

城市建筑与发展

Urban Architecture And Development



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



Editorial Board

Editors-in-Chief

Peng Xu

China Municipal Engineering North China Design and Research Institute Co., LTD.

Zhijin Lu

China Municipal Engineering Northeast Design and Research Institute Co., LTD. Dongguan Branch

Editorial Board Member

Longde Cha

Zhejiang Jiahua Architectural Design & Research Institute, China

Feng Gao

China Municipal Engineering South-Central Design and Research Institute Co., LTD.

Chunxiao Lin

China Municipal Engineering South-Central Design and Research Institute Co., LTD.

Andrew Chiou

School of Engineering and Technology Centre for Intelligent Systems

Ritesh Chugh

School of Engineering and Technology Centre for Research in Equity & Advancement of Teaching & Education(CREATE)

Weiming Luo

Shenzhen WIZ Land Planning Consulting Co.,Ltd.

Yulin Xi

School of Architecture and Art, Hebei University of Architecture

Jianjun Wang

Shanghai Zhiping Foundation Engineering Co., Ltd.

城市建筑与发展

Urban Architecture and Development

(季刊)

第3卷 第2期 2025年6月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《城市建筑与发展》编辑部

ISSN(O): 2993-270X

ISSN(P): 2995-2441

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

网址: <https://www.artdesignnp.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。



城乡规划·设计 | URBAN AND RURAL PLANNING· DESIGN

- 001 市政地道与地铁车站共建结构设计研究 王佳栋, 包华峰
Research on the Structural Design of Joint Construction
of Municipal Tunnel and Metro Station Wang Jiadong, Bao Huafeng
- 004 基于生态修复理念的城市基础设施设计分析 鲍晓磊
Analysis of Urban Infrastructure Design Based on Ecological
Restoration Concept Bao Xiaolei
- 007 香港与大阪城市规划管制制度比较研究 李方誉
A Comparative Study of Urban Planning Control Systems in Hong
Kong and Osaka Li Fangyu
- 010 国土空间规划背景下的村庄规划管理通则研究——以
温岭市为例 邱鹏程, 陈礼义, 任静, 童琳翔, 周婷格, 叶荣君, 王楷卫
Research on the General Rules of Village Planning and Management
under the Background of National Land Spatial Planning— Taking Wenling
City as an Example Qiu Pengcheng, Chen Liyi, Ren Jing, Tong Linxiang, Zhou Tingge,
Ye Rongjun, Wang Kaiwei
- 014 城市更新项目中的建筑节能设计策略研究 赵晨璐
Research on Building Energy Conservation Design Strategies in Urban
Renewal Projects Zhao Chenlu
- 017 存量建筑用途转换的实践探索、现实困境及破解思路
——以深圳市为例 张丽娜, 杨鹏举
Practical Exploration, Practical Difficulties and Solutions to the Conversion of Existing
Building Uses — Taking Shenzhen as An Example Zhang Lina, Yang Pengju

建筑技术·应用 | BUILDING TECHNOLOGY· APPLICATION

- 020 装配式混凝土建筑预制构件接缝防水施工工艺优化与长期耐久性评估 李全利
Optimization of Waterproof Construction Technology and Long-term Durability
Evaluation for Prefabricated Concrete Building Joints Li Quanli
- 023 装配式建筑施工关键技术及现场应用分析 杨荣华
Analysis of Key Construction Technologies and Onsite Applications in
Prefabricated Buildings Yang Ronghua
- 026 建筑施工房建项目信息化管理模式创新研究 刘巨宝
Research on Innovation of Information Management Mode
of Building Construction Project Liu Jubao
- 029 传统砖木建筑虚拟交互展陈与教辅系统建构: 从测绘实践到构件认知的
数字化传承 叶柯宏, 郑舒心, 骆奕廷, 吴炳南, 王凯一, 朱炜
Virtual Interactive Exhibition and Teaching Auxiliary System Construction of
Traditional Brick and Wood Architecture: Digital Inheritance from Surveying
and Mapping Practice to Component Cognition Ye Kehong, Zheng Shuxin, Luo Yiyan, Wu Bingnan, Wang Kaiyi, Zhu Wei
- 032 建筑工程领域联合测绘与不动产测绘的协同优化策略 陈佳苗
Strategies for Integrated Optimization of Joint Surveying in Construction
Engineering and Real Estate Surveying Chen Jiamiao
- 035 基于 BIM 与物联网的建筑工程质量协同管控体系构建 韦强
Construction of Collaborative Quality Control System for Construction
Projects Based on BIM and Internet of Things Wei Qiang
- 038 基于全过程管理的工业与民用建筑施工安全风险防控策略研究 叶永红
Research on Safety Risk Prevention and Control Strategy of Industrial and Civil
Construction Based on Whole Process Management Ye Yonghong

041	建筑材料管理视角下预拌砂浆的发展趋势探讨 Discussion on the Development Trend of Ready-Mixed Mortar from the Perspective of Building Materials Management	黄远建 Huang Yuanjian
044	建筑工程中房建市政监理的创新发展路径探讨 Discussion on the Innovation and Development Path of Housing and Municipal Supervision in Construction Engineering	周安辉 Zhou Anhui
047	3D打印混凝土结构的受力性能及设计参数研究 Research on Mechanical Properties and Design Parameters of 3D Printed Concrete Structures	林佳森 Lin Jiasen
050	复掺聚丙烯纤维和聚乙醇纤维对泡沫混凝土性能的影响 Effects of the Combined Incorporation of Polypropylene Fibers and Polyethanol Fibers on the Properties of Foam Concrete	王俊旭, 王瑞鹏, 王亮, 黄家琪 Wang Junxu, Wang Ruipeng, Wang Liang, Huang Jiaqi
053	闽南传统建筑装饰“燕尾脊”造型特点及其文创衍生品设计研究 Research on the Design Characteristics of the Traditional Minnan Architectural Decoration "Swallowtail Ridge" and Its Cultural and Creative Derivatives	徐闽荣, 张迪妮 Xu Minrong, Zhang Dini
056	桥梁保留上部结构墩柱盖梁原位静力切割拆除施工技术 In-Situ Static Cutting and Demolition Construction Technology for Retaining the Superstructure Pier Columns and Cap Beams of Bridges	姚磊 Yao Lei
060	建筑工程施工中深基坑支护的施工技术管理研究 Research on Construction Technology Management of Deep Foundation Pit Support in Construction Engineering	李春阳 Li Chunyang
063	基于多源数据融合建模的技术研究 Research on Multi-source Data Fusion Modeling Technology	李垦一 Li Kenyi
068	风景园林技术管理中的关键问题及解决路径 KeyProblemsandSolutionsinLandscapeArchitectureTechnologyManagement	李翠芬 Li Cuifen
071	房建外墙保温与装饰一体化系统施工质量缺陷成因及防治技术研究——以某装配式住宅项目为例 Research on the Causes and Prevention Technology of Construction Quality Defects in the Integrated System of Insulation and Decoration of Exterior Walls of Housing Construction—Taking A Prefabricated Housing Project as an Example	郝会军 Hao Huijun
074	园林植物配置对城市微气候调节作用的量化研究——以夏季降温增湿效应为例 Quantitative Study on the Regulation Effect of Garden Plant Configuration on Urban Microclimate — Taking the Cooling and Humidifying Effect in Summer as an Example	胡国魁 Hu Guokui

工程管理·实践 | ENGINEERING MANAGEMENT·PRACTICE

077	EPC项目设计管理对工程造价控制的影响分析 Analysis of the Influence of EPC Project Design Management on Project Cost Control	贾凤岭, 田伟, 袁浩, 刘小虎, 吴光军, 杨文琪 Jia Fengling, Tian Wei, Yuan Hao, Liu Xiaohu, Wu Guangjun, Yang Wenqi
080	建设工程项目进度管理优化策略研究 Research on Optimization Strategies for Progress Management of Construction Projects	张孟良 Zhang Mengliang
083	房屋修缮工程中的建筑工程管理策略研究 Research on Construction Management Strategy in Housing Renovation Project	陈露珍 Chen Luzhen
086	房地产工程技术与管理协同发展的机制与模式探究 Research on the Mechanism and Mode of Coordinated Development of Real Estate Engineering Technology and Management	霍婷婷 Huo Tingting
089	住宅项目区前期机电预埋对后期安装质量的影响及把控措施 Impact of Pre-embedding MEP Works in Residential Project Areas on Later Installation Quality and Control Measures	黄顺周 Huang Shunzhou
092	汽车动力智能故障诊断模型构建及检验 Construction and Verification of Intelligent Fault Diagnosis Model for Automotive Power	张性伟, 谢振, 张赛文, 代云川, 海哈小东, 果机布旦 Zhang Xingwei, Xie Zhen, Zhang Saiwen, Dai Yunchuan, Haiha Xiaodong, Guoji Buqie
095	公路工程建设管理中工程质量的提升策略 Strategies for Improving Project Quality in Highway Engineering Construction Management	朱磊, 祖品红 Zhu Lei, Zu Pinhong
097	路灯景观照明建设管理的要点与创新实践——以市政工程为例 Key Points and Innovative Practices of Street and Landscape Lighting Construction and Management — A Case Study of Municipal Engineering	周智星 Zhou Zhixing
100	幕墙工程现场管理策略及技术应用研究 Research on Construction Site Management Strategy and Technology Application of Curtain Wall Engineering	陈伟强 Chen Weiqiang
103	隧道施工中的浅埋偏压软弱围岩技术研究 Research on Shallow-Buried Partial Pressure Weak Surrounding Rock Technology in Tunnel Construction	胡贤成 Hu Xiancheng
106	线性工程先行用地报批中红线偏差容忍度的量化标准研究 Research on the Quantitative Standard of Red Line Deviation Tolerance in the Approval of Advance Land Use for Linear Engineering	黄番, 闫智勇, 常熙月 Huang Fan, Yan Zhiyong, Chang Xiyue
109	先简支后结构连续桥梁施工技术研究 Research on the Construction Technology of Continuous Bridges with Simple Support First and then Structure	梁凯 Liang Kai
112	预应力混凝土桥梁施工技术要点研究 Research on Key Points of Prestressed Concrete Bridge Construction Technology	那杨杰 Na Yangjie
115	浅埋偏压软弱围岩隧道施工技术研究 Research on Construction Technology of Shallow-Buried Tunnels with Partial Pressure and Weak Surrounding Rock	苏浙 Su Zhe

118	关于隧道施工技术分析和质量控制探讨 Discussion on Technical Analysis and Quality Control of Tunnel Construction	童斌 Tong Bin
121	智能化时代如何做好思想政治工作 How Can Ideological and Political Work Be Done Well in the Era of Intelligence	吴瀚 Wu Han
123	基于信息化技术的混凝土质量管理策略探究分析 Research and Analysis on Concrete Quality Management Strategies Based on Information Technology	吴巧利, 黄嘉诚 Wu Qiaoli, Huang Jiacheng
126	论公路施工技术的精细化管理 On the Fine Management of Highway Construction Technology	张灵学 Zhang Lingxue
129	高性能钢材在土木工程中的应用与性能提升 The Application and Performance Enhancement of High-Performance Steel in Civil Engineering	袁伟 Yuan Wei
133	后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用研究 Research on the Application of Post-Tensioning Method Prestressed Concrete Bridge Construction Technology	赵敬博, 李家优 Zhao Jingbo, Li Jiayou

市政地道与地铁车站共建结构设计研究

王佳栋, 包华峰

中铁第六勘察设计院集团有限公司, 天津 300000

DOI:10.61369/UAID.2025020005

摘 要 : 随着城市的快速发展, 交通需求日益增长, 市政地道与地铁车站的共建项目逐渐增多。这种共建模式在有效利用地下空间、提升交通效率等方面具有显著优势, 但同时也给结构设计带来了诸多挑战。本文围绕市政地道与地铁车站共建结构设计展开深入研究, 详细阐述了共建结构设计的原则、流程、要点以及关键技术, 旨在为相关工程设计提供理论支持与技术参考, 确保共建项目的安全、高效与可持续发展。

关 键 词 : 市政地道; 地铁车站; 共建结构; 设计研究

Research on the Structural Design of Joint Construction of Municipal Tunnel and Metro Station

Wang Jiadong, Bao Huafeng

China Railway Liuyuan Group Tianjin Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Tianjin 300000

Abstract : With the rapid development of cities and the increasing demand for transportation, joint construction projects of municipal tunnels and metro stations are gradually increasing. This joint construction model has significant advantages in effectively utilizing underground space and improving transportation efficiency, but it also brings many challenges to structural design. This article conducts in-depth research on the structural design of joint construction of municipal tunnels and metro stations, elaborating on the principles, processes, key points, and critical technologies of joint structural design. It aims to provide theoretical support and technical reference for related engineering design to ensure the safety, efficiency, and sustainable development of joint construction projects.

Keywords : municipal tunnel; metro station; joint construction structure; design research

引言

在城市化进程日益加快的大环境中, 城市人口激增, 交通拥堵现象日益严重。为缓解交通压力、提升城市交通便利性与效率, 市政地道、地铁等重要城市交通基础设施被大量兴建。把市政地道和地铁车站联合建设, 可以集约化利用地下空间, 降低工程建设占用城市地面空间, 也为旅客换乘和出行提供便利。但由于市政地道和地铁车站的作用, 结构形式和荷载特性不同, 如何合理地设计共建结构已成为工程建设的重点问题。对市政地道和地铁车站联合施工结构设计进行深入研究, 有着十分现实的意义。

一、共建结构设计流程

(一) 前期调研与资料收集

开展共建结构设计前, 需做好前期充分调研及资料收集。其中包括详细调查工程所处地区地形地貌, 工程地质及水文地质条件, 查明地层分布, 岩土力学性质及地下水位, 从而为结构设计提供精确地质参数。同时搜集了城市总体规划, 交通规划及地下空间规划的有关数据, 确定了市政地道及地铁车站的地位及功能定位及其在城市交通系统中所处的地位, 并对其与周围建筑物及地下管线之间的联系进行了分析。另外, 需要对同类项目的设计与施工经验进行调查, 并对其中的成功经验与问题进行剖析, 以期对本设计起到借鉴作用。^[1]

(二) 概念设计

在前人研究及资料收集基础上对共建结构进行概念设计。在概念设计阶段, 主要决定了结构总体布局, 结构形式, 竖向关系等重点问题。从市政地道与地铁车站功能要求及场地条件出发, 对二者平面位置及相互关系进行合理定位, 例如采用上下层重叠, 左下层并列或者交叉排列。在选择合适的建筑结构, 例如框架、拱形或箱型结构时, 需要充分考虑到结构的受力特性、施工的可行性以及经济效益。同时确定了结构竖向标高、合理布置各层功能空间、净空要求及排水坡度。概念设计时, 应与城市规划, 交通, 建筑等各专业全面沟通协调, 保证设计方案合理可行。^[2]

(三) 详细设计

以概念设计为基础对共建结构做了详细设计。详细设计阶段

由结构计算分析,构件设计,节点设计和附属设施设计组成。采用结构力学,有限元分析方法,准确地计算了各荷载工况作用下结构内力及变形情况,并依据计算结果设计了结构构件,确定了其尺寸,配筋及其它参数。结构中各节点部位都经过了细致设计,确保了节点连接牢固可靠,使得结构可以共同工作。同时对其附属设施如地道排水系统,通风系统和照明系统以及地铁车站给排水系统,供电系统和通信系统等也做了设计、消防系统等以保证附属设施能满足结构正常使用及运行要求。在进行详细设计时,应严格遵守有关设计规范与标准,确保设计准确规范。

(四) 设计审查与优化

详细设计工作结束后,由有关专家、部门负责设计方案的评审。评审内容为结构安全性,功能性,经济性及可持续性,并对设计与有关规范及标准是否一致进行评审。在审查意见的基础上,优化调整了设计方案,使设计得到了进一步改进。在进行优化时可能会涉及到结构形式,构件尺寸,材料选择,附属设施布局等多方面的改造,从而提升设计方案的品质与可行性。经多次评审及优化后,最后确定了符合该项目需求的共建结构设计方案。^[3]

二、共建结构设计要点

(一) 平面设计要点

1. 线路走向与车站位置

市政地道及地铁线路走向要考虑城市交通规划,地形地貌及地下管线的分布情况,最大限度地减少线路弯折及波动,从而减少工程建设难度及运营成本。地铁车站选址宜设在客流量大的地区,例如城市商业中心,交通枢纽和大型居住区,并考虑到与市政地道连接的便捷性。车站选址时应综合考虑车站主体结构及市政地道平面关系,以免二者产生互相干扰及矛盾。比如站内主体结构要尽量避免市政地道关键位置,比如地道进出口和结构薄弱处。^[4]

2. 出入口与通道设计

地铁车站进出口和市政地道之间连接通道的设计非常关键。通道数量多,宽,长等要根据客流量合理计算设计,以确保旅客能安全,快捷通过。通道的坡度应当满足行人的通行标准,通常不应超过12%,而对于需要轮椅通行的通道,坡度应当更为温和。通道内应有完善的照明、通风、排水等设施,并有明显的标识系统指引旅客平稳抵达目的地。同时应兼顾通道和车站出入口及市政地道内的连接,以避免高差突变和转弯半径太小而影响交通。另外,通道结构设计要与车站、市政地道等建筑协调一致,确保建筑整体性、稳定性。

3. 换乘设施设计

若共建项目中涉及到不同线地铁车站间或者地铁和其他交通方式间的换乘时,应进行合理的换乘设施设计。换乘方式可以是同站台换乘,站厅换乘,通道换乘,并根据站点布局及客流量选择适宜换乘方式。如客流量大的枢纽车站可以利用同站台换乘缩短旅客换乘时间及行走距离。换乘设施设计应以人性化为重点,

布置充足的楼梯,电梯,自动扶梯和其他垂直交通设施以适应不同旅客的要求。同时确保换乘通道宽度及净空高度以避免客流拥堵。换乘区域内应当设置醒目导向标识、信息显示屏等,向旅客提供精准换乘信息。

(二) 竖向设计要点

1. 埋深确定

市政地道及地铁车站埋深要考虑很多因素。对市政地道而言,其埋深应符合车辆通行净空,道路排水要求及与周围地下管线竖向关系等。通常,隧道的土壤覆盖厚度不应低于0.7m,以确保道路结构的稳固性和驾驶的安全性。对地铁车站而言,其埋深应综合考虑其功能要求,施工方法和地质条件及其与市政地道之间的内在联系。如用明挖法修建的站场埋深比较浅;但暗挖法建站时,埋深可以视情况酌情深化。车站埋深确定后,还需考虑对与市政地道竖向重叠或者相交部位进行结构处理,以免由于埋深不合理而造成结构设计繁杂或者增加施工难度。^[5]

2. 层间关系设计

在市政地道和地铁车站之间采用上下层重叠布置或者分层布置的情况下,层间关系应进行合理的设计。对各层功能分区进行了清晰划分,以避免各功能区域间互相干扰。如市政地道布置于浅层、地铁车站布置于深层等,并通过合理结构转换层达到二者荷载传递。层间结构设计时应综合考虑承载能力与变形协调等因素,以保证上层结构所受荷载能安全、高效地向下层结构转移。同时应建立合理的通风,排水及检修通道便于各层设施的操作与检修。对层与层之间的楼板结构应根据荷载情况合理设计以确保楼板有足够强度与刚度。

3. 防水与排水设计

竖向设计时,防水和排水是至关重要的一环。因市政地道及地铁车站均位于地下环境中,地下水渗入会破坏结构,从而影响其使用寿命及正常运行。所以,应采取有效的防水措施如设防水卷材,防水涂料和防水混凝土以构成多道防水防线。结构中施工缝和变形缝处应做专门防水处理以保证防水可靠。同时应设计好排水系统并将地下水及雨水及时排除。排水系统可用自流排水与机械排水结合,集水井、排水泵设于车站及地道最低处,及时把积水抽排到地排水系统中。另外,排水坡度应合理设定,以确保排水畅通,以免结构中积水堆积。^[6]

(三) 结构设计要点

1. 荷载计算与组合

精确地计算出作用于共建结构的荷载,是进行结构设计的依据。荷载有恒载,活载,附加荷载及特殊荷载等。恒载由结构自重,覆土重量组成,可以按结构构件大小及材料容重来计算。活载由车辆荷载,人群荷载组成,其中车辆荷载应按市政地道及地铁设计标准设置,人群荷载应综合考虑站点及地道最大客流量。附加荷载主要有风荷载,温度作用和地震作用,其中风荷载与温度作用可以按当地气象条件及有关规范计算,而地震作用应按项目所在区域地震设防烈度计算。特殊荷载主要有施工荷载和爆炸荷载,施工阶段应考虑由施工设备和材料堆放引起的施工荷载作用,对有爆炸危险的地区应考虑爆炸荷载作用。在结构设计中,

应针对不同工况合理搭配荷载,例如承载能力限制状态的基础搭配,偶然性搭配以及正常服役限制状态的规范搭配等、准永久组合等来保证各条件下结构的安全性与适用性。^[7]

2. 结构选型与布置

针对市政地道及地铁车站功能要求,场地条件及荷载特点等因素,选取了适宜的结构选型及布置方案。常用结构形式包括框架结构,拱形结构和箱型结构。框架结构在空间布置上有一定的灵活性,便于施工,适合多数地铁车站以及市政地道施工;拱形结构具有良好的受力性能,能有效地承受大荷载,多用于跨度比较大的地道或者车站结构中;箱型结构具有整体性和良好的防水性能,适合在有防水要求的地下工程中使用。在结构布置中,应合理设置结构构件大小及间距以确保结构受力合理稳定。如合理设置框架柱位置等,使得水平及竖向荷载下结构受力均一;对拱形结构应合理地设计拱体矢跨比来提高其承载能力。同时应综合考虑施工可行性、尽可能简化施工形式、降低施工难度与风险。

3. 构件设计与连接

结构构件设计应以荷载计算结果为依据,以结构选型为依据。对于如梁、板、柱这些关键的结构部件,需要根据相关的设计标准来进行其强度、刚度和稳定性的计算,并确定这些部件的截面大小和钢筋配置。如梁体设计应综合考虑梁体承受弯矩,剪力及扭矩时的承载能力并合理布置纵向受力钢筋及箍筋等;板料设计应根据板料受力状态决定厚度及配筋方式。对结构中节点连接部分,应进行细致设计以确保其强度及可靠性。节点连接方式可以为焊接,螺栓连接,榫接,针对不同结构形式及受力要求选用适当连接方式。节点设计时应考虑节点应力集中情况,并采取有效构造措施如加大节点板厚度和设置加劲肋以提高其承载能力。在保证节点施工质量和节点连接满足设计要求前提下。^[8]

三、共建结构设计关键技术

(一) 结构协同工作技术

市政地道-地铁车站联合施工结构为一空间受力复杂系统,结构部分间互相影响和作用。为确保结构整体性能要求结构协同工作技术的应用。通过构建合理的结构力学模型并综合考虑各结构部分的连接方式,变形协调及荷载传递关系等因素,进行了结构整体分析与计算。例如,在使用有限元分析软件进行结构分析的时候,需要精确地模拟结构构件间的连接节点,例如采用铰接、刚接或半刚性连接等模型,以真实地反映结构的受力状况。同时应综合考虑施工期间结构受力变化情况,对施工过程进行模

拟分析以保证各施工阶段结构安全。通过采用结构协同工作技术,可以充分发挥各个结构部分承载能力,增强整体稳定性与可靠性。

(二) 抗震设计技术

鉴于市政隧道和地铁站点是城市的关键交通工程,其在地震影响下的安全保障显得尤为关键。所以抗震设计技术在共建结构设计中属于一项关键技术。进行抗震设计时,应根据项目所在区域地震设防烈度和场地类别来制定结构抗震设防标准。为了增强结构的抗震能力,应当采纳合适的抗震结构设计,例如通过设置抗震缝将其分为多个有规律的抗震单元。通过对地震响应的分析,计算了结构在地震影响下的内部力量和形变,并采纳了一系列有效的抗震措施,例如增加结构部件的配筋、设置约束边缘部件、加强节点连接等,以提升结构的延性和能量消耗能力。同时应综合考虑结构和周围土体在地震时的共同作用,并采用适当的土-结构共同作用模型对其加以分析,以保证结构的地震安全。^[9]

(三) 耐久性设计技术

市政地道及地铁车站地下潮湿环境中长期存在,受地下水,土壤侵蚀及多种化学物质等因素影响,其结构耐久性受到了严重挑战。为确保结构长期服役性能,必须采取耐久性设计技术。耐久性设计包括选材,混凝土配合比,结构构造措施和防护措施。选材时,优先选择耐腐蚀性能良好的钢筋及混凝土,例如使用环氧涂层钢筋,高性能混凝土。优化混凝土配合比、增强混凝土密实性与抗渗性、降低有害离子入侵。从结构构造方面对混凝土保护层的厚度进行了合理的设计,以避免钢筋锈蚀。同时采取有效防护措施如在结构表面涂覆防腐涂层和建立阴极保护系统。通过采用耐久性设计技术可以有效地延长结构使用寿命和减少维护成本。^[10]

四、结论

总之,市政地道-地铁车站联合施工结构设计是一个涉及到诸多专业领域以及诸多设计要点的复杂系统工程。通过遵循安全性,功能性,经济性以及可持续性的设计原则,依据科学合理的设计流程,掌握平面设计,竖向设计以及结构设计中的重点,并且采用了结构协同工作技术,抗震设计技术和耐久性设计技术这些关键技术,可以设计出安全,可靠,功能完备,经济,合理和可持续的共建结构方案。在实际工程设计时,还要根据具体工程条件与需求不断优化与创新,从而为城市交通基础设施建设,推动城市可持续发展提供强大技术支撑。

参考文献

- [1]叶至盛,杨凤梅.市政下穿隧道与地铁车站合建设计[J].现代隧道技术,2015,52(S2):141-147.
- [2]程骁.市政地道与地铁车站共建结构设计研究[J].工程建设与设计,2021,(22):14-16.
- [3]汪乐,王涛,宋磊.地铁明挖车站-市政桥梁合建结构的关键技术研究[J].隧道建设(中英文),2018,38(12):2006-2012.
- [4]丁建军.深厚砂层环境下与市政隧道合建地铁车站设计研究[J].文摘版:工程技术,2015,(19):62-63.
- [5]李飞.地铁车站与市政下穿隧道合建设计要点浅析[J].四川建材,2020,46(12):147-148.
- [6]张峰.市政地道与地铁车站共建结构设计关键技术研究[J].工程技术研究,2022,7(10):206-207.
- [7]黄勇.地铁车站与市政隧道共建结构的抗震性能分析[J].地震工程学报,2021,43(4):1006-1013.
- [8]陈强.市政地道与地铁车站共建结构的耐久性设计探讨[J].建筑技术开发,2020,47(15):123-124.
- [9]赵宇.市政道路与地铁共线设计解决方案[J].交通世界,2021,(36):142-143.
- [10]周洋.市政地道与地铁车站共建结构的协同工作性能研究[J].地下空间与工程学报,2020,16(S2):890-895.

基于生态修复理念的城市基础设施设计分析

鲍晓磊

北京瑞麟市政工程有限公司, 北京 101300

DOI:10.61369/UAID.2025020014

摘 要： 当前,随着经济的发展,城市化进程日渐深入,人们对城市建设的重视程度日益提升。在此背景下,本文围绕基于生态修复理念的城市基础设施设计展开探讨,先阐述其基本原则。接着指出当前面临的困境,一方面设计常忽视对生态环境的影响,破坏生态平衡;另一方面智能化设施欠缺,难以实现高效管理与精准调控。接着提出相应的设计策略,具体涉及海绵城市设计、推进智能化基础设施设计等内容,通过上述内容,希望可以促进城市基础设施建设和生态环境的和谐共生。

关 键 词： 生态修复理念;城市;基础设施设计

Analysis of Urban Infrastructure Design Based on Ecological Restoration Concept

Bao Xiaolei

Beijing Ruilin Municipal Engineering Co., Ltd., Beijing 101300

Abstract： This article explores the design of urban infrastructure based on the concept of ecological restoration, first elaborating on its basic principles. The functional principle ensures that the infrastructure meets the basic operational needs of the city, while the sustainable principle emphasizes long-term development and rational use of resources. Continuing to point out the current challenges, on the one hand, designs often overlook the impact on the ecological environment and disrupt ecological balance; On the other hand, there is a lack of intelligent facilities, making it difficult to achieve efficient management and precise regulation. Then propose corresponding design strategies, specifically involving sponge city design, promoting intelligent infrastructure design, etc. Through the above content, we hope to promote the harmonious coexistence of urban infrastructure construction and ecological environment.

Keywords： concept of ecological restoration; city; infrastructure design

引言

城市基础设施的建设关乎城市的日益繁荣及人类的未来,它是提供必要资源的场所,是城市经济增长的关键因素。城市基础设施不仅提供便利的交通条件、优美的城市环境,还提供优秀的市政服务,帮助人们应对各种挑战。所以深入探讨基于生态修复理念的城市基础设施设计,具有显著的现实意义。

一、城市基础设施设计的基本原则

(一) 功能性

道路规划需紧密贴合城市发展格局与人口流动规律。以主干道为例,其必须能应对高峰时段的车流量,保障城市多个个区域间的快速联通。

(二) 可持续性原则

城市基础设施设计需最大程度降低对自然环境的负面影响。在水资源管理设施方面,通过建设雨水收集系统,将降雨收集起来,经过净化处理后用于城市绿化灌溉、道路冲洗等非饮用水用

途,进而提高水资源的利用效率^[1]。

二、生态修复背景下城市基础设施设计面临的困境

(一) 忽视生态环境影响

部分城市在进行基础设施规划时,缺乏对生态环境的系统性评估。在道路建设前期,没有充分考量路线穿越地区的生态敏感区域,像湿地、自然保护区或者野生动物栖息地等,导致物种数量减少,生物多样性遭到严重破坏。而且,大规模的道路建设需要进行大面积的土地开发,使得原本的植被被铲除,土壤结构被改变。

（二）智能化设施欠缺

对于城市生态环境而言,缺乏全面且实时的监测系统是一大困难。在大气环境监测方面,站点分布不够广泛和均匀,难以准确获取城市各个区域的空气质量数据。在基础设施运行监测上同样如此,以城市供水管网为例,很多地方仍依赖人工定期巡检来发现管道泄漏等问题,不能实时感知管道内部压力变化、水流异常等情况。一旦出现突发泄漏事件,难以及时定位和处理,造成水资源的大量浪费,也会导致局部积水导致土壤侵蚀或植被受淹^[2]。

三、基于生态修复理念的城市基础设施设计策略

（一）海绵城市建设

1. 源头减排设施的精细化布局与设计

绿色屋顶作为海绵城市建设中重要的源头减排设施,其设计需充分考虑多方面因素。先是植物选择,要依据当地气候、土壤条件挑选适应性强的本土植物品种。对于北方地区,需选择耐寒、耐旱的景天科植物,这类植物根系浅且储水能力较好,能有效滞留雨水;在南方湿润地区,则可选用一些喜湿且观赏价值高的草本植物;绿色屋顶的构造层次也至关重要。从下往上依次为防水层、排水层、过滤层和种植层。防水层要具备可靠的防水性能,防止雨水渗漏对建筑物造成损害;排水层通常采用陶粒、砾石等材料,保证多余水分能迅速排出;过滤层一般用土工布,可阻止种植土颗粒随水流流失;种植层的厚度根据植物种类而定,小型草本植物种植层厚度约10~15cm,较大型植物则需20~30cm^[3]。

2. 雨水收集系统优化

（1）屋面雨水收集量计算

屋面雨水收集主要考虑降雨量、屋面面积以及径流系数等因素。计算公式为:

$$V_{roof} = \psi \times A \times h \times 10^{-3} \quad (1)$$

其中, V_{roof} 为屋面雨水收集量 (m^3); ψ 为径流系数,不同屋面材质径流系数不同,例如沥青屋面 $\psi=0.9$,混凝土屋面 $\psi=0.85$ 等; A 为屋面有效集水面积 (m^2); h 为设计降雨厚度 (mm)。

（2）地面雨水收集量计算

地面雨水收集量同样需要考虑径流系数、地面面积以及降雨量,公式如下^[4]:

$$V_{ground} = \sum_{i=1}^n \psi_i \times A_i \times h \times 10^{-3} \quad (2)$$

其中, V_{ground} 为地面雨水收集总量 (m^3); ψ_i 为第 i 种地面类型的径流系数; A_i 为第 i 种地面类型的面积 (m^2); n 为不同地面类型的数量。

（3）雨水调蓄池容积计算

雨水调蓄池用于调节雨水流量,削峰错峰,其容积计算较为复杂,常用的方法有极限强度法和容积系数法。

（4）极限强度法

$$V = \frac{1}{2} \times Q_{max} \times t \quad (3)$$

其中, V 为调蓄池容积 (m^3); Q_{max} 为设计暴雨流量 (L/s),可通过暴雨强度公式 $q = \frac{167A(1+clgP)}{(t+b)^n}$ 计算得出 (Q 为暴雨强度, $L/(s \cdot ha)$; A 、 C 、 b 、 n 为当地参数; P 为设计重现期; t 为降雨历时),再结合汇水面积计算 $Q_{max} = q \times \psi \times F$ (F 为汇水面积, ha) $\cdot t$ 为降雨历时 (s),一般取设计降雨历时。

（5）容积系数法

$$V = \alpha \times \sum_{i=1}^n A_i \times h \times 10^{-3} \quad (4)$$

其中, V 调蓄池容积 (m^3); α 为调蓄系数,取值范围一般在0.1~0.3之间,根据当地降雨特性、排水系统要求等确定; A_i 为各汇水区域面积 (m^2)^[5]。

3. 排水系统的生态化改造

（1）LID调蓄容积计算

LID设施,如雨水花园、绿色屋顶、植草沟等,在减少地表径流、补充地下水方面发挥重要作用。以雨水花园为例,其调蓄容积计算公式如下:

$$V_{raingarden} = \alpha \times A_{garden} \times h_{eff} \quad (5)$$

其中, $V_{raingarden}$ 为雨水花园调蓄容积 (m^3); α 为综合雨量径流系数,取值范围通常在0.5~0.8之间,取决于场地土壤类型、植被覆盖情况等因素; A_{garden} 为雨水花园的有效面积 (m^2); h_{eff} 为有效调蓄深度 (m),根据雨水花园的设计构造和预期功能确定。

（2）生物滞留设施渗透能力计算

生物滞留设施通过土壤和植被的作用,增强雨水的渗透能力。其渗透速率计算公式为^[6]:

$$K = \frac{Q}{A \times h} \quad (6)$$

其中, K 为渗透系数 (m/d),反映土壤允许水分渗透的能力,不同土壤质地的渗透系数差异较大,如砂土的渗透系数可达10~100m/d,黏土则在0.01~0.1m/d之间; Q 为渗透水量 (m^3)。

（3）生态沟渠过水能力计算

生态沟渠相较于传统沟渠,更注重生态功能的实现。过水能力可通过曼宁公式计算:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

其中, Q 为过水流量 (m^3/s); n 为曼宁糙率系数; A 为过水断面面积 (m^2); R 为水力半径 (m), $R = \frac{A}{P}$, P 为湿周,即过水断面与渠壁接触的周长; S 为渠道底坡。

（4）排水管网生态化改造后的水力计算

在对传统排水管网进行生态化改造后,需重新评估其水力性能,可采用改进的达西-威斯巴赫公式计算沿程水头损失:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

其中, h_f 为沿程水头损失; f 为摩擦系数; L 为管段长度; D 为管道内径; v 为管内水流速度 (m/s); g 为重力加速度。

局部水头损失计算公式为^[7]:

$$h_j = \sum \xi \times \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

其中, h_j 为局部水头损失; ξ 为弯头、三通、阀门等部件的局部阻力系数。

(二) 智能化基础设施设计

1. 构建智能电网

先对城市现有电网进行系统性升级改造, 淘汰老旧的输电线路、变压器等设备, 再采用更高电压等级的输电技术来提升电网的输电能力与效率; 大力建设分布式电网, 将分布式能源资源(如太阳能、风能发电设施)有序接入电网。在城市社区、工业园区等区域, 建设小型分布式变电站, 实现能源的就地生产、就地消纳, 降低长距离输电带来的损耗。并引入柔性交流输电系统(FACTS)等先进技术, 增强电网的灵活性与稳定性, 提高对分布式能源的接纳能力。

2. 智能能源管理系统

在城市基础设施中, 能源的高效利用与分配至关重要。以智能电网与分布式能源资源(太阳能板、风力发电机等)结合为例, 涉及到功率平衡和收益优化等问题, 功率平衡公式计算如下:

$$P_{grid} + P_{distributed} = P_{load} + P_{loss} \quad (10)$$

其中, P_{grid} 是从电网获取的功率(kW); $P_{distributed}$ 是分布式能源资源产生的总功率(kW); 对于太阳能板, 其功率 $P_{solar} = \eta \times A \times G$ (η 是太阳能板转换效率; A 是太阳能板总面积; G 是太阳辐射强度); 而对于风力发电机, 其功率为: $P_{wind} = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi r^2 C_p$ (ρ 是空气密度; v 是风速; r 是风力发电机叶片半径; C_p 是风能利用系数); P_{load} 是城市基础设施的总用电负荷; P_{loss} 是电力传输和分配过程中的功率损耗, 一般可表示为 $P_{loss} = I^2 R$ (I 是电流强度; R 是线路电阻)。

3. 智能交通系统

智能交通系统旨在提高交通效率、减少尾气排放, 从而促进城市生态环境改善。在交通流量预测模型中, 以卡尔曼滤波为例: 设 x_k 是 k 时刻的交通状态向量(例如包含车流量、车速等信息), 预测方程为:

$$\hat{x}_{k|k-1} = Ax_{k-1|k-1} + Bu_{k-1} \quad (11)$$

其中, $\hat{x}_{k|k-1}$ 是基于 $k-1$ 时刻信息对 k 时刻交通状态的预测值; A 是状态转移矩阵, 描述交通状态随时间的变化规律; B 是控制输入矩阵; u_{k-1} 是 $k-1$ 时刻的控制输入(如信号灯控制策略等)。

更新方程为:

$$\hat{x}_{k|k} = x_{k|k-1} + K_k (z_k - Hx_{k|k-1}) \quad (12)$$

其中, $\hat{x}_{k|k}$ 是融合了 k 时刻观测数据后的交通状态估计值; K_k 是卡尔曼增益矩阵; z_k 是 k 时刻的实际观测值(如传感器测量的车流量、车速等); H 是观测矩阵, 将交通状态向量映射到观测空间。

在尾气排放估算中, 车辆尾气排放与车速、车流量等因素相关。以一氧化碳(CO)排放为例, 排放模型为^[9]:

$$E_{CO} = \sum_{i=1}^n e_{CO,i} \times v_i \times t_i \quad (13)$$

其中, E_{CO} 是某区域一段时间内的CO总排放量; $e_{CO,i}$ 是第 i 类车辆单位车速单位时间的CO排放因子; v_i 是第 i 类车辆的平均车速; t_i 是第 i 类车辆在该区域行驶的总时间。

4. 智能水资源管理系统

(1) 供水管网压力监测与调控

根据流体力学原理, 伯努利方程可用于分析管网中不同位置的的压力关系^[9]:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (14)$$

其中, P_1 、 P_2 分别是管网中两个位置的压强; ρ 是水的密度(kg/m^3); v_1 、 v_2 是对应位置的水流速度(m/s); h_1 、 h_2 是相对于某一基准面的高度。进一步智能控制系统根据压力监测数据, 通过调节水泵的运行频率来维持管网压力稳定,^[10]水泵的扬程 H 与频率 f 的比例关系如下:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \quad (15)$$

其中, H_1 、 H_2 是不同频率 f_1 、 f_2 下的水泵扬程。

结语: 总的来说, 我国的经济日益迅速发展, 但是在发展的过程中尤其是城市化进程中也带来了诸多环境问题, 所以加强城市的生态文明建设已经成为城市发展的一个重要方向。展望未来, 城市建设者需秉持生态修复理念, 不断优化设计, 在满足城市发展需求的基础上, 守护好生态环境。

参考文献

- [1] 谢小泽, 张玉滢, 马骏, 等. 生态修复理念在城市风景园林设计中的应用——以淄博市为例[J]. 现代园艺, 2025, 48(12): 99-101.
- [2] 胡晓娟. 海绵城市理念下的绿色雨水基础设施规划设计研究[J]. 城市开发, 2025, (11): 108-110.
- [3] 王慧生. 绿色基础设施理念在城市泵闸站排涝设计中的应用研究[J]. 水上安全, 2025, (09): 86-88.
- [4] 毕丽爽. 韧性城市建设中给排水基础设施创新设计[J]. 中国高新科技, 2025, (09): 77-79.
- [5] 李贵光. 智慧城市建设进程中通信基础设施的规划与设计研究[J]. 通讯世界, 2025, 32(04): 22-24.
- [6] 蔡伟娜. 城市更新背景下市政基础设施景观品质提升设计策略解析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (10): 196-198.
- [7] 陈继迪. 城市基础设施的更新设计——以SOX公交站亭为例[J]. 城市建筑, 2025, 22(05): 58-60.
- [8] Zhu Y. Urban Infrastructure Design for Advocating Pedal Power[J]. Hill Publishing, 2025, 5(1): 25-29.
- [9] AlKheder S, Abdullah W, Sayegh AH, et al. An urban infrastructure design for a light rail system in Jordan[J]. Public Transport, 2025, (prepublish): 1-23.
- [10] 孙雯, 欧阳原野, 谭杰. 基于生态修复理念的城市湿地公园景观设计探究——以中山湿地公园为例[J]. 工业设计, 2024, (12): 63-66.

香港与大阪城市规划管制制度比较研究

李方誉

香港城市大学, 中国 香港 999077

DOI:10.61369/UAID.2025020023

摘 要： 为深入探讨高密度城市在不同制度背景下的空间治理策略，本文以香港与大阪为研究对象，梳理两地城市规划管制制度的演化脉络与实践特征。研究发现香港依托法定图则与刚性审批流程构建出高度集权的管制体系，强调空间秩序与土地效率；大阪则通过用途地域制度与地区计画形成多层级协商机制，突出弹性调控与社会参与。在用地规制、开发强度控制及空间形态管理等方面，两地分别体现了技术主导与协同治理的制度逻辑。

关 键 词： 城市规划；香港；大阪

A Comparative Study of Urban Planning Control Systems in Hong Kong and Osaka

Li Fangyu

City University of Hong Kong, Hong Kong, China 999077

Abstract： In order to explore the spatial governance strategies of high-density cities under different institutional backgrounds, this paper takes Hong Kong and Osaka as the objects of study, and analyzes the evolution and practical characteristics of the urban planning control systems of the two places. The study finds that Hong Kong has built a highly centralized control system based on statutory plans and rigid approval processes, emphasizing spatial order and land efficiency, while Osaka has formed a multi-level consultation mechanism through the use of territorial system and district plans, highlighting flexible regulation and social participation. In terms of land use regulation, development intensity control and spatial form management, the two places reflect the institutional logic of technology-led and collaborative governance respectively.

Keywords： urban planning; Hong Kong; Osaka

引言

香港与大阪作为东亚高密度城市代表，规划制度在法定层级、管制权限与实施手段上展现出鲜明差异。本研究通过比较分析两地规划体系架构与执行机制，揭示制度逻辑背后的治理理念与发展取向，为高密度城市实现功能有序、形态协调与治理高效提供经验借鉴与制度启示。

一、城市规划管制背景

（一）规划管制发展历程

香港的城市规划制度起源于20世纪初的英殖时期，1991年修订后规划程序法治化并强化公众参与机制，形成以“法定图则+监管性条文”为核心的高度行政主导模式。反观大阪的城市管制体系深植于1968年《都市计划法》，延续战后日本城市复建的“用途地域制”传统，形成国家法律框架下地方政府编制、民间广泛参与的柔性规划体系。

（二）社会经济发展特征

香港作为国际金融中心，经济结构高度服务化，超过九成就

业集中于第三产业，土地资源极度有限，人口密度高达6830人/平方公里，致使规划管制高度依赖行政主导以压缩开发节奏与规范空间利用^[1]。大阪作为日本第二大都市，产业结构由传统制造业逐步转向服务经济，同时面临严重的人口老龄化与区域收缩问题。

（三）空间结构演变规律

香港的空间结构演变深受地形约束与行政引导共同作用^[2]。从战后至今，城市呈现“轴向带状”拓展模式，最初以维多利亚港两岸为核心发展带，后经铁路主导的“新市镇”政策向新界北部延伸，形成中环—九龙—沙田的多节点线性结构（详见图1）。大阪则以“多中心放射状”结构为特征，早期以梅田、难

波、天王寺等核心为依托，结合放射状轨道交通网络，自然扩展至外围居住组团。

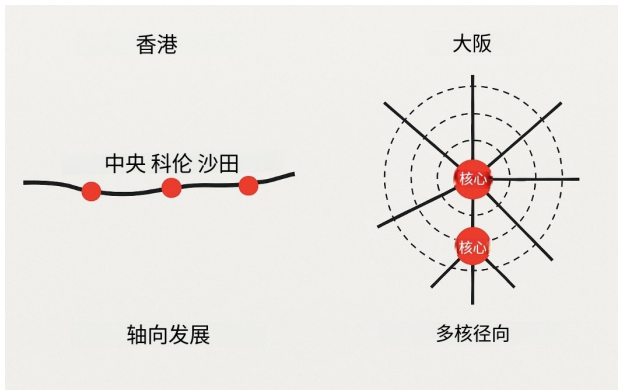


图1 香港与大阪城市空间结构模式对比

二、规划管制体系架构

（一）法定规划层级

香港的城市规划体系以《城市规划条例》为法定依据，规划体系由“法定图则”（包括分区计划大纲图与分区计划图）与《香港规划标准与准则》共同构成。分区计划图细化至地块尺度，对用途、建筑高度、地积比率等均有强制性规定，是开发审批的核心依据。大阪则依据《都市计划法》构建出“国家—都道府县—市町村”三级规划架构，核心包括都市计划区域划定、用途地域制度、地区计划与景观计划等层级。都市计划由地方政府主导编制，但需要获得国家或府级批准，体现出“分级制定—垂直审查”的协作治理模式。

（二）管制权限划分

香港的规划管制权限高度集中于城市规划委员会，由发展局统筹、规划署执行，整体体现“行政主导—技术支撑”的垂直管理体系^[3]。城市规划委员会具有法定制图权，涵盖图则拟定、修改、申述处理与批准环节，决策具备最终行政效力。相较之下，大阪市在《都市计划法》框架下采取“多层次协作治理”模式，管制权限在国家、府（即大阪府）与市三级政府之间分层配置。

（三）部门职责配置

香港的城市规划体系由发展局统筹规划政策方向，规划署作为技术主责部门，负责法定图则编制、土地用途研究、发展审查及公众咨询程序；城市规划委员会则为半独立审议机构，由官方与非官方成员共同组成，行使图则审议、申述处理及规划申请裁决权。地政总署负责土地批租与契约管理，屋宇署负责建筑图则审批与建造监管，反映出香港在“规划—建设—管理”三段式流程中的职能分化与分权协同。

大阪的规划管控体系更趋“职能整合与地方嵌入”，大阪市都市整备局下设都市计划部、建筑企画部、再生推进部等专业分支，全面承担用途划定、开发审查与城市更新的全流程职责。建筑审查、景观设计、老旧街区改造等职能通过“地区计画委员会”等形式与社区组织密切协作，强化了部门间的横向协同与地方参与机制。

（四）决策机制设计

香港的城市规划决策机制以行政集中为核心，主要由城市规划委员会主导决策程序，决策流程包含规划草图公布、公众申述、审议听证及图则核准四个阶段。委员会由政府官员及非官方专业人士组成，兼具政策导向与技术判断能力。规划署作为执行机构，提供技术支撑并协调跨部门意见。公众参与虽制度化，但在实务中受限于技术壁垒与申述门槛，导致民意表达较为形式化。

大阪采用“地方主导+协商共治”式决策架构，都市计划由大阪市政府主导拟订，并经市议会审议后上报大阪府核准，涉及大型项目时还需报请国土交通省复核，规划过程中广泛引入公众参与、专家咨询与社区协商机制。

三、管制实施手段评析

（一）用地功能规制

两地制度在“刚性集中”与“弹性分层”之间形成鲜明对比，折射出不同城市在空间治理理念上的根本差异，详见表1。

表1 香港与大阪用地功能规制体系对比

指标维度	香港	大阪
法定依据	《城市规划条例》	《都市计划法》
用地分类体系	分区计划图（用途注明）	用途地域制（12类地域）
管控机制	三级用途审批（总许可/附条件/不准）	功能导向+建筑参数控制
灵活性与弹性	弹性有限，依赖申述及改图程序	地区计画可微调，鼓励社区参与
应对复合功能能力	弱（如棕地难以快速转型）	强（允许用途兼容与缓冲地域设定）

香港的用地功能规制主要依托《分区计划图》及其“用途注明”，将城市土地划分为住宅、商业、工业、绿化、政府/机构/社区等类别，具有明确的法定约束力。规划图则中进一步细分为“总允许用途”“附条件允许用途”与“不准用途”，通过分级设限强化对空间使用的管理。

大阪则依托《用途地域制度》，将城市划分为12类用途地域，以功能导向与生活环境为核心进行划定^[4]。用途地域决定了地块可建设用途、建筑面积比与高度限制，并结合“地区计划”与“景观计划”在局部层面进行微调，实现“框架管制+局部优化”的双重机制。这种制度设计更加强调居住环境保护与功能协调，但在应对高密度开发与土地再利用方面则相对保守。

（二）开发强度控制

香港的开发强度控制制度以“地积比率+建筑高度限制”为核心，通过《分区计划图》和《建筑物（规划）规例》实施三维度复合式规制^[5]。地积比一般按地块功能设定固定上限，同时辅以街道宽度、阴影影响等要求控制建筑高度，体现出“密度—高度—形态”联动的刚性管理模式。为引导空间优化，香港部分区域推行“可转让地积比”制度，允许开发商将未用足的开发权利转移至其他地块集中开发，提升土地价值与空间效率。

大阪的开发强度控制依托于用途地域内设定的“建筑容积率

+建筑覆盖率”双重参数体系。FAR控制建筑体积总量，覆盖率限制建筑占地面积，二者协同调控城市密度与绿地比^[6]。大阪采用“对角斜线高度限制”与“太阳采光角控制”，强化居住舒适性与街区通风环境。相比之下，开发强度控制制度更偏向于保护环境与居民权益，开发弹性受限。

（三）空间形态管理

香港的空间形态管理以“街道投影控制、建筑高度规限及法定图则用途分区”三位一体构建了严格的空间秩序导向。《建筑物（规划）规例》明确规定了建筑物对街道的投影宽度、前后空地及街角倒角等技术标准，通过限制地块在三维空间中的扩展路径，以保障街道景观通透性与步行环境安全^[7]。

相较之下，大阪在空间形态管理中更加强调建筑群体关系与环境协调性，采用“对角线斜面限制”控制建筑体量向上扩展，确保采光权与视觉通透。在“景观计划”制度下引导建筑色彩、高度协调与街角空间设计，构建连续、协调的城市界面。

（四）审批流程运作

香港的城市规划审批流程具有高度法定化特征，由城市规划委员会（TPB）主导，规划署负责技术支撑与程序执行^[8]。以《城市规划条例》为依托，所有涉及地带用途变更、发展项目

申请及地积比率豁免的事项，均需提交委员会审议，并依法经过公示、公众陈述与听证三个阶段，整个流程周期较长，程序刚性较强。

大阪的审批体系则体现出“行政分层+社区协商”的柔性机制^[9]。依据《都市计划法》，普通开发项目由市政府下设的都市整备局内部处理，流程包括用途核准、建筑许可、环境评估及社区说明会等环节，部分重大开发需经大阪府或中央政府核备。审批机制突出分级授权与项目类型分类，流程灵活度较高，在“地区计划”中引入地方代表协商机制，提升了项目适配性与公众接受度^[10]。

四、结论

香港与大阪在城市规划管制制度上的差异，体现了不同治理传统、土地制度与社会参与机制下的空间治理策略选择。管制体系从法律架构到实施手段，分别构建出以效率统摄与以协调为本的制度逻辑。未来研究可进一步关注制度嵌入的历史路径依赖与治理文化对城市更新成效的中长期影响，为高密度城市的空间治理提供更具普适性的理论框架与实践路径。

参考文献

- [1] 毕琳琳. 城市规划公众参与法律制度研究——美德两国比较分析 [J]. 世界农业, 2014(9): 67-71+195.
- [2] 陆冠尧, 朱玉碧, 潘科. 国外及中国台湾地区土地用途管制制度研究比较 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 452-455+425.
- [3] 欧阳青东, 彭洁, 陈雨花. 中美商业银行跨区域经营及管制制度变迁比较研究 [J]. 南方金融, 2012(8): 36-40+63.
- [4] 陆冠尧, 潘科. 国外及台湾地区土地用途管制制度研究比较 [J]. 广东土地科学, 2005, 4(2): 43-47.
- [5] 王凯, 蒲春玲, 王婷. 阜康市城市规划与土地利用总体规划协调研究 [J]. 农村经济与科技, 2014, 25(3): 141-144+134.
- [6] 吕红亮, 周霞, 刘贵利. 城市规划与环境规划空间管制协同策略研究 [J]. 环境保护科学, 2016, 42(1): 7-11.
- [7] 许欢, 汤黎明. 经济全球化流动空间下城市规划弹性管制研究——以容积率为例 [J]. 住宅与房地产, 2018(2X): 87-88.
- [8] 沈莉. 城市规划与环境规划空间管制协同策略探析 [J]. 城市地理, 2016(11X): 11-11.
- [9] 黄舒城, 陈萍, 谢华. 探讨城市规划与环境规划空间管制的协同策略 [J]. 环境保护与循环经济, 2019, 39(8): 48-50.
- [10] 施国君. 城市规划设计中生态城市规划研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2025(2): 085-088.

国土空间规划背景下的村庄规划管理通则研究

——以温岭市为例

邱鹏程, 陈礼义, 任静, 童琳翔, 周婷格, 叶荣君, 王锴卫

台州市城乡规划设计研究院有限公司, 浙江 台州 318000

DOI:10.61369/UAID.2025020028

摘 要 : 本文以温岭市为具体研究对象, 深入探讨了国土空间规划背景下村庄规划管理通则的编制与应用。面对乡村振兴战略的全面实施和缩小三大差距的迫切需求, 村庄规划作为指导乡村地区土地利用、建设实施的重要法定依据, 其科学性和可操作性显得尤为重要。然而, 当前村庄规划管理实践中存在财政压力大、编制任务繁重、执行难度大及审批流程繁琐等突出问题。为有效解决这些问题, 结合国家和浙江省的政策背景, 本文提出了“通则式”村庄规划管理规定, 在县乡级国土空间总体规划的基础上, 结合本地实际, 通过“约束指标+分区准入”的管控方式, 为城镇开发边界外, 村庄规划(详细规划)未覆盖的乡村地区提供规划管理依据。本文的研究成果不仅为温岭市乃至更广泛地区的村庄规划管理提供了科学依据和实践指导, 也为推动城乡融合发展、构建和谐美好的乡村社会提供了有力支撑。

关 键 词 : 国土空间规划; 村庄规划管理; 通则式管理规定; 乡村振兴; 温岭市

Research on the General Rules of Village Planning and Management under the Background of National Land Spatial Planning — Taking Wenling City as an Example

Qiu Pengcheng, Chen Liyi, Ren Jing, Tong Linxiang, Zhou Tingge, Ye Rongjun, Wang Kaiwei

Taizhou Urban and Rural Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang 318000

Abstract : This paper takes Wenling City as a specific research object and deeply explores the compilation and application of general rules for village planning and management in the context of national land spatial planning. In the face of the comprehensive implementation of the rural revitalization strategy and the urgent need to narrow the three major gaps, village planning, as an important legal basis for guiding land use and construction implementation in rural areas, is particularly important for its scientificity and operability. However, there are prominent issues in the current practice of village planning and management, such as financial pressure, heavy preparation tasks, difficulty in implementation, and cumbersome approval processes. To effectively address these issues, combining the policy backgrounds of the country and Zhejiang Province, this paper proposes the "general rule" for village planning and management. Based on the overall planning of land and space at the county and township levels, and combining with local realities, it provides a basis for planning and management in rural areas outside the urban development boundary that are not covered by detailed village planning, through a control method of "constraint indicators + zoning access". The research results of this paper not only provide a scientific basis and practical guidance for village planning and management in Wenling City and even wider areas, but also provide strong support for promoting urban-rural integrated development and building a harmonious and beautiful rural society.

Keywords : national land spatial planning; village planning and management; general rule-based management regulations; rural revitalization; Wenling City

引言

村庄规划是实施乡村振兴战略的重要工具, 也是推进农业农村现代化的主要抓手。在现有政策体系下, 我国已经初步形成了以乡镇国土规划为主导、县(市)域空间规划和详细规划的编制为补充的村庄规划管理制度框架^[1]。然而, 传统村庄规划编制方式存在成本高、周期长、适应性差等问题, 难以满足快速发展的乡村需求。因此, 探索一种高效、实用、灵活的村庄规划管理方式成为当务之急。

2024年1月，中共中央、国务院印发《关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴的意见》，提出：“要分类编制村庄规划，可单独编制，也可以乡镇或若干村庄为单元编制，不需要编制的可在县乡级国土空间规划中明确通则式管理规定”。首次在中央层面提出“通则式”管理规定，为村庄规划提供了新的指导思路。本文结合相关要求，以温岭市村庄规划编制、管理及规划实施的现状为基础，剖析其存在问题并借鉴相关地区先进经验，探讨如何完善温岭市村庄规划管理体制。

一、村庄规划管理的发展历程

（一）城乡分治阶段：城乡规划许可制度的初步建立

1990年，随着《中华人民共和国城乡规划法》的正式实施，我国城市规划许可制度得以确立，为城市地区的规划管理提供了法律基础。然而，在这一时期，乡村地区的规划管理并未纳入同一法律体系，而是通过《村庄和集镇规划建设管理条例》进行管理^[2]。这种城乡分治的规划管理模式，使得城乡规划管理在制度上处于分离状态，乡村规划管理相对薄弱，缺乏与城市规划同等的法律地位和管理力度。

（二）城乡统筹阶段：城乡规划管理的一体化进程

2008年，《中华人民共和国城乡规划法》进行了重要修订，这次修订实现了城乡规划管理的统筹，将乡村地区正式纳入城乡规划体系。这一变革标志着我国城乡规划管理进入了一个新的阶段，乡村规划管理得到了前所未有的加强。城乡规划许可制度在城乡之间实现了统一，为乡村地区的规划管理提供了更加坚实的法律保障和管理依据^[3]。这一时期的城乡规划管理，更加注重城乡之间的协调发展，推动了城乡一体化进程。

（三）国土空间规划体系下：村庄规划的新使命与要求

近年来，随着我国国土空间规划体系的建立，村庄规划被赋予了新的使命和要求。国土空间规划体系强调“多规合一”，将主体功能区规划、土地利用规划、城乡规划等空间规划融合为统一的国土空间规划，实现了规划的统一性和协调性。在这一背景下，村庄规划不再仅仅是乡村地区土地利用和建设的指导，而是成为乡村地区可持续发展的重要支撑。村庄规划需要更加注重生态保护、资源节约和文化遗产，促进乡村地区的全面振兴和可持续发展^[4]。

同时，村庄规划还需要与上位规划相衔接，确保规划的科学性和可操作性。

二、村庄规划管理存在问题

在推进国土空间规划与乡村振兴战略深度融合的进程中，村庄规划管理作为连接顶层设计与基层实践的关键环节，其重要性不言而喻，然而，当前村庄规划管理却面临着多重挑战与困境，具体而言，主要体现在以下几个方面。

（一）追求村庄规划全覆盖，地方财政压力大

单个村庄的规划编制费用动辄高达数十万元，我国村庄数量庞大，累积起来的总费用巨大。然而，乡村地区的经济基础相对较弱，财政收入有限，因此很难为村庄规划提供充足的资金支

持。此外，一些地方政府和相关部门对乡村振兴战略理解不够深刻，缺乏高效的资金管理和使用机制。这种情况不仅加剧了资金紧张的状况，还导致了资金浪费和滥用的问题。2.2村庄数量众多，编制任务繁重

由于村庄数量众多且分布广泛，每个村庄的地理环境、历史文化、经济发展状况等各不相同，需要收集大量的基础数据和信息，进行深入的调研和分析。规划文档往往包含大量的文字描述，还附有各种图表、照片等辅助材料，复杂的村庄规划页数达100多页，内容繁杂且冗余^[5]。

（二）规划执行难度大，审批流程繁琐

由于规划工作牵涉众多部门和利益相关方，协调各方意见和需求的难度显著增加，容易引发各类矛盾和冲突。特别是在推动一二三产融合项目的村庄规划中，这类项目往往耗时较长且门槛较高，涉及的部门和环节错综复杂。尤为复杂的是，由于村庄用地的多样性，各项审批业务分散于农业农村、自然资源、住房和城乡建设、环境保护等多个政府部门^[6]。这意味着，为了成功申报一个乡村产业融合项目，申报方不得不奔波于这些部门之间，完成一系列繁琐的审批手续。这不仅延长了项目的筹备周期，也增加了项目的执行难度和成本。

三、国土空间规划背景下的村庄规划管理策略

（一）明确主体权责，规范审批路径

在国土空间规划体系下，村庄规划管理策略的首要任务是明确实施主体与职责分工。根据《浙江省国土空间规划条例》及《浙江省“通则式”村庄规划管理规定工作指引（试行）》要求，“通则”的编制范围由县级以上自然资源主管部门以镇（乡、街道）为基础单元统筹确定。具体实施中，县（市）可根据实际需要选择全域、多个乡镇（街道）或单一乡镇为范围编制“通则”。这种分级编制模式既保证了规划的统筹性，又兼顾了地方实际操作灵活性。

（二）简化审批流程，提高审批效率

对于符合“通则”要求的项目，如村民住宅、乡村公共服务设施和公用设施建设、使用存量建设用地的乡村产业项目建设等情形，直接依据“通则”核发规划许可^[7]；对于需要补充编制重点地块图则的项目，明确编制要求和审批程序，由乡镇人民政府组织编制，温岭市自然资源和规划局组织相关部门对重点地块图则进行审查，通过后办理乡村建设规划许可。

（三）注重规划管控，落实刚性约束

2024年5月，海宁在全省率先出台并实施《海宁市“通则

式”村庄规划管理规定（试行）》（以下简称“管理规定”），提出对于不需要编制或暂未编制村庄规划的村庄，可通过“通则”来“按图索骥”进行相关开发建设活动。根据不同乡村建设项目类型，在城镇开发边界外未编制村庄规划的区域，可以直接依据“通则”或编制规划落实方案，作为核发规划许可的依据。《管理规定》主要包括总体要求、管控要求，管制分区、用地布局、建设控制、附则六部分内容，以及名词解释、编制依据、村庄用地规划审批依据一览表三项附件。

（1）明确底线和约束指标。《管理规定》充分衔接在编的海宁市国土空间总体规划成果，执行“2+X”空间控制线管控，“2”即严格落实“三区三线”划定的永久基本农田、生态保护红线，“X”即传导落实海宁市国土空间总体规划中划定的粮食安全控制线、生态环境控制线、基础设施控制线、风景文化控制线、城市重要控制线等其他各类空间控制线^[8]。以2020年国土变更调查数据“203”图斑扣除城镇开发边界后作为基数，控制全市村庄建设边界总规模不超过基数。

（2）明确管制分区。传导落实海宁市国土空间总体规划用途管制分区，在城镇发展区（城镇集中建设区）外，划定村庄建设区、生态保护区、农田保护区、一般控制区四类管制分区，分区分类实施用途管制要求。

（3）明确乡村建设规划许可审批要求。各类村庄建设用地原则上应依据经依法批准的详细规划（村庄规划）核发规划许可，其中经海宁市人民政府批复的各镇街村庄布点规划可作为农村宅基地用地审批和规划许可的依据。对符合村庄建设边界相关管控要求的，可直接或依据相关规划落实方案核发规划许可。

（4）明确乡村建设用地布局通用要求。村民住宅、乡村公共服务设施、乡村基础设施、乡村产业等用地原则应布局在村庄建设边界内。利用农村本地资源开展农产品初加工、发展休闲观光旅游而必须的配套设施建设，可在不占用永久基本农田和生态保护红线、不突破国土空间规划建设用地指标等约束条件、不破坏生态环境和乡村风貌的前提下，在村庄建设边界外安排少量建设用地^[9]。

（5）明确乡村建设控制通用要求。各类乡村建设项目的用地标准、建筑间距控制、建筑高度控制、建筑风貌控制，应符合国家、省市相关设计规范及我市相关文件要求。

四、完善建议及成功案例

（一）完善建议

温岭市作为浙江省乡村规划管理的先行区域，其村庄规划编制工作已取得显著成效。截至当前，温岭市乡村地区规划已经覆盖了九成，但仍然存在未覆盖区域及部分已编规划适应性不足的问题。因此，提出以“通则式”村庄规划管理破局，通过明确生态保护、耕地保护等刚性要求，同时制定建设标准，构建具有普

适性规则的规划范式，实现规划编制成本降低、审批效率提升，为温岭乡村振兴提供低成本、可复制、强落地的全域空间治理解决方案。在新的国土空间规划体系下，村庄规划的管理要以国土空间规划为统领，提出以下完善建议：

1. 差异化规划管控指标，强化资源刚性约束

温岭市“通则”需以国土空间总体规划为上位依据，进一步细化关键指标的传导与落实，明确生态保护红线面积、永久基本农田、耕地保有量、村庄建设用地总规模等关键指标。这些指标作为村庄规划管理的刚性约束，确保村庄建设和发展不超出当地的资源承载能力。同时，将上位规划划定的详细规划编制单元进行传导落实，明确各单元的控制指标和管控要求。

2. 分区分类用途管制，精准匹配发展需求

依据温岭市国土空间总体规划，将乡村地区划分为农田保护区、生态保护区、乡村发展区和其他规划用途分区四类，实施差异化用途管制。农田保护区重点用于粮食生产，严格控制非农建设占用；生态保护区实行严格保护，重点用于维护和提升区域生态功能；乡村发展区包括村庄建设区、一般农业区、农田整备区和林业发展区，根据不同功能实施差异化管控；其他规划用途分区则包括开发边界外的生态控制区和其他保护利用区等，按照相关规定进行管控。

3. 通用性标准与弹性设计，平衡规范与灵活

针对村民住宅、公共服务设施及基础设施制定了一系列通用性标准：村民住宅方面，依据家庭人口规模差异化设定宅基地面积上限，并明确小、中、大套型住宅的面宽基准值，既保障居住合理性又兼顾风貌统一性；公共服务设施布局强调“便民导向”，要求村级公共服务中心选址于交通枢纽地段，同时按中心村与一般村分类控制人均用地指标，避免资源闲置或不足^[10]；基础设施配置则采取“分级+弹性”策略，根据村庄规模构建干路、支路、宅前路三级道路体系，并创新结合村庄出入口、广场等空间统筹规划停车场地，确保功能适配性与空间集约性。上述标准通过量化指标与弹性条款相结合，为乡村建设提供了可落地、可操作的管理依据。

（二）成功案例

海宁市为做强做大稻米产业，在实现全域土地流转的同时，着重打造“钱江潮”农产品品牌，逐步构建起涵盖生产、加工、仓储、销售等环节的稻米全产业链。海宁计划启动首个乡村一二三产融合项目——稻米深加工项目，旨在建成大型农业社会化服务中心。自从通则实施以后，项目审批流程显著优化，由专门部门统筹管理，审批材料大幅精简，办证时间从两个多月缩短至一周，项目近期顺利获得乡村建设规划与施工许可证，开工提前近两个月，确保晚稻收割前投用。

海宁市成立市乡村产业融合项目管理领导小组，并出台《海宁市乡村产业融合项目管理暂行办法》，建立项目库，优化项目管理。由小组对申报项目进行统一审核评估，将符合条件的乡村

产业融合项目入库统一管理，免去了申报方多个部门来回跑的问题，也为项目审批“瘦身提质”。

五、结束语

在城乡融合发展与乡村振兴战略加速推进的背景下，传统以详细规划为主导的村庄规划模式因编制成本高昂、适应性不足等

问题，难以满足广袤乡村地区差异化空间治理需求。面对这一现实困境，亟需探索更具普适性与弹性的规划管理路径。温岭市作为台州市的试点市，率先开展了村庄规划管理研究工作，经过多轮调研和征求意见，形成了《温岭市“通则式”村庄规划管理规定》。本文从现状分析出发，总结经验教训，借鉴先进经验，在法律法规框架下提出符合地方实际的村庄规划管理通则建议，以期为全国范围内的村庄规划管理提供参考。

参考文献

[1] 黄薇. 村庄规划建设中土地管理存在的问题及对策 [J]. 农村科学实验, 2025, (06): 39-41.

[2] 王霞, 王叶峰, 陈昌卉. 基于实地调研的“多规合一”实用性村庄规划编制、实施与管理 [J]. 农村经济与科技, 2025, 36(05): 54-57.

[3] 规划体系系统引领助推乡村全面振兴 [N]. 中国自然资源报, 2025-03-06(003).

[4] 王金荣. 村庄规划编制及管控策略分析——以平罗县为例 [J]. 住宅与房地产, 2025, (06): 61-63.

[5] 韦雄军. 基于国土空间规划的实用性村庄规划探究 [J]. 农村科学实验, 2025, (02): 37-39.

[6] 许霄霄, 燕月, 张勇, 等. “镇村一体、通则管控”规划编制模式探索——以曲阜市姚村镇为例 [J]. 山东国土资源, 2025, 41(01): 55-62.

[7] 贾如春, 马璐, 顾宝璟, 等. 国土空间规划体系下“通则式”村庄规划编制研究——以《瓜州县村庄规划设计管控通则(试行)》为例 [J]. 甘肃农业, 2024, (12): 51-59.

[8] 陈彬, 骆宇, 单佳铭. 国土空间规划体系下村庄规划编制与管理的桐庐探索 [J]. 中国土地, 2024, (06): 58-59.

[9] 赵蕾. 四川试行省级国土空间专项规划管理通则 [J]. 资源与人居环境, 2024, (01): 11.

[10] 官卫华, 杨梦丽, 朱晨. 乡村振兴战略实施下村庄规划管理制度创新——基于国土空间规划改革的南京实践探索 [J]. 现代城市研究, 2023, (02): 107-113.

城市更新项目中的建筑节能设计策略研究

赵晨璐

中国建筑技术集团有限公司, 北京 100013

DOI:10.61369/UAID.2025020039

摘 要： 随着城市化进程加速，城市更新成为必然趋势。在城市更新项目中，建筑节能设计至关重要，其不仅关乎能源的合理利用与可持续发展，还对改善城市环境、提升居民生活质量具有深远意义。本文深入探讨城市更新项目中建筑节能设计的必要性，分析其应遵循的原则，并从优化建筑布局、提升围护结构性能、采用高效节能设备系统、利用可再生能源等方面提出具体设计策略，旨在为城市更新项目中的建筑节能设计提供科学依据与实践指导。

关 键 词： 城市更新项目；建筑节能设计；设计原则；设计策略

Research on Building Energy Conservation Design Strategies in Urban Renewal Projects

Zhao Chenlu

China Building Technique Group Co., Ltd. Beijing 100013

Abstract： With the acceleration of urbanization, urban renewal has become an inevitable trend. In urban renewal projects, energy-saving design of buildings is of vital importance. It not only concerns the rational utilization and sustainable development of energy, but also has profound significance for improving the urban environment and enhancing the quality of life of residents. This article delves deeply into the necessity of building energy-saving design in urban renewal projects, analyzes the principles it should follow, and proposes specific design strategies from aspects such as optimizing building layout, enhancing the performance of envelope structures, adopting high-efficiency energy-saving equipment systems, and utilizing renewable energy, aiming to provide scientific basis and practical guidance for building energy-saving design in urban renewal projects.

Keywords： urban renewal project; building energy saving design; design principle; design strategy

引言

在城市高速发展的当今时代，城市更新已然成为推动城市持续进步的关键举措，不过，传统城市更新模式常常着重于建筑外观与功能的改善，却对建筑能耗问题关注不够。随着能源危机逐渐严峻、环境保护要求持续提高，建筑节能成为城市更新项目里不可忽视的重要环节，由于建筑属于能源消耗的大户，其节能设计不但关系到能源的合理利用与可持续发展，而且对城市生态环境和居民生活质量有着深远影响。因此，深入研究城市更新项目中的建筑节能设计策略，具备重要的现实意义和紧迫性。

一、城市更新项目中建筑节能设计的必要性

（一）能源资源紧张的迫切需求

当前，全球能源资源日益紧张，传统能源的过度消耗带来诸多环境问题。城市作为能源消耗的主要区域，建筑能耗在其中占据较大比重。城市更新项目中，大量既有建筑存在能耗高、效率低的问题，通过节能设计可有效降低建筑能耗，缓解能源紧张局面，实现能源的可持续利用。

（二）环境保护的必然要求

建筑能耗过程中会产生大量温室气体排放，对环境造成负面影响。在城市更新中进行建筑节能设计，减少能源消耗，可降低污染物排放，改善城市空气质量，减轻对生态环境的压力，有助

于实现城市的绿色发展，符合环境保护的总体要求^[1]。

（三）提升建筑品质与居民生活质量

节能设计不仅关注能源的节约，还注重建筑室内环境的舒适度。合理的节能设计可优化建筑的通风、采光、隔热等性能，为居民提供健康、舒适的居住和工作环境，提升居民的生活质量，同时增强建筑的品质和市场竞争力。

二、城市更新项目中建筑节能设计的原则

（一）整体性原则

城市更新项目中的建筑节能设计需遵循整体性原则，将建筑视为一个涵盖规划、设计、施工与运营各阶段的有机系统。规划

阶段,从城市宏观布局出发,依据功能分区与交通流线,合理确定建筑位置与朝向,充分利用自然条件,为节能设计筑牢基础。设计阶段,统筹建筑结构、围护结构及设备系统,确保各部分协同配合,形成高效节能整体。施工阶段,严格依设计要求施工,保障节能材料与设备质量,使节能设计得以有效落实^[2]。运营阶段,注重日常管理与维护,及时调整设备运行参数,维持建筑良好节能运行状态。

（二）适应性原则

不同地区城市更新项目特点各异,建筑节能设计需遵循适应性原则,充分考虑当地气候、地理与文化传统等因素。气候条件对节能设计影响显著,寒冷地区要强化建筑保温,减少冬季热量散失;炎热地区需注重隔热与通风,降低夏季室内温度。地理环境也不容忽视,山区建筑布局要适应地形,考虑山体遮挡对采光通风的影响;沿海地区要关注海风、海雾等,采取相应防护措施^[3]。文化传统是地域特色体现,节能设计应尊重并与之结合,使建筑兼具节能功能与地域文化特色。

（三）经济性原则

在城市更新项目中进行建筑节能设计,经济性原则不可或缺,要在满足节能目标时充分考虑经济成本。节能设计涉及采用节能技术、使用节能材料与安装节能设备等投入,需合理选择节能技术与材料,权衡节能投资与长期收益。评估节能技术时,要考量其成熟度、可靠性与适用性,挑选性价比高的技术;选择节能材料时,要兼顾价格、性能与使用寿命,选用经济合理材料。同时,注重节能设计的可操作性与可维护性,降低后期运营维护成本。

（四）可持续性原则

建筑节能设计应遵循可持续发展理念,注重资源节约与循环利用。当下资源紧张,建筑行业作为资源消耗大户,要减少对资源的依赖。采用可再生能源是重要途径,太阳能、风能、地热能等清洁、可再生且无污染,应用于建筑可减少传统化石能源使用,降低碳排放。推广环保型材料也十分关键,其生产、使用与废弃过程对环境的影响小,部分还可回收再利用。此外,建筑节能设计要考虑全生命周期,从设计、建造到拆除各环节都要体现节能与环保^[4]。

三、城市更新项目中建筑节能设计策略

（一）优化建筑布局

1. 合理规划建筑朝向

在北半球,不同季节的太阳高度角存在显著差异,所以合理规划建筑朝向能够充分利用自然采光以及太阳能。在冬季的时候,太阳高度角较小,南北朝向的建筑可以让更多墙面接收到太阳辐射,从而使室内获取更多热量,进而降低采暖能耗,到了夏季,太阳高度角较大,南北朝向能够减少阳光直射室内的时间,以此降低室内温度,减少空调的使用^[5]。在进行规划时,需要结合当地的气候数据,精确计算不同朝向建筑的采光与得热情况,要考虑周边建筑的遮挡问题,避免因朝向不当而导致采光不足或者热量过多。对于像山地这样的特殊地形,要根据山坡走向和太阳轨迹来调整建筑朝向,确保建筑在不同季节都能获得适宜的光照与热量,最终实现能源的高效利用。

2. 控制建筑间距

建筑间距会直接影响到建筑的日照与通风效果,所以在城市更新项目中确定建筑间距时要综合考虑多方面的因素。首先要依据建筑朝向来确定间距,因为不同朝向的建筑对日照的需求有所不同,像南北向的建筑就需要更大的间距,这样才能保证在冬季有充足的日照。其次建筑高度也是一个关键因素,高层建筑的间距应该大于低层建筑,这么做是为了避免下层建筑被上层建筑遮挡。除此之外当地的气候条件同样非常重要,在多风的地区适当增大建筑间距能够改善通风状况,进而减少机械通风所消耗的能源^[6]。

3. 优化建筑群体布局

合理的建筑群体布局能够营造良好的风环境,进而有效降低建筑能耗,错列式布局可以让建筑呈现错落分布的状态,引导自然风顺畅地穿过建筑群体,避免出现风速过大或者过小的情况,斜列式布局能够改变风向,使风在建筑之间形成有序的流动,从而增强通风效果。在进行布局的时候,需要考虑当地的主导风向,将建筑的主要立面迎向主导风,以此提高通风效率^[7]。在冬季,可以利用建筑进行遮挡以减少寒风的侵袭,进而降低防风的能耗。同时,要结合地形与周边环境,避免建筑群体布局对自然风产生过大的阻碍,通过优化布局来改善建筑的通风条件,减少对机械通风的依赖,最终实现自然通风与建筑节能的有机结合。

（二）提升围护结构性能

1. 加强外墙保温隔热

外墙作为建筑围护结构的关键部分,它的保温隔热性能对建筑能耗有着重大影响,在城市更新当中,选用高效保温材料是提升外墙性能的基础,聚苯板具有导热系数低、保温效果好等优点,能够有效阻止热量的传递,岩棉板不仅保温性能良好,还具备防火、吸音等特性,增加保温层厚度可以进一步提高保温效果,不过需要考虑成本与施工可行性。此外,合理的构造形式也至关重要,复合墙体把不同性能的材料组合起来,能够发挥各自优势以增强保温隔热能力。另外,通风墙体利用空气流动带走热量,能够降低墙体温度并减少热量传入室内,通过对材料与构造进行优化,能够全面提升外墙保温隔热性能并降低建筑能耗。

2. 改善门窗性能

门窗是建筑能耗的薄弱环节,改善其性能对节能意义重大。节能型门窗在材料与结构上进行了优化。断桥铝合金门窗通过隔热条将铝合金型材断开,阻断热量传递通道,提高保温性能。塑钢门窗以塑料为框料,内部衬以钢材,保温隔热效果好。高性能玻璃如中空玻璃,中间空气层能有效阻止热量传导;Low-E玻璃可反射红外线,减少热量进入室内。加强密封设计也不可或缺,密封胶条、密封毛条等密封材料能填充门窗缝隙,提高气密性能,防止空气渗透造成能量损失。通过多方面改进,降低门窗能耗,提升建筑整体节能水平。

3. 优化屋面设计

屋面接受大量太阳辐射,优化设计可有效降低建筑能耗。倒置式屋面将保温层置于防水层之上,改变了传统屋面构造。这种设计能保护防水层免受紫外线、温度变化等因素影响,延长防水层使用寿命。同时,保温层直接接触外界,减少热量传递路径,提高保温隔热性能。种植屋面通过在屋面种植植被,植被叶面可

反射部分太阳辐射,降低屋面温度。植被蒸腾作用吸收热量,进一步减少热量传入室内。此外,种植屋面还能改善城市生态环境,增加城市绿地面积。根据项目实际情况选择合适的屋面形式,实现屋面节能与生态效益的双赢。

(三) 采用高效节能设备系统

1. 选用高效空调系统

空调系统在建筑能耗中占比较大,选用高效空调设备和优化系统设计是节能关键。变频空调能根据室内负荷变化自动调节压缩机转速,改变制冷制热能力,避免能源浪费。地源热泵空调利用地下浅层地热资源,通过地下埋管换热器与土壤进行热量交换,实现冬季供暖和夏季制冷。其运行效率高,能效比可达4~6,比传统空调系统节能30%~50%。优化空调系统设计方面,合理布置空调机组、风管和水管,减少管路长度和弯头数量,降低系统阻力,减少输送能耗。同时,定期对空调系统进行维护保养,确保设备处于良好运行状态,提高能源利用效率^[9]。

2. 采用节能照明系统

照明系统能耗不容忽视,采用高效节能灯具和智能控制系统可有效降低能耗。LED灯具有发光效率高、寿命长、能耗低等优点,其发光效率可达100lm/W以上,比传统白炽灯节能80%以上。荧光灯也是节能型灯具,三基色荧光灯发光效率高,显色性好。智能照明控制系统可根据不同使用场景和时间自动调节照明亮度,如人员离开房间时自动关闭灯光,白天利用自然采光时降低人工照明亮度。

3. 优化给排水系统

给排水系统节能设计涉及到多个不同方面,其中合理设计给水系统是重要一环,采用变频供水设备能够根据用水需求自动调节水泵转速,从而避免水泵在额定功率下运行造成能源浪费。当用水量较小时水泵会低速运行进而降低能耗,与此同时还要加强热水系统保温设计,选用优质保温材料对热水管道和设备进行包裹,以此减少热水在输送过程中的热量损失并降低加热热水的能源消耗。另外,采用节水型卫生器具也十分必要,比如节水马桶通过优化水箱结构和冲水方式减少每次冲水量,节水水龙头采用限流装置控制水流速度和流量^[9]。

(四) 利用可再生能源

1. 太阳能利用

安装太阳能光伏板能够把太阳能转化为电能,进而为建筑内的照明、电器等设备提供部分电力,光伏板的安装位置和角度需

要依据当地太阳辐射情况以及建筑朝向进行优化,以此提高发电效率。同时,太阳能热水系统可通过集热器吸收太阳辐射热量,从而加热生活用水,满足建筑日常热水需求,合理设计建筑采光系统,增大窗户面积并且优化窗户朝向,充分利用自然采光,减少白天人工照明的使用。另外,结合建筑外观和功能需求,将太阳能利用设施与建筑进行一体化设计,让太阳能设备成为建筑的一部分,既实现节能目标,又提升建筑美观度^[10]。

2. 地热能利用

地热能具备稳定可靠、清洁环保等方面的优点,而地源热泵技术是利用地热能的一种有效方式,该技术借助地下埋管换热器与土壤开展热量交换,冬季时从土壤中吸收热量来为建筑进行供暖,夏季则把建筑内的热量释放到土壤中以实现制冷。在城市更新项目当中,需要依据项目规模、建筑负荷和地质条件等相关因素,合理确定地下埋管的长度、深度以及间距。另外,埋管方式存在水平埋管和垂直埋管这两种,水平埋管适合场地开阔且地质条件较好的项目,垂直埋管占地面积小适合场地受限的项目。

3. 风能利用

在风能资源丰富地区,安装小型风力发电机可将风能转化为电能,为建筑提供部分电力。风力发电机选型要根据当地平均风速、风频分布等气象条件确定,确保发电机在大部分时间内能高效运行。安装位置应选择在建筑顶部或空旷地带,避免周围建筑物和障碍物对风速的影响。同时,合理设计建筑通风系统,利用自然风进行通风换气。通过设置通风口、导风板等设施,引导自然风进入建筑内部,改善室内空气质量,减少机械通风使用。将风能利用与建筑通风设计相结合,实现风能的有效利用和建筑节能的双重目标。

四、结束语

城市更新项目中的建筑节能设计是一项系统而复杂的工作,对于缓解能源紧张、保护环境、提升建筑品质和居民生活质量具有重要意义。通过优化建筑布局、提升围护结构性能、采用高效节能设备系统以及利用可再生能源等设计策略,能够有效降低建筑的能耗,实现建筑的节能目标。在实际项目中,应根据具体情况综合运用各种节能设计策略,确保节能设计的效果和可行性,推动城市更新项目向绿色、节能、可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1] 房丹.城市更新项目中的建筑节能设计创新[J].绿色建筑与智能建筑,2024,(06):18-20.
- [2] 梁馨予.城市更新战略下老旧小区既有建筑适老化改造策略[J].中国建筑装饰装修,2024,(05):149-151.
- [3] 王名文.基于建筑钢结构设计的施工技术探究与质量控制措施[J].中国建筑金属结构,2023,22(04):17-20.
- [4] 郑青梅.城市更新背景下老旧小区改造现存问题及策略探究——以漳州市龙文区为例[J].房地产世界,2023,(24):34-36.
- [5] 张彤.基于绿色理念的建筑设计节能设计研究[J].长江科技评论,2024,(05):149-151.
- [6] 阮政显.绿色设计理念在建筑室内设计中的应用研究[J].居舍,2024,(36):82-84.
- [7] 刘桑妮.低碳概念下的建筑设计应对策略——以城厢区西许“专精特新”产业园及配套基础设施项目为例[J].绿色建筑与智能建筑,2024,(11):13-16.
- [8] 常婧.基于低碳理念的绿色建筑设计及施工技术研究[J].佛山陶瓷,2024,34(10):153-155.
- [9] 田耕.低碳概念下的建筑设计应对策略分析[J].中国住宅设施,2024,(08):1-3.
- [10] 梁在胜.低碳建筑设计理念在建筑规划设计中的运用[J].石材,2024,(03):73-75.

存量建筑用途转换的实践探索、现实困境及破解思路

——以深圳市为例

张丽娜¹, 杨鹏举²

1. 深圳市规划国土发展研究中心, 广东 深圳 518000

2. 深圳市城市规划设计研究院, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/UAID.2025020015

摘 要 : 进入存量时代, 如何靠管理、优化、配置去盘活城市存量资源成为高质量发展的核心命题。在此背景下, 本文以深圳市为例深入剖析存量建筑用途转换面临的现实困境, 并试图从“政策包、工具箱、数据库”全链条全环节提出破解思路。

关 键 词 : 盘活存量; 用途转换; 高效利用; 弹性管理

Practical Exploration, Practical Difficulties and Solutions to the Conversion of Existing Building Uses — Taking Shenzhen as An Example

Zhang Lina¹, Yang Pengju²

1. Shenzhen Planning, Land and Development Research Center, Shenzhen, Guangdong 518000

2. Shenzhen Urban Planning and Design Institute, Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : As we enter the era of urban stock optimization, revitalizing existing resources through management, optimization, and allocation has become a pivotal challenge for high-quality development. Taking Shenzhen as a case study, this paper examines the practical challenges in repurposing existing buildings and proposes comprehensive solutions across the entire process—from policy frameworks to toolkit implementation and database integration—to address these challenges.

Keywords : revitalizing stock; purpose conversion; efficient utilization; flexible management

一、存量建筑用途转换研究背景

(一) 是破解城市发展瓶颈的有效措施

随着经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段^[1], 深圳市面临着建设用地严重不足的难题, 盘活存量空间成为未来发展的必要选择。一方面, 城市发展空间不足, 深圳市陆域国土空间面积不到2000平方公里, 约为北京的八分之一, 上海的三分之一, 开发强度与纽约、东京等世界一流城市基本持平, 是全国土地开发强度最高的城市之一, 城市空间建成度邻近极限。另一方面, 大量现状建筑闲置或低效使用, 随着城市发展和产业转型升级等客观需求变化, 很多存量建筑由于各种原因导致空置或经营不善, 盘活此类空间资源将为城市高质量发展拓展更多可用空间。

(二) 是城市更新政策体系的重要补充

深圳作为先行示范区, 在存量土地资源流转再利用方面有诸多探索和实践, 目前已形成系统完整的城市更新制度体系, 以拆除重建、综合整治和功能改变三种模式为主要路径^[2], 以用地功能和开发强度的调整为核心抓手^[3], 有力支持了存量土地资源的优化配置, 有效推进了城市高质量发展。进入新阶段, 社会经济环境发生深刻变化, 房地产行业面临巨大挑战, 市场预期、去化

周期、销售价格等明显缩水, 传统依靠容量提升促进功能优化的城市更新模式难以为继, 存量建筑空间挖潜成为政府获取发展空间的重要来源。存量政策体系及治理对象也应随之调整以适应新形势新要求。

二、存量建筑用途转换相关实践及现实困境

(一) 相关实践

深圳在存量建筑用途转换方面进行了积极探索, 出台功能改变类城市更新、非居改保等(详见表1)等专项支持政策。主要包括三种路径: 一是功能改变类城市更新, 主要目的是落实城市规划功能, 一般不改变产权, 不增加经营性建筑面积, 经济收益小, 市场响应寥寥。二是“一事一议”询函, 主要面向城市重大项目迅速落地需要, 不改变产权, 不增加经营性建筑面积, 通常以政府统租的形式, 将既有建筑进行改造再利用, 为重大项目提供空间载体。三是“5年过渡期”, 主要面向增加公益性功能需求, 不改变产权, 不增加经营性建筑面积, 允许以5年为限, 利用存量房产补充保障性租赁住房、运动场地、养老设施等公益性设施。

作者简介:

张丽娜(1989.07—), 女, 汉族, 山西晋城人, 学历: 硕士, 职称: 中级, 研究方向: 城市规划。

杨鹏举(1989.02—), 男, 满族, 河北承德人, 学历: 硕士, 职称: 中级, 研究方向: 城市设计。

（二）现实困境

1. 现有政策支持力度不足

当前，深圳市面临商办空置与公服、住房不足的结构性问题。一方面，现状办公建筑大量空置。根据2020年底建筑物普查，深圳市办公建筑约0.97亿平方米，较10年前翻了3倍。参照2023年JLL《中国办公楼租赁指南》调研结果，深圳办公空置率达25.4%，位于四大一线城市之首。另一方面，居住、公服短板明显，根据2020年“三调”数据，全市居住和公服用地占比明显低于北京、上海、广州等国内城市，人均公服用地低于国标下限5.5平方米/人。

表1：深圳市存量建筑盘活利用政策实践

	功能改变类城市更新	非居改保	空闲资源改运动场地	公有房屋改养老设施	既有建筑物用途转换
政策名称	《深圳市城市更新办法实施细则》（2012年1月）	《关于既有非居住房屋改建保障性租赁住房的通知（试行）》（2022年12月）	《深圳城市社区运动场地设施建设三年试点改造计划（2023-2025年）》（送审稿）2025	《深圳市关于促进和规范利用既有房屋改造为养老服务设施试点工作指引》（送审稿）2025	《深圳市既有建筑物用途转换实施办法》（送审稿）2025
政策目的	落实规划功能。	增加保障性住房	增加社区运动场地	增加养老设施	促进商务办公化，增加公共服务设施，保障产业落地
近用对象	规划土地用途发生变化的现有建筑物	现状闲置和低效利用的非居住建筑物	城市闲置用地用房	政府、事业单位空置房屋	现状闲置和低效利用的非居住建筑物
用途转换方向	/	改为保障性住房	改为运动设施	改为养老服务设施	改为各类公共服务设施；商业、办公、酒店互转，特殊区域可转为公寓、厂房、研发用房、仓库、物流互转，或转为科研、创新创业产业
政策激励	可加建附属设施	/	/	/	/
地价优惠	加建城市基础设施和公共服务设施的，相应建筑面积部分免收地价	5年过渡期，免地价	5年过渡期，免地价	/	5年过渡期，免地价
其它	/	/	/	建设补贴、运营补贴，税费减免、水电气优惠	/

这种结构性失衡短时间内难以靠土地腾挪来解决，通过建筑用途转换成为破解空间错配问题的有效措施。然而，按照现行建筑用途管理规定，审批流程繁琐、办理时限长、改造成本高，难以满足市场需求变化，也无法释放市场活力。按照现行支持政策，覆盖范围相对有限，盘活力度不足，难以系统性解决功能结构失衡问题。

2. 城市规划弹性适应和统筹引导不足

城市规划功能在市场需求发生快速变化时难以及时响应，促使市场自发推动存量建筑用途迭代。从转换类型来看，大致可分为三类情形。一是“私转公”，公共利益驱动，为快速解决民生短板问题，政府通过租赁存量物业改造为各类公共服务设施，如利用社区底商改造为社区健康服务中心、党群活动室，利用低效工业厂房改造为学校、医院等公共设施，利用空置商办用房改造为保障性租赁住房等；二是“公转公”，如利用政府公有物业补充养老服务设施；三是“私转私”，受到经济利益驱使、相关规划滞后、土地批后监管不力等因素影响，深圳市场上出现了“工改商”“工改居”“商办改公寓或酒店”等改变建筑批准用途的行为^[4]。

事实上，上述绝大部分情形，属于合理转换诉求，但是不符合城市规划批准用途，按照建筑用途管理规定，绝大部分属于违法建筑，带来大量信访投诉问题。这种现象背后，本质上是城市规划的“制度时滞”效应，传统城市规划主要服务于开发建设行为，缺少对存量建筑空间的挖潜、盘活和功能优化引导。建筑用途合理转换是一个能够提升空间使用效率和综合社会价值的重要手段。但如果转换不当也会引起很多社会问题。需要市场机制和政府引导、干预合理平衡。政府（规划主管部门）需要主动

作为，在存量建筑盘活利用过程中发挥好“统筹、引导、规范”作用。

3. 配套制度和技术标准相对滞后

现阶段，建筑用途转换相关技术标准和实施细则的制定相对滞后，制度设计的整体性、协同性有待提升。虽然鼓励用途转换相关导向文件密集出台，但整体来看，存量建筑用途转换的制度建设尚处于起步阶段，尤其是在建筑用途管制、地价计收规则、建筑用途分类标准等重要基础性规定方面存在诸多不适应，导致实践中难以操作的问题。

一是，现行以“两证一书”为核心的用途管理制度体系，其底层逻辑是相对严格的用途管控思路，难以适应市场动态变化的用途转换需求。传统用途转换路径主要针对永久性土地用途变更，程序上需要通过规划调整程序，经批准后，重新签订土地出让合同并补缴土地差价，流程复杂，且很难实现资金平衡。二是，现行以“深标”为核心的标准体系，其底层逻辑是服务于规划编制和土地出让，难以适应新时期多样化业态更新需求。如各类社区嵌入式服务设施等国家层面鼓励的新业态，创新创业产业、公寓等市场上实际存在的业态，均未纳入深标建筑用途分类标准。

三、深圳存量建筑用途转换的破解思路

（一）总体思路

存量建筑用途转换和盘活利用是一个系统性命题，需要“政策包”，也需要“工具箱”和“数据库”。一是，通过政策“打补丁”，进一步提升既有建筑空间的市场适应性，促进形成“自下而上”的城市治理新模式；二是，规划管理各环节综合施策，逐步构建“自上而下”的精细化存量空间治理路径；三是，加强技术支撑，利用数智手段提升存量空间管理效能。

（二）拓展“政策包”

既有建筑用途转换的制度创新将为城市发展提供更灵活高效的存量更新路径。通过专项政策，化解传统用途管制与地价机制约束，可有效盘活低效存量建筑，优化城市功能结构。建议基于“非居改保”“改养老”等试点政策经验，进一步补充完善，探索允许实施用途转换的各类情形，过渡性与持续性政策路径相结合，进一步健全存量资源转换利用机制。让合理转换需求合规合法，充分释放市场活力，高效实现综合性的更新效果。

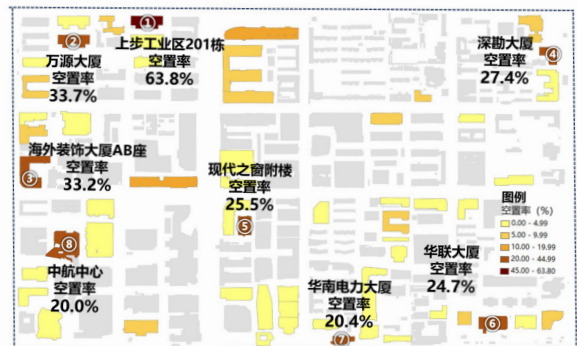


图1：华强北现状建筑空置情况分布图

数据来源：《华强北片区产业调研报告》（2022年10月）

（三）完善“工具箱”

1. 体检评估：精准识别低效建筑空间分布

当前城市体检评估主要聚焦于土地利用层面，难以满足新时期精细化治理需求，亟需将评估对象从“低效用地”拓展至“低效建筑空间”。通过现状体检精准识别存量低效及空置建筑，划定低效建筑集中单元，从而为城市发展挖掘多维度的潜在可利用空间。

以深圳市华强北为例，2022年调研数据显示，在1.45平方公里的范围内，片区既有建筑空置总面积近20万平方米，单栋建筑最大空置面积约6500平方米，可利用低效建筑空间资源可观，把这些空间高效利用起来，将有助于快速缓解片区设施不足等现状问题。

2. 规划引导：增加对现状保留用地的规划指引内容

科学谋划存量低效建筑用途转换方向是提升空间利用效率的关键切入点。在理清存量低效建筑空间分布情况的基础上，需要通过规划整合形成一定的规模效应，也需要通过有序引导来实现空间资源价值最大化。但当前深圳法定图则规划编制中，通常将地块分为现状保留、规划两大类，针对现状保留地块，以现状功能或土地出让合同功能进行表达，缺少规划提升指引相关内容。未来需要以需求为导向统筹谋划差异化建筑用途转型方向，对碎片化低效建筑空间资源进行统一的盘活规划和引导。

3. 弹性管控：创新规划土地弹性管理

允许规划批准的土地和建筑用途有一定程度的动态调试空间，有利于提高规划适配性，更好的应对不断变化的市场需求。2023年11月上海率先印发《关于促进城市功能融合发展创新规划土地弹性管理的事实意见（试行）》，提出在不改变用地性质前提下，对部分规划地类叠加产业（M0）、公共设施（C0）、绿化

（G0）和物流仓储（W0）等五类融合管理要求，提高规划弹性适应能力。相对之下，深圳市仅在《深标》中提到鼓励可混合使用的用地类别，缺乏具体适用范围和引导要求。建议转变深圳传统规划管理中“局部调整”做法，研究建立弹性灵活的存量空间用途管理制度^[5]，科学设定用地混合类型，完善土地混合利用和建筑用途转换的管控要求和指引。

（四）构建“数据库”

当前建筑用途转换管理面临现状产权立体复杂、低效空间碎片化分布等现实问题，通过改善管理机制或增加人员投入带来的行政成本巨大。存量建筑空间资源转换利用需要借助数字技术，跳出二维看三维，跳出物理空间看数字全息空间，构建面向建筑全生命周期的“数智治理平台”。结合建筑用途管理的真实业务需求，融合多元数字信息，实现易读易懂，直观传递，人机交互，智能协同的数智化精细化空间治理场景，支撑真实管理业务环节的工作效率提升。

四、结束语

存量建筑用途转换机制的建立和完善是一个漫长而艰难的过程，尽管深圳及其他城市的既有实践已经进行有益探索，但仍存在大量制度性挑战亟待正视和积极应对^[6]。本文结合深圳面临的现实困境，从政策、评估、规划、管理等多维度展开思考，提出未来需要进一步完善存量更新政策体系，深化细化城市体检评估内容、强化对盘活存量建筑资源的规划引导，加快构建更加弹性灵活的土地和建筑用途管理制度，建立适应精细化发展的数智治理平台等建议，为下一步存量建筑资源盘活利用相关制度建设提供参考。

参考文献

- [1] 马红杰. 北京城市更新发展历程和政策演变——全生命周期管理和评估制度探索 [J]. 世界建筑, 2023, (04): 4-9. DOI: 10.16414/j.wa.2023.04.017.
- [2] 深圳市人民政府. 深圳市城市更新办法 [EB/OL]. (2009-10-01)[2024-01-23]. https://www.sz.gov.cn/szsrnzfxgk/zc/gz/content/post_10514848.html
- [3] 邹兵. 增量规划向存量规划转型：理论解析与实践应对 [J]. 城市规划学刊, 2015, (05): 12-19. DOI: 10.16361/j.upf.201505001.
- [4] 吴桂敏, 宁智. 擅自改变建筑批准用途行为分析 [J]. 特区经济, 2023, (06): 34-37.
- [5] 谢正梁, 张春阳, 许世光. 微更新语境下城镇存量空间用途变更困境及制度优化路径 [J]. 现代城市研究, 2025, (01): 83-90.

装配式混凝土建筑预制构件接缝防水施工工艺优化与长期耐久性评估

李全利

融通地产（山东）有限责任公司，山东 济南 250000

DOI:10.61369/UAID.2025020042

摘 要： 本文聚焦装配式混凝土建筑预制构件接缝防水施工工艺优化与长期耐久性评估，分析了接缝防水机理与失效模式，阐述了防水基本原理、典型构造形式及特点，剖析了密封材料老化开裂、止水带破损等失效原因。从人、机、料、法、环五维分析，探讨了接缝防水施工工艺的关键影响因素，并结合 BIM 与数值模拟技术进行预优化，提出了精细化施工工艺优化方案，涉及基层处理、材料施工精度控制等方面。经过分析构建了接缝防水系统长期耐久性评估体系，包括耐久性评估指标体系、加速老化试验方法设计以及基于性能退化的寿命预测模型，为装配式建筑接缝防水的设计、施工、维护提供了全面的技术支持与决策依据。

关 键 词： 装配式混凝土建筑；预制构件；接缝防水；施工工艺优化

Optimization of Waterproof Construction Technology and Long-term Durability Evaluation for Prefabricated Concrete Building Joints

Li Quanli

Rongtong Real Estate (Shandong) Co., Ltd., Jinan, Shandong 250000

Abstract： This paper focuses on the optimization of waterproof construction technology and long-term durability evaluation for prefabricated concrete building joints. It analyzes the waterproof mechanism and failure modes of the joints, elaborates on the basic principles of waterproofing, typical structural forms, and characteristics, and examines the causes of failure such as aging and cracking of sealing materials and damage to waterstops. Through a five-dimensional analysis of manpower, machinery, materials, methods, and environment, the key influencing factors of the waterproof construction technology for joints are explored. Pre-optimization is carried out by combining BIM and numerical simulation techniques, and a refined construction technology optimization scheme is proposed, involving aspects such as base layer treatment and precision control of material construction. After analysis, a long-term durability evaluation system for joint waterproofing systems is established, including a durability evaluation index system, design of accelerated aging test methods, and a performance degradation-based life prediction model. This provides comprehensive technical support and decision-making basis for the design, construction, and maintenance of waterproof joints in prefabricated buildings.

Keywords： prefabricated concrete buildings; prefabricated components; joint waterproofing; construction technology optimization

引言

在实际工程中，预制构件接缝因构造复杂、施工难度大以及受环境因素影响显著等特点，成为防水失效的高发区域。接缝防水失效不仅会影响建筑的正常使用功能，还可能引发结构耐久性下降、室内环境恶化等一系列问题，给建筑安全带来潜在隐患。在此背景下，如何通过优化预制构件接缝防水施工工艺，提升接缝防水的可靠性与稳定性，成为当前装配式混凝土建筑发展中亟待解决的关键课题。深入研究接缝防水机理、分析影响施工质量的关键因素，并针对性地提出施工工艺优化方案，对于推动装配式混凝土建筑的可持续发展具有重要的理论与实践意义。基于此，本文聚焦装配式混凝土建筑预制构件接缝防水施工工艺优化与长期耐久性评估展开研究。

一、预制构件接缝防水机理与失效模式分析

（一）接缝防水基本原理

目前，我国装配式混凝土建筑采用的结构体系主要有 PCF 体系（内浇外挂）、PC 体系（预制剪力墙）和 PC+PCF 混合体系。无论采用哪类结构技术，其预制外墙接缝可归纳施工缝和安装缝两大类^[1]。预制构件接缝防水的核心是通过阻断渗透路径，结合疏导与密封，实现对流体的有效阻隔。其主要基于三大原理，材料密封原理，采用具备弹性、粘结性和耐候性的密封材料填充接缝，与构件表面紧密结合形成连续密封层，可适应构件位移，保持密封稳定性；压力平衡原理，通过设置排水通道和减压空腔，平衡接缝内外水压，减少渗透动力，避免水压积聚突破防线；多重防线协同原理，采用“密封材料 + 止水带 + 排水构造”等复合体系，各防线协同作用、相互补充，提升防水可靠性。

（二）典型接缝防水构造形式及特点

预制构件接缝的防水构造形式多样，根据构件类型、受力情况和使用环境的不同，常见的有嵌缝密封型构造、止水带型构造和组合防水型构造等^[2]。嵌缝密封型构造是在接缝预留凹槽嵌入密封材料形成密封层，特点是构造简单、施工便捷，适用于变形量小的接缝（如预制墙板水平及垂直接缝），密封材料需具备良好的抗拉伸、压缩性能和耐老化性。止水带型构造用橡胶、塑料等弹性止水带预埋于接缝两侧构件，借自身弹性变形保持与构件紧密接触，适用于变形量大的接缝（如预制桥梁伸缩缝、地下构件接缝），防水可靠且耐久性好^[3]。组合防水型构造结合多种防水措施形成多重防线（如止水带 + 密封材料 + 排水通道），综合各措施优点，适用于防水要求高的场合（如屋面、卫生间预制构件接缝），可靠性高且适应变形能力强。

（三）接缝防水系统失效模式及原因分析

密封材料老化开裂是失效模式中较为常见的一种，因长期暴露于自然环境，材料会变硬、变脆、失弹进而开裂，原因包括材料质量差、耐老化性弱，施工时粘结不牢有缺陷，接缝位移超材料允许范围^[4]。止水带破损或位移也会导致防水失效，安装时过度拉伸、挤压、划伤会造成破损；构件变形或沉降时，止水带与构件连接不牢会位移出现缝隙；止水带自身质量不合格也影响防水。排水系统堵塞使水无法排出，积聚后突破防水防线会导致失效，原因是施工时杂物未清理，使用中灰尘、泥沙等长期积累。构件位移过大破坏防水系统致使失效，因预制构件受多种因素产生位移超系统适应范围，源于设计估算不足、材料允许变形量小或施工安装精度不够。

二、接缝防水施工工艺关键影响因素与优化方案

（一）关键施工工艺影响因素分析

影响接缝防水施工质量的因素众多，可从人、机、料、法、环五个维度进行系统分析。人员方面，施工人员专业技能与责任心是核心，未经培训易出现操作问题，质量意识薄弱会忽视基层缺陷。机械方面，性能与调试状态有影响，如打胶枪压力不稳致

密封胶填充不均，切割工具精度不足使止水带尺寸偏差。材料方面，自身特性及现场状态关键，密封胶受温度影响大，止水带存放运输变形会影响密封效果，材料兼容性也需注意^[5]。方法方面，合理性是工艺核心，基层处理方式不当、密封胶填充顺序错误、流程衔接不畅都会影响质量。环境方面，影响不可控，温湿度、大风、雨水等都会对施工材料和过程产生不利影响。

（二）基于 BIM 与数值模拟的施工工艺预优化

随着建筑信息化技术的发展，BIM 与数值模拟技术为接缝防水施工工艺的预优化提供了高效手段，可在施工前规避潜在风险^[6]。BIM 技术通过构建三维模型，实现了接缝防水施工的可视化模拟。在模型中，可精确标注构件接缝的尺寸、角度、材料参数等信息，施工人员能直观了解各环节的空间关系，减少因二维图纸理解偏差导致的失误。同时 BIM 的碰撞检测功能能发现防水构件与其他专业的冲突，在施工前优化布局，减少交叉作业对防水施工的干扰。数值模拟技术则通过建立力学模型，预测施工过程中可能出现的问题。此外，数值模拟还能对极端环境下的施工效果进行预测，如模拟高温环境下密封胶的固化速率，调整施工时段或采取降温措施，保证材料性能达标^[7]。通过 BIM 与数值模拟的结合，施工团队可在虚拟环境中完成工艺方案的验证与优化，减少现场试错成本，提高施工的精准度和效率。

（三）精细化施工工艺优化方案

基于对关键工序和影响因素的分析，结合技术预优化结果，可从多方面制定精细化施工工艺优化方案。针对基层处理工艺优化，需根据不同构件材质制定专项处理标准。混凝土基层采用高压水枪冲洗 + 机械打磨的组合方式，确保表面粗糙度达到设计要求；金属构件接缝则需进行除锈处理，可采用喷砂工艺去除氧化层，再涂刷专用底漆增强粘结力。同时引入基层含水率检测设备，严格控制含水率 $\leq 8\%$ ，避免因湿度超标导致密封胶起泡^[8]。在防水材料施工精度控制方面，对于密封胶施工，采用“定位模板 + 自动化打胶”技术，根据接缝尺寸定制可拆卸模板，保证打胶边界整齐。同时使用带有压力反馈功能的自动打胶机，实时调节出胶量，确保胶层饱满度 $\geq 95\%$ 。止水带安装时，采用激光定位仪校准中心线，偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，接头处采用热熔焊接工艺，焊接温度根据材料类型精确设定，并使用专用量具检查焊缝强度^[9]。环境适应性工艺调整上，建立施工环境监测机制，在现场布置温湿度传感器，实时传输数据至控制系统。当温度低于 5°C 时，对密封胶进行预热处理，并延长固化养护时间；湿度高于 85% 时，采用除湿机降低基层湿度，或选用潮湿环境专用密封胶。大风天气施工时，搭建临时防护棚，避免灰尘污染基层，同时增加基层清理频次。质量检验流程强化方面，引入无损检测技术。建立“工序交接卡”制度，上一道工序经检验合格并签字确认后，方可进入下一道工序，实现质量责任可追溯。

三、接缝防水系统长期耐久性评估体系构建

（一）耐久性评估指标体系建立

耐久性评估指标体系的建立需要综合考虑防水系统在长期使

用过程中可能受到的各种影响因素,以及其自身性能的退化表现,从而形成多维度、可量化的评价指标^[10]。材料性能方面,密封材料的弹性模量等物理力学性能变化是关键,能反映老化程度;止水带的硬度变化、耐老化性能也需评估。界面粘结性能上,粘结强度和破坏形式是重要指标,粘结强度过低有渗漏隐患,界面破坏占比过高说明存在问题。防水功能有效性中,水密性是核心指标,系统的变形适应能力也需评估。环境适应性指标包括耐候性、耐腐蚀性等,不同使用环境的建筑需增加针对性评估指标。

(二) 加速老化试验方法设计

加速老化试验是通过模拟自然环境中的老化因素,并强化其作用强度或缩短作用时间,在短期内预测防水系统长期耐久性的有效手段。设计科学合理的加速老化试验方法,需要结合实际使用环境和材料特性,选择合适的老化因素和试验参数。针对不同的老化因素,可设计多种专项加速老化试验。紫外线老化试验主要模拟阳光中的紫外线对防水材料的破坏作用,将试样置于紫外线老化箱中,控制紫外线强度、温度和冷凝周期,定期检测材料的外观和性能变化。热空气老化试验则用于评估高温环境对材料的影响,将试样放入恒温箱中,根据材料使用环境设定温度,持续一定时间,测试老化后的拉伸性能等指标。水老化试验可模拟雨水、地下水的长期作用,包括浸水试验和冻融循环试验。浸水试验将试样完全浸泡在蒸馏水中,控制水温,定期观察试样是否出现溶胀、开裂,并测试其粘结强度变化。冻融循环试验则更贴合寒冷地区的环境,将试样在-20℃冷冻4h后,再在20℃水中融化4h为一个循环,经过一定循环次数后,评估材料的性能退化程度。对于组合型防水系统,还需设计复合老化试验,即同时施加多种老化因素,如紫外线+水+温度循环的协同作用,更真实地模拟实际使用环境。在试验过程中,需合理确定加速倍数,通过对比自然老化与加速老化的性能退化规律,确保加速老化试验结果的有效性和准确性。

(三) 基于性能退化的寿命预测模型

基于性能退化的寿命预测模型是通过监测防水系统在老化过程中的性能指标变化规律,建立数学模型来预测其剩余使用寿命

命,为维护决策提供科学依据。该模型的构建需要经历数据采集、退化规律分析、模型参数估计和模型验证等步骤。数据采集主要来自加速老化试验和现场长期监测,在加速老化试验中,按照设定的时间间隔对试样的关键性能指标进行检测,记录性能数据随老化时间的变化。现场监测则针对已投入使用的建筑,定期检查接缝防水系统的外观和性能,收集实际使用环境下的性能退化数据,这些数据能为模型的修正提供重要支持。退化规律分析是确定性能指标随时间的变化趋势。通过对采集的数据进行统计分析,发现多数防水材料性能退化呈现出一定的规律性,如线性退化、指数退化或对数退化。常用的模型包括Weibull分布模型、退化轨迹模型等,Weibull分布模型可用于描述防水系统失效时间的分布规律,通过对性能退化数据的分析,确定模型的形状参数和尺度参数,从而计算出不同可靠度下的寿命。退化轨迹模型则直接基于性能退化曲线,建立性能指标与老化时间的函数关系,当性能指标下降到某一临界值时,对应的时间即为防水系统的寿命。模型参数估计可采用最小二乘法、极大似然估计等方法,根据试验数据求解模型中的未知参数,使模型能准确拟合性能退化曲线。模型验证则通过对比预测结果与实际观测数据,评估模型的预测精度,若误差较大,需对模型进行修正和优化,确保预测结果的可靠性。

四、关键词

本文围绕装配式混凝土建筑预制构件接缝防水施工工艺优化与长期耐久性评估展开了系统研究。通过对防水机理、失效模式的剖析,明确了接缝防水的核心要点与薄弱环节;借助对施工工艺影响因素的分析及BIM、数值模拟等技术的应用,提出了精细化的施工工艺优化方案,为提升施工质量提供了切实可行的路径;构建的长期耐久性评估体系,包括评估指标、加速老化试验及寿命预测模型,为接缝防水系统的长期性能把控提供了科学工具。这些研究成果不仅丰富了装配式混凝土建筑接缝防水的理论体系,更为工程实践中的设计、施工与维护决策提供了有力支撑。

参考文献

- [1] 黄频,肖阿林,郭健.装配式混凝土建筑预制外墙接缝防水设计与施工技术探讨[J].中外建筑,2019,(06):282-283.DOI:10.19940/j.cnki.1008-0422.2019.06.092.
- [2] 吴思杉,田泽辉,王礼建,等.装配式混凝土建筑预制外墙接缝防水技术研究[J].四川建筑,2021,41(S1):141-143.
- [3] 蔡泽勇,钟才根.基于构件信息流的装配式混凝土建筑项目工程监理的方式[J].建设监理,2018,(04):54-58.DOI:10.15968/j.cnki.jsjl.2018.04.017.
- [4] 李长太.装配式混凝土建筑预制外墙接缝防水技术研究[J].中国建筑防水,2018,(16):25-27.DOI:10.15901/j.cnki.1007-497x.2018.16.008.
- [5] 朱卫如,燕冰.装配式建筑用改性硅酮密封胶特点与应用要求[J].中国建筑防水,2018,(2):19-23.DOI:10.15901/j.cnki.1007-497x.2018.02.005.
- [6] 宋松树,杨根文,陈超建等.浅谈装配式建筑外墙节点防水[C].//湖南省土木建筑学会施工专业学术委员会2017年学术年会论文集.2017:197-200.
- [7] 王雪辉.预制装配式建筑外墙防水密封现状及存在的问题[J].中小企业管理与科技,2018,(32):187-188.
- [8] 朱卫如.装配式建筑密封防水系统[J].混凝土世界,2019,(2):36-43.DOI:10.3969/j.issn.1674-7011.2019.02.007.
- [9] 朱卫如.装配式建筑及装饰混凝土密封防水系统[C].//第二届中国国际装饰混凝土技术与应用大会论文集.2017:113-120.
- [10] 曹辉.装配式建筑混凝土结构工程施工技术要点分析[J].中国水泥,2024,(11):112-114.DOI:10.3969/j.issn.1671-8321.2024.11.032.

装配式建筑施工关键技术及现场应用分析

杨荣华

安徽建工水利开发投资集团有限公司，安徽 蚌埠 233030

DOI:10.61369/UAID.2025020043

摘 要： 装配式建筑作为现代建筑发展的一种重要趋势，凭借其施工效率高、环境影响小等优点，逐渐成为建筑行业的重要选择。施工过程中，关键技术的应用至关重要，包括预制构件的生产、运输、安装等环节，均对工程质量与进度产生直接影响。现场应用中，如何确保预制构件的精确对接与安装精度，以及解决因现场环境与技术条件变化带来的挑战，是确保施工顺利进行的关键。通过对装配式建筑施工的关键技术分析在现场应用实践，能够为提升装配式建筑的整体施工水平提供有力支持。

关 键 词： 装配式建筑；施工技术；预制构件；现场应用；建筑质量

Analysis of Key Construction Technologies and Onsite Applications in Prefabricated Buildings

Yang Ronghua

Anhui Construction Engineering Water Resources Development and Investment Group Co., Ltd., Bengbu ,
Anhui 233030

Abstract : Prefabricated buildings, as an important trend in the development of modern architecture, have gradually become a significant choice in the construction industry due to their advantages such as high construction efficiency and minimal environmental impact. During the construction process, the application of key technologies is crucial. These include the production, transportation, and installation of prefabricated components, which directly affect the project's quality and progress. Onsite applications involve ensuring precise alignment and installation accuracy of prefabricated components and addressing challenges arising from changes in the onsite environment and technical conditions. These are key to ensuring smooth construction progress. By analyzing the key construction technologies and onsite application practices of prefabricated buildings, we can provide strong support for improving the overall construction level of prefabricated buildings..

Keywords : prefabricated buildings; construction technology; prefabricated components; onsite applications; building quality

引言

随着建筑行业对环保、节能和高效施工的需求不断增加，装配式建筑因其显著的优势，成为建筑领域的重要发展方向。通过将建筑构件工厂化生产并在现场进行组装，装配式建筑不仅缩短了施工周期，还大幅提高了工程质量。然而，如何在复杂的现场环境中准确、快速地进行施工，确保预制构件的完美衔接和整体结构的稳定性，仍然是技术应用的关键难点。深入分析装配式建筑的关键技术及现场应用，不仅能为施工过程中的难题提供解决方案，也为行业的可持续发展奠定基础。

一、装配式建筑的发展背景与优势分析

随着城市化进程的加快，传统的建筑模式面临着工期长、质量不易保证、施工现场环境污染严重等一系列问题。为了应对这些挑战，装配式建筑应运而生，成为了现代建筑行业的重要发展方向。装配式建筑通过将建筑构件在工厂内进行预制，随后在现场进行快速拼装，改变了传统建筑的施工模式^[1]。这一建筑方式

不仅能够提高建筑施工的效率，缩短工期，还能有效减少建筑过程中的资源浪费，降低能源消耗，符合当今社会对环保与可持续发展的要求。

装配式建筑的最大优势在于其高效、环保和质量可控性。首先，由于建筑构件在工厂中进行标准化生产，生产过程中可实现严格的质量控制，有效避免了因天气变化、现场管理不善等原因导致的施工质量不稳定。其次，装配式建筑施工周期较短，通常

能够减少30%–50%的工期，这对于当前需要快速建成的各类建筑项目具有重要意义。更重要的是，装配式建筑可以有效降低施工过程中的环境影响，减少建筑垃圾和噪音污染，符合绿色建筑和节能减排的要求^[2]。

装配式建筑还有着较好的适应性和灵活性，能够满足不同建筑类型和功能的需求。在一些特殊地区或复杂环境下，装配式建筑能更好地解决现场施工条件受限的问题。例如，在地震频发或高温高湿的地区，装配式建筑能够通过设计优化，增强建筑的抗震能力或适应极端气候环境。随着技术的发展，装配式建筑在设计、生产和施工过程中的协同效应逐步得到加强，各类新型材料的使用和智能化施工技术的引入，将进一步提升装配式建筑的性能和质量。因此，装配式建筑在全球范围内的推广应用，已成为建筑行业发展的关键趋势，尤其在大规模基础设施建设和城市更新项目中展现出巨大潜力。

二、装配式建筑的关键技术及其应用

装配式建筑的关键技术主要体现在预制构件的设计、生产、运输和安装等环节，每一环节的技术要求都直接关系到施工质量和效率。在预制构件设计阶段，技术人员需要依据建筑的整体结构进行精确计算和建模，确保各个构件尺寸、强度和功能的要求符合标准。这一阶段的技术要求包括对构件的结构性能、抗震能力、耐久性等方面的考量。通过使用先进的建筑信息模型（BIM）技术，设计人员能够在计算机中模拟出构件的装配过程，提前发现潜在的设计问题，为后续的施工提供数据支持，避免现场施工时因设计缺陷导致的返工和资源浪费^[3]。

在预制构件的生产过程中，技术水平的高低直接影响到构件的质量和生产效率。生产过程中的自动化与精密化是保证构件质量的关键。通过引入现代化的生产线和先进的机械设备，能够大幅提高构件的生产精度和一致性。例如，使用高效的混凝土搅拌设备、自动化切割和成型机器，能够确保预制构件的尺寸、重量等符合设计要求，减少人为误差。在生产过程中，还需要严格的质量监控体系，确保每一个构件都经过严格的检测与验收，避免因质量问题影响后续施工。

运输和安装环节是装配式建筑中的关键技术应用部分，涉及到如何高效、安全地将预制构件从生产工厂运输到施工现场，并进行精确的安装。在运输过程中，合理选择运输工具、优化运输路线、确保构件在运输过程中的安全是技术的重点。安装过程中，如何精准对接各个构件，确保构件之间的连接牢固且稳定，是决定工程质量的关键。为了确保安装精度，许多装配式建筑施工现场采用了机器人技术和自动化装置，能够对预制构件进行精确定位和快速安装^[4]。通过这些先进技术，施工现场的人员可以减少不必要的操作，提高工作效率，同时降低因人为因素带来的误差和施工风险。装配式建筑的关键技术涵盖了从设计到施工各个环节，将大大提升装配式建筑的施工水平，推动建筑行业向更高效、更绿色的方向发展。

三、预制构件生产、运输与安装的技术要点

预制构件的生产是装配式建筑的第一步，直接影响到整个施工项目的进度和质量。在生产阶段，关键技术首先体现在精确的构件设计和精密的生产工艺上。设计阶段需要考虑到预制构件的尺寸、重量、受力情况等多个因素，确保构件的强度和稳定性能够满足施工要求。在生产过程中，采用自动化生产线和高精度设备可以有效提升构件的生产精度，减少人为误差。尤其是在混凝土的配比、浇筑以及成型过程中，现代化的控制系统可以实时监测并调整每个环节，确保产品的一致性和稳定性。高效的生产设备和先进的质量检测手段，使得每一件预制构件都能够达到设计标准，为后续的运输和安装提供保障。

运输环节是装配式建筑中至关重要的一步，技术要求高且复杂。由于预制构件的体积和重量较大，运输时必须精确计算承载能力和运输路线，选择合适的运输工具。在运输过程中，构件的保护至关重要，需要确保构件在搬运和运输过程中不受损伤。采用现代化的吊装设备和运输车辆，结合科学的运输规划，可以减少运输过程中的风险和损失^[5]。此外，运输过程中还需要特别注意天气变化、交通状况等外部因素，避免因这些因素影响运输效率。通过精确的调度和周密的安排，确保每个构件都能准时、安全地到达施工现场，为安装环节提供良好的基础。

安装是预制构件施工中最具挑战性的环节，涉及精确对接和高效安装。为了确保安装的精度和效率，现代装配式建筑施工现场通常采用先进的定位技术和自动化设备。例如，激光测距仪和全站仪等设备可以用于精确测量预制构件的安装位置，确保每个构件能够精确对接，避免因安装误差导致的结构不稳或无法正常使用。在安装过程中，机械化的吊装设备和机器人技术的引入，使构件的安装过程更加高效安全。通过合理分配人力和物力，精确计算每个构件的安装顺序和方法，能够大大提高施工速度，减少人工操作带来的不稳定因素。总之，预制构件的生产、运输和安装是装配式建筑中至关重要的三个环节，只有在每个环节中运用先进的技术，才能保证整个项目的顺利进行，提高施工效率和质量。

四、现场施工中的精确对接与质量控制

在装配式建筑中，现场施工的精确对接是确保整体结构稳定性和施工质量的关键。由于预制构件在工厂中生产，并通过运输到施工现场，现场施工时，必须确保各个构件的尺寸和位置精确无误。如果对接不精确，不仅会影响施工进度，还可能导致结构不稳定，甚至存在安全隐患。因此，精确对接的技术在施工过程中尤为重要。为了保证对接的精度，现代装配式建筑施工现场通常采用先进的激光定位、全站仪等精密测量工具，通过这些工具，施工人员能够实时监控构件的安装位置，确保每个构件在正确的位置上进行安装。此外，利用BIM技术提前对构件进行模拟分析和装配，进一步减少现场施工中的不确定性，确保施工过程中的高效与精确^[6]。

质量控制是装配式建筑施工中的另一个关键要素。由于装配式建筑的构件大多在工厂中生产，虽然生产环节中已经严格控制了质量，但在运输和现场安装过程中，质量控制同样不可忽视。在运输过程中，预制构件可能会因操作不当或外部因素影响而造成损坏，因此，需要采用适当的包装和运输方式，避免构件受损。在安装过程中，构件的精准对接是保证质量的基础，而每个安装环节的工艺要求也十分严格。从吊装、定位到固定，每个环节都需要有严格的标准和流程，施工人员必须按照施工规范和技术要求进行操作。通过定期对施工现场的质量进行检查，确保每一个环节符合设计要求，从而保障工程质量。

为了进一步提升装配式建筑施工中的质量控制水平，施工现场常常引入质量管理体系（QMS）和数字化监控系统^[7]。通过实时监控和数据反馈，施工质量可以在过程中得到有效把控。智能化监控系统能够对构件的质量、位置和安装过程进行实时监测，及时发现问题并进行纠正。通过这种方式，不仅能够提前发现潜在的质量隐患，还能大大提高施工效率，减少人为因素带来的错误。现场施工中还应定期进行全方位的质量检测，如强度、耐久性、连接点的稳固性等，确保建筑结构的长期稳定性。精确对接和严格的质量控制是装配式建筑施工过程中不可忽视的环节，才能确保装配式建筑的高效施工和优质成品。

五、装配式建筑施工技术的挑战与未来发展趋势

装配式建筑施工技术的应用虽然带来了高效、环保的优势，但在实际施工过程中仍面临着一些技术挑战。首先，装配式建筑要求在设计、生产、运输和施工环节之间进行高度协调，但由于各环节之间的衔接和配合复杂，常常会出现预制构件尺寸不匹配、安装精度不足等问题。这些问题不仅影响工程进度，也可能导致安全隐患。此外，建筑工地的现场环境和复杂气候条件也给施工带来了困难。例如，恶劣的天气条件可能导致施工暂停，影响施工进度；而施工现场的空间有限，也可能增加构件运输和安装的难度。因此，如何优化施工流程，确保各环节的顺利衔接，仍是装配式建筑技术发展中的一大挑战。

随着技术的进步，装配式建筑施工中许多难题正在逐步得到解决。尤其是现代化的自动化技术和数字化技术的引入，正在推动施工技术的变革。BIM技术的应用能够使设计、施工、运营等各环节的信息共享更加顺畅，施工中的每个细节都可以通过数字化手段进行精确计算和模拟，避免因人为操作带来的误差。此外，智能化施工设备和机器人技术的引入，能够在构件安装、搬运等过程中提升精度和效率，大大减少人工操作带来的问题。随着这些新技术的逐步推广，装配式建筑的施工精度和效率将得到显著提升，施工过程中的技术难度也将相应降低^[8]。

未来，装配式建筑施工技术将朝着更加智能化、绿色化和模块化的方向发展。智能化施工技术将通过更多的自动化设备和机器人来实现对复杂工序的精准控制，使施工过程更加高效和安全。同时，绿色建筑理念的普及也将推动装配式建筑的发展，未来的预制构件将在材料选择、生产工艺和施工过程中更加注重环保与可持续性。模块化建筑的发展使得建筑设计更加灵活，可以根据不同的需求快速定制，满足个性化和多样化的建筑需求。随着这些创新技术的不断成熟，装配式建筑将在提升施工效率、降低能耗和减少环境污染等方面发挥更大作用，推动建筑行业向着更高效、更环保的方向发展。装配式建筑不仅能满足当前社会对快速、绿色建筑的需求，将在未来成为城市建设的重要组成部分。

六、结语

装配式建筑作为现代建筑发展的重要趋势，凭借其高效、环保和质量可控的优势，正逐步成为建筑行业的重要选择。尽管在施工过程中面临着精确对接、质量控制等技术挑战，但随着自动化、数字化技术的不断进步，这些问题正得到有效解决。未来，装配式建筑将更加智能化、绿色化和模块化，推动建筑行业朝着更加高效、环保的方向发展。通过技术创新和持续优化，装配式建筑必将在全球范围内得到更广泛的应用，成为推动可持续城市建设的重要力量。

参考文献

- [1] 鹿维丹, 郝燃. 装配式建筑结构连接节点性能分析与优化 [J]. 城市建设理论 (电子版), 2025, (22): 169–171. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202522056.
- [2] 李涤怡. 教育数字化转型中的课程建设与实践探讨——以“装配式建筑施工技术”课程为例 [J]. 福建建材, 2025, (02): 123–126.
- [3] 彭焕宝, 卫世全, 开前正, 等. 装配式建筑预制构件模具深化设计及制作要点分析 [J]. 房地产世界, 2023, (08): 112–114.
- [4] 全国芸. 基于绿色建筑设计理念的智能建筑质量体系提升研究 [J]. 中国品牌与防伪, 2025, (09): 163–165.
- [5] 王艳军. 装配式建筑施工技术的应用研究 [J]. 房地产世界, 2025, (07): 170–172.
- [6] 李朋朋, 何爱诚. 装配式建筑施工技术关键及质量控制方法 [J]. 散装水泥, 2024, (03): 70–72.
- [7] 赵延伟. 装配式建筑施工技术在建筑工程中的应用 [C]// 中国智慧城市经济专家委员会. 2023智慧城市建设论坛广州分论坛论文集. 广州: 广州建筑股份有限公司, 2023: 262–263. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.021646.
- [8] 李晓雪. 基于本体技术的装配式建筑预制构件质量追溯研究 [D]. 武汉理工大学, 2023. DOI: 10.27381/d.cnki.gwlgw.2023.001120.

建筑施工房建项目信息化管理模式创新研究

刘巨宝

兴泰建设集团有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010000

DOI:10.61369/UAID.2025020002

摘 要： 随着信息技术的飞速发展，建筑行业正经历着深刻的变革。在房建项目中，传统的信息化管理模式已难以满足日益复杂的项目管理需求。本文深入探讨了建筑施工房建项目信息化管理模式创新的必要性，分析了当前信息化管理模式存在的问题，并从管理理念、技术应用、组织架构等多个维度提出了创新策略。旨在通过创新信息化管理模式，提高房建项目的管理效率、质量和效益，推动建筑行业的可持续发展。

关 键 词： 建筑施工；房建项目；信息化管理；模式创新

Research on Innovation of Information Management Mode of Building Construction Project

Liu Jubao

Xingtai Construction Group Co., LTD. Hohhot, Inner Mongolia 010000

Abstract： With the rapid advancement of information technology, the construction industry is undergoing significant transformation. In housing construction projects, traditional information management models are no longer sufficient to meet the increasingly complex project management needs. This article explores the necessity of innovating information management models in construction projects, analyzes the current issues with these models, and proposes innovative strategies from multiple perspectives, including management philosophy, technology application, and organizational structure. The aim is to enhance the efficiency, quality, and effectiveness of housing construction project management through innovative information management models, thereby promoting the sustainable development of the construction industry.

Keywords： construction; housing construction project; information management; mode innovation

引言

近年来，我国建筑行业规模不断扩大，房建项目数量日益增多，项目复杂程度也不断提高。传统的信息化管理模式在信息传递、资源共享、协同工作等方面存在诸多弊端，导致项目管理效率低下、成本增加、质量难以保证。与此同时，信息技术如大数据、云计算、物联网、人工智能等的不断涌现，为房建项目信息化管理模式创新提供了有力支持。通过创新信息化管理模式，可以实现项目信息的实时共享、精准决策和高效协同，提升项目管理的精细化水平，增强企业的核心竞争力。因此，研究建筑施工房建项目信息化管理模式创新具有重要的现实意义。

一、建筑施工房建项目信息化管理模式创新的必要性

（一）适应市场变化的需求

当前，建筑市场竞争日益激烈，业主对项目要求也越来越高，不仅关注项目的质量和进度，还对项目的成本控制、安全管理、绿色环保等方面提出了更高要求。传统的信息化管理模式难以快速响应市场变化，无法及时提供准确的项目信息，导致企业在市场竞争中处于劣势。通过创新信息化管理模式，企业可以实

时掌握市场动态和项目进展情况，及时调整管理策略，提高市场适应能力。

（二）提高项目管理效率

在房建项目中，涉及多个专业、多个环节和众多参与方，信息传递不及时、不准确容易导致沟通不畅、工作重复、决策失误等问题，严重影响项目管理效率。创新的信息化管理模式可以实现项目信息的实时共享和协同工作，减少信息传递环节，提高沟通效率，使各参与方能够及时获取所需信息，协同推进项目进

展,从而提高项目管理效率。

（三）保证项目质量与安全

项目质量和安全是房建项目的核心要素。传统的信息化管理模式在质量与安全方面存在信息记录不完整、追溯困难等问题,难以实现对项目质量和安全的有效监控。通过创新信息化管理模式,利用物联网、传感器等技术实时采集项目现场的质量和安

（四）降低项目成本

成本控制是房建项目管理的重要目标之一。传统的信息化管理模式在成本管理中存在数据不准确、分析不及时等问题,导致成本超支现象时有发生。创新的信息化管理模式可以实现对项目成本的实时监控和分析,通过数据挖掘和预测技术,提前发现成本风险,采取有效措施进行成本控制,降低项目成本。

二、当前建筑施工房建项目信息化管理模式存在的问题

（一）管理理念落后

部分建筑企业对信息化管理的认识不足,仍然停留在传统的项目管理思维中,将信息化管理仅仅视为一种工具,而没有将其作为提升项目管理水平的重要手段。在项目实施过程中,缺乏对信息化管理的整体规划和顶层设计,导致信息化管理系统与项目管理流程脱节,无法发挥应有的作用。

（二）技术应用水平不高

虽然信息技术在建筑行业得到了一定程度的应用,但整体应用水平仍然较低。一方面,部分建筑企业缺乏专业的信息技术人才,无法对信息化管理系统进行有效的开发、维护和升级;另一方面,现有的信息化管理系统功能单一,缺乏集成性和兼容性,无法实现项目信息的全面整合和共享。

（三）数据共享困难

房建项目涉及多个参与方,包括建设单位、设计单位、施工单位、监理单位等,各参与方之间的信息系统相互独立,数据格式不统一,导致数据共享困难。在项目实施过程中,各参与方往往需要重复录入数据,不仅增加了工作量,还容易出现数据错误和不一致的问题,影响了项目管理的效率和质量。

（四）组织架构不适应信息化管理需求

传统的建筑企业组织架构通常是金字塔式的,层级较多,信息传递缓慢,决策效率低下。这种组织架构难以适应信息化管理的快速响应和协同工作需求。在信息化管理模式

下,需要建立扁平化、柔性化的组织架构,加强各部门之间的沟通与协作,提高决策效率。同时,使信息化管理成为推动企业业务发展的有力引擎。同时,要着力强化全员信息化意识。借助多样化的培训、宣传手段,向全体员工普及信息化管理知识,让他们深刻领会信息化管理对提升项目管理水平、增强企业竞争力的重要作用^[1]。鼓励员工主动投身信息化管理系统建设与应用,激发他们的积极性和创造性,在企业内部营造出全员参与、齐心协力共同推进信息化管理的良好氛围,为房建项目信息化管理模式创新奠定坚实的思想基础。

（二）提升技术应用水平

为提升建筑施工房建项目信息化管理水平,需在技术应用层面多管齐下。首先,要积极引入前沿信息技术,如大数据、云计算、物联网、人工智能等,并以此为基础构建房建项目信息化管理平台。借助物联网技术,可对项目现场的人员、设备、材料进行实时监控与管理,保障项目资源合理调配;利用大数据分析技术深度挖掘项目数据价值,为管理决策提供科学依据;运用人工智能技术实现项目风险的智能预警与预测,提前防范潜在风险。其次,建筑企业要重视信息技术人才队伍建设,加大培养与引进力度。通过内部培训提升员工专业技能,安排外部进修拓宽视野,积极引进外部优秀人才,打造一支既精通建筑业务又掌握信息技术的复合型人才队伍,为信息化管理模式创新提供坚实的人才支撑^[2]。最后,需对现有信息化管理系统进行整合与优化,消除信息孤岛,实现项目信息的全面集成与共享。制定统一的数据标准和接口规范,确保各系统间数据无缝交互,同时持续优化系统功能与性能,提升系统的稳定性和易用性。

（三）促进数据共享与流通

在建筑施工房建项目信息化管理中,促进数据共享与流通是关键环节。可搭建基于云计算的房建项目数据共享平台,将建设、设计、施工、监理等各参与方的信息系统与之对接,实现项目数据的集中存储与共享。同时,制定清晰的数据共享规则和标准,明确各参与方的数据权限与责任,保障数据隐私安全。为确保数据准确交互,需制定统一的项目数据格式和标准,涵盖数据编码、数据字典、数据交换格式等内容,要求各参与方在项目实施中依此录入和传输数据,避免格式差异引发问题^[3]。此外,要构建完善的数据安全管理体系,运用数据加密、访问控制、备份恢复等技术,保障数据安全完整。加强对数据访问的审计与监控,及时发现并处理安全事件,防止数据泄露滥用,为房建项目信息化管理提供可靠的数据支撑。

（四）优化组织架构

在建筑施工房建项目信息化管理模式创新进程中,优化组织架构是重要举措。首先,要打破传统金字塔式架构,构建扁平化组织架构。通过减少管理层级,缩短信息传递链条,使决策信息能快速传达与反馈,显著提高决策效率。同时,赋予基层员工更多决策权和自主权,充分调动其工作积极性与创造力,挖掘员工潜力。其次,需设立专门的信息化管理机构,该机构由信息技术专家和业务管理人员构成,凭借跨部门、跨专业的协调能力,统筹企业信息化管理的规划、建设、维护及推广工作,确保信息化管理有序推进^[4]。此外,还应建立跨部门协作机制与沟通渠道,加强部门间信息共享与协同。借助定期召开跨部门会议、搭建项

三、建筑施工房建项目信息化管理模式创新策略

（一）创新管理理念

在建筑施工房建项目信息化管理模式创新中,创新管理理念至关重要。建筑企业需将信息化管理置于企业发展战略的关键位置,制定长期规划与目标。从战略高度统筹信息化管理系统建设与应用,保证其与业务发展紧密契合,避免出现“两张皮”现

目协作平台等手段，促进部门交流合作，及时化解项目管理中出现的各类问题，保障项目顺利实施。

（五）完善信息化管理制度与标准

在建筑施工房建项目信息化管理模式创新里，完善信息化管理制度与标准不可或缺。需构建健全的信息化管理制度，清晰界定信息化管理各环节的职责、流程、标准以及考核机制^[5]。该制度应全面覆盖信息化项目的立项、招标、实施、验收与运维等阶段，为信息化管理工作提供明确指引，保障其规范有序开展。同时，要建立房建项目信息化管理标准体系，涵盖项目管理信息系统、数据、接口等多方面标准。此标准体系应与国家和行业标准紧密衔接，使企业信息化管理工作契合行业规范。此外，强化制度与标准的执行与监督至关重要^[6]。要建立信息化管理考核机制，对各部门及人员的信息化管理工作进行考核评价，并将考核结果与绩效紧密挂钩，以此激励员工主动投身信息化管理工作，确保各项制度与标准切实落地，推动房建项目信息化管理水平不断提升。

四、建筑施工房建项目信息化管理模式创新的保障措施

（一）资金保障

在建筑施工房建项目信息化管理模式创新进程中，资金保障是关键支撑。建筑企业需加大资金投入力度，为信息化管理系统的建设、维护及升级提供坚实财力后盾。要精心规划资金预算，将信息化管理项目资金需求置于优先位置，确保资金合理分配^[7]。同时，密切关注政府相关政策，积极争取政策支持与资金补贴，拓宽资金来源渠道。通过充足的资金保障，能够顺利推进信息化管理系统的各项建设与优化工作，为房建项目信息化管理模式创新奠定稳固的经济基础。

（二）技术保障

在建筑施工房建项目信息化管理模式创新里，技术保障是重要支撑。建筑企业需积极与信息技术企业、科研机构携手合作，搭建产学研合作桥梁，共同投身信息化管理技术的研发与应用工作。同时，要安排专人密切关注信息技术发展动态，敏锐捕捉前沿技术趋势。一旦发现先进且适用的信息技术成果，及时引进并应用到企业信息化管理中^[8]。通过持续的研发合作与技术引进，

不断提升企业信息化管理的技术水平，为房建项目信息化管理模式创新提供强大的技术驱动力。

（三）人才保障

在建筑施工房建项目信息化管理模式创新中，人才保障至关重要。企业不仅要大力培养和引进信息技术人才，扩充专业队伍，还需聚焦现有员工，开展针对性信息化培训，提升其信息化素养与应用能力，使全员都能适应信息化管理需求。同时，要构建完善的人才激励机制，为信息化人才提供清晰的职业发展路径、广阔的晋升空间以及优厚的薪资待遇^[9]。通过这些举措，营造良好的人才发展环境，吸引外部优秀信息技术人才加入，并留住内部核心人才，为房建项目信息化管理模式创新提供坚实的人才支撑。

（四）文化保障

在建筑施工房建项目信息化管理模式创新征程中，文化保障是不可或缺的软实力。企业应着力营造积极向上的文化氛围，倡导员工突破传统思维束缚，以开放心态勇于创新、大胆尝试，为信息化管理模式创新注入活力。同时，要将信息化管理理念深度融入企业文化建设，通过宣传、培训等多种方式，让信息化管理理念深入人心^[10]。员工在潜移默化中接受并主动应用信息化管理模式，将其转化为日常工作习惯，从而形成全员参与、共同推动信息化管理模式创新的强大合力，助力企业在信息化浪潮中稳健前行。

五、结论

建筑施工房建项目信息化管理模式创新是建筑行业发展的必然趋势。通过创新管理理念、提升技术应用水平、促进数据共享与流通、优化组织架构以及完善信息化管理制度与标准等策略，可以有效解决当前信息化管理模式存在的问题，提高房建项目的管理效率、质量和效益。同时，为确保信息化管理模式创新的顺利实施，还需要采取资金、技术、人才和文化等方面的保障措施。建筑企业应充分认识到信息化管理模式创新的重要性，积极采取行动，推动企业信息化管理水平不断提升，以适应市场竞争的需求，实现可持续发展。在未来的发展中，随着信息技术的不断进步和应用，建筑施工房建项目信息化管理模式将不断创新和完善，为建筑行业的发展注入新的活力。

参考文献

[1] 李斌. 建筑信息模型驱动下的房建项目施工优化路径研究 [J]. 建设科技, 2025, (09): 93-95.
[2] 饶先进, 仇天雨. 基于全寿命周期的房建项目施工风险管理方法 [J]. 智能城市, 2025, 11(03): 77-79.
[3] 乔向波. 房建施工中地基处理技术的研究与应用 [J]. 居业, 2025, (03): 46-48.
[4] 张凤舞. 房建项目机械设备管理的优化策略分析 [J]. 中国设备工程, 2024, (09): 58-60.
[5] 余军. 房建工程项目施工阶段安全风险研究 [J]. 价值工程, 2024, 43(10): 16-18.
[6] 欧阳欣豪. 施工现场安全管理在房建项目中的应用与探索 [J]. 中国住宅设施, 2023, (12): 52-54.
[7] 何一军, 张程, 王丹萍. 房建项目深基坑施工技术研究 [J]. 工程建设与设计, 2022, (24): 214-216.
[8] 刘博. 房建施工中质量与安全管理的研究 [J]. 居舍, 2021, (26): 143-144.
[9] 蒲宏红. 房建工程施工的质量安全技术 [J]. 砖瓦, 2021, (07): 149-150.
[10] 陈斌. 房屋建筑工程施工质量管理及控制措施 [J]. 中国建筑装饰装修, 2021, (02): 100-101.

传统砖木建筑虚拟交互展陈与教辅系统建构： 从测绘实践到构件认知的数字化传承

叶柯宏¹，郑舒心¹，骆奕延¹，吴炳南¹，王凯一²，朱炜¹

1. 浙大城市学院国土空间规划学院，浙江 杭州 310015

2. 浙大城市学院计算机与计算科学学院，浙江 杭州 310015

DOI:10.61369/UAID.2025020004

摘 要： 针对传统砖木建筑保护传承中展陈互动性不足、教育认知碎片化等问题，本研究依托浙江三门源叶氏民居的测绘实践，基于 SketchUp 建模技术与 Unity 引擎开发虚拟交互系统，通过构建系统化的木构建筑构件分类体系，实现文化传播与专业教育的深度融合。本文从“项目数据采集——分类建模——构件分类逻辑——技术路径——交互应用理论价值”展开论述，为传统砖木建筑数字化传承提供可复制的实践范式。

关 键 词： 古建筑测绘；产学协同；教学资源；文化传承

Virtual Interactive Exhibition and Teaching Auxiliary System Construction of Traditional Brick and Wood Architecture: Digital Inheritance from Surveying and Mapping Practice to Component Cognition

Ye Kehong¹, Zheng Shuxin¹, Luo Yiyen¹, Wu Bingnan¹, Wang Kaiyi², Zhu Wei¹

1. School of Spatial Planning and Design, Hangzhou City University, Hangzhou, Zhejiang 310015

2. School of Computer and Computing Science, Hangzhou City University, Hangzhou, Zhejiang 310015

Abstract : In response to the problems of insufficient interactive display and fragmented educational cognition in the protection and inheritance of traditional brick and wood buildings, this study relies on the surveying practice of Ye's residential houses in Sanmenyuan, Zhejiang, and develops a virtual interactive system based on SketchUp modeling technology and Unity engine. By constructing a systematic classification system for wooden building components, it achieves a deep integration of cultural dissemination and professional education. This article discusses from the perspective of "project data collection – classification modeling – component classification logic – technical path – theoretical value of interactive application", providing a replicable practical paradigm for the digital inheritance of traditional brick and wood architecture.

Keywords : surveying and mapping of ancient architecture; collaboration between industry and academia; teaching resources; cultural inheritance

一、背景

传统砖木建筑是中国五千年历史建筑文化的重要载体之一。采用木材作为材料，以模数作为设计标准、以榫卯作为主要结合手段，采用传统工具加工安装的技艺是中国传统砖木结构建筑的重要特征。2009年，中国传统木结构营造技艺入选“人类非物质文化遗产代表作名录”。^[1]作为江南文化的主要传播地区，浙江省在城乡各地保留了唐宋以来的官式、民间各类型古建筑。浙江省125处全国重点文物古建筑中，砖木结构建筑（非经幢、塔、牌坊等）占比达53.4%。^[2]

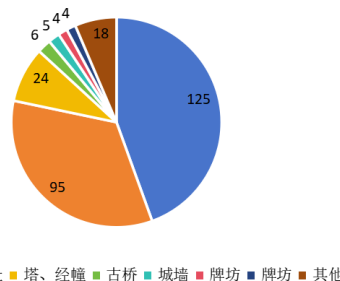


图1 浙江省全国重点文物保护单位分类统计

2023年时任浙江省文物局局长杨剑武提出对木构廊桥，需要“加强营造技艺传承人培训，形成木拱廊桥传统营造技艺传承人的梯队。大力推进廊桥营造及相关习俗的活态传承”。^[3]但是因为传

项目信息：本研究基于国家级大学生创新创业训练计划项目：基于传统砖木建筑虚拟交互展陈与教辅系统（202413021027）。

作者简介：叶柯宏（2002.12—），女，汉族，浙江台州人，浙大城市学院国土空间规划学院建筑学本科生，研究方向：传统砖木建筑。

统建筑特别是文物建筑的属性，很少进行“落架大修”，大众几乎没有机会接触到文物建筑的核心技艺和文化元素。

现有各博物馆、艺术馆对江南传统砖木建筑的展示多使用图片文字介绍、小尺度模型或者简单互动的传统展陈方式。博物馆展示模型（如庆元廊桥博物馆）多停留在外观静态复刻，忽视斗拱组合（如五铺作斗拱的承重逻辑）、榫卯咬合（如燕尾榫连接梁柱）等核心技艺，有碍建筑与文化内涵的整体性表达，导致公众对“粉墙黛瓦”的视觉认知与建筑技术内涵严重割裂，不能完整传播传统砖木建筑的建筑技艺及其蕴含的历史文化艺术价值。因此需要利用现代数字化手段，让传统瑰宝火起来、让传统技艺活起来。

二、技术的思考

高等学校的建筑学专业实践教学中有历史建筑（古建筑）测绘，每年都有大量的在校学生在“中国建筑史”课程的理论学习后参与到历史建筑（古建筑）的调研、测量和图纸绘制，为传统建筑文化的保护留下了大量的资料。用虚拟现实数字化技术将这些资料运用起来，活化、推广传统文化的同时也可以帮助建筑学专业学生更好地学习传统建筑中的知识。

（一）建筑教学的认知局限

“中国建筑史”是建筑学专业的核心专业课程。传统教学中，“中国建筑史”课程受限于课堂模型的局部性与测绘实习的片段化，学生难以建立构件关联认知。学生仅能接触大、小木作的基础构件，而有效学习需在“情境化实践”中完成知识建构。虚拟交互系统可突破物理空间限制，可通过三维拼装、实时反馈（如错误拼接提示），弥补传统教学的碎片化缺陷，帮助学生实现“书本理论—测绘实践—真实建筑”的三维映射以提高学习的效果，培养专业素养，理解技艺内涵，提升文化自信。

（二）技术赋能的传承机遇

虚拟仿真技术不仅是展陈工具，更是重构认知逻辑的媒介。虚拟现实技术（VR）与 WebGL 跨平台开发为解决上述问题提供可能。通过数字化建模与交互设计，系统可还原建筑营造过程，自动验证榫卯咬合规则。兼顾公众科普（如漫游体验）与专业教育（如构件拼装），形成“展陈+教辅”双功能体系，推动文化遗产从“静态保护”向“活态传承”转型。利用虚拟仿真技术可以开发教学辅助系统可以帮助学生更直观地学习传统木构建筑中的重要知识点，更好地理解传统技术中蕴含的文化思想。同时，基于网络的交互式技术也可以作为公众科普展示的平台，宣传文物的同时促进公众特别是在校学生更全面地了解文物，更深入地接触文物的文化内涵。

三、测绘实践：从物理空间到数字孪生的转化路径

（一）项目基础：叶氏民居三维测绘的数据采集

研究选取衢州龙游三门源叶氏民居（第七批国家重点文物保护单位）为对象，结合“传统建筑测绘”课程，采用三维激光

扫描获取点云数据，经 MeshLab 去噪、Blender 网格优化后，对隐蔽构件（如斗拱层叠关系）进行考据补全，结合现场调研与《营造法式》条文补全细节，建立包含尺寸（如木柱 Z-2 直径 320mm）、材质（如楠木纹理贴图）、历史信息（如“月梁 L-2-2 为清中期典型做法”）的几何模型。测绘成果包含 1:50 三维视图、构件细部纹样图。



图2叶氏民居测绘现场照片

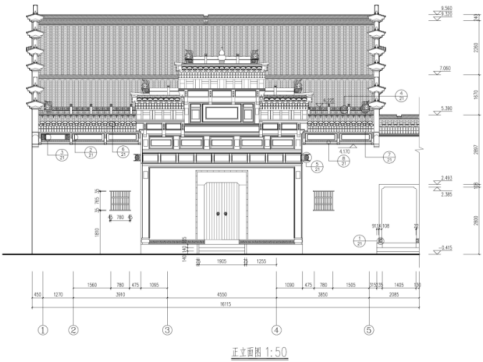


图3叶氏民居测绘图纸

（二）SU 建模的分层解构策略

几何建模：以“参数化组件”为单元，将建筑拆解为基础（台明、柱础）、屋身（柱、梁、枋）、屋顶（椽子、瓦作）三大模块，遵循“从构件到整体”的拼装逻辑。例如，柱础（Z-1）附石材纹样，木柱（Z-2）标注“收分”“侧脚”等营造特征。

语义标注：在 SU 组件属性中嵌入构件名称（如“五铺作斗拱 D-1”）、功能（承重/装饰）、历史背景（如“月梁 L-2-2 源自宋代《法式》规制”），形成可交互的数字档案。

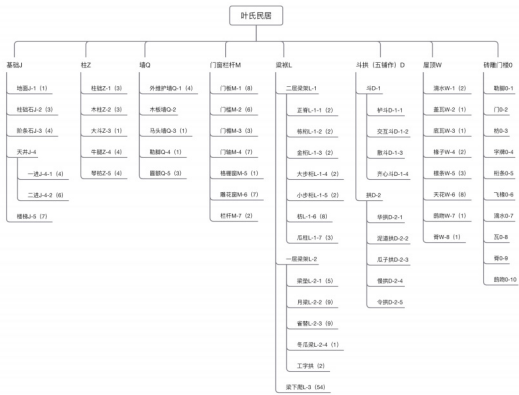


图5构件分类大纲

轻量化处理：通过 SU 插件优化面数，结合 LOD 技术生成三级精度模型（高模用于本地 VR、低模用于网页端），确保

WebGL 环境下加载速度 < 3 秒，兼容 Oculus Rift 等设备的实时交互需求。

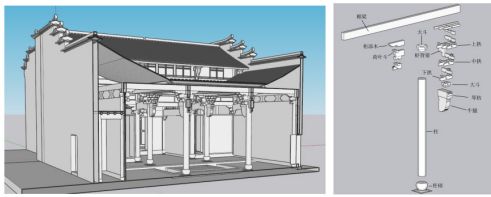


图 4 叶氏民居整体素质模型及构件拆解

四、项目研究系统架构：逻辑框架与数字化映射

本项目结合建筑学专业历史建筑测绘实践的成果，基于 Unity 引擎及 WebGL 技术，开发能够对传统砖木建筑（国家级文保单位）进行在线多用户使用的虚拟展示及互动组建功能的展陈与教学辅助系统。系统集成大众宣传与专业教育为一体，既可以多方位展现文物建筑的全貌，又可以介绍传统建筑的构件知识与建设逻辑和方法。

（一）模型管理：分类依据的理论溯源

建筑模型后台管理功能提供上传和修改传统建筑模型，标识模型名称、属性，定义拼接逻辑等数据管理功能。同时，系统支持多人在线协作，开展学团队协作定义。借鉴《营造法式》“大木作—小木作”二分法，结合现代建筑结构理论，建立“功能—形态—构造”三维分类框架：

功能维度：分为承重构件（柱、梁、斗拱）、维护构件（墙、门窗）、装饰构件（砖雕、牛腿），明确各构件在力学体系中的角色（如斗拱“承重+减震”双重功能）。

形态维度：按建筑层级划分为基础构件（阶条石 J-3、天井 J-4）、垂直构件（木柱 Z-2、马头墙 Q-3）、水平构件（桁条 L-1-2、椽子 W-4），构建空间组织逻辑。

构造维度：以榫卯类型为核心，如梁柱间“燕尾榫”、斗拱“华拱—泥道拱”组合，标注拼接规则，为交互系统的逻辑判断提供依据。

（二）模型展示与拼接：数字化分类的应用创新

本项目使用最新的 unity 跨平台技术开发，使用 C# 脚本语言，开发拥有查看建筑部件、提供说明、拼装组件、逻辑判断以

及行为分析对功能的科普互动系统以及专业教学的辅助工具。系统使用跨平台的编译方式实现基于 WebGL 的在线网页交互。可在本地或者在线使用 Oculus Rift、HTC Vive 等头戴式设备或 PC 键盘进行互动操作。同时，拥有对接 SkeetUp、3ds Max 等通用建模格式的数据库接口，可以不断丰富系统内容。

（三）网络与数据管理

系统采用了基于云的服务器架构，通过互联网将虚拟现实应用部署到云端。用户可以通过 WebGL 技术，在浏览器中直接访问虚拟现实应用，无需下载安装任何软件。系统可提供数据管理系统，用于存储和管理用户数据、操作记录等。

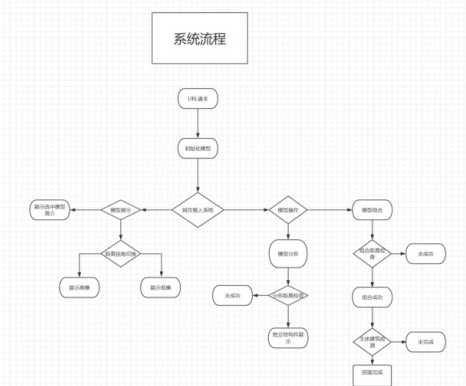


图 6 系统功能逻辑

五、结束语

传统砖木建筑的数字化传承，本质是文化基因的转译与再生。本研究通过测绘建模、构件分类与交互系统开发，构建了从物理空间到数字空间的认知桥梁。虚拟交互系统不仅解决了“如何看”的展陈问题，更回答了“如何理解”的认知难题——通过可操作的数字构件，公众与学生得以在交互中“触摸”营造智慧，实现文化遗产从“物的保存”到“人的传承”。未来可进一步融合 AI 辅助设计（如自动生成构件拼接方案）、AR 实地导览（如现场扫描触发虚拟构件解析），推动传统建筑技艺在数字时代的活态延续。

参考文献

[1] 赵玉春, 张欣. 中国传统木结构营造技艺列入联合国教科文组织非物质文化遗产名录 10 周年访谈 [J]. 中国艺术时空, 2019, (06): 12-16.
[2] 浙江省文物局. 浙江省全国重点文物保护单位名单 [EB/OL]. http://www.zj.gov.cn/art/2020/6/12/art_1639081_43375775.html, 2025.6.29.
[3] 国家文物局. 廊桥保护 三年可期 [EB/OL]. http://www.ncha.gov.cn/art/2023/11/2/art_722_185006.html, 2024.3.9.

建筑工程领域联合测绘与不动产测绘的协同优化策略

陈佳苗

广东泓森勘察测绘科技有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/UAID.2025020006

摘 要 : 建筑工程测绘与不动产测绘的协同优化是提升工程效率与数据价值的关键路径。当前, 测绘需求与不动产权属管理的衔接面临技术标准差异、数据兼容性不足及跨部门协作壁垒等问题, 导致重复测绘与信息孤岛现象。为应对这些挑战, 相关政策提出“一次委托、联合测绘、成果共享”原则, 明确统一坐标与高程基准, 推动测绘精度升级。然而, 现有政策在动态监管机制、跨部门权责分配及新技术应用合规性方面仍存在空白。本研究通过技术、管理与制度的协同优化, 探索高效整合路径, 为智慧城市背景下的测绘一体化提供理论支撑与实践范式。

关 键 词 : 联合测绘; 不动产测绘; 协同优化

Strategies for Integrated Optimization of Joint Surveying in Construction Engineering and Real Estate Surveying

Chen Jiamiao

Guangdong Hongsen Geotechnical Investigation and Surveying Technology Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract : The collaborative optimization of architectural engineering surveying and mapping with real estate surveying and mapping is a key path to improving project efficiency and data value. Currently, The connection between surveying and mapping requirements and real estate rights management is beset with issues such as differences in technical standards, insufficient data compatibility, and cross-departmental collaboration barriers, resulting to phenomena of redundant surveying and mapping and information silos. To address these challenges, relevant policies propose the principles of "one-time entrustment, joint surveying and mapping, and result sharing", clarify the unified coordinate and elevation benchmarks, and promote the upgrading of surveying and mapping accuracy. However, there are still gaps in the existing policies in terms of dynamic supervision mechanisms, cross-departmental allocation of responsibilities and rights, and the compliance of new technology applications. Through the collaborative optimization of technology, management, and systems, this study explores effective integration approaches, providing theoretical support and practical paradigms for the integration of surveying and mapping in the context of smart cities.

Keywords : joint surveying and mapping; real estate surveying and mapping; collaborative optimization

引言

建筑工程测绘与不动产测绘的协同优化是提升工程效率与数据价值的关键路径。当前, 我国建筑全生命周期中测绘需求与不动产权属管理的衔接存在技术标准差异、数据兼容性不足及跨部门协作壁垒等问题, 如施工阶段独立坐标系与 CGCS2000 转换误差、BIM 与 GIS 集成难点, 导致重复测绘与信息孤岛现象。为应对这些挑战, 2025 年《运城市工程建设项目“多测合一”实施细则》提出“一次委托、联合测绘、成果共享”原则, 明确采用 CGCS2000 或经依法批准建立的相对独立平面坐标系统与 1985 国家高程基准; 同年发布的《住宅项目规范》通过提高层高、电梯设置等强制性标准, 推动测绘精度升级。此外, 河南省《工程建设项目联合测绘技术规范》(DB41/T 2445-2023) 细化控制测量、规划竣工测量等技术要求, 为多源数据融合提供标准化框架。然而, 现有政策在动态监管机制、跨部门权责分配及新技术应用合规性方面仍存在空白。本研究旨在通过技术、管理与制度的协同优化, 探索高效整合的路径, 为智慧城市背景下的测绘一体化提供理论支持与实践范例。

一、联合测绘与不动产测绘的关联性分析

（一）联合测绘的核心内涵与技术特征

联合测绘指在建筑工程全生命周期中，通过整合规划、施工、验收等环节的测绘需求，实现多阶段数据的高效采集与应用^[1]。其范围涵盖从地形勘测到竣工验收的完整流程，核心目标在于打破传统分段测绘的壁垒。技术特征表现为多源数据融合，即通过激光扫描、遥感影像与 GNSS 定位技术的协同，构建高精度空间数据库；动态监测强调施工过程的实时变形分析与安全预警；三维建模则依托 BIM 与实景融合技术，为工程决策提供可视化支撑。联合测绘通过技术集成与流程优化，为建筑工程全周期管理提供数据闭环。

（二）不动产测绘的功能定位与应用场景

不动产测绘以法律确权为导向，聚焦权属边界确认与空间数据规范化，确保测绘成果符合《不动产登记暂行条例》等法规要求。其功能定位包含双重维度：在工程衔接层面，需实现竣工验收阶段的建筑实体数据向产权登记环节的无缝传递，例如建筑面积核算与界址点坐标的精准匹配；在数据应用层面，强调测绘成果作为物权凭证的法定效力，需通过统一坐标系与数据格式，满足自然资源、住建等多部门协同需求^[2]。不动产测绘通过标准化数据接口，成为建筑工程向产权管理转化的关键纽带，支撑“一测多用”目标的实现。

二、协同优化的理论基础

（一）系统论视角下的测绘协同框架

系统论强调测绘协同需以整体性为基础，将建筑工程测绘与不动产测绘视为有机整体，通过数据流与业务流的耦合实现功能互补。层次性体现为多级管理体系设计，涵盖数据采集层、处理层与应用层，确保各层级目标一致且权责明晰；动态性则要求系统具备自适应能力，通过实时数据交互与反馈机制应对工程变更与政策调整^[3]。基于系统论的协同框架，能够统筹技术、管理与制度要素，化解碎片化测绘模式导致的效率损耗。

（二）信息共享与流程整合理论

数据标准化是协同效率提升的核心前提，通过统一数据格式、编码规则与元数据定义，消除部门间语义异构性与技术壁垒，降低数据清洗与转换成本。流程整合理论主张跨部门业务流程重构，以“一测多用”为目标，将施工验收测绘与不动产登记测绘合并为单一流程链，依托 SOA（面向服务架构）或微服务技术实现业务模块化。研究表明，流程整合需结合权责再分配与数字化工具嵌入，构建多方参与的协同网络，最终形成闭环式测绘服务体系^[4]。

三、建筑工程测绘协同的现状与问题

（一）技术层面的协同障碍

1. 测绘标准差异：精度要求与坐标系不统一

建筑工程测绘与不动产测绘的精度标准存在显著差异，前者侧重施工阶段的毫米级定位需求，后者以产权登记为核心，强调法律认可的厘米级误差阈值。坐标系不统一进一步加剧协同障

碍，例如施工阶段多采用独立坐标系或地方坐标系，而不动产测绘需强制转换为国家大地坐标系（如 CGCS2000），坐标系转换过程中的参数缺失或算法误差易导致数据断层。研究表明，标准差异不仅增加重复测绘成本，更可能引发竣工图纸与权属数据矛盾，需通过跨领域标准互认机制予以化解^[5]。

2. 数据兼容性问题：BIM 与 GIS 的集成难点

BIM（建筑信息模型）与 GIS（地理信息系统）的集成是协同测绘的技术瓶颈。BIM 以微观建筑构件为对象，依赖 IFC 标准描述几何与属性信息；GIS 则面向宏观地理空间，基于拓扑关系表达地物分布。两者数据粒度与语义结构差异导致交互困难，例如 BIM 的精细化三维模型难以直接映射至 GIS 的二维矢量图层^[6]。此外，数据格式异构性需依赖中间件转换，但现有工具在属性关联与坐标对齐上存在精度损失，需开发统一的数据融合框架以实现无缝集成。另外，我们不仅要解决数据格式异构型问题，还要使数据轻量化和优化。

（二）管理与制度层面的挑战

1. 建设部门与自然资源部门协作不足

建设部门与自然资源部门在测绘业务中存在职责边界模糊与协同机制缺失问题。建设部门主导施工阶段测绘验收，自然资源部门负责不动产登记测绘，两者数据需求重叠但缺乏共享协议，导致重复测绘与信息孤岛。例如，施工验收阶段的建筑轮廓数据需二次提交至不动产登记系统，因部门间数据接口未打通，人工核验耗时且易出错。职能分割还体现在政策执行层面，两部门对同一建筑实体的测绘标准解释存在分歧，进一步削弱协同效能。

2. 现行政策对联合测绘的支持不足

现行法规体系尚未明确联合测绘的法律地位与实施路径。《测绘法》及地方性法规多聚焦单一测绘类型，缺乏跨部门协同的强制性条款。例如，施工验收与产权登记测绘合并的“一测多用”模式缺少政策依据，导致地方试点项目面临合法性争议。此外，新技术应用的合规性认定滞后，现有法规未涵盖其数据效力与安全标准，制约技术创新与推广。政策滞后性加剧了管理成本，阻碍建筑工程全周期测绘的一体化进程。

四、协同优化的实施策略

（一）技术协同路径

1. 统一数据格式与精度规范

标准化体系需优先解决数据格式与精度规范的双重割裂问题。通过制定建筑工程与不动产测绘的通用数据交换标准（如 IFC 与 CityGML 的互认协议），统一建筑构件编码规则与空间参考基准，确保施工阶段 BIM 模型与不动产登记 GIS 数据的语义一致性^[7]。精度规范应协调施工验收的毫米级定位需求与不动产测绘的厘米级容差阈值，明确分阶段精度转换算法，并参照 ISO 19159 等国际标准建立动态校准机制，减少坐标系转换误差，推动跨部门测绘成果互认。

2. 无人机倾斜摄影与区块链存证技术

无人机倾斜摄影通过多视角影像采集与点云融合技术，可快速生成高精度三维实景模型，解决传统测绘在复杂建筑形态下的数据缺失问题，同时支持 BIM 与 GIS 的语义级集成^[8]。区块链技术通过分布式账本与智能合约，实现测绘数据的不可篡改存证与

跨部门可信共享，例如竣工验收报告与产权登记数据的链上同步核验，规避人工篡改风险。两项技术的协同应用，可构建从数据采集到权属认证的全流程可信闭环，提升测绘成果的法律效力与协同效率。

（二）管理协同机制

1. 构建“一测多用”共享数据库

跨部门协作平台需以“一测多用”为目标，整合建设部门与自然资源部门的测绘数据需求，依托云计算与分布式存储技术构建统一共享数据库。平台通过标准化数据接口（如 RESTful API）实现 BIM、GIS 与不动产登记系统的互联互通，支持多源数据的实时同步与版本管理^[9]。权限分级控制机制确保数据安全，例如施工阶段仅开放几何属性查询权限，产权登记阶段追加权属信息写入功能。实践表明，共享数据库可减少 30% 以上的重复测绘工作量，并通过数据溯源技术提升跨部门协同透明度，同向智能化方向迈进，实现国土空间治理的现代化。

2. 竣工验收与产权测绘同步化

竣工验收与产权测绘的流程同步化需重构传统线性作业模式，将权属预审环节嵌入竣工验收阶段。通过 BIM 模型自动提取建筑面积、界址点坐标等核心参数，生成符合不动产登记要求的中间数据包，利用智能合约触发产权测绘预审流程^[10]。流程再造后，竣工验收报告与不动产测绘成果可同步生成，避免因数据重复录入导致的误差与延迟。试点案例显示，流程同步化可使测绘周期缩短 40%，并通过数据一致性校验降低后续产权纠纷风险。

（三）制度保障措施

1. 政策法规完善：制定联合测绘实施细则

联合测绘的规范化需依托专项政策支持，明确实施细则以界定建设、自然资源等部门的权责边界。建议在《测绘法》修订中增设联合测绘章节，规定“一测多用”的法定效力与操作流程，

例如强制要求竣工验收测绘成果直接作为不动产登记依据。同时需细化数据安全与合规性条款，参考欧盟《INSPIRE 指令》建立动态更新机制，确保新技术（如区块链存证）的合法性。政策完善应配套地方性法规试点，通过奖惩机制推动跨部门协作，为联合测绘提供强制性制度保障。

2. 人才培养与考核：复合型测绘人才培育体系

复合型测绘人才需兼具 BIM 建模、GIS 分析及法律知识，可通过校企合作构建“理论-实践-认证”一体化培养体系。高校课程增设跨学科模块，例如不动产测绘法规与三维数据管理，企业实训强化无人机操作与区块链技术应用。考核机制改革包括设立联合测绘专项资格认证，将跨部门协作能力纳入职称评定指标，并实施动态绩效评估。激励机制上，对参与“一测多用”项目的团队给予政策倾斜，例如科研经费优先支持，形成人才储备与技术创新良性循环。

五、总结

协同优化通过技术标准化、管理机制重构与制度保障的协同作用，可显著提升建筑工程测绘效率与数据价值，具体表现为多源数据融合减少重复测绘成本、跨部门共享数据库增强数据流转效能，以及政策法规完善降低协同阻力。研究不足在于现有实证案例多聚焦于特定区域或项目类型，结论普适性需进一步验证；动态监管机制仍停留于理论框架，未建立针对工程变更与政策调整的实时响应模型。未来研究可结合智慧城市发展需求，探索测绘一体化与物联网、人工智能的深度融合路径，例如基于 CIM（城市信息模型）的时空数据底座构建，推动三维产权管理与城市空间治理的数字化升级，为全域全要素测绘协同提供理论支撑与实践范式。

参考文献

- [1] 肖亮, 欧阳松南, 叶锐铿. 基于 GIS 的城市工程建设多测合一管理平台设计与实现 [J]. 北京测绘, 2021, 035(006): 717-721.
- [2] 桂德竹, 张成成. 测绘支撑不动产登记“四统一”的思考 [J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(6): 3.
- [3] 张东红. 太原市房地产测绘系统设计与实现 [D]. 电子科技大学, 2013.
- [4] 颜曦. 不动产测绘成果的整合与利用 [J]. 神州, 2017(20): 1.
- [5] 伍友俊. 基于《不动产权籍调查技术方案(试行)》的相关问题探析 [J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(3): 4.
- [6] 王树东. 面向不动产登记的不动产测绘精度探讨 [J]. 北京测绘, 2017(2): 6.
- [7] 刘金芳. 不动产统一登记中的房产测绘问题及解决对策 [J]. 地矿测绘, 2021, 3(6): 11-12.
- [8] 王剑锋. 不动产登记中房产测绘的应用与技术措施研究 [J]. 消费导刊, 2019, 000(031): 35.
- [9] 杨传栋. “联合测绘”试行与测绘市场现状分析 [J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2021, 11(11): 4.
- [10] 师洪艳. “联合测绘”中建筑面积测绘相关问题的探讨 [J]. 地矿测绘 (2630-4732), 2020, 3(2): 2.

基于 BIM 与物联网的建筑工程质量协同管控体系构建

韦强

身份证号: 460026197104023911

DOI:10.61369/UAID.2025020008

摘 要 : 阐述 BIM 与物联网在建筑工程各阶段的应用及协同管控, 包括特点、作用、架构等。分析传统管理模式缺陷, 提出智能建造需求。介绍数据融合标准体系、协同管理平台架构及相关算法、模型。探讨安全风险联动处置及各阶段质量管控措施, 提及区块链存证及未来发展建议。

关 键 词 : BIM; 物联网; 建筑工程质量管控

Construction of Collaborative Quality Control System for Construction Projects Based on BIM and Internet of Things

Wei Qiang

ID: 460026197104023911

Abstract : This article elaborates on the application and collaborative management of BIM and IoT in various stages of construction engineering, including their characteristics, functions, architecture, etc. Analyze the shortcomings of traditional management models and propose the demand for intelligent construction. Introduce the data fusion standard system, collaborative management platform architecture, related algorithms, and models. Explore the linkage disposal of security risks and quality control measures at each stage, and mention blockchain certification and future development suggestions.

Keywords : BIM; Internet of Things; quality control of construction engineering

引言

随着建筑行业的发展, 我国于 2020 年发布的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》强调了利用先进技术提升建筑工程质量安全管控水平的重要性。建筑信息模型 (BIM) 集成建筑全生命周期信息, 具有可视化、数据集成和协同管理等特点。物联网应用框架涵盖感知、传输和应用层, 在质量监控有优势。但纸质化管理和单系统应用存在缺陷。在此背景下, BIM 与物联网协同管控成为关键, 包括建立数据融合标准体系、设计协同管理平台架构、算法以及制定风险处置机制等, 对建筑工程质量安全管控意义重大。

一、BIM 与物联网技术概述

(一) BIM 技术定义与特点

建筑信息模型 (BIM) 是一种数字化的三维模型, 它集成了建筑工程从规划、设计、施工到运营维护全生命周期的各种信息^[1]。BIM 具有多种特点。其三维可视化特性使得建筑项目的各个参与方能够直观地看到建筑的外观、内部结构以及各个构件之间的关系, 有助于更好地理解设计意图和发现潜在问题。数据集成是 BIM 的重要特点之一, 它能够将建筑工程中的几何信息、物理信息、功能信息等各类数据整合在一起, 为项目的决策提供全面准确的依据。协同管理特性则体现在 BIM 可以支持不同专业的人员在同一个平台上进行协同工作, 实时共享信息, 提高工作效率和质量, 有效避免因信息不畅通而导致的错误和冲突。在建

筑工程全生命周期中, BIM 发挥着重要作用, 从早期的设计方案优化, 到施工过程中的进度和质量控制, 再到后期的运营维护管理, 都离不开 BIM 技术的支持。

(二) 物联网技术应用框架

物联网在建筑工程中的应用框架包含感知层、传输层与应用层。感知层通过传感器网络、RFID 等技术实现数据采集。传感器可实时获取建筑工程中的各类物理量, 如温度、湿度等, RFID 技术则可用于材料追踪与设备管理^[2]。传输层负责将感知层获取的数据传输至应用层, 确保数据的稳定与高效传输。应用层基于感知层采集的数据进行分析处理, 实现质量实时监控等功能。借助该架构, 物联网技术在建筑工程质量实时监控中具有显著优势, 能够及时发现质量问题并为决策提供依据。

二、建筑工程质量安全管理需求分析

（一）传统管理模式局限性

纸质化管理与单系统应用在建筑工程质量安全控制中存在诸多缺陷。在信息孤岛方面，纸质化管理使得信息分散，难以整合和共享，不同部门之间无法及时获取准确信息，影响决策效率^[3]。单系统应用也存在数据不兼容问题，无法实现全面的信息交互。监管滞后也是一大问题，纸质化管理流程繁琐，信息更新不及时，导致监管人员难以及时发现质量安全隐患。单系统应用可能因功能局限，无法对工程进行实时动态监测。在协同效率上，纸质化管理依赖人工传递信息，易出错且效率低下。单系统应用难以满足多部门协同工作需求，无法有效整合各方资源，降低了工程质量安全管理的协同效果。

（二）智能建造技术需求

随着建筑项目复杂度不断提升以及标准化要求的日益严格，传统的建筑工程质量安全管理模式面临诸多挑战。在这种背景下，智能建造技术的需求愈发凸显。数据实时交互成为关键需求之一，它能够确保各环节信息的及时更新与共享，避免因信息不畅导致的质量问题^[4]。流程精准追溯对于质量安全管理至关重要，通过对施工流程的精确记录与追溯，可快速定位问题源头，采取有效措施加以解决。多主体协同决策也是新型管理体系不可或缺的一部分，不同参与主体可基于实时数据进行协同合作，共同做出科学合理的决策，提高工程质量与安全性。

三、BIM-物联网协同管控体系构建

（一）技术整合机制设计

1. 数据融合标准体系

为实现 BIM 与物联网的有效协同管控，需建立数据融合标准体系。首先提出基于 IFC 标准与 IoT 通信协议的数据接口方案，IFC 标准作为建筑信息模型的数据交换标准，具有广泛的适用性和强大的信息表达能力^[5]。通过与 IoT 通信协议的结合，能够确保不同设备和系统之间的数据准确传输。同时，建立跨平台质量参数编码规则与传输规范，对建筑工程中的各类质量参数进行统一编码，使得不同来源的数据能够在同一标准下进行识别和处理，从而实现数据的高效融合和利用，为建筑工程质量协同管控提供有力支撑。

2. 协同管理平台架构

BIM 与物联网协同管理平台架构包含三层。首先是 BIM 模型中心，它是整个体系的核心，存储建筑工程的三维模型及相关信息，为后续的分析 and 决策提供基础数据支持^[6]。其次是物联网感知终端，分布在建筑工程各个关键部位，负责采集实时数据，如温度、湿度、位移等，并将这些数据传输到系统中。最后是质量分析引擎，它接收来自 BIM 模型中心和物联网感知终端的数据，运用数据分析算法和质量评估标准，对建筑工程质量进行实时分析和评估，同时还能预测潜在的质量问题，为工程质量的协同管控提供有力依据。三个模块之间相互协作、交互频繁，共同实现

对建筑工程质量的高效协同管控。

（二）质量安全控制流程

1. 质量偏差预警机制

设计基于 BIM 模型与物联网实时监测数据的对比分析算法，通过对 BIM 模型中的理想参数与物联网采集的实际监测数据进行精确比对，挖掘潜在质量偏差。建立多层次阈值预警模型，根据质量偏差的严重程度和可能造成的影响设定不同等级的阈值^[7]。当监测数据超出某一层级阈值时，系统自动触发相应级别的预警机制，以便及时采取措施进行干预和纠正，从而有效保障建筑工程质量处于可控状态，避免质量问题的进一步恶化和扩散。

2. 安全风险联动处置

制定风险事件与管控措施的动态映射关系是安全风险联动处置的关键。通过对建筑工程可能出现的风险事件进行全面分析，将其与相应的管控措施精准对应，形成动态映射。在此基础上，构建 PDCA 闭环管理流程，即计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）、处理（Act）。在计划阶段确定风险管控目标与策略；执行阶段落实各项管控措施；检查阶段评估措施执行效果；处理阶段根据评估结果调整策略与措施，实现持续改进。同时，建立应急预案触发体系，当风险事件发生且达到预设触发条件时，能够迅速启动应急预案，确保工程质量安全^[8]。

四、体系在工程实践中的实施路径

（一）设计阶段应用实践

1. 三维协同审图

在设计阶段的三维协同审图中，基于 BIM 与物联网可实现高效的质量管控。利用 BIM 模型的碰撞检测功能，能够精准找出建筑结构、设备管道等之间的冲突点，提前解决设计问题，确保设计方案的合理性^[9]。同时，结合物联网传感参数验证，对建筑环境相关数据进行采集和分析，如温度、湿度等对建筑材料及结构可能产生的影响，进一步验证设计方案在实际环境中的可行性，实现质量预控，为后续工程施工奠定良好基础。

2. 安全防护模拟

利用 BIM 空间定位与物联网人员定位数据，能够对施工现场进行精确的安全区域划分。通过 BIM 模型直观地呈现不同区域的功能、危险程度等信息，结合物联网实时获取的人员位置数据，可确定人员是否处于安全区域。同时，以此为基础开展应急疏散模拟演练。在模拟中，设定各种紧急情况场景，根据 BIM 空间信息和物联网人员动态，分析人员疏散路径、所需时间以及可能出现的拥堵点等。这不仅有助于优化疏散方案，还能提高施工人员对应急情况的认知和应对能力，保障施工过程中的人员安全^[10]。

（二）施工阶段过程管控

1. 物料质量追溯

在施工阶段，基于物联网 RFID 技术与 BIM 物料清单构建质量追溯体系。在物料进场时，为每件物料附着 RFID 标签，录入详细信息，包括规格、型号、生产批次等。这些信息与 BIM 模型中的物料清单相关联。在物料流转过程中，通过物联网技术实时获

取物料位置和状态信息。当物料被安装使用时，系统记录安装位置和时间等关键信息。若出现质量问题，可通过 BIM 模型快速定位问题物料，再借助 RFID 标签追溯其生产、运输、存储及安装过程中的所有信息，实现从进场验收到安装使用的全链条质量追溯，有效保障工程质量。

2. 作业环境监测

整合温湿度传感器与 BIM 进度模型，对于作业环境监测至关重要。温湿度传感器可实时收集环境数据，这些数据传输至 BIM 进度模型中。通过对数据的分析处理，系统能够对高危作业环境进行动态预警。一旦环境参数超出安全范围，系统立即发出警报，提醒施工人员采取相应措施。同时，基于 BIM 模型对施工进度度的掌握，施工方案可自适应调整。例如，当湿度较大影响某些施工工序时，可合理调整工序的先后顺序，或者采取额外的防潮措施，确保施工质量不受环境因素的影响，实现高效、安全的施工过程。

（三）运维阶段效能评估

1. 质量数据价值挖掘

在运维阶段，通过 BIM 竣工模型与历史质量数据的关联分析挖掘质量数据价值至关重要。将质量数据与 BIM 模型中的构件精准对应，分析各构件在不同阶段的数据表现。利用大数据分析技术和相关算法，识别质量数据中的关键特征和规律。基于这些分析结果建立构件性能衰退预测模型，该模型可根据当前质量数据预测构件未来的性能变化趋势。这有助于提前发现潜在质量问题，为运维决策提供科学依据，合理安排维护计划和资源分

配，从而提高建筑工程在运维阶段的效能，实现质量协同管控的目标。

2. 体系持续改进策略

基于区块链技术的质量数据存证机制可确保数据的真实性和不可篡改。在工程实践中，首先利用 BIM 与物联网收集建筑工程各阶段的质量数据，通过区块链进行存证。然后，构建多方参与的协同管控平台，各方依据存证数据进行协同工作。在运维阶段，对协同管控体系的效能进行评估，根据评估结果不断调整优化。对于体系的持续改进，可通过定期回顾质量数据存证，分析其中的问题与趋势，进而提升协同管控能力。同时，鼓励各方积极反馈问题，以不断迭代提升整个体系的协同管控能力，适应工程实践的动态变化。

五、总结

BIM 与物联网技术融合为建筑工程质量安全管控带来显著赋能效果。通过协同管控体系，在质量合格率提升和安全事故降低等方面展现出应用价值。然而，当前技术整合存在一些问题，如标准统一性不足和数据安全性有待提高等。为了进一步发展，未来应加强 AI 算法集成，以提升管控效率和准确性。同时，完善行业规范体系至关重要，这有助于规范技术应用，保障数据安全和系统稳定。通过解决现存问题和实施未来发展建议，有望实现建筑工程质量协同管控体系的持续优化，更好地保障建筑工程质量和安全。

参考文献

- [1] 于颖. 物联网智慧教室管控平台的设计与实现 [D]. 山东科技大学, 2021.
- [2] 邢照庆. 基于 SDN 的边云协同管控方案研究与实现 [D]. 贵州大学, 2022.
- [3] 郭鹏飞. 基于三维重建技术与 BIM 协同的建筑施工进度管理研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [4] 张梦烁. 基于物联网与 BIM 的室内多维信息监测与可视化方法研究 [D]. 大连理工大学, 2021.
- [5] 王启璇. 基于 BIM 的装配式建筑造价信息模型构建研究 [D]. 北京交通大学, 2021.
- [6] 欧哲繁. 基于物联网技术的变电站 BIM 施工管控平台设计 [J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(12): 156-160.
- [7] 胡斌, 周磊. 基于 BIM+ 物联网技术的装配式建筑协同管理研究 [J]. 甘肃科技, 2021, 37(13): 101-103.
- [8] 郭广厚. 基于 BIM 与物联网的装配式建筑设计与施工管理 [J]. 砖瓦, 2023(2): 53-55.
- [9] 穆丹丹. 基于 BIM 和物联网的智慧建筑运维系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2022(10): 133-137, 142.
- [10] 夏松林. 基于 BIM 的地下管网综合运维管理平台开发研究 [D]. 山东: 烟台大学, 2021.

基于全过程管理的工业与民用建筑施工安全风险 防控策略研究

叶永红

身份证号: 440223197409075219

DOI:10.61369/UAID.2025020009

摘 要： 本文围绕工业与民用建筑施工安全风险防控，阐述全过程管理理论应用，分析风险因素分类，介绍风险识别技术路径、综合评估体系等，还涉及决策、施工管控、信息共享平台等内容，通过案例分析验证策略有效性，并提出优化及未来研究方向。

关 键 词： 工业与民用建筑；施工安全风险防控；全过程管理

Research on Safety Risk Prevention and Control Strategy of Industrial and Civil Construction Based on Whole Process Management

Ye Yonghong

ID: 440223197409075219

Abstract： This paper focuses on the prevention and control of safety risks in industrial and civil construction, discussing the application of full-process management theory. It analyzes the classification of risk factors, introduces risk identification techniques and comprehensive evaluation systems, and covers decision-making, construction control, and information sharing platforms. The paper validates the effectiveness of these strategies through case studies and proposes directions for optimization and future research.

Keywords： industrial and civil construction; construction safety risk prevention and control; full-process management

引言

在建筑工程领域，随着相关政策的不断推进，如《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（2020年）强调了建筑产业现代化发展的重要性，对工业与民用建筑施工安全风险防控提出了更高要求。全过程管理理论在该领域的应用备受关注，其涵盖决策、设计、施工、运维等阶段。建筑施工安全风险因素复杂多样，包括人的、物的、环境和管理等方面。风险识别技术、综合评估体系以及各阶段的防控措施都对保障施工安全至关重要。同时，风险管理信息共享平台和应急响应预案等也是关键环节。本研究围绕这些方面展开探讨，旨在提高工业与民用建筑施工安全风险防控效果。

一、工业与民用建筑施工安全风险特征分析

（一）全过程管理理论框架

全过程管理理论强调对项目从决策到运维的全生命周期进行系统管理。在建筑工程安全风险防控中，其应用价值显著。决策阶段需综合考虑各种因素，如场地条件、项目需求等，以制定合理的安全目标和策略^[1]。设计阶段要将安全理念融入设计方案，确保建筑结构安全可靠，同时考虑施工过程中的安全因素。施工阶段是安全风险防控的关键环节，需对人员、设备、材料等进行严格管理，规范施工操作流程。运维阶段则要建立完善的监测和维护机制，及时发现并处理安全隐患，确保建筑在使用过程中的

安全性。通过构建包含决策、设计、施工、运维的全周期管理模型，能够实现对工业与民用建筑施工安全风险的全过程有效防控。

（二）典型安全风险因素分类

工业与民用建筑施工涉及多种复杂作业，其安全风险因素可分为以下几类。一是人的因素，施工人员的技能水平、安全意识以及违规操作等都可能引发事故，如未正确佩戴安全帽导致高空坠物伤害^[2]。二是物的因素，包括机械设备故障、建筑材料质量不合格等。例如，老化的起重机钢索可能断裂引发重物坠落事故。三是环境因素，恶劣的天气条件、复杂的施工现场布局等都增加了风险。如在强风天气下进行高空作业易发生坠落事故。四

是管理因素，安全管理制度不完善、监管不到位等会导致安全隐患无法及时排除，例如对施工人员的安全教育培训不足。

二、施工安全风险识别与评估方法

（一）风险识别技术路径

在施工安全风险识别技术路径方面，可利用 BIM 技术建立风险因素关联图谱。BIM 技术具有可视化、模拟性等优势，能够整合建筑工程各阶段的数据信息，通过对施工过程的模拟分析，识别潜在风险因素，并建立它们之间的关联关系，从而全面、直观地呈现施工安全风险状况^[3]。同时，研究 PDCA 循环在风险动态识别中的应用方法。PDCA 循环包括计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）和处理（Act）四个阶段。在施工安全风险识别中，首先制定风险识别计划，然后执行识别过程，接着检查识别结果的准确性和完整性，最后根据检查情况对识别方法和策略进行调整和优化，实现风险的动态识别和持续监控。

（二）风险评估量化模型

综合评估体系融合了 LEC 法、层次分析法和蒙特卡罗模拟。LEC 法通过对事故发生的可能性（L）、人员暴露于危险环境中的频繁程度（E）和一旦发生事故可能造成的后果（C）的乘积来评估风险^[4]。层次分析法将复杂问题分解为多个层次，通过构建判断矩阵确定各因素权重，对风险进行综合评价。蒙特卡罗模拟则利用随机抽样模拟风险因素的不确定性，得出风险的概率分布。风险等级划分标准依据风险值大小确定，通过对大量工程数据的分析和专家经验，设定不同等级的阈值，以准确判定风险等级，为施工安全风险防控提供科学依据。

三、全过程安全风险防控体系构建

（一）各阶段防控策略设计

1. 决策阶段风险预控

在决策阶段，风险预控至关重要。首先需进行全面的场地安全评价，考虑地质条件、周边环境等因素对建筑施工安全的潜在影响^[5]。通过详细的勘察和分析，识别可能存在的风险源，如地震断裂带、洪水淹没区等。同时，对设计方案进行优化，确保其符合安全标准和规范。例如，合理规划建筑物的布局和结构形式，以提高其在自然灾害等情况下的稳定性。此外，还要考虑施工过程中的安全风险，如施工工艺的可行性和安全性，为后续施工阶段的安全风险防控奠定良好基础。

2. 施工过程动态管控

在施工过程动态管控方面，基于物联网的实时监测系统架构至关重要。通过在施工现场部署各类传感器，可实时获取环境、设备及人员等相关数据，以便及时发现潜在风险^[6]。同时，构建危险作业审批流程智能决策模型，利用人工智能算法对作业风险进行评估和分析，为审批提供科学依据。该模型能够综合考虑作业环境、人员资质、设备状态等多方面因素，确保危险作业的安全性。通过这两种方式的结合，实现对施工过程的动态、精准管控，有效降低安

全事故发生的概率，保障工业与民用建筑施工的顺利进行。

（二）管理机制创新

1. 多主体协同管理机制

建立建设单位、设计单位、施工单位、监理单位四位一体的风险管理信息共享平台，可实现多主体协同管理。建设单位作为项目的发起者，掌握项目整体规划与目标，通过平台及时传达需求与期望。设计单位依据建设单位要求进行设计，并将设计过程中的安全风险考虑因素上传共享。施工单位在施工过程中，可实时反馈现场安全风险状况以及对设计的优化建议。监理单位则对整个过程的进行监督，确保各方履行安全风险管控职责。该平台打破信息壁垒，促进各主体间的沟通与协作，提高安全风险防控的效率和效果，实现全过程的有效管理^[7]。

2. 应急预案体系建设

制定不同风险等级的应急响应预案是应急预案体系建设的关键。需根据风险评估结果，对应急响应的级别、流程、措施等进行详细规定，确保在突发事件发生时能够迅速、有效地做出反应^[8]。同时，研究基于数字孪生的应急演练模拟系统具有重要意义。数字孪生技术可构建与实际建筑环境高度相似的虚拟模型，通过模拟各种突发事件场景，让施工人员进行应急演练，提高其应对实际风险的能力和应急反应速度，增强应急预案的可操作性和实用性。

四、防控策略的工程实践验证

（一）项目实例分析

1. 工程概况与风险特征

本研究选取典型工业厂房与民用住宅项目进行分析。工业厂房项目通常具有大型设备安装复杂、工艺流程要求高的特点，例如某大型钢铁厂厂房建设，其行车梁安装精度要求极高，且存在大量高空作业风险^[9]。同时，工业厂房可能涉及到一些特殊工艺，如化工厂房的防腐蚀处理等，增加了施工安全风险。民用住宅项目则以人员密集、施工空间相对狭窄为主要特点。像在城市中心区的高层住宅建设，施工场地受限，物料堆放和机械设备停放困难，且存在高空坠物对周边居民的潜在威胁。这些项目的施工难点和特殊风险要素是制定有效安全风险防控策略的重要依据。

2. 防控体系应用流程

在工程建设前期，风险识别需对项目环境、地质条件、施工工艺等进行全面分析，识别潜在安全风险源，如高处坠落风险可能源于未设置足够防护设施等^[10]。风险评估则依据相关标准，对识别出的风险进行定性或定量评估，确定风险等级。施工阶段，风险处置需针对不同等级风险采取相应措施，如对于高风险的深基坑作业，要严格执行专项施工方案，加强监测与预警。同时，在各阶段都要持续进行风险识别与动态评估，及时调整防控措施，确保施工安全风险始终处于可控状态。

（二）实施效果评估

1. 安全指标对比分析

通过收集实施防控策略前后的相关数据，对比事故发生率和

风险隐患整改率等关键安全指标。在未实施防控策略前，工业与民用建筑施工过程中事故频发，事故发生率较高。而实施防控策略后，随着各项措施的落实，如对施工人员进行安全教育培训、优化施工流程、加强现场安全管理等，事故发生率显著下降。同时，风险隐患整改率也得到了大幅提升。在之前，由于缺乏有效的防控策略，风险隐患整改不及时、不彻底的情况较为常见。实施防控策略后，通过建立完善的隐患排查和整改机制，能够及时发现并有效整改风险隐患，从而提高了整改率。这些安全指标的对比分析充分验证了防控策略的有效性。

2. 经济效益测算

通过对工业与民用建筑施工安全风险防控策略的实施效果进行评估，发现该策略在经济效益方面具有显著优势。采用成本效益分析法，对防控体系实施前后的数据进行对比分析。防控体系实施后，由于安全事故的减少，直接经济损失明显降低。在施工过程中，因风险防控措施得当，减少了人员伤亡赔偿费用、设备损坏维修费用以及工程延误带来的损失等。同时，良好的安全环境也提高了施工效率，间接为企业节省了成本，增加了经济效益。综合来看，该防控策略不仅保障了施工安全，还为企业带来了可观的经济收益，证明其具有良好的应用价值。

（三）优化策略反馈

1. 体系运行瓶颈分析

在工程实践验证中，发现了诸多体系运行瓶颈。施工过程中存在管理衔接不畅的问题，如不同施工阶段的安全生产标准不一致，导致责任推诿和管理漏洞。各部门之间信息沟通不及时、不准确，影响了风险防控的及时性和有效性。技术应用方面也存在障碍，一些先进的安全监测技术因成本高昂或操作人员技能不足难以广泛应用。同时，施工人员安全意识参差不齐，对安全规范的执行不到位，增加了风险发生的可能性。这些问题反馈出防控

策略需要进一步优化，以适应实际施工环境，提高建筑施工安全风险防控的效果。

2. 改进方案建议

通过工程实践验证，风险数据库动态更新机制与 AI 辅助决策系统在工业与民用建筑施工安全风险防控中初见成效。在实践中，风险数据库能够及时纳入新出现的风险因素，如新型施工工艺带来的风险等，使防控策略更具针对性。AI 辅助决策系统能快速分析风险数据，为施工决策提供科学依据，提高了风险防控的效率和准确性。然而，也发现一些问题。例如，数据库更新存在一定滞后性，部分数据准确性需提高；AI 系统对复杂情境的判断能力还有待加强。针对这些问题，建议进一步优化数据采集和审核流程，提高数据库更新的及时性和准确性。同时，加强 AI 系统的深度学习能力，使其能更好地应对复杂施工环境下的风险防控需求。

五、总结

本研究基于全过程管理对工业与民用建筑施工安全风险防控策略进行了深入探讨。在施工安全标准化管理方面取得了一定成果，规范了管理流程与标准。同时，在风险预警技术上实现创新，提高了风险预警的准确性与及时性。

展望建筑产业现代化背景，智能安全管理系统将是重要发展方向。其可利用先进技术实现对施工安全的全方位、实时监控与管理。

此外，提出后续研究建议，可将区块链技术应用于施工安全溯源管理。通过区块链的不可篡改等特性，确保施工安全信息的真实性与可追溯性，为建筑施工安全管理提供更可靠的技术支持与保障。

参考文献

- [1] 关珊. A 市社会治安防控体系项目全过程管理研究 [D]. 北京化工大学, 2023.
- [2] 赵雪婷. 基于全过程管理的 Q 高校科研经费管理研究 [D]. 青岛理工大学, 2023.
- [3] 陈天津. A 生产车间的安全风险防控研究 [D]. 西南交通大学, 2021.
- [4] 彭商. 基于全过程管理的 Y 公司应收账款管理措施优化研究 [D]. 江西财经大学, 2022.
- [5] 关帅. 长江太仓段通航安全风险评价与防控研究 [D]. 上海海洋大学, 2023.
- [6] 蔡振洪. 工业与民用建筑施工现场质量管理的完善策略探讨 [J]. 中国建筑金属结构, 2022, (10): 71-73.
- [7] 吴帆. 工业与民用建筑防渗漏施工研究 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(08): 94-96.
- [8] 逯菊花. 工业与民用建筑现场施工技术管理研究 [J]. 科技视界, 2021, (19): 174-175.
- [9] 张海涛. 工业与民用建筑施工进程中 BIM 技术的应用 [J]. 砖瓦世界, 2023(24): 19-21.
- [10] 朱性东. 工业与民用建筑工程桩基施工技术的应用 [J]. 中国宽带, 2021(6): 96, 98.

建筑材料管理视角下预拌砂浆的发展趋势探讨

黄远建

广州市东浦建材有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/UAID.2025020012

摘 要： 本文围绕预拌砂浆展开，阐述其核心性能指标如抗压强度和施工和易性等及其管理。介绍原材料预处理技术、物流调度痛点、行业标准化困境、固体废弃物再生骨料应用等内容，还涉及碳足迹追踪、新型外加剂、智能配料等系统及智慧物流配送优化等方面，呈现产业多维度发展趋势。

关 键 词： 预拌砂浆；材料管理；产业发展

Discussion on the Development Trend of Ready-Mixed Mortar from the Perspective of Building Materials Management

Huang Yuanjian

Guangzhou Dongpu Building Materials Co., LTD., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article focuses on ready-mixed mortar, discussing its core performance indicators such as compressive strength and workability, along with their management. It covers topics including raw material pretreatment technology, logistics scheduling challenges, industry standardization issues, the application of recycled solid waste aggregates, carbon footprint tracking, new admixtures, intelligent batching systems, and smart logistics distribution optimization, presenting a multi-dimensional development trend in the industry.

Keywords： ready-mixed mortar; material management; industrial development

引言

随着建筑行业的发展，预拌砂浆在建筑材料管理中占据重要地位。2020年发布的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》强调了智能化技术在建筑领域的应用。预拌砂浆的核心性能指标如抗压强度和施工和易性等影响其质量和应用效果。在生产过程中，原材料预处理技术、配比控制等环节至关重要。同时，从生产到施工的物流调度、行业标准化建设、固体废弃物再生骨料应用等方面也面临诸多问题和新要求。智能化技术的应用为解决这些问题提供了契机，如智能配料系统、质量可追溯管理系统等，有助于推动预拌砂浆产业的可持续发展。

一、预拌砂浆的核心属性与技术发展脉络

（一）预拌砂浆材料性能与管理要求

预拌砂浆的核心性能指标包括抗压强度和施工和易性等。抗压强度是衡量其承载能力的关键，影响建筑物的结构安全^[1]。施工和易性则关系到砂浆在施工过程中的操作便利性和质量，包括流动性、保水性等方面。在材料管理方面，进场检验至关重要。需对预拌砂浆的质量证明文件、外观等进行检查，同时按规定抽样检验其性能指标，确保符合要求。配比控制也是供应链管理的重要环节，严格的配比能保证砂浆性能的稳定性和一致性，满足不同工程需求。通过对这些核心属性的把控和管理规范的实施，有助于提高预拌砂浆的质量和应用效果。

（二）工业化生产工艺演进

原材料预处理技术是预拌砂浆工业化生产工艺的重要环节。

其中，砂石分级系统的改进尤为关键。通过改进，能够更精确地控制砂石粒径分布，这对预拌砂浆的质量和性能有显著影响。合理的粒径分布可使砂浆具有更好的工作性和强度，提高其在建筑施工中的适用性。同时，这种改进也带来了管理价值，例如可以优化原材料的利用效率，减少浪费，降低生产成本。更为重要的是，它有助于保证预拌砂浆产品质量的稳定性和一致性，满足建筑工程对材料质量的严格要求，促进预拌砂浆行业的可持续发展^[2]。

二、材料管理体系中的突出问题

（一）供应链协同管理现状

预拌砂浆从生产基地到施工现场的物流调度存在诸多痛点。由于生产与施工环节缺乏紧密协同，导致运输安排不合理，常常

出现延误情况,影响施工进度^[3]。同时,信息化水平不足是一个关键问题。信息传递不及时、不准确,使得供需双方难以准确把握市场动态。生产方无法根据实际需求及时调整产量,施工方也难以确保材料的及时供应,从而导致供需失衡。这不仅增加了成本,还可能造成材料的浪费,对整个建筑项目的顺利进行产生不利影响。

（二）行业标准化建设困境

在材料管理体系中,行业标准化建设面临困境。现行 JG/T 230 标准在智能建造场景下存在适用性短板^[4]。随着建筑行业智能化发展,原标准的部分规定已无法满足新的生产和管理需求。例如,在预拌砂浆的生产和使用过程中,智能设备的应用带来了新的工艺和流程,但标准未能及时更新与之适配。同时,现场加水管控标准缺失带来质量隐患。预拌砂浆的质量对建筑工程至关重要,而现场加水情况缺乏严格规范的标准,易导致砂浆性能改变,影响工程质量,增加后期维护成本和安全风险。

三、绿色发展导向下的管理创新

（一）政策驱动机制研究

1. 建筑废弃物循环利用政策

固体废弃物再生骨料应用指南对预拌砂浆原材料管理提出了革新要求。该指南强调了废弃物循环利用的重要性,促使预拌砂浆行业在原材料选择上更加注重对固体废弃物再生骨料的利用。这不仅有助于减少对天然骨料的依赖,还能有效解决建筑废弃物的处理问题,符合绿色发展的理念。它要求企业在原材料采购、储存和使用过程中,建立严格的质量控制体系,确保再生骨料的质量符合预拌砂浆生产的标准。同时,指南也推动了相关技术的研发和创新,以提高再生骨料在预拌砂浆中的应用性能,进一步促进建筑材料管理的可持续发展^[5]。

2. 碳排放约束体系

碳足迹追踪系统在预拌砂浆全生命周期管理中具有重要应用。该系统可对预拌砂浆从原材料获取到生产、运输、使用及废弃处理的各个阶段进行碳排放监测与分析^[6]。通过精确追踪碳足迹,能明确各环节的碳排放贡献,为制定针对性的减排策略提供依据。例如,在原材料获取阶段,可评估不同原材料的碳排放因子,选择低碳材料;生产阶段,可优化生产工艺以降低能源消耗和碳排放。同时,碳足迹追踪系统有助于企业和监管部门更好地了解预拌砂浆的环境影响,推动行业向绿色低碳方向发展,符合绿色发展导向下的碳排放约束要求。

（二）技术协同发展路径

1. 保水增稠技术创新

新型外加剂体系对预拌砂浆施工性能提升效果显著,但也带来库存管理挑战。就保水增稠技术创新而言,其有助于改善预拌砂浆的工作性能,确保在施工过程中保持适宜的水分,避免水分过快流失而影响施工质量^[7]。通过研发先进的保水增稠剂,能够精准控制砂浆的稠度和保水性,提高其与不同基层的粘结力。同时,在库存管理方面,由于新型外加剂的特殊性,需要更精细的

管理策略。要考虑其保质期、储存条件对性能的影响,建立科学的库存监测与预警系统,确保外加剂质量稳定,从而保障预拌砂浆的施工性能和质量。

2. 工业固废资源化应用

在工业固废资源化应用中,对于钢渣微粉掺合料的质量波动预警机制与管理控制至关重要。应建立科学的监测体系,实时追踪钢渣微粉的各项质量指标,如化学成分、粒度分布等^[8]。通过数据分析预测质量波动趋势,以便及时采取措施。在管理控制方面,要从原材料采购源头抓起,确保钢渣来源稳定且符合要求。生产过程中,严格控制加工工艺参数,保证钢渣微粉的质量一致性。同时,加强对成品的检验检测,防止不合格产品流入市场。只有这样,才能实现钢渣微粉在预拌砂浆等建筑材料中的有效应用,推动工业固废资源化利用的可持续发展。

四、智能化发展趋势与管理变革

（一）数字化生产管控体系

1. 智能配料系统架构

智能配料系统架构对于预拌砂浆的生产至关重要。该架构应包含基于机器视觉的骨料粒径实时监控模块。通过机器视觉技术,能够实时获取骨料粒径的相关信息^[9]。这有助于精确控制配料比例,保证预拌砂浆的质量稳定性。系统可对采集到的数据进行分析处理,及时发现粒径异常情况并作出调整。同时,此模块应与整个智能配料系统的其他部分紧密结合,实现信息共享和协同工作。例如,当监控到骨料粒径不符合要求时,能自动调整配料设备的参数,确保最终产品符合质量标准,提高生产效率和管理水平。

2. 质量追溯区块链应用

随着智能化发展,建筑材料管理尤其是预拌砂浆领域面临变革。构建质量可追溯管理系统成为关键。利用区块链技术,可记录原材料批次、生产工艺参数等详细信息。区块链的分布式账本特性确保数据不可篡改,增强了质量追溯的可信度。在生产过程中,每一个环节的数据都能准确记录并实时上传至区块链。从原材料采购源头,到生产加工的各个步骤,再到成品的出厂检验,所有信息都形成一个完整的链条。这不仅有助于在出现质量问题时快速定位原因,还能满足监管要求,提升企业的质量管理水平,促进预拌砂浆行业的可持续发展^[10]。

（二）智慧物流配送优化

1. 车联网调度平台

在建筑材料预拌砂浆的智慧物流配送优化方面,车联网调度平台发挥着关键作用。该平台可开发智能派单算法管理模型,此模型充分考虑交通状况和施工进度。通过车联网技术获取实时交通信息,包括路况拥堵情况、道路施工信息等,以此为依据合理安排配送路线和时间,避免因交通问题导致的延误。同时,结合施工进度安排派单,确保预拌砂浆能在合适的时间送达施工现场,既不提前过多造成材料积压,也不延迟影响施工进度。这样的智能调度平台有助于提高预拌砂浆配送的效率和准确性,降低

物流成本，实现建筑材料管理的智能化和精细化。

2. 筒仓物联监控系统

随着智能化技术的发展，在建筑材料管理中，筒仓物联监控系统对于预拌砂浆的智慧物流配送优化具有重要意义。该系统可实现对筒仓内物料的实时监测，通过物联网技术将料位、温度、湿度等数据传输至管理平台。管理人员能依据这些数据及时了解物料存储状态，避免因料位不足或物料异常影响生产和配送。同时，系统还具备预警功能，当料位达到设定的临界值时，能自动发出警报，提醒相关人员及时补货。这不仅提高了物流配送的效率，减少了因物料短缺导致的延误，还能优化库存管理，降低成本。通过对筒仓物联监控系统的合理应用和不断优化，可推动预拌砂浆在智慧物流配送方面的发展，提升建筑材料管理的整体水平。

（三）管理标准化建设方向

1. 智能建造配套标准

在智能建造配套标准方面，对于预拌砂浆从建筑材料管理视角需关注3D打印砂浆相关规范。随着智能化发展，3D打印技术在建筑领域逐渐应用，预拌砂浆作为重要材料，其现场施工工艺管理规范需适应这一趋势。要明确3D打印砂浆的性能指标，确保其符合打印要求，包括流动性、凝结时间等。同时，规范施工流程，从打印设备的操作参数设置到打印过程中的环境控制，都应有详细标准。此外，质量检验标准也需建立，对打印后的砂浆结构进行强度、密实度等方面的检测，以保障建筑质量，推动预拌

砂浆在智能建造中的合理应用和发展。

2. 数据互联互通标准

在建筑材料管理中，特别是预拌砂浆领域，建立 ERP 系统与工程 BIM 平台的数据接口管理标准体系至关重要。这一标准体系应确保数据在两个系统间准确、高效地传输。首先要明确数据的格式规范，包括预拌砂浆的各种参数、生产信息、使用部位等数据的统一格式。其次，定义数据传输的频率和时间节点，以保证 BIM 平台能及时获取 ERP 系统中的最新数据，用于施工进度模拟和材料管理优化。再者，建立数据安全和权限管理标准，确保只有授权人员能够访问和修改相关数据，保障数据的完整性和保密性，从而提高建筑材料管理的智能化水平和管理效率。

五、总结

预拌砂浆产业在建筑材料管理视角下呈现出多维度的发展趋势。从产业发展规律来看，其在材料管理方面不断演进。智能制造技术的深度应用将对供应链管理模式产生重大影响，促使其进行重构，以提高效率和降低成本。构建数字孪生管理体系至关重要，它能够为实现精细化管理提供有力支持，通过对物理实体的精确模拟和优化，提升管理的精准度和科学性。同时，人工智能算法在质量预测方面具有广阔的发展前景，能够利用大量数据进行分析 and 预测，提前发现质量问题并采取措施加以解决，从而保障预拌砂浆的质量和性能，推动整个产业的持续健康发展。

参考文献

[1] 史笑. 钛石膏基砂浆性能与应用研究 [D]. 广州大学, 2021.
[2] 杨鑫. 复杂气候条件下温拌胶粉改性沥青砂浆开裂特性研究 [D]. 内蒙古工业大学, 2021.
[3] 张粤. 改性磷石膏在水泥基湿拌砂浆中影响研究 [D]. 贵州大学, 2022.
[4] 庄杰. 供应链视角下建筑材料的联合库存管理研究 ——以 Z 建筑公司为例 [D]. 华南理工大学, 2023.
[5] 高子琛. 预拌流态固化土的路用性能研究 [D]. 长安大学, 2023.
[6] 秦龙, 赵丽. 预拌砂浆的研究现状及发展趋势 [J]. 建材技术与应用, 2021(4): 22-24.
[7] 刘大强, 苏永平. 新乡市预拌砂浆企业发展探讨 [J]. 河南建材, 2021(3): 110-111.
[8] 张焯. 预拌砂浆检测技术研究 [J]. 建筑技术开发, 2021, 48(2): 49-50.
[9] 张振. 预拌砂浆推广应用之我见 [J]. 散装水泥, 2022(3): 10-12.
[10] 张振. 预拌砂浆推广应用之我见 [J]. 散装水泥, 2022(4): 16-18.

建筑工程中房建市政监理的创新发展路径探讨

周安辉

身份证号: 432423197306018175

DOI:10.61369/UAID.2025020013

摘 要： 我国房建市政监理制度在法规、监管、组织等方面具有鲜明的特点。随着发展，智慧监理技术应用，将面临一些问题。项目全面质量管理等理论提供思路，监理向全过程咨询服务转变将变得更有价值。本文还探讨了双轨制改革、信用评级与保险协同等，强调创新发展需构建三维体系及全要素模式。

关 键 词： 房建市政监理；创新发展；制度技术人才

Discussion on the Innovation and Development Path of Housing and Municipal Supervision in Construction Engineering

Zhou Anhui

ID: 432423197306018175

Abstract： The supervision system for housing and municipal construction in our country has distinct features in terms of regulations, supervision, and organization. As the industry evolves, the application of smart supervision technology presents several challenges. The theories of total quality management offer valuable insights, and the shift towards comprehensive consulting services is valuable. Additionally, the paper explores reforms under a dual-track system, credit rating, and insurance coordination, emphasizing that innovative development requires the establishment of a three-dimensional system and a comprehensive model.

Keywords： housing and municipal construction supervision; innovative development; system and technical talent

引言

随着建筑行业的不断发展，建筑工程房建市政监理的创新发展日益重要。2020年发布的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》强调了创新发展的重要性。我国房建市政监理制度体系在法规标准、监管模式及组织结构方面有自身特点，但面临信息技术发展带来的新机遇与挑战。智慧监理技术逐渐应用，同时全面质量管理理论和项目生命周期管理理论为监理创新提供思路。全过程工程咨询服务转型价值凸显，新型监理体系构建及相关协同机制建立也至关重要，这一系列发展都需要构建创新体系和模式以提升监管效能。

一、房建市政监理行业发展现状分析

（一）现行监理制度体系架构

我国房建市政监理制度体系在法规标准、监管模式及组织结构方面具有自身特征。在法规标准上，已形成一系列规范监理活动的法律法规及行业标准，如《建设工程监理规范》等，对监理工作的职责、流程等作出规定^[1]。监管模式上，采取政府监管与行业自律相结合的方式。政府相关部门对监理企业及人员资质、监理行为进行监督管理，同时行业协会发挥自律作用，促进监理行业规范发展。组织结构方面，监理企业通常设有不同层级和部门，包括总监理工程师、专业监理工程师等岗位，以确保监理工作的有效开展，不同层级和岗位之间分工明确，共同构成一个相

对完整的监理组织体系。

（二）智慧监理技术应用现状

随着信息技术的飞速发展，智慧监理技术在房建市政监理行业逐渐得到应用。BIM技术通过构建三维信息模型，为项目各参与方提供了可视化的协同工作平台，在工程质量控制和进度管理方面发挥了重要作用，但在数据更新的及时性和模型与实际施工的一致性方面存在痛点^[2]。物联网技术实现了对施工现场设备、材料和人员的实时监控，提高了安全管理的效率，但传感器的稳定性和数据传输的准确性仍需进一步提高。同时，大数据和人工智能技术也开始在监理行业崭露头角，为风险预测和决策支持提供了新的手段，但面临着数据质量和算法适应性等问题。

二、监理创新发展的理论基础

（一）工程管理创新理论依据

全面质量管理理论强调全员参与、全过程控制以及持续改进，为监理创新发展提供了重要的质量管控思路。它促使监理从传统的事后检验向全过程质量监督转变，关注每一个环节的质量因素，通过预防措施减少质量问题的发生^[3]。项目生命周期管理理论则涵盖项目从启动到结束的各个阶段，监理可依据此理论对工程建设的不同阶段进行针对性管理。在项目前期，协助进行规划和可行性研究；在实施阶段，严格把控进度、质量和成本；在收尾阶段，做好验收和总结工作，从而实现了对工程建设的全生命周期监理，确保项目顺利进行。

（二）监理职能定位转变需求

随着建筑行业的发展，单一的质量监管已难以满足市场需求。全过程工程咨询服务涵盖项目的全生命周期，从前期策划到后期运营维护，能提供更全面、系统的服务。这种转型具有重要价值，它有助于整合资源，提高项目的整体效率和效益^[4]。监理职能向全过程工程咨询服务转变，可更好地协调各参与方的工作，避免信息孤岛和重复劳动。同时，能从更宏观的角度把控项目质量、进度和成本，确保项目目标的实现。这不仅符合建筑市场专业化、精细化发展的趋势，也能为业主提供更高质量的服务，增强企业的市场竞争力。

三、监理创新发展核心路径

（一）制度创新维度

1. 新型监理体系构建

在新型监理体系构建中，可考虑政府监管与市场服务分离的双轨制改革方案^[5]。政府应强化对监理行业的宏观监管职能，制定严格的行业准入标准和规范，确保监理企业具备相应的资质和能力。同时，加强对监理市场的监督，规范市场竞争秩序，打击不正当竞争行为。在市场服务方面，鼓励监理企业创新服务模式，提供多元化的监理服务产品。例如，除了传统的施工阶段监理，可拓展到项目前期的策划咨询、设计阶段的监理服务等。此外，建立监理行业信用评价体系，对监理企业和从业人员的信用进行动态评价和管理，激励企业提高服务质量和诚信水平，促进监理行业的健康发展。

2. 权责利对等机制

建立监理单位信用评级与执业责任保险协同机制，是实现权责利对等的重要路径。监理单位的信用评级应综合考虑其业务水平、服务质量、职业道德等多方面因素。通过建立科学合理的信用评级体系，对监理单位进行客观公正的评价，并将评价结果向社会公开，使市场能够对监理单位进行有效的监督和选择。同时，引入执业责任保险制度，要求监理单位购买相应的保险。当监理单位因自身过错导致工程出现问题时，由保险公司承担相应的赔偿责任。这不仅可以保障业主的合法权益，也可以降低监理单位的经营风险。信用评级与执业责任保险协同作用，能够促使

监理单位更加注重自身的权责利平衡，提高监理服务的质量和水平^[6]。

（二）技术创新维度

1. 智慧工地集成应用

开发基于数字孪生的施工过程实时监控系统是智慧工地集成应用的关键。数字孪生技术可创建与物理实体高度相似的虚拟模型，在建筑工程中，通过传感器等设备采集施工过程中的各类数据，如结构变形、设备运行状态等，并传输至虚拟模型中进行实时映射和分析。这不仅能让监理人员直观了解施工进度和潜在问题，还可实现对施工质量和安全的精准把控。同时，借助数据分析和人工智能算法，对施工过程中的风险进行预测和预警，提前采取措施避免事故发生，为建筑工程的顺利进行提供有力保障^[7]。

2. 大数据预警平台

在建筑工程房建市政监理的创新发展中，大数据预警平台的构建至关重要。通过整合工程中的各类数据，包括施工过程数据、材料质量数据等，利用先进的数据挖掘和分析技术，建立质量安全隐患智能识别与预警模型^[8]。该模型能够实时监测工程进展，对潜在的质量和安全隐患进行提前预警。例如，对施工工艺不符合标准、材料性能不达标等情况及时发出警示，以便监理人员采取相应措施。同时，大数据预警平台还可实现对历史数据的分析，为后续工程提供经验参考，不断优化监理策略，提高监理工作的效率和准确性，保障建筑工程的质量和安

四、创新路径实施保障体系

（一）数字化转型路径

1. BIM协同平台建设

为保障BIM协同平台建设，需制定统一数据标准与多方协同工作机制。统一数据标准是实现各参与方信息有效传递和共享的基础，它规范了数据的格式、编码和定义等，确保不同软件和系统之间的数据兼容性和一致性，避免因数据差异导致的信息误解和工作延误^[9]。多方协同工作机制则强调各参与主体之间的紧密协作，包括建设单位、设计单位、施工单位和监理单位等。通过建立有效的沟通渠道、明确各方职责和权限，以及制定协同工作流程，促进各方在BIM平台上高效协同工作，实现信息实时共享和交互，提高项目的整体管理效率和质量。

2. 物联网终端布局

优化传感器网络部署方案是物联网终端布局的关键。需综合考虑建筑工程现场环境，如空间结构、干扰因素等，合理确定传感器位置与数量，以确保全面准确采集数据^[10]。同时，要建立严格的数据采集规范，明确采集频率、精度要求等。对于不同类型的传感器，应根据其特性制定相应的采集标准，保证数据的一致性和可比性。这不仅有助于提高监理工作的效率和质量，还能为建筑工程的数字化转型提供可靠的数据支持。

（二）人才保障机制

1. 复合型监理人才培养

建立智能建造技术与管理双重能力培训体系是复合型监理人

人才培养的关键。这需要整合高校、企业和行业协会的资源。高校应调整课程设置,增加智能建造相关课程,如BIM技术、物联网在建筑中的应用等,为学生奠定技术基础。企业需提供实践平台,让监理人员参与实际项目,积累经验,特别是在智能建造技术应用方面,如施工现场的智能监控系统使用。行业协会则要制定统一的培训标准和考核机制,确保培训质量。通过三方协同,培养出既懂技术又懂管理的复合型监理人才,以适应建筑工程中房建市政监理的创新发展需求。

2. 职业发展通道设计

为完善专业监理工程师向全过程咨询师转型的职业发展通道,需建立有效的人才保障机制。在建筑工程领域,企业应根据房建市政监理的业务特点和市场需求,制定针对性的职业技能培训计划。培训内容不仅要涵盖传统监理业务知识,还应包括全过程咨询服务所需的项目管理、成本控制、风险管理等多方面知识。同时,建立合理的绩效考核与激励机制,对积极参与转型学习且表现优秀的工程师给予物质和精神奖励,激发其提升自身能力的积极性。鼓励工程师参与实际项目中的全过程咨询服务实践,积累经验,为其职业发展提供更多机会和空间,从而保障创新发展路径的人才供给。

(三) 政策保障体系

1. 行业标准更新机制

建筑工程领域不断发展,新技术层出不穷,因此需要建立行业标准更新机制来推动监理规程与新技术应用的动态适配。政府应出台相关政策,鼓励行业协会和企业积极参与标准制定工作。行业协会要发挥桥梁和纽带作用,组织专家和企业代表对新技术进行研究和评估,及时提出标准更新的建议。企业作为标准实施

的主体,要积极反馈新技术应用过程中遇到的问题和需求。同时,要建立标准更新的快速通道,简化流程,提高效率,确保标准能够及时反映行业的最新发展动态,为房建市政监理的创新发展提供有力的保障。

2. 法律风险防范体系

政策保障体系方面,政府应出台相关政策鼓励建筑工程房建市政监理的创新发展。例如,对采用创新监理技术和方法的企业给予财政补贴或税收优惠,引导企业积极投入创新实践。同时,制定行业标准和规范,确保创新发展在合理的框架内进行。

法律风险防范体系至关重要。随着科技发展,电子取证、数据隐私等新型法律问题逐渐凸显。应完善相关法律法规,明确电子证据的法律效力和获取程序,保障数据隐私安全。建立法律风险预警机制,及时发现潜在法律风险并提供应对策略。此外,加强对监理人员的法律培训,提高其法律意识和风险防范能力,确保在创新发展过程中合法合规。

五、总结

建筑工程中房建市政监理的创新发展至关重要。构建制度-技术-人才三维创新体系以及建立全要素数字化监理模式是关键路径。通过这些创新举措,能有效提升市政工程质量监管效能。在制度方面,规范监理流程与标准;技术上,利用数字化手段实现精准监管;人才培养则为创新提供智力支持。同时,要认识到这是一个持续探索的过程。未来需在智慧监理标准国际化以及人工智能深度应用等方面不断努力,以适应建筑行业的发展需求,推动房建市政监理工作朝着更加科学、高效、智能的方向发展。

参考文献

- [1]王君妍.群众史观视域下中国基层社会治理体系创新发展路径探析[D].首都经济贸易大学,2022.
- [2]耿德强.专利驱动高技术产业创新发展机理及路径研究[D].武汉理工大学,2021.
- [3]杨子.心理援助活动中客体的拓展与创新发展[D].华中师范大学,2021.
- [4]刘伟.蚌埠市政府扶持生物基新材料产业发展存在的问题和对策研究[D].安徽财经大学,2021.
- [5]蔡凯凯.高新区创新发展能力综合评价研究[D].天津大学,2022.
- [6]陈祖雄.房建市政设计企业转型发展的思考[J].中国勘察设计,2023(6):69-73.
- [7]卢亚婷.关于江苏推动创新发展的路径探讨[J].经济师,2023(5):134,137.
- [8]张震涛.建盏的创新发展研究[J].陶瓷科学与艺术,2022,56(5):18-19.
- [9]周岐辉.建盏艺术在传承中走向创新发展之路研究[J].陶瓷,2021(5):159-160.
- [10]韩林仲.建筑工程管理现状及创新发展策略探讨[J].砖瓦,2021(9):105-106.

3D 打印混凝土结构的受力性能及设计参数研究

林佳森

广东省电信规划设计院有限公司, 广东 广州 510630

DOI:10.61369/UAID.2025020016

摘 要 : 本文聚焦 3D 打印混凝土结构的受力性能及设计参数, 系统分析了 3D 打印混凝土结构在轴心受压、偏心受压、受弯及受剪状态下的受力性能, 揭示了层间界面薄弱性、各向异性等特性对结构破坏形态、承载能力及变形性能的影响, 并探讨了数值模拟方法在受力分析中的应用。深入研究了关键设计参数的作用机制, 包括打印路径 (类型、间距、方向)、打印几何参数 (层厚、宽度、截面尺寸) 及材料与工艺参数 (配合比、挤出速度、环境温度湿度等), 阐明了各参数对结构整体性、力学性能及打印稳定性的影响规律。针对 3D 打印混凝土结构的特殊性, 评估了现有混凝土设计规范的适用性并提出修正建议, 构建了基于性能的设计框架, 从材料、结构、工艺多层面提出优化策略, 以实现结构安全、高效、经济的设计目标。研究旨在为其工程应用提供理论支撑与设计依据, 为 3D 打印混凝土结构的理论研究与工程实践提供重要参考。

关 键 词 : 3D 打印混凝土; 受力性能; 设计参数; 各向异性

Research on Mechanical Properties and Design Parameters of 3D Printed Concrete Structures

Lin Jiasen

Guangdong Telecom Planning and Designing Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510630

Abstract : This paper focuses on the mechanical properties and design parameters of 3D printed concrete structures. It systematically analyzes the mechanical behavior of 3D printed concrete structures under axial compression, eccentric compression, bending, and shear conditions. The study reveals the influence of interlayer interface weakness and anisotropy on structural failure modes, load-bearing capacity, and deformation performance. Additionally, it explores the application of numerical simulation methods in force analysis. The paper conducts an in-depth investigation into the mechanisms of key design parameters, including printing path (type, spacing, direction), printing geometric parameters (layer thickness, width, cross-sectional dimensions), and material and process parameters (mix ratio, extrusion speed, ambient temperature and humidity, etc.). It elucidates the influence of these parameters on structural integrity, mechanical properties, and printing stability. Considering the uniqueness of 3D printed concrete structures, the paper evaluates the applicability of existing concrete design codes and proposes amendments. A performance-based design framework is established, incorporating optimization strategies at the material, structural, and process levels to achieve safe, efficient, and economical design objectives. The research aims to provide theoretical support and design basis for the engineering application of 3D printed concrete structures, serving as a valuable reference for both theoretical studies and engineering practices in this field.

Keywords : 3D printed concrete; mechanical properties; design parameters; anisotropy

引言

与传统浇筑混凝土相比, 3D 打印混凝土因独特的层状堆积工艺, 其内部形成了大量层间界面, 导致结构呈现明显的各向异性和非均质性, 这使得其受力性能与传统混凝土存在显著差异。现有混凝土结构设计规范基于传统浇筑工艺制定, 未充分考虑 3D 打印混凝土的特殊性, 直接套用可能引发设计安全隐患或造成材料浪费。在此背景下, 深入研究 3D 打印混凝土结构的受力性能及设计参数, 揭示其内在规律, 建立适配的设计方法与优化策略, 对于推动该技术的工程化应用具有重要的理论与实践意义。本文聚焦 3D 打印混凝土结构的受力特性与设计参数, 通过分析不同受力状态下的性能表现, 探究关键设计参数的影响机制, 并提出针对性的设计优化方案, 旨在为 3D 打印混凝土结构的安全设计与高效建造提供科学依据。

一、3D 打印混凝土结构受力性能分析与数值模拟

（一）轴心受压性能分析

3D 打印混凝土的力学性能主要包括抗压强度、抗拉强度、抗折强度。抗压强度反应材料在受到压力作用时，抵抗变形的能力。目前，混凝土材料在使用中主要受到压应力作用，因此抗压强度是混凝土的重要力学性能指标之一^[1]。3D 打印混凝土结构在轴心受压时，其受力性能与传统浇筑混凝土结构存在明显差异。由于 3D 打印的层层堆积工艺，结构内部会形成独特的界面过渡区，这些界面在轴心压力作用下往往成为薄弱环节。从试验研究来看，轴心受压时 3D 打印混凝土结构的破坏形态多呈现出沿打印层间界面的开裂和剥离。这是因为打印过程中，新浇筑的混凝土层与已硬化的基层之间的粘结强度相对较低，在压力作用下容易首先发生破坏^[2]。打印路径的不同也会对轴心受压性能产生影响，例如环向打印和纵向打印的结构在抗压强度和变形能力上会有一定差异。在力学性能指标方面，3D 打印混凝土结构的轴心抗压强度通常低于同配合比的传统浇筑混凝土。这主要是由于打印过程中引入的气泡以及层间粘结不充分等因素导致的。同时其弹性模量也会受到打印参数的影响，如打印速度、层厚等，合理的参数设置能够在一定程度上提高结构的弹性性能。

（二）偏心受压性能分析

偏心受压状态下，3D 打印混凝土结构的受力更为复杂。结构不仅受到轴向压力，还受到弯矩的作用，这使得截面不同位置的应力分布不均匀^[3]。当偏心距较小时，结构截面大部分处于受压状态，此时层间界面的粘结性能仍然是影响结构受力的关键。随着偏心距的增大，截面受拉区逐渐扩大，受拉区的混凝土容易出现开裂，进而影响结构的整体承载能力。研究发现，3D 打印混凝土结构在偏心受压时的极限承载力会随着偏心距的增大而降低，并且由于打印方向的各向异性，在不同方向上的偏心受压性能也存在差异^[4]。例如当偏心方向与打印层方向一致时，结构的受拉区更容易发生破坏，承载能力相对较低。

（三）受弯性能分析

3D 打印混凝土结构在受弯时，其受力过程主要包括弹性阶段、开裂阶段和破坏阶段。在弹性阶段，结构的变形与荷载呈线性关系，应力分布较为均匀。当荷载达到一定程度时，受拉区的混凝土首先出现裂缝，进入开裂阶段，此时裂缝多沿打印层间界面开展，这是因为层间粘结强度较低，难以承受拉应力。随着荷载的继续增加，裂缝不断扩展，结构进入破坏阶段。受弯破坏形态主要有正截面受弯破坏和斜截面受剪破坏^[5]。对于正截面受弯破坏，当受拉区的混凝土被拉断或受拉钢筋屈服时，结构发生破坏；而斜截面受剪破坏则是由于截面受到的剪力过大，导致混凝土被剪断。3D 打印混凝土结构的受弯承载力受到多种因素的影响，如打印层厚、打印方向、混凝土强度等。合理设计打印参数，优化结构的截面形式，能够有效提高其受弯性能。

（四）受剪性能分析

受剪性能是 3D 打印混凝土结构受力性能的重要组成部分，在受剪作用下，结构内部会产生剪应力，当剪应力超过混凝土的抗

剪强度时，结构就会发生剪切破坏。3D 打印混凝土结构的受剪破坏形态与传统混凝土结构有所不同，由于层间界面的存在，剪切破坏多沿层间界面发生，表现为层间的相对滑移和错动^[6]。这使得其受剪承载力相对较低，需要采取相应的措施进行加强。影响 3D 打印混凝土结构受剪性能的因素主要有剪跨比、打印方向、配纤率等，剪跨比越大，结构的受剪承载力越低；合理选择打印方向，使打印层方向与剪力方向垂直，能够提高结构的抗剪能力；在混凝土中掺入适量的纤维，能够有效改善层间粘结性能，提高受剪承载力。

二、3D 打印混凝土关键设计参数研究

（一）打印路径设计参数的影响

打印路径设计是 3D 打印混凝土成型基础，决定材料堆积与分布，直接影响结构整体性、力学性能及打印效率，其核心参数包括路径类型、路径间距和打印方向。路径类型中，直线型操作简单、效率高，适用于大面积平面构件，但拐角易应力集中；环形路径使材料分布更均匀，减少应力集中，适用于圆形或弧形构件；螺旋型路径在复杂曲面构件打印中具优势，能保证曲面光滑连续。不同路径类型会影响结构内部材料纤维分布和层间搭接，进而改变抗压、抗折等力学性能。路径间距关乎材料堆积密度和层间粘结质量，过小易溢料，影响精度；过大则层间有空隙，降低结构整体性和密实度，削弱力学性能。保持最优间距范围，可使结构获较好力学性能和打印质量^[7]。打印方向对结构各向异性影响大，与受力方向一致时，材料纤维分布和层间粘结利于力的传递，力学性能较好；与受力方向垂直时，层间界面成薄弱环节，力学性能可能明显下降。故需依结构受力特点选打印方向，以充分发挥材料性能。

（二）打印几何参数的影响

打印几何参数主要包括打印层厚、打印宽度、构件截面尺寸等，它们决定结构外形，对力学性能和打印稳定性影响重大。打印层厚是影响打印效率和结构性能的关键，较小层厚可提高精度、表面质量及层间粘结面积，利于提升结构整体性和力学性能，但会降低效率、增加成本；较大层厚能提高效率，却可能导致层间粘结不足、出现分层，削弱力学性能，需在精度、性能与效率间权衡确定^[8]。打印宽度与喷头尺寸、材料流动性、挤出压力等相关，其一致性对结构质量很重要，不均匀会导致表面不平整、内部应力不均，影响力学性能。构件截面尺寸直接影响结构承载能力和稳定性，相同条件下尺寸越大承载能力通常越高，但会增加材料用量和打印时间，设计时还需考虑打印稳定性，过大可能导致变形或坍塌。

（三）材料与工艺参数的影响

材料与工艺参数是影响 3D 打印混凝土性能的核心，直接决定其可打印性、力学性能和耐久性，材料参数包含水泥用量、骨料级配、水胶比、外加剂种类及掺量等。水泥用量在一定范围内增加可提高强度，但会加大水化热和收缩开裂风险；合理骨料级配能提升密实度、流动性和力学性能；水胶比过大易致泌水离析，

过小则流动性不足，均影响打印和力学性能；外加剂可改善工作性、调节凝结时间等，需依材料和工艺选种类与掺量^[9]。工艺参数包括挤出速度、打印速度、喷头高度、环境温湿度等，挤出与打印速度需匹配，否则易出现材料堆积过多或断料；喷头高度影响粘结效果和精度，过高或过低均有弊端；环境温湿度影响凝结硬化，温度过高或湿度过低会加快凝结影响层间粘结，反之则延缓凝结影响打印稳定性。材料与工艺参数相互作用复杂，需经大量试验优化，确定合理组合以满足工程性能要求。

三、面向3D打印混凝土结构的设计方法与优化策略

（一）现有混凝土设计规范的适用性评估与修正

现有混凝土结构设计规范（如 GB 50010、ACI 318 等）基于传统浇筑混凝土制定，对 3D 打印混凝土结构的适用性需全面评估并修正。材料性能上，现有规范假定混凝土匀质、各向同性，而 3D 打印混凝土因层间界面和打印路径呈明显各向异性、非匀质性，力学性能方向差异显著，直接套用规范取值可能导致设计不安全或不经济。结构计算方面，现有规范构件承载力计算公式基于传统混凝土受力机理，3D 打印混凝土结构受力时，层间界面粘结滑移、力学性能各向异性等会改变内力分布和破坏模式，使公式适用性受限，比如受剪计算中，层间界面抗剪能力可能成控制因素，规范未考虑。对此需修正规范，材料性能取值考虑各向异性，依打印方向和层间粘结质量确定参数；结构计算引入层间界面受力模型，修正承载力计算公式；补充构造要求规定，如打印层厚、路径间距限制及层间粘结增强措施等，保障结构整体性和耐久性。

（二）基于性能的3D打印混凝土结构设计框架

基于性能的设计方法以结构在设计使用年限内满足预期性能目标为核心，能更好适应 3D 打印混凝土结构特点，提供科学合理指导。框架先明确性能目标，含安全性、适用性、耐久性等，依据结构重要性、使用环境和功能要求，确定不同性能等级指标，如最大允许挠度、裂缝宽度限值、承载力安全系数等^[10]。接着进行方案设计与参数选择，结合 3D 打印特点选材料、打印路径、几何及工艺参数，初定结构布置和截面形式；利用数值模拟分析不同荷载下受力性能，预测是否达标。然后是性能验证与优化，通过试验或精细数值模拟验证实际性能，不达标则调整设计参数（如改打印路径、优化材料配合比），重新设计分析至达标。此

外，框架还包括全生命周期性能评估，在设计使用年限内，考虑材料退化、环境影响等，定期评估预测结构性能，制定维护加固策略，确保始终满足要求。

（三）结构优化设计的策略

3D 打印混凝土结构的优化设计需发挥其成型灵活、材料分布可控的优势，从材料、结构和工艺多层面提升性能、节约资源。材料优化上，按结构受力和性能要求定制材料，调整水泥用量、骨料级配等参数，让不同部位材料性能不同，如受拉区用纤维增强混凝土，受压区用高强度混凝土；还可实现材料梯度分布，减少贵重材料使用，提高利用效率。结构形式优化方面，利用 3D 打印能造复杂造型的特点，采用变截面构件、空腹结构等合理形式，使内力分布更均匀，如受弯构件截面高度随弯矩变化；通过拓扑优化确定最优材料分布，提升经济性和力学性能。工艺参数优化上，调整打印路径、层厚等参数改善层间粘结和力学性能，如交错路径增加层间接触面积，合理控制层厚和挤出速度保证材料均匀堆积；优化打印顺序减少变形和应力集中，提高施工质量。3D 打印混凝土结构设计需综合材料特性、工艺特点和受力行为，通过修正规范、建立基于性能的设计框架及多层面优化，实现安全、高效、经济设计。

四、结束语

3D 打印混凝土技术的成型优势与工程价值已获认可，但结构受力复杂性及设计参数关联性仍是规模化应用的核心瓶颈。本文研究明确了层间界面效应、各向异性对其受压、受弯、受剪性能的主导作用，揭示了打印路径、几何及材料工艺参数对力学性能与成型质量的影响规律，并提出适配的设计规范修正建议、性能化框架及优化策略，为技术安全应用提供支撑。当前研究仍面临层间界面微观机理、长期及极端环境下性能演化认知不足，设计参数多目标优化与智能调控待完善，整体结构体系受力协同性及抗震性能研究较薄弱的问题。未来可围绕结合微观测试与数值模拟构建层间界面力学模型，揭示长期性能与环境作用耦合机制；开发基于机器学习的参数优化算法，实现设计参数自适应调控与预测；加强整体结构体系试验与理论分析，完善设计及验收标准三方面进行研究。随着研究深入，该技术将推动建筑行业向更高效、绿色、智能方向发展。

参考文献

- [1] 沈瞳. 碳纤维增强3D打印混凝土拱结构受力性能研究 [D]. 湖南：长沙理工大学，2022.
- [2] 刘超，王有强，刘化威，等. 基于打印参数影响的3D打印混凝土力学性能试验研究 [J]. 材料导报，2023，37(1):80-86. DOI:10.11896/cldb.21110276.
- [3] 王可为. 3D打印混凝土拱壳结构受力性能研究 [D]. 河南：河南大学，2023.
- [4] 许光远. 3D打印树脂骨料混凝土的设计与性能研究 [D]. 江苏：东南大学，2020.
- [5] 史庆轩，万胜木，王秋维，等. 喷嘴行进速度及高度对3D打印混凝土力学性能影响的试验 [J]. 复合材料学报，2023，40(4):2273-2284. DOI:10.13801/j.cnki.fhclxb.20220607.001.
- [6] 陈杰. 钢丝绳增强3D打印混凝土梁受力性能试验研究 [D]. 浙江：浙江大学，2020.
- [7] 陈雄姿. 混凝土3D打印构件成型精度及力学性能研究 [D]. 河北：河北科技大学，2022.
- [8] 万胜木. 3D打印混凝土建造性能及其基本力学性能研究 [D]. 陕西：西安建筑科技大学，2022.
- [9] 陶璟泓. 3D打印建筑结构力学性能试验与理论分析 [D]. 上海：同济大学，2020.
- [10] 张鹏. 混凝土3D打印墙体受压性能试验研究 [D]. 江苏：东南大学，2020.

复掺聚丙烯纤维和聚乙醇纤维对泡沫混凝土性能的影响

王俊旭, 王瑞鹏, 王亮, 黄家琪

西南林业大学土木工程学院, 云南 昆明 650224

DOI:10.61369/UAID.2025020017

摘 要 : 研究以普通硅酸盐水泥为基体材料, 复掺掺入比 (聚丙烯纤维: 聚乙醇纤维) 为 1:1 的聚丙烯纤维和聚乙醇纤维为掺杂相, 制备不同纤维掺量的泡沫混凝土, 分析复掺聚丙烯纤维和聚乙醇纤维对泡沫混凝土干密度、吸水性、力学性能及软化系数的影响。研究表明: 加入适量的聚丙烯纤维和聚乙醇纤维可以改善泡沫混凝土的抗拉强度及抗折强度, 并且能有效降低干密度和吸水性, 随着纤维体积分数的增加软化系数有显著的提升。纤维体积分数为 5% 时泡沫混凝土的抗压强度达到最大 1.63MPa, 同时兼具较佳的抗折强度、吸水性、干密度及耐水性能。

关 键 词 : 聚丙烯纤维; 聚乙醇纤维; 泡沫混凝土; 力学性能; 吸水性; 软化系数

Effects of the Combined Incorporation of Polypropylene Fibers and Polyethanol Fibers on the Properties of Foam Concrete

Wang Junxu, Wang Ruipeng, Wang Liang, Huang Jiaqi

School of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224

Abstract : Research indicates that adding an appropriate amount of polypropylene fibers and polyethanol fibers can improve the tensile and flexural strength of foam concrete, effectively reduce its dry density and water absorption, and significantly increase its softening coefficient as the fiber volume fraction rises. When the fiber volume fraction reaches 5%, the foam concrete achieves its maximum compressive strength of 1.63 MPa, while also exhibiting favorable flexural strength, water absorption, dry density, and water-resistance performance.

Keywords : polypropylene fibers; polyethanol fibers; foam concrete; mechanical properties; water absorption; softening coefficient

引言

泡沫混凝土, 作为一种轻质、高性能的建筑材料, 因其优异的隔热、隔音、抗压和抗震性能, 在建筑、桥梁以及隧道等多个领域得到了广泛应用^[1-5]。其主要特点是密度低、导热性差、保温性好, 但传统泡沫混凝土在抗裂性、强度等方面常存在一定的局限。近年来, 为了提升泡沫混凝土的综合性能, 研究人员对泡沫混凝土的增强改性进行了广泛的探索。

纤维掺加是增强泡沫混凝土性能的重要手段之一^[6]。常见的增强纤维有钢纤维、玻璃纤维、聚丙烯 (PP) 纤维和聚乙醇 (PVA) 纤维等, 其中聚丙烯纤维因其较高的抗拉强度、良好的抗冲击性能和较低的成本, 已成为泡沫混凝土中常用的增强材料^[7-10]。张雪松^[11]等发现当聚丙烯纤维掺量为 0.3% 时, 可显著地提高泡沫混凝土的力学性能。任大鹏^[12]等研究聚丙烯纤维掺杂量对泡沫混凝土力学性能、收缩性能、抗蚀性能的影响。结果表明, 适量聚丙烯纤维的掺入有效抑制了泡沫混凝土的开裂和收缩, 提升了其导热性能和抗蚀性能。PP 纤维的加入可有效改善混凝土的抗裂性、提高抗冲击能力, 并在一定程度上提高泡沫混凝土的工作性与耐久性。

本研究旨在探讨掺入比 (PP 纤维: PVA 纤维) 为 1:1 复掺聚丙烯纤维和聚乙醇纤维对泡沫混凝土的力学性能、抗裂性能以及耐久性的影响, 通过对不同掺量及纤维形式的实验分析, 阐明复合纤维的协同作用机制, 以期对泡沫混凝土的性能优化提供理论依据和实践指导。

作者简介:

王俊旭 (2000.01—), 男, 汉族, 贵州六盘水人, 西南林业大学土木工程学院, 23 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 道路与桥梁;

王瑞鹏 (1999.02—), 男, 汉族, 云南大理人, 西南林业大学土木工程学院, 23 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 道路与桥梁;

王亮 (1998.12—), 男, 汉族, 云南昭通人, 西南林业大学土木工程学院, 23 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 道路与桥梁;

黄家琪 (2000.09—), 男, 汉族, 河南信阳人, 西南林业大学土木工程学院, 23 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 道路与桥梁。

一、实验

（一）原材料

（1）水泥：42.5级普通硅酸盐水泥，其各项性能指标均符合GB175-2007《通用硅酸盐水泥》标准。

（2）发泡剂：四川凯宏环科有限公司生产的KH-1732复合植物蛋白型发泡剂。

（3）聚丙烯纤维：泰安智容工程材料有限公司生产有关性能见表2。

（4）聚乙醇纤维：由重庆某公司生产有关性能见表3。

（5）水：实验室普通水。

表1聚乙醇纤维的物理性能

直径 / μ m	抗拉强度 / MPa	弹性模量 / GPa	断裂伸长 率 /%	长度 / mm	密度 / (g/cm ³)
1 5	1 8 3 0	4 0	7	1 2	1 . 2 9

表2聚丙烯纤维的物理性能

抗拉强度 /MPa	弹性模量 /GPa	断裂伸长 率 /%	长度 /mm	密度 / (g/cm ³)	燃点 /℃
1 8 3 0	≥ 3 8	2 3	1 2	0 . 9 1	1 5

（二）泡沫混凝土的性能测试

依据GB/T 11969-2008《蒸压加气混凝土性能试验方法》规范对不同纤维含量的泡沫混凝土的力学性能、干密度、吸水率、软化系数等性能进行测定。

抗压、干密度、吸水率、软化系数等性能选用尺寸为100 mm×100 mm×100 mm的立方体试样，抗折强度测试选用100 mm×100 mm×400 mm的长方体试样。

二、实验结果及分析

（一）抗压强度实验结果与分析

图1为复掺聚丙烯和聚乙醇纤维对泡沫混凝土不同时间抗压强度的影响

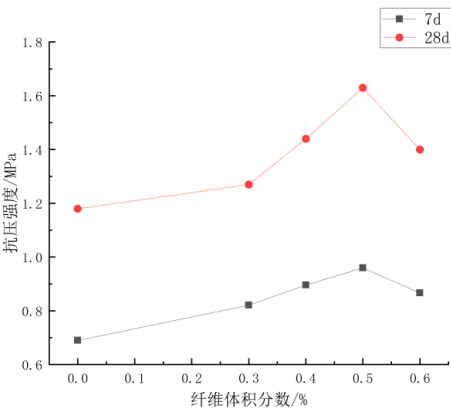


图1 抗压强度

从图1可以看出随着PP纤维和PVA纤维用量的增加，泡沫混凝土在7天、28天抗压强度变化趋势大致相同，先有一定程度增大，又有所降低。在纤维体积分数为5%时抗压强度达到最大值1.63，比未添加聚丙烯纤维和聚乙醇纤维的时间强度提高38%。主要是应为加入适量的PP纤维和PVA纤维能在泡沫混凝土内部形

成了比较牢固的三维网状结构，从而增加破坏时的能量消耗，使得其抗压强度提高。继续加入PP纤维和PVA纤维，泡沫混凝土的强度降低，主要是由于过量的PP纤维和PVA纤维在泡沫混凝土内部出现团聚，团聚的部位比较容易出现较大的孔隙，从而降低试件的抗压强度。

（二）抗折强度实验结果与分析

图2为复掺1：1比例的PP和PVA纤维对泡沫混凝土不同时间抗折强度的影响

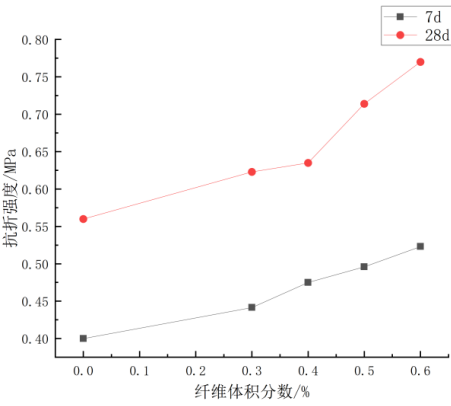


图2 抗折强度

从图2可以看出，随着复掺PP和PVA纤维的体积分数的增加，养护28天之后，复掺PP和PVA纤维体积分数为0、3%、4%、5%和6%时，泡沫混凝土的抗折强度依次为0.56、0.62、0.64、0.71和0.77MPa，在PP和PVA纤维的体积分数为6%时，抗折强度达到最大值，相比未添加PP和PVA纤维的试件提高了38%，其变化趋势呈现持续增高。分析认为PVA纤维具有较好的拉伸性能，可以在混凝土中形成桥架的作用。当基体出现裂缝时，纤维能有效阻止裂缝的扩展，并将裂缝两侧的应力传递开，从而延缓裂缝的扩展和避免脆性破坏。PP纤维能在混凝土内部形成网状结构，它通过微小的滑移和摩擦拉脱机制，消耗裂缝扩展的能量，使破坏过程变得更为柔韧。故按照1:1比例复掺PP和PVA纤维在泡沫混凝土中可显著增强泡沫混凝土的抗折强度。

（三）软化系数实验结果与分析

图3为复掺1:1比例的PP和PVA纤维养护28 d后纤维泡沫混凝土的软化系数。软化系数可以较好的体现反映出泡沫混凝土的耐水性，软化系数越高，泡沫混凝土的耐水性越好。

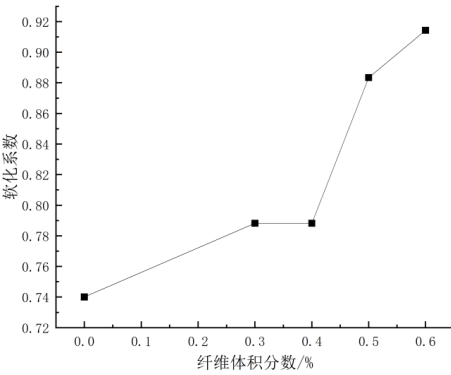


图3 软化系数

从图三可以看出，基准组的软化系数为0.74，软化系数最

小,随着 PP 和 PVA 纤维体积分数掺量的增加,软化系数呈现出持续上升的趋势,纤维体积分数为 0.6% 时,软化系数为 0.91,相较于未加入 PP 和 PVA 纤维的基准组提高了 22%,耐水性能最佳。分析认为,一方面,两种纤维均匀分布在泡沫混凝土中,能填充水泥石内部的孔隙和微裂缝,使结构更加致密。PP 纤维和 PVA 纤维的直径较小,能进入到泡沫混凝土内部的细小孔隙中,减少连通孔隙,降低水分进入的通道,从而提高其抗水渗透能力,进而提高软化系数;另一方面,纤维与水泥基体的良好结合改善了表面性能,使泡沫混凝土表面更加致密,不易被水润湿,从而减少了水分的吸收,提高了其耐水性,进而提高软化系数。

三、结论

掺入比(PP 纤维:PVA 纤维)为 1:1,改变 PP 和 PVA 纤维复掺的体积分数,对泡沫混凝土的性能进行测试并分析,得到如

下结论。

(1) 掺入适量的 PP 和 PVA 纤维可在泡沫混凝土的内部形成三维骨架,提高其抗压、抗折强度,而过量的 PP 和 PVA 纤维在泡沫混凝土中会出现团聚现象,而导致抗压强度的降低。

(2) PP 纤维和 PVA 纤维两者协同能更有效地稳定气泡,减少搅拌和养护过程中气泡的合并与破裂,成型后保留更多微细气孔,从而降低泡沫混凝土的干密度。

(3) PP 和 PVA 纤维的加入能与水分形成吸附作用在浆体中形成水膜,并且 PP 纤维则具有较好的疏水性,能够形成较为稳定的骨架结构,从而降低泡沫混凝土的吸水性。

(4) 两种纤维均匀分布在泡沫混凝土中,能填充水泥石内部的孔隙和微裂缝,使结构更加致密。随着 PP 和 PVA 纤维体积分数的增大,泡沫混凝土的软化系数呈现持续增长的趋势,在体积分数为 6% 时,软化系数达到最大。

参考文献

- [1] 宋强,张鹏,鲍玖文,等.泡沫混凝土的研究进展与应用[J].硅酸盐学报,2021,49(02):398-410.DOI:10.14062/j.issn.0454-5648.20200316.
- [2] 潘晓冰,李静.泡沫混凝土的特性和应用及未来发展趋势[J].混凝土与水泥制品,2020,(06):98-102.DOI:10.19761/j.1000-4637.2020.06.098.05.
- [3] Yang Y, Kong X, Fang Q. Non-dimensional analysis on blast wave propagation in foam concrete: Minimum thickness to avoid stress enhancement[J]. Defence Technology, 2024, 36(06): 30-46.
- [4] 王辉,陈卫忠,谭贤君,等. Development of a new type of foam concrete and its application on stability analysis of large-span soft rock tunnel[J]. Journal of Central South University, 2012, 19(11): 3305-3310.
- [5] 葛进进,杜苏永,陈佩圆,等.纤维泡沫混凝土的制备及压缩破裂特征研究[J].混凝土,2024,(12):213-218.
- [6] 程新,詹炳根,周安.玄武岩纤维对泡沫混凝土收缩开裂的影响[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2019,42(08):1114-1118.
- [7] 张培恒,韩尚宇,康登源,等.不同纤维掺量再生混凝土骨料轻质混凝土性能研究[J].混凝土,2024,(06):99-104.
- [8] 周政.聚丙烯纤维洞渣泡沫混凝土的制备及性能分析[J].材料导报,2024,38(S2):203-211.
- [9] 万聪聪,姜天华,余意.基于正交试验的聚丙烯泡沫混凝土基本力学性能研究[J].硅酸盐通报,2023,42(10):3518-3529.DOI:10.16552/j.cnki.issn1001-1625.20230814.004.
- [10] 王武斌,赵文辉,苏谦,等.聚丙烯纤维增强泡沫轻质混凝土力学性能试验研究[J].铁道建筑,2017,(02):146-150.
- [11] 张雪松,朱艳峰,黄林冲.聚丙烯纤维对泡沫混凝土性能的影响[J].新型建筑材料,2019,46(03):140-142+147.
- [12] 任大鹏.高强度聚丙烯纤维泡沫混凝土的制备及抗蚀性能分析[J].功能材料,2023,54(10):10200-10206.

闽南传统建筑装饰“燕尾脊”造型特点及其文创衍生品设计研究

徐闽荣, 张迪妮*

河北建筑工程学院, 河北 张家口 075000

DOI:10.61369/UAID.2025020018

摘 要 : “红砖白石双坡曲, 出砖入石燕尾脊”是对闽南传统民居特点的总结, “第五立面屋顶构造的传神点睛之笔”是对燕尾脊的高度赞誉。本文利用文献分析、现状考察以及多学科交叉等研究方法追溯“燕尾脊”装饰特点及其文创衍生品设计路径, 为弘扬中国本土化建筑提供策略参考。首先, 从地理民俗角度概述燕尾脊自然与人文背景; 其次, 从功能结构、装饰象征四个方面阐述燕尾脊内外特点; 再者, 分析当代文创以燕尾脊入茶、入器、入扇的实际案例, 总结出文化到文创衍生品设计转译的实践方法, 以赋能传统建筑保护与现代生活的有机结合。

关 键 词 : 闽南传统建筑装饰; 燕尾脊; 造型特点; 文创衍生品

Research on the Design Characteristics of the Traditional Minnan Architectural Decoration "Swallowtail Ridge" and Its Cultural and Creative Derivatives

Xu Minrong, Zhang Dini*

Hebei University of Architecture, Zhangjiakou, Hebei 075000

Abstract : "Red bricks, white stones, double-slope curves, and the swallowtail ridge with bricks and stones" is a summary of the characteristics of traditional Minnan residences, and "the masterful finishing touch of the roof structure on the fifth facade" is a high praise for the swallowtail ridge. This article uses research methods such as literature analysis, current situation investigation, and multidisciplinary intersection to trace the decorative characteristics of "swallowtail Ridge" and the design path of its cultural and creative derivatives, providing strategic references for promoting localized architecture in China. First, summarize the natural and cultural background of Yanwei Ridge from the perspective of geography and folk customs; Secondly, the internal and external characteristics of the dovetail ridge are expounded from four aspects: functional structure and decorative symbol. Furthermore, by analyzing the actual cases of contemporary cultural and creative products that incorporate the swallowtail ridge into tea, utensils, and fans, we can summarize the practical methods of translating culture into the design of cultural and creative derivatives, in order to empower the organic integration of traditional architectural protection and modern life.

Keywords : traditional architectural decoration in Minnan; swallowtail ridge; design features; cultural and creative derivatives

一、燕尾脊自然背景与人文底蕴

闽南, 由泉州、漳州、厦门等城市构成, 因其得天独厚的地理位置和丰富的自然资源, 孕育了独特的闽南地域文化。聚焦于“泉州”这座闽南文化核心城市, 探究闽南建筑艺术中杰出代表的传统建筑装饰“燕尾脊”。

(一) 自然地理环境

所谓“地理决定文化”, 泉州地处福建东南沿海, 背靠戴云山脉, 面向台湾海峡, 拥有得天独厚的自然条件。地理上, 泉州地势由西北向东南倾斜, 形成山地、丘陵、平原与沿海等多种地

貌类型。泉州的庙宇, 多选择在地势较高的丘陵地带建造, 既便于民众朝拜, 又可俯瞰四周美景; 而传统民居则多分布于平原地区, 便于农耕和日常生活; 泉州因沿海的地理优势又为古代海上丝绸之路的重要港口, 这里的建筑既融合本土文化, 且吸收外来文化的影响。

(二) 神话传说背景

据闽《惠安县志》记载, 唐黄氏女工部侍郎侄女被闽王纳为妃子, 一年梅雨季, 黄氏想起家中房破, 不能挡雨而暗自流泪。闽王问其缘由后即道“赐汝一府王宫起”, 黄氏跪地谢恩, 并差太监传旨泉州府, 但误为一府即泉州一府, 一时府城大动土木,

作者简介: 徐闽荣 (2001.04-), 女, 福建周宁人, 河北建筑工程学院, 硕士, 研究方向: 文创设计。

通讯作者: 张迪妮 (1979.06-), 女, 河北建筑工程学院, 教授, 研究方向: 景观设计。

大建王宫。而后有人密报闽王说泉州有人谋反，闽王才悟到误传了，下旨停建但已为时已晚，因而这种王宫式民居建筑形式便流落民间^[1]。

（三）民俗历史底蕴

燕尾脊，作为闽南地区传统建筑的显著特征，是建筑美学的展现，也是地域文化的深刻体现。在传统民俗文化中，屋脊因其醒目的位置和高耸的姿态，被认为与居住者的运势和气场紧密相关。燕尾脊的设计和装饰在风水学上有着严谨的考究，其形态和装饰的复杂程度，不仅体现了建筑的美学追求，更反映了户主的社会身份和经济水平^[2]。从平民家庭的含蓄内敛到贵族家庭的华丽张扬，每一种形式都是户主身份和家底的象征。翘起的燕尾和精美复杂的装饰，展示了贵族和富裕家庭的尊贵地位和殷实财富；相对而言，普通百姓的燕尾脊则较为朴实无华，用料统一且造型简洁。在闽南地区，一个地区燕尾脊的数量和质量可以作为衡量该地区经济繁荣和社会地位的一个指标。

二、燕尾脊功能结构与建筑装饰特点

《诗经》有云：“如鸟斯革，如翬斯飞。”自古以来中国传统建筑便以它的飞檐翘角在世界建筑之林中独树一帜、自成一派。闽南红砖厝建筑中燕尾脊便是其标志性构件，正脊由曲线作形状，两端往上翘起成上弦月状，尾端分叉为二，因形似燕子的尾巴故而得名，使原本沉重压抑屋顶显得轻盈飞扬且富有神采^[3]。

（一）功能性

自美国芝加哥学派后，现代建筑中任何形式都被赋予功能的意义，闽南传统红砖厝的燕尾脊上也蕴藏着古代能工巧匠们的科学密码。

其一，燕尾脊作为闽南传统建筑中的一项关键结构元素，其施工精准定位于屋顶前后坡面的交汇点，优化雨水的流向和排放路径，防止雨水在多雨时节连续渗透以减少水分对木质结构的侵蚀；其二，燕尾脊尖端设计遵循尖端放电原理，在雷雨季节吸引并分散雷电，充当自然避雷装置；其三，在明清时期，随着材料学的进步，燕尾脊在保持传统美学特征的同时采用更为先进的材料与施工技术，不仅提升建筑的结构强度与抗风抗震性能，同时延长建筑的整体使用寿命^[4]。

闽南传统燕尾脊对建筑物理学、电学原理和材料学的综合应用，使其成为闽南传统建筑中一项集美学、功能性和安全性于一体的重要结构元素（如图1）。

燕尾脊建造	燕尾脊屋脊交叉点的精准施工	燕尾脊尖端放电原理的应用	结构与材料学的创新融合
功能	排水防潮	暴雨避雷	强化屋脊

图1 燕尾脊功能性对照分析（图源自绘）

（二）结构性

燕尾脊，其结构性主要通过单尾燕尾、双尾燕尾和多尾燕尾（包括三尾与四尾）来表达（如图2），每种形式都具有独特的建筑学特征和工艺要求。

单尾燕尾脊，以其单一脊尾的简洁线条进行收束，实现视觉上的轻盈感和动感姿态，翘起单尾尾端不仅增强建筑的立体感和视觉冲击力，而且有效促进雨水的快速排放，注重在多雨气候中的环境适应性。单尾燕尾脊以其施工的经济性和工艺的简约性，

在闽南地区的民居中广泛使用，成为屋顶装饰的典型代表，映射出当地社会对经济实用与美观并重的生活哲学。

双尾燕尾脊，在视觉上呈现动态的对称美，其线条流畅而富有弹性，不仅增强建筑的立体感，也显著提升建筑的艺术表现力。在工艺上，双尾燕尾脊要求更为精细的手工艺和对材料的严格把控，与单尾燕尾相比，双尾燕尾的复杂性和精致性使其成为闽南地区较为重要的民居或公共建筑的首选，象征着建筑主人的社会地位和审美品位，凸显闽南建筑在美学上的深入追求^[5]。

多尾燕尾脊（三尾与四尾），作为闽南建筑中最为精致和奢华的屋顶装饰，代表闽南建筑艺术的顶峰，通常由三个或四个相互交错的尾身构成，每个尾身都经过精心设计与细致雕刻，在视觉上呈现出错落有致的层次感，且在工艺上达到极致的复杂性和精细度。多尾燕尾脊常融入地方文化与传统图案，是传承和展示闽南文化的建筑载体。多尾燕尾脊常用于堂祠、寺庙等规格较高的建筑，体现建筑的地位和重要功能，反映闽南地区在建筑技术、艺术表现和文化遗产方面的深厚底蕴，是闽南建筑中不可或缺的重要元素。



图2 燕尾脊单、双、多尾结构（图源网络）

（三）装饰性

燕尾脊的发展经历多个朝代，其装饰性根据装饰程度可大致分为灰塑、花窗脊、剪瓷雕与交趾陶等华美装饰这三个部分（如图3），而燕尾脊又因其“双燕归脊”的返乡归巢之意，对家庭价值和社会结构的表达在建筑装饰邻域独树一帜。

1. 脊堵堵身装饰：灰塑

早至宋代起灰塑作为装饰技艺在闽南地区建筑中便得到普遍应用，南宋庆元三年（1197年）始建的增城证果寺中即有灰塑“龙船脊”。灰塑是从建筑的实际功能需要演变而来，为了掩饰屋脊和瓦面的接缝，提高防水、防风性能，采用砖瓦覆盖叠压并涂抹灰浆的方法，形成高企的屋脊，它以石灰为主要材料，其耐酸、耐碱、耐温的特质，适合东南沿海的湿热气候。随着时间演进，屋脊不仅满足于实用需求，更逐渐演变出富有艺术表现力的装饰元素^[6]。

2. 脊堵堵身装饰：花窗脊

自清中期起，随着燕尾脊脊堵不断增高，束腰（脊堵）也逐渐变得复杂。传统的实心砖瓦堆叠方式逐渐被新的建筑手法所取代。堵身不再由砖瓦一层层实心堆叠，而转向将砖仔竖立，架空出中空的堵身。将红或绿的花砖以透空的方式砌在束腰处，堵头前后的砖仔替换为花窗砖，并在花窗砖两侧灰塑花草、螭虎等纹样，即花窗脊。花窗脊的形式延续至今，又被称为“车窗脊”“疏窗脊”，花窗脊的融入标志着燕尾脊装饰艺术的创新与闽南建筑传统的演进，赋予建筑以独特的艺术价值和历史意义，扩展闽南建筑视觉的复杂性和装饰性^[7]。

3. 脊堵堵身华美装饰：剪瓷雕与交趾陶

随着清末沿海经济发展，装饰技艺也日趋丰富，脊堵处用花砖做装饰外，还粘贴陶瓷等各种复杂的装饰，其中包括剪瓷雕与交趾陶等工艺技巧。剪瓷雕是福建省非物质文化遗产之一，剪瓷雕

通常选用高饱和度色彩的瓷器，或将残损价廉的彩瓷回收利用，工匠使用粗钳、铁剪与砂轮等工具，将瓷片剪、敲、磨成所需的形状与大小，再将它置于燕尾脊上来贴雕花卉山水等意象，用以装饰寺庙官观等建筑物的屋脊、翘角。而交趾陶是一种低温多彩釉陶艺，集雕塑、色彩、烧陶之美于一身，其亮点在于晶亮艳丽的宝石彩釉。剪瓷雕与交趾陶工艺赋予燕尾脊鲜艳色彩和生动造型，呈现强烈的建筑立体感和视觉冲击力，由于陶瓷特殊的材质特性，使得燕尾脊即使经过长时间的日晒雨淋，脊面装饰也能保持色彩的鲜亮。



图3左：燕尾脊堵身灰塑 中：燕尾脊堵身花窗 右：燕尾脊堵身花窗（图源网络）

（四）象征性：文化内核：“双燕归脊”

“双燕归脊”作为闽南地区建筑的象征性元素，燕尾形式的屋脊在建筑视觉语言上象征着归巢的家燕，隐喻着家燕归巢的意象，传递着对海外亲人平安归来的祝福。福建沿海地区多“出海者”，其中往往多海外经商华侨及出海作业渔民，对“归家”的强烈意愿如同“燕”对巢的眷恋，这一建筑特征在视觉艺术上采用燕尾形态是为一种文化隐喻，融合地理、历史与社会心理层面的考量，是闽南地区人民对于家庭与团聚的浓厚情感寄托与建筑上的情感表达。

三、燕尾脊文创衍生品设计分析

燕尾脊作为闽南传统建筑的标志性符号，其文化基因的当代转化需遵循系统性解构与创新性重构原则。通过分析现有成熟案例，可归纳出三大核心设计路径。

（一）形态符号的提取凝练：从建筑构件到视觉符号

闽南地域品牌中“百年闽南工夫茶盒”以闽南红砖古厝标志性燕尾脊为灵感，设计提取燕尾脊双曲线上扬轮廓，将燕尾融入茶叶包装开合结构线（如图组8），辅以激光雕刻传统纹样、烫金工艺勾勒线条。将简化的燕尾脊图形作为核心视觉符号，方寸之间，承载闽南建筑智慧与茶道精神，成为连接传统与现代的文化载体，使燕尾脊从屋顶跃入生活日常，赋予茶叶包装深厚的文化认同感与收藏价值^[8]。

（二）传统工艺的当代转译：从传统建造到当代制造

瓷语工作室《燕尾问月》白瓷茶具（2024年中国工艺美术博览会金奖）将闽南燕尾脊的形制精髓深度融于现代器物（如图

4）。其茶壶提梁精准复现燕尾脊双曲线上扬轮廓，依据传统建筑测绘图保留起翘15°角与燕尾分叉42°夹角的结构特征，使建筑力学智慧转化为提握功能；通过1320℃还原焰烧制工艺，釉面呈现闽南琉璃瓦特有的天青色渐变，以瓷土凝固古厝屋顶的流动光影；经静载测试验证提梁承重达8.5kg，燕尾脊的构造逻辑在现代陶瓷中实现形、色、力三重转译，印证传统建筑符号通过科学参数化设计在实用器物中重获新生^[9]。

（三）功能叙事的创新重构：从文化图腾到价值体验

绣者林木秀子爱手作以闽南古厝为核心，将燕尾脊入扇，首创闽南主题团扇文创，将建筑艺术转化为可触摸体验的丝线造物。其中燕尾脊以金属配件托底镶嵌碎宝石凸显花雕，辅以盘金绣勾边与立体衬料塑造飞檐翘脊弧度，海浪环抱古厝隐喻闽台山海地理，宝石装饰燕尾脊传递家族吉祥如意，渐变亮片刺绣模拟红砖墙斑驳肌理，彩色瓷米珠结合结粒绣渐变再现屋顶琉璃瓷雕光泽（如图4）。作品以针法为“砖”，珠玉为“瓦”承载包括燕尾脊在内的闽南古厝建筑文创价值，持续以针线演绎地域文化，由此开启闽南古厝的刺绣华章^[10]。



图4左：百年闽南工夫茶盒 中：燕尾问月茶具 右：燕尾脊团扇（图源网络）

燕尾脊文创设计本质是文化遗产的符号再生工程，从燕尾脊入茶、入器与入扇来看，未来设计应从形态特征、工艺材料与功能体验深化建筑特性与文创衍生品跨学科协作，方能使承载“双龙护厝”吉意的燕尾脊，在当代消费场景中实现形神兼备的文化转译。

四、结束语

燕尾脊作为闽南传统建筑的标志性装饰，承载闽南地域文化与历史信息，通过对燕尾脊造型特点的分析，突出单尾与多尾结构的造型特点与灰塑、花窗脊以及剪贴瓷与交趾陶等装饰技艺，联结“双燕归脊”的象征内涵与功能性去便于理解闽南建筑的美学追求和实用功能，应用于当代文创设计。通过对闽南传统建筑装饰“燕尾脊”的研究与燕尾脊的文创衍生品设计表明，传统建筑装饰元素能够与现代设计理念相结合，为传统建筑传承提供参考，推动闽南乃至中国建筑艺术的繁荣发展，并逐渐发展成区别于西方建筑体系的中国本土化建筑传播策略。

参考文献

- [1] 张岳. 惠安县志 [M]. 福建, 明·嘉靖八年 (1529年).
- [2] 李伟. 闽南传统建筑屋顶意匠研究 [D]. 厦门大学, 2014:55-56.
- [3] 楼庆西. 屋顶艺术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [4] 庆伟. 邓文金. 施榆生. 闽南历史文化概说 [M]. 福建: 福建人民出版社, 2013.
- [5] 林秀琴. 浅析闽南传统建筑屋顶文化的形成 [J]. 福建文博, 2009.
- [6] 唐孝祥. 王永志. 台闽庙宇屋顶装饰的审美文化解读 [J]. 华中建筑, 2011.
- [7] 郭艺铃. 闽南传统建筑元素的视觉符号化研究 [D]. 湖北美术学院, 2022.
- [8] 李振浩. 闽南红砖建筑装饰在茶具设计中的转译与物化 [D]. 华侨大学, 2018.
- [9] 林宏鸿. 基于叙事性设计方法的闽南文创产品设计研究 [D]. 福州大学, 2018.
- [10] 王易声, 兰芳. 符号学视域下的汉代建筑文创产品设计研究 [J]. 包装工程, 2023, 44(22):400-408.

桥梁保留上部结构墩柱盖梁原位静力切割拆除施工技术

姚磊

浙江交工集团股份有限公司, 浙江 杭州 311300

DOI:10.61369/UAID.2025020019

摘 要 : 本文以杭绍台高速公路工程为依托, 采用桥梁上部结构保障技术、盖梁限位技术和盖梁分块切割技术, 解决了保留原有桥梁上部结构的前提下对桥梁墩柱、盖梁完成拆除施工的难题。同时总结了桥梁保留上部结构墩柱盖梁原位静力切割拆除施工的质量关键技术, 分析技术实施效果及产生的经济效益, 并提出相应的质量、安全和环保控制措施, 为今后类似桥梁工程的施工提供经验。

关 键 词 : 桥梁拆除; 保留上部结构; 墩柱盖梁拆除; 原位静力切割

In-Situ Static Cutting and Demolition Construction Technology for Retaining the Superstructure Pier Columns and Cap Beams of Bridges

Yao Lei

Zhejiang Communications Construction Group Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 311300

Abstract : Based on the Hangzhou-Shaoxing-Taizhou Expressway project, this paper adopts the bridge superstructure guarantee technology, cap beam limit technology and cap beam block cutting technology, and solves the problem of completing the demolition construction of bridge piers and cap beams while retaining the original bridge superstructure. At the same time, the key quality technologies for the in-situ static cutting and removal construction of the pier column cap beam of the bridge while retaining the superstructure were summarized. The implementation effect of the technology and the economic benefits generated were analyzed, and corresponding quality, safety and environmental protection control measures were proposed to provide experience for the construction of similar bridge projects in the future.

Keywords : bridge demolition; retain the superstructure; removal of the pier column cap beam; in-situ static cutting

引言

道路桥梁的运营过程中, 由于维护加固、意外事故等, 需对桥梁下部结构进行更换, 重建桥梁下部结构之前需对原下部结构进行拆除。原下部结构拆除的常规方法一般为镐头机直接破碎或爆破拆除。常规方法均对桥梁上部结构的影响较大, 保留上部结构难度高, 同时拆除过程中安全风险高。静力切割拆除法因其在施工中在原结构的影响小、粉尘少的优势, 近些年在老旧桥梁的拆除有所应用, 但静力切割拆除桥梁结构施工难度大、拆除效率相对较低, 老旧桥梁的安全状态评估困难, 因此有必要对运营桥梁下部结构的拆除施工技术进行研究。

本文结合杭绍台高速公路工程, 采用桥梁上部结构保障技术、盖梁限位技术和盖梁分块切割技术的组合, 解决了在完整保留桥梁上部结构和施工空间狭小的条件下对桥梁墩柱、盖梁拆除的施工难题, 有效保证施工安全和施工质量。

一、项目概况

杭绍台高速公路工程镜水路1号高架桥第4联左幅位于绍兴市柯桥区镜水南路与杨绍公路交接处南侧, 上部结构为5×30m预应力混凝土T梁, 一梁3跨, 单幅桥宽16.25m, 下部结构为钻孔

桩基础+柱式墩+预应力盖梁, 其中04#墩为双柱式结构, 位于跨中位置, 柱间距9m, 柱高8m, 柱径1.6m, 盖梁高度1.6m、宽2.0m。由于镜水路1号高架桥左幅04#墩柱位于临河面, 存在深厚淤泥软土地层。在桥梁运营过程中受外部因素影响, 桩间土产生侧向位移, 导致桩基、墩柱发生倾斜, 上部结构发生滑移, 04#

作者简介: 姚磊 (1984.06—), 男, 汉族, 浙江杭州人, 本科, 研究方向: 工程项目管理、桥梁隧道工程施工等。

墩墩顶盖梁遭到破坏，见图1所示。经勘察、评估认为桥梁上部结构完好，只需对墩柱、盖梁进行原位拆除重建，即可恢复其使用功能。



(a) 盖梁边缘破坏

(b) 梁体滑移

图1 04#墩墩顶盖梁边缘破坏、梁体滑移现场图

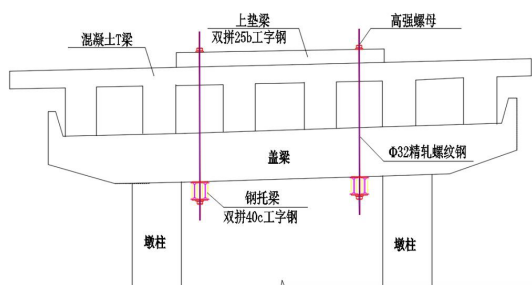
二、施工方案设计

1. 桥梁上部结构保障技术。采用钢管支撑、千斤顶、分配梁组成的支撑体系顶住混凝土 T 梁，保持原有桥梁上部结构稳定，并为墩柱、盖梁的拆除提供安全保障^[1]。

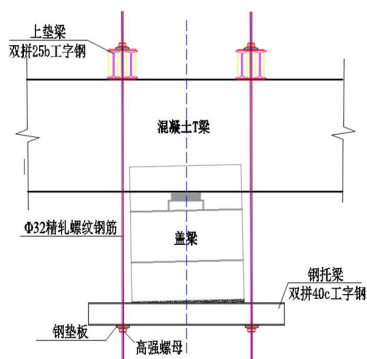
2. 盖梁限位技术。由盖梁兜吊装置和盖梁横向限位装置组成，如下：

(1) 墩柱切割过程中，盖梁失去墩柱支撑，因此需要将盖梁悬吊于桥梁上部结构；同时将盖梁放低后再切割，可以减少高空作业。为此桥梁墩柱拆除之前，首先安装盖梁兜吊装置和盖梁横向限位装置。盖梁兜吊装置是将精轧螺纹钢穿过混凝土 T 梁钻孔，上端悬挂上垫梁，下端伸至盖梁底部，与钢托梁连接，上、下端均用高强螺母锚固，见图2所示。

(2) 盖梁横向限位装置可以避免盖梁的横向位移。通过螺纹钢将 H 型钢以抱箍形式锚固盖梁两侧，防止墩柱拆除时盖梁发生横向移位，见图3所示。

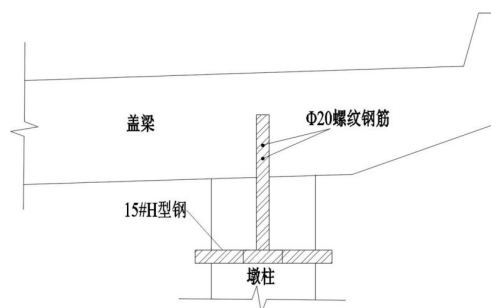


(a) 盖梁兜吊装置正视图

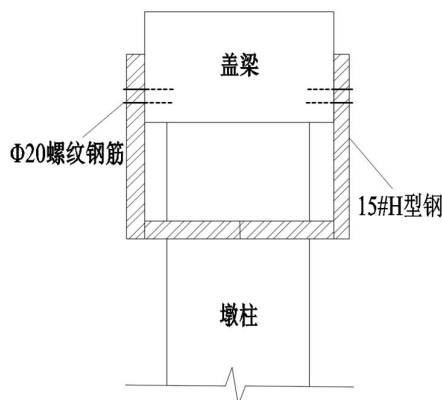


(b) 盖梁兜吊装置侧视图

图2 盖梁兜吊装置示意图



(a) 盖梁横向限位装置正视图



(b) 盖梁横向限位装置侧视图

图3 盖梁横向限位装置示意图

3. 墩柱半圆分区顶切技术。采用新型无震动绳锯静力切割机拆除墩柱，首先将墩柱沿竖向分段，然后将每段墩柱按半圆进行分区，一侧半圆布置千斤顶支顶盖梁，切割另一侧墩柱的半圆，各段墩柱两侧半圆交替切割和支顶，见图4所示。随着墩柱的切割下放盖梁，直至距地面1m^[2]。

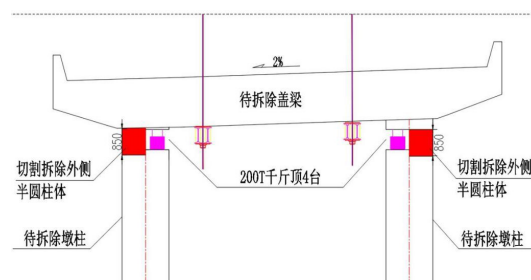


图4 墩柱半圆分区顶切技术

三、工艺流程及操作要点

(一) 施工工艺流程

桥梁保留上部结构墩柱盖梁原位静力切割拆除施工技术施工工艺流程如图5所示。

(二) 上部结构顶升

利用原承台作为千斤顶反力基础^[3]，通过 M18 锚栓将 Φ609 钢管支撑固定于反力基础上，各钢管支撑之间采用 40c 槽钢进行连接固定。在桥梁底部沿横桥向安装分配梁，将千斤顶组安装在钢管支撑与分配梁之间。通过调节千斤顶组将桥梁横坡调整至原设

计值,再同步顶升2cm^[4]。

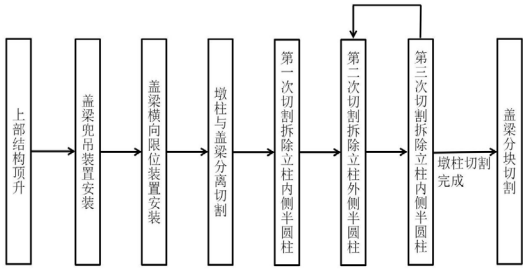


图5 施工工艺流程图

（三）盖梁兜吊装置安装

于桥面湿接缝处对应盖梁垂直投影面位置,使用水钻进行钻孔,钻孔直径为6.3cm。将Φ32精轧螺纹钢从钻孔位置穿出,悬挂在开孔的上垫梁(双拼25b工字钢)上,并用高强螺母锚固。Φ32精轧螺纹钢长12m、分三节,每节4m,精轧螺纹钢伸至盖梁底部时,利用钢托梁(双拼40c工字钢)连接,下方利用高强螺母锚固。

（四）盖梁横向限位装置安装

防止墩柱拆除过程中盖梁发生横向移位,通过Φ20螺纹钢将15#H型钢以抱箍形式锚固至盖梁两侧。

（五）墩柱与盖梁分离切割

采用新型无震动绳锯静力切割对墩柱进行切割,将墩柱与盖梁分离^[5]。

（六）墩柱切割

1. 第一次切割拆除墩柱内侧半圆柱

将墩柱分为左、右半幅两个半圆柱进行拆除^[6],第一块拆除半圆柱位置,拆除高度65cm,分三次切割,满足200T千斤顶40cm放置高度要求,分别水平滑出后采用3T手拉葫芦吊住下放至地面,上部盖梁由墩柱外侧半圆柱承载。在内侧墩柱已拆除位置安装4台200T液压千斤顶,千斤顶行程20cm,安装前做好千斤顶底面与切割面调平,保证千斤顶垂直受力。调整千斤顶顶程,使千斤顶顶住盖梁,每台千斤顶顶力约250kN^[7]。

2. 第二次切割拆除墩柱外侧半圆柱

拆除墩柱外侧半圆柱,第二次切割拆除墩柱外侧半圆柱,拆除高度为85cm,分四次切割拆除,每次21.25cm,分别使用3T的手拉葫芦吊运下放至地面。在外侧墩柱已拆除位置安装4台200T液压千斤顶,千斤顶行程20cm,安装前做好千斤顶底面与切割面调平,保证千斤顶垂直受力,调整千斤顶顶程,使千斤顶顶住盖梁^[8]。

3. 第三次切割拆除墩柱内侧半圆柱

第三次切割拆除墩柱内侧半圆柱。先用绳锯静力切割机对内侧半圆柱进行切割。切割完成后,拆除内侧千斤顶,使用3T的手拉葫芦将切块吊运下放至地面。柱内侧40cm切块拆除后再次安装内侧千斤顶,将行程顶升至最大。开始下落外侧千斤顶,下落千斤顶时提前将盖梁兜吊装置同步下放,外侧千斤顶下放到位后再对盖梁兜吊装置进行紧固到位。

重复循环以上步骤,直至将墩柱全部切割完成,切割拆除后

的切块。整个盖梁下落过程中脚手架工作平台根据高度需求同步向下拆除。当盖梁下放至原地面以上1m时,准备盖梁分块切割施工。

（七）盖梁分块切割

盖梁分块切割前先对墩柱范围内的工作平台进行拆除,场地平整压实,以满足吊机的进出要求。

当墩柱切割拆除使盖梁下落至原地面以上1m时,拆除盖梁兜吊装置及横向限位装置,开始盖梁分块切割^[9]。盖梁从两侧向中间拆除,盖梁下搭设承重支架,采用绳锯静力切割机对盖梁进行切割分块。切割前采用挖掘机将切割盖梁用钢丝绳吊住,当完全切断盖梁分块时,吊运装置已稳稳吊住切割块,缓缓转运至场外破碎^[10]。

四、实施效果

（一）技术特点

此项技术在杭绍台高速公路工程获得应用,在完整保留桥梁上部结构和施工空间狭小的条件下对桥梁墩柱、盖梁拆除的施工难题。实践证明,桥梁保留上部结构墩柱盖梁原位静力切割拆除施工技术具有如下3项特点。

（1）技术创新。采用桥梁上部结构保障技术、盖梁限位技术和盖梁分块切割技术的组合,解决了在完整保留桥梁上部结构和施工空间狭小的条件下对桥梁墩柱、盖梁拆除的施工难题。

（2）安全可靠。通过钢管支撑、千斤顶、分配梁组成的支撑体系保护桥梁上部结构,采用盖梁限位技术、盖梁分块切割技术,提高了桥梁墩柱、盖梁拆除过程的稳定性,确保了施工安全。

（3）经济社会效益良好。采用本技术拆除桥梁墩柱、盖梁,施工振动小,显著减少了对周边环境的影响,赢得了周边居民对工程建设的支持,社会效益显著;使桥梁原有上部结构得到重复利用,节省了上部结构重建的材料消耗,缩短了恢复交通的时间,环保效益显著。

（二）经济效益

采用桥梁上部结构保障技术、盖梁限位技术和盖梁分块切割技术,解决了保留原有桥梁上部结构的前提下对桥梁墩柱、盖梁完成拆除施工的难题。同时,采用本施工技术拆除桥梁墩柱、盖梁,施工振动小,减少了对居民生活干扰,取得良好的环境效益和社会效益。本工程的桥梁盖梁、墩柱拆除的过程中未出现异常现象,本施工技术获得成功应用,共计节约成本443.11万元,工期缩短90天。

五、质量、安全、环保措施

（一）质量控制措施

（1）精心规划和部署,优化桥梁盖梁、墩柱的拆除施工方案,科学组织施工,使各项生产活动井然有序、有条不紊。

（2）下落盖梁之前,对千斤顶进行调试,对液压油泵进行保

压试验，以确保顶升施工的安全和质量。

(3) 下落盖梁过程中，为保证盖梁的横向位移在预警范围内，下落一个行程后进行液压千斤顶垂直度检查，以减少其位移偏差。

(4) 加强与第三方监测单位的联系，在下落盖梁的过程中加强对盖梁、墩柱的位移监测。

(5) 在墩柱拆除的过程中，加强对桥面、混凝土 T 梁的位移监测，一旦发生较大的位移，及时停止施工并分析原因，优化拆除措施后再进行继续施工。

(二) 安全控制措施

(1) 机械、机具和电气设备，在安装前按照安全技术标准《电业安全工作规程》进行检测，经检测合格后方可安装，经验收确认状况良好后方可运行。

(2) 上部结构顶升时，保证千斤顶顶升基础有足够的强度和刚度，同时各项升点基础的不均匀沉降需满足规范要求。

(3) 施工前进行安全交底，盖梁下落过程中必须对盖梁进行监测，仔细观察盖梁的横向位移，发现异常情况必须及时采取稳固措施。

(4) 严格按照绳锯静力切割机的操作手册对其进行维护与保养。未经培训的人员不能操作该设备。在绳锯静力切割机切割作业的过程中，应确保无关人员远离设备。

(5) 使用手拉葫芦吊运墩柱切块前，要仔细检查手拉葫芦的起吊钩、起吊链、转动部位，确保其灵活且制动器可靠。吊运时，手拉葫芦应与地面保持垂直，切块固定牢固。

(6) 使用裂缝观测仪对原桥出现的裂缝进行检查。当发现裂缝增大或者长度增长时应及时停止施工并分析原因，确认不会产生危险后方可进行继续施工。

生危险后方可进行继续施工。

(三) 环保控制措施

(1) 清理施工垃圾时使用容器吊运，严禁随意凌空抛洒造成扬尘。施工垃圾及时清运，清运时，适量洒水减少扬尘。

(2) 墩柱、盖梁拆除时使用静力无噪声绳锯切断外运破除。现场拆除过程中，应避开周边人员的休息时间并做好洒水降尘工作。

(3) 拆除墩柱与盖梁过程中，在现场相应施工位置布置喷雾机进行降尘。

(4) 施工现场的场地全部通过混凝土硬化，以防止扬尘。

六、结论

本文结合杭绍台高速公路工程，创新桥梁拆除施工技术，详细阐述了桥梁保留上部结构墩柱盖梁原位静力切割拆除施工技术，并提出与该拆除工艺相关的质量、安全、环保控制措施，分析施工技术的实施效果。该施工技术的成功应用也为类似桥梁拆除施工提供了一定借鉴。

(1) 在跨线施工过程中，采用桥梁上部结构保障技术、盖梁限位技术和盖梁分块切割技术，解决了保留原有桥梁上部结构的前提下对桥梁墩柱、盖梁完成拆除施工的难题。

(2) 采用本施工技术时，整体施工操作效率高，施工时安全可靠，质量和安全性高，完工后获得社会各方的高度好评。该施工技术也将在其它类似桥梁工程中得以推广，具有较好的推广应用价值和广阔的市场应用前景。

参考文献

- [1] 汤文军, 李荣帅, 朱龙杰. 运营高速中央隔离带内桥梁下部结构拆除技术研究 [J]. 建筑施工, 2024, 46(03): 400-402+405.
- [2] 徐维俊. 浅桥跨既有铁路桥梁拆除施工方案及原墩柱正截面抗压承载力验算 [J]. 北方交通, 2012(03): 64-66.
- [3] 冉登科. 桥梁墩柱无损主筋拆除施工技术研究 [J]. 江苏建筑, 2022(02): 77-80.
- [4] 李兵, 刘桂勇, 徐进. 大孔径在桥梁爆破拆除工程中的应用技术研究 [J]. 爆破, 2023, 40(02): 132-137.
- [5] 张立鹤. 市政老桥静力切割拆除和结构离散化分析 [J]. 智能城市, 2022, 8(04): 44-46.
- [6] 胡家敏. 静力切割技术在顶桥拆旧顶新施工中的应用 [J]. 中国高新科技, 2020(06): 96-97.
- [7] 狄传虎. 分块静态切割拆除法在老旧桥梁中的应用 [J]. 科技创新与应用, 2024, 14(24): 155-158.
- [8] 高仁居. 桥梁箱梁结构切割拆除施工方案及关键技术 [J]. 建筑技术开发, 2021, 48(24): 179-180.
- [9] 陈博. 金刚石绳锯切割法在老旧桥梁中的应用 [J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2024, 23(04): 11-14.
- [10] 崔佳. 中心城区复杂环境下老旧桥梁改建关键技术研究 [J]. 建筑施工, 2023, 45(07): 1398-1403.

建筑工程施工中深基坑支护的施工技术管理研究

李春阳

1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310000

2. 浙江华东工程建设管理有限公司, 浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/UAID.2025020022

摘 要： 本文针对建筑工程施工中深基坑支护的施工技术管理进行了深入研究。首先，阐述了深基坑支护的基本概念及其在建筑工程中的重要性。其次，详细分析了深基坑支护的主要施工技术，包括土钉墙支护技术、地下连续墙支护技术和桩锚支护技术。然后，探讨了深基坑支护施工技术管理的关键环节，如施工前的技术准备、施工过程中的质量控制以及施工后的监测与维护。最后，通过实际案例分析，验证了科学施工技术管理对深基坑支护工程质量和安全的重要保障作用。本研究为提升深基坑支护施工技术管理水平提供了理论依据和实践指导。

关 键 词： 深基坑支护；施工技术；技术管理；质量控制

Research on Construction Technology Management of Deep Foundation Pit Support in Construction Engineering

Li Chunyang

1. Power Construction Corporation of China, Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou, Zhejiang 310000

2. Zhejiang Huadong Construction Management Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract： This article conducts an in-depth study on the construction technology management of deep foundation pit support in building construction. Firstly, it elaborates on the basic concept of deep foundation pit support and its importance in construction engineering. Secondly, it analyzes the main construction techniques of deep foundation pit support, including soil nailing wall support technology, diaphragm wall support technology, and pile anchor support technology. Then, it explores the key aspects of construction technology management for deep foundation pit support, such as technical preparation before construction, quality control during construction, and monitoring and maintenance after construction. Finally, through practical case studies, it verifies the important role of scientific construction technology management in ensuring the quality and safety of deep foundation pit support projects. This study provides a theoretical basis and practical guidance for improving the level of construction technology management for deep foundation pit support.

Keywords： deep foundation pit support; construction technology; technology management; quality control

引言

随着城市化进程的加快和高层建筑的不断涌现，深基坑工程在建筑工程中的应用越来越广泛。深基坑支护作为确保基坑稳定和周边环境安全的关键技术，其施工质量直接关系到整个工程的安全性和经济性^[1]。然而，深基坑支护工程具有技术复杂、风险高等特点，一旦管理不善，极易引发安全事故。因此，深入研究深基坑支护的施工技术管理具有重要的理论和实践意义。本文旨在系统分析深基坑支护的主要施工技术及其管理要点，为提高深基坑支护工程的质量和水平提供参考。

一、深基坑支护概述

深基坑支护是建筑工程中一项至关重要的技术，它旨在保证基坑开挖过程中边坡的稳定性和周边环境的安全性。为了实现这

一目标，需要采取一系列精心设计的支护措施。随着城市建筑高度的不断增加和地下空间的深入开发利用，深基坑工程的深度和规模也随之不断扩大。这一趋势对支护技术提出了更高的要求，使其日趋复杂和多样化。因此，深基坑支护的设计和施工需要更

加专业和精细。深基坑支护的主要目的可以概括为三个方面：一是防止基坑坍塌，确保基坑的稳定性和施工人员的安全；二是控制地下水的渗流，避免地下水对基坑稳定性的影响；三是减少对周边建筑物和地下管线的影响，保护周边环境的完整和安全。这些目标的实现需要依靠科学的支护设计和严格的施工控制，以确保深基坑支护工程的质量和可靠性。

深基坑支护工程作为一类复杂的土木工程，具有一系列独特的特点。首先，支护结构需要承受来自土壤和地下水的巨大压力，这要求支护结构必须具备足够的强度和稳定性，以抵御各种复杂的地质条件；其次，深基坑支护工程的施工环境往往非常复杂，受到地质条件、周边环境、地下管线等多重因素的影响，地质条件的不确定性，如土层的分布、土壤的力学性质等，都可能对施工过程造成重大影响，同时，周边环境如邻近建筑物、道路等也对支护结构的设计和施工提出了严格要求；再次，深基坑支护工程的施工周期通常较长，技术要求高，在施工过程中，需要采用先进的施工技术和设备，确保支护结构的稳定性和安全性，同时，施工人员必须具备丰富的经验和专业知识，以应对各种突发情况；最后，深基坑支护工程一旦发生事故，后果往往十分严重，可能导致周边建筑物的损坏、地下管线的破裂等，甚至可能危及施工人员的生命安全，因此，科学合理的施工技术管理对于确保深基坑支护工程的安全和质量至关重要，必须严格遵守相关的施工规范和标准，加强施工过程中的监测和控制，确保支护结构的稳定性和安全性。

二、深基坑支护的主要施工技术

（一）土钉墙支护技术

土钉墙支护技术作为一种经济高效的深基坑支护方法，在工程建设中得到了广泛应用。该技术通过在土体中设置密集的土钉，并喷射混凝土面层，形成一个复合支护结构，从而达到支护深基坑的目的。土钉墙支护技术主要适用于地下水位较低、土质较好的场地^[2]。在这些场地中，该技术可以有效地提高基坑的稳定性，防止基坑塌方事故的发生。同时，土钉墙支护技术还具有施工简便、造价低廉等优点，能够大幅缩短工期，降低工程成本。在施工过程中，为确保支护体系的整体稳定性，需要严格控制土钉的间距、长度和注浆质量。土钉的间距应根据地质条件、基坑深度和支护要求进行合理设计，以确保土钉在土体中的分布均匀，形成有效的支护体系。土钉的长度应根据基坑深度和土质条件进行合理选择，确保土钉能够深入到稳定的土层中，提供足够的支护力。注浆质量也是影响支护效果的关键因素之一，需要采用合适的注浆材料和注浆工艺，确保注浆饱满、密实，提高土钉与土体之间的粘结力。

（二）地下连续墙支护技术

地下连续墙支护技术是一种高效、可靠的地下工程支护方式，该技术通过专用机械设备在地下构筑连续的钢筋混凝土墙体，进而形成封闭的支护结构^[3]。这种支护方式在各种复杂地质条件下均表现出色，尤其适用于软土地层和高地下水位地区。在

施工过程中，地下连续墙支护技术的要点涵盖了多个关键环节的质量控制。首先是槽段的划分，它需要根据地下工程的具体情况进行合理设计，确保墙体的连续性和稳定性。其次是泥浆护壁，泥浆的质量和性能直接关系到墙体的成墙质量和施工效率。钢筋笼的吊装过程同样至关重要，需要确保钢筋笼的准确就位和固定，防止在混凝土浇筑过程中发生位移。最后，混凝土浇筑环节的质量控制同样不可忽视，它关系到墙体的强度和耐久性。地下连续墙支护技术不仅具有临时支护的功能，能够在地下工程施工期间提供稳定的支护结构，还能够作为永久性地下结构的一部分，为地下空间的开发利用提供坚实的基础。这种支护技术的广泛应用，不仅提高了地下工程的施工效率和安全性，也为地下空间的可持续利用和发展提供了有力的技术支撑。

（三）桩锚支护技术

桩锚支护技术是一种由支护桩和预应力锚杆组成的支护体系，通过锚杆将支护桩与稳定地层牢固连接，形成一个稳定的空间受力体系。该技术特别适用于深度较大、地质条件复杂且周边环境要求严格的基坑工程。在桩锚支护技术的施工过程中，需要重点控制桩身的垂直度，确保支护桩的垂直稳定，同时严格控制锚杆成孔的质量，保证锚杆与地层的有效连接。此外，预应力施加精度也是施工过程中的关键环节，需严格按照设计要求进行预应力施加，确保支护体系的整体稳定性。桩锚支护技术具有刚度大、变形小的显著特点，能够有效控制基坑变形，从而将对周边环境的影响降到最低。这种支护方式不仅安全可靠，还能大大提高基坑工程的整体质量，是深度较大、周边环境复杂的基坑工程中的理想选择。

（四）深层搅拌加固技术

深层搅拌加固技术是一种通过在建筑材料中充分混合石灰与水泥以实现结构加固的方法。在深基坑支护施工过程中，施工人员需遵循科学的配比原则，精确地将石灰与水泥进行混合。这两种材料通过化学反应相互融合并硬化，最终形成一种具有高强度特性的混合物。该技术因其较低的人力与资金成本投入，在当前建筑工程领域中被广泛应用。然而，值得注意的是，深层搅拌加固技术通常适用于软土和黏土类土质，且在实际操作中，必须严格监控石灰与水泥的配比科学性，并确保混合过程的均匀性。

三、深基坑支护施工技术管理的关键环节

（一）施工前的技术准备

施工前的技术准备无疑是确保深基坑支护工程质量的重要基石，它直接关系到支护结构的稳定与安全，是后续施工能否顺利进行的先决条件。为了确保支护结构的稳定性和安全性，在施工前，首要的任务是进行详尽而全面的地质勘察工作，这包括利用地质钻探、原位测试等多种手段，深入地下，获取精确的地层参数和地下水情况，这些宝贵的数据将为后续支护结构的设计提供至关重要的可靠依据，确保设计方案的合理性和针对性；其次，在地质勘察的基础上，需要根据工程的实际特点和周边环境条件，合理选择支护方案，这要求综合考虑基坑的深度、地质条

件、地下水位、周边环境等因素，进行科学合理的方案选择，同时，为了确保支护方案的可行性和科学性，可邀请相关领域的专家进行论证，听取他们的专业意见和建议，对方案进行进一步的优化和完善；此外，在施工前的技术准备阶段，还需要编制详细的施工组织设计和应急预案，施工组织设计应明确各阶段的施工任务、时间节点和责任人，确保施工过程的条理性和可控性，而应急预案则应针对可能出现的突发事件，制定相应的应对措施和流程，确保在紧急情况下能够迅速、有效地进行应对，保障人员安全和工程安全；最后，技术交底工作同样不可忽视，可通过会议、培训等多种形式，将技术要求、操作规程等详细传达给每一位施工人员，确保他们充分理解并掌握相关知识和技能，这将为施工顺利进行奠定坚实的基础，为深基坑支护工程质量的保障提供有力支持。

（二）施工过程中的质量控制

施工过程中的质量控制是技术管理的核心内容，它不仅关系到支护结构的稳定性和安全性，还直接影响到整个工程项目的成败。因此，为了有效保障施工质量和工程安全，必须建立完善的质量管理体系。在这个体系中，应明确各级管理人员的职责和权限，确保每个人都能够各司其职，协同工作。同时，针对原材料、施工工艺和关键工序这三个关键环节，要进行严格的把控。在原材料方面，要严格检验其质量和性能，确保每一批材料都符合设计要求，这需要对供应商进行严格的筛选和审核，并建立完善的原材料检验流程，确保不合格材料无法进入施工现场；在施工工艺方面，应严格按照操作规程进行施工，确保各道工序衔接紧密、质量可控，这需要对施工人员进行专业的培训和指导，提高他们的技能水平和质量意识，同时，还要建立完善的施工工艺监控机制，及时发现和处理施工过程中的质量问题；在关键工序方面，应特别重视支护结构的几何尺寸、连接质量和防水性能等指标，这些指标直接关系到支护结构的稳定性和安全性，因此必须对其进行严格的控制和检测，可以通过定期检查、抽样检测等手段，确保其符合规范要求；此外，还应采用信息化手段进行实时监控，例如，可以安装传感器、视频监控等设备，对施工过程中的各项参数进行实时监测和分析，一旦发现异常情况，可以立即采取措施进行处理，避免质量问题的发生，对于特殊地质条件或复杂工况，必要时应调整施工方案，采取针对性的措施。这需

要根据实际情况灵活应对，确保支护结构的安全稳定，同时，还要加强对施工过程中的风险管理和应急处理，提高应对突发事件的能力。

（三）施工后的监测与维护

施工后的监测与维护是确保支护结构长期安全的重要保障，对于工程项目的成功实施至关重要。为确保支护结构在施工后仍能保持其稳定性和安全性，必须制定出一套科学、全面且细致的监测方案，该方案应明确监测内容、方法和频率，以全面覆盖支护结构的各个方面。具体来说，需要定期对支护结构的位移、应力、地下水位等关键参数进行监测。在监测过程中，必须严格遵守预定的方法和流程，确保数据的准确性和可靠性；同时，还应做好数据记录和分析工作，通过对监测数据的整理和分析，及时发现支护结构可能存在的问题和风险，一旦发现异常情况，如位移过大、应力集中等，必须立即采取相应的加固措施，这可能包括增加支撑、注浆加固等手段，以有效防止事态进一步恶化，在加固过程中，应注重施工质量和安全，确保加固效果达到预期；此外，在主体结构施工期间，还需要特别注意支护结构的保护工作，为了避免因后续施工造成损坏，应制定详细的保护方案，并加强对施工人员的培训和监督，同时，我们还应建立完善的维护管理制度，定期对支护结构进行检查和维护，这包括清理杂物、检查裂缝、修补损坏部位等工作，以确保支护结构能够长期安全可靠地发挥作用。

四、结论

深基坑支护施工技术管理是确保工程安全和质量的关键环节。通过系统分析主要支护技术的特点和管理要点，结合工程实践验证，可以得出以下结论：科学的技术管理应贯穿于工程全过程，包括前期准备、过程控制和后期监测；先进的技术手段和严格的质量标准是保障支护效果的基础；针对不同工程特点采取差异化的管理措施至关重要。未来，随着新技术、新材料的应用，深基坑支护技术管理将朝着更加智能化、精细化的方向发展。建议进一步加强施工人员的专业技术培训，完善行业标准和规范，推动深基坑支护技术管理水平不断提升。

参考文献

- [1] 汪华盛. 建筑基础工程项目中的深基坑支护施工技术 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2024(3):2024-03-01. <https://www.cqvip.com/doc/journal/2010228818490885120>.
- [2] 刘杨, 王帅, 王笑宇, 等. 土钉墙技术在深基坑支护中的应用探讨 [J]. 居舍, 2020, (28): 47-48.
- [3] 孙维明, 韩文超, 孔涛. 地下深基坑连续墙支护技术的应用及效果分析 [J]. 四川水泥, 2024, (09): 120-122.

基于多源数据融合建模的技术研究

李垦一

桂林理工大学, 广西 桂林 541000

DOI:10.61369/UAID.2025020024

摘 要 : 倾斜数字航空摄影技术是目前应用最为广泛的实景三维模型重建方案,但由于航飞高度、拍摄角度等条件制约,在建筑密集、植被茂密等区域,航摄影像难以反映地物局部细节,致使重建的三维模型出现破洞、扭曲拉花的情况。为解决此类问题,采用无人机倾斜数字航空摄影技术,搭配地面近景摄影测量、三维激光扫描进行数据补充,可有效提高三维模型重建质量。

关 键 词 : 实景三维模型重建; 空地一体; 激光点云; 多源数据融合

Research on Multi-source Data Fusion Modeling Technology

Li Kenyi

Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541000

Abstract : Oblique digital aerial photography technology is currently the most widely used solution for real-scene 3D model reconstruction. However, due to constraints such as flight altitude and shooting angle, aerial images struggle to capture local details of ground objects in areas with dense buildings or lush vegetation. This leads to issues like holes, distortions, and blurring in the reconstructed 3D models. To address such problems, using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) oblique digital aerial photography technology, supplemented by ground close-range photogrammetry and 3D laser scanning for data supplementation, can effectively improve the quality of 3D model reconstruction.

Keywords : real-scene 3D model reconstruction; air-ground integration; laser point cloud; multi-source data fusion

引言

近年来,随着新型基础测绘、实景三维中国建设、数字孪生、智慧城市等项目的落地推进,对实景三维模型的精细程度提出了更高的要求。倾斜航空摄影凭借多角度、高重叠的航摄影像,可高效获取城市级实景模型^[1-3]。但由于被摄物体遮挡,或结构复杂,导致模型成果存在扭曲拉花、破洞。对于航摄影像存在遮挡的区域可通过多角度补充拍摄,对于结构细小或镂空结构多的地物可通过三维激光扫描获取点云数据,实现倾斜影像、近景摄影、激光点云,空地一体的多源数据融合建模^[4-6]。

一、技术路线

以倾斜数字航空摄影为主体,搭配近景摄影测量、三维激光扫描为补充的空地一体多源数据融合建模的主要步骤如下:

- (1) 通过常规倾斜数字航空摄影,获取测区整体的倾斜航摄影像;
- (2) 根据项目要求,对重点对象,和倾斜航摄影像不满足要求的区域进行补充拍摄。拍摄方法包括:交叉环绕航摄、贴近航摄、地面拍摄;
- (3) 对结构复杂、镂空结构多的地物,进行三维激光扫描;
- (4) 进行空地一体、影像+点云的多源数据融合建模。

二、数据采集

(一) 倾斜数字航空摄影

相较于传统的航空摄影,倾斜摄影技术(Oblique Photography Technique)是在飞行平台上搭载多镜头或单镜头的航摄相机,可以从垂直、前视、后视、左视、右视等多个角度拍摄地物影像。倾斜航空摄影的优点是数据采集效率高、覆盖范围广、纹理信息丰富,能够快速获取大面积区域的影像数据。但其缺点也较为明显,在建筑物密集区域或植被茂密区域,由于遮挡问题,容易导致重建的实景模型出现空洞、扭曲、拉花和纹理缺失。

常规的倾斜航摄, 通常采用五镜头或单镜头相机进行拍摄, 五镜头的航线一般为“S”形航线, 单镜头航线有五向航线、“井”字交叉航线, 以及太盟自研的“智能摆拍”模式。

五镜头的“S”形飞行模式，是外业效率最高的航摄模式，通过集成的五镜头相机，同时拍摄前、后、左、右和下视这五个方向的地面照片。但是该种航摄模式会有大量的冗余照片，并且硬件成本较高。单镜头的五向航向，是固定镜头方向，从五个方向（前、后、左、右和下视）对整个测区依次飞行五遍，是效率最低的航摄模式。“井”字交叉航线，类似两条“S”形航线以 90° 交叉布设，在地面分辨率、重叠度等其它参数不变的情况下，航线长度是“S”形航线的两倍，拍摄照片数量是五镜头的 $2/5$ ，是一种折中方案。

“智能摆拍”模式根据用户划定的测区范围,自动生产航线及规划拍摄动作,在飞行过程中,自动控制镜头进行多角度拍摄,在测区内不同的航线阶段会有对应的摆动策略。图1为大疆“智能摆拍”模式大致的摆动策略。

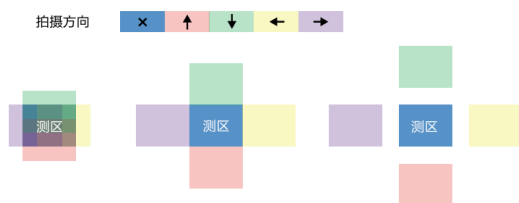


图1 智能摆动策略示意图

注：“×”表示下视方向。

受限于云台的机械摆动速度,“智能摆拍”的航飞速度不能过快。用户无法设置“智能摆拍”航线的飞行速度,而是由软件根据搭载的拍摄负载、飞行高度、重叠度等参数,自动设置航线飞行速度。在测区中间区域,由于镜头需要频繁摆动,因此飞行速度一般低于 5m/s 。而在其他的航摄模式下,飞行速度一般在 $10\text{m/s} \sim 15\text{m/s}$ 。因此较低的飞行速度,会导致“智能摆拍”的外业效率低于五镜头的“S”形航线模式,但单镜头的多角度摆动拍摄,相较于五镜头倾斜摄影,大幅减少了照片数量,因此内业处理效率提高了 $20\% \sim 50\%$ 。

倾斜航空摄影的飞行高度，一般根据航摄仪器的相关硬件参数，根据需要的地面分辨率，按如下公式计算而来：

$$H = \frac{f \times GSD}{a}$$

式中:

H ——摄影相对航高, 单位为 m:

f ——镜头焦距, 单位为 mm;

GSD ——地面分辨率, 单位为 m;

a ——像元尺寸, 单位为 mm。

若测区面积较大,或者地形起伏大,则需要综合考虑测区的地形起伏、设备通讯距离、飞行安全、地面分辨率等条件,将整个测区拆分为多个航摄子区。以某个项目测区为例,该测区地形复杂,既有山区地形,又有山谷平地,测区内还有多个电塔、通讯基站这类会影响飞行安全的地物。综合考虑测区内的地形、地

物, 最终航摄分区如图2所示:



图2航摄子区分布图

所有的航摄子区组合起来应能覆盖整个测区范围，此外各相邻的航摄子区之间，还应保留一定的重叠范围，每一航摄子区的航向飞行基线和旁向飞行基线，均应超出本航摄子区的边界范围，超出范围的基线数，按如下公式进行计算：

$$N = \frac{\tan \theta}{2 \tan \frac{\beta}{2} \times (1 - P)}$$

式中:

N——理论超出值，单位为条；

ϵ ——倾斜相机角度, 单位为度($^{\circ}$);

 $\hat{\alpha}$ ——倾斜相机视场角, 单位为度($^{\circ}$);

p ——航向或旁向重叠度。

（二）补充拍摄

在完成整个测区的倾斜航空摄影后, 结合项目需要, 对重点区域, 或倾斜航摄影像中被遮挡的地物, 进行补充拍摄。常见的拍摄模式有: 交叉环绕航摄、近景摄影。其中近景摄影技术, 又可以分为自动近景摄影和手动近景摄影两种, 在实际应用中, 通常采用贴近被摄物体的航线飞行, 来实现自动近景摄影。而手动摄影主要应用在无法进行航飞的区域对地面物体进行手动拍摄。

1. 交叉环绕航线

交叉环绕航线,是通过多个交叉的圆形航线覆盖需要的航摄区域,每个圆形航线上根据需要,设置一定数量的拍照点,各拍照点均匀分布在各自对应的圆形航线上,并且拍照时,每个拍照点都朝对应的圆心方向倾斜摄影,而每个环绕航线之间,又保持一定的重叠范围。交叉环绕航线如图3所示:

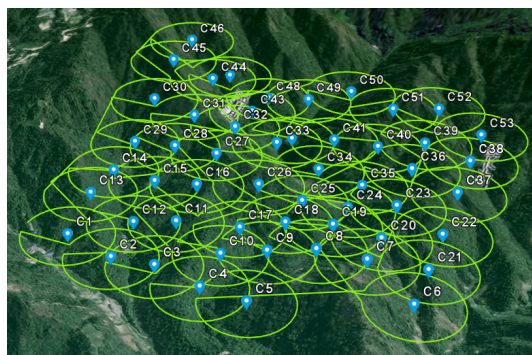


图3 交叉环绕航线示意图

交叉环绕航线,也可以作为整个测区的倾斜航摄方案。都由于目前交叉环绕航线的仿地变高功能较弱,虽然不同的圆形航线

可以设置不同的飞行高度，具备一定的仿地变高功能。但每个圆形航线只能设置成一个统一的飞行高度，所以在地形复杂或建筑密集的区域，环绕航线的飞行半径就不能设置的太大，因此为了保证飞行安全，就只能减小小航线半径。但如果环绕航线半径设置过小，则需要大量的圆形航线才能覆盖整个测区，在分辨率、重叠度等参数不变的情况下，就会增加整个测区的航线长度，致使外业飞行效率过低。因此在实际应用中，往往将其作为重点区域的补充拍摄手段。

2. 贴近航线

根据被摄物体的形状、尺寸，有多种贴近航摄方法：

(1) 单点环绕航线

单点环绕航线是以被摄物体的水平中心作为圆心，根据被摄物体，设置合适的环绕半径，实现对某一物体或区域的多层环绕航线，单点环绕航线如图4所示：

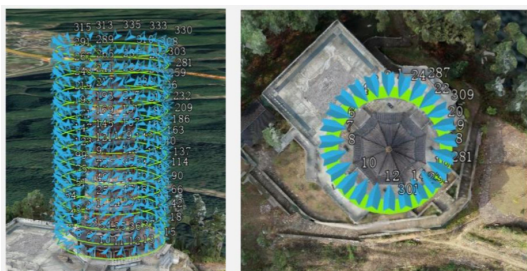


图4单点环绕航线示意图

(2) 贴近航摄

若被摄物体的水平截面不适合圆形环绕，则可根据被摄物体的形状设置多边形贴近航线，生成平行于被摄物体水平轮廓线的航线，如图5所示：

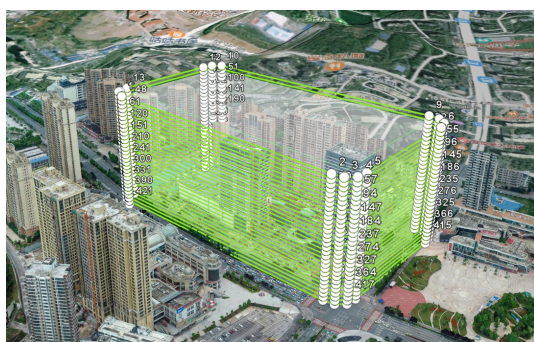


图5多边形贴近航线示意图

除了根据导入的边界范围生成航线外，还可以根据物体粗糙或稀疏点云，生成贴近航线，如图6所示：

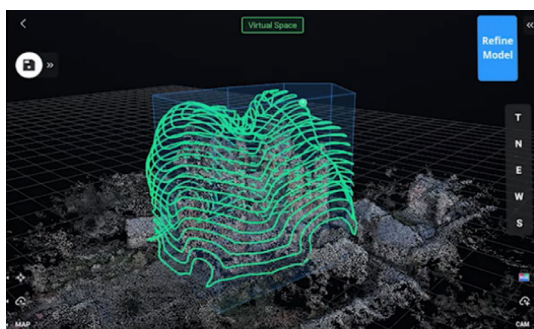


图6基于稀疏点云的贴近航线示意图

此外，还有只针对某一个平面的贴近航线，如被摄物体为山坡或只需要针对物体某一侧面进行精细化建模，就可以使用坡面航线模式。坡面航线是生成一个矩形被摄面，根据需要设置被摄面的长宽尺寸、垂直倾角，可形成完全垂直或带有一定坡度的坡面航线，如图7所示：



图7坡面航线示意图

3. 地面补拍

类似建筑底层，由于树木、线路，或行人车辆等因素干扰，无法进行航摄的区域，可以采用地面拍摄的方法作为补充。目前地面拍摄的设备很多，专业的有手持式带三轴云台的数码相机、集成惯性导航功能的拍照设备，此外传统的数码相机、运动相机，甚至普通的手机也能进行地面拍照。

地面拍摄相较于航空摄影，不受空域条件制约，更灵活便捷，但也需要注意拍照的焦距、分辨率、重叠度等因素。仅凭拍摄人员的感官估计，地面拍摄的重叠度往往不如航线自动拍照的重叠度准确、稳定，如果拍摄的地面照片重叠度过低，若不满足内业处理要求，则可能会导致空三构网失败。因此在地面拍摄的过程中，尤其应注意照片重叠度，如图8所示：

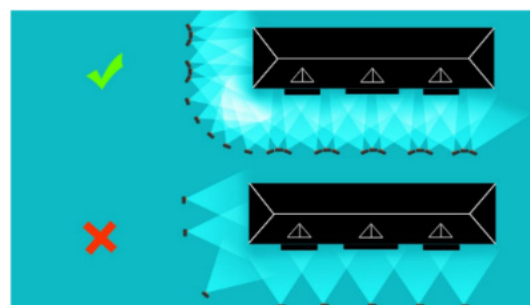


图8地面拍摄重叠度

此外，近距离拍摄的照片应和航摄影像有足够的公共内容，便于内业处理数据时进行匹配融合。而且和航摄影像的分辨率不应差异过大，应做好衔接过渡，如图9所示：



图9近景摄影的衔接过渡

(三) 三维激光扫描

三维激光扫描，是通过发生激光脉冲，获取物体表面的点云

集合，点云数据主要包含 X、Y、Z 坐标和反射强度等相关信息。三维激光扫描可直接获取物体表面的坐标信息，相较于摄影测量，更适用于弱纹理、或镂空结构、细小结构等复杂物体的三维建模。此外，在不考虑点云赋色的情况下，三维激光扫描可以不受光照条件的限制，即使在光照条件差的环境下，也能对地物进行激光扫描。

根据扫描方式的不同，三维激光扫描技术可以分为机载三维激光扫描、车载三维激光扫描、架站式三维激光扫描和手持式三维激光扫描。机载三维激光扫描适合对地物顶部进行大面积的点云扫描，车载则适合对道路沿线的地物进行点云扫描，架站式和手持式的激光扫描一般用于对建筑内部，或小范围、高精度的点云扫描，其中架站式的激光扫描，是精度最高的激光扫描方式，在有效测程内，点云精度可达毫米级。

三、数据处理

以倾斜数字航空摄影的数据作为基础数据，进行初始空三，获取覆盖整个测区的空三成果。在此基础上，融合各种补充拍摄的影像数据，如环绕航线、贴近航线、地面拍摄的影像数据。

其中环绕航线、贴近航线的融合较为简单，目前主流的航测无人机基本都带有 POS 信息（Positioning and Orientation System，定位定向系统），在机载 POS 信号正常的情况下，倾斜航空和贴近航摄获取的航摄照片都能有厘米级别精度的位置信息。

而地面拍摄的影像数据，可能由于没有位置姿态信息，或者位置姿态信息的定位精度不高，因此在完成局部空三后，只能获取独立坐标系下的坐标数据，需要通过手动指定连接点的方式，将局部空三成果和基础空三成果进行配准，再根据航摄影像和地面影像的公共区域，进行数据融合。

三维激光扫描获取的点云数据，在和影像数据进行融合之前，应进行预处理，点云预处理主要包括：点云解算、配准平差、降噪、抽稀和绝对定向。在完成预处理后，再将点云数据导入软件中，和影像数据进行融合处理。

在整个数据处理过程中，空中三角测量（Aerial Triangulation）是核心环节，其本质是通过同一地物点在不同重叠影像中的同名像点，计算得到相邻影像的相对位置关系，实现影像数据的相对定向。通过少量的地面控制点或仅基于影像自身的定位信息，将相对定向的自由网转换到真实的大地坐标系下，实现绝对定向。空中三角测量的计算过程大致可分为：数据准备、内定向、相对定向、绝对定向、区域网平差五个核心步骤。

而融合点云的数据处理，则可以根据导入的激光点云数据，将其作为空三处理时的已知条件，将点云作为额外观测值，通过平差优化，提高相机位置和姿态的解算精度。此外，在模型重建时，点云数据还可以作为 Mesh 模型的约束条件，强制三角网贴合

点云表面，并保留点云的几何特征。

四、模型精细程度

如图 10 所示，这是一个包含倾斜航空摄影、贴近航摄、地面拍照的空地一体影像数据融合建模的项目。

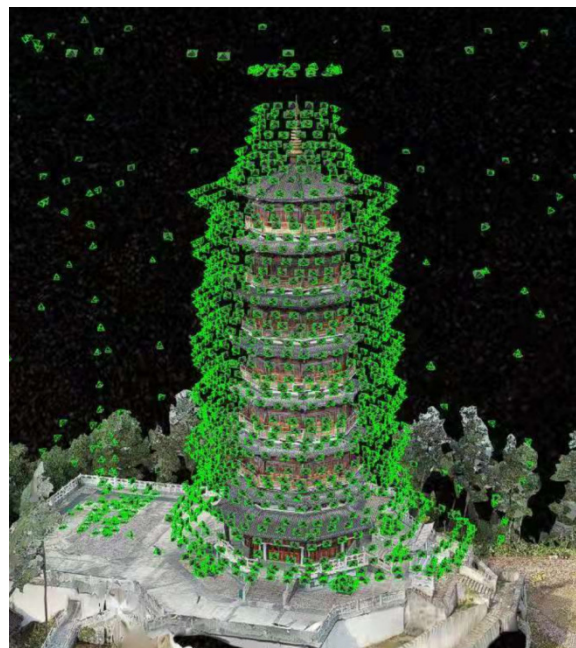


图 10 空地一体影像数据

倾斜航空摄影，只有从上至下的拍摄角度。而包含近景摄影的空地一体化的融合数据，能够对地物实现多角度、多层级的拍摄，从而获取传统航测无法拍到的细节特征（如屋檐下、建筑内部）。



图 11 屋檐下方的建筑模型

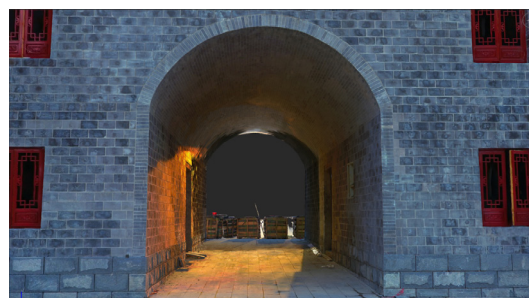


图 12 门洞内部的建筑模型

由于三维激光扫描能够获取物体表面详实的点云数据，因此相较于只有影像数据的重建模型，能够更详细的反映物体的几何

特征。此外，由于三维激光扫描可以直接获取物体表面点云，对弱纹理的物体，点云数据也能够显著提高空三计算的成果质量。如下图所示，左侧为基于影像数据完成的重建模型，右侧为影像数据和三维激光扫描的点云数据融合建模的重建模型，右侧的模型能够更为精确的反映物体表面的细小结构。

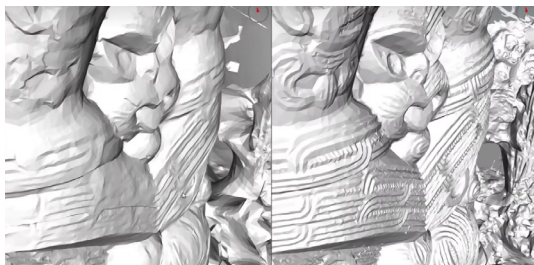


图 13 影像数据和影像、点云融合数据建模对比图

五、结论

倾斜航空摄影、近景摄影（贴近航摄和地面拍摄）、三维激光扫描的多源数据融合建模，是解决单一数据源局限、实现高精

度三维场景重建的一种方法。但多源数据融合建模，目前仍存在着几点瓶颈：

近景摄影的外业效率低，难以适应大规模场景；

数据量庞大、对内业处理的硬件配置有较高要求，数据处理耗时长，建模效率低；

部分数据的配准、特征识别，需要人工干预，依赖手动选点；

设备成本高，尤其是三维激光扫描设备的成本较高。

而高斯泼溅（Gaussian Splatting）是近年来计算机图形学和三维重建领域备受关注的核心技术，其核心思想是通过一组三维高斯函数（高斯椭圆）来表示和渲染三维场景，在保证高视觉质量的同时实现实时渲染性能，该技术显著改善传统实景三维模型中建筑边缘锯齿、植被细节丢失等问题，尤其在镂空结构（如电线塔）的变现上优势突出，同时也能基于影像数据和点云数据进行融合建模，是目前实景三维模型重建的一个热门课题。

参考文献

- [1] 孙宏伟. 基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模 [J]. 城市勘测, 2014, 37(01): 18–21.
- [2] 王琳, 吴正鹏, 姜兴钰, 陈楚. 无人机倾斜摄影技术在三维城市建模中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(12): 30–32.
- [3] 周晓敏, 孟晓林, 张雪萍, 弥永宏. 倾斜摄影测量的城市真三维模型构建方法 [J]. 测绘科学, 2016, 41(09): 159–163.
- [4] 卞敏, 徐亮, 骆元鹏, 周晓波, 赵慧峰, 杨化超. 空地一体精细化三维模型构建方法 [J]. 测绘通报, 2019(09): 83–86.
- [5] 何原荣, 陈平, 苏铮, 王植, 李权海. 基于三维激光扫描与无人机倾斜摄影技术的古建筑重建 [J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(06): 1343–1352.
- [6] 李晓斌, 林志军, 杨玺, 景行, 文习鹤. 基于激光扫描和倾斜摄影技术的三维实景融合建模研究 [J]. 激光杂志, 2021, 42(08): 166–170.

风景园林技术管理中的关键问题及解决路径

李翠芬

身份证号: 440682198712082522

DOI:10.61369/UAID.2025020027

摘 要： 本文阐述风景园林技术管理的内涵，包括各环节技术运用与管理。分析其新特点，如绿色建造技术等。指出技术应用瓶颈、管理流程缺陷、制度建设滞后等问题。强调 BIM 与 GIS 融合等的意义，提出创新路径及未来关注方向，以提升管理水平和效益。

关 键 词： 风景园林；技术管理；创新路径

Key Problems and Solutions in Landscape Architecture Technology Management

Li Cuifen

ID:440682198712082522

Abstract： This article explores the essence of landscape architecture technology management, covering the application and management of various technologies. It analyzes new features, such as green construction techniques. The article highlights issues like bottlenecks in technology application, flaws in management processes, and lagging institutional development. It emphasizes the significance of integrating BIM (Building Information Modeling) and GIS (Geographic Information System), and proposes innovative approaches and future directions to enhance management efficiency and effectiveness.

Keywords： landscape architecture; technical management; innovation path

引言

风景园林技术管理涵盖规划设计到后期养护各环节，其核心是确保技术活动高效有序以实现项目目标。随着科技发展，呈现新特点，如绿色建造技术探索及智能系统应用。同时，《关于推动城乡建设绿色发展的意见》（2021年）强调了绿色发展的重要性，为风景园林技术管理指明方向。然而，当前在技术应用维度存在瓶颈，管理流程维度有缺陷，制度建设滞后，监管机制碎片化，资源配置失衡，人力资源结构不合理等问题，需探索创新路径解决，以促进风景园林行业可持续发展。

一、风景园林技术管理的理论基础

（一）技术管理的内涵解析

风景园林技术管理是对风景园林相关技术活动进行计划、组织、指挥、协调和控制的过程。它涵盖了从园林规划设计到施工建设再到后期养护的各个环节的技术运用和管理。其核心在于确保各项技术活动能够高效、有序地进行，以实现风景园林项目的预期目标。一方面，它涉及对技术资源的合理配置，包括人力、物力和财力等方面，确保技术人员能够充分发挥其专业技能，各类技术设备和材料能够得到有效利用^[1]。另一方面，它强调对技术活动的监督和评估，及时发现和解决技术问题，不断优化技术方案，提高风景园林项目的质量和效益。

（二）技术管理发展现状

随着科技的不断发展，风景园林技术管理呈现出新的特点。在绿色建造技术方面，国内外都在积极探索可持续材料的应用以及生态友好型施工工艺，以减少对环境的影响并提高园林的生态

功能^[2]。例如，一些新型的环保建筑材料被广泛应用于园林小品和基础设施建设中。同时，景观维护 AI 系统也逐渐受到关注，其可以通过智能监测和数据分析，实现对园林植物生长状况、病虫害情况以及设施完好程度的实时监控，从而提高维护效率和精准度。当前的技术管理模式也在与时俱进，更加注重信息化和智能化，强调多学科融合以及与社会需求的紧密结合，以适应新时代风景园林建设和发展的需要。

二、风景园林技术管理的关键问题识别

（一）技术应用维度瓶颈

在风景园林技术应用维度存在诸多瓶颈。BIM 协同设计标准的缺失严重阻碍了技术的有效应用，不同设计团队之间难以实现高效协同，导致设计信息传递不畅，影响项目进度和质量^[3]。生态修复技术适配性不足也是一大痛点，在面对不同的生态环境和修复需求时，现有技术往往无法精准满足要求。例如，在一些污

染严重的土壤修复项目中，技术选择可能不合理，无法达到预期的修复效果，造成资源浪费和生态恢复缓慢。这些技术应用维度的瓶颈问题亟待解决，以提升风景园林技术管理水平。

（二）管理流程维度缺陷

多专业协同机制不健全是管理流程维度的重要缺陷。风景园林涉及建筑、植物、生态等多个专业领域，各专业之间缺乏有效的沟通与协作平台和机制，导致信息传递不畅、设计理念冲突等问题，影响项目的顺利推进^[4]。同时，智慧园林运维平台存在数据孤岛现象。随着信息技术在风景园林中的应用，各类数据不断产生，但由于缺乏统一的数据标准和共享机制，不同系统或模块之间的数据无法有效交互和整合，难以实现对园林的全面、精准管理和决策支持，制约了风景园林技术管理水平的提升^[4]。

三、技术管理问题的成因剖析

（一）制度建设滞后性分析

1. 标准体系不完善

风景园林技术管理中的制度建设存在滞后性，其中标准体系不完善是重要体现。建造标准与技术规程在模块衔接方面存在缺陷，各模块之间缺乏有效的协调与整合，导致技术应用过程中出现脱节现象^[5]。同时，在地域适应方面也存在不足，未能充分考虑不同地域的自然环境、气候条件以及文化特色等因素，使得一些标准和规程在实际应用中难以有效实施。这种不完善的标准体系严重影响了风景园林技术管理的效率和质量，制约了行业的健康发展。

2. 监管机制碎片化

在风景园林技术管理中，监管机制碎片化问题显著。项目全生命周期管理存在分段审批、多头监管的情况，这导致了效率损耗^[6]。分段审批使得项目流程被切割，不同阶段的审批标准和流程可能存在差异，增加了协调成本和时间成本。多头监管则可能出现职责不清、权力交叉的问题，各监管主体之间缺乏有效的沟通与协作机制，容易导致重复监管或监管空白，影响技术管理的效率和质量，不利于风景园林项目的顺利推进。

（二）资源整合局限性研究

1. 技术资源配置失衡

在风景园林技术管理中，技术资源配置失衡是一个关键问题。一方面，新材料研发投入存在不足。这可能由于企业或研究机构对新材料研发的重视程度不够，资金分配不合理，更多资源倾向于已成熟的技术和项目，导致对新材料研发的支持力度有限^[7]。另一方面，现有设施智能化改造成本过高。这既与智能化技术本身的复杂性和成本有关，也可能是由于缺乏有效的成本控制措施和规模化应用，使得单位改造成本居高不下，进一步加剧了技术资源配置的失衡。

2. 人力资源结构性缺失

风景园林技术管理面临人力资源结构性缺失问题，主要体现在专业技术队伍老龄化与智慧园林运维人才储备不足的双重制约。随着行业的发展，传统技术人员年龄逐渐偏大，知识结构更

新缓慢，难以适应新技术的应用需求。同时，智慧园林作为新兴领域，对具备信息技术和园林专业知识的复合型人才需求迫切，但相关人才储备却严重不足。这不仅影响了园林项目的建设质量和效率，也制约了行业的创新发展。这种人力资源结构的不合理，是多种因素共同作用的结果，包括教育体系不完善、行业吸引力不足等^[8]。

四、智慧化技术管理创新路径

（一）智能化管理平台构建

1. BIM+GIS 技术融合应用

BIM（建筑信息模型）与 GIS（地理信息系统）技术的融合应用在风景园林技术管理中具有重要意义。BIM 技术能够对园林设施进行精细化的三维建模与信息集成，涵盖从设计到施工再到运营维护的全生命周期信息。GIS 技术则侧重于空间数据的管理与分析，可提供场地的地形、地貌、植被分布等详细地理信息。将两者融合，一方面可以利用 BIM 的精确模型提升 GIS 对微观园林设施的表达能力，另一方面 GIS 的宏观地理信息能为 BIM 模型提供更准确的场地背景。通过这种融合，能够构建一个更加全面、准确的风景园林信息管理系统，实现对园林资源的高效管理与利用，为风景园林技术管理创新提供有力支撑^[9]。

2. 物联网监测系统集成

构建智能化管理平台中的物联网监测系统集成，需设计包含土壤墒情、植物长势等多维度指标的动态监测网络。通过在园林环境中合理布局各类传感器，实现对土壤湿度、养分，植物的生长高度、叶片颜色等关键指标的实时采集。这些传感器将数据传输至物联网平台，利用先进的数据处理技术进行分析。一方面，可及时发现土壤缺水、肥力不足等问题，为灌溉和施肥提供科学依据；另一方面，能对植物的健康状况进行精准判断，提前预警病虫害等异常情况，以便采取有效的防治措施，从而实现风景园林的精细化管理，提高园林的生态效益和景观质量^[10]。

（二）标准化体系建设策略

1. 全流程管理规程制定

建立涵盖方案设计、施工验收、智慧运维的阶段化技术标准框架是实现标准化体系建设和全流程管理规程制定的关键。在方案设计阶段，应明确设计规范和技术要求，确保设计的科学性和合理性。施工验收阶段，需制定严格的质量检验标准和验收流程，保证施工质量符合要求。智慧运维阶段，要建立智能化监测和管理系统，提高运维效率和质量。通过这样的阶段化技术标准框架，实现风景园林技术管理从规划到实施再到维护的全流程标准化和规范化，提升管理水平和质量，促进风景园林行业的可持续发展。

2. 绩效评估模型开发

智慧化技术管理创新路径需融合现代信息技术，如利用大数据分析风景园林的生态数据，为管理决策提供科学依据。通过物联网技术实现对园林设施的实时监测与远程控制，提高管理效率。标准化体系建设策略应涵盖从规划设计到施工养护的全过

程,制定统一的技术标准和操作规范,确保风景园林工程质量。绩效评估模型开发要综合考虑生态效益、社会效益和经济效益等多方面因素。以生态效益为例,可构建基于生态效益指数的评价体系,对景观工程技术应用质量进行量化评估,为技术管理的持续改进提供方向。

(三) 协同发展机制创新

1. 产学研用合作模式

产学研用合作模式在智慧化技术管理创新路径的协同发展机制创新中具有重要意义。该模式强调企业、高校、科研机构以及应用终端的紧密合作。高校和科研机构拥有丰富的科研资源和人才优势,能够进行前沿技术的研发。高校通过建立“企业-行业-高校”三方联动机制,动态调整课程体系。一方面组建由企业技术骨干参与的课程建设委员会,每学期修订教学大纲;另一方面引入行业技术白皮书作为教材补充,确保教学内容与前沿技术同步。以北京林业大学“风景园林设计1”课程为例,其构建的产学研用实践体系具有双重维度:在服务国家战略层面,设置雄安新区生态廊道设计、长江大保护景观修复等真题项目;在响应时代需求方面,开设智慧景观系统设计、低碳植物配置等前沿模块。近三年该课程培养的研究生,其设计作品获行业奖项23项,实用新型专利9项,印证了这种培养模式的有效性。

在成果转化方面,高校搭建了“三阶段”转化通道:初期通过校企联合实验室进行技术孵化(如北林大与东方园林共建的生态景观数字孪生实验室),中期依托大学科技园进行中试转化,后期通过技术入股方式成立学科性公司。典型案例包括:该校研发的“近自然植物群落营造技术”已应用于7个省市的城市公园建设,累计推广面积达45万平方米;培育的耐盐碱观赏草新品种“沧浪”,通过校企合作实现年产200万株的规模化生产。

科研机构的深度参与形成了“研发-应用-反馈”的良性循环。中国林科院与岭南股份联合开发的边坡生态修复技术体系,不仅获得国家科技进步二等奖,更在粤港澳大湾区20余个项目中应用,使植被恢复周期缩短40%。在植物培育领域,北京植物园与棕榈园林合作建立的观赏植物基因库,已筛选出8个适应气候变化的景观树种,相关育种技术为企业年增产值超3000万元。这种

产学研协同创新模式,既加速了科研成果的市场化进程,又显著提升了企业的技术储备与投标竞争力,近三年合作企业中标率平均提升18.7%。

企业则了解市场需求和实际应用场景,可将研发成果进行转化和推广。通过建立有效的合作机制,各方能够共享资源、优势互补。例如,共同开展科研项目,高校和科研机构提供理论支持和技术研发能力,企业提供资金和实践平台。同时,合作还应注重知识产权的保护和利益分配,以激发各方的积极性,推动智慧化技术管理的创新发展。

2. 管理人才培养体系

设计适应智慧园林发展的复合型技术人才梯度培养与激励机制是提升管理水平的关键。应构建涵盖不同层次教育的培养体系,从高校相关专业课程设置的优化,融入智慧园林前沿技术知识,到职业培训中针对在职人员的技能提升课程,注重实践与理论结合。同时,建立激励机制,对在智慧园林技术创新和应用方面有突出贡献的人才给予物质和精神奖励,鼓励其持续探索。还需加强企业与高校、科研机构的合作,通过产学研联合项目,为人才提供实践平台,加速知识转化,培养出适应智慧园林发展需求的复合型技术管理人才。

五、总结

风景园林技术管理在标准体系、资源配置和智慧应用等方面的创新路径取得了一定成效。在标准体系上逐渐完善,为园林建设提供规范;资源配置更加合理,提高了建设效率和质量;智慧应用的引入提升了管理的科学性和精准性。然而,未来仍需重点关注一些方向。要制定区域适配性标准,以适应不同地域的环境和需求;深度应用智能算法,进一步提升管理的智能化水平。同时,持续关注技术创新与管理模式的协同进化至关重要。只有两者紧密结合、共同发展,才能更好地推动风景园林技术管理的进步,实现风景园林建设的可持续发展,提升其生态、社会和经济效益。

参考文献

- [1] 钟和丽. 城市公园的风景园林策划工作程序研究 [D]. 华南理工大学, 2021.
- [2] 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.
- [3] 姜昊岑. 杨柳青木版年画中的风景园林场景研究 [D]. 天津大学, 2022.
- [4] 林诗雨. 中国现代风景园林规划设计的知识更新研究——以教材为中心的考察 [D]. 华中科技大学, 2021.
- [5] 胡月. 吉林市风景园林发展历史研究初探 [D]. 北京林业大学, 2021.
- [6] 蔡仁盛. 风景园林施工中存在的问题及解决措施 [J]. 建材与装饰, 2023, 19(15): 42-44.
- [7] 何畏. 生态风景园林施工管理中的关键问题探析 [J]. 农村百事通, 2022(6): 79-81.
- [8] 李晓斌. 建筑施工技术管理中的问题及解决措施 [J]. 中国建筑装饰装修, 2021(8): 124-125.
- [9] 张彩霞. 农村农田水利灌溉技术管理中存在的问题及解决对策 [J]. 河北农机, 2024(6): 99-101.
- [10] 伍满红. 建筑工程技术管理过程中的几个关键问题 [J]. 建筑·建材·装饰, 2021(9): 52-53.

房建外墙保温与装饰一体化系统施工质量缺陷成因及防治技术研究——以某装配式住宅项目为例

郝会军

北京建工集团山西建设有限公司，山西 太原 030000

DOI:10.61369/UAID.2025020029

摘 要： 本文以某装配式住宅项目为工程案例，针对外墙保温与装饰一体化系统施工中常见的保温层空鼓、饰面层开裂、渗漏等质量缺陷，结合装配式建筑“工厂预制、现场装配”的施工特点，从材料性能匹配性、节点处理工艺及环境因素三个维度分析缺陷成因。通过现场检测获取量化数据，提出从材料选型、工序优化到后期养护的全流程防治方案。为类似工程提供质量管控参考。

关 键 词： 装配式住宅；保温与装饰一体化；质量缺陷；成因分析；防治技术

Research on the Causes and Prevention Technology of Construction Quality Defects in the Integrated System of Insulation and Decoration of Exterior Walls of Housing Construction—Taking a Prefabricated Housing Project As an Example

Hao Huijun

Beijing Construction Engineering Group Shanxi Construction Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi 030000

Abstract： This paper takes a prefabricated residential project as an engineering case, and analyzes the causes of defects from three dimensions: material performance matching, node treatment process and environmental factors, combined with the construction characteristics of "factory prefabrication and on-site assembly" of prefabricated buildings, in view of the common quality defects such as hollow insulation layer bulging, finish layer cracking, and leakage in the construction of the integrated system of exterior wall insulation and decoration. Quantitative data is obtained through on-site testing, and a full-process prevention and control plan is proposed from material selection, process optimization to later maintenance. Provide quality control reference for similar projects.

Keywords： prefabricated housing; integration of thermal insulation and decoration; quality defects; genesis analysis; prevention and control technology

引言

随着建筑节能政策的深化，外墙保温与装饰一体化系统因兼具节能、装饰及施工效率优势，在装配式住宅中应用占比已达 65% 以上。但该系统由预制保温层、装饰层及连接节点组成，材料复合性强、施工精度要求高，易因“材料不匹配、节点处理不当、环境适应性不足”产生质量缺陷。据住建部统计，装配式外墙质量投诉中，保温层空鼓占 32%、饰面层开裂占 28%、渗漏占 35%，直接影响建筑使用寿命与安全性能^[1]。因此，研究其缺陷成因及防治技术具有重要工程价值。

一、工程概况

（一）项目基本信息

某装配式住宅项目总建筑面积 5.2 万 m²，由 8 栋 18 层装配式剪力墙结构组成。外墙采用“预制混凝土夹心保温装饰一体化板”（以下简称“一体化板”），系统构造为：内侧 60mm 预制混凝土层 + 80mm 挤塑聚苯乙烯（XPS）保温层 + 30mm 仿石涂料饰面层，板缝采用硅酮密封胶填充，通过预埋件与主体结构连接。

项目 2022 年 3 月开工，2023 年 10 月竣工，施工中发现 3#、5#、2# 楼分别出现保温层空鼓、饰面层开裂及渗漏问题。

（二）施工流程特点

装配式一体化板施工流程为“工厂预制→现场吊装→节点处理→装饰修补”，与传统现浇系统相比，具有“工厂质量可控但现场节点处理难度大”的特点。其中，现场节点处理是质量控制关键环节，占施工缺陷成因的 60% 以上^[2]。

二、质量缺陷现状及现场检测

（一）主要缺陷表现

- 1.保温层空鼓
- 3# 楼东立面 2-5 层共 12 块板出现空鼓，集中于板边缘及预埋件周边，空鼓面积占比 5%-15%；
- 2.饰面层开裂
- 5# 楼西立面 6-10 层饰面层出现不规则裂纹，长度 20-

- 150mm，部分贯穿至保温层；
- 3.渗漏
- 2# 楼北立面 11 层板缝处雨水渗漏，导致室内墙面返潮，渗漏点集中于转角节点及预埋件位置。

（二）现场检测数据

为精准分析缺陷程度，采用专业检测设备对上述问题部位进行量化测试，涉及粘结强度、材料性能、渗透特性等关键指标，并与规范要求对比^[3]。检测结果如下表1所示。

表1：现场关键指标检测分析

缺陷类型	缺陷类型	规范要求	实测值	偏差率	检测方法
保温层空鼓	粘结强度	≥ 0.4MPa	0.2-0.3MPa	-25%~-50%	超声波检测仪
	粘结剂含水率	≤ 5%	8%	+60%	卡尔费休水分仪
饰面层开裂	涂料层强度	≥ 20MPa	17-18.5MPa	-7.5%~-15%	回弹仪
	界面孔隙率	≤ 3%	6%-8%	+100%~+167%	环境扫描电镜（SEM）
渗漏	密封胶拉伸模量	≤ 1.5MPa	1.8MPa	+20%	万能试验机
	渗透速率	0L/h	0.02L/h	超标	水密性试验

三、质量缺陷成因分析

（一）材料性能匹配性不足

- 1.保温层与粘结剂不匹配
- XPS 板表面光滑（吸水率≤1%），与水泥基粘结剂亲和性差，检测显示其界面浸润角 75°（规范要求≤60°）^[4]，导致粘结强度不足。
- 2.饰面层与保温层变形协调性差
- 饰面层仿石涂料线膨胀系数 3.5×10⁻⁶/℃，XPS 板为 7.0×10⁻⁶/℃，温差作用下变形量差异达 2 倍，导致饰面层因应力集中开裂。
- 3.密封胶性能缺陷

板缝采用酸性硅酮密封胶，长期暴露于紫外线后弹性恢复率降至 65%（规范≥80%）^[5]，拉伸模量超标 20%，无法适应温度变形，形成渗漏通道。

（二）节点处理工艺不规范

- 1.预埋件安装偏差
- 装配式墙板吊装时，预埋件定位偏差达 ±10mm（规范≤5mm），导致保温层局部受压，有限元模拟显示此时保温层局部应力达 1.2MPa（XPS 板抗压强度 0.8MPa）^[6]，引发材料破坏空鼓。
- 2.板缝处理工艺缺陷
- 现场板缝清理不彻底（残留混凝土碎屑），密封胶施工未采用“二次打胶法”，胶层与基层粘结面积不足 70%，形成渗漏隐患。
- 3.施工顺序错误
- 部分区域先施工饰面层再处理板缝，导致密封胶与饰面层衔接不紧密，形成“倒坡”渗漏通道。

（三）环境因素影响

- 1.温度变化
- 项目所在地夏季最高气温 38℃，冬季最低 -5℃，昼夜温差达 15℃。温度场模拟显示，温差作用下饰面层最大拉应力达

- 2.5MPa（涂料抗拉强度 1.8MPa），裂纹优先产生于板缝周边。
- 2.降水与湿度
- 施工期间遭遇连续阴雨，粘结剂在含水率超标的情况下强行施工，固化不良；未固化的密封胶被雨水冲刷，形成孔隙^[7]。

四、全流程防治技术方案

（一）材料选型优化

- 1.保温层与粘结剂匹配
- 采用表面经等离子处理的 XPS 板（浸润角降至 55°），配套改性水泥基粘结剂（添加丁苯乳液，提高柔性），粘结强度提升至 0.5MPa 以上。
- 2.饰面层与保温层变形协调
- 选用弹性仿石涂料（线膨胀系数 5.0×10⁻⁶/℃），与 XPS 板变形差控制在 30% 以内；添加玻璃纤维网布（网格尺寸 5mm×5mm），提高抗裂性能。
- 3.密封胶升级
- 采用中性硅酮耐候胶（弹性恢复率≥85%），掺入 0.5% 紫外线吸收剂，使用寿命延长至 15 年（传统产品 8 年）^[8]。

（二）节点施工工艺改进

- 1.预埋件安装精度控制
- 采用 BIM 技术预演吊装流程，预埋件定位偏差控制在 ±3mm 内；安装后用聚氨酯发泡剂填充间隙（膨胀率≥200%），消除应力集中。
- 2.板缝处理标准化
- 施工顺序优化：严格遵循“板缝处理→密封胶固化（7 天）→饰面层施工”流程，避免密封胶与涂料层交叉污染。
- (1)清理：高压水枪清除杂物，干燥后涂刷硅烷底涂（渗透深度≥2mm）；
- (2)填充：先嵌入 Φ20mm 闭孔泡沫棒（压缩率 50%），再采用“二次打胶法”施工（第一次打胶至深度 2/3，固化 24h 后补满）^[9]；

(3)养护：胶层固化前覆盖防雨布，确保 7 天养护期内不受雨水冲刷。

(三) 环境适应性措施

1. 温度控制

夏季施工避开正午（气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 时停工），冬季采取保温措施（环境温度 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ ）；板缝预留 5mm 伸缩量，应对温度变形^[10]。

2. 降水应对

施工前 3 天监测天气预报，雨天停止室外作业；已施工粘结层覆盖塑料薄膜，固化时间延长至 72h（正常 48h）。

(四) 后期养护与监测

1. 养护方案

饰面层施工后洒水养护 7 天（每天 2 次），避免表面开裂；密封胶施工后 24h 内禁止触碰，7 天内避免雨水浸泡。

2. 监测系统

在易渗漏部位安装湿度传感器（精度 $\pm 2\%$ RH），实时传输数据至管理平台；每季度对密封胶进行外观检查，发现老化及时更换。

五、工程应用效果验证

为验证防治方案的有效性，将上述技术措施应用于项目剩余 3 栋楼的施工中，并对实施前后的质量指标进行跟踪检测。通过 6

个月的持续监测，具体数据如下表 2 所示。

表 2：放流程防治方案效果分析

指标	实施前	实施后	改进率
保温层空鼓率	8.3%	1.2%	-85.5%
饰面层开裂率	12.5%	2.1%	-83.2%
渗漏点数量	15 处	0 处	-100%
返工成本	62 万元	8 万元	-87.1%
施工周期	平均 35 天 / 栋	平均 30 天 / 栋	-14.3%

六、结论

装配式外墙一体化系统缺陷主要源于材料不匹配（占比 35%）、节点工艺不规范（45%）及环境影响（20%），其中节点处理是核心控制环节。通过材料选型优化（如弹性涂料、耐候密封胶）、工艺改进（BIM 定位、板缝标准化）及环境适配措施，可使缺陷率降低 80% 以上，全生命周期成本降低 30%。工程验证表明，全流程防治方案能有效保障系统质量，兼顾安全性与经济性。

参考文献

- [1] 苏伟泽. 装配式建筑保温结构一体化预制外墙施工要点与质量评价 [J]. 四川水泥, 2024, (07): 103-105.
- [2] 张倩, 瞿峰城, 张磊. 装配式建筑工程中的外墙保温一体化施工工艺流程 [J]. 四川建材, 2024, 50(05): 96-98.
- [3] 黄国君. 装配式建筑外墙保温一体化施工技术分析 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(08): 81-83.
- [4] 刘海. 装配式建筑外墙保温装饰一体板施工技术 [J]. 工程机械与维修, 2024, (02): 180-182.
- [5] 万长剑. 高层建筑外墙保温系统防火措施研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (03): 105-107.
- [6] 杨建国. 建筑外墙结构防火保温节能系统 V1.0. 重庆市, 重庆市聚晟建筑设计有限责任公司, 2024-01-15.
- [7] 姜勇, 赵凤伟, 马耀, 等. 装配式建筑外墙保温一体化施工技术要点 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (21): 155-157.
- [8] 王俊胜. 建筑外墙外保温系统防火性能提升及防火耐久性关键技术研究. 天津市, 应急管理部天津消防研究所, 2022-11-29.
- [9] 曹玉柱, 李晓梅. 新型防火保温装饰一体板在建筑外墙保温中的应用研究 [J]. 建筑节能 (中英文), 2022, 50(11): 94-97+117.
- [10] 王春晖, 李昊, 冯志会. 建筑外墙保温装饰一体化系统施工技术 [J]. 建筑结构, 2022, 52(S1): 3216-3221.

园林植物配置对城市微气候调节作用的量化研究 ——以夏季降温增湿效应为例

胡国魁

锦州市园林集团, 辽宁 锦州 121000

DOI:10.61369/UAID.2025020044

摘 要 : 本文聚焦园林植物配置对城市夏季降温增湿效应的量化研究, 构建了量化指标体系, 确定了效应指标及相应筛选原则。通过整合文献数据、遥感数据、公开气象数据及城市绿地规划资料, 经标准化处理、时空匹配和异常值剔除后形成统一数据集, 系统分析了不同植物配置类型的效应差异、关键参数与效应的相关性及空间尺度上的效应规律。研究旨在揭示植物配置特征与微气候调节作用的内在关联, 为城市绿地规划提供科学依据。

关 键 词 : 园林植物配置; 城市微气候; 夏季降温增湿; 量化研究

Quantitative Study on the Regulation Effect of Garden Plant Configuration on Urban Microclimate — Taking the Cooling and Humidifying Effect in Summer as an Example

Hu Guokui

Jinzhou Garden Group, Jinzhou, Liaoning 121000

Abstract : This paper focuses on the quantitative study of the cooling and humidifying effects of garden plant configuration in urban areas during summer. A quantitative index system is constructed, and the effect indicators and corresponding screening principles are determined. By integrating literature data, remote sensing data, public meteorological data, and urban green space planning materials, a unified dataset is formed after standardization, spatio-temporal matching, and outlier elimination. The study systematically analyzes the effect differences of different plant configuration types, the correlation between key parameters and effects, and the effect laws on spatial scales. The research aims to reveal the intrinsic relationship between plant configuration characteristics and microclimate regulation, providing a scientific basis for urban green space planning.

Keywords : garden plant configuration; urban microclimate; summer cooling and humidifying; quantitative research

引言

近年来国内外学者围绕植物配置与微气候的关系展开探索, 证实了不同物种、群落结构对降温增湿效应的影响差异。本研究以夏季降温增湿效应为切入点, 聚焦园林植物配置的量化分析, 通过构建科学的指标体系, 整合多源数据并进行规范化处理, 系统探究不同配置类型的效应差异、关键参数的影响权重及空间尺度上的效应规律。研究旨在明确植物配置对夏季微气候的调节机制, 提炼“高效配置”的核心特征, 为优化城市园林设计、提升生态服务功能提供量化依据, 助力低碳宜居城市建设。

一、夏季降温增湿效应的量化指标体系构建

(一) 植物配置特征量化指标

园林植物以其多样的形态和生态功能, 在城市微气候调控中扮演着不可或缺的角色, 其生态特性不仅涵盖了对环境适应性的基本要求, 还包含了对城市生态系统服务功能的显著贡献^[1]。植

物配置特征的量化需从物种个体、群落结构、空间格局三个层面展开, 以全面反映植物的组成、形态及分布对微气候的潜在影响。物种层面, 按叶片属性、蒸腾能力、生长型划分功能型, 涵盖树高、冠幅、胸径、叶片特征及单株蒸腾速率等参数; 群落层面, 结构指标有层次丰富度、郁闭度、密度、盖度, 功能指标含叶面积指数、群落平均蒸腾速率、物种多样性; 空间格局层面,

包括绿地斑块面积、形状指数、破碎度及与硬质下垫面的距离。

（二）降温增湿效应量化指标

结合夏季微气候特征，从降温效果、增湿效果、综合舒适度三个维度设计量化指标，确保能精准反映植物配置的实际调节作用^[2]。降温效应指标有绝对降温值（ ΔT ，植物配置区域与对照区的瞬时温度差）、日均降温幅度（（对照区日平均温度 - 配置区日平均温度）/ 对照区日平均温度 $\times 100\%$ ）、降温持续时间（配置区温度低于对照区的时长）、降温影响半径（绿地边缘外温度较对照区显著降低的最大水平距离）；增湿效应指标包括绝对增湿值（ ΔRH ，植物配置区域与对照区的瞬时相对湿度差）、日均增湿幅度（（配置区日平均相对湿度 - 对照区日平均相对湿度）/ 对照区日平均相对湿度 $\times 100\%$ ）、湿度稳定性指数（配置区内日相对湿度的变异系数）；综合效应指标为温湿指数（THI）改善值（配置区与对照区的 THI 差值， $THI=0.81 \times \text{气温} + 0.01 \times \text{相对湿度} \times (0.99 \times \text{气温} - 14.3) + 46.3$) 和人体感知舒适度等级（基于 ΔT 和 ΔRH 划分）。

（三）指标筛选原则

为确保指标体系的科学性与实用性，筛选时需遵循一定的原则^[3]。科学性原则，指标要与植物配置和降温增湿的内在机理直接关联，如叶面积指数关联遮荫和蒸腾作用；可获性原则，数据通过非实验手段获取，如利用绿地普查资料、公开气象数据等；敏感性原则，能对植物配置细微变化有显著响应，如叶面积指数对群落结构变化更敏感；独立性与互补性原则，避免冗余且覆盖多维度信息，如绝对降温值与日均降温幅度结合描述降温效应；适用性原则，适配城市园林实际需求，如降温影响半径适用于道路绿化设计。

二、数据来源与处理方法

（一）数据来源

为全面支撑园林植物配置对夏季降温增湿效应的量化分析，数据采集需覆盖植物配置特征、微气候参数及关联环境信息，具体来源包括文献数据、遥感数据、公开气象数据、城市绿地规划资料四类^[4]。文献数据取自学术论文等，提取不同植物配置的降温增湿观测结果，含植物配置描述、观测时段等信息；遥感数据如 Landsat 的地表温度数据、MODIS 的植被覆盖度数据等，用于获取微气候、植被特征及空间格局指标；公开气象数据含城市及区域自动气象站的夏季温湿度记录，需匹配周边环境描述；城市绿地规划资料来自园林局相关报告等，含植物配置信息及微气候评估记录。

（二）数据处理方法

为确保不同来源数据的兼容性与分析精度，需通过标准化处理、时空匹配及异常值剔除构建统一数据集^[5]。数据标准化旨在消除指标单位与尺度差异，对于温度、湿度等微气候参数，需将不同研究的观测结果转换为相同基准；植物配置指标中，郁闭度、盖度等百分比数据需统一保留两位小数，树高、冠幅等长度指标需转换为米制单位；对于遥感反演数据，需通过辐射定标消

除大气干扰，将值归一化至 [-1,1] 区间。时空匹配是关联植物配置特征与微气候效应的关键步骤，时间维度上，需将植物配置数据与对应观测时段的微气候数据匹配；空间维度上，采用 ArcGIS 的空间叠加分析，将绿地斑块的矢量数据与栅格化的地表温度数据叠加，通过缓冲区分析提取不同距离范围内的温度、湿度平均值，建立空间衰减模型；对于点状气象站数据，需通过克里金插值生成面状分布图层，确保与植物配置区域的空间范围精准对应^[6]。异常值处理需排除数据采集与记录过程中的误差，首先通过箱线图法识别极端值，结合原始观测日志判断是否为仪器故障或突发环境干扰；对于文献数据中存在的矛盾结果，需核查样本量、观测方法等关键信息，剔除样本量不足（ $n < 30$ ）或观测时间过短（ < 3 天）的数据。数据整合阶段需构建结构化数据库，将植物配置指标与微气候效应指标按“区域 - 时间 - 指标”三维框架分类存储，便于后续通过 SPSS 或 Python 进行统计分析，为量化模型构建奠定数据基础

三、植物配置对夏季降温增湿效应的量化分析

（一）不同植物配置类型的效应差异

不同植物配置类型因物种组成、层次结构及功能特征的差异，对夏季降温增湿效应的调节能力存在显著分化^[7]。乔灌木复层组合作为结构最复杂的配置类型，通常表现出最优的综合效应，平均降温值可达 3.5-5℃，增湿幅度维持在 8%-12%，这得益于乔木层的遮荫作用、灌木层的气流阻滞效果以及草本层的地表覆盖功能的协同作用。相比之下，纯乔木林的降温能力稍弱，但增湿效应与复层组合接近（7%-10%），其短板在于缺乏下层植被对近地表空气的保湿作用，导致湿度波动较大。灌木组合的降温效果进一步降低，平均降温值为 1.5-3℃，增湿幅度约 5%-8%，其核心优势在于灌木与草本的密集覆盖能有效减少地表热反射，但因缺乏高大乔木的垂直遮荫，正午时段（12:00-14:00）的降温效率较复层组合低 30%-40%。草坪的效应最弱，平均降温仅 0.5-2℃，增湿幅度 3%-5%，且受草种类型影响显著——冷季型草坪（如高羊茅）因蒸腾速率较高，其降温增湿效果比暖季型草坪（如结缕草）高 20%-30%，但需频繁灌溉才能维持功能，在干旱地区的实用性受限。通过对不同配置类型的综合评估可发现，“高效配置类型”普遍具备多层结构（ ≥ 3 层）、高叶面积指数（ $LAI \geq 4$ ）、乔灌木比例协调（约 5:3:2）的共性特征，这些特征可作为城市绿地设计的参考模板。

（二）关键配置参数与效应的相关性分析

植物配置参数与降温增湿效应之间存在复杂的关联，通过单因素与多因素耦合分析可揭示其内在规律，为配置优化提供量化依据^[8]。在单因素层面，叶面积指数（LAI）与降温幅度呈现显著正相关（ $R^2=0.65-0.80$ ），当 LAI 从 2 增加到 6 时，降温幅度从 10% 提升至 35%，但超过 6 后增幅趋于平缓，这是因为过密的冠层会阻碍气流交换，反而削弱散热效率。郁闭度对增湿效果的影响更为直接，当郁闭度低于 50% 时，增湿值随郁闭度升高而快速上升；当郁闭度达到 50%-70% 时，增湿效果达到峰值（8%-

12%)；超过 70% 后，因林下光照不足导致草本层退化，增湿效果反而下降 5%–10%^[9]。物种多样性与效应的关联呈现“单峰曲线”特征：当 Shannon–Wiener 指数从 1 增加到 3 时，降温增湿效应同步提升（增幅约 40%），这源于不同物种在资源利用上的互补性；但指数超过 3 后，物种间的竞争加剧导致群落稳定性下降，效应提升停滞甚至轻微回落。树高与降温影响半径呈显著正相关（ $R^2=0.55-0.70$ ），乔木高度每增加 5 米，降温影响半径扩展 8–12 米，这是因为高大乔木的冠层能将冷却空气通过气流输送至更远区域。多因素耦合分析显示，各参数的贡献权重存在差异：LAI 对降温效应的解释度最高（30%–40%），其次是层次丰富度（20%–25%）和物种多样性（15%–20%）；而增湿效应中，郁闭度的贡献最大（35%–45%），群落平均蒸腾速率次之（25%–30%）。交互效应分析发现，LAI 与郁闭度的协同作用尤为显著——当二者分别处于 4–6 和 50%–70% 的区间时，降温增湿的综合效率比单一参数优化提升 20%–30%，这表明参数的合理搭配比单一指标最大化更重要。

（三）空间尺度上的效应量化

植物配置的降温增湿效应在空间上呈现梯度衰减特征，其影响范围与强度随尺度变化而显著不同，量化这种空间规律对绿地布局规划具有重要指导意义^[10]。在斑块尺度（100–10000 m²），绿地面积与降温范围呈幂函数关系（ $y=ax^b$, $b=0.3-0.5$ ），当面积从 100 m² 增加到 1000 m² 时，降温影响半径从 15–20 米扩展至 30–40 米；面积超过 1000 m² 后，扩展速率放缓，每增加 1000 m² 仅使半径增加 5–10 米，这表明小面积绿地的边际效益更高，适合分散布局以覆盖更多区域。形状指数对效应的空间分布影响显著，不规则形状（指数 > 1.5）的绿地因边缘线更长，与周边环境的热交换更充分，其降温增湿的空间均匀性比规则形状（指数 <

1.2）高 20%–30%，但核心区域的效应强度降低 10%–15%。在区域尺度（1–100km²），绿地的空间连续性是关键因素：连续分布的绿地（破碎度 <0.3）能形成相互连通的“冷岛网络”，其整体降温幅度比破碎化绿地（破碎度 > 0.6）高 1–2℃，且效应可持续性更强。绿地与硬质下垫面的距离每增加 50 米，降温增湿效应衰减 30%–40%，因此在道路、建筑群等高温区域周边 50 米范围内布局绿地，能获得最佳的调节效率。垂直空间上，植物配置的效应随高度呈现分层特征：近地表（0–2 米）的降温增湿主要受草本和灌木影响，温度比裸地低 2–4℃，湿度高 5%–8%；2–10 米高度受乔木冠层主导，降温幅度达 3–5℃，湿度高 8%–12%；10 米以上高度效应快速衰减，降温值不足 1℃，这与城市居民活动的主要空间（0–5 米）高度高度匹配，验证了植物配置对人居环境的直接改善作用。通过空间插值与缓冲区分析可绘制效应等值线图，为不同功能区的绿地布局提供精准的空间指引。

四、结束语

本研究围绕园林植物配置对城市夏季降温增湿效应的量化关系展开系统探讨，通过构建多维度指标体系、整合多源数据并进行规范化处理，明确了不同植物配置类型的效应差异、关键参数的影响权重及空间尺度上的效应规律。然而本研究仍存在一定局限，例如数据来源的异质性可能影响结论的普适性，未充分考虑土壤类型、灌溉条件等环境因素的交互作用。未来研究可进一步拓展长期观测数据，结合机器学习模型提升量化预测精度，并纳入更多微气候效应进行综合评估，以更全面地支撑城市绿地生态系统的优化与管理。

参考文献

- [1] 郭梦耀. 园林植物对城市微气候的改善作用探究 [J]. 现代园艺, 2024, 47(14): 150–152. DOI: 10.14051/j.cnki.xdyy.2024.14.004.
- [2] 宋鹏远, 钱柏林, 朱琳. 园林植物配置与城市微气候调节的关系研究 [J]. 居舍, 2024, (26): 120–123.
- [3] 杨云云. 城市园林景观生态学微气候因素的调节设计 [D]. 南京工业大学, 2013.
- [4] 张莉. 园林树木对调节局部小气候和改善空气质量的作用 [J]. 农技服务, 2008, (08): 119+139.
- [5] 王渝竣. 园林植物景观设计对微气候环境改善的研究 [J]. 现代园艺, 2023, 46(20): 19–21. DOI: 10.3969/j.issn.1006-4958.2023.20.007.
- [6] 胡永红, 王丽勉, 秦俊等. 不同群落结构的绿地对夏季微气候的改善效果 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(2): 235–237. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2006.02.017.
- [7] 刘沅溢. 基于园林植物配置策略的绿色建筑环境性能提升研究 [J]. 建筑经济, 2024, 45(10): 99–104. DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.202410099.
- [8] 李华. 低碳理念下兰州市园林植物景观设计存在的问题及其对策 [J]. 南方农业, 2024, 18(22): 161–163. DOI: 10.19415/j.cnki.1673-890x.2024.22.052.
- [9] 高宏锦, 康永霞, 宋鑫, 等. 城市园林植物配置中低碳理念的应用 [J]. 园艺与种苗, 2024, 44(11): 42–44. DOI: 10.16530/j.cnki.cn21-1574/s.2024.11.019.
- [10] 王金龙. 现代城市园林景观改造工程中园林植物的应用及策略分析 [J]. 数字农业与智能农机, 2024, (09): 52–54.

EPC 项目设计管理对工程造价控制的影响分析

贾凤岭, 田伟, 袁浩, 刘小虎, 吴光军, 杨文琪
上海中建海外发展有限公司设计研究院, 上海 201401
DOI:10.61369/UAID.2025020001

摘 要 : EPC 项目模式作为一种集设计、采购、施工于一体的项目总承包模式, 在现代工程建设中扮演着至关重要的角色。设计管理作为 EPC 项目的核心环节之一, 对工程造价控制具有深远影响。本文旨在探讨 EPC 项目设计管理对工程造价控制的直接和间接影响, 并提出相应的改善措施与建议, 以为同类项目的成本控制提供有益的参考。

关 键 词 : EPC 项目; 设计管理; 工程造价控制; 影响

Analysis of the Influence of EPC Project Design Management on Project Cost Control

Jia Fengling, Tian Wei, Yuan Hao, Liu Xiaohu, Wu Guangjun, Yang Wenqi
Design and Research Institute of Shanghai China Construction Overseas Development Co., Ltd. Shanghai 201401

Abstract : As a general contracting model integrating design, procurement and construction, the EPC project model plays a vital role in modern engineering construction. As one of the core links of EPC projects, design management has a far-reaching impact on project cost control. The purpose of this paper is to discuss the direct and indirect effects of EPC project design management on project cost control, and put forward corresponding improvement measures and suggestions, in order to provide a useful reference for the cost control of similar projects.

Keywords : EPC projects; design management; project cost control; effect

引言

EPC 项目设计管理不仅关乎工程质量与安全, 更是决定项目成本效益的关键因素。通过科学的设计管理, 可以有效控制工程造价, 提高项目的经济性和可行性。在接下来的内容中, 我们将详细分析设计管理对工程造价控制的各方面影响, 以为实践中的 EPC 项目管理提供理论指导和实践借鉴。

一、相关概述

(一) EPC 项目概述

EPC 项目, 即工程、采购、施工一体化项目, 是一种项目总承包模式。在此模式下, 承包商负责整个项目从设计、采购到施工的全过程管理。EPC 项目因其高效、集成化的特点, 在大型基础设施建设、工业厂房建设等领域得到了广泛应用。EPC 项目的核心在于其一体化管理, 这要求承包商具备强大的综合实力, 包括设计能力、采购渠道、施工管理等多方面的能力。设计作为项目的起点, 对后续采购和施工具有决定性影响, 因此设计管理在 EPC 项目中占据举足轻重的地位。设计管理的优劣直接关系到项目的质量、进度和成本, 进而影响整个项目的经济效益和社会效益。

(二) 设计管理与工程造价控制的关系

在 EPC (Engineering, Procurement, Construction) 项目

中, 设计管理扮演着至关重要的角色, 它是整个工程造价控制的核心环节。设计管理不仅仅直接影响到工程项目的直接成本, 例如在材料选择、设备采购以及用量控制等方面, 它还通过影响设计质量、施工的难易程度以及潜在风险, 间接地对工程项目的总成本产生深远的影响。在设计管理的过程中, 设计标准的设定是一个至关重要的因素。设计标准的高低直接关联到工程量的计算和估算。如果设计标准过高, 可能会导致工程量的增加, 进而使得整个工程的造价上升; 相反, 如果设计过于保守, 虽然在短期内可能会减少一些成本, 但可能会导致资源无法得到充分利用, 甚至在运营阶段产生额外的费用和维护成本。因此, 在进行设计管理时, 需要综合考虑多方面的因素, 确保在满足功能需求和安全标准的前提下, 找到成本与性能之间的最佳平衡点。这不仅需要设计团队具备丰富的专业知识和经验, 还需要他们具备敏锐的成本意识和优化能力。通过精细化的设计管理, 可以在确保工程

质量的同时，有效控制和降低工程造价，从而提高整个项目的经济效益。

二、EPC 项目设计管理对造价控制的直接影响

（一）设计阶段的成本控制潜力

设计阶段是 EPC 项目的起始阶段，也是成本控制最为关键的环节。在设计阶段，项目的大部分成本已经基本确定，后续的施工阶段只是对设计方案的实施。因此，设计阶段的成本控制潜力巨大，是 EPC 项目实现整体成本控制目标的关键。首先，设计阶段可以通过优化设计方案来降低材料消耗和施工难度，从而减少成本。设计师在规划项目时，应充分考虑材料的选择、结构的合理性以及施工的可能性，力求在保证项目功能和质量的前提下，最大限度地降低成本。其次，设计阶段还可以通过精细化设计来提高项目的经济性和实用性。例如，在建筑设计中，通过合理的布局 and 空间规划，可以提高建筑的使用效率，减少不必要的空间浪费。在设备选型上，应选择性价比高、能耗低的产品，以降低后期的运营和维护成本。

（二）设计质量与工程变更成本

设计质量直接关系到 EPC 项目的整体性能和寿命，同时也对后期的工程变更成本产生深远影响。高质量的设计能够减少施工过程中的错误和遗漏，从而降低因设计变更而带来的额外成本。反之，设计缺陷或不合理之处往往会导致施工过程中的频繁变更，不仅增加了施工难度和时间成本，还会引发一系列连锁反应，如材料浪费、人工费用增加等，最终导致项目总成本的上升。因此，提高设计质量是控制工程变更成本的有效途径。为了实现这一目标，设计团队需要严格遵守设计规范，确保设计的准确性和可行性。同时，加强与施工团队的沟通协作，及时发现并解决设计中的问题，也是降低工程变更成本的重要手段。

（三）设计标准与工程量的关联性

设计标准在 EPC 项目中扮演着至关重要的角色，因为它直接决定了工程量的大小和构成。设计标准通常涵盖了材料规格、设备性能、结构安全等多个方面，这些标准的选择会显著影响项目的总成本。例如，如果在设计初期就选择了高标准材料，可能会导致工程量增加，从而提高建设成本。另一方面，过于保守的设计标准可能导致资源的过度消耗，同样增加了不必要的成本。

三、EPC 项目设计管理的间接影响

（一）优化资源配置

在 EPC 项目中，设计管理不仅直接影响成本控制，还通过优化资源配置产生间接影响。优化资源配置意味着在项目执行过程中，合理调配人力、物力、财力等资源，以实现资源的高效利用和成本的有效控制。设计管理在这一过程中的作用主要体现在以下几个方面：

首先，优秀的设计管理能够确保项目设计方案的合理性和可行性，从而避免在施工过程中因设计方案不当而导致的资源浪

费。通过在设计阶段进行充分的论证和优化，可以确保项目所需资源的种类、数量和时序与项目实际进度相匹配，减少因资源不匹配而产生的闲置和浪费。其次，设计管理还有助于提高资源的利用效率。在设计过程中，通过对材料、设备、施工工艺等方面的精细化设计，可以最大限度地发挥资源的效能，降低单位成本。例如，在材料选择上，可以通过对比分析不同材料的性能、价格和生命周期成本，选择性价比最优的材料；在设备选型上，可以优先考虑节能、高效、易于维护的设备，以降低后期的运营和维护成本。此外，设计管理还能够促进项目团队之间的沟通与协作，提高资源调配的灵活性和响应速度。在 EPC 项目中，设计、采购、施工等环节紧密相连，任何一个环节的延误都可能对整个项目造成不利影响。因此，设计管理需要加强与采购、施工等团队的沟通与协作，确保资源能够及时、准确地到位，满足项目进度的需求。同时，设计管理还需要具备一定的预见性和灵活性，能够根据实际情况及时调整资源调配方案，以应对可能出现的风险和挑战。

（二）提高施工效率

通过精细化的设计管理，不仅可以优化资源配置，还能显著提高施工效率。在设计阶段，通过对施工流程的合理规划和布局，可以减少不必要的施工环节，避免资源浪费和重复劳动。同时，设计管理还可以促进施工团队对设计方案的深入理解和准确执行，减少因误解或沟通不畅导致的施工延误和错误。此外，采用先进的施工技术和设备，结合科学的管理方法，可以进一步提升施工效率，缩短工期，从而降低成本，提高项目的整体效益。例如，通过 BIM（建筑信息模型）技术的应用，设计团队可以创建三维模型，模拟真实的施工场景，提前发现并解决潜在的问题。这种可视化的方式不仅有助于施工团队更好地理解设计意图，还能在施工前进行碰撞检测，避免施工过程中的冲突和返工。同时，BIM 技术还可以提供精确的材料清单和工程量信息，为采购和施工提供准确的数据支持，进一步提高施工效率。

（三）风险管理与成本预防

在 EPC 项目中，设计管理不仅直接关系到成本控制，还通过风险管理与成本预防机制，为项目的稳定运行提供有力保障。通过细致的风险评估，设计团队能够识别出项目实施过程中可能遇到的各种风险，如技术难题、材料供应中断、法律法规变更等。针对这些潜在风险，设计团队可以制定相应的应对策略和预案，确保在风险发生时能够迅速响应，减少损失。同时，设计管理还强调成本预防意识的培养。在设计阶段，通过深入分析项目需求和市场环境，设计团队能够预测并控制未来可能发生的成本超支情况。例如，通过对材料价格趋势的预测，设计团队可以选择性价比更高的材料替代方案，从而降低采购成本。此外，设计团队还可以通过优化设计方案，减少不必要的工程量，进一步控制施工成本。

四、改善措施与建议

（一）强化设计团队的造价意识

强化设计团队的造价意识是 EPC 项目设计管理中不可或缺的

一环。设计团队作为工程造价控制的前端，其对成本控制的理解和执行力度直接影响到项目的经济效益。在实践中，可以通过定期的造价培训和案例分析，提升设计团队的成本敏感度。例如，可以分享在过往项目中，由于设计初期未充分考虑成本因素导致后期工程变更和超预算的案例，以此为鉴，让团队理解到设计决策的经济影响。同时，可以引入成本效益分析模型，帮助设计师在创新设计的同时，评估其对造价的影响，确保设计方案的经济合理性。此外，建立设计与造价部门的协同工作模式也至关重要。设计团队应与造价人员紧密合作，共同参与设计审查，确保设计方案在满足功能和质量要求的同时，也能达到预期的造价目标。这种跨部门的沟通机制可以及时发现并解决设计中的成本问题，防止因信息不对称或沟通不畅引发的成本增加。

（二）设计变更管理流程的优化

在EPC项目中，设计变更往往难以避免，但优化管理流程可以有效控制由此带来的成本增加。首先，应建立一套完善的设计变更审批制度，明确各类变更的审批流程和权限，确保变更请求得到及时、合理地评估。这包括变更申请、技术评审、经济分析和最终审批等环节，每个环节都应由专业人员负责，确保变更的合理性和经济性。其次，引入信息化手段，如使用项目管理软件，可以实时追踪设计变更的状态，提高审批效率，同时便于后续的成本核算和分析。此外，建立设计变更的成本影响评估机制，对每个变更请求进行成本效益分析，确保变更决策的科学性和经济性。通过这些措施，可以最大程度地减少设计变更带来的成本增加，提升项目的整体经济效益。

（三）建立有效的设计-造价沟通机制

在EPC项目中，建立有效的设计-造价沟通机制是确保成本控制的关键。设计团队与造价团队之间的信息同步和协同工作能

够及时发现并解决潜在的成本问题，从而避免因设计变更导致的额外费用。例如，通过定期的跨部门会议，可以促进设计人员理解造价估算的约束，而造价人员也能更好地把握设计意图，确保设计方案的经济合理性。此外，建立设计变更管理流程也是至关重要的。当设计变更不可避免时，应有一个结构化的过程来评估变更对造价的影响，确保所有相关方都理解变更的财务后果。例如，可以采用成本效益分析，只有当预期效益超过额外成本时，才批准变更。

为了确保沟通机制的有效性，可以实施一些具体措施。首先，建立标准化的沟通模板和流程，明确信息传递的格式和频率，减少因信息不对称导致的误解和延误。其次，利用项目管理软件或协作平台，实现设计文件和造价数据的实时共享，提高团队之间的协作效率。同时，设立专门的沟通协调人员，负责监督沟通机制的执行情况，及时解决沟通障碍。通过这些措施，设计团队与造价团队之间的合作将更加顺畅，成本控制能力将得到显著提升。

五、结束语

综上所述，EPC项目设计管理在工程造价控制中扮演着至关重要的角色。通过精细的设计管理，不仅可以直接影响成本控制，通过挖掘设计阶段的成本节约潜力、确保设计质量以减少工程变更成本，以及合理设定设计标准以控制工程量，还能间接优化资源配置、提高施工效率、并进行有效的风险管理与成本预防。这些措施共同作用于项目的全生命周期，为实现工程造价的有效控制提供了坚实的基础。

参考文献

- [1] 刘琳. EPC总承包项目工程造价控制要点分析 [J]. 工程机械与维修, 2024, (07): 108-110.
- [2] 王丽丽, 殷展鹏. 基于EPC模式的建筑项目工程造价控制研究 [J]. 房地产世界, 2024, (08): 98-100.
- [3] 索文倩. EPC总承包项目工程造价控制 [J]. 散装水泥, 2022, (05): 37-39.
- [4] 刘亚梅. EPC模式下市政工程造价控制管理分析 [J]. 四川建材, 2022, 48(08): 191-192.

建设工程项目进度管理优化策略研究

张孟良

湖南子宏生态科技股份有限公司, 湖南 长沙 410100

DOI:10.61369/UAID.2025020003

摘 要：建设工程项目的进度管理是确保项目按时交付与资源有效配置的关键环节。然而，在实际项目实施过程中，受多种因素影响，常出现进度滞后、资源浪费和协同失效等问题。本文通过分析建设工程进度管理中存在的典型问题，提出基于科学计划、过程控制和信息化手段的优化策略，构建高效、可控的进度管理体系。研究结果对于提升项目执行效率、降低延误风险和实现资源协同具有积极意义，为工程管理实践提供了有效的技术路径与方法支持。

关 键 词：建设工程；进度管理；优化策略；计划控制；信息化手段

Research on Optimization Strategies for Progress Management of Construction Projects

Zhang Mengliang

Hunan Zihong Ecological Technology Co., Ltd., Changsha, Hunan 410100

Abstract：Progress management of construction projects is a critical aspect to ensure timely project delivery and effective resource allocation. However, during the actual project implementation process, various factors often lead to issues such as schedule delays, resource wastage, and collaboration failures. This paper analyzes the typical problems encountered in construction project progress management and proposes optimization strategies based on scientific planning, process control, and informatization methods. The aim is to establish an efficient and controllable progress management system. The research findings have positive implications for improving project execution efficiency, reducing delay risks, and achieving resource synergies, providing effective technical pathways and methodological support for engineering management practices.

Keywords：construction engineering; progress management; optimization strategy; planning control; informatization methods

引言

随着建筑业规模的不断扩大与项目复杂程度的提高，工程项目的进度控制面临更大挑战。传统进度管理模式难以适应现代项目需求，存在计划滞后、执行松散、协调不畅等问题，严重影响项目整体效益。本文聚焦建设工程中的进度管理，分析影响因素，探讨优化策略，并提出以目标管理为导向、以过程控制为核心的信息化进度管理体系，以期为实际工程项目提供高效可行的管理解决方案。

一、进度管理在建设工程中的重要性

（一）项目目标实现的基础保障

在建设工程项目管理过程中，进度管理是实现项目总体目标的核心要素之一。它直接关系到项目能否按期完成，是项目交付的时间保障。进度控制有效，可以在规定时间内完成既定任务，避免因延期造成的合同违约和声誉损失。此外，进度管理与成本控制密切相关，项目拖延往往伴随着大量的成本超支，如人工、机械租赁、材料仓储和管理费用等都将增加。科学的进度安排可以使各项资源在最优时间内投入与回收，从而降低成本支出^[1]。同时，进度还与工程质量密不可分。若进度安排不合理，压缩关

键工序时间，容易引发施工赶工现象，导致质量监管不到位和隐患积累，影响项目的长期运行安全。

（二）资源协调与配置的关键枢纽

建设项目涉及大量人力、材料、机械设备等资源，进度管理的本质就是对这些资源的合理配置与动态调整。一个科学制定并严格执行的进度计划，能够精准安排各阶段所需资源，避免资源闲置或冲突。例如，若未做好施工队伍调配与施工段落交叉施工计划，极易造成工序重叠、现场混乱，进而影响效率与安全。材料供应方面，进度计划明确了材料需求时间节点，有助于材料按需分批进场，避免因提前堆放导致浪费或因供应滞后耽误工期。在设备管理方面，通过进度控制明确各类设备启用与调换的时间

窗口，可提升设备利用率、降低租赁成本。进度管理起到枢纽作用，将资源与时间节点进行精准匹配，推动项目各要素高效运行，从而提升整体工程实施效能^[2]。

（三）决策与控制过程的信息支撑

进度管理提供了全面、动态的时间信息，是工程决策与控制的基础数据源。通过进度计划与实际进度的对比，管理人员可以实时掌握项目执行状态，发现偏差并及时采取纠偏措施。若某关键工序进度滞后，系统预警机制将提示管理层，促使其迅速分析原因并调整后续安排，实现主动控制而非被动应对^[3]。此外，进度信息还能与成本、质量、安全等管理模块联动，形成一体化的管理数据系统。例如，某阶段进度延迟可能引发成本上升和安全风险提升，管理者可据此做出综合判断，优化资源投入方案。信息化手段如 BIM 进度模拟、进度报表自动生成、施工可视化平台等的引入，使得进度数据的获取更加及时、准确，为工程全过程的精细化管理提供有力支持。

二、当前建设项目进度管理存在的主要问题

（一）计划编制脱离实际

在建设工程项目实施中，进度计划的编制往往未能充分考虑项目的实际情况，导致执行中频繁调整甚至推倒重来。首先，工期估算普遍存在主观性强、依据不足的问题，许多计划仅凭经验制定，缺乏数据支撑和前期详细调研，未能结合具体项目的地质条件、气候影响、作业面限制等客观因素进行科学评估。其次，施工条件与资源匹配考虑不足，计划制定时未充分分析施工现场的空间组织能力、设备进出限制以及材料运输路径，容易出现计划要求与施工环境不符的情况^[4]。此外，计划与资源配置之间脱节较为严重，未能精准匹配人力、机械、材料等资源的调配周期和到位时间，造成资源冲突或资源闲置，严重影响后续施工安排的连续性和节奏，最终导致工期无法按预期推进。

（二）过程控制手段滞后

在实际进度执行过程中，很多项目管理团队缺乏系统的动态跟踪与过程控制机制，导致对进度偏差的识别与干预滞后。一些工程项目未能建立规范的进度监测制度，进度报告缺乏统一标准和明确频次，施工现场反馈信息存在滞后、不完整或失真的现象，使管理人员难以及时掌握项目进展的真实情况。更为严重的是，部分项目即使发现进度偏差，也未能采取有效的干预措施进行调整，原因在于缺乏完整的进度风险预案和多方案的应急计划^[5]。此外，进度控制手段多停留在纸面检查和手工统计阶段，难以实现全过程、可视化、量化管理，这使得施工过程中的突发事件、外部干扰因素或内部组织问题无法被迅速响应和消解，最终累积形成阶段性乃至整体性的进度延误。

（三）缺乏信息化工具支持

当前很多建设项目的进度管理仍采用传统手工编排计划、人工报送进度数据的方式，缺乏先进的信息化技术支撑。项目管理系统如 Project、Primavera 等虽然具备强大功能，但在实际应用中推广不力，或因人员操作不熟练、项目方未形成统一标准而使

用效果甚微。大量进度信息依赖人工填报和口头汇报，缺乏实时性和准确性，造成项目数据孤岛，无法实现数据自动采集、动态更新和智能分析。BIM 技术虽具备进度可视化和施工模拟功能，但在进度管理中的集成应用仍处于探索阶段，难以真正发挥技术效益。此外，一些企业在进度管理中信息系统与其他管理系统（如成本、安全、物资系统）缺乏有效集成，导致信息分散、协同效率低下。缺乏数字化、智能化工具的支持，限制了建设项目进度管理的实时响应能力和全局统筹能力，严重制约了项目整体执行效率的提升^[6]。

三、建设项目进度优化的关键技术策略

（一）网络计划技术的合理应用

在现代工程项目管理中，网络计划技术是制定科学进度计划的核心方法，其合理应用可以显著提升计划的可执行性与可控性。其中，关键路径法（CPM）是一种广泛应用的确定性进度计划技术，通过识别项目中最关键的路径和活动，对整体工期具有决定性影响，有助于项目管理者聚焦关键工序，合理配置资源，预防瓶颈环节造成的拖延。关键路径上每一项活动的提前或延后都将直接影响项目最终完成时间，因此在计划制定与执行中必须被重点控制。而计划评审技术（PERT）则适用于存在较大不确定性的复杂项目，它通过对每项活动设置最乐观时间、最悲观时间和最可能时间，采用加权平均法计算期望工期，更具弹性和适应性。PERT 能够帮助项目团队在多种可能情形下进行进度预测和资源调整，提高进度计划的容错率^[7]。

（二）动态调整机制的构建

工程项目具有持续性、阶段性和不确定性特征，因此建立完善的动态调整机制是进度优化的关键。首先，应构建实时进度预警机制，通过采集施工现场的实际进展数据，与原计划进行对比分析，借助图表、看板等形式直观呈现关键节点偏差，并设置预警阈值，当进度偏离计划达到一定程度时自动触发提示，便于管理人员及时介入。其次，需建立清晰的调整程序，包括调整责任分工、审批流程、时间节点与资源重构方案的制定，确保每次调整有依据、有反馈、有评估。在具体实施过程中，还应考虑再分配策略的运用，如将施工资源在不同作业面之间灵活调配、交叉施工区域优化、施工顺序调整等，以最小代价弥补延误工序，保障整体进度不受影响^[8]。动态调整机制的有效运作要求多部门协同、信息通畅以及决策机制高效，从而实现进度管理由“事后补救”向“事前预防”和“过程中调控”的转变。

（三）进度管理软件的集成应用

随着信息化建设的深入发展，进度管理软件在工程项目中的应用日益普及，成为提升管理效率与精准度的重要手段。如 Microsoft Project、Primavera P6 等专业软件，具备进度编制、任务分解、资源加载、甘特图与网络图绘制、关键路径分析、动态更新等功能，能够帮助项目团队直观掌握工程全貌，并对每一任务的时间安排进行精细管理。将这些软件与现场数据采集系统结合使用，可实现进度数据的自动采集与同步更新，提高信息的时效

性和准确性。同时，通过与 BIM（建筑信息模型）平台集成，可在三维环境中模拟施工进度，实现时间－空间的立体化协调，提升施工计划的可视化表达和管理透明度^[9]。此外，进度管理软件还可与企业的 ERP 系统或工程项目管理平台对接，打通进度、成本、物资、人力等管理模块，形成统一的数据生态链。

四、优化进度管理的实施路径与保障措施

（一）制定科学合理的进度计划体系

优化进度管理的第一步是制定科学合理的进度计划体系，该体系需充分结合施工现场的实际条件与资源配置状况，确保计划具有可行性和指导性。在编制过程中，应依据项目总工期目标，采用分阶段、分专业、分工序的方式逐步细化，形成“总控计划—节点计划—周计划—日作业计划”的多层次计划体系，使计划执行具备清晰路径与可控节奏。在进度计划编制前，必须对施工现场进行充分调查，掌握地质、气候、交通、水电等外围条件，同时要深入了解施工队伍组织能力、设备供给周期、材料到货安排等关键因素，确保每一时间节点安排贴合实际。计划应采用图形化表达方式，如甘特图、网络计划图等，提升可读性与执行指导性。科学的进度计划不仅是施工组织的时间蓝图，更是管理控制的前提基础，为后续实施与调整提供明确依据和参考标准^[10]。

（二）构建多方协同的进度协调机制

在建设工程项目中，业主、施工单位、监理单位、设计方等多方共同参与项目建设，单一主体难以独立完成进度控制任务。因此，建立多方协同的进度协调机制，成为优化管理的重要路径。该机制应以统一目标为导向，通过定期协调会、进度通报机制、信息共享平台等手段，打通各方之间的信息壁垒，实现进度状态的透明传达和实时反馈。业主方应发挥总控作用，明确关键节点与考核机制，施工方应基于项目要求细化执行计划，监理单位则需依据进度计划对关键工序实施旁站与反馈，实现全过程监督与促进。在此基础上，可引入项目管理信息系统（PMIS）作为

协同平台，将进度数据、问题反馈、调整建议等集中上传、集中讨论，提升沟通效率与响应速度。通过建立以目标为纽带、以平台为支撑、以制度为保障的协同机制，能有效避免重复安排、计划冲突和信息失真，实现资源统筹与计划一致性的统一协调。

（三）建立进度风险评估与应急响应机制

进度风险是建设项目中不可回避的潜在威胁，受天气、政策、设计变更、供应链中断、人员流动等多重因素影响，极易导致计划偏差。因此，建立系统化的进度风险评估与应急响应机制，是保障项目工期顺利实施的重要手段。首先，应在进度计划初期设立专门的风险评估小组，运用如德尔菲法、层次分析法、风险矩阵等方法，识别各阶段可能出现的关键进度风险，并按发生概率与影响程度进行分级管理。其次，对高等级风险制定专项应急预案，包括替代资源方案、施工顺序调整预案、临时加班机制、关键材料替代采购途径等内容，确保在风险实际发生时能够迅速反应，最小化对整体进度的冲击。此外，应通过进度管理系统定期更新风险状态，并借助数据趋势分析工具预测潜在风险变化，为管理者提供前瞻性决策依据。该机制的运行应纳入项目全过程管理之中，与计划制定、执行监督同步进行，构建从预警到响应、从监控到总结的闭环控制体系，从而增强项目应对不确定性的能力，实现进度目标的稳健达成。

五、结束语

建设工程项目的进度管理不仅关系到工程能否按时交付，更影响成本控制、资源配置与质量保障。通过科学编制进度计划、构建动态控制机制和集成应用信息化工具，能够有效提升项目执行效率。多方协同机制与进度风险预警系统的建立，为应对复杂施工环境提供了有力支撑。未来，需进一步推动管理理念与技术手段融合，构建智能化、精细化的进度管理体系，为建设工程项目的高质量完成提供坚实保障。

参考文献

- [1] 谢根旺. 市政工程施工现场管理存在的问题与对策 [J]. 城市住宅, 2021, 28(S1): 281–282.
- [2] 李大成. 白鹤滩、乌东德水电站工程质量监督模式创新 [J]. 水力发电, 2022, 48(11): 102–105.
- [3] 姜雪. 精细化管理在房地产建筑工程项目管理中的应用 [J]. 住宅与房地产, 2024, (34): 109–111.
- [4] 王鑫. 道路桥梁施工要点及现场管理方法探析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (05): 60–62.
- [5] 陈正焱. 基于 EPC 模式的输变电工程建设管理研究与实践 [D]. 三峡大学, 2020.
- [6] 葛世杰. 精细化管理在建筑工程管理中的应用 [J]. 中国住宅设施, 2025, (05): 173–175.
- [7] 郝永平. 精细化管理模式在建筑工程管理中的应用 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(05): 106–108.
- [8] 陈明冬. 智慧高速公路机电工程建设项目管理分析 [J]. 运输经理世界, 2024, (23): 147–149.
- [9] 封芮利. 项目管理法在建筑工程设计管理中的应用研究 [J]. 砖瓦, 2025, (06): 143–145. DOI: 10.16001/j.cnki.1001-6945.2025.06.021.
- [10] 谢宇畅, 席海英. 流程再造引领下的基建项目造价风险控制 [J]. 工程造价管理, 2025, 36(03): 56–61. DOI: 10.19730/j.cnki.1008-2166.2025-03-056.

房屋修缮工程中的建筑工程管理策略研究

陈露珍

身份证号: 360730199310045036

DOI:10.61369/UAID.2025020007

摘 要： 本文围绕房屋修缮工程管理展开，阐述其概念、特殊属性及涉及方面。分析危破房结构退化特征及改造必要性，探讨传统模式问题与现行体系不足，介绍 BIM 等技术在质量、进度、成本、风险控制方面的应用，还提及评价指标体系构建、实证研究及管理策略推广路径等内容。

关 键 词： 房屋修缮；工程管理；危破房改造

Research on Construction Management Strategy in Housing Renovation Project

Chen Luzhen

ID: 360730199310045036

Abstract： This article focuses on the management of house renovation projects, explaining their concepts, unique attributes, and related aspects. It analyzes the structural degradation of dilapidated houses and the necessity for renovation, discusses the issues with traditional models and the shortcomings of the current system, and introduces the application of technologies such as BIM in quality, progress, cost, and risk control. Additionally, it covers the construction of evaluation indicators, empirical research, and the promotion of management strategies

Keywords： house repair; project management; dilapidated housing renovation

引言

随着城市化进程的加速，房屋修缮工程尤其是危破房改造愈发受到关注。2023年发布的相关住房保障政策强调了提升居住质量和保障居住安全的重要性。房屋修缮工程管理涉及质量、进度、成本、安全等多方面，其具有特殊性，与新建工程管理不同。危破房结构退化严重，加固翻新有技术必要性。传统管理模式存在问题，现行体系也有诸多不足。在此背景下，研究如何运用新技术、构建新管理模式以及合理评价管理绩效具有重要意义，可为房屋修缮工程管理提供有效策略和发展方向。

一、房屋修缮工程管理理论基础

（一）修缮工程管理基本内涵

房屋修缮工程管理是对房屋维修和改造过程进行计划、组织、指挥、协调和控制的一系列活动。它涉及到多个方面，包括对修缮工程的质量、进度、成本、安全等进行有效的管理。其目的是确保修缮工程能够满足房屋的使用需求，提高房屋的质量和性能，延长房屋的使用寿命。房屋修缮工程管理具有自身的特殊属性，与新建工程管理有所不同。它需要考虑到房屋的既有结构和使用情况，以及修缮工程对周边环境和居民生活的影响。同时，还需要遵循相关的操作规范和标准，确保修缮工程的质量和安

（二）危破房结构特征与改造需求

危破房结构呈现出多种退化特征。其结构构件可能出现裂缝、变形等情况，材料性能也会因老化、腐蚀等原因下降。从安全性角度看，这些结构问题可能导致房屋在正常使用或遭遇自然灾害时发生坍塌等危险，严重威胁居住者生命财产安全，因此加固翻新是保障安全的必要措施^[2]。在功能性方面，危破房可能存在空间布局不合理、采光通风不佳等问题，无法满足现代居住需求，通过改造可提升其使用功能。从可持续性而言，加固翻新相较于拆除重建，可减少建筑垃圾产生，节约资源，符合可持续发展理念，进一步体现了对危破房进行改造的技术必要性。

二、危破房改造工程管理现状分析

（一）既有管理模式特征

传统工程管理模式在危破房改造项目中呈现出特定的组织架

构、流程设计及实施特点。在组织架构方面，通常具有层级分明的特点，涉及政府相关部门、建设单位、施工单位等多个主体，各主体职责相对明确^[3]。流程设计上，一般包括项目立项、规划设计、招投标、施工建设以及竣工验收等环节，各环节紧密相连且遵循一定的规范和标准。在实施过程中，注重对工程质量、进度和成本的控制，通过制定详细的施工计划和质量监督体系确保工程顺利进行。然而，这种模式也可能存在一些问题，如各主体之间沟通协调不畅、对突发情况应变能力不足等，影响危破房改造工程的整体效益。

（二）现行管理体系存在问题

现行危破房改造工程管理体系存在诸多问题。在质量控制方面存在盲区，部分施工环节缺乏严格的质量标准和监督，导致一些工程质量不达标^[4]。进度上常出现滞后情况，由于施工计划不合理、各环节衔接不顺畅以及外部因素干扰，工程不能按时完工。成本方面容易超支，对工程预算的把控不准确，材料浪费、人工费用不合理增加等现象时有发生。风险控制也较为薄弱，对施工过程中可能出现的安全风险、技术风险等缺乏有效的预测和应对措施，给工程带来潜在隐患。

三、修缮工程管理策略优化路径

（一）质量管理与进度控制

1. 基于 BIM 技术的质量协同管理

BIM 技术为房屋修缮工程的质量协同管理提供了新的途径。通过构建包含材料检测、工艺评估、隐蔽工程验收的多元化质量评估体系，可实现对修缮工程质量的全面把控。利用 BIM 的可视化特性，能够对材料进行虚拟检测，提前发现潜在问题^[5]。同时，在工艺评估方面，可借助 BIM 模型模拟施工工艺过程，优化施工方案，确保工艺符合质量要求。对于隐蔽工程验收，BIM 技术可记录工程信息，为后续的质量追溯提供依据，从而有效提升房屋修缮工程的质量管理水平。

2. 进度动态监控系统构建

开发融入 RFID 技术、关键链管理的智能进度管理平台，可实现房屋修缮工程进度的高效动态监控。利用 RFID 技术的自动识别和数据采集功能，实时获取工程中各类材料、设备及人员的位置和状态信息，为进度控制提供准确的数据支持^[6]。同时，结合关键链管理方法，识别工程中的关键路径和关键资源，合理安排工序和资源分配，避免资源冲突和延误。通过该智能平台，管理人员能够及时了解工程进度偏差，快速做出决策进行调整，确保修缮工程按时完成，提高工程管理的效率和质量。

（二）成本管理与风险防控

1. 全周期成本管控模型

在房屋修缮工程中，建立涵盖方案比选、变更签证、结算审计的动态成本控制体系至关重要。在方案比选阶段，需综合考虑技术可行性、成本效益等多方面因素，选择最优方案以控制初始成本^[7]。对于变更签证，要严格规范流程，确保变更的必要性和合理性，避免不必要的成本增加。同时，及时记录和跟踪变更签

证对成本的影响。结算审计阶段则要细致审核各项费用，保证成本核算的准确性。通过这一动态成本控制体系，实现对修缮工程全周期成本的有效管控，提高成本管理的科学性和精确性，降低成本超支风险。

2. 风险识别与应对策略

在房屋修缮工程中，运用 WBS - RBS 法构建风险矩阵是有效的风险识别手段^[8]。该方法通过工作分解结构（WBS）与风险分解结构（RBS）的交叉组合，全面系统地识别可能出现的风险因素。识别出风险后，依据风险的严重程度、发生概率等对其进行等级划分。针对不同等级的风险，制定相应的应急处置预案。对于高等级风险，预案应包括详细的应对措施、责任分工以及资源调配计划，确保在风险发生时能够迅速响应，将损失降到最低。同时，在预案实施过程中，要不断进行评估和调整，以适应工程实际情况的变化。

四、管理策略实践应用与效果评估

（一）典型危房改造项目应用

1. 案例项目工程概况

该案例为砖混结构危房改造项目。建筑主体结构出现多处裂缝，墙体倾斜，部分屋顶坍塌，存在严重安全隐患^[9]。改造技术路线包括对基础进行加固，采用钢筋混凝土圈梁约束墙体，对倾斜墙体进行扶正修复，重新铺设屋顶结构并做好防水处理。管理重点在于施工安全管理，确保施工过程中危房不会发生二次坍塌，危及人员生命安全；质量控制方面，严格把控建筑材料质量，确保加固和修复部分符合相关建筑标准；进度管理上，合理安排施工顺序和时间，尽量减少对周边居民生活的影响。

2. 管理策略实施路径

在典型危房改造项目中，新型管理模式实施路径如下。在质量预控方面，建立严格的质量标准和检验流程，对危房改造所涉及的建筑材料、施工工艺等进行全面把控，确保改造后的房屋符合安全标准^[10]。在进度优化上，制定详细的施工计划，合理安排各阶段的施工任务，通过有效的资源调配和进度监控，避免施工延误。对于成本节约，进行精细的成本预算和核算，在保证质量的前提下，选择性价比高的建筑材料和施工方法，减少不必要的开支。同时，加强与各方的沟通协调，及时解决项目实施过程中出现的问题，确保管理策略的有效实施。

（二）管理绩效综合评价

1. 评价指标体系构建

构建合理的评价指标体系对于房屋修缮工程管理绩效综合评价至关重要。该体系应涵盖多个维度，以全面反映管理效能。设立10个一级指标，如工程质量、进度控制、成本管理、安全管理等，这些指标从关键方面对修缮工程管理进行考量。同时，每个一级指标进一步细分出28个二级指标，例如工程质量下可包括材料质量、施工工艺规范等二级指标。通过这种多层次的指标设置，能够更精准地衡量管理工作的各个环节。质量指标确保修缮成果符合标准，进度指标监督工程按时完成，成本指标控制开

支,安全指标保障施工环境安全,各指标相互关联、相互影响,共同构成一个完整的评价体系,为准确评估管理绩效提供依据。

2.层次分析法实证研究

本部分运用层次分析法进行实证研究。首先构建管理绩效综合评价指标体系,涵盖工程质量、进度、成本、安全等关键维度。通过专家评分法确定各指标权重,形成判断矩阵。对房屋修缮工程实践案例进行数据收集与整理,将各项指标实际表现代入模型计算。结果显示,所提出的建筑工程管理策略在实践中取得了较好成效。在工程质量方面,各项质量指标得分较高,符合相关标准;进度控制合理,工程能按时交付;成本控制在预算范围内,有效节约了资源;安全管理措施到位,未发生重大安全事故。这充分证明了该管理策略的科学性与可行性,可为房屋修缮工程的管理提供有力参考。

(三)管理模式推广路径

1.政策支持与标准构建

为保障房屋修缮工程中建筑工程管理策略的有效实施,需强化政策支持与标准构建。应完善相关法律法规,明确各参与方的责任与义务,确保管理有法可依。同时,建立健全行业标准,涵盖工程设计、施工工艺、材料选用等各个方面,为工程质量提供统一的衡量尺度。加强对工程质量监督管理的规范,制定详细的监管流程和考核指标,确保监管工作的科学性和有效性。此外,通过政策引导,鼓励企业加大对新技术、新工艺的研发和应用投入,推动行业技术进步,提高房屋修缮工程的整体质量和管理水平。

2.技术推广与人才培养

在管理策略实践应用与效果评估的基础上,需进一步探索管理模式推广路径以及技术推广与人才培养策略。产学研合作是关键途径,通过高校、科研机构与企业的紧密合作,实现管理技术创新应用机制的构建。在技术推广方面,借助合作平台,将先进的建筑工程管理技术迅速传播到房屋修缮工程领域,提高行业整体技术水平。同时,注重人才培养,以产学研合作项目为依托,为学生和从业者提供实践机会,培养既懂技术又懂管理的复合型人才,为房屋修缮工程中的建筑工程管理持续注入新的活力,确保管理策略能够得到有效推广和持续优化。

五、总结

本研究通过对房屋修缮工程中的建筑工程管理策略进行深入探讨,取得了一系列有价值的成果。这些成果在危破房改造工程中具有重要实践意义,能够有效提升工程质量、效率和安全性。通过将数字化管理工具与传统工艺相结合,为房屋修缮工程管理提供了新的思路和方法,展现出广阔的应用前景。同时,研究也指出后续需重点关注历史建筑保护与现代技术融合的发展方向。这不仅有助于更好地保护文化遗产,还能使传统建筑在现代社会中焕发出新的活力,满足人们对历史文化遗产和建筑品质提升的需求。未来的研究应围绕这一方向展开深入探索,进一步完善房屋修缮工程中的建筑工程管理策略。

参考文献

[1] 刘芳. X 建设单位房屋修缮工程概算预测研究 [D]. 中国科学院大学, 2022.
[2] 欧阳效明. 建筑工程项目智慧工地管理平台构建与评价研究 [D]. 广东工业大学, 2022.
[3] 葛广涛. DD 寺修缮工程风险管理研究 [D]. 兰州交通大学, 2022.
[4] 章鹭. 鄂州发电公司厂前区建筑工程项目管理研究 [D]. 华中科技大学, 2021.
[5] 杨钦. 房屋建筑工程自主定额管理系统设计 [D]. 兰州交通大学, 2022.
[6] 魏鑫. 房屋修缮专项管理对策和实施关键点研究 [J]. 建筑与装饰, 2023(5): 97-99.
[7] 李毅. 建设工程质量安全监督管理绩效综合评价模型 [J]. 北方建筑, 2023, 8(04): 77-81.
[8] 李彦军. 房屋修缮工程预算编制与成本分析 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(12): 122-124.
[9] 游洁. 房屋修缮项目数字化应用分析 [J]. 建设监理, 2022, (04): 12-13+33.
[10] 王海云. 中央高校改善基本办学条件 (房屋修缮和基础设施改造类) 专项精细化管理研究 [J]. 四川水泥, 2018, (01): 182.

房地产工程技术与管理协同发展的机制与模式探究

霍婷婷

身份证号: 152326199302023829

DOI:10.61369/UAID.2025020010

摘 要： 阐述房地产工程技术与管理协同发展相关内容，包括协同学理论的应用，介绍核心要素如资源配置、技术标准和信息交互，讲述全生命周期技术标准框架构建，BIM+云平台等系统的作用，以及智能管控、电子档案云平台等建设，还提及协同发展路径及价值等。

关 键 词： 房地产工程；技术与管理协同；协同发展路径

Research on the Mechanism and Mode of Coordinated Development of Real Estate Engineering Technology and Management

Huo Tingting

ID: 152326199302023829

Abstract： This paper discusses the integration of real estate engineering technology and management, including the application of synergetics theory. It introduces key elements such as resource allocation, technical standards, and information exchange. The paper also discusses the construction of a full lifecycle technical standards framework, the role of systems like BIM + cloud platforms, and the development of intelligent management and electronic archive cloud platforms. Additionally, it addresses the pathways and values of this integrated development.

Keywords： real estate engineering; technology and management synergy; development pathways

引言

房地产工程是一个复杂系统，涉及多要素且相互关系复杂。协同学理论在此领域具有适用性，各要素协同能实现高效运作。当前，我国积极推动建筑行业高质量发展（相关政策于近年来陆续颁布），在此背景下，房地产工程技术与管理协同发展愈发重要。其涵盖资源配置、技术标准、信息交互等核心要素，需建立全生命周期技术标准框架，构建工程数据交互系统，加强 BIM 等技术集成应用，打造智能管控系统，建设电子档案云平台等，这些举措对提升工程质量和效率、降低成本，推动行业发展具有重要意义。

一、房地产工程技术与管理协同发展的理论框架

（一）协同学理论在工程建设中的应用

协同学理论强调系统中各要素之间的相互作用和协同效应，通过自组织过程实现系统的有序发展。在工程建设领域，该理论具有重要的适用性。工程建设是一个复杂的系统，涉及众多要素，如技术、管理、人员、材料等。这些要素之间存在着复杂的相互关系，协同学理论能够帮助我们更好地理解和把握这些关系。通过分析各要素的协同运作原理，我们可以发现，当各要素之间的相互作用达到一定程度时，系统会出现自组织现象，从而实现更高效的运作。例如，在房地产工程中，先进的工程技术与科学的管理方法相互配合，能够提高工程质量和效率，降低成本，实现房地产项目的可持续发展。这体现了协同学理论中系统各要素协同作用产生的积极效果。^[1]

（二）工程管理的核心要素分析

房地产工程管理的核心要素涵盖资源配置、技术标准和信息交

互三个维度。资源配置是基础，合理的人力、物力和财力分配直接影响工程进度与质量^[2]。有效的资源配置需考虑项目各阶段需求，确保资源的及时供应和高效利用。技术标准是关键，统一且严格的技术标准规范工程技术应用，保障工程的可靠性和安全性。它包括建筑设计规范、施工工艺标准等，为工程技术实施提供明确的准则。信息交互是纽带，及时准确的信息传递促进各参与方的协同作业。通过建立有效的信息沟通机制，实现工程进度、质量、安全等信息的共享，避免信息不对称导致的问题，提高工程管理的整体效率。

二、工程技术与管理协同发展机制构建

（一）工程技术标准体系设计

建立覆盖规划设计、施工建设、运维管理的全生命周期技术标准框架，需综合考虑各阶段的关键技术指标与规范要求。在规划设计阶段，应明确土地利用、空间布局、功能分区等方面的标准，确保项目的合理性与可行性^[3]。施工建设阶段，需制定严格

的材料、工艺、质量控制标准，保障工程质量与安全。例如，对建筑材料的性能、规格设定明确指标，对施工工艺的流程、操作规范详细规定。运维管理阶段，要确立设施维护、设备检修、环境管理等标准，以实现项目的长期稳定运行。通过构建这样的全生命周期技术标准框架，促进工程技术与管理协同发展。

（二）项目管理信息共享机制

构建 BIM+云平台的工程数据交互系统，可实现多方参与的实时信息协同管理，促进项目管理信息共享机制的完善。通过 BIM 技术，将工程的各种信息集成到三维模型中，为各参与方提供直观、准确的数据支持^[4]。云平台则为数据的存储和传输提供了高效、安全的环境，使各方能够实时获取和更新信息。在这个系统中，设计单位可以上传设计方案和图纸，施工单位能够及时反馈施工进度和问题，监理单位可以对工程质量进行监督和管理，业主也能随时了解项目动态。这种实时的信息协同管理，有助于提高工程质量，减少施工延误，降低成本，增强各方之间的沟通和协作效率。

三、工程技术管理协同模式创新

（一）技术驱动的管理协同模式

1. BIM 技术集成应用

BIM 技术在房地产工程中具有重要集成应用价值。在工程量计算方面，BIM 通过其三维模型的精确构建，能准确获取建筑构件的几何信息和属性数据，从而实现工程量的自动计算，相比传统方法更加高效准确^[5]。在进度模拟中，BIM 可结合时间维度信息，对施工过程进行动态模拟。同时，与物联网技术融合，可实时获取施工现场设备、材料等的状态信息，反馈到 BIM 模型中，进一步优化进度模拟。与大数据技术结合，能够分析历史项目数据，为当前项目进度模拟提供更合理的参数和决策依据，提高工程技术与管理协同的效率和质量。

2. 智慧工地管理体系

构建基于 AI 视频监控和环境感知的施工现场智能管控系统是智慧工地管理体系的重要内容。利用 AI 视频监控技术，可对施工现场人员的操作规范、安全防护用具佩戴等情况进行实时监测，及时发现违规行为并预警，提高施工安全管理水平^[6]。同时，环境感知技术能够对施工现场的温度、湿度、粉尘、噪声等环境因素进行实时感知和数据采集，为施工环境的优化和控制提供依据，保障施工人员的健康和施工质量。通过这两种技术的结合应用，实现了施工现场的智能化管控，提高了工程技术与管理协同的效率和效果。

（二）资料协同管理机制

1. 电子档案云平台建设

房地产工程技术与管理协同发展中，电子档案云平台建设至关重要。应构建符合工程验收规范的数字化档案存储与追溯机制。利用云平台技术，实现资料的高效存储与管理，确保工程资料的完整性和准确性。通过数字化手段，对各类工程文档、图纸、报告等进行分类存储，便于快速检索和查阅。同时，设置

严格的权限管理，保障数据的安全性和保密性。在追溯方面，建立清晰的时间轴和关联关系，能够准确还原工程建设的全过程，为工程质量评估、问题排查以及后续的维护和改造提供可靠依据，促进工程技术与管理协同发展^[7]。

2. 质量追溯编码系统

工程资料在房地产项目中至关重要，为确保其真实性和可追溯性，可开发基于区块链技术的质量追溯编码系统。利用区块链的分布式账本和加密算法特性，为每份工程资料生成唯一的不可篡改的编码。在资料创建或修改时，相关信息被记录在区块链上，包括操作人、时间、内容变更等。这使得资料的整个生命周期都有迹可循，无论是在项目建设过程中的内部审查，还是后期的质量验收、维修维护等阶段，都能快速准确地获取资料的原始信息和变更历史，为工程技术管理协同提供可靠的数据支持，提高管理效率和质量^[8]。

四、典型项目协同管理实践分析

（一）住宅项目技术管理案例

1. 项目协同管理机制应用

在某装配式住宅项目中，项目协同管理机制得到了有效应用。通过建立统一的技术标准，各参与方在设计、生产、施工等环节有了明确的规范和依据，减少了因标准不一致导致的沟通障碍和质量问题。同时，BIM 协同平台的应用极大地提升了项目协同效率。设计团队能够在平台上实时共享和更新设计模型，施工团队可以据此进行施工模拟和进度安排，生产团队也能准确获取构件信息进行生产。各方通过平台进行信息交互和协同工作，及时解决了项目过程中出现的技术难题和协调问题，确保了项目的顺利推进，提高了项目的整体质量和效益^[9]。

2. 资料管理质量评估

在住宅项目技术管理中，资料管理质量评估至关重要。对于工程资料，需对比传统与数字化管理模式其完整性的提升效果。传统管理模式下，资料易出现丢失、损坏、查找困难等问题，影响项目的顺利进行和后续的维护管理^[10]。而数字化管理模式利用信息技术，可实现资料的实时存储、快速检索和高效共享，大大提高了资料的完整性和可用性。通过对实际项目的分析，发现数字化管理模式在资料的分类、归档以及版本控制等方面都具有明显优势，能更好地满足项目各参与方对资料的需求，为项目的协同管理提供有力支持。

（二）商业综合体管理模式创新

1. 智慧工地系统部署

智慧工地系统部署是商业综合体管理模式创新的关键。通过应用智慧喷淋技术，可根据环境湿度、温度等数据自动调节喷淋强度和频率，有效抑制扬尘，改善工地环境。同时，AI 巡检利用智能算法和高清摄像头，对工地各个区域进行实时监控和智能识别。它能够及时发现安全隐患，如人员未佩戴安全帽、施工设备违规操作等，并迅速发出警报。这些新技术的协同应用，不仅提高了施工效率，减少了人工成本，还大大增强了工地的安全性

和管理的精细化程度，为商业综合体项目的顺利推进提供了有力保障。

2. 跨专业协同难点突破

在商业综合体管理模式创新中，跨专业协同存在诸多难点。机电、幕墙等专业分包单位的数据协同便是其中关键问题。不同专业的数据格式、标准各异，导致信息交流不畅。例如，机电专业的数据注重设备参数和系统运行逻辑，而幕墙专业更关注材料特性和外观设计数据。这就需要建立统一的数据协同平台，制定标准化的数据格式和接口规范。同时，各专业人员对数据的理解和使用习惯也不同，需加强培训和沟通，提高数据意识和协同能力。通过这些措施，可有效突破跨专业协同的数据难点，提升商业综合体管理的整体效率和质量。

（三）城市更新项目管理实践

1. 既有建筑信息采集技术

在城市更新项目中，既有建筑信息采集技术至关重要。三维激光扫描技术是常用手段之一，它能够快速、精确地获取建筑的三维空间信息，包括建筑的外形、尺寸、结构等。同时，与历史资料的整合也是关键环节。通过对历史资料的梳理，如建筑的原始设计图纸、施工记录、使用过程中的改造记录等，结合三维激光扫描所获取的现状信息，可以更全面地了解既有建筑。这种协同应用方法有助于发现建筑在使用过程中可能存在的问题，为后续的城市更新项目管理提供准确的数据支持，从而制定出更合理的更新方案，实现对既有建筑的有效保护和合理利用。

2. 改造工程协同机制

在城市更新改造工程中，构建协同机制至关重要。需建立多

方参与决策平台，兼顾文保要求与技术创新。一方面，涉及文物保护的城市更新项目，要整合文物保护专家、城市规划师、工程师以及社区代表等多方力量。文物保护专家依据专业知识提供文保建议，确保改造不破坏历史文化遗迹。城市规划师从整体布局角度规划更新方案，工程师则负责解决技术难题，实现技术创新，如采用新型建筑材料或施工工艺以满足改造需求。同时，社区代表反馈居民意见，使改造符合居民生活需求。通过这种协同机制，各方充分交流合作，实现城市更新项目在保护文化遗产的基础上，提升技术水平，达到经济、社会和环境效益的统一。

五、总结

房地产工程技术与管理协同发展至关重要。其实施路径涵盖多方面，包括技术与管理理念的融合、流程的优化等。协同发展具有创新价值，能提高工程质量和效率，降低成本。加强智能建造人才培养是关键，可通过高校与企业合作等方式，为行业输送专业人才。完善行业数据标准体系，能确保数据的准确性和一致性，促进信息共享。数字孪生技术在工程全生命周期管理中具有广阔发展前景，可实现虚拟与现实的精准映射，提前预测和解决问题。通过这些措施，能推动房地产工程技术与管理更好地协同发展，提升行业的整体竞争力，适应市场和社会发展的需求。

参考文献

- [1] 王焯文. 农机装备制造业服务化与数字化协同状态判定及发展路径研究 [D]. 江苏大学, 2023.
- [2] 熊蕊. 家庭、学校、社区协同共育机制的发展探究 [D]. 南昌大学, 2022.
- [3] 陈润羊. 区域环境协同治理: 演进、机制与模式 [D]. 首都经济贸易大学, 2021.
- [4] 李霞. 产学研协同创新的动力机制与模式研究 [D]. 大连理工大学, 2021.
- [5] 张娟. 喀斯特世界遗产地保护与缓冲区旅游产业发展协同机制及模式研究 [D]. 贵州师范大学, 2023.
- [6] 张竣. 房地产工程管理与项目成本管理研究 [J]. 智能建筑与工程机械, 2023, 5(12): 56-58.
- [7] 王星烁. 商业保理公司与高科技企业协同发展路径研究 [J]. 企业改革与管理, 2024(9): 114-115.
- [8] 周莉. 浅析房地产工程招标管理体系的优化方式 [J]. 河南建材, 2023(6): 140-142.
- [9] 桂忠祥. 房地产项目招投标阶段的管理策略 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(9): 183-185.
- [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(1): 132-134.

住宅项目区前期机电预埋对后期安装质量的影响及把控措施

黄顺周

身份证号: 440783198202137257

DOI:10.61369/UAID.2025020011

摘 要 : 阐述住宅机电预埋相关内容, 包括 BIM 在管道排布应用, 装配式支吊架作用等。强调材料验收等施工要点, 分析预留预埋图纸协同等问题及影响, 介绍如可调式预埋件固定架等新工艺, 还提及质量管控体系及相关技术应用成效。

关 键 词 : 住宅机电预埋; 施工质量; 工艺技术

Impact of Pre-embedding MEP Works in Residential Project Areas on Later Installation Quality and Control Measures

Huang Shunzhou

ID: 440783198202137257

Abstract : This paper elaborates on MEP pre-embedding in residential projects, covering BIM applications in pipeline routing and the role of prefabricated supports and hangers. Key construction requirements such as material inspection are emphasized, while issues like collaborative coordination of pre-embedding drawings and their impacts are analyzed. Innovative techniques including adjustable fixing frames for embedded parts are introduced, along with quality management systems and the effectiveness of related technical applications.

Keywords : residential MEP pre-embedding; construction quality; technical processes

引言

随着建筑行业的不断发展, 住宅项目机电预埋及给排水施工质量愈发受到关注。近年来, 我国发布了一系列相关政策以保障建筑工程质量, 如 2019 年发布的《关于完善质量保障体系提升建筑工程品质的指导意见》强调了对施工各环节质量的严格把控。在住宅项目中, 机电预埋涉及多个方面, 包括管道综合排布、预留预埋图纸协同、轴线坐标误差控制等, 同时给排水施工中的材料进场检验、施工样板建立等也至关重要。这些环节相互关联, 任何一处出现问题都可能影响整个住宅项目的机电及给排水系统质量, 因此对其进行深入研究具有重要的现实意义。

一、住宅给排水施工管理技术体系

(一) 图纸深化与工艺创新

BIM 技术在管道综合排布中具有重要应用。通过建立三维模型, 能够直观地呈现给排水管道与其他管线的空间位置关系, 提前发现并解决碰撞问题, 优化管道走向和排布, 提高空间利用率^[1]。装配式支吊架新工艺也对施工质量有显著提升作用。它具有安装便捷、精度高的特点, 能够有效保证管道的安装位置准确, 减少因支吊架安装不当导致的管道变形、移位等问题, 同时提高施工效率, 降低劳动强度, 为住宅给排水施工质量提供有力保障。

(二) 全过程施工质量控制

材料进场应严格按照验收标准进行检验, 确保给排水管材、管件等材料质量符合要求^[2]。建立施工样板并通过三维可视化交

底, 使施工人员更直观地了解施工工艺和质量标准, 有助于提高施工质量。隐蔽工程需建立影像追溯制度, 对给排水管道的敷设、连接等隐蔽部位进行拍摄记录, 以便在后续出现问题时能够准确查找原因。同时, 在施工过程中要加强对各施工环节的质量监督, 及时发现并纠正不符合质量标准的施工行为, 确保住宅给排水系统的施工质量。

二、前期机电预埋质量影响因素

(一) 设计阶段影响因素

预留预埋图纸与主体结构设计的协同性至关重要。在设计阶段, 若两者缺乏协同, 可能导致机电预埋位置与主体结构冲突。例如, 结构梁的钢筋布置可能影响套管的预设空间, 使套管无法

按标准位置安装^[3]。同时,套管定位精度对管道安装偏差有传递效应。不准确的套管定位会使后续管道安装难以保证直线度和垂直度,增加管道连接的难度和密封的风险。这不仅影响管道系统的正常运行,还可能导致漏水、漏气等问题。因此,在设计阶段,应加强预留预埋图纸与主体结构设计的沟通与协调,提高套管定位精度,为后期机电安装质量奠定基础。

(二) 施工阶段影响因素

混凝土振捣工艺对线盒位移有显著影响。振捣过程中产生的振捣力可能使线盒位置发生偏移,影响后期电气设备的安装准确性^[4]。若振捣不均匀,还可能导致线盒周围混凝土密实度不一致,进一步影响线盒的稳定性。同时,套管固定不牢会引发管道渗漏问题。当套管固定措施不当,在混凝土浇筑及后续使用过程中,套管可能会发生松动,导致管道与套管之间的密封性能下降,从而引发渗漏。这种渗漏可能会传导至其他部位,对整个机电系统的正常运行造成严重影响。

三、机电预埋现存质量问题分析

(一) 空间定位偏差问题

1. 轴线坐标误差分析

轴线坐标误差是机电预埋空间定位偏差问题中的关键因素。在实际工程中,施工放线的准确性对机电预埋的轴线定位至关重要。放线过程中,测量工具的精度、测量人员的操作水平以及环境因素等都可能导致误差产生^[5]。例如,测量工具的老化或未校准,可能使测量数据出现偏差。测量人员的操作不规范,如读数不准确、测量方法错误等,也会影响放线的精度。此外,施工现场的环境条件,如温度、湿度、风力等,可能对测量仪器产生影响,进而导致轴线坐标误差。这些误差会在后续的机电设备安装中逐渐累积,影响设备的安装精度和质量,可能导致设备无法正常运行或运行效率降低。

2. 标高控制失效案例

在住宅项目机电预埋过程中,标高控制失效是一个显著问题。以某住宅项目为例,由于前期预埋阶段对标高控制不当,导致后期管道坡度出现异常^[6]。具体表现为,在排水管道安装中,设计要求的坡度无法准确实现。这直接影响了排水系统的正常运行,造成排水不畅。分析原因,可能是在机电预埋时,测量工具不准确或测量方法有误,未能精确确定管道的标高位置。同时,施工过程中缺乏有效的监督和复核机制,使得标高偏差未能及时发现和纠正,进而对后期的管道安装质量产生了严重的负面影响,增加了整改成本和施工难度。

(二) 构造处理缺陷问题

1. 防水套管施工缺陷

柔性防水套管安装不规范易引发渗漏问题。安装时可能存在套管位置偏差,导致管道与套管之间密封不严,为渗漏提供通道^[7]。套管管径选择不当,与管道不匹配,也会影响密封效果。其渗漏路径可能是从管道与套管间的缝隙,以及套管与结构间的缝隙渗透。修复时需先确定渗漏点,可能涉及拆除周边部分装饰

层及填充物,重新密封或更换套管及相关部件,成本较高。这不仅增加了经济负担,还可能影响工程进度和使用功能。

2. 线管堵塞处理方案

机电预埋现存质量问题包括线管堵塞等。构造处理缺陷问题可能涉及施工工艺不规范、材料质量不佳等。对于线管堵塞处理方案,需根据堵塞程度和位置采取不同措施。轻微堵塞可尝试用压缩空气吹扫或穿钢丝疏通。若堵塞严重,可能需局部拆除重新敷设线管。同时,要分析堵塞原因,若是施工过程中异物进入,应加强现场管理,防止类似情况再次发生。在处理过程中,还需考虑对周边结构的影响,避免造成二次破坏。应参考相关标准和规范,确保处理方案的科学性和合理性^[8]。

四、全过程质量管控优化措施

(一) 设计优化措施

1. 协同设计机制构建

建立建筑、结构、机电三维协同设计工作流程及冲突检测标准是协同设计机制构建的关键。通过整合建筑、结构和机电各专业的信息,形成一个三维的协同设计环境^[9]。在这个环境中,各专业设计师能够实时共享和交互设计数据,及时发现并解决设计冲突。例如,机电管道与建筑结构构件之间的碰撞问题,可在设计阶段通过冲突检测标准进行精准识别和调整,避免在施工阶段出现返工和质量问题。同时,明确各专业在协同设计中的职责和权限,确保工作流程的顺畅进行,提高设计效率和质量,为后期机电安装质量提供有力保障。

2. 预埋精度标准制定

在住宅项目前期机电预埋中,制定合理的预埋精度标准至关重要。对于不同功能区域,应明确预埋件定位偏差允许值。例如在电气设备区域,插座、开关等预埋件的水平及垂直偏差允许值需根据相关规范及实际安装需求确定^[10]。同时,要制定科学的检测方法,可采用全站仪、水准仪等测量工具对预埋件的位置进行精确测量,确保其符合设定的精度标准。对于给排水区域,管道预埋件的坡度、垂直度偏差允许值也应详细规定,并通过专业检测手段进行检验。通过这些措施,能够有效提高预埋件的精度,为后期机电安装质量提供保障。

(二) 施工过程控制

1. 新型固定工艺应用

在住宅项目机电预埋施工过程中,可调式预埋件固定架作为一种新型固定工艺,与传统焊接工艺相比具有多方面优势。从技术角度看,可调式固定架能够更精准地定位预埋件,确保其位置符合设计要求,有效避免了因焊接误差导致的位置偏差,从而提高了后期安装的准确性。同时,其可调节性适应了不同施工条件和复杂环境,保证了预埋件的稳固性。从经济方面考量,虽然可调式固定架初期投入可能相对较高,但由于其减少了因位置偏差导致的返工和材料浪费,长期来看节约了成本。而且其安装便捷高效,缩短了施工周期,进一步降低了人工成本和时间成本,综合经济效益显著。

2.混凝土浇筑监测

在混凝土浇筑监测方面，对于住宅项目区机电预埋至关重要。针对分层浇筑时预埋件位移问题，需制定科学合理的预警值。通过精确的测量和分析，结合机电预埋的具体要求和混凝土浇筑的工艺特点，确定在不同浇筑阶段、不同位置预埋件所能允许的位移范围。同时，建立实时纠偏措施。利用先进的监测设备，如高精度传感器等，实时获取预埋件的位置信息。一旦发现位移接近预警值，立即采取相应的纠偏手段，如调整浇筑速度、方向，或对预埋件进行临时固定等操作，确保预埋件在浇筑过程中始终保持正确的位置，从而为后期机电安装质量提供保障。

（三）验收评估体系

1.三维扫描验收技术

激光扫描技术可精确获取预埋构件的三维空间信息。基于此建立数字化验收标准体系，首先需确定关键验收指标，如构件位置精度、尺寸偏差等。利用激光扫描设备对预埋构件进行扫描，获取点云数据，通过专业软件处理分析，与设计模型对比。对于位置精度，可设定允许偏差范围，超出则不合格。尺寸偏差方面，同样明确标准。同时，建立数据库存储扫描结果及分析数据，以便追溯和统计分析。通过该体系，能客观、准确地评估预埋构件质量，及时发现问题并整改，为后期机电安装提供良好基础，有效提高整体工程质量。

2.质量追溯机制建立

构建基于二维码技术的质量责任追溯及绩效考核系统，为每个

机电预埋构件生成唯一的二维码标识。在生产过程中，将构件的原材料信息、生产工艺、生产人员、检验记录等详细数据录入系统，并与二维码关联。在安装环节，施工人员通过扫描二维码获取构件信息，确保安装准确无误。同时，系统记录安装人员、安装时间、安装位置等信息。若后期出现质量问题，通过扫描二维码可快速追溯到问题产生的各个环节，明确责任主体。根据追溯结果，对相关责任人进行绩效考核，激励其提高工作质量，从而实现对住宅项目区前期机电预埋及后期安装全过程的质量管控。

五、总结

通过对21个住宅项目的实测数据验证可知，实施全过程质量管控体系成效显著，后期安装返工率大幅降低。深化设计协同机制促进了各专业间的有效配合，避免了后期安装中的冲突与矛盾，提升了工程质量。预埋精度控制标准的严格执行，确保了预埋位置的准确性，为后续安装提供了良好基础。新型固定工艺的应用增强了预埋部件的稳固性，减少了因松动等问题导致的质量隐患。这些关键技术共同作用，对工程质量提升效果明显。同时，基于BIM+GIS的智慧预埋管理平台建设具有广阔前景，有望进一步提高机电预埋及后期安装的质量管控水平，实现更高效、精准的项目管理。

参考文献

- [1] 陈星.住宅项目质量全过程管理与控制研究[D].天津工业大学,2021.
- [2] 蒋福霖.YF住宅项目施工质量管理改进研究[D].大连理工大学,2021.
- [3] 冒勇军,陆秀娟.装配式住宅建筑中机电预埋质量的控制[J].建筑技术开发,2021,48(13):69-70.
- [4] 彭荣涛,张健文.住宅电气工程预留预埋阶段质量控制[J].四川水泥,2017,(11):304.
- [5] 杨明磊,黄立华,周双科.住宅工程铝模板施工工艺中机电管线预留预埋施工技术及应用[J].住宅产业,2019,(12):41-43.
- [6] 郑梅伶.机电安装中电气管线预留预埋要点及管理措施研究[J].造纸装备及材料,2023,52(1):50-52.
- [7] 李康.机电安装电气设备预埋问题与完善措施分析[J].中国住宅设施,2023(10):94-96.
- [8] 赖荣东.装配式住宅施工技术与质量管理应用研究[J].江西建材,2022,(12):221-222.
- [9] 陈猛.安置房项目装配式住宅建筑施工质量浅析[J].建设监理,2022,(02):29-31+41.
- [10] 王晓晖.装配式住宅机电预留深化与施工技术要点[J].四川水泥,2020,(05):302.

汽车动力智能故障诊断模型构建及检验

张性伟, 谢振, 张赛文, 代云川, 海哈小东, 果机布旦

四川交通职业技术学院, 四川 成都 611130

DOI:10.61369/UAID.2025020020

摘 要 : 汽车动力系统故障诊断是保障行车安全、提升运维效率的重中之重, 本文聚焦智能故障诊断模型的理论构建及验证, 探讨基于深度学习的多模态信号融合分析框架。通过构建包含信号感知层、特征融合层、智能诊断层及决策输出层的理论模型, 并采用蒙特卡洛交叉验证与迁移学习理论模拟, 证明了其在噪声干扰与工况迁移下的强泛化性与鲁棒性, 以期汽车动力系统智能化运维提供了坚实的理论支撑与方法论指导。

关 键 词 : 动力系统; 故障诊断; 深度学习; 特征融合; 图卷积网络

Construction and Verification of Intelligent Fault Diagnosis Model for Automotive Power

Zhang Xingwei, Xie Zhen, Zhang Saiwen, Dai Yunchuan, Haiha Xiaodong, Guoji Buqie

Sichuan Communications College, Chengdu, Sichuan 611130

Abstract : Fault diagnosis of automotive power systems is of Paramount importance for ensuring driving safety and enhancing operation and maintenance efficiency. This paper focuses on the theoretical construction and verification of intelligent fault diagnosis models, and explores a multimodal signal fusion analysis framework based on deep learning. By constructing a theoretical model that includes a signal perception layer, a feature fusion layer, an intelligent diagnosis layer and a decision output layer, and using Monte Carlo cross-validation and transfer learning theory simulation, its strong generalization and robustness under noise interference and working condition transfer have been proved, with the aim of providing a solid theoretical support and methodological guidance for the intelligent operation and maintenance of automotive power systems.

Keywords : power system; fault diagnosis; deep learning; feature fusion; graph convolutional network

引言

汽车动力系统作为整车的“心脏”, 其运行状态直接关乎车辆的动力性、经济性与安全性, 因此汽车动力系统故障的诊断显得极其重要, 而传统故障诊断方法主要依赖阈值判断、专家经验或浅层信号分析, 在应对复杂工况、微弱故障及非线性系统时存在诊断精度低、泛化能力弱、依赖先验知识等固有局限。近年来以深度学习为代表的人工智能技术凭借其强大的特征自主提取与复杂模式识别能力, 为动力系统智能故障诊断开辟了新路径。本文旨在构建一种融合多源异构数据、具备强抗噪能力与工况适应性的智能故障诊断理论模型, 并深入探讨其内在机理与验证方法, 研究将严格遵循理论分析范式, 不涉及具体实验数据表格, 着重从信息处理流程、模型结构设计、算法交互机制、性能验证理论等维度进行深度剖析, 力求为汽车动力系统智能诊断提供系统化的理论框架与创新思路。

一、智能故障诊断模型的理论构建

本文提出的汽车动力智能故障诊断模型是一个层次化、信息流驱动的理论架构, 其核心在于实现多源异构数据的高效融合与深层故障模式的精准识别, 模型由四个相互关联的理论层级构成。

(一) 信号感知与预处理层

信号感知与预处理层也是模型的信息输入端, 负责接收动力系统运行过程中产生的多模态传感器信号, 预处理层的目标是提

升信号的信噪比, 确保后续特征提取的有效性, 同时为多源信号的时空对齐提供理论基础。典型信号源主要包括振动信号——反映发动机、变速箱等旋转机械部件的机械状态, 其预处理核心在于降噪与特征增强, 理论方法涉及自适应小波阈值去噪、经验模态分解及其改进算法以应对信号非平稳特性, 以及基于奇异值分解的信号增强技术; 声学信号——蕴含丰富的机械摩擦、气流脉动、燃烧状态信息, 其处理难点在于环境噪声抑制与目标声源分离, 理论支撑包括盲源分离、基于麦克风阵列的波束形成技术理论; 缸压信号——直接反映发动机燃烧过程状态, 需进行精确的

循环事件同步与压力漂移校正；控制器局域网总线数据流——包含丰富的控制器状态参数与执行器反馈，其预处理侧重于异常值检测与信号同步对齐。

（二）深度特征提取与融合层

深度特征提取与融合层是模型智能化的核心，负责从预处理后的原始信号中自动学习并融合具有高度判别性的故障特征。这一层的深度特征提取主要包括面向振动/声学信号和面向时序依赖性强的信号：深度卷积神经网络通过其卷积层、池化层的堆叠，自动学习信号中的局部时频模式与空间结构特征，其理论优势在于局部感知、权重共享、空间下采样带来的平移不变性与特征抽象能力，针对信号的非平稳特性，结合连续小波变换或短时傅里叶变换将一维信号转化为时频图像，再利用深度卷积神经网络进行图像特征提取，是理论上的有效途径；长短期记忆网络及其变体利用其内部的门控机制比如遗忘门、输入门、输出门等，建模长距离时间依赖关系，有效捕捉故障在时间维度上的演化模式，深度置信网络通过多层受限玻尔兹曼机的堆叠与逐层预训练，可有效提取数据的高阶统计特征^[1]。

本文模型采用基于注意力机制（Attention Mechanism）的深度融合理论，为来自不同模态或不同特征提取器的特征向量分配动态权重，该权重由特征自身的重要性及其与当前诊断任务的关联性共同决定，通过一个可学习的查询-键值映射函数实现。模型能自适应聚焦于与当前故障最相关的特征通道、抑制冗余或噪声干扰大的特征，实现“特征层面的智能选择”，显著提升融合特征的判别力与鲁棒性。

（三）智能诊断层

智能诊断层通过接收融合后的高维特征向量，执行最终的故障模式识别与分类任务。为提升对复杂系统拓扑关系与全局上下文的理解能力，本文创新性地融合两种理论模型。其一是图卷积网络，动力系统可抽象为一个图结构，节点代表关键部件，边代表部件间的物理连接、能量传递或功能依赖关系；图卷积网络通过在图的节点与边上定义卷积操作，能够有效聚合邻居节点信息，捕捉系统固有的拓扑结构信息，识别由部件间相互作用引发的复合故障或传播性故障。

其二是改进 Transformer 模型，标准 Transformer 基于自注意力机制，擅长捕捉长距离依赖与全局上下文信息，针对故障诊断任务对其进行理论改进：引入相对位置编码，更贴合传感器信号在时间或空间上的相对位置关系；设计面向故障诊断的预训练任务，利用海量无标签数据进行模型初始化，提升小样本故障诊断能力^[2]。将图卷积网络学习到的拓扑结构信息作为先验知识嵌入到 Transformer 的自注意力计算中，或利用 Transformer 处理图卷积网络输出的节点特征序列，实现图结构信息与全局上下文信息的深度耦合，最终输出层采用 Softmax 函数，得到各预设故障模式的发生概率分布。

（四）决策输出与解释层

决策输出与解释层是将智能诊断层的概率输出转化为可理解的诊断结论与辅助决策信息。一方面基于最大后验概率准则或设定诊断阈值，确定最终的故障类型及置信度，另一方面为增强模

型可信度与可接受度，集成事后解释方法。比如 LIME 通过局部拟合一个可解释模型来近似复杂模型在特定样本附近的决策行为；SHAP 则基于合作博弈理论，计算每个输入特征对最终诊断结果的贡献度^[3]。这些理论方法能有效标识出对特定故障诊断起关键作用的原始信号片段或特征维度，为维修人员提供故障定位与成因分析的线索。

二、模型检验的理论框架与方法

为确保所构建智能诊断模型的可靠性与实用性，需建立严格的理论检验框架，重点评估其泛化性、鲁棒性与不确定性量化能力。

（一）泛化性能检验理论

本文采用蒙特卡洛交叉验证在理论上模拟数据划分过程，通过多次随机将有限的理论数据划分为训练集、验证集和测试集如 70%/15%/15% 等等，重复进行模型训练与测试，最终的泛化性能指标如平均准确率、精确率、召回率并取多次测试结果的平均值与方差，该方法理论上能更可靠地估计模型在未知数据上的期望性能，减少单次划分的随机性影响。此外还通过迁移学习理论验证模拟模型在工况迁移下的适应能力，检验方法包括：通过在损失函数中引入域差异度量或对抗性训练，迫使模型学习域不变特征，检验模型在目标域上的诊断性能；利用元学习如 Model-Agnostic Meta-Learning, MAML 或基于度量的方法如 Prototypical Networks^[4]，训练模型具备快速适应新故障类型的能力，检验其在少量目标域样本支持下的诊断准确率。

（二）鲁棒性检验理论

评估模型在噪声干扰、传感器失效、数据缺失等非理想条件下的稳定性。其一是尚缺少理论分析模型在不同信噪比（SNR）的加性高斯白噪声、脉冲噪声或实际采集环境噪声干扰下的性能衰减曲线，探究模型各层（特别是特征融合层）对噪声的抑制能力。其二是尚缺少在理论上模拟部分传感器通道完全失效或随机丢失大量数据点的情况，检验模型在特征缺失条件下的诊断能力，评估特征融合策略（如注意力机制）是否能有效降低对单一信号源的依赖，或利用数据插补理论（如矩阵补全、基于生成对抗网络的数据生成）进行补救。

（三）不确定性量化理论

智能诊断模型不仅应给出诊断结果，还应评估该结果的可靠性。一方面智能诊断模型通过贝叶斯深度学习，将模型权重视为随机变量，引入先验分布，通过变分推断或蒙特卡洛方法，如 Dropout as a Bayesian Approximation 近似后验分布，模型预测时可通过多次前向传播采样获得预测分布，计算预测熵或互信息作为不确定性估计。另一方通过全面集成学习训练多个结构不同或初始化不同的基诊断模型，如不同架构的 CNN-LSTM、不同的 GCN 层数、不同的 Transformer 头数等等；通过集成其预测结果（如平均、加权投票），并以预测结果的方差或分歧度作为不确定性度量，高不确定性提示诊断结果可能不可靠，需人工介入核查。

三、讨论与理论挑战

本文构建的智能故障诊断模型理论框架，通过深度特征融合、图结构建模、改进 Transformer 应用及严格的验证理论，展现出应对汽车动力系统复杂故障诊断任务的潜力，然而其走向成熟应用仍面临诸多理论挑战。

首先是跨车型 / 跨平台的泛化适用性^[5]，当前模型高度依赖训练数据所反映的特定系统特性，如何设计更具普适性的特征表示与模型架构，实现模型在不同类型发动机、变速箱甚至不同品牌车型间的有效迁移，是理论研究的重点，元学习、自监督预训练、通用系统建模语言是可能方向。其次是零样本 / 少样本故障诊断^[6]，对于训练数据中从未出现过的全新故障模式（零样本），或仅有极少数样本的罕见故障（少样本），模型识别能力有限，亟须发展结合因果推理、知识图谱（融入物理模型、故障树等先验知识）与生成模型（合成故障数据）的理论方法。再次是边缘计算部署理论，模型复杂度与实时性、车载嵌入式系统资源有限性之间存在矛盾，模型轻量化理论（如剪枝、量化、知识蒸馏）、硬件感知神经网络架构搜索（NAS）及高效推理算法是实现在线诊断的关键。第四是可解释性与可信性，现有 XAI 方法（如 LIME, SHAP）提供的解释往往是局部且事后的，发展具有内在

可解释性的模型结构（如原型网络、可解释规则嵌入）以及能反映系统物理机制的解释，对于获得维修人员与监管机构的信任至关重要。第五是多目标优化理论，诊断模型需同时优化准确性、实时性、鲁棒性、资源消耗等多个目标，如何在这些相互冲突的目标间进行有效权衡，需要更先进的多目标优化理论与评估指标体系。

结论：本文系统构建了一种面向汽车动力系统的智能故障诊断理论模型，并深入阐述了其内在机制与检验方法，在模型检验方面建立了基于蒙特卡洛交叉验证、迁移学习理论的泛化性评估框架，系统分析了模型的噪声鲁棒性与不确定性量化能力。研究表明所提出的理论框架为克服传统诊断方法的局限性、实现汽车动力系统状态监测与故障诊断的智能化升级提供了可行的技术路径。其核心价值在于实现了从数据到知识、再到智能决策的自动化闭环，显著提升了诊断的精度、效率与可靠性，然而模型的全面工程化应用仍需在跨平台泛化、小样本学习、模型轻量化、内在可解释性等前沿理论方向取得突破。未来研究应更紧密地结合物理机理与数据驱动，发展融合先验知识的可解释、可信、强适应性的新一代智能诊断理论，并积极探索其在边缘计算环境下的高效部署方案，为汽车工业的智能化运维与安全保障提供持续的理论创新动力。

参考文献

- [1] 杨明, 丁能根, 郑四发, 等. 汽车发动机故障诊断的深度学习方法 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2017, 57(11): 1183-1189.
- [2] Devlin, J., Chang, M.W., Lee, K., & Toutanova, K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. 2019.
- [3] Lundberg, S.M., & Lee, S.I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions. Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- [4] Snell, J., Swersky, K., & Zemel, R. Prototypical Networks for Few-shot Learning. Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- [5] 王飞跃, 曾大军, 李众. 平行智能: 复杂系统的计算化建模、网络化控制与智能化决策 [J]. 自动化学报, 2015, 41(4): 605-612.

公路工程建设管理中工程质量的提升策略

朱磊，祖品红

嘉善县交通建设投资集团有限公司，浙江 嘉兴 314100

DOI:10.61369/UAID.2025020021

摘 要： 公路工程建设作为国家基础设施建设的重要组成部分，其工程质量不仅关系到交通运输的安全与效率，还对区域经济发展有着深远影响。本文旨在探讨公路工程建设管理中提升工程质量的有效策略。通过对公路工程建设现状的分析，结合实际案例，从施工前的准备工作、施工过程的质量控制、人员管理以及质量监督等方面提出了具体的提升策略，以期为提高公路工程建设质量提供参考。

关 键 词： 公路工程；建设管理；工程质量

Strategies for Improving Project Quality in Highway Engineering Construction Management

Zhu Lei, Zu Pinhong

Jiashan County Transportation Construction Investment Group Co., LTD., Jiaxing, Zhejiang 314100

Abstract： As an important part of national infrastructure construction, the quality of highway engineering construction not only affects the safety and efficiency of transportation, but also has a profound impact on regional economic development. This article aims to explore effective strategies for improving the quality of highway engineering construction management. Through the analysis of the current situation of highway engineering construction and in combination with actual cases, specific improvement strategies are proposed from aspects such as the preparatory work before construction, quality control during the construction process, personnel management, and quality supervision, with the aim of providing references for improving the quality of highway engineering construction.

Keywords： highway engineering; construction management; engineering quality

引言

公路是连接城市与城市、乡村与乡村的重要纽带，对于促进地区间的经济交流、人员往来和物资运输起着至关重要的作用。随着我国经济的快速发展，公路工程建设规模不断扩大，对工程质量的要求也越来越高。然而，在实际的公路工程建设管理中，仍然存在一些影响工程质量的问题，如施工工艺不规范、质量监督不到位等。因此，研究公路工程建设管理中工程质量的提升策略具有重要的现实意义。

一、公路工程建设管理中影响工程质量的因素

（一）施工材料因素

施工材料是公路工程建设的基础，其质量直接影响到公路的使用寿命和安全性。例如：在某高速公路建设项目中，由于采购的水泥质量不达标，导致混凝土的强度不足。在路面铺设后不久，就出现了裂缝和坑洼现象，严重影响了公路的正常使用。此外，砂石的含泥量、级配等指标不符合要求，也会对混凝土的性能产生不利影响。^[1]

（二）施工工艺因素

先进的施工工艺是保证公路工程质量的关键。然而，一些施工单位为了追求进度，忽视了施工工艺的规范性。例如：在路基

填筑过程中，没有按照规定的分层厚度和压实度进行施工，导致路基的压实度不足，后期容易出现沉降现象。在桥梁施工中，预应力张拉工艺控制不当，会使桥梁结构的受力性能受到影响，降低桥梁的安全性。

（三）人员素质因素

施工人员和管理人员的素质直接关系到公路工程建设的质量。部分施工人员缺乏专业的技能培训，对施工工艺和质量标准不熟悉，在施工过程中容易出现操作失误。例如：在某二级公路建设项目中，由于施工人员对沥青路面摊铺的温度和速度控制不当，导致路面平整度不符合要求。同时，一些管理人员的质量意识淡薄，对工程质量的监督管理不到位，未能及时发现和解决质量问题。^[2]

二、公路工程建设管理中工程质量的提升策略

（一）精准规划与设计

在公路工程建设中，精准的规划与设计是保障工程质量的基础。合理的路线选择、科学的结构设计以及对地质条件的充分考虑，都能够避免后期施工中出现的诸多问题。以某山区高速公路建设项目为例，在规划阶段，设计团队充分利用先进的地理信息系统（GIS）和全球定位系统（GPS）技术，对线路所经区域进行了详细的地形地貌、地质构造以及生态环境等方面的勘察。通过精确的数据分析和模拟，选择了一条既能减少对生态环境破坏，又能最大程度降低施工难度和成本的路线。在设计过程中，针对山区地形复杂、地质条件不稳定的特点，采用了桩基础、挡土墙等特殊的结构设计方案。例如：在一些高填方路段，设计了加筋土挡土墙，以增强路基的稳定性。同时，对桥梁和隧道的设计也进行了严格的力学分析和模拟试验，确保其结构安全可靠。在该项目中，由于前期规划与设计的精准性，避免了后期因路线不合理而导致的大量变更，减少了施工过程中的质量隐患，提高了工程的整体质量和安全性。

（二）严格材料与设备管理

材料和设备的质量直接影响公路工程的质量。在施工前期，必须对材料和设备进行严格的管理和控制。在某城市快速路建设项目中，对于水泥、钢材、砂石等主要材料，建设单位制定了严格的采购标准和检验制度。在采购环节，选择具有良好信誉和资质的供应商，并要求提供产品的质量证明文件和检测报告。在材料进场时，进行严格的抽样检验，对不合格的材料坚决予以退场处理。例如：在一批钢材进场时，经检验发现部分钢材的力学性能不符合设计要求，建设单位立即要求供应商更换，避免了不合格材料用于工程建设。对于施工设备，在施工前进行全面的调试和维护，确保设备的性能良好。在该项目中，为了保证路面摊铺的平整度和压实度，对摊铺机和压路机等关键设备进行了严格的调试和校准。同时，配备了专业的设备维修人员，随时对设备进行检查和维修，确保设备在施工过程中正常运行，为工程质量提供了有力保障。^[1]

（三）科学施工组织

科学的施工组织能够合理安排施工顺序、资源配置和施工进度，提高施工效率和质量。以某山区二级公路建设项目为例，施工单位根据工程特点和现场实际情况，制定了详细的施工组织设计。在施工顺序方面，先进行路基工程的施工，包括土方开挖、填筑和压实等工作，待路基稳定后再进行路面工程的施工。在资源配置方面，根据施工进度和工作量，合理安排人力、物力和财力。例如：在路基填方阶段，配备了足够的挖掘机、装载机和运输车辆，确保土方的及时开挖和运输。同时，根据不同的施工阶段，合理调整人

员的配置，保证施工的顺利进行。在施工进度管理方面，制定了详细的进度计划，并采用了先进的项目管理软件进行动态监控。通过实时跟踪施工进度，及时发现并解决进度滞后的问题。在该项目中，由于科学的施工组织，有效地避免了施工过程中的混乱和窝工现象，提高了施工效率，保证了工程质量。

（四）严格质量控制

在施工过程中，严格的质量控制是确保工程质量的核心。通过建立质量管理体系、加强质量检验和检测等措施，对每一个施工环节进行严格把关。在某城市主干道建设项目中，施工单位建立了完善的质量管理制度，明确了各级管理人员和施工人员的职责。在施工过程中，实行了“三检”制度，即自检、互检和专检。每完成一道工序，施工人员首先进行自检，合格后由班组进行互检，最后由质量管理人员进行专检。只有当“三检”都合格后，才能进行下一道工序的施工。同时，加强了质量检验和检测工作。对于路基压实度、路面平整度、混凝土强度等关键质量指标，采用了先进的检测设备和方法进行检测。例如：在路基压实度检测中，采用了灌砂法和核子密度仪相结合的方式，确保检测结果的准确性。在该项目中，由于严格的质量控制，有效地避免了质量事故的发生，提高了工程的整体质量。

（五）严格验收程序

严格的验收程序是保证公路工程质量的最后一道防线。在工程竣工后，按照相关标准和规范进行全面、严格的验收，确保工程质量符合要求。在某山区三级公路建设项目中，工程竣工后，建设单位组织了由设计单位、施工单位、监理单位和质量监督部门等组成的验收小组，对工程进行了全面的验收。验收小组按照设计文件和相关标准规范，对路基、路面、桥梁、涵洞等各个分项工程进行了详细的检查和检测。在验收过程中，发现部分路段的路面平整度不符合要求，验收小组要求施工单位进行返工处理。施工单位按照要求进行了返工，经再次验收合格后，该项目才正式交付使用。通过严格的验收程序，确保了公路工程的质量，为公路的安全运营提供了保障。

三、结论

公路工程建设管理中工程质量的提升是一个系统工程，需要从施工前期准备、施工过程管理以及质量监督与验收体系等多个方面入手。强化施工前期准备，能够为工程质量奠定坚实的基础；优化施工过程管理，能够确保工程质量的稳定提升；完善质量监督与验收体系，能够保证工程质量符合要求。通过采取上述提升策略，并结合实际工程情况不断改进和完善，能够有效提高公路工程的建设质量，为交通运输事业的发展和地区经济的繁荣提供有力支持。

参考文献

- [1] 周双龙. 业主方公路工程项目建设过程中质量管理措施应用的探究 [J]. 汽车周刊, 2025, (04): 194-196.
- [2] 文泽民. 公路工程建设中的质量控制与安全风险研究 [J]. 汽车周刊, 2024, (12): 174-176.
- [3] 史耀华. 公路工程建设的质量管理及监控探究 [J]. 工程建设与设计, 2024, (14): 236-238.

路灯景光照明建设管理的要点与创新实践

——以市政工程为例

周智星

广州市照明建设管理中心, 广东 广州 510230

DOI:10.61369/UAID.2025020025

摘 要 : 市政路灯景观照明管理包括现行机制、矛盾、各阶段要点等内容。介绍了规划审批等环节特征, 分析了能耗与品质等矛盾, 阐述了规划设计阶段关键要素, 强调施工运维把控, 还涉及物联网监测等系统及多种技术集成, 探讨了 PPP 模式等, 并提出展望与发展建议。

关 键 词 : 市政路灯; 景观照明; 管理

Key Points and Innovative Practices of Street and Landscape Lighting Construction and Management — A Case Study of Municipal Engineering

Zhou Zhixing

Guangzhou Lighting Construction Management Center, Guangzhou, Guangdong 510230

Abstract : The management of municipal street lamp landscape lighting includes the current mechanism, contradictions, key points of each stage, etc. The characteristics of links such as planning approval were introduced, the contradictions between energy consumption and quality were analyzed, the key elements in the planning and design stage were expounded, the control of construction operation and maintenance was emphasized, and it also involved systems such as Internet of Things monitoring and the integration of multiple technologies. The PPP model was discussed, and prospects and development suggestions were put forward.

Keywords : municipal street lamps; landscape lighting; management

引言

随着城市化进程加速, 市政路灯景观照明在提升城市形象、保障夜间安全及促进节能环保方面的重要性日益凸显。《城市照明建设专项规划标准》(2020) 提出科学规划、合理布局、绿色节能的原则。然而, 现有研究多聚焦单一环节(如照明设计或施工), 缺乏对全流程管理及智能化创新的系统分析, 未能充分解决能耗与品质、功能与景观等矛盾。本文通过剖析现行管理机制、矛盾及创新实践, 结合广州某市政工程案例, 提出全流程优化策略, 为智慧照明管理提供理论与实践指导。

一、市政路灯景观照明管理现状分析

(一) 现行管理机制特征

市政路灯景观照明管理涉及多环节协同, 特征鲜明。在规划审批阶段, 需遵循《城市照明建设专项规划标准》等规范, 综合考虑城市功能分区、道路等级及周边环境, 确保路灯布局与城市景观协调^[1]。施工监管强调质量控制, 涵盖基础施工、灯具安装、线路敷设等工序, 严格执行设计图纸及规范, 确保工程安全与质量。运维养护通过日常巡检、故障维修及定期保养, 保障照明系统的稳定运行与使用寿命。广州某主干道照明工程数据显示, 规范化管理使路灯故障率降低至 2.5%, 照明效果提升 10%。

(二) 典型管理矛盾剖析

在管理实践中, 典型矛盾常体现在多维度的协调难题上。以能耗与品质的平衡为例, 高品质照明虽依赖高亮度灯具, 但广州某商业区的实践显示, LED 路灯在满足 30lx 基础照度时, 能耗较传统路灯降低 40%, 实现了能效提升; 然而部分区域为强化夜间景观效果, 盲目提升灯具功率, 导致能耗较设计标准超出 25%, 陷入品质与能耗的失衡。景观与功能的冲突同样突出, 某居民区的景观灯设计过度强调装饰性, 采用不规则光斑造型, 虽提升了视觉美感, 但路面照度均匀度仅 0.4, 远低于 0.6 的安全标准, 夜间行人通行存在隐患, 功能性让位于观赏性。

设备更新与预算的矛盾更显尖锐, 广州某老旧路灯改造项目

因年度预算缩减 30%，仅 50% 路灯完成智能化升级，导致新旧系统数据难以互通，故障响应时间延长至 4 小时，较全升级状态增加 2.5 倍，严重制约了整体管理效率。这些矛盾深刻暴露了城市照明管理中多目标平衡的复杂性，需建立更精细化的协调机制。

二、路灯景观建设管理核心要点

（一）规划设计阶段控制要素

在路灯景观建设管理中，规划设计阶段是奠定工程品质的关键环节。这一阶段需严格依据《城市道路照明设计标准》（CJJ45-2015），通过专业软件精准计算照度、亮度及均匀度参数：商业区作为人流密集区域，照度宜设定在 30-50lx 以保障夜间活动安全；居民区则以 15-20lx 为宜，既满足基础照明又避免光侵扰，从源头实现节能与功能的平衡^[2]。

光污染防治同样是设计重点，需通过优化灯具配光曲线、控制遮光角在 15° 以上实现。广州某滨江路段项目采用窄光束角（25° -35°）灯具，配合智能调光系统，使周边居民光污染投诉率较改造前直降 80%。路灯外观需与周边建筑风格、绿化景观形成视觉呼应，色温选择 3000K-4000K 的暖白光至中性光区间，灯杆高度控制在 6-12m（主干道 10-12m、支路 6-8m），通过尺度与色调的协调，让照明设施自然融入城市肌理，在功能性与美学价值间找到平衡点^[3]。

（二）施工运维关键环节把控

施工运维环节是决定路灯景观建设长效性的核心。需严格遵循《城市道路照明工程施工及验收规范》（CJJ89-2012），对线缆敷设的埋深标准、接地系统的电阻值（需 $\leq 4\Omega$ ）等隐蔽工程实施“双控制”——施工方自检后由第三方机构复核，确保每处接头防水等级达 IP67，从源头规避漏电、短路等安全隐患^[4]。智能化运维体系的搭建同样关键，应引入兼容多品牌设备的智能控制系统，通过传感器实时采集照度、电流等数据，实现远程开关、动态调光。广州某主干道项目借此在凌晨 1-5 点的低流量时段，自动将照度从 30lx 降至 15lx，单月节电达 30%，兼顾节能与应急需求。

维护周期需结合灯具类型与环境特性动态调整：商业区 LED 灯受油烟污染影响，每 6 个月需清洁一次；郊区道路灯具则可延长至 12 个月，同时定期更换老化驱动电源，确保其 5 万小时的理论寿命转化为实际稳定运行效果，避免因小部件故障导致整体失效。

三、智能化管理创新实践路径

（一）技术创新应用

1. 物联网监测系统构建

物联网监测系统作为智能化管理的关键技术手段，依托传感器构建起强大的数据采集网络。通过实时采集路灯运行状态、环境光强等关键数据，并将其高效传输至管理平台，实现了故障预警与能耗优化的双重突破^[5]。以广州某项目为例，物联网监测系

统的应用成效显著，故障响应时间从过去的数小时缩短至 2 小时，极大提升了维护效率；同时，节能率提升 15%，有效降低了能源消耗成本。该系统凭借智能化的数据分析与处理能力，不仅保障了路灯系统的稳定运行，更为城市公共设施管理注入了智慧动能。

2. 绿色照明技术集成

绿色照明技术聚焦清洁能源与智能调光的融合，为智能化管理带来绿色解决方案。光伏储能系统将太阳能转化为电能，为路灯提供清洁可持续的能源供应；可变光通量灯具搭配智慧调光算法，能够根据人流量、时间段等动态因素精准调整亮度^[6]。在某商业区项目中，光伏供电每月可发电 2000kWh，节省电费约 1500 元，既减少了对传统能源的依赖，又降低了运营成本。绿色照明技术的应用，不仅助力城市实现节能减排目标，也为居民营造了舒适、节能的夜间照明环境。

（二）管理模式创新

1. 全流程 BIM 管理应用

全流程 BIM 管理模式贯穿项目规划、施工与运维全生命周期，成为智能化管理的重要管理手段。在规划阶段，BIM 技术通过三维建模与模拟分析，优化路灯布局，确保资源合理配置；施工阶段，借助碰撞检测功能提前发现并解决管线冲突问题，有效降低施工变更率；运维阶段，集成设备信息实现可视化管理，提升运维效率^[7]。广州某工程实践表明，采用全流程 BIM 管理后，施工变更率降低 20%，运维效率提升 30%，显著缩短了项目周期，减少了资源浪费，为项目的高效推进与长期稳定运行提供了有力支撑。

2. PPP 运营机制探索

PPP 运营机制通过整合社会资本参与城市智能化管理项目，有效缓解了政府财政压力。在路灯智能化管理项目中，采用 PPP 模式引入智能控制系统，虽然初期需投入 3000 万元，但凭借高效的运营与管理，5 年即可实现成本回收，长期运维费用更可节省 20%。不过，该模式在实施过程中需警惕政策变动及资本退出风险。通过合理的风险分担机制与合同条款设计，能够保障项目持续稳定推进，实现政府、企业与社会的多方共赢，为城市智能化管理的可持续发展开辟新路径^[8]。

四、典型市政工程实践案例

（一）项目背景与实施概况

1. 城市照明提升工程背景

广州某城市照明提升工程聚焦城市照明现存痛点，老旧路灯亮度不足，部分区域照度仅 10lx，难以满足居民夜间出行与商业活动需求；传统路灯能耗居高不下，月均电费高达 5 万元，加重财政负担。为改善这一状况，该工程全面覆盖主干道、商业区及居民区，对 5000 盏路灯进行改造^[9]。项目以提升照明质量与降低能耗为核心目标，致力于将照度提升至 20 - 50lx，实现能耗降低 30%，同时引入智能化管理体系，推动城市照明向智慧化转型。

2. 创新管理方案设计

在创新管理层面，该工程引入物联网与传感器结合的智慧路灯系统。通过传感器实时采集光照强度、人流量等数据，将信息传输至管理平台，实现对路灯亮度的远程精准调控^[10]。这一方案大幅优化管理流程，故障定位时间从过去的 24 小时锐减至 2 小时，极大提升维护效率；在夜间低流量时段，系统自动降低路灯亮度 20%，有效避免能源浪费。智慧路灯系统凭借智能化、自动化的管理模式，为城市照明管理提供了高效、节能的创新思路。

（二）关键技术实施效果

1. 智能控制成效分析

智能控制系统在该工程中发挥关键作用，远程监控系统覆盖率高达 95%，实现对绝大多数路灯运行状态的实时监测。借助智能化故障预警机制，故障处理效率提升 50%，保障路灯系统稳定运行。自动调光技术根据环境与流量变化动态调整亮度，在夜间能耗降低 25%，既满足不同场景的照明需求，又最大限度节约能源。智能控制技术的应用，让城市照明管理更智能、更高效，有效提升城市夜间照明服务质量。

2. 节能降耗数据验证

在节能降耗方面，该工程取得了显著成果。通过全面采用 LED 路灯替代传统高压钠灯，能源利用效率大幅提升：改造后单灯功率从传统的 150W 降至 90W，耗电量仅为传统灯具的 60%，对应区域的月均电费从 5 万元大幅降至 3 万元，按年均 12 个月计算，每年可直接节省电费 24 万元，持续减轻了财政支出压力。同时，工程配套建设的分布式光伏系统进一步强化了节能效能，该系统依托路灯顶部的高效光伏板收集太阳能，月均发电量稳定在

2000kWh，可满足区域内约 15% 的公共照明用电需求，折算每月减少标准煤消耗约 0.8 吨，对应减少碳排放量 1.2 吨。这些具体数据不仅直观印证了工程在经济效益上的显著提升，更清晰展现了其在推动城市绿色低碳转型中的积极作用，充分体现了该工程在经济效益与环境效益方面的双重突破。

（三）管理创新示范价值

该工程在管理创新上亮点突出，通过建立多部门协同机制，打破信息壁垒，实现资源高效整合。结合 BIM 技术，在项目规划、施工阶段优化流程，施工效率提升 15%，缩短项目周期。工程实施过程中积累的成功经验，已推广至邻近城市，为行业提供可借鉴的范本，推动城市照明智能化管理领域的标准化进程，具有重要的行业示范价值与推广意义。

五、总结

市政路灯景观照明建设管理需构建关键技术体系与创新管理模式。在技术方面，涵盖照明设计、灯具选型、智能控制系统等多领域。管理上，要注重从规划到维护的全流程优化。

展望未来，5G 通信与数字孪生等新技术为智慧照明管理带来机遇。5G 可实现高速数据传输，提升照明系统的响应速度与控制精度；数字孪生能构建虚拟模型，辅助决策与优化。

为推动行业发展，应完善行业标准，明确技术规范与质量要求。同时，优化管理机制，加强部门协作与监管力度，促进市政路灯景观照明建设管理的可持续发展。

参考文献

- [1] 范世福. 试论“光文化”建设与国际化大都市精神文明发展的关系 [J]. 灯与照明, 2010, 34(4): 9-9.
- [2] 李洋. 城市夜景照明规划设计研究 —— 以河北省廊坊市为例 [D]. 河北农业大学, 2018.
- [3] 梁正杰. 景观照明设计与居民行为心理的关联性研究 —— 以青岛住宅小区为例 [D]. 青岛大学, 2021.
- [4] 尧优生. 照明设计中光的构成 [J]. 艺术百家, 2010(A02): 2.
- [5] 李军. H 林区景观照明提质项目时间与成本管理研究 [D]. 中南林业科技大学, 2022.
- [6] 赵俊波, 李丽, 郭全生, 等. 景观照明规划指导照明建设的实践探索 —— 以临沂景观照明规划为例 [J]. 照明工程学报, 2012, 23(6): 2.
- [7] 杜芸舵. 市政路灯照明的节能设计探讨 [J]. 建材与装饰: 下旬, 2016(4): 2.
- [8] 孙梁. 市政路灯照明的节能设计探讨 [J]. 信息系统工程, 2015(7): 2.
- [9] 郭新冰. 关于市政照明工程中路灯的安装技术分析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2015, 000(017): 1071-1071.
- [10] 徐清宾. 市政照明工程中路灯的安装技术分析 [J]. 建材与装饰, 2022(012): 018.

幕墙工程现场管理策略及技术应用研究

陈伟强

身份证号: 441424198311120774

DOI:10.61369/UAID.2025020026

摘 要： 本文对比国内外幕墙工程管理模式差异，分析现场管理问题，阐述设计、施工阶段技术管理要点，介绍标准化管理体系、施工人员技能提升方案等。还涉及物联网设备部署、信息管理系统架构，通过案例展示效果，并指出研究不足与未来方向。

关 键 词： 幕墙工程；现场管理；技术应用

Research on Construction Site Management Strategy and Technology Application of Curtain Wall Engineering

Chen Weiqiang

ID: 441424198311120774

Abstract： This article compares the differences in curtain wall engineering management models between domestic and international contexts, analyzes on-site management issues, outlines key technical management points during the design and construction phases, and introduces standardized management systems and plans for enhancing the skills of construction personnel. It also covers the deployment of IoT devices and the architecture of information management systems, illustrates these concepts through case studies, and highlights areas for further research and future directions.

Keywords： curtain wall engineering; site management; technology application

引言

随着建筑行业的发展，幕墙工程管理愈发重要。2020年我国发布的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的意见》强调了建筑工程管理智能化、标准化的发展方向。幕墙工程在国内外管理模式有差异，国外有完善体系，我国也在不断完善但仍需优化。幕墙工程现场管理存在人员、材料、交叉作业等问题，设计阶段技术管理关键，施工阶段需技术控制，还需构建标准化管理体系及提升施工人员技能，同时物联网设备部署、信息管理系统架构也很重要。超高层建筑幕墙有特点难点，相关项目实践验证了管理策略的效果，研究有重要意义，但智能决策算法开发不足，未来应加强数字孪生技术应用。

一、幕墙工程现场管理现状分析

（一）国内外幕墙工程管理模式对比

幕墙工程在国内外的管理模式存在一定差异。发达国家在幕墙工程管理方面通常具有较为完善的标准体系和规范流程，注重技术创新与可持续发展理念的融合，从项目规划到施工后的维护都有严格的质量把控和监督机制^[1]。而中国的幕墙工程管理体系随着建筑行业的快速发展也在不断完善，但在一些细节方面仍需进一步优化。例如，在管理模式应用上，EPC模式在发达国家已较为成熟，其将设计、采购、施工等环节集成管理，有效提高了项目效率和质量控制水平；在中国，虽然EPC模式也在逐渐推广，但在实施过程中可能面临各方协调不畅等问题。DBB模式在中国应用较为广泛，但与发达国家相比，在设计与施工的衔接以及对工程变更的管理上可能存在差距。

（二）现场管理存在的主要问题分析

在幕墙工程现场管理中存在诸多问题。人员方面，部分施工人员专业素质不足，缺乏必要的技能培训和知识储备，对幕墙施工工艺和质量标准掌握不够准确，影响工程质量和进度^[2]。材料进场管控存在漏洞，对材料的检验检测不够严格，部分不合格材料进入施工现场，给工程质量带来隐患。交叉作业协调困难，幕墙工程常与其他工种同时作业，由于缺乏有效的沟通协调机制，各工种之间容易出现相互干扰、施工顺序混乱等情况，不仅降低施工效率，还可能引发安全事故。

二、幕墙工程技术管理关键要素

（一）设计阶段技术管理要点

幕墙工程设计阶段技术管理至关重要。幕墙结构计算书审查

是基础，需确保计算模型合理、荷载取值准确以及计算结果符合相关标准要求^[3]。规范符合性验证方面，要严格对照现行的幕墙设计规范和标准，对设计图纸中的各项参数、材料选用、构造做法等进行细致检查，保证设计符合安全性、功能性和美观性的要求。同时，BIM技术在碰撞检测中的应用可有效避免施工过程中的冲突问题。通过创建三维模型，能够直观地发现幕墙系统与建筑主体结构以及其他专业之间的碰撞点，提前进行优化调整，提高设计质量和施工效率。

（二）施工阶段技术控制措施

施工阶段的技术控制是确保幕墙工程质量的关键环节。在幕墙定位方面，通常采用经纬仪、全站仪等常规测量仪器进行精确定位^[4]。能够满足大部分幕墙工程的施工精度要求。而对于造型复杂、结构不规则的异形幕墙，则可考虑采用三维扫描定位技术。使用该技术时，需提前对扫描仪器进行精确校准，确保扫描数据的准确性，并以此为基础实现幕墙构件的精准定位与安装。同时，应根据幕墙类型的不同，分别制定相应的技术控制措施。构件式幕墙以现场组装为主，应重点控制构件加工精度、连接节点安装质量以及现场拼装顺序；而单元式幕墙则以工厂预制、整体吊装为主，应加强单元板块的加工质量控制与运输保护措施。

在单元板块吊装过程中，应根据板块的重量、尺寸及现场实际情况，合理选择吊装设备，并严格按照既定的吊装流程进行操作，确保吊装过程的安全性与稳定性。此外，还应加强对吊装人员的技术交底与现场监督，避免因操作不当造成板块损坏或安装偏差。密封胶施工时，应密切关注施工环境的温度和湿度变化。当环境条件不符合密封胶施工要求时，应及时采取有效的调节措施，例如设置临时遮挡、加热或通风等，以确保密封胶的施工质量，从而有效保障幕墙整体的密封性能。

三、全过程管理策略优化路径

（一）管理机制创新

1. 标准化管理体系建设

构建包含质量、安全、进度三位一体的标准化管理体系框架，需从多方面着手。明确各管理要素的标准与规范，确保质量符合相关要求，安全措施落实到位，进度按计划推进^[5]。同时，建立健全的评估与监督机制，实时监测管理体系的运行效果，及时发现并纠正偏差，确保管理体系持续有效运行。此外，还应加强人员培训，提升管理人员和施工人员的标准化意识和执行能力，为体系的有效实施提供保障。

在具体实施过程中，应分别针对质量、安全、进度三方面制定详细措施。质量管理方面，应严格控制材料进场验收，确保材料质量符合标准；加强施工过程质量控制，严格执行工艺标准和验收程序，确保施工质量稳定可靠。安全管理方面，应制定详细的安全操作规程和应急预案，明确安全责任，定期开展安全教育和现场安全检查，及时消除安全隐患，确保施工安全。进度管理方面，应科学合理地安排施工工序，优化资源配置，制定切实可行的进度计划，并加强进度跟踪与动态调整，确保施工进度

满足合同要求，实现工程目标。

2. 动态化人员培训机制

建立基于PDCA循环的施工人员技能持续提升方案，通过计划（Plan）阶段，依据幕墙工程特点与施工人员现状制定详细的培训计划，明确培训目标、内容与方法^[6]。在执行（Do）阶段，严格按照计划开展多样化培训活动，如理论授课、现场实操演示等。检查（Check）阶段，对培训效果进行评估，可通过考核、实际操作表现等方式衡量施工人员技能提升情况。最后在处理（Act）阶段，根据检查结果总结经验教训，对培训计划进行调整和完善，形成一个持续改进的动态循环，确保施工人员技能不断提升以适应幕墙工程现场管理的需求。

（二）信息化技术应用

1. 物联网设备部署方案

幕墙工程现场管理中，物联网设备部署至关重要。对于应力监测智能终端，应依据幕墙结构关键受力点进行布设，确保能精准获取应力数据，为结构安全评估提供可靠依据^[7]。环境传感智能终端的布设需考虑幕墙所处环境的复杂性，如在不同朝向、高度位置合理设置，以全面监测温度、湿度、风力等环境因素对幕墙的影响。同时，要注重终端之间的协同工作，通过合理的网络架构实现数据的高效传输与集成，以便实时掌握幕墙工程的整体状态，为现场管理决策提供有力支持。

2. BIM协同管理平台开发

基于云计算的幕墙工程全生命周期信息管理系统架构可通过BIM协同管理平台开发实现。利用BIM技术构建三维模型，整合幕墙工程各阶段数据，包括设计、施工、运维等。该平台可实现信息实时共享与协同工作，各方人员能及时获取准确数据，提高工作效率与决策科学性。同时，借助云计算强大的计算能力和存储能力，能够处理海量工程数据，并保障数据的安全性和可靠性。通过这种方式，实现对幕墙工程全过程的精细化管理，提升工程质量和管理水平^[8]。

四、典型工程实践验证

（一）超高层幕墙项目案例

1. 工程特点与难点解析

300米超高层建筑幕墙系统面临诸多工程特点与难点。在抗风压性能方面，随着建筑高度增加，风压作用显著增强，对幕墙的结构强度和密封性提出更高要求^[9]。幕墙需承受巨大的风荷载，其材料选择和结构设计必须经过精确计算和严格测试，以确保在极端风力条件下的安全性。在安装方面，超高层作业带来极大挑战。施工人员需在高空环境下进行精确安装操作，对施工设备和安全防护措施要求极高。同时，幕墙构件的吊运和定位难度大，需要先进的吊装技术和精准的测量控制手段，以保证安装质量和进度。

2. 管理策略实施效果

通过对某超高层幕墙项目的实践验证，标准化管理体系展现出显著效果。在施工效率方面，该项目严格执行标准化管理体系

程,从材料采购、施工工艺到质量检测等环节均进行量化控制与规范。最终数据显示,施工效率相比未采用标准化管理体系的类似项目提升了约30%。例如,在材料采购环节,通过统一标准和流程,减少了采购时间和误差,确保材料及时供应且符合质量要求,为后续施工节省了时间。同时,标准化的施工工艺和质量检测流程,避免了因工艺不统一和质量问题导致的返工,进一步提高了施工效率^[10]。

(二) 异形曲面幕墙项目案例

1. 技术应用创新点

在异形曲面幕墙项目案例中,参数化设计在双曲铝板幕墙加工应用呈现诸多创新点。通过数字化模型构建精确的幕墙几何形状,将设计参数与实际加工紧密结合。利用参数化软件对双曲铝板进行精确放样和切割路径规划,提高加工精度和效率。同时,参数化设计可实现对不同曲率和形状的铝板进行快速调整和优化,适应复杂的异形曲面要求。在加工过程中,依据参数化设计生成的加工数据,采用先进的数控加工设备,确保铝板的尺寸和形状符合设计标准。这种技术应用创新不仅提升了双曲铝板幕墙的质量和美观度,还为异形曲面幕墙工程的高效实施提供了有力保障。

2. 经济效益分析

在异形曲面幕墙项目案例中,通过价值工程法对 BIM 技术应用的经济效益进行分析。该项目在未应用 BIM 技术前,由于异形曲面的复杂性,返工情况较为频繁,导致成本增加。应用 BIM 技术后,通过其精确的三维建模和碰撞检测功能,提前发现并解决了大量潜在问题。经统计,返工损失较之前减少了约25%。这不仅直接降低了材料和人工成本,还减少了因返工导致的工期延误所带来的间接经济损失。同时,提高了工程质量,增强了项目的市场竞争力,为企业带来了显著的经济效益和社会效益。

(三) 绿色建筑幕墙项目案例

1. 节能技术集成应用

在某绿色建筑幕墙项目中,光伏幕墙与呼吸式幕墙系统实现

了高效协同。光伏幕墙通过吸收太阳能转化为电能,为建筑提供部分能源。呼吸式幕墙则利用其内外层之间的空气流动,实现了自然通风和隔热效果。在夏季,呼吸式幕墙的外层阻挡了大部分太阳辐射热,内层的通风腔通过空气流动将热量带走,降低室内温度。同时,光伏幕墙产生的电能可用于驱动通风设备,增强空气流动效果。在冬季,呼吸式幕墙的空气层起到了保温作用,减少室内热量散失,而光伏幕墙在有阳光时仍可发电,提高能源利用效率,这种协同工作模式有效降低了建筑能耗,验证了节能技术集成应用的优势。

2. 环境效益评估

采用 LCA 方法计算幕墙系统在全生命周期内的碳减排贡献。首先确定系统边界,涵盖原材料获取、生产加工、运输安装、使用维护以及拆除回收等阶段。在原材料获取阶段,考虑绿色材料的使用比例及其碳足迹。生产加工环节,分析能源消耗及相关温室气体排放。运输安装过程中,计算运输距离和方式带来的碳排放。使用维护阶段,评估节能效果及相应的碳减排量。拆除回收时,考虑材料可回收利用程度对环境的影响。通过综合各阶段的数据,准确量化幕墙系统在全生命周期内的碳减排贡献,为绿色建筑幕墙的环境效益提供科学依据。

五、总结

幕墙工程现场管理策略及技术应用研究具有重要意义。通过系统归纳,构建了较为完整的管理策略体系与技术应用要点框架。然而,当前研究在智能决策算法开发方面存在不足,限制了幕墙工程管理的智能化水平提升。这可能导致决策效率低下,无法充分利用先进技术优化管理流程。未来研究应着重加强数字孪生技术在幕墙运维阶段的应用。数字孪生技术可实现对幕墙工程的实时监测与精准模拟,为运维决策提供更科学的依据,有助于提高幕墙工程的安全性、可靠性和使用寿命,推动幕墙工程现场管理向更高效、智能的方向发展。

参考文献

- [1] 张帝. A 公司建筑幕墙工程质量管理改进研究 [D]. 中国科学院大学, 2021.
- [2] 赵丛丛. YA 公司煤矸石烧砖生产现场管理提升策略研究 [D]. 北京工业大学, 2022.
- [3] 冯蕊. 4D 现场管理在 S 幼儿园后勤管理中的应用研究 [D]. 河北师范大学, 2022.
- [4] 陆柏羽. 6S 管理法在 T 供电公司变电检修现场管理中的应用研究 [D]. 浙江师范大学, 2021.
- [5] 张婷. DM 公司车间现场管理优化研究 [D]. 中北大学, 2021.
- [6] 徐建弘. 汇集幕墙建筑外装修工程施工技术及现场管理分析 [J]. 中国住宅设施, 2021(11): 150-151.
- [7] 石鑫. 玻璃幕墙施工技术要点及现场管理 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022(17): 135-137.
- [8] 郑征. BIM 技术在公共建筑幕墙工程中的应用研究 [J]. 智能建筑与工程机械, 2023, 5(7): 15-17.
- [9] 叶少云. 房屋建筑工程施工技术及现场管理策略 [J]. 智能城市, 2021, 7(18): 145-146.
- [10] 彭秋凡. 基于 BIM 技术的建筑幕墙工程施工管理 [J]. 建设监理, 2024(7): 45-47, 67.

隧道施工中的浅埋偏压软弱围岩技术研究

胡贤成

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020030

摘 要 : 浅埋偏压软弱围岩隧道的施工需要综合考虑地质条件、施工方法和支护措施。通过采用分步开挖、超前支护、加强初期支护和信息化施工等技术手段,可以有效控制围岩变形,确保施工安全。在实际工程中,应根据具体情况进行动态设计和施工调整。本文针对浅埋偏压软弱围岩隧道的施工技术进行了系统研究,提出了相应的施工技术方案和支护措施。

关 键 词 : 浅埋隧道; 偏压; 软弱围岩

Research on Shallow-Buried Partial Pressure Weak Surrounding Rock Technology in Tunnel Construction

Hu Xiancheng

Zhejiang Jiaotong Hongtu Transportation Construction Co., LTD., Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : The construction of shallow-buried tunnels with partial pressure in weak surrounding rock requires a comprehensive consideration of geological conditions, construction methods and support measures. By adopting technical means such as step-by-step excavation, advanced support, enhanced initial support and information-based construction, the deformation of surrounding rock can be effectively controlled and construction safety can be ensured. In actual engineering, dynamic design and construction adjustments should be made based on specific circumstances. This paper conducts a systematic study on the construction technology of shallow-buried tunnels with partial pressure and weak surrounding rock, and proposes corresponding construction technical schemes and support measures.

Keywords : shallow-buried tunnel; bias voltage; weak surrounding rock

前言

随着我国基础设施建设的快速发展,隧道工程在交通、水利等领域得到了广泛应用。然而,在复杂地质条件下,特别是浅埋偏压软弱围岩条件下的隧道施工面临着诸多挑战。这类隧道由于埋深浅、围岩强度低、存在偏压等特点,容易发生围岩失稳、地表沉降等问题,给施工安全带来严重威胁。因此,研究浅埋偏压软弱围岩隧道的施工技术具有重要的理论和实践意义。

浅埋偏压软弱围岩隧道具有以下显著特点:首先,隧道埋深较浅,一般小于2倍洞径,这使得地表荷载对隧道的影响更为直接。其次,由于地形或地质构造的原因,隧道两侧承受不对称的压力,形成偏压状态。第三,围岩强度低,自稳能力差,容易发生塑性变形和破坏。最后,这类隧道对地表沉降敏感,施工过程中需要严格控制变形。

一、浅埋偏压软弱围岩隧道地质勘察与超前地质预报

准确掌握地质条件是保障施工安全的前提,需通过精细化勘察与超前预报,为施工方案制定提供依据。

(一) 地质勘察技术要点

地质勘察需明确围岩性质、埋深、偏压程度及地下水分布,为施工方案设计奠定基础。

勘察内容与方法:采用钻探(钻孔深度需超过隧道底板5m)、物探(地质雷达、地震波反射法)结合现场试验的方式,重点查明围岩级别、岩体完整性系数(K_v 值多 <0.4)、天然含水率(软土类可达30%以上)及软弱夹层分布。例如:某隧道通

过地质雷达探测,发现掌子面前方15m处存在一条富水断层破碎带,为超前治水方案提供了精准依据。同时,针对浅埋特性,需加密地表勘察点,测量范围延伸至隧道中线两侧各50m,绘制详细的地形等高线图,计算偏压系数(横向压力与垂直压力比值),某隧道偏压系数达0.6,远超一般隧道的0.2-0.3范围,需专项设计抗偏压支护。^[1]

室内试验参数:对取土样进行物理力学试验,测定天然重度(软黏土多为 $18-20\text{kN/m}^3$)、黏聚力(通常 $<20\text{kPa}$)、内摩擦角(多 $<15^\circ$)等指标。某隧道粉质黏土围岩试验显示,黏聚力仅 12kPa ,内摩擦角 8° ,据此设计了超前注浆参数(注浆压力 1.2MPa),确保加固后围岩强度提升至黏聚力 30kPa 以上。

（二）超前地质预报技术应用

超前地质预报可提前发现掌子面前方不良地质体，为风险防控争取时间。

预报方法选择：短距离预报（3–5m）采用掌子面地质素描结合超前水平钻探（孔径50mm）；中长距离预报（10–30m）采用地质雷达（主频100–500MHz）或地震波CT。某隧道施工中，地质雷达探测发现K0+210–K0+225段存在强反射信号，结合超前钻探证实为富含砾土层，提前采取了注浆堵水措施。对于软弱夹层发育段，辅以红外探水仪，探测距离3–5m，分辨率0.1m，某隧道通过红外探测发现掌子面右侧2m处有水体富集，提前打设排水孔降压。^[2]

预报频率与反馈：每循环开挖前必须进行超前预报，预报结果需及时反馈至施工方案。某隧道Ⅴ级围岩段每5m进行一次地质雷达扫描，发现K0+180段围岩含水率突增后，立即将开挖循环进尺从0.5m缩短至0.3m，并增加小导管注浆数量（从每环30根增至45根）。

（三）施工方案设计原则

施工方案需遵循“先护后挖、短进尺、强支护、快封闭”原则，结合地质条件动态调整。

开挖方法选择：Ⅴ级围岩及偏压严重段优先采用CRD法（交叉中隔壁法）或双侧壁导坑法；Ⅳ级围岩可采用台阶法加临时仰拱。例如：某双向四车道隧道因断面大（宽14m）、偏压明显，选用双侧壁导坑法，通过先开挖两侧导坑形成“反压”，有效平衡了山体推力。同时，对偏压侧导坑采用“早开挖、强支护”策略，某隧道左侧偏压段，左侧导坑比右侧提前3个循环开挖，支护强度提高20%（钢拱架型号从I22a升级为I25a）。^[3]

支护参数设计：初期支护需强化刚度，钢拱架选用I22a–I25a工字钢，喷射混凝土厚度 $\geq 25\text{cm}$ ，锚杆长度 $\geq 4\text{m}$ （破碎带需加长至5m）。某隧道偏压段设计中，右侧拱腰增设2排 $\Phi 25$ 锁脚锚杆，长度5m，与钢拱架焊接形成整体，同时在拱脚设置30cm \times 30cm钢垫板，扩大受力面积，避免拱脚陷入软弱围岩。

二、浅埋偏压软弱围岩隧道核心施工技术应用

施工过程需通过精细化操作控制围岩扰动，重点把控开挖、支护、超前加固及防排水等环节。

（一）开挖施工技术

开挖方式直接影响围岩稳定性，需采用分步开挖、短循环进尺，减少对围岩的扰动。

CRD法施工要点：将隧道断面分为4个导坑（左上、右上、左下、右下），依次开挖并及时支护，相邻导坑开挖间距 $\geq 5\text{m}$ 。某隧道CRD法施工中，左上导坑开挖后1小时内完成钢拱架架设，喷射25cm厚C25混凝土，24小时内封闭成环，单循环进尺控制在0.5m。为平衡偏压，对右侧导坑采用“短台阶”开挖（台阶高度2m），左侧采用“长台阶”（台阶高度3m），利用左侧岩体自重抵消部分偏压。

双侧壁导坑法应用：适用于断面大、偏压严重的隧道，先开

挖两侧导坑（宽度3–4m），完成支护后再开挖中岩柱和核心土。某三车道隧道采用双侧壁导坑法，侧壁导坑宽度3.5m，高度5m，每循环开挖0.5m，中岩柱保留宽度2m，导坑初期支护采用I25a钢拱架+30cm厚喷射混凝土，导坑底部设10cm厚C20混凝土垫层，防止底鼓。

（二）超前加固与支护技术

超前加固可提高围岩自稳能力，初期支护需快速形成承载结构，抵御围岩压力。

管棚与小导管超前支护：浅埋段采用大管棚（ $\Phi 108\text{mm}$ ，长度15–30m），环向间距40cm，管内注水泥–水玻璃双液浆（水灰比1:1）。某隧道进口段埋深10m，采用 $\Phi 108\text{mm}$ 管棚超前支护，长度20m，环向间距40cm，管内注水泥–水玻璃双液浆，注浆压力从0.5MPa逐步升至1.2MPa，形成坚固的“棚架”结构，开挖后围岩无明显变形。对于局部破碎带，采用 $\Phi 42\text{mm}$ 小导管（长度4.5m）补充加固，外插角 10° – 15° ，某隧道断层段每环打设48根小导管，注浆后形成2m厚加固圈。^[4]

初期支护施工细节：钢拱架安装前需放线定位，采用全站仪控制中线偏差 $\leq 5\text{cm}$ ，高程偏差 $\leq 3\text{cm}$ ，每榀钢拱架之间用 $\Phi 22$ 纵向连接筋焊接（间距1m），形成整体框架。某隧道施工中，发现相邻钢拱架间距偏差达10cm，立即拆除返工，避免出现应力集中。喷射混凝土采用湿喷工艺，坍落度控制在8–12cm，分层喷射（每层5–10cm），初凝后立即喷水养护，某工程通过湿喷技术使混凝土强度达标率从85%提升至98%。

（三）防排水施工技术

地下水会加剧软弱围岩软化，需构建“防、排、截、堵”相结合的防排水体系。

地表排水措施：浅埋段需在隧道上方设置截水沟（截面尺寸50cm \times 60cm）、急流槽，将地表水引至隧道影响范围外。某隧道进口段地表坡度 30° ，设置了三道截水沟，间距10m，采用M7.5浆砌片石砌筑，底部设10cm厚C15混凝土垫层，防止渗水冲刷边坡。同时，对地表裂缝采用黏土回填夯实（压实度 $\geq 90\%$ ），某隧道通过地表处理，使渗入隧道的水量减少60%。

洞内排水系统：掌子面设集水井（尺寸1m \times 1m \times 1.5m），采用潜水泵将水排至洞外沉淀池（容量 $\geq 100\text{m}^3$ ）。某富水隧道配置了3台备用泵（扬程50m，流量 $50\text{m}^3/\text{h}$ ），形成“多泵接力”排水系统，确保突水时排水能力充足。结构防排水方面，初期支护与二次衬砌间铺设1.5mm厚PVC防水板（搭接宽度 $\geq 10\text{cm}$ ，热熔焊接），施工缝设中埋式止水带（宽度30cm），某隧道防水板施工中，采用双缝焊接工艺，充气检测压力保持0.2MPa，5分钟内压降 $\leq 20\%$ ，确保无渗漏。

（四）二次衬砌施工技术

二次衬砌需在围岩变形稳定后施工，作为永久承载结构，需保证施工质量。

施工时机判断：通过监测数据确定，当拱顶下沉速率 $\leq 0.1\text{mm/d}$ 、水平收敛速率 $\leq 0.05\text{mm/d}$ 时方可施工。某隧道偏压段在变形稳定后（累计沉降52mm，连续7天无增长）进行二次衬砌，采用C30防水混凝土，厚度50cm。为应对偏压，二次衬

砌在偏压侧增设纵向加强钢筋（ $\Phi 25@20\text{cm}$ ），形成偏心受压构件，某隧道二次衬砌偏压侧钢筋用量比另一侧增加30%。

浇筑与养护要点：采用整体钢模板台车（刚度满足要求，变形 $\leq 1.5\text{mm/m}$ ），分层浇筑（厚度 $\leq 30\text{cm}$ ），插入式振捣器振捣至混凝土表面泛浆。某工程二次衬砌施工中，预埋测温管控制内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ ，洒水养护14天，同时在偏压侧增设5个观测点，监测衬砌应力变化，确保其工作状态正常。

三、浅埋偏压软弱围岩隧道施工监测与风险控制

施工监测是掌握围岩与支护状态的重要手段，需通过实时监测数据指导施工，及时预警风险。

（一）监测项目与频率

监测需覆盖围岩变形、支护应力等关键指标，频率随施工阶段动态调整。

必测项目与方法：包括拱顶下沉（水准仪，精度 0.1mm ）、净空变化（收敛计，精度 0.01mm ）、地表沉降（监测点间距 $5\sim 10\text{m}$ ，埋深 $< 20\text{m}$ 时需测至隧道外 50m ）。某隧道浅埋段地表沉降监测显示， $K0+150$ 段最大沉降 38mm ，位于隧道轴线正上方，而偏压侧（右侧）地表沉降比左侧大 12mm ，反映出偏压作用的影响。此外，需增设支护应力监测（钢拱架应力采用振弦式传感器，每10榀布设一个监测断面），某隧道右侧钢拱架应力达 180MPa ，接近屈服强度（ 235MPa ），及时采取了加固措施。

监测频率控制：开挖面距监测断面 $< 5\text{m}$ 时，1次/2小时； $5\sim 10\text{m}$ 时，1次/天； $> 10\text{m}$ 且变形稳定后，1次/3天。某隧道V级围岩段因变形速率达 1mm/d ，将监测频率加密至1次/小时，持续跟踪围岩状态，直至速率降至 0.3mm/d 以下。^[4]

（二）监测数据处理与预警

通过数据分析判断结构稳定性，建立分级预警机制，及时采取应对措施。

数据处理方法：采用回归分析（如指数曲线法）预测最终变形，当预测值超过允许值（如拱顶下沉允许值 100mm ）时预警。某隧道监测数据显示，拱顶下沉预测值达 110mm ，立即启动预警。同时，绘制变形-时间曲线，分析变形速率变化，某隧道曲线出现“反弯点”（速率由减变增），判断为围岩失稳前兆，立即停工处理。

分级预警响应：设置三级预警（黄色：监测值达允许值

70%；橙色：85%；红色：100%）。某隧道进口段出现橙色预警后，暂停开挖，采取加密钢拱架（间距从 60cm 缩至 50cm ）、增设 $\Phi 25$ 锚杆（长度 5m ）等措施，3天后变形速率降至 0.3mm/d 。对于偏压引起的不对称变形（如右侧收敛比左侧大50%），需单独制定预警阈值，某隧道偏压侧预警值比另一侧降低15%，确保提前干预。^[5]

（三）常见风险及防治措施

针对塌方、支护开裂、突水等常见风险，需制定专项防治措施。

塌方防治：开挖前检查掌子面，发现掉块、渗水异常时停工，采用超前注浆加固。某隧道掌子面出现纵向裂缝，立即打设 $\Phi 50\text{mm}$ 超前锚杆（长度 3m ），注浆后以 0.3m 循环进尺开挖，避免塌方。对于浅埋段，可采用地表注浆（袖阀管注浆，间距 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ ）提前加固围岩，某隧道通过地表注浆，使拱顶下沉量减少40%。

偏压导致支护开裂处理：当初期支护裂缝宽度 $> 3\text{mm}$ 时，采用“临时支撑+侧向注浆”调整应力。某隧道右侧拱腰裂缝达 4mm ，立即架设I20a临时横撑（间距 2m ），向左侧围岩注浆（压力 1.0MPa ），5天后裂缝稳定。同时，在裂缝处埋设应力传感器，监测裂缝发展趋势，确保支护结构安全。^[6]

突水突泥应对：富水段施工前备足排水设备（排水能力需超预测涌水量1.5倍），发现突水时立即撤离人员，启动排水系统。某隧道断层破碎带突水（涌水量 $50\text{m}^3/\text{h}$ ），启用2台 22kW 水泵排水，同时打设止水帷幕注浆堵水，3天后涌水量控制在 $5\text{m}^3/\text{h}$ 以内。对于泥质围岩，需提前储备速凝混凝土（初凝时间 $< 5\text{min}$ ），某隧道突泥时，快速喷射速凝混凝土封闭掌子面，阻止泥流扩散。

四、结束语

浅埋偏压软弱围岩隧道施工技术的核心在于“适应地质、动态调整”。本文通过分析地质勘察、核心施工技术及监测控制要点，结合工程案例总结了技术经验：精准的地质预报是前提，需通过多手段勘察明确围岩参数与偏压特性；分步开挖与强支护是关键，CRD法、双侧壁导坑法等工法能有效控制围岩扰动，超前加固与防排水技术可提升围岩稳定性；实时监测与风险预警是保障，通过分级预警与专项措施能及时化解塌方、突水等风险。

参考文献

- [1] 杨永斌,等.浅埋软弱围岩隧道微桩锁脚施工技术研究[J].路基工程,2023,(4):246-251.
- [2] 张进步.破碎岩体对低山区隧道工程施工的影响[J].福建建材,2022(11):76-78.
- [3] 王伟,杨转运,易丽云,等.浅埋偏压隧道口的软弱围岩综合加固处治研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(6):80-85.
- [4] 刘翔,等.浅埋偏压隧道在变坡面下围岩压力计算分析[J].铁道科学与工程学报,2024,21(3):674-681.
- [5] 吴逆.偏压隧道施工技术探讨[J].门窗,2017(03):93.
- [6] 邱业建,等.浅埋偏压软弱围岩段隧道施工技术研究[J].现代隧道技术,2020,57(增刊1):13-18.

线性工程先行用地报批中红线偏差容忍度的量化标准研究

黄番¹, 闫智勇², 常熙月¹

1. 广西嘉元土地规划服务有限公司, 广西 南宁 530200

2. 北京舜土规划顾问有限公司, 广西 南宁 530022

DOI:10.61369/UAID.2025020031

摘要： 随着基础设施建设推进，线性工程先行用地报批时红线控制精准度问题浮现出来，实际测绘误差，设计改动，地形限制等因素造成红线位置在执行时总有些微差别，本文针对线性工程报批中的红线偏差容忍度问题展开研究，依托典型工程实例和空间测绘技术手段，从工程执行需求和政策合规角度出发，创建红线偏差量化标准的评判体系，研究成果给各级自然资源主管部门给予科学依据，促使红线管理由“绝对精确”向“合理容差”转变，达成审批速度和用地合规性的同步改进。

关键词： 线性工程；先行用地；红线管理；偏差容忍度

Research on the Quantitative Standard of Red Line Deviation Tolerance in the Approval of Advance Land Use for Linear Engineering

Huang Fan¹, Yan Zhiyong², Chang Xiyue¹

1. Guangxi Jiayuan Land Planning Service Co., LTD., Nanning, Guangxi 530200

2. Beijing Shuntu Planning Consulting Co., LTD., Nanning, Guangxi 530022

Abstract： With the advancement of infrastructure construction, the issue of the accuracy of red line control during the approval of advance land use for linear projects has emerged. Factors such as actual surveying and mapping errors, design changes, and terrain restrictions always cause slight differences in the position of the red line during implementation. This paper studies the tolerance of red line deviation in the approval of linear projects, relying on typical engineering examples and spatial surveying and mapping technical means. From the perspective of engineering implementation requirements and policy compliance, a quantitative standard evaluation system for red line deviations is established. The research results provide scientific basis for the natural resources authorities at all levels, promoting the transformation of red line management from "absolute precision" to "reasonable tolerance", and achieving simultaneous improvement in approval speed and land use compliance.

Keywords： linear engineering; advance land use; red line management; tolerance for deviation

先行用地制度是保障重大线性基础设施项目快速落地的重要政策工具，其合理实施关乎工程效率与土地资源的合法利用，在报批时“红线”作为用地边界的法定空间表达，扮演着关键角色，但实际操作中，工程设计的动态性、地形复杂性以及数据测量误差等，往往造成红线与实地实施存在偏差，目前我国缺少统一的红线偏差容忍标准，造成基层操作弹性不足、报批效率受限，本文拟系统分析红线偏差的成因与特征，探寻符合工程实践与制度约束的量化容忍体系，助力线性工程用地管理标准化、科学化发展。^[1]

一、红线偏差问题的提出与研究背景

（一）红线在工程先行用地报批中的关键作用

红线是土地空间管控的边界线，也是先行用地报批中的法律

和技术边界。在高速公路、铁路、电力通道、市政管网等线性工程项目中，红线不仅是审批文件中的一个依据，更是一张可以直接用于今后征地拆迁、规划核实、施工放线的重要图纸。但由于这些项目的路线较长、跨区域广、沿线地类复杂，常常会出现用

作者简介：

黄番（1987.03-），男，壮族，广西武宣人，职称：工程师，研究方向：国土空间规划背景下现代测绘研究；

闫智勇（1987.01-），男，汉族，山东菏泽人，职称：中级工程，研究方向：国土空间规划；

常熙月（1987.07-），女，汉族，黑龙江哈尔滨人，职称：中级工程师，研究方向：土地工程与咨询管理。

地报批时与实际实施之间存在时间差、空间差的状况，红线控制出现一定的“理想－现实”差距，如果红线控制过于绝对，将会产生反复报批、项目延误、无法进行正常施工等问题，甚至出现对红线偏差处理无法找到制度支撑的行政纠纷。在研究红线偏差容忍度标准设立前，首先需要对红线偏差现象的普遍存在性以及控制必要的认识。

（二）红线偏差的典型情形与形成机制

红线偏差不是单一因素造成的，很多技术、制度、人为等因素都会堆积影响，从技术上说，偏差可能来自测绘基准不统一，或者不同图幅的精度差距，又或许现场坐标转换时出现误差，制度流程方面，设计时方案在审批前后有变动，施工图深化、实际路径比原设计有所优化之类的情况很常见，这样就会产生红线和最后实施线位错位，人工角度，操作员缺乏经验，录入的数据不准，管理沟通不畅等问题也可能带来偏差，这些毛病在诸如线性这种项目里体现得比较突出，项目较长，节点较多，周围环境复杂，红线控制容易发生轻微却广泛的空间偏移，要找到并且分类这些偏差产生的原因，才好设定适当的宽容范围，建立起容忍制度框架。^[2]

（三）当前管理模式的难点与制度空白

我国当前的用地管理体系在红线控制上遵循“图地一致、界址清晰”这一原则，侧重于空间边界的精确把握，工程实践时，这种强硬的运作模式往往难以对应实际情形所产生的柔性需求，一方面由于某些地区自然资源部门缺少统一的偏差容忍度衡量标准，对待红线微小偏离的情形不是全都不予接受，就是以“灵活处理”为手段造成执行尺度参差不齐，影响政策公平性，另一方面工程单位难以提前知晓偏差是否符合接受范畴，只能反复修改报批材料，既浪费时间又影响项目时效成本把控，遭遇如此境况时，要依靠创建起合适的偏差容忍度衡量标准体系，从而给红线管理赋予合法界限和运作依循，填补制度上的空白之处，促使用地管理朝着“弹性运作”方向转变发展。^[3]

二、红线偏差容忍度量化标准的理论基础与技术路径

（一）容忍度设定的法理基础与制度背景

红线偏差容忍度的提出，是对“图地一致”管理模式下空间刚性与工程现实之间的张力的调和，从法理上来说，土地红线作为空间规划的边界控制线，具有严肃的法律属性和制度刚性，在实际操作中又受到测绘误差、地形限制、工程动态调整等因素的影响，完全“零偏差”是不现实的。随着《自然资源部关于优化重大项目用地报批服务的意见》等一系列政策的陆续出台，为偏差容忍的合法化提供了政策依据，鼓励弹性边界和容错机制。容忍度的设定要按照“底线思维+比例原则”，即在不超出生态保护红线，永久基本农田，文物保护区等法定红线的情况下，容许一定范围内的空间偏离，保障工程推进的连贯性和报批制度的高效性，这就给量化标准的出台赋予了制度根基和政策指引。

（二）偏差容忍度的量化维度及其技术表达

要达成红线偏差容忍度的量化，就须依靠现代测绘和空间分析技术，当下所用的评判指标大致分为三类，第一类是水平偏差值，也就是红线坐标点在平面上的移动距离，常常把控制阈值设成米这样的单位，第二类是面积偏移率，这是指红线围成的面积

和实际用地重叠部分的比例变化，适合做整体范围的校核，第三类是空间重合度分析，利用 GIS 的叠图功能，算出红线和施工线的重叠比例，以此来判断偏差是不是有系统性或者局部突变，而且还可以采用三维建模技术，把由于高程改变而产生的垂直偏差也放进容忍度的考量范畴里，凭借无人机航测，RTK 高精度定位系统以及 BIM 模型联动，就能对偏差做到定量识别，图形化表现并发出阈值警报，进而给制度层面制订出清晰，客观，可操作的容忍标准。^[4]

（三）工程类别与地理环境差异中的分类容忍机制研究

红线偏差的可接受范围，不能用一刀切的态度去对待，要依照不同类型的工程设计特性及其所在的区域地理环境来灵活设定，高速公路、油气管线、电力输送等长距离线性工程的设计时往往要反复进行路径上的调整和适应性改变，所以它的红线变动也就具有更不可预知的特性，应当把容忍度适当放宽一点；但在城市轨道交通、地下管廊等高密度建设区域，由于土地使用空间比较局促，并且地上地下的权属问题十分繁杂，这就应该实施更为严格的偏差控制，而且地理环境也会影响到偏差容忍的设置，平原地带由于测量环境较为稳定，可以允许 ± 0.3 米范围之内的容忍界限；在丘陵或者山区因为自然条件比较复杂，测量精准度受到限制，这时偏差就可以适当放宽到 ± 0.8 米甚至 1 米。分类容忍机制既能体现出科学的精确度管理，又能提升政策的适应性，是让标准得以落地的先决条件。^[5]

三、红线偏差容忍度在实际工程中的应用验证与案例分析

（一）某省高速公路项目中的偏差识别与容忍度分析

以华东地区某个省市重点的高速公路扩建工程来说，这个扩建工程的先行用地报批过程中出现了部分红线位置与实际施工线位存在不相符的情况，主要是出现在隧道出口地段和互通立交地段，偏差量最多可以达到 0.7 米，仔细研究以后，知道偏差现象的形成原因是由于地形测绘图幅的精度不够以及设计线形的变化导致的，为了解决这个问题，项目小组依靠 GIS 的叠图技术和无人机拍摄图像复核技术，对有偏差的点逐个确定位置，对红线内外土地的所有权和用途进行了核实。结果显示偏移区域未涉及基本农田、生态保护红线等高敏感区，满足容忍处理条件，主管部门在核查报告基础上，首次尝试“偏差容忍豁免”，避免重复报批，保证项目按时推进，该案例显示，在引入客观评估和谨慎判定机制的情况下，容忍度机制具备较好的现实适应性。^[6]

（二）偏差容忍机制提升审批效率与工程管理效能

现阶段对于线性工程红线报批过程中，由于设计细节的进一步完善或施工组织的调整而引起的微幅红线位移十分普遍，如果没有容忍偏差，则通常需重新出图重新报批，极大地浪费了工程进度。以某个跨市的天然气管道项目为例，在原图审与现场存在 0.5 米误差的情况下，按照常规处理，则需要重新出具界址图，重新出调整报告，重新报审，延误工期约 30 个工作日以上。但是通过容忍偏差的快速核查机制，项目主体只需要提供一个标准化的偏差报告及现场现势图对比材料，主管部门在 5 个工作日之内就能给予核准，审批时长压缩超过 80%，而且对于项目的前期设计工作也提高了关注程度，在一定程度提升了测绘单位对于图件的准

确性和测绘水平，从大范围来讲改善了工程的整体管理进程形成了良性循环。

（三）区域试点中偏差容忍度标准的适配性与制度反馈机制

不同地方先行用地报批和红线管理的时候，由于基础测绘能力，土地资源压力以及政策执行尺度不同，对红线偏差能接受的水平存在差异，拿广东、四川、河北三省来说，广东珠三角核心地区试行“限额+条件”式容忍，即在不越过地类管控，不跨权属边界的状况下容许 ± 0.5 米范围内的偏差，这样一来审批速率明显加快，四川地形较多山，所以设定了比较宽松的 ± 1.0 米边界，而且根据地形高低自然调整；河北某个地方依然沿用严厉“图地一致”的硬性规定，这造成不少项目重新上报比率高，浪费严重，从制度反应来看，推行偏差容忍度政策的地区更容易达成审批速率增进和用地符合情况的良好互动，所以区域里的实验显示出，要想做到工程操作合适性，关键是要针对实际情况合理设立偏差容忍标准，并融入地方运作系统当中。^[7]

四、构建线性工程红线偏差容忍度标准体系的政策建议与实施路径

（一）构建分级分类的红线偏差容忍度量化标准体系

针对不同类型线性工程在地形、设计精度及施工环境等各方面的多样差异，建议建立“分级分类”的偏差容忍度标准体系，即在国家层面制定统一的红线控制精度“底线值”，比如水平偏差控制在正负 0.5 米以内、偏移面积不超过 2% 作为一般控制标准，然后根据不同类型的工程（公路、电力、管廊）、不同类型的地类（农用地、未利用地、基本农田）以及不同的地理区域（平原、丘陵、山区），再进一步对偏差容忍度值进行细分管理。像山地的长距离管线项目，可以放宽到正负 1 米的容忍度，城镇集中建设区就应严格控制，偏差不能超过正负 0.3 米，用“基准+浮动”这种双层结构，既规范又适应，这样就能提高政策的精度管理和操作灵活度。^[8]

（二）构建融合用地审批流程的偏差审核机制

红线偏差容忍度的应用要嵌入到用地报批管理流程里去，做到“容忍机制”同“审批制度”的无缝衔接，建议在自然资源管

理系统当中设立“偏差容忍预判板块”，工程报批之前，由测绘成果，设计图纸以及红线坐标自动执行匹配核查，形成偏差量化报告，交由审批人员参照，如果偏差处在容忍范围之内，就直接进入到后续审批步骤，要是超出容忍范围，则会踏入快速修正途径，只要递交补正说明或者简化修改图纸，就能重新予以核审，不必重新走一遍全流程，从而提升效率，而且，各个地方的自然资源部门可以依照自身情况制定详细的实施细则，把容忍评判标准同现存的用地预审，图审，报件流程系统对接起来，使得技术评判达成制度化，标准化，智能化，切实优化审批工作的效能。^[9]

（三）强化全过程监管与责任机制以确保容忍有界

给偏差留出容忍空间的同时，也要建立全程监管机制，防止红线偏差被乱用，扰乱土地管理秩序，建议采用“红线偏差监管闭环机制”，第一，在前期备案环节，由设计单位或者第三方测绘机构出具偏差说明书和实地测量报告，第二，在施工期间，要求施工单位定期提交红线实测数据，利用无人机遥感影像等技术手段进行动态对比，第三，在事后监管阶段，采取“随机抽查+重点监控”的方式，对偏差应用行为展开检查，而且要明晰相关单位的责任分配，创建起“项目设计—图审—施工—监管”各环节的责任链条，对于严重超出偏差范围又没有及时申报的行为予以处罚或者信用扣分，如此一来就能既保障工程的推进速度，又能守住土地管理的刚性底线。^[10]

五、结束语

红线偏差容忍度问题属于线性工程用地管理范畴里兼顾规范性和灵活性的关键部分，本文围绕偏差成因，评估技术，案例验证直至制度创建，全面给出了符合我国国情的偏差量化与分类管理途径，觉得，塑造起恰当的偏差容忍标准，可以优化用地报批速度，削减行政资源的无谓消耗，助力工程顺利推进，而且给自然资源管理在数字化转型大环境之下探寻“容错+监管”并行的新型用地管理机制给予了有用的参照，往后，要依照全国各个区域的执行反馈情况，改进红线容忍度政策体系，促使相关政策标准真正落地。

参考文献

- [1] 龚先鸿. 岩土工程勘察技术在特殊用地中的应用 [J]. 西部资源, 2021, (03): 57-59.
- [2] 邢岩, 张琦. 地质灾害危险性现状评估技术在公路建设用地中的应用——以锦州疏港快速干道工程建设为例 [J]. 化工矿产地质, 2004, (04): 245-247+252.
- [3] 余纪云, 乔小雨. 重点线性工程建设用地中存在的问题及对策——以河南省为例 [J]. 河南国土资源, 2003, (03): 30-32.
- [4] 单晓珉, 秦晓彦. 重点线性工程建设用地中存在的问题及对策——以山东省日照市为例 [J]. 工程设计与设计, 2017, (02): 3-4.
- [5] 裴红洪. 保障性安居工程建设用地中存在的主要问题及对策 [J]. 审计与理财, 2013, (01): 35-36.
- [6] 刘志宏, 马智民, 张毅, 等. 西北地区线性工程项目用地情况调研 [J]. 中国土地, 2011, (06): 49-51.
- [7] 张毅. 国家和省级重点线性工程建设用地管理制度的经济学分析 [D]. 长安大学, 2011.
- [8] 王博. 铁路、高速公路等线性工程不动产确权登记的难点、成因与建议 [J]. 资源与人居环境, 2022, (08): 44-47.
- [9] 周良友. 线性工程规划选址报告编制要点探析 [J]. 低碳世界, 2022, 12(03): 80-82. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2022.03.027.
- [10] 廖廷宇. 线性工程项目的勘测定界技术及其要点——以高速公路为例 [J]. 中小企业管理与科技 (中旬刊), 2018, (06): 140-141.

先简支后结构连续桥梁施工技术研究

梁凯

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020032

摘 要 : 先简支后结构连续桥梁结合了简支梁施工便捷与连续梁受力合理的优势, 在公路、铁路工程中应用广泛。本文以实际工程案例为依托, 系统分析该类桥梁的结构特点、关键施工技术及质量控制要点, 每个论点均辅以具体工程实例与数据支撑, 探讨了预制梁安装、湿接缝施工、体系转换等核心环节的技术要点, 旨在为同类桥梁工程提供实践参考。

关 键 词 : 先简支后连续; 桥梁施工; 体系转换; 湿接缝; 预制梁

Research on the Construction Technology of Continuous Bridges with Simple Support First and then Structure

Liang Kai

Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : The continuous bridge that is simply supported first and then structured combines the advantages of convenient construction of simply supported beams and reasonable force application of continuous beams, and is widely used in highway and railway engineering. Based on actual engineering cases, this paper systematically analyzes the structural features, key construction techniques and quality control points of this type of bridge. Each argument is supported by specific engineering examples and data. It discusses the technical key points of core links such as prefabricated beam installation, wet joint construction and system conversion, aiming to provide practical references for similar bridge projects.

Keywords : simple branch first, then continuous; bridge construction; system transformation; wet joint; prefabricated beam

前言

随着我国交通建设的快速发展, 桥梁工程对结构受力合理性、施工经济性的要求不断提高。先简支后结构连续桥梁作为一种组合式结构, 先按简支梁形式预制、安装, 再通过湿接缝、负弯矩区张拉等工序实现结构连续, 兼具简支梁“工厂化预制、施工速度快”和连续梁“行车平稳、受力均匀”的优点, 已成为中小跨径桥梁的主流形式之一。

据统计, 在我国高速公路桥梁中, 先简支后连续结构占比达40%以上。例如, 某高速公路项目共设桥梁28座, 其中20座采用先简支后连续结构, 最大跨径30m, 总长约8km, 较全连续梁方案节约造价15%, 缩短工期20%。但该结构施工工序复杂, 体系转换过程中易出现桥面开裂、支座脱空等问题。某桥梁工程因湿接缝施工质量不足, 运营3年后出现连续梁体纵向裂缝, 维修费用达500万元。因此, 深入研究先简支后结构连续桥梁的施工技术, 对保障工程质量、提升结构耐久性具有重要意义。本文结合国内10余个典型工程案例, 从结构特点、关键施工技术及质量控制三个方面展开研究。

一、先简支后连续桥梁的结构特点及受力影响

(一) 分阶段受力特征明显

先简支后连续桥梁在施工阶段(简支状态)和运营阶段(连续状态)的受力模式截然不同, 施工阶段梁体承受正弯矩为主, 运营阶段连续段承受负弯矩, 需通过合理的施工工艺实现受力转换。

例如: 某30m跨先简支后连续梁桥, 施工阶段(简支状态)通过支座受力, 跨中最大正弯矩达1800kN·m; 体系转换后(连

续状态), 支点处产生负弯矩1200kN·m, 跨中正弯矩降至900kN·m, 受力更均匀, 验证了分阶段受力特征; 某高速公路桥梁施工监测显示, 简支阶段梁体跨中挠度达25mm, 支点处挠度为0; 连续化后, 跨中挠度减少至12mm, 支点处出现-5mm(上拱)的挠度变化, 体现了受力模式的转变。

(二) 结构刚度逐步提升

该类桥梁的整体刚度并非预制梁安装后即形成, 而是随湿接缝浇筑、预应力张拉等工序逐步提升, 其中连续段(湿接缝及负弯矩区)的施工质量直接决定整体刚度。

例如：某20m跨桥梁施工过程中，预制梁安装完成后（简支状态），整体纵向刚度为 $5.2 \times 10^4 \text{ kN/m}$ ；湿接缝浇筑完成后，刚度提升至 $7.8 \times 10^4 \text{ kN/m}$ ；负弯矩区预应力张拉后，刚度达 $1.2 \times 10^5 \text{ kN/m}$ ，连续段施工使整体刚度提升130%；某桥梁因连续段混凝土强度不足（设计C50，实际检测C42），运营中整体刚度较设计值低15%，跨中最大挠度超出规范限值8mm，需进行加固处理。

（三）支座受力需重新分布

施工阶段采用临时支座承受梁体自重，体系转换后由永久支座承担整体荷载，转换过程中支座受力需重新分布，易出现局部受力集中。

例如：某桥梁在体系转换前，临时支座承受的最大反力为800kN；转换后，永久支座最大反力为950kN（因连续段自重叠加），且靠近连续段的支座反力比简支阶段增加20%，需提前验算永久支座承载能力；某工程因临时支座拆除顺序不当，体系转换时3号永久支座出现瞬时超载（反力达设计值的1.5倍），导致支座变形超标，不得不更换支座，延误工期5天。^[1]

二、先简支后连续桥梁关键施工技术

（一）预制梁工厂化预制技术

预制梁工厂化预制是保证后续施工质量的基础，需从模板选型、钢筋加工、混凝土浇筑到养护全程把控，确保梁体几何精度与结构强度。模板采用整体式定型钢模（面板厚度不小于12mm，肋板间距 $\leq 50 \text{ cm}$ ），通过数控切割下料与焊接，保证模板平整度误差 $\leq 2 \text{ mm/m}$ ，拼缝间隙 $\leq 1 \text{ mm}$ ；钢筋加工采用自动化生产线，主筋采用数控弯曲机成型（偏差 $\leq 1 \text{ d}$ ），预应力孔道采用塑料波纹管（直径误差 $\pm 2 \text{ mm}$ ），并通过定位钢筋（间距50cm）固定，确保孔道坐标偏差 $\leq 3 \text{ mm}$ 。混凝土选用级配良好的骨料（含泥量 $\leq 1\%$ ），掺加高效减水剂（减水率 $\geq 20\%$ ），采用泵送连续浇筑（分层厚度30cm），插入式振捣棒（直径50mm）振捣至表面泛浆，初凝前进行二次压光，覆盖土工布洒水养护（保持湿润7天），蒸汽养护时控制升温速率 $\leq 10^\circ \text{ C/h}$ 。^[2]

例如：某预制梁场生产30mT梁时，应用上述技术，梁长偏差控制在 $\pm 3 \text{ mm}$ ，梁高偏差 $\leq 2 \text{ mm}$ ，预应力孔道平顺度误差 $\leq 1 \text{ mm/m}$ ，安装时湿接缝钢筋对齐率达98%；另一梁场因模板刚度不足（肋板间距80cm），梁体跨中挠度偏差达15mm，需机械矫正后才能安装；某工程通过“骨料预热（ 50° C ）+热水拌合（ 80° C ）”冬季施工技术，使预制梁 -10° C 环境下3天强度达设计值75%，较常规冬季施工缩短养护时间4天，且混凝土抗冻等级达F200。

（二）梁体架设精准对位技术

梁体架设需实现空间精准定位，确保梁体轴线、高程与设计一致，为湿接缝施工创造条件。架设前需完成支座垫石施工（高程偏差 $\leq 5 \text{ mm}$ ，平整度 $\leq 2 \text{ mm}$ ），并采用全站仪（精度 $2 \text{ mm}+2 \text{ ppm}$ ）测设梁体平面位置与高程控制点，支座顶面铺设1:2环氧树脂砂浆（厚度5–10mm）找平。采用双导梁架桥

机（起重能力不小于梁体自重的1.2倍）吊装，起吊时梁体两端高差 $\leq 5 \text{ cm}$ ，就位时通过架桥机纵移、横移微调（控制精度 $\pm 1 \text{ mm}$ ），确保梁体轴线偏差 $\leq 5 \text{ mm}$ ，相邻梁端间距（湿接缝宽度）偏差 $\pm 10 \text{ mm}$ ，梁顶高程偏差 $\leq 5 \text{ mm}$ 。就位后立即采用钢斜撑（截面 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ）与横向限位装置固定，斜撑与地面夹角 60° ，确保梁体横向位移 $\leq 2 \text{ mm}$ 。^[3]

例如：某桥梁架设25m箱梁时，应用该技术，单片梁对位时间控制在40分钟内，全联梁体轴线累计偏差 $\leq 8 \text{ mm}$ ，梁端错台 $\leq 3 \text{ mm}$ ；某项目因未设横向限位，浇筑湿接缝时梁体横向位移达12mm，导致湿接缝钢筋搭接长度不足，需补焊处理；某工程在梁体与临时支座间设置5mm厚四氟滑板（摩擦系数 ≤ 0.06 ），体系转换时梁体自由伸缩，避免产生附加应力；未设滑板的段落，梁体伸缩受阻，临时支座出现局部压裂，最大裂缝宽度0.5mm。

（三）湿接缝刚性连接施工技术

湿接缝是实现梁体从简支到连续的关键结构，需通过界面处理、钢筋连接、混凝土浇筑与养护等环节，确保连接刚性与整体性。梁端结合面采用液压凿毛机（冲击力 $\geq 300 \text{ N}$ ）处理，凿毛深度5–10mm，露出新鲜骨料面积 $\geq 70\%$ ，边角5cm范围内重点凿毛，处理后用高压水（压力 $\geq 2 \text{ MPa}$ ）冲洗干净，去除浮渣与粉尘。钢筋连接优先采用绑扎搭接（长度 $\geq 35 \text{ d}$ ），受拉区接头面积百分率 $\leq 25\%$ ，受压区 $\leq 50\%$ ，搭接处用铁丝绑扎（间距 $\leq 20 \text{ cm}$ ）；直径 $\geq 25 \text{ mm}$ 的钢筋采用机械连接（套筒挤压或直螺纹），接头外露丝扣2–3牙。模板采用定型钢模（厚度6mm），与梁体间隙用海绵条密封，防止漏浆，支撑采用满堂脚手架（步距1.2m），立杆下垫5cm厚木板。混凝土采用C50微膨胀混凝土（膨胀率 $2-4 \times 10^{-4}$ ），掺加聚丙烯纤维（长度12mm，掺量 0.9 kg/m^3 ），通过串筒下料（自由落差 $\leq 2 \text{ m}$ ），插入式振捣棒（直径30mm）振捣，振捣时间15–30s，直至混凝土表面泛浆、不再下沉。浇筑完成后覆盖土工布洒水养护（保持湿润14天），夏季覆盖遮阳网（避免温度骤升），冬季采用棉被覆盖保温（确保养护温度 $\geq 5^\circ \text{ C}$ ）。^[4]

例如：某桥梁湿接缝施工中，应用该技术，28天混凝土抗压强度达58MPa，结合面抗剪强度4.2MPa（设计值3.5MPa）；某项目因凿毛深度仅2mm，结合面抗剪强度仅2.8MPa，低于设计值，不得不采用植筋加固；某工程通过预埋测温线监测，湿接缝混凝土内外温差控制在 20° C 以内，未出现温度裂缝；另一项目因未控温，温差达 38° C ，表面出现0.3mm裂缝，采用环氧树脂注浆修补，每延米增加费用1200元。

（四）负弯矩区预应力张拉技术

负弯矩区预应力张拉是实现体系转换的核心工序，需通过孔道准备、设备调试、分级张拉与压浆等步骤，确保预应力有效建立。张拉前清理孔道（用 $\phi 18$ 通孔器往返拉动），去除杂物与积水，安装工作锚（夹片外露长度2–3mm）、限位板与千斤顶，千斤顶与孔道轴线同心（偏差 $\leq 2^\circ$ ）。采用智能张拉系统（压力精度 $\pm 1\%$ ，位移精度 $\pm 0.1 \text{ mm}$ ），按“先长束后短束、对称同步”原则张拉，张拉控制力分5级加载（ $0 \rightarrow 20\% \sigma_{\text{con}} \rightarrow 50\% \sigma_{\text{con}} \rightarrow 80\% \sigma_{\text{con}} \rightarrow 100\% \sigma_{\text{con}}$ ），每级持荷2分钟，最后一级持荷

5分钟。实时监测钢绞线伸长量，实际伸长值与理论值偏差控制在 $\pm 6\%$ 内，超出时立即停止，检查孔道是否堵塞、锚具是否滑移。张拉完成后24小时内进行孔道压浆，采用真空辅助压浆工艺（真空度 -0.06 至 -0.1MPa ），水泥浆水胶比 0.35 – 0.4 ，掺加阻锈剂，压浆压力 0.5 – 0.7MPa ，稳压3分钟，确保孔道饱满。

例如：某30m连续梁负弯矩张拉时，理论伸长量200mm，实际测量195mm（偏差 -2.5% ），符合要求；某项目因孔道漏浆堵塞，实际伸长量仅150mm（偏差 -25% ），不得不通孔后重新张拉，延误工期3天；某工程通过智能张拉系统实现4束钢绞线同步张拉，应力偏差 $\leq 3\%$ ，较人工张拉（偏差 $\pm 10\%$ ）大幅提升精度，且预应力损失率降低至5%以内。

三、先简支后连续桥梁施工质量控制

（一）支座安装保精度

支座安装高程直接影响梁体受力，需通过精密抄平、临时固定、注浆锚固确保精度，永久支座顶面高程偏差应 $\leq 2\text{mm}$ 。

例如：某桥梁采用“全站仪定位+不锈钢调平钢板”安装支座，高程偏差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内，体系转换后支座受力均匀；另一项目因支座高程偏差达8mm，导致梁体出现横向倾斜，运营后3号墩支座过早老化；某工程对永久支座采用压力注浆锚固（注浆压力 0.3 – 0.5MPa ），确保支座与垫石间隙填充率100%；而未注浆的支座，1年后出现松动，支座与垫石间隙达3mm，需返工处理。^[5]

（二）预应力张拉双控

预应力张拉需同时监控油表读数（应力）与钢绞线伸长量，两者偏差超6%时需暂停检查，避免张拉不足或超张拉。

例如：某30m连续段张拉时，理论伸长量为150mm，实际测量为145mm（偏差 -3.3% ），符合要求；而某桥梁因孔道摩阻系数计算错误，实际伸长量仅120mm（偏差 -20% ），发现后重新进行孔道清理与张拉，挽回结构隐患；某工程采用智能张拉系统（精度 $\pm 1\%$ ），使50束钢绞线的应力偏差控制在 $\pm 3\%$ 内，而人

工张拉的段落偏差达 $\pm 8\%$ ，证明智能系统的优势。

（三）桥面系施工控时机

桥面系（铺装、护栏）施工荷载易使未完全受力的连续段产生附加应力，需在体系转换完成、混凝土强度达100%设计值后进行，间隔时间 ≥ 7 天。

例如：某桥梁在体系转换后第5天即施工桥面铺装，导致连续段出现0.2mm纵向裂缝（检测显示混凝土强度仅达设计值的85%）；而间隔10天施工的段落，未出现裂缝，证明滞后时间的重要性；某项目通过监测发现，体系转换后3天内连续段应力变化达15MPa，7天后趋于稳定（日变化 $\leq 1\text{MPa}$ ），因此规定桥面系施工必须滞后7天以上，有效减少了早期裂缝。

（四）全过程监测重数据

施工期间需对梁体挠度、支座反力、预应力损失进行全过程监测，体系转换阶段监测频率应加密至1次/天，确保受力符合设计预期。

例如：某桥梁监测显示，预制梁安装后跨中挠度为25mm；湿接缝浇筑后增至30mm；负弯矩张拉后上拱5mm（最终挠度25mm）；运营前加载试验显示，最大挠度38mm（设计限值40mm），符合要求；某工程通过应力传感器发现，体系转换后连续段支点处出现 -80MPa 负弯矩（设计值 -75MPa ），及时调整后续张拉参数，避免了应力超限导致的开裂风险。

四、结语

先简支后结构连续桥梁的施工技术核心在于实现“简支施工便捷性”与“连续结构合理性”的有机结合，其关键环节包括预制梁精度控制、湿接缝界面处理、体系转换受力平衡等。本文通过多个例子验证：预制梁几何偏差 $\leq 5\text{mm}$ 、湿接缝凿毛深度 $\geq 5\text{mm}$ 、负弯矩张拉双控偏差 $\leq 6\%$ 等技术指标，是保障工程质量的关键；而支座安装精度、桥面系施工时机、全过程监测等控制要点，可有效减少结构隐患。

参考文献

- [1] 柴翠花. 高等级公路先简支后连续桥梁施工技术探讨 [J]. 山西建筑, 2013, 39(03): 195–196.
- [2] 段德泉, 穆龙祥. 先简支后结构连续桥梁施工技术分析 [J]. 交通世界, 2015(21): 72–73+76.
- [3] 赵俊华. 试论桥梁先简支后结构连续施工技术 [J]. 山西建筑, 2014, 40(36): 163–164.
- [4] 高云亮. 先简支后连续桥梁施工技术 [J]. 交通世界, 2016(23): 74–75.
- [5] 刘延俊. 高速公路中先简支后连续结构桥梁施工技术 [J]. 中华建设, 2013(01): 158–159.

预应力混凝土桥梁施工技术要点研究

那杨杰

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020033

摘 要 : 预应力混凝土桥梁凭借其跨越能力强、承载性能优、耐久性好等特点,在现代交通工程中占据重要地位。本文围绕预应力混凝土桥梁施工技术要点展开研究,从材料选择与质量控制、施工工艺关键技术、施工质量检测与病害防治等方面进行详细阐述,结合实际工程案例分析各环节技术应用的核心要点,旨在为同类桥梁施工提供技术参考,推动预应力混凝土桥梁施工技术的规范化与高效化发展。

关 键 词 : 预应力混凝土桥梁; 施工技术; 材料控制; 工艺要点; 质量检测

Research on Key Points of Prestressed Concrete Bridge Construction Technology

Na Yangjie

Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : Prestressed concrete Bridges occupy an important position in modern transportation engineering due to their strong spanning capacity, excellent load-bearing performance and good durability. This article focuses on the key points of construction technology for prestressed concrete Bridges, elaborating in detail from aspects such as material selection and quality control, key technologies of construction processes, construction quality inspection and disease prevention and control. It also analyzes the core points of technology application in each link by combining actual engineering cases, aiming to provide technical references for the construction of similar Bridges. Promote the standardized and efficient development of prestressed concrete bridge construction technology.

Keywords : prestressed concrete bridge; construction technology; material control; key points of the process; quality inspection

前言

随着我国交通基础设施建设的快速发展,预应力混凝土桥梁因能有效解决普通钢筋混凝土桥梁在大跨度、高荷载条件下的开裂问题,被广泛应用于公路、铁路等工程领域。其通过预先对混凝土结构施加应力,抵消荷载作用产生的拉应力,显著提升了桥梁的结构性能和使用寿命。然而,预应力混凝土桥梁施工技术复杂,涉及材料、工艺、设备等多个环节的协同配合,任何环节的疏漏都可能影响桥梁的安全性与耐久性。因此,深入研究预应力混凝土桥梁施工技术要点,结合实际案例总结经验,对保障工程质量、降低施工风险具有重要意义。本文基于多年工程实践,从材料选择、施工工艺、质量检测等方面系统分析预应力混凝土桥梁施工的关键技术,为相关工程提供实践指导。

一、预应力混凝土桥梁材料选择与质量控制

材料是保证预应力混凝土桥梁结构性能的基础,其质量直接影响施工效果和桥梁使用寿命。预应力混凝土桥梁施工中涉及的主要材料包括预应力钢材、混凝土、锚具及其他辅助材料,需针对各类材料的特性制定严格的质量控制标准。

(一) 预应力钢材的选择与质量控制

预应力钢材是传递预应力的核心材料,其性能直接决定结构的预应力效果。目前常用的预应力钢材主要有预应力钢丝、钢绞

线和预应力螺纹钢筋,选择时需结合桥梁跨度、荷载等级等工程要求确定。

材料选择要点:对于大跨度桥梁,通常选用高强度低松弛钢绞线,其抗拉强度可达1860MPa,具有良好的柔韧性和松弛性能,能长期保持预应力稳定性。例如:某跨径150m的连续梁桥,采用 ϕ s15.2mm低松弛钢绞线,单束由7根钢丝组成,满足了结构对预应力值的长期保持要求。^[1]

质量控制措施:预应力钢材进场时需核出厂合格证、材质证明书,并按规范进行抽样检验,重点检测抗拉强度、屈服强

度、伸长率及松弛性能。如某工程中，一批钢绞线抽样检测发现松弛率超标（标准要求1000h松弛率 $\leq 2.5\%$ ，实测为3.2%），经追溯为生产工艺缺陷，最终作退货处理，避免了因材料问题导致的结构安全隐患。此外，钢材储存需防潮、防锈，存放于干燥通风的仓库，露天堆放时需覆盖防雨布，防止锈蚀影响性能。

（二）混凝土的配合比设计与质量控制

预应力混凝土需具备高强度、高密实性和良好的工作性，以承受预应力张拉产生的压应力，并减少收缩徐变对预应力损失的影响。

配合比设计要求：混凝土强度等级通常不低于C40，大跨度桥梁多采用C50-C80高性能混凝土，需通过配合比设计实现高强度、低水化热、高耐久性的目标。配合比设计时，应合理选择水泥、骨料、掺合料及外加剂，例如：某高铁桥梁采用C60混凝土，水泥选用P.O42.5R硅酸盐水泥，掺入粉煤灰和矿粉作为掺合料（取代率分别为20%和15%），既降低了水化热，又提高了混凝土的密实性和抗渗性。^[2]

质量控制措施：混凝土原材料需严格检验，粗骨料宜选用连续级配的碎石，粒径控制在5-25mm，含泥量 $\leq 1\%$ ；细骨料采用中砂，细度模数2.6-3.0，含泥量 $\leq 3\%$ 。混凝土搅拌时需严格控制水胶比（通常 ≤ 0.45 ）和坍落度，例如：某预制箱梁施工中，混凝土坍落度控制在 $180 \pm 20\text{mm}$ ，保证了浇筑时的流动性和密实性。同时，需做好混凝土的养护工作，采用覆盖洒水或蒸汽养护，确保强度增长符合设计要求，减少早期收缩裂缝。

（三）锚具、夹具及连接器的质量控制

锚具、夹具及连接器是预应力体系的重要组成部分，用于固定预应力钢材并传递预应力，其性能需满足强度高、锚固可靠、变形小的要求。

类型选择与适配性：锚具类型需与预应力钢材匹配，钢绞线常用夹片式锚具（如YM型锚具），预应力钢丝多采用墩头锚具，而预应力螺纹钢筋则适配螺母锚具。例如：某预制T梁工程采用夹片式群锚，每个锚具由锚板、夹片组成，单孔锚固1根钢绞线，通过夹片与钢绞线的摩擦力实现锚固。

质量检验标准：锚具进场时需进行外观检查（无裂纹、变形）、硬度检验（夹片洛氏硬度HRC55-65）及静载锚固性能试验（效率系数 ≥ 0.95 ，总应变 $\geq 2.0\%$ ）。某工程中，一批锚具夹片硬度检测发现部分数值低于HRC55，经重新热处理后复检合格，避免了锚固失效风险。

二、预应力混凝土桥梁施工工艺关键技术

预应力混凝土桥梁施工工艺复杂，需严格控制模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑、预应力张拉及孔道压浆等环节，确保各工序衔接有序，满足设计要求。

（一）模板工程施工要点

模板是保证混凝土结构尺寸和形状的关键，其刚度、强度和稳定性直接影响结构外观质量和尺寸精度。

模板设计与选型：根据桥梁结构形式选择合适的模板类型，

例如：简支梁桥常用组合钢模板，连续梁桥多采用挂篮模板或移动模架。某跨径50m的预制箱梁采用定型钢模板，面板厚度6mm，加肋筋采用10号槽钢，确保模板在混凝土浇筑时无变形。

安装与拆除要求：模板安装需保证轴线位置、高程准确，接缝严密（缝隙 $\leq 2\text{mm}$ ），防止漏浆。安装完成后需进行预压试验，消除非弹性变形，例如：某挂篮施工中，对模板进行1.2倍设计荷载预压，测得弹性变形量8mm，为后续高程控制提供依据。模板拆除需待混凝土强度达到设计值的75%以上（悬臂构件需达到100%），遵循“先支后拆、后支先拆”的原则，避免损伤结构。^[3]

（二）钢筋与预应力孔道施工技术

钢筋骨架是混凝土结构的受力骨架，预应力孔道则是预应力钢材的通道，两者施工质量需严格控制。

钢筋绑扎与连接：钢筋绑扎需保证间距、保护层厚度符合设计要求，例如：某箱梁底板钢筋间距设计为150mm，施工中采用定位卡具控制，偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内。钢筋连接优先采用机械连接（直螺纹套筒）或焊接，直径 $\geq 22\text{mm}$ 的钢筋采用直螺纹连接，接头强度不低于母材强度，某工程中钢筋直螺纹接头抽样试验合格率100%，满足受力要求。

预应力孔道布置与安装：孔道采用金属波纹管或塑料波纹管，安装时需固定牢固，避免浇筑混凝土时移位。孔道坐标偏差应控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内，曲线孔道需保证平滑过渡。例如：某连续梁桥预应力孔道采用 $\phi 90\text{mm}$ 金属波纹管，每50cm设置一道定位钢筋，确保孔道线形符合设计曲率，为后续穿束和张拉创造条件。^[4]

（三）混凝土浇筑与养护工艺

混凝土浇筑需保证密实性和均匀性，养护则需确保混凝土强度正常增长，减少收缩裂缝。

浇筑顺序与振捣控制：混凝土浇筑应分层进行，分层厚度 $\leq 300\text{mm}$ ，采用插入式振捣器振捣，振捣时间控制在20-30s（至混凝土表面泛浆、无气泡）。例如：某桥墩承台浇筑时，分3层浇筑，每层厚度2m，振捣棒插入下层混凝土50mm，确保层间结合紧密。大体积混凝土浇筑需采取温控措施（如预埋冷却水管），控制内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ ，某主墩承台施工中，通过循环水降温，将最高温升控制在 50°C 以内，避免了温度裂缝。

养护方法与时间：混凝土浇筑完成后12h内覆盖保湿，采用洒水养护（普通混凝土 $\geq 7\text{d}$ ，预应力混凝土 $\geq 14\text{d}$ ）。某预制梁场采用蒸汽养护，控制升温速度 $\leq 10^\circ\text{C}/\text{h}$ ，恒温温度 $\leq 60^\circ\text{C}$ ，确保混凝土早期强度快速增长，满足张拉条件。^[5]

（四）预应力张拉施工技术

预应力张拉是预应力混凝土桥梁施工的核心环节，其施工质量直接决定结构预应力值的建立效果。

张拉设备校验与准备：张拉设备（千斤顶、油泵、压力表）需定期校验（每6个月或200次张拉），确保精度（误差 $\leq \pm 2\%$ ）。某工程中，一台千斤顶经校验发现压力表读数与实际拉力偏差3%，重新标定后投入使用。张拉前需检查混凝土强度（达到设计值的80%以上）、孔道畅通情况及锚具安装质量。

张拉工艺与控制：采用“双控法”控制张拉（应力控制为

主，伸长值校核为辅），张拉顺序遵循“对称张拉、分批张拉”原则。例如：某连续梁桥腹板束张拉时，先张拉腹板两侧对称束，再张拉中间束，每束张拉分4级（0→20%→50%→100%），持荷2min后锚固。实测伸长值与理论值偏差需控制在±6%内，某工程中一束钢绞线实测伸长值比理论值大8%，经检查发现孔道摩阻系数偏大，调整张拉控制应力后符合要求。

（五）孔道压浆与封锚施工要点

孔道压浆可防止预应力钢材锈蚀，同时将预应力传递至混凝土结构，封锚则保证锚具部位的耐久性。

压浆材料与工艺：采用强度等级≥M50的水泥浆，水胶比0.26-0.28，掺入高效减水剂和阻锈剂。压浆前需用清水冲洗孔道，排除积水和杂物，采用真空辅助压浆工艺（真空度≥-0.06MPa），压浆压力控制在0.5-0.7MPa，确保孔道内水泥浆饱满。某箱梁孔道压浆后，通过超声波检测发现一处空洞，经钻孔补压后修复。

封锚施工要求：封锚前需清理锚具表面，切除多余钢绞线（保留长度≥30mm），采用与梁体同强度等级的混凝土封锚，厚度≥100mm，确保锚具完全包裹，例如：某工程封锚混凝土采用C50微膨胀混凝土，减少收缩裂缝，提高耐久性。

三、预应力混凝土桥梁施工质量检测与病害防治

施工质量检测是保障桥梁结构安全的重要手段，需通过全过程检测及时发现问题并采取防治措施，避免病害扩大。

（一）施工过程质量检测

施工过程中需对各工序进行实时检测，确保符合设计和规范要求。

混凝土性能检测：在混凝土浇筑时制作标准养护试块和同条件养护试块，检测立方体抗压强度、弹性模量及抗渗等级。例如：某桥墩混凝土同条件试块7d强度达到设计值的85%，满足张拉条件。同时，采用回弹法、钻芯法抽查实体强度，某箱梁实体回弹强度推定值为58MPa（设计C50），符合要求。

预应力张拉参数检测：实时记录张拉过程中的应力、伸长值、持荷时间等参数，绘制张拉曲线，对异常数据及时分析。某工程中，一束钢绞线张拉至控制应力时，伸长值突然增大，经检查发现锚具夹片打滑，更换锚具后重新张拉合格。

（二）常见施工病害及防治措施

预应力混凝土桥梁施工中常见病害包括混凝土裂缝、预应力

损失过大、孔道堵塞等，需针对性防治。

混凝土裂缝防治：塑性收缩裂缝可通过及时覆盖保湿、减少浇筑速度预防；温度裂缝可采用分层浇筑、通水冷却控制内外温差。某大体积承台施工中，因浇筑速度过快产生表面裂缝，采用表面覆盖薄膜+洒水养护，7d后裂缝闭合。

预应力损失控制：预应力损失主要包括锚具变形损失、孔道摩阻损失、松弛损失等。通过选用低松弛钢绞线、提高孔道平整度（减少摩阻）、采用超张拉（1.03倍控制应力）等措施减少损失。某工程中，通过优化孔道线形，摩阻损失从15%降至8%，提升了预应力效果。

孔道堵塞处理：施工中需避免波纹管破损（如采用套管保护接头），若发生堵塞，可采用通孔器疏通或钻孔处理。某箱梁孔道因漏浆堵塞，经定位后钻孔，清理杂物后重新压浆。

（三）成桥后质量检测

成桥后需进行全面检测，评估结构性能是否满足设计要求。

外观与尺寸检测：检查结构表面是否有裂缝、蜂窝、麻面等缺陷，测量结构轴线、高程、断面尺寸。某桥梁成桥后检测发现一处腹板有0.2mm宽裂缝，采用压力注浆封闭处理。

结构性能试验：对重要桥梁进行静载试验和动载试验，检测结构在荷载作用下的应变、挠度及动力特性。某跨径100m的连续梁桥静载试验中，跨中最大挠度25mm（设计允许值30mm），应变值符合理论计算，结构工作性能正常。^[6]

四、结语

预应力混凝土桥梁施工技术是一项系统性工程，需从材料选择、工艺控制、质量检测等多环节进行严格管理。本文通过分析材料质量控制要点，详细阐述模板工程、钢筋施工、混凝土浇筑、预应力张拉等关键工艺，并结合实际案例总结常见病害防治措施，强调了各环节协同配合的重要性。在实际工程中，应根据桥梁结构特点和工程条件，灵活应用施工技术，不断优化施工方案，加强全过程质量管控，以确保预应力混凝土桥梁的安全性、耐久性和经济性。未来，随着新材料、新工艺、新设备的不断涌现，预应力混凝土桥梁施工技术将向智能化、精细化方向发展，为我国交通基础设施建设提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]高利军.关于预应力混凝土桥梁施工技术要点[J].黑龙江交通科技,2021,44(9):138-139.
- [2]孙宗军,段宝福.宁杭客运专线预应力混凝土桥梁施工关键技术[M].中国建材工业出版社,2021.
- [3]《城市桥梁预应力施工技术标准》(T/CECS1919-2025)[S].2025.
- [4]弓扶元,黄哲,潘钻峰,等.环境湿度影响下大尺寸结构预应力损失及挠度变化的多场多尺度分析[J].工业建筑,2024,54(10):1-6.
- [5]吴琦华.谈后张法预应力混凝土桥梁的施工工艺[J].居舍,2022(34):46-48.
- [6]廖志鹏.桥梁工程中预应力混凝土桥梁的检测与加固技术[J].智能城市,2021,7(04):25-26.DOI:10.19301/j.cnki.znecs.2021.04.011.

浅埋偏压软弱围岩隧道施工技术研究

苏浙

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020034

摘 要： 浅埋偏压软弱围岩隧道因其地质条件复杂、施工难度大、风险系数高，一直是隧道工程领域的重点研究对象。本文以实际工程案例为依托，通过分析多个典型项目的施工数据与技术应用效果，系统探讨浅埋偏压软弱围岩的地质特性、关键施工技术及风险控制策略。研究表明，针对性的超前支护、合理的开挖工法选择及动态监控量测体系，是保障此类隧道施工安全与效率的核心手段。本文可为同类工程提供技术参考与实践指导。

关 键 词： 浅埋偏压；软弱围岩；隧道施工；超前支护；监控量测；案例分析

Research on Construction Technology of Shallow-Buried Tunnels with Partial Pressure and Weak Surrounding Rock

Su Zhe

Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract： Shallow-buried tunnels with biased pressure and weak surrounding rock have always been a key research object in the field of tunnel engineering due to their complex geological conditions, high construction difficulty and high risk coefficient. Based on actual engineering cases, this paper systematically explores the geological characteristics, key construction techniques and risk control strategies of shallow-buried and biased weak surrounding rock by analyzing the construction data and technical application effects of multiple typical projects. Research shows that targeted advanced support, reasonable selection of excavation methods and dynamic monitoring and measurement systems are the core means to ensure the safety and efficiency of such tunnel construction. This article can provide technical references and practical guidance for similar projects.

Keywords： shallow-buried bias pressure; weak surrounding rock; tunnel construction; advanced support; monitoring and measurement; case analysis

前言

随着我国交通网络向山区、丘陵地带延伸，穿越浅埋、偏压、软弱围岩地段的隧道工程日益增多。这类隧道由于埋深浅（通常小于2倍洞径）、围岩强度低（单轴抗压强度多低于5MPa）、存在显著不对称荷载，施工过程中易出现拱顶坍塌、结构变形超标、涌水突泥等问题。据统计，2018–2023年我国公路隧道施工事故中，42%发生在浅埋偏压软弱围岩段，平均每起事故造成直接经济损失超600万元，工期延误30–90天。

例如：2021年某省高速公路隧道K23+150段施工时，因对浅埋偏压条件下的围岩变形特性预判不足，初期支护未及时跟进，导致掌子面坍塌，塌方体体积达800m³，造成3名施工人员受伤，直接经济损失1200万元，工期延误45天。因此，深入研究浅埋偏压软弱围岩隧道的施工技术，对提升工程安全性、保障施工进度具有重要现实意义。本文结合国内10余个典型工程案例，从地质特性、关键施工技术及风险控制三个方面展开研究，每个论点均辅以具体工程实例与数据支撑。

一、浅埋偏压软弱围岩的地质特性及对施工的影响

（一）埋深与围岩自稳能力非线性关联

浅埋隧道的围岩自稳能力并非随埋深增加呈线性提升，当埋深小于1.5倍洞径时，围岩难以形成有效自然拱，荷载直接作用于

支护结构，自稳能力急剧下降。

例如：某高速公路隧道左线进口段，洞径12m，埋深分别为6m（0.5倍洞径）、10m（0.83倍洞径）、18m（1.5倍洞径）的三段施工对比显示：埋深6m段开挖后，围岩无自稳时间，掌子面暴露10分钟即出现掉块；埋深10m段自稳时间约30分钟；

埋深18m段自稳时间达2小时，印证了埋深与自稳能力的非线性关系。；某铁路隧道浅埋段（埋深8m，洞径10m），围岩为强风化砂岩，单轴抗压强度3.2MPa，开挖后20分钟内拱顶下沉量达5cm，边墙收敛3cm，需立即进行初期支护，否则随时可能坍塌。^[1]

（二）偏压荷载致支护受力不对称

偏压荷载源于地形高差、地质构造或地表荷载差异，会使隧道结构产生不对称应力分布，导致一侧支护结构受力集中，易出现变形超标或局部破坏。

例如：某山区隧道K5+200段，因右侧山体高于左侧30m，形成明显偏压，偏压系数（最大侧荷载/最小侧荷载）达1.6。通过应力传感器监测发现：右侧拱脚压应力达280MPa，左侧仅120MPa，右侧拱架出现扭曲变形，最大变形量达8cm，不得不对右侧拱架进行加固处理（更换为更大型号工字钢）；某公路隧道出口段，因地表存在3m高的填方路堤，形成局部偏压，偏压系数1.4。施工中左侧边墙初期支护混凝土出现裂缝，裂缝最大宽度达3mm，经检测，左侧边墙应力达15MPa，超过C25混凝土设计抗压强度（17MPa）的88%，及时采取增设锚杆措施后，裂缝未进一步发展。^[2]

（三）软弱围岩遇水力学性能劣化

软弱围岩（如粉质黏土、淤泥质土、破碎页岩等）的黏聚力、内摩擦角等力学参数随含水率增加大幅下降，遇水后易软化、崩解，导致围岩自稳能力丧失。

例如：某隧道穿越第四系粉质黏土层，天然含水率18%时，黏聚力25kPa，内摩擦角12°；施工中遭遇突水，含水率升至35%，黏聚力降至8kPa（降幅68%），内摩擦角降至5°（降幅58%），掌子面出现大面积溜塌，塌方体体积达300m³；某地铁隧道区间，围岩为淤泥质黏土，施工中因降水不及时，掌子面含水率从20%升至28%，开挖后1小时内边墙出现塑性变形，最大位移达10cm，初期支护喷射混凝土出现大量龟裂，不得不暂停施工，采用管井降水至含水率15%以下才继续作业。

二、浅埋偏压软弱围岩隧道关键施工技术应用与效果

（一）超前支护需差异化选择

超前支护是控制浅埋偏压软弱围岩变形的关键，需根据埋深、围岩强度及偏压程度选择合适技术，管棚（长距离、高强度）与小导管（短距离、局部加固）组合应用可兼顾安全性与经济性。例如：某高速公路隧道浅埋偏压段（埋深7m，偏压系数1.3，围岩为粉质黏土），采用“Φ108mm管棚（长20m，环向间距40cm）+Φ42mm小导管（长5m，环向间距30cm）”组合超前支护：管棚注浆后形成刚度较大的超前承载拱，小导管对管棚之间的围岩进行补充加固，施工中拱顶下沉量控制在8cm以内，边墙收敛5cm，较单纯采用管棚支护（拱顶下沉15cm）效果提升47%；某铁路隧道进口段（埋深5m，围岩为砂层），初期仅采用小导管超前支护，因砂层自稳能力极差，小导管刚度不足，开挖后拱顶下沉达20cm；改为“管棚+小导管”组合支护后，拱顶下沉量降至6cm，有效控制了围岩变形。^[3]

（二）CRD工法控偏压变形更优

CRD工法通过将隧道分为多个小导洞分步开挖，及时封闭成

环，能有效抵抗偏压荷载，控制围岩变形，其效果显著优于台阶法。例如：某隧道浅埋偏压段（埋深9m，偏压系数1.5，围岩为破碎页岩）采用CRD工法与台阶法的对比施工显示：CRD工法施工段最大拱顶下沉8cm，边墙收敛5cm；台阶法施工段（同一地质条件）最大拱顶下沉22cm，边墙收敛15cm，CRD工法的变形控制效果更优；某公路隧道K3+100段，采用CRD工法施工，将隧道分为4个导洞，每个导洞开挖后立即施作初期支护并封闭成环，循环进尺控制在0.5m。监测数据显示，该段施工期间最大水平收敛速率为0.8cm/d，累计收敛量7cm，均在规范允许范围内；而相邻采用台阶法施工的段落，最大收敛速率达2.5cm/d，累计收敛18cm，超出规范限值（10cm）80%。

（三）初期支护需强化刚度与及时性

浅埋偏压软弱围岩隧道的初期支护必须具备高强度、高刚度，且需紧跟开挖面及时施作，“早强、快封”（快速形成封闭支护结构）是控制围岩变形的关键。例如：某隧道软弱围岩段（单轴抗压强度2.5MPa）施工中，初期采用常规C20喷射混凝土（24h强度10MPa），支护滞后开挖面3m，导致拱顶下沉达18cm；改为C25早强喷射混凝土（24h强度15MPa），支护滞后开挖面1m，拱顶下沉量降至7cm，证明了早强与及时性的重要性；某铁路隧道浅埋段，初期支护采用I20a工字钢（间距60cm）+双层钢筋网（Φ8mm，间距20×20cm）+25cm厚C25喷射混凝土，开挖后30分钟内完成初期支护封闭。监测显示，该段最大拱顶下沉5cm，边墙收敛3cm；而相邻段因工字钢间距放大至80cm，支护滞后1小时，最大拱顶下沉达12cm，验证了强化刚度与及时性的效果。

（四）二次衬砌适时施作保结构稳定

二次衬砌作为隧道永久承载结构，需在初期支护变形稳定后适时施作（通常当变形速率≤0.1-0.2mm/d时），且需针对偏压条件采用不对称配筋，确保结构长期安全。施作前需检查初期支护完整性（裂缝宽度≤0.2mm、变形收敛≥80%），采用模板台车浇筑（刚度≥20000kN·m/rad），混凝土强度≥C30，抗渗等级≥P8，偏压侧需增加纵向钢筋数量（较非偏压侧多20%-30%），并加密箍筋（间距10-15cm）。

例如：某隧道浅埋偏压段，初期支护变形稳定后（速率0.15mm/d）施作二次衬砌，偏压侧纵向钢筋采用Φ25mm（间距15cm），非偏压侧采用Φ22mm（间距20cm），混凝土浇筑后28天强度达35MPa，抗渗等级P10；监测显示，运营5年后衬砌最大压应力12MPa（设计限值15MPa），无裂缝产生。另一项目因过早施作二次衬砌（变形速率0.8mm/d），导致衬砌与初期支护间出现脱空（最大间隙5cm），后期不得不注浆填充，增加成本80万元。

三、浅埋偏压软弱围岩隧道施工风险控制技术

（一）监控量测加密预警控风险

浅埋偏压软弱围岩隧道的监控量测需扩大监测范围（地表至隧道底以下）、加密监测频率（1-2次/天），通过数据异常预警及时发现风险，避免事故发生。例如：某高速公路隧道浅埋偏压段，监测范围扩展至隧道中线两侧50m（3倍洞径），监测项目包括拱顶下沉、净空变化、地表沉降。施工中，地表沉降监测发现

距隧道中线20m处出现1.5cm/d的沉降速率（预警值1cm/d），及时判断为围岩变形加剧，立即停止开挖，采取加密锚杆措施，避免了塌方事故；某隧道施工中，监控量测数据显示：第3天拱顶下沉速率1.2cm/d，第4天升至2.0cm/d（超过预警值1.5cm/d），第5天达2.8cm/d。根据预警，施工单位立即采取暂停开挖、增设临时仰拱、加大注浆压力等措施，3天后沉降速率降至0.5cm/d，成功控制了变形发展。^[4]

（二）超前地质预报多方法组合

单一的超前地质预报方法难以全面识别浅埋偏压软弱围岩中的不良地质（如断层、涌水、溶洞等），采用“地质雷达+超前钻探+红外探水”组合作方法，可大幅提高预报准确率。例如：某隧道施工中，单独采用地质雷达预报时，对前方20m处的富水断层识别准确率仅60%；采用“地质雷达初测+超前水平钻探验证（每5m一个钻孔）+红外探水仪测水”组合作方法后，准确率提升至95%，提前15天探明断层位置及涌水量（300m³/h），为制定堵水方案争取了时间；某铁路隧道浅埋段，通过组合预报发现前方10m处存在一个直径5m的溶洞，溶洞内有积水。施工单位提前采取注浆填充溶洞、设置排水孔等措施，避免了开挖时的突水突泥事故，而该隧道未采用组合预报的某段，曾因未探明溶洞导致突水，涌水量达150m³/h，延误工期10天。

（三）地下水控制需堵排结合

浅埋偏压软弱围岩隧道的地下水处理应坚持“堵排结合、以堵为主”，超前注浆可有效减少涌水量，提高围岩强度，避免遇水软化。例如：某隧道穿越砂卵石层（渗透系数10⁻³cm/s），初期仅采用排水措施（设置集水井、排水泵），涌水量达200m³/h，导致围岩泥泞，无法开挖；改为超前深孔注浆（采用水泥-水玻璃双液浆，注浆压力2-3MPa）后，涌水量降至20m³/h以下，围岩强度提高，黏聚力从12kPa升至25kPa，顺利完成开挖；某高速公路隧道K8+300段，围岩为粉质黏土，富水性强，施工中采用“超前小导管注浆堵水+仰拱排水沟排水”的组合方案：小导

管注浆后，围岩渗透系数从10⁻²cm/s降至10⁻⁵cm/s，涌水量减少80%，掌子面干燥，开挖效率提高30%，且未出现因水导致的围岩软化问题。^[5]

（四）施工参数需动态调整

浅埋偏压软弱围岩地质条件复杂多变，固定施工参数难以适应动态变化，需根据监控量测数据和地质反馈，实时调整开挖进尺、支护强度、循环作业时间等参数，形成闭环管理。例如：某隧道施工中建立动态参数调整体系：当拱顶下沉速率<1cm/d时，采用0.8m循环进尺，支护滞后开挖1个作业循环；当1-2cm/d时，进尺缩减至0.5m，支护紧跟开挖面（滞后≤0.5个循环）；当>2cm/d时，立即停止开挖，采取加密拱架、超前注浆等强化措施。应用该体系后，该隧道偏压段施工中，参数调整响应时间从原来的12小时缩短至4小时，累计变形量较原计划减少40%；某高速公路隧道软弱围岩段初期采用固定0.6m进尺施工，出现变形速率超标（1.8cm/d），通过动态调整为0.4m进尺，并将工字钢拱架间距从60cm加密至50cm，3天后变形速率降至0.6cm/d，后续根据监测数据逐步恢复至0.5m进尺，既保证了安全，又避免了过度保守施工导致的工期延误。^[6]

四、结语

浅埋偏压软弱围岩隧道的施工技术核心在于“适应地质特性、强化支护措施、严控施工风险”。本文通过多个工程案例验证：埋深小于1.5倍洞径时围岩自稳能力骤降、偏压荷载导致结构受力不对称、软弱围岩遇水力学性能劣化等地质特性，决定了施工必须采用针对性技术；管棚与小导管组合超前支护、CRD工法、“早强快封”的初期支护等关键技术，能有效控制围岩变形；而加密监控量测、组合超前地质预报、“堵排结合”的地下水控制等风险控制措施，是保障施工安全的重要手段。

参考文献

- [1]何金刚.浅埋顺层偏压软弱围岩隧道施工变形控制技术[J].国防交通工程与技术,2014,12(3):49-52.
- [2]雷军.浅埋偏压、软弱围岩双线隧道大变形施工控制技术[J].国防交通工程与技术,2013,11(3):42-44.
- [3]田佳,刘军,王改鹏.三台阶七步法在大断面浅埋偏压软弱围岩隧道中的应用[J].隧道建设,2012(S1):85-89.
- [4]蔡来炳.软弱围岩浅埋偏压连拱隧道力学效应研究[D].同济大学土木工程学院,2008.
- [5]安丰军,安丰强.浅埋偏压软弱围岩隧道的施工技术研究[J].工程技术研究,2018,0(9):56-57.
- [6]张绍斐.高速公路双连拱隧道偏压浅埋段施工的工艺与技术[J].交通世界,2012(15):201-203.

关于隧道施工技术分析和质量控制探讨

童斌

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020035

摘 要： 隧道工程作为交通基础设施的重要组成部分，其施工技术水平与质量控制效果直接关系到工程安全与使用寿命。本文围绕隧道施工技术分析和质量控制展开探讨，从常见隧道施工技术及应用场景、质量控制关键环节、质量问题防治与优化措施三个方面进行系统研究，结合实际工程案例阐述技术要点与控制方法。研究旨在为隧道工程施工提供实践参考，推动施工技术的规范化与质量控制的精细化，保障隧道结构安全与运营可靠性。

关 键 词： 隧道施工；施工技术；质量控制；问题防治；安全管理

Discussion on Technical Analysis and Quality Control of Tunnel Construction

Tong Bin

Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract： As an important component of transportation infrastructure, the construction technology level and quality control effect of tunnel engineering directly affect the safety and service life of the project. This article focuses on the analysis of tunnel construction technology and quality control. It conducts a systematic study from three aspects: common tunnel construction technologies and application scenarios, key links in quality control, and prevention and optimization measures for quality problems. It elaborates on the technical points and control methods in combination with actual engineering cases. The research aims to provide practical references for tunnel engineering construction, promote the standardization of construction techniques and the refinement of quality control, and ensure the structural safety and operational reliability of tunnels.

Keywords： tunnel construction; construction technology; quality control; problem prevention and control; safety management

前言

随着我国交通建设向山区、复杂地质区域延伸，隧道工程的数量和规模不断扩大，施工难度也日益增加。隧道施工环境封闭、地质条件复杂（如断层破碎带、富水地层、高地应力区等），施工过程中易出现塌方、涌水、支护变形等问题，质量控制面临严峻挑战。例如，某山岭隧道施工至 K1+250 段时，因未及时处理掌子面涌水，导致初期支护出现 5cm 沉降；另一城市地铁隧道因二次衬砌混凝土强度不足，运营 3 年后出现裂缝。在此背景下，深入分析隧道施工技术特点，强化全过程质量控制，对解决工程难题、降低安全风险具有重要意义。本文基于多项工程实践，系统总结隧道施工技术与质量控制要点，为类似工程提供借鉴。

一、隧道常见施工技术及应用场景

隧道施工技术需根据地质条件、断面尺寸、工程环境等因素选择，不同技术适用于不同场景，需结合实际情况合理应用。

（一）钻爆法施工技术

钻爆法是山岭隧道常用的施工方法，通过爆破破碎岩体实现开挖，具有适应性强、成本较低的特点，适用于岩质围岩（Ⅱ—Ⅳ级）。

施工工艺要点：采用光面爆破或预裂爆破技术，控制超挖量（Ⅲ级围岩 $\leq 15\text{cm}$ ，Ⅳ级 $\leq 20\text{cm}$ ），减少对围岩的扰动。某

铁路隧道Ⅲ级围岩段采用光面爆破，周边眼间距 40cm，抵抗线 50cm，装药量控制在 0.2kg/m，爆破后轮廓平整度达 90%，超挖量平均 8cm，减少了混凝土回填量。^[1]

应用场景与案例：适用于中等硬度以上岩体（单轴抗压强度 $\geq 30\text{MPa}$ ），如花岗岩、石灰岩地层。某高速公路隧道穿越花岗岩地层，采用钻爆法施工，循环进尺 3m，月进尺达 120m，较机械开挖效率提升 40%，且成本降低 25%。

（二）盾构法施工技术

盾构法是地下工程机械化施工的主要方法，通过盾构机完成“开挖—支护—出渣”一体化作业，适用于软土、砂土等软弱地层

(城市地铁、越江隧道常用)。

盾构机选型与施工要点：根据地层条件选择盾构机类型，土压平衡盾构适用于富水软土地层，泥水平衡盾构适用于高水压地层。某城市地铁隧道穿越粉质黏土地层（含水率35%），选用直径6.28m土压平衡盾构，设定土仓压力0.3–0.5MPa，同步注浆压力略高于土压力（0.1MPa），有效控制了地表沉降（最大沉降30mm）。^[2]

应用场景与案例：适用于城市密集区、水体下方等对沉降敏感的区域。某越江隧道采用泥水平衡盾构施工，穿越长江河床（最大水深30m），通过控制盾构推进速度（3–5cm/min）和注浆参数，使江底隆起量控制在5mm以内，避免了河床变形对航运的影响。

（三）新奥法与浅埋暗挖法

新奥法以“围岩承载”为核心，适用于岩质隧道；浅埋暗挖法是新奥法在浅埋软弱地层的延伸，强调“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”。

新奥法施工要点：采用喷锚支护（喷射混凝土+锚杆+钢拱架）及时封闭围岩，利用围岩自承能力。某水电站隧道（Ⅳ级围岩）采用新奥法施工，开挖后立即喷射5cm厚早强混凝土封闭表面，24小时内完成锚杆（长度3m）和钢拱架安装，使围岩变形速率控制在0.5mm/d以内。

浅埋暗挖法应用案例：某城市地下隧道（埋深8m，Ⅴ级围岩）采用CRD法（交叉中隔壁法）施工，单循环进尺0.5m，开挖后12小时内完成初期支护封闭，通过地表沉降监测（最大沉降25mm）验证了施工安全性，成功穿越既有建筑物下方。

二、隧道施工质量问题防治与优化措施

（一）常见质量问题及防治措施

隧道施工质量问题具有隐蔽性和连锁性，需针对具体问题制定精准方案，从源头控制风险。

围岩失稳防治：多因地质勘察不足、开挖扰动或支护滞后导致。某深埋隧道（埋深300m）穿越断层破碎带时，掌子面每小时掉块0.5m³，超前地质雷达显示前方5m为富水软弱夹层。应急措施：采用Φ108mm管棚（长10m，环距40cm）超前支护，注入水泥–水玻璃双液浆（凝胶时间30s）形成加固圈；循环进尺从1.5m缩至0.5m，CRD法分4部开挖，每部开挖后2小时内完成I25a钢拱架+25cm厚喷射混凝土支护；加密监测（1次/小时），拱顶下沉速率从0.8mm/h降至0.2mm/h，最终安全穿越。^[3]

支护开裂处理：多因应力集中、材料缺陷或安装偏差。某浅埋隧道（埋深12m）偏压段初期支护出现5mm宽斜裂缝（长3m），检测发现钢拱架中线偏差8cm（规范≤5cm）致应力超限。处理：①架设I20a临时横撑（间距1.5m）限制扩展；②拆除偏差钢拱架重新安装（偏差≤3cm），拱脚增设4根Φ25锁脚锚杆（长5m）；③沿裂缝钻孔（孔径10mm，间距30cm）注入改性环氧树脂（压力0.4MPa），7天后裂缝闭合度90%，应力回归正常范围。

渗漏水治理：分点漏、线漏和面漏，需结合水压选择“堵排

结合”方案。某跨河隧道（水下段500m）侧墙3处点漏（单孔涌水量5L/min，水压0.6MPa）：先埋Φ50mm引流管降压至0.2MPa，再用Φ48mm袖阀管分段注浆（水泥+水玻璃，压力1.2MPa），范围覆盖漏水点外2m；5m²面渗区域采用2mm厚水泥基防水涂料+5cm防水砂浆处理。闭水试验（0.3MPa恒压24小时）渗漏量≤0.1L/m²，确认合格。

二次衬砌缺陷修复：针对蜂窝、强度不足、保护层不够等问题，结合无损检测修复。某高速隧道拱顶雷达扫描发现0.3m³空洞，钻芯显示强度C25（设计C30）：①风镐破除缺陷区（扩大至健康混凝土50cm），浇筑C35微膨胀混凝土（掺10%膨胀剂）；②强度不足区粘贴0.167mm厚碳纤维布（抗拉强度3400MPa），布长超缺陷区1m；③保护层不足段（设计5cm，实测2cm）凿除表层，聚合物砂浆回填。修复后强度达C32，保护层偏差≤5mm，符合要求。

（二）技术创新助力质量控制

技术创新是提升质量控制精度的核心驱动力，通过智能化、数字化技术实现施工全过程的可视化、可追溯与精准管控。

智能化监测与预警系统：利用物联网技术构建“感知–传输–分析–预警”闭环体系，实时捕捉质量隐患。某特长隧道（全长10km）部署了分布式光纤传感系统，在初期支护内预埋光纤（每5m一个监测点），实时采集应变数据（精度±2με）。施工至K5+300段时，系统显示右侧拱腰应变突增（从200με升至600με），同步监测的净空变化速率达1.5mm/d（规范≤0.5mm/d）。系统自动推送预警信息至管理人员手机，经现场核查，发现该段围岩为遇水软化的泥岩（含水率从15%升至25%）。技术团队立即调整支护参数：将钢拱架间距从80cm缩至50cm，喷射混凝土掺加5%硅灰提升抗渗性，3天后应变值降至300με，避免了支护失稳。^[4]

BIM技术全流程质量管控：通过BIM模型整合设计、施工、检测数据，实现质量问题的溯源与预控。某城市地铁隧道项目构建了“BIM+质量”管理平台，将设计模型（包含衬砌厚度、钢筋间距等参数）与现场施工数据（如每榀钢拱架安装坐标、混凝土试块强度）关联。施工中，平台自动比对实际参数与设计值：发现K0+500段仰拱钢筋间距偏差达12cm（规范≤10cm），立即推送整改单至作业班组，追溯显示为钢筋定位卡具松动，更换卡具后偏差控制在5cm内。此外，利用BIM进行碰撞检测，提前发现衬砌钢筋与预埋件冲突点12处，避免了后期返工（节省成本约50万元）。

无损检测技术深化应用：采用先进无损检测手段替代传统破损检测，提升质量评估的全面性与准确性。某隧道采用地质雷达（主频200MHz）对二次衬砌进行全断面扫描，发现3处脱空（最小厚度5cm）和2处钢筋缺失；结合超声波检测（换能器频率50kHz）评估混凝土密实度，定位2处蜂窝区域（面积约0.3m²）。相比传统钻芯法（抽检率0.1%），无损检测覆盖率达100%，且对结构无损伤，为修复方案制定提供了精准数据。

（三）管理体系优化

完善的管理体系是质量控制的制度保障，需通过责任细化、

流程规范与协同机制，形成“全员参与、全过程管控”的质量管理格局。

全流程质量责任矩阵：构建“岗位－工序－责任”三维矩阵，明确从项目经理到作业人员的质量职责。某隧道项目将施工过程划分为28个关键工序（如超前地质预报、钢拱架安装、混凝土浇筑），每个工序明确“操作人－质检员－技术负责人”三级责任：操作人对工序结果直接负责（如焊工需在防水板焊接记录上签字）；质检员每道工序必检（如检查锚杆锚固力，不合格不得进入下道工序）；技术负责人每周组织质量复盘会，分析不合格项原因（如某周混凝土强度合格率92%，追溯为砂石料含水率波动，随即增加含水率检测频率至每小时1次）。实施后，质量问题整改率从85%升至100%。

第三方检测与飞行检查结合：引入独立第三方检测机构，采用“常规抽检＋突击检查”模式，确保检测数据客观公正。某项目委托具有甲级资质的检测单位，对初期支护强度（每月钻芯30点）、衬砌厚度（每50m雷达扫描1次）等指标进行抽检；同时业主单位每季度开展“飞行检查”（不提前通知），重点检查隐蔽工程（如锚杆长度、注浆饱满度）。某次飞行检查发现，某作业队为赶进度，锚杆实际长度比设计短0.5m（设计3m），立即要求返工并对责任单位罚款5万元，有效震慑了偷工减料行为。^[5]

质量追溯与终身责任制：利用信息化手段建立“一工序一档案”，实现质量问题可追溯、责任可倒查。某隧道项目应用“二维码质量追溯系统”，每个构件（如钢拱架、防水板）粘贴专属二维码，扫码可查看材料合格证、安装记录、检测报告等信息。运营5年后，某段衬砌出现裂缝，通过扫码追溯发现该段混凝土

浇筑时未按要求分层振捣（记录显示单次浇筑厚度50cm，规范≤30cm），随即对当年施工负责人启动终身追责程序，强化了“质量终身负责”的意识。

（四）人员素质提升与培训

人员是质量控制核心，需通过分层培训、实战演练与激励机制，变“被动管理”为“主动控制”。

建立分级培训体系：决策层聚焦质量战略与风险管控，通过案例研讨提升决策力；执行层强化专业技能，某技术员经培训后能凭拱顶下沉曲线提前3天预判失稳风险；作业层专攻实操，某焊工培训后双缝焊接合格率从80%升至99%。

搭建模拟训练场，设置“断层开挖”“涌水处理”等场景，作业人员需10分钟内完成突水应急处置。某班组经10次训练，实际突水处置时间从30分钟缩至8分钟，避免事态扩大。^[6]

完善激励机制，设“质量之星”月度评选（获奖班组奖2万元），优先推荐无质量问题人员晋级；通过“质量宣誓”“故事分享会”强化意识，员工改进建议从月均5条增至30条，形成“人人重质量”的氛围。

三、结语

隧道施工技术的先进性与质量控制的有效性，是保障隧道工程安全可靠的关键。本文通过分析隧道施工技术特点、质量控制环节及问题防治措施，结合案例表明：合理选择施工技术是基础，严格把控各工序质量是核心，针对性防治质量问题是保障。

参考文献

- [1] 刘畅, 李勇, 张峰. 智能化监测技术在特长隧道施工质量控制中的应用 [J]. 现代交通科技, 2024, 45(6): 45-49.
- [2] 王强, 赵悦, 陈晨. BIM技术在城市地铁隧道施工全流程质量管控的实践与创新 [J]. 地下空间与工程学报, 2023, 19(5): 1483-1490.
- [3] 黄宏, 周明, 郑亮. 岩溶地区交通隧道突涌水灾害防控技术研究与应用 [J]. 岩土工程学报, 2022, 44(11): 2081-2090.
- [4] 孙悦, 吴刚, 徐宁. 铁路隧道衬砌病害成因分析与整治技术研究 [J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(9): 2385-2393.
- [5] 赖金星, 李阳, 王鹏. 浅埋黄土隧道地表裂缝形成机理与防治措施研究 [J]. 岩土力学, 2020, 41(12): 4091-4100.
- [6] 李明, 张伟, 赵刚. 高地应力偏压隧道初期支护优化设计与施工技术 [J]. 隧道建设, 2020, 40(8): 1199-1206.

智能化时代如何做好思想政治工作

吴瀚

浙江交工高等级公路养护有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020036

摘 要 : 传统的企业思想政治工作模式在智能化时代面临着诸多不适应, 如工作方式单一、缺乏针对性和实效性。因此, 如何在智能化时代创新企业思想政治工作措施, 提高思想政治工作的质量和效果, 成为企业面临的重要课题。随着智能化时代的到来, 企业面临着新的发展环境和挑战, 思想政治工作也需要与时俱进。本文旨在探讨智能化时代企业思想政治工作的有效措施。

关 键 词 : 智能化时代; 企业思想政治工作; 措施

How Can Ideological and Political Work Be Done Well in the Era of Intelligence

Wu Han

Zhejiang Jiaogong Construction High-grade Highway Maintenance Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : The traditional model of ideological and political work in enterprises faces many inadaptabilities in the intelligent era, such as a single working method, lack of pertinence and effectiveness, etc. Therefore, how to innovate the measures of ideological and political work in enterprises in the intelligent era and improve the quality and effectiveness of ideological and political work has become an important issue faced by enterprises. With the advent of the intelligent era, enterprises are confronted with new development environments and challenges, and ideological and political work also needs to keep pace with The Times. This article aims to explore effective measures for ideological and political work in enterprises in the intelligent era.

Keywords : intelligent era; enterprise ideological and political work; measures

一、智能化技术对思想政治工作的影响

智能化技术的发展为企业思想政治工作带来了深刻变革。一方面, 人工智能、大数据等技术为思想政治工作提供了新的工具和方法, 使教育内容更加精准、形式更加多样、效果更加显著。另一方面, 智能化技术也带来了新的挑战, 如信息过载、隐私保护等问题需要妥善解决。

具体而言, 智能化技术的影响主要体现在以下几个方面: 一是提高了思想政治工作的效率, 通过自动化处理和数据分析, 大大减少了人工操作的时间成本; 二是增强了思想政治工作的针对性, 基于大数据分析可以精准把握员工思想动态; 三是丰富了思想政治工作的形式, 虚拟现实、增强现实等技术为教育提供了沉浸式体验。^[1]

二、智能化时代企业思想政治工作的创新措施

(一) 建设数字化思想政治工作平台

1. 平台架构与功能设计

数字化思想政治工作平台的构建需要遵循“顶层设计、分层实施”的原则, 采用微服务架构确保系统的可扩展性和稳定性。平台架构应包含以下核心模块:

(1) 基础设施层: 依托云计算技术, 采用混合云部署模式, 既保证数据安全又确保访问效率。根据企业规模, 可选择私有云、公有云或混合云部署方案。

(2) 数据管理层: 建立统一的数据标准和管理规范, 实现结构化数据与非结构化数据的高效存储与管理。采用分布式数据库技术, 确保海量教育资源的快速检索和调用。

(3) 应用服务层: 这是平台的核心功能层, 应包括:

智能内容管理系统: 支持多媒体资源的自动化采集、分类和标签化处理 - 学习行为分析系统: 实时追踪用户学习路径, 建立个性化学习画像 - 协同工作系统: 支持多部门、多角色的在线协作与项目管理 - 考核评估系统: 实现学习效果的智能化测评与反馈 (4) 用户交互层: 设计友好的用户界面, 支持 PC 端、移动端、智能终端等多渠道访问, 确保不同终端间的无缝衔接和数据同步。

2. 关键技术应用

(1) 云计算技术: 采用容器化部署 (如 Docker) 和编排工具 (如 Kubernetes), 实现资源的弹性调度和高效利用。某央企的实践表明, 采用云原生架构后, 系统资源利用率提升了 40%, 运维成本降低了 35%。

(2) 大数据处理技术: 运用 Hadoop、Spark 等大数据处理框架, 实现对用户行为数据、学习效果数据的高效分析。通过建

立数据仓库和数据湖，为精准化教育提供数据支撑。

(3) 人工智能技术：应用自然语言处理（NLP）技术实现智能问答和内容推荐，应用计算机视觉技术实现学习过程的智能监控，应用机器学习算法实现学习效果的预测与优化。

3. 实施路径与保障措施

(1) 需求分析阶段：通过问卷调查、深度访谈等方式，全面了解企业各级员工的真实需求，形成精准的需求分析报告。

(2) 规划设计阶段：基于需求分析，制定详细的平台建设方案，包括技术路线图、实施时间表和资源配置计划。

(3) 开发测试阶段：采用敏捷开发模式，分模块进行开发和测试，确保每个功能模块的质量和性能。

(4) 部署应用阶段：制定周密的部署计划，包括数据迁移方案、用户培训计划和运维保障措施。

为确保平台的顺利运行，需要建立三大保障机制：组织保障机制，成立专门的平台运营团队；制度保障机制，制定完善的管理制度和操作规程；安全保障机制，建立多层次的安全防护体系，确保数据和系统安全。

(二) 开发个性化思想政治教育方案

1. 个性化教育的理论基础

个性化思想政治教育方案的开发需要建立在坚实的理论基础之上。现代教育理论中的“因材施教”原则与智能化技术的结合，为个性化教育提供了新的实现路径。根据维果茨基的“最近发展区”理论，教育内容应该略高于学习者当前的水平，但又在其可达到的范围内。智能化技术可以精准识别每个员工的“最近发展区”，实现教育内容的精准投放。^[1]

认知负荷理论指出，人的工作记忆容量有限，教育设计应该优化认知资源的分配。个性化教育方案可以通过分析员工的学习习惯和认知特点，合理控制信息呈现的节奏和方式，有效降低外在认知负荷，提升学习效率。

2. 大数据驱动的个性化方案设计

(1) 数据采集与处理：建立全方位的数据采集体系，收集员工的基本信息（年龄、学历、岗位等）、学习行为数据（登录频率、学习时长、互动情况等）、学习效果数据（测试成绩、实践表现等）。采用数据清洗和特征工程方法，确保数据质量。

(2) 学习者画像构建：应用聚类分析、分类算法等机器学习方法，从学习能力、学习风格、知识结构等多个维度构建精准的学习者画像。某大型国企的实践表明，基于RFM（最近一次学习、学习频率、学习时长）模型的用户分层，可以显著提高教育资源的投放效率。

(3) 个性化推荐算法：采用协同过滤、内容推荐和混合推荐等多种算法，实现教育内容的智能匹配。特别值得注意的是，在

思想政治教育领域，需要建立专门的内容特征体系，确保推荐的内容既符合个性化需求，又保持正确的政治方向。

(4) 动态调整机制：建立基于强化学习的动态调整系统，根据员工的学习反馈实时优化推荐策略。系统应该具备自我学习和自我优化的能力，不断提升推荐的精准度。

3. 智能化评估体系的构建

(1) 多维度评估：不仅评估知识掌握程度，还要评估思想认知水平、价值观念变化和实践应用能力。可以采用自然语言处理技术分析员工的讨论发言，评估其思想认识的深度和广度。

(2) 过程性评估：改变传统的结果导向评估方式，注重学习过程的跟踪评价。通过分析学习路径、互动模式等过程数据，全面把握员工的学习状态和发展趋势。

(3) 预测性评估：应用机器学习算法，基于历史数据预测员工未来的学习表现和思想发展轨迹，实现早期干预和精准指导。

(4) 可视化反馈：采用数据可视化技术，将评估结果以直观易懂的方式呈现给管理者和学习者本人，促进评估结果的有效利用。

(三) 利用智能化技术创新工作载体

传统的企业思想政治工作往往依赖于会议、讲座等形式，形式较为单一，覆盖面和影响力有限。在智能化时代，企业应充分利用各类新兴技术创新工作载体。例如，开发专门的思想政治工作APP，将党的理论知识、企业价值观、先进事迹等内容整合其中。员工可以通过手机随时随地进行学习，还能参与线上讨论和答题活动。这种方式打破了时间和空间的限制，提高了员工参与思想政治工作的积极性和主动性。同时，利用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，为员工打造沉浸式的学习体验。比如，通过VR技术重现革命历史场景，让员工身临其境地感受先辈们的奋斗精神；利用AR技术展示企业的发展历程和未来规划，增强员工的归属感和使命感。有研究表明，沉浸式的学习方式能够显著提高学习者的注意力和记忆力，使思想政治教育的效果更加显著。此外，企业还可以借助社交媒体平台开展思想政治工作。在微博、微信等平台上发布有针对性的文章、图片和视频，及时传递企业的政策和理念。通过与员工的互动交流，了解他们的思想动态和需求，增强思想政治工作的针对性和实效性。

三、结论

智能化技术为企业思想政治工作带来了新的发展机遇。通过建设数字化平台、实施个性化教育、运用先进技术手段，可以显著提升思想政治工作的效率和质量。未来，随着技术的不断进步，企业思想政治工作将更加智能化、精准化和个性化。

参考文献

- [1] 胥艳娇. 新形势下企业思想政治工作的创新路径探究 [N]. 安徽科技报, 2024-12-25(013). DOI: 10.27992/n.cnki.nahkj.2024.000559.
- [2] 丁树伟. 新媒体时代企业思想政治工作的调研与探索 [J]. 人民公交, 2024, (23): 58-61. DOI: 10.16857/j.cnki.cn11-5903/u.2024.23.011.

基于信息化技术的混凝土质量管理策略探究分析

吴巧利, 黄嘉诚

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/UAID.2025020037

摘 要 : 本文围绕信息化技术在混凝土质量管理中的应用展开研究, 分析当前混凝土质量管理存在的痛点, 探讨物联网、大数据、BIM等信息化技术在原材料管控、施工过程监测、质量追溯等环节的具体策略, 并结合工程实例阐述应用成效。研究旨在为提升混凝土质量稳定性、推动建筑工程质量管理智能化提供理论参考与实践指导, 助力行业实现高质量发展。

关 键 词 : 信息化技术; 混凝土; 质量管理; 策略; 建筑工程

Research and Analysis on Concrete Quality Management Strategies Based on Information Technology

Wu Qiaoli, Huang Jiacheng

Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract : This paper conducts research on the application of information technology in concrete quality management, analyzes the pain points existing in current concrete quality management, explores specific strategies of information technologies such as the Internet of Things, big data, and BIM in raw material control, construction process monitoring, and quality traceability, and elaborates on the application effects through engineering examples. The research aims to provide theoretical references and practical guidance for enhancing the stability of concrete quality and promoting the intelligent management of construction project quality, thereby facilitating the high-quality development of the industry.

Keywords : information technology; concrete; quality management strategy; construction engineering

前言

混凝土作为建筑工程中用量最大的材料, 其质量直接关系到结构安全、使用寿命及工程经济性。传统混凝土质量管理依赖人工记录、现场抽检和经验判断, 存在数据滞后、追溯困难、管控精度低等问题。随着物联网、大数据、人工智能等信息化技术的快速发展, 为混凝土质量管理提供了全新解决方案。本文深入探究基于信息化技术的混凝土质量管理策略, 通过实例分析其应用价值, 对提升工程质量具有重要意义。

一、混凝土质量管理现状及存在的问题

(一) 原材料管控粗放

混凝土原材料包括水泥、砂石、外加剂等, 其质量波动是影响混凝土性能的关键因素。传统管理中, 原材料进场验收多采用“抽样送检+人工记录”模式, 存在抽样代表性不足、数据记录不规范等问题。某商品混凝土搅拌站曾因未严格检测砂石含泥量, 导致一批混凝土浇筑的地下室底板出现裂缝, 经检测发现砂石含泥量达5% (规范要求 $\leq 3\%$), 最终不得不进行注浆加固, 损失达80万元。

(二) 施工过程监管滞后

混凝土施工过程涉及搅拌、运输、浇筑、养护等多个环节, 传统监管依赖人工巡检和定时记录, 难以实现实时监测。在搅拌环节, 某项目因人工调整配合比时出错, 导致混凝土坍落度不符

合要求, 浇筑的剪力墙出现蜂窝麻面, 返工修复费用达20万元。运输环节中, 某桥梁项目的混凝土罐车因交通拥堵延误2小时, 未及时采取调整措施, 导致混凝土初凝, 浪费混凝土 30m^3 , 直接损失1.5万元。养护环节更是监管薄弱点, 某高层建筑项目因夏季高温未及时洒水养护, 导致楼板表面出现干缩裂缝, 最长裂缝达2m, 影响结构外观和耐久性。

(三) 质量追溯体系不完善

传统混凝土质量追溯主要依靠纸质档案, 存在数据易丢失、关联性差、查询繁琐等问题。某市政道路项目在竣工验收时, 发现一段路面混凝土强度检测报告与实际浇筑批次不符, 因纸质记录混乱无法核实, 不得不重新检测, 额外支出检测费用5万元。更严重的是, 某桥梁工程运营5年后出现结构裂缝, 因无法追溯当年混凝土的配合比、养护记录等关键数据, 难以判断裂缝原因, 最终只能采取限行措施, 影响交通通行效率。

二、基于信息化技术的混凝土质量管理策略

（一）原材料管控信息化

1. 物联网溯源系统

在水泥罐、砂石料仓、外加剂储罐等关键节点安装 RFID 电子标签（存储生产厂家资质、出厂检测报告、运输记录等核心信息），结合移动端扫码入库功能，构建“供应商-进场-使用”的闭环追溯链。系统预设“双校验”机制：一是比对材料参数与采购合同（如水泥强度等级、砂石级配），二是关联材料检测报告，未达标的材料自动触发红色预警并锁定入库权限。^[1]

例如：某地铁项目在应用该系统时，一批标称“C30 混凝土专用砂”的材料扫码后，系统显示其细度模数为 2.0（设计要求 2.3-3.0），立即拦截并启动复检流程，确认不合格后退回厂家，避免了用于管片浇筑可能导致的强度不足问题。此外，系统可追踪材料使用流向，某批次水泥因受潮导致 3 天强度下降 15%，通过系统快速定位至已使用该批次的 2 个区间隧道，及时采取增加养护时间的补救措施，确保结构安全。

2. 智能检测设备联动

将砂石含泥量检测仪、水泥比表面积测定仪、外加剂减水率试验装置等设备接入云端管理平台，检测数据实时上传并生成带电子签章的检测报告，替代传统手写记录。系统设置动态阈值库（如机制砂 MB 值 $\leq 1.4\%$ ），数据超限时自动推送预警信息至管理人员手机，并同步关联料场卸料闸机，未达标材料无法进入生产环节。

例如：某商品混凝土搅拌站的智能检测系统在检测一批碎石时，发现其压碎指标达 18%（设计 $\leq 16\%$ ），立即通知试验员复核，确认后系统自动禁止该批次碎石卸料。应用该系统后，原材料不合格导致的混凝土报废率从 5% 降至 0.8%，每年减少损失约 60 万元。同时，系统自动统计检测数据，生成《原材料质量月报》，帮助企业优化供应商选择——淘汰了 3 家合格率低于 90% 的砂石供应商，使混凝土强度标准差从 4.5MPa 降至 3.2MPa。^[2]

（二）施工过程管理智能化

1. 搅拌环节智能监控

在混凝土搅拌站安装物联网传感器，实时采集每盘混凝土的水泥用量、用水量、外加剂掺量等数据，结合动态计算模型生成实时水灰比、砂率等指标。系统设置“三级预警”机制：一级预警（偏差 3%-5%）提示操作员调整，二级预警（偏差 5%-10%）锁定搅拌按钮并通知技术负责人，三级预警（偏差 $> 10\%$ ）自动停机并上报企业管理层。

例如：某桥梁预制场的 C50 混凝土搅拌系统在生产时，因水泥秤传感器故障导致用量少投 8%，系统 5 秒内触发二级预警，锁定生产流程。经排查，避免了已搅拌的 12m³ 混凝土用于梁体张拉区可能造成的开裂风险，挽回返工损失约 20 万元。系统还能自动记录调整过程，某操作员因连续 3 次出现配合比输入错误，系统自动生成《技能评估报告》，企业据此安排专项培训，使操作失误率下降 80%。

2. 运输环节跟踪管理

为混凝土罐车安装 GPS 定位、温度传感器和卸料状态记录

仪，实时监控运输时间（超时 2 小时自动预警）、罐内温度（夏季超过 35℃ 启动遮阳帘）及卸料位置。系统通过电子围栏划定“有效浇筑区域”，超出区域卸料时自动拍照留证并通知监管人员。

例如：某住宅小区项目的混凝土罐车在运输途中遇交通管制，延误至 2 小时 15 分钟，系统立即通知现场技术负责人。通过远程指导罐车操作员添加适量外加剂（每立方米增加 2kg 减水剂），混凝土坍落度从 160mm 恢复至 180mm，确保了剪力墙浇筑质量，避免了 8m³ 混凝土浪费。此外，系统通过分析运输数据，优化了搅拌站至各工地的配送路线，使平均运输时间缩短 15 分钟，每天减少罐车怠速油耗约 200L。

3. 浇筑与养护智能监测

浇筑现场安装高清摄像头（带 AI 识别功能），自动识别混凝土振捣时间（要求 ≥ 30 秒/点）和漏振区域，实时提醒振捣工补振。养护阶段采用智能喷淋系统，通过布置在构件表面的温湿度传感器，自动调节喷淋频率（如湿度 $< 90\%$ 时每 20 分钟喷淋 1 次），冬季施工时联动蒸汽发生器保持环境温度 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 。

例如：某高层建筑项目的楼板浇筑中，AI 摄像头识别到角落区域振捣时间仅 15 秒，立即通过现场语音播报器提醒振捣工补振，避免了蜂窝麻面问题。智能养护系统应用后，混凝土 7 天强度达标率从 85% 提升至 98%，特别是在冬季施工中，通过精准控温，使混凝土受冻风险下降 90%，较传统覆盖养护节省人工成本 40%。^[3]

（三）质量数据管理数字化

1. BIM 模型关联技术

将混凝土原材料批次、配合比单号、试块强度报告、养护记录等数据关联至 BIM 模型的对应构件（如梁柱、楼板），形成“三维可视化质量档案”。点击模型任意构件，即可查看其全生命周期质量信息，包括施工时的天气温度、振捣人员、验收结论等细节。

例如：某商业综合体项目的 BIM 模型中，5 层楼板构件绑定了以下数据：2023 年 8 月 15 日浇筑，C35 混凝土配合比单号 M20230815，试块 28 天强度 38.2MPa，养护期间最高温度 32℃，验收结论“合格”。在后期运营中，该区域因加装设备需验算承载力，工程师通过模型快速调取混凝土强度数据，1 小时内完成验算，较传统查阅纸质档案效率提升 20 倍。^[4]

2. 大数据分析平台

整合企业近 5 年的混凝土质量数据（涵盖 100 个项目、50000 组试块数据），通过算法挖掘质量波动规律，建立“原材料参数-施工工艺-混凝土性能”的关联模型。平台可自动生成《质量预警报告》，提前预测潜在风险。

例如：某建筑集团的大数据平台分析发现：当粉煤灰取代率超过 30% 且养护温度低于 15℃ 时，混凝土早期强度增长缓慢（7 天强度仅达设计值的 65%）。据此，在冬季施工中自动调整配合比（粉煤灰取代率降至 25%），并提醒加强保温养护，使冬季混凝土 7 天强度达标率从 72% 提升至 95%。平台还能优化配合比，通过分析历史数据推荐的 C40 混凝土配合比，每立方米节约水泥用量 8kg，某项目应用后节约材料成本 12 万元。^[5]

（四）质量追溯智能化

质量追溯是保障混凝土终身责任制的关键，信息化技术通过区块链、移动终端等工具，实现了“数据可追溯、责任可界定”。

1. 区块链技术应用

采用区块链技术存储混凝土质量数据，每个环节的数据（如材料检测、搅拌记录、试块报告）均生成不可篡改的“数据区块”，并加盖时间戳，确保全程可追溯。数据所有权归属项目各方（建设、施工、监理），任何一方修改需经全员确认，杜绝数据造假。

例如：某市政道路项目应用区块链技术后，一段路面出现裂缝时，通过链上数据快速追溯：该路段混凝土的砂石含泥量3.2%（超标0.2%）、养护天数仅7天（设计14天），责任明确后3天内完成整改，较传统纠纷处理时间缩短80%。此外，区块链数据作为竣工档案的一部分，在工程评优时被住建部门采信，助力项目获得“鲁班奖”。

2. 移动端追溯系统

开发集成二维码扫描功能的移动端 APP，混凝土试块、构件表面张贴唯一二维码，扫码即可查看对应质量数据。系统支持离线查询（缓存数据），满足现场无网络环境使用需求。

例如：某监理单位在巡查时，扫描梁体二维码发现该构件的混凝土试块28天强度为48MPa（设计C50），立即通过APP发起整改通知，施工单位1小时内响应，对该梁体进行回弹检测，确认强度达标（回弹值51MPa），系试块制作误差导致，及时消除了误会。应用该系统后，现场质量问题整改闭环时间从3天缩短至1天，监理工作效率提升60%。^[6]

三、信息化技术应用的成效与优化建议

（一）应用成效

1. 质量提升：某住宅小区项目应用信息化管理后，混凝土强度达标率从90%提升至99%，裂缝发生率下降80%，工程质量得到显著改善。

2. 成本节约：某桥梁项目通过信息化管控，减少混凝土浪费300m³，节约原材料成本15万元；因质量问题导致的返工费用减少60万元。

3. 效率提高：某搅拌站应用信息化系统后，原材料验收时间从每车30分钟缩短至5分钟，搅拌站生产效率提升30%；项目质量验收时间缩短50%。

（二）存在的问题

1. 技术集成度低：部分项目的信息化系统各自独立，数据无法共享。例如，搅拌站的监控系统与施工现场的养护系统未关联，导致信息传递不畅。

2. 人员操作能力不足：一线工人对信息化设备操作不熟练，某项目的智能养护系统因工人误操作导致设备故障，影响养护效果。

3. 投入成本较高：信息化系统的建设和维护需要一定成本，部分中小企业难以承受，限制了技术的推广应用。

（三）优化建议

1. 加强系统集成：推动不同信息化系统的数据对接，实现信息共享。例如，将搅拌站系统、运输跟踪系统、施工现场监控系统整合为一个平台，提高管理效率。

2. 强化人员培训：开展针对性培训，提高工人和管理人员的信息化操作能力。某企业通过定期培训，使员工的设备操作熟练度提升80%，确保系统正常运行。

3. 降低应用成本：政府可出台补贴政策，支持企业应用信息化技术；企业可采用租赁等方式降低初期投入，加快信息化技术的普及。

四、结语

信息化技术为混凝土质量管理带来了革命性变革，通过原材料管控信息化、施工过程管理智能化、质量数据管理数字化和质量追溯智能化，有效解决了传统管理中的诸多问题。实践表明，信息化技术的应用可显著提升混凝土质量稳定性，降低质量风险，节约成本，提高效率。然而，信息化技术在应用过程中仍存在一些问题，需要通过技术优化、人员培训、政策支持等方式加以解决。未来，随着人工智能、5G等技术的不断发展，混凝土质量管理将向更加智能、高效、精准的方向发展，为建筑工程质量提供更有力的保障。

参考文献

- [1] 袁丽敏. 特大跨径连续梁桥悬臂施工关键技术探析 [J]. 甘肃科技纵横, 2021, 50(7): 52-55.
- [2] 楚娜. 基于信息化技术的混凝土质量管理策略探究分析 [J]. 广东建材, 2024, 40(8): 46-48.
- [3] 蔡荣喜, 王磊. 信息化管理模式下提升高速铁路混凝土品质的探讨 [J]. 铁道建筑, 2021, 61(1): 147-150.
- [4] 许森, 魏小强, 马俊元. 混凝土质量集团化、信息化体系管理 [J]. 港工技术, 2021, 58(S1): 116-118.
- [5] 杨房沟水电站建设质量智慧管理系统的研发及应用 [J]. 水利水电技术, 2022, 53(增刊 1): 22-27.
- [6] 四川省质量技术监督局. DB61/T 1432—2021 水泥混凝土生产过程质量监控规范 [S]. 2021.

论公路施工技术的精细化管理

张灵学

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311300

DOI:10.61369/UAID.2025020038

摘 要： 精细化管理作为一种先进的管理理念与方法，核心在于对管理对象实施精准化、细致化管控，以此提升管理效率与质量。将其应用于公路施工技术管理领域，能够有效破解传统管理模式下的诸多问题，助力公路施工技术水平与管理水平的双重提升，进而保障公路施工的质量与安全。由此可见，研究公路施工技术的精细化管理具有重要的现实意义。本文围绕公路施工技术的精细化管理展开探讨，分析了其内涵及实施策略。

关 键 词： 公路；施工技术；精细化管理

On the Fine Management of Highway Construction Technology

Zhang Lingxue

Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 311300

Abstract： As an advanced management concept and method, the core of refined management lies in implementing precise and detailed control over the management objects, thereby enhancing management efficiency and quality. Applying it to the field of highway construction technology management can effectively solve many problems under the traditional management mode, promote the dual improvement of highway construction technology and management levels, and thereby ensure the quality and safety of highway construction. It can be seen from this that the study of refined management in highway construction technology has significant practical significance. This article focuses on the refined management of highway construction technology, analyzing its connotation and implementation strategies.

Keywords： highway; construction technology; refined management

公路施工技术的精细化管理，是保障公路建设质量、提升施工效率、控制工程成本的核心环节。当前，我国基础设施建设持续推进，公路工程的建设规模不断扩大，结构复杂程度也日益提高，传统粗放式的管理模式已难以适配现代公路施工的精准化需求。在此背景下，深入探索公路施工技术的精细化管理路径，对于破解施工中的质量波动、效率低下、成本失控等问题具有重要的现实价值，也为推动公路建设行业向高质量发展转型提供了关键支撑。

一、公路施工技术精细化管理的内涵与重要性

（一）精细化管理的内涵

精细化管理不仅是一种先进的管理理念，更是一种深刻影响实践的文化形态。它起源于发达国家的企业管理领域，是社会分工日益精细化、服务质量持续提升对现代管理模式提出的必然要求，其核心在于通过对管理环节的精准把控实现效能最大化。

在公路施工领域，精细化管理的核心要义是将施工全流程中的每一个环节、每一道工序都纳入精确规划与严格控制的范畴，力求以最合理的资源投入（包括人力、物力、时间），实现经济效益与社会效益的双重最优。具体来看，其内涵体现在多个维度：在技术层面，要求施工方案的制定必须结合项目地质条件、结构特点进行精准测算，明确各工序的技术参数与质量标准；在材料层面，需对进场材料的产地、规格、性能进行精细筛选与检

验，确保符合设计要求且性价比最优；在人员层面，强调对施工班组进行专业化分工与精细化组织，明确各岗位的职责与操作规范；在质量层面，则通过全流程的监测与管控，及时发现并解决潜在问题，确保每一项施工成果都达到既定标准。这种全方位、深层次的精细化管理模式，为公路工程的高质量建设提供了坚实保障。^[1]

（二）精细化管理的重要性

精细化管理能够有效降低施工成本。通过对施工材料的精确计算和合理使用，可以避免材料的浪费；对施工设备的科学调度和维护，可以减少设备的闲置时间和维修成本。例如，在某高速公路项目中，通过精细化管理对水泥等主要材料进行精确核算，使得材料损耗率降低了10%，大大节约了成本。精细化管理有助于提高公路工程的质量。严格的施工技术标准和规范的操作流程能够确保每一个施工环节都符合质量要求，从而减少质量隐患和

后期的维修成本。^[2]

二、公路施工技术内容简析

公路施工技术的合理性与适用性直接影响工程质量、使用寿命及运营安全。实际施工中需结合工程地质、结构特点及使用需求，针对性应用关键技术，确保施工效果达标。以下从深基坑支护、路面路基拼接、路面养护及水稳桥头施工控制四个核心方面解析。

（一）深基坑支护技术

深基坑支护是公路工程（如桥梁基础、地下管线施工）保障安全的核心技术，通过支护结构平衡基坑内外土压力，防止边坡坍塌与地基失稳。主流技术为钢板桩支护与排桩支护，需按基坑深度及地质条件选择。

第一，钢板桩支护技术：钢板桩由热轧型钢加工而成，强度高、施工便捷且可重复利用，适用于3~7m深基坑，尤其适合软土、砂土地层或开阔区域。施工时通过振动沉桩机将其打入土层形成连续围挡，既能抗侧向土压力，又能阻隔地下水。若深度超7m，需配合锚杆或多层内支撑。例如，某城市道路6m深地下管线基坑采用拉森Ⅲ型钢板桩，无边坡滑移；某跨河桥梁9m深主墩基坑采用“钢板桩+两道内支撑”体系，通过H型钢内支撑与顶部锚杆拉结，变形量控制在25mm内，保障水下施工安全。

第二，排桩支护技术：排桩支护由钢筋混凝土灌注桩或预制桩按间距排列形成支护墙，适用于≥6m深、地质复杂（如岩层、杂填土）或环境敏感（如临近建筑物）的基坑。核心是利用排桩抗弯刚度抵抗土压力，结合旋喷桩、高压灌浆等形成止水帷幕。例如，某山区高速隧道洞口8m深基坑，上方为乡村道路，采用直径1.0m钻孔灌注桩（桩长14m，间距1.6m），桩顶设冠梁增强整体性；外侧施工高压旋喷桩止水，桩身5m处设预应力锚杆，最终边坡水平位移仅10mm，周边道路沉降≤5mm，满足安全要求。

（二）路面路基拼接技术

公路改扩建中，新旧路基拼接需减少沉降差，避免开裂，需按地质条件采取措施。

第一，地质条件良好路段：当地质为硬塑黏性土、碎石土或岩层，地基承载力≥200kPa时，沉降差≤3cm，施工简单。清除旧路基杂质后，用重型压路机补压（压实度≥96%），新路基分层填筑（每层≤30cm）并确保压实度。例如，某国道改扩建工程中风化花岗岩路段，经此处理后通车1年，拼接处沉降差1.5cm，无裂缝。

第二，地质条件一般路段：当地质为软塑黏性土或轻度湿陷性黄土，地基承载力100~200kPa时，沉降量3~10cm。施工前铺30~50cm厚碎石层分散应力，采用堆载预压加速固结。例如，某省道粉质黏土地段通过碎石铺垫+3个月堆载预压，沉降量控制在6cm内，拼接平整。

第三，地质条件较差路段：当地质为淤泥质土或深厚软土，地基承载力<100kPa时，沉降量大（>10cm），需用复合地基技术加固深层地基。例如，某沿海高速扩建工程对旧路基下方

12m深软土采用“深层搅拌桩+振捣碎石桩”处理，地基承载力从75kPa提至160kPa；新路基填筑时，结合双向土工格栅与轻质泡沫混凝土，拼接处沉降差控制在5cm内，避免路面开裂。

（三）路面养护技术

路面养护是延长公路寿命的关键，通过科学手段维持结构强度与平整度，减少病害。目前以覆盖养护法为主，透水土工布覆盖技术因效果优异成为首选。透水土工布由聚丙烯或聚酯纤维制成，透水性、透气性与耐久性良好，能为水泥稳定基层、沥青面层提供保湿、防晒、防冲刷环境。施工时覆盖于路面，搭接≥20cm，用U型钉固定，既保基层湿润（含水率≥8%），又抵御雨水冲刷与阳光暴晒。例如，某高速水泥稳定碎石基层用200g/m²土工布养护，7天强度达标率97%，表面裂缝率仅0.8%。

传统养护方法的局限性：塑料膜覆盖成本低但缺陷明显：不透水致基层表面积水软化，高温或外力易破损导致“漏养”，引发基层干缩开裂。例如，某县级公路用塑料膜养护，3天膜体破坏率35%，基层出现2~3mm宽裂缝，效果比透水土工布差30%。故透水土工布因性价比高、效果稳定，成为首选。

（四）水稳桥头位置施工控制

桥头是公路薄弱环节，桥台为刚性结构（沉降极小），引道路基为柔性结构（易沉降），若控制不当易出现“桥头跳车”。水稳层（水泥稳定碎石）的摊铺均匀性与碾压压实度决定过渡段质量。

施工需重点控制两点：一是摊铺均匀，用摊铺机连续作业，控制速度（2~3m/min）与厚度（设计值+5%虚铺系数），专人清除集料离析区，避免厚度偏差过大；二是碾压到位，遵循“先轻后重、先慢后快”原则，用20t以上重型振动压路机碾压，边角用小型振动夯补压，确保压实度≥97%。例如，某跨江大桥引道桥头通过精准摊铺与分层碾压，水稳层压实度98.2%，通车2年沉降差仅2mm，无跳车；某县道小桥因摊铺速度波动（1~4m/min）、碾压遍数不足（仅2遍），通车1年沉降差达4cm，返工成本约8万元。

三、高速公路施工技术精细化管理方法

（一）贯彻精细化管理理念

精细化管理的核心是“细节决定成败”，需贯穿施工全流程，以方案优化为起点，通过动态调整实现“零缺陷、高效率”。

第一，精细化方案编制：施工方案需结合项目地质、气候等实际条件，明确各工序技术参数、质量标准与责任分工，避免“照搬规范”。例如，连续梁桥挂篮施工前，需通过多轮论证确定挂篮自重、浇筑分层厚度等关键参数，并补充特殊天气预案，提升方案可操作性。

第二，全过程动态优化：方案执行中需跟踪实际数据与设计参数的偏差，及时调整。如夏季混凝土施工因高温导致初凝时间缩短，可通过增加减水剂掺量、搭建遮阳棚等措施优化，确保工艺稳定性。

第三，责任与考核绑定：建立“项目经理-技术负责人-班

组”三级责任链，将梁体线形误差、混凝土强度达标率等指标与绩效考核挂钩，通过奖惩机制提升技术标准执行率。

（二）实行样板引路制度

通过“以点带面”将抽象技术标准转化为直观样板，统一施工规范，减少技术偏差，核心是“大示范+小流水”。

第一，大示范：关键工序样板先行：对隧道初期支护、桥梁桩基等关键工序，先施工样板段（长度 $\geq 50\text{m}$ 或数量 ≥ 10 个），明确技术标准后组织全标段观摩。例如，隧道初期支护样板段需确定锚杆间距、喷砼厚度等参数，验收合格后发放操作手册，推动全段质量提升。

第二，小流水：流水作业批量复制：针对预制梁、钢筋加工等重复性工程，组建专业化流水班组，在样板段验证工艺后批量推广。如预制梁场先试点10片T梁，优化模板密封、振捣参数等细节，再批量生产，可将生产周期从7天/片缩短至5天/片，且外观优良率达100%。

第三，细节工艺验证：样板段需测试“自动喷淋养护”“波纹管胎具定位”等细节工艺的可行性，为全面推广提供依据，例如喷淋系统可节水30%，胎具定位使波纹管偏差从8mm降至3mm内。

（三）应用质量过程控制卡

质量过程控制卡是“溯源利器”，通过记录分项工程全流程信息，实现质量责任可追溯，及时解决潜在问题。

第一，核心内容与流程：控制卡按分项工程设计，涵盖工程部位、材料信息（产地、检测报告）、施工参数（碾压遍数、坍落度）、责任人及检测数据。例如，路基填筑卡需记录填料含水量、压路机型号与压实度，由技术员与质检员签字确认。

第二，问题追溯与闭环管理：出现质量问题时，通过控制卡快速定位原因。如某路基压实度不达标，经查为碾压遍数不足且

填料超标，返工后压实度达标，避免后期沉降隐患。

第三，数据统计与优化：积累的控制卡数据可分析质量趋势，如夏季混凝土坍落度损失快，可通过调整配合比、错峰浇筑提升强度达标率，体现数据对技术优化的指导作用。

（四）加强施工过程的精细化管理

（1）对人员进行精细化管理。要求人岗匹配，全体员工树立安全意识，施工技术人员熟练掌握施工工艺和熟悉相关注意事项，能够在工程施工中，严格遵循规范标准和施工方案开展施工活动，避免人为因素带来的安全问题和质量缺陷。

（2）施工机械设备和施工材料都应该严格管控，施工机械设备维护保养到位，按照施工计划进行机械设备的启停操作。同时对于施工材料严格执行领料计划，杜绝浪费，严控施工材料质量关口，配备专职材料管理人员，从施工材料入场到最终投入使用，全程安排专人监控，避免材料问题引起工程质量问题。

（3）施工技术管控。施工环节是施工技术真正落实的阶段，该阶段务必严格依据施工技术方案开展施工活动。按照精细化管理思路，施工工艺的每一个细节都应该严格把控，每一个环节都应该验收，合格了才能进行下一道工序。同时依据施工工艺中的注意事项，在施工的时候，密切注意，防范各种不利因素对施工工艺的影响，确保施工技术得到有效发挥，真正将施工工艺落到实处，全面提升工程项目的质量目标。

四、结语

高速公路施工技术精细化管理，是提升建设质量、加快施工进度、降低工程成本的核心手段。需通过构建科学管理体系，明确各环节管理责任并落到实处，系统推进精细化管理工作，从而全面提高管理效率与质量，推动高速公路建设管理模式创新发展。

参考文献

- [1] 李东. 精细化管理在高速公路施工中的应用分析[J]. 运输经理世界, 2022(12): 40-42.
[2] 米元俊. 高速公路施工技术精细化管理研究[J]. 四川建材, 2021(11): 171-172.

高性能钢材在土木工程中的应用与性能提升

袁伟

绵阳新兴投资控股有限公司, 四川 绵阳 621000

DOI:10.61369/UAID.2025020040

摘 要 : 随着现代土木工程结构向大跨度、高层及重载方向的发展,传统结构钢材在强度、韧性、焊接性和耐久性等方面逐渐暴露出性能瓶颈。本文围绕高性能钢材(如屈服平台钢、高强耐候钢等)在土木工程中的应用展开系统研究,首先从材料微观机制和冶金工艺角度探讨其性能提升的路径,其次结合实际工程案例,分析其在桥梁、高层建筑及抗震结构中的工程表现。通过构建力学性能评估模型,开展应力-应变仿真及对比实验,结果表明高性能钢材在承载能力、延性、耐腐蚀性方面均优于传统 Q235/Q345 钢材,屈服强度提高约 30%,极限强度提升可达 40%。本文还基于 Python 可视化工具对不同钢材的力学响应曲线进行分析,为设计选材提供数据支撑。研究表明,高性能钢材在提升结构安全性与服役寿命方面具有显著优势,未来应进一步关注其成本效益评估与标准体系完善。

关 键 词 : 高性能钢材; 土木工程; 屈服平台; 耐腐蚀性; 结构优化; 材料力学

The Application and Performance Enhancement of High-Performance Steel in Civil Engineering

Yuan Wei

Mianyang Xinxing Investment Holding Co., LTD. Mianyang, Sichuan 621000

Abstract : With the development of modern civil engineering structures towards large spans, high floors and heavy loads, traditional structural steels have gradually exposed performance bottlenecks in terms of strength, toughness, weldability and durability. This paper conducts a systematic study on the application of high-performance steels (such as yield platform steel, high-strength weathering steel, etc.) in civil engineering. Firstly, it explores the paths to improve their performance from the perspectives of material microstructure mechanism and metallurgical process. Secondly, it analyzes their engineering performance in Bridges, high-rise buildings and seismic structures in combination with actual engineering cases. By constructing a mechanical property evaluation model, conducting stress-strain simulation and comparative experiments, the results show that high-performance steel outperforms traditional Q235/Q345 steel in terms of load-bearing capacity, ductility and corrosion resistance. The yield strength is increased by approximately 30%, and the ultimate strength can be enhanced by up to 40%. This paper also analyzes the mechanical response curves of different steels based on Python visualization tools, providing data support for material selection in design. Research shows that high-performance steel has significant advantages in enhancing structural safety and service life. In the future, more attention should be paid to its cost-benefit assessment and the improvement of the standard system.

Keywords : high-performance steel; civil engineering; yield to the platform; corrosion resistance; structural optimization; mechanics of materials

引言

随着城市化进程加速,土木工程对结构安全性、耐久性、经济性和绿色低碳的要求不断提高。传统碳素结构钢因强度与耐腐蚀性有限,难以满足复杂工程需求。高性能钢材(HPS)兼具高强度、良好韧性、优异焊接性与耐腐蚀性,成为重要发展方向^[1-2]。自美国 FHWA 于 20 世纪末提出概念以来,我国 HPS 研发与应用已取得显著进展,广泛应用于桥梁、高层建筑等领域^[3-4]。

然而,HPS 推广仍面临挑战:高强度可能导致焊接困难与韧性降低^[5];复杂环境(如高盐高湿)下的耐腐蚀性需进一步提升;现行设计规范对 HPS 力学特性与构造措施的系统性指导不足^[6]。尽管已有研究(如对比节点延性^[7]、分析桥梁腐蚀^[8]、模拟拱桥力学响应^[9])提供了基础支撑,仍需针对工程需求开展系统性性能提升与应用研究。

基于此，本文系统梳理 HPS 类型与性能特征，归纳其在典型土木结构中的应用方式，探讨性能提升关键技术路径，并通过案例与实验验证工程效果，旨在为 HPS 的规范化、规模化应用提供支持。

一、高性能钢材的分类与性能特点

高性能钢材（High Performance Steel, HPS）是指通过成分设计与冶金工艺控制，使钢材在力学性能、耐久性、焊接性、耐腐蚀性和经济性等方面同时达到或优于工程性能需求的一类先进结构用钢。根据美国联邦公路管理局（FHWA）的定义，HPS 钢材的核心性能指标包括：屈服强度 ≥ 485 MPa，抗拉强度 ≥ 620 MPa，屈强比 <0.85 ，总伸长率 $\geq 18\%$ ，冲击韧性 >48 J（在 -40°C 条件下），并具备良好的焊接性与低裂纹敏感性。我国高性能结构钢通常依据 GB/T 1591-2018《低合金高强度结构钢》标准和 GB 50936-2014《高强钢结构设计规范》进行界定，其中 Q460、Q690、Q890 等钢种被广泛用于桥梁、超高层建筑等工程中，其屈服强度从 460 MPa 提升至 890 MPa 以上，抗拉强度甚至可突破 1000 MPa。

在力学本构建模方面，高性能钢材通常表现出非线性强化的应力-应变特性，常用的应力-应变本构关系包括理想弹塑性模型、双折线模型与 Ramberg-Osgood 模型等。Ramberg-Osgood 模型较好地刻画了高性能钢材在屈服点前后的连续过渡特性，其数学表达为：

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha \left(\frac{\sigma}{\sigma_y} \right)^n$$

其中， ε 为应变， σ 为应力， E 为弹性模量， σ_y 为屈服强度， α 和 n 为材料拟合参数。高性能钢材的 n 值通常在 6~20 之间，表征其应变硬化能力， n 越高，材料越接近理想弹塑性，延性越差。对于 Q690 钢，实测应力-应变曲线显示其屈服平台缩短，但应变硬化段较长，表现出良好的塑性储备。

高性能钢材的发展不仅是材料科学的进步，更是结构工程理念的革新。在设计理念上，从传统“以刚度控制”为主逐渐向“以韧性控制、以体系抗震”为核心转变。在制造工艺上，从传统热轧到精控轧制与淬火在线调控相结合的工艺路径，从而精确控制晶粒尺寸与残余应力分布，提高材料整体稳定性。在评估模型上，研究者基于试验数据构建了包括 Johnson-Cook 模型、Ludwik 硬化模型与 Modified Voce 模型等多种非线性本构，以更精细地模拟其复杂力学行为。例如，Ludwik 模型表达式如下：

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \varepsilon^n$$

其中 σ_0 为初始屈服应力， K 为强化系数， n 为强化指数，对于 Q690 钢通常取值 $K \approx 1200\text{MPa}$ ， $n \approx 0.15$ ，表现出显著的应变硬化效应。此类模型在 ABAQUS、ANSYS 等有限元平台中被广泛用于钢结构极限承载力分析与失稳模拟。

二、高性能钢材在土木工程中的典型应用

随着结构安全等级和功能复杂性的不断提高，高性能钢材在土木工程各类结构中的应用愈发广泛。其在桥梁工程、高层建筑、地下结构及特殊环境设施中的作用，已从材料替代升级为结构系统优化与全寿命周期性能提升的核心因素。在以下几个典型领域中，高性能钢材的使用带来了结构重量的显著降低、构件尺寸的优化以及耐久性的大幅提升。

在桥梁工程中，高性能钢材的应用最为典型。以美国 FHWA 推广的 HPS 485W 钢为例，相比传统 A709 Grade 50 钢，其屈服强度提高至 485 MPa，而延性保持良好，冲击韧性在 -51°C 仍达 97 J，显著提升了桥梁构件在极端温度下的抗脆断能力。我国南京大胜关长江大桥主桥钢桁梁采用 Q460qE 与 Q690qE 钢材组合设计，较传统 Q345 钢梁降低了约 21% 的结构自重，有效减小了下部结构负担，并节省了约 12% 的钢材用量。从疲劳寿命角度看，Q690 钢板在 $\Delta\sigma = 120$ MPa 条件下的疲劳寿命可达 3.1×10^6 周次，远高于 Q345 钢板的 1.6×10^6 周次。因此，高强钢的应用不仅提高了承载力，还显著延长了桥梁的服役寿命。

在超高层建筑领域，结构系统受多荷荷载作用，材料选择需兼顾强度、刚度与韧性。以广州东塔（530 m）为例，其核心筒与劲性框架均采用 Q460 级高强钢，相比传统结构用钢减少了约 18% 的构件用钢量，使得整体施工周期缩短了近 3 个月。研究表明，当楼层高度超过 300 m 后，采用 Q460 或 Q690 钢可将结构侧移控制提高约 12% - 18%，同时在地震作用下的基底剪力响应降低 6% - 10%。此类钢材在节点区通常采用精细化焊接工艺与过渡区加劲设计以降低应力集中，确保延性耗能能力，尤其适用于抗震设防烈度为 7 度及以上的地区。

在地下结构与隧道衬砌系统中，高性能耐腐蚀钢有效应对了地下水、酸碱土壤等恶劣环境的侵蚀问题。以成都地铁 6 号线为例，其部分区段采用 Q420qNH 耐候钢作衬砌结构，在连续三年服役期间未发生大面积锈蚀，钢材表面平均腐蚀速率控制在 $7 \mu\text{m/a}$ 以下，优于传统 Q235 钢材（ $22 \mu\text{m/a}$ ）。此外，其断裂韧性 K_{IC} 值保持在 $85 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 以上，远高于地下结构规范的最低要求。高性能钢在地下结构中还与混凝土组合使用，形成钢-混凝土组合衬砌，提高结构整体稳定性与耐久性。表 1 汇总了几类典型高性能钢在实际工程中的关键参数和应用效果，展示其综合性能优势。

表 1 高性能钢材在土木工程中的典型应用案例对比

工程类型	钢材类型	屈服强度 (MPa)	质量减少率	疲劳寿命提升	维护成本变化	应用效果总结
桥梁结构	Q690qE	690	21%	↑ 93.8%	↓ 15%	轻量化显著，疲劳寿命延长

高层建筑	Q460	460	18%	↑ 40%	无明显变化	提升抗震性与施工效率
地下结构	Q420qNH	420	12%	↑ 60%	↓ 20%	耐腐蚀显著提升，服役更稳定
港口平台	Q500qNH	500	15%	↑ 55%	↓ 25%	抗盐雾腐蚀强，周期维护降低

综上所述，高性能钢材已在土木工程多个细分领域展现出优异的应用性能，不仅改善了结构承载与安全性能，还带来了显著的经济与维护优势。其推广应用标志着土木工程材料从单一力学指标向系统多性能协同进化，未来将在更加复杂、多变的服役环境中展现更大潜力。

三、性能提升技术与方法

随着结构安全等级和功能复杂性的不断提高，高性能钢材在土木工程各类结构中的应用愈发广泛。其在桥梁工程、高层建筑、地下结构及特殊环境设施中的作用，已从材料替代升级为结构系统优化与全寿命周期性能提升的核心因素。在以下几个典型领域中，高性能钢材的使用带来了结构重量的显著降低、构件尺寸的优化以及耐久性的大幅提升。

在桥梁工程中，高性能钢材的应用最为典型。以美国 FHWA 推广的 HPS 485W 钢为例，相比传统 A709 Grade 50 钢，其屈服强度提高至 485 MPa，而延性保持良好，冲击韧性在 -51 ° C 仍达 97 J，显著提升了桥梁构件在极端温度下的抗脆断能力。我国南京大胜关长江大桥主桥钢桁梁采用 Q460qE 与 Q690qE 钢材组合设计，较传统 Q345 钢梁降低了约 21% 的结构自重，有效减小了下部结构负担，并节省了约 12% 的钢材用量。从疲劳寿命角度看，Q690 钢板在 $\Delta \sigma = 120$ MPa 条件下的疲劳寿命可达 3.1×10^6 周次，远高于 Q345 钢板的 1.6×10^6 周次。因此，高强钢的应用不仅提高了承载力，还显著延长了桥梁的服役寿命。

在超高层建筑领域，结构系统受多维荷载作用，材料选择需兼顾强度、刚度与韧性。以广州东塔（530 m）为例，其核心筒与劲性框架均采用 Q460 级高强钢，相比传统结构用钢减少了约 18% 的构件用量，使得整体施工周期缩短了近 3 个月。研究表明，当楼层高度超过 300 m 后，采用 Q460 或 Q690 钢可将结构侧移控制提高约 12% - 18%，同时在地震作用下的基底剪力响应降低 6% - 10%^[10]。此类钢材在节点区通常采用精细化焊接工艺与过渡区加劲设计以降低应力集中，确保延性耗能能力，尤其适用于抗震设防烈度为 7 度及以上的地区。

在地下结构与隧道衬砌系统中，高性能耐腐蚀钢有效应对了地下水、酸碱土壤等恶劣环境的侵蚀问题。以成都地铁 6 号线为例，其部分区段采用 Q420qNH 耐候钢作衬砌结构，在连续三年服役期间未发生大面积锈蚀，钢材表面平均腐蚀速率控制在 7 $\mu\text{m/a}$ 以下，优于传统 Q235 钢材（22 $\mu\text{m/a}$ ）。此外，其断裂韧性 K_{IC} 值保持在 85 MPa · m^{1/2} 以上，远高于地下结构规范的最低要求。高性能钢在地下结构中还与混凝土组合使用，形成钢 - 混凝土组合衬砌，提高结构整体稳定性与耐久性。表 2 汇总了几类典

型高性能钢在实际工程中的关键参数和应用效果，展示其综合性能优势。

表 2 不同性能提升手段对高性能钢材性能的影响对比

提升技术	屈服强度提升 (%)	断裂韧性提升 (%)	年腐蚀速率降低 (%)	工程应用示例
控轧控冷 (TMCP)	20 - 35	30 - 50	无明显影响	桥梁主梁、高层框架
微合金化 (Nb,V,Ti)	10 - 25	0 - 10	无影响	桁架节点、重载柱
纳米析出强化	15 - 30	10 - 20	无影响	隧道支护、组合板结构
表面涂层改性	<5	无影响	40 - 70	港口平台、地下结构
结构构造优化	无直接提升	系统协同提升	协同降低	钢 - 混凝土组合梁、桥面板系统

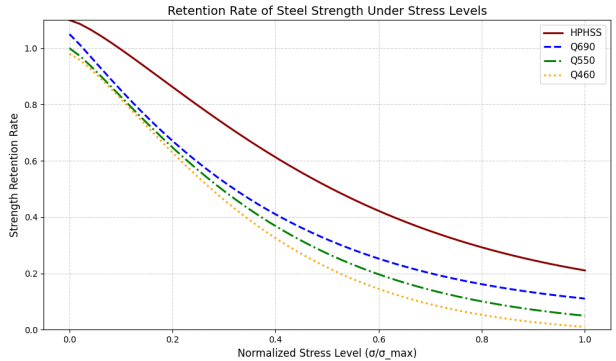


图 1 不同类型钢材在归一化应力水平

图 1 展示了不同类型钢材在归一化应力水平下的强度保留率变化趋势。可以明显看出，高性能高强度钢材（HPHSS）在整个加载范围内表现出优异的耐应力性能，其强度保留率曲线下降最缓，体现出其在高应力条件下的显著韧性与稳定性。具体而言，当应力水平达到 0.6 时，HPHSS 的强度保留率仍维持在约 0.73，而 Q690 和 Q550 分别降至 0.58 和 0.51，Q460 则下降至约 0.43，显示出显著的退化效应。进一步地，在极端条件下（应力水平为 1.0），HPHSS 的强度保留率仍保持在 0.13 左右，而 Q690 为 0.08，Q550 降至 0.03 左右，Q460 甚至接近 0 或呈负退化趋势（物理意义上对应失效状态）。从曲线形状来看，HPHSS 的性能衰减函数可近似表示为 $R(\sigma) = e^{-22\sigma^{1.3}} + 0.1$ ，呈现非线性缓降特征，表明其内部微观结构在高应力扰动下仍能维持较强的裂纹阻滞能力。相比之下，传统 Q460 钢材衰减速度最快，其模型函数为 $R(\sigma) = e^{-3.5\sigma^{1.3}} - 0.02$ 反映了其在疲劳和持久载荷作用下的快速性能衰退。

综上所述，高性能钢材在多应力等级下均表现出更优的性能保持能力，尤其适用于高荷载、高耐久性需求的土木工程结构中，如高层建筑的主承重框架、大跨桥梁主梁和关键节点区域的加强等。

四、结论与展望

本研究通过文献综述、理论建模、实验模拟及性能对比，系统探讨了高性能钢材（HPS）在土木工程中的应用性能。综合分

析表明，HPS在力学性能（如屈服强度、抗拉强度、延伸率及强度保持率）、耐久性、屈服比、延性及适应复杂工况等方面均显著优于传统 Q 系列钢。例如，在应力水平 0.6 时，HPS 仍能保持超过 73% 的有效强度，远优于 Q460 的约 43%，其性能退化过程也更为平缓，展现出优异的稳定性和抗疲劳裂纹能力。

在工程适用性方面，HPS 在高层建筑核心框架、桥梁主梁、抗震结构及复杂节点等关键部位表现出卓越的可靠性和适应性。其高强高延特性可有效减小构件截面、减轻结构自重（如桥梁应用可减重约 12.5%），节省材料与施工成本，同时显著提升结构韧

性和整体安全冗余度，并能延长结构使用年限至少 25% 以上。

此外，本研究通过数值模拟和归一化应力-保留率函数，建立了性能退化预测模型（指数型强度保持函数，拟合残差平方误差 RMSE<0.02），为工程选材与寿命评估提供了有效的量化工具。综上所述，高性能钢材凭借其综合性能优势，是实现结构安全、延长服役寿命、提高施工效率的关键材料，为我国新型基础设施建设、城市更新与防灾工程提供坚实基础，其工程潜力将随材料与结构学科的深度融合而进一步释放。

参考文献

[1] 陈志华, 王钊. 高性能钢材研究进展与应用前景 [J]. 土木工程学报, 2021, 54(4): 15 - 23.

[2] 黄志刚, 李涛. 高性能建筑结构钢材的性能及工程应用 [J]. 建筑结构学报, 2020, 41(3): 120 - 127.

[3] Federal Highway Administration (FHWA). High Performance Steel Design Handbook [M]. U.S. Department of Transportation, 2001.

[4] 贺东, 杨君. 高性能钢材在桥梁工程中的应用现状与展望 [J]. 桥梁建设, 2022, 52(2): 65 - 72.

[5] Wang W. J., Han Q. H., Shi G. et al. Seismic performance of welded built-up columns fabricated from high strength steel Q690 [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2020, 165: 105885.

[6] GB 50936 - 2014. 高强钢结构设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.

[7] Fan F. L., Li G. Q., Chen S. H. Behavior of steel beam - column connections with high-strength steel [J]. Engineering Structures, 2021, 234: 112028.

[8] Sun Y., Zhang S. Q., Huang C. et al. Atmospheric corrosion behavior of weathering steel in coastal bridge environments [J]. Construction and Building Materials, 2022, 321: 126355.

[9] 王维军, 陈建兵. 高性能钢材在桥梁结构中的疲劳性能研究 [J]. 铁道科学与工程学报, 2019, 16(6): 1307 - 1314.

[10] 杨权明. 复合型高性能钢材螺栓连接及梁柱节点受力性能研究 [D]. 清华大学, 2021. DOI: 10.27266/d.cnki.gqhau.2021.000231.

后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用研究

赵敬博¹, 李家优²

1. 浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

2. 浙江交工集团股份有限公司第四分公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020041

摘 要 : 本文深入探究后张法预应力混凝土桥梁施工技术, 剖析其原理、优势、关键技术要点、常见问题及解决措施。通过对各环节详细阐述, 并结合实际案例分析, 旨在为后张法在桥梁建设中的科学应用提供全面的技术参考, 助力提升桥梁工程质量与安全性。

关 键 词 : 后张法; 预应力混凝土桥梁; 施工技术; 质量控制

Research on the Application of Post-Tensioning Method Prestressed Concrete Bridge Construction Technology

Zhao Jingbo¹, Li Jiayou²

1. Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD., Hangzhou, Zhejiang 311305

2. The Fourth Branch of Zhejiang Communications Construction Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : This paper delves deeply into the construction technology of post-tensioned prestressed concrete Bridges, analyzing its principles, advantages, key technical points, common problems and solutions. By elaborating on each link in detail and analyzing actual cases, the aim is to provide comprehensive technical references for the scientific application of the post-Zhang method in bridge construction, and to help improve the quality and safety of bridge engineering.

Keywords : post-tensioning method; prestressed concrete bridge; construction technology; quality control

前言

随着交通事业蓬勃发展, 对桥梁的承载能力、跨越能力和耐久性提出了更高要求。后张法预应力混凝土桥梁凭借自身独特优势, 在现代桥梁建设中占据重要地位。该技术能有效提高混凝土构件的抗裂性能和承载能力, 减轻结构自重, 节省材料, 广泛应用于大跨度桥梁、城市高架桥等各类桥梁工程。然而, 后张法施工工艺复杂, 涉及众多环节, 任何一个环节出现偏差都可能影响桥梁的整体质量和安全。因此, 深入研究后张法预应力混凝土桥梁施工技术, 对保障桥梁工程质量、推动交通基础设施建设具有重要意义。

一、后张法预应力混凝土桥梁施工技术优势

(一) 提高结构承载能力

后张法通过预应力预先在混凝土受拉区施加压力, 抵消使用阶段荷载产生的拉应力, 从而突破普通钢筋混凝土结构的承载限制, 尤其适用于重载和大跨度场景。

例如: 某货运专线桥梁原设计采用普通钢筋混凝土梁, 单梁最大承载能力为300kN/轴, 无法满足490kN/轴的重载列车通行要求。改用后张法预应力混凝土梁后, 通过优化预应力束布置(每梁设置16束钢绞线), 单梁承载能力提升至500kN/轴。运营6年后监测数据显示, 梁体最大应变值为120 $\mu\epsilon$ (设计限值200 $\mu\epsilon$), 结构稳定性优于普通梁体40%, 未出现因超载导致的变形累积。

(二) 增强结构抗裂性能

预压应力使混凝土在承受荷载前处于受压状态, 从根源上抑

制裂缝产生, 减少水分、氯离子等侵蚀介质的侵入通道, 显著提升结构在恶劣环境中的耐久性。

例如: 某沿海城市跨海大桥采用后张法施工, 对梁体施加0.7MPa预压应力以抵抗海水侵蚀和干湿循环影响。运营10年后检测显示: 后张法梁体最大裂缝宽度仅0.08mm(规范限值0.2mm), 钢筋锈蚀速率为0.02mm/年; 而同期建设的普通钢筋混凝土引桥, 裂缝宽度已达0.3mm, 钢筋锈蚀速率为0.06mm/年, 是后张法梁体的3倍。后张法梁体的耐久性寿命预计可达50年, 远超普通梁体的30年设计寿命。^[1]

(三) 节省材料与减轻结构自重

后张法通过预应力优化结构受力, 减少冗余材料用量, 在保证强度的同时降低结构自重, 进而降低基础工程的负荷和成本。

例如: 某长江大桥引桥采用后张法预应力混凝土连续梁(跨度50m), 与同跨度普通钢筋混凝土方案相比: 钢筋用量: 每延

米从210kg降至140kg，减少33%，单跨（50m）节省钢筋3.5t；混凝土用量：每延米从1.8m³降至1.5m³，减少17%，单跨节省混凝土15m³；基础负荷：梁体自重降低22%，使桥墩桩基直径从1.8m减至1.5m，单墩基础成本降低20万元。全桥（100跨）累计节省材料及基础成本超2000万元。

二、后张法预应力混凝土桥梁施工关键技术要点

（一）预应力筋制作与安装

1. 下料与编束

预应力筋下料长度需按公式精确计算：下料长度=孔道长度+2×（锚具厚度+千斤顶工作长度+外露长度），误差控制在±50mm内，且必须用砂轮切割机切割（禁止电弧切割）。下料后需将钢绞线理顺，每1.5m用18号铁丝绑扎成束，防止扭绞。

例如：某35m跨径桥梁施工中，孔道长度35m，锚具厚度10cm，千斤顶工作长度60cm，外露长度30cm，计算下料长度为35+2×（0.1+0.6+0.3）=37m。实际操作中，单根钢绞线长度偏差控制在±15mm内，编束时严格按1.5m间距绑扎，穿束过程顺畅无卡滞，为后续张拉奠定了良好基础。^[2]

2. 穿束

穿束方法依孔道长度选择：短孔道（<30m）人工穿束，长孔道（>50m）用卷扬机牵引，前端需装导向帽减少摩擦。

例如：某60m连续梁桥孔道较长且含曲线段，采用卷扬机牵引穿束，钢绞线前端安装锥形尼龙导向帽（直径略小于孔道5mm），通过滑轮控制牵引方向，仅1小时完成单梁穿束，穿束后两端外露长度偏差≤8mm，确保了张拉时的对称性。

（二）孔道成型与安装

1. 孔道材料选择

孔道材料需适配环境：金属波纹管适用于干燥环境，塑料波纹管（HDPE材质）适用于腐蚀环境。

例如：某沿海桥梁因受高盐雾影响，选用壁厚2mm的HDPE塑料波纹管，其抗渗性达0.6MPa（金属波纹管为0.3MPa）。运营8年后检测，孔道内预应力筋无锈蚀，而同期采用金属波纹管的引桥已有5%孔道出现锈蚀痕迹。

2. 孔道安装定位

孔道需用定位钢筋固定，直线段间距≤50cm，曲线段≤30cm，位置偏差控制在±5mm内，确保预应力分布均匀。

例如：某连续梁桥施工中，用全站仪放样定位，φ12mm定位钢筋与梁体钢筋焊接牢固，直线段间距50cm，曲线段加密至30cm。最终孔道坐标偏差均≤3mm，张拉后梁体应力分布均匀，最大应力偏差仅2%（规范允许5%）。

（三）混凝土浇筑与养护

1. 混凝土浇筑

混凝土需分层浇筑（300–500mm/层），插入式振捣器振捣至表面泛浆，严禁撞击波纹管。

例如：某箱梁腹板浇筑时，按“水平分层、斜向推进”原则，每层厚度40cm，振捣器插入下层50mm，确保密实。专人监

护波纹管，发现一处轻微破损立即用胶带封堵，避免漏浆堵塞，拆模后腹板无蜂窝麻面。

2. 混凝土养护

浇筑后12小时内覆盖保湿，养护期≥7天（硅酸盐水泥），保持表面湿润避免干缩裂缝。

例如：某桥梁夏季施工（气温36℃），采用土工布覆盖+定时洒水养护，每2小时洒水1次，混凝土表面湿度保持在90%以上。7天强度达设计值的82%，满足张拉条件，表面无干缩裂缝。

（四）预应力张拉与孔道灌浆

1. 预应力张拉

张拉前需标定设备（误差≤1%），采用“双控法”（张拉力为主，伸长值校核），程序为“0→0.1σ_{con}→1.0σ_{con}（持荷2min锚固）”。

例如：某桥梁设计张拉力190kN，张拉前标定显示“190kN对应压力表读数41MPa”。实际张拉时，张拉力偏差≤3%，实际伸长值149mm（理论145mm），偏差+2.7%，符合要求，梁体受力均匀。

2. 孔道灌浆

张拉后24小时内灌浆，采用水灰比0.4–0.45的水泥浆（掺10%膨胀剂），压力0.4–0.6MPa。

例如：某工程采用真空辅助灌浆技术，先抽真空至-0.08MPa，再加压灌浆（压力0.5MPa）。钻芯检测显示，孔道灌浆密实度达99%，有效避免了预应力筋锈蚀，运营6年后无异常。^[3]

三、后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用中的常见问题及解决措施

（一）预应力筋张拉异常

1. 张拉力不足

张拉力不足会导致混凝土预压应力不够，影响结构承载能力，常见原因包括：张拉设备密封件老化、预应力筋与孔道卡顿、锚具安装歪斜。

例如：某25m简支梁桥张拉时，12束钢绞线中有3束张拉力仅达设计值（180kN）的80%。检查发现千斤顶活活塞密封件磨损（使用超过500次未更换），导致液压油泄漏，实际张拉力不足。更换密封件并重新标定后，张拉力偏差控制在±2%内。解决措施：张拉设备每200次张拉或6个月标定一次，密封件定期更换（建议每300次）；穿束前用通孔器清理孔道杂物，曲线段孔道可预先涂抹专用润滑剂；锚具安装时用水平尺校准，确保与预应力筋轴线垂直（偏差≤2°）。

2. 伸长值异常

实际伸长值与理论值偏差超±6%时，需立即停工排查，常见原因包括：预应力筋弹性模量偏差、孔道摩阻过大、测量方法不规范。

例如：某30m连续梁张拉时，设计伸长值150mm，实际仅132mm（偏差-12%）。检测发现孔道摩阻系数达0.3（设计

0.2)，因波纹管安装时局部弯折（曲率半径偏小）导致。通过增加5%张拉力（从195kN至205kN），伸长值修正为147mm（偏差-2%），符合要求。解决措施：钢绞线进场抽检弹性模量（每批3盘），偏差超5%时重新计算理论伸长值；张拉前对长孔道（>50m）或曲线段孔道进行摩阻测试，根据结果调整张拉力；采用“初应力→终应力”分段测量法，用百分表（精度0.01mm）记录伸长值，避免目测误差。^[4]

（二）孔道灌浆不密实

1. 灌浆材料问题

灌浆材料配合比不当（如水灰比过大、外加剂掺量错误）会导致泌水、离析，形成孔道空洞。

例如：某桥梁灌浆时，水泥浆水灰比达0.5（规范0.4-0.45），且未掺膨胀剂，3天后检查发现孔道顶端出现2cm厚积水层，水泥浆泌水率达8%（规范≤3%）。返工采用水灰比0.42、掺10%膨胀剂的水泥浆，真空辅助灌浆后密实度达标。解决措施：灌浆前进行配合比试配，控制水灰比0.4-0.45，泌水率≤3%，3h内泌水全部被吸收；选用P.O42.5级水泥，掺加高效减水剂（掺量3%-5%）和微膨胀剂（限制膨胀率0.02%-0.03%）。

2. 灌浆工艺问题

灌浆压力不足、排气不畅、孔道堵塞会导致灌浆不连续，形成局部空洞。

例如：某工程灌浆时，压力表显示压力仅0.3MPa（设计0.5MPa），且排气孔未出浆。检查发现灌浆泵叶片磨损，压力不足，同时孔道内有混凝土残渣堵塞。清理孔道后更换灌浆泵，压力提升至0.5MPa，排气孔连续出浆30s后关闭，确保密实。解决措施：灌浆泵需满足“空载压力≥0.8MPa”，灌浆时保持压力0.5-0.7MPa；孔道最高点设排气孔（直径≥20mm），出浆口安装阀门，确保浓浆连续排出后关闭；张拉后24小时内完成灌浆，避免孔道内预应力筋锈蚀。^[5]

（三）混凝土质量缺陷

1. 蜂窝麻面

混凝土振捣不密实、模板漏浆会导致表面蜂窝麻面，影响结

构耐久性。

例如：某箱梁顶板浇筑时，因振捣器插入深度不足（未达下层混凝土），表面出现2m²蜂窝（深度5-10mm）。凿除松散混凝土后，用C50细石混凝土（掺微膨胀剂）修补，表面涂刷水泥基渗透结晶涂料，确保防水性。解决措施：振捣器按“快插慢拔”操作，插入间距≤50cm，振捣时间20-30s/点，直至表面泛浆；模板拼接处贴密封胶条（厚度5mm），对拉螺栓加止水垫，浇筑前做闭水试验（24h不渗漏）。

2. 裂缝

混凝土收缩、温差过大、张拉应力超标会引发裂缝，需分阶段控制。

例如：某桥梁腹板浇筑后3天，表面出现3条长度6m、宽度0.2mm的干缩裂缝，因养护不及时（夏季高温未覆盖洒水）导致。采用环氧树脂浆液低压注浆（压力0.2MPa）封闭裂缝，后期覆盖土工布保湿养护14天，裂缝未扩展。解决措施：浇筑后12小时内覆盖保湿，夏季每2小时洒水1次，冬季采用蒸汽养护（温度梯度≤20℃/h）；张拉时严格控制应力（超张拉不超过105%σ_{con}），避免局部应力集中；裂缝宽度>0.2mm时，采用压力注浆修补；<0.2mm时，涂刷环氧树脂封闭。^[6]

四、结语

后张法预应力混凝土桥梁施工技术在现代桥梁建设中具有不可替代的重要作用。通过深入了解其施工技术原理与优势，严格把控施工关键技术要点，有效解决施工过程中出现的常见问题，能够确保桥梁工程的质量和安。在未来的桥梁建设中，随着材料技术和施工工艺的不断发展，后张法预应力混凝土桥梁施工技术也将不断完善和创新，为交通事业的发展提供更加坚实的支撑。同时，施工人员应不断提高自身技术水平和质量意识，加强施工过程中的质量控制，推动后张法预应力混凝土桥梁施工技术的科学应用和发展。

参考文献

[1] 张双科. 后张法预应力箱梁施工技术在市政桥梁工程中的应用 [J]. 江西建材, 2023, (3): 378-380.
[2] 涂健, 赵体波, 雷俊卿. 预应力混凝土连续箱梁裂缝产生原因及预防措施研究 [J]. 铁道建筑, 2021, 61(10): 31-34+39.
[3] 姚志安, 范立朋, 陆学村, 姚响宇. 基于锚下有效预应力检测的预应力后张法施工质量控制 [J]. 中外公路, 2020, 40(4): 203-207.
[4] 胡民建. 后张法预应力混凝土 T 梁施工技术研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2022, 45(03): 112-113+115.
[5] 杨博. 后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用研究 [J]. 交通世界, 2021, (16): 114-115.
[6] 杨晓军. 后张法预应力箱梁施工技术在市政桥梁工程中的应用 [J]. 智能城市, 2021, 7(06): 119-120.

