问题，不仅影响地下空间使用功能，还会腐蚀钢筋、损害混凝土结构，缩短结构使用寿命。

某工业厂房项目地下消防水池与地下室设计中，面临多重防水挑战：一是混凝土自身抗渗性能要求高，需控制混凝土配合比、确保施工密实度，同时明确抗渗等级P8，但实际设计中需结合地下水腐蚀性，额外考虑防腐措施；二是节点防水处理复杂，如底板与墙体交接处、管桩与承台连接节点、预留孔洞周边，易形成防水薄弱环节，需专项设计止水带、密封膏等构造；三是排水系统协同设计，需合理设置集水井、排水沟，避免地下水积聚导致水压过大。若上述环节设计疏漏，可能导致地下结构渗漏，后期维修难度大、成本高。

（四）大跨度与重型构件的设计与施工协调难题

工业厂房为满足设备安装与物料运输需求，常设置大跨度梁、板及重型构件，此类构件设计需兼顾受力安全与施工可行性，但两者间易存在矛盾，从受力角度，大跨度构件需增大截面或增加配筋以控制挠度与裂缝；从施工角度，过大截面或承重构件会增加模板支撑、吊装运输的难度，甚至受现场施工条件限制无法实施。此外，重型构件的节点连接（如吊车梁与框架柱连接）需专项设计，确保传力可靠，但连接构造的复杂性可能增加施工难度，若设计与施工衔接不畅，易影响施工质量^[3]。

（五）抗震与耐火设计的双重适配难题

工业厂房作为重要生产设施，需同时满足抗震与耐火设计要求，但两者在部分设计环节存在协同难度：抗震设计要求构件具备一定延性（如钢筋锚固长度、节点构造需满足抗震等级），耐火设计要求构件具备足够的耐火极限（如钢筋保护层厚度需满足防火规范），若设计未统筹考虑，可能导致两者无法同时适配。

四、工业厂房钢筋混凝土框架结构设计策略

（一）基于荷载精细化分析的结构优化设计策略

针对工业厂房荷载复杂的特点，需采用“荷载分类—精准计算—动态模拟—优化适配”的全流程设计策略，确保结构受力分析精准可靠。按荷载类型分类梳理，恒载需细化构件自重、装修面层重量，活载按不同区域功能明确标准，特殊荷载（吊车冲击、设备振动）需结合设备参数与规范要求确定；其次，采用专业结构计算软件进行荷载组合计算，严格遵循建筑结构荷载规范，考虑基本组合、偶然组合等不同工况；再者，对动态荷载（如设备振动）采用有限元分析软件进行动态模拟，验算结构共振频率，避免共振风险；最后，基于荷载分析结果优化结构布置，

如吊车梁区域采用框架柱加密布置，大跨度梁采用“宽扁梁”形式减少截面高度对空间的影响，同时优化钢筋配置。某工业厂房项目通过此类策略，针对5.30米、12.00米标高处吊车梁，专项计算竖向荷载、水平制动力及冲击荷载，优化梁截面尺寸与配筋，确保构件受力安全；地下结构结合地下水浮力计算，优化底板厚度与配筋，同时设置抗浮锚杆，有效抵御浮力影响^[4]。

（二）多专业协同的一体化设计策略

为解决多专业协同衔接难题，需构建“前期统筹－过程同步－成果校验”的一体化设计机制。前期阶段，组织各专业召开设计启动会，明确设计范围、技术标准与协同节点；过程阶段，采用BIM技术搭建协同设计平台，各专业在同一模型中同步设计，实时碰撞检测，及时发现并解决冲突；成果校验阶段，设计完成后组织多专业会审，重点核查结构与其他专业的衔接内容，同时明确施工阶段的协同要求。

（三）地下结构防水抗渗的专项设计策略

针对地下结构防水抗渗难题，需采用“材料－构造－施工”三位一体的专项设计策略。材料层面，选用抗渗混凝土（如抗渗等级P8），合理添加防水剂与膨胀剂，同时控制混凝土水胶比（不大于0.5），提升混凝土自身抗渗性能；在构造层面，重点强化防水薄弱节点：底板与墙体交接处设置钢板止水带，管桩与承台连接节点采用密封膏封严，预留孔洞周边增设环形加强筋与止水环，地下消防水池内壁采用防水砂浆抹面；施工层面，在设计文件中明确施工要求：混凝土浇筑需连续进行（避免施工缝），振捣密实，养护时间不少于14天，回填土前需排除积水、清理虚土，分层夯实（压实系数不小于0.94）。某工业厂房项目地下消防水池设计中，通过上述策略，混凝土采用C35P8，墙体与底板交接处设300宽钢板止水带，预留孔洞周边配置 $\phi 12@150$ 环形加强筋，有效保障地下结构防水抗渗性能，避免渗漏风险。

（四）大跨度与重型构件的设计－施工协同策略

大跨度与重型构件设计需提前与施工环节衔接，采用“设计优化－施工可行性论证－专项方案协同”的策略。设计优化阶段，在满足受力要求的前提下，尽量减小构件自重与截面尺寸

（如大跨度梁采用预应力混凝土，吊车梁采用工字形截面），同时明确构件分段划分（如超长梁设置后浇带）；施工可行性论证阶段，联合施工单位对重型构件（如吊车梁、大型柱）的吊装方案进行论证，确定吊装点位置、起重机选型与运输路径，设计中预留吊装预埋件；专项方案协同阶段，针对模板支撑、构件安装等关键施工环节，设计单位需提供技术支持，如大跨度模板支撑体系需按危大工程专项设计，明确支撑间距、立杆选型，同时验算支撑体系承载力。

（五）抗震与耐火的统筹适配设计策略

针对抗震与耐火设计的协同难题，需采用“参数统筹－构造协同－性能验证”的设计策略。参数统筹阶段，明确抗震等级与耐火等级的对应关系，如二级抗震等级与二级耐火等级下，梁、柱钢筋保护层厚度需同时满足抗震锚固要求与耐火极限要求（如梁保护层厚度不小于25mm）；在构造协同阶段，优化节点设计：抗震设计中，梁端箍筋加密区长度按规范要求（如一级抗震 $\geq 2h_b$ ， h_b 为梁高），同时确保加密区钢筋间距满足耐火要求（避免间距过大导致混凝土剥落）；柱纵筋连接采用机械连接，既保障抗震延性，又避免焊接接头的耐火薄弱点；性能验证阶段，采用专业软件验算构件耐火极限，如梁、柱在标准耐火时间内的温度场分布，确保钢筋温度不超过临界值，同时验算抗震性能（如层间位移角）满足规范要求^[5]。

五、结束语

工业厂房钢筋混凝土框架结构设计是一项融合安全、功能、经济、施工的系统工程，需结合项目实际需求，针对性解决荷载复杂、多专业协同、地下防水等难题。此类设计策略不仅能有效解决某工业厂房项目的实际问题，也为同类工业厂房钢筋混凝土框架结构设计提供参考。未来工业厂房设计中，还需进一步结合BIM、装配式等新技术，推动结构设计向更高效、更绿色、更智能的方向发展，为工业高质量发展提供坚实的建筑结构支撑。

参考文献

- [1] 姜军强. 分析工业厂房钢筋混凝土框架结构设计[J]. 居业, 2020(5):30-31.
- [2] 高兴晋. 钢筋混凝土框架与金属屋面组合结构施工技术研究[J]. 城市情报, 2020(2):214-215.
- [3] 周忠. 加固在混凝土框架结构工业厂房应用[J]. 中华建设, 2020(3):182-183.
- [4] 李其成, 吴珂, 徐彬, 等. 某超限框架结构厂房动力弹塑性分析及改进[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2020, 38(2):24-28.
- [5] 阮晓赞, 崔扬, 屈靖, 等. 钢筋混凝土结构梁柱增大截面低损伤加固施工技术研究[J]. 建筑技术, 2025, 56(11):1391-1394.

建筑结构设计中的抗震结构设计理念

姚震

中国能源建设集团广东省电力设计研究院，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020052

摘 要： 文章旨在系统阐述建筑抗震设计的核心原则、理念及实施策略，以提升建筑结构在地震作用下的安全性与可靠性。研究明确了结构简化、整体性与规则性三项基本原则，进而探讨了规则对称、刚度控制及数字化建模等现代设计理念，为抗震分析提供理论依据；最后，从材料选择、体系协同、结构选型、地基处理及多道防线等维度提出具体设计策略，形成完整的抗震设计方法体系，为工程实践提供参考。

关 键 词： 建筑结构设计；抗震结构；设计理念

Seismic Design Concepts in Architectural Structure Design

Yao Zhen

China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper aims to systematically elaborate on the core principles, concepts, and implementation strategies of seismic design in buildings, with the goal of enhancing the safety and reliability of architectural structures under seismic action. The study identifies three fundamental principles: structural simplification, integrity, and regularity, and further explores modern design concepts such as regular symmetry, stiffness control, and digital modeling, providing a theoretical basis for seismic analysis. Finally, specific design strategies are proposed from dimensions such as material selection, system coordination, structural selection, foundation treatment, and multiple lines of defense, forming a complete system of seismic design methods to serve as a reference for engineering practice.

Keywords： architectural structure design; seismic structure; design concepts

引言

地震作为一种突发性强、破坏性大的自然灾害，对建筑安全构成严重威胁。随着城市化进程加快，建筑结构抗震设计的重要性日益凸显。文章基于抗震设计理论发展与工程实践需求，系统梳理抗震设计的基本原则、核心理念与实施策略，旨在构建科学合理的设计框架，为提升建筑抗震能力、保障人民生命财产安全提供理论支撑与实践指导。

一、抗震性设计原则

（一）结构简化准则

在长期的结构抗震设计实践中，人们逐渐认识到：建筑结构的布置形式越简洁，其受力路径就越明确，相应的抗震能力也越强。这类简洁的结构体系在进行力学分析时，不仅计算过程更加可靠，所得结果的精确度也更有保障。因此，在实际工程设计中，建议根据具体条件对建筑抗震计算模型进行合理简化，通过优化构件间的受力传递机制，显著增强建筑物抵御地震作用的能力。这种基于简化思想的设计策略，能够从本质上改善建筑结构的抗震性能，为工程安全提供有力保障。

（二）结构整体性原则

结构整体性原则强调将建筑物视为一个完整的受力体系，在抗震设计中要求各组成部分协同工作、共同抵抗地震作用。这一

原则要求抗震设计不应局限于局部构件或特定部位，而需要贯穿于建筑方案规划、结构计算和细部设计的全过程，通过系统化的设计方法确保建筑在地震作用下的整体性能。设计时需要全面考虑可能影响结构抗震性能的各类因素，包括荷载传递路径、构件连接性能和非结构构件的影响等。通过建立精确的数字化模型对结构参数进行系统分析和优化，可以有效提升整体结构的抗震能力。同时，该原则还要求各个结构构件必须满足相应的抗震构造措施，确保构件之间的可靠连接和力的有效传递。通过避免出现应力集中和薄弱环节，保证地震作用下结构系统的完整性和协同工作能力，从而提高建筑整体的稳定性和安全可靠。整体性原则的确立，为构建安全可靠的抗震结构体系提供了理论基础和实践指导^[1]。

（三）结构规则性原则

结构规则性原则是建筑抗震设计中的基础性准则，其核心在

于通过保持建筑形体与结构布置的规律性来提升抗震性能。这一原则主要包含两个层面的要求：在竖向规则性层面，建筑沿高度方向的形体、刚度及承载力分布应当连续均匀，避免出现突变。这种连续性要求能够确保地震作用力在竖向传递过程中保持流畅，防止因局部薄弱环节引发应力集中或过大变形，从而维持结构的整体稳定性。在平面规则性层面，建筑平面形状宜简洁规整，内部抗侧力构件布置应均衡对称。这种布置方式旨在实现建筑质量分布与结构刚度分布的协调统一，通过减小质量中心与刚度中心的偏心距，有效控制地震时可能出现的扭转效应，确保各结构构件能够协同工作。规则性原则的确立源于对地震灾害的深入观察与研究。大量震害资料表明，形体复杂、布置不规则的建筑往往在地震中遭受更严重的破坏。该原则通过强化建筑结构的规律性，为地震能量的传递与消散提供了清晰路径，从而显著增强建筑的整体抗震能力，是实现“大震不倒”设防目标的重要保障^[2]。

二、抗震结构设计的设计理念

（一）形体与结构的规则对称理念

建筑形体与结构布局的规则对称是抗震设计中的核心理念。当建筑结构存在明显的不规则或不对称性时，会显著削弱其抵御地震作用的能力。这种不规则性可能导致结构刚度分布不均，在地震作用下引发扭转效应或应力集中，从而降低建筑的整体抗震性能。在具体设计中，这一理念要求严格控制建筑物的刚度分布与质量分布，确保二者在平面和竖向均保持协调统一。通过使结构承载力均匀分布，并尽可能实现双向对称的结构布置，可以有效提升建筑在地震作用下的整体协同工作性能。这种对称均衡的布局不仅有利于地震力的传递与分配，还能显著降低因偏心引起的扭转振动。在确定结构方案前，还需对建筑场地条件进行全面评估。场地的地质条件、土层特性及地震活动特征都应纳入考量范围，确保所选择的基础形式既能满足上部结构的受力需求，又能与场地条件形成良好匹配，为整体结构的抗震性能提供可靠保障。这一系统性的设计理念贯穿于从场地评估到结构选型的全过程，是实现建筑抗震安全的重要基础。

（二）基于刚度控制的抗震设计理念

在建筑抗震设计中，通过科学的刚度设计来提升结构抗震性能是一项重要理念。建筑结构在地震作用下将承受来自不同方向的复杂作用力，这就要求其必须具备足够的刚度和强度来抵御这些力的影响。这一理念特别强调对抗扭转刚度的精确把控。需要通过严谨的计算分析，确保结构在遭遇地震冲击时能够有效控制扭转变形，避免因刚度分布不均导致的结构失稳或破坏。刚度设计作为抗震设计的关键环节，要求对结构体系中各构件的刚度特性进行统筹考虑。基于整体性原则，每个结构构件的刚度配置都应当符合规范要求，并通过系统的刚度协调，使建筑整体形成合理的刚度分布体系。这种以刚度控制为核心的设计理念，能够确保建筑在地震作用下保持足够的稳定性与完整性，从而显著提升其抗震性能。该理念的确立，为构建安全可靠的建筑结构提供了

重要的理论依据和实践指导。

（三）数字化建模与仿真分析理念

在当代抗震设计领域，运用计算机技术构建精确的建筑力学模型已成为重要设计理念。基于计算机科学的分析方法能够对建筑结构的各项抗震参数进行精准计算与评估，为提升结构抗震性能提供科学依据。这一理念的核心价值在于通过数字化仿真手段，模拟建筑结构在各类荷载工况，特别是地震作用下的力学响应与变形特征。借助先进的数值分析技术，设计人员能够预测结构在地震波作用下的动力行为，识别潜在薄弱环节，从而在图纸设计阶段进行针对性优化。通过建立高精度的三维计算模型，可以更真实地反映建筑结构的实际受力状态，有效评估其抗震能力是否满足设防要求。在当前的工程实践中，依托信息技术开展的参数化分析、智能化建模等工作，显著提升了抗震设计的精确度与可靠性。这一技术理念的广泛应用，不仅革新了传统设计方法，更为构建安全可靠的建筑结构提供了强有力的技术支撑^[3]。

三、基于设计理念的抗震结构策略

（一）基于材料延性与强度的抗震设计策略

在高层建筑抗震设计中，选用兼具优良延性和较高强度的工程材料是一项关键策略。延性材料在地震作用下能够通过显著的非弹性变形来耗散地震输入能量，从而降低结构的地震反应。与此同时，高强材料能够为结构提供足够的抗力储备，确保主体结构在大震作用下仍能维持其基本承载功能。当前工程实践中，钢材与混凝土是体现这一设计策略的典型材料。钢材以其出色的延展性能和较高的屈服强度，常被用于构建高层建筑的抗侧力框架体系。在地震激励下，钢构件可通过可控的塑性变形机制吸收能量，有效维持结构的整体性。混凝土材料则凭借其优越的抗压能力和经过适当配筋后获得的延性特性，广泛应用于柱、梁及剪力墙等主要抗侧力构件中。通过合理的配筋设计，混凝土构件能够在地震过程中发挥塑性耗能作用，保障结构的抗震稳定性。此外，采用复合材料技术进一步提升材料性能也是重要的设计手段。例如，在混凝土基体中掺入钢纤维或合成纤维，能够显著改善其延性性能和抗裂能力；在钢结构中应用高强度钢材或采用屈服约束支撑等特种构件，可以进一步提升结构的抗震效能。这些基于材料性能优化的设计策略，共同构成了提升建筑结构抗震可靠性的重要技术途径。

（二）基于整体协同的抗震结构设计策略

在建筑抗震设计中，应采用系统思维将建筑视为由多个子系统构成的有机整体。通过各分结构之间的协同工作机制，形成能够有效抵御地震作用力的完整受力体系，从而显著提升建筑结构的整体抗震性能。在具体设计过程中，需要根据不同的结构体系特点采取差异化的抗震对策。对于框架结构、剪力墙结构、框剪结构等不同体系，应制定针对性的抗震设计方案，同时综合考虑各体系对建筑工程安全性与经济性的影响，寻求最优平衡点。此外，设计过程中还需结合工程所在地的抗震设防要求、地质条件等具体因素，在结构承载力设计中预留合理的安全储备。通过运

用现代信息技术手段，可以精确模拟和分析地震作用在结构中的传递路径与分布规律，据此优化结构布置与构件设计，最大限度地提升建筑物在地震作用下的整体性能表现。这种基于整体协同理念的设计策略，能够有效保障建筑结构在大震作用下的安全性与可靠性^[4]。

（三）基于性能与条件适配的结构选型设计

在建筑抗震设计中，选择科学合理的结构形式是实现抗震安全与经济平衡的关键环节。当前工程实践中，钢筋混凝土结构因其良好的整体工作性能、适中的延性表现以及相对经济的造价，成为广泛采用的结构类型之一。然而，这类结构在承受持续或强烈地震作用时，其刚度退化现象较为明显，易出现裂缝扩展乃至构件损伤等问题。虽然现代钢筋混凝土技术在施工工艺方面日趋成熟，但在控制结构变形能力和维持强度稳定性方面仍存在提升空间。有鉴于此，在确定最终结构方案时，设计人员需要建立多因素决策模型，全面考量建筑场地工程地质条件、区域地震活动特征、设防烈度要求以及项目投资限额等关键参数。通过系统评估不同结构体系在特定条件下的抗震表现与经济指标，最终选定与项目需求最匹配的结构形式。这种基于性能与条件适配的选型设计方法，既能确保建筑结构具备足够的抗震能力，又能实现技术合理性与经济可行性的统一，为建筑抗震安全提供坚实基础。

（四）基于场地评估的抗震地基设计

在建筑抗震设计体系中，科学合理的场地选择是确保结构安全的基础性环节。优先考虑地质构造稳定、地形平缓开阔的建设场地，能够从源头上降低地震灾害风险。在确定场址后，需对表层土体及下卧土层的物理力学性能进行系统检测，重点评估土壤密实度、抗剪强度与承载力等关键参数，确保地基条件与上部结构的荷载要求相匹配。选址过程中应主动避开地质活动断裂带、河岸滑坡易发区、地下采空区等不良地质区段，这些区域在地震

作用下易产生放大效应或土体失稳，严重威胁建筑安全。当客观条件限制必须在软弱地基或不利地段建设时，需采取针对性的地基改良方案，如换填垫层、桩基加固或土体加密等技术措施，通过提升地基的整体性与承载性能，为上部结构提供可靠支撑。这种基于详细场地评估的地基设计策略，构成了建筑抗震体系的第一道防线。

（五）基于多道防线的抗震体系设计

在建筑抗震设计中，建立多道防线的抗震体系是提升结构安全度的重要策略。该策略要求结构体系应具备多层次的抗震机制，确保当某一道防线在地震作用下失效时，其他防线仍能继续承担地震作用，防止结构发生连续倒塌。通过设置多道抗震防线，如框架-剪力墙双重体系，使结构在不同强度地震作用下表现出分阶段的抗震性能。其次，合理分配结构构件的抗震角色，明确第一道防线（如连梁）作为主要耗能构件，第二道防线（如墙体、框架）作为保证结构不倒塌的关键构件。通过控制结构的屈服机制，使结构按照预设的顺序逐步发挥塑性变形能力，实现最优的能量耗散。在具体实施中，需要精心设计构件的强度关系，确保“强柱弱梁”、“强剪弱弯”等基本设计原则得到贯彻。这种基于多道防线的设计策略，不仅显著提升了建筑在大震下的抗倒塌能力，还为结构提供了可靠的安全储备，是现代抗震设计中的重要组成部分^[5]。

结束语：文章通过系统分析抗震设计的原则、理念与策略，强调了建筑抗震设计在工程实践中的关键作用。研究表明，基于简化、整体性与规则性的设计原则，结合刚度控制、数字化建模等先进理念，可显著提升建筑结构的抗震性能。未来研究需进一步探索新型抗震材料与智能防灾技术的融合应用，加强复杂场地条件下的抗震设计适应性分析，以推动抗震设计理论向精准化、智能化方向发展。

参考文献

- [1] 程智. 建筑结构设计中的抗震结构设计理念 [J]. 电脑校园, 2021(12): 7591-7593.
- [2] 蔡德亮. 建筑结构设计中的抗震结构设计理念的运用 [J]. 城市情报, 2021(11): 244-246.
- [3] 胡臣毅. 房屋建筑设计中抗震设计理念的具体实践 [J]. 砖瓦世界, 2025(2): 124-126.
- [4] 张文海. 房屋建筑设计中抗震设计理念的具体实践 [J]. 散装水泥, 2023(5): 169-171.
- [5] 张明浩. 建筑结构设计中的抗震结构设计理念 [J]. 建筑·建材·装饰, 2022(5): 172-174.

智慧电厂燃料全流程智能化管理系统开发研究

高杰, 马战南, 王东清

国能山西河曲发电有限公司, 山西 忻州 036500

DOI:10.61369/ADA.2025020012

摘 要 : 随着全球能源结构转型与 "双碳" 目标的推进, 传统燃煤电厂燃料管理面临效率低下、数据离散、碳排放控制粗放等挑战。本研究聚焦智慧电厂燃料全流程智能化管理系统开发, 通过融合物联网、大数据、人工智能等技术, 构建覆盖燃料入厂验收、存储掺配、输煤程控等环节的数字化管控平台。系统采用分层架构设计, 硬件环境配置高性能服务器集群与分布式存储系统, 软件环境整合 MySQL、HBase 数据库及 Spring Boot 开发框架, 实现多源异构数据的实时采集与智能分析。功能模块涵盖燃料接卸管理、三维库存可视化、配煤掺烧优化、数字孪生决策支持等核心功能, 通过改进型遗传算法与 LSTM 神经网络模型, 将燃煤掺烧精度提升至 0.5% 以内, 热值损耗降低 12%, 碳排放强度下降 15%–20%。

关 键 词 : 智慧电厂; 燃料管理; 智能化系统; 物联网; 大数据分析

Research on Development of Intelligent Management System for Whole Process of Smart Power Plant Fuel

Gao Jie, Ma Zhannan, Wang Dongqing

Guoteng Shanxi Hequ Power Generation Co., LTD. Xinzhou, Shanxi 036500

Abstract : With the global energy transition and the advancement of the "dual carbon" goals, traditional coal-fired power plants face challenges in fuel management such as inefficiency, data fragmentation, and coarse carbon emission control. This study focuses on developing an intelligent full-process fuel management system for smart power plants. By integrating IoT, big data, and AI technologies, we establish a digital control platform that covers all stages from fuel inspection upon arrival, storage blending, to coal transportation automation. The system adopts a layered architecture design, featuring high-performance server clusters and distributed storage systems in the hardware environment, while integrating MySQL and HBase databases with the Spring Boot development framework in the software environment to achieve real-time collection and intelligent analysis of multi-source heterogeneous data. Core functional modules include fuel unloading management, 3D inventory visualization, coal blending optimization, and digital twin decision support. Through improved genetic algorithms and LSTM neural network models, the system has reduced coal blending accuracy to within 0.5%, decreased calorific value loss by 12%, and lowered carbon emission intensity by 15%–20%.

Keywords : smart power plant; fuel management; intelligent system; internet of things; big data analysis

引言

随着全球能源结构转型加速和“双碳”目标的推进, 传统燃煤电厂燃料管理面临的效率低下、数据离散、碳排放控制粗放等问题日益突出。当前我国火力发电量仍占总发电量的60%以上, 燃煤燃料管理作为火电厂运营的核心环节, 其智能化水平直接关系到能源利用效率与环保效益^[1]。基于系统动力学构建的非化石能源扩张模型表明, 优化燃料管理流程可显著提升清洁能源占比, 这与我国构建新型电力系统的战略方向高度契合。

一、相关理论

(一) 智慧电厂基础理论

智慧电厂作为能源行业数字化转型的重要方向, 是以信息网

络为基础、技术创新为驱动, 面向发电生产高质量发展的新型生产模式。其核心内涵体现在对发电全生命周期的智能感知、实时分析与优化决策能力, 通过深度融合新一代信息技术与发电生产流程, 实现生产运行、设备管理、经营决策等环节的全面智慧

化。从技术特征来看，智慧电厂具备显著的智能化、信息化和集成化特点：智能化体现在基于大数据分析 with 人工智能技术的自主决策能力，能够实现设备状态预测、故障诊断及运行优化；信息化特征则表现为通过物联网、5G 等技术构建的全域感知网络，形成覆盖燃料入厂、存储、计量、配煤等全流程的数字化映射；集成化特点则通过信息 - 物理系统（CPS）架构实现，将物理发电设备与虚拟数字系统进行双向交互，形成跨系统、跨层级的协同管控体系。在发展趋势方面，智慧电厂建设正朝着体系化架构演进，逐步形成涵盖设备层、边缘层、平台层和应用层的四层架构体系，其中边缘层通过边缘计算节点实现数据实时处理，平台层构建工业互联网平台支撑多源数据融合，应用层则开发面向燃料管理、能耗优化等场景的智能化应用^[2]。

（二）燃料管理理论

燃料管理作为发电企业生产活动的重要环节，直接关系到电厂运行的经济性、安全性和可持续发展能力。在电力行业转型升级的背景下，燃料管理的目标已从传统的库存管控逐步转向通过智能化技术实现全过程优化。其核心目标包括保障燃料供应的稳定性、降低采购与存储成本、提升燃烧效率及减少环境污染^[3]。基于燃料特性、供应周期和生产需求的动态匹配，燃料管理需遵循安全优先、效益导向和低碳发展的基本原则。在电厂生产系统中，燃料管理不仅承担着燃料采购、接卸、存储及调配的全流程管控功能，还通过数据驱动的决策支持系统优化资源配置，为机组经济运行提供关键支撑。当前，随着智能传感、物联网和大数据技术的深度应用，燃料管理系统正朝着无人化、可视化和智能化方向演进。以煤场管理为例，通过建立智能数字化煤场管理系统，可构建三维可视化管控平台，实现堆取料机的无人精准操作和煤场无人值守，从而显著提升作业安全性和存储效率。

二、系统开发方案设计

（一）硬件与软件环境设计

系统开发方案设计需构建涵盖硬件与软件环境的综合性技术框架，以满足燃料全流程智能化管理的实时性、可靠性及扩展性需求。硬件环境方面，系统开发需要构建高可用性和高可靠性的基础设施平台，具体包括服务器集群、存储系统、网络设备及终端设备。服务器配置采用多核处理器与大容量内存架构，主控服务器建议选用双路至强处理器（如 Intel Xeon E5-2600 系列），内存容量不低于 256GB，并配置 RAID 10 冗余存储阵列以保障数据安全。存储系统采用分布式存储架构，结合高性能 SSD 硬盘与机械硬盘混合组网，实现热数据与冷数据的分级存储管理，总存储容量根据电厂年燃料吞吐量预测动态扩展，初始规划不低于 100TB^[4,5]。网络设备部署千兆工业以太网交换机与光纤骨干网络，关键节点配置冗余链路以消除单点故障风险，同时通过 VLAN 划分实现燃料管理、监控及办公网络的物理隔离。终端设备涵盖工业控制计算机、移动终端及智能感知终端，其中移动终端需支持 5G 通信协议以保障现场数据采集的实时性，智能终端包括 RFID 读写器、红外测温仪及智能称重设备，其接口协议需与系

统主站兼容。

（二）功能模块设计

本系统功能模块设计基于燃料全流程管理需求，采用分层架构模式构建核心功能单元，实现业务流程的数字化、自动化与智能化。燃料接卸管理模块以车辆调度与质量控制为核心，通过 RFID 射频识别技术与自动称重系统实现车辆入场信息采集，结合皮带秤、采样机等自动化设备完成燃料接卸全流程数据采集。系统通过数据库实时存储车辆信息、批次编号、皮重 / 毛重数据及采样结果，并与质检模块联动完成燃料质量判定。该模块采用事件驱动架构，通过消息队列实现实时数据推送，确保各环节操作的同步性与可追溯性。

燃料管理系统功能架构



三、系统实现与测试

（一）系统测试方法

本研究采用多层次、多维度的测试方法对系统进行科学验证，确保其功能、性能及稳定性满足工程应用需求。测试流程严格遵循 V 模型，覆盖单元测试、集成测试、系统测试及用户验收测试四个阶段。在测试方法选择上，针对不同模块特性采取差异化策略：对于燃料管理核心算法采用黑盒测试与白盒测试相结合的方式，重点验证逻辑正确性与边界条件处理能力；对物联网设备交互模块采用协议一致性测试与模拟仿真测试，确保传感器数据采集精度及通信协议兼容性；对 Web 端界面功能则采用自动化测试工具进行 UI 自动化测试，验证用户操作流程的完整性和响应效率。所有测试均基于 IEEE 829 标准构建测试用例库，共计设计有效测试用例 328 条，其中功能测试用例 216 条、性能测试用例 58 条、安全测试用例 54 条^[6]。

测试执行采用自动化测试与人工验证相结合的方式。自动化测试覆盖率达 78%，主要通过 Selenium 实现 UI 层测试、Postman 验证 RESTful API 接口，以及自研的算法测试脚本验证核心逻辑。人工测试聚焦于系统交互逻辑和异常处理场景，例如燃料运输车辆 GPS 轨迹偏移报警、燃料质检数据异常回退等特殊工况的响应能力。测试结果表明：系统功能模块测试通过率 98.5%，其中燃料配比优化算法在 1000 组仿真数据中的预测误差控制在 $\pm 1.2\%$ 以内；系统在 200TPS 并发压力下平均响应时间稳定在 1.8 秒，数据库连接池最大占用率 65%；安全测试发现的 12 个中低风险

险漏洞经修复后复测全部通过。

（二）系统优化与改进

系统实现与测试阶段基于前期设计框架完成了全流程智能化管理系统的核心功能开发，并通过模拟环境与实测数据相结合的方式对系统性能进行多维度验证。测试过程中发现部分模块在数据处理效率、算法响应速度及人机交互流畅性方面存在优化空间。研究团队针对测试数据中的关键指标进行深度分析，通过技术迭代与架构调整实现了系统性能的全面提升。

在算法优化方面，针对燃料配煤优化模块计算耗时较长的问题，引入改进型遗传算法替代原有传统算法。新算法采用动态种群规模控制策略与自适应交叉变异概率机制，通过设置多目标优化权重参数，将计算复杂度从 $O(n^2)$ 降至 $O(n \log n)$ 。实测表明，在相同算例条件下，改进算法平均运算时间缩短 42%^[7]，且最优解收敛精度提升至 98.7%。同时，对燃料库存预测模块的 LSTM 神经网络模型进行轻量化改造，通过特征筛选与注意力机制融合，有效减少冗余参数 35%，使预测响应时间从 12 秒降至 5 秒以内，预测准确率维持在 92% 以上^[8]。

四、结论

本研究针对传统电厂燃料管理中存在的信息孤岛、流程冗余及决策滞后等问题，系统构建了覆盖燃料全流程的智能化管理平台。通过多维度技术集成与业务流程重构，成功实现了燃料从接卸、存储、配煤到入炉的全链条数字化管控。系统基于物联网感知技术，在燃料接收环节部署智能采样装置与质量检测系统，结合三维激光扫描技术实时采集燃料物理特性参数，数据采集精度较传统方式提升 42%，有效解决了人工采样的主观偏差问题。在存储管理方面，通过建立燃料场三维数字化模型，结合气象数据与热值衰减预测算法，实现了燃料堆垛的动态优化布局，使燃料损耗率降低至 0.8% 以下，显著优于行业平均 1.5% 的水平^[9,10]。配煤优化系统采用改进型遗传算法与深度强化学习模型，融合锅炉燃烧特性、环保排放要求及经济性指标，构建了多目标动态优化模型，成功将燃煤掺烧经济性提升 6.3%，同时 SO_2 排放浓度稳定控制在超低排放标准限值内。

参考文献

[1] 何鲤军. 三维可视化技术在火电厂设备数据管理中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2022, 40(11): 40-42.

[2] 王海. 基于数据挖掘的大型燃煤电厂智能燃料质量检测系统 [J]. 自动化与仪表, 2025, 40 (03): 92-95+101.

[3] 马晨曦, 陈建平, 柴硕, 杨睿, 杜金刚, 赵轩, 王涛. 基于电厂燃料管理系统的数据库迁移方案 [J]. 热力发电, 2024, 53 (11): 112-118.

[4] 毕景智, 辛超, 谷树朋. 某电厂机组燃料控制设计优化与分析 [J]. 电站系统工程, 2024, 40 (03): 64-65+68.

[5] 王学琛, 冯丽. 智慧燃料管控系统在生物质电厂的研究与应用 [A] 2024 中国工业设备智能运维技术大会论文集 (下) [C]. 中国机械工业联合会、中国机电装备维修与改造技术协会, 中国石化出版社有限公司, 2024: 2.

[6] 崔凯, 李信, 闫聪. 电厂燃料管理系统智能化技术探析 [J]. 电力设备管理, 2024, (20): 113-115.

[7] 郭宝群. 电厂燃料和输煤系统节能指标分析及提升对策 [J]. 电器工业, 2023, (12): 70-74.

[8] 段伟江. 发电厂燃料系统的安全风险与应对措施 [J]. 集成电路应用, 2022, 39 (07): 174-175.

[9] 曹依琼. 试论电厂燃料输煤系统运行安全管理 [J]. 技术与市场, 2022, 29 (03): 193-194.

[10] 李军海, 贝运忠, 沈涛. 基于采购经济测算模型的智慧燃料系统开发 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (21): 58-60.

工业与民用建筑工程风险管理体系的构建与优化

李坊寿

广东 肇庆 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020001

摘 要： 本文围绕工业与民用建筑工程风险管理展开。阐述其发展阶段及特殊属性，分析现行体系问题，介绍风险因素分类方法。强调构建四级管理架构、完善组织、制度和技术体系。还涉及多种技术融合应用、评估模型开发、平台设计及人才培养等内容。

关 键 词： 工业与民用建筑；风险管理；体系构建

Construction and Optimization of Risk Management System for Industrial and Civil Building Engineering

Li Fangshou

Zhaoqing, Guangdong 510000

Abstract： This paper focuses on the risk management of industrial and civil building engineering. It expounds its development stages and special attributes, analyzes the problems of the current system, and introduces the classification method of risk factors. It emphasizes the construction of a four-level management framework and the improvement of organizational, institutional, and technical systems. It also involves the integrated application of multiple technologies, the development of evaluation models, platform design, and talent cultivation.

Keywords： industrial and civil building; risk management; system construction

引言

随着经济的发展和城市化进程的加速，工业与民用建筑工程的规模和复杂性不断增加，风险管理的重要性日益凸显。2020年发布的《关于推进新型建筑工业化与住宅产业化协同发展的指导意见》强调了建筑工程质量和安全的重要性，这为工业与民用建筑工程风险管理提供了政策依据。风险管理旨在识别、评估和应对不确定性因素，其经历了多个发展阶段。在工业与民用建筑工程领域，由于项目具有投资大、周期长等特点，风险来源复杂多样。国内外相关理论为风险管理体系构建提供支撑，但现行体系存在诸多问题。因此，深入研究工业与民用建筑工程风险管理体系的构建与优化具有重要的现实意义。

一、建筑工程风险管理理论基础

（一）风险管理基本概念与特征

风险管理是一个系统的过程，旨在识别、评估和应对可能影响项目目标实现的不确定性因素。其核心在于通过合理的方法和策略，将风险控制在可接受的范围内，以保障项目的顺利进行^[1]。风险管理的发展经历了多个阶段，从最初的简单风险识别，到如今的全面风险管理体系，不断适应着复杂多变的市场环境和项目需求。在工程建设领域，风险管理具有其特殊属性。工程建设项目通常具有投资大、周期长、技术复杂等特点，这些因素导致风险来源广泛且复杂多样。工业建筑工程和民用建筑工程在风险方面既有相似之处，又存在差异。例如，两者都面临着施工安全风险、质量风险等，但工业建筑工程可能更侧重于生产工

艺相关的风险，而民用建筑工程则更关注居住环境和使用寿命方面的风险。

（二）国内外研究理论基础

工业与民用建筑工程风险管理体系的构建与优化需建立在坚实的理论基础之上。国内外相关理论体系为其提供了重要支撑。其中，BIM技术在工程领域的应用日益广泛，它能够实现建筑信息的集成与共享，为风险管理提供准确的数据基础^[2]。PDCA循环强调计划、执行、检查 and 处理的动态管理过程，有助于不断优化风险管理策略。风险矩阵法则通过对风险发生的可能性和影响程度进行量化评估，为风险的识别、分析和应对提供了科学的方法。这些理论在工程风险管理中相互补充，共同为构建和优化工业与民用建筑工程风险管理体系奠定了基础。

二、工业与民用建筑工程风险管理现状分析

（一）现行管理体系存在问题

工业与民用建筑工程现行风险管理体系存在诸多问题。在设计阶段，风险评估往往缺失^[3]，这可能导致设计方案存在缺陷，无法充分考虑到各种潜在风险因素，如地质条件、气候影响等，从而为后续工程实施埋下隐患。施工过程中，风险控制滞后，对于施工进度、质量、安全等方面的风险不能及时察觉和处理，可能造成工程延误、质量不达标以及安全事故等不良后果。在运维阶段，风险跟踪不足，无法对建筑在使用过程中出现的结构老化、设备故障等风险进行有效监测和预警，影响建筑的正常使用和寿命。

（二）风险因素识别与分类

工业与民用建筑工程风险因素复杂多样。技术风险方面，包括施工技术不合理、施工工艺落后等，可能导致工程质量和进度延误^[4]。管理风险涵盖项目管理不善，如计划安排不合理、人员管理不到位、沟通协调不畅等，影响工程的顺利进行。环境风险涉及自然环境和社会环境，自然环境如恶劣天气、地质条件复杂等增加施工难度和不确定性；社会环境包括政策法规变化、周边居民干扰等，给工程带来潜在风险。通过 WBS - RBS 耦合方法建立包含技术、管理、环境风险的三维分类体系，有助于全面系统地识别风险因素，构建风险清单数据库，为后续风险管理提供基础。

三、建筑工程风险管理体系构建

（一）体系框架设计

1. 全生命周期管理框架

工业与民用建筑工程风险管理需建立涵盖决策、设计、施工、运维阶段的四级管理架构。决策阶段，要充分考虑项目可行性、投资收益等风险因素，进行全面的风险评估与预测^[5]。设计阶段，注重设计方案的合理性与安全性，对可能出现的结构风险、功能缺陷风险等进行分析与防控。施工阶段，面临着施工工艺、施工安全、施工质量等多种风险，需加强现场管理与监督，制定有效的风险应对措施。运维阶段，要考虑设备老化、使用功能退化等风险，建立完善的运维管理机制，确保建筑工程在全生命周期内的安全与稳定。

2. 多维度控制体系

组织体系层面，需明确各参与方在风险管理中的职责与分工，建立高效的沟通协调机制，确保信息流通顺畅，形成协同管理的合力^[6]。制度体系方面，制定完善的风险管理制度，涵盖风险识别、评估、应对等各个环节的标准和流程，同时建立监督与奖惩机制，保障制度的有效执行。技术体系构建上，利用先进的风险分析技术，如蒙特卡洛模拟等，对风险进行量化评估，为决策提供科学依据。同时，借助信息化技术搭建风险管理平台，实现风险信息的实时监控与动态管理，提高风险管理的效率和精准度。

（二）关键技术方法

1. BIM 技术集成应用

BIM 技术可与 GIS、物联网技术融合实现风险可视化预警。通过 BIM 的三维模型，直观呈现建筑结构与各系统信息。结合 GIS 的地理空间分析能力，能更好地考虑建筑所处环境因素对风险的影响，如周边地质、气象条件等。再借助物联网技术实时获取建筑各部位的传感器数据，如温度、湿度、位移等。将这些数据集成到 BIM - GIS 融合模型中，利用数据分析算法对风险进行实时评估和预测。当风险指标超出阈值时，系统可及时发出预警，为风险管理提供有力支持，辅助决策人员采取相应措施降低风险^[7]。

2. 风险量化评估模型

开发基于模糊层次分析法 (FAHP) 与蒙特卡洛模拟的综合风险评估模型是建筑工程风险量化评估的关键。模糊层次分析法能有效处理风险评估中的模糊性和不确定性，通过构建层次结构模型，确定各风险因素的权重^[8]。蒙特卡洛模拟则可对风险因素进行随机抽样，模拟风险事件的发生过程，从而得到更准确的风险评估结果。将两者结合，能够充分发挥各自优势，先利用 FAHP 确定权重，再结合蒙特卡洛模拟进行风险量化，为建筑工程风险管理提供科学依据，有效提升风险管理的准确性和可靠性。

四、风险管理体系优化策略

（一）技术优化路径

1. 智能监测技术应用

在风险管理体系优化的技术路径中，智能监测技术应用至关重要。5G+AI 技术为工业与民用建筑工程风险管理带来新机遇。在深基坑变形监测方面，利用 5G 的高速传输和低延迟特性，能够实时将监测数据传输至分析中心，AI 技术则对数据进行快速分析处理，及时发现变形异常并预警^[9]。对于高支模应力监测同样如此，5G 确保应力数据的实时传递，AI 通过对大量应力数据的学习和分析，精准判断应力是否超出安全范围，实现实时预警，有效降低工程风险，提高风险管理的效率和准确性。

2. 数字化管理平台建设

设计基于云计算的工程风险协同管理平台，其架构应涵盖数据层、服务层与应用层。数据层负责收集与存储各类风险数据，包括工程设计、施工过程、环境因素等方面的数据，为后续分析提供基础^[10]。服务层提供数据处理、分析以及风险评估等服务，运用先进的算法与模型对数据进行挖掘，识别潜在风险。应用层则面向不同用户群体，如工程管理人员、施工人员等，提供直观的风险信息展示与操作界面，方便他们及时了解风险状况并采取相应措施。同时，功能模块应包括风险识别、风险评估、风险预警与风险应对等，各模块相互协作，实现对工程风险的全面管理与控制。

（二）管理机制创新

1. 动态风险管控机制

建立风险预警阈值动态调整机制，需依据工程进展、环境变

化等因素实时评估风险状况。通过收集大量数据,运用数据分析技术确定合理的阈值调整范围和频率。同时,构建应急预案自动触发系统,将风险指标与预设的触发条件相匹配。当风险指标达到或超过阈值时,系统自动启动相应的应急预案。该系统应具备快速响应能力,能及时通知相关人员,并明确各人员的职责和任务。通过这种动态风险管控机制,可提高风险管理的及时性和有效性,更好地应对工业与民用建筑工程中的各种风险。

2. 多方协同管理机制

工业与民用建筑工程涉及多方主体,构建业主-设计-施工-监理四方风险共担的利益协调机制至关重要。四方应明确各自在风险管理中的职责和义务,业主需把控整体方向和目标,设计方要确保设计方案的科学性和可行性,施工方负责按规范施工并及时反馈问题,监理方则要严格监督工程质量和进度。通过建立信息共享平台,各方及时交流风险信息,共同分析和评估风险。同时,设立风险共担基金,当风险发生时,根据各方责任比例分担损失,激励各方积极参与风险管理,提高整个工程的风险管理水平,保障工程顺利进行。

(三) 制度保障体系

1. 标准化制度构建

构建工业与民用建筑工程风险分级管控标准,需明确不同风险等级的界定依据和指标。综合考虑工程结构复杂性、施工环境、技术难度等因素,设定合理的风险评估模型。同时制定操作规范体系,详细规定风险识别、评估、控制的流程和方法。操作规范应涵盖工程建设各阶段,包括规划设计、施工过程、竣工验收等。对每个阶段的风险管控要点进行梳理,明确相关责任主体及其职责。通过建立标准化制度,确保风险管理工作有章可循、

规范有序,提高工程建设的安全性和可靠性,保障各方利益。

2. 人才培养机制

建立注册风险工程师认证制度与继续教育体系是完善风险管理人才培养机制的关键。该制度需明确认证标准,涵盖专业知识、实践经验等多方面要求。对于专业知识,应包括风险管理理论、工业与民用建筑工程相关风险识别与评估方法等。实践经验方面,要求工程师具备一定年限的相关工作经历。同时,建立继续教育体系,定期更新知识内容,使其适应不断变化的风险环境。课程设置可包括新的风险管理技术、法规政策解读等。通过这样的制度保障和人才培养机制,为工业与民用建筑工程风险管理体系提供专业人才支持。

五、总结

工业与民用建筑工程风险管理体系的构建涉及多方面关键技术路径。其中,BIM技术集成应用实现了建筑信息的高效整合与可视化,为风险识别与评估提供了更精准的依据。动态风险管控机制能够实时监测工程进展中的风险变化,及时调整应对策略。智能化监测平台借助先进的传感器等技术,提升了风险监测的准确性和及时性。这些核心成果共同推动了风险管理体系的优化。同时,展望未来,数字孪生技术具有巨大的发展潜力。它可通过创建虚拟模型与物理实体的实时映射,更全面地模拟工程运行状态,提前预测风险,为工业与民用建筑工程风险管理带来新的突破和提升。

参考文献

- [1]王亮.ZT 信托风险管理体系构建与优化探讨 [D].浙江工业大学,2013.
- [2]梁滢滢.宁夏银行全面风险管理体系的构建 [D].宁夏大学,2012.
- [3]裴蔚.构建中国农业银行全面风险管理体系的探索 [D].对外经济贸易大学,2004.
- [4]陆来安.浅谈企业财务风险管理体系构建 [J].中国市场,2012(32):2.
- [5]陈昱伶.QY 公司科研项目风险管理体系优化研究 [D].贵州大学,2023.
- [6]岳珂.浅析工业与民用建筑工程管理的优化策略 [J].建筑工程技术与设计,2017,000(20):3413-3413
- [7]高剑梅.工业与民用建筑工程管理浅析 [J].中华民居:学术刊,2010(11):1.
- [8]牛秀杰.浅析工业与民用建筑工程管理的几个问题 [J].建筑工程技术与设计,2015,000(001):478-478.
- [9]岳瑞娟.浅谈工业与民用建筑施工与质量控制 [J].建筑工程技术与设计,2015,000(35):1079-1079
- [10]崔永坤.工业与民用建筑工程管理 [J].山西建筑,2010,36(25):2.

论公共建筑中装配式施工过程易出现的问题及解决办法

吴永庆

上海中医药大学附属龙华医院，上海 200032

DOI:10.61369/ADA.2025020002

摘 要： 由于装配式建筑高效、节能、环保等优点，近些年作为一种现代建筑方式备受行业推崇。然而，在实际施工过程中，也经常会出现一些常见的问题，这些问题可能会影响建筑整体的质量和施工的效率。本文以实际经历的工程作为案例，对装配式建筑施工项目中对部件在工厂的技术资质考核、加工构件时的工序分解和各环节的质量控制、构件运输储存堆放的重要关注点以及安装构件时的施工组织进行详尽介绍，同时对实际施工过程中容易出现的问题进行分析，找出各环节出现这些问题的原因，提出一些解决这些问题的方法。

关 键 词： 钢模具；灌注浆；叠合梁（板）；斜支撑螺杆

On the Common Issues and Solutions in Prefabricated Construction of Public Buildings

Wu Yongqing

Longhua Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200032

Abstract： Prefabricated buildings, known for their efficiency, energy savings, and environmental benefits, have gained widespread recognition in recent years as a modern construction method. However, common issues often arise during actual construction, which can impact the overall quality of the building and construction efficiency. This article uses real-world projects as case studies to provide a detailed introduction to the technical qualification assessment of components in factories, the process breakdown and quality control at each stage of component processing, key considerations for component transportation, storage, and stacking, and the construction organization during component installation. It also analyzes common issues that arise during actual construction, identifies the causes of these issues at each stage, and proposes solutions.

Keywords： steel molds; grouting slurry; composite beams (panels); inclined support bolts

引言

我在最近进行中的龙华医院浦东分院新建工程中，设计装配率达到40%，过程中就遇到了一些关于装配式建筑施工经常出现的问题，通过查阅相关规范、理论书籍、杂志、网络资料，经过与项目参建单位各位有经验的老师傅沟通讨论，结合本项目个体实际情况，找到了相应的解决办法，颇有收获和心得，以下便是我在本项目装配式建筑施工中遇到的问题及其解决办法：

一、在项目开展之初

对于装配式部件的加工质量和精度，监理公司就提出了有所疑虑，根据他们以前的经验，有些项目出现了较大比例的装配部件尺寸偏差，导致装配时出现缝隙或不匹配，由此造成了较大的经济浪费，并耽误了施工进度^[1]。

提高加工设备的精度和操作人员的技术水平成为解决这个问题的重中之重，为此我根据工厂加工装配式部件的工艺，对加工厂、施工单位和监理公司提出如下要求：1.严格控制机械制作

PC内钢筋笼的尺寸精度。2.对于大小、形状不同的PC钢模具的制作，尺寸精度要反复测量确认。3.模具内放入已绑扎好的钢筋及预埋件时，要定位准确，不能有较大偏差。4.要经过加工厂、总包及监理单位隐蔽验收后再进行混凝土浇筑。5.混凝土蒸汽养护过程中，要达到6-9小时，强度达到70%以上才可以脱模。6.编号、加强质量检验，确保每个部件都符合设计要求后，部件才能入库，然后根据施工现场的进度安排装车运输到工地。

作者简介：吴永庆（1979.10—），男，汉族，浙江宁波人，本科，工程师，研究方向：建筑工程管理。



通过以上在装配式部件制作过程中对尺寸精度的细致控制工作，我们做到了所有到达现场的部件全部合格并通过现场复核检查，为后续的结构施工中装配式部件的顺利安装和浇筑创造了最佳条件，也为其后本项目获得优质结构金奖奠定了扎实的基础。

二、在装配式部件到达现场之后

由于这些装配式部件大体积、高质量、种类繁多、难以替代等特点，我们在现场准备进行安装过程中也遇到不少难题，加之施工单位和监理单位在以往的装配式施工过程中对一些教训记忆犹新，于是我们提前召开各参建单位参与的准备会，设计单位和制作厂家对各个装配式部件的结构和安装进行技术交底，施工和监理单位从实际操作角度提出了疑问，经过热烈充分的讨论，我们对装配式部件的安装过程有了具体了解，对关键细节问题有了预判和应对办法，同时我们建立了定期和不定期的施工安装方案交底沟通例会制度。

我们根据不同部位的装配式部件制定了不同的按照工序和方案。

1. 安装竖向构件时，先对作业人员进行安全技术交底，在吊装区域设置警戒线，对控制线进行复核，根据标高放置垫块，校验连接钢筋，确认构件编号。吊具安装完成后，缆风绳放置在墙板正面方便操作；将构件吊平后，松开插销起吊，构件在起吊后再离地1米左右停止，消除部件摆动；根据事先设定的吊运路线，先吊至操作面，距离楼面1米高处停止降落，再由操作人员手扶引导降落，同时观察连接钢筋是否对孔，无误再降落至垫块就位^[2]。



2. 斜支撑在安装时统一高度，根据其长度增加中间斜支撑，底部固定不少于2个螺栓，底部螺杆伸出长度小于250毫米。在调

整垂直度时，应将墙板上所有斜支撑同步进行旋转。到位后对部件的边线、端线、垂直度和竖缝宽度进行实测实量验收。灌浆前需对流动性进行测试，塞缝完成后6小时进行套筒灌浆，封堵下排注浆孔，插入注浆管嘴，启动注浆泵等浆料成柱状流出浆口时封堵出浆口，逐个完成出浆口封堵后，抽出注浆管嘴，封堵注浆孔^[4-10]。

3. 在叠合梁安装前，对梁底标高线和端线进行现场测量，将梁托及独立支撑安装到位。吊装时，部件离地2米时停顿，消除摆动，再继续吊送至安装位置上方30厘米左右时停顿，确认夹具支撑牢固；根据部件端线辅助构件缓慢就位，对独立支撑进行调节，检查叠合梁与外墙拼缝是否严实，确认满足要求后，安排对标高以及梁托加固质量进行验收。

4. 对剪力墙进行钢筋绑扎时，两块叠合板之间的缝隙采用防水胶条封堵，将暗柱钢筋按照间距要求搁置在预制墙板挑出的钢筋上，从顶嘴插入竖向钢筋，再将钢筋与竖向钢筋绑扎固定^[3]。柱支模时，浇节点区内侧模板采用定型铝模，采用穿墙螺栓固定。其他现浇墙体采用铝模拼装，完成后对垂直缝隙进行实测实量。

5. 在叠合楼板安装前，对立杆位置和长度进行确认，安装好独立支撑、三脚架、支撑头，确定好立杆标高。吊装时要根据部件重量和形状选择钢丝绳和吊具，在叠合板正面放置缆风绳，将吊具与吊钩挂点进行紧密连接，缓慢吊装到位后，检查楼板两端支撑在墙体或者梁上的支撑长度，同时检查相邻叠合板之间的拼缝宽度。确认支撑受力均匀无松动后取出吊钩。需要特别主要的是，安装完毕后，要立即将防护栏杆安装就位，如有洞口要用防滑动的盖板进行覆盖保护，各操作按照人员随时将安全带、防坠器与挂点可靠连接，确保人员安全。叠合板安装完成后需对楼板标高和方向进行实测实量验收，全部符合要求后再安排浇筑和灌浆。

通过以上对装配式部件安装施工技术的明确和优化，在现场施工单位和监理单位对质量的严格控制，避免了经常出现的部件生产尺寸偏差，部件运输不当导致局部破损，吊装偏位，钢筋和搭接偏位，灌浆不密实等问题，最终无论是质量还是进度，我们都取得了良好的预期，拿到了优质结构金奖也算是实至名归。

三、在这个项目实施过程中

使用装配式部件是有自身的优势的，有效的控制措施能够为工程质量、进度、成本和环保提供极大的保障，为建筑业的生成方式做出了变革，尤其是节能环保方面，践行了绿色低碳的建筑理念^[4]。装配式相对于传统建筑施工，现在我也取得了一些心得和体会，具体如下：

优点：

1. 减少了施工现场脚手架等材料的使用，减少了室内外墙面的抹灰工序，钢筋由工厂统一配送，避免了可能出现的质量问题，楼板底模取消，减少了传统木模板的使用，现场建筑垃圾大幅减少，PC部件在工厂预制，运输至施工现场后通过大型起重机械吊装就位，操作工人只需要扶板就位，临时固定即可，可以大幅度降低工人劳动强度；

2. 门窗洞预留尺寸能够在工厂就制作完成，有效控制尺寸偏

差,定位准确,在现场安装简单,有利于安装质量控制,保障整体施工质量。

3.可以将保温板夹在两层混凝土板之间,保温效果好且耐久性好,能达到A级防火,同时由于外墙为混凝土结构,防水抗渗效果也更好。

4.外墙面为混凝土墙面能有效避免外墙开裂、空鼓等通病,平整度良好,可以预先涂刷涂料,进而减少工期。

5.由于混凝土预制构件能够在工厂内生产完成,然后在现场组装,这样施工周期内能很大程度上减少天气的负面影响,从而加快整个项目的进度。

6.部件内管线能够在工厂预埋到位,现场无需后开槽,能有效保障施工质量和进度。

缺点和不足:

1.作为新的施工工艺,技术还有待成熟,专业工厂少,购买成本比较高。为此我们在工程施工总承包单位招标时就提出了要求,事实证明施工总承包单位也确实在选择PC工厂是也做了大量准备工作进行考察选择。

2.需要设计单位有专业人员进行设计,还需要厂家在方案阶段就介入,继而进行后续深化设计,确保施工图纸的准确性,并在设计变更时及时更新图纸和通知相关人员。我们要求施工单位配置专业BIM技术人员结合设计图,提前模拟施工,尤其是管线布置,对于可能的问题,早发现,早研究,早解决,这与各参见单位的利益都是有好处的,所以都很配合,最终也取得了良好的效果。

3.要考虑制作工程的位置,若与项目位置距离过长,会增加大量的时间和运输成本,在运输过程中,部件可能会因为保护不当而受损,需要采用合适的包装和固定方式,确保运输车辆和工具的适宜性,并在装卸过程中小心谨慎。我们这个项目有个很大的优势,就是一二期地块是一次性划拨,在我们这个一期整个施工过程中有一块闲置土地,我们硬化后作为装配式部件的堆场,于是工厂能适当的提起加工,我们也能有序安排部件堆放并仔细检查,发现部件瑕疵进行修补。

4.需要大批量使用,形成规模效应,提高人员和机械的使用率,才能尽可能多地降低成本,规模小的项目使用装配式会导致建安成本高于传统工艺。我们这个项目就是有效的利用了大面积的部件堆场,集中机械和人员将PC板和梁安装到位,提高了整体施工效率。

参考文献

- [1]陈翠丽,魏成,李宇凡.深厚粉质地层钻孔灌注桩桩端后压浆技术[J].山东交通科技,2021,(05):33-35.
- [2]中国建筑标准设计研究院.装配式混凝土剪力墙结构住宅系列国标图集解析:GJBT-1327[S/OL].北京:中国标准出版社.
- [3]陈文煜.住宅建筑装配式混凝土结构中短肢剪力墙设计分析[J].科技创新导报,2009,(04):43.DOI:10.16660/j.cnki.1674-098x.2009.04.014.
- [4]崔士起,石磊,崔琛.DB37/T5019-2014《装配式混凝土结构工程施工与质量验收规程》部分内容简介[J].建筑技术,2015,46(S2):14-15.DOI:10.13731/j.issn.1000-4726.2015.s2.005.
- [5]刘芳玮.装配式建筑施工质量控制要点与优化策略[J].中国品牌与防伪,2025,(06):99-101.
- [6]林美荣.装配式建筑梁柱节点预应力内锚法施工技术探析[J].江西建材,2024,(12):349-352.
- [7]姜莉.装配式混凝土结构建筑设计与施工研究[J].工程建设与设计,2023,(13):235-237.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.07.068.
- [8]张琴.发展装配式建筑将为保温材料带来好机遇[J].四川建材,2022,48(11):8-9.
- [9]刘雪扬.基于成本和效率的高装配率混凝土结构设计及施工方案优化[D].江苏大学,2022.DOI:10.27170/d.cnki.gjsuu.2022.000221.
- [10]方敬伟.带斜撑装配式墙体钢结构的推覆分析及优化[D].烟台大学,2023.DOI:10.27437/d.cnki.gytdu.2023.000431.

5.由于相应部件为工厂内完成混凝土浇筑,若后期要增加墙板开槽难度较大,对于设计复杂并后续可能有较多调整的项目要慎用装配式工艺。关于这个问题,我们在项目之初就十分重视,安装工程管理人员很早就介入,协同设计单位与业主方就实际情况进行详细沟通,尽最大可能把各类穿线预埋管都在构件生产前落实,避免后期调整费时费力。

6.项目关键线路的进度容易受到工厂构件生产进度的制约,要选择有实力的厂家安排生产,在施工前进行详细的材料计划和采购,确保材料供应的及时性和充足性。本项目由于堆场的有利条件,很大程度上避免了生产、运输、现场堆放和安装上的衔接问题,对于场地堆放有困难的项目,这一点一定要花费很多的精力去筹划,否则容易产生一系列矛盾。

7.装配式建筑施工中存在高空作业、重物搬运等安全风险。施工过程中要加强安全教育和培训,提供必要的安全设备,并严格执行安全操作规程。这一点我写在最后,是因为我认为要特别强调的重中之重:装配式部件尺寸大,质量重,体积不规则,同时有尖锐钢筋裸露,所以在吊装时必须严格按照流程进行,施工前做好安全教育和技术交底,施工时做好防护和保护工作,相关参与人员持证上岗,要注意力集中,遵从指挥,不得违章作业,彼此协同操作,尤其关注上方吊装移动构件时也要注意脚下临边洞口,要设置牢固醒目的护栏和盖板。

综上所述,装配式建筑作为这个项目其中重要的一环,我在管理过程中,通过大量细致的准备和研究,根据实际需求深化图纸,对接使用部门、设计单位以及PC厂家,根据项目自身特点,有针对性的制定装配式构件的生产、运输、堆放和安装方案,同时联合监理单位加强构件安装的安全和质量控制,最终圆满完成本项目所有装配式部件的安装施工工作,期间出现的小问题也得到了及时有效的解决,最后本项目得到了去年上海市优质结构金奖的殊荣,并取得了上海市白玉兰奖,用事实说明了我们这个项目中对装配式建筑部分的管理是成功有效的。

以上为本人在这个公共建筑中装配式施工管理中的做法和心得,有些是在本项目遇到并解决了,有些问题是在发生前预想到并避免了,有些也是收获了经验教训的。愿这些经历和办法能给其他同行提供一些帮助,正确运用装配式建筑于今后的项目上,少走弯路,提高管理效率,让未来装配式建筑得到更多的应用,更好的建设国家,造福民众。

牡丹纹样的文创设计应用研究

——以洛阳旅游伴手礼设计为例

刘如意, 刘大军

长春理工大学, 吉林 长春 130000

DOI:10.61369/ADA.2025020003

摘 要 : 论数中国的传统名花, 一定要数牡丹, 更要提到的是河南洛阳, 有着牡丹之乡的称呼, 拥有悠久的牡丹栽培历史和丰富的牡丹资源。它可以说是中国传统花卉图案的代表性作品。隋代隋炀帝对牡丹情有独钟, 让它在洛阳周围内种植。五代以后, 唐人对牡丹的喜爱甚至超过了唐代, 开元中叶, 洛阳成为牡丹最盛的时期, 牡丹文化发展到一个新的高峰。唐代的诗人们为牡丹写下了华美诗篇, 在诗歌中, 牡丹被赋予了許多不同的意义, 其中包括国家的繁荣昌盛, 生活的富足, 牡丹也变成了一种优秀的精神品质, 一种纯粹的爱情, 也成为洛阳的象征, 对弘扬我国传统文化, 为今后中国牡丹纹饰艺术的发展和传承提供一定的参考价值。

关 键 词 : 包装; 应用研究; 文创设计; 伴手礼

Research on the Application of Peony Patterns in Cultural and Creative Design — A Case Study of Luoyang Tourism Souvenir Design

Liu Ruyi, Liu Dajun

Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130000

Abstract : Among China's traditional renowned flowers, the peony stands preeminent. Particularly noteworthy is Luoyang, Henan—dubbed the “Hometown of Peonies”—which boasts a long history of peony cultivation and abundant peony resources. It can be considered the quintessential representative of traditional Chinese floral patterns. Emperor Yang of the Sui Dynasty held a special fondness for peonies, ordering their cultivation throughout the Luoyang region. Following the Five Dynasties period, Tang dynasty enthusiasts cherished peonies even more than their Tang predecessors. By the mid-Kaiyuan era, Luoyang reached its zenith as the premier peony capital, elevating peony culture to unprecedented heights. Tang Dynasty poets composed magnificent verses celebrating the peony. Within these poems, the flower was imbued with diverse meanings: it symbolized national prosperity, abundant living, exemplary moral character, and pure love. It also became an emblem of Luoyang. This legacy holds significant reference value for promoting traditional Chinese culture and advancing the development and preservation of peony ornamental art in China.

Keywords : packaging; applied research; cultural and creative design; souvenirs

引言

《药品生产质量管理规范》(Good Manufacture Practice, 简称 GMP) 是药品生产和质量管理的基本准则, 是确保药品质量符合预定用途和注册要求的重要规范。生物制药企业的产品质量直接关系到公众的生命健康和安全, 因此, 基于 GMP 规范优化质量管理体系具有极其重要的意义。

一、牡丹纹样的概述

(一) 牡丹文化的发展

牡丹文化的发展可以追溯到秦汉以前, 在那个时期, 人们往

往无法辨别牡丹和芍药, 所以把二者的发展历史相融合, 在这个时期, 牡丹从入药到吃、从吃到用、从使用到品尝, 经过这个过程, 牡丹已经有了一个质的飞跃^[1]。《诗经》第一次以诗的方式记载了牡丹文化。到了汉代, 牡丹文化发展到了一个新的阶段, 以

绘画的方式记载了牡丹，到了开元，长安城中的牡丹才逐渐繁荣起来，变成了富贵荣华的标志，深受人们的喜爱。因为牡丹文化具有独特的价值，它很容易给人带来启发，帮助人们获得灵感，从而让许多文人趋之若鹜，写出了许多关于牡丹的诗词。据不完全统计，两宋时期的名家大都已创作了大量的此类作品，其中有对牡丹风韵的描写，牡丹的形态的描绘，牡丹的色彩的描绘，以及以牡丹抒情的手法等。苏轼可以说是他的“狂热粉”，他为牡丹创作了三十余首，可以说，这朵花的珍贵程度，已经超出了想象。

（二）牡丹纹样的艺术魅力

中国牡丹在中国花家族中是万花之王，它具有独特的民族文化氛围，优雅、自然的造型与中国人民对完美和吉祥的美学观念是一致的，它是“花中之王”，花色繁多，色彩艳丽，花朵硕大，香味浓郁，是中国独有的木本名贵花卉，它的天然生长历史已经有几千年了，人工种植也有一千五百多年的历史。文人们特别喜欢描写牡丹的美丽，《诗经》中也曾出现过关于牡丹的诗篇，由此可以看出，牡丹文化的产生，已经经历了近3000年的时间，直到南北朝的时候，被画进了画中，作为一种艺术欣赏^[2]。

二、牡丹纹样的特征

唐朝花卉装饰艺术中，以牡丹为主，这与当时人们对牡丹的喜爱有直接关系。

由此可见，当时人们对牡丹的欣赏是何等的兴盛，而这又是牡丹图案在民间得以盛行的物质与心理基础。相传，武则天将牡丹命名为牡丹，并将其移栽到长安，从那以后，长安和洛阳的牡丹花都很受欢迎，因为牡丹受到了皇家的重视，所以很多人都学着去欣赏，唐朝的时候，从皇宫到平民，都喜欢用“国色天香”这个词来形容牡丹花的美丽和巨大，而天香，则是用来描述牡丹花的奇特香味。唐朝时有一种很流行的赏芍药，宋代周敦颐在《爱莲说》中称赞：“李唐以后，天下皆爱牡丹，牡丹乃名贵之花。”从这一点就可以看出，牡丹在社会上的作用是非常大的，它的高贵优雅，已经成为了一种富有的花朵的象征^[3]。在唐朝，由于它的特殊花朵，很多时候都会把它用在装饰上，在织锦、建筑、瓷器和珠宝首饰中都能看到牡丹花的图案。不只是服装，就连瓷器也是如此，比如洛阳博物院出土的一件三彩凤头壶，壶底饰有一朵青釉单瓣牡丹，花蕊呈黄、蓝两色，线条流畅，色泽艳丽。运用塑贴的装饰手法，使画面呈现出一种浅凸的感觉。还有宋代的折枝牡丹纹铜镜，镜镜面上常见的纹饰包括折枝纹和牡丹纹。折枝纹是指镜面四周的纹饰，常以树枝、花叶等自然图案为主题，线条流畅、优美。牡丹纹则是指镜面中央的花纹，牡丹在中国传统文化中象征富贵和吉祥。

三、牡丹纹样在洛阳旅游伴手礼设计中的探索应用

（一）洛阳牡丹纹样在旅游伴手礼设计中的探索

在设计中，装饰图案非常重要，一个漂亮的装饰图案设计取

决于整体和布局，以及各部分之间的和谐关系。图案的权重和对比度属于相互对应的关系。牡丹纹样除了吉祥的寓意外，装饰作用也很强。伴手礼包装设计中，图案的装饰表现尤为重要。

设计中图案的构图方式不必拘泥于原有的形式，构图可以灵活多变，在整体中又显得自由，分散但不散漫，画面会更加生动有趣。画面中加入离心式、斜方连续式，骨式图构图等会更加有吸引力，较古板的方式就更具有现代设计意味。

伴手礼的设计就要从构图形式中找到一种美感，牡丹纹样的创新设计就要打破常规，运用多变的方式进行创新。在设计牡丹纹样时，还需要考虑色彩搭配的问题。可以根据唐三彩牡丹纹枕的主题图案和氛围来选择适合的色彩搭配方案，使牡丹纹样更加突出和醒目^[4]。

具体的设计过程如下：

确定设计主题和风格：根据博物馆的目标受众，确定纹样的设计主题和风格。可以选择传统的牡丹纹样和枝叶作为设计元素，也可以选择抽象化的线条和图案进行设计。

绘制草图：根据设计主题和风格，绘制牡丹纹样的草图。在绘制过程中，要注意捕捉设计元素的特征和细节，使其具有生动性和表现力。

调整和完善：在草图的基础上，进行调整和完善。可以根据需要调整线条的粗细、形态和排列方式等，使纹样更加清晰、美观和连贯。

上色处理：在调整和完善后，进行上色处理。可以选择适合的色彩搭配方案进行上色处理，使传统纹样更加鲜艳、醒目和突出。

最终呈现：完成上色处理后，进行最终呈现。可以通过载体等方式将牡丹纹样呈现出来^[5]。

通过以上设计思路 and 过程，可以设计出具有独特魅力和文化内涵的旅游伴手礼牡丹纹样，为洛阳伴手礼增添更多的历史和文化气息

针对洛阳牡丹传统纹样进行纹样、视觉符号等元素提取，通过对旅游伴手礼的产品分析，通过：文化要素提取、传统纹样图案再设计，旅游伴手礼设计，首先，通过 AI、PS 软件对伴手礼图案进行效果图展示，并绘制相应的包装图，其次，通过实际的伴手礼设计，提高当地对于地域性文化的自信心。

（二）洛阳牡丹纹样在旅游伴手礼设计中的应用

洛阳牡丹纹样在旅游伴手礼设计中有着丰富的应用。洛阳作为中国著名的牡丹之乡，牡丹在当地具有深厚的文化底蕴和历史传统，因此牡丹纹样成为了洛阳旅游伴手礼设计中的重要元素^[6]。

洛阳牡丹纹样可以被运用在各种旅游伴手礼的设计中，如手绘明信片、纪念品、T恤、茶具、文具等。牡丹的花朵、叶子、枝干等元素都可以被巧妙地融入设计中，为伴手礼增添地方特色和文化内涵。在伴手礼的包装设计中，牡丹纹样也可以被巧妙地应用。可以在礼盒、袋子等材料上加入牡丹纹样，使得整体礼品更具有视觉吸引力和文化内涵^[7]。

例如，可以将牡丹纹样运用到手工制作的丝巾上。丝巾是一

种优雅的饰品，将牡丹纹样融入其中，不仅可以展现牡丹的美丽形象，还能够体现出洛阳丰富的文化底蕴。设计师可以选择不同的色彩和图案搭配，使得丝巾既具有浓厚的地方特色，又符合现代时尚的审美需求，从而吸引更多的游客和消费者^[8]。

总的来说，洛阳牡丹纹样在旅游伴手礼设计中的应用是丰富的，可以通过不同的产品形式和材质，展现出牡丹的美丽形象和洛阳的丰富文化内涵，为游客带来独特的购物体验，同时也有助于推动当地旅游商品的创新和升级，增加产品的艺术价值，提升产品的吸引力和竞争力，同时也有助于传承和弘扬当地的文化传统。

四、牡丹纹样在洛阳旅游伴手礼设计中的推广

本课题研究的是通过洛阳著名牡丹花纹样赋予在伴手礼的设计，吸引消费者，通过对洛阳牡丹伴手礼的设计进行深入的研究，提炼洛阳牡丹的视觉标志特点，并将其应用到伴手礼的设计之中，使其具有一定的特色，从而引起消费者的关注。既可以推广洛阳牡丹的区域文化，又能有效提升洛阳牡丹相关旅游产品的销售，提升其在消费者心目中的知名度，提升洛阳牡丹在市场上的竞争能力，促进洛阳的生态旅游业的发展^[9]。

五、结语

本文以洛阳旅游伴手礼为研究对象，对其在文创设计中的运用进行了系统的论述。本项目拟以洛阳为例，通过对牡丹图案的

历史、文化和艺术特色进行梳理，并以此为基础，对其进行“文化赋能+区域适配+功能实用”的设计思路，并以具体的设计实例对其进行论证。

本研究认为，“洛阳牡丹”图案的文创转换不是单纯的要素叠加，其核心是对其所蕴含的精神象征意义的发掘，它可能是盛唐时代的文化符号，也可能是一种吉祥而美丽的情绪载体。将这种价值与纪念和实用性的旅游伴手礼的需求相结合，不仅可以使文创产品走出“同质化”的窘境，还可以使区域文化更接近于人们的日常生活。但是，该研究也有一些局限性，比如针对不同的消费人群的需求细分还需要进一步深入，而对于设计结果的市场反馈则需要进一步改进。在此基础上，本课题还可以通过数字技术和新材料等方法，将其运用于创意设计中。

总而言之，传统图案是一种生动的地方文化载体，而文化旅游产品又是它与普通民众沟通的一座重要桥梁。期望通过本文的研究，能够对洛阳及周边地区的文化创意产品的发展起到一定的借鉴作用，使更多的传统审美元素能够在现代设计中重新焕发出新的活力，从而达到文化传承和产业发展的双赢。

参考文献

- [1] 高子薇. 牡丹纹样在旗袍上的运用与审美研究 [D]. 青岛 : 青岛大学, 2019.
- [2] 梁科. 明清宫廷织物中的牡丹纹样设计 [J]. 紫禁城, 2016(6): 70-91.
- [3] 张宁, 罗晓慧. 浅析唐代铜镜牡丹纹样的艺术特色 [J]. 才智, 2014(4): 267.
- [4] 陈丽娟. 菏泽牡丹视觉符号在旅游产品包装设计中的应用 [D]. 山东工艺美术学院, 2019.
- [5] 李艾蔚, 李吉杰. 基于全域旅游背景下文化创意产品设计分析——以蓬莱旅游伴手礼设计为例 [J]. 艺术品鉴, 2023.
- [6] 王娜, 凌丹, 李佳. “两山”视域下湖州师范学院伴手礼包装设计实践 [J]. 绿色包装, 2024.
- [7] 李珊珊. 牡丹花纹饰在艺术设计中的应用研究 [D]. 中国地质大学, 2019.
- [8] 李红飞. 唐代牡丹纹在洛阳和璞茶馆室内设计应用研究 [D]. 重庆师范大学, 2020.
- [9] 陈梦煜. 洛阳特产牡丹酥系列包装与衍生产品设计 [D]. 南昌大学, 2022.

西南山区典型地质灾害（崩塌 / 泥石流）与地下水动力条件的关联性及其综合治理技术

施炳军¹, 廖绍忠², 刘湘³

1. 云南奕辉建筑设计有限公司, 云南 昆明 650000

2. 中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司, 云南 昆明 650000

3. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ADA.2025020005

摘 要 : 本文聚焦西南山区崩塌、泥石流两类型地质灾害, 结合德宏州梁河县芒东镇章巴小砂河泥石流治理案例, 系统探究灾害与地下水动力条件的内在关联, 构建基于地下水调控的综合治理技术体系, 旨在为该区域地质灾害防控与可持续发展提供理论支撑与技术参考。研究表明, 地下水动力条件是诱发和加剧西南山区地质灾害的关键因素, 而“控源—固坡—导流—修复”四维协同技术体系, 能在有效防控灾害的同时兼顾生态与经济价值, 为区域地质灾害防治提供实践参考。

关 键 词 : 西南山区; 地质灾害; 崩塌; 泥石流

Correlation Between Typical Geological Hazards (Rockfalls/Debris Flows) and Groundwater Hydrodynamic Conditions in Southwest Mountainous Regions and Integrated Management Technologies

Shi Bingjun¹, Liao Shaozhong², Liu Xiang³

1. Yunnan Yihui Architectural Design Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

2. China Nonferrous Metals Industry Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

3. China Power Construction Group Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract : This study focuses on two typical geological hazards in the mountainous regions of Southwest China—landslides and debris flows. Using the case study of the Zhangba Xiaoshahe debris flow control project in Mangdong Town, Lianghe County, Dehong Prefecture, it systematically investigates the intrinsic relationship between these hazards and groundwater hydrodynamic conditions. A comprehensive management technology system based on groundwater regulation is established, aiming to provide theoretical support and technical references for geological hazard prevention and sustainable development in this region. Research indicates that groundwater dynamics are a key factor in triggering and exacerbating geological hazards in the mountainous southwest. The four-dimensional synergistic technical system "source control, slope stabilization, flow diversion, and ecological restoration" effectively prevents and controls disasters while balancing ecological and economic values, offering practical guidance for regional geological hazard prevention.

Keywords : mountainous southwest; geological hazards; landslides; debris flows

引言

西南山区地处我国地形阶梯过渡带, 地质构造复杂、地形切割强烈, 且受季风气候影响, 降水集中且强度大, 是我国崩塌、泥石流等典型地质灾害的高发、频发区域。构建兼顾灾害防控效能、生态环境效益与区域发展需求的综合治理技术体系, 成为西南山区地质灾害防治的迫切任务。鉴于此, 本文以梁河县芒东镇章巴小砂河泥石流治理工程为实际案例, 深入剖析地下水动力条件对灾害的影响机制, 构建融合工程实践的综合治理技术体系, 为西南山区地质灾害精准防控与可持续发展提供理论支撑与实践路径。研究成果旨在为西南山区地质灾害的精准防控提供理论支撑与技术参考, 助力区域实现“灾害可控、生态可复、发展可持续”的目标, 对保障当地居民生命财产安全、推动生态环境保护与社会经济协调发展具有重要的现实意义。

一、地下水动力条件与地质灾害的关联性理论分析

（一）地下水动力条件基本理论

地下水是一种重要的地质营力，它与岩土体之间的相互作用，一方面改变着岩土体的物理、化学及力学性质，另一方面也改变着地下水自身的物理、力学性质及化学组份。运动着的地下水对岩土体产生三种作用，即：物理的、化学的和力学的作用^[1]。地下水动力条件是描述地下水在岩石空隙或孔隙介质中运动状态、能量传递及动力作用的核心概念，研究范畴包括水流运动规律、水压力分布、渗透作用机制，是解析地下水与地质环境相互作用的理论基础^[2]。如章巴小砂河所在的芒东镇，属亚热带季风气候，年降雨量1242~1490毫米，雨季集中的降水会快速抬升地下水位，改变沟谷岩土体受力状态，为泥石流爆发埋下隐患。

（二）地下水与崩塌灾害的关联性分析

崩塌是岩土体在重力作用下的突然崩落现象，地下水动力条件通过两方面加剧灾害，一是软化、溶蚀岩土体^[3]。如章巴小砂河上游清平村三家村村民小组所在地，滑坡发育导致房屋开裂、地面变形，其根本原因是雨季地下水入渗黏性土边坡，填充孔隙并削弱颗粒黏结力，大幅降低岩土体抗剪强度，形成不稳定斜坡体；二是产生附加水压力，地下水位上升使孔隙水压力升高、有效应力减小，贯通性裂隙中的动水压力还会对岩土体施加“推力”，进一步破坏边坡稳定性，该区域滑坡体正是在地下水长期作用下逐渐失稳，成为泥石流的重要物源补给区。



图1 局部形成的滑坡体



图2 冲沟上部茅草岭岗形成的滑坡体

（三）地下水与泥石流灾害的关联性分析

泥石流是由暴雨、冰雪融水引发，含大量泥沙石块且流速快、破坏力强的特殊洪流，地下水动力条件在其形成发展中起关键作用，主要体现在提供物质基础与增强流体流动性两方面^[4]。提供物质基础时，地下水渗透会削弱山区松散物质的颗粒黏结力，形成抗剪强度极低的“饱和松散体”，同时通过溶蚀、潜蚀破坏山体，促使更多松散物质堆积沟谷，成为泥石流固体来源。章巴小砂河泥石流汇水面积2.31km²，沟谷呈“V”型，谷坡坡度30~35°（局部>50°），山间植被发育、水土流失严重，地下水长期潜蚀使沟谷两岸松散物质堆积，为泥石流提供充足固体物源^[5]。增强流动性时，地下水不仅补充水源，还能降低固体颗粒摩擦阻力，与地表径流汇合后提升流体含水率，显著加快流动速度；其形成的渗透通道还能加速水与固体颗粒混合，使泥石流快速达到“饱和流”状态，增强冲击力。2013年章巴小砂河泥石流爆发时，正是雨季地下水与暴雨共同作用，使松散物质快速饱和，形成高冲击力的泥石流，导致沟口桥梁堵塞、10余户村民受影响、上百亩农田被毁。

二、基于地下水调控的综合治理技术体系

（一）综合治理总体思路与原则

以地下水动态调控为核心，结合章巴小砂河泥石流“松散物源多、沟道堵塞风险高”的特点，遵循“精准性、系统性、生态优先、可持续性”原则，通过“控源-固坡-导流-修复”四维协同，重构岩土体稳定的水文地质环境^[6]。如在章巴小砂河治理中，针对地下水诱发的松散物源问题，优先采用生态友好型控源技术，同时兼顾工程经济性，最终选择“拦排结合”方案，实现灾害防控与区域发展协同。

（二）地下水调控技术

地下水调控技术是治理核心，主要包括排水降压、防渗截水、人工回灌三类，需结合案例实际条件灵活应用。排水降压技术，章巴小砂河中游沟床为泥石流运动加速区，地下水位过高易导致沟床土体饱和失稳。治理中在沟床两侧布设垂直排水井，抽取地下水使水位低于沟床底面1~2m，同时在石笼坝坝体预留排水孔，加速沟床地下水排泄，降低孔隙水压力，增强沟床抗冲刷能力^[7]。防渗截水技术，在上游汇水区（清平村附近）布设“防渗膜+截水沟”，防渗膜覆盖汇水关键区域，截水沟沿等高线布置（断面宽1.0m、深0.8m），将地表径流引导至沟外，减少地下水补给，使松散堆积体含水率控制在20%以下，从源头减少泥石流物源。

（三）针对崩塌的综合治理技术集成

针对崩塌灾害“岩土体失稳、裂隙水驱动”的核心特征，综合治理技术集成以“排水降压+边坡加固+生态防护”为核心框架，通过多技术协同实现全链条风险管控^[8]。章巴小砂河上游清平村三家村滑坡体（崩塌隐患区），采用“排水降压+边坡加固+生态防护”集成方案，前期勘察与监测通过地质钻探获取滑坡体岩土体参数，结合物探圈定重点治理区，布设自动化监测系

统,实时掌握地下水水位与边坡变形的关联数据,为治理方案优化提供依据^[9]。该区域为黏性土滑坡,采用“水平排水孔+盲沟排水”组合技术调控地下水,水平排水孔钻设于边坡侧壁并内置透水管,盲沟填充透水材料拦截侧向渗水;同时搭配“土钉墙+喷播绿化”加固边坡,土钉墙增强边坡抗滑能力,喷播本土耐贫瘠植被(如当地草本与灌木混合物种),实现边坡稳定与生态修复双重目标。建立“定期监测+维护修复”机制,每季度清淤排水系统、检测加固设施,每年补种植被,确保滑坡体长期稳定,避免其成为泥石流物源。

（四）针对泥石流的综合治理技术集成

泥石流灾害的核心问题是松散物质饱和+水流动力充足,综合治理技术集成以“控源截渗+固床稳坡+导流排洪”为核心框架,通过“上游控源、中游固床、下游导流”的分段治理思路,结合地下水调控,实现对泥石流灾害的系统防控^[10]。章巴小砂河泥石流治理遵循“上游控源、中游固床、下游导流”分段思路,结合地下水调控形成技术集成体系。上游为松散物源主要来源区,采用“松散堆积体固化+地下水截渗”技术。对沟谷松散堆积体采用“注浆加固+网格梁”处理,注浆压力1-2MPa形成固化体,网格梁将堆积体分割成小块;同时通过“防渗膜+截水沟”减少地下水补给,控制松散体含水率,从源头减少泥石流物质基础。中游为泥石流加速区,采用“石笼坝+格宾网+垂直排水井”技术。每隔50-100m修建镀锌钢丝石笼坝,沟床两侧铺设格宾网防止冲刷拓宽;石笼坝预留排水孔,配合垂直排水井降低地下水位,增强沟床抗冲刷能力,避免沟床变形导致泥石流改道。下游为灾害影响核心区,保护对象包括章巴村75户516人、上千亩农田及196乡道与桥梁。采用混凝土浇筑排洪道,断面尺寸根据泥石流设计流量确定,纵坡3‰-5‰确保泥石流快速通过;排洪道两侧设置防渗墙防止渗透扩散,末端设置停淤场,拦截固体物质;停淤场底部布设排水盲沟,及时排出雨水与地下水,避免场底土体失稳。

（五）生态修复与景观融合技术

在地质灾害综合治理中,生态修复与景观融合技术并非附加项,而是与工程治理、地下水调控同等重要的组成部分,其核心目标是恢复区域生态功能、提升景观价值,实现治理工程向生态景观的转化,主要包括植被恢复、景观营造、生态廊道构建三大技术方向。在章巴小砂河治理中,生态修复与景观融合贯穿全程。根据芒东镇亚热带气候与土壤特性,选择耐贫瘠、抗逆性强的本土植物,在边坡、沟谷两侧构建“乔木+灌木+草本”立体植被群落。如在土钉墙边坡预留种植孔,种植爬藤植物;在排导槽两侧种植景观花灌木,既增强沟岸稳定性,又提升区域生态质量。将治理工程与区域景观结合,如在石笼坝顶部铺设防腐木平台,设置科普标识牌,介绍泥石流防治知识;在边坡平台修建观景步道(透水砖铺设),搭配景观灯与休息座椅,打造休闲观景空间;将停淤场周边设计为绿地,融入乡村景观,实现“工程景观化、景观功能化”。结合章巴小砂河流域生态格局,以治理区域为核心,连通上游清平村林地与下游章巴村农田生态空间,构建生态廊道,提升区域生态系统连通性与稳定性,使灾害治理区转

化为兼具防灾、生态与休闲功能的公共空间。

三、章巴小砂河泥石流治理方案比选与效益分析

（一）治理方案比选

结合章巴小砂河泥石流特征与地下水调控需求,设计两类方案并对比。方案一以拦挡为主,仅采用拦挡坝工程,拦蓄泥石流固体物质、稳定沟岸崩塌。该方案可局部控制泥石流,但工程量大、运距远,投资额高,且坝后停淤会淹没部分区域,远期存在坝体安全隐患,无法充分解决地下水诱发的松散物源问题。方案二拦排结合,融合拦挡工程、排导工程与地下水调控技术。该方案能通过拦挡坝减少固体物源下泄,排导槽引导泥石流安全排泄,地下水调控技术从源头控制物源稳定性,虽回填量较大、施工期对村内道路有一定影响,但能完全控制灾害,且经济效益、社会与环境效益更高。综合安全、经济与生态效益,最终选择方案二作为章巴小砂河泥石流治理实施方案。

表1 章巴小砂河泥石流治理方案优劣对比表

评价项目	方案一	方案二
泥石流控制程度	局部范围控制,无法解决地下水诱发的物源问题	局部范围控制,通过地下水调控从源头减少物源
直接危害控制	可控制固体物源堆积,但无导流措施,仍有漫溢风险	完全控制,排导槽引导泥石流安全排泄,保护章巴村及农田
技术可行性	基本可行,仅针对固体物源,未适配地下水问题	可行,融合地下水调控,适配区域地质水文条件
经济效益	一般,工程量大、投资高,无长期生态收益	较高,后期运维成本低,生态景观可带动乡村休闲价值
社会与环境效益	一般,可能淹没部分土地,生态破坏风险较高	较高,兼顾生态修复与景观营造,提升居民生活环境
存在问题	投资额大、远期坝体安全隐患	回填量较大,施工期影响村内道路通畅

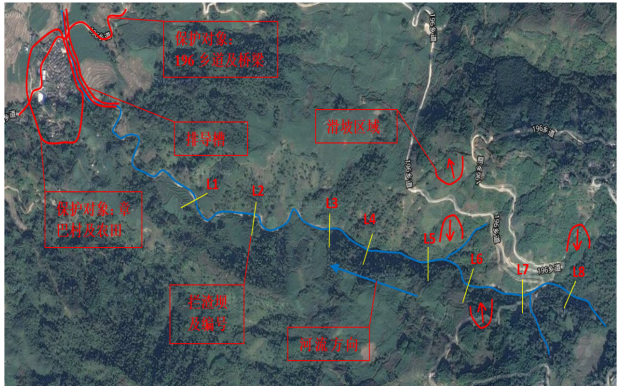


图3 章巴小砂河泥石流沟治理平面图

（二）治理效益

治理后章巴小砂河泥石流灾害风险等级从“大型”降至“小型”,下游75户516人生命财产与上千亩农田安全得到保障,196乡道及桥梁通行稳定,彻底解决2013年类似灾害的爆发隐患。通过植被恢复与生态廊道构建,流域植被覆盖率提升30%以上,地下水循环趋于稳定,水土流失得到有效控制,区域生态系统稳定性显著增强。治理工程避免了灾害造成的农田损毁、房屋修复等

经济损失，同时生态景观的打造为当地乡村旅游发展奠定基础，间接提升居民收入。

四、结束语

本文围绕西南山区崩塌、泥石流两类型地质灾害，系统完成了地下水动力条件与灾害关联性的理论解析，构建了以地下水调控为核心的综合治理技术体系，并且结合章巴小砂河泥石流治

理案例，证实了地下水动力条件对西南山区地质灾害的关键影响，以及“控源－固坡－导流－修复”技术体系的实践价值。未来需进一步加强极端气候下地下水与灾害体动态响应的监测，推动智慧监测技术与地下水调控的融合，如在章巴小砂河后续运维中引入小型化、高精度监测设备，实现“监测－预警－调控”一体化。同时探索治理工程与乡村产业的结合模式，让地质灾害治理成为区域可持续发展的助力。

参考文献

[1] 仵彦卿. 地下水与地质灾害 [J]. 地下空间, 1999, 19(4): 303-310. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0836.1999.04.007.
[2] 任法衡. 试论地下水与地质灾害 [J]. 西部资源, 2018(2): 71-72. DOI: 10.3969/j.issn.1672-562X.2018.02.033.
[3] 金速, 于新, 马志抒, 等. 大型煤矿开采区的地下水与地质灾害演变规律 [J]. 黑龙江水专学报, 2006, 33(2): 60-63. DOI: 10.3969/j.issn.2095-008X.2006.02.020.
[4] 于春, 杨仲可, 林忠信. 浅谈地下水与地质灾害 [J]. 华东科技 (综合), 2018, 0(9): 369.
[5] 杨晓红. 地下水开采与环境地质灾害研究 [D]. 江苏: 河海大学, 2006. DOI: 10.7666/d.y1031324.
[6] 季成民, 刘友明. 简析地下水与岩土体的相互作用及可能引起的地质灾害 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2012(27).
[7] 周平根. 地下水作用与地质灾害 [C]//中国地球物理. 北京: 中国地球物理学会, 2003: 420-420.
[8] 高星. 探讨地下水环境变化与地质灾害的预防 [J]. 山西建筑, 2014(18): 95-95, 96.
[9] 张丹. 地下水超采与环境地质灾害研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2011(25).
[10] 林嘉豪. 关于地质灾害智慧监测技术的分析与应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(z1): 204-207. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S1.060.

图像与中国古代建筑研究

杨晨

兰州交通大学, 甘肃 兰州 730000

DOI:10.61369/ADA.2025020008

摘 要 : 中国古代建筑是了解和认识文化传统和历史文化的重要途径,而图像资料是研究中国古代建筑的重要媒介之一。为了丰富古代建筑研究、更好地传承和弘扬中国传统文化、并为现代建筑设计和保护提供有益的借鉴和启示,分析研究图像与中国古代建筑之间的联系具有重要的现实意义。以壁画、中国传统画作、几何图式为例,通过查阅相关文献和资料、对比不同时期的古代建筑图像、并结合艺术学、历史学等学科理论进行研究。结果表明:(1)在敦煌石窟西方净土壁画整体布局上,画面遵循两个构图规律,一是中轴对称构图,二是“ \therefore ”的构图。(2)中国传统山水画与中国古代建筑在“意境”和“气韵”的生命观上达到统一和谐。(3)宋画与宋代的建筑形式相较于之前写意画作来说更加精细化,更加具有可衡量度。(4)几何图式与中国古代建筑之间都有着“方圆相割”的比例规则。

关 键 词 : 壁画;古代建筑;写意画作;写实画作

The Study of Image and Ancient Chinese Architecture

Yang Chen

Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730000

Abstract : Chinese ancient architecture is an important way to understand and understand its own cultural tradition and historical civilization, and image data is one of the important media to study Chinese ancient architecture, therefore, in order to enrich the study of ancient architecture, to better inherit and carry forward the Chinese traditional culture, and to provide useful reference and inspiration for the design and protection of modern architecture, it is of great practical significance to analyze and study the relationship between images and ancient Chinese architecture. Taking murals, traditional Chinese paintings and geometric patterns as examples, this paper studies them by consulting relevant documents and materials, comparing ancient architectural images in different periods, and combining the theories of art and history. The results show that (1) in the overall layout of Mogao Caves Sukhavati frescoes, the picture follows two composition rules, one is the axisymmetric composition, and the other is the “ \therefore ” composition. (2) the traditional Chinese landscape painting and the ancient Chinese architecture are in unity and harmony on the life concept of “Artistic conception” and “Spirit and charm” . (3) song painting and the architectural form of Song dynasty are more refined and measurable than the previous freehand brushwork. (4) there is a rule of “Square and circle proportion” between the geometric schema and the ancient Chinese architecture.

Keywords : wall painting; ancient Chinese architecture; freehand paintings; realistic paintings

引言

中国古代建筑具有重要的历史价值、教育价值和社会价值。它们记录了一个时代的风貌、文化、政治和经济状况等方面的信息,是历史研究者探究过去社会发展变迁的重要资料。同时,古建筑还能够向人们传递历史、文化、艺术等方面的知识和信息,是人们了解和认识自己文化传统和历史文化的重要途径。

一、中国古代建筑的历史地位和文化价值

首先,从历史地位来看,中国古代建筑经历了漫长的发展历程,从原始社会、奴隶社会到封建社会,每个阶段都有其独特的

建筑风格和特点。尤其是封建社会,是形成中国古代建筑的主要阶段,其建筑技术不断发展,并受到来自中亚、印度和东南亚等地的影响,形成了中国特色的建筑风格。这些古代建筑不仅记录了中国古代社会的发展变迁,也成为了研究中国历史的重要物质

作者简介:杨晨(1999—),女,汉族,甘肃陇南人,硕士在读,兰州交通大学,研究方向:国土空间规划、中国古代建筑发展。

文化遗存。

其次，从文化价值来看，中国古代建筑代表了中国古代社会的宗教信仰、审美观念和传统文化。例如，宫殿建筑体现了皇权的威严和尊贵，寺庙建筑则反映了宗教信仰和道德观念。同时，中国古代建筑还以其精美的建筑结构和装饰工艺，展现其艺术价值。例如，中国古代的园林建筑，以其独特的布局和意境，成为了中国古代艺术的瑰宝。

二、图像作为研究中国古代建筑的重要工具及其作用

记录和保存历史信息：图像，特别是古代绘画、壁画、石刻等，能够直观地记录和保存古代建筑的原貌和特征。这些图像为后人提供了重要的历史资料，使我们能够更准确地了解古代建筑的结构、布局、材料和装饰等^[1]。

揭示建筑细节和工艺：图像能够展示古代建筑的细节和工艺，如斗拱、檐口、门窗、雕刻等。这些细节和工艺是了解古代建筑技术和艺术水平的重要方面。通过对图像的研究，我们可以更深入地了解古代建筑的构造原理和装饰艺术。

反映文化和艺术特色：古代建筑不仅是物质文化的体现，也是文化和艺术的载体。图像能够反映古代建筑的文化和艺术特色，如建筑风格、色彩搭配、图案装饰等。这些文化和艺术特色是研究古代社会、文化和艺术的重要方面。

辅助建筑复原和保护：在研究古代建筑时，我们常常需要对其进行复原和保护。图像能够提供重要的参考信息，帮助我们了解古代建筑的原貌和特征。同时，图像还可以用于辅助建筑复原和保护的规划和设计，确保复原和保护准确性和真实性。

拓展研究领域和视角：图像作为研究中国古代建筑的重要工具，还可以拓展研究领域和视角。例如，通过对比不同时期的图像资料，我们可以了解古代建筑风格和技术的演变过程；通过对比不同地域的图像资料，我们可以了解古代建筑的地域特色和文化差异。这些研究不仅可以丰富我们对古代建筑的认识，还可以为我们提供更广阔的研究思路和视角。

三、壁画与中国古代建筑研究

（一）壁画——以敦煌西方净土变壁画中的建筑组合图像为例

在我国古代建筑中，群体组合是指由若干个单体建筑之间相互协调，进而构成统一和谐的建筑群体。廊庑的使用使得各单体建筑之间的联系进一步加强，而廊庑大规模、大范围的使用起源于盛唐时期，因此下面对唐代敦煌西方净土变壁画中的建筑群体组合进行分析研究^[2]。

初唐时期的西方净土变壁画中，各个建筑单体之间的联系不是非常紧密，“显性”的建筑联系构筑物使用很少，但由于有“中轴线”这条“隐性”的联系将单体建筑串联了起来，即使两座建筑之间的距离较远，也能通过“中轴线”遥相呼应，使得整个建筑群体组合达到了和谐统一的效果^[3]。佛殿类型可归纳为三种基

本形制：单体佛殿、“品”字形组合与“山”字形组合。单体佛殿指三圣像后方仅设一座正殿，不附带任何配殿^[4]。“品”字形组合由一座正殿与两座独立配殿构成，三殿彼此分离，未见廊庑或虹桥等连接结构^[5]。而在“山”字形组合中，正殿与两座配殿之间通过廊庑或虹桥相连，形成较为紧密的建筑群体^[6]。综上所述，初唐时期西方净土变图像中的佛殿组合关系尚不突出，多数三圣背景中的建筑群并未以廊庑进行连接。

盛唐时期，廊庑的广泛运用增强了佛殿建筑之间的空间联系，使原本相对独立的殿堂通过廊道连接，形成整体性更强的建筑群组^[7]。该时期佛殿组合主要可分为三种类型：单一佛殿型、“一”字形组合与倒“凹”字形组合^[8]。单一佛殿型表现为三圣身后仅设一座佛殿，不设配殿^[9]。在“一”字形组合中，三圣后方以一座殿顶正殿为中心，两侧配殿通过阁道（虹桥）或廊庑与之相连，此类形制在敦煌石窟净土变图像中颇为常见^[10]。倒“凹”字形组合则进一步强化了群体关系，正殿左右延伸出廊庑，连接角楼及配殿，构成半围合布局，亦为敦煌净土变中常见的表现形式^[11]。

通过前文的分析，我们发现西方净土壁画中存在很多形似“△”结构的构图布局方式^[12]。而“△”只是一个结构大形，实则是由“∴”三点连缀而成。同时，“∴”读作“伊”，又称为“伊字三点”。对此，我们认为在西方净土壁画中的三佛布局、佛殿布局等方面，应该与“伊字三点”有关^[13]。

（二）传统写意画作——以中国传统山水画为例

传统山水画以“写意”手法直接营造意境，唤起观者的情感共鸣^[14]。例如通过画面留白暗示无限的空间延伸，与之相似，古代建筑与园林不仅受物质条件制约，更承载着精神内涵，如通过“借景”手法在比较狭小的空间内营造广阔的空间体验。山水画所崇尚的自然流动感，在建筑中亦有所体现，尤其见于檐角起翘等处理方式，其轻盈造型柔化了建筑的规整形态，赋予整体以灵动韵味。

在布局方面，中国古代建筑常以轴线组织空间秩序，形成严谨对称的平面格局，反映出儒家礼制思想的影响。这一“中轴”观念亦常见于传统山水画的构图安排，塑造出庄重和谐的视觉秩序。需指出的是，轴线主要承担定位与等级象征功能，而非强调路径通达。例如故宫中的主通道遇大殿则绕行，并不贯穿其中，突显了轴线在空间组织中的礼制意义。

传统山水画与古代建筑在演进过程中呈现出辩证互动的关系，二者共同根植于相同的文化土壤，在表现形式上均具外显特征，创作主体也多有重合。它们之间的联系，主要体现在意境、气韵与审美理念的层面。由于传统山水画侧重写意表达，因此较少涉及建筑技艺或单体构造等具体细节。

（三）传统写实画作——以宋画为例

宋代社会整体崇尚高雅格调，这一审美取向深刻影响了建筑、绘画及工艺美术等领域的发展。与唐代建筑的雄浑大气不同，宋代建筑风格转向纤巧秀丽，装饰趋于繁复精致^[15]。

在绘画方面，宋代重视写实之风，推动以工整精准为特征的界画达到鼎盛。建筑形态亦相应呈现出轻盈灵动的气质，尤以屋

顶起翘所形成的曲线美感为典型。园林建筑更成为自然意趣与人工匠意完美融合的代表，其美学理念与同时期的绘画、雕塑相通。

就建筑形制而言，宋代建筑的规模普遍较唐代更为小巧，宫殿、佛寺、陵墓等重要类型的建筑体量均有所降低。在城市规划上，里坊制逐渐被街巷制取代，城市肌理更趋于开放与生活化。这一时期的画家常借助界尺等工具，逼真描绘包括宫苑、民居在内的各类建筑场景与生活画面，展现出强烈的现实关怀。

（四）几何图式——以方圆相割图式为例

时至战国秦汉，方圆相割的构图形式已常见于各类器物造型与图像装饰之中^[16]。例如，山东临淄郎家庄一号东周殉人墓所出漆盘上绘有建筑图像，其复原后的空间格局清晰体现出方圆相割图的比例关系：四面建筑各划分为三区，象征居住单元；建筑群围合出中央方形区域，内含小圆；整体建筑外廓吻合于一大圆形，四隅留白处则绘有植物纹样。

四、结论

在敦煌石窟西方净土变相的整体布局中，可以辨识出两种主

要的构图法则：中轴对称与“ \therefore ”形结构。画面中轴线通常由桥梁、平台、栏杆、台阶及半启的门扉等元素共同构成，统领全局。壁画中的三圣配置、主体建筑与佛殿组合等多呈现出“ \therefore ”形排列，此种布局很可能与佛教中“伊字三点”观念的影响与流传密切相关。

中国传统写意绘画与古代建筑在“意境”营造与“气韵”表达上达成深层次的契合，共同体现了对生命精神的追求。例如，山水画在构图上讲求散点透视，注重空间处理中藏与露、虚与实、小与大的对比与取舍，这些美学原则同样深刻影响了传统园林建筑的创作，成为连接绘画与建筑实践的重要纽带。

由于中国传统写实画作与宋代开始大规模的出现，于是结合宋代的时代背景，相较于写意画作来说更加精细化、工整化，使得当时的建筑形式也一改前朝气势雄伟的风格，更加隽秀、精细，更加具有可衡量度。

而对于几何图式来说，由于受中国儒家文化的影响，无论是图式还是中国古代建筑都有着一定的“约定俗成”的规则，比如中国古代不管是单体建筑还是建筑组合群，多以“方形”和“圆形”呈现，普遍不涉及大量的异形空间。

参考文献

- [1] 梁思成. 敦煌壁画中所见的中国古代建筑 [J]. 文物参考资料, 1951, (05): 1-48.
- [2] 萧默. 《莫高窟壁画中的佛寺》，载敦煌文物研究所编：《中国石窟·敦煌莫高窟（四）》，北京：文物出版社，1987.
- [3] 王宏，李映洲. 敦煌绘画艺术与跨世纪的中国画形态 [J]. 敦煌学辑刊, 1995, (02): 82-86.
- [4] 胡同庆. 试析敦煌隋初壁画的艺术特色 [J]. 敦煌学辑刊, 1998, (02): 91-96.
- [5] 沙武田. 关于莫高窟第130窟窟前殿堂建筑遗址的时代问题——兼及“藏经洞”封闭的年代关系 [J]. 敦煌学辑刊, 2000, (01): 69-77.
- [6] 沙武田. 关于敦煌莫高窟北区石窟资料 [J]. 敦煌学辑刊, 2002, (01): 115-117.
- [7] 沙武田. 敦煌莫高窟第72—76窟窟前殿堂遗址发掘报告 [J]. 考古学报, 2002, (04): 493-513+525-530.
- [8] 马世长. 中国佛教石窟的类型和形制特征——以龟兹和敦煌为中心 [J]. 敦煌研究, 2006, (06): 43-53.
- [9] 孙儒偶. 《敦煌建筑画中的古代建筑局部表现》，载《敦煌石窟保护与建筑》，兰州：甘肃人民出版社，2007.
- [10] 邝墩煌. 敦煌石窟西方净土壁画中的建筑图像研究 [D]. 兰州大学, 2022.
- [11] 席田鹿. 传统山水画中的古代建筑形态研究 [D]. 大连理工大学, 2016.
- [12] 程孝良. 《论儒家思想对中国古建筑的影响》[D]. 四川：成都理工大学硕士学位论文, 2007.
- [13] 金维诺. 西方净土变的形成与发展 [J]. 佛教文化, 1990, (02): 30-34.
- [14] 冯民生. 《传统绘画空间表现比较研究》[M]. 北京：中国社会科学出版社，2007.
- [15] 岳原. 《中国传统山水画中的景观规划与设计思想研究》[M]. 西南科技大学, 2009.
- [16] 武廷海. 《六朝建康规画》[M]. 北京：清华大学出版社，2013: 17-51.

新媒体时代版式设计的转变与融合研究

郭碧璇

长春理工大学, 吉林 长春 130000

DOI:10.61369/ADA.2025020010

摘 要： 在新媒体快速发展时期，新媒体对传统的媒介形式产生了重大的影响。同时，这种新的传播方式对传统的版式设计也提出了多维度的创新需求，传统版式设计自身的局限性使其难以满足多元化的发展需求。版式设计必须转变、必须创新，与时俱进，不断地适应新媒体时代的发展。

本研究旨在通过分析归纳新媒体时代背景下传统版式设计的局限性、转变、新媒体与版式设计的融合发展及其应用价值等来解析新媒体对版式设计的革新要求，探讨版式设计在新媒体环境下的表现形态与设计策略。

关 键 词： 新媒体；版式设计；媒介融合；动态交互

Research on the Transformation and Integration of Layout Design in the New Media Era

Guo Bixuan

Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130000

Abstract： During the rapid development of new media, it has exerted a significant impact on traditional media forms. Meanwhile, this new mode of communication has put forward multi-dimensional innovation demands on traditional layout design. The inherent limitations of traditional layout design make it difficult to meet the diversified development needs. Layout design must transform and innovate, keeping pace with the times and constantly adapting to the development of the new media era.

This study aims to analyze and summarize the limitations of traditional layout design in the context of the new media era, its transformation, the integrated development of new media and layout design, as well as their application value, in order to explore the innovative requirements of new media for layout design and discuss the manifestation and design strategies of layout design in the new media environment.

Keywords： new media; layout design; media convergence; dynamic interaction

引言

版式设计是现代设计艺术的重要组成部分，是视觉传达的重要手段。在大的新媒体时代背景下，传统的版式设计面临着如何解决信息过载、如何适应用户行为变化、如何满足动态交互需求以及多平台适配性等一系列问题。为了让版式设计在大的新媒体时代背景下继续发展繁荣，新媒体时代的版式设计以数字化媒介为载体，确保版式设计能更好地适应当代人的生活需要和审美需求。

一、相关理论概述

（一）新媒体

新媒体是指基于数字技术、网络技术和移动信息技术发展起来的，具有交互性、及时性、去中心化和多媒体融合等特征的传播媒介形态^[1]。新媒体的核心内涵包括五大方面：技术基础，以数字技术、互联网和移动通信为支撑；传播特性，具有交互性、即时性、多媒体融合等特征；传播模式，突破传统媒体单向

传播，实现多向互动；内容生产，用户既是接收者也是生产者（UGC）；传播效果，实现全球化、精准化、个性化传播。

新媒体的核心特征共同构建了一个动态、参与式、技术驱动的传播生态。这些特征不仅改变着信息传播方式和社会交往模式，成为当代社会最重要的信息传播载体和社交平台。同时也重塑了社会权力结构、文化形态和经济模式。

（二）版式设计

版式设计是一种将内容和形式融为一体的视觉表达方式^[2]。

设计人员根据设计主题和视觉需求,是指在特定媒介空间内,对文字、图像、色彩等视觉元素进行有目的性的组织和编排,以实现信息有效传达和视觉美感统一的创造性活动。

版式设计的核心要素为:视觉元素,包括文字、图形、图像、色彩、留白等基本构成要素;组织原则,运用对比、对齐、重复、亲密性等设计法则进行编排;功能导向,服务于信息层级划分和视觉流程引导;媒介特性,需适应不同载体的展示特点。版式设计主要特征为:信息结构化,建立清晰的视觉层次和信息优先级;视觉平衡性,追求形式美与功能性的统一;阅读引导性,通过视觉动线设计优化信息获取体验;风格统一性,保持整体视觉语言的协调一致。

版式设计是平面设计的重要组成部分,贯穿于印刷媒体、数字媒体等各类视觉传达领域。优秀的版式设计能够有效提升信息传达效率,增强视觉吸引力,是视觉传达设计的基础能力之一。

二、传统版式设计的局限性分析

新媒体时代的到来颠覆了传统媒介的传播逻辑。信息过载、用户行为变化、动态交互需求、多平台适配性等问题,为版式设计带来多维度的挑战。传统版式设计主要基于印刷媒介的静态呈现方式,其核心特点是静态化、平面化、固定化,强调视觉秩序、功能性、和美学表达。但在数字化时代和新媒体环境下传统的版式设计逐渐显现出局限性:

静态化的呈现方式。静态呈现缺乏动态效果,无法实现动画、过渡等视觉效果;固定尺寸限制,设计受制于纸张等物理载体的固定尺寸,印刷后无法实时修改或更新内容,内容更新困难^[3]。

单向传播模式。读者被动接收内容,缺乏交互反馈机制,读者参与度低。交互性缺失,读者只能被动接受,反馈机制缺失,难以收集读者阅读数据和偏好。这种单向传播模式大大降低了信息传播的效率和覆盖面。

媒介适应性差。跨平台兼容性问题,印刷设计难以适配不同电子设备屏幕,无法根据终端自动调整版式布局。例如,杂志版面直接数字化后在小屏手机上阅读体验差。

创意表现受限。受印刷工艺和成本的限制,色彩局限。同时,传统印刷品立体表现不足。例如,传统的产品画册无法实现如今360度的产品展示效果。

制作与传播成本高。制作周期长,传统印刷品平均制作周期比数字出版物长3-5倍^[4]。修改成本也很高,出错后需要重新制版印刷。同时,传统印刷品需要实体物流配送,分发成本。

个性化程度低,内容同质化。所有读者看到相同的内容,无法实现精准推送和缺乏用户画像分析。例如,同一期的杂志无法根据不同读者兴趣调整内容。

数据分析困难。阅读数据难以追踪,无法获取读者停留时间等数据^[5],效果评估滞后,依赖发行量等间接指标。所以,传统印刷品不利于内容优化和精准营销。

环保问题。传统印刷品需要消耗大量纸张和油墨,同时,回

收处理也是一个大问题。有数据显示,印刷行业占全球工业用水量的约4%。

传统版式设计的这些局限性在新媒体时代尤为突出,推动着版式设计向数字化、智能化、交互化的方向发展。这些挑战实质是设计思维范式的转换:从封闭式创作转向开放式适配,从视觉美学主导转向用户体验驱动。版式设计正在经历从“信息容器”到“交互界面”的本质蜕变,这种转型既带来传统技法的革新压力,也为版式设计开辟了跨媒介叙事的新可能。但值得注意的是,传统版式设计核心理念和基本原则仍对新媒体设计具有重要指导价值。

三、新媒体与版式设计的转变与融合

(一) 新媒体与版式设计语境的融合

新媒体时代的版式设计是以数字化媒介为载体,通过动态化、交互化与多维适配等视觉语言,在碎片化传播场景中实现信息高效传达与用户体验优化的设计范式。其本质是打破传统平面设计的静态框架,融合技术逻辑与用户行为数据,构建跨终端、多场景的视觉交互系统。实际上,它不仅是一种技能,更实现了技术与艺术的高度统一。新媒体环境下赋予了视觉传达设计研究中版式设计的多感官化表达作用及方法^[6]。

(二) 新媒体与版式设计特征的融合

1. 驱动:从静态到动态、从平面到立体

传统的排版形式更多是将静态的视觉元素排列于纸媒之上,更像一张静止的照片。相较于传统的版式设计而言,新媒体时代的版式设计依托数字技术,多以动静结合的形式出现。各类视觉元素通过大小、色彩和位置的变化等让视觉上有更好的效果^[7]。

“会动的排版”让关键信息自己跳出来,从而在3秒内抓住用户注意力,给用户带来了更好的阅读体验。例如支付宝账单的动画图表,用动态效果把枯燥的数据变成“数据故事”,而这可以有效地释放版式设计在新媒体中的发展潜力。

新媒体时代的版式设计更强调多元化的空间特征。三维空间:如3D、AR、VR等等,电商产品展示从平面图片转向3D旋转、AR试穿,版式设计需适应立体空间布局。借助良好的版式设计,即便显示范围只有屏幕区域,但却依然能够让人感受到多层次空间所带来的设计美感。

2. 交互体验:从“看”到“对话”

传统版式是单向传播,用户只能被动接收信息。新媒体的版式使得传播的内容具有更强的互动能力。交互不仅仅是欣赏的过程,更多的是设计与用户之间的沟通和交流^[8]。设计不仅能看还能“对话”。例如,可操作界面里新闻APP的“左滑返回”“长按收藏”等交互设计,游戏化设计里H5营销页面融入点击触发动画、进度条反馈等,用户可以通过点击、滑动、手势等方式参与内容,增强了用户参与感。设计师把操作提示变成视觉语言,而这些设计让用户不用看说明书就能上手操作。这种极强的互动性不仅更贴合与用户的行为习惯,还更好的满足用户情感的抒发,而只有单向传播途径的传统版式设计很难做到这些。与新媒体的

融合，能够把问题转化为优势。

3.多终端适配：从固定尺寸到弹性布局

传统版式都有固定尺寸，而新媒体所呈现的内容需要在手机、平板、电脑、智能手表等不同设备上自适应显示。所以，同一个设计要能在不同的载体上都适配，设计师需用“弹性布局”代替固定尺寸。例如，响应式设计：网页版式会根据屏幕尺寸自动调整布局；断点优化：在关键分辨率下调整版式结构，确保可读性。最典型的设计就是微信文章的“自适应字号”，在不同尺寸屏幕上文字自动调整大小，避免出现需要手动放大的尴尬。头条新闻的排版，在手机上显示为单列滑动，在平板上自动变成双列瀑布流。

4.数据驱动设计：从主观设计到智能优化

传统设计更多依赖经验和审美，新媒体强调用户行为分析，这就需要在进行设计时结合科学的数据分析^[9]。新媒体版式设计越来越多依赖用户行为数据和 A/B 测试进行优化。例如，淘宝的个性化推荐：首页的版式会根据用户偏好动态调整。眼动追踪和热力图技术会分析用户视线焦点，优化关键信息的位置。

四、新媒体与版式设计融合的应用价值

（一）信息传递维度

新媒体版式设计重构了“视觉语法”的表达规则。新媒体环境下的版式设计引入了时间变量与交互维度^[10]。动态排版能够通过运动轨迹引导视线流动，分层设计可以构建信息优先级的三维空间，响应式布局则确保了内容在各种终端上的适应性呈现。例如《纽约时报》的雪崩报道项目，通过滚动视差设计将文字、图像与视频有机融合，使读者在互动中自然而然地理解复杂事件的全貌。这种信息架构的重组，大幅提升了内容的理解效率与记忆留存率。

（二）审美体验层面

新媒体版式设计创造了“液态美感”的感知范式。数字媒介解构了传统设计中的固定网格系统，代之以流动的视觉韵律^[11]。可变字体能根据语境自动调整字重与比例，色彩过渡可以响应环境光线变化，空白处理不再受印刷成本的制约。日本设计师新村则人利用新媒体特性创作的动态海报，让文字与图形随着观看角

度变化而产生微妙的视觉互动，这种不确定性的美感体验是传统媒介难以企及的。

（三）认知心理角度

融合后的设计语言重塑了“注意力经济”的分配机制。神经美学研究表明，动态视觉元素能激发大脑更强的镜像神经元活动。新媒体版式设计利用这一原理，通过微交互反馈、视觉提示动态变化等方式，构建符合人类认知习惯的信息获取路径。例如，教育类 APP 多通过进度条动态填充、徽章即时弹出等版式细节，将抽象的学习进度具象化，有效提升了用户持续参与的动力。这种基于认知科学的设计优化，使信息传播突破了单纯的美学范畴，进入了行为引导的实用领域。

（四）商业传播领域

商业传播领域同样见证了这种融合的革新价值^[12]。在新媒体环境下，版式设计成为品牌“数字触觉”的重要载体。苹果公司官网的产品页面通过极简留白与精准动效的结合，将品牌美学延伸至像素层面；耐克的购物 APP 则利用个性化版式生成技术，为不同用户定制专属视觉界面。这种设计融合不仅提升了转化率，更重要的是构建了品牌与消费者的情感纽带。数据显示，经过新媒体优化的版式设计能使页面停留时间提升 40% 以上，这印证了融合设计在商业传播中的实际效能。

五、结语

新媒体与版式设计的融合，正在改写视觉传播的基本法则。设计师需要超越工具层面的思考，在动态平衡中寻找视觉秩序的新可能——让技术为美学服务，让互动为叙事增色，最终创造出既符合数字媒介特性，又满足人类深层审美需求的设计作品，真正进入设计艺术的新纪元。本次研究通过对传统版式设计和新媒体时代的版式设计的对比与分析，来展现出时代变化版式设计随之的转变。这不仅是关乎视觉效果呈现，而是要结合现代设计理念和技术手段来优化传统的印刷媒体，实现版式设计艺术性与创新性的有机结合，以此清晰、直观地感受到未来设计的变化与发展方向。

参考文献

- [1] 田倩. 传统媒体与新媒体的版式设计比较——以报纸、网页版式为例 [D]. 海南：海南大学，2012.
- [2] 姜潇. 新媒体时代版式设计的视觉语言表达 [J]. 中国报业，2024，(24)：76-77.
- [3] 林嵩. 报刊视觉设计重构——论新媒体对当代报刊版式设计的影响 [J]. 福建技术师范学院学报 2022，40(04)：431-436.
- [4] 余锐，李晓岑. 浅析版式设计赋能传统纸媒的突破路径 [J]. 记者摇篮，2023，(08)：51-53.
- [5] 赖璇莉. 媒体融合视角下纸媒报道版式特点及创新路径 [N]. 西部广播电视，2023，44(15)：96-99.
- [6] 王洁，史党文. 新媒体环境下版式设计的多感官表达研究 [J]. 艺术品鉴，2022，(29)：58-61.
- [7] 丁超群. 新媒体环境下版式设计元素的运用探究 [J]. 丝网印刷，2023，(09)：80-82.
- [8] 崔艳君. 新语境下版式设计的创新与发展 [J]. 鞋类工艺与设计，2022，2(02)：39-41.
- [9] 张磊. 印刷媒体版式设计中的艺术表现与创新 [J]. 大观，2024，(08)：57-59.
- [10] 刘嘉奕. 信息化时代下平面设计与新媒体技术的融合探究 [J]. 玩具世界，2024，(06)：69-71.
- [11] 李恒博. 如何做好新媒体时代下的视觉传达设计 [J]. 新闻文化建设，2023，(08)：190-192.
- [12] 朱建婷. 传统媒体与新兴媒体融合发展路径研究 [J]. 中国报业，2024，(13)：193-195.

火电厂虚拟现实培训系统开发与应用

蒋勇, 李兆男, 丁戈, 安菁菁

国能山西河曲发电有限公司, 山西 忻州 036500

DOI:10.61369/ADA.2025020016

摘 要 : 火电厂作为能源供应的核心主体, 对从业人员专业技能与安全意识提出更高要求。传统培训模式存在实操风险高、设备损耗大、认知局限显著等问题, 而虚拟现实 (VR) 技术通过构建三维仿真环境, 为安全可控的实操训练提供了创新解决方案。本研究开发的火电厂 VR 培训系统, 采用分层模块化架构设计, 集成高精度三维建模、物理引擎仿真、多模态交互及动态评估反馈等关键技术。系统涵盖锅炉、汽轮机等核心设备的立体化展示与操作训练, 支持故障模拟、应急演练及多人协同训练场景, 并通过参数化建模与实时渲染优化, 实现复杂工业场景的低延迟、高保真呈现。

关 键 词 : 虚拟现实技术; 火电厂培训; 分层模块化架构; 多模态交互

Development and Application of Virtual Reality Training System in Thermal Power Plant

Jiang Yong, Li Zhaonan, Ding Ge, An Jingjing

Guoteng Shanxi Hequ Power Generation Co., LTD. Xinzhou, Shanxi 036500

Abstract : As the core of energy supply, thermal power plant puts forward higher requirements for professional skills and safety awareness of employees. The traditional training mode has some problems, such as high practical risk, large equipment loss and significant cognitive limitations. However, virtual reality (VR) technology provides an innovative solution for safe and controllable practical training by constructing 3d simulation environment. The VR training system for thermal power plants developed in this study adopts a hierarchical and modular architecture design, integrating key technologies such as high-precision 3D modeling, physics engine simulation, multimodal interaction and dynamic evaluation feedback. The system covers the three-dimensional display and operation training of core equipment such as boiler and steam turbine, supports fault simulation, emergency drill and multi-person collaborative training scenarios, and realizes the low delay and high fidelity presentation of complex industrial scenarios through parametric modeling and real-time rendering optimization.

Keywords : virtual reality technology; thermal power plant training; hierarchical modular architecture; multimodal interaction

引言

火电厂作为电力系统的核心能源供应主体, 在保障国家能源安全和推动经济发展中发挥着不可替代的作用。随着能源需求的持续增长和技术升级的加速推进, 火电厂对从业人员的专业技能与安全意识提出了更高要求。传统培训模式在实际操作中面临多重挑战: 一方面, 火电机组设备结构复杂、运行环境高温高压, 现场实操培训存在较高安全风险且设备损耗成本显著; 另一方面, 常规理论教学与图纸讲解难以直观呈现设备内部构造与动态运行过程, 导致学员对操作流程和故障处理的认知存在明显局限^[1]。在此背景下, 如何构建一种既能规避实操风险、又能提升培训效果的技术手段, 成为火电厂人才培养亟待解决的课题。

一、火电厂虚拟现实培训系统设计

(一) 系统架构设计

数据层构建的亚毫米级设备模型库 (误差 $\leq 0.2\text{mm}$) 依托三大核心技术:

1. 激光扫描逆向工程 workflow: 采用 Faro Focus S350 激光

雷达 (精度 $\pm 0.1\text{mm}$) 对百万千瓦机组进行全态扫描, 通过 Geomagic Wrap 实现点云重构 (800 万面片/设备), 并基于 NX 参数化建模生成轻量化 NURBS 曲面 (压缩率 78%)。关键创新在于热变形补偿算法: 根据设备运行温度场 (200-550°C) 预计算热膨胀系数, 使虚拟模型在高温工况下形变误差控制在 0.3mm 内。

2. 动态知识图谱构建: 操作流程知识库采用图数据库 Neo4j

存储，将2000+操作规程抽象为时空事件链（如“汽轮机冲转→暖机→升速”），节点间关联421种故障模式（如振动超标、油温异常）。通过BERT工业文本分析自动抽取操作要点，知识覆盖度较传统手册提升83%^[2]。

模型层独创物理渲染双引擎协同架构：

物理引擎：基于NVIDIA PhysX 5.0实现多相流仿真，蒸汽阀门开度与流量关系拟合误差<3%（压力0.116MPa工况）。

渲染引擎：采用Unreal Engine 5 Nanite虚拟几何体技术，单场景承载20亿三角面片（相当于整台超临界锅炉）。

分布式渲染：8节点渲染农场通过Frame Synchronization协议同步，每帧渲染耗时从142ms降至23ms（4K@90Hz），延迟波动标准差≤1.8ms。

交互层突破传统VR的消费级局限：

1. 多模态感知矩阵

手势识别：Leap Motion V4结合CNN手势分类器（ResNet18 backbone），支持戴耐高温手套操作（识别率92.7%）。

空间定位：Valve Lighthouse 3.0基站实现10m×10m定位（精度±0.5mm）

触觉反馈：Teslasuit电肌肉刺激（EMS）模拟阀门操作力矩（0120N·m可调），响应延迟<8ms。

2. 工业通信中枢

借鉴NoC（Network on Chip）架构设计数据传输协议：

分组交换：将姿态数据（50Hz）、触觉反馈（1kHz）、环境音效（48kHz）划分QoS等级。

流量控制：令牌桶算法保障关键数据带宽（姿态流优先占比70%）。

冗余校验：CRC32+ACK重传使误码率降至10⁻⁹。

在国能台山电厂1000MW超超临界机组实训中，该系统实现：

高危操作模拟：锅炉爆管应急处置训练，通过流体粒子系统实时模拟蒸汽喷射轨迹（计算精度0.5m/s）。

故障复现引擎：基于LSTM预测控制器的异常工况生成，如给水泵汽蚀故障的声纹特征匹配度达96%。

（二）功能模块设计

火电厂虚拟现实培训系统功能模块设计围绕场景构建、操作训练及交互体验展开，通过多维度技术集成实现培训目标。场景模拟模块基于静态图像与三维建模技术构建虚拟电厂环境，涵盖锅炉、汽轮机、发电机等核心设备的立体化展示，并通过参数化设置实现不同运行工况的动态呈现。该模块采用虚拟实景技术，允许用户以第一视角自由漫游虚拟场景，结合热力系统流程图与设备结构剖面图，直观呈现能量转换过程。为增强环境真实性，系统模拟了极端工况下的危险场景，例如锅炉超压、管道泄漏等突发事件，通过动态粒子效果与声音渲染技术强化沉浸感^[3]。这类设计借鉴了极端环境下的遥操作工程机器人系统开发经验，将灾害现场作业场景转化为可控的培训环境，使学员在虚拟空间中学习应对复杂工况的操作流程。

操作训练模块分为基础操作与应急演练两类。基础操作训练通过交互仿真技术实现设备控制面板、阀门调节等标准化操作的模拟，例如水枪灭火训练系统采用Steam VR手柄映射真实工具，结合力反馈装置模拟喷水压力与水流方向控制，使学员掌握灭火剂投放时机与覆盖范围评估。在应急处理训练中，系统预设了多种故障模式，如再热器管束泄漏、蒸汽管道破裂等典型事故场景，要求学员在限定时间内完成故障定位、应急阀门关闭及紧急停机操作。该模块引入了基于时间序列的决策评估机制，根据学员响应速度与操作准确性生成训练报告，为后续能力提升提供数据支持^[4]。

二、系统实现与测试

（一）系统实现过程

本系统采用模块化架构设计，通过分层开发策略逐步实现核心功能。在虚拟场景构建模块中，基于Unreal Engine 4的蓝图系统与C++插件开发相结合，首先利用三维激光扫描技术获取火电厂实际设备的空间坐标数据，通过点云处理生成精确的网格模型。材质系统采用PBR（基于物理的渲染）技术，结合高分辨率贴图与动态光照系统，实现设备表面纹理、金属光泽与环境光遮蔽效果的真实呈现。场景空间布局采用分层加载机制，通过LOD（细节层次）优化技术，在保持视觉保真度的同时确保渲染效率。交互模块开发重点解决多模态输入问题，集成Leap Motion手部追踪传感器与Oculus Rift头部姿态数据，构建基于骨骼IK（反向动力学）的交互骨骼系统。手势识别算法采用机器学习框架TensorFlow训练的分类模型，通过特征提取与动态时间规整（DTW）算法实现20种操作手势的实时识别，误判率控制在3%以内^[5]。物理引擎模块基于Bullet Physics实现设备操作的物理反馈，建立包含刚体动力学、流体模拟与碰撞检测的复合仿真系统，特别针对阀门操作、管道拆装等高频训练场景，开发了定制化的力反馈算法库。数据管理模块采用MySQL时序数据库存储操作日志，通过中间件服务实现与DCS（分布式控制系统）的OPC UA协议对接，实时采集锅炉压力、蒸汽温度等200余项工况参数。

（二）系统测试方法

本研究采用分阶段递进式测试策略，结合黑盒测试与白盒测试方法，构建了涵盖功能完整性、系统稳定性及用户体验的多维度测试体系。在功能测试层面，依据系统模块划分原则设计测试用例，重点验证虚拟场景构建、设备操作仿真、故障模拟与应急处置等核心功能的逻辑一致性与操作流畅性。测试团队通过预定义操作路径与随机化操作组合相结合的方式，确保覆盖所有功能分支与异常处理节点。针对虚拟现实交互特性，专门设计了多传感器协同响应测试项，重点检测手部追踪精度、头部姿态同步延迟以及力反馈装置的响应灵敏度等关键指标。

测试用例设计遵循V模型开发原则，共构建三级测试案例库：单元测试用例236个，覆盖底层算法与接口模块；集成测试用例148个，重点验证各子系统协同工作性能；系统级测试用例

89个，聚焦于培训场景的全流程仿真效果。在测试数据生成方面，采用场景参数随机化技术，通过蒙特卡洛方法生成300组包含不同设备状态、环境参数和故障组合的测试场景，确保测试条件的充分多样性^[6]。特别针对火电厂典型事故案例，构建了包含锅炉爆管、汽轮机超速、电气系统短路等12类高危工况的专项测试集。

三、研究结果与分析

（一）系统应用效果展示

本研究开发的虚拟现实（VR）培训系统在火电厂实操培训场景中完成了多轮测试与应用验证，通过三维建模精度、交互响应速度、多模态数据融合等核心指标的量化分析，验证了系统的实际应用价值。系统运行时，学员佩戴头戴式显示设备后可进入1:1还原的虚拟火电厂场景，界面分辨率稳定达到4K级别，场景刷新率保持在90Hz以上，有效减少了眩晕感。在锅炉操作培训模块中，系统通过高精度三维建模还原了火电厂主控室及关键设备的物理细节，操作手柄的六自由度交互技术使阀门调节、仪表读取等动作响应延迟低于20ms，显著提升了操作的真实感。

多感官交互设计在高压设备巡检场景中展现出显著优势。测试数据显示，当系统同步触发振动反馈装置与环境音效时，学员对设备异常状态的识别准确率提升至92.3%，较传统视频培训提高18.7个百分点。例如，在汽轮机轴承温度异常案例中，系统通过热成像叠加、警报音效定位和触觉振动反馈三重提示机制，使学员平均故障定位时间缩短至25秒，较传统培训方式降低40%^[7]。眼动追踪数据显示，多模态反馈使学员视觉注意力集中度提高26%，表明系统有效强化了操作流程的关键节点认知。

（二）用户反馈分析

本研究通过问卷调查、半结构化访谈及系统操作日志分析等

多维度方法，对32名火电厂技术人员及培训管理人员进行了为期3个月的跟踪调研。数据显示，系统整体满意度评分为4.2/5，其中85%的受访者认为虚拟现实（VR）培训显著提升了设备操作认知效率。在技术性能方面，系统在设备操作仿真模块的平均响应时间为0.8秒，符合工业级实时交互标准，但复杂场景切换时存在12%的用户报告轻微延迟现象，经技术团队排查主要源于本地渲染资源分配策略，已在迭代版本中优化。

从培训效果维度看，参与测试的用户在虚拟环境中完成锅炉点火、汽轮机故障排查等典型操作任务的平均耗时较传统教学模式缩短37%，且首次操作失误率降低至15%^[8]。认知负荷量表测量结果显示，系统提供的三维空间导航指引和操作步骤高亮提示功能有效缓解了用户的认知负担，78%的用户认为该设计显著提升了操作信心。但在设备拆解演示环节，有23%的用户反馈剖面动画切换频率过高导致空间定位困难，建议增加分步控制选项。

四、结论

本研究针对火电厂传统培训模式中存在的安全风险高、实训资源有限、培训效果难以量化等问题，构建了基于虚拟现实技术的火电厂培训系统，通过多维度实证分析验证了其有效性。系统开发过程中采用三维建模技术还原了火电厂典型设备结构与运行场景，并基于Unity3D引擎实现了交互式操作模块与故障模拟功能。研究表明，该系统通过沉浸式场景重构、多自由度操作反馈以及实时数据可视化，有效解决了传统培训中设备原理抽象、操作流程难以复现等痛点，显著提升了培训对象对机组结构、运行逻辑及应急处置流程的认知深度。在功能模块设计方面，系统整合了设备拆解演示、工艺流程推演、事故应急演练三大核心模块，其中动态粒子系统与物理引擎的耦合应用，使蒸汽管道泄漏、主汽门卡涩等典型故障的模拟精度达到工程级要求。

参考文献

- [1] 郑蒲燕,任建兴,潘卫国,等.火电厂典型故障虚拟仿真实验构架设计[J].高等工程教育研究,2019(S01):3.
- [2] 安为.基于虚拟现实技术的火电厂安全培训系统[D].长沙理工大学,2023.
- [3] 阎光伟,李莹莹.火电厂培训及检修管理三维仿真系统设计[J].中国科技信息,2021,(11):6163.
- [4] 刘清亮,张志强,官伟基,刘志全,王俊强,张敬,张灯.火电厂百万机组三维虚拟检修培训系统建设研究[J].电力设备管理,2020,(03):114116.
- [5] 王信海.以需求驱动智慧电厂建设推动发电行业高质量发展[J].企业管理,2019(S01):2.
- [6] 郑鹏,朱玉辉,廖开友,吴迅,罗彬,刘晶.虚拟现实技术在电厂安全生产培训管理中的实践[J].重庆电力高等专科学校学报,2024,29(03):2326.
- [7] 张祖辉,孔竞.基于虚拟现实的电厂智慧维护培训仿真系统[J].工程建设与设计,2021,(03):127130.
- [8] 张自朋,田萍,李凤龙,赵东杰,孙龙昊,邵瑞博.基于数字孪生技术的特高压直流换流站仿真培训系统的研究[J].电工技术,2023,(06):8790.

如何切实落实安全措施费在建筑施工总承包项目的落地使用

刘强, 苏象贞

中国建筑第七工程局有限公司, 河南 郑州 450048

DOI:10.61369/ADA.2025020023

摘 要 : 安全措施费作为建筑施工安全生产的核心保障, 其合理配置与有效使用直接关系到项目安全、质量及行业可持续发展。在建筑行业安全生产形势依然严峻的背景下, 安全措施费的落实成为预防事故、优化施工环境的关键环节。本文通过系统分析当前建筑施工总承包项目中安全措施费使用存在的突出问题, 如资金挪用、支付不足、监管缺失等, 并结合国家法律法规与地方实践案例(如西藏、西安等地的管理经验), 深入探讨了强化合同管理、完善监管机制、加强过程控制等多维策略。这些策略旨在推动安全措施费在项目中的精准落地, 确保资金专款专用, 从而降低事故风险, 提升工程整体安全水平, 并为建筑行业安全生产管理提供理论参考与实践指导。研究强调, 只有通过制度优化与执行强化, 才能实现安全投入与安全效益的有机统一, 助力行业高质量发展。

关 键 词 : 建筑施工; 总承包项目; 安全措施费; 落实策略; 监管机制; 安全生产

How Can The Safety Measures Fee Be Effectively Implemented And Utilized in General Contracting Projects for Construction

Liu Qiang, Su Xiangzhen

China Construction Seventh Engineering Division Corporation Limited, Zhengzhou, Henan 450048

Abstract : Safety measure fees, as the core guarantee for construction safety production, their reasonable allocation and effective use are directly related to project safety, quality and the sustainable development of the industry. Against the backdrop of a still severe safety production situation in the construction industry, the implementation of safety measure fees has become a key link in preventing accidents and optimizing the construction environment. This article systematically analyzes the prominent problems existing in the use of safety measure fees in current construction general contracting projects, such as misappropriation of funds, insufficient payment, and lack of supervision. Combined with national laws and regulations and local practical cases (such as management experiences in Xizang and Xi 'an), it deeply explores multi-dimensional strategies such as strengthening contract management, improving supervision mechanisms, and enhancing process control. These strategies aim to ensure the precise implementation of safety measure funds in projects, guaranteeing that the funds are used for their designated purposes, thereby reducing accident risks, enhancing the overall safety level of the project, and providing theoretical references and practical guidance for safety production management in the construction industry. The research emphasizes that only through institutional optimization and strengthened implementation can the organic unity of safety investment and safety benefits be achieved, promoting the high-quality development of the industry.

Keywords : construction; general contracting project; safety measures fee; implement the strategy; regulatory mechanism; work safety

引言

建筑施工行业作为高风险领域, 安全生产始终是核心议题。随着城市化进程加快和建筑规模扩大, 安全生产问题日益凸显。安全措施费作为专项用于改善施工安全条件、购置防护设施及保障作业环境的资金, 其合理使用是预防事故、保障人员安全的关键。然而, 在实际总承包项目中, 安全措施费常面临挪用、支付不足或监管缺失等问题, 导致资金投入与安全效益脱节, 甚至引发安全事故。本文聚焦总承包模式下的安全措施费管理, 探讨如何通过制度优化与执行强化实现其落地使用, 为建筑行业安全生产提供参考。

一、安全措施费管理现状与问题

（一）源头管理薄弱

在总承包项目中，安全措施费的提取与支付缺乏明确约束。部分项目合同未单独列明费用金额、支付计划及使用要求，导致资金投入随意性大。例如，某些工程将安全措施费与进度款捆绑支付，且未注明具体用途，难以确保专款专用。此外，建设单位在招标阶段未按规范测算费率，或作为竞争性费用压缩成本，进一步削弱了资金保障。一些项目因合同条款模糊，在施工过程中出现费用被挪用或挤占的情况，严重影响了安全生产条件。

（二）使用过程不规范

安全措施费的实际使用存在显著偏差。一方面，部分项目未制定年度或月度使用计划，或计划未经监理审批，导致资金流向失控。例如，某项目因未制定详细计划，安全措施费被用于非安全生产领域，如办公设备采购或员工福利，而施工现场的安全防护设施却得不到及时更新。另一方面，挪用现象频发，如将费用用于支付工资、购买保险或偿还债务，背离了改善安全生产条件的初衷。总承包单位对分包单位的安全措施费监管不足，分包合同未明确费用总额及使用要求，加剧了管理漏洞。一些分包单位为降低成本，擅自减少安全投入，增加了事故风险。

（三）监管机制不健全

现行监管体系存在执行短板。尽管多地要求设立三方共管账户并存入全额费用，但实际操作中，项目开工前普遍未落实此要求，监管部门未将其与施工许可挂钩。例如，某地区在检查中发现，多个项目未按规定设立共管账户，导致安全措施费被随意支取。此外，动态检查机制缺失，如未定期核查费用使用台账或现场安全措施落实情况，导致违规行为难以及时纠正。一些监管部门因人力不足或重视不够，对安全措施费的监管流于形式，未能发挥应有的监督作用。

二、安全措施费落地使用的关键策略

（一）强化合同与源头管理

明确合同条款：总承包合同需单独列明安全措施费总额、支付节点、使用项目及调整机制，并禁止将其作为竞争性费用。例如，可参考西藏自治区规定，要求建设单位在招标时编制安全措施项目清单，并在施工合同中细化违约责任。合同应明确安全措施费的提取比例、支付方式及使用范围，确保资金专款专用。同时，应建立合同执行监督机制，定期检查合同履行情况，对违约行为进行及时纠正^[1]。

规范资金提取与存储：建设单位应在工程开工前将安全措施费存入三方共管账户，并保留支付凭证。总承包单位需依据工程特点制定费用使用计划，经监理审批后实施，确保专款专用。共管账户应由建设单位、施工单位及监理单位共同管理，任何一方不得擅自支取资金。通过规范资金存储，可以有效防止资金被挪

用或挤占，保障安全生产投入。

（二）完善过程控制与监管

建立动态台账：总承包单位需在财务管理中单独设立安全措施费清单，按月记录支出明细，并定期向监理单位报备。监理单位应对照计划审核费用使用合规性，重点核查票据与实物的一致性。例如，某项目通过建立动态台账，实现了对安全措施费使用情况的实时监控，及时发现并纠正了多起违规行为。动态台账的建立，有助于提高资金使用的透明度，确保每一分钱都用在刀刃上。

加强分包管理：总承包单位应在分包合同中明确安全措施费总额及支付方式，并对分包单位使用情况进行监督。若分包单位未落实措施，总承包单位可代为实施并扣除相应费用。例如，某总承包单位在分包合同中明确要求分包单位将安全措施费的30%用于购买安全防护设备，并定期检查使用情况。通过加强分包管理，可以有效防止分包单位减少安全投入，确保施工现场的安全条件。

引入信息化监管：依托建筑工程安措费管理系统，实现费用提取、支付与使用的全流程追踪。监管部门可通过系统数据预警异常支出，提升监管效率。例如，某地区通过引入信息化监管系统，实现了对安全措施费使用情况的实时监控，及时发现并纠正了多起违规行为。信息化监管的引入，有助于提高监管的精准性和时效性，确保资金使用的合规性。

（三）健全责任追究与培训机制

落实主体责任：建设单位负首要责任，需建立费用使用检查制度并督促施工单位落实措施；施工单位负主要责任，需确保资金足额投入并建立台账。对挪用或未足额支付费用的单位，依法追究法律责任。例如，某地区对挪用安全措施费的施工单位进行了严厉处罚，并将其列入黑名单，有效震慑了违规行为。通过落实主体责任，可以增强各方的责任意识，确保安全措施费的合理使用^[2]。

开展专项培训：监管部门应组织法律法规、费用使用规范等培训，提升总承包单位与监理单位的合规意识。通过案例教育，强化“安全投入即效益”的理念，避免因节约成本引发事故。例如，某地区定期组织安全措施费使用培训，邀请专家讲解相关法律法规和典型案例，有效提高了各方的合规意识。专项培训的开展，有助于提升安全管理水平，预防安全事故的发生。

三、结论

安全措施费在建筑施工总承包项目中的落地使用，需从源头管控、过程监管与责任落实三方面协同发力。通过强化合同约定、完善共管账户与动态台账、引入信息化监管及加强培训，可有效破解资金挪用与监管缺失难题。未来，建议进一步推动地方立法细化处罚标准，并将安全措施费落实情况纳入企业信用评价，形成长效保障机制。只有通过制度优化与执行强化，才能实现安全投入与安全效益的有机统一，为建筑行业高质量发展筑牢安全基石。

参考文献

[1] 西藏自治区住房和城乡建设厅. 西藏自治区房屋建筑和市政基础设施工程安全文明措施费使用管理办法(试行)[Z]. 2023.

[2] 西安市住房和城乡建设局. 西安市建筑工程安全防护、文明施工措施费使用及管理办法(征求意见稿)[Z]. 2024.

论建筑施工安全重大事故隐患的精准识别与系统化管控

王祚文, 苏象贞

中国建筑第七工程局有限公司, 河南 郑州 450048

DOI:10.61369/ADA.2025020024

摘 要 : 建筑施工行业作为国民经济的重要支柱, 其安全生产状况直接关系到人民群众的生命财产安全与社会和谐稳定。重大事故隐患是导致群死群伤恶性事故的根源, 对其进行有效管控是建筑安全管理核心与难点。本文深入分析了当前建筑施工领域重大事故隐患的主要类型与成因, 指出了传统管理模式下存在的识别不准、责任不实、措施不力等突出问题, 并在此基础上, 构建了一套包含“精准识别、动态评估、闭环治理、文化赋能”四个维度的系统化管控体系, 旨在为提升建筑施工本质安全水平、防范和遏制重特大事故发生提供理论参考与实践路径。

关 键 词 : 建筑施工; 重大事故隐患; 精准识别; 系统化管控; 闭环管理

On the Precise Identification and Systematic Control of Major Accident Hazards in Construction Safety

Wang Zuowen, Su Xiangzhen

China Construction Seventh Engineering Division Corporation Limited, Zhengzhou, Henan 450048

Abstract : As a vital pillar of the national economy, the construction industry's safety production situation is directly related to the lives and property of the people and social harmony and stability. Major accident hazards are the root cause of mass casualties in serious accidents, and effectively controlling them is the core and difficulty of construction safety management. This article conducts an in-depth analysis of the main types and causes of major accident hazards in the current construction field, points out prominent problems such as inaccurate identification, unclear responsibility, and ineffective measures under the traditional management model, and on this basis, constructs a systematic control system including four dimensions: "precise identification, dynamic assessment, closed-loop governance, and cultural empowerment". It aims to provide theoretical references and practical paths for enhancing the intrinsic safety level of construction and preventing and curbing major and especially serious accidents.

Keywords : construction; major accident hazard; precise identification; systematic control and management; closed-loop management

引言

随着我国城市化进程的不断深入, 建筑施工规模持续扩大, 工艺技术日趋复杂, 随之而来的安全风险也日益凸显。尽管安全生产法律法规体系不断完善, 监管力度持续加大, 但高处坠落、坍塌、物体打击、起重伤害、触电等重大事故仍时有发生, 给社会带来巨大的伤痛和损失。这些事故的背后, 往往潜藏着未被及时发现或有效控制的重大事故隐患^[1]。因此, 如何科学、精准、系统地识别与管控重大事故隐患, 已成为摆在建筑行业管理者、从业者及研究者面前的重大课题。

一、建筑施工重大事故隐患的主要类型与深层成因

(一) 主要类型

根据《房屋市政工程生产安全重大事故隐患判定标准》等规范性文件, 结合事故案例分析, 建筑施工重大事故隐患主要集中在以下几个方面^[1]:

1. 基坑工程隐患: 深基坑(槽)开挖未按规定进行支护、降排水, 或支护结构出现明显变形、渗漏, 监测数据超标等, 极易

引发坍塌事故。

2. 模板支撑体系隐患: 高大模板支架的立杆间距、步距、剪刀撑设置不符合专项方案要求, 材料不合格, 超负荷使用, 导致整体失稳坍塌。

3. 起重机械隐患: 塔式起重机、施工升降机等设备的安全装置失效、结构变形、违规安装与拆卸、超载运行等, 是起重伤害和坍塌事故的主要诱因。

4. 脚手架工程隐患: 附着式升降脚手架防坠、防倾装置失

效；落地式脚手架基础不稳、连墙件不足、超高等，易导致整体倾覆或局部垮塌。

5.高处作业隐患：临边、洞口防护缺失或不可靠；操作平台不合格；悬空作业无可靠立足点等，直接导致高处坠落事故。

6.施工用电隐患：临时用电系统未采用 TN-S 接零保护系统，电缆电线私拉乱接，漏电保护器失效等，易引发触电及火灾事故。

7.消防安全隐患：动火作业管理不规范，消防通道堵塞，易燃易爆材料存放不当，消防设施配备不足等。

（二）深层成因分析

1.主体责任悬空：建设单位盲目压缩工期、压低造价；施工单位“以包代管”，安全投入不足，安全管理制度流于形式；监理单位未能有效履行安全监理职责^[3]。

2.管理链条断裂：安全技术交底不到位，专项施工方案与实际施工“两张皮”，隐患排查治理不深入、不彻底，未能形成有效的闭环管理。

3.人员素质参差不齐：一线作业人员（尤其是农民工）安全意识淡薄，安全技能不足，违章指挥、违规作业、违反劳动纪律的“三违”现象普遍存在。

4.技术保障薄弱：对重大风险源的动态监测技术应用不足，依赖人工经验判断，缺乏科学、量化的预警手段。

二、构建系统化的重大事故隐患管控体系

针对上述问题，必须摒弃“头痛医头、脚痛医脚”的碎片化管理模式，构建一个全过程、全要素、全员参与的系统化管控体系。

（一）第一维度：精准识别——构建风险分级预警机制

精准识别是有效管控的前提。

1.清单化管理：依据国家及行业标准，结合项目特点，制定《项目重大事故隐患判定清单》，使隐患排查有章可循。

2.技术化赋能：推广应用 BIM（建筑信息模型）、无人机巡检、物联网传感器（如监测基坑位移、支架应力、塔吊运行参数）等智能技术，实现从“人防”到“技防”的转变，对隐患进行实时、动态、数据化捕捉^[4]。

3.专业化支撑：聘请行业专家进行定期深度检查，弥补现场管理人员经验和技術上的不足，对复杂技术隐患进行精准“诊断”。

（二）第二维度：动态评估——实施隐患分级治理策略

对识别出的隐患进行科学评估，确定其风险等级。

1.风险评估矩阵：采用 LEC 法（作业条件危险性评价法）或风险矩阵法，从事故发生的“可能性”和“后果严重性”两个维

度，将隐患划分为重大、较大、一般和低风险四个等级。

2.分级治理：

重大事故隐患：立即启动最高级别响应，必须停工整改，实行“挂牌督办”，由项目主要负责人负责，定人、定时间、定措施，直至隐患彻底消除，并经复查合格后方可复工。

较大及一般隐患：限期整改，由安全管理部门跟踪验证。

低风险隐患：现场立即整改。

（三）第三维度：闭环治理——落实 PDCA 循环管理

确保每一个隐患从发现到消除都形成一个完整的闭环。

1.建立台账（Plan）：建立“隐患排查治理台账”，详细记录隐患内容、所在位置、责任单位、责任人、整改时限、整改措施。

2.实施整改（Do）：责任单位按照整改措施落实整改，确保整改质量。

3.复查销号（Check）：整改完成后，由安全管理部门组织复查，确认隐患已消除后，在台账中进行销号。

4.总结分析（Act）：定期对隐患数据进行统计分析，找出反复出现、普遍存在的共性问题，从管理、技术、制度层面进行优化，防止同类隐患再次发生。

（四）第四维度：文化赋能——筑牢全员安全思想防线^[5]

再完善的制度也需要人来执行，安全文化是管控体系的灵魂。

1.强化安全教育培训：开展差异化、实效性的培训，特别是针对一线作业人员的班前安全教育，利用 VR 安全体验馆等创新形式，提升其风险意识和避险能力。

2.落实全员安全责任：明确从项目经理到班组长的每一个岗位的安全职责，推行“安全行为之星”等正向激励措施，营造“人人讲安全、事事为安全、时时想安全”的氛围。

3.领导示范与承诺：企业高层管理者必须以身作则，公开承诺并切实履行安全领导责任，将安全真正置于效益和进度之上。

三、结论

建筑施工安全重大事故隐患的管控是一项复杂的系统工程，它绝非单一环节或单一部门的职责。面对严峻的安全生产形势，我们必须树立“隐患就是事故”的预防理念，通过构建并有效运行以精准识别为基础、以动态评估为依据、以闭环治理为核心、以文化赋能为保障的系统化管控体系，才能从根本上扭转被动应对的局面，实现从事后处理向事前预防、从传统管理向现代风险治理的深刻转变，最终筑牢建筑施工安全的坚固防线，推动建筑业实现高质量、可持续的安全发展。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 房屋市政工程生产安全重大事故隐患判定标准 (2022 版) [Z]. 2022.

[2] 国务院安全生产委员会. 全国安全生产专项整治三年行动计划 [Z]. 2020.

[3] 方东平, 黄吉欣. 建筑安全管理研究的现状与展望 [J]. 土木工程学报, 2019, 52(10): 1-12.

[4] 李慧民, 陈伟. 基于 BIM 与物联网的建筑施工安全风险实时监控研究 [J]. 施工技术, 2021, 50(15): 88-92.

[5] 李引擎. 建筑安全管理的系统化思维与实施路径 [J]. 建筑科学, 2020, 36(7): 1-6.

工业铝型材挤压加工质量控制及工艺改进探析

余洋, 陈群宏, 罗伟浩, 廖结容
广东兴发铝业有限公司, 广东 佛山 528137
DOI:10.61369/ADA.2025020025

摘 要 : 随着新能源汽车、轨道交通等高端产业的飞速发展, 工业铝型材因轻量化、高强度优势需求持续攀升, 挤压加工作为其核心成型工序, 直接决定产品精度与市场竞争力。当前行业存在原料成分管控不精准、挤压过程参数波动大、后处理工序协同不足及质量追溯断层等问题, 导致型材尺寸超差、表面缺陷频发、力学性能不稳定。基于此, 本文针对挤压预处理、过程实时管控、后处理优化及工艺改进四大核心环节展开分析, 以期实现型材尺寸公差达标率 $\geq 99.5\%$ 、表面缺陷率 $< 0.3\%$ 、力学性能达标率 $\geq 99\%$, 同时缩短加工周期 $10\% - 15\%$ 、降低能耗 $8\% - 10\%$, 为企业适配高端市场需求提供技术支撑。

关 键 词 : 工业铝型材; 挤压加工; 质量控制; 工艺改进; 参数优化; 全流程追溯; 设备智能化

Analysis of Quality Control and Process Improvement of Extrusion Processing of Industrial Aluminum Profile

Yu Yang, Chen Qunhong, Luo Weihao, Liao Jierong
Guangdong Xingfa Aluminum Co., LTD., Foshan, Guangdong 528137

Abstract : With the rapid development of high-end industries such as new energy vehicles and rail transit, the demand for industrial aluminum profiles driven by their lightweight and high-strength advantages continues to rise. As the core forming process, extrusion directly determines product precision and market competitiveness. Current industry challenges include imprecise raw material composition control, significant extrusion process parameter fluctuations, insufficient coordination in post-processing procedures, and quality traceability gaps, leading to frequent dimensional deviations, surface defects, and unstable mechanical properties. This paper analyzes four key aspects: pre-extrusion pretreatment, real-time process control, post-processing optimization, and process improvement. The goal is to achieve a dimensional tolerance compliance rate of $\geq 99.5\%$, surface defect rate $< 0.3\%$, mechanical property compliance rate $\geq 99\%$, while reducing processing cycles by $10\% - 15\%$ and energy consumption by $8\% - 10\%$. These advancements provide technical support for enterprises to meet high-end market demands.

Keywords : industrial aluminum profile; extrusion processing; quality control; process improvement; parameter optimization; full-process traceability; intelligent equipment

引言

随着新能源汽车、轨道交通、建筑幕墙等高端产业的快速扩张, 工业铝型材因轻量化、高强度、易加工的特性, 市场需求持续激增。挤压加工作为铝型材成型的核心工序, 其质量直接决定型材的尺寸精度、表面光洁度与力学性能, 是企业抢占高端市场的关键环节。但当前行业普遍面临痛点: 挤压前原料成分管控不精准 (如合金元素偏差)、模具预热不均; 挤压过程中挤压速度、温度等参数波动大, 易导致型材扭拧、气泡; 挤压后热处理工艺协同不足, 且质量追溯断层, 造型材尺寸超差率 $> 1\%$ 、表面缺陷率 $> 0.5\%$, 同时加工周期长、能耗偏高。基于此, 本文围绕挤压预处理、过程实时管控、后处理优化及工艺改进展开分析, 旨在通过参数精准化、监控实时化、改进数据化, 提升型材质量稳定性, 缩短加工周期, 为工业铝型材企业适配高端需求提供切实路径。

一、挤压前预处理环节的质量控制

（一）铝棒原料质量精准管控

铝棒作为挤压加工的核心原料，其质量直接决定型材基础性能，需从成分、缺陷、精度三方面严格管控。采用光谱分析技术对铝棒化学成分进行100%检测，精准控制合金元素含量（如6063合金Si含量需稳定在0.2%–0.6%、Mg含量0.45%–0.9%），杜绝成分偏差导致的型材力学性能不达标；通过超声波探伤设备扫描铝棒内部，排查疏松、夹杂、气孔等缺陷，不合格原料直接标记剔除，避免挤压时出现断棒或型材内部裂纹；同时采用数控锯床控制短棒锯切精度，确保长度偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ，且切口平整无毛刺，防止因铝棒长度不均导致挤压时金属流动失衡，为后续稳定挤压奠定原料基础。

（二）挤压模具预处理质量保障

模具预处理是避免型材成型缺陷的关键，需围绕温度、清洁、磨损三方面实施管控。根据模具适配的挤压机吨位设定预热温度：1800T模具预热至430–480℃、2200T模具预热至450–500℃，通过红外测温仪多点监测模具温度均匀性，温差控制在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 内，防止局部温度过低导致型材成型不均；模具使用前用高压气枪吹扫模孔、工作带及分流孔，清除残留铝渣与油污，避免杂质压入型材表面形成划痕；检查工作带表面粗糙度与磨损情况，当磨损量超0.05mm或粗糙度 $R_a > 0.8\mu\text{m}$ 时，采用金刚石砂轮抛光修复，保障型材表面光洁度^[1]。

（三）挤压设备预热与参数校准

挤压设备预热与校准可避免开机初期参数波动，需覆盖核心部件与辅助设备。对盛锭筒、挤压杆进行预热，使盛锭筒温度稳定在400–450℃，减少铝棒与盛锭筒温差过大导致的金属流动不畅；采用标准校准工具对挤压机压力传感器、温度传感器进行精度校验，误差超 $\pm 2\%$ 时立即调整，确保挤压过程中压力、温度数据采集精准；同时检查牵引机、拉直机的运行状态，通过调试使牵引速度与挤压速度偏差 $\leq 0.5\text{mm/s}$ ，避免因设备协同性差导致型材拉伸变形，确保挤压设备整体处于稳定工作状态。

二、挤压过程的实时质量控制

（一）关键工艺参数动态监控

依托SCADA系统构建挤压过程参数实时监控体系，聚焦挤压速度、铝棒加热温度、挤压压力三大核心参数实施精准管控。根据合金牌号与型材截面特性设定参数基准：6063合金挤压速度控制在5–8mm/s，铝棒加热温度稳定在480–520℃，挤压压力不超过模具许用压力（如1800T模具压力 $\leq 350\text{MPa}$ ）；通过部署在设备关键部位的传感器，每秒采集1次参数数据，经边缘计算节点处理后，在可视化看板生成实时曲线，方便操作人员直观掌握参数波动；引入等温算法模型，当参数偏离标准范围（如出口温度超550℃、挤压速度波动超1mm/s）时，系统自动触发分级预警，一级预警弹窗提示，二级预警推送调整方案（如降低挤压速度0.5–1mm/s、微调铝棒加热功率），确保参数始终处于稳定区

间，避免因参数异常导致型材质量波动^[2]。

（二）金属流动与成型质量管控

通过数字孪生技术构建挤压过程金属流动仿真模型，提前预判成型风险并优化模具结构：基于铝棒成分与挤压参数，模拟铝液在模孔、分流孔、焊合室的流动轨迹，分析流速分布均匀性，针对流速偏差超10%的区域，优化分流孔面积比（如将不对称分流孔调整为等面积分布）、加深焊合室深度（增加2–3mm），避免出现焊合不良、气泡、金属堆积等缺陷；在挤压出口处部署激光测径仪，采用2000万像素工业相机配合激光扫描技术，实时监测型材截面关键尺寸（如壁厚、外接圆直径、腹板厚度），尺寸偏差超GB/T 6892标准规定的 $\pm 0.1\text{mm}$ 时，系统联动挤压机调整模孔位置或牵引机张力，确保型材精度达标；同时通过红外热像仪监测型材出口温度，温度偏差超 $\pm 10^\circ\text{C}$ 时及时调整冷却系统，防止型材因温度不均出现变形。

（三）异常识别与实时调整

建立挤压过程异常特征库，涵盖型材表面划痕、扭拧、波浪形、凹陷等12类常见缺陷，明确每类缺陷的视觉特征与判定标准（如划痕深度 $> 0.05\text{mm}$ 判定为异常）；部署AI视觉检测系统，在挤压出口后方设置3组工业相机，多角度抓拍型材表面图像，通过ResNet+Transformer模型进行缺陷识别，准确率 $\geq 95\%$ ，识别延迟 $< 0.5\text{s}$ ；当检测到异常时，系统自动向挤压机PLC发送暂停信号，同时在操作界面推送缺陷类型、可能原因及处理指南（如划痕缺陷提示检查模具工作带是否有铝渣残留，扭拧缺陷提示调整牵引机左右张力）；操作人员处理完成后，系统记录异常处理过程（时间、措施、效果），数据自动同步至大数据湖，作为后续工艺参数优化的样本，形成“实时识别–及时处理–数据沉淀”的闭环管控，减少异常缺陷对生产的影响^[3]。

三、挤压后处理环节的质量优化

（一）热处理工艺参数精准控制

热处理是保障工业铝型材力学性能的核心工序，需根据合金牌号与性能要求定制差异化工艺并严控参数。针对6063–T5型材，采用180–200℃ $\times 6\text{--}8\text{h}$ 的时效工艺，6061–T6型材则执行120–140℃ $\times 12\text{--}16\text{h}$ 的时效参数，通过时效炉PLC控制系统将温度波动精准控制在 $\pm 3^\circ\text{C}$ 内，避免因温度偏差导致型材硬度不达标；在时效炉内布置多组热电偶，实时采集不同区域温度数据，当局部温差超5℃时自动调节加热管功率，确保炉内温度均匀性；时效完成后，按每批次抽样3%的比例，采用拉力试验机检测型材抗拉强度、屈服强度，若力学性能未达标准（如6063–T5抗拉强度 $< 170\text{MPa}$ ），则重新调整时效温度与时长，形成“工艺设定–温度监控–性能检测”的闭环，保障型材力学性能稳定。

（二）表面缺陷检测与修复

采用“2D+3D”复合检测系统实现型材表面缺陷全维度管控，杜绝不合格品流入下游。2D工业相机（2000万像素）捕捉型材表面划痕、色差、斑点等平面缺陷，通过AI算法比对缺陷库（如划痕深度 $> 0.05\text{mm}$ 判定为异常），精准识别缺陷类型与位

置；3D相机同步采集型材深度数据，生成三维点云模型，检测凹陷、凸起、变形等立体缺陷，如凸起高度超0.1mm立即标记；对轻微缺陷（如浅划痕、小斑点），采用800目金刚石砂纸手工抛光修复，修复后再次检测确保表面粗糙度 $Ra \leq 0.8 \mu m$ ；严重缺陷（如深度 $\geq 0.1mm$ 的凹陷、贯穿性划痕）直接剔除，避免返工浪费；所有检测数据（缺陷类型、位置、处理结果）实时上传大数据湖，为后续工艺改进提供数据支撑。

（三）后处理工序协同管控

强化矫直、锯切、检测等后处理工序的协同性，避免因工序脱节导致质量问题。矫直工序采用数控矫直机，根据型材截面（如空心、实心、复杂截面）设定矫直压力（10–20MPa）与进给速度（50–80mm/s），矫直后通过激光直线度检测仪验证，确保型材直线度偏差 $\leq 1mm/m$ ，不合格品重新矫直；锯切工序对接订单系统，自动读取型材长度要求，采用数控锯床实现长度偏差 $\leq \pm 0.5mm$ ，同时控制切口垂直度（偏差 $\leq 0.5^\circ$ ），避免切口歪斜影响后续装配；建立工序衔接机制，矫直完成后30分钟内必须进行表面检测，防止型材暴露空气中氧化；锯切后立即贴附追溯码，关联矫直、检测数据，实现后处理全流程数据互通，确保每道工序质量可追溯、问题可定位^[4]。

四、挤压加工工艺改进的关键路径

（一）基于数据驱动的工艺参数优化

构建挤压工艺大数据平台，整合原料（铝棒成分、炉号）、挤压过程（速度、温度、压力）、质量检测（尺寸、缺陷、力学性能）全环节数据，形成百万级样本库。采用XGBoost算法建立“参数–质量”关联模型，量化不同参数对质量的影响权重（如挤压速度对型材直线度影响权重达35%）。针对不同类型型材截面定制参数方案：复杂空心型材将挤压速度降低1–2mm/s、铝棒加热温度提高10–20℃，减少金属流动不均；实心型材优化冷却系统参数，缩短淬火时间5–8秒。通过模型迭代，使型材尺寸达标率提升至99.5%，成品率提高3%–5%，实现工艺参数从“经验判断”向“数据决策”转变。

（二）设备协同与智能化升级

引入数字孪生技术搭建挤压生产线虚拟模型，实时映射物理

设备状态（如挤压机压力、时效炉温度），通过虚拟仿真模拟不同参数组合的成型效果，提前优化工艺（如试产新型材前，仿真测试3–5组参数，筛选最优方案），减少实体试错成本^[5]。升级挤压设备控制系统，采用PLC+运动控制卡实现挤压速度、压力的闭环控制，控制精度达 $\pm 0.1mm/s$ 、 $\pm 1MPa$ 。打通设备数据链路，挤压机实时向时效炉推送型材批次信息，时效炉自动匹配对应工艺，避免人工录入偏差；牵引机与锯切机数据联动，实现“挤压–牵引–锯切”速度同步，减少型材拉伸变形，设备协同效率提升15%–20%。

（三）全流程质量追溯体系构建

依托MES系统为每根型材分配唯一追溯码，记录全流程关键数据：原料端（铝棒成分报告、锯切精度）、挤压端（挤压参数、操作人员、设备编号）、后处理端（热处理温度曲线、表面检测结果、矫直参数）。当出现质量问题（如某批次型材硬度不足），通过追溯码10分钟内定位根源（如时效炉某区域温度偏低），避免批量返工。每月利用追溯数据开展工艺复盘，分析高频问题（如雨天铝棒氧化导致表面缺陷增多），针对性改进（如增设铝棒防潮存储区）。追溯体系使问题排查时间缩短60%，工艺改进效率提升40%，形成“数据追溯–问题定位–持续优化”的良性循环。

五、结语

本文围绕工业铝型材挤压加工质量控制与工艺改进，从挤压前预处理（原料、模具、设备）、过程实时管控（参数、成型、异常）、后处理优化（热处理、表面检测、工序协同）及工艺改进（数据驱动、设备智能化、全流程追溯）展开分析，核心逻辑为“全流程精准管控+数据驱动迭代”。通过上述措施，可实现型材尺寸公差达标率 $\geq 99.5\%$ 、表面缺陷率 $< 0.3\%$ 、力学性能达标率 $\geq 99\%$ ，同时缩短加工周期10%–15%、降低能耗8%–10%，有效解决行业质量波动与效率偏低的痛点。未来可进一步探索数字孪生虚拟试产、低碳挤压工艺，持续推动工业铝型材加工向更高精度、更高效益、更环保方向发展，助力企业更好适配高端市场需求。

参考文献

- [1] 魏凯歌, 吴茂来. 工业铝型材挤压加工质量控制及工艺改进 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2021(8): 162–164.
- [2] 王小龙, 孙凤利. 工业铝型材挤压加工质量控制及工艺改进 [J]. 中国金属通报, 2021(1): 189–190.
- [3] 张利叶. 工业分析与检验在质量控制与改进中的价值 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2024(10): 126–129.
- [4] 张福琪. 工业用精密硬质合金制品生产过程中的质量控制与改进研究 [J]. 中国金属通报, 2024(1): 157–159.
- [5] 马为民. 高强度螺母的制造工艺改进与质量控制 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2025(4): 081–084.

建筑与桥梁钢结构检测：焊缝无损检测技术的实践与探索

陈盛弦

广东名远工程检测有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020026

摘 要： 钢结构焊缝质量关乎结构安全，无损检测至关重要。超声波、磁粉、X射线等主流检测技术不断发展，国际国内应用参数和判定准则有差异。文中介绍各技术原理、设备及应用案例，指出智能信号处理、多传感器融合等面临挑战，提出优化路径，强调检测技术组合应用、智能化数字化及完善标准体系的重要性。

关 键 词： 钢结构焊缝；无损检测技术；优化路径

Testing of Steel Structures in Buildings and Bridges: Practice and Exploration of Non destructive Testing Technology for Weld Seams

Chen Shengxian

Guangdong Mingyuan Engineering Testing Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The quality of steel structure welds is related to structural safety, and non-destructive testing is crucial. Mainstream testing technologies such as ultrasound, magnetic powder, and X-ray are constantly developing, but there are differences in application parameters and judgment criteria between international and domestic markets. The article introduces various technical principles, equipment, and application cases, points out the challenges faced by intelligent signal processing and multi-sensor fusion, proposes optimization paths, and emphasizes the importance of combining detection technologies, intelligent digitization, and improving standard systems.

Keywords： steel structure welds; non destructive testing technology; optimized path

引言

《“十四五”国家知识产权保护和运用规划》于2021年9月颁布，旨在推动各领域技术创新与规范发展。在建筑工程领域，钢结构凭借诸多优势广泛应用于大型建筑与桥梁项目，而焊缝质量关乎结构安全，无损检测至关重要。当前，超声波、磁粉、X射线等主流检测技术不断演进，但国际标准与国内规范存在差异。同时，智能信号处理算法、多传感器数据融合、自动化检测装备等方面面临挑战，需优化改进。在此背景下，遵循相关政策，完善检测技术与标准体系，对保障建筑与桥梁钢结构质量，推动行业发展意义重大。

一、钢结构焊缝无损检测技术概述

（一）钢结构焊缝检测的重要性

钢结构在建筑工程中占据核心地位，因其具备强度高、自重轻、施工周期短等优势，广泛应用于各类大型建筑与桥梁项目。然而，焊缝作为钢结构连接的关键部位，其质量直接关乎结构整体安全性。焊缝质量缺陷如裂纹、气孔、夹渣等，可能削弱结构承载能力，引发应力集中，降低结构的疲劳寿命^[1]。在承受动荷载或恶劣环境作用下，这些缺陷极有可能逐步扩展，最终导致结构的局部破坏甚至整体坍塌，带来严重的人员伤亡和经济损失。因此，对钢结构焊缝进行无损检测至关重要，它能够在不损害结构性能的前提下，及时发现内部缺陷，为结构安全评估提供可靠

依据，保障建筑与桥梁钢结构的长期稳定运行。

（二）主流检测技术发展现状

在建筑与桥梁钢结构焊缝无损检测领域，超声波、磁粉、X射线三种主流检测技术不断演进。超声波检测技术凭借对内部缺陷敏感、操作便捷等优势，从早期技术精度有限，发展到如今可精确探测微小内部缺陷，在建筑与桥梁钢结构检测中广泛应用。磁粉检测针对铁磁性材料表面及近表面缺陷检测效果显著，随着工艺改进，其对细微缺陷的分辨能力大幅提升。X射线检测能直观呈现内部结构，早期受设备及辐射限制应用受限，如今设备小型化、辐射防护完善，图像数字化处理技术也使缺陷分析更精准。不过，国际标准与国内规范在这些技术的具体应用参数、判定准则等方面存在一定差异^[2]，这要求检测人员在实际操作中充分关

注，确保检测结果的准确性与可靠性。

二、核心检测技术机理分析

（一）超声波检测技术体系

超声波检测技术是焊缝无损检测中的重要手段。其探伤原理基于超声波在材料中的传播特性，当超声波遇到缺陷时，部分声波会发生反射、折射和散射，使接收信号产生变化，从而发现缺陷。检测设备主要由超声探伤仪、探头及耦合剂等组成。探伤仪负责产生和接收超声信号，需合理设置诸如频率、增益、扫描速度等参数。探头则将电信号转换为超声波并发射，不同类型探头适用于不同检测场景。耦合剂确保探头与被测材料表面良好接触，减少声能损失。材料的声学特性如声速、衰减系数等对检测精度影响显著，不同材质的钢结构，其声学特性存在差异，需考虑这些差异来优化检测工艺，以此提高检测精度^[3]。

（二）磁粉检测技术特性

磁粉检测技术特性基于漏磁场形成机制。当铁磁性材料被磁化后，若其表面或近表面存在不连续性（如焊缝中的缺陷），则会在不连续处形成漏磁场。湿法磁粉检测工艺，是将磁粉悬浮在载液中施加于检测表面，其磁粉流动性好，能检测微小缺陷，适合检测表面光滑的工件；干法磁粉检测是直接将干燥磁粉施加于检测表面，操作简单，适合粗糙表面工件检测。检测灵敏度与磁化参数密切相关，存在特定数学关系^[4]。合适的磁化参数，如合适的磁场强度、磁化时间等，能有效提高检测灵敏度，使不连续处的漏磁场能更好地吸附磁粉，从而清晰显示缺陷的位置、形状和大小，准确判断焊缝质量。

三、典型工程应用实践

（一）建筑钢结构检测案例

1. 高层建筑梁柱节点检测

在某超高层项目中，高层建筑梁柱节点的全熔透焊缝检测至关重要。采用超声波相控阵技术，该技术能够实现对焊缝的高效、精准检测。通过其独特的电子扫描系统，可对梁柱节点焊缝进行全方位扫查。在检测过程中，利用相控阵探头的多晶片特性，依据不同角度和深度灵活调整声束方向，全面覆盖焊缝区域，有效发现内部缺陷。该技术还能生成三维成像^[5]，直观呈现焊缝内部结构，检测人员能够清晰观察到焊缝内部的气孔、夹渣、未熔合等缺陷的位置、形状及大小，为后续的质量评估和修复提供可靠依据，极大地提高了检测的准确性和可靠性，保障了高层建筑梁柱节点焊缝的质量安全。

2. 大跨度网架结构检测

以某大型体育场的大跨度网架结构为例，该网架结构承担着体育场屋盖的支撑重任，其焊缝质量至关重要。传统检测手段在面对复杂空间焊缝时，效率较低且检测结果受人为因素影响较大。引入X射线数字成像技术后，此状况得到显著改善。该技术利用X射线穿透焊缝区域，将接收到的信号转化为数字图像，

检测人员可通过专业软件对图像进行分析，精准识别焊缝中的缺陷，如气孔、夹渣、未焊透等。相较于传统方法，其检测效率大幅提高，能在短时间内完成大面积焊缝检测。同时，数字成像便于存储和追溯，为后续质量评估提供可靠依据^[6]。

（二）桥梁钢结构检测案例

1. 正交异性桥面板检测

在某大型钢箱梁桥正交异性桥面板检测中，针对疲劳裂纹问题，有效采用了磁粉检测与涡流检测协同应用方案。首先，因磁粉检测对铁磁性材料表面及近表面缺陷有高灵敏度，能直观显示缺陷位置、形状和大小，所以先用其对桥面板疑似疲劳裂纹区域进行全面扫查，快速定位可能存在的表面及近表面缺陷。之后，考虑到涡流检测不受材料磁性限制，对微小裂纹及表面下一定深度缺陷检测效果好，利用涡流检测对磁粉检测发现的重点区域进一步精确探测，确定缺陷深度、延伸等详细信息。通过这种协同方式，全面且精准地检测出正交异性桥面板的疲劳裂纹情况，为后续维护与修复提供可靠依据^[7]。

2. 铆接桥梁修复检测

在某历史桥梁维修改造项目中，针对老旧铆接结构运用TOFD技术进行检测。该桥梁建造年代久远，铆接部位历经长期荷载与环境作用，状况复杂。TOFD技术凭借其独特优势，如对内部缺陷检测灵敏度高、能精确测定缺陷高度等，可有效评估铆接部位状况。检测人员依据TOFD技术原理，布置检测探头，对铆接区域逐一扫描。通过分析检测数据，清晰呈现出铆接部位可能存在的内部缺陷，如裂纹、未焊透等。结果表明，TOFD技术对老旧铆接结构具有较好的适用性，能够为桥梁维修改造提供关键技术支持，确保修复工作精准有效^[8]。

四、技术挑战与优化路径

（一）检测精度提升方向

1. 智能信号处理算法

在建筑与桥梁钢结构焊缝无损检测中，智能信号处理算法对检测精度提升至关重要。当前面临的技术挑战在于，超声回波信号复杂，包含大量噪声，给准确提取特征带来困难。传统算法难以有效处理这类复杂信号，导致缺陷分类识别的精度受限。为优化此状况，研究基于深度学习的超声回波特征提取方法成为关键路径。深度学习强大的特征学习能力，能够自动从复杂的超声回波信号中挖掘出有效特征，建立更精准的缺陷分类识别模型^[9]。通过大量有标记的超声回波数据对模型进行训练，使其不断优化对各类缺陷特征的识别能力，从而提升检测精度，更准确地判断焊缝中的缺陷情况，保障建筑与桥梁钢结构的质量安全。

2. 多传感器数据融合

在建筑与桥梁钢结构焊缝无损检测中，提升检测精度、实现多传感器数据融合面临诸多技术挑战。不同类型传感器的工作原理与特性各异，超声检测对内部缺陷敏感但对表面缺陷分辨率有限，电磁检测则擅长检测表面及近表面缺陷，二者数据格式、特征维度等存在差异，难以直接融合。且现有融合评估标准不够完

善，缺乏对复杂钢结构焊缝特性的针对性。优化路径可从两方面着手，一方面深入研究超声与电磁联合检测模式下的数据互补机制，挖掘不同传感器数据间潜在关联，通过特征提取、转换等技术将数据统一到可融合框架。另一方面，依据钢结构焊缝特点，结合大量实际检测数据，制定科学、精准且具操作性的融合评估标准^[10]，以此提高多传感器数据融合效果，切实提升焊缝无损检测精度。

（二）检测效率优化策略

1. 自动化检测装备开发

在建筑与桥梁钢结构焊缝无损检测中，运用爬行机器人搭载相控阵探头构建移动式检测系统，虽有一定优势，但也面临技术挑战。机器人在复杂钢结构表面移动时，可能因结构形状不规则、表面粗糙度差异等，影响探头与焊缝的贴合度，进而降低检测精度与效率。而且，数据传输与处理速度也可能成为瓶颈，大量检测数据需快速准确分析，现有系统可能无法及时应对。优化路径方面，可改进机器人的自适应移动机构，例如采用多关节柔性结构，使其能更好适应不同形状的钢结构。同时，升级数据传输与处理算法，利用高速数据传输技术和高效数据处理软件，实现数据的快速、精准分析，提升整体检测效率，推动自动化检测装备进一步完善。

2. 检测工艺参数优化

在建筑与桥梁钢结构焊缝无损检测中，检测工艺参数优化对提升检测效率至关重要。建立基于正交试验法的检测参数组合模型，能有效实现质量与效率的平衡优化。通过精心设计正交试验，全面考虑如探伤设备的功率、扫描速度、探头频率、耦合剂类型等多个参数。对不同参数组合下的检测结果进行细致分析，以缺陷检出率、检测时间等作为关键评估指标。从中筛选出既能保证焊缝缺陷精准检测，又能大幅缩短检测时长的最佳参数组合。这不仅能提高单次检测的效率，还通过优化流程，为大规模建筑与桥梁钢结构焊缝检测提供高效且可靠的技术方案，推动无损检测技术在该领域的高效应用与发展。

（三）标准体系完善建议

1. 新型技术标准化研究

在焊缝无损检测中应用三维超声成像技术，面临着不少技术

挑战。该技术成像复杂，数据处理难度大，对检测人员专业素质要求极高，且不同设备成像效果差异大，缺乏统一规范。为优化这一现状，要从制定标准体系入手。构建系统的三维超声成像技术标准路径，详细规定检测流程、设备参数等，使操作有章可循。同时，制定量化缺陷评级指标体系至关重要，通过明确缺陷尺寸、性质、位置等量化指标，提高缺陷评定的准确性与一致性，为建筑与桥梁钢结构焊缝质量判断提供可靠依据，推动三维超声成像技术在焊缝无损检测领域标准化发展。

2. 全生命周期检测规程

在建筑与桥梁钢结构焊缝无损检测全生命周期检测规程方面，存在一些技术挑战。检测技术在不同阶段的衔接不够顺畅，设计阶段的理论标准与制造、运维阶段实际检测操作难以无缝对接。而且不同检测方法在各阶段的适用性缺乏精准界定，导致实际应用中选择困难。优化路径可从细化各阶段检测规程入手，明确设计阶段对焊缝质量指标的精确量化标准，制造阶段规范检测流程与参数，运维阶段制定周期性检测频率与重点内容。同时，搭建不同阶段检测技术交流平台，加强信息互通，形成统一且连贯的全生命周期检测规程，以保障钢结构焊缝在各个阶段的检测都科学、有效，提升结构全周期可靠性。

五、总结

在现代钢结构工程中，焊缝无损检测技术的组合应用极具价值。超声检测、射线检测与磁粉检测相互补充，能全面精准地发现焊缝中的各类缺陷，保障钢结构的质量与安全。随着科技发展，智能化、数字化成为焊缝无损检测技术的重要趋势，不仅能提升检测效率，还可增强检测结果的准确性与可靠性。同时，完善标准体系是行业稳健发展的关键，它为检测工作提供统一规范，确保检测质量。展望未来，新型检测技术与 BIM、物联网技术的融合值得期待，这将实现对钢结构全生命周期的实时监测与智能管理，进一步推动建筑与桥梁钢结构检测行业迈向新高度，为工程建设提供更坚实的质量保障。

参考文献

[1] 邓淋方 . 基于磁记忆技术的钢结构焊缝中残余应力检测方法研究 [D]. 重庆交通大学, 2023.
[2] 熊飞 . 基于压电波动的混凝土梁裂缝无损检测技术研究 [D]. 江苏大学, 2021.
[3] 范剑伟 . 基于无损检测技术的沥青路面裂缝及结构状态检测评价方法研究 [D]. 东南大学, 2022.
[4] 钱超 . 钢结构焊接残余应力超声无损检测与原位调控 [D]. 浙江工业大学, 2021.
[5] 陈军 . 钢结构构件焊缝的视觉检测研究 [D]. 合肥工业大学, 2021.
[6] 龚小俊 , 陆鹏宇 . 钢结构桥梁无损检测技术分析 [J]. 运输经理世界 , 2023, (14): 86-88.
[7] 周建国 . 无损检测技术在钢结构桥梁焊缝检测中的应用分析 [J]. 科技资讯 , 2022, 20(21): 67-70.
[8] 聂煜川 . 公路钢结构桥梁焊缝的无损检测技术研究 [J]. 运输经理世界 , 2024, (13): 113-115.
[9] 陈再文 . 钢结构焊缝无损检测方法的应用 [J]. 冶金与材料 , 2022, 14(01): 179-180.
[10] 高伟 , 陈永松 , 罗剑 . 关于高速公路钢结构桥梁焊缝的无损检测应用探讨 [J]. 工程与建设 , 2023, 37(01): 209-213.

建筑工程检测在房地产项目中的应用： 材料检测的关键作用

卢攀

广东科捷检测技术服务有限公司，广东 广州 510700

DOI:10.61369/ADA.2025020029

摘 要： 材料检测对房地产项目质量至关重要。文章先介绍建筑工程材料检测定义、范围，阐述其在项目各阶段的关键作用及常用检测手段。接着通过案例说明检测不当的后果，强调优化质量控制，包括管理体系建设、遵循认证标准、规范现场抽样等，并提出标准迭代、本土化改造等措施，展望智慧检测前景。

关 键 词： 房地产项目；材料检测；质量控制

Application of Construction Engineering Testing in Real Estate Projects: The Key Role of Material Testing

Lu Pan

Guangdong Kejie Testing Technology Service Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510700

Abstract： Material testing is crucial for the quality of real estate projects. The article first introduces the definition and scope of material testing in construction engineering, and elaborates on its key role and commonly used testing methods in various stages of the project. Continuing with case studies to illustrate the consequences of improper testing, emphasizing the optimization of quality control, including management system construction, compliance with certification standards, standardized on-site sampling, etc., and proposing measures such as standard iteration and localization transformation, looking forward to the prospects of intelligent testing.

Keywords： real estate projects; material testing; quality control

引言

2023年颁布的《建设工程质量检测管理办法》旨在加强建设工程质量检测管理，保障建设工程质量。在房地产项目中，建筑工程材料检测意义重大，其通过专业手段对各类材料质量、性能测定评估，范围涵盖混凝土、钢筋等核心材料，关乎项目结构安全与稳定。但当前也存在材料参数超标、检测报告造假等问题。因此，需从优化质量控制、检测技术标准迭代、标准本土化改造、构建信息化平台等方面完善。政策的支撑有助于推动材料检测工作规范化，切实保障房地产项目质量。

一、建筑工程材料检测的概述

（一）材料检测的定义与范围

建筑工程材料检测，是指通过专业技术手段，依据相关标准对应用于建筑工程的各类材料进行质量、性能等方面的测定与评估。其范围涵盖众多核心工程材料，以混凝土为例，需检测其强度、坍落度、耐久性等指标，强度关乎建筑结构的承载能力，坍落度影响施工和易性，耐久性决定建筑的使用寿命^[1]。对于钢筋，要检测其拉伸性能、弯曲性能、化学成分等，拉伸性能决定钢筋抵抗拉力的能力，弯曲性能体现其加工适应性，化学成分影响其力学性能与抗腐蚀能力。这些核心工程材料的质量直接关系到房地产项目建筑结构的安全性与稳定性，所以材料检测的定

义与范围明确且重要，对保障房地产项目的整体质量起着关键作用。

（二）房地产项目对材料检测的依赖性

在房地产项目中，材料检测至关重要，项目对其存在高度依赖性。房地产项目开发周期长、环节多，质量管控贯穿始终。从项目规划伊始，就需依据对材料性能和质量的检测结果，合理选择材料，确保其符合设计要求与项目定位^[2]。施工阶段，材料的质量直接决定工程实体质量，通过对钢筋、水泥、砂石等各类材料的严格检测，把控材料的强度、耐久性、稳定性等关键参数，及时发现不合格材料，避免其用于工程，保障施工安全与工程质量。项目交付前，再次检测能验证材料质量是否达标，为项目整体质量提供有力保障。若材料检测缺失或不严格，将可能导致建

筑结构隐患、渗漏等质量问题，影响项目品质与使用安全，损害开发商声誉与经济效益。

二、材料检测关键技术的作用机理

（一）常规检测方法的技术特征

抗压强度测试是材料检测中常用的传统手段，其技术原理基于材料在承受压力时的力学性能表现。通过特定的压力施加设备，对建筑材料如混凝土试块逐步施加压力，直至材料破坏，记录此时的压力数值，以此来确定材料的抗压强度。操作规范要求测试环境保持稳定，试块制作规格符合标准，压力施加过程均匀且速率符合规定^[9]。化学成分分析则是借助专业仪器，对材料中的各种化学元素进行定性与定量分析。其技术原理基于不同元素的物理化学特性，通过光谱分析、质谱分析等技术手段实现。操作时需确保样品采集具有代表性，制备过程严谨，仪器校准精确，以保障分析结果的准确性，进而了解材料的化学组成，判断其是否满足房地产项目的质量要求。

（二）智能检测技术的创新应用

在建筑工程检测于房地产项目的应用中，无损检测设备、大数据监测系统智能检测技术发挥着创新应用的关键作用。无损检测设备，如超声检测仪、探地雷达等，能够在不破坏建筑材料的前提下，精准探测材料内部的缺陷、裂缝等情况。其作用机理是利用超声波、电磁波等特性，当遇到材料内部异常时，波的传播参数会发生改变，进而分析出缺陷信息，为工程质量判断提供有力依据^[4]。大数据监测系统则通过收集、整合海量的工程材料检测数据，运用数据分析算法，挖掘数据背后的潜在规律与趋势。比如可以实时监测材料性能随时间、环境变化的情况，提前发现可能出现的质量隐患，实现对工程质量的动态、精准保障，极大地强化了房地产项目中工程质量的保障力度。

三、房地产工程材料检测的实践案例

（一）典型材料检测工程应用

1. 混凝土耐久性检测案例

在某大型住宅项目中，混凝土耐久性检测至关重要。为确保建筑结构长期稳定性，对不同批次混凝土开展冻融循环试验。选取具有代表性的混凝土试块，依据相关标准设定试验条件，模拟实际使用中混凝土可能遭遇的冻融环境。经多次冻融循环后，观察试块外观变化，如是否出现剥落、裂缝等情况，并测定其质量损失率和动弹模量等关键参数。通过试验数据，判断混凝土抵抗冻融破坏的能力。这些结果为项目质量控制提供了关键决策支持，依据检测情况可调整混凝土配合比或采取额外防护措施，保障住宅在未来长期使用中结构不受冻融影响，确保居民安全与居住品质^[5]。

2. 钢结构焊缝缺陷检测案例

在某大型商业综合体房地产项目中，钢结构作为主要支撑结构，其焊缝质量至关重要。项目采用超声波探伤技术对钢结构焊

缝进行缺陷检测。该技术利用超声波在不同介质中传播特性的差异，当超声波遇到焊缝中的缺陷时，会发生反射、折射等，从而在探伤仪上显示出异常波形。检测人员通过对波形的分析，能精准判断缺陷的位置、大小和性质。例如，在对一根主梁的焊缝检测时，发现一处疑似裂纹缺陷。经进一步验证，确定为焊接过程中产生的冷裂纹。及时采取返修措施，避免了缺陷在后续使用过程中引发安全隐患，充分体现了超声波探伤技术在预防施工缺陷方面的关键作用，有效保障了商业综合体钢结构的安全性及稳定性^[6]。

（二）质量事故中的检测溯源分析

1. 建筑材料参数超标案例

在某房地产楼盘项目中，出现了地基沉降的质量事故。事故发生后，检测人员迅速展开检测溯源分析。经调查发现，建筑材料参数超标是重要原因。对于地基建设的混凝土进行详细检测，发现其抗压强度参数远超设计标准。这看似“良好”的参数背后，实则隐藏隐患。高强度的混凝土可能导致其脆性增加，在承受地基复杂应力时，更容易产生裂缝，进而引发不均匀沉降。这种材料参数超标的情况，反映出材料检测环节把控的疏忽。依据相关标准和过往经验^[7]，材料参数应严格符合设计要求，过高或过低都可能对工程质量造成严重影响。此次事故也凸显出，对建筑材料参数的精准检测和严格控制，是保障房地产工程安全、避免质量事故的关键环节。

2. 检测数据失真引发的工程隐患

在某房地产项目中，竣工后不久建筑物出现大面积渗漏问题，严重影响房屋使用功能。经调查，发现是检测报告造假导致的检测数据失真引发的工程隐患。当时对防水材料的检测报告显示各项指标均符合标准，但实际材料质量却不达标。本该严谨的拉伸强度、不透水性等关键参数检测被篡改数据，使得不合格材料被用于工程。这起质量事故不仅给开发商带来巨大经济损失，需对渗漏处进行大规模维修，还严重损害了企业声誉。此案例警示行业，必须加强对检测机构的监管，确保检测数据真实可靠，否则因检测数据失真引发的工程隐患将给整个房地产行业带来恶劣影响^[8]。

四、材料检测质量控制的优化路径

（一）检测过程管理体系建设

1. 实验室资质认证标准

在房地产项目的材料检测中，优化质量控制可从检测过程管理体系建设与遵循实验室资质认证标准两方面着手。检测过程管理体系建设需明确各环节流程与职责，确保检测工作有序开展，比如从材料抽样、运输保存到具体检测操作等，都要有严格规范。对于实验室资质认证标准，应严格依据 CMA 认证体系要求，构建质量控制标准框架。CMA 认证强调检测机构在管理体系、人员能力、设备设施等多方面的规范性与专业性^[9]。房地产项目材料检测时，遵循这些标准，能保障检测数据准确可靠，从根本上提升材料检测质量，为建筑工程的质量安全提供有力支撑，充分

发挥材料检测在房地产项目中的关键作用。

2. 现场抽样检测规范

在建筑工程检测应用于房地产项目中，优化材料检测质量控制至关重要。通过建设检测过程管理体系，对从材料入场到检测报告生成的全过程进行严格把控，明确各环节职责与操作标准，确保检测工作规范有序。针对现场抽样检测，制定适应房地产项目特点的现场检测作业指导手册^[10]，详细说明不同材料的抽样方法、数量、部位及频率等规范，让抽样更具代表性。同时，加强对现场抽样人员的培训，使其熟练掌握抽样规范，减少人为误差。从体系建设与现场抽样规范双管齐下，有效提升材料检测质量，保障房地产项目材料质量符合要求，进而为整个项目的质量与安全奠定坚实基础。

（二）检测技术标准迭代机制

1. 新型材料检测标准制定

在建筑工程检测于房地产项目的应用中，材料检测质量控制的优化，离不开检测技术标准迭代机制与新型材料检测标准制定。对于检测技术标准迭代，应紧密跟踪行业最新技术发展动态，深入研究新材料、新工艺对检测的新要求，及时更新现有检测技术标准。通过对检测实践中的问题总结、数据分析等，不断完善标准内容，确保其科学性与实用性。在新型材料检测标准制定方面，鉴于装配式建筑预制构件等新材料的广泛应用，需深入分析其特性，从原材料、构配件到成品的不同阶段，建立涵盖性能指标、检测方法、合格判定等全面且细致的专项检测规程，填补新型材料检测标准空白，为材料检测提供精准可靠的依据，从而有效保障建筑工程材料检测质量。

2. 国际检测标准本土化改造

在房地产项目材料检测中，ASTM标准作为国际检测标准，需进行本土化改造。一方面，充分考虑我国房地产项目所处的地理环境、气候条件等因素。例如在南方地区，气候潮湿，对建筑材料的防潮性能要求更高，需在ASTM标准基础上补充或调整相关防潮检测指标及方法。另一方面，结合我国建筑行业规范和房地产项目特点。我国建筑规范对防火等级等有明确规定，要依据这些规定对ASTM标准中材料防火性能检测部分进行完善，确保

检测标准符合本土项目实际需求。同时，关注国内房地产市场对材料环保、节能等方面的特殊要求，将其融入ASTM标准，使改造后的标准既能保留国际先进检测理念，又能切实服务于我国房地产项目材料检测质量控制。

（三）检测信息化平台构建

1. 检测数据云存储系统

在建筑工程检测应用于房地产项目中，检测数据云存储系统是检测信息化平台构建的重要部分。该系统利用先进的云技术，将材料检测过程中产生的大量数据进行高效存储。通过云存储，数据不再受限于本地存储设备的容量，能实现无限拓展，满足房地产项目日益增长的检测数据存储需求。而且，云存储系统具备强大的数据备份与恢复功能，极大降低数据丢失风险，确保材料检测数据的安全性及完整性。同时，它还支持多终端实时访问，检测人员无论身处何地，都能通过网络便捷获取所需数据，方便进行数据的分析与处理，有力推动材料检测质量控制的信息化、高效化进程，为房地产项目材料检测工作提供坚实的数据保障。

2. 智能预警决策系统

构建智能预警决策系统，需开发基于机器学习的材料异常预警模型。通过采集材料成分、工艺、环境等多维度数据，训练模型以精准识别性能异常趋势。一旦预测异常，立即启动预案：通知部门、暂停使用、复检确认。若属实，则更换材料并溯源分析，优化检测流程与标准。该系统实现早预警、快响应、闭环管理，有效提升材料检测质量，保障房地产项目材料安全可靠。

五、总结

材料检测是保障房地产项目质量的基石，其数据直接关乎建筑的安全性与耐久性。精准检测可防范材料隐患，确保高品质建设。检测技术创新与标准化协同推进，提升检测的科学性与规范性。未来，在绿色建筑发展趋势下，智慧检测前景广阔，通过智能化手段实现对绿色建材的实时、全方位监测，助力项目更节能环保，为行业可持续发展注入新动能。

参考文献

- [1]王汉宇.国有纾困基金在YF房地产项目中的应用分析[D].华北水利水电大学,2023.
- [2]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.
- [3]廉玉城.基于电磁超声表面波的应力检测研究[D].中北大学,2022.
- [4]都芸.MOF材料的合成及在分析检测中的应用[D].烟台大学,2021.
- [5]李梦梦.微裂纹检测和热老化程度评估的激光超声研究[D].南京理工大学,2022.
- [6]郭涛.建筑工程材料检测分析及质量控制[J].装饰装修天地,2021(3):51.
- [7]周红午.材料检测技术在公路工程中的应用[J].工程技术研究,2023,8(04):202-204.
- [8]汪旭阳.道路工程材料质量检测的重要性及检测要点[J].商品与质量,2021(13):233.
- [9]林宇驰.建筑工程材料检测技术研究[J].江西建材,2021,(11):43-44+46.
- [10]阿米娜·买买提.建筑材料检测在建筑工程中的重要性[J].居舍,2022,(20):21-24+32.

住建局测绘工作中的技术应用与规范管理探究

彭星华

罗定市住房和城乡建设局, 广东 云浮 527200

DOI:10.61369/ADA.2025020030

摘 要 : 住建局测绘工作涉及技术、规范、管理等多方面。其技术体系由 GNSS 等构成, 在房产、工程等测量场景广泛应用。规范管理需结合行业与地方标准, 构建质量控制闭环。新兴技术带来挑战, 需适配标准。此外, 还应搭建智能审查、数据治理、安全防护体系。多个案例验证了技术与管理协同的有效性, 未来应强化融合以提升服务。

关 键 词 : 住建局测绘; 技术应用; 规范管理

Exploration of Technical Application and Standardized Management in the Surveying Work of the Housing and Urban-Rural Development Bureau

Peng Xinghua

Luoding Municipal Housing and Urban-Rural Development Bureau, Yunfu, Guangdong 527200

Abstract : The surveying work of the Housing and Urban-Rural Development Bureau involves multiple aspects such as technology, standards, and management. Its technical system is composed of GNSS and other technologies, which are widely used in measurement scenarios such as real estate and engineering. Standardized management needs to be combined with industry and local standards to build a closed loop of quality control. Emerging technologies bring challenges that require matching standards. In addition, it is necessary to build an intelligent review, data governance, and security protection system. Multiple cases have verified the effectiveness of the synergy between technology and management, and in the future, integration should be strengthened to improve services.

Keywords : surveying of the housing and urban-rural development bureau; technical application; standardized management

引言

2015年, 国家测绘地理信息局颁布了《测绘地理信息行业信用管理办法》。该办法旨在加强测绘地理信息行业的信用管理, 规范市场秩序。住建局的测绘工作涉及多种核心技术, 这些技术在不同场景中得到了广泛应用。同时, 住建局注重测绘规范管理体系建设、质量控制以及新兴技术的适配。该法案的出台, 为住建局测绘工作的规范管理提供了有力支撑。这一政策确保了住建局测绘工作在技术应用与规范管理的协同发展道路上, 通过标准化、智能化、安全化的建设, 构建新型测绘服务体系, 从而为城市建设与管理提供更优质、高效的测绘服务。

一、住建局测绘技术应用分析

(一) 测绘技术体系构成

住建局测绘技术体系由多种核心技术构成。GNSS (全球导航卫星系统) 利用卫星信号实现高精度定位, 其原理是通过接收多颗卫星发射的信号, 根据信号传播时间计算接收机位置^[1]。GIS (地理信息系统) 则是对地理空间数据进行采集、存储、分析和显示, 通过构建空间数据库和分析模型, 为住建测绘提供数据管理与决策支持。三维激光扫描技术基于激光测距原理, 快速获取物体表面的三维空间信息, 生成点云数据, 可精确还原建筑及地形地貌。倾斜摄影技术从多个角度采集影像, 通过多视影像联合

平差、多视影像密集匹配等算法, 构建实景三维模型, 为住建规划、设计等提供直观的三维场景。

(二) 典型场景应用实践

在房产测绘场景中, 常组合运用全站仪、GPS 等技术进行房屋面积测算、房产要素采集。通过全站仪精准测量房屋角点坐标, 结合 GPS 定位确定房屋空间位置, 实现房产数据精确采集, 其实施效果显著, 能为房产交易、产权登记等提供可靠依据^[2]。工程测量方面, 综合运用遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 以及高精度水准仪等技术。RS 可快速获取大面积地形地貌信息, GIS 用于数据管理与分析, 水准仪精确测量高程, 有效保障工程规划、设计与施工的顺利进行。在地下管线探测场景, 采用探地

雷达、管线探测仪等技术，能够准确探测地下管线的位置、走向及埋深等信息，为城市地下空间规划与管理提供详实资料，提升城市基础设施建设与运维的安全性和高效性。

二、测绘规范管理体系建设

（一）行业标准与地方规范

在住建局测绘工作的测绘规范管理体系建设中，行业标准是重要基础。国家层面出台的行业标准为测绘工作设定了基本准则与技术要求，涵盖测绘数据采集、处理、成果表达等各环节，确保测绘工作的科学性与规范性。而地方规范则是结合当地实际情况对行业标准的补充细化。住建领域的地方标准特色化补充条款，依据地方的地理环境、城市规划需求、建设特点等制定。例如，在地形复杂地区，可能针对高精度地形测绘制定更严格的精度指标；在城市更新频繁区域，对建筑变形监测周期及精度要求做出特殊规定。这些条款的制定逻辑紧密围绕地方住建工作的实际需求，以更好地服务地方建设与发展，与国家行业标准相互配合，共同构建完善的测绘规范管理体系^[3]。

（二）质量控制实施路径

在住建局测绘工作规范管理体系建设中，质量控制实施需构建全流程的PDCA质量管理闭环体系模型。首先对测绘设备进行精准校验，确保设备性能符合技术标准，为测绘数据的准确性奠定基础。在测绘过程中，实施严格监管，对各个环节操作规范及数据采集情况进行把控，及时发现并纠正可能出现的偏差。完成测绘后，进行成果验收，依据相关标准对测绘成果的完整性、准确性等进行全面审核。通过这一闭环体系，实现从设备到过程再到成果的循环管理与持续改进，不断提升测绘工作质量，使整个测绘规范管理体系更加科学、完善^[4]。

三、技术与管理协同创新机制

（一）技术赋能的规范演进

1. 新兴技术标准适配性研究

在住建局测绘工作中，BIM、实景三维等新兴技术的应用正深刻改变着传统测绘模式。这些技术具备强大的数据处理与表达能力，却也对传统测绘规范带来诸多挑战^[5]。从数据采集层面看，新兴技术的数据获取方式、精度要求与传统方式差异明显，传统规范难以适配。例如，实景三维技术获取的海量数据，其存储、传输和处理标准都亟待更新。在数据应用方面，新兴技术提供了更丰富的展示和分析手段，传统规范在成果表达与应用范围界定上显得滞后。需要深入研究新兴技术标准的适配性，依据技术特点完善和更新测绘规范，明确数据采集、处理、应用等各环节标准，确保新兴技术在住建局测绘工作中得以规范、高效应用。

2. 智能审查系统构建

在住建局测绘工作里，智能审查系统构建是技术与管理协同创新的关键一环。借助AI技术实现测绘成果合规性自动审查，需

精心设计算法实现与规则嵌入机制。在算法实现方面，运用深度学习算法对大量测绘数据进行特征提取与分析，如通过卷积神经网络识别测绘图形中的关键要素，提升审查的精准度与效率。在规则嵌入机制上，将住建领域的测绘规范和标准，如比例尺精度要求、坐标系规定等，以代码逻辑形式嵌入审查系统，确保系统依据准确规范进行审查。这一智能审查系统的构建，不仅能快速筛查出不合规的测绘成果，还能实时反馈问题所在，为测绘工作者提供明确的修改方向，有力推动住建局测绘工作在技术赋能下的规范演进^[6]。

（二）管理反哺的技术优化

1. 数据治理框架搭建

在住建局测绘工作中，数据治理框架搭建需设计涵盖数据采集、处理、共享的全生命周期治理方案及多源数据整合策略。在数据采集阶段，要明确各类测绘数据的采集标准与流程，确保数据准确性与完整性。处理过程里，利用先进算法与模型对采集数据进行分析与提纯，提升数据质量。共享环节则需建立安全高效的数据共享平台，保障数据流通。同时，面对多源数据，采用有效的整合策略，打破数据壁垒，实现不同来源测绘数据的无缝融合，构建统一的数据资源池^[7]。如此这般，从数据的全生命周期着手，实施多源数据整合，为住建局测绘工作提供坚实的数据支撑，促进技术与管理协同发展，提升测绘工作的整体效能与质量。

2. 安全防护体系构建

住建局测绘工作中，构建安全防护体系至关重要。建立涉密测绘成果的区块链存证机制，利用区块链不可篡改、分布式账本等特性，确保测绘成果数据真实可靠且长期可追溯。借助区块链技术，为每一份涉密测绘成果盖上独一无二的“时间戳”，防止数据被恶意篡改^[8]。同时，实施访问权限控制，依据不同人员的工作职能和需求，精准授予相应的访问级别，杜绝无关人员接触涉密数据。另外，搭建溯源追踪体系，能够对每一次涉密测绘成果的使用、流转等操作进行详细记录，一旦出现安全问题，可迅速追根溯源，明确责任主体，从而全方位保障住建局测绘工作中涉密测绘成果的安全性与保密性，维护测绘工作的正常秩序。

四、实践案例验证分析

（一）城市更新测绘项目

1. 多技术融合应用

在某老城改造这一城市更新测绘项目中，倾斜摄影与BIM技术协同应用。通过倾斜摄影技术从多个角度采集老城区域的影像数据，获取丰富的纹理信息与空间数据，为后续建模提供基础资料。利用BIM技术构建老城建筑的三维模型，整合各专业信息。实施方案里，将倾斜摄影获取的数据导入BIM模型，实现模型的精确构建与信息补充。精度验证方面，通过实地测量部分建筑的关键尺寸，与模型数据对比，发现误差在可接受范围内，表明该协同应用方案可行。这种多技术融合应用不仅提高了测绘效率，还提升了数据的准确性与完整性，为老城改造提供有力支持，也

为类似城市更新测绘项目提供了可借鉴的模式^[9]。

2. 规范化管理实践

在某城市更新测绘项目中，基于 ISO 质量管理体系的三级检查制度得到充分应用。作业小组完成测绘任务后进行自检，全面检查测量数据的准确性、绘图的规范性等，及时纠正明显错误与疏漏。随后由项目组进行互检，不同作业小组交叉检查，从不同视角审视成果，发现并解决自检时可能忽略的问题。最后由质检部门进行专检，依据严格标准，对测绘成果进行全面细致审查。通过这一创新的三级检查制度，该项目成果质量显著提升，成果合格率达到98%以上，有效避免了因成果质量问题导致的项目延误与资源浪费，为城市更新提供了精准可靠的测绘数据支持，充分验证了这一规范化管理实践在住建局测绘工作中的有效性与重要性^[10]。

（二）智慧社区建设工程

1. 实景三维建设

在某智慧社区建设工程的实景三维建设实践中，依据前期讨论的技术选型方案，选用倾斜摄影测量技术来获取高分辨率的影像数据。凭借多镜头同时采集不同角度影像，构建出高精度的三维模型。在数据更新维护机制方面，建立定期巡查制度，每季度对社区内重要设施及建筑外观进行检查，若发现变化及时更新数据。同时，利用物联网传感器实时采集社区动态信息，如停车位使用情况等，并同步更新到三维模型中。通过这一实践案例发现，合理的技术选型与有效的数据更新维护机制，显著提升了实景三维模型的准确性与时效性，为智慧社区的规划、管理与服务提供了可靠的空间数据基础，有力验证了相关技术选型方案与数据更新维护机制的可行性与实用性。

2. 数据共享机制

以某智慧社区建设工程为例，其构建跨部门测绘数据共享的权限分级模型与动态更新管理流程成效显著。权限分级模型依据不同部门职能需求，精准划分数据访问级别。如规划部门可获取高精度地形测绘数据用于整体布局规划，而社区服务部门仅能访问与居民生活设施相关的基础测绘信息，保障数据安全与合理使用。动态更新管理流程则确保数据实时性。通过定期与不定期相结合的方式，利用新型测绘技术手段对数据进行采集更新。例如，引入无人机倾斜摄影技术及时更新社区建筑外观及周边环境数据。在数据更新后，自动触发权限分级模型的适配调整，让各部门获取最新且权限内的数据。

参考文献

- [1] 唐虹. 大连市 Z 区住建局绩效管理优化研究 [D]. 大连理工大学, 2023.
- [2] 林鑫山. 人工智能技术在慢性阻塞性肺疾病病例发现与规范管理中的应用研究 [D]. 北京协和医学院, 2021.
- [3] 黄书培. 成华区共享单车规范管理问题研究 [D]. 西南财经大学, 2021.
- [4] 陈芳婷. 基层政府编外人员的规范管理研究——以 Z 市为例 [D]. 西北农林科技大学, 2021.
- [5] 周航. 基于医保视角探讨慢性病处方规范管理的对策研究 [D]. 武汉轻工大学, 2023.
- [6] 朱春国. 测绘新技术在测绘工程测量中的应用探究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(5): 75-76.
- [7] 彭燕妮. GIS 建库技术在矿山测绘工程中的应用研究 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(2): 34-36.
- [8] 梅诗. 遥感测绘技术在测绘工作中的应用探究 [J]. 中国金属通报, 2021(14): 261-262.
- [9] 张鹏. CORS 技术在城市规划测绘中的应用探究 [J]. 信息系统工程, 2023(8): 36-39.
- [10] 李丽. 司法档案的史料价值与规范管理方法探究 [J]. 兰台内外, 2023(8): 43-45.

（三）应急测绘保障体系

1. 快速响应技术组合

在某城市突发地震后的应急测绘保障工作中，采用无人机集群测绘与应急通信技术的快速响应技术组合。多架无人机迅速起飞，利用搭载的高清相机和激光雷达等设备，从不同角度对受灾区域进行快速测绘，获取高分辨率影像和地形数据。同时，应急通信技术确保无人机与指挥中心之间数据的实时、稳定传输，使指挥人员能及时掌握受灾情况。经效能评估，该技术组合在短时间内完成大面积受灾区域测绘，影像分辨率达到厘米级，数据传输成功率超98%，为后续救援决策提供了精准、及时的数据支持，验证了无人机集群测绘与应急通信技术协同作业模式在住建局应急测绘保障工作中的高效性与可靠性，能有效提升应急响应速度与测绘数据质量。

2. 预案管理优化

以某次城市突发地震灾害的应急测绘保障工作为例进行实践案例验证分析。地震发生后，依据传统预案开展测绘工作，在实际推进中发现部分区域数据获取困难，数据传输存在延迟等问题，难以满足救灾决策实时性需求。随后启动基于情景构建的应急测绘预案动态调整模型，结合地震影响范围、受灾程度等情景因素，迅速调整测绘任务优先级、优化数据采集路线，并通过演练机制模拟不同场景下数据传输与处理流程。经调整后，测绘数据能够及时、准确地为救灾指挥提供有力支持，有效提升了应急测绘保障效率，验证了基于情景构建的应急测绘预案动态调整模型及演练机制在住建局应急测绘保障体系预案管理优化中的有效性与实用性。

五、总结

在住建局测绘工作中，技术应用与规范管理相辅相成。通过实践探索，已明晰技术与管理协同发展路径。标准化趋势下，各项测绘工作依据统一标准执行，提升数据的准确性与可比性；智能化发展促使借助先进技术提高测绘效率与精度；安全化则保障数据与作业过程的安全。新型测绘服务体系的构建，是适应时代发展的必然要求。政策建议从制度完善、人才培养等方面着手，为体系建设提供支撑。未来，住建局测绘工作应持续强化技术与管理融合，以满足住建领域不断发展的需求，为城市建设与管理提供更优质、高效的测绘服务。

EPC 总承包模式下建筑工程项目造价超支风险识别与预警机制构建

张河

天津市房屋鉴定建筑设计院有限公司，天津 300381

摘 要： EPC 总承包模式由于设计、采购、施工一体化的优势成为建筑工程的主流模式，但是造价超支的风险贯穿整个项目的生命周期，对项目的效益以及企业的竞争力造成了很大的影响。本文以 EPC 模式为核心特征，系统分析造价超支风险的内涵和表现形式，阐述造价超支风险识别预警机制构建的现实意义；梳理当前造价超支风险识别维度不全面、预警指标不科学、技术应用滞后等问题，提出涵盖全生命周期的风险识别体系、科学预警指标、数字化预警技术、协同管理机制的构建策略，提升项目造价管控水平给予理论上的借鉴与实际操作中的引领，促进建筑工程行业的高质量发展。

关 键 词： EPC 总承包模式；建筑工程；项目造价；超支风险识别；预警机制构建

Construction of a Risk Identification and Early Warning Mechanism for Cost Overruns in Construction Projects under the EPC General Contracting Model

Zhang He

Tianjin House Appraisal and Architectural Design Institute Co., LTD. Tianjin 300381

Abstract： The EPC general contracting model has become the mainstream mode in construction projects due to its advantages of integrating design, procurement and construction. However, the risk of cost overruns runs throughout the entire project life cycle, which has a significant impact on the project's benefits and the competitiveness of the enterprise. This paper takes the EPC model as the core feature, systematically analyzes the connotation and manifestation of the risk of cost overruns, and expounds the practical significance of the construction of the risk identification and early warning mechanism for cost overruns. Sort out the current problems such as incomplete dimensions for identifying cost overruns, unscientific early warning indicators, and lagging application of technology, and propose construction strategies for a risk identification system covering the entire life cycle, scientific early warning indicators, digital early warning technology, and collaborative management mechanism, providing theoretical references and practical guidance for improving the level of project cost control. Promote the high-quality development of the construction engineering industry.

Keywords： EPC general contracting model; construction engineering; project cost; overspending risk identification; early warning mechanism construction

引言

随着建筑工程规模的扩大和技术复杂度的提高，EPC 总承包模式由于统筹协调、效率高等特点被广泛使用。但是，在该模式下，总承包商要对从设计到竣工的全过程负责，存在设计偏差、采购价格波动、施工变更、政策调整等各方面的风险，造成造价超支的情况时有发生，不但会使项目的利润被压缩，还会引起合同纠纷以及工期的延误。因此准确识别造价超支风险，创建科学有效的预警机制，已经成为 EPC 总承包项目管理的重中之重。本文从概述、意义、现状以及预警策略等几个方面入手，针对风险控制的关键环节，探寻契合 EPC 模式特性的一种预警途径，以此来为解决造价超支问题、保证项目顺利进行提供有力的帮助。

一、EPC 总承包模式下建筑工程项目造价超支风险概述

（一）EPC 总承包模式的核心特征

EPC 总承包模式就是指总承包商按照合同约定，承担建筑工程项目的设计、采购、施工、试运行等全过程或者若干阶段的承包任务，并对项目的质量、安全、工期、造价全面负责。其主要特点集中体现为一体化统筹控制，把设计、采购、施工等各个分散环节深度融合，打破各个环节之间的信息壁垒，减少在衔接过程中的推诿扯皮和效率损失，达到资源优化配置和项目整体效益最大化。同时总承包商作为项目责任主体，需要统筹业主、设计单位、供应商、施工分包等多方资源，承担从项目策划到竣工交付的大部分风险，相比传统的“设计—采购—施工”分离的承包模式，对造价、进度、质量的综合控制难度更大，对企业的综合管理能力要求更高。

（二）建筑工程项目造价超支风险的内涵与表现形式

EPC 模式下造价超支风险，就是在项目全生命周期内，由于内外部不确定因素交织影响，造成项目实际发生造价总额超过合同约定造价范围，从而引起经济损失、工期延误等不良后果的可能性。其表现形式有明显的阶段差异性以及复杂性，设计阶段除了方案优化不足、参数估算偏差之外，还有设计标准选择不当、各专业图纸之间存在矛盾等，容易造成后期造价概算超支；采购阶段除了原材料价格上涨、供应商违约之外，采购渠道单一、设备规格与设计不符等也会增加采购成本；施工阶段除了地质条件变化、施工工艺调整、安全事故之外，现场管理混乱、分包商索赔等也会导致变更签证费用超支；外部因素中，环保政策收紧、原材料产能波动、区域市场供需失衡等，也会通过产业链传导间接推高项目造价。

二、构建 EPC 总承包模式下造价超支风险识别与预警机制的意义

（一）保障项目经济效益实现

造价超支是 EPC 项目效益的主要阻碍，EPC 项目投资额度大、历时久、技术含量高，如果发生造价超支，就会导致利润缩水，资金链断裂，融资成本上升，项目烂尾。建立科学的风险识别和预警机制，可以提前找到造价管控的隐患点，对风险进行量化和预估之后再及时采取调整采购策略，改进施工方案，把控变更签证等干涉手段，从而避免或者削减超支损失，保证项目造价处于预算额度之内，保障项目的预期利润目标得以达成，改善项目的投资回报率^[1]。

（二）提升总承包企业核心竞争力

风险管控能力是 EPC 总承包企业生存发展的核心能力，在当前建筑市场越来越激烈的竞争环境下，业主对项目造价的管控要求越来越高，有完善的风控体系的企业更容易得到市场的认可^[2]。完备的造价超支风险识别和预警机制，可以使得企业对风险的把握更加准确，优化造价控制流程，减少因为造价纠纷造成的经营风险和声誉损失。并且凭借风险预警所积累的管控经验，可以形成企业的核心技术及管理优势，在市场中提升企业的公信力和议价能力，促进企业的可持续发展。

（三）规范建筑工程行业市场秩序

当前建筑行业项目造价超支引发的恶性竞争、合同违约、工程款拖欠问题，不但损害了参建各方的利益，而且严重扰乱了市场秩序。建立统一、科学的风险识别与预警机制，可以促使 EPC 总承包企业树立规范的造价控制意识，摆脱以低价中标、高价索赔为主的粗放型经营模式，形成事前预防、事中控制、事后改进的精细化管理氛围。另外，标准化的风险预警系统可以减小行业间的信息不对称，促进行业内部的竞争，促使行业由原来的规模扩张为主转变为质量效益并重，不断改善市场秩序^[3]。

（四）助力工程建设数字化转型

风险识别和预警机制的建立需要数据的支撑，而这一过程又会倒逼 EPC 总承包企业打破信息孤岛，引入大数据、人工智能、BIM 等先进的数字化技术。借助创建造价数据库并搭建数字化管控平台，达成对设计、采购、施工等各个阶段造价数据的即时收集，整合并加以分析，促使造价管控由原来依靠经验的方式转变成以数据为依托的模式。

三、EPC 总承包模式下建筑工程项目造价超支风险识别与预警现状

（一）风险识别维度不全面

目前大多数 EPC 项目的风险识别只重视施工阶段，对设计、采购等前期阶段的重视程度不高，忽略了设计方案的合理性、采购市场趋势等源头风险；同时识别范围大多只有内部因素，对于政策变化、市场波动、自然灾害等外部风险预判能力弱，造成风险识别存在盲区，不能覆盖整个项目生命周期^[4]。

（二）预警指标体系不完善

现有的预警指标大多采用造价偏差率等单一的财务指标，缺少对设计变更率、采购价格波动幅度、施工进度偏差等非财务指标的整合；指标设计缺乏针对性，没有根据 EPC 模式各个阶段风险特点的不同来设置不同的指标，而且指标权重分配主观随意，造成预警结果的准确性不高，不能很好地指导风险防控工作。

（三）预警技术应用滞后

大多数总承包企业依旧沿用传统的人工统计、依靠经验来做出判断的方式进行预警工作，数据采集效率低下且容易出错，不能实现风险信息的实时共享和动态分析；大数据、BIM、人工智能等数字化技术在预警中应用还处于起步阶段，缺少成熟的技术应用场景和平台支持，造成预警响应慢，不能及时发现风险的变化^[5]。

（四）预警管理机制不健全

目前预警工作大多由造价管理部门单独承担，缺少设计、采购、施工等各部门的协同联动，风险信息传递不畅；没有建立起完善的风控预警责任制，预警发现的问题缺少明确的处置流程及考核办法，造成重预警、轻处置的现象屡见不鲜，风控预警机制不能发挥应有的管控作用^[6]。

四、EPC 总承包模式下建筑工程项目造价超支风险预警策略

（一）完善全生命周期风险识别体系

按照 EPC 项目设计、采购、施工、试运行的全生命周期来构建

“源头识别、过程识别、外部识别”三维风险识别框架，达到风险无死角覆盖的目的。设计阶段属于造价控制的源头，采用德尔菲法召集建筑、结构、造价等各领域的专家对设计方案的经济性、技术可行性展开评审，找出方案优化不够、荷载计算有误、设计深度不足等造成造价超支的潜在风险点，形成设计风险清单并实时更新，引入 BIM 协同设计技术，提前发现各专业图纸冲突引发的后期变更风险；采购阶段依靠市场调研、大数据分析等手段，跟踪主要材料、设备的价格变动趋向，创建供应商信用评价体系，着重识别价格上涨、供应商履约能力缺乏、物流滞后等风险，同步开展供应链风险评价，避免断供造成的成本增长；施工阶段用 BIM 技术对施工流程实施模拟，预先察觉地质条件的变动、施工工艺的冲突、安全质量的隐患等风险，同时规范变更签证的管理，对每一条变更都开展风险评价和造价测算。外部识别方面要建立政策、市场、自然环境等外部风险数据库，指定专人跟踪政策法规变动、汇率波动、极端天气等外部因素，根据风险发生概率及影响程度来划分风险等级，保证风险识别贯穿项目始终^[7]。

（二）构建科学差异化预警指标体系

按照 EPC 模式各个阶段风险特征的不同，分阶段设置不同的、量化的预警指标来提高预警的准确性。设计阶段主要设置方案概算偏差率、设计变更率、图纸审查通过率等指标，其中方案概算偏差率预警阈值可以依据项目类型确定为 $\pm 5\%$ ，超过阈值即产生预警；采购阶段设置的主要材料价格波动幅度、采购周期偏差率、供应商违约率等指标，钢材、混凝土等主材价格月波动幅度超过 8% 的时候就会触发预警；施工阶段包含工程款支付偏差率、施工变更费用占比、工期偏差率、安全事故发生率等指标，施工变更费用占合同总价的比例大于 3% 时则会发出预警；并且严格审查变更的必要性、合理性。运用层次分析法确定出各项指标的权重，并结合项目的规模、技术难度等因素进行适当调校。经过试验项目的应用检验，对各个因素进行修正，形成一个有阶段重点，指标可量化的灵活调整的预警指标体系^[8]。

（三）创新数字化预警技术应用

创建以 BIM 和大数据为基础的集成化预警管理平台，从而做到对造价风险实行及时的监督管理并发出预警信息。以 BIM 技术为基础创建项目的三维数字化模型，把设计图纸、工程量清单、造价预算等数据植入模型之中，使设计、采购、施工等各个阶段的数据能够实现无缝对接并做到可视化管理，依靠模型开展碰撞检查，尽早察觉设计上的冲突之处，削减由于设计变更引发的造价超出；用大数据技术汇集历史项目的造价数据、当前市场价格数据、政策法规数据等多种信息，创建造价风险预测模型，采用机器学习算法对风险指标展开动态分析和趋势预测，比如通过对历史材料价格走势和宏观经济数据的分析，准确预估未来价格波动风险，并自动生成黄、橙、红三级预警信号。同时开发移动端

预警 APP，将预警信息及时推送到项目管理人员、造价工程师、施工负责人等有关人员，并设置信息已读回执和处置时限提醒，保证风险信息能够及时传递和共享；建立数据安全防护体系，设置不同等级的权限管理，对一些敏感的造价数据加以加密保存，以此保障数据的安全性，另外促使预警平台同企业的 ERP 系统以及进度管理系统开展对接，达成数据互通互用的局面，从而构建起“数据采集—分析预测—预警推送—处置反馈”的数字化预警闭环，大幅度改善预警的回应速度及其解决效果^[9]。

（四）健全协同化预警管理机制

创建总承包商统筹、各部门协同、参建各方共同管理的预警管理组织架构，清晰地定义出各个方面的职责，使各个部分联合协作。总承包商设立造价风险预警管理领导小组，项目经理任组长，负责预警工作的统筹工作，造价管理部、设计管理部、采购管理部、施工管理部为专项工作组，造价管理部负责预警指标的设定、数据分析、预警信号的发布，设计部、采购部、施工部分别负责本环节风险识别、数据采集、预警处理。建立健全沟通会议制度，设立每周一次的风险预警例会，汇报风险控制状况，商讨重大风险事宜；创建风险信息共享机制，凭借预警操作平台，令不同部门，各个参建方的风险信息及时交流，消除信息隔阂。制定预警处置流程细则，明确不同的预警等级对应的处置权限、时限，黄色预警由部门负责人组织处置并在 24 小时内反馈结果，橙色预警由项目经理统筹处置并在 12 小时内启动应对方案，红色预警上报企业高层决策并同步告知业主、监理单位；把预警工作成效纳入部门与个人绩效考核，设置风险管控考核指标，对预警及时、处置有效的团队和个人给予奖励，对预警滞后、处置不力导致造价超支的进行问责；定期开展风险预警应急演练，模拟不同的风险场景，提高各部门协同处置能力，形成“预警—处置—反馈—优化”的闭环管理机制，保证预警机制落地见效^[10]。

五、结束语

综上所述，EPC 总承包模式下建筑工程项目造价超支风险的识别和预警机制构建，是提高建筑工程项目造价控制水平、保证企业可持续发展的关键步骤。本文对风险概述、构建意义、现状问题、预警策略进行系统的研究，得出预警机制的构建要从全生命周期出发，依靠数字化技术，加强协同管理。在建筑行业数字化转型、高质量发展的背景之下，EPC 总承包企业应重视风险预警机制的落地和优化，完善风险识别维度、优化预警指标、创新技术应用，从而达到精准的风险管控目的。大数据和人工智能技术深入应用之后，造价超支风险预警机制也会更加智能化、精细化，为建筑工程行业提质增效提供更有力的支撑。

参考文献

- [1] 郑泽棉. 水工建筑类水利工程项目施工风险影响因素评价与管理研究 [J]. 水利科技与经济, 2024, 30(12): 103-107.
- [2] 李仲宏. 提高建筑工程管理及施工质量控制的有效对策研究 [J]. 城市建设理论 (电子版), 2024, (36): 41-43.
- [3] 黄河清. 建筑工程风险管理的关键因素及应对策略分析 [J]. 城市开发, 2024, (13): 142-143.
- [4] 喻鹏. 工程造价动态管理对住宅建筑工程项目的意义 [J]. 居舍, 2024, (36): 132-134.
- [5] 张小强. 基于熵权-模糊综合评判的建筑工程风险评估方法研究 [J]. 项目管理技术, 2024, 22(12): 131-136.
- [6] 严智群. 建筑工程企业汇率风险管理策略初探——以 C 公司为例 [J]. 国际商务财会, 2024, (22): 21-24.
- [7] 余恩刚. 建筑工程企业资金运营风险及应对策略探究 [J]. 中国集体经济, 2024, (33): 73-76.
- [8] 常志. 建筑工程合同风险管理与成本控制关联性分析 [J]. 中华民居, 2024, 17(08): 181-183.
- [9] 徐磊. 建筑工程招标采购合同风险及管控措施 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(21): 168-170.
- [10] 褚青晶. 建筑工程经济在项目管理风险控制中的应用 [J]. 内蒙古科技与经济, 2024, (20): 38-41.

水工建筑物混凝土无损检测技术应用与精度提升研究

张小宇

广东丰源建设工程检测有限公司, 广东 河源 517200

DOI:10.61369/ADA.2025020033

摘 要： 水工建筑物混凝土无损检测技术对保障工程质量与安全意义重大。本文介绍超声波、冲击回波等多种检测方法原理及应用场景，分析各技术在水工环境适用性，阐述在大坝等不同水工建筑的应用案例。针对水下结构和大体积混凝土检测难点提出解决方法，并探讨数据融合等多种提升检测精度的技术与措施。

关 键 词： 水工建筑物；混凝土无损检测；检测精度

Research on the Application and Accuracy Improvement of Non destructive Testing Technology for Concrete in Hydraulic Structures

Zhang Xiaoyu

Guangdong Fengyuan Construction Engineering Testing Co., Ltd., Heyuan, Guangdong 517200

Abstract： The non-destructive testing technology for concrete in hydraulic structures is of great significance in ensuring engineering quality and safety. This article introduces the principles and application scenarios of various detection methods such as ultrasound and impact echo, analyzes the applicability of each technology in hydraulic environments, and elaborates on application cases in different hydraulic structures such as dams. Propose solutions to the difficulties in detecting underwater structures and large volume concrete, and explore various technologies and measures such as data fusion to improve detection accuracy.

Keywords： hydraulic structures; non destructive testing of concrete; detection accuracy

引言

水《水利工程质量检测管理规定》于2008年颁布，强调对水利工程质量检测活动实施监督管理，保障工程质量。在此政策背景下，水工建筑物混凝土无损检测技术意义重大。该技术虽已取得成果，但仍需提升精度。文中阐述多种无损检测技术在水工建筑中的应用、面临难点及解决措施，还涉及数据融合、智能算法等技术及相关体系构建。这些探讨对规范检测流程、推进智能化设备研发、完善质量管理体系，实现无损检测技术与人工智能和物联网深度融合，提升检测精度，保障水利工程质量与安全具有重要意义。

一、水工建筑物混凝土无损检测技术概述

（一）常用无损检测技术类型

在水工建筑物混凝土无损检测中，超声波法应用广泛。其原理是通过超声波在混凝土中的传播速度、波幅和频率等声学参数变化，来判断混凝土内部缺陷及强度等情况。适用于检测混凝土内部空洞、裂缝深度及分布等。冲击回波法利用机械冲击在混凝土表面产生应力波，当应力波遇到内部缺陷或边界时会反射形成回波，依据回波信号分析缺陷，常用于检测混凝土厚度、内部缺陷及脱空等。红外热像法基于混凝土表面温度差异，因内部缺陷影响热量传导，使表面温度分布异常，通过红外热像仪获取温度场图像来识别缺陷，适用于大面积混凝土表面缺陷及内部缺陷检测^[1]。

（二）水工环境下的技术适用性分析

在水工环境下，需着重考量无损检测技术的适用性。水利工

程工况复杂，对各项无损检测技术的检测精度、抗干扰能力及操作限制有不同要求。例如，超声法在检测混凝土内部缺陷时，虽对微小缺陷敏感，但水工环境中的湿度、水流等因素易干扰超声传播，影响检测精度^[2]。而回弹法操作简便，然而水工混凝土表面可能因长期水蚀、冻融等出现损伤，导致回弹值与实际强度关系偏离，降低检测精度。探地雷达法对浅层缺陷检测效果好，但水工结构中的金属预埋件等会产生强反射干扰信号。因此，需综合评估各项技术在水工环境特定工况下的表现，根据实际需求选择合适技术，以确保检测结果的准确性与可靠性。

二、水利工程无损检测技术应用实践

（一）典型水工建筑应用案例

在大坝检测中，运用超声回弹综合法对大坝混凝土强度进行

检测。依据相关标准布置测点，采集超声声速与回弹值数据，经数据分析处理，准确评估大坝混凝土强度状况，及时发现强度异常区域，为大坝维护加固提供依据^[3]。对于输水渠道，采用地质雷达技术对衬砌混凝土内部缺陷进行探测。通过扫描获取渠道衬砌结构的雷达图像，清晰显示出空洞、脱空等缺陷位置与规模，以便针对性地制定修复方案。在防洪堤检测时，利用探地雷达结合钻孔取芯法，先利用探地雷达进行大范围快速普查，确定可疑区域，再通过钻孔取芯进行验证与精确分析，全面掌握防洪堤混凝土质量，保障其防洪安全。这些案例充分展示了无损检测技术在不同水工建筑中的有效应用。

（二）现场检测难点与解决方案

在水利工程无损检测现场，水下结构检测与大体积混凝土内部缺陷识别存在诸多难点。水下结构检测时，由于水的干扰，信号传输会受到影响，导致检测数据不准确^[4]。并且水下环境复杂，检测设备的稳定性和操作性面临挑战。对于大体积混凝土，其内部缺陷分布复杂，传统无损检测技术难以精确分辨缺陷的位置、大小和性质。针对水下结构检测，可采用防水性能好、抗干扰能力强的检测设备，并优化信号处理算法，提高数据的准确性。对于大体积混凝土内部缺陷识别，结合多种无损检测技术，如超声法与雷达法联用，相互补充信息，同时利用先进的数据分析模型，提高对缺陷特征的提取与分析能力，从而更精准地识别内部缺陷。

三、检测精度提升关键技术研究

（一）信号处理算法优化

1. 数据融合处理技术

数据融合处理技术旨在研究多源检测数据协同分析方法，建立缺陷解译的综合判定模型。水工建筑物混凝土检测中，会获取如超声、雷达等多源数据，这些数据从不同角度反映混凝土状况，但单一数据难以全面精准解译缺陷。通过数据融合处理技术，将多种检测数据进行协同分析，挖掘数据间潜在联系与互补信息^[5]。利用先进的算法对多源数据进行特征提取与融合，构建能够综合判定混凝土缺陷的模型。该模型可整合不同检测手段的优势，更准确地识别缺陷类型、位置与程度，从而有效提升无损检测精度，为水工建筑物混凝土结构的健康评估提供可靠依据。

2. 智能算法应用

智能算法应用在提升水工建筑物混凝土无损检测精度方面发挥着关键作用。构建基于深度学习的特征提取框架，能够有效应对混凝土无损检测中复杂信号的处理难题。深度学习算法具有强大的自学习能力，可自动从大量检测数据中挖掘出隐含的特征信息，实现复杂信号的有效分离与解析^[6]。通过对这些特征的精准提取与分析，可更为准确地识别混凝土内部的缺陷、裂缝等状况。例如卷积神经网络（CNN），能在处理检测信号图像时，利用卷积层和池化层，自动提取图像中的关键特征，从而大幅提升对混凝土内部状况判断的准确性，为水工建筑物混凝土无损检测精度的提升提供有力技术支撑。

（二）检测设备升级方案

1. 传感器阵列优化设计

传感器阵列优化设计旨在提升水工建筑物混凝土无损检测精度。优化设计时要综合考虑多个因素。一方面，合理规划传感器的布局，依据水工建筑物的结构特点与检测需求，让传感器均匀且全面地覆盖检测区域，确保各个部位都能被有效检测，避免检测盲区^[7]。另一方面，选择性能优越的传感器，其灵敏度、分辨率等参数直接影响检测结果的精度，高灵敏度的传感器能捕捉到混凝土内部细微的变化，高分辨率的传感器可更精准地定位缺陷。此外，优化传感器的数量，数量过少可能无法获取足够信息，过多则会增加成本与数据处理难度，需权衡找到最优数量，通过这些优化措施，提升传感器阵列整体性能，进而提高水工建筑物混凝土无损检测精度。

2. 环境补偿系统研发

在水工建筑物混凝土无损检测中，恶劣环境对检测结果干扰显著。为此，需研制温度 - 湿度耦合补偿模块以优化环境补偿系统。温度与湿度变化会影响混凝土物理特性，干扰检测信号，降低检测精度^[8]。该模块能实时监测检测环境的温度与湿度数据，借助先进算法深入分析温湿度变化对检测信号的影响规律。通过建立精确的温湿度 - 检测信号修正模型，将实时监测数据代入模型，对检测数据进行动态补偿与修正，有效降低温湿度变化带来的干扰，使检测结果更接近混凝土真实状态，大幅提升检测精度，为水工建筑物混凝土无损检测提供更可靠的数据支撑。

四、工程检测管理体系构建

（一）标准化检测流程设计

1. 检测参数标准化

对于水工建筑物混凝土无损检测，检测参数标准化至关重要。需针对不同水工结构特点，确定各类混凝土检测参数的标准值与允许误差范围。比如，超声法检测混凝土内部缺陷时，波速、波幅等参数要明确标准范围，以准确判断缺陷状况；回弹法测强，需依据水工混凝土特性规定回弹值与强度换算关系。同时，对雷达法、探地雷达法等检测钢筋分布、混凝土厚度等参数也应制定统一标准。这些标准的确立要充分考量水工建筑物的使用环境、设计要求等因素。通过统一规范检测参数，可有效避免不同检测人员或机构因参数理解差异导致的检测结果偏差，提高检测精度与结果的可靠性，从而更好地保障水工建筑物的质量与安全^[9]。

2. 质量控制体系

建立质量控制体系，需构建全链条质量保障机制，涵盖过程监督与数据复核。在过程监督方面，对检测的各个环节，从检测准备、现场操作到数据采集，均进行严格把控。详细制定各环节的操作规范，确保检测人员按标准执行，避免因操作不当影响检测结果。比如在混凝土回弹检测时，要规定回弹仪的使用方法、测点布置等细节。数据复核层面，设置专门的复核岗位，对采集的数据进行二次审核，检查数据的准确性、完整性。运用统计分

析等手段，对比同类数据，查看是否存在异常值。对于异常数据及时追溯源头，重新检测。通过这样的质量控制体系，保障水工建筑物混凝土无损检测的高精度，为工程质量评估提供可靠依据^[10]。

（二）检测人员能力提升

1. 专业技能培训体系

构建专业技能培训体系，应打造一套包含设备操作、数据分析、报告撰写的阶梯式培训方案。在设备操作培训方面，针对水工建筑物混凝土无损检测的各类设备，如超声检测仪、雷达探测仪等，开展实操演练，让检测人员熟练掌握设备特性、参数设置及正确操作方法，以保障检测数据的准确性。在数据分析培训环节，着重讲解针对混凝土无损检测数据的解读与分析技巧，使检测人员能够透过数据洞察混凝土内部结构状况，识别潜在缺陷。对于报告撰写培训，规范报告格式，强调内容应准确反映检测结果与分析结论，确保报告的专业性与严谨性。通过这种阶梯式培训方案，全面提升检测人员的专业技能。

2. 资质认证制度

为提升水工建筑物混凝土无损检测技术应用水平，需制定水利行业无损检测工程师认证标准及继续教育机制。认证标准应涵盖理论知识与实践技能，理论方面包括混凝土结构原理、无损检测技术原理及水工建筑物特点等知识；实践技能上，对诸如超声、回弹等各类无损检测操作规范与流程进行考核，确保检测人员能精准操作设备并获取有效数据。同时，建立继续教育机制也十分关键。随着技术发展，新的无损检测方法及设备不断涌现，通过定期组织培训，让检测人员及时掌握新技术、新规范，更新知识体系，始终保持专业素养与检测能力的与时俱进，进而提升水工建筑物混凝土无损检测精度。

（三）检测数据管理系统

1. BIM 技术集成应用

在水工建筑物混凝土无损检测中，BIM 技术集成应用重点在于研究检测数据与 BIM 模型的动态关联方法，实现可视化数据分析。借助 BIM 技术强大的三维建模能力，构建与实际水工建筑物

一致的 BIM 模型，将混凝土无损检测所获取的数据，如超声声速、回弹值等，通过特定算法和接口，动态关联至 BIM 模型的相应位置。如此，检测数据不再孤立存在，而是与建筑物的空间位置紧密结合。基于此，能实现可视化数据分析，以直观图形、图表等形式展示检测数据分布规律，例如直观呈现混凝土强度薄弱区域。这不仅方便检测人员对数据进行深度分析，快速定位问题区域，还为后续制定针对性的修复和加固方案提供有力支持，大大提升水工建筑物混凝土无损检测的精度与效率。

2. 云端共享平台构建

构建云端共享平台，旨在实现水工建筑物混凝土无损检测数据的高效共享与协同。该平台具备强大的多项目数据存储功能，能将不同水工项目的检测数据有序整合，确保数据的完整性与安全性。同时，平台搭载先进的数据分析模块，可对存储的数据进行深度挖掘，例如分析不同区域混凝土的性能变化趋势，为后续检测与维护提供有力依据。此外，还设有专家会诊板块，借助网络的便捷性，邀请各地行业专家对复杂检测问题进行远程会诊。专家们可通过平台实时查看检测数据与现场情况，共同研讨并给出科学合理的解决方案，有效提升检测精度与工程质量，推动水工建筑物混凝土无损检测技术的广泛应用。

五、总结

综上，水工建筑物混凝土无损检测技术在保障工程质量与安全方面意义重大。目前技术应用已取得一定成果，但仍存在精度提升空间。建立行业标准，能规范检测流程与技术指标，确保检测结果的一致性与可靠性。推进智能化检测设备研发，可提升检测效率与自动化水平。完善全生命周期质量管理体系，从设计、施工到运行阶段全面把控，为技术应用提供坚实保障。未来，人工智能与物联网技术深度融合是重要发展方向，通过实时监测与数据分析，实现对水工建筑物混凝土状态的精准评估，推动无损检测技术迈向新高度，更好地服务水利工程建设与运维。

参考文献

- [1] 张涛. 水工混凝土结构无损检测方法的对比与分析 [D]. 华北水利水电大学, 2022.
- [2] 杜雨晨. 基于 Autoclam 法对混凝土抗渗性无损检测技术应用研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2021.
- [3] 李斯拓. 基于小排列多道冲击回波混凝土结构无损检测技术的研究 [D]. 重庆交通大学, 2021.
- [4] 余鸿雨. 激光测距机性能检测技术研究 [D]. 电子科技大学, 2023.
- [5] 茹伟杰. 钢纤维混凝土纤维分布无损检测与受拉性能研究 [D]. 华北水利水电大学, 2023.
- [6] 张秀霞. 水工建筑物混凝土结构施工技术难点 [J]. 中国高科技, 2022(15): 111-113.
- [7] 李珍, 冯菁, 韩炜, 等. 水工建筑物混凝土新型防护材料研究与应用 [J]. 长江科学院院报, 2021, 38(10): 140-147.
- [8] 夏宏达. 小型水工建筑物地基处理技术研究与应用 [J]. 水上安全, 2023.
- [9] 张震. 基于改进 ROV 技术的水工建筑物水下检测应用 [J]. 自动化与仪表, 2021, 36(9): 40-44.
- [10] 顾兴宇, 赵龙, 张健, 等. 水工建筑物混凝土缺陷处理施工技术 [J]. 云南水力发电, 2022(005): 038.

智能墙体抹灰机器人在房屋建筑中的应用研究

陈旺, 高杨, 方炎博, 李新革, 廖红玉
中国一冶集团有限公司, 湖北 武汉 430080
DOI:10.61369/ADA.2025020034

摘 要 : 当前建筑施工行业,传统的人工抹灰施工存在着效率低、工价贵、安全隐患多等问题,而智能抹灰机器人的出现将逐步代替传统抹灰。本文提出了一种新型的抹灰机器人的施工方法,介绍了其施工工艺以及重点操作流程。通过对比分析传统抹灰工艺和抹灰机器人,研究抹灰机器人在建筑行业中发展的优劣势,为后续抹灰机器人的推广应用提供借鉴。

关 键 词 : 抹灰机器人;传统抹灰工艺;智能建造;人工智能

Research on the Application of Intelligent Wall Plastering Robots in Building Construction

Chen Wang, Gao Yang, Fang Yanbo, Li Xinge, Liao Hongyu
China First Metallurgical Group Corporation, Wuhan, Hubei 430080

Abstract : In the current construction industry, traditional manual plastering faces challenges such as low efficiency, high labor costs, and numerous safety hazards. The emergence of intelligent plastering robots will gradually replace conventional plastering methods. This paper proposes a novel construction method for plastering robots, detailing its construction techniques and key operational procedures. By comparing traditional plastering methods with robotic plastering, it examines the advantages and disadvantages of robotic plastering in the construction industry, providing insights for the future promotion and application of plastering robots.

Keywords : plastering robot; traditional plastering method; smart construction; artificial intelligence

引言

近年来,随着房地产的暴雷,国内建筑行业面临着从未有过的严峻形势,面对这样严峻的形势急需寻找一种施工速度快、工期短,投入低、效益高的施工方法,而抹灰机器人的出现刚好能满足要求,因此逐步使用抹灰机器人,已逐步成为建筑商品化的中心环节^[1]。本文在此基础上提出了一种新型的抹灰机器人的施工方法,该施工方法具有自动化、高效率 and 一致性好的优势^[2]。同时为展现抹灰机器人的优势,本文从速度、成本、质量、材料等方面将传统抹灰与机器人抹灰进行对比,分析其优劣势^[3],并对抹灰机器人未来的发展进行展望。

一、智能墙体抹灰机器人简介

目前市面上最常用的抹灰机器人主要有两种型号,3M型和5M型^[3]。3M型和5M型抹灰机器人的差别在于抹灰机器人的宽度不一致,3M型宽度为750mm,5M型宽度为1100mm。本文介绍3M型抹灰机器人,后文所提到的智能抹灰机器人没有特指的话都是3M抹灰机器人。抹灰机器人作业系统主要由运动系统、支撑系统、控制系统、感知系统、喷涂系统等组成。

与传统抹灰主要不同的是,智能墙体抹灰机器人无需打灰饼、冲筋,抹灰厚度可通过激光线定位方式来控制。抹灰作业时,砂浆泵机与抹灰机器人协同工作^[4],如图1所示。



图1 抹灰机器人现场抹灰示意图

二、抹灰机器人施工工艺

(一) 抹灰机器人施工工艺流程

抹灰机器人施工工艺流程主要包括基层处理、墙面湿润、挂

网甩浆、线槽封堵、作业线放设、机器人抹灰、人工补抹、养护，具体工艺流程见图2。

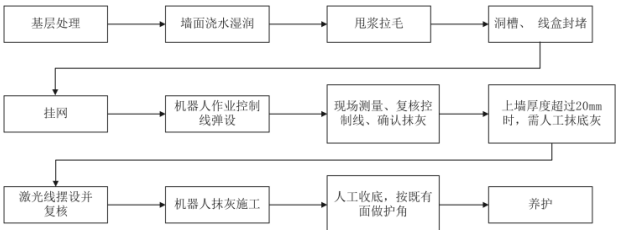


图2 现场抹灰机器人施工工艺流程

（二）抹灰机器人施工重点

1）处理墙面基层

处理墙面基层是至关重要的一步，基层未处理好，后续工作就难以开展，即使强行开展也为后面的质量隐患埋下了伏笔，因此，施工前需对墙面进行处理。对于墙面的混凝土残渣、污垢进行清理，对于爆模的地方进行剔凿，对于蜂窝麻面等位置进行修补，保证基层平整、无杂物，验收通过后，方可进行下道工序。

2）封堵洞槽、线盒

抹灰前需封堵线盒、强弱电箱、开槽、洞口等影响后续抹灰质量的位置，封堵地好坏直接影响墙面的空鼓开裂，因此首先需使用管卡对线管进行固定，其次选用微膨胀砂浆进行分层封堵^[5]，封堵需饱满密实，封堵完后需在上面铺一层纤维网布。在进行抹灰前需把洞、箱、槽、盒周边杂物清除干净，用水将周边润湿。

3）测量定位和校准

确定抹灰范围和抹灰厚度是关键的一步，因此在施工前，对墙面进行测量定位是必要的。抹灰机器人在使用之前也需安排专业人员对机器人进行校准，调整参数，确保抹灰机器人能按照规划的路径进行抹灰，以及抹灰厚度满足要求。

4）抹灰路径规划

在施工前，需要根据图纸来规划抹灰路径。

结合建筑平面图、立面图及结构图得知建筑的基本信息，如层高、门洞、房间、走廊等尺寸信息，以及机器人行走过程中是否会受横梁的影响^[6]。通过这些信息可以进一步优化抹灰路径，提高施工效率，避免不必要的中断时间，确保抹灰任务按时完成。

5）抹灰与表面平整

在使用抹灰机器人开始进行抹灰时，应选用专业操机手进行操作，合理控制机器人抹灰臂的移动速度，以及泵送砂浆的速度，确保抹灰层厚度均匀一致。为确保抹灰后的墙面平整、光滑，需要使用抹灰机器人自带的抹子或刮尺对抹灰面进行处理。

6）人工修补

在抹灰机器人抹灰臂无法到达的边角区域，需要人工配合进行补抹，以及抹灰完成面有局部缺陷的也需人工进行修补。

7）成品养护与验收

抹灰完成后，应对抹灰墙面采用洒水或者覆盖薄膜等方式进行养护，确保在养护期内抹灰层能够充分硬化和干燥，满足设计强度要求。

三、智能抹灰机器人的应用效果分析

以黄石市大冶湖核心区某还建房项目为例，本项目规划总用地面积171220.49 m²，规划净用地面积144869.89 m²，总建筑面积442515.05 m²，地下室建筑面积82145.85 m²。抹灰机器人抹灰部位选定为 B1#楼的内墙，B1#楼建筑面积22773.50 m²，标准层抹灰面积2610.4 m²，总抹灰面积59211.1 m²。B2#楼与 B1#楼户型相同，建筑面积及抹灰面积基本一致，在 B2#楼内墙使用人工抹灰。

（一）施工速度对比

经现场数据统计，正常情况下，人工抹灰一般配备两个大工一个小工，一天（8h）的抹灰量大约为130m²，单人综合效率为43.3m²/d。抹灰机器人一般配备一名操作员、一名协作者、以及一名大工，人工配合抹灰机器人一天（8h）的抹灰量大约为300m²。抹灰机器人按照每层75%的区域为机器人抹灰，25%的区域由人工进行补抹，经计算可以得到单人效率为85.8m²/d。在人数相同的情况下，人工抹灰的单人综合效率约为抹灰机器人的一半^[7]。具体情况如表1所示。

表1 抹灰机器人组和人工组抹灰功效对比表

抹灰方式	施工效率	劳动力安排	单人综合效率
机器人组	130m ² /d	大工两人小工一人	43.3m ² /d
人工组	300m ² /d	操作员、协作者、大工	85.8m ² /d

单位：h

（二）施工成本对比

在 B1#楼使用抹灰机器人抹灰，一天的费用大约为2200元，而在 B2#楼使用人工抹灰，一天的人机费用大约为1100元。

为方便统计其每日完成工作量并计算每平方米所需人、机价格，分别统计抹灰机器人及人工抹灰4次抹灰的抹灰量，然后经计算可以得到对应的每平米所需的人机价格，具体见表2。

从表2中可以看出机器人每日抹灰量大致稳定在300m²左右，而人工抹灰每日抹灰量变化幅度较大，上下幅度接近24%。

抹灰一天的总费用基本是固定的，因机器人每日抹灰量基本稳定，从表2可以看出抹灰机器人每平方米所需的人、机单价稳定在7元左右，而人工抹灰每平方米所需的人、机单价变化幅度较大，上下幅度接近24%。取4次每平方米所需的人、机单价的平均值，可以得到抹灰机器人的人机单价为7.228元/m²，而人工抹灰的人机单价为8.332元/m²。总体上抹灰机器人抹灰每平方米所需人、机价格比人工低1.104元，低幅为15.3%。

表2 每日完成工作量及每平方米所需的人、机价格

抹灰次数	1号楼单组每日完成工作量/m ²	1号楼每平方米所需人、机价格/元	2号楼单组每日完成工作量/m ²	2号楼每平方米所需人、机价格/元
第1次	312.0	6.830	115	9.570
第2次	315.0	6.980	142	7.750
第3次	296.0	7.690	131	8.400
第4次	297.0	7.410	139	7.610
平均值	305.0	7.228	131.75	8.332

（三）施工质量对比

为方便对比抹灰质量，在抹灰完成及养护7d天后，在现场检

查抹灰完成面的垂平度、空鼓开裂情况，并记录相应数据，如表3所示。从表3可以看出抹灰机器人的现场抹灰垂平度为2~3mm，而人工抹灰的垂平度变化较大，最小的2mm，最大的为5mm，人工抹灰垂平度与工人的熟练程度以及作业时间有关，熟练度越低、作业时间越长抹灰垂平度值越大，合格率越低。

表3 每100m²抹灰平均垂平度及空鼓次数对比表

抹灰次数	1号楼平均垂平度/mm	1号楼墙体空鼓处	2号楼平均垂平度/mm	2号楼墙体空鼓处
第1次	2.0	0	2.0	0
第2次	3.0	0	5.0	2
第3次	3.0	1	4.0	1
第4次	2.0	0	5.0	2
平均值	2.5		4.0	

（四）施工材料对比

智能抹灰机器人对材料的要求比较严格，施工通常采用袋装材料，需要在抹灰现场附近随伴随用，所使用的抹灰砂浆配比需根据现场的实际情况如施工时的温度、施工速度等进行调整。而人工抹灰施工，使用砂浆罐内的成品砂浆材料，工人将成品砂浆材料运输至指定楼层，配合比是否满足要求没有进行试验，抹灰质量难以得到保证。

而抹灰机器人使用采用的袋装材料在抹灰之前都需根据实际情况，调整配合比，配合比符合要求后才能上墙抹灰使用。

四、智能抹灰机器人的应用优势与不足

（一）应用优势

将智能抹灰机器人应用到现场施工，其展现的优势如下：

工作效率高。抹灰机器人能够自动执抹灰任务，除了必要的中断时间，几乎不受外界因素的影响。除非抹灰机器人出现故障，不然可以连续工作，不受人体机能的影响，有效提升施工效率，从而缩短施工周期。

提高施工精确度。智能抹灰机器人配备了先进的传感器和定位技术，实时感知周围环境的变化，便于对抹灰厚度及时进行调整，保证抹灰层厚度的一致性。

降低安全隐患。传统的人工抹灰存在高处作业坠落以及物体打击的风险。使用抹灰机器人可以规避上述风险，智能抹灰机器人可以通过自身的感应系统和避障功能，提前探明周围的信息，从而能够对施工路径进行优化，避免与其他人员或设备发生碰撞，这种创新的施工方式可以降低人工劳动强度及施工危险性^[8]。

有效控制质量。智能抹灰机器人配备有远程终端，可以通过终端对机器人进行监控和控制，监测抹灰过程中各项指标是否满

足要求，能够对抹灰的质量进行有效的控制。

（二）存在问题

在本次 B1# 号楼使用抹灰机器人进行施工的过程中，虽然有其明显的优势，但是在施工过程中也暴露出一些问题。

砂浆配比要求高。传统人工抹灰使用的砂浆，不宜用于机器人抹灰，抹灰机器人对与砂浆的流动性和稠度都有一定的要求，相比于传统抹灰对砂浆的配合比较为严苛，而且在不同区域、针对不同强度的墙体，需要在抹灰现场附近进行试验，得到适合该墙体的砂浆的配合比。

增加维护和调试成本。抹灰工人进场经过安全技术交底及培训，合格后可直接进去现场进行抹灰作业，而机器人抹灰进场后，需要专业人员对抹灰机器人进行维护和调试，调整参数，以便满足现场实际需求。同时在施工过程中抹灰机器人也存在一定故障率，处理这些故障都需额外的费用。

边角及接缝处难以施工。机器人抹灰在大面上使用方便快捷，但是在边角及接缝处仍然需要人工进行补抹。

五、展望

虽然抹灰机器人在理论上已经比较成熟，但是在现场实际应用上还是比较滞后，首先是费用的问题，其次是效率和抹灰覆盖范围还有待提高。

这些不足也为抹灰机器人的下一步研发提供了方向。

降低抹灰机器人的成本。虽然目前市面上各种智能机器人层出不穷，但是各个施工企业用于墙面的抹灰机器人明显数量不足，最主要的是费用问题，抹灰机器人的价格昂贵，所以为了普及抹灰机器人的使用，亟需研发性能更好，成本更低的抹灰机器人。

更加智能化和自动化。目前的智能抹灰机器人能够省去抹灰饼、冲筋，可以自主进行抹灰路径规划，但是还有许多步骤仍需要人工参与，人工参与的比例过高，所以可以进一步对抹灰机器人进行优化，使得整个抹灰流程，从基层处理到抹完灰养护，基本不需要人工参与，直至实现全智能化。

植入深度学习算法。近年来比较流行的神经网络深度学习算法，可以将此算法植入到抹灰机器人上，利用此算法对施工过程中的图像、声音等信息进行分析和处理，得到抹灰最优解，提高施工效率和质量。

运用 AI 及虚拟现实技术。通过运用 AI 及虚拟现实技术，智能施工机器人能够对现场施工进行实时模拟，显示施工进度、质量等信息，方便施工管理和监控。

参考文献

- [1]陈翀,李星,邱志强,等.建筑施工机器人研究进展[J].建筑科学与工程学报,2022,39(4):58-70.
- [2]章严.传统抹灰与抹灰机器人的应用分析[J].绿色建造与智能建筑,2025,293,96-98.
- [3]张立.智能墙体抹灰机器人的应用研究[J].建筑科技,2024,12,70-73.
- [4]卢世杰,周远重,邹锦洲,等.抹灰机器人人机协同工艺研究[C]//《施工技术》杂志社.2024年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册),2024:1136-1139.
- [5]姚国强,林林,杨加宝.墙面抹灰层空鼓开裂因素分析与探究[C]//《施工技术》杂志社.2024年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册),2024:131-135.
- [6]肖维思,庄然,唐务生.抹灰机器人施工研究[J].施工技术(中英文),2023,52(11):22-26.
- [7]叶国昌,岳巍,龙林.机械喷涂抹灰技术在墙面抹灰施工中的应用[J].低碳世界,2014(22):231-232.
- [8]刘俊涛,周敏,谢良喜,等.室内墙面砂浆抹平机器人性能研究[J].传感器与微系统,2023,42(7):57-60,65.

工程造价动态监控与成本精细化控制方法研究

谢淑芬

广东确正工程咨询有限公司华南分公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020044

摘 要 : 文章旨在系统探讨建筑工程造价的动态管理与成本优化控制体系。文章将重点论述如何通过推行全过程造价综合管控、实施全要素协同管理等来建立核心原则;同时,深入分析材料价格、人为因素及不可抗力三大类影响因素的作用机制;最终,从确立材料成本核心导向、健全制度体系、构建信息化合同管理机制、强化技术应用与数字化工具以及聚焦设计阶段源头控制五个方面,提出一套系统化的动态管理与成本优化控制实施策略。

关 键 词 : 建筑工程造价; 动态管理; 成本优化控制

Research on Dynamic Monitoring of Engineering Costs and Methods for Refined Cost Control

Xie Shufen

Guangdong Quezheng Engineering Consulting Co., Ltd., South China Branch, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper aims to systematically explore the dynamic management and cost optimization control system for construction project costs. It focuses on establishing core principles through comprehensive cost management throughout the entire process and implementing coordinated management of all elements. Furthermore, it delves into the mechanisms of three major influencing factors: material prices, human factors, and force majeure. Finally, it proposes a systematic implementation strategy for dynamic management and cost optimization control from five aspects: establishing a material cost-oriented core, improving the institutional system, constructing an information-based contract management mechanism, strengthening the application of technology and digital tools, and focusing on source control during the design phase.

Keywords : construction project cost; dynamic management; cost optimization control

引言

建筑工程以其投资规模巨大、建设周期漫长、内外影响因素复杂多变而著称。在这一背景下,传统的静态、事后型的造价管理模式已难以适应现代工程项目管理的需求,其滞后性与被动性往往导致项目成本失控、投资效益受损。因此,推动造价管理从静态核算向动态控制、从事后应对向事前预控与事中调控的战略转型,已成为提升建筑企业核心竞争力的必然要求。

一、建筑工程造价动态管理与成本优化控制的原则

(一) 推行全过程造价综合管控

目前,在工程造价管理的实际工作中,管理重心普遍集中于施工图预算的编制阶段以及竣工结算时期的预算审核。然而,工程建设过程中存在大量不易察觉或事后难以追溯的隐蔽性环节,这些内容在项目进入后期时,往往因资料不全、现场变化等原因而失去有效监管的可能性。全过程造价控制不仅需要确保整体投资额度被严格限定在预设目标范围内,还应将管理视野扩展至项目全生命周期中的各类资源消耗,例如合理调控人力资源支出、优化建筑材料的采购与现场管理成本,同时科学规划施工机械、临时设施等固定资产的配置与使用效益。在实际执行过程中,必

须对各个可能影响最终造价的环节实施系统性的审查,并借助动态对比分析方法,持续优化成本控制策略,从而全面提升造价管理的精确性与实效性^[1]。

(二) 全要素协同管理策略

在工程造价的管控实践中,管理工作不能仅仅聚焦于成本本身,还必须高度重视各类关联要素对项目投资的直接或间接影响。诸如自然环境条件、工程品质标准、项目建设周期以及现场施工安全等关键因素,都需要被纳入统一的考量框架之中。只有实现造价、质量、安全、环保与进度等多重目标的协同管理与动态平衡,才能真正确保造价管理方案既具备实际可行性,又能发挥预期管控成效。需要进一步明确的是,环境、质量、工期与安全这些要素之间并非孤立存在,而是构成了一个相互制约、紧密

关联的有机整体。通常情况下，在确保工程结构安全与质量标准完全达标的前提下，通过科学方法与有效管理合理压缩工期，往往能够直接减少项目的人工、机械及管理费等变动成本支出，从而实现工程项目综合造价的有效节约与整体投资效益的提升。

（三）构建全方位动态管控体系

建筑工程项目普遍具有投资规模庞大、建设周期漫长的典型特征，因此，要确保项目最终成本不偏离预先设定的目标，就必须建立起一套贯穿整个建设期的、全面而系统的动态监控与管理系统。在众多影响项目总成本的因素中，建筑材料、人力资源费用及机械设备使用成本等要素的市场价格波动，构成了最主要的风险来源。特别是建筑材料，其市场价格受宏观经济、供应链状况等多重因素影响，波动频率高、幅度大。若管理部门未能对这些关键资源的价格变动进行及时追踪与预警，由此产生的价差将直接冲击项目预算，导致造价控制目标难以实现。通过这种跨部门协作，可以实时获取市场信息，精准预判材料价格走势，并在此基础上迅速制定出具有前瞻性与可操作性的成本应对策略^[2]。

（四）全寿命周期成本综合管控

建筑物自前期决策、设计、施工，直至运营维护乃至最终拆除处置的完整过程中，所发生的全部成本总和，构成了其全寿命周期总造价。这一漫长周期跨越数十年，期间会受到技术迭代、市场波动、政策调整及使用需求变更等多重因素的复杂影响，导致成本管理的复杂性与难度显著增加。由于各阶段面临的风险与成本驱动因素各不相同，造价管控的重心与策略也需随之动态调整。特别是在建筑投入使用的运营维护阶段，必须进行前瞻性的科学规划与成本预估，系统考量能源消耗、维护修缮及功能升级等长期运营成本。全寿命周期造价管理的核心目标，是在满足建筑功能与性能要求的前提下，力求将整个生命周期的总成本优化至合理最低水平，从而为项目的投资决策、方案比选提供关键的经济性依据。

二、影响工程造价的相关因素

（一）材料价格波动对成本的影响

在建筑工程的总成本构成中，材料费用通常占有极高的比重，是决定项目投资总额的核心变量。材料价格的波动具有市场驱动特征，受供求关系、宏观经济政策、国际市场变动以及运输成本等多方面因素的综合影响。这种波动性直接导致项目在预算编制阶段所确定的材料成本与实际采购阶段的市场价格之间产生偏差，进而对项目总造价形成显著的不确定性。尤其对于建设周期较长的大型项目，材料价格在施工期间可能经历多个波动周期，若未在造价预测中充分考虑此种动态性，极易导致成本失控风险。

（二）人为可控因素对造价的作用机制

人为可控因素主要指在项目实施过程中，能够通过管理干预、技术优化和制度约束等手段加以调节的内部条件。这类因素通常贯穿于项目决策、设计、招标、施工及结算等各个阶段。在设计阶段，设计方案的合理性、技术标准的选用、材料设备选型

等决策，直接决定了项目成本的基本框架；在施工阶段，施工组织设计的科学性、质量管控水平、现场施工效率以及工程变更管理的规范性等人为因素，也会对实际发生的工程造价产生显著影响。此外，项目管理团队的专业能力、各部门之间的协同效率以及合同管理的严谨程度，亦会间接作用于项目成本的形成过程。因此，识别并理解各类人为因素的作用路径，是有效进行造价管控的重要基础^[3]。

（三）不可抗力风险的潜在造价影响

不可抗力因素主要指那些具有不可预见性、不可避免性且不可克服的外部事件，如地震、台风、洪水等自然灾害，以及战争、罢工、突发公共卫生事件等社会异常事件。这类因素虽然发生概率较低，但一旦出现，往往对工程造价造成突发性、大幅度的冲击。其影响主要体现在两个方面：一是直接损失，如已完工程的损坏、施工设备与材料的损毁；二是间接损失，如工期延误导致的管理费增加、人工与机械闲置成本、价格波动带来的价差风险以及可能产生的违约赔偿等。由于不可抗力风险的突发性和破坏性，其在造价预测中难以准确量化，但必须在风险识别与评估环节予以充分考量。

三、建筑工程造价的动态管理与成本优化控制策略

（一）确立造价动态管控的核心导向

在建筑工程成本结构中，材料支出通常占据总投资额的极大比例，这决定了成本管理必须将材料费用置于动态监控与精细化调控的核心位置。具体而言，管理人员需严格依据设计文件的技术要求及施工组织设计的部署，在全面掌握实时市场信息的基础上，对材料成本进行科学预测与精准核算。同时，应根据项目现场的实际进展与资源需求计划，灵活安排各类建筑材料的采购批次与进场时间，以此削弱因市场价格周期性波动对项目总成本造成的冲击。从管理实践来看，相关团队需要建立对主要建材价格的常态化跟踪机制，通过深入研究其价格变动趋势与市场周期规律，形成更具前瞻性的采购决策与价格预判能力。这种系统化的材料成本管控模式，不仅能够直接提升项目成本的整体可控性与经营效益，更有助于构筑企业在市场竞争中的成本优势，为可持续发展奠定坚实的财务基础。

（二）健全制度体系以强化成本管控效能

施工企业应立足当前市场经济发展特点与行业趋势，系统性地对现有造价管理与成本控制制度进行审视、修订与完善。通过优化管理流程、明确操作规范，为各项具体工作的推进提供清晰的指引与依据。在此基础上，必须构建权责清晰的责任追究机制，将工程造价与成本管控的各项任务指标科学分解至具体岗位或个人，实现管理责任的精准落地。当出现成本超支或造价失控等情况时，能够依据责任划分迅速追溯至相应团队或个人，从而显著增强全体管理人员的责任意识与风险观念。这种制度化、规范化的管理框架，不仅有助于在团队内部形成有效的相互监督与约束氛围，更能从源头上推动工程造价与成本管控工作质量的整体跃升，最终实现项目经济效益与管理水平的同步提高^[4]。

（三）构建信息化合同动态管控机制

在信息技术深度应用的时代背景下，建筑工程领域的合同管理正积极引入数字化手段，赋能企业运营管理与业务流程优化。当前，众多建筑企业已着手建设一体化的内部信息管理平台，将供应商资质审核、合同文本拟定与审批、工程材料验收、进度款支付等关键流程纳入线上系统统一运作。这种以合同管理为核心构建的数字化平台，不仅推动了合同业务流程的标准化与规范化，更显著提升了管理工作的系统性与执行效率。通过实现财务核算、行政办公、物资采购等系统与合同管理平台的数据互联互通，企业能够有效整合信息资源，减少重复劳动，从而全面优化管理成本。随着合同管理信息系统的持续迭代与功能完善，其严谨的流程设计与自动化校验功能，能够有效规避因人为疏漏导致的文本错误或程序瑕疵，大幅降低合同争议发生概率，确保合同文件的准确性与法律效力。实施合同的动态化管理，核心在于建立对合同全生命周期的持续跟踪与风险预警机制。鉴于建筑工程现场条件复杂、不确定因素多，必须依靠完善的制度体系作为支撑，将先进的信息技术作为实现动态管理的关键工具，严格监督合同义务的履行过程，精准管控施工各环节，最终切实保障项目各参与方的合法权益^[5]。

（四）强化技术支撑与数字化应用

在工程造价动态管控过程中，可充分运用价值工程等分析方法进行系统性优化。例如，在设计阶段推行限额设计以实施前瞻性成本控制，或在施工阶段持续改进施工组织方案以提高资源利用效率，这些都是经过实践验证的有效技术手段。技术措施的范畴不仅涵盖施工工艺与方法的改良，还包括现代信息技术与智能设备的深度应用。具体而言，可着手构建系统化的工程项目管理数据库，或全面推广基于计算机模型的科学造价分析方法。当前，各类工程定额管理软件与自动化算量工具已在行业中得到广泛开发与应用，这些专业工具能够为管理人员实现成本的实时监控与动态调整提供关键技术支撑。从业人员还需注重积累和整合

历史项目数据，积极建设标准化的大数据资源库。通过数据驱动的分析与决策模式，将显著提升工程造价动态管理工作的精确度与科学化水平，为项目成本目标的实现奠定坚实技术基础。

（五）强化设计阶段成本管控的关键路径

大量工程实践表明，设计方案的优劣直接决定了项目成本的基本框架与整体水平，是影响工程造价最关键的因素之一。为实现投资效益最大化，建设单位应在项目初期优先选择资质优良、技术实力雄厚且业内口碑良好的设计单位，并要求其提交多个具备可比性的初步设计方案。随后，由建设方组织技术、管理与造价等不同专业背景人员组成评审团队，对这些方案的技术可行性、功能匹配度及经济合理性进行综合评估与联合审议，最终确定最优方案。在设计深化阶段，设计人员需充分理解业主的功能需求与施工单位的现场实施条件，在方案优化过程中始终将实用性、安全性与经济性作为核心权衡指标。通过多轮技术经济比选，在严格保障工程结构安全与使用功能的前提下，着力挖掘成本节约潜力，消除不必要的设计冗余，从而在源头上有效控制项目总投资，增强造价管控的前瞻性与实效性。

四、结束语

文章将材料成本作为动态管控核心并建立价格预警机制；通过健全权责对等的制度体系以强化执行力；构建信息化合同动态管控平台以提升协同效率；广泛应用价值工程、限额设计及大数据等技术 with 数字化工具优化决策；以及聚焦设计阶段这一成本控制的源头，通过多方案比选与技术经济优化从根本上去除不必要的成本冗余。未来将进一步与新兴信息技术深度融合，如何在BIM、人工智能与大数据分析等赋能下，构建更加智能、自适应与前瞻性的成本风险预测与精细化管控模型，将是下一阶段需要深入探索的重要方向。

参考文献

- [1] 李如欢. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制 [J]. 砖瓦世界, 2025(15): 139-141.
- [2] 曹冰. 试析建筑工程造价的动态管理与成本优化控制 [J]. 建筑·建材·装饰, 2025(10): 4-6.
- [3] 钟琴. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制探讨 [J]. 砖瓦世界, 2024(4): 109-111.
- [4] 周忠诗. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制探讨 [J]. 建筑与装饰, 2024(18): 64-66.
- [5] 李春德. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制研究 [J]. 中国招标, 2025(10): 146-148.

桩基检测技术在建筑工程中的应用研究

李子荣

广州市建筑材料工业研究所有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020045

摘 要 : 文章旨在系统阐述桩基检测技术在房屋建筑工程中的重要性、方法体系及应用策略。文章从桩基的固有特性出发, 论证实施全面质量检测的必要性; 进而详细论述低应变法、高应变法、静载试验、钻芯法及光纤传感等主流检测技术的原理、特点与适用范围; 最后, 重点探讨如何将这些技术整合应用于施工过程控制、成桩后完整性普查及最终承载力验收等关键环节, 以构建覆盖全过程的质量保障体系, 为工程实践提供清晰的技术路径与方法选择依据。

关 键 词 : 桩基检测技术; 建筑工程; 应用

Research on the Application of Foundation Pile Detection Technology in Construction Engineering

Li Zirong

Guangzhou Building Materials Industry Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper systematically elucidates the significance, methodological framework, and application strategies of pile foundation testing technologies in building construction projects. Starting from the inherent characteristics of pile foundations, it demonstrates the necessity of implementing comprehensive quality testing. Subsequently, it elaborates on the principles, features, and applicability of mainstream testing technologies, including low-strain methods, high-strain methods, static load tests, core drilling methods, and fiber optic sensing. Finally, it focuses on integrating these technologies into critical phases such as construction process control, post-installation integrity surveys, and final bearing capacity acceptance. This approach establishes a comprehensive quality assurance system covering the entire process, providing clear technical pathways and methodological guidance for engineering practice.

Keywords : pile foundation inspection technology; building engineering; application

引言

桩基础作为将上部结构荷载有效传递至深层稳定土体的关键构件, 其质量直接关乎整个建筑项目的安全、耐久与投资效益。尤其在现代房屋建筑向高层、重型化发展的背景下, 对桩基的承载力、沉降控制及长期性能提出了更为苛刻的要求。然而, 桩基工程主体深埋地下, 具有极强的隐蔽性, 一旦建成便难以直观查验, 任何潜在缺陷都可能为整个工程埋下灾难性隐患。因此, 依托科学、可靠的检测技术, 实现对桩基质量的可视化评判与全过程控制, 已成为确保房屋建筑安全基石不可或缺的核心环节。

一、桩基检测技术的重要性

(一) 桩基的特性与广泛应用

桩基础作为一种深基础, 具有承载力高、稳定性好、沉降量小而均匀、沉降稳定快、良好的抗震性能等特性, 因此在各类建筑工程中得到广泛应用, 尤其适用于建造在软弱地基上的各类建(构)筑物, 如高层建筑、大型桥梁、港口码头及重型工业厂房等。不同类型的桩基其施工工艺、质量控制要点和潜在的缺陷模式各不相同。例如, 灌注桩可能面临缩颈、断桩或混凝土离析等问题, 而预制桩则可能遇到接头失效或挤土效应等挑战。

(二) 桩基工程的隐蔽性与质量把控关键

桩基工程是建筑工程项目中的一项比较隐蔽的工程, 其主体结构深埋于地下, 对于建筑工程的整体的质量与安全起着非常重要的影响。一旦上部结构施工完成, 桩基的质量问题将极难被发现, 且修复成本异常高昂, 甚至可能造成灾难性后果。因此, 桩基工程在施工时都必须进行详细的计划安排, 施工过程也要进行严格质量控制, 质量检测结果要确保准确性, 这些都是建筑工程中桩基工程的先决条件。检测技术扮演了“地下眼睛”的关键角色, 它能够穿透覆土, 揭示桩身完整性、岩土阻力的真实情况, 为判断施工质量是否达标提供不可或缺的客观证据, 从而将隐蔽

工程“透明化”^[1]。

（三）检测的核心作用与全程控制必要性

桩基工程技术检测时，我们可以通过对每个单体桩基的承载力大小测试，确定其承受的极限，然后对桩基整体的质量做出一个全方位准确的分析。这些重要的分析，正是衡量桩基工程是否符合设计要求的重要依据。现代桩基检测技术体系完善，包括静载试验、高应变法、低应变法、声波透射法、钻芯法等多种手段，能够从承载力与桩身完整性两个维度对桩基进行全面“体检”。因桩基工程是一项隐蔽的工程，桩基工程的检查审核工作难度也相对加大了，对问题的处理也随之困难了许多。例如，静载试验虽为承载力的直接检测方法，但其成本高、周期长；而低应变、声波透射法等完整性检测方法则高效经济，是发现桩身缺陷的首选。

二、房屋建筑中常用的桩基检测技术

（一）低应变动力检测技术

低应变动力检测法是桩基完整性检测中广泛应用的一种无损测试方法。检测时需在桩顶预设位置安装高灵敏度传感器，并通过手锤或激振器施加瞬态激励。在锤击作用下，桩身内部将激发应力波传播，传感器可实时接收由桩体反射回来的振动信号，进而借助波动理论对信号进行解析与判读。通过分析反射波的传播速度、频率特征及波形形态等参数，可有效识别桩身阻抗变化，从而判断桩基是否存在缺陷并评估其完整性状态。该方法具有操作便捷、检测效率高、对桩体无损伤等突出优点。只要获取到充分且清晰的波形记录，便可在较短时间内完成单桩检测与初步诊断。实际检测中，需依据桩径尺寸并参照现行技术规范合理布设测点。测点位置可根据信号质量动态调整，并非固定不变。传感器的安装质量直接影响数据可靠性，因此需在检测前彻底清理桩顶表面，去除积尘、浮浆等干扰物，并采用耦合剂（如黄油、石蜡等）确保传感器与桩体表面紧密贴合。为提高检测结果的可信度，通常需在同一激振点进行不少于3次的重复测试。通过对多次采集的波形数据进行对比与综合分析，可有效排除偶然误差，最终获得真实反映桩身质量的检测结论^[2]。

（二）高应变动力检测法

高应变动力检测法基于应力波传播理论，通过测量桩顶受到冲击后产生的应力波在桩身中的传播与反射情况，对工程桩的完整性和承载力进行判断。在设备选用阶段，需结合工程地质条件、桩型及设计承载力等参数综合选定检测系统，其中重锤的质量通常不应低于基桩预估极限承载力的1%。试验过程中，重锤需以自由落体方式冲击桩顶，同时遵循“重锤低击”原则，即锤重较大而落距相对较低，以获取清晰的桩身响应信号。该方法通过在桩顶施加瞬态竖向冲击荷载，激发桩侧及桩端岩土阻力充分发挥。在冲击能量作用下，桩土体系产生相对位移，通过安装在桩顶附近的传感器可同步采集桩身应变和加速度数据。由于检测过程中产生的冲击能量较大，可能对桩体结构安全构成潜在风险，因此必须严格遵循规范要求，制定详细的检测方案与安全保障措

施。整个检测流程应事先进行标准化设计，确保高应变法在基桩质量评价中科学、有效地应用。



图1 高应变动力检测试验图

（三）静载试验方法与应用

单桩竖向抗压静载试验是现场测定桩基承载力的常用方法之一。该试验通过对桩顶逐级施加竖向压力，准确测量桩身的沉降响应，从而确定其极限抗压强度和实际承载性能，如图2。试验中采用的加载反力系统主要包括锚桩反力法、堆载平台法以及地锚反力装置等多种形式。在试验数据采集完成后，需对记录信息进行系统处理与分析。通常绘制荷载-位移关系曲线（Q-S曲线）或时间-沉降曲线（S-logt曲线），通过分析相邻级数间的沉降差异，科学判定桩身的实际承载状态。静载试验技术具有多项显著优势：测试结果可靠性高，能够直观反映桩土相互作用机制，适用范围广泛，是目前国际上公认的获取单桩竖向抗压承载力最直接的方法。在实际工程检测中，需严格遵循规范要求，合理选择具有代表性的基桩进行试验。尽管该方法能够获得权威性较强的检测数据，但其操作过程存在一定局限性，检测设备笨重，需要较大的作业场地，且检测周期较长、成本较高。因此，在场地受限或工期紧张的施工现场，往往更倾向于采用操作便捷、效率更高的无损检测方法作为补充手段，以实现桩基承载性能的快速评估^[3]。



图2 单桩竖向抗压静载试验图

（四）钻孔取芯检测技术

在实施基桩质量检测时，需预先明确待检测桩体的具体位置，并收集相关设计及施工参数。随后，由具备资质的检测人员操作专业钻机，在选定位置进行钻孔作业，提取桩身混凝土芯样作为检测对象。取样完成后，需由经验丰富的技术人员借助先进仪器设备对芯样开展系统检测。通过对芯样的物理性能和结构特征进行分析，可有效评估基桩混凝土的浇筑质量、均匀性与强度等级，从而为桩体整体性能的判断提供可靠依据。此外，还应细致检查芯样的连续性 & 完整性，确认基桩是否存在缺陷，是否符合设计规范要求。钻孔取样过程中，必须严格控制钻进压力与转速，保持钻机平稳、匀速地进入桩体内部。根据规范要求，每个检测点的有效取样深度通常不应少于两米，以保证获取具有代表性的桩身质量信息。在基桩施工阶段，宜同步开展过程质量控制；待施工结束后，则需进行竣工验收检测。所有检测环节均需详细记录原始数据，并及时录入数据库管理系统，便于后续查询与追溯。

（五）光纤传感技术在桩基检测中的应用

光纤传感技术作为一种先进的监测手段，在集成至相应设备后便形成光纤传感器。这类传感器具备优异的抗电磁干扰性能，测量结果准确度高，响应灵敏，且因其材质特性不易受环境腐蚀影响，能够有效监测温度与应力等关键参数。该技术结构简洁，无需复杂的传感元件，仅依靠普通光纤即可实现信号传输与感知功能。光纤材料柔韧性良好，能够灵活布设于结构体内部，与受监测构件的变形保持同步，从而真实反映其受力状态。例如，埋入桩基的感测光缆可实时采集结构内部的温度及应变数据，为评估桩基承载力提供依据，如图2。随着技术发展，光纤传感凭借其独特优势逐步获得工程界认可，尤其是分布式光纤传感技术，已成为目前监测体系中的重要组成部分，并被广泛引入桩基工程实测任务中。光纤传感技术适用范围广、抗干扰能力强，将其融入桩基检测体系中，有助于快速、精确地判定桩基承载性能。然而，目前该技术在工程中的推广仍显不足，多数仍停留在现场试验与理论探讨阶段，尚未在施工过程中实现规模化应用^[4]。

三、当下基桩检测技术在房屋建筑当中的应用

（一）施工过程质量控制检测

在房屋建筑工程中，对桩基施工实施全过程监控是确保质量的根本。质量控制始于成孔阶段，需在成孔后立即系统检测孔径、孔深、垂直度及孔底沉渣厚度等关键指标，这些数据直接决定了桩基的有效承载面积与端部阻力，为后续混凝土浇筑工艺提供依据，从源头上避免承载力缺陷；此外，在混凝土灌注过程中，通过监测导管埋深与混凝土面上升速度等手段，可间接评估桩身的连续性与均匀性，实现对缩颈、断桩等潜在缺陷的预防性控制。

（二）成桩后桩身完整性检测

桩身完整性普查是成桩后质量评定的关键环节，其中低应变动力检测法因其高效、经济成为首选，现场应用时需规范布设测点、确保传感器与桩头良好耦合，并通过多次重复测试比对信号，以准确分析反射波特征，从而高效筛查缩颈、离析或断桩等缺陷；对于大直径灌注桩，则普遍采用声波透射法，通过预埋声测管构建桩身完整性剖面，实现缺陷的精准定位；而当上述方法发现疑似严重缺陷时，则需采用钻芯法进行最终验证，通过直接观察混凝土芯样，为工程处置提供直观、可靠的决策依据^[5]。



图3 桩身完整性（低应变）检测

（三）单桩承载力验收检测

承载力是评估单桩能否满足设计要求的最终指标，静载试验作为公认最权威的检测方法，通过逐级施加荷载并精确测量沉降，能直接揭示桩土体系的荷载传递机理与极限状态，为设计验证提供核心数据；然而，因其成本高、周期长，在工程中常辅以高应变动力检测法作为补充，后者通过重锤冲击激发桩周土阻力，利用波动理论分析采集的力与速度信号，可对桩身完整性及承载力进行综合评估，在具备良好地区经验的前提下，能实现对工程桩承载性能的快速、经济评价。

四、结束语

综上所述，桩基检测技术是确保房屋建筑安全与稳定的生命线。面对桩基工程的隐蔽性挑战，必须建立从勘察设计到竣工验收的全过程质量管理体系。未来桩基检测技术将向着更加智能化、精细化与一体化的方向发展，特别是如光纤传感等新型监测技术的深度开发与规模化应用，有望实现对桩基工作状态的长期、分布式实时监控，从而将桩基工程质量与安全控制水平提升至新的高度。

参考文献

- [1] 张学军. 桩基检测技术在建筑工程中的应用[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(16): 103-104.
- [2] 潘祥亮. 桩基检测技术在高层建筑工程中的应用[J]. 建筑·建材·装饰, 2024(3): 193-195.
- [3] 田鹏. 桩基检测技术在高层建筑工程中的应用探讨[J]. 建材与装饰, 2024, 20(12): 10-12.
- [4] 葛栋材. 建筑工程中桩基检测技术的应用及过程分析[J]. 安徽建筑, 2025, 32(9): 171-174.
- [5] 贺子豪. 房屋建筑桩基工程施工质量检测技术的应用与实践[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(6): 157-159.

岩溶地质条件下基建项目风险识别与防控策略分析

陈珍元

北京中集大房工程管理有限公司广州分公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020049

摘 要： 文章以白云机场三期扩建工程周边临空经济产业园区基础设施建设项目为研究对象，通过分析项目岩溶地质特征及施工全过程风险数据，识别地基稳定性、结构安全、防水渗漏等核心风险。结合 TIS 机构风险评估与过程检查结果，从地质勘察、设计优化、施工管控、监测预警、应急处置五个维度，提出针对性防控策略，为同类岩溶地质条件下基建项目的风险管控提供实践参考，保障工程质量与长期运营安全。

关 键 词： 岩溶地质条件；基建项目；风险识别；防控策略

Analysis of Risk Identification and Prevention and Control Strategies for Infrastructure Projects under Karst Geological Conditions

Chen Zhenyuan

Beijing CIMC Dafang Engineering Management Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This study examines the infrastructure construction project for the aerotropolis industrial park surrounding the Phase III expansion of Guangzhou Baiyun International Airport. By analyzing the karst geological characteristics and construction-process risk data, it identifies core risks including foundation stability, structural safety, and waterproofing/seepage. Integrating TIS institutional risk assessments and process inspection outcomes, targeted prevention strategies are proposed across five dimensions: geological investigation, design optimization, construction control, monitoring and early warning, and emergency response. This provides practical guidance for risk management in infrastructure projects under similar karst geological conditions, ensuring engineering quality and long-term operational safety.

Keywords： karst geological conditions; infrastructure projects; risk identification; prevention strategies

引言

岩溶地质是碳酸盐岩等可溶性岩石经水侵蚀形成的特殊地质形态，广泛分布于我国华南、西南等地区。此类地质条件下，溶洞、土洞、地下暗河等不良地质体发育，给基建项目的地基基础施工、主体结构安全及长期运营带来诸多挑战。白云机场三期扩建工程周边临空经济产业园区基础设施建设三期工程地处广州市花都区岩溶强发育区域，施工过程中面临岩溶处理、地下水防控、结构裂缝等多重风险。

一、工程概况

本项目是白云机场三期扩建工程配套的重要基础设施项目，项目总占地面积 333065.86 m²，总建筑面积 727597.05 m²，其中地上建筑面积 551921.25 m²，地下建筑面积 175675.80 m²，包含住宅、商业配套、学校、幼儿园、体育馆等多种功能业态，共建设 83 栋建（构）筑物，最高建筑高度 42.14m。项目地处岩溶强发育区域，钻孔见洞隙率达 35.93%，存在土洞、溶洞等不良地质体，地下水类型包括孔隙水、岩溶（土）洞水和裂隙水，对工程施工与结构安全构成显著风险，是典型的岩溶地质条件下大型基建项目。

二、岩溶地质条件的工程特性分析

（一）地质形态不规则且分布零散

岩溶地质的核心特征是可溶性岩石在水动力作用下形成的不规则地质体分布^[1]，本项目勘察结果显示，场地内溶洞、土洞呈无规律分散发育，无明显集中分布区域。土洞洞高 0.50 ~ 11.50m，平均洞高 4.66m，层面埋深 13.00 ~ 33.60m；溶洞洞高 0.10 ~ 26.80m，平均洞高 3.85m，层面埋深 10.30 ~ 45.20m，且多呈串珠状发育。这种不规则性导致地质勘察难以全面覆盖所有不良地质体，部分隐蔽性岩溶构造在施工阶段才被揭露。同时，岩溶顶板厚度差异较大，且普遍存在溶蚀现

象，岩石完整性差，无法直接作为桩端持力层，给地基基础选型与施工带来极大挑战。

（二）水文地质条件复杂且动态变化

本项目场地地下水类型多样，孔隙水、岩溶（土）洞水和裂隙水相互连通，形成复杂的水文网络。实测地下稳定水位埋深 0.80 ~ 6.00m，年变化幅度 1 ~ 3m，且与周边地下水系统互补补给，水位动态变化复杂。地下水对混凝土结构及钢筋具有微腐蚀性，长期作用可能影响结构耐久性。

（三）工程建设适宜性差且风险叠加

根据《城乡规划工程地质勘察规范》，本项目场地稳定性评级为“稳定性差”，工程建设适宜性级别为“适宜性差”。场地虽无活动断裂、滑坡等重大地质灾害，但岩溶（土洞）作为主要不良地质作用，与地下水影响相互叠加，形成多重风险。岩溶顶板强度不足、充填物稳定性差，在施工荷载与地下水作用下易发生坍塌；土洞顶板多为粉质黏土及砂层，强度低、抗冲刷能力弱，易因地下水渗透而扩大，引发地面沉降。同时，场地属于建筑抗震不利地段，软弱土与岩溶地质的组合的作用，进一步增加了结构抗震设计的难度。这种风险叠加效应使得项目从勘察、设计到施工、运营的全生命周期都面临较高的技术风险，对工程质量与安全控制提出严格要求。

三、岩溶地质条件下基建项目风险识别与防控的难题

（一）地质勘察精度不足，风险预判难度大

岩溶地质的隐蔽性与复杂性导致传统勘察手段难以全面准确揭示地质条件^[9]。本项目在 615 个勘察钻孔中发现 221 个钻孔存在溶（土）洞，但仍无法排除未勘察区域存在隐蔽岩溶构造的可能。勘察过程中，岩溶洞体的高度、充填情况、顶板厚度等关键参数难以精准测定，部分串珠状溶洞易被遗漏，导致地质勘察报告难以完全反映场地真实地质状况。此外，地下水的动态变化特性使得勘察期间测得的水位数据难以代表长期稳定状态，给抗浮设计、防水方案制定带来不确定性。

（二）地基基础设计适配性不足，结构安全风险突出

在岩溶发育地质条件下，地基基础设计需同时应对不均匀地基承载力、岩溶坍塌、地下水侵蚀等多重挑战。本项目设计虽采用勘察报告建议的管桩+承台基础方案，但该方案在具体地质条件下仍显适配性不足，主要体现于以下两方面：

其一，岩溶特殊地质导致桩基施工质量与承载力难以保证。场地内基岩面起伏大、坡度陡，且下伏岩层局部较破碎，导致工程桩桩长差异悬殊。施工中易出现桩端持力层选择失误（如落在不稳定溶洞顶板或充填物上），或因岩面倾斜引发桩身滑移。更严重的是，此类地质条件极易在施工中产生断桩、短桩、桩身偏位等严重缺陷，形成大量 III 类甚至 IV 类桩，其单桩承载力与沉降控制均无法满足设计要求，对整体结构安全构成直接威胁。

其二，上部结构设计未能充分考虑地基的不利影响。施工过程中发现，部分短肢剪力墙配筋率不足、地下室梁板配筋小于计算值，不符合《高层建筑混凝土结构技术规程》要求。在地基可

能存在不均匀沉降的风险下，上部结构配筋的薄弱环节将进一步放大结构的安全风险。

（三）施工技术难度高，过程管控风险大

岩溶地质的强不确定性与高扰动性，给本项目施工带来了远超常规工程的系统性挑战。在桩基施工阶段，虽已完成溶洞处理钻孔超六百个，但复杂的地下环境导致施工风险高度集中且相互关联：钻孔穿越多层溶洞时，不仅频繁遭遇漏浆、塌孔，更易因岩面倾斜、溶洞内探头石或坚硬异物导致“卡钻”、“埋钻”等恶性事故；浅层溶（土）洞在钻进扰动或地下水动力条件改变后，可能引发作业面局部塌陷，导致桩机倾覆或陷机，严重威胁人员与设备安全；相邻桩孔若处于连通性良好的溶洞系统中，极易出现“串孔”现象，造成混凝土流失和成桩失败。在上述恶劣的成孔条件下，钢筋笼难以安放到位，混凝土灌注时易通过溶洞裂隙流失，导致桩身混凝土离析、夹泥、断桩等严重缺陷，产生大量影响承载力的 III 类、IV 类桩，直接动摇结构安全基础。同时，岩溶发育区的地下承压水构成持续威胁：基坑开挖或桩孔钻进若意外揭穿承压水囊，可能引发高压水夹带泥沙的突涌事故，不仅淹没作业面、冲毁桩孔，更会加剧周边地面沉降。

（四）监测预警体系不完善，风险响应滞后

岩溶地质条件下，基建项目需建立覆盖地质、结构、地下水的全方位监测体系，但实际工程中监测预警存在诸多不足。本项目虽进行主体结构沉降监测，且沉降趋势正常，但针对岩溶发育、地下水水位变化的专项监测不够全面。部分监测指标设置不合理，未能及时捕捉岩溶顶板变形、土洞扩张等关键风险信号。监测数据的分析与应用不足，未能建立实时预警机制，导致部分风险隐患未能及时发现，如地下室渗漏问题在雨后查勘时才新增多处渗漏点。此外，监测频率与施工进度匹配度不足，在桩基施工、基坑开挖等关键阶段，未能加密监测频次，风险响应滞后。岩溶地质条件下的工程安全高度依赖于建设、设计、施工、监理及 TIS（第三方独立巡查）机构的高效协同与信息互通。然而，本项目技术信息共享存在迟滞与脱节，典型表现为地块 17、18 的岩土工程详细勘察报告与关键的结构设计计算书未能及时提供给 TIS 等单位，致使风险评估的基础依据不足，影响了预判和管控的精准性。

四、岩溶地质条件下基建项目风险识别与防控的解决措施

（一）优化地质勘察方案，提高风险预判精准度

为从根本上控制岩溶地质风险，须采用超前、综合的勘察手段，构建覆盖场内外风险预判体系。首要措施是实施“点-面结合”的精细化勘察：在常规勘察基础上，于岩溶强发育区实施“一桩一孔”或更密的加密钻探，精确揭示桩位下溶洞分布与充填情况。其次，强化物探与钻探的协同验证，运用高密度电法、地震波 CT 等技术立体扫描隐伏构造，弥补钻探局限。同时，必须高度重视场地外围岩溶稳定性调查与地下水长期监测，评估邻区岩溶发育及水力联系，防范“邻域塌陷”风险，并为抗浮与防水设

计提供动态数据支撑。最后，建立贯穿施工全过程的地质信息动态更新机制，利用桩孔摄像等技术及时捕捉未探明岩溶构造，启动应急补勘并反馈设计，实现从“被动应对”到“主动预判”的管控模式转变。

（二）强化设计优化，提升结构适配性

针对岩溶地质特性，结构设计需采取系统性优化以提升适配性。在地基基础方案选择上，除常规管桩外，对于溶洞强烈发育区应论证采用桩筏基础，利用其整体刚度跨越局部缺陷；对浅层岩溶可考虑 CFG 桩复合地基处理。本项目管桩基础须通过施工勘察精准控制持力层，并着力增强基础整体刚度，通过加大基础梁、增厚筏板及采用变刚度调平设计（即在荷载大的部位加密布桩）来主动调节差异沉降^[9]。上部结构应对短肢剪力墙、地下室梁板等关键部位严格按规范计算并适当提高构造配筋，增强结构抗变形能力。防水体系应以 P8 及以上防水混凝土为根本，结合多道柔性防水层，并对施工缝、穿墙管等节点进行专项密封强化，形成与岩溶地质条件相匹配的耐久性防护体系。

（三）系统性风险控制与质量保障措施

在桩基施工前，必须实行“一桩一探”的超前钻探，精确探明桩位处溶洞分布与水文条件，并对浅层溶（土）洞优先采用压力注浆进行填充加固，从源头稳定地基。施工过程中，需动态调整工艺以应对复杂情况，包括现场备足优质泥浆与钢护筒以应对漏浆与塌孔，遇大型溶洞时果断采用钢护筒跟进或回填冲砸工艺，针对岩面坡度大、溶洞连通性好的区域严格实施跳打施工以防治串孔。在成桩质量把控上，须采用低应变法与声波透射法对桩身进行全数普查，对检出的 III、IV 类桩严格依据其缺陷类型与位置，采用高压注浆补强、补桩或承台扩大等方案进行可靠加固。针对地下水与防水难题，应遵循“以堵为主、疏堵结合”的原则，在基坑开挖前可沿外围施作高压旋喷止水帷幕以阻断岩溶水补给，降水时实施信息化动态控制，并在敏感区域布设回灌井以减少周边沉降^[4]。在结构防水方面，必须确立以结构自防水为根本的理念，通过采用抗渗等级不低于 P8 的补偿收缩混凝土并优

化配合比与养护来提升混凝土自身抗裂防渗性能，同时对所有施工缝、后浇带、穿墙管等关键节点进行多道设防与专项密封强化处理，以构建可靠的全体系防水系统。

（四）构建全方位监测预警体系，提升风险响应速度

建立覆盖地质、结构、地下水的全方位监测预警体系。监测内容方面，增设岩溶顶板变形、土洞扩张、地下水水位与水质变化等专项监测指标，结合主体结构沉降、倾斜监测，形成完整的监测指标体系。监测方法上，采用自动化监测设备，如光纤光栅传感器、自动化水位计等，实现监测数据实时采集与传输。建立监测数据分析平台，运用大数据技术对监测数据进行趋势分析与风险预判，设置预警阈值，当监测数据超出阈值时自动报警。优化监测频率，在桩基施工、基坑开挖、防水施工等关键阶段加密监测频次，确保及时捕捉风险信号^[9]。加强监测成果应用，将监测数据与施工进度同步分析，及时调整施工方案，提升风险响应速度。搭建统一的数字化协同管理平台，实现勘察、设计、施工、TIS 等多方数据的实时上传与共享，确保 TIS 等单位可随时调阅最新版本的技术文件。明确 TIS 单位的技术质询权，规定其在未及时获取必要技术资料时，有权向建设方提出正式书面质询并可暂停相关风险评估工作，直至资料完备。

五、结束语

岩溶地质条件下的基建项目风险识别与防控是一项系统工程，涉及地质勘察、设计、施工、监测、协同管理等多个环节。本文以白云机场三期扩建工程配套项目为案例，分析了岩溶地质形态不规则、水文地质复杂、工程适宜性差的核心特性，识别出勘察精度不足、设计适配性不够、施工管控难度大、监测预警不完善、多方协同不足等关键难题。通过优化勘察方案、强化设计适配、创新施工技术、构建监测体系、完善协同机制等针对性措施，可有效提升岩溶地质条件下基建项目的风险管控水平。

参考文献

[1] 何高峰, 罗先启, 范训益, 等. 南宁地铁2号线岩溶风险分析和处理原则 [J]. 铁道标准设计, 2018, 62(5): 86-90.
[2] 叶扬春. 岩溶地层邻近建筑物盾构隧道施工风险评估及控制研究 [D]. 广西: 广西大学, 2022.
[3] 段运启, 疏义广. 浅覆盖型岩溶地质条件下明挖隧道深基坑工程设计 [J]. 工程建设与设计, 2020(17): 41-42, 45.
[4] 杨祉惠, 雷刚, 成双田, 等. 岩溶区域城市轨道交通控制保护区范围研究 [J]. 都市轨道交通, 2025, 38(3): 54-60, 107.
[5] 徐风雷, 王健. 岩溶地区大直径钻孔灌注桩施工关键技术及施工效率优化 [J]. 建筑机械, 2025(7): 63-68.

