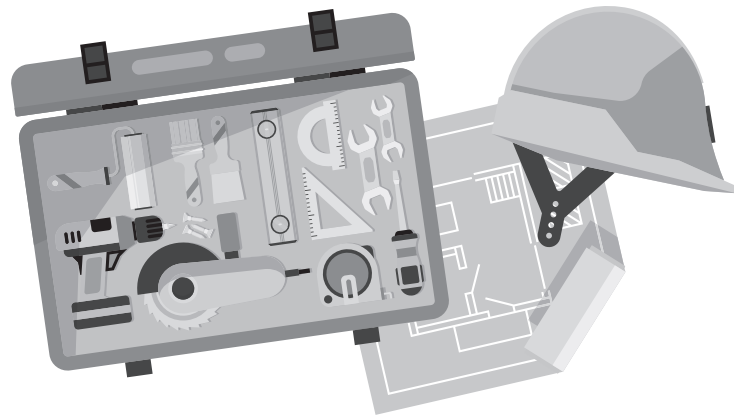


工程技术 与质量管理

Engineering Technology and Quality Management



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



Editors-in-Chief

Yulei Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co. LTD.

Haizhong Gao

Zhejiang Zhongnan Construction Group Co. LTD.

Associate Editor

Pengyue Yu

Shandong Construction Engineering (Group) Co., LTD.

Editorial board member

Sanath Alahakoon

School of Engineering and Technology Centre for Railway Engineering

Salahuddin Azad

School of Engineering and Technology Institute for Future Farming Systems,
Centre for Regional Economies and Supply Chains

Yungang Wang

Ordos Sports Development Center

Qigui Chi

Expert Committee of China Construction Supervision Association

Danhui Chi

Fujian Provincial Institute of Engineering Supervision and Project Management
Association

Yahui Chi

Fujian Provincial Civil Engineering and Construction Industry Association

Chunxiu Liu

Fujian Provincial Association of Engineering Construction Quality and Safety

Guixiong Yang

Yunnan Bo'ao Construction Engineering Consulting Co., Ltd.

工程技术与质量管理

Engineering Technology and Quality Management

第3卷 第11期 2025年11月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程技术与质量管理》编辑部

ISSN(O): 2992-9806

ISSN(P): 2995-3170

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。



工程技术 | ENGINEERING TECHNOLOGY

- | | | |
|-----|---|---|
| 001 | 爬模施工斜拉桥超高 A 型索塔模板配置设计优化分析
Optimization Analysis of Formwork Configuration Design for Super High A-type Cable
Tower of Cable-Stayed Bridge in Climbing Formwork Construction | 杨暘
Yang Yang |
| 005 | 化工企业废弃物资源化处理研究
Study on Waste Recycling Treatment of Chemical Enterprises | 冯孝龙
Feng Xiaolong |
| 008 | 不同结构参量的红外透热烟具对颗粒型加热卷烟温度场
及热解产物分布影响研究
李延岩, 王孝峰, 陈健, 赵锦花, 丁乃红,
张晓宇, 曹芸, 管明婧, 周顺
Effects of Infrared Heat-transparent Smoking Devices with Different
Structural Parameters on the Temperature Field and Pyrolysis product
Distribution of Granular-type
Heated Cigarettes
Li Yanyan, Wang Xiaofeng, Chen Jian, Zhao Jinhua, Ding Naihong,
Zhang Xiaoyu, Cao Yun, Guan Mingjing, Zhou Shun | |
| 014 | 地铁公共区装修设计与施工研究
Research on Decoration Design and Construction of Subway Public Areas | 康露
Kang Lu |
| 017 | 施工企业项目管理中简单数字化工具的选择与使用研究
Research on the Selection and Utilization of Simple Digital Tools in Project
Management of Construction Enterprises | 董重康
Dong Chongkang |
| 020 | 新航海技术对船舶避碰自动化的影响研究
Research on the Impact of New Navigation Technologies on Ship Collision
Avoidance Automation | 汤斌
Tang Bin |
| 023 | 基于磁性纳米材料的样品前处理技术在食品检测中的应用
Application of Magnetic Nanomaterials Based Sample Pretreatment
Technology in Food Testing | 刘琛琛, 张涛
Liu Chenchen, Zhang Tao |
| 026 | 机械化采煤技术在薄煤层中的应用研究
Study on the Application of Mechanized Coal Mining Technology in
Thin Coal Seam | 黄廷选
Huang Tingxuan |
| 029 | 建筑材料检测在建筑工程中的重要性
The Importance of Building Materials Testing in Construction Projects | 彭爱兰
Peng Ailan |
| 032 | 分析建筑进度管理在建筑工程管理中的重要性
Analyzing the Importance of Construction Schedule Management
in Construction Project Management | 黄永刚
Huang Yonggang |
| 035 | 房地产项目成本管控中的造价管理难点与突破
Difficulties and Breakthroughs in Cost Management in
Real Estate Project Cost Control | 吴璇
Wu Xuan |
| 038 | 跨江便道桥钢箱梁顶推施工技术 with 结构计算
Push Construction Technology and Structural Calculation of Steel Box
Girder for River-Crossing Access Bridge | 李锐
Li Rui |
| 041 | 大数据下高速公路工程信息化成本控制策略
Cost Control Strategy of Highway Engineering
Informatization under Big Data | 杨育忠
Yang Yuzhong |
| 044 | 无人机遥感技术在测绘工程中的应用与发展趋势
Application and Development Trends of UAV Remote Sensing Technology
in Surveying and Mapping Engineering | 朱江
Zhu Jiang |
| 047 | 大数据驱动的危险源辨识与动态风险评估方法
Big Data-Driven Hazard Identification and Dynamic Risk
Assessment Methods | 黄大勇, 胡海英
Huang Dayong, Hu Haiying |
| 050 | 基于深度学习的锅炉燃烧优化控制算法研究
Research on Boiler Combustion Optimization Control
Algorithm based on Deep Learning | 王猛, 侯荣利, 柴尚荣
Wang Meng, Hou Rongli, Chai Shangrong |

053	基于 BIM 的装配式建筑智能技术管理研究 Research on Assembly Intelligent Technology and Quality Management Based on BIM	王志留, 王钰龙, 徐理, 汤佳宝, 潘洪科, 曹俊 Wang Zhiliu, Wang Yulong, Xu Li, Tang Jiabao, Pan Hongke, Cao Jun
057	大比例旧沥青混合料厂拌热再生技术在公路养护中的应用 Application of High-Proportion Plant-Mixed Hot Recycling Technology for Reclaimed Asphalt Pavement in Highway Maintenance	张忠文 Zhang Zhongwen
060	市场监管: 软件项目管理与舆情监测技术融合应用 Market Regulation: Integrated Application of Software Project Management and Public Opinion Monitoring Technology	何英杰 He Yingjie
064	公路工程试验检测体系的构建与实践 Construction and Practice of Highway Engineering Test and Inspection System	胡杰 Hu Jie
067	建筑工程检测技术在地基基础工程中的应用及研究 Application and Research of Construction Engineering Testing Technology in Foundation Engineering	关沛斌 Guan Peibin
070	房地 产工程技术管理与风险管理的协同机制研究 Research on the Collaborative Mechanism of Real Estate Engineering Technology Management and Risk Management	谭中辉 Tan Zhonghui
073	市政工程技术管理中的风险管理策略研究 Research on Risk Management Strategies in Municipal Engineering Technical Management	肖凌 Xiao Ling
076	新能源发展对煤炭市场消费的影响研究 Study on the Influence of New Energy Development on Coal Market Consumption	张瑞军 Zhang Ruijun
079	绿色低碳节能建筑中自然通风与机械通风协同控制策略对室内热舒适及能耗影响研究 Research on the Impact of Synergistic Control Strategies for Natural and Mechanical Ventilation on Indoor Thermal Comfort and Energy Consumption in Green, Low-Carbon, and Energy-Efficient Buildings	张露兮 Zhang Luxi
082	生物检测技术在食品检测中的应用 Application of Biological Detection Technology in Food Testing	张涛, 刘琛琛 Zhang Tao, Liu Chenchen
085	分析道路桥梁维修与加固施工技术 Analysis of Construction Techniques for Maintenance and Reinforcement of Road and Bridge Structures	毛远东 Mao Yuandong
088	房屋建筑工程管理中的进度管理策略 Progress Management Strategies in Housing Construction Engineering Management	黄嘉亮 Huang Jialiang
091	建筑工程现场施工技术管理措施分析 Analysis of Technical Management Measures for Construction Site in Architectural Engineering	李明杰 Li Mingjie

水电工程 | HYDROPOWER ENGINEERING

094	火电厂脱硫废水零排放处理技术的工程应用与经济环境效益评估 Engineering Application and Economic and Environmental Benefit Assessment of Zero Discharge Treatment Technology for Desulfurization Wastewater in Thermal Power Plant	杨朴淘 Yang Putao
097	提高办公楼空调冷冻水压力稳定性的改造 Renovation to Improve the Pressure Stability of Chilled Water in Office Building Air-Conditioning Systems	卢汉 Lu Han
100	高水压条件下地铁盾构机防水密封施工技术要点 Key Technical Points for Waterproof Sealing Construction of Subway Shield Machines under High Water Pressure Conditions	徐东升 Xu Dongsheng
103	基于局部放电监测的高压试验方法优化研究 Optimization Study of High-Voltage Test Methods Based on Local Discharge Monitoring	郭兴帅, 马晓玮 Guo Xingshuai, Ma Xiaowei
106	水利工程运行维护的智能化管理模式研究 Research on Intelligent Management Mode for the Operation and Maintenance of Water Conservancy Projects	徐冉殷, 海平, 胥照, 于坚, 王旭 Xu Ranyin, Hai Ping, Xu Zhao, Yu Jian, Wang Xu
110	机械工程中电子元器件与机械结构的融合设计研究 Research on Integrated Design of Electronic Components and Mechanical Structures in Mechanical Engineering	刘新平 Liu Xinping
113	电气技术在能源行业工程管理中的应用与创新 Application and Innovation of Electrical Technology in Engineering Management of the Energy Industry	梁永波 Liang Yongbo
116	水利、房建、市政工程施工中的技术管理与工程风险管理研究 Research on Technical Management and Engineering Risk Management in Hydraulic, Building Construction, and Municipal Engineering Projects	刘承泉 Liu Chengquan

安全质量 | SAFETY QUALITY

119	建筑施工安全管理 Safety Management in Construction Projects	李锦焘 Li Jintao
122	公路路面施工质量控制常见问题与改进对策 Common Problems and Improvement Countermeasures in Quality Control of Highway Pavement Construction	张建胜 Zhang Jiansheng
125	钢波板在隧道加固施工中的应用及质量控制研究 Research on the Application and Quality Control of Steel Corrugated Plates in Tunnel Reinforcement Construction	方自冰, 骆建刚 Fang Zibing, Luo Jiangang
128	建筑信息模型 (BIM) 在房屋建筑工程施工质量追溯管理中的应用研究 Research on the Application of Building Information Modeling (BIM) in Quality Traceability Management of Housing Construction Projects	刘新强 Liu Xinqiang

131	预制叠合板生产过程中常见质量缺陷及防治措施 Common Quality Defects in the Production Process of Prefabricated Composite Plate and Prevention Measures	张正刚 Zhang Zhenggang
134	进度控制和质量控制在建筑施工中的作用与关系 The Roles and Relationships of Schedule Control and Quality Control in Construction Projects	陈军湖 Chen Junhu
137	能源电力工程中的机电技术管理与安全风险防控 Mechanical and Electrical Technology Management and Safety Risk Prevention in Energy and Power Engineering	唐明 Tang Ming

爬模施工斜拉桥超高 A 型索塔模板配置设计优化分析

杨阳

中交一公局第六工程有限公司, 天津 300451

DOI:10.61369/ETQM.2025110001

摘 要 : 对斜拉桥 A 型塔柱爬模施工模板配备方式进行深度分析, 合理规划, 确定最佳模板配置数量、材料类型、调配方式和拼接形式; 同时通过优化拉杆设置形式, 减少拉杆数量, 提高塔柱混凝土外观视觉形象, 在保证满足施工需求的同时, 达到经济投入最小, 工程施工快速, 过程操作便利, 外观质量提升的良好目的。

关 键 词 : 斜拉桥; A 型塔柱; 爬模施工; 模板; 拉杆

Optimization Analysis of Formwork Configuration Design for Super High A-type Cable Tower of Cable-Stayed Bridge in Climbing Formwork Construction

Yang Yang

NO.6 ENGINEERING CO., LTD. OF FHEC OF CCCC, Tianjin 300451

Abstract : Conduct a deep analysis of the template configuration method for the climbing formwork construction of A-type tower columns of cable-stayed bridges, plan reasonably, and determine the optimal template configuration quantity, material type, allocation method, and splicing form; At the same time, by optimizing the form of tie rod settings, reducing the number of tie rods, and improving the visual image of the tower column concrete appearance, while ensuring the satisfaction of construction needs, the goal of minimizing economic investment, rapid engineering construction, convenient process operation, and improving appearance quality is achieved.

Keywords : cable-stayed bridge; A-type tower column; climbing formwork construction; formwork; tie rod

引言

随着高速公路的迅猛发展, 施工技术不断提高, 斜拉桥因其跨径大、造型美观等特点被广泛应用到跨江(海)、山区及景区工程实际中^[1]。索塔作为斜拉桥十分重要的组成部分, 多以钢筋混凝土和钢结构建造而成, 主要呈“A”“H”和倒“Y”型^[2]。本文依托工程郑洛高速 ZLGSTJ-3 标后寺河特大桥索塔即为钢筋混凝土“A”型索塔, 以爬模工艺进行施工。该桥索塔造价高昂, 施工周期长, 桥梁位于青龙山景区内, 对成品外观质量要求相对较高^[3]。在工期目标既定的前提下, 如何通过技术手段, 快速地组织爬模施工, 高效地完成施工任务, 同时有效降低施工成本, 保证成品外观质量具有十分重要的研究意义。

一、工程概况

郑洛高速 ZLGSTJ-3 标后寺河特大桥为独塔双索面预应力混凝土斜拉桥, 左幅全长 387m, 右幅全长 417m。桥梁为塔、梁、墩固结体系, 索塔采用钢筋混凝土“A”型索塔, 由下塔柱、中塔柱、上塔柱、塔冠、上横梁、下横梁等组成。塔高为 207.5m (左幅)、211m (右幅), 索塔塔冠高 3m, 上塔柱高 98.7 (含塔冠)m, 中塔柱高 20m, 下塔柱高 91.5m (左幅)、95m (右幅),

横桥向的斜率为 1: 50, 顺桥向斜率为 1: 40。塔柱采用矩形空心截面, 在四角设置半径为 0.3m 的圆弧段。

根据结构特点、设计图纸说明, 结合以往施工经验, 索塔施工采用分节段施工方式进行, 标准节段高为 6m, 其余非标准段根据塔体结构及预埋件设置位置进行调整。左幅索塔共划分节段 37 节, 右幅索塔共划分阶段 38 节, 如图 1。

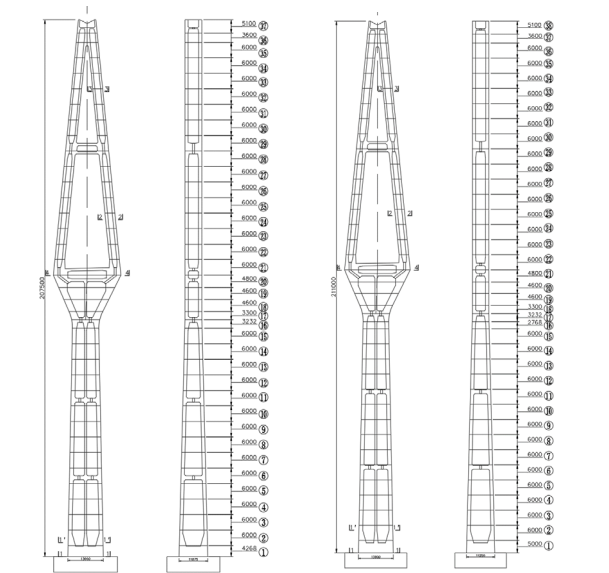


图1 左、右幅索塔施工节段划分

二、爬模模板配置分析

(一) 索塔外侧爬模模板配置

索塔外侧模板板面为欧洲原产进口 RigaWood 里加板, 板面尺寸为 $2440 \times 1220 \times 21\text{mm}$, 背面采用木工字梁加固, 最外侧安装双拼槽钢加劲背肋, 标准节段配置高度 6.15m 。索塔四角倒角采用定型钢模施工, 设计 $R=0.3\text{m}$ 圆弧倒角, 横、纵断面木工字梁模板与定型圆弧倒角钢模对顶螺栓固定。

(二) 索塔内部模板配置及分析

根据以往施工经验, 索塔内部模板配置形式主要分为两种: 第一种是内部平面位置采用外模同种形式的木工字梁模板, 阳角使用定型钢模板^[4]。其中木模在索塔不同节段施工时, 根据内部尺寸进行裁剪拼接, 如图2。

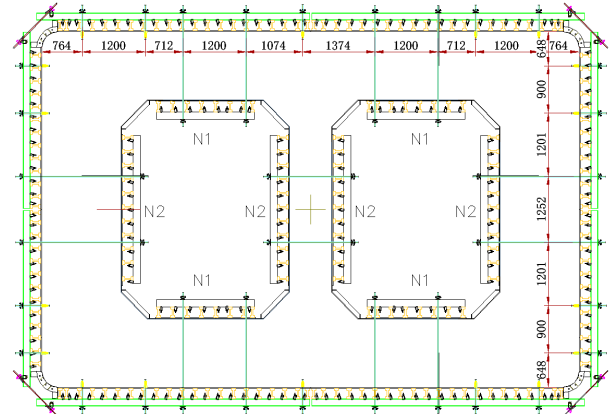


图2 第一种内模配置示意图

第二种是内部模板全部采用定型钢模板。模板制作时需结合索塔不同节段内部尺寸设置调节板块, 以便于模板拼接严密^[5], 如图3, 图4。

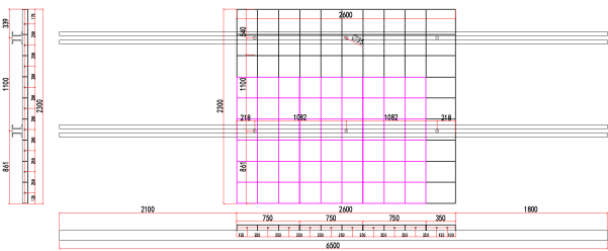


图3 第二种内模配置示意图

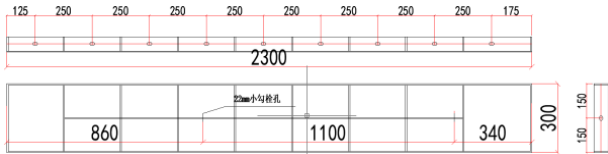


图4 第二种内模调节板块配置示意图

以上两种内模配置形式各有特点。第一种形式以木模板为主, 统一购置成品, 剪裁方便, 尺寸变化适应性强, 利于拼接; 且模板自身质量相对较轻, 施工过程中安装、搬运较便利; 在中塔柱施工时, 因结构尺寸逐渐加大, 可调用内模作为外模拼装使用, 减少外模剪裁和散拼数量^[6]。但木模板强度相对较低, 多次周转后会出现变形, 目前市场上木模专用脱模剂较少, 很大程度影响混凝土外观质量^[7]。同时进口 RigaWood 里加板爬模模板造价约 $650\text{元}/\text{m}^2$, 经济投入较大。

第二种形式全部采用钢模板, 前期设计、制作时间较长, 约月余时间完成, 模板自身质量较大, 搬运不变; 但钢模板强度大, 施工工艺成熟, 可通过调节板块完成尺寸变化拼接, 成品外观质量相对较好, 钢模造价约 $580\text{元}/\text{m}^2$, 最终使用完成之后仍有较大残余经济价值。

结合以上特点, 本项目综合考虑使用第二种内模形式, 如表1。

表1 内模形式比较分析表

序号	配置形式	强度	重量	造价	外观质量
1	木模	木模强度较低, 易变性	约 $102\text{kg}/\text{m}^2$	$650\text{元}/\text{m}^2$	成品外观质量相对较差
2	钢模	模板强度较高	约 $120\text{kg}/\text{m}^2$	$580\text{元}/\text{m}^2$	成品外观质量好

(三) 中塔柱外模拼装方式选用及分析

后寺河特大桥索塔中塔柱高 20m , 横桥向截面底部宽 10m , 顶宽 26m , 成倒梯形。施工中随着节段爬升, 横向需根据模板系统设计补充散拼木模, 初步设计2种拼装方式进行施工。

方式一:

在第三节下塔柱施工完成后, 横桥向外模不再进行裁剪, 以固定尺寸 $13.08 \times 6\text{m}$ 逐节段爬升, 以保证保留最大板面用于中塔柱施工, 从而减少倒梯形两侧区域散拼木模数量, 从而减少模板拼缝, 有利于提升外观质量。但索塔节段升高, 侧面宽度收敛, 模板悬挑部分将影响纵向爬模作业通道, 不利于人员作业通行, 增加了安全风险, 如图5。

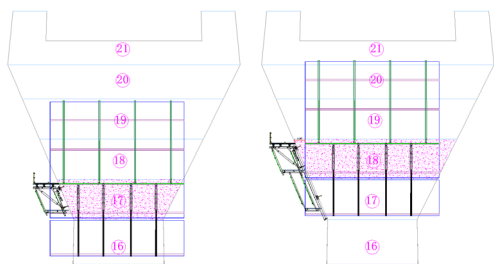


图5 方式一模板拼接示意图

方式二：

横桥向外模根据索塔节段尺寸裁剪，中塔柱施工时，最后一节下塔柱模板爬升，倒梯形两侧对称补充散拼菱形木模。该方式散拼模板数量较多，对接缝处理要求较高，但有效避免了模板与作业通道冲突问题，安全性高，可操作性强^[8]，如图6。

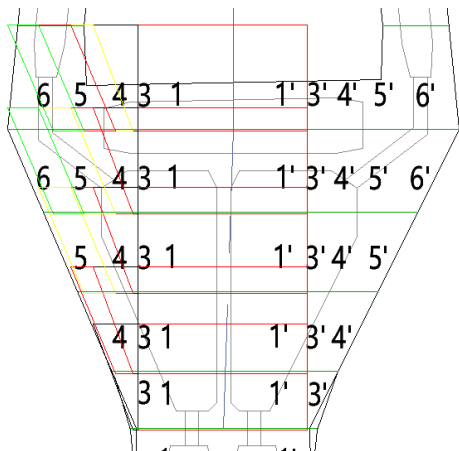


图6 方式二模板拼接示意图

根据该桥中塔柱形式和位置，综合考虑外观质量要求、安全性和可操作性等，本项目选用方式二进行中塔柱施工。

三、少拉杆模板工艺应用分析

（一）工艺原理

少拉杆模板工艺是在传统拉杆工艺基础上，适当加大拉杆杆径，增加单根拉杆受力强度，扩大拉杆间距，模板外侧增加竖向加强背肋与拉杆固定，增强模板整体稳定性，从而减少拉杆使用量^[9]，如图7。



图7 少拉杆模板成品图

（二）工艺特点

少拉杆模板工艺大大减少了拉杆使用量，可减少钢材耗材投入数量，便于工人操作，节省拉杆穿插安拆时间，提高施工效率。结构浇筑完成拆模后，混凝土表面拉杆孔少，有利于外观质量提升。

（三）技术要点

少拉杆模板系统由面板、主龙骨、次龙骨、加强龙骨和拉杆五部分组成。具体参数如表2：

表2 少拉杆模板系统参数表

序号	构件名称	材料及规格	布设间距
1	面板	21mm进口 RigaWood 里加板	/
2	主龙骨	双 14 号槽钢	1200mm
3	次龙骨	H20 木工字梁	270mm
4	加强龙骨	双 25 号槽钢	2400mm
5	拉杆	Φ 30mm 精轧螺纹钢	2400 × 2400mm

其中模板面板、主龙骨、次龙骨与常规工艺模板无较大差异。加强龙骨与主龙骨垂直竖向布设，通过拉杆与内模对拉固定，拉杆作用在加强龙骨，形成完整模板体系^[10]。

（四）效益分析

以后寺河特大桥右幅第8节模板为例进行计算分析：该节段高6m，横桥向均宽11.56m，纵桥向均宽8.45m。传统工艺拉杆作用于主龙骨上，间距为1200 × 1200mm，需布设 Φ 20 精轧螺纹钢拉杆216根，采用少拉杆模板工艺仅布设 Φ 30 精轧螺纹钢拉杆88根，拉杆数量减少约60%，每节段模板拼装节省约0.5天工期，具体分析见表3：

表3 单节段效益分析表

序号	项目	传统拉杆工艺	少拉杆工艺
1	材料	Φ 20 精轧螺纹钢拉杆216根	Φ 30 精轧螺纹钢拉杆88根，6.35m 长双 25 号槽钢22根
2	工效	模板、拉杆安装约2天	模板、拉杆安装约1.5天
3	人员	20 人进行拉杆安装	16 人进行拉杆安装
4	经济	材料费 拉杆：2m × 216根 × 2.466kg/m × 4 元 / kg=4261 元	材料费 拉杆：2m × 88根 × 5.549kg/m × 4 元 / kg=3906 元 加强龙骨： 2 × 5 × 6.35m × 27.4kg/m × 4 元 /kg=6960 元（一次性 费用） 人工费 16 人 × 260 元 / 天 × 1.5 天 =6240 元
		人工费 20 人 × 260 元 / 天 × 2 天 =10400 元	
			成品拆模后拉杆孔洞较少， 肉眼观察无密集感，外观质 量好，监理、业主认可度较 高。
5	社会	材成品拆模后拉杆孔洞较多	

由上综合得出：全桥索塔下塔柱共35节，可节省材料费约（4261-3906）× 35=6960元；节省人工费（10400-6240）× 35=145600元，节省合计费用15.1万元。节省工期约0.5 × 35=18天。

四、结论

通过对斜拉桥 A 型塔柱爬模施工模板配备方式进行对比分析,可有效根据实际问题优化模板设计和配置形式。采用少拉杆

模板工艺,可大量降低约 60% 拉杆数量,节省人工、材料成本投入,加快施工进度,缩短工期。同时可改善拉杆孔对成品外观质量的影响,促进工程质量整体提升。可为类似工程提供参考。

参考文献

- [1] 方大. 异形钢索塔斜拉桥风险评估与控制研究 [J]. 交通科技与管理, 2024, 5(13): 79-81.
- [2] 郭金英, 张育智. 无背索斜拉桥关键参数分析 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2013, 9(03): 175-178.
- [3] 郑一峰, 黄侨, 张连振. 部分斜拉桥结构参数分析 [J]. 公路交通科技, 2006(06): 60-65+84.
- [4] 卢继明, 刘瑜. 景观斜拉桥钢混组合索塔研究及设计 [J]. 中国市政工程, 2020(02): 108-111+136-137.
- [5] 韩海峰. 无背索斜拉桥结构体系与受力特点 [J]. 科技创新与应用, 2014(13): 179.
- [6] 刘健. 三塔斜拉桥不同位置设置 A 形索塔的刚度分析 [J]. 山西建筑, 2012, 38(09): 182-183.
- [7] 支燕武. 丹河大桥组合梁斜拉桥的设计与创新 [J]. 城市道桥与防洪, 2023(09): 138-140+18.
- [8] 陈应高. 山区超高三塔斜拉桥结构设计探讨 [J]. 交通科技, 2017(03): 33-36.
- [9] 刘义才. 斜拉桥主塔液压爬模施工技术研究 [J]. 四川建材, 2018, 44(07): 117-118.
- [10] 李朝阳, 冯鹏程, 吴游宇. 马岭河大桥的主塔设计 [J]. 中外公路, 2007(01): 96-98.

化工企业废弃物资源化处理研究

冯孝龙

山西省吕梁市生态环境局柳林分局, 山西 吕梁 033300

DOI:10.61369/ETQM.2025110003

摘要：在我国化工企业迅速发展的同时，化工企业废弃物产生量日益增加，如何有效地处置这些废物是当前面临的重要问题。本文在对我国化工企业废物进行系统归类的基础上，对其特征进行深入分析，对现有的物理、化学、生物和热处理等技术进行综合整理，并对其中的技术、管理和经济问题进行研究。希望本文的研究成果将对于我国化工企业废物资源化利用，促进我国化工企业的绿色、低碳转型，具有重要的科学意义和现实意义。

关键词：化工企业；废弃物；资源化处理；技术分析；优化路径

Study on Waste Recycling Treatment of Chemical Enterprises

Feng Xiaolong

Liulin Branch of Lvliang Municipal Bureau of Ecology and Environment, Shanxi Province, Lvliang, Shanxi 033300

Abstract： With the rapid development of China's chemical industry, the volume of industrial waste generated by enterprises has been increasing significantly. Effectively managing this waste has become a critical challenge. This study systematically classifies chemical industry waste in China, conducts an in-depth analysis of its characteristics, and synthesizes existing technologies including physical, chemical, biological, and thermal treatment methods. The research further examines technical, managerial, and economic aspects of these approaches. The findings aim to provide scientific insights and practical guidance for advancing waste resource utilization in China's chemical sector, thereby facilitating the industry's green and low-carbon transition.

Keywords： chemical industry; waste; resource treatment; technical analysis; optimization path

引言

化工企业是我国经济发展的一个重要支柱，它为社会提供了大量的化学品，但也带来许多废物。如果处置不当将会对土壤、水体、大气等环境产生严重的污染，对生态平衡与人体健康构成威胁，同时也是一种资源的浪费。根据有关数据，世界上每年产生的化学废物数量高达上亿吨，同时我国的化工废料产量也在不断上升。在“双碳”的背景下，随着社会对环境保护的日益重视，对化工企业中产生的废物进行资源化利用，既可以减轻环境污染，又可以减轻资源紧缺的局面，促进化工企业的可持续发展。因此深入开展化工企业废弃物资源化处理研究具有重要的现实意义。

一、化工企业废弃物分类与特性分析

（一）废弃物分类

在工业生产过程中，产生了大量的废物，按照不同的分类标准可以将其划分为各种类型，根据其化学特性，可分为有机废物、无机废物和混合废物。其中有机废物中的大部分都是易燃、易挥发和有毒的有机废物；无机废物重金属废渣主要包括重金属废渣、酸碱废液等，部分重金属废渣在土壤中存在较长时间的残留与生物富集；而混合垃圾既包含有机组分，又包含有机组分，因此处理起来更加困难。按其形态可分为固体废物、液体废物和

气体废物，其中固体废物，如化工废料、污泥等；液体废物包括各种污水和废物；气体废物是指在工业生产中产生的废气。另外，依据垃圾的危险程度，将其分为危险废弃物和一般废弃物，危险废弃物对环境和人体健康危害更为严重，需特殊处理。

（二）典型废弃物特性

重金属废渣通常含有Pb、Hg、Cd、Cr等重金属，它们在自然界中不易降解，可通过食物链进入人体，对神经系统、免疫、生殖等系统产生危害。比如，镉进入身体后，就会积聚在肾、骨等部位，引起一些严重的病症，如骨痛症。酸性废液是一种极具腐蚀性的物质，对管线及设备造成严重的腐蚀，如果不进行有效

地处理，将导致土壤酸化、pH降低，甚至会对生物和动植物造成危害。有机废气中含有大量的苯、甲苯、二甲苯、挥发性有机化合物（VOCs），除了具有刺激性的气味外，还有一些具有致癌、致畸、致突变的作用，在某些情况下，还会发生光化学烟雾，严重影响空气质量和人类身体健康^[1]。

二、现有资源化处理技术分析

（一）物理处理技术

物理处理是指将化学废物经过物理处理后，达到回收的目的，常用的物理方法有吸附法、过滤法、沉淀法、膜分离等。其中吸附法是指通过活性炭、分子筛等吸附剂对固体废物进行吸附，实现对固体废物的净化与富集，比如活性炭对 VOCs 有很好的吸附作用，能有效地减少尾气中的污染物含量，而且经过吸附饱和的活性炭可以进行再生回收。过滤技术是指利用过滤材料，如过滤元件、过滤元件等，将固体粒子从液相或气态水中分离出来，通常被应用于化学污水的处理，以脱除悬浮物及胶体物。沉淀技术是指将垃圾中的固体粒子通过重力沉降至容器底部，达到固液分离的目的，比如对含有重金属的化学废水，可以加入沉淀剂将其沉淀，再将其分离出来。膜分离是一种基于分子尺寸、电荷等不同的选择性渗透膜，通过对物质分子尺寸、电荷等的选择性渗透，已被广泛用于化学废水的处理及有机物料的回收，例如反渗透膜可以高效地脱除水中的盐及小分子有机物，达到水的循环利用。

（二）化学处理技术

化学处理是指通过对工业废料进行化学改性，将其转变成对人体无害或有用的物质，其中，中和法、氧化-还原法、化学沉淀法、焚烧法等是常用的方法。中和法是一种适用于酸、碱废水的中和工艺，它是在废水中加入碱、酸等物质，将溶液的酸碱性调整为中性或近中性，以减少废水的腐蚀性，比如用石灰中和废酸，就可以得到无毒的盐类和水。利用氧化-还原法将废物中的有毒、有害物质进行氧化、还原等处理，使其成为一种无毒或低毒性的物质，例如芬顿氧化技术在有机废水中的应用，其主要目的是通过双氧水与二价离子的作用来实现对难降解有机污染物的氧化，并将其转化为 CO_2 和 H_2O 。化学沉淀法是一种类似于物理沉淀的方法，它以化学反应的方式将污染物转化为沉淀物，例如在处理含重金属废水时，需要向其中加入硫化物等沉淀剂，使得重金属与硫离子发生反应，形成难溶的硫化物。焚烧法是指利用高温条件下的有机物，将其分解成二氧化碳、水和灰渣，并释放出巨大的热能，可以用来发电或加热。但是在燃烧过程中，还会生成二恶英等有毒、有害的污染物，因此必须对其进行有效地治理。

（三）生物处理技术

生物处理是指通过微生物的新陈代谢过程，对工业废物中的有机物进行降解，使之成为一种无毒或有用的资源，其处理方法有好氧、厌氧及生物修复三种。好氧是指在好氧环境下，由好氧微生物降解有机物生成 CO_2 和 H_2O 的过程。活性污泥工艺是指在

污水中充入氧气，使其与污水充分接触，并利用其中的有机质在污水中生长、增殖，达到对污水的净化效果。厌氧降解是指在厌氧环境中，由厌氧微生物降解有机物生成甲烷和二氧化碳等气体的过程，并生成可用作化肥或能源的污泥^[2]。而采用厌氧法可以对高浓度的有机废水进行高效的处理，还能产生清洁能源沼气，利用微生物或植物或其它有机体的新陈代谢作用来修复受污染的环境，例如利用特殊微生物对土壤或水中的有机污染物进行降解，从而达到修复生态环境的目的。

（四）热处理技术

热处理是将工业废料经过高温处理，使其理化性能发生变化的一种新工艺，常用的热加工方法有热解、气化、熔法等。其中热解是指有机物在无氧或乏氧环境下经高温裂解生成小分子气态、液态及固态残留物，其产物可用作燃料或化工原料，固体残留物可用作建材等，例如废旧塑料通过热解可以获得燃油和燃气。气化是指固体废弃物与气体（如氧气、水蒸气等）在特定的温度、压力下发生化学反应，得到以一氧化碳和氢气为主的合成气，用于发电、化工等领域。熔法是一种对无机废料的处理方法，例如在高温下熔化重金属废料，使重金属与炉渣分离，实现重金属的回收和炉渣的资源化利用，炉渣可制成建筑材料或其他工业原料。

三、资源化处理面临的问题与挑战

（一）技术瓶颈

当前，工业废物的资源化利用还面临着许多技术瓶颈，部分污水处理工艺适用范围较窄，难以有效地处理组成复杂的混合垃圾。生化处理方法仅能对某些种类的有机物进行处理，而不能有效地处理含各种难降解有机物的有机废水^[3]。另外，某些工艺的处理效果及回收利用率还不够高，例如热解法尽管可以实现对有机废物的回收，但仍面临着能源利用率低和产物分离难等问题。还有部分处理工艺也会带来二次污染，例如二恶英等，如果处理不好，又会给环境带来新的风险^[4]。

（二）管理问题

目前，我国化工企业对废物的回收利用管理还存在着许多问题。第一，我国垃圾分类标准不够健全，部分垃圾分类标准不够清晰，处置技术规范及监督要求不具有针对性，造成了企业垃圾处置的不规范。第二，由于缺乏有效的监督管理，导致一些企业为了减少生产成本，在生产过程中产生大量的废物，甚至是无组织地进行了处理，以规避监督。第三，垃圾处置责任界定不清，企业、政府及社会各主体在垃圾处置中的责任界定不清，造成垃圾处置工作的低效^[5]。

（三）经济制约

目前我国化工企业对废物的回收利用受到了很大的经济压力。一方面，垃圾处理设施的建设和运行费用都比较高，企业要在先进的处理设备和设施上进行投资，在设备的操作、维护和管理上，都要不断地投入资金，这对某些中小型的化工企业是一个很大的负担。另一方面，由于垃圾资源化利用的产物具有不确定

性和波动性，使得企业很难从回收产品中获取稳定的收入，从而影响了企业对其进行回收利用的动力，而且由于缺少税收优惠和财政补贴等经济激励措施，很难激发企业的积极性^[6]。

四、优化路径与建议

（一）技术创新方向

为解决我国化工企业废物资源化利用面临的技术瓶颈，必须加强科技创新，研究高效、自适应的污水处理工艺，着重解决污水中的多污染物协同处置问题，发展出一套可实现多污染物同步治理的一体化工艺。比如将物理化学、生物等多种技术有机融合，构成复合处理过程，以强化复合废物的处置效能。同时通过强化热解、气化等技术研究，优化过程参数，改善装置结构，提升能源利用效率及产品分离效率^[7]。在此基础上，进一步研究二次污染控制方法，发展二恶英等高效净化工艺，降低二次污染。同时积极探索利用纳米技术、生物技术等新技术与新技术，发展新技术，为固体废物的资源化利用提供新的途径^[8]。

（二）政策与管理建议

建立健全的政策和制度是促进化工企业废物资源化利用的根本保证，政府要加速建立相应的法律、法规、标准，对垃圾进行分类、处置技术规范，并建立严格的监督管理制度和惩罚办法，强化对企业废物处置行为的管理。同时加强监督管理，建立完善监督体系，运用信息技术对垃圾产生、运输、处置过程进行实时监测，杜绝监督管理的盲点。明确企业、政府、社会各主体在垃圾处置中的责任，并制定相应的问责机制，保证各方面都能有效地完成各自的工作^[9]。

（三）产业协同模式

建立行业协作模型，有利于提升化工企业废物资源化利用效

率与效益，促进企业与废弃物处置企业、科研院所和高等院校等单位的协作，建立产学研协同创新的体制。其中，由化工企业提供废物资源及应用场景，由废物处置企业进行处置与回收，由研究院所与大学进行技术研究与人才培养，实现各方面的优势互补，促进废物资源化利用的发展与应用^[10]。在此基础上，构建工业园区生活垃圾的协同处置机制，使生活垃圾集中收集、分类处置、资源共享。比如在工业园区建立一个统一的废物处置中心，将所有企业所产生的废物集中处置；将处理过程中产生的可利用资源在园区内企业间进行循环利用，提高资源利用效率并且降低处理成本。

五、结束语

综上所述，将工业废物进行资源化利用既能保护环境，又能节约资源，达到可持续发展的目的。我国城市生活垃圾的资源化利用已经取得了一些成绩，但是仍然存在着许多问题和挑战。本文从技术创新、政策管理、行业协同三个层面，对我国化工企业废物的分类和特征进行深入剖析，对现行工艺进行系统梳理，并对其中存在的问题进行系统的研究，从而为我国化工企业废物资源化利用提供技术支撑。未来，还需要政府、企业、科研机构以及社会各界的通力合作，继续增加研发和投入，使有关的政策和技术系统得到进一步的健全，使化工企业的废物得到有效的回收利用，促进化工产业绿色低碳转型，进而为建设美丽中国和实现可持续发展目标做出贡献。

参考文献

- [1] 郭少卿, 张腾, 李小宋, 等. 化工制药废弃物处理与资源化利用技术 [J]. 清洗世界, 2025, 41(04): 68-70.
- [2] 张雪琴, 陈树华, 付艳鹏, 等. 煤化工企业废水处理及资源化利用技术研究及应用 [J]. 山西化工, 2024, 44(03): 213-216.
- [3] 李培成. 浅析我国氟化工企业含氟废弃物资源化处置研究进展 [J]. 有机氟工业, 2023, (02): 57-60.
- [4] 潘红. 化工企业高含盐废水资源化零排放技术研究 [J]. 环境科学与管理, 2023, 48(04): 81-86.
- [5] 高健, 朱博. 煤化工高含盐废水资源化处理技术的工程应用研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(04): 143-144.
- [6] 韩宁. 化工企业环保治理技术研究与实践 [C]// 中国智慧工程研究会. 2024 人工智能与工程管理学术交流会论文集. 台州市瑞境环保科技有限公司; , 2024: 242-244.
- [7] 马辉. 基于循环经济的化工企业节能减排实践探讨 [J]. 当代化工研究, 2024, (07): 99-101.
- [8] 崔苗苗. 化工企业安全环保管理的意识和优化措施 [J]. 化工管理, 2024, (07): 53-55.
- [9] 洪舒婷. 绿色发展背景下化工企业环境绩效评价研究 [D]. 广东财经大学, 2023.
- [10] 王建强, 王南南. 化工安全管理绿色发展思考 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(08): 47-49.

不同结构参量的红外透热烟具对颗粒型加热卷烟温度场及热解产物分布影响研究

李延岩¹, 王孝峰¹, 陈健², 赵锦花², 丁乃红³, 张晓宇¹, 曹芸¹, 管明婧¹, 周顺^{1,3*}

1. 安徽中烟工业有限责任公司 国家烟草专卖局(中国烟草总公司)燃烧热解研究重点实验室, 安徽 合肥 230088

2. 南京理工大学安全科学与工程学院 应急管理学院, 江苏 南京 210094

3. 安徽中烟工业有限责任公司 安徽省气溶胶解析调控及生物效应重点实验室, 安徽 合肥 230088

DOI:10.61369/ETQM.2025110004

摘 要 : 本研究采用 Fluent 数值模拟, 探究了四种结构参数对红外透热烟具颗粒型加热卷烟传热传质特性的影响。结果表明: 1) 增加烟具长度或减小内壁间距可减缓温度下降速率; 2) 较小间距或较短烟具使 60s 时烟具左端中心水蒸气分布更集中; 3) 较长烟具或较小间距促进 60s 时易挥发物质在左端中心富集; 4) 60–62s 抽吸时, 热气流右移导致定点温度先升至峰值后下降, 且峰值随烟具长度增加或间距减小而升高; 5) 定点处水蒸气和易挥发物质质量分数在 60s 达峰后因抽吸下降, 抽吸结束后因回流再次上升。研究为优化加热卷烟设计提供了理论依据。

关 键 词 : 加热卷烟制品; 数值模拟; 热解; 计算流体力学; Fluent

Effects of Infrared Heat-transparent Smoking Devices with Different Structural Parameters on the temperature Field and Pyrolysis Product Distribution of Granular-type Heated Cigarettes

Li Yanyan¹, Wang Xiaofeng¹, Chen Jian², Zhao Jinhua², Ding Naihong³, Zhang Xiaoyu¹, Cao Yun¹,
Guan Mingjing¹, Zhou Shun^{1,3*}

1. Key Laboratory of Combustion and Pyrolysis Research, China National Tobacco Corporation (State Tobacco Monopoly Administration), Anhui Zhongyan Industrial Co., Ltd., Hefei, Anhui 230088

2. School of Safety Science and Engineering, School of Emergency Management, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094

3. Anhui Provincial Key Laboratory of Aerosol Analysis, Regulation, and Biological Effects, Anhui Zhongyan Industrial Co., Ltd., Hefei, Anhui 230088

Abstract : This study employed Fluent numerical simulation to investigate the effects of four structural parameters on the heat and mass transfer characteristics of infrared-heated particulate heated tobacco products. The results demonstrate that: 1) Increasing the heater length or reducing the inner wall spacing slows the temperature decline rate; 2) Smaller spacing or shorter heaters lead to more concentrated water vapor distribution at the left-center region at 60s; 3) Longer heaters or smaller spacing promote volatile substance accumulation at the left-center region at 60s; 4) During 60–62s puffing, rightward airflow movement causes the temperature at fixed points to first peak then decline, with higher peaks observed with longer heaters or smaller spacing; 5) The mass fractions of water vapor and volatile substances at fixed points peak at 60s, decrease during puffing, then rise again due to reflux after puffing. This research provides theoretical foundations for optimizing heated tobacco product design.

Keywords : heated cigarette products; numerical simulation; pyrolysis; computational fluid dynamics; Fluent

传统烟草制品通过燃烧释放化学物质, 同时产生香味成分和有害成分^[1]。《烟草控制框架公约》的履约推动全球控烟行动, 许多国家实施了公共场所禁烟令^[2–3]。随着健康意识增强, 传统烟草消费下滑, 跨国烟草公司转向减害替烟的新型烟草制品^[4], 如加热卷烟、电子烟等^[5–7]。其中, 加热卷烟通过加热而非燃烧释放尼古丁^[8], 减少有害物质^[9–11], 因其减害、便捷等特性成为市场新宠^[12], 并被烟草

基金项目: 安徽中烟工业有限责任公司科研项目“科技创新平台重大科技项目”(202305a12020030)。

作者简介:

第一作者: 李延岩(1990.05.06—), 男, 汉族, 河南沁阳人, 研究生, 硕士, 工程师, 从事新型烟草制品研究。

通信作者: 周顺(1982—), 男, 博士, 研究员, 主要从事新型烟草制品和烟草燃烧化学研究。

公司列为长期战略目标^[13-14]。

加热卷烟的研究多集中于数值模拟。肖卫强等^[15]采用CFD方法研究烟丝加热和烟气流动；孙志伟等^[16]模拟电加热体温度分布并实验验证；王乐等^[17]建立多孔介质模型模拟抽吸温度分布；盛华权^[18]和黄鸿^[19]分别研究燃烧加热器的传热特性；刘成等^[20]汇总分析表明，现有研究多关注传热模拟和温度分布，但热源模拟、烟草热物性及烟气释放表征仍需完善。

目前，加热卷烟的结构参量对热流场影响的模拟较少。本文采用Fluent模拟四种不同结构参量（红外透热烟具长度、烟支间距）下的温度场及热解产物分布，优化设计参量，为颗粒型加热卷烟的红外透热烟具设计提供建议。

一、材料与方法

（一）材料

红外透热烟具与颗粒型加热卷烟产品，由安徽中烟工业有限责任公司提供。

1. 方法

（1）烟草颗粒热解反应动力学模型

本文将水分含量为10.88%，甘油含量为23.50%，粒径为1.51mm的烟草颗粒作为模拟对象，在Fluent中设定了烟草颗粒在加热时发生的反应。另外，本文以文献^[21]中的方法为依据，利用热重实验对烟草颗粒的热解特性进行了测试，并得到了烟草颗粒的3种分解产物，即：R1—蒸发的水分，R2—逸出的烟碱等易挥发物质^[22]，R3—释放的纤维素等大分子化合物的裂解产物^[23]。

接着，采用Freeman-Carroll法^[24]研究烟草颗粒的热分解动力学参数。通过对曲线数据计算，可以得到各个热解反应的反应级数、活化能、指前因子等动力学参数。所求得各产物的热分解动力学参数如表1所示。

表1 各分解产物热解动力学参数

热解反应	反应级数 N	活化能 E (kJ · mol ⁻¹)	指前因子 A (min ⁻¹)	初始质量浓度 ρ ₀ (kg/m ³)
R1	1.3	22.1	3.8 × 10 ²	89
R2	1.6	75.8	2.9 × 10 ⁷	414
R3	1.7	180.6	5.8 × 10 ¹³	107

（2）几何模型构建

在红外透热烟具内，放置颗粒型加热卷烟，卷烟和红外透热烟具内留有空隙。红外透热烟具材质为石英玻璃，通过红外加热来使温度升高。管内的加热卷烟在高温下发生热解反应，水蒸气和烟碱等成分挥发，在烟支内部流动，被吸烟者吸入。红外透热烟具与颗粒型加热卷烟的模型如图1所示，加热卷烟结构示意图如图2所示。加热卷烟由纸包裹，内部分为颗粒段、阻隔段、降温段、过滤段与空腔段构成。其中颗粒段由烟草颗粒填充，阻隔段内为一固体，降温段和空腔段内皆为空气，过滤段内为醋酸纤维材料。红外透热烟具与加热卷烟之间的间隙为空气。

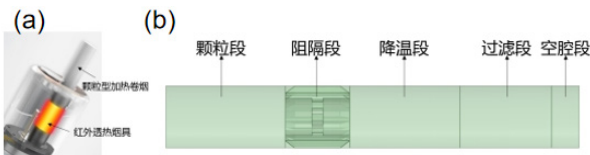


图1（a）红外透热烟具与颗粒型加热卷烟耦合模型；（b）颗粒型加热卷烟结构示意图

（3）几何模型网格无关性验证

研究采用包含1,310,000个网格单元的模型，旨在通过构建三种不同网格密度的配置（即500,000、1,310,000及2,540,000个网格单元）来进行网格无关性验证。在模拟过程中，迭代时间步长设定为0.01 s，且每一步的最大迭代次数限制为20次。如图2所示，该图呈现了三种不同网格密度下模型温度沿轴线分布的对比情况。通过观察分析，可以明确得出以下结论：当网格数量偏离1,318,810（即本模拟所采用的网格数量）时，无论是增加还是减少网格数量，均能达到与采用1,310,000个网格单元时相近的模拟效果。

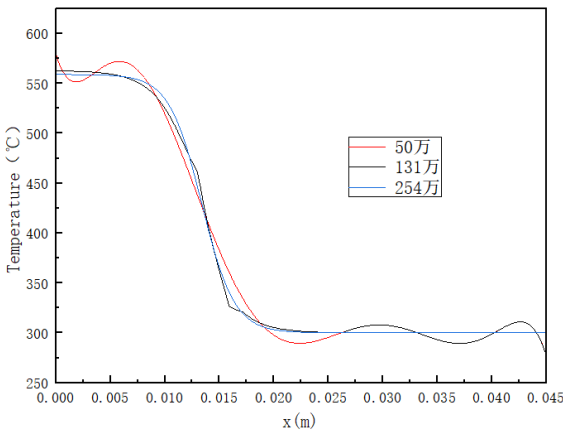


图2 不同网格数量与温度关系图

（4）四种不同结构参量下红外透热烟具及颗粒型加热卷烟的设计参数

四种不同结构参量下红外透热烟具及颗粒型加热卷烟的具体设计参数如表2所示。

表2 红外透热烟具及颗粒型加热卷烟模型参数

参数	数值 (mm)			
红外透热烟具长度	12	12	10	13
红外透热烟具壁厚	0.7	0.775	0.85	0.85
红外透热烟具内壁到加热卷烟间距	0.225	0.15	0.075	0.075
红外透热烟具外径	9.05			
红外透热烟具内径	7.35			
纸管壁厚	0.25			
加热卷烟长度	45			
颗粒段长度	13			
阻隔固体长度	7			
降温段长度	12			
过滤段长度	10			

(5) 传热机制

红外透热烟具的红外热管材质为石英玻璃,根据图3石英玻璃的红外光谱图可以得知,石英玻璃的红外强吸收峰为波长 $7.6\mu\text{m}$ 左右,与之的相同相对辐射强度对应波长为 $10.0\mu\text{m}$ 左右。由维恩位移定律可知,热辐射源产生的最大光谱辐射度的波长 λ_m 与温度 T 的关系为:

$$T\lambda_m = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

由于物质红外加热时应考虑非匹配吸收,避开强吸收峰,因此根据以上数据计算,得出相应的加热温度为 300°C 左右。固红外透热烟具内和加热卷烟的空气初始温度设为 300K 。

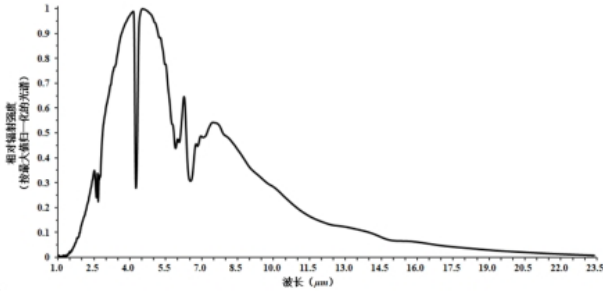


图3 石英玻璃红外光谱图

加热卷烟内部由颗粒段、阻隔段、降温段、过滤段与空腔段构成,其中阻隔断为多孔介质,满足多孔介质流动方程。如公式(1)所示:

$$\frac{\rho}{\epsilon_p} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = \nabla \cdot \left[-p\vec{I} + \frac{\mu}{\epsilon_p} (\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T) - \frac{2\mu}{3\epsilon_p} (\nabla \cdot \vec{u}) \vec{I} \right] - \left(\mu \kappa^{-1} + \beta_F |\vec{u}| + \frac{Q_m}{\epsilon_p^2} \right) \vec{u} + F$$

式中: ∇ 表示梯度算子; $\nabla \cdot$ 表示散度算子; ρ 代表流体密度, kg/m^3 ; \vec{u} 表示气体在多孔介质中的渗透速度, m/s ; P 代表系统压力, Pa ; Q_m 表示气体生成速率, $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$; μ 表示黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; κ 表示多孔介质的渗透率, m^2 ; ϵ_p 表示多孔介质的空隙率; ϵ_F 表示非线性参数; I 表示单位矩阵; F 表示体积力, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^2)$ 。

加热卷烟颗粒段、阻隔段、降温段与过滤段的传热采用气固两相局部相平衡传热模型,假设烟支各个功能段与空气的热物性不随温度发生变化,同时忽略残余水分和烟碱等其他物质的挥发吸热。传热方程如公式(2)所示:

$$(\rho C_p)_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial t} + (\rho C_p)_g \vec{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \vec{q} = Q$$

$$\vec{q} = -k_{\text{eff}} \nabla T$$

式中: $(\rho C_p)_{\text{eff}}$ 表示多孔介质有效体积热容, $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $(\rho C_p)_g$ 表示空气体积热容, $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; k_{eff} 表示多孔介质有效导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; Q 为热源项, W/m^3 ; q 表示热通量, W/m^2 。

加热卷烟烟具内部高分子聚合物之间的传热为固体传热,传热方程如公式(3)所示:

$$(\rho C_p)_s \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{q} = Q$$

$$\vec{q} = -k_s \nabla T$$

式中: $(\rho C_p)_s$ 表示固体体积热容, $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; k_s 表示固体导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

(6) 组分运输模型

由于本研究中的烟丝热解会生成水蒸气和烟碱等多种物质,因此使用 Fluent 软件中的组分运输模型求解。组分运输模型的控制方程为:

$$\frac{\partial (\rho Y_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = - \nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (1)$$

$$\vec{J}_i = -\rho D_{i,m} \nabla Y_i - D_{T,i} \frac{\nabla T}{T} \quad (2)$$

式中: Y_i —组分 i 占混合物的质量分数; \vec{v} —混合物的速度矢量; \vec{J}_i —组分 i 的扩散量; R_i —净产出速度; S_i —额外产出速度; $D_{i,m}$ —组分 i 质量扩散系数; $D_{T,i}$ —热量扩散系数; T —混合物温度。

(7) 数值模拟

在建模软件中建立红外透热烟具和加热卷烟组合产品的三维模型,设置模拟参数时,对流体域的参数,以及流体域内的物质参数进行设置。本论文中需要设置颗粒加热卷烟内的流体区域各物性参数。各参数通过测量计算与验证实验获得。各流体域的物质参数具体见下表3所示。对于粘性阻力系数与惯性阻力系数, Fluent 帮助文档中提供了以下的计算公式:

$$\alpha = \frac{D^2}{150} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{3.5}{D} \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \quad (2)$$

式中: α —渗透率,粘性阻力系数的倒数; D —平均粒径(m); ϵ —多孔介质的孔隙率; C_2 —惯性阻力系数。

表3 加热卷烟颗粒段与过滤段参数设置

参数	烟草颗粒段	过滤段
密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	911	1
比热容 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	1043	9.1×10^5
导热系数 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	0.3	0.23
孔隙率	0.52	0.72
粘性阻力系数	6.6×10^8	3.3×10^{10}
惯性阻力系数	1.9×10^4	8.5×10^4

抽吸模式按国际标准化组织的(ISO3308)模式进行设置,35 mL持续2s,每60s抽吸一次。红外透热烟具的壁温通过 Fluent 中的 expression 设置为从0至25s内温度由 300K 线性升高至 563K 。加热卷烟和红外透热烟具的初始温度皆为 300K 。如图4所示,在红外透热烟具与加热卷烟内部烟支之间空隙两侧分别设为速度入口和压力出口,加热卷烟内部烟支两侧分别设压力入口和压力出口。加热卷烟内部烟支入口温度设置与烟具一致。抽吸时抽吸口处的出口压力为 -900Pa ,未抽吸时为 0Pa 。

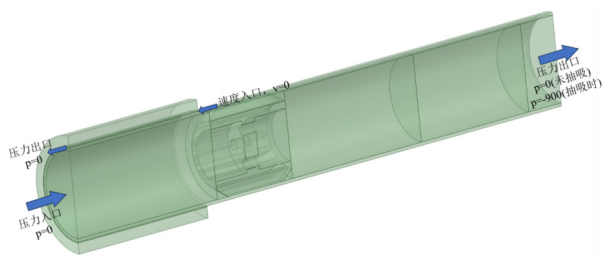


图4 烟具与烟支剖面图

使用用户自定义函数 (UDF) 来实现烟草颗粒的热解过程, 使用用户自定义标量方程 (UDS) 计算烟草颗粒的热分解产物量^[23]。流体的流动采用标准 $k-\epsilon$ 湍流模型。采用 SIMPLE 算法用于压力-速度耦合^[25]。

二、结果与分析

加热卷烟工艺中水分的测量方法有多种, 包括烤箱法、红外法和微波法等。红外法是利用物理中的电磁波, 根据能量各向异性的不同波长, 利用红外光谱检测卷烟工艺中的水分含量。红外法的检测结果与国标烘箱法有很好的一致性, 并且检测效率更高, 但不同的测量方法可能存在系统误差, 导致结果有所差异。

加热卷烟内水分的分布和测量受到多种因素的影响。例如, 加热卷烟的不同部位 (如颗粒段、阻隔段、降温段、过滤段) 中的水分质量是不同的。加热卷烟的加热温度、烟具的结构以及卷烟材料的特性等都会影响水分的释放和残留。因此, 在测量加热卷烟中水分质量分数时, 需要严格控制这些因素, 以确保结果的准确性^[26]。

加热卷烟中烟碱等易挥发物质的质量分数分布也受到多种因素的影响。烟碱的释放和转移受到甘油添加比例、加热温度、卷烟材料等多种因素的影响^[27]。甘油作为一种常用的添加剂, 可以改变加热卷烟中烟碱的分布和释放特性。此外, 加热卷烟材料的特性 (如颜色、成分、晶体结构等) 也会影响烟碱等易挥发物质的分布和测量^[28]。

(一) 不同结构参量下颗粒型加热卷烟流场的模拟结果

1. 抽吸前模拟结果

①第60s时红外透热烟具和加热卷烟内部烟支内温度分布

红外透热烟具内装有颗粒型加热卷烟烟支, 在经过红外透热烟具中轴线处设置一竖直方向截面, 加热至60s时, 四种不同结构参量下该截面烟具和烟支内温度云图及烟支内部轴向温度分布图如图4。

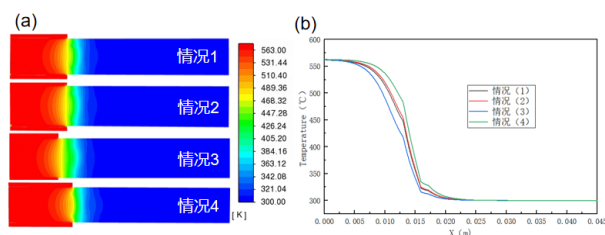


图4 60s时四种不同结构参量下颗粒型加热卷烟的 (a) 温度变化云图;

(b) 烟支内部轴向温度分布

由云图 (4b) 可知: 加热到60s时, 四种不同结构参量下的烟具温度都已达到563K, 且加热卷烟内部烟支温度沿轴向向右递减。从图4中还可以看出: 红外透热烟具内的颗粒段中靠近烟具壁的部分温度高于不靠近的部分, 而在红外透热烟具外的阻隔段中则是卷烟中心温度高于烟具壁处温度, 这是因为热气流主要是从阻隔段固体的中心孔中向右通过。由图5可知, 烟支13mm处至16mm处温度下降速率最快, 是因为此处有阻隔段的存在, 热气流通过阻隔段的中心孔后温度降低速度越来越慢。通过图5, 比较60s时四种情况下加热卷烟内部烟支的内部温度分布情况, 可以发现: 情况 (3) 烟支的温度下降最快, 情况 (1) 比情况 (2) 烟支温度下降得略微快点, 情况 (4) 烟支的温度下降最慢。

②第60s时加热卷烟内部烟支内热解产生水蒸气分布

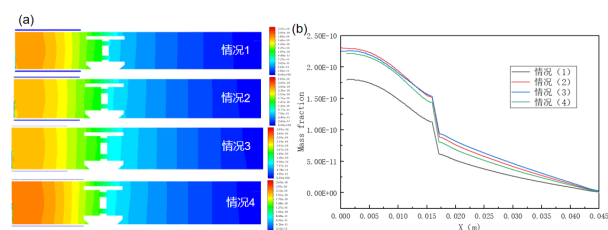


图5 60s时颗粒型加热卷烟烟支内热解产生的 (a) 水蒸气质量分数分布云图; 水蒸气质量分数轴向分布图

图5显示, 加热卷烟内部水蒸气质量分数在靠近红外透热烟具左端中心处最高, 并向吸入口方向递减。图5表明, 在15~17mm (阻隔段) 处水蒸气减少最快, 流经中心孔后减少速度逐渐减缓, 等值线间距增大。研究表明, 热解产物在烟具左端中心浓度最高, 沿轴向递减。60s加热时, 阻隔段显著影响水蒸气分布, 其物理限制和热质交换使水蒸气含量快速下降, 随后减少速度减缓。对比四种情况 (图5), 情况 (2) 左端中心水蒸气最多, 其次是 (3)、(4), (1) 最少。这表明烟具结构、加热方式和流体动力学共同影响热解产物分布, 其中阻隔段作用尤为关键。

③第60s时加热卷烟内部烟支内热解产生的烟碱等易挥发物质分布

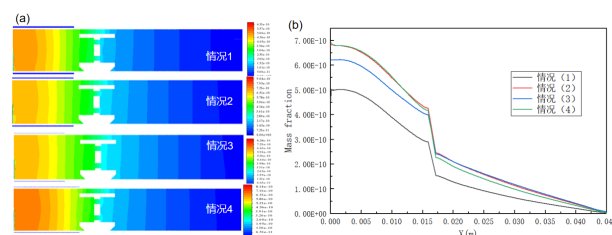


图6 60s时颗粒型加热卷烟烟支内热解产生的易挥发物质的质量分数 (a) 分布云图;

(b) 轴向分布图

研究表明, 加热卷烟内部烟碱及易挥发物质的质量分数呈梯度分布 (图6)。加热源附近 (烟具左端中心) 浓度最高, 因热解作用强烈释放更多挥发物; 沿轴向向吸入口端递减, 反映传输过程中的扩散衰减效应。分布云图显示从高浓度 (加热源) 到低浓度 (吸入口端) 的连续过渡, 印证梯度递减规律。

图6显示60s加热时, 四种情况下的轴向分布差异: 情况 (4) 左端中心挥发物最多, 其次为 (2)、(3), 情况 (1) 最少。该分布模式表明, 挥发物富集于加热源中心区域, 并随距离增加

逐渐减少,形成中心向边缘递减的梯度。

2. 抽吸烟支后模拟结果

① 62s 时红外透热烟具和加热卷烟内部烟支内温度分布

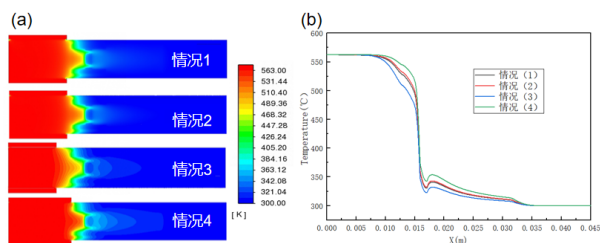


图7 62s时四种不同结构参量下颗粒型加热卷烟的 (a) 温度变化云图; (b) 内部轴向温度分布

图7显示,抽吸62s时四种结构参量的加热卷烟内部温度均呈径向递减。其中13~16mm处(阻隔段区域)温度下降最快,因阻隔结构阻碍热气流;当气流通过中心孔后,温度下降减缓。抽吸作用使热气流右移,导致阻隔段后半段温度轻微回升。分析表明,阻隔段通过减缓气流实现快速降温,穿越中心孔后因流动阻力减小,降温速率降低。抽吸力改变气流分布,引发温度再分配。图7对比显示:情况(3)降温最快,情况(4)最慢,情况(1)略快于情况(2)。该结果验证了结构参量对温度分布的关键影响,阻隔段设计与抽吸效应的交互作用决定了热传递特性。

② 62s 时加热卷烟内部烟支内热解产物分布

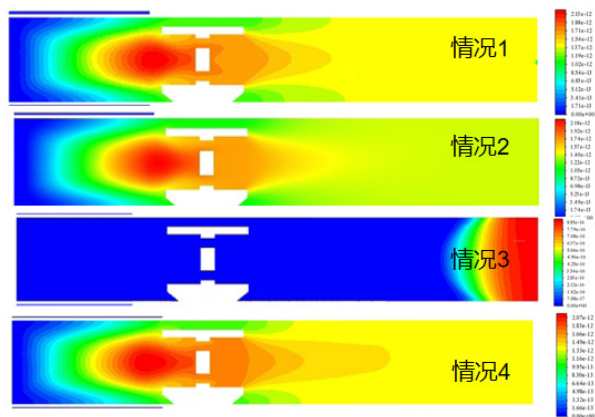


图8 62s时颗粒型加热卷烟烟支内热解产生的水蒸气质量分数分布云图

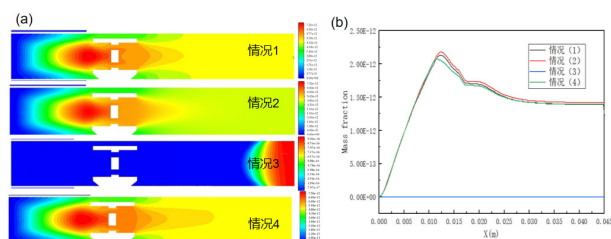


图9 62s时颗粒型加热卷烟烟支内热解产生的 (a) 易挥发物质的质量分数分布云图; (b) 水蒸气质量分数轴向分布图

本研究分析了加热卷烟抽吸过程中的物质迁移规律。结果显示,热气流携带水蒸气和易挥发物质向右移动时,部分成分通过过滤段被吸入,部分因流体动力学效应回流至颗粒段与阻隔段之间(图9~10)。四种测试条件下,情况(2)水蒸气含量最高(图14),其次是(1)、(4)和(3),这种差异源于加热功率、颗

粒孔隙结构及阻隔/降温段设计参数的不同组合。整个抽吸过程伴随着阻隔段和降温段的温度升高,涉及热传导、对流和辐射等多重传热机制。研究表明,抽吸压力、流体涡旋和渗透作用共同调控着物质分流和回流现象,最终影响烟气成分分布和温度变化规律。

(二) 不同结构参量下颗粒型加热卷烟内温度随时间变化情况

本研究系统分析了红外透热烟具颗粒型加热卷烟中颗粒段与阻隔段交界面中心点(0, 0.013, 0)在四种条件下的温度、水蒸气及易挥发物质变化规律(图15~17)。主要发现如下:

1. 温度变化特征(图10):

预热阶段(0~60s),温度持续上升,情况(4)升温最快(544.39K),其次为情况(2)531.42K、(1)527.16K、(3)508.37K。抽吸阶段(60~62s)温度急剧升至峰值,热对流起主导作用。不同升温速率源于红外透热烟具壁厚、间距等结构参数差异。

2. 水蒸气动态变化(图11):

抽吸开始时(60s),情况(3)和(2)水蒸气质量分数达峰值 1.7×10^{-10} ,由蒸发速率和Fick扩散共同作用。抽吸过程(60~62s)因气流携带导致浓度骤降,随后出现回流现象,情况(4)回升最快,反映其颗粒材料优异的吸水性和蒸汽渗透性。

3. 易挥发物质演变(图12):

情况(2)在60s时达最高值 4.77×10^{-10} ,与颗粒中物质含量、热解释放特性相关。抽吸过程呈现"释放-迁移-回流"特征,情况(4)回流最显著,表明其结构更利于物质释放与再吸附。

研究表明:红外透热烟具结构参数通过影响传热传质过程,显著改变颗粒型加热卷烟的温度场和热解产物分布。情况(4)在升温性能和水蒸气保持方面表现最优,而情况(2)更利于易挥发物质释放。这些发现为优化红外透热烟具设计提供了重要依据。

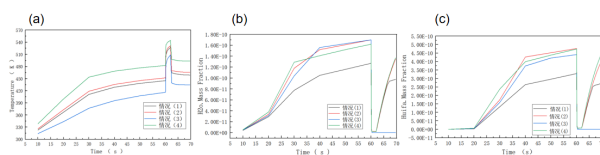


图15 (a) 烟支内部定点温度变化图; (b) 烟支内部定点水蒸气质量分数变化图; (c) 烟支内部定点易挥发物质质量分数变化图

三、结论

本研究系统分析了红外透热烟具与加热卷烟组合产品的传热传质特性,揭示了关键参数的影响机制:

(1) 温度调控机制:增加烟具长度或减小内壁间距会显著改变传热效率。烟具长度延长增加了热传导距离,而间距减小增强了热交换强度,共同减缓温度下降速率。这一过程涉及热导率、对流系数和辐射效率等关键参数的综合作用。

(2) 水蒸气分布特征:较小的内壁间距或较短的烟具长度促使热气流集中流向烟具左端中心区域,导致该区域水蒸气分布增

加（60s时）。这一现象可用对流扩散方程描述，是流速场、温度场和水蒸气浓度场相互作用的结果。

（3）易挥发物质迁移规律：更长的烟具或更小的间距延长了气流路径、减缓了流速，为易挥发物质提供了更多积累时间，使其在烟具左端中心形成较高浓度分布（60s时）。该过程遵循质量守恒定律和菲克扩散定律。

（4）抽吸动态效应：60–62s抽吸期间，热气流快速右移形

成强烈对流，导致定点温度先升至峰值后下降。烟具长度增加或间距减小会加剧气流集中与滞留，提高温度最大值，这一现象涉及动量守恒、能量守恒和伯努利原理。

（5）组分时序变化：定点处水蒸气和易挥发物质质量分数在60s达到峰值，抽吸时因气流移动迅速降低，结束后因压力变化和温度梯度出现回流上升。该过程可通过质量传输方程和涡旋动力学解释，CFD模拟可精确揭示参数与分布的定量关系。

参考文献

[1] 霍现宽, 刘珊, 崔凯, 等. 加热状态下烟草烟气香味成分释放特征 [J]. 烟草科技, 2017, 50(8): 9.

[2] Xiao D, Bai C X, Chen Z M, et al. Implementation of the World Health Organization Framework Convention on Tobacco Control in China: An arduous and long-term task [J]. Cancer, 2015, 121(S17): 3061–3068.

[3] Başaran R, Gü ven N M, Eke B C. An overview of iQOS® as a new heat-not-burn tobacco product and its potential effects on human health and the environment [J]. Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences, 2019, 16(3): 371.

[4] Yang G, Wang Y, Wu Y, et al. The road to effective tobacco control in China [J]. The Lancet, 2015, 385(9972): 1019–1028.

[5] 杨建礼, 吴成春, 宋祖国. 加热不燃烧卷烟加热技术探究 [J]. 轻工科技, 2023, 39(05): 23–26.

[6] 庞婧. 新型烟草制品监管的研究 [J]. 中外企业文化, 2022(06): 73–75.

[7] 王伟, 马明. 新型烟草制品监管对策研究 [J]. 现代商贸工业, 2022, 43(01): 97–99.

[8] 陈超英. 变革与挑战: 新型烟草制品发展展望 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3): 14–18.

[9] 裴玉青, 沈轶, 杨举田, 等. 新型烟草制品发展现状及展望 [J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5): 92–97.

[10] 赵玉宇, 崔成哲, 朱良华, 等. 加热不燃烧烟草制品的减害性能分析 [J]. 科技创新用, 2020(22): 66–67.

[11] 刘亚丽, 王金棒, 郑新章, 等. 加热不燃烧烟草制品发展现状及展望 [J]. 中国烟草学报, 2018, 24(04): 91–106.

[12] 张骥, 张振涛, 杨俊玲, 等. 加热不燃烧烟草制品研究现状和未来展望 [J]. 科技与创新, 2020(15): 11–15.

[13] 康迪, 赵晖, 刘远上, 等. 新型烟草制品发展现状及展望 [J]. 科技与创新, 2020(6): 87–89.

[14] 金鑫. 新型烟草制品发展状态及预测 [J]. 中国市场, 2019(12): 59–60.

[15] 肖卫强, 周国俊, 蒋健等. 加热卷烟制品传热与烟气流动过程数值模拟 [J]. 华东理工大学学报 (自然科学版), 2021, 47(01): 35–40.

[16] 孙志伟, 王威, 杜文等. 电加热型烟草制品加热体的电热模拟 [J]. 烟草科技, 2020, 53(09): 85–93.

[17] 王乐, 冯露露, 张柯等. 加热卷烟逐口抽吸过程传热数值模型 [J]. 烟草科技, 2022, 55(06): 80–88.

[18] 盛华权. 低温卷烟加热器强化传热研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2022.

[19] 黄鸿. 低温卷烟加热过程的温度特性研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2022.

[20] 刘成, 汪旭, 杨菁等. 电加热卷烟传热传质数值模拟研究现状 [J]. 中国烟草学报, 2023, 29(04): 116–123.

[21] 曹芸, 张劲, 王鹏, 等. 烟草颗粒热解与释烟特性影响因素研究 [J]. 中国烟草学报, 2021, 27(1): 9.

[22] 唐培培, 曾世通, 刘珊, 等. 甘油对烟叶热性能及加热状态下烟气释放的影响 [J]. 烟草科技, 2015, 48(3): 61–65.

[23] 杨继, 杨帅, 段沅杏, 等. 加热不燃烧卷烟烟草材料的热分析研究 [J]. 中国烟草学报, 2015, 21(6): 7–13.

[24] Freeman E S, Carroll B. The application of thermoanalytical techniques to reaction kinetics: the thermogravimetric evaluation of the kinetics of the decomposition of calcium oxalate monohydrate [J]. Journal of Physical Chemistry, 1958, 62(4): 394–397.

[25] 颜聪, 谢卫, 李跃峰, 等. 卷烟阴燃过程的数值模拟 [J]. 烟草科技, 2014(6): 15–20.

[26] 朱俊召, 刘金鑫, 聂广军, 等. 加热卷烟含水率测定方法比选及结果修正 [J]. 烟草科技, 2024, 57(1): 22–30.

[27] 吴键, 陈震, 黄峰, 等. 加热卷烟叶丝等温热失重及关键成分释放特性分析 [J]. 轻工学报, 2023, 38(3): 87–93, 111.

[28] 郑燕婷, 马婉婉, 陈欢, 等. 加热卷烟气溶胶特征性成分及其分析方法研究进展 [J]. 烟草科技, 2024, 57(2): 103–112.

地铁公共区装修设计与施工研究

康露

中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610000

DOI:10.61369/ETQM.2025110006

摘 要： 本文针对地铁公共区装修的特点，从设计原则、材料选择、施工技术、环境控制以及安全与维护等方面进行了全面的探讨。通过分析当前地铁公共区装修的现状与挑战，提出了一系列创新的设计理念和施工方法，旨在提高地铁公共区的美观性、舒适性和安全性。

关 键 词： 地铁公共区装修；设计原则；施工技术；环境控制

Research on Decoration Design and Construction of Subway Public Areas

Kang Lu

China Water Resources and Hydropower Fifth Engineering Bureau Co., LTD., Chengdu, Sichuan 610000

Abstract： This paper conducts a comprehensive analysis of subway public area decoration, covering design principles, material selection, construction techniques, environmental control, as well as safety and maintenance aspects. By examining current practices and challenges in subway public area decoration, the study proposes innovative design concepts and construction methodologies to enhance the aesthetic appeal, comfort level, and safety standards of these areas.

Keywords： subway public area decoration; design principle; construction technology; environmental control

引言

地铁公共区的装修工程是地铁系统中不可或缺的重要组成部分，它为乘客提供舒适的乘车环境和高效的安全保障。良好的装修能提升乘客的乘车体验，提高运营效率，减少拥堵和事故的发生，还能延长地铁使用寿命，降低维护成本^[1]。随着城市化进程的加速，各地政府加大了对地铁建设的投入。同时，人们对生活品质的要求不断提高，对地铁乘车环境也有了更高期望。在未来，科技的不断进步和创新将使地铁公共区装修呈现出更多新的特点和趋势。

一、地铁公共区装修设计原则

地铁作为现代城市的重要交通工具，设计要以满足乘客基本出行需求为核心^[2]。充分考虑地铁站内的空间布局、设施配置等因素；地铁是高度复杂的系统工程，涉及众多安全因素，采用防火、防盗、防污染等措施保证乘客和设备的安全运行；地铁站的舒适度直接影响乘客出行体验，可通过合理规划布局、控制噪音水平、调节室内温度湿度等方式实现；地铁站的美观程度应注重与整体建筑风格相协调，体现地域特色和文化内涵；地铁作为绿色交通方式，应采用环保建筑材料和技术手段，推动资源循环利用和可持续发展。

二、地铁公共区装修材料的选择与应用

地铁公共区装修材料的选择至关重要，天然石材如大理石、花岗岩等，具有良好的耐磨性、抗压性能和美观性，但价格较高且存在放射性风险，人造石如岗岩性价比和环保性能较好。选择石材时，应综合考虑多方面因素；铝板质量轻、强度高、耐腐蚀性强、易于加工成型，在国内车站公共区装修中广泛应用，可根据不同需求加工成不同造型和颜色^[3]；GRG是玻璃纤维增强石膏板，具备灵活方便、功能实用等特性，可制成各种平面、曲面、艺术造型及功能产品，它逐步成为国际上广泛应用于室内装饰的新型环保材料，目前被引进地铁车站公共区装修中。

三、地铁公共区装修施工技术

（一）施工流程

设计阶段包括设计概念提出、设计方案深化、施工图绘制等步骤。设计师需结合地铁站的整体布局、功能定位、人文环境等因素，制定出符合实际需求的装修方案；获得设计图纸后，施工单位要进行图纸审查、测量放线、施工队伍组织等工作，并制定详细的施工进度计划。接着，施工阶段是核心部分，包括基础装修、设备安装、装饰工程等。各工种需紧密配合，严格遵循施工规范和工艺流程操作，确保工程质量和安全；施工完成后，对工程质量、建筑结构安全、设施设备完好等方面进行验收。验收合格后方可投入使用，若存在问题需及时整改并进行二次验收。

（二）技术要点

合理划分各个功能区域，如票务区、候车区、商业区等，满足不同乘客的使用需求。同时，注意空间的合理利用和流线设计，利用建筑标高优势和空间高度，实现空间最大化利用。

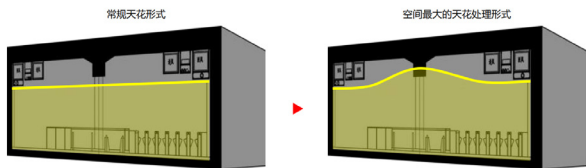


图1、车站空间布局示意图

根据设计要求和工程实际情况，选择具有防火、防水、防腐、环保等性能特性的材料，同时关注成本效益和可持续性；各工种需严格按照相关规范和行业要求进行操作，注重细节处理，确保整体效果完美呈现；充分考虑智能化设施的布局和设计，如导向标识、通信系统等，提高地铁车站的运行效率和乘客满意度。

（三）质量控制方法

施工单位应建立健全质量管理体系，明确各级管理人员和责任人的职责范围，加强对施工现场的监督和管理；鼓励和支持采用新型材料、新技术等手段，提高工程的科技含量和质量水平；对关键部位和重点工序进行质量检测和评估，发现问题及时采取整改措施；引入第三方监管机构对项目进行独立监督和评估，提高质量管理水平^[4]。

四、地铁公共区装修的环境控制

（一）降噪措施

尽量避免将噪音源布置在人员活动密集的区域，如将进站闸机、出站闸机等高频噪音设备设置在离站台较远的地方；设置一定高度的隔声屏障，降低噪声传播；采用双层或多层声屏障、设置共振腔等结构，提高声屏障对不同频率噪声的降噪能力；使用矿棉吸音板、玻璃纤维吸音棉等吸音材料，降低噪声的吸收和传播。

（二）照明控制

根据不同区域的功能和氛围要求，合理布设灯具，避免过多过密的灯具设置产生眩光影响乘客视线；选择高光效、低能耗的

光源，降低能耗和发热量；设置调光系统实现照明的节能和个性化调节，通过调整光源的亮度和色温，为乘客营造舒适的照明环境；在可能的情况下，设置大面积的玻璃窗、采光顶等方式，引入自然光并降低人工光的用量地铁公共区内。

（三）空气质量控制

加强通风换气：合理空间布局，定期排放室内空气中的有害物质和污染物；在室内使用空气净化器、活性炭吸附设备等，去除空气中的细菌、病毒、甲醛等有害物质，保障乘客健康；适当种植绿色植物，吸收二氧化碳并释放氧气，吸附空气中的有害物质和污染物；对室内污染源进行严格管理，如限制吸烟行为、规范装修施工等，减少室内空气中的有害物质和污染物产生^[5]。

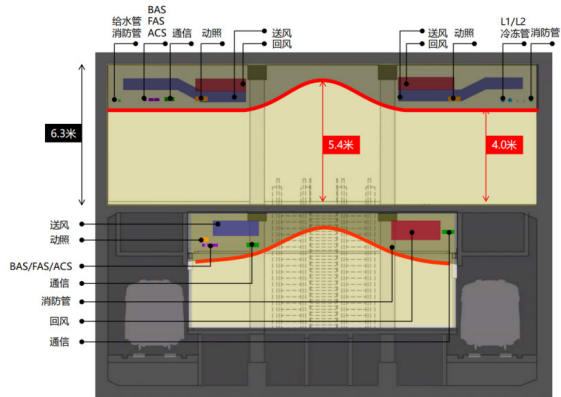


图2、车站空间布局示意图

五、地铁公共区装修的安全与维护

（一）安全管理措施

装修开始前，对参与装修的所有人员进行系统的安全教育培训，包括施工安全知识、操作规程等；建立完善的安全管理制度，明确各级管理人员和员工的安全生产责任，涵盖安全审批、事故处理等方面；在装修现场设置足够的安全防护设施，如防护网、警示标志等，防止安全事故发生；定期开展施工现场的安全检查评估工作，涵盖施工现场、消防设施等方面，发现安全隐患及时整改；根据可能出现的突发事件，制定相应的应急预案，包括应急组织机构、应急资源等内容，以便在紧急情况下迅速、有序地展开救援行动。

（二）长期维护策略

对装修后的公共区设施进行定期的保养维护工作，包括清洁、紧固等环节，延长公共设施的使用寿命，保持良好的运行状态；加强对装修后公共区设施的性能监测，如照明设备、消防设备等，发现设施性能下降或存在故障隐患及时修复处理；建立健全的用户反馈机制，及时了解公共区设施的使用情况和存在的问题，不断改进和完善装修后的公共服务水平；根据用户反馈和市场变化情况，持续改进公共区装修的设计理念和技术手段，提高装修质量和服务水平；定期对公共区装修项目的绩效进行评估总结，包括经济效益、社会效益和环境效益等方面，及时发现项目的不足之处和改进方向，为后续装修工作提供借鉴和指导^[6]。

六、案例分析

（一）设计理念与亮点

充分考虑乘客需求和特点，创造舒适、便捷、安全的乘车环境。如车站公共区无障碍卫生间增加儿童友好措施，包括儿童坐便器、儿童洗手盆等。

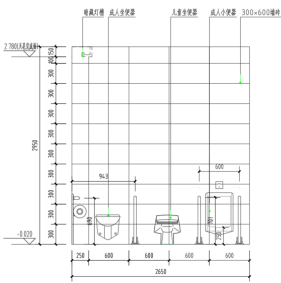


图3、无障碍卫生间儿童友好设施布局立面图



图4、无障碍卫生间儿童友好设施布局示意图

注重节能减排，降低能源消耗。照明系统采用智能照明控制系统，可根据室内外光线条件和乘客需求自动调节灯光亮度；墙面和顶部的保温材料的应用有助于减少空调制冷和制热负荷。

结合水润天府、生态成都的设计理念，根据自然、大气的线路风格进行设计，展现城市的文化特色和地域魅力；文化元素从都江堰治水三宝中抽象提取出文化性符号，该设计风格主要体现在艺术站天花吊顶上，天花主要采用山水画冲孔铝板，结合铝合金垂片辅以文化性符号来体现线路特色^[7]，也体现了艺术性与文化性的融合。



图5、竹笼盛石文化性符号示意图

（二）存在的问题与改进建议

部分地铁站公共区空间利用率不高，存在浪费现象。建议地铁站的设计注重空间的合理规划和利用，提高空间的承载力和灵活性^[8]；部分站点的卫生间、无障碍通道等设施布局不合理，给乘客带来不便，建议进一步优化设施布局，使其更符合乘客的实际需求；一些站点的公共区装修存在施工质量不高、细节处理不到位等问题，建议加强施工管理和质量控制，确保每一环节的施工质量和标准得到落实。

七、结论与展望

随着城市轨道交通的快速发展，地铁公共区的装修设计与施工技术面临更高要求和挑战。本文从多个方面深入探讨了地铁公共区装修设计的设计理念、方法和技术特点，以及施工过程中的质量控制、安全保障和环境影响等实际问题^[9]。未来，一方面，人口增长和城市扩张将使地铁运输需求持续增加，对公共区装修设计和施工技术提出更高标准和要求；另一方面，新技术的不断涌现将为地铁带来更多创新和发展空间。因此，我们需要继续加强技术研发和创新力度，推动装修设计和施工技术的升级换代，加强与相关部门的沟通与合作，共同推动地铁公共区装修设计的标准化、规范化和国际化发展^[10]。

参考文献

[1]王振鹏.基于RCM理论的Z市地铁运营公司设备维修管理研究[D].中原工学院,2024.
[2]杨景涛.地铁车站装修设计管理研究[D].北京建筑大学,2017.
[3]纪晓静.“北京地铁室内装修”一线一景”设计研究[D].北方工业大学,2011.
[4]刘一诺.河南非遗文化符号在郑州地铁公共空间中的应用研究[D].中原工学院,2024.
[5]胡泽源.地铁环境中颗粒物污染水平的理论分析及数值模拟研究[D].西安建筑科技大学,2014.
[6]于洋.地铁设备维护管理系统的设计与实现[D].大连理工大学,2016.
[7]李婷.基于城市记忆下的地铁空间壁画设计研究[D].聊城大学,2024.
[8]李晨.基于数字孪生的地铁公共空间文化呈现研究[D].北京交通大学,2024.
[9]丁冉燃.系统论视角下的合肥市地铁公共空间评价与设计优化研究[D].合肥工业大学,2023.
[10]徐洪岗.K地铁公司发展战略调整研究[D].昆明理工大学,2024.

施工企业项目管理中简单数字化工具的选择与使用研究

董重康

中天建设集团有限公司，浙江 东阳 322100

DOI:10.61369/ETQM.2025110007

摘 要： 随着信息技术的飞速发展，数字化工具在施工企业项目管理中的应用越来越广泛。本文旨在研究施工企业项目管理中简单数字化工具的选择与使用，通过对相关数字化工具的分析，阐述了其在施工项目管理中的重要作用，并结合实际案例探讨了如何根据项目特点选择合适的数字化工具以及如何有效使用这些工具来提升项目管理效率和质量，为施工企业的数字化转型提供参考。

关 键 词： 施工企业；项目管理；数字化工具；选择与使用

Research on the Selection and Utilization of Simple Digital Tools in Project Management of Construction Enterprises

Dong Chongkang

Zhongtian Construction Group Co., Ltd., Dongyang, Zhejiang 322100

Abstract： With the rapid development of information technology, digital tools are being increasingly applied in project management within construction enterprises. This paper aims to study the selection and utilization of simple digital tools in project management for construction enterprises. Through an analysis of relevant digital tools, it elaborates on their significant roles in construction project management. Furthermore, by incorporating practical cases, it explores how to select appropriate digital tools based on project characteristics and how to effectively use these tools to enhance project management efficiency and quality, thereby providing references for the digital transformation of construction enterprises.

Keywords： construction enterprises; project management; digital tools; selection and utilization

引言

建筑行业作为国民经济的支柱产业，其项目管理水平直接关系到工程质量、施工安全、成本控制与进度履约。近年来，随着新型城镇化建设的加速推进、工程建设规模的扩大以及复杂程度的提升，传统项目管理模式的局限性日益凸显：过度依赖人工记录导致数据滞后性强，纸质文档流转效率低下且易丢失，跨部门、跨区域协作中信息传递失真，进度与成本动态管控能力薄弱等问题，已成为制约施工企业提质增效的核心瓶颈^[1]。据《中国建筑行业数字化发展报告（2023）》显示，我国施工企业中仍有68%的项目依赖“Excel表格+纸质单据”进行管理，仅19%的企业实现了核心管理流程的数字化覆盖，与制造业等行业相比，数字化渗透率明显偏低。在此背景下，国家层面相继出台《“十四五”建筑业发展规划》《数字中国建设整体布局规划》等政策，明确提出要“推动建筑业数字化转型”“加快施工项目管理数字化工具的普及应用”。数字化工具的引入，并非简单地将传统管理流程“线上化”，而是通过数据的实时采集、高效流转与智能分析，重构项目管理模式。其中，简单数字化工具以其“低门槛、低成本、易上手”的特点，成为中小施工企业突破管理瓶颈的重要抓手——这类工具无需复杂的系统部署，可快速适配项目实际需求，在进度跟踪、文档共享、协同沟通等场景中能迅速发挥价值。然而，当前施工企业在数字化工具应用中仍存在诸多误区：部分企业盲目追求“高大上”的系统，忽视自身管理基础导致工具闲置；部分企业缺乏清晰的工具选择标准，工具功能与项目需求错位；还有企业因员工数字化技能不足，导致工具使用流于形式。据调研，约45%的施工企业表示“难以找到适合自身的数字化工具”，38%的企业认为“工具使用后未达到预期效果”。因此，研究施工企业项目管理中简单数字化工具的类型特征、选择原则与使用策略，具有重要的现实意义。

一、施工企业项目管理中常见的数字化工具类型及对比

（一）项目进度管理工具

1. 甘特图工具

甘特图是一种直观的项目进度展示工具，它以时间为横轴，任务为纵轴，通过条状图来显示项目中各项任务的开始时间、结束时间和进度情况。例如 MicrosoftProject 软件，它不仅能够创建详细的甘特图，还能进行资源分配和成本估算。用户可以清晰地看到每个任务的时间跨度以及任务之间的逻辑关系，方便进行项目进度的跟踪和调整。通过 MicrosoftProject 创建的甘特图（如图 1 所示），可以直观地展示项目中各个任务的进度安排。



图 1：施工进图甘特图（示例，图片来源百度）

2. 看板工具

看板工具以可视化的方式呈现项目任务，将任务分为不同的阶段，如“待办”“进行中”“已完成”等，团队成员可以通过移动任务卡片来更新任务状态。Trello 是一款典型的看板工具，它在施工项目管理中可以用于管理施工任务的流程，如材料采购任务可以在看板上从“采购申请”阶段移动到“采购执行”“到货验收”等阶段，让项目成员对任务进展一目了然^[2]。

（二）文档管理工具

1. 企业网盘

企业网盘为施工企业提供了安全、便捷的文档存储和共享空间。例如百度企业网盘，施工企业可以将项目图纸、施工方案、合同文件等存储在网盘中，方便项目成员随时随地访问和下载。同时，企业网盘还支持文件版本管理，当图纸或方案进行修改时，能够保留历史版本，便于追溯和对比^[3]。

2. 在线文档协作工具

像腾讯文档这样的在线文档协作工具，允许多个项目成员同时在线编辑文档。在施工项目中，对于一些需要多人协作完成的文档，如项目进度报告、质量检查报告等，使用腾讯文档可以实时同步成员的编辑内容，提高文档编写的效率，减少因沟通不畅导致的文档修改延误^[4]。

（三）沟通协作工具

1. 即时通讯工具

钉钉是施工企业常用的即时通讯工具之一，它不仅具备即时通讯功能，还集成了丰富的办公应用。在施工项目现场，项目经理可以通过钉钉快速与施工人员、供应商等进行沟通，发送任务通知、问题反馈等信息，实现信息的及时传递，避免因信息滞后导致的项目延误^[5]。

2. 视频会议工具

在施工项目涉及多个地区的团队协作时，视频会议工具显得

尤为重要。腾讯会议能够支持高清视频会议，施工企业可以通过它进行远程项目会议、技术交底、进度汇报等活动，减少因地域限制带来的沟通障碍，节省时间和成本^[6]。

（四）常见数字化工具功能与适用场景对比

为更清晰地呈现各类工具的差异，通过以下表格对比其核心功能、优势及适用场景（表 1）：

表 1：施工项目管理数字化工具对比表

工具类型	代表工具	核心功能	优势	适用场景
甘特图工具	Microsoft Project	任务排期、资源分配、进度跟踪、成本估算	逻辑清晰，支持复杂任务关联	大型项目、多任务协同、需精确控制进度的场景
看板工具	Trello	任务可视化、状态更新、流程跟踪	操作简单，实时同步任务状态	中小型项目、重复性任务管理（如材料采购）
企业网盘	百度企业网盘	文档存储、版本管理、权限控制	安全稳定，支持大容量文件存储	图纸、合同等重要文档的集中管理与共享
在线文档工具	腾讯文档	多人实时编辑、版本回溯、在线批注	协作高效，无需反复传输文件	进度报告、会议纪要等需协作编写的文档
即时通讯工具	钉钉	消息推送、任务指派、考勤管理	响应迅速，集成办公功能	现场问题反馈、日常任务通知
视频会议工具	腾讯会议	高清视频、屏幕共享、会议录制	打破地域限制，支持多人参与	远程技术交底、跨区域项目例会

二、施工企业项目管理中数字化工具的选择原则

（一）功能需求匹配原则

施工企业应根据项目管理的实际需求来选择数字化工具。例如，如果项目对进度管理要求较高，需要精确地控制任务时间和资源分配，那么像 MicrosoftProject 这样功能强大的项目进度管理工具会更合适；如果项目团队更注重文档的实时协作和共享，腾讯文档等在线文档协作工具则能更好地满足需求^[6]。

（二）易用性原则

简单数字化工具的优势之一就是操作简便，容易上手。对于施工企业的员工来说，他们可能并非信息技术专业人员，过于复杂的工具会增加学习成本和使用难度。因此，在选择工具时，要考虑工具的界面设计是否友好、操作流程是否简单易懂。例如，Trello 的看板操作简单直观，员工只需简单学习就能熟练使用^[7]。

（三）成本效益原则

施工企业需要综合考虑数字化工具的采购成本、使用成本和维护成本等。一些开源的数字化工具，如部分看板工具（如 Jira 的基础版），虽然采购成本低甚至免费，但可能在功能和服务上存在一定局限性；而一些商业化的工具，如 MicrosoftProject，功能强大但价格相对较高。企业要根据自身的经济实力和项目预算，选择性价比高的工具，确保在合理的成本范围内获得最大的效益^[8]。

（四）兼容性和扩展性原则

选择的数字化工具应能够与企业现有的信息系统兼容，实现数据的无缝对接和共享。例如，企业已经使用了某一品牌的 ERP 系统，在选择文档管理工具时，应优先考虑能够与该 ERP 系统集

成的工具，避免形成信息孤岛。同时，工具还应具备一定的扩展性，能够随着企业业务的发展和项目需求的变化进行功能升级和扩展^[9]。

三、施工企业项目管理中数字化工具的使用策略

（一）员工培训与推广

在引入数字化工具后，施工企业要对员工进行全面的培训，确保员工掌握工具的使用方法和技巧。可以组织内部培训课程，邀请工具供应商的技术人员进行讲解和演示，也可以制作操作手册和视频教程供员工自学。例如，在引入钉钉作为沟通协作工具后，企业可以开展钉钉使用培训，让员工了解如何进行群聊、发起会议、使用办公应用等功能^[9]。同时，企业要积极推广数字化工具的使用，鼓励员工在项目管理中充分发挥工具的优势，对于积极使用工具并取得良好效果的员工给予一定的奖励^[10]。

（二）建立标准化的使用流程

为了确保数字化工具的有效使用，施工企业应建立标准化的使用流程。例如，在使用项目进度管理工具时，明确任务创建、进度更新、资源分配等操作的流程和规范；在使用文档管理工具时，规定文件上传、下载、版本管理的流程。以看板工具为例，制定统一的任务分类标准（如“土建”“机电”“安全”）和看板布局，使项目团队成员能够按照相同的规则使用工具，提高工作效率和协同效果。

（三）数据管理与分析

数字化工具在使用过程中会产生大量的数据，如项目进度数据、成本数据、质量数据等。施工企业要重视对这些数据的管理和分析，通过数据分析挖掘潜在的问题和风险，为项目决策提供依据。例如，通过对项目进度数据的分析，可以发现哪些任务经常延误（如“混凝土养护”任务在3个分项工程中均延误2天以上），进而分析原因（如养护人员不足）并采取相应的措施进行改进；通过对成本数据的分析，可以掌握项目成本的构成和变化趋势，实现成本的有效控制。

四、案例分析

（一）案例背景

某中型施工企业承接了一个住宅建设项目，项目周期为18个月，涉及多个施工阶段和众多的施工人员、供应商。在项目管理初

期，企业采用传统的管理方式，项目进度管理依靠纸质表格和人工统计，文档管理混乱，沟通协作主要通过电话和现场会议，导致项目管理效率低下，出现了进度延误、信息传递不及时等问题。

（二）数字化工具的选择与应用

为了解决项目管理中的问题，该企业结合表1的工具对比，针对性引入了一系列数字化工具：

（1）进度管理：选择 Microsoft Project 创建甘特图，对项目中的“基础施工”“主体结构”等12项核心任务进行时间规划和资源分配，并要求施工班组每周更新进度；

（2）文档管理：使用百度企业网盘存储施工图纸（按“建筑”“结构”“机电”分类），利用腾讯文档协作编写《周进度报告》；

（3）沟通协作：采用钉钉进行日常任务通知（如“钢筋进场验收提醒”），通过腾讯会议每周召开跨部门进度会。

（三）应用效果

通过使用这些数字化工具，该项目的管理效率得到了显著提升。具体表现为：

（1）进度控制：通过甘特图实时监控，发现“模板安装”任务延误后，及时调整后续“钢筋绑扎”任务的资源分配，避免了连锁延误；

（2）文档管理：网盘检索功能使图纸查找时间从平均1小时缩短至5分钟，版本管理避免了因使用旧图导致的2次返工；

（3）沟通成本：视频会议替代了每月2次的跨区域现场会，节省差旅成本约3万元。最终，该项目提前1个月完成，成本控制在预算范围内，质量也达到了预期标准。

五、结论

数字化工具在施工企业项目管理中具有重要的作用，能够有效提升项目管理的效率和质量。施工企业在选择数字化工具时，应遵循功能需求匹配、易用性、成本效益、兼容性和扩展性等原则，结合项目规模与管理重点选择适合的工具。在使用过程中，通过员工培训、标准化流程建设和数据驱动决策，可充分发挥工具价值。通过实际案例可以看出，合理选择和使用数字化工具能够为施工企业带来显著的效益，帮助企业在激烈的市场竞争中取得优势。未来，随着信息技术的不断发展，施工企业应不断关注新的数字化工具和技术，持续优化项目管理方式，实现企业的可持续发展。

参考文献

- [1] 叶巧红. 中小企业管理中项目进度管控的数字化工具应用研究 [J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025, (06): 183185.
- [2] 贺宗春. 钢铁数字化转型有了目标图、愿景图、施工图、场景图 [N]. 中国冶金报, 20240131(001).
- [3] 刘芳. 建筑工程中的数字化施工技术分析 [J]. 电子技术, 2024, 53(01): 342344.
- [4] 卢晓雨. 建筑施工企业资金管理的数字化手段应用 [J]. 上海商业, 2024, (01): 5153.
- [5] 武玉林. 数字化物料管理系统现状应用分析及改进策略 [J]. 中国物流与采购, 2024, (01): 114115.
- [6] 林朝东. 数字化技术在施工图审查管理中的应用 [J]. 四川水泥, 2023, (11): 6264.
- [7] 迟宗凯, 李明, 吕波. 施工安全视角下的数字化监控技术研究 [J]. 工程建设与设计, 2023, (20): 9395.
- [8] 高庆保. 水利工程勘察设计与施工中数字化工具的应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2022, (18): 100102.
- [9] 李宇彤, 陈竞波, 张忍德, 等. 数字化技术驱动下的冶金成套装备项目管理模式转型思考 [J]. 山西冶金, 2021, 44(05): 141143.
- [10] 刘双喜. 数字化工具在水利工程勘测设计和施工中的应用 [J]. 科学技术创新, 2017, (19): 6667.

新航海技术对船舶避碰自动化的影响研究

汤斌

中海油田服务股份有限公司船舶事业部, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/ETQM.2025110010

摘 要： 本文系统研究新航海技术对船舶避碰自动化的影响。通过梳理船舶避碰自动化发展历程，剖析物联网、大数据、人工智能等新航海技术的原理与特性，从检测感知、决策控制、系统交互及安全可靠性等维度，分析新航海技术对船舶避碰自动化的提升作用。结合实际应用案例评估技术效果，并针对面临的技术兼容性、数据安全、法规滞后等挑战提出发展建议，为推动船舶避碰自动化技术发展提供理论与实践参考。

关 键 词： 新航海技术；船舶避碰自动化；AIS；ECDIS；人工智能

Research on the Impact of New Navigation Technologies on Ship Collision Avoidance Automation

Tang Bin

Shipping Division, China Oilfield Services Limited, Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： This paper systematically investigates the impact of new navigation technologies on ship collision avoidance automation. By reviewing the development history of ship collision avoidance automation and analyzing the principles and characteristics of emerging navigation technologies such as the Internet of Things (IoT), big data, and artificial intelligence (AI), it examines how these technologies enhance ship collision avoidance automation from dimensions including detection and perception, decision-making and control, system interaction, and safety and reliability. The paper evaluates the technical effectiveness through practical application cases and proposes development recommendations to address challenges such as technological compatibility, data security, and regulatory lag, providing theoretical and practical references for advancing the development of ship collision avoidance automation technology.

Keywords： new navigation technologies; ship collision avoidance automation; AIS; ECDIS; artificial intelligence

引言

随着全球航运业的快速发展，船舶航行密度不断增加，复杂的海上交通环境对船舶避碰安全提出了更高要求。传统的船舶避碰手段已难以满足现代航运的需求，船舶避碰自动化成为保障航行安全的关键发展方向。近年来，物联网、大数据、人工智能等新航海技术的兴起，为船舶避碰自动化带来了新的机遇与变革。深入研究新航海技术对船舶避碰自动化的影响，对于提升船舶航行安全水平、优化海上交通管理具有重要的现实意义。

一、船舶避碰自动化与新航海技术概述

（一）船舶避碰自动化发展历程

船舶避碰自动化的发展经历了多个阶段。在传统避碰阶段，主要依赖船员人工瞭望与简单助航设备，如望远镜、声号等。这种方式受人为主观因素影响大，在恶劣天气或复杂海况下，避碰效果有限。

进入自动化初步阶段，雷达、ARPA（自动雷达标绘仪）等技术开始广泛应用。雷达能够探测周围船舶的位置和运动状态，ARPA则可自动跟踪目标船舶，计算其航向、航速和CPA（最近会遇距离）、TCPA（到达最近会遇点的时间），为船员提供初步的避碰信息，显著提升了船舶避碰的自动化程度和准确性。

随着技术的不断进步，船舶避碰自动化迈入智能化发展阶段。多种先进技术深度融合的智能避碰系统逐渐出现，通过整合

多源信息，利用人工智能算法实现对目标的精准识别、避碰决策的智能生成，推动船舶避碰向高度自动化、智能化方向发展。

（二）新航海技术定义与范畴

新航海技术是基于物联网、大数据、人工智能等前沿技术发展而来的新型航海技术。其涵盖范围广泛，主要包括 AIS（船舶自动识别系统）、ECDIS（电子海图显示与信息系统）、智能传感器、AI算法、5G通信等技术。这些技术相互融合，为船舶航行提供更全面、精准的信息支持和决策辅助。

（三）船舶避碰自动化核心需求

船舶避碰自动化需满足多方面核心需求。在目标检测与跟踪方面，要求系统具备高准确性，能够及时、精准地发现并持续跟踪周围船舶及障碍物；避碰决策需具备实时性与合理性，在短时间内生成科学的避碰方案，避免碰撞风险；同时，系统的可靠性与交互性也至关重要，确保在各种复杂环境下稳定运行，并便于船员操作与信息交互^[1]。

二、新航海技术原理与特性分析

（一）AIS技术

AIS基于自组织时分多址（SOTDMA）技术实现船舶动态信息的自动广播与接收。每艘安装 AIS设备的船舶，按照设定的时间周期，将自身船位、航速、航向、船舶识别码（MMSI）、船舶类型等信息编码成数据包，通过 VHF 频段发送出去。其他船舶和岸基接收端接收到数据包后，进行解码处理，即可实时获取周围船舶的动态信息，进而构建海上交通态势图。AIS技术具有实时性强、广域覆盖的特点，能够实现全球范围内船舶信息的交互，且可同时处理大量船舶数据，为船舶避碰决策提供全面、准确的信息支持。

（二）ECDIS技术

ECDIS以数字化海图数据为基础，通过与 GPS、罗经、计程仪等设备集成，实时显示船舶位置与航行环境。系统具备海图自动更新功能，能够通过网络及时获取最新的航道、航标、水深、禁航区等信息，确保海图数据的准确性和时效性。在船舶避碰应用中，ECDIS可根据船员设定的安全等深线、安全距离等参数，对潜在危险区域进行自动预警，并结合 AIS和雷达数据，辅助船员进行航线规划和碰撞风险评估，有效提升航行安全性^[2]。

（三）智能传感器技术

智能传感器是船舶环境感知的关键设备，主要包括激光雷达、毫米波雷达和视觉传感器。激光雷达通过发射激光束并接收反射信号，能够实现对目标的三维建模和精确距离测量，检测距离可达100-300m，角度分辨率高，能够精准识别目标的轮廓和形状。毫米波雷达利用毫米波频段的电磁波进行探测，具有较强的穿透性，在雨、雾、沙尘等恶劣天气条件下仍能稳定工作，检测距离为50-200m。视觉传感器通过摄像头采集图像，借助计算机视觉算法实现目标识别，数据刷新率高，但受光照条件影响较大。不同类型的传感器特性互补，通过多传感器融合技术，可显著提升船舶对环境感知的准确性和可靠性。智能传感器性能参数对比如表1所示：

表1 典型智能传感器性能参数对比

传感器类型	检测距离	角度分辨率	环境适应性	数据刷新率
激光雷达	100-300m	0.1° -1°	受雨雪影响	10-20Hz

毫米波雷达	50-200m	1° -5°	强	20-50Hz
视觉传感器	20-100m	取决于像素	光照敏感	30-60Hz

（四）AI算法与机器学习技术

在船舶避碰领域，AI算法发挥着核心作用。目标识别算法如 YOLO（You Only Look Once）、Faster R-CNN等，通过深度学习模型训练，能够快速、准确地识别海上各类目标。这些算法可处理视觉传感器采集的图像数据，检测出小型船舶、浮标、漂浮物等目标，并标注其位置和类别^[3]。避碰决策方面，强化学习算法通过模拟大量的航行场景，让算法在与环境的交互中学习最优避碰策略。机器学习技术则利用历史航行数据和避碰案例，对算法参数进行持续优化，不断提升决策的准确性和适应性。

三、新航海技术对船舶避碰自动化的影响分析

（一）检测与感知能力提升

新航海技术通过多源信息融合，极大地增强了船舶的检测与感知能力。AIS提供船舶的身份和动态信息，雷达和激光雷达实现目标的距离和方位测量，视觉传感器补充目标的外观特征，三者数据相互补充、融合，可构建出完整、精确的海上态势模型。AI算法的应用进一步提升了目标识别精度，尤其在小目标和弱反射目标检测方面表现突出，有效减少了漏检和误判情况，为避碰决策提供了可靠的数据基础。

（二）决策与控制智能化

AI算法的引入使船舶避碰决策实现了智能化。避碰系统能够在极短时间内，对当前航行环境进行全面分析，结合 COLREGS规则和历史避碰经验，快速生成多个避让方案。通过对方案的安全性、经济性和可行性进行评估，系统可自动选择最优策略。在路径规划方面，系统可结合实时海况、交通流数据，动态调整航线，避免进入危险区域。部分先进的避碰系统还可通过船载执行机构自动执行避让动作，实现从目标检测到控制执行的全自动化闭环^[4]。

（三）系统交互与协同优化

新航海技术推动船舶避碰系统实现了船-船、船-岸之间的高效协同。AIS技术支持船舶间避碰信息的实时共享，相邻船舶可及时获取对方的避让意图，避免行动冲突，提高协同避碰效率。5G通信技术的应用实现了船-岸之间的高速数据传输，岸基控制中心能够远程监控船舶的航行状态，在复杂情况下为船舶提供辅助决策支持。此外，人机交互界面的优化设计，使船员能够更直观地获取系统信息，并快速对自动化决策进行干预，实现了人机之间的高效协同^[5]。

（四）安全可靠性强

新航海技术通过冗余设计和智能诊断，提升了船舶避碰系统的安全可靠性。多传感器、多通信链路的冗余配置，确保在部分设备出现故障时，系统仍能正常运行。AI技术可对传感器数据和系统状态进行实时分析，利用异常检测算法及时识别潜在故障，提前发出预警并启动故障隔离机制。同时，数据加密和访问控制技术的应用，有效保障了信息安全，防止数据篡改和非法入侵，进一步增强了系统的安全性。

四、新航海技术应用案例与效果评估

（一）案例选取与介绍

1. 某集装箱船智能避碰系统改造项目

某集装箱船在进行智能避碰系统改造时，集成了 AIS、毫米波雷达、视觉传感器和 AI 避碰算法。其中，AIS 用于获取周围船舶的动态信息；毫米波雷达在恶劣天气下实现目标的稳定探测；视觉传感器提供目标的外观细节；AI 避碰算法则对多源数据进行融合处理，并生成避碰决策。系统采用分层架构设计，底层传感器采集数据，经数据预处理层清洗和转换后，传输至 AI 算法决策层进行分析处理，最终将决策结果发送至执行层，通过驾驶台显示器向船员提示操作建议，必要时可自动控制船舶动力和转向系统执行避让动作^[6]。

2. 某邮轮新航海技术集成应用案例

某邮轮将 ECDIS 与 5G 通信技术深度结合，并引入机器学习算法优化航线规划和避碰决策。ECDIS 系统实时显示邮轮位置和航行环境，利用 5G 通信实现海图的实时更新和与岸基中心的数据交互。机器学习算法根据历史航行数据、海况信息和交通流数据，优化航线规划，降低燃油消耗^[7]。在避碰方面，系统综合 AIS、雷达等数据，通过 AI 算法进行碰撞风险评估，并生成避让方案，同时将相关信息实时反馈给船员和岸基监控中心。

（二）应用效果分析

1. 避碰响应时间对比

对改造前后的某集装箱船进行避碰响应时间测试。在模拟的多船会遇场景中，传统雷达-ARPA 系统从检测到目标到生成初步避碰建议，平均耗时约 3.2 秒；而集成新航海技术的智能避碰系统，凭借 AI 算法的快速数据处理能力，从目标检测到输出最优避碰方案，平均时间缩短至 0.8 秒。这一显著提升，使船舶在紧急情况下能够更早采取避让措施，有效增加了避碰操作的时间窗口^[8]。

2. 碰撞风险降低率评估

通过对某邮轮应用新航海技术前后的航行数据进行分析，在相同的航行里程和相似的交通环境下，应用前的一年中，该邮轮共发生 5 起接近碰撞事件（CPA 小于安全阈值）；应用新航海技术后的一年，接近碰撞事件减少至 1 起。基于历史数据和统计学方法估算，新航海技术的应用使该邮轮的碰撞风险降低幅度超过 80%。这主要得益于系统精准的目标识别、智能的避碰决策以及高效的船-船、船-岸协同能力。

3. 船员工作负荷变化评估

采用 NASA 任务负荷指数（NASA-TLX）对船员工作负荷进行量化评估。在传统避碰模式下，船员在复杂交通环境航行

时，平均 NASA-TLX 得分为 72 分，主要压力来自人工瞭望、数据计算和决策制定；应用新航海技术后，船员在同样环境下的平均 NASA-TLX 得分降至 45 分。自动化功能减少了人工瞭望和数据计算的工作量，使船员能够将更多精力投入到对系统状态的监控和复杂情况的处理上，工作负荷显著降低，工作效率和安全性得到有效提升。

五、新航海技术应用面临的挑战与发展建议

（一）面临挑战

技术兼容性问题是新航海技术应用的主要障碍之一。不同厂商生产的 AIS、传感器、避碰系统等设备，在数据接口和通信协议方面存在差异，导致系统集成难度大，难以实现设备之间的无缝协同工作。数据安全风险也不容忽视，随着船舶智能化程度的提高，船舶网络面临着信息泄露、网络攻击等威胁。一旦避碰数据被篡改或系统遭受恶意控制，将严重威胁船舶航行安全^[9]。此外，现行的船舶避碰规则主要基于人工操作和传统设备制定，对于新航海技术的应用规范、责任界定等方面存在明显滞后，无法为新技术的发展提供充分的法律保障。

（二）发展建议

为解决技术兼容性问题，应推动技术标准化进程。国际海事组织（IMO）等相关机构应牵头制定统一的数据接口标准和通信协议，规范设备制造商的生产标准，促进不同设备和系统之间的互联互通。在数据安全方面，需加强船舶网络安全防护体系建设，采用区块链、量子加密等先进技术，保障数据的完整性、保密性和可用性^[10]。同时，建立完善的网络安全监测和应急响应机制，及时发现和处理安全威胁。在法规政策层面，需修订 COLREGS 规则，明确智能避碰系统的应用条件、操作规范和责任划分，为新航海技术的应用和发展提供清晰的法律依据。

六、结束语

新航海技术凭借其创新性和先进性，从检测感知、决策控制、系统交互和安全可靠等多个维度，深刻改变了船舶避碰自动化的技术格局，显著提升了船舶航行的安全性和运营效率。尽管在应用过程中面临技术兼容、数据安全和法规滞后等挑战，但随着标准化建设的推进、安全技术的创新和法规政策的完善，新航海技术有望在船舶避碰领域发挥更大的作用，为全球海上交通的安全、高效发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 王海峰, 刘远洋. 智能航海技术在船舶避碰中的应用与发展 [J]. 中国航海, 2023, 46(02): 108-115.
- [2] 陈宇航, 张伟. AIS 技术在船舶协同避碰中的优化路径研究 [J]. 舰船科学技术, 2022, 44(18): 132-138.
- [3] 李建强, 王敏. 多传感器融合技术在船舶避碰系统中的性能优化 [J]. 船舶工程, 2021, 43(10): 98-104.
- [4] 赵晨阳, 孙明. 基于 AI 的船舶智能避碰决策系统设计与实现 [J]. 交通信息与安全, 2020, 38(06): 117-124.
- [5] 周远航, 吴昊. 船舶网络安全风险分析与防护策略研究 [J]. 航海技术, 2023, 58(05): 92-98.
- [6] 陈相照. 基于新航海技术的船舶避碰自动化功能与应用探析 [J]. 珠江水运, 2023, (11): 3-5.
- [7] 钮晓浩. 新航海技术对船舶避碰自动化的影响 [J]. 中国航务周刊, 2023, (21): 52-54.
- [8] 巫清华. 新航海技术对船舶避碰自动化的影响 [J]. 中国水运, 2021, (15): 77-79.
- [9] 高超. 新型航海技术对船舶避碰自动化的影响 [J]. 中国航务周刊, 2021, (13): 50-51.
- [10] 高启长. 新航海技术对船舶避碰自动化的影响 [J]. 船舶物资与市场, 2021, (02): 91-92.

基于磁性纳米材料的样品前处理技术在食品检测中的应用

刘琛琛, 张涛

青岛市华测检测技术有限公司, 山东 青岛 266000

DOI:10.61369/ETQM.2025110012

摘 要 : 食品安全非常重要, 精准、高效地检测食品中的有害物质意义极其重大, 但检测受到食品样品复杂基质的影响而产生干扰, 实施有效的样品前处理非常有必要。磁性纳米材料凭借高比表面积等长处, 在样品前处理领域的潜力巨大。本文对其制备与功能化的相关策略进行阐述, 介绍了磁性固相萃取等4种典型前处理的方式, 分析其优势劣势及相关应用实例, 为相关研究与应用提供借鉴, 推进食品安全现场快速检查。

关 键 词 : 磁性纳米材料; 样品前处理技术; 食品检测; 便携式装置

Application of Magnetic Nanomaterials Based Sample Pretreatment Technology in Food Testing

Liu Chenchen, Zhang Tao

Qingdao Centech Testing Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266000

Abstract : Food safety is of paramount importance, and the precise detection of harmful substances in food holds immense significance. However, sample preparation poses challenges due to complex matrices in food samples, making effective pretreatment essential. Magnetic nanomaterials, with their high specific surface area, demonstrate significant potential in sample pretreatment. This paper outlines strategies for their preparation and functionalization, introduces four typical pretreatment methods including magnetic solid-phase extraction (SPE), analyzes their advantages, limitations, and practical applications, and provides insights for related research and implementation to advance rapid on-site food safety inspections.

Keywords : magnetic nanomaterials; sample pretreatment technology; food testing; portable devices

随着人们的生活质量提高, 社会对食品安全性的关切程度日益加大, 而食品所含的农药、兽药残留等有害物质损害健康, 精准高效地检测这类物质, 对保障食品的安全起着关键作用^[1]。然而, 传统前处理方法有着操作繁琐等缺陷, 近年内纳米技术的发展, 磁性纳米材料凭借如高比表面积的特性, 被引进到样品前处理, 可迅速高效富集、针对性识别目标物。所以, 深入探索其在食品检测方面的应用意义非凡。

一、磁性纳米材料的种类

磁性纳米材料的种类繁多, 在多个范畴当中展现出关键的应用意义。代表金属基磁性纳米材料的有铁、钴、镍及其合金, 而铁基材料在实际应用方面较为广泛, 如四氧化三铁 (Fe_3O_4) 展现超顺磁性, 外加磁场时能迅速分离, 去磁后再次分散, 既制备简便, 又成本低廉; γ -三氧化二铁 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 兼具优异磁性能与化学稳定性, 由于成本高昂且毒性大, 钴基和镍基材料, 在食品检测范畴应用受限^[2]。

铁氧体磁性纳米材料呈现出尖晶石结构形态, 通式写成 MFe_2O_4 , M为二价的金属离子, 可凭借调整金属离子的种类及其比例, 对磁性能与表面性质加以调控, 展现出较高的磁饱和强度

以及化学稳定性较佳, 对样品前处理有潜在的应用意义^[3]。

复合磁性纳米材料由磁性纳米颗粒和碳材料、聚合物这类功能材料复合制成, 融合了磁分离性能与其他材料的优势, 如 Fe_3O_4 /石墨烯复合材料, 既具备磁性, 还有高比表面积以及优异的导电表现, 能提升目标分析物的吸附水平与检测灵敏度^[4]。

二、磁性纳米材料的制备方法

(一) 自上而下合成法

该方法利用物理或化学手段把块状磁性材料缩小至纳米规模。在物理方法当中, 球磨法凭借磨球撞击研磨磁性材料, 成功制得纳米颗粒, 然而有尺寸分布过宽、易混入杂质的难题; 激光

烧蚀法凭借高能激光束让靶材汽化然后凝聚成纳米颗粒，所获产物纯度佳，但存在设备成本高昂、产出量低的弊端^[5]。从化学方法这个维度来看，溶胶-凝胶法可实现对材料组成与结构的精准控制，然而工序繁杂，时间耗费大；采用化学蚀刻法能制备出呈现特定形貌的磁性纳米材料，但蚀刻条件的要求十分严苛。

（二）自下而上合成法

此方法借助原子或分子层面的化学反应，渐进式地构建磁性纳米材料。共沉淀法、水热合成法、溶剂热合成法等均为常见化学合成手段，采用共沉淀法，在碱性条件下把金属盐溶液混合，把控反应条件让金属离子同时发生沉淀进而形成纳米颗粒，做法便捷、费用不高；水热和溶剂热合成反应是在高温高压溶液内展开，借由调控参数掌控颗粒的大小与外形，所制颗粒结晶佳、尺寸齐整，但完成该反应需借助高压反应釜，操作呈现出一定的复杂性^[6]。

三、磁性纳米材料的功能化策略

（一）表面修饰

表面修饰是在磁性纳米材料表面引入氨基、羧基、巯基等官能团，赋予其特定的化学特性与吸附本领。就像运用硅烷偶联剂修饰 Fe_3O_4 纳米颗粒以引入氨基，凭借氨基与目标分析物之间静电、氢键等作用达成选择性吸附。借助表面修饰，磁性纳米材料分散性及稳定性可增强，避免团聚^[7]。

（二）核壳结构

核壳结构采用磁性纳米颗粒作为核，其表面被覆二氧化硅、聚合物、金属之类壳层，此结构能庇护磁性核不遭受外界环境的干扰，增强化学稳定性及生物相容性。要实现目标分析物选择性识别与分离，可调节壳层材料的性质，像在 Fe_3O_4 表面包裹二氧化硅且做进一步修饰处理，可制得分散、选择性能皆优的磁性吸附材料。

（三）多功能复合

所谓多功能复合，即让磁性纳米材料与荧光、催化、生物分子等功能材料复合，造就兼具富集、分离、检测等若干功能的复合材料，如具备磁性荧光功能的纳米复合物，可凭借磁性达成快速分离、运用荧光进行定量测定，增强检测灵敏层面与准确层面的表现。

四、磁性纳米材料的样品前处理技术在食品检测中的应用分析

（一）磁性固相萃取（MSPE）的应用

在食品检测领域，磁性固相萃取（MSPE）的应用极为普遍，在实际操作时，先选取适宜的磁性纳米材料充作吸附剂，鉴于 Fe_3O_4 纳米颗粒拥有良好的磁性与化学稳定性，故常被采用。以检测水果农药残留为例，把 Fe_3O_4 纳米颗粒投加到水果汁液样本，吸附剂跟目标分析物凭借疏水、静电或氢键等作用进行特异性吸附，使农药分子黏附到纳米颗粒表面之上^[8]。

待吸附结束后，借助像永磁体这类的外加磁场，可迅速把吸附了目标分析物的磁性纳米材料从样品溶液里分离出来，省略传统离心、过滤这类复杂的分离操作，显著压缩分离所需时长。利

用有机溶剂、缓冲溶液等恰当的洗脱剂，把目标分析物从磁性纳米材料那里洗脱下来，洗脱液可直接拿去进行色谱、质谱等后续检测，进而明确目标分析物的类别与数量，MSPE 操作简单易行、高效迅速、溶剂用量较少，可降低成本，进而减少对环境的污染影响。

（二）磁性固相微萃取（MSPME）的应用

磁性固相微萃取（MSPME）是从 MSPE 基础上衍生出的新型技术，该技术将磁性纳米材料涂抹至纤维、搅拌棒等微萃取装置的表面部位。如在蔬菜农药残留检测操作中，把覆有磁性纳米材料的搅拌棒放进蔬菜提取液当中。依靠搅拌棒的搅拌效果，让其与样品溶液充分交融，目标分析物在搅拌棒表面磁性纳米材料跟样品溶液当中达到了分配平衡，以此实现目标分析物的吸附和富集^[9]。源于微萃取装置其表面积是偏大的，且磁性纳米材料具备大比表面积与优良吸附性能，MSPME 呈现较高的萃取效率以及富集倍数表现。

待吸附操作结束后，借助外加磁场把搅拌棒从样品溶液里取出，摒弃了传统微萃取技术里的解吸与转移环节，降低了目标分析物损耗。然后可直接把搅拌棒放进检测仪器里进行在线的检测分析，也可利用洗脱剂对目标分析物进行洗脱后再检测，MSPME 可实现操作的自动运行，增强了检测精准度与可重复性，能应用于大规模食品样品的快速检测。

（三）磁性分散固相萃取（MDSPE）的应用

磁性分散固相萃取（MDSPE）融合了分散固相萃取和磁性分离两者长处。在实际应用的相关操作里，先把磁性纳米材料跟分散剂混合，促成均匀分散体系的形成，如将 Fe_3O_4 纳米颗粒与有机溶剂、水共同混合，通过超声处理实现均匀分散。把此分散体系添加到食品样品溶液内，若涉及检测肉类里的兽药残留情况，把分散体系掺入肉类匀浆液内，以搅拌等方式达成磁性纳米材料与样品充分接触，磁性纳米材料把目标分析物吸附到其表面^[10]。鉴于分散体系实际存在，样品溶液中磁性纳米材料可达成均匀分散，增加了跟目标分析物的接触面积大小，加速了萃取速度，扩充了吸附容量。

待吸附操作结束后，依靠外加磁场使磁性纳米材料跟样品溶液快速分离开来，接着进行洗脱与检测环节。MDSPE 的操作简洁便捷，短时间内即可完成对目标分析物的富集、分离，可对复杂食品基质中痕量有害物质实施检测。

（四）基于磁性分子印迹聚合物的固相萃取（MMIP-SPE）的应用

采用磁性分子印迹聚合物的固相萃取（MMIP-SPE）具备高度的选择特性。该技术采用目标分析物作为模板分子，借助聚合反应，在磁性纳米材料表面构建和目标分析物在空间结构、功能基团上相契合的印迹空腔。如进行水产品里重金属离子检测的时候，采用重金属离子作为模板分子来开展磁性分子印迹聚合物的制备^[11]。将制备好的磁性分子印迹聚合物作为吸附剂掺入水产品样品溶液中，印迹空腔可对目标重金属离子进行特异性识别与吸附。然而对其余共存物质，几乎不发生吸附或吸附量甚微，通过外加磁场将吸附目标分析物的磁性分子印迹聚合物从样品溶液中

分离出来，跟着用洗脱剂对目标分析物洗脱后检测。

MMIP-SPE展现出高选择性能力，可高效消除食品基质里其他成分的干扰，增强检测精准度与灵敏度，该吸附材料可达成重复使用效果，使检测成本实现降低，适合开展针对特定目标分析物的高选择性检测操作。

（五）应用实例分析

在食品检测范畴，采用磁性纳米材料的前处理技术应用广泛，如水产养殖活动中抗生素使用未达规范要求，引发水产品抗生素残留问题棘手，恩诺沙星残留若超标，将危及人体健康，亟待构建精准灵敏的水产品恩诺沙星残留检测方法。

本研究依托溶胶－凝胶法，制备了以 Fe₃O₄为磁性核心、恩诺沙星为模板的磁性分子印迹聚合物（Fe₃O₄@MIP），赋予该物质高选择性识别的本领，选取10份约500g的草鱼制成匀浆，借助基于该聚合物的固相萃取（MMIP－SPE）技术做前处理，经活化以及吸附等步骤完毕后，采用高效液相色谱－串联质谱（HPLC－MS/MS）开展分析^[12]。

往草鱼匀浆样品中添加低、中、高三个浓度量级的恩诺沙星标准溶液，各浓度分别进行6次平行实验，核算得出回收率结果，检测结果情况见表1，用这一方式验证所建立检测方法的可行性及准确情况。

表1 基于 MMIP-SPE 技术草鱼匀浆恩诺沙星检测数据分析			
检测指标	低浓度水平 (0.5 μg/kg)	中浓度水平 (2.0 μg/kg)	高浓度水平 (5.0 μg/kg)
回收率范围	82.5%－87.2%	85.6%－89.8%	88.2%－92.5%
平均回收率	85.1% (6次实验综合计算得出)	87.7% (6次实验综合计算得出)	87.1%
相对标准偏差 (RSD)	2.1%－3.5%	2.8%－3.2% (6次实验综合计算得出)	3.0%－3.5% (6次实验综合计算得出)
最低检测限 (LODs, μg/kg)	0.02 (依据信噪比 S/N = 3 测定)	—	—

从表1得知，低、中、高浓度状况下回收率数据效果好，证实方法精准度佳。呈现出低 RSD值，说明精密度呈现良好态势，检测的最低额度0.02 μg/kg符合法规的相关要求，本案例制作恩诺沙星模板化的磁性分子印迹聚合物，引入 MMIP－SPE技术实施前期处理，构建高效灵敏的检测体系，具备高选择性等独特长处，为水产品抗生素残留检测给予可靠途径。

五、结束语

综上所述，食品检测中采用基于磁性纳米材料的样品前处理技术，应用前景远大。经由持续钻研和开拓新型磁性纳米材料制备办法、功能化策略和样品前处理模式，可进一步增进该技术对食品中有害物质检测的灵敏程度与选择特性。未来，应着重开展新型高效功能化策略的创制，搭建新式轻便型样品前处理器械，对材料功能化及制备的工艺加以优化，助力基于磁性纳米材料的样品前处理技术在食品安全现场快速检测里实现广泛应用，为维护食品安全增添更坚实技术后盾。

参考文献

[1]王青雯. 磁性纳米酶显色技术在食品安全检测中的应用研究 [J]. 中外食品工业, 2025, (12): 22-24.

[2]马艺宁, 赵灵瑜, 何立, 等. 基于磁性 Fe₃O₄ 纳米材料的磁固相萃取技术在食品检测中的研究进展 [J]. 食品科学, 2025, 46(09): 364-390.

[3]樊文芳. 基于多孔纳米材料的比色 / 荧光传感器的构建及其在食品安全检测中的应用 [D]. 南昌大学, 2024.

[4]余鸿涛, 雷红涛, 郭家辉, 等. 基于磁性纳米材料的样品前处理技术在食品检测中的应用研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(19): 1-12.

[5]邹冰雁, 王霞, 陈岱威, 等. 磁性纳米材料在食品安全检测中的应用 [J]. 食品工业, 2023, 44(03): 330-333.

[6]刘宇尘, 周剑, 王敏. 磁性纳米颗粒在环境中类固醇激素检测的应用与研究进展 [J]. 食品工业, 2022, 43(05): 216-223.

[7]折欢欢, 冯贝贝, 张毅, 等. 磁性甲壳素 / 壳聚糖复合材料在食品安全检测中的应用研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(03): 838-844.

[8]王枫雅, 冯亮. 硼酸官能化金属-有机骨架磁性纳米复合材料的制备及其在茶叶农药残留检测中的应用 [J]. 色谱, 2021, 39(10): 1111-1117.

[9]李银龙, 聂雪梅, 杨敏莉, 等. 新型磁性固相萃取材料在食品样品前处理中的应用进展 [J]. 食品科学, 2022, 43(05): 295-305.

[10]张萌. 磁性纳米复合材料的制备及其在食品检测中的应用 [D]. 武汉大学, 2021.

[11]何雅雯. 磁性纳米材料电化学转化方法在家禽产品抗生素残留检测的应用 [D]. 浙江大学, 2020.

[12]王娟强. 基于磁固相萃取的样品前处理技术及对黄酮类物质和聚合物添加剂分离分析应用 [D]. 北京化工大学, 2018.

机械化采煤技术在薄煤层中的应用研究

黄廷选

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司 汝箕沟无烟煤分公司, 宁夏 固原 750003

DOI:10.61369/ETQM.2025110015

摘 要：薄煤层是煤炭资源的重要部分，它的高效开采对保证能源供给有重要价值，但是，薄煤层开采受空间狭小，地质状况繁杂等要素约束，传统采煤办法效率很低，机械化采煤技术可以明显改善薄煤层开采的安全性及经济性，本文全面剖析了薄煤层开采的技术难题，探究了滚筒采煤机，刨煤机，连续采煤机等机械化开采手段的合适性，而且考察了设备改良，自动化控制等关键科技问题，依照智能化发展走向，展望了薄煤层机械化开采的将来方向，为有关技术研究提供参照。

关 键 词：薄煤层；机械化采煤；滚筒采煤机；刨煤机；智能化开采

Study on the Application of Mechanized Coal Mining Technology in Thin Coal Seam

Huang Tingxuan

Ruji Gou Anthracite Branch, Ningxia Coal Industry Co., LTD. (National Energy Group), Guyuan, Ningxia 750003

Abstract：As a crucial component of coal resources, thin coal seams play a vital role in ensuring energy supply through efficient mining. However, constrained by limited space and complex geological conditions, traditional mining methods demonstrate low efficiency. Mechanized mining technologies can significantly enhance both safety and economic efficiency in thin coal seam operations. This paper comprehensively analyzes technical challenges in thin coal seam mining, evaluates the suitability of mechanized equipment including drum coal cutters, scraper cutters, and continuous mining machines, and examines key technological issues such as equipment optimization and automated control systems. Following the trend of intelligent development, it outlines future directions for mechanized thin coal seam mining, providing valuable references for related technical research.

Keywords：thin coal seam; mechanized coal mining; drum coal cutter; scraper coal cutter; intelligent mining

引言

经济发展让我国的煤矿行业有着全新的发展道路,但是由于目前煤矿薄层开采工作受到许多因素的影响,例如地质环境因素的影响、工作方式较为复杂以及政府政策没有相对的保护以及实施力度等,此外薄层开采的工作也会有一定的安全风险。目前国家提出煤矿综合机械化薄层开采政策,对综合机械化薄层开采技术也有全新的考虑。^[1]目前国内外在薄煤层机械化开采上已经取得了一定的成果,但是也存在着设备适应性差、自动化程度低等问题。本文主要对薄煤层机械化开采的相关技术进行研究,分析现有的采煤设备的优缺点,提出改进措施,展望未来的发展趋势,为薄煤层高效开采提供理论依据。

一、薄煤层开采技术概述

(一) 薄煤层的定义与分类

薄煤层是指可采厚度在0.8米到1.3米之间的煤层,有些极薄煤层的厚度甚至低于0.8米,按照开采难易程度和煤层厚度可以分成三类,即普通薄煤层(1.0 - 1.3米),较薄煤层(0.8 - 1.0米),极薄煤层(< 0.8米),不同厚度的煤层对于开采技术的

要求差别很大,普通薄煤层能够用普通的机械化设备,但是极薄煤层就需要专门设计的低采高设备,而且,薄煤层还可以按照倾角划分成近水平煤层,缓倾斜煤层和急倾斜煤层,不同倾角条件下开采工艺和设备选择也大不一样,因为我国煤炭储量中有超过20%是薄煤层,所以高效开采薄煤层对保证能源安全非常重要。

(二) 薄煤层开采技术难点分析

薄煤层开采有很多技术上的难题,薄煤层工作面的高度比较

小,所以大型的设备无法很好的安装在上面,工人操作的空间非常狭小,而且工作条件也不好。薄煤层的顶板管理工作也很难,因为煤层较薄,所以顶板下落比较多,很容易发生冒顶现象。薄煤层里面常常会包含大量的矸石,造成截割阻力过大,设备磨损严重。通风条件不好也是个难题,由于空间狭小,风流阻力就会加大,容易出现瓦斯堆积的情况。^[2]由于上述问题的存在,所以造成了薄煤层开采低效率,高成本。需要利用技术更新、改进设备。

二、机械化采煤技术的主要分类

（一）滚筒采煤机于薄煤层的应用

滚筒采煤机是当前薄煤层开采的主要设备,它依靠旋转的截割滚筒来破碎煤体,之后由刮板输送机将其运送出去,针对薄煤层的特点,现代滚筒采煤机做了不少改进,机身高度大多在0.8 – 1.0米之间,截割电机功率高达300 – 500kW,保证在低采高环境下也能具备足够的破岩能力,电牵引系统代替了传统的液压牵引,从而提升了传动效率并增强了可靠性。^[3]有些先进的型号采用了双滚筒布局,可以做到双向割煤,缩减空行程的时间,不过,滚筒采煤机在极薄煤层当中依然碰上难题,比如滚筒装煤效果不佳,机身和顶板之间的缝隙太小等,这些都要进一步改善结构设计。

（二）刨煤机开采技术的特性

刨煤机系统由刨头、刨煤机主要由滑道、驱动装置等构成,依靠往复运动对煤壁实施刨削,这种开采方法具备煤块较大、粉尘排放量小等优点。^[4]比较适合于煤质较为柔软的薄煤层,现代刨煤机系统运用了变频调速技术,可以按照煤层的硬度来自动调整运行速度,其最大牵引速度能够达到3米每秒,液压支架和刨煤机配合工作,可以做到跟机自动移架,生产效率明显提高,不过刨煤机对地质条件的要求比较高,如果煤层里面含有硬夹矸,就很容易造成刨刀出现异常磨损,从而影响到开采的连续性,所以这项技术更适合于那些赋存稳定,煤质比较均匀的薄煤层开采。

（三）连续采煤机及短壁开采技术应用研究

连续采煤机使用横轴式截割滚筒,搭配链式输送机构,能够同时执行落煤、装煤及运煤任务,这种设备很适合短壁开采工艺,对于边角煤、残留煤柱回收有明显优势,现代连续采煤机带有自动导航系统,可以做到准确路径控制,开采效率比传统长壁工作面高出80%以上,短壁开采系统一般包含连续采煤机,锚杆钻车和运煤车,从而形成灵活的生产单元,这项技术最突出的优点就是巷道准备时间短,资源回收率高,不过对顶板支护的要求比较严格,必须配备快速支护设备才能保证作业安全。

三、关键技术问题与优化策略

（一）薄煤层采煤机结构优化研究

薄煤层采煤机结构优化有三个方向,第一是紧凑化设计,把传动系统布局优化,机身高度在保证功率的前提下降低,第二是

提升截割部可靠性,用高强度合金材料做截齿,改进齿座固定方法,延长使用寿命,第三是改进装煤效率,改良滚筒螺旋叶片参数,改善煤流导向,最近研发的薄煤层采煤机开始采用模块化设计,方便井下快速维修更换,有些型号试验性采用永磁电机驱动,在同等功率下体积更小,效率更高,以后的发展方向是进一步减轻重量,提高单位功率密度,还要增强对复杂地质条件的适应能力。

（二）工作面支护与自动化管控

随着社会的进步,时代的发展,越来越多先进的采煤技术出现在我们的生活和工作中。在煤矿的开采中,我们应用各种综合机械,对煤矿进行采集。这样不仅减少了对煤矿开采人员的需要,减少资源浪费,也提高了煤矿开采的工作效率与工作质量,为企业创造更多价值。^[5]薄煤层工作面的安全生产很大程度取决于有效支护,现在的支护系统采用了两柱掩护式的液压支架,其支架高度调节幅度一般在0.6–1.5m,其工作阻力一般为4000 – 6000kN,而电液控制可自动跟机,支架移架速度可以控制到10–15s/架,在顶板监测系统中,顶板支护监测随时对支护的动态进行监测,并且当出现顶板有异常压力的时候,会对支架进行自动调节,而且支架会自动报警,自动跟机进行支护。而在自动化控制上面,采煤机会进行自动记忆截割系统,可以在最佳的截割轨迹上进行储存,其截割精度一般能够保证在 $\pm 50\text{mm}$ 之内,而远程监控中心可以利用工业以太网对设备运行数据及时采集,实现故障预测和设备能耗管控。这些技术让薄煤层工作面向着“少人化”方向发展。

四、薄煤层开采优化集成系统

（一）开采工艺的系统化改进

薄煤层开采工艺的系统优化要从整体生产流程出发,创建更为科学合理的开采体系,首先要改良工作面的安排形式,针对不同的煤层厚度和倾斜角度,采取不一样的工作面长度规划,一般在120 – 180米左右,然后改善采煤工艺参数,包含恰当确定截割深度,牵引速度等关键指标,做到最好的生产效率和资源回收率的均衡。^[6]还要创建起完备的煤流控制系统,通过改良转载点的设计以及运输系统的设置,削减生产过程中煤流阻滞的情况,格外要注意的是,要把通风系统的设计同开采工艺紧密联系起来,保证在狭小的空间里有足够新的空气,给安全生产提供保障。

（二）设备配套的协同优化

薄煤层开采设备的配套优化是高效生产的关键部分,首先建立采煤机、液压支架以及刮板输送机的最佳匹配关系,保证三机配套的几何尺寸和性能参数协调一致,重点解决设备之间的干涉问题,特别是采煤机摇臂与支架顶梁之间的运动配合,然后完善辅助设备的配置,除尘系统、供电系统、控制系统等。^[7]形成完整的设备体系,尤其要注意设备维修空间的预留,在保证设备紧凑布置的情况下,为日常维护和故障处理留出足够的空间,还要建立设备状态的实时监测系统,通过数据采集和分析,及时发现并解决问题。

（三）生产管理的智能化升级

薄煤层开采的生产管理智能化是整体效率提升的关键，首先是要创建起以物联网为基础的生产监控体系，做到对设备状态，生产进程以及环境参数的即时监测，其次要开发智能调度系统，依靠大数据分析和人工智能算法来改善生产组织和设备调配，特别关键的是要形成起完备的质量控制体系，通过在线煤质检测和自动分选技术保证产品的品质稳定，而且还要创建起安全生产预警系统，凭借对各种安全隐患的智能识别和预警，有效地防止事故的发生，这些智能化的管理手段结合起来使用之后，会明显改善薄煤层开采的整体管理水平，从而给安全高效的生产提供有力的支持。

五、技术发展趋势与展望

（一）智能化无人化开采技术

薄煤层智能化开采主要朝着三个方向展开：第一是设备自主决策能力提高，利用多传感器融合技术让采煤机自主辨别煤岩交界，改变截割参数；第二是5G通信技术深入应用，达成设备彼此间几秒钟的信息传递，从而搭建起数字复制品系统；第三就是改良人工智能算法，凭借深度学习加强地质预估准确性，进而随时改变开采策略。无人工作的采煤面最终目的在于地面远程操控，井下就留些巡查机器人，把干活的人全都挪到危险之外去，有个示范工作面做到采煤机，液压支架以及输送系统全部自主配合，下一步将重点攻克复杂地质条件下的自适应控制难题。

（二）高效低耗设备研发方向探索

未来的薄煤层采煤设备将向着“三高两低”方向发展：高可靠度、高适应性、高智能性、低耗能、低维修，其技术途径是：研制出新的截割机构，如高频冲击式截割头，以减少截割比耗能；采用碳纤维复合材料，减重而不失强度；采用永磁同步电机

驱动系统，效率比异步电机提高5-8%；采用自润滑耐磨材料，延长关键零部件更换期。^[9]能量回收也将受到重视，如用制动能量回馈电网，减少总体能耗等。这些技术将使得薄煤层开采单吨能耗降低15-20%，经济效益大为提高。

（三）薄煤层开采的经济性与可持续发展

要提升薄煤层开采经济性，就要从三个层面统筹考量。^[9]技术创新削减生产成本，预估未来五年开采成本会缩减10 - 15%，政策扶持上，提议给薄煤层开采减税或者补钱，市场机制里，创建绿色煤炭认证体系，改善薄煤层煤炭的附加价值，可持续发展途径包含，推行充填开采技术，削减地表沉陷，开发煤层气协同开采技术，做到资源综合应用，创建数字化矿山经营系统，改良生产全过程，依靠技术创新和模式革新相融合，薄煤层开采就能做到经济效益和环境效益的协调，给煤炭行业绿色转型提供示范。

六、结束语

薄煤层机械化开采技术的发展对于我国煤炭资源的高效开发有着重要的意义。本文系统地剖析了薄煤层开采技术的相关特点，分析了滚筒采煤机、刨煤机等主要开采设备所适用的情况，研究了开采工艺的改良，设备的更新等问题，通过合理选择开采设备，改进开采工艺等方式来应对薄煤层开采空间受限的问题，从而达到优化资源回收率和开采效率的目的。^[10]当下，智能化开采技术，无人开采技术发展速度较快，这给薄煤层开采带来了新的机会，像5G通信技术，数字孪生等新技术的应用，会进一步提升薄煤层开采的安全性和经济性。以后，新材料，新工艺不断突破，薄煤层开采会朝着更高效，更智能，更环保方向发展，要加大产学研合作力度，加快新技术，新装备研发和应用示范进程，促使薄煤层开采技术水平整体提高，为保障国家能源安全作出更大贡献。

参考文献

[1]王庆宁.薄煤层综合机械化采煤技术的研究与实践[J].矿业装备,2021,(01):146-147.
[2]张瑞鹏.薄煤层综合机械化采煤技术的分析与实践[J].石化技术,2020,27(01):120-121.
[3]高勇.薄煤层综采机械化采煤技术分析[J].当代化工研究,2021,(09):57-58.
[4]邢政.薄煤层综合机械化采煤技术研究与实践[J].黑龙江科学,2021,12(14):108-109.
[5]张明.煤矿采煤中的综合机械化采煤工艺分析[J].当代化工研究,2020,(10):133-134.
[6]樊占军.薄煤层综合机械化采煤技术研究[J].黑龙江科学,2022,13(08):92-93.
[7]张峥嵘.薄煤层综合机械化采煤技术的相关研究与讨论[J].能源与节能,2023,(01):129-131.
[8]赵怀东.煤矿综合机械化采煤技术的发展[J].能源与节能,2025,(02):176-178.
[9]刘源波.煤矿综合机械化采煤技术的发展[J].矿业装备,2024,(01):13-15.
[10]宋永文.煤矿综合机械化采煤技术的发展与应用探索[J].中国设备工程,2023,(11):213-215.

建筑材料检测在建筑工程中的重要性

彭爱兰

石河子恒信建筑建材检测有限责任公司，新疆 石河子 832000

DOI:10.61369/ETQM.2025110016

摘 要： 建筑工程的质量与安全直接关系到人民生命财产安全和社会经济发展，而建筑材料作为工程建设的物质基础，其质量是决定工程品质的核心因素，建筑材料检测作为把控材料质量的关键环节，在建筑工程中具有不可忽视的重要地位。随着建筑行业的快速发展，新型建筑材料不断涌现，工程对材料性能的要求日益提高，但当前检测领域仍存问题。基于此，本文深入探讨建筑材料检测对建筑工程的重要性，以此为提升建筑材料检测水平、保障建筑工程质量提供理论与实践依据。

关 键 词： 建筑材料检测；建筑工程；重要性

The Importance of Building Materials Testing in Construction Projects

Peng Ailan

Shihezi Hengxin Building Materials Testing Co., Ltd., Shihezi, Xingjiang 832000

Abstract： The quality and safety of construction projects are directly related to people's lives and property and social economic development. As the material basis of construction projects, the quality of building materials is the core factor determining the quality of the project. Building material testing, as a key link in controlling material quality, plays an indispensable and important role in construction projects. With the rapid development of the construction industry, new types of building materials are constantly emerging, and the requirements for material performance in projects are increasing day by day. However, there are still problems in the current testing field. Based on this, this paper deeply explores the importance of building material testing in construction projects, with the aim of providing theoretical and practical basis for improving the level of building material testing and ensuring the quality of construction projects.

Keywords： building material testing; construction project; importance

引言

随着建筑行业发展，新型材料增多且性能要求提高，但检测领域存在技术设备滞后、市场不规范等问题。本文由此探讨检测的重要性、挑战及对策，为提升检测水平、保障工程质量提供依据。

一、建筑材料检测对建筑工程的重要性

（一）保证建筑工程的质量

在建筑工程中，建筑材料检测对保证工程质量具有不可替代的重要性。在项目实施过程中，材料检测承担着关键的质量控制角色，从材料进场前的抽样检测到施工过程中的随机抽检，形成了贯穿全程的质量把关环节，能及时发现材料在运输、储存或生产环节可能出现的质量波动，避免不合格材料流入施工流程；同时，检测通过对材料的力学性能、化学稳定性、耐久性等关键指标进行科学测定，与工程设计文件中规定的技术参数及国家、行

业相关标准进行比对，精准判断材料是否符合设计要求和标准规范，例如对钢材的抗拉强度、混凝土的抗压强度、防水材料的抗渗性能等的检测，可确保这些直接影响结构安全和使用功能的材料性能达标，从源头为建筑工程质量筑牢防线。

（二）保证建筑物的安全性

建筑材料检测对保证建筑物的安全性至关重要，不合格材料若用于建筑工程，极易引发严重的质量问题和安全隐患，例如强度不达标的钢材可能导致结构承重不足，进而出现变形、裂缝甚至坍塌；耐腐蚀性差的防水材料会使建筑出现渗漏，长期可能影响结构稳定性，威胁居住或使用安全。而检测技术通过对材料的

关键性能指标进行严格测定，能在材料进入施工环节前就识别出不合格产品，从源头阻断安全隐患的产生路径，比如通过对混凝土强度的检测可避免因强度不足导致的结构失稳，对防火材料耐火极限的检测能确保其在火灾发生时发挥有效防护作用，这种提前介入的检测方式，有效降低了因材料问题引发安全事故的概率，为建筑物的安全性能提供了直接保障^[1]。

（三）延长建筑物使用寿命

建材检测对延长建筑物寿命起着决定性的作用，通过精确检测材料耐久性、抗腐蚀性的品质，决定建筑物是否能够在较长的时间内持续平稳地运行；建材检测能应对各种环境条件下工作的材料，如湿环境工作下的墙体材料，室外条件工作的金属构架进行防水防潮、抗盐酸侵蚀能力的检测，检验出受其侵蚀程度，提前预防选择材料的耐受性差对长期使用造成的损坏；另在建筑投入使用后对其进行检测，检查结构所使用的材料是否会发生损坏并进而以此来判定建筑物各个部位的损耗情况。例如：通过对混凝土碳化深度、钢筋锈蚀程度、木材腐朽情况等因素跟踪检测，并结合历年来此类型的建筑物受到天气等环境因素的影响而产生的损害数据，可以依据当前的检测结果，与之前的检测数据对比之后推算出受检建筑物在未来将出现损害的速度和程度。倘若发现有某一块区域钢筋锈蚀速率加大的现象，就应当及时地进行防腐处理或者进行局部更换，以防该区域因钢筋生锈扩大影响建筑物整体，使建筑物老化更严重，建筑物整体寿命更短，所以要采用对于建筑材料检测的全过程检测手段，以保证建筑材料的整个生命周期都处于安全稳定的范围内，也能最大程度上地避免了需要对材料进行大范围维修甚至整栋房屋拆除的情况发生^[2]。

（四）优化成本与提高效率

建筑材料检测对于降低工程造价及提高工程整体效益的作用是巨大的。从数据上对材料进行衡量，便于在材料购买时做出最准确的选择，防止产生无谓浪费的情况发生。比如在工程建设初期的材料选型过程中，利用材料检测所提供的客观数据来对各种不同的材料性能以及性价比来进行比较，在达到设计强度值要求下，可以采取不同的品牌或者规格型号的钢材做对比实验检测，挑选出材料性价比合适且性能达标价格，避免因盲目采用价格高的或者低价低质材料造成的浪费；检测工程用量大的砂石、混凝土材料的级配、含泥量、强度指标，尽可能地选择满足工程施工需要的最佳材料配比，以减少工程耗材的浪费。为了规避因为出现不合格材料而带来的不可预见的成本，材料进入现场时应严格把控，保证材料的检测合格率，以避免由于不合格材料的运用而导致后期返工、维修等情况出现，从而导致后期出现一些不可预见费用的发生，如结构强度不足、渗漏、开裂等情况，当防水材料未通过抗渗试验就投入了工程运用，在其正式投入使用之后极易出现渗漏问题，那么在后期就会出现除了材料和人工以外的返修、修补等相关的额外花费；如果在进场之前就进行材料的检测工作，则可以降低后期隐蔽成本，保证不会发生以上情况，避免了工程延误与施工难度增大问题，节省维修的后续费用。工程检测实现了在工程建设的全过程中，能够降低建设成本，提高工程效益，并能对资金合理地使用和加快工程建设的速度起到促

进作用^[3]。

二、建筑材料检测面临的问题与挑战

（一）检测技术与设备的局限性

针对建筑材料检测行业而言，检测技术及设备等方面均存在一定缺陷。随着我国建筑行业发展不断加快，出现大批新型建筑材料，包括高性能复合材料、新型保温材料以及绿色环保建筑材料等等，新型材料成分结构及性能特点和传统材料存在一定区别，但目前的检测技术是根据传统材料特点研发，对新型材料适用性较低，因此不能很好地测得新型材料的各项重要性能参数，如某些新型复合材料的界面结合强度以及长寿命耐久度等特殊性能，而且目前关于新型材料的检测方法还没有形成统一标准，导致当前检测结果的可靠性和对比度较差。其次，在检测设备精确度低以及更新不够及时的情况下，严重影响了检测结果的准确性。部分小型检测机构的检测设备依旧不够完善，有些机构至今还沿用着不够精准的老式设备，对于新型材料来说，这类设备检测精度并不够高，比如以检测纳米级功能性建材的微观结构时需要具有超高分辨率，但目前传统设备并没有这样的功能。再者，由于检测设备更换速度慢，跟不上材料技术进步的速度，所以在很多情况之下都无法将先进的检测手段在检测过程中快速运用，从而引发一些新的偏差问题，有可能导致检测的结果并不符合现实的材料性能，影响到检测结论的准确性与先进建筑材料的合理利用，严重阻碍到建筑建材检测工作的科学性和前瞻性的发挥^[4]。

（二）检测市场的不规范现象

建筑材料检测市场的不规范问题严重影响了检测行业的发展壮大与建筑工程质量。部分检测机构舍弃职业道德为了谋取私利进行造假。其通过对检测数据的篡改、伪造报告等来给一些不合格材料蒙上“合格”的外衣，从而掩盖材料的质量隐患、埋下了建筑施工的安全隐患；一些机构没有资质认证就敢搞检测，没有相关检测资格从事相关检测业务，这样出来的检测流程也不规范，技术能力有限，得出的检测结果不具有权威性和科学性，不可能是工程施工质量控制的有效依据。此外，检测收费不合理的现象也比较突出，有的机构想尽办法降低检测费用吸引客户，在检测时缩水减量，甚至故意放松检测标准；另外有一些机构利用检测机构之间的信息不对称随意抬高收费标准，“价高质次”“低价低质”等现象都有可能出现。这种无序竞争不仅影响了正常市场竞争秩序，损害了检测行业的社会公信力，而且使建设方很难甄别出哪一项检测服务更优，难以保证建筑材料检测对建筑工程质量管控所起的作用最大化发挥，严重阻碍了整个建筑业的质量提升^[5]。

（三）人员专业素养与责任意识不足

材料检测质量的高低，在一定程度上取决于检测人员的专业水平与责任心。而现阶段的很多检测人员这两方面均存在不同程度的不足^[6]。在专业知识方面：部分检测人员不了解新型建材的特性和相关检测标准、检测规范和技术要求；不懂如何使用先进

的检测设备、不会正确地操作检测设备；因此，在面对较复杂的检测任务无法选择出合适的检测方法；在检测中容易产生错误的检测数据判断结果。除了操作规程不标准，比如不对采集样品采取随机抽样的方式、不按要求控制样品制备的环境温度等，以及不对检测过程的要求规范地操作检测设备外，还表现为整体负责度较差^[7]。其中个别责任心弱化，少数检测人员认识到建筑工程的质量关乎人民生命财产安全，应一丝不苟、实事求是对待检测工作，但也有部分检测人员怀着侥幸心理不愿担责、对部分异常数据也不予复核或者偷偷调数据以满足客户需求。这部分人没能意识到工程检测工作有着客观公正的原则要求，并且会因为这样的心态把本来不合格的材料检定为合格产品应用到工程建设中，给建筑项目留下安全隐患。这些失误，将严重影响材料检测工作的可信度，妨碍材料检测作用的发挥，从而不利于工程质量的保证。

三、提升建筑材料检测有效性的对策

（一）加强检测技术研发与设备更新

要提高材料检测的有效性，首先就要加强检测技术的研发和技术设备的更新，用来应对新的材料所带来的挑战，提高检测的质量^[8]。对于目前出现的大量新型建筑材料来说，目前的检测技术还不够完善，不能适应新型材料发展的需要。针对新型检测技术这一问题要加大投入，让科研机构、高校、检测机构一同研发出如适用于复合材料及功能性的建材检测的方法，并且完善材料性能方面的检测标准，可以研发一些关于纳米材料的微观结构检测的新技术以及复合保温材料的耐候性能的检测方法等等，这样就可填补传统技术存在的漏洞^[9]。与此同时，需要及时的更换检测设备，将老化的、精度不够的、功能低下的旧设备更换掉，然后引进一些具备了高精度、高智能化特点的仪器设备，如智能力学性能试验机、高精度的化学分析光谱仪等，以此来提高检测

数据准确性及稳定性，规避人为操作误差；还需要注意的是，在使用技术和设备的同时还要注重二者之间的结合，把物联网、大数据等相关技术融入到检测设备之中，实现检测工作的智能化监督以及检测数据的自动分析处理，并且这样还可以大大提升了检测工作的速度以及检测水平，进而使得材料检测工作能够很好的满足建筑材料发展的要求，从而也就可以更好地为建筑工程质量提供技术支持^[10]。

（二）规范检测市场管理与监督

为更好保证建筑材料检测结果的正确性，应在规范检测市场管理的同时加强检测市场的监督，两手抓、两促进，齐发力。对资质许可要严把、把牢，建立健全相关资质许可审批制度，建立健全严格的机构准入门槛，严把机构资质准入口关，并对检测机构的检测技术能力、仪器设备及人员资格等方面进行严格的资质准入审查。建立动态考核制度，对取得资质许可的检测机构进行定期复查考核，对不再符合资格条件的给予降级或者撤消资质处罚。从源头上确保检测主体是经考核验收后真正的有资格机构。在过程监管上，可通过引入信息化监管平台，实现对样品流转、检测操作等环节的实时追踪，确保检测过程的规范性和可追溯性。

四、结束语

综上所述，建筑材料检测对建筑工程至关重要，在保证质量、安全，延长寿命，优化成本效率等方面作用显著。当前建筑材料检测仍面临技术设备适应性不足、市场不规范、人员素养欠缺等现实挑战，制约了其作用的充分发挥。为此，通过加强检测技术研发与设备更新、规范市场管理与监督、强化人员培训与考核等对策，可有效提升检测工作的有效性。未来，随着这些措施的落实，建筑材料检测将更好地适应建筑行业的发展需求，为推动建筑工程质量的持续提升奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 胡瀚心. 某建筑工程施工中材料检测质量试验与分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(15): 115-117.
- [2] 高尚君. 建筑工程水泥混凝土原材料试验检测及安全质量控制 [J]. 中国水泥, 2025, (08): 101-103.
- [3] 谢翰斌. 建筑工程水泥与混凝土施工材料检测 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (22): 70-72.
- [4] 黄莉. 建筑工程材料试验检测技术和对策分析 [J]. 居舍, 2025, (21): 76-79.
- [5] 陈志强, 闫文昭, 张成森, 等. 建筑材料检测在工程管理中的重要性 [J]. 大众标准化, 2025, (14): 166-168.
- [6] 曹鑫. 建筑工程中水泥与混凝土施工材料检测的关键技术与应用探究 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(13): 1-3.
- [7] 李海平. 建筑工程中材料检测的重要性分析 [J]. 居舍, 2025, (16): 43-45.
- [8] 刘文明. 建筑材料检测技术在建筑实体检测中的应用研究 [J]. 城市开发, 2025, (10): 141-143.
- [9] 杨义. 建筑工程实体检测中的材料检测技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (09): 197-199.
- [10] 刘文明. 建筑节能材料检测中存在的问题及改进措施研究 [J]. 佛山陶瓷, 2025, 35(03): 88-90.

分析建筑进度管理在建筑工程管理中的重要性

黄永刚

广东鸿元建设工程有限公司, 广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ETQM.2025110021

摘 要 : 只有不断提升工程进度管理的质量和效率,才能确保建筑单位施工管理的顺利进行。为切实保障施工的整体效果和质量达到甚至超越预期标准,相关部门肩负着关键职责,必须对施工时间进行严格把控。每一项施工任务都有其合理的时间区间,精确控制施工时间,能使施工过程有条不紊地进行,各个施工阶段紧密衔接,避免出现延误或混乱的情况,进而保证施工目标得以在规定时间内顺利实现。

关 键 词 : 进度管理; 建筑工程管理; 重要性

Analyzing the Importance of Construction Schedule Management in Construction Project Management

Huang Yonggang

Guangdong Hongyuan Construction Engineering Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract : Only by continuously improving the quality and efficiency of construction schedule management can the smooth progress of construction management by building units be ensured. To effectively guarantee that the overall effectiveness and quality of construction meet or even exceed expected standards, relevant departments bear crucial responsibilities and must strictly control construction time. Each construction task has a reasonable timeframe, and precise control of construction time enables the construction process to proceed in an orderly manner, with each construction phase closely interconnected. This avoids delays or chaos, thereby ensuring that construction objectives are successfully achieved within the stipulated time.

Keywords : schedule management; construction project management; importance

引言

在我国建筑业不断扩大规模、增加数量,并且市场竞争日益加剧的大环境下,建筑行业普遍认为加强进度控制是提高工程建设质量、减少投资成本、提升劳动生产效率和资源利用效率的关键措施。熟练地掌握并应用前沿的进度管理方法,可以迅速地发现并修正工程组织的协调和流程中的不合适之处,确保工程施工的连续性,并确保质量保障系统真正起到其应有的作用,为整个工程项目的建设打下坚实的基础。

一、进度管理在建筑工程管理中的重要性

(一) 进度管理在事前控制中的重要性

在建筑工程建设中,有效的进度管理对推进工程速度至关重要。加强施工进度管理研究和分析,提升管理水平,确保各部门和单位协同工作,明确职责分工,保障工程有序进行。合理的进度管理还能提高项目质量和效率,促进企业快速发展。因此,工程建设阶段需实施高效进度管理,确保按时交付和运营。科学的管理流程有助于提升工程质量,应重视进度管理,采用标准化方法进行检查、管理和调整。建立完善的施工进度管理体系,加强管理人员素质培养,增强部门责任感,确保工程建设高质量完成。

(二) 进度管理在事中管理中的重要性

在整个工程管理架构中,进度管理起着至关重要的作用,尤其在项目的施工阶段,建设活动必须严格按照预定的进度计划进行。在工程施工的进度管理中,必须考虑所有可能对工程产生影响的因素,并对各个工程步骤进行详细的分类,这样才能确保工程的高质量基础。同时,在工程项目实施之前,需要做好充分准备工作,以保证各项工作有序推进,从而为后续管理工作打下坚实基础。不论是在建设过程中,还是在项目完成后,都应该对工程的质量进行及时的检查和审核,以确保工程在交付后能够安全地开始使用。在进行工程管理时,企业不只需要建立内部的监管机制,还需要融入外部的监督管理手段,定期检查施工流程和规范的执行情况,这种双重的监督策略确保了工程的高质量完成。

另外，在施工进度控制上，需要重点关注现场管理人员和施工人员的素质要求，以提升整体工作效率^[1]。

（三）进度管理在事后自检中的重要性

在进行进度管理时，还需特别关注工程竣工后的各项检查，也是对工程质量的检查。在工程项目建设过程当中，如果出现质量方面的问题就会影响到整个项目的顺利施工和正常运营。在我国工程建设过程中，必须根据国家设定的质量评估标准来进行检验，以确保工程质量达标，并在交付后能够安全使用。在工程施工之前要做好相应的准备，比如图纸设计以及施工方案等方面，只有做好这些工作才能够确保工程质量达到要求。一旦验收完成，就可以开始交付，这是确保整个工程质量的关键^[2]。

（四）成本预算中进度管理的重要性

在工程建设的 management 过程中，进度管理占据了至关重要的位置。然而，在进度管理的各个环节中，成本预算与成本管理同样被视为核心环节。特别是在成本预算这一方面，由于工程建设受到环境、地理和当地政策等多重因素的影响，因此在这一领域需要进行特别的管理和监控。在实际的施工过程中，很多时候都不可能完全的做到对成本进行有效的控制，这就导致成本预算和成本管理工作无法很好的完成。通过及时掌握工程建设过程中市场的动态变化，可以制定出合适的管理策略，从而更为高效和便捷地调整工程施工资金的分配，避免在市场价格不稳定时可能出现的问题。

二、影响建筑工程管理中进度管理的因素

（一）设计效率影响工程管理进度

考虑到当前的实际状况，设计施工图时经常会遇到一个问题，那就是对绘图速度的过度关注，这导致了工程条件没有得到详尽的规划。对于建筑工程而言，它是一项非常重要的内容，但是在具体的操作当中还需要一定的技巧来实现其功能，而这一点正是想要解决的问题。由于施工图与其他任务在本质上是不同的，因此出图的速度越快，可能会带来一系列问题。这是因为出图的速度并不总是与其质量成正比，速度越快，往往会遗漏许多关键因素，从而在工程建设过程中导致严重的错误。如果不能保证出图量达到标准的话，那么最终的结果一定是无法满足实际需求的，也很难得到相关人员的认可，从而影响到建筑工程整体水平的提升^[3]。

（二）人为因素

作为所有活动的执行者，在施工进度上起到了至关重要的作用。因此，对于工程项目来说，其施工进度和质量也成了项目管理中最重要的内容之一。施工人员的技术能力，包括施工操作技巧、施工工艺和施工安全控制等多个方面，加上人员的配置和组织情况，都是影响施工进度的重要因素。从目前实际来看，我国工程项目中，存在着诸多不协调现象，如进度衔接不良，资源浪费严重等等。更进一步说，如果建设项目的管理团队管理能力不够出色，那么在施工交接和施工配合的各个环节就可能出现问题。这就要求建设单位必须从实际出发，制定出完善的进度管控

方案，以保障工程项目能够顺利完成。施工团队的专业能力、实际操作技巧以及整体的组织和配置水平，都会对施工的进度产生显著的影响。

（三）进度管理规划不科学

建筑工程进度管理规划的科学性不足主要体现在以下几个方面：首先，主体工程、分项工程和部分工程的施工时间界定模糊，施工各个环节的组织混乱，缺乏逻辑可循，这极易导致工期延误，从而造成大量的资源浪费。此外，对施工现场临时设施及人员安排不合理，也易导致安全事故频发。再者，制定的施工进度计划存在不足，遗漏了大量的项目，导致了施工进度的不统一。再次，对施工现场进行有效控制不足，现场施工人员往往忽视了机械设备和人员之间的关系，盲目追求速度，而忽略质量，从而影响施工进度。这样的状况不仅可能直接妨碍交叉作业的流畅进行，还潜藏着巨大的安全隐患。再次，由于缺少科学有效的计划方法和手段，使得建筑工程项目的施工进度无法得到及时调整，从而加大了成本投入和人力消耗。尤其在大型或超大型的建设项目中，如果建筑公司在规划施工进度时，没有充分考虑到施工设备和机械的施工半径、高度和宽度的限制，那么施工设备和机械的工作空间将会受到严重的限制，从而导致资源的巨大浪费。再者，建筑施工企业对施工现场管理力度不足，极易出现安全事故。另外，如果建筑公司在施工过程中遭遇突发事件或受到不利条件的影响，但没有足够的预防意识，那么整个建筑工程的建设进度很可能会受到严重的影响。

（四）施工设备的影响

在施工现场，确保环境干净是至关重要的。如果使用过多的施工设备，可能会导致场地堵塞，这不仅仅会干扰其他项目的正常施工，还可能造成资源的浪费，使得施工现场无法正常进行。因此在实际工作中需要根据现场需求合理地安排施工时间和地点，选择合适的施工方法。如果施工全部进行，可能会导致施工现场的混乱，从而增加发生安全事故的风险。在建筑工程施工中，为了确保施工质量，必须配备足够数量的设备进行施工。然而，如果施工设备数量不足，这可能会引发资源匮乏、施工效率降低、出现窝工现象，从而导致施工进度的延长。

三、建筑工程施工中进度管理的优化措施

（一）控制设计变更问题

当施工过程中的结构与最初的设计不符时，结构的调整成了影响施工进度的核心要素，为了确保施工的高质量，对结构的调整是不可或缺的。由于设计阶段可以提前预见结构可能产生的各种问题，从而避免了一些不必要的返工，减少了资源浪费。然而，设计上的任何改动一旦出现问题，都可能对施工流程、方法、工艺和技术应用产生影响，并可能触发一系列连锁反应，这最终会对施工进度和财务成本产生不利影响。特别是对于高层建筑而言，由于其高度较高、建筑规模大以及结构复杂，所以更容易引起工程施工方面的变动，从而导致工程进度难以控制。因此，为了更好地管理工程进度，施工前必须对图纸进行细致的检

查。如果在施工现场发现任何不一致的地方，必须立刻进行纠正。但是，不能随意更改设计，需要根据实际情况进行调整，继续规范施工项目，以确保工程能够按计划完成。此外，对于设计阶段存在不合理现象也应及时提出解决措施，保证工程质量。考虑到工程的修改可能会导致工期的延长和进度管理效率的下降，因此在设计和执行工程的过程中，必须维持一种严格和细心的工作态度，以确保不会对未来的施工进度产生不良影响。此外，在设计阶段要注意对现场出现问题及时解决。例如，在进行地质测量时，如果检测到设计图纸存在错误，那么地质调查单位、建筑单位与设计单位需要联合起来进行全面检查，以加强实际操作的控制，并确保不会对后续的工作产生不良影响^[4]。

（二）严格管理建筑施工图的图纸审查

由于设计师在执行任务时持有个人的观点，所以在设计过程中难免会犯下一些失误。为了提高工程设计水平和施工效率，应重视图纸审查与管理。为了确保图纸的高质量，必须对其进行仔细的审核，并在各个专业之间进行会签。对于已完工交付使用或正在建设的工程项目，应组织专家对其设计方案及施工方案进行全面审查。只有达到合格标准后，才能在实际的施工环境中使用。设计团队必须严格遵循施工图的审核流程，对检查中发现的问题进行及时处理，进一步完善施工图的设计，确保工程的顺利进行，并为整个工程施工奠定坚实的基础。

（三）加强施工图设计的可靠性

当设计人员执行施工图设计任务时，他们不仅需要拥有深厚的专业知识和技能，还必须确保施工图设计的稳定性和可靠性。由于建筑工程是一个复杂的系统，涉及多个方面的因素，所以其施工图的设计方案也就比较多。设计人员在制定施工图时，必须深入考虑施工现场的特性和实际的施工状况。这是因为在施工过程中，不仅要重视施工的安全性，还需要考虑整体的工程造价。不同的施工环节有其特定的施工标准，如果忽略实际情况，也可能导致一些问题。另外，为了保证建筑物的质量以及使用寿命，还需要对建筑材料进行选择。例如，在建筑领域，混凝土的应用也存在多种不同的场景。对于防水层来说，其主要目的是防止雨水进入建筑物内部。与常规混凝土相比，防水混凝土的生产成本更高。普通混凝土容易开裂且难以满足特殊环境下的需求，防水

混凝土则可以解决这些难题。因此，在整个建设项目中，设计师不能仅仅依赖防水混凝土，他们需要根据具体的工程需求来选择合适的防水混凝土，并在某些情况下选择防水混凝土，这样可以更好地控制建筑的总成本。同时，由于施工过程复杂，对工程质量要求较高，这就给施工图设计阶段带来了困难。因此，在设计施工图时，应深入考虑施工现场的独特性，以提高施工图设计的稳定性和可靠性。

（四）提高设计人员的专业素质

建筑施工图纸设计人员的专业能力对施工图的品质有着直接的影响。只有具备高度专业素养的设计人员，才有可能创作出高品质的施工图纸，从而更有效地推进施工项目的顺利进行。在我国当前社会经济发展过程中，建筑行业取得了较大的进步与发展，然而与此同时也存在一些问题。因此，有必要专注于提升设计团队的专业能力和修养。对于设计单位来说，需要加强对其的监督与管理，不断强化自身的管理水平和能力，使之能够为建筑工程提供优质的服务，从而保证整个工程项目顺利实施。对建筑公司而言，有必要周期性地对设计团队进行专业知识的评估，并对那些在评估中表现出色的设计人员给予额外的重视，目的是将他们培育为更高层次的设计专才；对于其他设计人员来讲，也应注重对他们的专业技能学习和训练，使其具备良好的职业操守。对于那些在考核中表现不佳的设计师，公司应该增强对他们的技能培训，逐渐提升他们的职业素养^[5]。

四、结束语

进度管理的重要性不言而喻，它不仅可以帮助施工项目能够准时、高品质且高效地完成，而且从长期的角度看，它还有助于提高整个施工团队的管理能力。在执行进度计划的过程中，必须与各个部门的相关人员进行充分的协调和沟通，对外部环境的动态变化进行全程的监督和控制在，以确保进度计划能够按照预期进行，真正提高工程队的进度管理能力，推进施工的顺利进行直到完工交付，为施工企业创造最大的经济效益。

参考文献

- [1] 罗云芳. 探讨进度管理在建筑工程管理中的重要性 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(4): 34-36.
- [2] 郭帅. 论进度管理在建筑工程管理中的重要性 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(17): 84-86.
- [3] 郭鑫. 进度管理在建筑工程管理中的重要性探讨 [J]. 建筑·建材·装饰, 2023(4): 58-60.
- [4] 黄刚, 苏跃军. 进度管理在建筑工程管理中的重要性 [J]. 模型世界, 2022(6): 184-186.
- [5] 汉洋溢. 进度管理在建筑工程管理中的重要性及应用探讨 [J]. 工程与建设, 2023, 37(4): 1363-1365.

房地产项目成本管控中的造价管理难点与突破

吴璇

广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ETQM.2025110022

摘 要： 阐述房地产项目造价管理的核心内涵、面临挑战及应对措施。包括各阶段造价管理要点，如估算、预算、结算等；面临经济环境、多专业协同等挑战；提出构建动态成本控制模型、建立合同管理机制等措施，强调技术应用及案例实践，指出未来研究方向。

关 键 词： 房地产项目；造价管理；成本管控

Difficulties and Breakthroughs in Cost Management in Real Estate Project Cost Control

Wu Xuan

Foshan, Guangdong 528000

Abstract： This paper expounds the core connotation, challenges and countermeasures of cost management in real estate projects. Including the key points of cost management at each stage, such as estimation, budgeting, settlement, etc. Facing challenges such as the economic environment and multi-disciplinary collaboration; Measures such as constructing a dynamic cost control model and establishing a contract management mechanism are proposed. The application of technology and case practices are emphasized, and the future research directions are pointed out.

Keywords： real estate project; cost management; cost control

引言

随着房地产市场的不断发展，造价管理在项目成本管控中的重要性日益凸显。2020年发布的《关于进一步加强房地产市场调控的通知》强调了对房地产项目成本的合理控制及规范管理的要求。造价管理贯穿房地产项目的全周期，从起始的估算到最终的结算，其核心内涵涵盖多个紧密相连的环节。同时，房地产项目开发面临诸多挑战，如开发周期长带来的各种不确定因素、多专业协同复杂、设计变更频繁、主体间数据壁垒以及市场价格波动剧烈等，这些都对造价管理提出了更高的要求。在此背景下，研究造价管理在房地产项目成本管控中的应用及优化具有重要的现实意义。

一、房地产项目造价管理概述

（一）造价管理的核心内涵

造价管理在房地产项目中具有至关重要的地位，是实现全周期成本控制的关键手段^[1]。其核心内涵涵盖多个方面。从项目起始的估算阶段，需依据项目规划、市场行情及类似项目经验等，对项目成本进行初步预估，为项目决策提供成本依据。进入预算阶段，要结合详细的设计图纸和施工方案，对各项成本进行细致分解和计算，形成具有可操作性的成本控制标准。到结算阶段，则是对项目实际发生成本进行核算和总结，与预算对比分析，找出偏差原因，为后续项目提供经验教训。这三个核心环节紧密相连，共同构成了造价管理的核心内涵，贯穿房地产项目的始终，

对项目成本的有效控制起着决定性作用。

（二）行业特性对管理的影响

房地产项目开发周期长，这使得造价管理面临诸多挑战。从项目前期规划到最终交付使用，期间可能经历经济环境变化、政策调整等，都会影响造价。例如土地成本可能因政策改变而波动，材料价格也可能随时间推移产生较大变化^[2]。多专业协同复杂也是行业特性之一，涉及建筑、结构、给排水、电气等多个专业，各专业在设计 and 施工过程中的交叉作业与沟通协调，对造价管理影响重大。若协调不畅，可能导致设计变更频繁，增加造价。市场价格波动剧烈，无论是建筑材料、劳动力还是机械设备租赁价格，都可能在项目建设期间大幅波动，给造价的准确预测和控制带来困难。

二、造价管理的现实困境分析

（一）动态成本控制难题

设计变更频繁是动态成本控制的一大难题。在房地产项目中，由于前期规划不完善或市场需求变化等原因，常常需要对设计进行修改。这不仅会增加设计费用，还可能导致施工进度延误，进而增加施工成本^[3]。材料价格波动也对成本控制产生重大影响。市场供求关系、宏观经济环境等因素都会引起材料价格的起伏。当材料价格上涨时，如果没有合理的应对措施，项目成本将大幅增加。施工方案调整同样会造成成本超支。施工过程中可能会遇到各种意外情况，如地质条件不符、施工技术难题等，需要调整施工方案，这可能会增加人工、设备等方面的成本。

（二）信息协同机制缺失

房地产项目开发涉及开发企业、设计单位和施工单位等多方主体，然而各主体间存在数据壁垒。开发企业可能因缺乏与设计单位的有效沟通，无法准确传达成本控制目标，导致设计方案成本过高^[4]。设计单位在设计过程中，可能未充分考虑施工成本和可行性，造成后期施工成本增加。施工单位对设计意图理解不透彻，也可能引发工程变更，增加成本。信息不对称使得各主体难以协同工作，无法实现成本管控的最优化。开发企业难以全面掌握设计和施工过程中的成本动态，无法及时调整策略。这种信息协同机制的缺失，严重阻碍了房地产项目成本管控中造价管理的有效实施。

三、管理突破的实施路径

（一）全过程管理机制创新

1. 目标成本动态管理

在房地产项目成本管控中，构建涵盖土地获取、方案设计、招标采购等多阶段的动态成本控制模型至关重要。在土地获取阶段，需精准评估土地价值与潜在成本，考虑地理位置、规划条件等因素对成本的影响^[5]。方案设计阶段，注重优化设计方案，平衡功能与成本，通过价值工程等方法实现成本控制。招标采购环节，严格把控供应商选择与合同签订，确保采购成本合理。同时，建立动态成本监控机制，实时跟踪成本变化，及时调整策略，以保障项目成本始终处于可控状态，实现目标成本的动态管理。

2. 合约规划体系优化

建立与工程进度匹配的合同管理机制是关键。在项目初期，应依据工程进度计划制定详细的合同签订时间表，确保合同签订与工程各阶段紧密衔接，避免因合同签订延迟影响工程进展^[6]。同时，强化过程签证的规范化管控。明确签证的适用范围、审批流程和标准格式，要求签证内容必须真实、准确、完整，且有充分的证据支持。建立签证台账，对签证进行实时跟踪和统计分析，及时发现签证管理中存在的问题并加以解决，从而有效控制成本，提高造价管理的效率和质量。

（二）数字化技术赋能应用

1. BIM技术集成应用

BIM技术在房地产项目成本管控中具有重要作用。通过建筑

信息模型可实现工程量自动计算，提高计算准确性和效率，避免人工计算错误导致的成本偏差^[7]。同时，利用碰撞检查功能，能够提前发现设计中的冲突问题，减少施工过程中的变更和返工，从而有效控制成本。施工模拟则可以对施工进度和资源配置进行优化，进一步实现成本预控。通过这些集成应用，BIM技术为房地产项目成本管控提供了有力的技术支持，有助于突破传统造价管理的难点，实现成本的精细化管理和有效控制。

2. 大数据价格预警系统

构建主材价格数据库与市场波动预警模型，可充分利用大数据技术实现采购决策科学性的提升。通过收集大量的主材价格数据，包括不同地区、不同时间段以及不同供应商的价格信息，建立全面的价格数据库。在此基础上，运用数据分析算法对市场价格波动进行监测和分析，识别价格变化的趋势和规律。同时，结合市场动态信息，如宏观经济数据、行业政策变化等，构建市场波动预警模型。该模型能够及时发出价格预警信号，为采购决策提供科学依据，帮助企业在合适的时机进行采购，有效控制成本，增强企业在房地产项目造价管理中的竞争力^[8]。

四、实践验证与效果评估

（一）典型项目案例分析

1. 住宅开发项目实证

以某标杆房企住宅开发项目为例，在项目实施过程中引入新型造价管理模式。该项目在传统造价管理模式下的成本偏差率较高，对项目的经济效益产生一定影响。实施新型模式后，通过优化成本预算编制、加强过程监控以及精准的成本核算等措施，成本偏差率得到显著改善。例如，在材料采购环节，新型模式通过建立战略合作供应商体系，降低了采购成本；在施工过程中，实时监控成本支出，及时发现并纠正偏差。经对比分析，实施新型造价管理模式后的项目成本偏差率大幅降低，有效提升了项目的成本管控水平和经济效益^[9]。

2. 商业综合体项目验证

在商业综合体项目中，通过应用数字化工具实现跨专业协同管控取得了显著成效。各专业团队能够实时共享信息，避免了因信息不畅导致的成本增加和工期延误。例如，设计团队的变更能及时传达给造价团队，使其快速准确地评估成本影响，有效控制造价。同时，采购团队也能依据实时的项目进度和成本数据，合理安排材料采购，减少库存积压和资金占用。通过这种协同管控方式，项目整体成本得到了有效控制，成本偏差控制在合理范围内，并且项目进度也得到了有力保障，按时交付率显著提高，为房地产项目成本管控中的造价管理提供了有效的实践经验参考^[10]。

（二）经济效益量化评估

1. 直接成本节约测算

运用挣值分析法对材料损耗率和人工效率等关键指标进行量化评估，以测算直接成本节约情况。对于材料损耗率，通过对比实际损耗量与计划损耗量，结合材料单价，计算出因损耗率

降低而节约的成本。例如，若计划某材料损耗率为5%，实际为3%，该材料采购量为1000单位，单价为10元，则节约成本为 $1000 \times (5\% - 3\%) \times 10 = 200$ 元。对于人工效率，分析实际工时与计划工时的差异，乘以人工单价得到人工成本节约额。假设某工序计划工时100小时，实际80小时，人工单价为50元/小时，则节约人工成本为 $(100 - 80) \times 50 = 1000$ 元。通过这些量化评估，准确测算出直接成本节约情况。

2. 隐性成本控制效益

通过有效的造价管理对房地产项目成本进行管控，带来了显著的隐性成本控制效益。在工期方面，合理的造价管理确保资源的高效配置，避免因资金问题导致的工期延误，减少了因工期延长带来的如设备租赁费用增加、人工成本上升以及潜在的市场机会损失等隐性成本。在质量提升维度，精准的造价控制保障了材料和施工工艺符合标准，降低了因质量问题引发的后期维修成本、客户投诉赔偿以及品牌形象受损所带来的潜在经济损失。同时，高效的造价管理促进了项目各环节的协同，减少了因沟通不畅、协调不力产生的内耗成本，从多个方面提升了项目的综合效益。

（三）行业推广适用性研究

1. 规模房企实施路径

头部企业在组织架构调整方面，通常会设立专门的成本管控部门，明确各部门职责，避免职能交叉与缺失，提高决策效率。在信息系统建设上，引入先进的造价管理软件，实现成本数据的实时更新与共享。通过这些举措，头部企业能够精准掌握项目成本动态，及时发现并解决造价管理中的问题。这些成功经验具有行业推广适用性。规模房企可借鉴其组织架构调整模式，结合自

身实际情况合理设置部门。同时，积极引入适合的信息系统，加强员工培训，提升员工对系统的操作能力和数据利用能力，从而有效提高成本管控中的造价管理水平。

2. 中小企业适配方案

通过对区域性开发商的实践验证，渐进式改进策略在成本管控的造价管理方面取得显著效果。在资源有限的情况下，企业可先从优化内部流程入手，减少不必要的成本支出。例如，建立精准的成本预算体系，避免预算超支。同时，加强与供应商的合作，通过长期合作协议获取更有利的采购价格。对于工程变更，严格把控审批流程，防止因变更导致成本大幅增加。在行业推广方面，该策略对中小企业具有较高的适配性。中小企业可根据自身资源状况，灵活调整改进步骤。这种渐进式的方法不需要大量的资金和人力投入，符合中小企业的实际情况，有助于其在成本管控上取得更好的效果，提升市场竞争力。

五、总结

造价管理在房地产项目成本管控中具有关键作用，它贯穿项目始终，影响成本的各个方面。动态控制机制与数字技术融合应用带来了突破价值，这种融合能够实时监控成本变动，提高决策的科学性和及时性，提升成本管控的效率和精度。然而，目前仍面临一些挑战，需要在未来进一步深化研究。例如，利用人工智能算法优化造价管理流程，通过机器学习和数据分析提高成本预测的准确性；加强供应链协同，优化采购成本和资源配置，以实现更高效的成本管控。这些方向的研究将有助于房地产项目在成本管控方面取得更好的效果，提升项目的经济效益和市场竞争力。

参考文献

- [1] 郑庆民. 挣值法在房地产项目成本管控中的应用 [D]. 山东 : 山东大学 , 2013.
- [2] 简汉标. 信息化背景下的 Z 地产项目成本管控研究 [D]. 湖北 : 华南理工大学 , 2022.
- [3] 周丹. 房地产项目设计阶段的成本管控研究 [D]. 辽宁 : 大连海事大学 , 2017.
- [4] 韩佩超. 基于全过程开发的房地产项目造价管理绩效评价研究 [D]. 陕西 : 西安建筑科技大学 , 2019.
- [5] 张静. 基于全过程造价的房产项目成本管控研究 [D]. 天津 : 天津工业大学 , 2022.
- [6] 李霄腾. 房地产项目的成本与质量管控要点 [J]. 装饰装修天地 , 2020, (5): 200.
- [7] 王丽芬. 电力工程项目造价管理及成本管控 [J]. 电子世界 , 2016(22): 2.
- [8] 马红蕾. 浅析房地产项目开发建设前期的设计与成本管控 [J]. 中国房地产业 , 2019, (23): 150.
- [9] 刘光磊. 建筑设计阶段房地产项目成本管控的措施和要点 [J]. 商品与质量 , 2020, 000(035): 37.
- [10] 黄雪峰. 谈论建筑工程造价管理中成本管控的要点 [J]. 建筑工程技术与设计 , 2018(32): 1188.

跨江便道桥钢箱梁顶推施工技术 with 结构计算

李锐

中冶（云南）工程投资建设有限公司，云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ETQM.2025110023

摘 要： 为解决跨江便道桥钢箱梁架设对水文环境干扰大、施工效率低的问题，本文以顶推施工工艺为核心，基于现行公路与钢结构规范，结合现场环境参数，通过相关软件建模，开展荷载计算、多工况结构响应分析及临时设施稳定性验算。结果表明：钢箱梁最大应力 158MPa、导梁最大应力 197MPa，均小于对应钢材许用强度；临时支墩、吊索塔架的强度与稳定性满足设计要求，抗倾覆系数 $1.2 > 1.05$ ，顶推总阻力控制在 185.5kN 内（选用 2 台 150t 油缸，安全系数 1.3）。研究验证了顶推施工方案的可行性，为同类跨江便道桥钢箱梁施工提供理论参考。

关 键 词： 跨江便道桥；钢箱梁；顶推施工；结构计算；稳定性验算

Push Construction Technology and Structural Calculation of Steel Box Girder for River-Crossing Access Bridge

Li Rui

MCC (Yunnan) Engineering Investment & Construction Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract： To address the problems of significant interference with the hydrological environment and low construction efficiency in the erection of steel box girders for river-crossing access bridges, this paper focuses on the push construction technology. Based on current highway and steel structure specifications, combined with on-site environmental parameters, load calculation, structural response analysis under multiple working conditions, and stability check of temporary facilities are carried out through modeling with software. The results show that the maximum stress of the steel box girder is 158MPa, and the maximum stress of the guide beam is 197MPa, both of which are less than the allowable strength of the corresponding steel; the strength and stability of temporary piers and suspension towers meet the design requirements, with the anti-overturning coefficient of $1.2 > 1.05$, and the total push resistance is controlled within 185.5kN (two 150t oil cylinders are selected, with a safety factor of 1.3). The study verifies the feasibility of the push construction scheme and provides a theoretical reference for the construction of steel box girders for similar river-crossing access bridges.

Keywords： river-crossing access bridge; steel box girder; push construction; structural calculation; stability check

引言

在跨江桥梁建设中，钢箱梁因结构刚度大、跨越能力强，广泛应用于主桥与引桥建设^[1]。传统吊装工艺受水流、通航限制明显，而顶推施工通过“拼装-顶推”循环作业，可减少对外部环境的干扰，成为复杂水文条件下的优选工艺^[2]。某跨江便道桥上部结构采用钢箱-混凝土组合梁（主跨超 100m）与钢板-混凝土组合梁（引桥），全长超 300m，需通过系统计算确保顶推过程中结构安全与施工可控。本文围绕顶推施工的核心技术难点，重点开展荷载计算（风载、水流力、顶推阻力）、18 种关键工况结构受力分析及临时支墩、导梁、吊索塔架的设计验证，旨在为施工方案优化与安全管控提供依据，同时为同类工程积累技术经验。

一、计算依据与基础条件

（一）计算依据

本研究严格遵循以下规范，确保计算结果合规准确：

《钢结构设计规范》（GB50017-2003）

《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50-2011）

《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2004）

《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63-2007）

《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205-2001)

(二) 基础条件

桥梁采用“差异化上下部结构+顶推工艺”设计,适配跨江工程需求^[3]。上部结构按跨径分区:引桥为30m钢板-混凝土组合梁,靠钢混协同受力保障刚度、降低成本,预制化程度高;主桥为(70+110+70)m钢箱-混凝土组合梁,大跨径满足通航净空,钢箱梁封闭截面抗扭稳定,搭配混凝土叠合层提升承压能力。下部结构优化适配水文条件:桥墩为柱式墩桩基础,深入稳定地层抗冲刷、减沉降;桥台为重力式U台,靠自重平衡水平推力,混凝土台身耐久。施工用后端双点同步顶推工艺,起始墩侧设临时支架拼装钢箱梁,同步顶推至终点墩就位。

关键参数基于实测、规范与实践确定,保障计算精准。现场环境:工作风力 ≤ 5 级(风压 200N/m^2 ,参考《公路桥涵设计通用规范》),滑动摩擦系数0.1(滑道接触面实测),水流速度 3m/s (水文观测报告)。结构重量:钢箱梁总重 1588t (含主体、加劲肋及连接件),导梁自重 100t (纳入荷载平衡)。钢材性能:安全系数1.48(依《钢结构设计规范》),Q235钢许用强度 $[\sigma]=145\text{MPa}$ (临时支架),Q345钢许用强度 $[\sigma]=199\text{MPa}$ (钢箱梁、导梁等主构件)。

二、荷载计算

本研究的荷载计算涵盖恒载、活载、风载荷与水流力四大类^[4]。其中,恒载以顶推支架自重为核心,边跨顶推支架与跨中临时支架均按实际结构参数计入,确保荷载传递路径清晰;活载为钢箱梁与导梁自重产生的线荷载,经计算得单位长度荷载 6.352t/m ,为简化计算并保障安全性,后续分析统一取 10t/m 作为线荷载取值。

风载荷计算分两类支架:边跨支架迎风面积 471.5m^2 ,对应风载荷 127kN ,单根钢管风载荷 1.4kN ,其上方钢梁风载荷 3.3kN ;跨中支架单根钢管风载荷 1.4kN ,上方钢梁风载荷 8.4kN ,两类支架风载荷计算均基于结构充实率0.3、风力系数0.8等参数。

水流冲击力按设计最大流速 3m/s ;水深按 12m 计算。查《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60-2004)公式:根据规范,流水压力作用点位于水位线以下 $1/3$ 水深处。

顶推总阻力由钢梁风阻力、摩擦阻力与坡道阻力三部分组成,三者协同决定顶推设备选型^[5]。经计算,钢梁风阻力为 82kN ;摩擦阻力基于滑动摩擦系数0.1,结合钢箱梁总重 1588t 与导梁自重 100t ,得 $f=0.1\times(1588+100)=168.8\text{kN}$;坡道阻力按经验系数0.005计算,得 $f=0.005\times(1588+100)=8.5\text{kN}$ 。三者叠加得顶推总阻力 $F_{\text{total}}=82+168.8+8.5=185.5\text{kN}$ 。考虑摩擦力不均匀系数0.8,选用2台 150t 液压油缸,经核算安全系数 $= (2\times 0.8\times 150)/185.5=1.3$,满足施工安全控制要求^[6-8]。

三、工况分析与结构计算

(一) 工况划分

选取3种典型工况(源于18种核心工况):导梁悬臂 $14\text{m}+62\text{m}$ 钢梁顶推;钢梁出主墩悬臂 40m (装塔架+1#锚索张拉);钢梁出主墩悬臂 60m (多锚索二次张拉)。

(二) 典型工况计算结果

采用相关软件建模,关键结果如下:

工况一:导梁悬臂 $14\text{m}+62\text{m}$ 钢梁顶推

模型如图1所示,最大支反力 58t (临时墩),钢箱梁最大应力 $< 199\text{MPa}$ (图2为应力分布)。

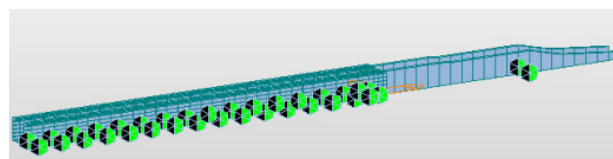


图1 工况一计算模型

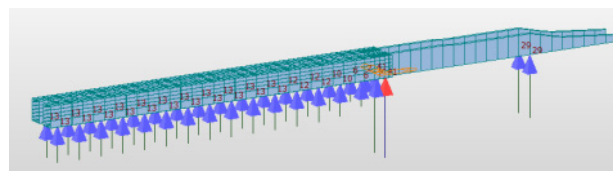


图2 工况一应力图(单位:MPa)

工况五:钢梁出主墩悬臂 40m (装塔架+1#锚索张拉)

模型如图3所示,1#锚索索力 $4\times 75\text{t}$,最大支反力 609.8t (主墩),位移最大值 $<$ 规范限值(图4为位移分布)。



图3 工况五计算模型

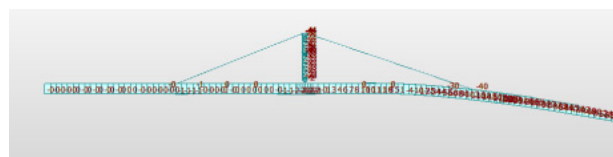


图4 工况五位移图(单位:mm)

工况九:钢梁出主墩悬臂 60m (多锚索二次张拉)

此为控制工况,1#、2#锚索张拉至 $4\times 175\text{t}$,3#、4#锚索至 $4\times 150\text{t}$,模型如图5所示,最大支反力 1099t (主墩),索力分布均匀(图6为索力图)。

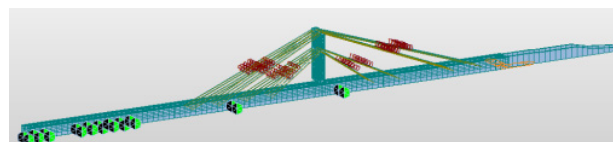


图5 工况九计算模型

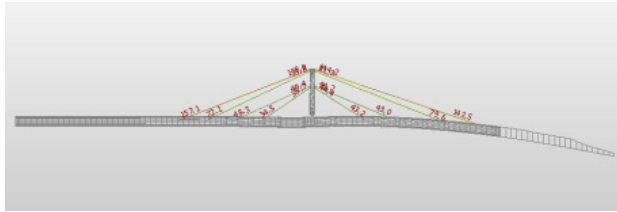


图6 工况九索力图(单位: t)

(三) 应力与位移控制

所有工况中, 导梁最大应力 $197\text{MPa} < 199\text{MPa}$ (Q345 钢), 钢箱梁最大应力 $158\text{MPa} < 199\text{MPa}$, 位移最大值 $<$ 规范限值, 结构刚度可靠。

四、临时设施稳定性验算

(一) 抗倾覆验算

导梁过第一跨时, 需保证拼装支架上钢箱梁长度 $\geq 30\text{m}$, 抗倾覆系数 $K=1.2 > 1.05$, 满足安全要求^[9]。

(二) 临时支墩验算

以受力最大的主墩临时支架为例(图7为结构图), 滑道梁最大应力 $190\text{MPa} < 199\text{MPa}$, 钢管应力 $127\text{MPa} < 145\text{MPa}$, 地基承载力 $139\text{kPa} < 260\text{kPa}$ (细沙地基), 强度与稳定性合格。

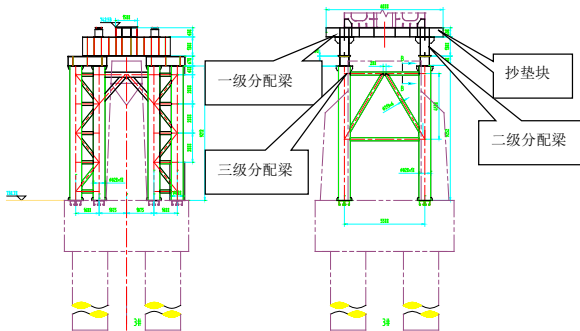


图7 主墩临时支架结构图

(三) 吊索塔架验算

塔架自重 80t , Midas 建模计算, 主肢最大应力 $194\text{MPa} < 199\text{MPa}$, 横桥向抗倾覆系数 $2.02 > 1.5$, 纵桥向 $1.8 > 1.5$, 稳定性满足要求。

五、结论

本研究从荷载计算、结构受力、临时设施三方面^[10]验证了跨江便道桥钢箱梁顶推施工的可行性——荷载计算合理: 顶推总阻力 185.5kN , 选用 2 台 150t 油缸(安全系数 1.3), 风载、水流量取值符合现场环境, 为结构计算提供精准输入; 结构受力安全: 18 种工况下, 钢箱梁最大应力 158MPa 、导梁 197MPa , 均小于许用强度, 支墩最大支反力 1360t 、锚索最大索力 168t , 在设计承载力内; 临时设施可靠: 抗倾覆系数 1.2 , 临时支墩、吊索塔架的强度、刚度及地基承载力均满足要求。可为同类工程提供技术参考。

参考文献

[1] 廖印. 顶推技术在现代钢结构桥梁施工中的应用——以绵阳科技城涪江大桥建设项目为例[J]. 建设监理, 2024, (12): 99-101+114.
[2] 孙晓强, 岳新兴. 钢箱梁双导梁顶推施工关键技术[J]. 中外公路, 2024, 44(06): 204-212.
[3] 王纪源, 万刚, 陈甫君, 等. 曲线钢箱梁顶推施工中弯扭耦合效应影响研究[J]. 交通科技, 2024, (06): 82-87.
[4] 李三民. 大曲率小半径互通匝道钢箱梁跨线顶推施工技术[J]. 工程建设和设计, 2022, (24): 156-158. 肖俊, 王若愚. 城市高架桥多联超长钢箱梁顶推施工技术[J]. 中外公路, 2023, 43(06): 224-229.
[5] 王小娜. 钢箱梁顶推施工技术在桥梁工程中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (20): 140-142.
[6] 陈示光. 桥梁工程钢箱梁顶推施工技术[C]//《施工技术》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2021年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册). 中亿丰建设集团股份有限公司; 2021: 141-144.
[7] 刘海兵. 公路桥梁钢箱梁顶推施工技术[J]. 四川建材, 2021, 47(12): 129-130.
[8] 黄浩, 吴志刚. 高墩大跨径顶推施工钢箱梁桥方案设计[J]. 工程与建设, 2021, 35(06): 1171-1173.
[9] 叶洪波. 大跨径钢箱梁顶推施工关键技术研究[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(12): 82-84.
[10] 刘瑞, 姜荣剑, 韩亨通. 上跨高速公路钢箱梁顶推施工支架设计与检算[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2023, 22(04): 10-14.

大数据下高速公路工程信息化成本控制策略

杨育忠

云南云岭高速公路工程咨询有限公司，云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ETQM.2025110024

摘 要： 大数据驱动给高速公路工程信息化成本控制带来新机遇，凭借大数据可以准确剖析成本构成，预估费用走向，利用数据挖掘、智能算法等技术，改善资源调配，削减浪费。从项目规划到施工管理，运用大数据手段展开动态监督，可以制订出科学的成本控制策略，提升工程效益和信息化管理水平，大数据能够汇集历史项目，市场波动，施工工况等各类数据，给成本决策给予数据支撑。依靠信息化平台做到数据即时共享，促使各部门协同管控，从而进一步降低成本管控难度，促使高速公路工程成本管理朝着更高效，更精确的智能化方向发展。

关 键 词： 大数据；高速公路工程；信息化；成本控制策略

Cost Control Strategy of Highway Engineering Informatization under Big Data

Yang Yuzhong

Yunnan Yunling Expressway Engineering Consulting Co., LTD., Kunming, Yunnan 650000

Abstract： The big data-driven approach presents new opportunities for cost control in highway engineering informatization. By leveraging big data, we can accurately analyze cost components, predict expenditure trends, and utilize data mining and intelligent algorithms to optimize resource allocation and reduce waste. From project planning to construction management, dynamic monitoring through big data enables the formulation of scientific cost control strategies, enhancing both project efficiency and digital management standards. Big data aggregates historical project data, market fluctuations, and construction conditions to provide data-driven support for cost decision-making. Through real-time data sharing via digital platforms, cross-departmental collaboration is facilitated, further simplifying cost control processes and propelling highway engineering cost management toward more efficient, precise, and intelligent development.

Keywords： big data; expressway engineering; informatization; cost control strategy

引言

信息技术发展起来之后，大数据在各个领域都得到广泛使用，高速公路工程建设规模大、成本高，传统的成本控制方法存在不足，大数据驱动的信息化成本控制可以有效整合大量数据，给成本管理给予准确的根据，改进决策的科学性与成本控制的有效性，对高速公路工程发展意义非凡。

一、大数据在高速公路工程成本控制中的应用概述

大数据技术给高速公路工程成本控制赋予了信息化转型的关键支撑，它的价值在于冲破传统成本管理中的“数据孤岛”“经验决策”，做到全周期，精确的成本管控，高速公路工程有着建造时间久（一般2-5年），牵涉环节繁杂，数据种类庞杂，传统成本控制依靠人工统计数字，容易产生滞后，误差，不能应对动态改变的建造环境，大数据技术可以整合工程全部流程的数据。通过大量数据的即时采集、深入分析、智能应用，精确找出成本控

制的重点部分，借助分析以前项目的材料耗费数据来预估当下的项目用量误差，依靠即时的施工数据来监督成本的变动状况，使得成本控制从“事后核算”变成“事前推测，事中调节，事后改善”的全进程把控^[1]。

二、大数据驱动的成本控制技术手段

（一）数据采集与整合技术

数据采集整合乃大数据成本控制之根基，须创建起涵盖高速

公路工程全程的诸多数据搜集网络,凭借技术手段把搜集到的数据予以标准化整合。在数据搜集这个环节,利用物联网(IoT)装置来获取即时的施工数据,比如在沥青摊铺机,压路机之类的装备上装设感应器,搜集施工进度,设备能耗等数据;通过移动端APP让现场人员随时上传材料进场量,人工考勤数据;对接第三方平台获取市场动向数据,譬如建材价格起伏,设备租赁费用行情。在数据整合环节,利用数据仓库把分散的结构化数据和非结构化数据统一起来存贮,用ETL工具让数据格式统一,把不同供应商给来的材料价格数据全部改成“材料名称-规格-单价-供货周期”这种标准字段,拆掉数据壁垒,给后面的分析形成统一的数据根基^[2]。

(二) 数据分析与挖掘方法

数据分析挖掘可把数据价值提炼出来,给成本控制赋予准确的决策依据,常用的方法要联系高速公路工程成本控制的实际需求来展开,描述性分析可以对成本构成情况加以整理,比如说通过统计分析知晓某个高速公路项目里“材料成本占比60%,人工成本占比20%,设备租赁占比15%,其他费用占比5%”,以此找出成本控制的重点,诊断性分析能够探究成本偏差的原因,要是察觉到某个标段水泥耗费超出正常范围。借助关联施工日志,材料验收记录,就能找到“水泥运送过程损耗过大”,“施工配比调整没及时更新预算”这类关键要素,预测性分析可以预估成本变动趋势,凭借过往3个同类型的高速公路项目的沥青用量数据,再加上当前项目的施工里程,路面厚度,就可以预测之后的沥青采购量和成本支出,防止过多采购造成浪费^[3]。

(三) 智能算法应用于成本预测

智能算法通过建模分析来提升成本预测的精确度,从而给高速公路工程成本把控给予前瞻性的支撑。可以采用回归分析算法去塑造成本预估模型,把施工里程、材料价格、人工成本,工期这些要素当作自变量,把总成本当作因变量,凭借以往项目的资料来训练这个模型,进而对新项目总成本执行初步预估,譬如某高速公路项目用这个模型预估总造价偏差达3%之内。针对那些复杂的非线性成本联系,可以选用机器学习算法,像随机森林算法,来解决材料价格波动,政策改变等众多变量的影响,在预估桥梁建造成本的时候,这个算法会顾及到钢材价格,混凝土强度等级,施工工艺改良等多种要素,从而给出更为准确的成本范围。对于长期项目,可以采用时间序列算法,根据月度成本数据变化趋势来预测未来3-6个月的成本支出,如某高速公路项目利用算法提前预测出沥青价格上涨趋势,提前调整采购计划,减少采购成本。也可以结合BIM技术以及智能算法,将三维模型中工程量数据与成本算法结合,做到“量价联动”预测,比如通过BIM模型计算出某隧道的混凝土用量,再结合算法预测的混凝土价格,快速生成该分项工程的成本预算^[4-5]。

三、信息化成本控制策略制定

(一) 大数据驱动的成本预算编制方法研究

大数据背景下的成本预算编制,要冲破传统“定额套用”的

限制,做到预算的精确化、动态化,在预算编制之前。利用大数据平台把以往同类型项目的成本数据,当前市场数据,项目设计数据融合起来,创建起预算数据库,编制的时候,采用“数据驱动定额”,比如编制路基工程预算,不是死板地套用固定定额,而是先查阅历史3个相近地质条件项目的土方开挖成本,再联系当前项目的土方量,开挖难易程度系数,机械配备方案,算出专属的单位土方成本;对于新材料,新工艺的应用,借助大数据查找行业里类似的运用实例的成本数据,某个项目采用新的环保沥青,就查寻别的项目该材料的使用成本和效果,然后调节预算数额,防止出现预算误差。同时建立预算动态调整机制,把预算数据同实时市场数据联系起来,钢材价格上下浮动大于5%的时候,预算系统就会自动提醒要调整相关的分项工程预算,保证预算一直符合实际情况^[6]。

(二) 施工过程中的成本动态监控策略

施工过程成本动态监控,依靠实时数据采集与分析,做到成本偏差的及时发现与干预,创建起“实时数据采集-动态分析-预警干预”的监控体系。在数据采集方面,依靠物联网设备和移动端工具,随时得到施工中的材料耗费(每公里路面的沥青用量),人工工时(钢筋班组的每日工作量),设备使用(吊车的台班数量)等数据,保证这些数据能立刻传到大数据平台,从动态分析角度看,利用平台自带的成本分析模块,把实时成本数据同预算数据做比较,形成“成本偏差热力图”。拿某个标段的桥梁施工来说,实时数据显示混凝土用量超出预算8%,系统就会把这一分项标记成“红色预警”。预警干预方面,构建分级预警体系,小的偏差,比如成本超出3%以内,由现场管理人员自行调节,像改良材料领用流程;中等的偏差,也就是3%-8%,就要召开班组协调会,找出原因并拟定改进办法,换成效率更高的施工机械;重大的偏差,超过8%,就向项目指挥部报告,由技术,成本专家联手解决,改变施工工艺以削减损耗。而且借助大数据平台把成本数据变成可视化的形式,比如仪表盘即时显示各个分项工程的成本进度,偏差率,方便管理人员直观地把握成本的变动情况^[7-8]。

(三) 成本偏差分析与调整措施

成本偏差分析要依靠大数据挖掘深层原因,调整措施要有针对性且可操作,保证成本回到正常范围。在偏差分析环节,通过大数据联系很多维度的数据,某高速公路项目路面工程成本超出预算10%,联系到材料采购记录,施工日志,质量检测报告等,找出偏差缘由有“沥青采购价格上涨6%”“施工时返工致使材料损耗增多4%”。针对不同原因制订调整办法,关于价格变动引发的偏差,凭借大数据平台剖析未来价格走向,若预估沥青价格会在1个月以后下降,就可以调整采购方案,分批采购以减轻成本压力;针对施工损耗引发的偏差,改良施工流程,比如采用沥青摊铺机智能控制系统,依照实时数据调节摊铺厚度,缩减材料浪费。还可以借助大数据分析同类型项目偏差处理的经验,比如其他项目在遇到钢筋损耗超标时,通过优化钢筋加工工艺来减少损耗,就可以借鉴这些经验来制定本项目的调整方案,调整之后,再利用大数据平台跟踪措施的落实情况,比如说某个项目执行调整措施以后,每周都会对钢筋损耗的数据进行分析,保证钢筋损

耗率降到5%以下，从而实现成本回归^[9]。

四、实施保障与效果评估

（一）组织与制度保障

组织与制度保障给大数据驱动的信息化成本控制赋予操作支撑，要创建适合的组织架构和管理制度，在组织架构上，成立“大数据成本管控专项小组”，明确每个成员的责任，组长负责总体工作，技术专员负责数据平台维持，成本专员负责数据分析和预算编制，现场专员负责数据搜集，保证各个环节协同推进，还要形成跨部门协作机制，促使成本管理部门同施工、采购、财务部门的数据共享，像采购部门及时上传材料价格数据，财务部门同步上传资金运用数据，做到数据互通。在制度建设上，制订《大数据成本管控实施细则》，明确数据搜集标准，像材料进场数据要在24小时内搜集，分析频次，像每周做一次成本偏差分析，预警处理流程，像预警信息要在2小时内回应，制订数据品质管理制度，规范数据搜集、检查、更新流程。保证数据真实，准确，像材料数据要由采购人员搜集，成本专员检查之后才可搜集，制订考核奖励制度，把成本管控成果同部门，个人业绩挂钩，像某个项目把成本偏差率控制在目标范围之内的班组给予奖金奖励，激起全员参加成本管控的积极主动性。

（二）人员能力与技术支持

人员能力提升和技术支持给信息化成本控制给予软硬件方面的保证，保证策略能切实落实。在人员能力上，展开分层培训，针对管理人员，培训大数据成本管控理念及平台操作，用大数据在成本预测中的应用案例讲解来提升决策能力；针对技术人员，培训数据采集技术（传感器安装、APP使用）、数据分析工具（Excel高级功能、专业分析软件）的操作，保证数据采集与分析规范；针对现场人员，培训数据录入规范，防止数据误差。同时，聘请外部专家做专题讲座，比如请大数据分析专家讲解成本

预测模型的创建，以加强人员的专业能力，在技术支持上，搭建起稳定的大数据平台，保证该平台可以做到数据存储，分析，可视化显示，预警等事情，如果这个平台可以做到手机端，电脑端随时访问，便于现场人员操作。还要配备专业技术团队，负责平台的维护，排除故障，如果平台出现数据上传延迟的情况，技术团队要在一小时内解决，而且要形成技术升级机制，定时更新平台功能，比如采用AI智能客服，回答人员在使用过程中的问题，改善平台的使用效率^[10]。

（三）成本控制效果的评估指标与方法研究

成本控制效果评价要创建起科学的指标体系及办法，全方位评判信息化成本管控的效果，评估指标包含成本、效率、质量等维度，成本维度包含总成本偏差率，分项工程成本节约率，材料损耗率；效率维度包含预算编制时间缩短率，成本偏差反应时延；质量维度包含成本数据精确率，成本管控举措有效率。评估方法采取对比分析法，把信息化管控项目和传统管控项目的指标做比较，拿某高速公路项目来说，利用信息化管控以后，总成本偏差率由传统的8%缩减到3%，预算编写用时缩减了50%；采取综合评分法，按照各个指标的重要程度来给它们打上权重分，算出最终的分数，80分及以上就算是优秀，60-80分为合格，60分一下就是需要改善，利用大数据平台实施长久追踪，像针对一个项目完工之后1-2年里的营运花费进行深入剖析，去评判信息化成本掌控对于全部生命周期成本所产生的作用，从而确保成本控制效果能够持久保持。

五、结束语

大数据驱动高速公路工程信息化成本控制策略的优势明显，利用大数据技术及信息化手段来实施成本的精细化管控，持续完善策略并强化保障措施，从而进一步提高成本控制的效果，促进高速公路工程建设的高质量发展，创造更多的经济和社会效益。

参考文献

- [1]熊晓波,邱甘露,王蓓.基于大数据的高速公路建设管理信息化应用研究[J].运输经理世界,2025,(01):63-65.
- [2]曾繁添.大数据技术在高速公路运营企业会计信息化建设中的应用[J].中国管理信息化,2024,27(06):72-74.
- [3]张虎,刘哲鸣,高茜,等.关于高速公路引车上路信息化探索[J].中国物流与采购,2023,(22):94-98.
- [4]王志雄.基于大数据技术的高速公路预测预警处置平台[J].中国交通信息化,2020,(01):96-99.
- [5]朱鹏飞,王登才,谭岑.高速公路工程施工项目建设信息化管控系统研究[J].中国交通信息化,2018(3):77-82.
- [6]王海英,李贺华,李旭瑶,等.高速公路建设远程视频监控系统的设计与实现[J].公路,2020,(9).
- [7]任碧清.高速公路工程建设项目质量管理[J].交通世界(上旬刊),2019,(10).
- [8]马高琳,陆璐.施工监控信息管理技术在高速公路工程中的应用[J].西部交通科技,2019,(7).
- [9]陈岳峰.高速公路工程建设监管平台融合应用方案探究[J].中国交通信息化,2020,(7).
- [10]于亚峰.加快公路信息化建设的几点思考[J].大科技,2018,(29).

无人机遥感技术在测绘工程中的应用与发展趋势

朱江

宿迁市征地勘测中心, 江苏 宿迁 223800

DOI:10.61369/ETQM.2025110025

摘 要 : 无人机遥感技术因具备低成本、高效率 and 灵活机动等优势, 已在测绘工程中得到广泛应用。通过搭载多光谱、激光雷达和高分辨率影像传感器, 无人机能够实现精细化地形测绘、土地利用监测及工程动态监管, 大幅提升空间数据获取的时效性与准确性。随着人工智能、5G 通信与大数据分析的深度融合, 无人机遥感在自动化处理、实时传输和三维建模等方面展现出广阔前景, 推动测绘工程向智能化与精细化发展。

关 键 词 : 无人机遥感; 测绘工程; 空间数据; 发展趋势

Application and Development Trends of UAV Remote Sensing Technology in Surveying and Mapping Engineering

Zhu Jiang

Suqian Land Acquisition Survey Center, Suqian, Jiangsu 223800

Abstract : UAV remote sensing technology, characterized by its low cost, high efficiency, and flexibility, has been widely applied in surveying and mapping engineering. By equipping UAVs with multispectral, LiDAR, and high-resolution imaging sensors, precise terrain mapping, land-use monitoring, and dynamic engineering supervision can be achieved, significantly enhancing the timeliness and accuracy of spatial data acquisition. With the deep integration of artificial intelligence, 5G communication, and big data analytics, UAV remote sensing exhibits broad prospects in automated processing, real-time transmission, and 3D modeling, driving surveying and mapping engineering towards intelligent and refined development.

Keywords : uav remote sensing; surveying and mapping engineering; spatial data; development trends

引言

随着测绘工程在城市建设、资源管理与环境监测中的地位日益突出, 对数据获取的精度和效率提出了更高要求。传统测绘手段虽能满足基本需求, 但在大范围、高频次和复杂地形环境下存在局限。无人机遥感技术凭借机动灵活、实时获取和高分辨率的优势, 逐渐成为测绘领域的重要工具。其在地形测绘、土地利用动态监测及工程监管中的应用不断深化, 为测绘工程的转型升级提供了新思路与新动力^[1]。

一、无人机遥感技术在测绘工程中的优势分析

无人机遥感技术在测绘工程中的优势主要体现在数据获取的效率和精度上。相比传统的人工测量或有人机航测, 无人机能够在复杂环境和多变地形条件下快速布设与起降, 极大缩短了作业准备时间。其搭载的高分辨率相机、多光谱传感器和激光雷达能够在短时间内获取大范围高精度数据, 实现厘米级乃至毫米级的地形测绘效果。尤其是在山区、林区和灾害多发区域, 无人机能够克服传统测绘方式难以进入的限制, 保证数据采集的连续性和完整性, 为工程建设和资源管理提供及时可靠的基础资料。此外, 无人机的低成本优势也十分突出, 避免了传统方式中高额的人力和设备投入, 使测绘任务更具经济性和灵活性^[2]。

在应用层面, 无人机遥感极大提升了测绘数据的多样化和时效性。传统测绘往往需要大量的人工外业测量与后期数据处理, 而无人机能够通过快速飞行和多角度成像在较短时间内形成高精度三维模型, 支持数字高程模型 (DEM)、数字正射影像 (DOM) 和三维点云数据的生成。这些成果不仅在地形测绘中应用广泛, 还在土地利用监测、灾害评估和工程监管中发挥关键作用。例如, 在城市扩展或基础设施建设过程中, 无人机可以对地物变化进行动态监测, 为规划调整和施工管理提供直观的数据支撑。无人机遥感数据的时效性特点使得测绘工程能够实时掌握地表信息, 从而提高决策的科学性与精确度。

同时, 无人机遥感与人工智能、大数据等新兴技术的结合, 进一步放大了其在测绘工程中的优势。通过深度学习和智能识别

算法，无人机获取的影像数据能够实现自动化解译，减少人工干预，提高数据处理效率。在5G通信和云平台的支持下，测绘成果可以实现实时传输和共享，推动跨部门、跨区域的协同应用。这种智能化与网络化的发展趋势，使无人机遥感不仅是单一的数据获取工具，更成为智能测绘体系的重要组成部分^[3]。未来，随着传感器性能的提升与算法优化的深入，无人机遥感将在精细化测绘、环境监测和应急管理中展现出更强的价值和应用潜力，无人机遥感与传统测绘方式对比分析如表1所示。

表1 无人机遥感与传统测绘方式对比分析

指标	无人机遥感	传统测绘方式	提升幅度
数据获取精度	2 - 5 cm	20 - 50 cm	提升约 80%
数据获取效率	50 km²/天	10 km²/天	提升约 400%
成本投入	约降低 30%	基准 100%	节约 30%
作业适应性	高，适用复杂地形	中，受环境限制	显著提高

二、无人机遥感在地形测绘与土地监测中的应用

无人机遥感在地形测绘与土地监测中的应用表现出独特优势。首先，在地形测绘方面，无人机凭借灵活机动的飞行能力与高分辨率影像传感器，能够快速获取不同地形区域的详细数据。在山区、丘陵和高原等复杂地貌中，传统测绘方式往往受限于人力和设备条件，而无人机则可以低空、多角度获取地表影像，结合数字高程模型、三维点云数据和倾斜摄影技术，形成高精度、多维度的地形成果。这种方式不仅大大提高了测绘效率，还有效减少了因人工测量产生的误差，保证了数据的完整性与精确度^[4]。尤其是在灾害地形或人迹罕至的区域，无人机遥感能够克服恶劣环境带来的困难，确保数据采集的安全性与连续性。

其次，在土地利用监测中，无人机遥感可实现对农田、林地、水体及建设用地的动态识别与变化跟踪。通过多光谱和高光谱传感器的应用，可以分析植被覆盖度、农作物长势、土壤湿度及土地退化情况，为农业管理和自然资源保护提供可靠依据。例如，在农业生产中，无人机遥感不仅能够监测作物生长状况和病虫害分布，还可结合人工智能算法进行病害识别与产量预测，为农户提供更科学的管理建议。在城市扩展和土地规划中，无人机可以高频次监测建设用地的扩张速度和形态变化，帮助政府部门实现实时监管，并对非法占地或环境破坏行为及时作出反应。这种高时效性和可重复性，使无人机遥感成为土地利用调查与环境评估的重要技术支撑，其成果在生态环境保护、国土资源管理和城乡规划中具有重要意义^[5]。

最后，无人机遥感在灾害应急和工程监管中同样展现出不可替代的价值。地震、洪水、泥石流和滑坡等自然灾害发生后，无人机能够在短时间内进入灾区，快速获取大范围高精度影像，全面反映受灾区域的范围和损毁情况，为应急救援、资源调配和风险评估提供数据支撑。在工程建设中，无人机能够对施工进度、施工质量及环境影响进行动态监控，实时记录施工现场的变化情况，避免因信息滞后而导致的管理失误或资源浪费。随着人工智能与大数据技术的引入，无人机获取的监测数据不仅可以自动化处理，还能通过模式识别与趋势分析为决策提供深层次的支持。

可以预见，无人机遥感将在未来测绘工程和土地资源管理中发挥越来越重要的作用，其在精度、效率和覆盖度方面的综合优势将更加突出，成为推动测绘行业智能化和精细化发展的核心动力，如图1所示。

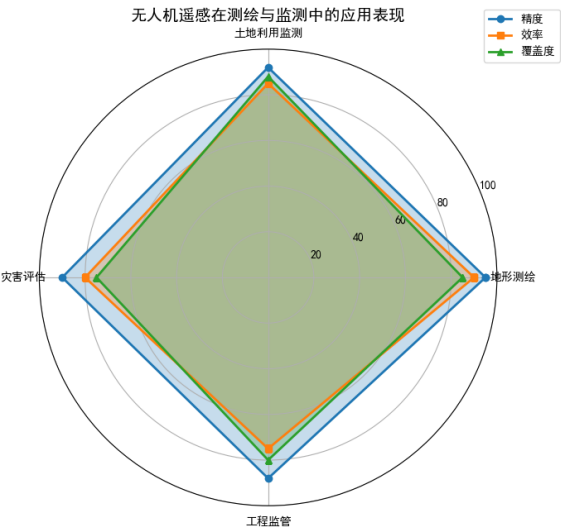


图1 无人机遥感再测绘与监测中的应用表现

三、无人机遥感与新兴技术融合的发展路径

无人机遥感与新兴技术的融合为测绘工程的发展提供了全新的动力。在过去，无人机遥感主要依赖影像采集与人工数据处理，虽然在效率和精度上已经优于传统测绘方式，但仍存在数据量庞大、处理周期长和成果利用率不高的问题。随着人工智能、大数据和云计算的快速进步，这些技术被逐步引入到无人机遥感的各个环节，推动数据从“采集—处理—应用”的流程全面升级。例如，深度学习算法能够自动识别遥感影像中的地物类别，从而大幅减少人工解译的工作量；大数据技术则可以整合不同时间和空间尺度的数据集，实现历史对比与趋势预测；云计算和边缘计算平台的应用则使无人机在任务执行过程中能够实现实时上传和分析，显著提升数据处理速度和决策的及时性。这种与前沿信息技术的深度融合，不仅解决了数据冗余和时效性不足的问题，也让无人机遥感具备了更强的适应性与智能化水平，为测绘行业注入了前所未有的发展活力^[6]。

在技术应用层面，无人机遥感与5G通信、物联网及虚拟现实技术的结合，为测绘工程拓展了更广的场景。5G网络的高带宽和低延时特性，使无人机在飞行过程中能够实现高清视频和点云数据的实时回传，满足大型工程和应急救援中对即时数据的迫切需求。物联网技术的介入，让无人机不再是单一的数据采集终端，而是能够与地面传感器、卫星定位设备和监测平台形成一个互联互通的体系，实现对地表动态变化的多源协同监控^[7]。同时，虚拟现实和增强现实技术为无人机遥感成果的展示和应用提供了直观的方式，用户可以在虚拟三维空间中漫游观察测绘成果，提升数据可视化和决策体验。例如，在城市规划中，结合无人机三维建模与虚拟现实，能够模拟道路扩建或建筑新增对整体空间格局

的影响，为管理者提供科学直观的参考。这种多技术的集成应用，让无人机遥感不再局限于数据获取，而是走向了智慧化、场景化的应用新阶段，推动成果在实践中发挥更高价值。

未来的发展路径中，无人机遥感与新兴技术的融合将进一步向自动化、智能化和系统化方向迈进。无人机集群协同作业将成为趋势，借助人工智能算法和区块链技术实现多架无人机的自主协同与数据安全共享，从而在大范围测绘或灾害监测中发挥更高效的作用。同时，随着传感器精度的持续提升，无人机遥感不仅能提供高精度二维与三维数据，还能通过多源融合实现对地下结构、气候环境和生态系统的全面监测。在政策和产业推动下，无人机遥感技术还将与智慧城市建设、智慧农业和绿色能源等领域深度结合，推动测绘工程服务范围的不断延伸。可以预见，无人机遥感与人工智能、5G、大数据等新兴技术的协同发展，将逐步构建起一个开放、智能和高效的测绘体系，不仅提升行业整体水平，也将对社会治理、资源利用和环境保护产生深远影响，成为推动人类与自然和谐共生的重要技术支撑^[9]。

四、测绘工程中无人机遥感技术的未来趋势与挑战

未来测绘工程中无人机遥感技术的发展趋势，将集中在智能化、自动化和多元化方向。随着传感器分辨率和性能的不不断提升，无人机在数据采集方面的精度将进一步增强，厘米级甚至毫米级测绘成果将成为常态。同时，多传感器融合技术也会得到更广泛应用，无人机可以同时搭载可见光相机、红外传感器、激光雷达和高光谱设备，实现对地物的多角度、多维度观测。结合三维建模与虚拟现实，测绘成果将更加立体化和直观化，为城市规划、灾害模拟与生态保护提供全方位数据支撑。此外，无人机集群作业有望在未来普及，多架无人机通过协同飞行和智能分工，可以在短时间内完成大范围区域的数据采集，大大提高作业效率和空间覆盖能力，为复杂工程提供更加及时而精准的基础数据。

在这一趋势下，测绘工程中无人机遥感还将与人工智能、5G、大数据和区块链等新兴技术进一步融合。人工智能算法的介入，让影像解译和地物识别实现自动化，从而缩短成果生成周期；5G通信的高速率和低延时特点，使无人机能够实现远程实时

控制与数据回传，满足应急测绘和动态监测的需求；大数据技术则通过历史资料与现有监测成果的整合，帮助研究者发现地理变化规律并进行预测；区块链技术则能够确保数据在共享与传输过程中安全可靠，避免信息篡改和资源浪费。这些融合趋势将推动无人机遥感从单一的数据采集工具，发展为一个覆盖数据获取、处理、共享与应用的完整智能系统，不仅提升测绘工程的整体水平，还将为社会治理、资源开发和环境保护提供更强有力的支撑和发展动力^[9]。

然而，无人机遥感在未来发展中也面临诸多挑战。首先是法律与监管问题，目前各国在无人机飞行高度、航线规划和数据安全方面的法规尚未统一，限制了大规模跨区域应用。其次是技术瓶颈依然存在，例如无人机续航能力有限、电池性能难以满足长时间作业需求，传感器在极端天气和复杂环境下的稳定性也有待提高。再次，数据处理和存储压力巨大，高分辨率遥感数据在采集后需要占用大量计算与存储资源，如何降低处理成本、提高分析效率仍是难题。此外，专业人才的缺乏也制约了无人机遥感的普及，既懂测绘工程又掌握无人机操作与数据分析的复合型人才依然不足。可以预见，未来无人机遥感技术在测绘工程中的发展既是机遇也是挑战，只有在技术创新、政策规范和人才培养等方面协同推进，才能真正实现其在工程建设与社会服务中的最大价值和长远意义。

五、结束语

无人机遥感技术凭借高精度、低成本和灵活性，正逐步成为测绘工程的重要支撑手段。在地形测绘、土地利用监测、灾害评估及工程监管中展现出显著优势，并在与人工智能、大数据、5G等新兴技术的融合中不断拓展应用边界。未来，该技术将向智能化、自动化和集群化方向发展，为城市建设、资源管理与环境保护提供更科学的决策依据。然而，其在法规规范、续航能力、数据处理和人才储备方面仍面临挑战。只有持续推进技术创新、健全政策体系、加强专业人才培养，才能充分发挥无人机遥感在测绘工程中的价值，推动行业迈向高质量发展^[10]。

参考文献

[1] 支晨阳, 赵培楠. 无人机遥感技术在城市测绘工程中的应用与发展趋势研究 [J]. 住宅产业, 2024, (08): 81-83.
[2] 李因国. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用 [J]. 信息记录材料, 2025, 26(06): 198-200.DOI: 10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2025.06.036.
[3] 任彭睿智. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用分析 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(10): 1-3.DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2025.0422.
[4] 段志伟. 无人机遥感技术在测绘工程中的应用 [J]. 中国信息界, 2025, (03): 237-239.
[5] 杨杰. 无人机遥感技术在测绘工程中的应用研究 [J]. 房地产世界, 2025, (02): 167-169.
[6] 方少涛. 无人机遥感技术在测绘工程中的应用研究 [J]. 世界有色金属, 2024, (18): 151-153.
[7] 张俊鹏. 论遥感影像处理在测绘工程中的技术创新 [J]. 产品可靠性报告, 2024, (06): 70-71.
[8] 晁冲, 褚会鹏. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(12): 202-204.DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2024.12.065.
[9] 付威克. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (17): 104-106.
[10] 王林. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用 [J]. 工程与建设, 2023, 37(06): 1694-1696.

大数据驱动的危险源辨识与动态风险评估方法

黄大勇¹, 胡海英²

1. 青岛灵符安全技术咨询服务有限公司, 山东 青岛 266199

2. 安德烈斯蒂尔动力工具(青岛)有限公司, 山东 青岛 266113

DOI:10.61369/ETQM.2025110027

摘 要 : 本文聚焦大数据驱动的危险源辨识与动态风险评估方法, 通过构建覆盖“人-机-环-管”全维度的数据体系, 结合显性与隐性危险源辨识模型、知识图谱技术, 实现了危险源的全面、精准与实时识别。在此基础上, 设计了以数据实时流动为核心的四层动态风险评估框架, 包括风险量化指标的动态计算、风险演化趋势预测等功能模块, 并进一步提出了支持该系统实现的五层架构与关键技术解决方案。该方法可显著提升风险识别的准确性与时效性, 为安全生产管理的智能化转型提供理论依据与技术支持。

关 键 词 : 危险源辨识; 动态风险评估; 大数据驱动; 知识图谱

Big Data-Driven Hazard Identification and Dynamic Risk Assessment Methods

Huang Dayong¹, Hu Haiying²

1. Qingdao Lingfu Safety Technology Consulting Service Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266199

2. Andreas Stihl Power Tools (Qingdao) Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266113

Abstract : This paper focuses on big data-driven hazard identification and dynamic risk assessment methods. By constructing a comprehensive data system that covers all dimensions of "human-machine-environment-management," combined with explicit and implicit hazard identification models and knowledge graph technology, it achieves comprehensive, accurate, and real-time identification of hazards. On this basis, a four-tier dynamic risk assessment framework centered on real-time data flow is designed, including functional modules such as dynamic calculation of risk quantification indicators and prediction of risk evolution trends. Furthermore, a five-tier architecture and key technical solutions supporting the implementation of this system are proposed. This method can significantly enhance the accuracy and timeliness of risk identification, providing a theoretical basis and technical support for the intelligent transformation of work safety management.

Keywords : hazard identification; dynamic risk assessment; big data-driven; knowledge graph

引言

近年来大数据技术凭借全维度数据整合、实时流处理、关联分析与趋势预测能力, 为突破传统安全管理瓶颈提供了新路径。但当前学界与产业界对大数据驱动的危险源辨识与动态评估研究, 仍存在数据体系标准化不足、隐性危险源关联模型泛化能力弱、动态评估指标与场景适配性差等问题, 尚未形成“辨识-评估-处置-迭代”的完整闭环。鉴于此, 本文以提升危险源辨识的全面性与风险评估的实时性、精准性为核心目标, 系统开展大数据驱动的危险源辨识与动态风险评估方法研究。构建人-机-环-管全维度数据体系, 设计显性与隐性危险源双轨辨识模型, 结合知识图谱实现风险信息的管理与跨场景复用; 进而搭建数据层-指标层-算法层-应用层联动的动态风险评估框架, 提出风险量化指标动态计算模型与多周期趋势预测方法; 通过设计并实现动态风险评估系统, 将理论方法落地为可操作的技术工具。本研究旨在为工业、工程建设等领域提供科学的风险管控方法论, 推动安全管理从“事后处置”向“事前预判、事中管控”转型, 提升整体风险防控能力。

一、大数据驱动的危险源辨识方法

（一）危险源辨识的数据体系构建

危险源辨识的范围必须覆盖组织内的作业活动、产品和服务的全过程，应考虑：所有常规、非常规的活动；所有进入作业场所人员（包括合同人员和访问者）的活动；所有作业场所内的设施（无论由组织还是由外界所提供）^[1]。大数据驱动辨识需以全来源、高质量、可复用数据体系为基石，解决数据来源、处理、存储核心问题。数据来源上打破孤岛，整合人-机-环-管全维度数据，各维度数据类型与用途不同，分别服务于人因、设备、环境、管理风险识别；原始数据需经清洗、集成、变换预处理以保障可用性；存储管理按数据类型选适配方案，兼顾效率与成本，同时做好安全管控，符合相关法规要求。

（二）基于大数据的显性危险源辨识模型

显性危险源是指可直接观察、易量化的风险，核心是通过实时监测+阈值判断+分类识别，实现风险的即时发现、精准定位，其技术逻辑遵循数据实时输入→特征匹配/阈值比对→风险告警的流程，借助统计分析、机器学习、计算机视觉等技术直接识别显性风险信号^[2]。在典型模型与应用场景中，阈值监测模型以统计分析为核心技术，适用于设备参数超限、环境浓度超标的场景；分类识别模型依托传统机器学习，可用于人员违规行为分类、设备状态判断；图像识别模型则基于计算机视觉，适用于明火、烟雾、违规堆放等视觉可识别的风险场景^[3]。此外，显性危险源辨识模型还需具备实时性与可解释性双重特性，实时性方面，通过边缘计算技术将部分建模分析任务部署在传感器、摄像头等终端设备上，减少数据传输延迟，确保风险告警在秒级响应；可解释性方面，模型需输出风险识别的关键依据，帮助现场人员快速判断风险严重程度，避免无效告警。

（三）基于大数据的隐性危险源辨识模型

隐性危险源指难直接观察、需关联分析或趋势预测发现的风险，核心是通过多维度数据关联、趋势预测、异常模式挖掘提前识别潜在风险，技术逻辑为突破单一数据维度局限，挖掘数据隐性关联、分析风险趋势^[4]。典型模型中，关联分析模型可挖掘多因素联动隐性风险，如某煤矿借此发现特定设备、人员、环境因素组合会大幅提升故障概率；趋势预测模型能预测设备隐性老化等，如某电力公司用其提前1-3个月预测变压器绝缘老化风险；异常模式挖掘模型适用于未知隐性风险识别，如某车企借此发现机器人机械臂磨损问题。

（四）危险源知识图谱构建与应用

危险源知识图谱是将危险源数据、风险关联关系、安全知识以实体-关系-属性结构化存储，形成可查询、可推理、可复用的知识体系，核心在于解决风险信息碎片化，实现危险源全生命周期管理与跨场景风险关联分析^[5]。构建流程上，通过知识抽取从多源数据提取实体、关系、属性，经知识融合确保准确性，用图数据库存储，高效支持多跳查询与关联分析。应用场景包括风险溯源与根因分析、风险预警与联动处置、安全培训与知识复用，此外需通过人工反馈+自动更新机制持续迭代，保障知识时效性与完整性。

二、大数据驱动的动态风险评估方法

（一）动态风险评估的总体框架

动态风险评估总体框架以数据实时流动为核心，构建数据层-指标层-算法层-应用层四层联动体系，解决评估滞后、维度单一、与场景脱节问题，形成数据输入到风险输出闭环。数据层对接危险源辨识数据体系，获取人-机-环-管全维度实时数据，借边缘计算初步过滤数据，确保秒级传输延迟，提供高质量数据支撑。指标层建立动态可调整、场景适配的风险量化指标体系，按场景选核心指标，且指标可随场景或环境变化动态更新^[6]。算法层整合实时计算、机器学习等技术，具有并行计算能力，搭载多评估算法模块，可依场景灵活选算法方式。应用层以可视化仪表盘、实时告警等形式向不同用户输出评估结果，联动管控措施，并通过反馈机制将处置结果反向传至数据层、指标层，实现闭环迭代。

（二）风险量化指标的动态计算模型

风险量化指标的动态计算模型，核心是解决传统固定阈值计算无法反映风险动态变化的问题，通过实时数据驱动指标更新、多维度因子修正、场景化权重调整实现风险指标动态量化，确保指标值匹配当前风险状态^[7]。模型明确基础指标计算逻辑，针对状态类、变化率类、频次类等不同风险指标设计差异化实时计算方法。状态类指标以实时监测值与安全阈值的偏差程度计算，变化率类指标以单位时间内指标变化幅度计算，频次类指标以单位时间内事件发生次数与历史平均水平的对比计算。在此基础上，模型引入多维度修正因子动态调整基础指标值，比如夜间作业时给人员违规操作频次指标乘1.2修正系数，暴雨天气给边坡位移速率指标乘1.5修正系数，老旧设备给设备温度偏差指标乘1.3修正系数，修正后指标值按基础指标值 $\times(1+\text{各修正因子系数之和})$ 计算，综合反映多因素对风险的动态影响。

（三）风险演化趋势分析与预测

风险演化趋势分析与预测，核心是解决仅关注当前风险状态、无法提前预判未来风险的问题，通过历史数据规律挖掘、实时趋势捕捉、多场景预测实现对风险未来演化趋势的预判，为主动管控提供依据，包含趋势分析、预测模型、场景化预测调整三大核心模块^[8]。趋势分析模块先挖掘历史风险数据，识别风险演化典型模式与周期性特征，存入风险规律知识库；再结合实时数据判断当前风险演化阶段，通过趋势斜率计算量化演化速度，明确风险变化态势。预测模型模块按短、中、长周期选择适配模型，短期用时间序列分析模型，适配高实时性场景；中期用机器学习模型，综合多因素预判；长期用系统动力学+机器学习融合模型，模拟风险因素相互作用。场景化预测调整模块针对外部环境突变、内部场景调整等不确定性因素，引入对应修正因子调整预测结果，同时支持人工干预修正。

三、动态风险评估系统设计与实现

（一）系统总体架构设计

动态风险评估系统采用感知层-数据层-平台层-应用层-展示层五层架构设计，通过分层解耦实现数据可扩展、功能可复用、技术可迭代，且与前文动态风险评估方法的数据-指标-算

法-应用逻辑深度对齐。感知层作为数据入口，采集人-机-环-管全维度实时数据，适配多类型采集设备与协议，并具备边缘预处理能力，平衡数据实时性与有效性^[9]。数据层作为数据仓库，承接感知层数据，采用混合存储架构，同时实现数据标准化与关联，内置数据质量监控模块，对应评估框架的数据层能力。平台层作为核心引擎，以微服务架构集成动态指标计算模型、机器学习评估算法、趋势预测模型，拆分出指标计算、算法评估、趋势预测、知识图谱四大微服务，支持配置指标公式、选择算法类型、实现增量训练，还具备分布式计算能力，保障评估实时性。应用层作为功能载体，按用户角色与业务场景拆分功能，实现风险处置闭环，并支持场景化配置，对应评估框架的应用层能力。展示层作为交互窗口，采用多端适配设计，支持自定义可视化，直观呈现评估结果。

（二）核心功能模块设计

动态风险评估系统的五大核心模块围绕数据-评估-预测-处置流程设计，既独立功能又联动运行。数据接入与预处理模块是数据保障，支持多协议接入，通过规则引擎完成数据清洗，凭关键ID关联多源数据，实时监控数据质量，确保数据处理延迟≤10秒、每秒处理10万条以上数据。动态指标管理模块是量化核心，支持自定义指标，实时计算指标值，管理时间/环境/设备状态等修正因子，按层次分析法+实时反馈配置场景化权重，落地风险量化指标动态计算模型^[10]。综合风险评估模块是评估核心，支持选择适配算法并配置参数，每1-5分钟实时评估输出风险概率，按动态阈值划分风险等级，分析风险排名前3-5核心风险源，自动生成实时与周期性评估报告，落地机器学习综合评估算法。风险趋势预测与告警模块是预判核心，分析历史数据识别风险演化模式、展示风险趋势，支持短/中/长周期预测，可接入外部因素修正预测结果，按预测提前推送智能告警并配置角色优先级。风险处置与闭环管理模块是管控核心，中高风险告警时自动生成工单并分配责任人，跟踪处置过程，自动验证整改效果，定期分析处置效果，并将结果反馈至其他模块优化指标与算法，实现评估-告警-处置-验证闭环。

（三）关键技术实现

动态风险评估系统五大关键技术围绕核心需求适配，支撑架构各层运行。多源数据实时接入与边缘预处理技术，采用边缘网关+消息队列架构，网关解析多协议数据并做边缘预处理，云端Kafka集群支持高并发数据接入，搭配5G/工业以太网网传输与断网缓存机制，解决多设备高并发接入与数据有效性问题；分布式实时计算技术基于Apache Flink实现，搭建集群并设计不同作业模式——动态指标计算用流处理、综合风险评估用流处理和批处理混合模式、趋势预测用窗口计算，借助Checkpoint保障数据一致性，通过SQL接口实现可视化配置，解决海量数据快速处理与实时计算需求；机器学习模型工程化技术采用“TensorFlow/PyTorch+TensorFlow Serving+MLflow”栈，实现离线训练+增量更新，模型容器化部署并配负载均衡，集成SHAP工具保障可解释性，解决模型训练、部署与迭代问题；知识图谱融合与查询优化技术基于Neo4j，通过ETL+NLP提取并融合知识，设计索引与路径算法优化查询，搭配可视化界面，解决危险源知识结构化存储与高效查询问题；多端可视化与告警推送技术用ECharts+Vue3+Uniapp+消息中间件，Web端做详细可视化与报表配置，移动端聚焦告警与工单处理，大屏端展示全局信息，支持个性化告警配置，解决结果直观呈现与告警及时触达问题。

四、结束语

本文围绕传统安全管理中危险源辨识不全面、风险评估滞后且维度单一的核心痛点，系统构建了大数据驱动的危险源辨识体系、动态风险评估方法，并落地实现了相应的动态风险评估系统，形成了从理论方法到技术实践的完整研究链条。相信随着技术的持续迭代，本文研究成果将为工业、工程建设等领域的安全管理模式转型提供更坚实的支撑，推动安全管控向更智能、更主动的“事前预防”阶段迈进。

参考文献

- [1] 李争峰, 冯文萍, 张祖舜. 浅谈危险源辨识 [J]. 石油化工安全技术, 2006, 22(3): 30-34. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8659.2006.03.011.
- [2] 张红婴. 重大危险源辨识浅析 [J]. 硅谷, 2008(18): 186-186. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7597.2008.18.147.
- [3] 危险源辨识和风险评价 [C]//中国造船工程学会修船技术学术委员会2004年年会论文集. 北京: 中国造船工程学会, 2004: 19-21.
- [4] 刘竞辉. 起重机作业重大危险源辨识 [J]. 设备管理与维修, 2023(8): 16-18. DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2023.04D.07.
- [5] 崔玉生, 孙金荣, 程路, 等. 如何进行危险源辨识 [C]//2011年全国冶金安全环保学术交流会议论文集. 2011: 221-224.
- [6] 孙建华. 浅谈施工现场危险源辨识 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2012(32).
- [7] 杨白羽. 浅析危险源辨识的重要性 [J]. 管理观察, 2010(33): 241. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2877.2010.33.169.
- [8] 丁平华. 浅谈危险源辨识和风险评价 [J]. 煤炭科技, 2004(2): 51-52. DOI: 10.3969/j.issn.1008-3731.2004.02.029.
- [9] 姜远志. 浅谈危险源辨识与安全评价 [J]. 中国科技财富, 2011(24): 278. DOI: 10.3969/j.issn.1671-461X.2011.24.241.
- [10] 北京辰安科技股份有限公司. 区域动态风险评估方法及装置: CN202311757256.2[P]. 2024-03-22.

基于深度学习的锅炉燃烧优化控制算法研究

王猛, 侯荣利, 柴尚荣

国能山西河曲发电有限公司, 山西 忻州 036500

DOI:10.61369/ETQM.2025110029

摘 要 : 锅炉燃烧过程作为火力发电的核心环节, 其优化控制直接关系到能源利用效率与污染物排放水平。传统基于物理模型的控制方法受限于计算实时性不足, 难以适应动态工况下的快速响应需求。近年来, 工业传感器技术的进步使得燃烧过程关键参数 (如辐射能信号、火焰图像) 可被实时监测并转化为高维数据流, 为数据驱动的优化方法提供了基础。深度学习技术凭借其强大的非线性建模能力与特征自学习特性, 为锅炉燃烧优化提供了新的解决方案。通过构建深度神经网络模型, 可直接挖掘输入变量 (风量、煤粉浓度) 与输出指标 (热效率、氮氧化物排放) 之间的复杂映射关系, 实现燃烧过程的动态优化控制。

关 键 词 : 锅炉燃烧优化; 深度学习; 时空卷积网络; 长短期记忆网络

Research on Boiler combustion Optimization Control Algorithm based on Deep Learning

Wang Meng, Hou Rongli, Chai Shangrong

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

Abstract : As the core process in thermal power generation, boiler combustion optimization directly impacts energy efficiency and pollutant emissions. Traditional control methods relying on physical models struggle with real-time computational constraints, failing to meet the rapid response demands of dynamic operating conditions. Recent advancements in industrial sensor technology now enable real-time monitoring of critical combustion parameters—including radiant energy signals and flame imaging—transforming them into high-dimensional data streams that form the foundation for data-driven optimization strategies. Deep learning technology, with its powerful nonlinear modeling capabilities and self-learning characteristics, provides innovative solutions for boiler combustion optimization. By constructing deep neural network models, it directly uncovers the complex relationships between input variables (air volume, coal powder concentration) and output metrics (thermal efficiency, nitrogen oxide emissions), enabling dynamic optimization control of combustion processes.

Keywords : boiler combustion optimization; deep learning; spatio-temporal convolutional networks; long short-term memory networks

引言

锅炉燃烧过程作为火力发电系统的核心环节, 其优化控制直接关系到能源利用效率、污染物排放水平及机组运行安全性。随着全球能源需求持续增长和环境保护要求日益严格, 如何通过智能化技术提升锅炉燃烧系统的综合性能已成为能源领域的研究热点。传统锅炉燃烧优化方法多依赖于基于物理模型的控制策略, 例如通过建立锅炉燃烧模型并采用遗传算法或粒子群算法进行非线性优化。这类方法在实际应用中面临显著挑战: 复杂的计算过程导致实时性不足, 难以满足动态工况下快速响应的需求。例如, 基于离线非线性优化的模糊控制方法虽尝试通过划分干扰变量子空间并构建专家规则库来提升实时性, 但仍受限于模型参数更新频率和环境扰动的快速捕捉能力。

一、相关理论

(一) 深度学习理论概述

深度学习作为人工智能领域的核心技术, 通过多层神经网络结构实现对复杂非线性关系的建模与分析。其核心思想是通过构

建深层非线性变换, 从输入数据中自动提取具有层次化的特征表示, 从而提升模型对复杂系统的描述能力。在工业锅炉燃烧优化领域, 传统模型辨识方法建立的燃烧系统模型多依赖现场数据, 难以准确捕捉动态变化特性。而深度学习通过端到端的学习机制, 能够有效解决此类问题。深度神经网络 (DNN) 作为基础模

型，通过堆叠全连接层构建特征映射关系，适用于锅炉燃烧参数的全局非线性建模^[1]。卷积神经网络（CNN）凭借局部感受野和权值共享特性，可高效提取火焰图像或气体分布的空间特征，如氢-空气预混火焰的蜂窝结构特征可通过CNN结合仿生细胞分割模型进行量化分析，实现火焰形态的动态监测。长短期记忆网络（LSTM）因其时序记忆能力，适用于燃烧过程中的气体浓度多步预测，例如CO浓度变化预测中LSTM网络可捕捉时间序列数据中的长期依赖关系。

（二）锅炉燃烧控制理论

锅炉燃烧过程是将燃料化学能转化为热能的核心环节，其控制理论需兼顾热力学特性和动态响应特性。工业锅炉燃烧系统本质上属于多变量强耦合的复杂对象，传统控制方案通过前馈补偿等策略将其分解为两个主要调节回路：通过进煤量调节主汽压力的闭环系统和通过鼓风量控制烟道含氧量的回路^[9]。主汽压力控制系统通过燃料供给量与负荷需求的匹配实现能量平衡，而送风调节系统则需维持氧化剂供给与燃料燃烧的动态匹配，两者共同构成燃烧过程的基础控制架构。在传统控制方案基础上，现代控制理论进一步引入参数寻优与自适应PID算法，通过实时优化燃烧参数提升系统调节品质。

二、基于深度学习的锅炉燃烧优化控制算法设计

（一）算法总体架构

本算法采用分层递进的混合架构，融合深度神经网络与传统控制理论实现锅炉燃烧过程的多目标优化。系统输入包含锅炉运行参数（如燃料量、送风量、炉膛压力、烟气成分）、环境变量（气温、负荷需求）及历史操作数据，通过传感器网络实时采集并经过标准化预处理形成多维特征向量。输出为最优控制指令集，包括燃料调节量、风煤配比、燃烧区域分布等关键参数，通过PLC系统传递至执行机构完成闭环控制。

最优解集通过模型预测控制（MPC）转换为执行指令：

$$\min_{\Delta \mathbf{u}} \sum_{t=1}^{N_p} \|\mathbf{y}_{t|k} - \mathbf{r}_t\|_{\mathbf{Q}}^2 + \sum_{t=0}^{N_c-1} \|\Delta \mathbf{u}_{t|k}\|_{\mathbf{R}}^2$$

其中 N_p 为预测时域， N_c 为控制时域， \mathbf{Q} 为权重矩阵。PLC系统执行 $\Delta \mathbf{u}$ 实现风煤配比动态调整。

在数据处理流程中，首先建立动态特征提取模块，采用卷积神经网络（CNN）对锅炉内热力场分布图像进行空间特征解耦，捕捉火焰形态与温度场的非线性关联。时序相关参数则通过长短期记忆网络（LSTM）构建时间序列预测模型，捕捉燃烧过程的动态特性^{[7][8]}。两类特征经特征融合层进行加权整合，生成具有时空一致性的状态表征向量^[2]。该模块采用批量归一化与残差连接技术，有效缓解深度网络中的梯度消失问题，提升特征表达的鲁棒性。

（二）深度学习模型选择

锅炉燃烧优化控制作为能源高效利用与污染物排放控制的关键

技术，其核心挑战在于系统高维输入空间、强非线性特性、时变动态响应及多变量耦合效应的复杂交织。传统控制算法在应对上述特征时，往往受限于模型结构的简化假设与参数辨识的精度不足，导致控制策略难以同时满足效率提升与排放约束的双重目标。深度学习模型凭借其强大的非线性拟合能力、自适应特征提取机制及处理时序数据的潜力，为构建高性能燃烧优化控制框架提供了新的技术路径。本文基于锅炉燃烧系统的动态特性与控制需求，结合深度学习模型的理论优势，系统论证了长短期记忆网络（LSTM）与卷积神经网络（CNN）的复合架构作为核心控制模型的适配性。

三、实验与分析

（一）实验方法与步骤

本研究以某燃煤电站锅炉为实验对象，基于现场工况采集系统获取实时运行数据，涵盖燃料流量、一次/二次风量、炉膛温度场分布、烟气成分（CO、NO_x、SO₂）、氧含量及燃烧效率等关键参数。实验数据通过滚动时间窗方法构建时序样本集，时间步长设置为10秒，以捕捉燃烧过程的动态特性。数据预处理环节采用多阶段方法：首先运用中位数插值法填补缺失值，继而通过 3σ 准则剔除超出合理范围的异常数据点，随后进行特征标准化处理，将各维度数据映射至 $[-1,1]$ 区间以消除量纲影响。针对锅炉运行的强耦合特性，构建多输入-多输出的深度学习框架，输入层包含燃料量、风量、炉膛压力等12个控制变量，输出层设计为燃烧效率、NO_x排放浓度及主蒸汽温度三个优化目标。实验采用分层抽样法将数据集划分为训练集（70%）、验证集（15%）和测试集（15%），确保各类工况分布均衡。

模型构建方面，基于残差网络（ResNet）改进的深度卷积神经网络（CNN）作为核心架构，通过多分支结构分别处理不同特征序列。为增强时间序列建模能力，引入双向长短期记忆网络（Bi-LSTM）模块与CNN进行特征融合，形成混合架构。网络结构包含3个卷积层（核尺寸 3×3 ，步长1）、2个残差块及2个Bi-LSTM单元，全连接层采用自适应参数调整机制。在模型训练阶段，采用Adam优化器，初始学习率设为0.001，批大小（batch size）为64，通过余弦退火策略动态调整学习率。损失函数设计为加权组合形式，综合考虑燃烧效率（权重0.4）、NO_x排放（权重0.3）及温度控制精度（权重0.3），采用均方误差（MSE）作为基本损失度量。为防止过拟合，实施Dropout（0.2）和L2正则化（ $\lambda=0.001$ ），同时设置早停机制（patience=10）终止训练^{[3][4]}。

（二）实验结果与分析

本研究通过构建基于深度学习的锅炉燃烧优化控制算法，对某600MW超临界燃煤机组进行了仿真与实测实验。实验数据来源于锅炉运行记录数据库，包含燃料配比、风量、炉膛压力、烟气温度及污染物排放等12类共58项特征参数，时间分辨率为1分钟。采用交叉验证方法将数据集划分为训练集（70%）、验证集（15%）和测试集（15%）。模型采用监督学习框架，输入层为特

征参数矩阵，输出层预测最佳氧量、煤粉浓度及风煤配比，中间嵌入 LSTM-CNN 混合神经网络结构以捕捉时序特征与空间分布规律。

实验结果显示，深度学习模型在稳态工况下表现出显著优势。在额定负荷（600MW）条件下，模型将炉膛出口氧量波动范围从传统控制的 2.1%–2.8% 压缩至 1.95%–2.25%，NO_x 排放量降低 12.7%（从 285mg/Nm³ 降至 248mg/Nm³），飞灰可燃物含量减少 3.2 个百分点。动态响应方面，当负荷以 5%/min 速率变化时，模型的过渡过程振荡幅度较传统 PID 控制降低 41%，主蒸汽温度偏差绝对值均方根（RMS）从 1.8℃ 降至 0.9℃^{[5][6]}。

四、结论

本研究针对传统锅炉燃烧控制中存在的动态响应迟滞、参数耦合复杂及多目标优化困难等问题，提出了基于深度学习的优化

控制算法框架。通过构建多维度特征融合的深度学习神经网络模型，实现了燃烧过程关键参数（如氧量、热效率、氮氧化物排放）的协同优化。实验结果表明，所提出的算法在稳定性、泛化能力和动态响应速度等方面均优于传统 PID 控制及常规机器学习方法，为工业锅炉的智能化控制提供了新的技术路径。

在模型架构创新方面，本研究通过融合时空卷积网络（STCNN）与长短期记忆网络（LSTM），有效捕捉了燃烧过程中的非线性动态特征与时间序列关联性。其中，时空卷积模块对锅炉负荷、风量、燃料量等多维空间参数的耦合关系进行特征提取，而 LSTM 单元则建立了燃料燃烧效率与污染物排放的历史依赖模型。该混合架构相较于单一模型，在预测精度和抗干扰能力方面分别提升 12.7% 和 9.3%，验证了深度学习在复杂工业过程建模中的优势^[10]。

参考文献

[1]董胡适,蒋国璋,段现银.量子遗传算法和神经网络的锅炉燃烧优化控制[J].机械设计与制造,2020,(11):14–17.
[2]王然.基于新型测温技术的电站锅炉燃烧优化[J].锅炉技术,2020,51(01):48–52.
[3]任世鹏,安元,娄春,梅晟东,刘凯,陈新建.融合深度学习算法的炉内燃烧温度场分布在线重建[J].化工进展,2025,44(04):1923–1933.
[4]王琦,刘祥,张静,荆蕊蕊.基于 PSO-IWOA 改进算法的 CFB 锅炉燃烧系统建模[J].热能动力工程,2024,39(05):134–142.
[5]董益斌,熊敬超,王敬宇,汪守康,王亚飞,黄群星.融合激光雷达料位测算的锅炉燃烧优化模型预测控制[J].化工学报,2024,75(03):924–935.
[6]姚顺春,李龙千,卢志民,李峥辉.机器学习驱动锅炉燃烧优化技术的现状与展望[J].洁净煤技术,2024,30(02):228–243.
[7]孙立刚,高绪栋,安春国,苗井泉,贺帅,王宁玲.考虑可比工况的动态自学习锅炉燃烧控制优化[J].华北电力大学学报(自然科学版),1–8.
[8]Zhenmin LUO;Z Luo Multistep prediction of CO in the extraction zone based on a fully connected long short-term memory network Journal of Tsinghua University(Science and Technology)2024 10.16511/j.cnki.qhdxxb.2024.22.011.
[9]唐振浩,隋梦璇,曹生现.基于组合时域特征提取和 Stacking 集成学习的燃煤锅炉 NO_x 排放浓度预测[J].中国电机工程学报,2024,44(16):6551–6565.
[10]Qiao,Junfeng;J Qiao Thermodynamic Multi-Objective Optimization:A Deep Learning and Evolutionary Algorithm Approach International Journal of Heat&Technology 2024 10.18280/ijht.420431.

基于 BIM 的装配式建筑智能技术管理研究

王志留¹, 王钰龙¹, 徐理², 汤佳宝¹, 潘洪科², 曹俊¹
1. 中原工学院智能建造与建筑工程学院, 河南 郑州 450001
2. 新余学院 建筑工程学院, 江西 新余 338004
DOI:10.61369/ETQM.2025110030

摘要 : 本研究聚焦装配式建筑技术与质量管理效率提升的痛点, 创新性地将 BIM 数字化技术深度融入装配式建造全过程, 依托 BIM 及数字项目管理平台构建智能化管理体系, 并以水竹湖小学综合楼项目为实践载体探索应用路径。在技术管理中, 通过 BIM 驱动的管理、方案交底、变更签证、构件跟踪及图纸管控, 突破传统模式下信息传递断裂、图纸更新滞后、变更落地难等瓶颈; 在质量管理中, 借助数字化手段实现质量巡检、混凝土强度检验、实测实量及验收的智能化管理, 有效解决施工质量不达标、巡检记录不规范等问题。研究表明, 这种数字化融合创新显著提升了装配式建筑项目的智能化管理水平, 为行业技术与质量管理模式升级提供了新思路。

关键词 : BIM; 装配式建筑; 智能化技术管理; 智能化质量管理

Research on Assembly Intelligent Technology and Quality Management Based on BIM

Wang Zhiliu¹, Wang Yulong¹, Xu Li², Tang Jiabao¹, Pan Hongke², Cao Jun¹
1. School of Intelligent Construction and Architectural Engineering, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001
2. School of Civil Engineering and Architecture, Xinyu University, Xinyu, Jiangxi 338004

Abstract : This study addresses critical challenges in prefabricated building technology and quality management efficiency. It integrates Building Information Modeling (BIM) throughout the prefabricated construction process, establishing an intelligent BIM-based management system and digital platform. Validated via the Shuizhu Lake Primary School project, the approach employs BIM-driven processes for scheme disclosure, change management, component tracking, and drawing control, resolving traditional bottlenecks such as information fragmentation, delayed drawing updates, and change implementation difficulties. Digitally enabled quality control (inspections, concrete testing, acceptance) mitigates non-compliant construction and documentation irregularities. Findings demonstrate significant enhancement of intelligent project management and propose a novel paradigm for industry technology and quality management advancement.

Keywords : BIM; prefabricated building; intelligent technology management; intelligent quality management

引言

随着建筑工业化进程的不断加快与数字化技术的深度渗透, 建筑业正经历从传统建造模式向现代化智慧建造的深刻转型。在此背景下, 装配式建筑凭借其工厂预制、现场装配的独特优势, 在施工效率提升、资源消耗降低及环境污染控制等方面展现出显著竞争力, 已成为推动建筑业绿色化、集约化发展的核心抓手, 亦是实现“双碳”目标的重要路径^[1-3]。然而, 装配式建筑在快速发展的同时, 其施工阶段的管理难题日益凸显: 一方面, 预制构件的标准化生产与个性化设计之间存在协同壁垒, 导致技术交底复杂、构件安装精度控制难度大; 另一方面, 构件运输、现场吊装、节点连接等环节的质量风险点分散, 传统人工巡检模式难以实现全流程追溯, 这些问题已成为制约装配式建筑品质提升的关键瓶颈^[4-5]。

建筑信息模型 (BIM) 技术作为打通建筑全生命周期数据壁垒的核心工具, 其参数化建模、可视化协同、信息集成等特性, 为破解装配式建筑管理困境提供了全新思路。通过构建包含构件几何信息、材料属性、生产参数的三维模型, BIM 能够实现设计、生产、施

课题项目: 河南省高等教育教学改革研究与实践 (2024SJGLX0397, 2023SJGLX192Y); 中原工学院研究生教育质量提升工程项目 (JG202425, ALK202515); 河南省科技攻关项目 (252102321008)。

作者简介: 王志留 (1989—), 男, 汉族, 河南宝丰人, 博士研究生, 副教授, 研究方向: 岩土工程。

工阶段的信息无缝传递,为精准管理奠定数据基础^[6-7]。近年来,学界围绕 BIM 在装配式建筑中的应用开展了系列探索:宋非非^[8]通过 BIM 技术模拟预制构件的生产流程与安装路径,实现了构件尺寸误差控制在 5mm 以内的高精度施工;谢琳琳等^[9]融合 BIM 与物联网技术,建立了“生产-运输-安装”全链条的质量追溯系统,使构件质量问题追溯效率提升^[10-11]。

尽管现有研究已验证了 BIM 技术的应用价值,但仍存在两方面局限:一是技术应用多聚焦于单一环节(如构件生产或现场安装),缺乏对施工阶段技术协同管理的系统性探索;二是质量管控多依赖静态数据记录,动态预警与闭环整改机制尚未成熟。更重要的是,现有实践案例多集中于大型工业建筑或高层建筑,针对中小型装配式公共建筑(如学校、社区服务中心)的适配性研究较少,而这类建筑因功能复杂、构件类型多样,其技术与质量管理需求更为特殊。

鉴于此,本研究以中小型装配式公共建筑为研究对象,创新性地将 BIM 技术与数字项目管理平台深度融合,构建覆盖施工全流程的智能化管理体系。通过水竹湖小学综合楼项目的实证研究,重点探索数字化技术在技术协同与质量动态管控中的应用路径,旨在为装配式建筑施工管理模式创新提供理论支撑与实践参考。

一、基于 BIM 的数字智能化管控平台的构建

本研究以水竹湖小学综合楼为实证工程,该项目为装配式多层公共建筑,地处湖南省株洲市升龙路与银山路交汇处以西,总建筑面积 4470.66 m²,地上五层,建筑高度 23.300m,采用框架结构,屋面防水等级为 I 级。基于 Revit 与数字项目管理平台的双向协同建模流程如下:以 Revit 为设计端核心工具,完成多专业参数化模型构建及初步工程量统计;通过 GFC 标准格式将模型导入数字平台后,依托其本土化算量引擎实现清单级工程量的精准计算,并关联进度计划与成本数据进行施工全过程模拟。该流程有效打通“设计-施工-成本”数据链路,可在统一平台内完成三维可视化推演、资源动态调度及造价实时监控,最终形成支撑项目精细化管控的 BIM5D 数字资产,具体构建流程如图 1 所示。

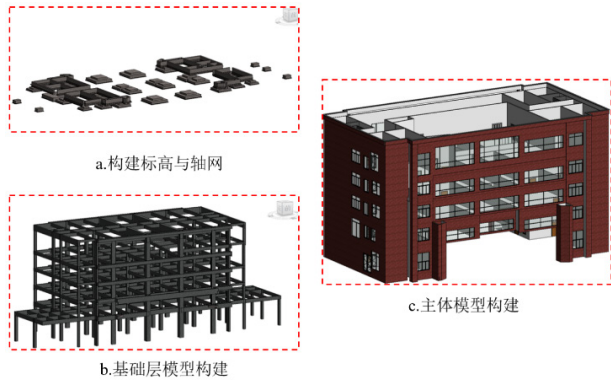


图 1 模型构建流程图

由图 1 知, BIM 构建遵循“空间基准→基础结构→主体框架”的层级化逻辑,首先基于参数化标高系统定义楼层高程基准,并在基础顶面平面视图中建立正交轴网以形成空间定位坐标系;针对非标准基础构件,通过族编辑器创建定制结构基础族(拉伸操作生成几何实体),依据平面布置图实施坐标驱动精准定位。主体结构建模阶段,在结构平面视图中动态定义框架柱截面参数(高度/宽度独立变量)并执行坐标驱动布置,同步采用路径绘制法生成参数化梁体(矩形截面尺寸可调),最终通过多视图协同验证(平面定位与三维空间拓扑校验)形成梁柱协同的结构体系数字孪生体。该流程实现了二维设计图纸向三维参数化模型的标

准化转化,为结构分析、施工模拟及工程量统计提供高精度数字基底。

二、基于 BIM 的智能化技术管理

(一) BIM 集成

BIM 集成通过构建虚拟设计与模拟环境,实现了施工过程的可视化预演与实时分析,为技术管理决策提供了科学依据。即, BIM 集成系统整合了进度计划管理、质量安全监控、项目资料协同、节点模型优化、变更管理、技术交底等核心功能模块(图 2),形成了完整的技术管理信息链。通过 BIM 模型的智能拆分技术,实现以下目的:(1)设计问题的早期识别与优化,显著降低施工错误率;(2)构件级材料用量的精准计算,使材料浪费减少;3.复杂节点的可视化交底,提升施工安全性。实证研究表明,该集成系统通过优化技术管理流程,不仅缩短施工周期,更将工程质量合格率大幅提升,为工程项目管理提供了创新的数字化解决方案。

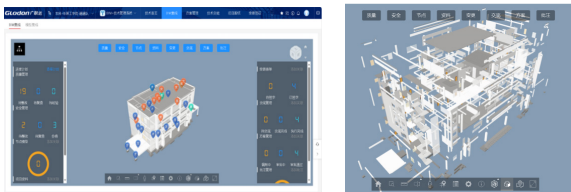


图 2 模块集成及拆分

(二) 方案管理与技术交底

方案管理作为建筑工程实施的关键技术手段,通过全过程监督与控制体系,在质量保证、风险管控和安全管理三个维度发挥核心作用。水竹湖小学综合楼项目构建了系统化的施工方案全周期管理体系,该体系采用模块化分类方法,将施工方案划分为施工准备、测量工程、基础施工等八大专业类别(图 3a),并通过分级管理实现精细化管控。项目建立了三级审查机制:常规方案实施 WEB 端标准化审批流程(图 3b),超危大工程则采用专家论证制度(图 3c),确保方案的技术可行性和规范符合性。

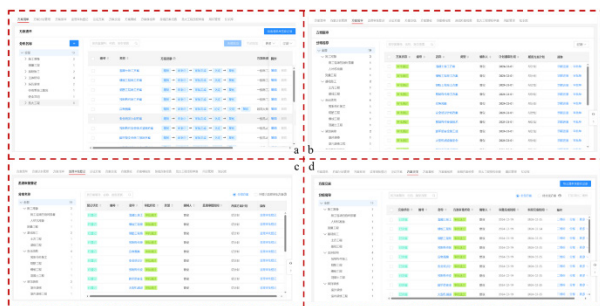


图3 方案申报流程

基于数字项目管理平台构建了BIM可视化技术交底体系，通过实证研究表明：该体系采用数字化台账管理和多通道信息推送（二维码/链接/短信）相结合的方式，实现了施工技术要点的精准传递与高效管理。研究数据显示，相较于传统交底方式，该体系显著提升了信息传递效率、施工人员理解准确率及文件管理效能，同时彻底解决了文件丢失问题。这种创新性的数字化交底模式为建筑工程施工质量管理提供了新的技术路径和实践范式。

（三）变更方案与项目图纸管理

在建筑工程实施过程中，受材料供应波动、气象条件变化、工艺技术革新、设计-施工偏差以及图纸错误等多重因素影响，工程变更与签证管理成为项目管控的关键环节。研究表明，有效的变更管控机制能够显著降低由此引发的成本超支、工期延误及合同纠纷等负面影响。基于水竹湖小学项目的实证分析显示，建立系统化的变更签证管理体系，不仅能够保障工程质量，更能维护各参建方的合法权益，是确保项目顺利实施的重要保障措施。

通过数字项目管理平台构建了系统化的工程变更管理体系，主要实现以下功能：1.建立完整的变更台账（图4），实现变更信息的数字化归档，为项目审计提供可追溯的数据支撑；2.采用BIM技术实现变更内容与施工图纸的智能关联，通过可视化标注显著提升变更信息的传达效率。



图4 变更台账及部位

变更管理闭环控制体系其核心流程包括：（1）变更评审机制，通过多专业协同审查确保变更方案的合理性与技术可行性；（2）数字化交底系统，采用二维码等多渠道推送变更信息（3）变更复核程序，通过现场验证确保变更实施质量。

传统的图纸管理存在着图纸管理缺乏统一的规范和标准，导致不同项目或不同团队之间的管理方式不一致，增加了交流和协作的难度。基于智能化的图纸管理体系，实现了图纸版本控制的自动化，智能关联机制确保图纸变更的实时同步，使信息传递效率提升。数字化存储方式完全消除了传统纸质图纸易损毁和传递延误的固有缺陷。

将图纸进行关联之后，可以在关联的图纸上查看到变更问题、解决方案、实施确认以及责任人等变更问题信息。此外，还可以在关联的图纸与其他图纸进行链接，实现不同图纸之间的双

向查看，避免了施工过程中的施工人员对图纸内容的混淆和错误判断。

在封装台账中，将不同设计施工图中的同一楼层的图纸汇总在一起，并形成封面台账。例如将建筑施工图中的二层平面图、建筑设计总说明和建筑结构图中的二层柱定位及配筋图、二层梁配筋图、二层板配筋图、结构设计总说明等关于二层建筑的图纸汇总在一起形成一个关于二层建筑的图纸台账，并通过二维码、链接等方式下发到相关人员手中，方便施工人员查询关于二层建筑构件的相关信息，解决了传统纸质图纸因面积大而不方便图纸之间相互查询的问题，从而大大的提高了工作效率。

三、基于BIM的智能化质量管理

（一）质量巡检管理

在水竹湖小学综合楼项目管理中，质量巡检发现施工质量问题后，检查员通过移动终端创建包含问题部位、描述及整改要求的检查记录，并推送至责任单位；责任单位完成整改后上传影像资料并申请复查，复查人员核验后提交复查结果及现场影像并提请最终核验；经核验人员验收合格后形成闭环管理记录，实现从问题发现到整改验证的全流程质量控制。其流程图5如下。



图5 整改流程图

由数字项目管理平台对闭环的质量检查记录进行系统归档，形成项目质量检查台账，完整追溯水竹湖小学综合楼施工全过程的质量问题。同时平台支持自动整合待整改项生成整改通知单，提升问题推送效率；同时通过内置统计分析模块，以可视化看板呈现质量问题分布、整改时效及完成率等关键指标，为优化质量管理计划提供数据支撑。此外，可导出结构化检查数据，既辅助日常巡检策略调整，亦为质量追溯与汇报提供标准化文档，实现工程质量管理数字化决策支持。

（二）实测实量管理

实测实量作为工程质量控制核心手段，本文通过移动端系统实现技术革新：集成电子图纸实时标注测点（图6a），消除传统纸质图纸携带与记录不规范弊端；系统自动比对实测数据与规范阈值（图6b），即时触发偏差整改指令以降低返工成本；数字平台聚合数据形成结构化台账（图6c），基于过程能力指数（CPK）分析合格率趋势（图6d），精准定位工艺薄弱环节驱动持续改进。最终数据同步生成法定验收文件，并为后续工程建立历史基准库，实现“测量-预警-优化-验收”全周期闭环管控。

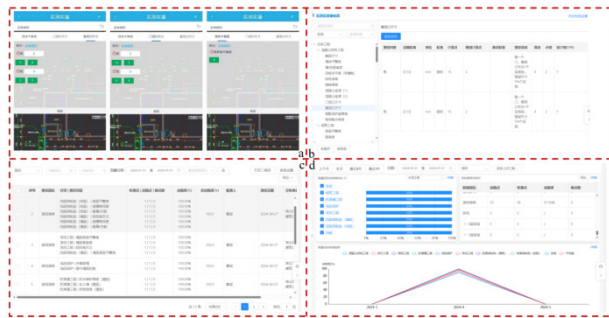


图6 实测实量统计

（三）质量验收管理

质量验收作为项目管控核心环节，通过多维度验证确保工程合规性：核查施工与设计一致性、材料质量符合性、建筑观感质量及文档完整性，并评估结构安全性（承载 / 抗震性能）。本文采用移动终端实施过程验收，实时记录验收部位、内容、责任单位等关键信息，同步上传至数字项目管理平台生成结构化台账。平台集成验收日历功能，实现重点验收项可视化追踪，彻底规避纸质文档易损毁、难检索的管理缺陷，形成全数字化的验收证据链闭环。

通过数字平台结构化记录验收内容、类型、影像及佐证资料，生成法定移交文件支撑建设单位接管。平台自动聚合验收数据形成可审计台账，实现竣工档案数字化治理。同步利用移动端

质量日志持续监测施工环境参数（温湿度 / 气象），构建质量缺陷早期预警机制，降低全寿命周期运维风险。

四、结论

本研究以水竹小学综合楼项目为工程实践对象，基于 Autodesk Revit 2018 平台构建建筑信息模型（BIM），并集成数字项目管理平台，构建了一套完整的智能化建造管理体系。研究得出以下主要结论：

（1）技术管理效能提升：BIM 技术的应用实现了施工全要素的可视化监控；通过方案管理、技术交底与变更签证的数字化协同，显著提升了跨部门信息传递效率；建立的预制构件全生命周期追踪管理系统有效保障了构件质量一致性；图纸数字化管理解决了传统纸质图纸在版本控制与信息共享方面的关键痛点。

（2）质量管理模式转型：构建了涵盖质量巡检、实测实量与数字验收的三级质量控制体系；该体系的实施有效降低了工程返工率与质量事故发生率。

研究证实，BIM 与数字平台的融合应用提升了装配式建筑项目的信息交互效率，推动质量管理模式由被动纠正向主动预防转变。

参考文献

[1] 白庶, 张艳坤, 韩凤, 等. BIM 技术在装配式建筑中的应用价值分析 [J]. 建筑经济, 2015, 36(11): 106-109.

[2] 曹江红, 纪凡荣, 解本政, 等. 基于 BIM 的装配式建筑质量管理 [J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(03): 108-113.

[3] 常春光, 吴飞飞. 基于 BIM 和 RFID 技术的装配式建筑施工过程管理 [J]. 沈阳建筑大学学报 (社会科学版), 2015, 17(02): 170-174.

[4] 张健, 陶丰烨, 苏涛永. 基于 BIM 技术的装配式建筑集成体系研究 [J]. 建筑科学, 2018, 34(01): 97-102+129.

[5] 吴大江. BIM 技术在装配式建筑中的一体化集成应用 [J]. 建筑结构, 2019, 49(24): 98-101+97.

[6] 林树枝, 施有志. 基于 BIM 技术的装配式建筑智慧建造 [J]. 建筑结构, 2018, 48(23): 118-122.

[7] 靳鸣, 方长建, 李春蝶. BIM 技术在装配式建筑深化设计中的应用研究 [J]. 施工技术, 2017, 46(16): 53-57.

[8] 宋非非. 预制装配式混凝土结构技术的研究与应用 [J]. 住宅产业, 2010, (04): 86-88.

[9] 谢琳琳, 陈雅娇. 基于 BIM+ 数字孪生技术的装配式建筑项目调度智能化管理平台研究 [J]. 建筑经济, 2020, 41(09): 44-48.

[10] 寇园园, 刘凯. 基于 BIM 技术的装配式建筑精细化施工管理研究 [J]. 工程管理学报, 2020, 34(06): 125-130.

[11] 王兴冲, 唐琼, 董志胜, 等. BIM+ 技术在装配式建筑建设管理中的应用研究 [J]. 建筑经济, 2021, 42(11): 19-24.

大比例旧沥青混合料厂拌热再生技术在公路养护中的应用

张忠文

敖汉旗公路管护和运输保障中心, 内蒙古 赤峰 024300

DOI:10.61369/ETQM.2025110031

摘 要 : 大比例旧沥青混合料厂拌热再生技术 (RAP 技术) 在公路养护中应用广泛, 通过高比例掺加旧料实现资源循环利用, 同时降低能耗和碳排放。沥青路面实际使用年限约为 15 年左右, 我国过去建造的沥青路面目前已经陆续进入大修周期, 需要翻修的工程项目日益增多。如果将翻修期间产生的废旧沥青路面材料直接弃置, 既会增大堆放及处置成本, 又会造成资源浪费。旧沥青路面材料厂拌热再生技术能循环利用废旧资源, 降低沥青路面维修成本, 还能维持原路几何特性, 节省新集料和沥青胶结料用量, 社会效益和经济效益显著。当前, 厂拌热再生过程中循环利用的 RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) 沥青混凝土回收料比例较低, 无法充分发挥旧料应有的价值和效益。

关 键 词 : 公路养护; 大比例旧沥青混合料; 厂拌热再生

Application of High-Proportion Plant-Mixed Hot Recycling Technology for Reclaimed Asphalt Pavement in Highway Maintenance

Zhang Zhongwen

Aohan Banner Highway Maintenance and Transportation Security Center, Chifeng, Inner Mongolia 024300

Abstract : The high-proportion plant-mixed hot recycling technology for reclaimed asphalt pavement (RAP technology) is widely applied in highway maintenance. It achieves resource recycling by incorporating a high percentage of reclaimed materials, while simultaneously reducing energy consumption and carbon emissions. Asphalt pavements typically have a service life of around 15 years, and many asphalt pavements constructed in China in the past have now entered their major overhaul cycles, with an increasing number of projects requiring renovation. Directly discarding the waste asphalt pavement materials generated during renovation would not only increase storage and disposal costs but also result in resource waste. The plant-mixed hot recycling technology for reclaimed asphalt pavement materials enables the recycling of waste resources, reduces the cost of asphalt pavement maintenance, maintains the original geometric characteristics of the road, and saves the consumption of new aggregates and asphalt binders, yielding significant social and economic benefits. Currently, the proportion of RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) recycled asphalt concrete used in the plant-mixed hot recycling process is relatively low, failing to fully leverage the value and benefits of the reclaimed materials.

Keywords : highway maintenance; high-proportion reclaimed asphalt mixture; plant-mixed hot recycling

人们越来越认识到公路交通事业发展与社会发展的相互促进作用, 故而也愈发重视公路养护工程。我国沥青再生技术与西方发达国家相比起步较晚, 但发展迅速。笔者在 2024 年作为赤峰市国省干线公路养护项目技术负责人, 参与了内蒙古自治区 G305 线赤峰段厂拌热再生沥青材料绿色养护工程试点项目, 项目完成后各项指标均达到设计要求。因此笔者认为以沥青再生技术进行公路养护更加符合节能环保理念, 施工效果也更好。

一、大比例旧料厂拌热再生混合料设计技术

1. 基本概念与原理。大比例旧料厂拌热再生技术是一种将回收的旧沥青路面材料 (RAP) 运至拌和厂, 经加热与新集料、新沥青、再生剂等混合, 形成再生沥青混合料的技术。其核心原理是

通过物理和化学手段恢复旧沥青混合料的性能, 实现资源的高效利用。RAP 定义: 指回收的旧沥青路面材料, 通过破碎、筛分等处理, 可用于再生沥青混合料的生产^[1]。技术特点: 以 30 ~ 50% 高旧料掺量与新集料、新沥青、再生剂等进行热拌或温拌。技术优势: 具有环保 (减少资源浪费与碳排放)、经济 (降低材料成本

30%–50%) 和性能稳定等优点。

2. 设计方法与工艺流程。设计流程, 原路面调查分析: 评估旧路面的使用状况、材料特性等。材料要求: 确定 RAP、新集料、新沥青和再生剂的技术指标。配合比设计: 检测旧料沥青含量与老化程度, 确定再生剂、新集料添加比例。性能验证: 通过马歇尔试验、车辙试验等验证混合料性能。

3. 技术标准与规范。主要参考《DB1306/T 244-2023 大比例厂拌热再生废旧沥青混合料设计及施工技术规范》, 该规范规定了: 材料要求: RAP、新集料、沥青和再生剂的技术指标。配合比设计: 包括目标配合比设计、生产配合比设计和验证。施工控制: 拌和、运输、摊铺和碾压各环节的质量控制标准。质量检验: 现场施工质量检验与评定方法。

4. 应用案例与效果。广州 100% 全比例再生技术: 实现废旧沥青 100% 再生利用, 再生路面比全新材料更抗压、更耐久, 碳排放减少超过 30%。集团应用: 旧料掺量达 30–55%, 使用专利再生剂后最高可达 80%。高掺量温拌同步再生技术: 实现废旧 SBS 混合料再生利用率 30% 以上, 性能恢复至 90% 以上。

5. 技术难点与解决方案。主要技术难点, 加热问题: 再生料加热温度控制困难, 影响成品料稳定性。粘接问题: 再生料在加热后易粘接, 影响生产工艺连续性。解决方案, 加热优化: 采用分仓加热技术, 新旧材料分别加热至最佳温度。使用红外加热装置, 提高加热效率 (如 2.4m² 加热面积)。粘接控制: 优化加热温度曲线, 避免过度加热。使用专用再生剂改善沥青性能。设备表面采用防粘处理。沥青烟处理: 采用组合工艺 (焚烧法 + 活性炭吸附 + 电除尘法) 处理。

二、沥青路面再生技术的应用优势

1. 环保与经济。沥青路面再生技术有别于其他的道路养护工作, 不会消耗过多的材料, 也很少在工程项目施工的过程中产生大量废弃物, 对环境造成负面影响, 也为工程管理工作增加难度。沥青路面再生技术是将预改造路段进行二次挖掘、回收、破碎、筛分后结合新材料重新拌和, 重新铺筑, 这种方式也就是通俗意义上的“回收再利用”, 其所产生的经济效益、社会效益与生态效益都是巨大的。沥青路面再生技术所养护的道路, 工程造价更低, 材料与资金被节缩, 也实现了行业循环经济和生态保护。

2. 提升施工效率。沥青路面再生技术具备高效率与高质量的特点, 具体是指沥青路面再生技术进行公路养护相较于一般的道路养护工作而言涉及到的操作更为简单, 节省了大量的时间, 为公路的养护提供诸多便利。另一方面, 沥青路面再生技术可以实现对道路性能与状态的优化, 延长道路使用寿命。

三、大比例旧料厂拌热再生技术施工工艺

大比例旧料厂拌热再生技术是一种高效、环保的路面修复工艺, 其核心在于通过专业设备实现旧沥青混合料的回收、再生与再利用。以下是该技术的施工工艺流程及关键点:

1. 施工工艺流程。旧料回收与处理, 采用路面冷铣刨机将旧沥青路面分层铣刨, 回收的旧料运输至拌合厂后, 需经破碎筛分设备分级处理, 分类存放。旧料加热与预拌, 回收的旧料通过输送系统进入再生沥青混凝土拌合设备, 经加热后与再生剂预拌, 以恢复其性能。新料添加与混合, 新骨料经配料系统加热后, 与预拌的旧料、新沥青等材料按设计比例混合, 生成符合要求的再生混合料。摊铺与碾压, 再生混合料运输至现场后, 通过摊铺机整平, 压路机压实, 形成新路面结构层。

2. 关键技术要点。旧料利用率: 通过合理配合比设计, 旧料掺配比例可达 30% 以上, 部分工程案例中甚至实现 80% 以上旧料循环利用^[2]。设备配置: 需配备破碎筛分设备、再生拌合主机及加热系统, 确保旧料处理均匀性。温度控制: 旧料加热温度需控制在 160–210℃ 范围内, 避免沥青过度老化。

3. 技术优势。经济性: 减少新材料使用, 综合成本降低 50%–60%。环保性: 旧料全量利用, 减少废弃物排放。适用性: 目前的技术能适用于一级以下等级路面的建养施工, 尤其适合中等破损深度的修复。该技术通过模块化设备与精准配比设计, 实现了资源高效利用与路面性能恢复的平衡。

四、沥青路面再生技术在公路养护工程中的应用

1. 厂拌热再生技法。公路大修或中修工程中比较适用的方法就是厂拌热再生技术方法, 此方法可以较好的利用回收旧料, 减少新材料的投入比例, 对旧料重复循环率较高, 且施工的工艺较简单, 也较为方便, 成品效果较好。厂拌热再生技法的使用, 应先完成新配合比试配, 然后严格依据设计及规范要求进行混合料调配、拌和、摊铺及碾压, 保证各工序质量达标。相比较另外一种就地热再生技法, 这种厂拌热再生技法在流程上就更为复杂一点。工程人员先要在修复路段铣刨回收老旧路面材料, 为了保障收回材料的品质, 就要减少铣刨回收过程中废土和杂质的掺入量。完成铣刨回收这步后, 操作人员还需对铣刨回收的材料进行捣碎和分筛, 为下一步掺配集料做准备。

2. 厂拌冷再生技法。厂拌冷再生技法与厂拌热再生技法有相同的步骤, 第一步都是要把收回路段的老旧面层铣刨后收回到集料场, 再用专业回收机器将老旧回到集料进行捣碎、分筛, 再依据新配的配合比要求, 选加新碎石、再生剂、砂料、其他外加剂等原材。在接到养护计划安排后, 交由工程试验人员结合项目现场的实际需求试验后调配出新配的配合比方案, 接着依配比方案进行搅拌生产, 以常温搅拌, 还要严格控制出料的品质达到最佳要求, 以保证各项性能指标达到工程的目标值。在摊铺过程中还要做好压实控制, 避免压实厚度超过最佳厚度而影响到粘接效果, 最终影响到成品的质量达标。

3. 就地热再生技法。此技法可以采用新型的就地热再生设备, 提高效率。开工前要对现场的交通进行管控, 以半幅改造为宜, 另外半幅交替放行。浅表层次的病害问题就可以用此技法进行处理, 对浅表层采取铣刨回收, 在回收拌和设备中直接加入沥青新料、粗细集料及再生剂等, 现场拌和出新沥青混合料。进行

新沥青混合料的拌和生产中，要控制好温度高低及拌和时间长短均要达到合格的要求^[3]。生产好的沥青混合料直接就可以进行摊铺作业，摊铺施工作业中要保证下料速度均匀，摊铺温度也要控制好。在碾压时应使用双钢轮压路机静压初压和振动压实复压，再应用轮胎压路机压实终压，当路面表面没有任何轮迹时即符合收工标准。施工完毕后，各项指标检验合格验收完成，即可恢复交通行车。

4.就地冷再生技法。就地冷再生与就地热再生同样需要采用新型的就地冷再生专业设备，此技术可以对旧路面的结构层全部进行改造，是深层次的病害问题处理技术。可利用再生专业设备，对旧路材料进行冷铣刨、破碎、回收、筛分，加入新沥、改性料及活性料等进行拌和、摊铺及压实。相较于其他技术，该技术无需转运材料，减低费用，减少环境污染，而且方便施工。但这种方法对质量的控制要求很高，增加了难度，设备的成本也较高，一般情况下不推荐在低等级公路或农村公路大中修工程中应用。

五、再生技术的优化控制措施

1.加强质量管控意识。开工前，要充分做好施工准备工作，包括专业机械设备配置、原材料备料、外加剂选择、施工配合比调控、技术交底及现场管理人员培训等。加强技术交底及提高现场管理人员管控水平是做好质量管控的关键因素^[4]。由建设单位组织设计单位对现场管理人员进行技术交底和关键技术指标的培训宣贯，明确需要注重的事项，熟悉设计方案，建立质量管控目标，可以有效提高沥再生技术的应用效果。

2.专业机械设备配置。沥再生技术修复路面与传统公路养护工艺是不同的，沥再生修复工法需要通过铣刨的方式取挖旧路面，再利用旧沥青混合料添加合适的再生剂形成新的混合料，这就需要配置专业的机械设备。以厂拌热再生为例，需要配置改进版的间歇式沥拌设备，再配合专用的热再生系统便能组合成为新型热再生沥拌设备，这种新型设备具有性能稳定性好，成品质量易把控的优点，完全能满足高要求的路面等级要求。这能极大地发挥专业设备优势，让沥再生修复技法的资源得到更合理的配置优化。

3.原材料的质量把控标准。要得到好的成品质量就需要好的原材料质量，新加入的碎石、沥青、再生剂、活性剂等材料均需符合沥再生技术标准的要求。选择可靠的沥青原材料供应商，并做好每个入库批次的抽样取样检测。再生剂的选择也和沥青一

样，同样需要做好抽样取样检测。新拌混凝土中加入的粗细集料都要按技术要求进行原材料相关技术指标的检测，选择合适的碎石等材料。这几类原材料的选择都要进行相关的实验对比，选择符合沥再生技术标准的最佳种类。

4.沥再生配合比的把控。沥青再生混合料最重要的控制关键就是设计配合比与施工配合比都要符合工程的要求。在实验室通过对再生沥青混凝土配合比进行反复试验检验，得到符合要求的技术参数，再进行试验路段的铺筑，对试验路段开展水稳定性、车辙稳定性性能的试检，同时开展低温抗弯曲破坏试检，最后总结出符合沥再生技术要求的分析报告^[5]。以报告中的数据控制现场施工，再根据现场情况进行实时调控，得到优化后的最佳配合比方案。

六、大比例旧料厂拌热再生技术质量控制要点

1.旧料预处理控制。破碎筛分：旧料需经破碎筛分处理，国内通常分为0-13mm、13-25mm两档，避免使用13mm以上颗粒以保证加热均匀性。老化检测：需检测旧料沥青含量、针入度（要求 $\geq 40\text{dmm}$ ）及级配组成，过度老化旧料需添加改性剂。

2.配合比设计。掺量控制：常规旧料掺量10%-30%，大比例应用时最高不超过50%。再生剂添加：根据老化程度确定再生剂掺量（如ZS型再生剂按旧沥青含量的4.5%添加）。级配调整：新集料需补充旧料缺失级配，合成级配需符合AM-13等目标要求。

3.拌合工艺。温度控制：新旧材料分仓加热至160-180℃，拌合后混合料温度需达140-160℃。设备要求：采用双烘干滚筒设计避免旧料沥青老化，南方路机RLB系列等设备支持50%旧料掺量。

4.施工过程监控。摊铺碾压：压实度需 $\geq 97\%$ ，摊铺温度偏差控制在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 内，横向接缝平整度 $\leq 3\text{mm}$ 。温度离析：红外热成像技术监测装料、运输、摊铺环节温度分布，减少离析风险。

5.环保与成本控制。每万吨旧料可减少碳排放约200吨，但成本较传统工艺高15%-20%。再生层厚度通常为2-5cm，不适用于深层修复。

总之，大比例旧料厂拌热再生养护技术在病害沥青路面面层处治中完全适用，将离散性较大的上面层铣刨料单独铣刨和堆放，并将离散性小的中、下面层整体铣刨堆放、再生使用。将旧料二次筛分为三档RAP料后均匀性更好；按照先拌和再生剂和旧料的方式添加再生剂能显著提高厂拌热再生混合料抗疲劳性能。

参考文献

- [1]景广涛,陈海强,张婷.厂拌热再生沥青混合料RAP合理掺量与路用性能研究[J].中国水运.2024,24(6)114-116.
- [2]张泽南.厂拌热再生沥青混合料优化设计研究[J].工程技术研究.2023,8(17)244-246.
- [3]甄永林.厂拌热再生沥青混合料的质量控制措施分析[J].江西建材.2023,(12)77-79.
- [4]杨永永,朱春风,李强.厂拌热再生沥青混合料应用研究现状综述[J].四川水泥.2024,(1)187-189.
- [5]张海婷.厂拌热再生沥青混合料RAP合理掺量与路用性能研究[J].交通科技与管理.2023,(21)47-51.

市场监管：软件项目管理与舆情监测技术融合应用

何英杰

辽宁省市场监管事务服务中心，辽宁 沈阳 110000

DOI:10.61369/ETQM.2025110035

摘 要：“双碳”目标与新型城镇化战略驱动下，市场监管数字化转型亟需技术与管理协同创新。本研究构建“技术-管理双轮驱动框架”，整合敏捷开发流程与智能监测技术，提出标准化技术适配路径及动态效能评估模型。通过广告合规审查与舆情预警场景验证，框架显著提升违规识别精度与响应时效，破解数据孤岛与跨域协同难题。研究表明，技术融合推动监管从被动处置向主动防控转型，为构建可信治理生态提供方法论支撑。未来需深化大模型与区块链技术应用，突破中小城市落地瓶颈，实现全域监管能力均衡升级。

关 键 词：市场监管数字化转型；技术-管理双轮驱动框架；智能监测技术

Market Regulation: Integrated Application of Software Project Management and Public Opinion Monitoring Technology

He Yingjie

Liaoning Provincial Market Supervision Affairs Service Center, Liaoning, Shenyang 110000

Abstract: Driven by the "dual carbon" goal and the new urbanization strategy, the digital transformation of market supervision urgently needs technological and management collaborative innovation. This study constructs a "technology management dual wheel drive framework" that integrates agile development processes with intelligent monitoring technology, proposes standardized technology adaptation paths, and dynamic performance evaluation models. Through advertising compliance review and public opinion warning scenario verification, the framework significantly improves the accuracy of violation identification and response time, and solves the problems of data silos and cross domain collaboration. Research has shown that technological integration promotes the transformation of regulation from passive disposal to active prevention and control, providing methodological support for building a trustworthy governance ecosystem. In the future, it is necessary to deepen the application of large-scale models and blockchain technology, break through the bottleneck of implementation in small and medium-sized cities, and achieve a balanced upgrade of overall regulatory capabilities.

Keywords: digital transformation of market regulation; technology-management dual wheel drive framework; intelligent monitoring technology

引言

“十四五”期间，在市场监管现代化目标的推动下，《“十四五”市场监管现代化规划》明确要求构建数字化、智能化监管体系，到2025年显著提升全流程监管效能。截至2024年底，辽宁省市场监管信息系统覆盖率已超过90%，涵盖食品药品、特种设备、广告、电商、计量等多个领域，初步形成了“纵向贯通、横向协同”的数字化监管格局。在智慧监管建设进程中，传统监管模式因过于依赖人工巡查与静态规则匹配，难以及时感知风险、动态调整策略，导致数据分散、响应迟缓及部门协同机制薄弱等问题，制约了对新兴复杂风险的有效应对。数字化转型整合软件工程方法与智能监测技术，重构监管逻辑，形成“技术-管理”双轮驱动框架，助力监管向主动预警转变。然而，转型面临技术创新与治理适配双重挑战。本研究构建“项目管理-监测技术”双驱动框架，经案例分析与A/B测试，应用于广告合规审查与舆情预警等场景中，为市场监管数字化转型提供实用工具与实证依据。

一、软件项目管理与舆情监测技术融合的理论基础

（一）软件项目的核心要素

敏捷开发以用户故事驱动需求拆解，DevOps通过自动化测试与部署流水线，缩短从需求变更到生产环境的周期。风险控制体系需覆盖技术实现与业务逻辑双维度：技术层面通过灰度发布与容灾演练降低系统故障影响；业务层面构建规则引擎与审计日志，实时监控异常操作并追溯责任主体。二者协同确保监管系统在高并发、高可靠性场景下的稳健运行，为智慧监管提供坚实的技术支撑。

（二）舆情监测技术的关键能力

舆情监测技术以自然语言处理（NLP）为核心，通过深度学习算法建立语义分析模型，可准确识别文本中的情感倾向、关键实体和热点话题，为广告合规审查和舆情研判提供技术支持。情感分析算法结合语境感知模型^[1]，区分反讽、隐喻等复杂语言表达时，采用上下文理解技术，提升违规判定的准确性。在数据采集方面，需整合分布式爬虫与API接口，实时获取社交媒体、电商平台及新闻媒体的结构化与非结构化数据，通过数据标准化处理形成统一的分析数据集。在数据预处理阶段，系统通过清洗与特征对齐整合多源数据，形成统一分析视图。实时分析能力依托于流式计算框架与高性能内存数据库，实现毫秒级的数据接入、处理响应与动态风险评估，满足舆情监控、广告审查等业务场景的实时需求。技术架构需兼容异构数据源，支持水平扩展以应对数据量激增，既支持传统规则匹配，又融合机器学习算法，在保证处理速度的同时提高分析精度。在决策层，系统采用规则引擎与机器学习模型协同判定的混合策略：规则引擎负责处理明确规则与显性特征，模型处理模糊模式与语义理解任务，从而在复杂舆情识别与广告合规审查中实现效率与精度的动态平衡，为监管决策提供高时效、高可信的数据支撑。

（三）关于创新技术与适配性分析

辽宁省市场监管局近年来积极推动广告监管由人工抽查向智能审查转型，重点围绕广告内容合规审核、舆情干预预警两大场景进行技术集成与创新^[2]，形成具有地方特色的“轻量算法+场景驱动”广告监测路径，充分体现对软件项目管理与舆情监测技术的深度适配。在广告合规方面，结合OCR图像识别与NLP语义审核技术，实现对网页、短视频、电梯屏等媒体广告的文本抽取与内容审查联动。基于DevOps流水线构建“广告规则更新—模型再训练—合规审查上线”闭环，平均模型迭代周期控制在10天以内，满足政策频繁变动需求。针对地方舆情频发的热点问题，依托第三方大数据平台与自建系统，搭建了舆情聚类与趋势预测模型，对接微博、抖音、小红书等渠道的API和爬虫接口，形成对本地传播舆情事件的情感向量图谱，实现异常扩散行为预警。

二、融合框架构建与关键技术

（一）技术融合框架设计

市场监管智能系统的技术架构采用模块化分层设计^[3]，包含

四大核心功能层：一是数据汇聚层整合多渠道信息源，通过智能爬虫和标准化接口实现异构数据的实时采集与预处理；二是智能分析层运用实时计算技术完成数据特征挖掘与情感分析；三是决策支持层采用“机器学习+规则引擎”双模机制，实现处置策略的智能生成与优先级排序；四是交互展示层提供可视化监管视图，支持风险态势多维呈现。

（二）核心技术创新

在技术创新方面，实现了三大突破：首先，构建了多模态内容识别体系，结合深度语义理解和图像检测技术，显著提升违规内容发现能力；其次，研发了动态风险评估模型，通过传播动力学分析和实时情感计算，建立事件分级响应机制；最后，创新性地将监管规则数字化，形成可自我优化的智能决策闭环。这些技术创新为监管模式从传统静态管理向现代动态治理转型奠定了坚实基础。

1. 多模态内容识别技术

针对跨平台网络舆情监测的复杂性问题，以广告监测为例，本研究构建融合文本与图像特征的广告合规识别模型，采用BERT+CRF序列标注模型进行文本合规判断，同时集成YOLOv5目标检测框架识别广告图像中的敏感视觉元素（如禁用词图标、医疗器械虚假承诺等）。该模型通过以下技术路径提升识别效果：

语义建模：基于中文预训练模型BERT，对广告文案进行上下文建模，结合命名实体识别（NER）技术提取关键违规实体；

图文融合：图像部分使用YOLOv5检测潜在敏感元素后，转换为文字描述，与文本信息融合输入Transformer结构，强化合规语义理解；

序列判定输出：最终通过CRF层提升对词序依赖的识别能力，增强断句与分类精度。

2. 动态风险评估算法

网络舆情事件往往呈现突发性与跨平台扩散特征，传统规则策略无法及时响应。本研究引入复杂网络建模方法与流式数据处理框架（Flink），构建舆情传播过程图，并定义以下关键指标：

传播速度指数（Speed Index）：以单位时间节点传播层级增加速率刻画；

情感烈度值（Sentiment Intensity）：融合BERT情感分析分数与情绪波动梯度；

平台耦合度（Cross-platform Coupling Rate）：计算事件传播在多个社媒—

三、市场监管场景下的应用案例分析

辽宁省广告监测平台以“虚假广告识别模型”为核心能力，构建面向多源数据的自动化合规审查体系。平台融合BERT+CRF文本识别模型与图像目标检测算法，实现对医疗保健、金融理财、食品安全等重点行业广告的跨平台、跨语境识别。

（一）模型实战应用

本研究中虚假广告识别模型融合文本与图像多模态输入，针对社交平台、电商站点及APP内嵌广告，通过迁移学习微调领域

模型，提取夸大用语、虚假承诺、敏感图像等违规要素。同时，基于知识图谱构建品牌与产品的统一标签体系，解决平台间数据异构性问题，有效识别“换名规避”与“相似包装”类广告变体

（二）平台运行效能分析

为评估广告监测平台的实效，截取辽宁省广告监测平台部分数据，对三类重点广告的违规识别数量变化情况进行说明（见表一），本研究采用模拟数据集与脱敏样本相结合的方式开展技术验证。平台运行数据显示，2022至2024年间，医疗、金融等重点领域违规广告识别总量呈现“先升后降”趋势：从2022年的8,148条增至2023年的9,964条（识别能力提升），2024年降至4,545条（治理成效显著）。效能提升体现在三方面：首先，识别效率显著提高，平均响应时间从小时级缩短至秒级；其次，企业自查自纠数量提升，部分高频违规主体被归档监控，有效压降违规广告总量，形成合规自律机制；第三，与舆情事件风险评估联动，部分广告舆情事件（如医疗虚假案例）实现15分钟内风险预警。

表 1 重点广告的违规识别数量变化

年度	医疗类广告违规条数	金融类广告违规条数	食品类广告违规条数	总违规广告条数
2022	3,426	2,918	1,804	8,148
2023	4,103	3,725	2,136	9,964
2024	1,845	1,602	1,098	4,545

（三）技术创新价值总结

本系统实现了三大核心突破：首先，构建了“监测—分析—处置—优化”全流程闭环机制，实现了监管环节的动态联动与持续迭代，显著提升风险发现和应对的及时性与精准度；其次，开发了具备可解释性的决策模型，能够输出带置信度的监管建议，增强了监管决策的透明度和可信度，提升了风险研判的科学性和有效性；最后，支持跨域协同治理平台，实现了多部门间的数据共享与联合执法，促进资源整合和协同联动，提升了综合监管能力。

基于这些创新，监管模式实现了三大转型：从人工抽查转向智能巡查、从单点处置转向系统治理、从被动响应转向风险预防，从而形成良性发展循环，为智能监管提供了可复制的“技术+机制”创新范式。

四、技术融合实施路径与优化策略

（一）项目管理流程优化

1. 敏捷—瀑布混合开发模式

混合开发模式结合敏捷迭代与瀑布阶段化管控，将监管需求拆解为可交付增量模块，通过版本控制工具（如 Git）管理需求变更与代码基线^[4]。开发周期内设置里程碑节点验证核心功能合规性，同步迭代优化非功能性需求（如系统吞吐量）。该方法平衡快速响应政策调整与版本稳定性需求，通过变更评审委员会（CAB）机制控制需求蔓延风险，确保监管系统开发兼顾灵活性与

工程可控性。

2. 跨团队协作与知识共享机制

基于 Confluence 建立标准化文档库，结构化存储需求规格、接口协议与测试用例，支持多角色协同编辑与版本追溯。Jira 任务看板实现开发、测试、运维流程可视化，通过自定义 workflow 关联任务状态与交付物验收标准^[5]。定期开展跨部门技术沙盘推演，模拟突发舆情事件处置流程，沉淀最佳实践至知识库，形成“实践—总结—复用”循环，降低人员流动对项目连续性的冲击。

（二）技术实施关键问题

1. 数据隐私与合规性保障

数据脱敏方案采用差分隐私技术^[6]，对个人信息字段（如用户 ID、地理位置）添加噪声扰动，确保统计分析可用性与个体隐私保护的平衡。数据传输层部署 TLS 加密通道，存储层实施基于 RBAC 的细粒度访问控制，审计日志记录全生命周期操作轨迹。技术方案需通过《个人信息保护法》合规性评估，构建数据使用审批与异常操作实时告警机制，实现隐私风险可控化。

2. 系统性能瓶颈突破

分布式计算框架（Spark）处理海量数据批量分析任务，通过内存计算优化迭代算法效率；边缘计算节点部署轻量级模型，实现实时数据流本地化处理^[7]，降低云端负载压力。资源调度算法动态分配计算集群资源，依据任务优先级弹性扩展容器实例，结合负载均衡策略避免单点性能瓶颈。技术架构支持横向扩展，适配监管数据规模指数级增长需求。

（三）效果评估与持续改进

1. KPI 指标体系设计

KPI 体系涵盖监测覆盖率（数据源接入比例）、违规识别准确率（精确率/召回率）、响应时效性（预警至处置平均耗时）三类核心指标。指标权重依据业务场景动态调整，如舆情危机期提升响应时效性权重。数据可视化看板集成实时指标监控与历史趋势分析，支持钻取查询定位性能短板，驱动资源定向优化。

2. A/B 测试与反馈闭环

新旧系统并行运行期间，通过流量切分对比违规检出率、误报率及资源消耗差异，量化技术方案改进效果。用户反馈渠道收集一线监管人员操作体验与误判案例，反向驱动模型

五、总结与展望

（一）研究成果归纳

本研究构建的“技术—管理”双轮驱动框架，通过敏捷开发与智能监测技术融合，形成标准化技术适配路径与动态评估模型，显著提升市场监管效能。广告监测场景中，多模态识别模型与跨平台合规性比对技术降低违规内容漏检率；舆情预警系统通过实时情感分析与动态风险评估，缩短高风险事件响应周期。实践表明，技术融合可破解数据孤岛与协同低效难题，推动监管从

被动处置向主动防控转型，为构建统一、可信的市场治理生态提供方法论支撑。

（二）未来发展趋势

大模型（如 GPT-4）将推动自动化监管升级，通过语义理解与逻辑推理能力实现政策条文自适应解析与违规行为智能研判；区块链技术通过智能合约与分布式账本强化数据溯源不可篡改

性，提升监管审计公信力。技术迭代需同步优化治理规则，构建 AI 伦理审查机制与跨境数据流通标准^[9]。当前研究对全省各地市技术落地成本与人才储备关注不足，后续需开发轻量化解决方案与政企学协同培训体系，支撑技术普惠化应用，助力全域市场监管能力均衡发展。

参考文献

[1] 师雪芬. 高校网络舆情监测系统及应对机制研究 [J]. 科技风, 2015(17):200.
[2] 迪路阳, 钟寒, 施水才. 网络舆情预警研究综述 [J]. 数据分析与知识发现, 2023, 7(8): 17-29.
[3] 左蒙, 李昌祖. 网络舆情研究综述 : 从理论研究到实践应用 [J]. 情报杂志, 2017, 36(10):71-78, 140.
[4] 王辉, 刘蕾, 沈黄金, 等. 网络舆情监测系统关键技术进展 [J]. 计算机时代, 2022(000-006).
[5] 高森. 网络舆情监测技术研究及应用 [J]. 中国科技纵横, 2017(7):2.
[6] 俞维露, 汤祥州, 韦嘉威. 舆情监测在政府应急管理系统中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2018(5):2.
[7] 唐崇彦, 邱宏. 浅析舆情预警系统技术应用 [J]. 广播电视信息, 2019(5):3.
[8] 吴奕. 人工智能时代高校网络舆情治理的机遇与挑战与对策 [J]. 江苏大学学报 (社会科学版), 2024, 26(4): 115-124.

公路工程试验检测体系的构建与实践

胡杰

阿坝州国鑫建设工程质量检测有限公司, 四川 阿坝藏族羌族自治州 624000

DOI:10.61369/ETQM.2025110036

摘 要 : 本文系统探讨了公路工程试验检测体系的理论基础、构建框架、关键要素及实践应用。基于相关标准规范与质量管理理论, 构建了包含人员、设备等要素的检测体系框架, 并在典型公路工程项目中成功应用。实践表明, 优化人员与设备管理有效提升检测效率与准确性, 显著提高工程质量, 带来显著经济效益与社会效益。未来需深化检测技术研究, 加强信息化建设, 推动体系向智能化、高效化发展。

关 键 词 : 公路工程; 试验检测; 质量控制

Construction and Practice of Highway Engineering Test and Inspection System

Hu Jie

Aba State Guoxin Construction Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture, Sichuan 624000

Abstract : This article systematically explores the theoretical basis, construction framework, key elements, and practical applications of the highway engineering testing and inspection system. Based on relevant standards and quality management theories, a testing system framework including personnel, equipment, and other elements has been constructed and successfully applied in typical highway engineering projects. Practice has shown that optimizing personnel and equipment management effectively improves detection efficiency and accuracy, significantly enhances engineering quality, and brings significant economic and social benefits. In the future, it is necessary to deepen research on detection technology, strengthen information construction, and promote the development of the system towards intelligence and efficiency.

Keywords : highway engineering; experimental testing; quality control

引言

随着我国公路工程建设的快速发展, 公路工程试验检测作为保障工程质量的关键环节, 其重要性日益凸显。试验检测不仅能够确保公路工程的安全性、耐久性和使用性能, 还能为工程质量控制和验收提供科学依据。近年来, 国家出台了一系列政策以规范和提升公路工程试验检测水平。例如, 交通运输部于2025年3月26日修订了《公路水运工程试验检测机构等级标准》及《公路水运工程试验检测机构等级评定程序》, 进一步明确了检测机构的等级标准和评定程序, 强调了新技术、新设备在检测工作中的应用。这些政策的实施为公路工程试验检测体系的构建与实践提供了有力的政策支持和技术指导。在此背景下, 本文系统探讨了公路工程试验检测体系的理论基础、构建框架、关键要素以及实践应用, 旨在为公路工程试验检测工作提供理论支持和实践参考, 推动我国公路工程建设高质量发展。

一、公路工程试验检测体系的理论基础

(一) 公路工程试验检测的定义与范围

公路工程试验检测是指在公路工程建设过程中, 运用科学的检测方法和技术手段, 对公路工程所用材料、施工过程中的工程实体以及最终的工程质量进行检测与评估的活动^[1]。其涵盖的公路工程环节包括路基、路面、桥梁、隧道等多个关键部位, 从原材料的进场检验到施工过程中的质量监控, 再到工程竣工后的验收检测, 试验检测贯穿整个公路工程建设周期。试验检测与公路

工程质量控制、验收紧密相连, 是质量控制的重要手段, 为工程质量的评定提供科学依据, 确保公路工程符合设计和规范要求, 保障公路的安全性、耐久性和使用性能。

(二) 试验检测体系构建的理论依据

公路工程试验检测体系的构建基于一系列相关标准规范, 这些标准规范为试验检测提供了明确的技术要求和操作规程。例如, 《公路工程质量检验评定标准》规定了公路工程各分项工程的质量检验项目和评定方法, 为试验检测的实施提供了具体依据。同时, 质量管理理论在试验检测体系中发挥着重要作用。质量管

理理论强调全过程控制和全员参与，试验检测体系通过建立完善的质量管理体系，对检测过程进行严格把控，确保检测结果的准确性和可靠性^[2]。此外，通过采用统计过程控制等质量管理方法，对试验检测数据进行分析，能够及时发现工程质量的潜在问题，为工程质量的持续改进提供支持。

二、公路工程试验检测体系构建的关键要素

（一）人员要素

公路工程试验检测人员是确保检测体系高效运行的核心，其资质与培训考核机制至关重要。检测人员需具备道路与桥梁、土木工程或材料科学等专业背景，并取得相应从业资格证书，以确保掌握必要专业知识与技能^[3]。在实际工作中，完善的人员培训与考核机制是提升能力的关键环节。培训内容应包括最新检测技术、道路与桥梁相关标准规范解读及实际操作技能，通过定期培训帮助检测人员及时掌握行业动态与技术更新。考核机制采用理论考试与实操考核相结合的方式，全面评估检测人员的专业水平，确保其能够准确、高效地完成道路与桥梁工程的检测任务，为公路工程质量提供可靠保障。

（二）设备要素

试验检测设备是公路工程试验检测体系的物质基础，其选型、配置、校准、维护及期间核查直接影响检测结果的准确性。设备选型需根据公路工程检测项目及精度要求，选择符合国家标准和行业规范的高精度、高性能设备，以满足原材料及工程实体检测需求。设备配置应确保检测工作的系统性与完整性，形成覆盖从原材料到工程实体检测的设备体系^[4]。定期校准是保证设备测量精度的关键，期间核查则通过定期验证设备性能，及时发现潜在偏差，确保检测数据可靠性。日常维护包括设备清洁、保养及故障排查，通过建立完善的管理制度，确保设备长期稳定运行。期间核查与维护相结合，可有效延长设备使用寿命，减少检测误差，为公路工程试验检测提供精准、可靠的数据支持，保障工程质量。

三、公路工程试验检测体系的构建框架

（一）试验检测体系的总体架构

1. 体系层级划分

公路工程试验检测体系的层级划分是实现高效管理和质量控制的基础。该体系通常分为三个层级：决策层、管理层和操作层。决策层负责制定试验检测体系的整体战略和目标，确保体系与公路工程质量要求相一致。管理层则承担着制定具体检测计划、分配资源以及监督检测过程的职责，确保检测活动的规范化和标准化。操作层由一线检测人员组成，负责执行具体的检测任务，严格按照标准规范进行操作，并记录检测数据。各层级之间通过明确的职责分工和有效的沟通机制，协同工作，共同保障试验检测体系的高效运行，为公路工程质量提供全方位的保障^[5]。

2. 体系运行流程设计

试验检测体系的运行流程设计是从公路工程项目启动到竣工验收的全流程控制的关键环节。在项目启动阶段，依据工程设计要求和相关标准规范，制定详细的试验检测计划，明确检测项目、方法和时间节点。施工过程中，按照计划对原材料、半成品以及施工工序进行实时检测，及时反馈检测结果，为施工质量控制提供依据^[6]。在工程竣工阶段，进行全面的质量验收检测，对工程实体的各项指标进行综合评估，确保工程质量符合设计和规范要求。整个运行流程通过严格的计划、执行、监督和反馈机制，形成闭环管理，确保试验检测工作的系统性和连贯性，为公路工程的顺利交付提供坚实的质量保障。

（二）试验检测体系的子系统构建

1. 材料试验检测子系统

材料试验检测子系统是公路工程试验检测体系的重要组成部分，主要针对公路工程中常见的材料进行检测。检测项目包括原材料的物理性能、化学成分以及力学性能等，例如水泥的强度和安定性、钢材的屈服强度和抗拉强度、集料的级配和压碎值等。检测方法依据国家和行业标准，采用科学、规范的试验手段，如水泥胶砂强度试验、钢材拉伸试验等。材料检测结果对工程质量具有直接影响，不合格的材料可能导致工程结构强度不足、耐久性降低等问题。因此，通过严格的材料检测，确保所用材料符合设计和规范要求，是保障公路工程质量的基础^[7]。

2. 工程实体检测子系统

工程实体检测子系统主要针对公路工程的路基、路面、桥梁等关键工程实体进行检测。路基检测的要点包括压实度、弯沉值等指标，这些指标直接反映路基的承载能力和稳定性；路面检测则重点关注平整度、厚度、抗滑性能等，这些指标关系到行车的舒适性和安全性；桥梁检测涉及结构的强度、刚度以及耐久性等关键指标，如混凝土强度、钢筋保护层厚度等^[8]。实体检测数据的分析与应用是检测工作的核心环节，通过对检测数据的统计分析，能够及时发现工程实体存在的质量问题，为后续的维修和加固提供科学依据，确保工程实体的质量符合设计和使用要求。

四、公路工程试验检测体系的实践应用

（一）典型公路工程项目的试验检测实践

1. 项目概况

某高速公路建设项目全长120公里，设计时速120公里/小时，采用双向六车道标准建设。该项目地处复杂地形区域，包含多座大型桥梁和长隧道，具有施工难度大、质量要求高的特点。工程规模宏大，涉及多种复杂地质条件和施工工艺，对试验检测工作提出了严峻挑战。

2. 试验检测实施方案

针对该项目特点，制定了全面的试验检测计划。检测计划涵盖原材料、施工过程和工程实体检测，依据国家和行业标准，结合项目实际需求，明确了检测项目、方法和频率。施工过程中，采用先进的检测设备和技術，如智能无损检测技术，对桥梁和隧

道的关键部位进行实时监测。通过信息化管理平台，实时记录和分析检测数据，确保施工过程中的质量问题能够及时发现并整改^[9]。

（二）试验检测体系在实践中的优化措施

1. 人员管理优化

在实践中发现，检测人员的专业技能和经验对检测结果的准确性影响显著。为此，项目团队引入了外部专家培训机制，定期邀请行业专家对检测人员进行新技术、新标准的培训。同时，建立严格的考核制度，通过理论考试和实际操作考核相结合的方式，激励检测人员提升专业水平。此外，优化人员配置，根据检测任务的复杂程度和紧急性，合理调配人员，确保检测工作的高效开展。

2. 设备管理优化

设备使用中发现，部分检测设备在复杂环境下稳定性不足，影响检测结果的准确性。为此，项目团队对关键检测设备进行了升级和改造，引入了具有更高精度和稳定性的新型设备。同时，建立设备全生命周期管理系统，从设备采购、安装调试到日常维护和报废，进行全程跟踪管理。定期对设备进行校准和维护，确保设备始终处于最佳工作状态^[10]。此外，通过信息化手段，实时监控设备运行状态，及时发现并解决设备故障。

（三）试验检测体系实践效果评估

1. 工程质量提升效果

通过试验检测体系的实施，项目质量得到了显著提升。检测数据显示，原材料合格率从实施前的90%提升至98%，工程实

体质量关键指标的合格率从85%提升至95%。例如，在桥梁施工中，通过对混凝土强度的严格检测和控制，有效减少了裂缝的产生，延长了桥梁的使用寿命。在路面施工中，平整度和压实度的严格检测，显著提高了行车舒适性和路面耐久性。

2. 经济效益与社会效益分析

试验检测体系的实施在成本控制和工程寿命方面发挥了重要作用。通过严格的原材料检测，减少了不合格材料的使用，降低了因质量问题导致的返工和维修成本。同时，优化的检测流程和设备管理，提高了检测效率，缩短了项目工期，间接降低了项目成本。社会效益方面，高质量的公路工程提升了交通通行能力，减少了交通事故的发生，为区域经济发展提供了有力支撑。

五、总结

公路工程试验检测体系的构建与实践取得了显著成果。通过明确试验检测的定义与范围，依据相关标准规范和质量管理体系，构建了包含人员、设备等关键要素的检测体系框架，并在典型公路工程项目中成功应用。实践表明，优化人员管理和设备管理措施有效提升了检测效率与准确性，工程质量显著提高，经济效益与社会效益显著。然而，研究仍存在不足，如在复杂环境下检测技术的适应性有待进一步提升，信息化手段在检测数据深度分析中的应用尚需完善。未来，应继续深化检测技术研究，加强信息化建设，推动公路工程试验检测体系向智能化、高效化方向发展，为公路工程质量提供更有有力保障。

参考文献

[1] 周丹. 公路工程试验检测的质量控制探析 [J]. 科技展望, 2017, 27(016): 19.
[2] 吴才彪. 公路工程试验检测与质量检验评定一体化系统研究与开发 [J]. 工业, 2016, 000(007): P.98-98.
[3] 孙自诚. 公路工程中试验检测技术的运用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018.
[4] 孙睿. 高速公路工程试验检测管理信息系统研究 [D]. 广东工业大学, 2015.
[5] 俞雷. 公路桥梁工程中的试验检测技术及应用实践 [J]. 电脑采购, 2023(4): 100-102.
[6] 竺丹菲. 公路桥梁工程中的试验检测技术及应用实践 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022(9): 4.
[7] 张建超. 公路工程试验检测的重要性与完善途径探究 [J]. 交通世界, 2019(7): 2.
[8] 张家峰, 郝倩. 公路工程试验检测管理工作在施工中的重要性分析 [J]. 科研, 2016, 000(008): 00089-00089.
[9] 陆建峰. 浅析公路工程试验检测工作 [J]. 工业 C, 2016(8): 00185-00185.
[10] 罗岸, 姜艺, 苏洁. 公路工程全寿命周期效益成本管理体系构建研究 [J]. 武汉轻工大学学报, 2015(4): 77-80.

建筑工程检测技术在地基基础工程中的应用及研究

关沛斌

广东 东莞 523820

DOI:10.61369/ETQM.2025110037

摘 要： 本文介绍了多种建筑工程检测技术，包括地基基础、主体结构、幕墙与节能等工程的检测方法。阐述了各方法原理、适用场景及创新实践，如桩基检测的联合方法、动静结合评估单桩承载力等。还提及智能检测设备研发、标准体系差异分析及工程质量智能评估矩阵构建等内容，强调其对工程质量和安全的重要性。

关 键 词： 建筑工程检测；检测方法；工程质量

Application and Research of Construction Engineering Testing Technology in Foundation Engineering

Guan Peibin

Dongguan, Guangdong 523820

Abstract： This paper introduces various construction engineering inspection technologies, including methods for foundation and substructure, main structure, curtain wall, and energy-saving projects. It elaborates on the principles, application scenarios, and innovative practices of these methods, such as integrated pile foundation testing and dynamic-static evaluation of single-pile bearing capacity. The text also discusses advancements in intelligent inspection equipment development, analysis of standard system differences, and the establishment of intelligent quality assessment matrices for engineering projects, emphasizing their critical importance to project quality and safety.

Keywords： construction engineering inspection; inspection methods; engineering quality

引言

随着建筑行业的不断发展，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》强调了建筑工程质量和技术创新的重要性。地基基础工程作为建筑的关键部分，其检测技术至关重要。多种检测方法各有特点，从声波透射法到静动载试验，从钻芯法联合检测到动静结合评估承载力等，不同技术在桩身质量检测、单桩承载力评估等方面发挥着关键作用。同时，在主体结构综合检测、幕墙与节能工程质量控制、钢结构焊缝检测等多个领域，各类检测技术不断创新和发展，为建筑工程的质量和安

一、地基基础工程检测技术体系

（一）基础检测方法分类与原理

地基基础工程检测方法多样，涵盖声波透射法、静动载试验等18类。声波透射法基于声学原理，通过在混凝土灌注桩中预埋声测管，发射并接收声波信号，根据声波在混凝土中的传播特性来检测桩身完整性，如波速、波幅等参数可反映混凝土的密实度和缺陷情况^[1]。静载试验则是模拟建筑物实际荷载情况，对地基或桩基础施加竖向压力，通过测量沉降量等数据来确定地基或桩的承载能力。动载试验包括高应变和低应变动力检测，高应变通过重锤冲击桩顶，测量桩顶的力和速度响应来评估桩的承载能力和桩身完整性；低应变是用小锤敲击桩顶，根据桩身反射波的特性判断桩身质量。这些不同检测方法各有其适用场景和技术特

征，需根据工程实际情况合理选择。

（二）桩基检测技术创新实践

在桩基检测技术创新实践方面，钻芯法与声波透射法的联合检测方案具有重要意义。钻芯法可直接获取桩身混凝土芯样，观察其完整性、强度等情况^[2]。声波透射法则通过在桩内预埋声测管，利用声波在混凝土中的传播特性来检测桩身缺陷。将两者联合，能更全面、准确地评估桩身质量。

对于单桩承载力的评估，动静结合的方法是一种创新实践。静载试验能准确测定桩的极限承载力，但耗时费力。动力测试方法如高应变法，可快速检测桩的承载力。动静结合，既能利用静载试验的准确性，又能发挥动力测试的高效性，为单桩承载力的评估提供更可靠的依据^[2]。

二、结构工程多维度检测技术

（一）主体结构综合检测系统

构建包含碳纤维拉拔、钢筋保护层检测等11项技术的现场检测体系是主体结构综合检测系统的重要内容。碳纤维拉拔检测可用于评估碳纤维增强复合材料与混凝土基体之间的粘结性能，对于保证结构加固效果至关重要^[3]。钢筋保护层检测能确保钢筋在混凝土结构中的合理位置，避免钢筋过早锈蚀影响结构耐久性。同时，无损检测技术的组合应用也具有重要意义。不同的无损检测技术，如超声检测、射线检测等，各有其优势和适用范围。通过合理组合这些技术，可以更全面、准确地检测主体结构的内部缺陷和损伤情况，为结构的安全性评估提供可靠依据。

（二）幕墙与节能工程质量控制

在幕墙与节能工程质量控制方面，饰面砖粘结强度试验与保温材料抽芯检测具有重要意义。饰面砖粘结强度试验可有效评估饰面砖与基层的粘结性能，确保在长期使用过程中不会出现脱落等安全隐患^[4]。通过精确的试验方法和设备，获取准确的粘结强度数据，为工程质量提供可靠依据。保温材料抽芯检测则能直接了解保温材料的实际性能。从节能工程角度看，保温材料的质量直接关系到建筑的节能效果。抽芯检测可检测其导热系数、密度等关键参数，判断是否符合设计要求，从而保证幕墙与节能工程整体质量，实现建筑外围护系统性能的有效提升。

三、特殊工程检测技术研究

（一）钢结构全生命周期检测

1. 焊缝超声检测技术改进

随着建筑工程的发展，钢结构应用日益广泛，焊缝质量检测至关重要。开发基于人工智能的钢结构焊缝缺陷自动识别系统是焊缝超声检测技术的重要改进方向。通过机器学习算法对大量焊缝超声检测数据进行学习和分析，系统能够自动识别焊缝中的缺陷类型、位置和大小等关键信息^[5]。与传统人工检测方法相比，该系统具有更高的检测精度和效率。它能够快速处理大量检测数据，减少人为因素导致的误差，有效提高钢结构焊缝质量检测的可靠性，保障钢结构在全生命周期中的安全性和稳定性。

2. 防火防腐涂装评价体系

建立包含25种典型工程案例的涂层性能数据库，为防火防腐涂装评价提供数据支持。通过收集不同工程环境、不同涂层材料及施工工艺下的涂层性能数据，可更全面地了解涂层在实际应用中的表现^[6]。研制多功能覆层测厚仪，能够准确测量涂层的厚度。这对于评估涂层的防护效果至关重要，因为涂层厚度是影响其防火防腐性能的关键因素之一。该测厚仪可适用于多种钢结构表面形状和涂层类型，提高了检测的准确性和效率，为钢结构全生命周期的防火防腐涂装检测提供了有力工具。

（二）市政路桥专项检测技术

1. 桥面系综合检测方案

结合光纤传感与冲击回波法，可实现桥面铺装层隐性病害识

别与定位。光纤传感技术利用光纤对环境变化的敏感性，通过测量光纤中光的传输特性变化来检测桥面铺装层的物理量变化，如应变、温度等，从而发现潜在病害^[7]。冲击回波法则是通过在桥面表面施加冲击荷载，测量反射波的传播时间和频率等参数，来推断铺装层内部的结构状况。两种方法相结合，可以优势互补，更准确地识别和定位桥面铺装层的隐性病害，为桥面系的维护和修复提供可靠依据。

2. 路基质量快速评估技术

路基质量快速评估技术是市政路桥专项检测中的重要部分。研发车载式贯入度检测装置具有重要意义，该装置可在移动过程中对路基贯入度进行实时检测，获取相关数据。同时，构建基于大数据分析的路基承载力预测模型也是关键举措^[8]。通过收集大量路基相关数据，包括不同地质条件、施工工艺下的数据，利用大数据分析技术挖掘数据中的规律。将贯入度检测装置获取的数据输入预测模型，能够快速、准确地评估路基承载力，为市政路桥工程的质量控制和安全保障提供有力支持。

四、检测技术集成创新研究

（一）智能检测设备研发

1. 多功能检测机器人开发

智能检测设备研发以及多功能检测机器人开发在建筑工程检测技术领域至关重要。以地基基础工程为例，设计出具有自适应爬壁功能的智能检测终端是关键创新点之一。这种终端集成了16种传感器模块^[9]，能够全方位、多角度地对地基基础进行检测。通过自适应爬壁功能，它可以灵活地在地形和建筑结构表面移动，确保检测无死角。多种传感器模块的集成则实现了对多种物理量和参数的同时测量，如应力、应变、温度、湿度等，为准确评估地基基础的质量和性能提供了丰富的数据支持。这不仅提高了检测效率，还大大增强了检测结果的准确性和可靠性，为建筑工程的安全施工和长期稳定提供了有力保障。

2. 远程监控系统构建

随着科技的发展，智能检测设备研发及远程监控系统构建在建筑工程检测技术中愈发重要。智能检测设备应具备高精度、高灵敏度等特性，能够准确获取地基基础工程的各项参数，如利用新型传感器技术实现对土壤压力、位移等的精确测量^[10]。在远程监控系统构建方面，借助5G技术的高速率、低延时优势，可实现检测数据的实时传输。通过在施工现场布置多个监测点，将采集到的数据实时上传至监控中心，工作人员能及时对地基基础工程的状态进行分析和判断，以便在出现问题时迅速采取措施，保障工程质量和安全。

（二）检测标准体系优化

1. 跨区域检测标准对比

在建筑工程检测技术领域，对国内外7大标准体系的差异特征进行分析具有重要意义。国内外标准体系在地基基础工程检测方面存在多方面差异。例如，在检测指标的设定上，有些标准更注重对土壤物理性质的详细检测，而其他标准可能侧重于对地基承

载能力的直接评估。在检测方法上，不同标准体系所采用的技术手段和设备要求也不尽相同。技术融合路径的提出是基于这些差异分析。通过对比各标准体系的优势和不足，可以寻找一种综合的方法，将不同标准中的有效技术和理念进行整合，以提高地基基础工程检测的准确性和全面性，更好地适应不同地区和工程类型的需求。

2. 全流程质量监管模型

在建筑工程地基基础检测中，构建涵盖25项关键参数的工程质量智能评估矩阵至关重要。首先需确定这些关键参数，它们应涵盖地基土的物理力学性质、基础结构的各项指标等多个方面。通过对大量工程实例和实验数据的分析，筛选出对工程质量有显著影响的参数。然后利用智能算法，如神经网络、机器学习等，对这些参数进行综合评估。构建的评估矩阵不仅要能准确反映工程当前质量状态，还应具备预测能力，为后续施工提供指导。同时，要根据不同的地质条件和工程要求，对评估矩阵进行动态调整和优化，确保其科学性和实用性，从而实现对地基基础工程质量的全流程有效监管。

（三）典型工程应用研究

1. 超高层建筑检测案例

以下以某超高层建筑为例，阐述检测技术在深基坑支护体系中的应用。该建筑地处复杂地质环境，深基坑支护面临巨大挑战。在检测过程中，集成了多种先进技术。例如，采用高精度传感器对支护结构的应力应变进行实时监测，能精准获取关键部位的数据变化，为评估结构安全提供可靠依据。同时，利用无损检测技术对锚杆、锚索等进行质量检测，确保其性能符合设计要求。通过三维激光扫描技术，对基坑周边环境及支护结构的变形

进行全面监测，直观呈现变形趋势。这些技术的集成应用，实现了对深基坑支护体系全方位、动态的监测，有效保障了施工安全，为类似工程提供了有益借鉴。

2. 跨海桥梁检测实践

在海洋环境下，钢结构跨海桥梁面临着严重的腐蚀问题。针对此，需要研究有效的腐蚀检测与防护效果评价方法。在腐蚀检测方面，可利用多种技术手段，如电化学检测技术，通过监测钢结构的电位、电流等参数变化来判断腐蚀情况。同时，超声检测技术也可用于检测钢结构内部的腐蚀缺陷。对于防护效果评价，可建立相应的数学模型，综合考虑防护涂层的厚度、附着力、耐腐蚀性等因素。通过长期的现场监测和实验室分析，获取相关数据，对防护效果进行量化评估。这不仅有助于及时发现腐蚀问题并采取措施，还能为后续的跨海桥梁设计和维护提供科学依据，提高桥梁的安全性和耐久性。

五、总结

建筑工程检测技术在地基基础工程中具有关键作用。通过对相关技术的应用研究，不仅明确了其现有技术要点，还对未来发展方向进行了展望。提炼出的创新要点为技术的进一步完善提供了基础，而三维数字化检测、智能诊断系统及绿色检测技术的提出，则为行业发展指明了方向。智能检测云平台架构的构建更是从宏观层面，为涵盖建设全周期的检测工作提供了高效、智能的解决方案。这些成果有助于提高地基基础工程的质量和安全性，推动建筑工程检测技术不断进步，更好地适应行业发展需求，为建筑工程的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

[1] 蓝天锐. 基于本体的建筑工程检测实验室管理系统构建 [D]. 广东工业大学, 2021.
[2] KIM IL BOM. 三维激光扫描技术在竣工盾构隧道检测中的应用 [D]. 北京工业大学, 2022.
[3] 史靖. 移动数字图像采集设备在结构检测中的应用研究 [D]. 东南大学, 2022.
[4] 刘欣. 基于吡啶受体的花菁类探针的构建及在检测中的应用 [D]. 华南理工大学, 2022.
[5] 陶琪. BIM技术在A建筑工程造价控制中的应用研究 [D]. 沈阳大学, 2022.
[6] 顾显方. 无损检测技术在建筑工程检测中的应用分析 [J]. 建筑·建材·装饰, 2022(1): 148-150.
[7] 唐鸣. 无损检测技术在建筑工程检测中的应用 [J]. 建材发展导向 (上), 2021, 19(7): 310-311.
[8] 徐航. 无损检测技术在建筑工程检测中的应用研究 [J]. 智能建筑与工程机械, 2024, 6(5): 88-90.
[9] 梁艳蓉. 无损检测技术在建筑工程检测中的应用分析 [J]. 建材与装饰, 2021, 17(22): 63-64.
[10] 曹新旺. 无损检测技术在建筑工程检测中的应用探析 [J]. 建设科技, 2023(1): 82-84.

房地产工程技术管理与风险管理的协同机制研究

谭中辉

广东 佛山 528200

DOI:10.61369/ETQM.2025110038

摘 要： 本文围绕房地产工程技术管理与风险管理协同展开。阐述二者概念、目标等，从生命周期视角分析关联，介绍系统动力学方法揭示的耦合机制，构建协同管理模型，涉及组织、流程、资源协同要素，还介绍多种支持工具及应用，强调协同的重要性及后续研究方向。

关 键 词： 房地产工程；技术管理；风险管理

Research on the Collaborative Mechanism of Real Estate Engineering Technology Management and Risk Management

Tan Zhonghui

Foshan, Guangdong 528200

Abstract： This paper focuses on the synergy between real estate engineering technology management and risk management. This paper expounds on the concepts, goals, etc. of the two, analyzes the correlation from the perspective of the life cycle, introduces the coupling mechanism revealed by the system dynamics method, constructs a collaborative management model involving the collaborative elements of organization, process, and resources, and also introduces various supporting tools and applications, emphasizing the importance of collaboration and the subsequent research directions.

Keywords： real estate projects; technical management; risk management

引言

随着房地产行业的发展，房地产工程技术管理与风险管理的协同机制研究愈发重要。2020年发布的《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》强调了提升建筑工业化水平的重要性，这对房地产工程技术管理与风险管理提出了更高要求。房地产工程技术管理涵盖多方面，旨在确保工程质量等；工程风险管理则注重对风险的识别等。二者在实施特点上各有侧重，但从生命周期管理视角看存在紧密关联。同时，系统动力学方法揭示了技术优化与风险消减的耦合作用机制，这为构建协同管理模型等提供了理论基础，对提高房地产工程整体效益具有重要意义。

一、房地产工程技术管理与风险管理理论基础

（一）技术管理与风险管理的概念特征

房地产工程技术管理是指在房地产项目开发过程中，对工程技术活动进行规划、组织、协调和控制的一系列管理行为。它涵盖了工程技术方案的制定、施工技术的应用、技术标准的执行等多个方面，旨在确保工程质量、提高工程效率、降低工程成本^[1]。工程风险管理则是对工程项目可能面临的风险进行识别、评估和应对的过程。其基本原理包括风险的不确定性、可度量性以及风险与收益的权衡。实施流程通常包括风险识别、风险分析、风险应对和风险监控等环节。房地产工程技术管理的目标主要是保障工程的技术可行性和质量，注重技术的应用和创新；而风险管理更侧重于对不确定性因素的管控，以避免或减少风险带来的损失。两者在实施特点上，技术管理强调专业性和系统性，

风险管理强调前瞻性和动态性。

（二）协同管理的关联性分析

从生命周期管理视角来看，工程质量控制与风险防范存在紧密的内在关联。房地产项目的生命周期涵盖了从规划设计到施工建设，再到运营维护的各个阶段。在每个阶段，工程技术管理的决策和措施都会对项目质量产生影响，而这些影响又与风险的产生和发展密切相关。例如，在规划设计阶段，不合理的设计方案可能导致施工困难，增加质量隐患，同时也带来了诸如工期延误、成本超支等风险^[2]。运用系统动力学方法可以揭示技术优化与风险消减的耦合作用机制。技术优化能够提高工程的效率和质量，减少不确定性，从而降低风险发生的可能性和影响程度。反之，有效的风险管理可以为技术优化提供稳定的环境和方向，促进技术的持续改进和应用。这种耦合作用机制在房地产工程中体现得尤为明显，它要求管理者在进行工程技术管理和风险管理

时,要充分考虑两者之间的相互关系,实现协同管理。

二、协同机制理论框架构建

（一）协同管理模型架构

构建包含目标层、执行层与反馈层的三维协同管理模型。目标层明确房地产工程技术管理与风险管理的共同目标,如保障工程质量、控制成本和进度等,为协同管理提供方向指引^[3]。执行层负责具体的管理活动实施,包括工程技术方案的执行以及风险应对措施的实施。在此过程中,借助 BIM 技术构建全周期管理框架,实现信息的实时共享和传递,提高管理效率和决策科学性。反馈层则对执行过程和结果进行监测和评估,将相关信息反馈至目标层和执行层,以便及时调整目标和策略,形成一个动态的协同管理闭环。

（二）关键协同要素解析

房地产工程技术管理与风险管理的协同涉及组织、流程与资源三大核心要素。组织协同方面,需构建合理的组织结构,明确各部门职责,确保技术管理与风险管理部门之间有效沟通与协作,打破信息壁垒^[4]。流程协同要求建立统一的工作流程,将技术管理流程与风险管理流程有机融合,例如在项目规划阶段同时考虑技术可行性与风险因素。资源协同强调对人力、物力和财力资源的合理配置与共享,避免资源浪费。同时,要实现技术标准统一化,确保各方在技术应用上的一致性,以及风险预警联动化,使技术风险能及时被识别和处理,从而提升房地产工程的整体效益。

三、协同机制实施路径研究

（一）设计阶段协同策略

1. 技术方案风险评估

开发基于模糊综合评价法的设计方案风险评估系统,该系统能够综合考虑多个因素对设计方案风险进行量化评估^[5]。通过建立合理的评价指标体系,确定各指标的权重,运用模糊数学的方法进行综合评价。同时,建立技术参数敏感性分析模型,分析不同技术参数变化对设计方案风险的影响程度。此模型可以帮助识别关键技术参数,为设计方案的优化提供依据。通过这两个工具,能够更全面、准确地评估设计方案的风险,为房地产工程技术管理与风险管理的协同提供有力支持。

2. 价值工程优化路径

运用价值工程理论指导技术方案优选,构建成本-质量-风险三位一体的决策模型。在房地产工程技术管理与风险管理协同机制中,这是重要的一环。通过价值工程分析,综合考虑成本、质量和风险等多个维度^[6]。识别技术方案中的关键因素,权衡不同方案在成本控制、质量保障以及风险应对方面的优劣。以此为基础,优选出既能满足项目质量要求,又能合理控制成本和有效

管理风险的技术方案。从而实现工程技术管理与风险管理在设计阶段的协同优化,为房地产项目的顺利实施提供有力保障。

（二）施工阶段协同管理

1. 动态风险监控体系

设计基于物联网技术的施工现场实时监控网络,可利用传感器等设备采集施工过程中的各类数据,包括环境数据、设备运行数据等,实现对施工现场的全方位实时监测^[7]。通过对这些数据的分析处理,能及时发现潜在风险因素。同时,开发风险预警指数模型,依据采集的数据设定合理的风险阈值,当数据超出阈值范围时,及时发出预警信号。该模型可综合考虑多种风险因素,对施工阶段的风险进行量化评估,为施工企业采取有效的风险应对措施提供科学依据,从而提高房地产工程施工阶段的风险管理水平,保障工程顺利进行。

2. 应急预案协同响应

构建多方参与的应急指挥系统是应急预案协同响应的关键。该系统应涵盖房地产工程建设中的各方主体,包括建设单位、施工单位、设计单位、监理单位以及相关政府部门和专业救援机构等。各方在系统中明确自身职责和权限,确保在突发事件发生时能够迅速响应。同时,制定技术处置与风险控制联动响应流程至关重要。当风险事件出现,应依据预先设定的流程,迅速开展技术评估,确定技术处置措施,同时实施风险控制策略,以降低损失和影响。此过程需充分考虑工程技术特点和风险因素,确保技术处置与风险控制紧密配合,高效协同^[8]。

四、协同机制保障体系研究

（一）制度保障建设

1. 标准规范体系完善

构建包含技术规程与风险管理规范的双重标准体系是完善标准规范体系的关键。该体系应涵盖房地产工程从规划设计到施工建设再到竣工验收的各个环节,明确每个环节的技术要求和风险防控要点^[9]。同时,制定协同管理评价指标体系,用于衡量技术管理与风险管理协同的效果。这些指标应包括技术措施对风险的防控能力、风险预警对技术调整的指导作用等。通过这样的双重标准体系和评价指标体系,能够为房地产工程技术管理与风险管理的协同提供明确的规范和衡量标准,促进两者的有效协同,提高房地产工程的整体质量和效益。

2. 责任主体协同机制

为保障房地产工程技术管理与风险管理的协同机制有效运行,需设计多方参与的利益协调机制以及建立基于区块链的权责追溯系统^[10]。利益协调机制应涵盖房地产工程建设中的各个利益相关方,包括开发商、设计单位、施工单位、监理单位以及业主等。通过合理的利益分配和协调方式,激励各方积极参与协同管理,减少因利益冲突导致的风险。同时,基于区块链的权责追溯系统可确保各方的责任和权力清晰可查。区块链的分布式账本技术能够记录每一个操作和决策的详细信息,为责任认定和追溯提供可靠依据,从而提

高责任主体的责任意识和协同管理的有效性。

（二）技术保障创新

1. 数字化管理平台构建

开发集成 BIM、GIS 和 VR 技术的协同管理平台是实现房地产工程技术管理与风险管理协同的关键。BIM 技术可提供建筑信息模型，涵盖建筑结构、设备等详细信息，有助于各参与方准确理解项目。GIS 技术能整合地理空间数据，分析项目与周边环境的关系。VR 技术则可创建虚拟场景，让用户沉浸式体验项目。通过集成这三种技术，可构建一个全面的数字化管理平台。该平台能实现数据的实时共享，各方可及时获取所需信息，同时还能为决策提供有力支持，帮助管理者更好地应对工程技术和风险问题，提高项目的整体效益。

2. 智能决策算法应用

房地产工程技术管理与风险管理的协同机制研究中，智能决策算法应用至关重要。基于机器学习的风险预测模型是关键所在，通过收集大量房地产工程相关数据，包括技术参数、市场动态、环境因素等，利用机器学习算法挖掘数据中的潜在规律。构建技术参数优化与风险控制的动态匹配算法，使技术管理与风险管理紧密结合。该算法能够根据实时的技术参数变化，快速准确地预测风险水平，并提供相应的优化策略。这不仅有助于提高工程质量和效率，还能有效降低风险，为房地产工程的顺利进行提供有力保障。

（三）人才保障策略

1. 复合型人才培养

构建技术管理与风险管理双重知识结构的培训体系是复合型人才培养的关键。该体系应涵盖房地产工程技术管理和风险管理的各个方面，包括但不限于工程技术原理、施工流程、风险识别、风险评估和风险应对策略等。通过系统的课程设置和实践教

学，使人才能够全面掌握这两个领域的知识和技能。同时，制定专业技能认证标准也是必不可少的。认证标准应明确规定人才在技术管理和风险管理方面应达到的能力水平，包括理论知识的掌握程度和实际操作能力。这不仅可以激励人才不断提升自己的专业素养，也为企业选拔和任用人才提供了客观的依据。

2. 组织能力建设

在房地产工程技术管理与风险管理的协同机制中，组织能力建设至关重要。设计跨部门协同工作团队组建方案是关键一步，需综合考虑各部门专业人才的优势互补，明确团队成员职责与分工，确保团队高效运作。同时，建立知识共享与经验交流长效机制，通过定期组织内部培训、研讨会等形式，促进不同部门间的知识传递和经验借鉴。鼓励团队成员分享成功案例和失败教训，以提升整个团队对工程技术管理和风险管理的综合应对能力。这不仅有助于提高项目的实施效率和质量，还能增强企业在房地产市场中的竞争力。

五、总结

房地产工程技术管理与风险管理协同机制的研究具有重要意义。研究成果涵盖多方面，对二者协同的原理、模式及关键影响因素等进行了系统剖析。理论创新点包括提出新的协同模型及评估指标体系等，有助于更准确地理解和把握协同机制。实践应用价值体现在提高项目质量、降低成本和风险等方面。通过合理的技术管理与风险管理协同，能优化资源配置，减少工程变更和事故。后续研究应关注智能建造技术深度融合，利用其提高协同效率和精准度。同时，绿色建筑风险协同管控也是重点方向，随着环保要求提高，需确保绿色建筑在技术和风险方面都能得到有效管理，推动房地产行业可持续发展。

参考文献

[1] 王琼. 房地产行业税务风险管理研究 [D]. 内蒙古财经大学, 2023.
[2] 袁琳. Y 工程设计公司技术管理优化研究 [D]. 河北工业大学, 2022.
[3] 李智高. A 房地产项目财务风险管理研究 [D]. 浙江大学, 2022.
[4] 陈祚. BT 房地产公司税务风险管理研究 [D]. 重庆交通大学, 2023.
[5] 康耀. F 房地产公司税务风险管理研究 [D]. 贵州大学, 2021.
[6] 张屹. 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] 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, (06): 140-142.
[8] 武强. 房地产开发工程技术管理中的资源优化配置 [J]. 价值工程, 2021, 40(02): 66-67.
[9] 陆幼军. 绿色施工示范工程的创建与技术管理 [J]. 建材发展导向, 2022, 20(13): 117-119.
[10] 李鸿杰, 周志斌. 房地产工程管理中的几个关键问题 [J]. 铁道技术监督, 2007, 35(02): 16-17.

市政工程技术管理中的风险管理策略研究

肖凌

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025110039

摘 要： 本文围绕市政工程技术管理中的风险管理展开。介绍了风险识别方法如德尔菲法与检查表法的结合，评估方法如 AHP 与模糊综合评估模型的结合，还阐述了技术管理特点及关键环节风险，以及风险规避、转移等策略，同时提及 BIM、4D 进度模拟等技术的应用和一些创新监测系统、绿色施工规程等对风险管理的作用。

关 键 词： 市政工程；技术管理；风险管理

Research on Risk Management Strategies in Municipal Engineering Technical Management

Xiao Ling

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper focuses on risk management within the technical management of municipal engineering. It introduces risk identification methods, such as the combination of the Delphi method and the checklist method, and risk assessment methods, such as the integration of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the fuzzy comprehensive evaluation model. It also elaborates on the characteristics of technical management and risks associated with key stages, alongside risk mitigation strategies including avoidance and transfer. Furthermore, it mentions the application of technologies like BIM and 4D schedule simulation, as well as the role of innovative monitoring systems and green construction protocols in enhancing risk management.

Keywords： municipal engineering; technical management; risk management

引言

随着城市化进程的加速，市政工程建设日益增多。2020年发布的《关于加强城市基础设施建设的意见》强调了市政工程建设的重要性以及对其进行科学管理的要求。市政工程技术管理涉及多个方面，从风险识别到风险评估，从施工过程中的技术难点到关键环节的风险把控，都对工程质量和进度有着至关重要的影响。如何有效进行风险管理成为市政工程技术管理的核心问题。在这样的背景下，对市政工程技术管理中的风险管理进行研究具有重要的现实意义。

一、市政工程风险管理理论框架

（一）风险识别方法体系

市政工程风险识别可集成应用德尔菲法与检查表法。德尔菲法通过多轮专家咨询，匿名反馈，最终达成一致意见，以确定风险因素及其权重等^[1]。这种方法能充分利用专家经验和知识，减少主观偏见影响。检查表法则是基于以往类似工程经验和相关标准规范，制定详细的风险检查清单。在市政工程中，将两者结合可优势互补。先利用检查表法初步筛选出可能的风险源，形成一个较为全面的风险框架。再通过德尔菲法，邀请专家对初步筛选结果进行评估和补充，确定关键风险源及其特征，提高风险识别的准确性和可靠性。

（二）风险评估模型构建

解析层次分析法（AHP）是一种将复杂问题分解为多个层次，通过比较各层次元素的相对重要性来进行决策的方法。在市政工程风险评估中，AHP可用于确定不同风险因素的权重^[2]。它通过构建层次结构模型，将市政工程风险分为目标层、准则层和指标层，然后对各层元素进行两两比较，确定其相对重要性，从而得出各风险因素的权重向量。模糊综合评估模型则是一种基于模糊数学的综合评价方法。由于市政工程风险具有模糊性和不确定性，该模型可有效处理此类问题。它通过建立模糊关系矩阵，将定性的风险描述转化为定量的风险值，从而实现对市政工程风险的量化评估^[2]。在实际应用中，可将 AHP 与模糊综合评估模型相结合，充分发挥两者的优势，提高风险评估的准确性和可靠性。

二、市政工程技术管理特征分析

（一）工程技术管理特点

市政工程技术管理具有显著特点。复杂地质条件对风险管理影响巨大，不同地质结构如软土地层、岩石地层等需要不同的施工技术和风险应对措施，可能导致地基沉降、坍塌等风险增加^[3]。交叉施工也是一大难点，多个工种和施工环节同时进行，相互干扰，增加了安全事故和质量问题的风险。例如，地下管道施工与地面道路施工交叉时，可能出现管道被破坏、道路施工延误等情况。这些技术管理难点要求在风险管理中充分考虑各种因素，制定科学合理的风险应对策略，以确保市政工程的顺利进行和质量安全。

（二）管理流程风险节点

在市政工程技术管理中，施工图审查和技术交底是重要的风险节点。施工图审查环节，若审查不严格，可能导致设计缺陷未被发现，影响工程质量和进度^[4]。例如，结构设计不合理可能在施工过程中引发安全事故。技术交底环节，交底不清晰或不全面，施工人员可能无法准确理解施工要求和技术要点。这会造成施工操作不规范，进而影响工程质量。同时，技术交底不到位还可能导致施工过程中对新技术、新材料的应用出现问题，增加工程成本和延误工期。因此，对这些关键环节建立风险矩阵评估表至关重要，以便准确识别和评估风险，采取有效的风险管理措施。

三、风险管理策略构建路径

（一）风险应对策略选择

1. 风险规避策略

风险规避是一种有意识地避免特定风险的决策过程，在市政工程技术管理中具有重要意义。通过制定基于技术可行性分析的设计变更决策机制来规避风险，首先要对市政工程的技术方案进行全面、深入的可行性分析，包括技术的先进性、适用性和可靠性等方面^[5]。这可以提前识别潜在的技术风险，如新技术应用可能带来的施工难度增加、质量不稳定等问题。在分析过程中，综合考虑工程的实际需求、环境条件以及现有技术水平等因素。当发现设计方案存在可能导致重大风险的技术问题时，依据决策机制，谨慎评估设计变更的必要性和可行性。合理的设计变更可以避免因技术问题引发的一系列风险，确保市政工程的顺利进行和质量安全。

2. 风险转移机制

在市政工程技术管理中，风险转移机制是风险管理策略的重要组成部分。构建工程质量保险与 EPC 总承包模式下的风险分配框架是实现风险有效转移的关键路径。工程质量保险可将部分质量风险转移给保险公司，从而减轻工程参与方的潜在损失风险。EPC 总承包模式则对风险分配提出了新的要求，需明确总承包商与业主等各方在不同风险情境下的责任分担。这种模式下，总承包商承担了更多的设计、采购和施工风险，但同时也在一定程度

上通过合同条款等方式对风险进行合理分配和转移。通过构建科学合理的风险分配框架，结合工程质量保险和 EPC 总承包模式的优势，可提高市政工程技术管理中的风险管理效率和效果，保障工程的顺利实施^[6]。

（二）控制策略实施方法

1. 全过程监控体系

在市政工程技术管理中，基于 PDCA 循环构建技术复核与质量验评系统至关重要。该系统涵盖计划（Plan）阶段，明确技术标准与复核、验评流程；执行（Do）阶段，严格按照既定流程实施技术复核与质量验评工作；检查（Check）阶段，对复核与验评结果进行细致检查，及时发现偏差；处理（Act）阶段，针对问题采取有效措施加以改进，并将成功经验纳入标准流程。通过这种循环往复的系统运行，能够持续提升市政工程技术管理水平，确保工程质量符合要求^[7]。

2. 应急响应机制

在市政工程技术管理中，风险管理至关重要。对于地下管网突水事故，应构建科学的风险管理策略。通过建立实时监测系统，利用传感器等技术对管网关键部位的水位、压力等参数进行实时监测^[8]。在控制策略实施方面，依据监测数据，及时调整管网运行参数，如水流速度、压力控制等。同时，建立应急预案联动方案作为应急响应机制的核心。一旦监测到突水风险达到阈值，立即启动应急预案，联动相关部门，如排水部门、抢修部门等。各部门按照预案明确的职责和流程迅速行动，包括疏散周边人员、进行排水作业、对管网进行抢修等，以降低突水事故造成的损失。

四、技术管理优化实践探索

（一）BIM 技术应用创新

1. 碰撞检测预警

BIM 技术在市政工程中的应用为管线综合布置带来了创新。BIM 模型具备强大的冲突预警功能，能够对管线之间的潜在碰撞进行检测^[9]。在市政工程复杂的地下管线系统中，不同专业的管线错综复杂地分布在有限空间内。BIM 模型通过整合各专业管线数据，精确模拟其空间位置和走向。当出现管线交叉或间距不符合规范要求的情况时，系统能够及时发出预警，提示设计人员和施工人员进行调整。这不仅避免了施工过程中的返工和延误，提高了施工效率，还保障了市政工程管线系统的安全性和可靠性。

2. 施工模拟优化

4D 进度模拟在市政工程施工中具有重要作用。它能够将时间维度与三维模型相结合，直观呈现施工过程。通过对施工时序的精确模拟，可以提前识别潜在风险，如工序衔接不合理、资源分配不均衡等^[10]。在实际应用中，施工团队可依据模拟结果调整施工计划，优化资源配置，从而有效降低施工时序风险。这种动态管控方式能够实时反映施工进度与计划的偏差，及时采取纠偏措施，确保工程按时完成。同时，4D 进度模拟还可以为不同参与方提供可视化的沟通平台，提高沟通效率，减少因信息不畅导致的风险。

（二）智能监测技术创新

1. 物联网监测系统

在市政工程技术管理中，智能监测技术创新的物联网监测系统至关重要。以光纤传感技术在深基坑变形监测为例，其通过物联网实现数据的实时传输与分析。该系统可精准感知深基坑的各项参数变化，如位移、应力等。在实际应用中，通过合理设定预警阈值，当监测数据达到或超过阈值时，能及时发出预警信号。这一过程借助物联网强大的通信能力，确保相关人员能迅速获取信息并采取措施。同时，系统还能对历史数据进行存储和分析，为后续工程提供参考，不断优化监测策略，提高市政工程技术管理中的风险管理水平。

2. 大数据分析平台

市政工程技术管理的优化实践探索中，智能监测技术创新下的大数据分析平台至关重要。通过构建基于历史事故数据的风险概率预测模型，可利用大数据分析挖掘事故数据中的潜在规律。收集大量历史事故相关数据，包括工程类型、事故发生地点、时间、原因等多维度信息。运用先进的数据分析算法，对这些数据进行处理和分析，以识别不同因素之间的关联以及对风险概率的影响。从而能够较为准确地预测市政工程中各类风险发生的概率，为技术管理中的风险管理提供有力支持，有助于提前采取预防措施，降低事故发生的可能性，保障市政工程的顺利进行和质量安全。

（三）管理机制改革建议

1. 资质审查强化

市政工程技术管理中，强化资质审查至关重要。应建立基于信用评估的分包单位准入机制。首先构建科学的信用评估体系，涵盖分包单位的过往业绩、工程质量、安全管理等多方面。通过

收集相关数据，对其进行量化分析，给予准确的信用评分。依据评分设定不同的准入门槛，信用良好的单位可简化审查流程，给予更多合作机会；信用不佳的单位则严格审查，甚至禁止准入。同时，建立动态信用监管机制，定期更新评估结果，促使分包单位始终保持良好的资质水平和信用状况，从而保障市政工程技术管理的有效性和工程质量。

2. 标准体系完善

绿色施工规程对市政工程技术管理风险的预防具有重要作用。它从多方面规范了施工过程，确保技术管理的科学性和合理性。在资源利用方面，促使合理规划，减少浪费，避免因资源不合理使用带来的成本风险和技术实施阻碍。对于施工工艺，规程明确了标准流程和质量要求，降低因工艺不规范导致的技术故障和质量问题风险。同时，在环境保护上的规定，引导采用环保技术和措施，避免因环境问题引发的技术管理困境，如污染处理不当影响后续施工等。通过遵循绿色施工规程，市政工程技术管理能够更好地规避风险，实现高效、优质的项目实施。

五、总结

市政工程技术管理中的风险管理至关重要。通过对全过程风险防控理论框架及实践经验的总结，能为后续项目提供参考。然而，现有风险预警系统在极端天气应对上存在不足，这可能导致工程在恶劣气候条件下遭受损失。因此，加强气候适应性设计研究是未来的重要方向，有助于提高工程抵御极端天气的能力。同时，区块链技术在工程档案存证风险防范中的应用前景值得期待。它可以确保工程档案的真实性和完整性，有效降低档案存证方面的风险，为市政工程技术管理的风险管理提供新的思路和方法。

参考文献

- [1] 杨超. DXZ 市政工程项目风险管理研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [2] 舒平. 淮南市政工程 PPP 项目风险管理研究 —— 基于全生命周期视角 [D]. 安徽理工大学, 2021.
- [3] 张彦如. H 公司的风险管理策略研究 [D]. 广东工业大学, 2021.
- [4] 崔祯. A 银行代销业务风险管理策略优化研究 [D]. 兰州大学, 2022.
- [5] 吴桂锐. M 公司外贸风险管理策略研究 [D]. 中原工学院, 2023.
- [6] 张爱民. 刍议市政工程施工技术管理策略 [J]. 中国建筑金属结构, 2021, 000(9): 30-31.
- [7] 曹雷. 浅谈如何加强市政道桥工程项目施工质量管理 [J]. 中国新技术新产品, 2015, 000(9): 85-85.
- [8] 赖俊杰. 市政工程施工软基处理技术管理研究 [J]. 居业, 2023(12): 179-181.
- [9] 李定涓. 关于市政工程 PPP 投资项目风险管理的研究 [J]. 砖瓦, 2021, 000(008): 117-118.
- [10] 姚媛媛, 梁峰. 工程施工招投标阶段的风险分析与探讨 [J]. 建筑与预算, 2017, 0(12): 5-7.

新能源发展对煤炭市场消费的影响研究

张瑞军

国能销售集团内蒙古分公司包头营销中心，内蒙古 包头 014000

DOI:10.61369/ETQM.2025110041

摘要： 在全球能源转型与“双碳”目标驱动下，新能源凭借清洁、可持续的特性，逐步改变传统能源消费结构，对长期占据主导地位的煤炭市场产生深远影响。随着新能源技术不断突破、应用场景持续拓展，其在能源供给中的占比逐步提升，这一趋势不可避免地作用于煤炭市场消费领域。基于此，本文首先系统分析新能源发展对煤炭市场消费的多重影响，探索新能源发展与煤炭市场协调发展的实践路径，希望能够为能源行业转型及相关政策制定提供理论参考，促进能源系统向清洁、高效、可持续方向平稳过渡。

关键词： 新能源；煤炭市场；能源消费；影响

Study on the Influence of New Energy Development on Coal Market Consumption

Zhang Ruijun

Baotou Marketing Center, Inner Mongolia Branch of China Energy Sales Group, Baotou, Inner Mongolia 014000

Abstract： Driven by the global energy transition and the "dual carbon" goals, new energy sources are gradually transforming traditional energy consumption structures through their clean and sustainable characteristics, profoundly impacting the long-dominant coal market. With continuous technological breakthroughs and expanding application scenarios in renewable energy, its share in energy supply continues to rise—a trend inevitably affecting coal consumption. This paper first systematically analyzes the multifaceted impacts of new energy development on coal market consumption, explores practical pathways for coordinated development between renewable energy growth and coal market dynamics, aiming to provide theoretical references for energy industry transformation and policy formulation. These insights will facilitate a smooth transition toward a cleaner, more efficient, and sustainable energy system.

Keywords： new energy; coal market; energy consumption; influence

引言

能源是经济社会发展的重要物质基础，随着全球能源革命的深入推进，新能源产业快速崛起，对传统化石能源市场格局产生重大影响，作为最主要的化石能源之一，煤炭市场消费受到新能源发展的直接冲击，准确把握新能源发展对煤炭市场消费的影响有益于促进能源转型、保障能源安全目标的实现。在此背景下，系统分析新能源发展对煤炭市场消费的影响机制，探索能源转型期两者的协调发展路径，具有一定的现实意义。

一、新能源发展与煤炭市场现状

当前新能源发展呈现技术跨界融合与场景深度渗透的新特征，除传统风电、光伏外，新型储能技术与新能源发电的耦合应用加速落地，如钠离子电池、液流电池等储能技术在新电源电站中的配套率显著提升。2024年国内新建风电、光伏项目储能配套比例已超80%，有效缓解新能源出力波动性问题。新能源在工业领域的应用从电力替代向全产业链延伸，部分钢铁企业通过“光

伏+绿电制氢”模式实现炼钢环节的低碳改造，新能源与高耗能产业的协同发展格局初步形成^[1]。

煤炭市场则进入“功能转型与结构优化”并行阶段，消费端不再单纯追求规模缩减，而是向“保基本、强调节”方向调整。民生用煤与关键工业领域用煤保障机制不断完善，2024年冬季供暖期煤炭储备量较往年提升15%，确保能源供应稳定性。此外，煤炭市场与碳市场的联动性增强，煤炭企业纷纷布局碳捕集、利用与封存（CCUS）项目，2024年国内CCUS项目装机规模突破

5GW，煤炭清洁利用技术与低碳转型政策的结合，使煤炭在能源系统中的角色从“主体能源”逐步向“基础保障能源”过渡，与新能源形成短期互补、长期协同的发展态势^[2]。

二、新能源发展对煤炭市场消费的影响

（一）挤压电力用煤需求，降低煤炭消费总量

在我国煤炭消费结构中，电力用煤占据主导地位，长期以来占煤炭总消费量的50%以上，所以电力领域能源替代对煤炭市场消费的影响最为直接。伴随新能源发电规模的持续变大，其在电力供给中的占比持续提升，直接挤压燃煤发电市场空间，导致电力用煤需求下降最后降低煤炭消费总量^[3]。从实际数据来看，近年来我国新能源发电量快速增长和电力用煤量改变呈现出明显负曲线走向。2021年我国风电、光伏发电量合计较2020年扩大约2000亿千瓦时，同期国家电力用煤量较2020年减少约5000万吨；2022年风电、光伏发电量继续扩大约1600亿千瓦时，电力用煤量进一步减少约3000万吨，另外伴随新能源发电稳定性扩增及储能技术发展，新能源在电力系统中的消纳能力不断强化，日后其对燃煤发电替代效应将更加显著，电力用煤需求仍将维持下降走向持续降低煤炭总消费量。

（二）推动煤炭消费结构调整，优化能源消费配比

新能源发展不但会影响煤炭消费总量，而且还会对煤炭消费结构的调整产生全面影响，促使能源消费配比向更清洁、高效方向改变。传统煤炭消费结构中，电力、钢铁、建材、化工等行业是首要消费领域，多以原煤直接燃烧为主，能源利用效能较低，污染物排放量大，新能源发展经过能源替代和技术升级逐步改变这一格局。在电力领域，新能源发电替代燃煤发电减少电力行业对动力煤需求；在工业领域，新能源电力、绿氢等清洁能源替代煤炭作为能源或原料降低钢铁、化工等行业对炼焦煤、化工用煤依赖。新能源发展也间接推动煤炭清洁利用技术的进步让煤炭消费向高效能、清洁方向转型，循环流化床燃烧、整体煤气化联合循环（IGCC）等清洁燃煤技术应用范围逐步扩大提升煤炭利用效率，减少污染物排放，这种消费结构调整使得煤炭在能源消费中的占比逐步下降，新能源和其他清洁能源占比持续增加，最终势必会促进能源消费结构优化升级目标的实现^[4]。

（三）影响煤炭区域消费分布，重塑区域能源消费格局

新能源资源分布特性和煤炭资源分布存在显著差异，这一差异使得新能源发展对煤炭区域消费分布产生重要影响，将重塑区域能源消费格局。我国煤炭资源主要分布在华北、西北等地区，而新能源资源如风能主要集中在“三北”地区，太阳能在西北、西南地区资源丰富，水能则集中在西南地区。在新能源发展之前，我国形成“西煤东运”“北煤南运”的煤炭运输格局，东部、南部等能源消费大省主要依赖外部煤炭输入。伴随新能源在资源丰富地区的大规模开发，“西电东送”“北电南输”的电力输送格局逐步优化，东部、南部地区经过接收新能源电力减少对外部煤炭需求，从而降低这些地区煤炭消费量^[5]。我国华东地区作为煤炭消费大省集中区域近年来经过特高压输电通道大量接收来自西

北、华北地区的风电、光伏电力，2022年华东地区电力用煤量较2019年下降约15%；南方地区则经过接收西南地区的水电及“三北”地区新能源电力，煤炭消费依赖度显著降低，与此相反，新能源开发较少、煤炭资源丰富的地区，在短期内仍维持一定的煤炭消费规模。但从长远角度来看，伴随新能源跨区域输送能力的提升，这些地区煤炭消费也将受到一定抑制，区域煤炭消费分布将更加均衡合理。

（四）加剧煤炭市场价格波动，影响市场稳定性

新能源发展对煤炭市场价格影响主要体现在改变煤炭供需关系方面，这种影响在短期内可能会加剧煤炭市场价格波动对市场稳定性引发一定冲击。一方面，新能源发电具有间歇性、波动性特点，其出力受自然条件影响较大。比如在新能源大发时段，会大幅挤压燃煤发电空间导致煤炭需求短期高速下降，若煤炭供给调整不及时则会导致煤炭价格下跌；另一方面，新能源发展的长期走向是改变市场对煤炭预期使得煤炭投资减少、产能释放受限，比如在煤炭需求发生阶段性回升时，供需矛盾容易加剧进一步放大煤炭价格波动，从而对煤炭市场稳定性产生影响^[6]。

三、新能源发展与煤炭市场协调发展的实践路径

（一）优化能源供给结构，合理控制煤炭消费规模

优化能源供给结构是实现新能源和煤炭市场协调发展的关键路径，故而需在大力发展新能源的同时，合理控制煤炭消费规模推动二者协同互补。在此过程中相关企业应持续加大新能源开发力度，根据不同区域资源禀赋科学规划风电、光伏、水电、核电等新能源项目布局，进一步提升新能源在能源供给中的占比，到2030年力争实现风电、光伏总装机容量突破1200GW，新能源发电量占比超过30%^[7]。此外还应合理控制煤炭消费总量，严格落实煤炭消费减量替代政策核心压减京津冀、长三角、珠三角等区域煤炭消费，保障能源短缺地区及民生领域合理用煤需求。在此基础上还应加大能源供需平衡调节，经过构建跨区域能源调配机制、完善能源储备体系等形式，缓解新能源间歇性对能源供应影响，防止因新能源高速发展导致煤炭消费过度波动对能源提供的安定稳定性产生影响。

（二）推动煤炭清洁高效利用，提升煤炭利用价值

在新能源尚未全方位替代煤炭过渡时期，推动煤炭清洁高效利用是协调新能源和煤炭市场发展的重要举措，可以进一步提升煤炭利用价值和减少环境污染，为新能源发展争取时间。具体而言应加快煤炭清洁利用技术研发与推广，核心发展超临界二氧化碳发电、低氮燃烧、烟气脱硫脱硝脱汞等先进燃煤技术提升煤炭发电效能，降低污染物排放^[8]。在钢铁、建材、化工等工业领域推广煤炭气化、液化、焦化等清洁转化技术，推动煤炭由燃料向原料和燃料并重转变提升煤炭附加值。与此同时还应加大煤炭质量管控力度，严格约束高硫、高灰分煤炭生产与运用推广运用洗选煤、型煤等洁净煤产品，从源头减少煤炭消费带来的环境问题，经过煤炭清洁高效利用不但可以降低煤炭消费对环境的负面影响，而且还能延长煤炭市场生命周期实现与新能源的平稳衔接。

（三）完善能源市场机制，促进新能源与煤炭公平竞争

完善的能源市场机制是保障新能源和煤炭市场协调发展制度的基础，可以为二者创造公平竞争的市场环境，促进能源资源优化配置目标的实现。一开始相关企业应进一步推进电力市场化改革，加快构建国家统一电力市场体系完善新能源参与电力市场交易机制，推动新能源发电与燃煤发电在同一平台竞争且经过市场价格信号引导新能源和煤炭合理配置。另外还应健全辅助服务市场机制，将储能、调峰等服务纳入市场交易范畴，进一步提升新能源发电调峰能力，降低其对燃煤发电的依赖。在此基础上应深化碳市场建设，扩大碳市场覆盖行业范围逐步提升碳价水平，经过碳定价机制体现煤炭消费环境成本强化新能源市场竞争力，倒逼煤炭企业加大节能降碳改造力度，最终还应完善新能源补贴和退坡机制，逐步实现新能源平价上网，这样则可防止过度依赖补贴对市场公平竞争造成影响，确保新能源和煤炭在公平市场环境中协调发展^[9]。

（四）加强能源系统协同整合，构建综合能源服务体系

加大能源系统协同整合力度，从而构建综合能源服务体系，可以打破新能源和煤炭等传统能源壁垒达成多能源品种互补改良，强化能源系统整体效能促进新能源和煤炭市场协调发展。一方面应推动“源网荷储”一体化发展整合新能源发电、电网、负荷、储能等资源，经过智能化调度和控制实现新能源出力和负荷需求的精准匹配，减少对燃煤发电调峰依赖^[10]。此外还应大力发

展储能技术，推广电化学储能、抽水蓄能、压缩空气储能等多种储能方法，大幅提升新能源电力消纳能力，平抑新能源出力波动对煤炭消费的影响。另一方面应加快构建综合能源服务平台，为用户供给电、热、冷、气等多元化能源供应服务经过能源梯级利用、多能互补等方法，优化新能源和煤炭消费组合在工业园区推广“新能源+燃煤热电联产”模式在满足园区能源需求的同时，降低煤炭消费强度。为了加强能源系统协同整合还应加大能源和信息、交通等领域融合发展推动智慧能源建设，利用大数据、人工智能等技术提升能源系统的智能化水平，促进新能源和煤炭市场动态协调发展。

四、结束语

总之，在新能源快速发展的背景下，煤炭市场的消费规模和结构都发生了明显的改变，但从长远来看，新能源与煤炭并非完全对立、此消彼长的关系，而是也存在互补关系，换言之只有加快新能源技术进步、优化煤炭消费结构，才能实现新能源与煤炭的协调发展，构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系，为“双碳”目标的实现提供有力支撑。由此可见，对新能源发展对煤炭市场消费的影响和协同发展策略等相关内容做出分析与阐述，很有必要。

参考文献

[1] 杨方亮. 新型能源体系建设背景下煤炭产业发展前景分析 [J]. 中国煤炭, 2024, 50(12): 11-24.
[2] 张欣桐, 祖媛, 郭一杉, 等. 能源转型背景下我国煤炭供需安全保障研究 [J]. 开发性金融研究, 2024, (05): 75-85.
[3] 南慧颖. 煤炭产业经济走势及煤炭企业对策 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (18): 91-93.
[4] 程超, 高丹, 张衡, 等. 煤炭与新能源融合发展场景与关键技术 [J]. 中国工程科学, 2024, 26(04): 52-62.
[5] 王轶辰. 煤炭和新能源双增长引发的思考 [N]. 经济日报, 2024-04-11(006).
[6] 王志. 煤炭与新能源协同发展及低碳转型的策略研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (08): 112-114.
[7] 郑德志. 新型能源体系下煤炭功能定位与发展路径研究 [J]. 煤炭经济研究, 2023, 43(12): 36-41.
[8] 崔杰, 张宁, 王文晶, 等. 我国能源及煤炭工业发展趋势分析及展望 [J]. 煤炭经济研究, 2023, 43(12): 50-55.
[9] 袁惊柱. 能源安全新范式下煤炭工业高质量发展思考 [J]. 中国国土资源经济, 2024, 37(10): 12-17+55.
[10] 吉亚梅. “双碳”背景下煤炭行业经济发展的路径思考 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (07): 118-120.

绿色低碳节能建筑中自然通风与机械通风协同控制策略对室内热舒适及能耗影响研究

张露兮

淮北职业技术学院, 安徽 淮北 235000

DOI:10.61369/ETQM.2025110042

摘 要 : 在全球低碳战略与建筑节能需求推动下, 自然通风与机械通风协同控制成为绿色建筑环境调控核心方向。本文结合绿色低碳节能建筑特性, 分析两种通风方式互补优势, 构建“动态感知-分级调控-能效优化”协同控制策略框架, 探究其在不同气候、建筑功能分区下对室内热舒适(PMV-PPD指标、空气龄、气流组织均匀性)与建筑能耗(空调、风机、综合能耗)的影响机制。研究显示, 实时监测室外温湿度、风速及室内热环境参数, 动态调整通风运行模式与参数配比, 可在满足 GB/T 50785-2012 热舒适要求的同时, 降低建筑通风空调系统能耗 15%-25%, 为绿色低碳建筑通风系统设计与运行优化提供理论和实践支持。

关 键 词 : 绿色低碳建筑; 自然通风; 机械通风; 协同控制; 室内热舒适

Research on the Impact of Synergistic Control Strategies for Natural and Mechanical Ventilation on Indoor Thermal Comfort and Energy Consumption in Green, Low-Carbon, and Energy-Efficient Buildings

Zhang Luxi

Huaibei Vocational and Technical College, Huaibei, Anhui 235000

Abstract : Driven by global low-carbon strategies and the demand for building energy efficiency, the synergistic control of natural and mechanical ventilation has become a core direction for environmental regulation in green buildings. This paper analyzes the complementary advantages of these two ventilation methods in the context of green, low-carbon, and energy-efficient buildings. It constructs a synergistic control strategy framework based on "dynamic sensing-hierarchical regulation-energy efficiency optimization" and explores its impact mechanisms on indoor thermal comfort (PMV-PPD indicators, air age, uniformity of airflow distribution) and building energy consumption (air conditioning, fans, and overall energy consumption) under different climatic conditions and building functional zones. The study reveals that real-time monitoring of outdoor temperature, humidity, wind speed, and indoor thermal environment parameters, along with dynamic adjustments to ventilation operation modes and parameter ratios, can meet the thermal comfort requirements specified in GB/T 50785-2012 while reducing the energy consumption of building ventilation and air conditioning systems by 15%-25%. This provides theoretical and practical support for the design and operational optimization of ventilation systems in green, low-carbon buildings.

Keywords : green, low-carbon buildings; natural ventilation; mechanical ventilation; synergistic control; indoor thermal comfort

引言

在全球能源危机与生态环境问题愈发严峻这一大背景之下, 建筑行业因其作为能源消耗以及碳排放的重点领域, 所以其低碳转型理所当然地成为达成“双碳”目标的关键环节。自然通风, 作为一种属于零能耗的环境调控的方式, 能够借助室外自然气流去实现室内空气更新和热环境调节, 但却受到室外气候条件诸如风速、风向、温湿度以及建筑布局等方面的限制, 致使其稳定性与适用性存在不足; 而机械通风尽管可以依靠设备以强制调控气流参数的方式来保障室内环境的稳定性, 然而却需要消耗大量的电能, 这无疑与低碳建筑所

秉持的节能目标存在矛盾之处^[1]。在如此这般的背景下，自然通风与机械通风的协同控制策略由此应运而生，该策略的核心要点就在于通过运用科学的控制逻辑，将两种通风方式所具备的优势加以整合，目的是在满足室内热舒适需求的这样一个前提之下，尽可能最大限度地降低能源消耗。

一、自然通风与机械通风的特性及协同控制基础

（一）自然通风的技术特性与适用边界

自然通风主要是依赖室外自然风压与室内外热压两者所形成的空气压差来驱动气流的流动，它所具有的核心优势在于具备零能耗以及零碳排放的特点，并且还能够引入新鲜的室外空气，从而有效提升室内空气的品质。依据驱动力的不同，自然通风大体上可以区分为风压通风与热压通风这两种类型：风压通风比较适用于室外风速相对稳定处于1.5–3m/s且风向具有一定规律的区域，通过对建筑立面的进风口与出风口精心设计来形成气流通道；热压通风则是巧妙利用室内外空气密度存在的差异例如夏季室内温度高于室外、冬季低于室外这种情况，通过上下通风口去形成垂直的气流，适用于温差相对较大的气候条件之下^[2]。不过，自然通风的性能受到室外环境限制的程度十分显著：要是室外风速低于0.5m/s的时候，就会出现气流驱动力不足的状况，进而无法满足室内通风量所要求通常民用建筑人均所需新风量为30m³/h；当室外温度过高比如在夏季超过30℃或者过低冬季低于5℃的时候，自然通风将会导致室内热环境出现恶化的情况，使得空调系统的负荷有所增加；除此之外，室外空气质量像是PM2.5浓度、污染物含量等因素同样也会对自然通风的使用造成限制。

（二）机械通风的技术特性与能耗瓶颈

机械通风通过风机、风道、空气处理设备等组成的系统，强制控制气流的流量、温度、湿度与洁净度，其核心优势在于稳定性强、调控精度高，可在复杂气候条件下保障室内环境品质^[3]。根据功能需求，机械通风可分为全空气系统、空气–水系统与局部排风系统：全空气系统适用于大型公共建筑（如商场、写字楼），可实现全空间的气流调控；空气–水系统结合了空气处理与水系统换热优势，能耗低于全空气系统；局部排风系统则针对厨房、卫生间等污染集中区域，实现定向空气净化。但机械通风的能耗问题突出：风机运行能耗占通风系统总能耗的60%–70%，尤其在全空气系统中，为满足大空间气流组织需求，风机需维持较高风压与风量，能耗显著；此外，空气处理设备（如加热器、加湿器、过滤器）的运行也会增加能源消耗。

（三）协同控制的核心逻辑与技术基础

自然通风跟机械通风所进行的协同控制，绝非那种简单认定为的“自然通风优先”抑或“机械通风补充”，而实际上是一种以室内外众多参数相互耦合起来的动态调控之类的过程，其核心的逻辑重点便在于“依据实际需求分配且发挥优势彼此互补”：一旦室外的气候条件处于适宜状态（就像温度处在18–26℃这个区间、风速在1–2.5m/s范围、PM2.5浓度低于50μg/m³等情形）的时候，主要便以自然通风的方式为主，此时机械通风会处在待机或者低负荷运行状态，从而借助自然能源来达成室内的需求；然而当室外条件超越了自然通风所适用的边界情况时，机械通风会依照室内热环境的实际需求，对其运行参数进行动态地调整，

并且与此同时，通过对气流组织展开优化工作，辅助自然通风提升通风效果（比如借助机械通风来增强室内外的压差，以此强化自然气流的流动等）^[4]。说到实现协同控制所依赖的技术基础，总共涵盖三个主要方面：其一为参数感知系统，该系统借助部署在室外的温湿度传感器、风速风向传感器以及空气质量传感器，还有部署在室内的热舒适传感器（诸如PMV传感器、空气龄传感器等）以及CO₂浓度传感器，实时对环境参数展开采集工作，以便为控制决策提供必需的数据支撑；其二是控制算法，此算法基于机器学习或者模糊控制理论，构建起一种“室外参数–室内需求–通风模式”之间的映射模型，进而实现通风方式能够自动进行切换以及参数得以优化；其三为执行系统，这其中包含可调节外窗（例如电动百叶窗、呼吸式幕墙之类）、变频风机、可调式风道阀门等设备，用来确保控制策略可以精准地得到执行。

二、自然通风与机械通风协同控制策略构建

基于绿色低碳节能建筑所具备的技术需求，同时结合不同的气候条件以及建筑功能所具有的特性，本文构建起一种“动态感知–分级调控–能效优化”这样的三级协同控制策略，以此来达成两种通风方式能够实现精准的协同。

（一）动态感知层

在这个三级协同控制策略当中，首先动态感知层乃是协同控制的重要基础，此层需要实现对室内外环境参数进行全面且实时的采集工作，其中核心感知参数涵盖：于室外参数方面，有温度（其精度达到±0.5℃）、湿度（精度为±3%RH）、风速（精度为±0.1m/s）、风向（精度是±5°）、PM2.5浓度（精度±5μg/m³）、CO₂浓度（精度±50ppm）；在室内参数方面，则有热舒适指标（即PMV值、PPD值）、空气龄（精度±0.5s）、气流速度（精度±0.1m/s）、温度分布均匀性（要求室内最大温差需≤2℃）、CO₂浓度（其控制目标为≤1000ppm）、相对湿度（控制目标设定在40%–60%）。室外的传感器被安装在建筑屋顶或者立面没有遮挡的区域，目的是避免阳光直接照射以及局部气流对其产生干扰；而室内的传感器则按照功能分区进行布置，就像办公区域每50m²部署1个PMV传感器，对于人员较为密集的区域（例如会议室），会增加CO₂浓度传感器的布置密度。传感器所采集到的数据，通过物联网（IoT）平台实时传输到控制中心，数据的更新频率设定为1–5min/次，以此来确保控制决策具有时效性^[5]。

（二）分级调控层

根据我国《民用建筑热工设计规范》（GB 50176–2016）的气候分区，结合室外参数与室内热舒适需求，将协同控制分为三个等级以实现通风模式的动态切换。其中，一级协同（自然通风主导模式）的适用条件为室外温度18–26℃、相对湿度40%–60%、风速1–2.5m/s、PM2.5浓度≤50μg/m³，且室内PMV值处于–0.5–0.5（热舒适范围），其控制策略为开启可调节外窗（开

启度50%–100%），利用风压与热压实现自然通风，机械通风系统处于待机状态，仅开启局部排风（如卫生间排风），风机频率维持在30Hz（低负荷运行），并通过调节外窗开启度与开启位置优化气流组织，确保室内空气龄 $\leq 10s$ ， CO_2 浓度 $\leq 800ppm$ ，该模式下通风系统能耗主要来自局部排风风机，单位面积能耗可控制在 $1\text{--}3kWh/(m^2 \cdot \text{月})$ ，较纯机械通风降低80%以上。二级协同（自然通风与机械通风互补模式）适用条件为室外温度超出一级协同范围（如夏季 $26\text{--}30^\circ C$ 、冬季 $10\text{--}18^\circ C$ ），或风速 $0.5\text{--}1m/s$ 、 $PM_{2.5}$ 浓度 $50\text{--}100\mu g/m^3$ ，室内PMV值偏离热舒适范围（ $-1\text{--}-0.5$ 或 $0.5\text{--}1$ ），控制策略为自然通风与机械通风协同运行，通过机械通风参数调整弥补自然通风不足，夏季开启外窗（开启度30%–50%）引入室外气流，同时启动机械通风系统的新风预处理功能（如间接蒸发冷却），将新风温度降至 $26^\circ C$ 以下后送入室内，风机频率维持在 $40\text{--}50Hz$ ，冬季开启外窗（开启度20%–30%）引入新鲜空气，机械通风系统开启加热功能，将新风温度升至 $18^\circ C$ 以上，同时利用室内回风（回风率60%–70%）降低加热能耗，此外还通过机械通风的气流组织优化（如侧送下回、顶送下回）增强自然气流的扩散效果，确保室内温度分布均匀性 $\leq 1.5^\circ C$ ，该模式下通风系统单位面积能耗约为 $8\text{--}12kWh/(m^2 \cdot \text{月})$ ，较纯机械通风降低30%–40%。三级协同（机械通风主导模式）适用条件为室外温度极端（夏季 $> 30^\circ C$ 、冬季 $< 10^\circ C$ ），或风速 $< 0.5m/s$ 、 $PM_{2.5}$ 浓度 $> 100\mu g/m^3$ ，室内PMV值严重偏离热舒适范围（ < -1 或 > 1 ），控制策略为关闭外窗，以机械通风为主导，自然通风停止运行，机械通风系统根据室内热需求调整参数。

（三）能效优化层

为确保协同控制策略的长期节能效果，需建立全周期能耗监控与反馈机制，其中能耗监控环节通过建筑能源管理系统（BEMS），实时监测通风系统的风机能耗、空气处理设备能耗，以及空调系统的联动能耗（如自然通风对空调负荷的削减量），形成能耗数据库；能效评估环节则基于能耗数据，计算通风系统的能效比（EER，即单位能耗提供的通风量），明确一级协同模式下EER应 $\geq 5m^3/(h \cdot W)$ 、二级协同 $\geq 3m^3/(h \cdot W)$ 、三级协同 $\geq 2m^3/(h \cdot W)$ 的目标要求，若监测数据显示EER低于对应目标值，系统将自动触发参数调整（如优化风机频率、调整外窗开启度）；反馈优化环节进一步利用机器学习算法，依托历史数据（如不同季节、不同时段的能耗与热舒适数据），对协同控制的参数阈值（如一级协同的温度范围、二级协同的风机频率区间）进行动态优化，以此提升策略对不同工况的适应性与整体节能效果。

三、协同控制策略对室内热舒适与能耗的影响分析

（一）对室内热舒适的影响

室内热舒适是建筑环境调控的核心目标，本文结合PMV–

PPD指标、空气龄与温度分布均匀性分析协同控制策略的影响。依据GB/T 50785–2012标准，PMV需处于 $-0.5\text{--}0.5$ 且 $PPD \leq 10\%$ ，一级协同模式下自然通风结合气流优化使PMV稳定在 $-0.3\text{--}0.3$ 、 $PPD \leq 5\%$ ，二级协同模式机械通风预处理新风可调整PMV至达标范围、PPD控制在8%–10%，三级协同模式机械精准调控保障指标达标并控湿提升舒适度。空气龄通常要求 $\leq 15s$ ，一级协同穿堂风将其降至8–10s且 $CO_2 \leq 800ppm$ ，二级协同结合强制气流维持在10–12s、 $CO_2 \leq 900ppm$ ，三级协同全空气过滤确保空气龄达标且 $PM_{2.5} \leq 35\mu g/m^3$ 。温度分布上，一级协同调外窗使温差 $\leq 1.5^\circ C$ ，二级协同结合送风方式控温差 $\leq 2^\circ C$ ，三级协同精准送风让温差 $\leq 1^\circ C$ ，保障全空间舒适。

（二）对建筑能耗的影响

协同控制策略凭借其具备的一系列独特功能和所达成的多方面显著效果，对建筑能耗产生至关重要的影响，如在面对传统机械通风系统全年能耗维持在约 $210kWh/m^2$ 的情况下，通过该策略却能够将其成功降至 $150kWh/m^2$ ，实现降幅达28.6%的可观成绩，这其中，风机能耗下降幅度为35%、空气处理设备能耗下降20%，一级、二级、三级协同模式能耗分别是15、90、 $45kWh/m^2$ ；不仅如此，自然通风在协同控制策略的作用下，还可以对空调负荷进行有效削减，在夏季，二级协同模式中空调逐时冷负荷能够下降20%–25%，而在极端高温的条件下，三级协同新风处理负荷会下降15%；冬季时，二级协同模式的空调制热负荷下降18%–22%；从案例数据来看，传统系统全年通风与空调综合能耗高达 $450kWh/m^2$ ，经协同控制策略调整后降至 $320kWh/m^2$ ，降幅28.9%，具体到季节，夏季空调能耗下降30%、冬季下降25%。

四、结论

协同控制策略借助三级模式进行动态切换这一独特方式，从而达到对不同气候以及室内需求精准匹配之目的，实现热舒适与能耗之间的平衡；其中一级模式旨在满足温和气候下零能耗通风需求，使得PMV稳定处于 $-0.3\text{--}0.3$ 这一区间，能耗仅仅只有传统系统的20%；二级模式主要用来弥补过渡季节自然通风所存在的缺陷，将PPD控制在8%–10%，能耗降低30%–40%；三级模式则能够保障极端气候环境下的稳定性，能耗下降15%–20%；不仅如此，该策略还从多个维度对室内热舒适进行改善，优化PMV–PPD指标，降低空气龄直至8–10s，提升温度均匀性至最大温差 $\leq 1.5^\circ C$ ，并对 CO_2 与 $PM_{2.5}$ 浓度加以有效控制；并且在能耗降低方面，该策略能够实现通风空调综合能耗降低28%以上，风机能耗下降35%，空调负荷削减20%–30%，为绿色低碳建筑通风优化开拓出一条具备可行性的路径。

参考文献

- [1] 黄杰超. 绿色低碳建筑理念在高层建筑设计中的运用分析[J]. 新基建科技, 2025, 34(02): 37–39.
- [2] 刘晓宇. 规划方案阶段建筑正向自然通风设计思路[J]. 安徽建筑, 2025, 32(02): 86–88.
- [3] 张振宇. 绿色低碳建筑理念在高层建筑设计中运用分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (09): 135–137.
- [4] 杨骞. 浅谈我国发展绿色低碳建筑的意义及建议[J]. 智能城市, 2017, 3(01): 273.
- [5] 余励飞. 绿色低碳建筑全寿命周期技术经济评价方法与应用研究[D]. 浙江工业大学, 2016.

生物检测技术在食品检测中的应用

张涛, 刘琛琛

青岛市华测检测技术有限公司, 山东 青岛 266000

DOI:10.61369/ETQM.2025110013

摘 要 : 食品安全是全球瞩目的重大公共卫生事项。传统检测途径在灵敏度、及时性和多指标检测能力上存在局限。生物检测技术借助其高特异性、快速响应以及多参数分析的能力, 成为食品检测行业的核心技术。本文对 CRISPR-Cas 系统、生物传感器、免疫分析、近红外光谱等生物检测技术的原理与应用进行了系统梳理, 结合当下最新的研究进展, 探索其在食源性病原菌、农药残留、转基因成分等检测中的优势, 最后对生物检测技术在食品检测中技术瓶颈和发展方向进行总结, 以期为相关人士提供参考。

关 键 词 : 生物检测技术; CRISPR 技术; 生物传感器; 免疫分析

Application of Biological Detection Technology in Food Testing

Zhang Tao, Liu Chenchen

Qingdao Centech Testing Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266000

Abstract : Food safety is a major public health issue of global concern. Traditional detection methods have limitations in terms of sensitivity, timeliness, and multi-index detection capabilities. Biological detection technology has become a core technology in the food testing industry due to its high specificity, rapid response, and multi-parameter analysis capabilities. This article systematically combs through the principles and applications of biological detection technologies such as the CRISPR-Cas system, biosensors, immunoassays, and near-infrared spectroscopy. Combined with the latest research progress, it explores their advantages in the detection of foodborne pathogens, pesticide residues, genetically modified components, etc. Finally, it summarizes the technical bottlenecks and development directions of biological detection technologies in food testing, aiming to provide reference for relevant personnel.

Keywords : biological detection technology; CRISPR technology; biosensors; immunoassays

引言

食品安全关乎人类健康、社会稳定。全球每年受食源性疾病影响, 数亿人患病, 经济损失高达数千亿美元。诸如色谱法、质谱法之类的传统检测方法, 虽精度较高, 但存在操作繁杂、周期久、成本大等弊端, 满足新时代对食品检测流程中快速筛查的需求。生物检测技术凭借生物分子识别原理, 与纳米材料、微流控等技术相联合, 实现对食品中有害物质的高灵敏度、高通量检测。CRISPR-Cas 系统、生物传感器、免疫层析等技术的突破, 助力食品检测向精准化、智能化方向前行。

一、核心生物检测技术及其应用

(一) CRISPR-Cas 系统结构: 下一个阶段的分子诊断技术

CRISPR-Cas 体系凭借其强大的可编辑性, 已逐渐成为当前的研究热点。东北农业大学课题组总结了 CRISPR-Cas 与恒温放大技术的联合研究成果, 例如 Cas12a 可通过剪切单链 DNA 实现信号放大, 检出限能达到 0.1 CFU/mL; 彭汉勇等人开发的 RNA 活化 CRISPR-Cas12a 基因工程技术, 借助在金纳米粒表面的自组装, 实现了对活细胞中微小 RNA 的实时动态成像, 检测灵敏度达 200 pM; 山东大学研究人员则在不依赖 PCR 的情况下, 将 CRISPR-Cas10 与石墨烯结合, 实现了 aM 级别的核酸检测, 并

成功应用于乳腺癌标记物 miRNA-155 的筛选^[1]。

(二) 生物传感器: 从实验室过渡到现场的跨越

生物传感器通过将生物识别单元与传感单元有机结合, 能够实现对被测物质的快速探测。其中, 采用核酸适体构建的电化学传感技术, 可对黄曲霉毒素 B1 进行快速、灵敏的分析。以 Bruker MATRIX-F 光谱仪为例, 采用透光模式对 32 个样品进行扫描, 并结合 PDMS (聚二甲基硅氧烷), 可实现对肉品新鲜度的实时检测, 新鲜度预报准确率达 95%^[2]。

(三) 免疫分析技术: 多重检测达成新突破

因具有高特异性, 免疫分析技术目前已被广泛应用于食品检验领域。北检研究院采用 ELISA 法的测定结果显示, 该方法检

出限为0.1ng/mL，交叉反应率低于 5%，适用于检测牛奶中的抗生素残留。NELISA 是西华大学研发的一种基于纳米通道的新型 ELISA 方法，其灵敏度可达0.03fg/mL，能够同时测定6种肿瘤标记物，且准确性达到100%^[3]。

（四）宏基因组测序：病原检测借助“卫星扫描”

宏基因组测序不需要预先确定靶标，可同时检测20000余种病原体，在混合侵染及不明病原体识别方面具有显著优势。例如，一名重症监护室患者通过宏基因组测序技术，仅用一天就明确了肺炎克雷伯菌与 CMV 的复合感染，诊断速度较常规培养快6天。此外，相较于 PCR 方法，该技术在检测猴痘突变体时的有效性提升了3倍，为疾病的预防与控制奠定了重要基础。

二、技术对比与优势分析

（一）传统方法与生物检测技术的性能差异（见表1）

表1 传统方法与生物检测技术的性能差异对比表

指标	传统方法（培养法 / PCR）	生物检测技术（CRISPR/宏基因组）
检测周期	3天 -8周	24小时内
覆盖范围	已知可培养病原（<1%）	全病原扫描（细菌 / 病毒 / 真菌）
灵敏度	10 ³ -10 ⁴ CFU/mL	单分子级别
成本	高（设备 / 试剂）	中（高通量降低单样成本）

（二）方法学创新：从单一检测步入多模态集成

生物检测技术借助多学科之间交叉实现性能突破。CRISPR-Cas12a 纳米机器把金纳米颗粒的信号放大效应和 Mg²⁺ 离子局部富集技术整合起来，在活细胞的低 Mg²⁺ 环境里依然维持高切割活性；山东大学团队把 CRISPR 的分子识别能力与石墨烯场效应晶体管高灵敏度融合在一起，实现无标记、非扩增的核酸检测，检测限跟传统 PCR 的检测限比，降低1000倍^[4]。

三、典型应用案例与数据支持

（一）肉类掺假检测

在肉类市场里，掺假行为损害的不只是消费者权益，更大概率引发食品安全方面的问题。近红外光谱技术借由其快速、无破坏作用的特性，变成肉类掺假检测的关键手段，该技术核心原理是借助分析肉类中 C-H、O-H 等特征基团的振动频率差异，构造物质成分的光谱指纹图谱。要是猪肉中掺入了牛肉或植物蛋白时，这些基团的振动模式会出现按规律的变化，依托偏最小二乘回归模型对光谱数据进行解析，能精确识别出掺假成分。实验得出的数据说明，一旦掺假比例≥5%的时候，该技术的识别精准率稳定在98%以上，完全符合市场监管的要求。

某大型屠宰场的应用事例充分凸显了技术革新的价值。以往的肉品掺假检验依赖化学方法，步骤十分复杂，每日抽检量通常在 150 个以内；而引进金标免疫色谱与光谱联合法后，这家屠宰厂的检验方法实现了质的飞跃。该方法借助抗原与抗体的亲和作用产生的显色反应，完成对目标物的初步筛选和准确定量测定，

二者协同构建起“初步筛选 - 确认”的快速检测系统^[5]。在此基础上，每日可检验 2000 个样品，工作效率提升 15 倍，检验费用节省 30%，为我国市场环境的保护提供了新的思路。

（二）乳制品抗生素残留筛查

乳品作为高附加值产品，其安全性与公共卫生问题密切相关，而抗生素残留是其中亟需解决的重大风险。长期摄入含抗生素的乳制品，会导致人体肠道微生态失衡并产生抗药性，8通道离子色谱技术为解决这一问题奠定了基础。

8通道离子色谱技术借助离子交换原理来分离样品里的抗生素成分，跟紫外或质谱检测器结合以达成精准定量，其突出的创新点为8通道并行检测设计，可同时对四环素类、磺胺类、喹诺酮类等32种平常多见的抗生素进行分析，检测的最低限度降至0.001mg/kg，大幅低于欧盟 EC/657 标准规定的极限值。某家乳制品企业采用该技术后，构筑了原料奶全流程检测体系，能够在原料检验环节精准拦截不合格产品^[6]。某企业利用这项技术，已成功拦截 12 吨含抗生素的原料奶，避免了不合格原料进入生产环节引发批量性质量问题，直接减少经济损失超 2000 万元，同时也稳固了品牌的市场信誉。

（三）农产品毒素检测

农产品在储存与加工期间易遭真菌毒素污染，其中黄曲霉毒素 B1 具备强致癌性及高毒性，对花生、玉米等作物的安全构成极大威胁。DNA 适配体的电化学传感器为黄曲霉毒素 B1 检测带来了极具革命性的突破，该传感器借助适配体和黄曲霉毒素的特异性结合，依靠电化学信号变化实现超灵敏检测，检测限实现了0.804fg/mL，比传统高效液相色谱（HPLC）法的灵敏度提高了10⁶倍，单个样本检测可在10分钟内完成^[6]。

基于 Nb-C 复合结构的新型双模态传感器，为实现在线检测提供了一种全新方法。该传感器通过特异性分子与有毒物质的结合，可产生变色和信号增强的双响应：无需借助任何仪器时，仅凭肉眼观察颜色变化就能实现定性判断；若配合便携式荧光探测器，则可得出定量结果，且测量误差能控制在 5% 以内。这种“可视化 + 高准确性”的监测模式，尤其适用于花生仓库、玉米加工车间等场所的现场监测，显著提升了对有毒物质的监测与预警能力^[7]。

四、挑战与未来趋势

（一）技术瓶颈

食品检测技术发展依旧面临多种技术瓶颈，在一定程度上制约了其在复杂场景中的应用效能。首先面临的问题是基体扰动。在复杂的食物基体中，高脂、高蛋白成分会对分析结果产生显著影响。例如，在肉类分析过程中，油脂的存在可能会封装待测物质中的酶类，从而降低其催化活性；蛋白质样本则可能与待测物质发生非特异性相互作用，进而导致虚假结果。因此，亟需开发更有效的方法来抑制或消除这些干扰。

标准化问题也亟待处理，由于不同检测手段的工作机理存在差异，其检测数据的可比性较弱。例如，对同一批次乳制品分别

采用免疫层析法与 HPLC 法测定时,误差可能超过 20%。这一问题对我国食品安全构成了较大影响,因此亟需建立一套涵盖样品前处理、仪器操作及数据分析的完整标准体系,并研发能确保检验结果可追溯性与一致性的标准品^[8]。

成本把控是技术产业化的关键阻碍,以 CRISPR 技术为例,其相关尖端检测仪器因主要原料依赖进口、生产流程繁琐,单机价格动辄数十万元,难以在中小型食品企业推广应用。因此,需要通过改进微纳工艺来降低生产成本,推动该技术实现更高层次的应用。

（二）发展方向

智能化集成是食品检测技术的关键发展方向,它的核心是借助技术融合达成全流程的自动化。微流控芯片跟 AI 算法的联合,正重塑检测范式,芯片集成了样品预处理、反应、检测等功能模块,结合 AI 算法对检测信号进行实时分析,能实现“样本进-结果出”的闭环式流程操作。风途科技研发的 FT-KSS 检测仪堪称典型案例,该设备借助轨道式传输系统达成样本自动加载,内置的机器学习算法可自主识别异常信号然后校准,10 分钟内即可达成从采样到检测报告生成的全流程数字化管理,与传统方法对比,检测效率提升 8 倍,人力成本降低达 60%^[9]。

多技术联合运用将进一步冲破检测性能的极限,CRISPR-Cas 系统跟等温扩增技术的融合,能在常温条件下达成目标核酸的指数式扩增与特异性识别,检测灵敏度提升至单个分子水平;纳

米材料引入后赋予系统更强的信号放大能力,像金纳米颗粒的局域表面等离子体共振效应能把荧光信号增强至 100 倍以上,这种多技术协同的模式对低丰度污染物的超灵敏检测尤为适用,为食品安全风险的早期预警给予技术支持^[10]。

便携化及家用化趋势正让食品检测步入日常生活,石墨烯传感器凭借自身超高的电子传导性与表面吸附能力,可实现对微量毒素的迅速反应,制得的检测试纸条成本仅需几块钱,检测时间缩短到 3 分钟时长;免疫层析技术的小型化催生出了家用食品检测试剂盒产品,消费者只需滴下样品,依靠显色条带就能判断是否存在超标污染物,此“随手可检”的模式会推动食品安全监管从被动处理往主动预防转变,创建全民参与的食品安全防护架构。

五、结束语

综上所述,生物检测技术在食品检测领域的应用中,分子识别与信号放大技术的结合发挥了重要作用,使其在快速、高灵敏、高精度检测等方面得到广泛应用。其中,CRISPR-Cas 体系的可编辑性、生物传感器的实时监测能力以及免疫分析的高通量特点,共同为食品安全提供了多重保护支持。随着纳米技术和人工智能在生物检验领域的深入应用,食品检验将朝着“精准、快速、普惠”的方向发展,为我国粮食安全管理提供坚实的技术支撑。

参考文献

[1] 宋芳. 生物检测技术在食品检测中的应用问题及改进建议 [J]. 食品安全导刊, 2025(14): 160-162.
[2] 邓茂. 微生物检测技术在食品检测中的应用研究 [J]. 现代食品, 2024, 30(4): 15-17.
[3] 杨情学. 探讨生物检测技术在食品检测中的应用 [J]. 中外食品工业, 2024(8): 58-60.
[4] 公民. 生物检测技术在食品检测中的应用研究 [J]. 食品安全导刊, 2023(29): 186-188192.
[5] 高庚渠. 基于 PCR 技术的食品微生物安全检测方法研究 [J]. 食品安全导刊, 2025(16): 130-132.
[6] 张蕾. 微生物检测技术在食品安全管理中的应用 [J]. 中国食品工业, 2025(3): 75-77.
[7] 孙宏娟. 生物检测技术在食品检测中的应用 [J]. 现代食品, 2025, 31(1): 101-103110.
[8] 王佳慧, 陈丽萍, 郑海伟, 李杨. 食品微生物检测技术在餐饮行业中的应用 [J]. 食品安全导刊, 2025(6): 132-134.
[9] 李广珍. 微生物检测技术在食品安全检验中的运用研究 [J]. 食品安全导刊, 2025(6): 103-105.
[10] 李毅. 生物传感技术在食品农药残留检测中的应用分析 [J]. 食品安全导刊, 2025(7): 147-149.

分析道路桥梁维修与加固施工技术

毛远东

广东能达公路养护股份有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025110028

摘 要： 道路桥梁工程在长期运营中，受荷载、环境等因素影响，易出现结构变形、裂缝、承载力下降及材料剥蚀等典型病害，严重威胁通行安全与结构耐久性。文章分析了包括承载力监测管理、钢筋锈蚀修复、裂缝综合治理、粘贴钢板加固、增补基桩以及路基沉降修复在内的多项关键维修加固技术措施。通过科学评估与针对性治理，这些技术能有效恢复和提升道路桥梁的结构性能，保障其长期安全稳定运行，对延长工程寿命、优化全周期养护成本具有重要意义。

关 键 词： 道路桥梁；维修与加固；施工技术

Analysis of Construction Techniques for Maintenance and Reinforcement of Road and Bridge Structures

Mao Yuandong

Guangdong Nengda Highway Maintenance Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： During long-term operation, road and bridge structures are susceptible to typical defects such as structural deformation, cracks, reduced load-bearing capacity, and material erosion due to factors like loading and environmental conditions. These issues pose significant threats to traffic safety and structural durability. This paper analyzes several key maintenance and reinforcement techniques, including load-bearing capacity monitoring and management, steel bar corrosion repair, comprehensive crack treatment, steel plate bonding reinforcement, supplementary pile installation, and subgrade settlement repair. Through scientific assessment and targeted interventions, these techniques can effectively restore and enhance the structural performance of road and bridge structures, ensuring their long-term safe and stable operation. They are of great significance in extending the service life of the structures and optimizing the lifecycle maintenance costs.

Keywords： Road and bridge; maintenance and reinforcement; construction techniques

引言

道路桥梁作为交通网络的枢纽工程，其安全与耐久性直接关系到经济社会运行的效率与安全。然而，在自然侵蚀、交通荷载及材料老化等多重因素持续作用下，工程结构不可避免会出现各类病害。这些病害不仅影响行车舒适性，更会削弱结构整体性与承载能力，构成潜在安全隐患。文章旨在系统阐述道路桥梁工程病害处理的紧迫性，分析常见病害的特征与危害，并梳理总结当前行之有效的维修加固技术体系，为提升工程养护水平、确保结构长效安全提供理论参考与实践指导。

一、对道路桥梁工程病害进行处理的必要性分析

（一）保障车辆通行安全与舒适性

道路桥梁在建成并投入运营之后，长期承受交通荷载、自然环境侵蚀等多种外部因素的综合作用，容易引发各类结构性或功能性病害。这些病害不仅损害工程的外观形象，更会削弱其服务性能，导致行车舒适度下降，甚至威胁到通行安全。若不能及时加以干预，将难以维持车辆高效、平稳的运行条件，进而制约交通运输系统的整体效能提升，影响区域经济的协调发展。因此，为保障道路桥梁的服务水平，确保行车安全顺畅，必须对出现的

各类病害进行科学、及时的修复与加固。

（二）提升道路与桥梁工程的结构稳固性与安全耐久度

在道路与桥梁工程的长期使用过程中，常常会出现裂缝、结构变形以及基础不均匀沉降等多种常见病害。这些缺陷不仅削弱了工程的整体承载能力，还会显著影响其正常服务状态，对结构的安全性及耐久性构成潜在威胁。若不能及时识别和处理，局部损伤可能进一步扩展，甚至诱发严重的交通安全事件，危及行车安全。因此，在处理上述病害时，必须从工程全寿命周期和整体性能的角度出发，系统评估其对道路桥梁服务功能所产生的综合影响。不同的病害类型会以不同方式干扰车辆的安全、平稳通

行,因此深入探究各类病害产生的内在机理和诱因至关重要。在明确成因的基础上,才能有针对性地制定科学合理、具备操作性的维修加固方案,从而有效提升道路桥梁工程的结构稳定性和长期运行可靠性^[1]。

二、道路桥梁工程项目常见维修养护问题分析

(一) 桥梁结构变形与裂缝类病害的成因及影响

在外部环境物理作用与化学腐蚀的共同影响下,道路桥梁在运营期间容易产生多种结构性损伤。这类损伤可分布于桥面系、梁板底部及桥台等多个关键部位,表现形式多样。例如,桥台若发生不均匀沉降,将直接导致桥面纵坡改变,形成明显倾斜;而主梁或桥面板出现变形时,会使行车产生颠簸甚至“跳车”效应,严重影响行车舒适性与安全。此外,防撞栏杆等附属结构的变形,也会削弱其设计的防护性能,增加事故风险。随着时间推移,桥梁在长期荷载、温度变化及材料劣化等外力持续作用下,会逐渐进入老化阶段。混凝土结构因抗拉能力不足,易在应力集中区域产生裂缝,尤其在桥台、梁体连接处更为常见。裂缝的出现不仅削弱截面刚度,还会加速钢筋锈蚀,导致结构整体承载力下降,从而对整座桥梁的长期安全构成显著威胁。

(二) 桥梁结构承载性能的衰减

通常情况下,桥梁工程的建设工期较为漫长,在持续经受自然风化、温度变化及日常荷载的长期影响后,其主体结构的材料性能与力学指标会逐步弱化,从而导致整体承载能力出现不同程度的下滑。在建成并投入运营之后,桥梁还需长期承受车辆、行人等动态荷载以及雨雪侵蚀、冻融循环等环境因素的交互作用,这些持续的外部影响会进一步加剧结构疲劳与材料损伤,致使承载力逐渐降低。若不及时进行检测与维护,将直接影响桥梁的耐久性与安全储备,进而对通行安全构成潜在威胁^[2]。

(三) 表层材料的剥蚀与损伤

道路桥梁的表面防护层和外观质量往往容易受到外界环境的侵蚀,一旦其表层出现剥蚀类损伤,通常意味着结构病害已进入较为明显的发展阶段。此类剥蚀破坏具有多种形态特征,常见的有混凝土表面起皮、饰面材料脱落、保护层剥离等。这些现象本质上是材料在长期日晒、雨淋、冻融及化学腐蚀等自然因素作用下性能退化的直观体现。随着剥蚀范围扩大和程度加深,不仅削弱了结构对外界侵害的防御能力,还会进一步引发钢筋锈蚀、截面减小等深层问题,严重影响桥梁的耐久性与安全状态。若不能及时采取修复措施,将显著缩短工程使用寿命,增加后期维护成本,并对交通运营和工程效益造成持续负面影响。

三、道路桥梁维修与加固施工措施分析

(一) 加强桥梁承载力监测与维护措施

当前,不少地区的道路桥梁未设置规范的限速与载重限制标识,导致车辆在通行时缺乏有效引导,可能对桥梁结构产生超出设计范围的动态荷载,进而影响其长期承载力。为系统提升桥梁

运营安全水平,建议根据不同路段的实际承载能力,科学设置车速限制、轴重要求及超载管控标志,实现对桥梁使用条件的精细化管理。这种做法不仅有助于从源头上控制荷载效应,也能显著延长桥面结构的使用年限。对于已出现局部损伤或由于交通事故导致桥面破损的情况,应及时组织专业维修队伍进行修复处理,并在修复区域增设醒目的警示标识,避免二次损坏发生。桥梁的承载能力直接关系到整体结构的耐久性与安全性,一旦长期处于超负荷状态,极易引发结构性损伤,威胁交通安全。因此,科学提升桥梁的承载裕度与使用管理水平,不仅能保障交通畅通与安全,也可有效降低后期频繁维护的需求,从而节约全寿命周期的养护成本^[3]。

(二) 钢筋锈蚀修复与结构加固方法

在开展桥梁工程修复作业前,施工单位需首先调阅并复核原结构设计图纸,结合桥梁实际运营条件与环境特征,系统分析导致钢筋锈蚀的主导因素。作为桥梁结构的核心承重材料,钢筋的力学性能直接关系到整体安全,因此在锈蚀处理过程中,必须对已暴露的钢筋进行强度抽样检测。通过屈服强度计算公式 $\sigma = F/S$,可定量评估锈蚀钢筋是否仍满足原设计承载力要求,从而判断是否因初期防护不足或材料劣化引发锈蚀问题。针对锈蚀部位,施工人员应首先采用机械或化学方式清除钢筋表面的锈迹与附着物,恢复其基本轮廓,再根据现场湿度、盐度等环境条件,选用适宜的防锈涂层进行封闭保护,以阻断进一步腐蚀的途径。对锈蚀严重、截面损失显著的钢筋构件,则需进行局部或整体更换,确保修复后的结构恢复设计承载能力。通过上述综合治理手段,不仅能有效遏制钢筋继续锈蚀,还可显著提升桥梁耐久性能,延长其服役周期。

(三) 桥梁裂缝的综合治理策略

桥梁结构出现的裂缝若得不到及时有效治理,将可能进一步扩展并诱发更严重的结构性损伤,最终影响整体使用安全。当前常用的裂缝修复技术主要包括表面封闭法、注浆填充法及混凝土修复等多种工艺,合理运用这些方法可有效抑制裂缝发展并恢复截面整体性。以表面处理技术为例,该方法一般适用于宽度较小的非结构性裂缝,施工时先在裂缝表面清理基面,再涂刷专用密封材料或柔性防水涂层,形成连续防护膜,从而阻止水分和侵蚀介质渗入,实现防水与防护双重效果。在实际工程中,技术人员需根据裂缝宽度、深度及成因进行判别选型。对于宽度较大或较为活跃的裂缝,仅采用表面处理往往难以满足长期耐久性要求,此时需结合压力注浆工艺,将低粘度环氧树脂或高分子浆液注入裂缝内部,使其重新粘结为整体,恢复结构传力性能。通过分级、分工艺的针对性治理,可显著提升裂缝修复的可靠性与长效性,保障桥梁安全运行^[4]。

(四) 粘贴钢板加固施工工艺

在具体操作中,施工团队需首先依据工程设计图纸,并紧密结合施工现场的实际情况,精确标定出需要粘贴钢板的区域范围。随后,对该区域内的混凝土表面进行开槽处理,使用专业打磨设备将预定粘结位置的表层水泥浆体去除,形成一个既平整又具备一定粗糙度的结合面,之后采用钢丝刷进行拉毛处理,以增

强粘结力。对于预应力钢绞线区域，需进行精准的钻孔和缝隙清理作业。同时，对准备粘贴的钢板接触面进行除锈、打磨等预处理，确保其达到粘结要求。接着定位并安装固定用的锚栓，按要求配制混合结构胶粘剂，并将其均匀涂刷在混凝土基面与钢板表面。将钢板准确粘贴至预定位置后，及时安装垫片并按照设计扭矩拧紧锚栓螺母，确保钢板与混凝土构件之间形成牢固有效的粘结。此外，在钢板粘贴完成后，还必须对其外露表面进行彻底的防锈防腐处理，以保障其长期耐久性和加固效果的持续性。为了从根本上提升道路桥梁结构定期检查与维护工作的水平，相关部门需进一步强化其职能履行，积极引入并实施更为专业、系统的检修与维护策略，从而切实保障道路桥梁的运营安全。在推进定期检查维护体系化建设的过程中，应着力增强专业技术人员的责任心与业务素质，鼓励他们紧跟施工技术发展步伐，持续更新专业知识，以此推动日常养护工作质量的不断提升。

（五）采用增补基桩法提升结构承载力

在道路与桥梁的日常养护及结构性加固工程中，增补基桩是一种被广泛采用且适应性较强的技术手段。该方法适用于多种复杂的工程条件与环境因素，能够有效应对因水流冲刷、地基沉降或荷载增加等原因导致的桥梁基础承载力不足问题。具体实施时，其核心设计理念是围绕提升结构整体承载力这一根本目标。通常采取在原有基础桩基附近进行钻孔，并植入新的桩体，或通过外包混凝土等方式对既有桩基进行增强。这种施工方法旨在扩大基础受力面积，将上部荷载更有效地传递至深层稳定土层，从而显著提高桥梁的稳定性和安全性。需要特别强调的是，增补基桩工程的成功关键在于前期详尽的勘察与个性化设计。施工前必须对桥梁现有基础的结构形式、地质条件及病害成因进行精准评估，以此制定出具有高度针对性的加固方案。这一步骤确保了技术应用的合理性与经济性，也为工程的长久效益奠定了坚实基础。因此，在道路桥梁的加固实践中，科学合理地运用增补基桩技术，被证明是一种能显著提升结构耐久性与安全储备的有效

策略。

（六）路基沉陷修复与结构补强技术

基于现场勘察结果分析，该路段出现的路面塌陷问题主要源于下方路基的不均匀沉降。施工方在制定维修方案前，对区域内几处塌陷的具体形态与成因进行了分类研究。依托现行成熟的工艺标准，工程团队针对不同情况采取了相应的结构修复与加固措施，确保修复后的路段能够安全恢复使用功能，且不会遗留潜在的质量隐患。对涉及桥梁衔接的路基部分进行了专门加固。施工中创新应用了公路桥变截面设计方法，通过调整简支梁桥的支承体系，改善了结构的受力分布，从而有效抑制了桥头区域的不均匀沉降，提升了该部位的整体稳定性和安全储备。其次，针对两处典型路面塌陷采取了差异化的处理方式。第一处塌陷区域下方地质条件相对较好，地下存在稳定的砂砾土层，发生进一步沉降的可能性较低，因此施工人员仅对其进行了表层修复和常规填补。而第二处塌陷程度较深，沉降趋势明显，为防止病害继续发展，施工方先彻底清除已破损的水泥混凝土面层，对路基填土进行强力夯实，随后采用高强度环氧树脂材料进行灌注回填，从根本上阻断了该点位再次发生沉降的路径^[5]。

四、结束语

综上所述，道路桥梁的维修加固是一项涉及多病害诊断、多技术应用的系统性工程。面对结构变形、裂缝发展、钢筋锈蚀、承载力不足及路基沉陷等复杂问题，必须坚持预防为主、防治结合的原则，根据具体病害成因与结构状态，科学选择并综合应用限载监测、锈蚀处理、裂缝注浆、粘贴钢板、增补基桩和路基补强等针对性技术措施。成功的维修加固不仅依赖于先进适用的技术，更离不开精细化的前期调查、规范化的施工过程以及长效化的后期维护管理。

参考文献

[1] 刘明星. 道路桥梁维修与加固施工技术 [J]. 四川建材, 2022, 48(4): 163, 165.
[2] 温晓峰. 道路桥梁维修与加固施工技术研究 [J]. 运输经理世界, 2020(13): 126-127.
[3] 黄纪. 探究道路桥梁维修与加固施工技术 [J]. 建筑与装饰, 2020(16): 103.
[4] 安建强. 道路桥梁维修与加固施工技术研究 [J]. 越野世界, 2025, 20(8): 148-150.
[5] 孙科. 探究道路桥梁维修与加固施工技术 [J]. 建材发展导向 (上), 2020, 18(5): 240.

房屋建筑工程管理中的进度管理策略

黄嘉亮

佛山市顺德区智域建设项目管理有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ETQM.2025110043

摘 要： 文章系统阐述了建筑工程进度管理在房屋建筑项目中的关键意义，分析了影响施工进度的核心因素，并提出了系统化的管理措施。进度管理不仅直接影响业主的合约履行与经济效益，还关乎资源利用效率与项目成本控制。通过统筹人为、资源与技术等多重要素，构建科学的管理体系，能够有效保障工程按期高质量完成，提升建筑企业的综合管理水平与市场竞争力。

关 键 词： 房屋建筑；工程管理；进度管理策略

Progress Management Strategies in Housing Construction Engineering Management

Huang Jialiang

Foshan Shunde Zhiyu Construction Project Management Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract： This article systematically elaborates on the critical significance of construction progress management in housing construction projects, analyzes the core factors affecting construction progress, and proposes systematic management measures. Progress management not only directly influences the owner's contract fulfillment and economic benefits but also pertains to resource utilization efficiency and project cost control. By coordinating multiple essential elements such as human resources, materials, and technology, and establishing a scientific management system, it can effectively ensure the timely and high-quality completion of projects, enhancing the comprehensive management level and market competitiveness of construction enterprises.

Keywords： housing construction; engineering management; progress management strategies

引言

房屋建筑工程具有周期长、参与方多、资源投入大等特点，进度管理作为项目的核心内容之一，贯穿于工程建设的全过程。良好的进度管理不仅能够确保项目按计划推进、实现业主预期目标，还对控制工程成本、优化资源配置具有重要作用。然而在实际建设过程中，人为因素、资源分配和技术能力等多方面问题常导致进度滞后。因此，深入分析影响进度的关键环节，并提出具有可操作性的管理策略，对提升建筑项目整体绩效具有重要的理论价值与实践意义。

一、建筑工程进度管理对于房屋建筑工程的重要性

（一）契合业主期望与合约规定

房屋建筑项目的实施通常源于业主对空间功能与使用周期的具体要求，在双方签订的合同中，会清晰界定工程完工与移交的具体日期。这一时间安排直接关系到业主后续的经营策略与资金回收计划，尤其对于商业地产项目，例如零售商场或办公大厦，业主往往计划在预定日期前启动运营，以实现商户入驻、开展经营活动并创造预期利润。倘若施工进度管控不到位，造成项目无法按期完成，业主将可能承受多方面的财务压力，例如错失最佳销售时段、因场地交付延迟而向承租方支付赔偿金等。通过实施严格的进度管控体系，能够有效确保工程在约定时限内交付，从

而维护业主的合法权益，巩固双方的合作互信。同时，这也为承建企业赢得行业内的良好声誉，为其未来开拓市场、争取更多业务机会提供有力支撑。

（二）实现项目成本的科学管控

在房屋建筑工程中，项目推进速度与资金投入之间存在着紧密的联动关系。科学且周密的进度规划，是达成资源最优化利用、防止不必要开支的关键所在。具体而言，当一个项目的施工时序被精确安排后，建筑材料的采购与进场就能与现场实际需求无缝衔接，这不仅能显著节约仓储管理费用，也能最大限度地降低材料因长期堆放而产生的变质或损耗风险。与此同时，施工团队与大型机械也能够依照预定方案进行高效运转，从而有效规避了因工序衔接不畅所导致的人工待工和机械设备空转，直接压缩

了这部分可变成本的开支。反之，倘若项目进度出现严重滞后，除了会直接引发上述人力、物料、机械等费用的增长外，还会衍生出一系列间接的经济负担，例如因建设周期拉长而增加的贷款利息，以及因市场行情变化可能导致的原材料采购价格上涨等风险。因此，对工程进度实施强有力的管理，其核心作用之一就在于能够有效阻断因工期延误而触发的成本恶性循环，确保整个项目的最终支出被严格控制在预先设定的投资预算之内，进而显著提升项目的整体经济效益与投资回报水平^[1]。

（三）优化资源配置与使用效率

房屋建筑项目的实施过程需要投入海量的人力、物资以及各类大型机械，这些资源的统筹安排对项目成败至关重要。通过精细化的进度管控，能够依据不同建设环节的具体特点与需求，实现资源的精准投放与动态调度。例如，在项目前期的地基处理环节，通过周密的计划，可以确保挖掘机、土方运输车等重型设备以及与之配套的施工队伍在恰当的时间进场，保证开挖、运输、回填等工序环环相扣，使得机械台班和人工工时得到充分利用，有效防止因计划不周而产生的资源闲置或短缺现象。当工程推进至上部主体结构施工时，进度管理则能依据楼层建设的节奏，科学地引导钢筋绑扎、支模、混凝土浇筑等各专业工种按序流水作业。同时，它也能确保钢筋、商砼等主要建筑材料的供应计划与现场实际施工步伐保持一致，特别是使混凝土的浇注量精准匹配结构工程的进展节点，从而从源头上减少不必要的材料损耗，实现资源利用效益的最大化。

二、影响工程进度的关键因素

（一）人为因素在进度管控中的关键作用

在房屋建筑项目的推进过程中，对人员、材料、设备及资金等要素进行科学规划与高效整合，是实现质量与工期双重目标的基础。这种系统性的协调管理，不仅保障了工程按预定计划顺利交付，也为承建单位赢得了可观的经济回报与市场声誉。在此体系中，人的因素渗透于各个环节，其能动性专业性从根本上决定了进度管理的最终成效。具体而言，项目负责人的综合能力是核心影响变量之一。倘若项目经理缺乏足够的组织与协调才干，无法对现场各类资源做出最优配置，或其决策因实战经验匮乏而缺乏前瞻性，那么施工流程极易出现脱节与混乱，最终导致工期延误与品质下滑。此外，沟通机制是否畅通也至关重要。若在施工过程中，未能与业主、设计、监理等相关方建立起高效的信息同步与协作渠道，便会导致关键决策滞后、问题响应迟缓。这种沟通壁垒会使得现场遇到的诸多技术或管理难题无法得到及时支援与解决，进而可能引发连锁反应，最终危及工程的整体质量与安全绩效，导致成果无法满足既定的规范与标准^[2]。

（二）资源要素对施工进度的制约与影响

在建筑项目现场推进过程中，人力、物资与资金等关键要素的协同供应与高效流转，是保障各项任务按预定时间节点完成的根本前提。因此，对各类资源实施系统性的整合与动态管理，实现其使用价值的最大化，成为进度控制体系中不可或缺的一环。

通常而言，资源层面影响工期的核心要素可归纳为三类：首先是人力资源，若现场人员配置不合理、工种衔接不畅或作业效率低下，将直接拖慢整体施工节奏；其次是物料资源，如果材料采购、运输或仓储调度失灵，会造成现场供应中断或积压，从而引发工序停滞；此外，资金资源同样至关重要，一旦工程款项不能及时到位，将严重影响材料采购、设备租赁及劳务结算等环节，最终阻碍项目的正常推进，甚至导致整个工程陷入停滞状态。

（三）技术能力对项目进度的决定性作用

建筑工程的实际推进，高度依赖于前期技术准备工作的周密性与现场技术执行的成熟度。倘若初始阶段的施工组织方案存在疏漏，技术交底内容模糊不清，且现场技术条件准备不足，那么一旦在施工中遇到突发性技术难题，现场团队将难以快速制定有效的应对策略，从而直接拖慢整体施工节奏。另一方面，技术团队对设计图纸的掌握程度也至关重要。如果相关工程师与施工负责人未能提前深入审阅和理解图纸，便难以在施工前及时发现并协同解决设计中存在的矛盾与不合理之处，这会导致图纸的指导性与可施工性大打折扣，在实际操作中引发诸多障碍，成为延误工期的重要原因。同时，一线作业人员对新材料、新工艺及新设备的掌握与应用能力，直接关系到施工效率。若操作人员技能培训不到位，无法熟练运用这些新技术，会直接导致工序耗时增加、质量不达标甚至返工，使得施工进度难以高效推进。此外，项目管理层如果对行业现行的技术规范与创新工法缺乏了解，其制定的总体施工计划与阶段目标就可能偏离实际，无法对现场形成有效指导，最终从管理决策层面制约整个项目的进度实现^[3]。

三、建设项目施工进度管理措施

（一）强化设计阶段的系统性管控

在建设项目的施工管理过程中，管理人员需精准把握进度管控的核心要素，结合项目具体特点，制定系统且可执行的管理规划与行动路线。这一过程要求管理团队安排具备资质的专业技术人员深入施工现场，开展细致的实地踏勘与数据采集，全面掌握现场的地形地貌、地质条件、气候特征等关键环境参数。在整合各类现场要素与约束条件的基础上，方能制定出切合实际、具备操作性的施工组织设计与技术方案。项目管理过程中，管理者还需着力打通部门壁垒，促进各专业团队间的协同作业，督促各部门对现行施工方案进行多轮复核与优化。一旦在施工过程中发现设计或技术层面的问题，必须建立快速响应机制，确保问题能够被及时识别并有效纠正。针对建筑工程中难以避免的设计变更，应建立规范的管理流程。当施工计划需要调整时，管理人员应对变更需求进行系统性评估，并在实施前获得监理、业主等相关方的书面批准。所有方案修改都必须经过严格的技术审查与合规性检查，履行完整的审批程序后方可执行。除了对施工进度的严格把控，管理人员还需将安全管理摆在同等重要的位置。应根据项目特征建立科学完整的安全管理制度体系，明晰各级安全岗位的职责边界。每位安全管理人员都应以制度规范为行动准则，全面负责现场的日常安全巡检与监督工作，确保各项安全措施落实到位。

（二）构建并全面落实项目进度管控体系

为确保工程项目的有序推进，必须建立并全方位实施系统化的进度管理制度，充分发挥其对项目周期的统筹协调作用。建筑企业应立足自身管理基础与发展定位，深入剖析实际施工流程中的特点与难点，持续优化进度管控模式。面对当前管理现状，需秉持客观务实的态度，精准识别体系运行中的薄弱环节，并采取针对性措施予以完善。针对建筑企业与施工团队在进度管控实践中遇到的典型问题与潜在风险，需引入科学的管理工具与方法论，通过制定合理策略来弥补现有管理机制的不足。同时应认识到，外部环境因素同样会制约工程建设的质量与安全表现。为保障各施工环节的可靠性与稳定性，现场技术人员必须强化制度执行力，严格遵循既定的操作规程与管理要求。在此基础上，应通过全员培训与文化培育，全面提升团队的进度管理意识，确保在项目启动前即完成所有技术准备与资源调配工作。还需对施工环境及作业内容展开综合评估，系统识别可能影响工期的各类风险源，并提前制定预防性对策。通过这种前瞻性的风险防控与过程管理，有效降低施工不确定性，为项目进度目标的顺利实现奠定坚实基础。

（三）健全进度管理组织体系与责任机制

完善的项目管控架构能够对团队成员的职责范围与工作任务进行清晰界定。在推进项目进度管理时，应当深入分析工程项目的具体施工特点与总体目标，系统研判各类可能影响工期的内外部因素，据此制定具有前瞻性与可操作性的进度规划及配套运行机制，为全体工作人员提供明确的工作指引。需要设立专门的项目进度管理机构，组建具备跨专业协调能力的高效管理团队，并建立常态化的进度汇报制度，定期向项目决策层反馈建设进展。同时，依据项目总体进度要求，应将宏观的进度目标逐级分解为可执行的具体任务，并通过岗位责任书等形式将各项职责精准落实到每位员工，从而有效提升工作执行的准确性与完成质量。在此基础之上，还应配套建立科学的激励约束机制，持续推进绩效考核体系的完善。通过将绩效评估结果与员工的薪酬待遇、福利

保障及职业发展通道有机结合，能够显著增强团队成员的责任意识与工作主动性，促使他们更积极地履行自身职责，全力以赴确保各项任务高质量达成^[4]。

（四）实现工程资源与进度计划的协同整合

在项目管理中，必须将进度安排与资源供给作为统一整体进行考量。唯有通过资源的集约利用与科学分配，才能实现工程项目的整体优化目标。这要求管理者对施工全过程涉及的人力配置、材料供应及机械设备调度实施系统性优化，确保各类资源要素形成有机配合。在具体实施阶段，需要遵循“效益优先、动态调控”的基本原则：在保证工程质量与安全的前提下，通过精细化管理控制项目总体投入；根据各施工阶段的特征，精准匹配相应的机械设备需求；特别加强对稀缺性或关键性资源的重点管控，提升其使用效率。为落实这些原则，项目管理团队应当建立前瞻性的资源规划机制。在项目启动前编制详细的进度-资源联动计划，指导后续施工活动；基于工程量清单精确测算主要材料需求，建立严格的领用管理制度；严格依据施工进度节点采购和调配备置材料，避免现场闲置或供应短缺。通过建立资源与进度之间的动态反馈机制，最终形成相互促进的管理闭环，为项目高效推进提供坚实基础^[5]。

四、结束语

建筑工程进度管理是一项涉及多目标、多参与方的系统性工程。从保障业主权益、控制项目成本到提升资源利用效率，进度管理在房屋建筑项目中发挥着不可替代的作用。面对人为、资源与技术等因素带来的挑战，需通过强化设计管控、构建全面的进度管理体系、明确组织责任机制以及推动资源与进度的协同整合，实现项目全过程、多维度的高效管理。唯有系统规划、科学执行与动态调控相结合，才能在复杂多变的建设环境中确保工程按时优质交付，推动建筑企业与行业整体的可持续发展。

参考文献

[1] 张志恒. 房屋建筑工程管理中的进度管理办法 [J]. 建材与装饰, 2024, 20(18): 76-78.
[2] 钟勇文. 房屋建筑工程管理中的进度管理策略 [J]. 建筑与装饰, 2023(17): 100-102.
[3] 张真真. 房屋建筑工程施工进度管理中面临的问题及对策研究 [J]. 建材发展导向 (上), 2019, 17(8): 350.
[4] 魏菁华, 裴羊羊. BIM 技术在房屋建筑工程施工进度管理中的应用策略 [J]. 产业创新研究, 2024(2): 112-114.
[5] 李超. 房屋建筑工程项目中的施工进度管理策略 [J]. 建材与装饰, 2024, 20(33): 127-129.

建筑工程现场施工技术管理措施分析

李明杰

广州康大工业科技产业有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025110044

摘 要： 文章系统论述了建筑工程施工现场管理的三大基本原则——经济合理性、流程统一性与系统优化，并深入剖析了当前技术管理中存在的主要问题，包括管理体系、安全意识、材料管控、质量验收及工艺水平等方面的不足。针对这些问题，文章提出了构建科学管理体系、强化图纸审查、提升管理团队素养、健全材料管控机制等一系列优化措施，旨在为提升施工现场技术管理的规范化、系统化和高效化提供理论依据与实践路径。

关 键 词： 建筑工程；现场施工技术；管理措施

Analysis of Technical Management Measures for Construction Site in Architectural Engineering

Li Mingjie

Guangzhou Kangda Industrial Science and Technology Industry Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper systematically discusses the three fundamental principles of construction site management in architectural engineering: economic rationality, process uniformity, and system optimization. It also provides an in-depth analysis of the major issues currently present in technical management, including deficiencies in the management system, safety awareness, material control, quality acceptance, and process proficiency. In response to these issues, the paper proposes a series of optimization measures, such as establishing a scientific management system, strengthening drawing reviews, enhancing the quality of the management team, and improving material control mechanisms. The aim is to provide theoretical foundations and practical pathways for enhancing the standardization, systematization, and efficiency of technical management on construction sites.

Keywords： architectural engineering; construction site technology; management measures

引言

面对规模扩大、技术更新加快的行业趋势，如何通过科学化、精细化的管理确保工程项目的质量、安全、进度和效益，已成为建筑企业核心竞争力的关键体现。当前，许多项目在技术管理实践中仍面临诸多挑战，亟须一套系统性的原则作为指导，并针对现存不足提出切实可行的优化策略。文章基于这一背景，首先明确施工现场管理的基本原则，进而详细分析技术管理环节中的具体问题与薄弱点，最终形成一套涵盖制度、人员、流程、材料等多维度的综合优化方案，以期为促进建筑工程项目管理水平的全面提升提供参考。

一、施工现场管理的基本原则

（一）经济合理性原则

在项目现场管理过程中，必须避免仅关注工程进度与施工质量，却忽视成本控制与市场效益的片面管理方式。此类做法容易导致项目管理陷入单纯追求进度、忽视综合效益的误区。项目团队应当立足于打造精品工程、提升企业品牌形象，同时致力于优化资源配置、有效降低各项支出，并积极开拓新的市场空间。此外，在项目实施所涉及的各类生产要素中，需始终贯彻成本控制意识，做到处处精打细算、严格把控。通过科学管理和精细化操作，实现在有限资源条件下创造更大价值，最大限度提高投入产

出比。同时，要建立健全成本监督机制，坚决消除资源浪费及各类非必要开支，确保项目经济效益最大化。

（二）作业流程与操作准则统一性原则

在建筑工程现场管理中，推行标准化与规范化运作是不可或缺的基础保障。要实现施工各环节的顺畅衔接与高效协作，就必须确保人员、机械、材料等各类要素严格遵循统一的作业标准和指令要求，彻底消除因个人主观判断导致的操作差异和管理波动。通过建立系统完善的管理制度和清晰明确的操作指南，能够显著降低人为因素对施工流程的干扰，有效提升工序间的配合精度和生产效率。这种基于统一准则的运行机制，不仅可以优化资源调配效率，加快工程实施进度，还能够全面提升项目管理效

能。最终在施工现场构建出层次分明、衔接有序、运转高效的科学作业体系，为工程质量和工期目标实现提供坚实基础^[1]。

（三）系统化与优化配置原则

在施工项目现场管理中，所有工作的开展都应遵循系统化方法与资源最优配置的准则。这要求现场管理体系的构建必须符合现代化工业生产的客观规律，实现管理过程的科学统筹与精细安排。具体而言，需要系统优化操作方法和工作流程，确保各环节衔接顺畅、高效合理；同时要提高场地、设备、材料等资源的综合利用效率，避免出现闲置或浪费现象。在场地布局与安全设施规划方面，应当采用经过验证的科学方案，建立可靠的安全防护体系。此外，还要建立有效的人才培养和激励机制，充分调动现场人员的主动性与创造力，使团队的专业能力和智慧能够在项目建设中得到充分展现，最终形成技术先进、经济合理、安全可靠的项目实施环境。

二、建筑工程施工现场技术管理存在的不足之处

（一）管理体系不健全

当前，我国建筑行业整体保持稳步发展的良好态势，然而由于具体工程规模存在显著差异，各施工单位在管理能力与模式上呈现出较大区别。调研显示，不少施工企业尚未建立起系统、完善的现场技术管理体系和制度保障。在现行行业实践中，建设项目普遍采用多级分包的组织方式开展作业，这种模式虽然有助于分工协作，但也导致针对单项工艺及整体技术方案的质量管控难以有效落实。加之施工现场所需应用的技术门类众多、流程环节复杂，许多已有的技术管理规定往往仅停留在书面层面或基础阶段，缺乏对关键技术节点的深度把控与过程监督。这种管理深度不足、执行不到位的状况，极易引发技术标准落实不严、工艺质量控制不稳等一系列问题，进而影响工程整体建设水平。

（二）安全责任意识薄弱

在建筑工程实施过程中，各类人为因素与外部环境条件常常相互作用，对项目最终品质与建设进度产生多重影响。当前行业环境下，部分施工企业为追求短期经济利益最大化，往往采取过度压缩合理工期的方式，而相应降低对工程质量的重视程度。这种现象的根源在于企业主体尚未建立完善的安全责任体系，具体表现为：对现场施工设备的安全运行状态缺乏持续监测机制，对施工现场动态变化的环境条件未能建立有效的风险评估体系，基础性安全防护措施存在执行不到位的情况。这种系统性的安全管理缺失，不仅可能造成工程实际建设周期超出原定计划，更会显著增加现场安全事故发生的可能性，最终对项目整体效益和企业可持续发展能力造成负面影响^[2]。

（三）材料管控体系缺失

在建筑工程实施过程中，材料采购环节存在显著的管理漏洞。部分生产厂商为追求超额利润，未严格按照国家规范标准进行材料生产，而现场采购人员又缺乏专业的材料质量鉴别能力，导致不合格产品流入施工现场。这些不符合规范要求的建材既难以满足施工工艺标准，更会直接影响工程实体质量，为项目后期

使用埋下潜在安全风险。与此同时，材料进场后的仓储管理同样存在问题。不同特性的建筑材料对存储环境有着明确要求，但现场管理人员往往忽视这一关键环节，将各类材料混杂堆放，缺乏必要的防潮、防晒、防损保护措施。这种粗放式的仓储管理不仅会造成材料性能劣化，还可能引发材料变形、变质等问题，最终对工程整体质量产生不可逆的负面影响，显著增加项目质量安全隐患。

（四）竣工验收环节质量控制不足

建筑工程作为一个高度复杂的系统工程，其施工过程涉及多专业、多工种的交叉配合，技术环节繁多且相互关联。这种结构特性决定了项目竣工阶段的全面质量验收需要投入大量专业人力及检测资源。在实际操作中，许多施工企业出于成本控制和工期压力的考虑，往往采用抽样检验的方式代替系统性全面检查。虽然抽检方法在一定程度上能够反映部分施工质量状况，但由于其覆盖范围有限、检测点位随机性较强，难以对工程整体质量水平作出准确评估。这种检验方式的局限性容易导致某些隐蔽性质量缺陷未被及时发现，使工程在交付使用后仍存在潜在安全隐患，影响建筑结构的长期耐久性与使用安全。

（五）施工工艺水平滞后

在科技创新持续推动各行业升级的背景下，我国建筑领域的技术含量也在不断提升，这对现场施工的工艺标准和质量管理提出了更高要求。然而，从当前行业实际情况观察，大量一线作业人员仍沿用相对传统的施工方法，其专业技能更新速度明显落后于技术发展进程。这种技术断层直接导致施工人员难以熟练掌握日益普及的新型建筑工艺，对新材料的特性认识不足，缺乏现代施工技术的精准质量控制能力^[3]。

三、建筑工程施工现场技术管理优化措施

（一）构建科学化的现场技术管理体系

在建筑行业持续发展的背景下，工程管理制度需要与时俱进地创新完善。针对施工现场技术管理，应当结合工程项目具体特征、技术标准要求及企业自身发展定位，构建具有企业特色的管理体系。这种管理体系的建立不仅要注重制度设计的科学性，更要体现人文关怀精神。除了关注施工技术管理本身的影响外，还需要特别重视人员管理这个关键要素。建议根据工程设计方案制定详细的现场施工技术管理规范，重新梳理和优化管理流程，将管理职责合理分解到各个岗位。同时建立绩效导向的分配机制，实行按劳取酬原则，使管理人员的收入与其工作质量和成效直接挂钩。这种兼具科学性与人性化的管理制度设计，能够有效激发管理人员的工作热情，增强其责任意识，从而全面提升现场施工技术管理的整体水平。

（二）强化工程设计图纸的审查机制

工程设计图纸作为施工活动的技术依据，其质量优劣直接关系到现场技术管理的实施效果。若图纸设计中存在技术矛盾或方案缺陷，将导致相关工序无法按计划执行，迫使施工过程中断。此时必须暂停作业，组织技术分析以确定问题根源，待完成图纸

修订后方能恢复施工。值得注意的是，建筑工程各工序间具有显著的关联性，某一环节的技术问题往往会引发连锁反应，波及后续多个施工阶段。这种情况不仅会降低具体工序的施工质量，还可能打乱整体施工部署，导致项目工期延误。因此，必须建立健全图纸审查机制，在设计阶段就进行全面细致的技术审核，尽可能提前发现并解决潜在问题。审查过程中应当严格遵循工程建设规范标准，对各项技术参数、施工工艺和节点做法进行系统性验证，确保图纸在技术上的可行性、经济性和安全性，从源头上为现场施工技术管理的顺利实施创造有利条件。

（三）强化管理团队的责任认知与执行力

在推进施工技术管理过程中，管理团队的专业素养与责任意识起着决定性作用。要着力培养管理人员的职业责任感，通过制度建设与文化引导，帮助管理团队树立科学的管理理念，从思想源头上提升对技术规范执行的重视程度。其次，应当建立系统化的培训机制，通过定期的专业培训和知识更新，持续提升管理团队的专业能力，确保其掌握先进的管理方法与技术标准。在实际管理过程中，管理人员应当严格遵循技术操作规程和安全生产管理制度，将管理职责明确分解到每个岗位和作业环节。通过建立清晰的责任追溯机制，确保各项管理要求能够完整贯彻到每个施工工序和操作细节中，从而全面提升技术管理的执行效果，促进工程整体管理水平的持续进步^[4]。

（四）健全施工现场材料管控机制

在建筑工程全过程中，建筑材料的规范管理与合理使用是确保工程品质的重要环节。施工企业应当构建完整的材料管控体系，通过制度化的管理手段提升现场材料的监管效能。具体而言，需从以下三个维度加强材料管理工作。强化管理团队对材料监管的重视程度。应当认识到建筑材料质量与保管水平直接关系到施工安全及工程最终质量，管理人员需确立责任意识，严格执行材料验收、存储和使用的全过程监督。其次要优化材料流转的

管理流程。建立从进场验收、仓储管理到领用核销的全链条管理制度，对每个环节实施标准化管控，并保持完整的过程记录，确保材料流向清晰、质量可控。最后应注重材料管理人员的专业能力建设。面对建筑工程中品类繁多的建筑材料，需要通过专业培训提升管理人员的材料鉴别、保管和检测能力，使其能够准确把控各类材料的质量特性，为工程顺利实施提供物质保障。

（五）构建系统化的现场施工管理机制

施工企业应当致力于建立健全的现场作业管控体系，形成符合工程技术规范的全过程质量监督系统，为工程项目的顺利推进提供制度保障。在具体实施过程中，建议将各施工阶段的质量管控职责明确划分至相应的管理团队，实现责任到组、任务到人。同时，需要强化管理部门在跨专业协调方面的职能，确保各作业环节之间的工作内容得到有效衔接与顺畅配合。通过实施这种分层负责、协同联动的管理模式，能够对项目全周期的施工质量实现更加系统化和精细化的管控。这种管理机制不仅有助于及时发现和解决各施工阶段存在的质量问题，还能通过持续改进提升整体项目管理水平，为工程创优奠定坚实基础^[5]。

四、结束语

综上所述，施工现场管理是一项涉及多原则、多环节的系统工程。从确立经济、规范、科学的管理原则，到精准识别体系、安全、材料、验收及工艺等方面的现实问题，再到系统性地构建涵盖制度设计、图纸审查、团队建设与材料控制在内的优化路径，整个过程环环相扣。坚持基本原则为指导，深刻反思现存不足，并坚决执行科学有效的优化措施，才能从根本上提升施工现场技术管理的整体效能，从而在保证工程质量与安全的前提下，实现项目的综合效益最大化，推动建筑企业的高质量与可持续发展。

参考文献

- [1] 雷智达. 建筑工程施工现场技术及质量管理措施及优化研究 [J]. 智能建筑与工程机械, 2025, 7(6): 78-80.
- [2] 杜艳. 建筑工程施工技术及其现场施工管理措施研究 [J]. 模型世界, 2025(13): 169-171.
- [3] 孙丽丽. 建筑工程施工技术及其现场施工管理措施分析 [J]. 模型世界, 2023(33): 178-180.
- [4] 彭贞锋. 建筑工程施工技术及其现场施工管理措施 [J]. 建材发展导向, 2024, 21(2): 134-136.
- [5] 王惠, 王丽. 建筑工程施工技术及其现场施工管理措施研究 [J]. 砖瓦世界, 2024(5): 110-112.

火电厂脱硫废水零排放处理技术的工程应用 与经济环境效益评估

杨朴淘

贵州黔西中水发电有限公司, 贵州 毕节 551700

DOI:10.61369/ETQM.2025110005

摘 要 : 本文聚焦火电厂脱硫废水零排放处理技术, 阐述了该技术产生的背景与重要性。详细介绍了预处理、浓缩减量、末端固化等常见处理技术原理。分析了技术在火电厂的工程应用要点, 涵盖系统设计、设备选型与运行管理。从经济成本和环境效益两方面进行评估, 指出技术虽面临初期投资高、运行维护复杂等挑战, 但能降低用水成本、减少污染物排放, 实现水资源循环利用。最后对技术未来发展进行展望, 旨在为火电厂脱硫废水处理提供参考。

关 键 词 : 火电厂; 脱硫废水零排放; 工程应用; 经济成本; 环境效益

Engineering Application and Economic and Environmental Benefit Assessment of Zero Discharge Treatment Technology for Desulfurization Wastewater in Thermal Power Plant

Yang Putao

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., Ltd., Bijie, Guizhou 551700

Abstract : This paper focuses on zero-discharge treatment technology for desulfurization wastewater in thermal power plants, elaborating on its historical context and significance. It provides a detailed explanation of common treatment principles including pretreatment, concentration reduction, and end-stage solidification. The paper analyzes key engineering application aspects for thermal power plants, covering system design, equipment selection, and operational management. Through economic cost-benefit analysis and environmental impact assessment, it highlights that while the technology faces challenges such as high initial investment and complex maintenance, it effectively reduces water consumption, minimizes pollutant emissions, and enables water resource recycling. Finally, the paper outlines future development prospects to provide practical references for desulfurization wastewater treatment in thermal power plants.

Keywords : thermal power plant; zero discharge of desulfurization wastewater; engineering application; economic cost; environmental benefit

引言

火电厂作为我国电力供应的主力军, 在生产过程中采用湿法脱硫工艺时会产生大量脱硫废水。这些废水含有高浓度悬浮物、重金属、盐类及化学需氧量 (COD) 等污染物, 成分复杂且污染性强。若未经有效处理直接排放, 会对周边水体、土壤等生态环境造成严重破坏, 影响水生生物生存和人类健康。随着环保法规日益严格和社会对环境保护关注度不断提高, 实现脱硫废水零排放已成为火电厂可持续发展的必然要求。研究脱硫废水零排放技术在火电厂的实际应用情况, 并评估其带来的经济成本与环境效益, 具有重要的现实意义。

一、火电厂脱硫废水零排放处理技术概述

(一) 技术背景与重要性

湿法脱硫工艺中, 石灰石-石膏湿法脱硫技术应用最为广泛。在该工艺里, 为维持脱硫系统的化学平衡和保证脱硫效率,

需不断补充新鲜水并排出一定量废水。脱硫废水主要来源于石膏脱水系统、设备冲洗水以及吸收塔排放水等^[9]。在环保标准不断攀升的大背景下, 火电厂废水排放面临的要求正朝着愈发严格的方向发展。实现脱硫废水零排放, 有助于火电厂满足环保法规要求, 避免因废水排放不达标而面临罚款和停产整顿风险。同时,

该技术能减少对新鲜水资源的依赖，降低用水成本，提高企业经济效益和市场竞争能力，对保护水资源和生态环境、促进可持续发展具有重要意义^[9]。

（二）常见处理技术及原理

1. 预处理技术

预处理作为脱硫废水实现零排放处理流程中的关键环节，其主要作用在于去除废水中含有的悬浮物、硬度成分以及重金属等各类杂质，进而为后续的处理工序提供适宜的条件。常见的预处理方法包括化学沉淀法、电絮凝集法等。化学沉淀法是借助向废水中添加石灰乳、碳酸钠以及液碱等化学药剂的方式，促使废水里的钙、镁离子发生化学反应生成沉淀物质。电絮凝集法则利用电混凝原理和电解原理处理废水，通过电极反应产生絮凝剂，使废水中的悬浮物和胶体物质凝聚沉淀。

2. 浓缩减量技术

浓缩减量技术的目的是通过物理或化学方法，将废水中的水分大量分离出来，减少废水体积，降低后续末端固化处理的负荷。常用的浓缩减量技术有膜分离技术和热法浓缩技术。膜分离技术主要包括反渗透（RO）、纳滤（NF）等。反渗透技术利用半透膜的选择透过性，在压力作用下，使水分子通过膜，而盐类和其他溶质被截留，实现废水浓缩。纳滤技术则对不同价态的离子具有不同的截留性能，可用于进一步分离和浓缩废水中的特定成分。在热法浓缩领域，较为常见的技术包含多效蒸发（MED）与机械蒸汽再压缩蒸发（MVR）这两种。其中，多效蒸发是采用多个蒸发器依次串联的方式，让前一效蒸发过程中所产生的二次蒸汽，充当后一效蒸发操作的加热热源，以此达成水分蒸发以及溶液浓缩的目的。机械蒸汽再压缩蒸发则是将蒸发产生的二次蒸汽通过压缩机压缩提高其温度和压力，然后作为加热蒸汽循环使用，具有能耗低、效率高的优点^[10]。

3. 末端固化技术

末端固化的目的是将浓缩后的高浓度废水中的水分进一步去除，将污染物转化为固体废物，便于安全处置。常用的末端固化技术有蒸发结晶和喷雾干燥。蒸发结晶通过加热使浓缩废水中的水分蒸发，当溶液达到过饱和状态时，盐类等溶质结晶析出，形成固体盐渣。喷雾干燥将浓缩废水通过雾化器雾化成细小液滴，与热空气充分接触，使液滴中的水分迅速蒸发，污染物盐分结晶成固体颗粒，被除尘器捕捉进入干灰中一起外排。

二、火电厂脱硫废水零排放处理技术的工程应用

（一）系统设计要点

在火电厂脱硫废水零排放处理系统的设计中，需综合考虑多方面因素。要根据火电厂的脱硫废水产生量、水质特点以及零排放要求，确定系统的处理规模和处理工艺。对于水质呈弱酸性、悬浮物含量高、氟化物、COD、重金属超标且盐分含量高的脱硫废水，预处理系统要能够有效去除这些污染物，确保后续处理设备的稳定运行^[1]。同时，要考虑系统的可靠性和稳定性，采用冗余设计，设置备用设备和应急处理措施，以应对突发情况。此

外，还需考虑系统的占地面积和空间布局，尽量做到紧凑合理，便于操作和维护。

（二）设备选型与配置

设备的选型与配置直接影响系统的处理效果和运行成本。在预处理阶段，要根据废水水质和处理要求选择合适的化学药剂投加设备、沉淀设备和过滤设备^[4]。例如，对于钙、镁离子含量较高的废水，可选用高效的石灰乳投加装置和碳酸钠投加系统，确保软化效果。在浓缩减量阶段，膜分离设备要选择性能稳定、膜通量高、抗污染能力强的产品。热法浓缩设备则要根据能源供应情况和处理规模选择合适的多效蒸发器或机械蒸汽再压缩蒸发器。在末端固化阶段，蒸发结晶设备要具备高效的传热和结晶能力，喷雾干燥设备要能够保证雾滴的均匀分散和充分干燥^[7]。

（三）运行管理要点

运行管理是确保脱硫废水零排放处理系统长期稳定运行的关键。要建立完善的运行管理制度和操作规程，对运行人员进行专业培训，使其熟悉系统的工艺流程和设备操作方法。同时，要严格控制系统的运行参数，如pH值、温度、压力、流量等，根据废水水质的变化及时调整处理工艺和药剂投加量。此外，还要做好系统的监测和数据分析工作，通过在线监测设备实时掌握废水处理效果和设备运行情况，为系统的优化运行提供依据^[3]。

三、经济成本评估

（一）初期投资成本

脱硫废水零排放处理系统的初期投资成本主要包括设备购置费、安装调试费、土建工程费等。设备购置费是初期投资的主要部分，不同类型的处理技术和设备价格差异较大。例如，膜分离设备的价格相对较高，尤其是高性能的反渗透膜和纳滤膜。热法浓缩设备中的机械蒸汽再压缩蒸发器由于技术含量高，价格也较为昂贵。安装调试费包括设备的安装、调试和试运行费用，这部分费用与设备的复杂程度和安装难度有关。土建工程费则根据系统的占地面积和建设要求而定，包括设备基础、厂房建设、管道铺设等费用。

（二）运行维护成本

运行维护成本主要包括药剂费、能源费、设备维修费、人员工资等。药剂费是运行维护成本的重要组成部分，在预处理阶段，需要投加石灰乳、碳酸钠、液碱、有机硫、絮凝剂等药剂，这些药剂的消耗量与废水水质和处理规模有关。能源费主要包括电力费和蒸汽费，膜分离设备和热法浓缩设备在运行过程中需要消耗大量的电能，热法浓缩设备如果采用蒸汽加热，还需要消耗蒸汽。设备维修费用用于设备的日常维护和故障修理，随着设备使用时间的增长，维修费用会逐渐增加。人员工资则是支付运行管理人员的薪酬。

（三）经济效益分析

虽然脱硫废水零排放处理系统的初期投资和运行维护成本较高，但从长远来看，该技术能带来显著的经济效益。一方面，实现脱硫废水零排放可以减少火电厂的新鲜水取水量，降低用水成本。随着水资源的日益紧张，水价不断上涨，节约用水可以为企业节省大量的费用^[2]。另一方面，避免因废水排放不达标而缴纳的罚款，减少企业的环境风险和经济损失。此外，经过处理后的

废水可以回用于锅炉补水、循环水系统等。

四、环境效益评估

（一）水资源保护

火电厂作为工业领域中举足轻重的用水大户，其生产运营各个环节对水资源的依赖程度极高，从锅炉的冷却补水到烟气脱硫等工艺，都需要大量新鲜水资源的持续供应。在传统模式下，火电厂对水资源的消耗量大且利用率有待提升，进一步加剧了水资源短缺的紧张局面。

而实现脱硫废水零排放，无疑是解决这一问题的关键举措。它能够从源头上大幅削减火电厂对新鲜水资源的取用量，有效缓解水资源短缺带来的压力。不仅如此，经过先进技术处理后的脱硫废水，水质达到生产回用标准，可重新投入到火电厂的生产流程中。这一举措极大地提高了水资源的利用效率，构建起水资源循环利用的闭环体系，对保护珍贵的水资源、保障水资源的可持续利用以及推动火电厂行业的绿色发展都具有极为重要的现实意义。

（二）污染物减排

脱硫废水中含有大量的悬浮物、重金属、盐类及 COD 等污染物，若直接排放会对水体和土壤造成严重污染。实现脱硫废水零排放可以避免这些污染物进入环境，减少对生态环境的破坏。通过预处理、浓缩减量和末端固化等处理工艺，可以将废水中的污染物转化为固体废物进行安全处置，降低了污染物的排放总量。据统计，实施脱硫废水零排放技术后，火电厂每年可减少悬浮物排放数十吨、重金属排放数吨，对改善环境质量起到了积极作用。

（三）生态平衡维护

脱硫废水中的污染物会对水生生物和土壤微生物产生毒害作用，破坏生态平衡。实现脱硫废水零排放可以减少对水生生物和土壤微生物的危害，保护生态系统的稳定。例如，废水中的重金属会在生物体内积累，通过食物链传递，最终影响人类健康。通过零排放处理，可以切断重金属的传播途径，维护生态平衡，保障人类和生物的生存环境。

五、面临的挑战与对策

（一）技术挑战与对策

目前，脱硫废水零排放处理技术还存在一些技术挑战。例

如，膜分离技术在处理高浓度、高硬度废水时，容易出现膜污染和结垢问题，导致膜通量下降和处理效率降低。热法浓缩技术在运行过程中能耗较高，增加了运行成本。针对这些问题，可以采取以下对策：加强膜材料的研发，开发具有更高抗污染能力和耐腐蚀性的膜材料；优化膜分离工艺，采用合理的预处理方法和清洗策略，减少膜污染和结垢；改进热法浓缩技术，提高能源利用效率，降低能耗^[9]。

（二）经济挑战与对策

脱硫废水零排放处理系统虽在环保层面意义重大，但初期投资规模庞大，且后续运行维护成本也居高不下，这无疑给火电厂带来了颇为沉重的经济负担。为有效应对这一经济挑战，多管齐下是关键。政府应充分发挥政策引导作用，出台一系列针对性政策，如给予火电厂适当的财政补贴，缓解其资金压力；提供税收优惠政策，降低企业运营成本，以此激励企业积极投身脱硫废水零排放项目。火电厂自身也需主动作为，通过持续技术创新和精细化管理优化，挖掘降本增效潜力，提升系统运行效率。此外，还应加强与科研机构、相关企业的深度合作，整合各方资源，共同开展技术研发与推广应用，加速技术迭代，从而降低整体技术成本。

六、结论与展望

火电厂脱硫废水零排放处理技术是实现火电厂可持续发展的关键技术之一。该技术通过预处理、浓缩减量和末端固化等处理工艺，可以有效去除脱硫废水中的污染物，实现废水的零排放。虽然该技术在工程应用中面临一些挑战，如初期投资高、运行维护复杂等，但从经济成本和环境效益的综合评估来看，该技术具有显著的优势。它可以降低火电厂的用水成本，减少污染物排放，实现水资源的循环利用，对保护水资源和生态环境具有重要意义^[10]。

未来，随着环保要求的不断提高和技术的不断进步。在脱硫废水零排放领域，后续将持续投入研发力量，致力于探索并开发新型的处理技术与工艺，以此提升脱硫废水的处理效率，同时有效降低系统的运行成本。另一方面，将加强技术的集成应用和优化，实现多种处理技术的有机结合，提高系统的整体性能。同时，政府和社会将加大对脱硫废水零排放处理技术的支持和推广力度，促进该技术在火电厂的广泛应用，为实现我国电力行业的可持续发展做出贡献。

参考文献

- [1] 张哈, 刘显丽. 火电厂脱硫废水零排放技术的应用 [J]. 科技视界, 2025, 15(10): 53-55.
- [2] 黄春庭. 脱硫废水零排放的环境效益与经济效益分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(13): 72-74.
- [3] 王胜虎. 火电厂脱硫废水零排放研究和实施分析 [J]. 仪器仪表用户, 2023, 30(11): 82-86.
- [4] 李鹏. 脱硫废水的零排放处理技术应用 [J]. 电子技术, 2022, 51(06): 224-225.
- [5] 刘思远. 火电厂废水零排放技术及应用研究 [J]. 节能技术, 2022, 40(03): 284-289.
- [6] 陶正兴. 脱硫废水零排放工艺技术的工程应用研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(22): 131-133.
- [7] 盖克勤, 陈优东. 关于火电厂脱硫废水零排放技术应用 [J]. 科技创新与应用, 2021, (03): 104-106.
- [8] 李旭东, 洪毅. 火电脱硫废水零排放技术的探讨 [J]. 新疆环境保护, 2020, 42(03): 24-27.
- [9] 曹建锋. 火电厂脱硫废水零排放处理工艺介绍 [J]. 电力设备管理, 2019, (10): 132-133+173.
- [10] 王正阳, 程阳, 赵德远, 等. 火力发电厂脱硫废水零排放技术的研究与应用进展 [J]. 电站系统工程, 2019, 35(03): 46-48+52.

提高办公楼空调冷冻水压力稳定性的改造

卢汉

广西中烟工业有限责任公司，广西 南宁 530001

DOI:10.61369/ETQM.2025110009

摘 要： 本项目旨在提高办公楼空调冷冻水系统稳定性，通过加装改造冷冻水泵手自一体排气阀，针对性解决水泵运行稳定性不足、排气不畅导致压力波动等问题。根据系统管道总体布局，为5台冷冻输泵安装排气阀，可大幅度提高排气效率，减少叶轮受损程度。系统改造后，压力和设备运行效率显著提升，后期设备维护难度和成本随之下降。实际结果表明，该方案可有效解决空调冷冻水失衡问题，创设舒适的办公环境。

关 键 词： 压力稳定性；办公楼；空调冷冻水；系统改造

Renovation to Improve the Pressure Stability of Chilled Water in Office Building Air-Conditioning Systems

Lu Han

Guangxi China Tobacco Industrial Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530001

Abstract： This project aims to enhance the stability of the chilled water system in an office building's air-conditioning system by retrofitting manual-automatic air release valves on the chilled water pumps. This addresses issues such as insufficient operational stability of the pumps and pressure fluctuations caused by poor air venting. Based on the overall layout of the system's piping, air release valves were installed on five chilled water pumps, significantly improving air venting efficiency and reducing impeller damage. Following the system renovation, there was a notable increase in pressure stability and equipment operational efficiency, accompanied by a decrease in the difficulty and cost of subsequent equipment maintenance. Practical results demonstrate that this solution effectively resolves imbalances in the air-conditioning chilled water system, creating a comfortable office environment.

Keywords： pressure stability; office building; chilled water for air-conditioning; system renovation

办公楼空调系统运行是否稳定，很大程度上关系到办公环境舒适性，尤其是冷冻水系统的压力稳定性，如果压力失稳则会降低空调制冷效果。该办公楼由于制冷机组冷冻水泵排气不足，使得大量空气滞留内部，加剧压力波动，并且造成不同程度的叶轮损坏，降低空调整体性能，增加后期维护负担。因此，为了改善此类问题，本项目尝试着在冷冻水泵区域增设手自一体排气阀，优化系统排气结构，尽可能减少人工干预，提高系统自动排气能力同时，为冷冻水压力稳定提供坚实保障。

一、项目背景分析

（一）现状问题

办公楼空调系统运作制冷，其原理在于冷冻水反复循环过程制冷，因此冷冻水泵运行是否稳定，很大程度上决定了空调整体制冷效果。但是现有办公楼空调冷冻水系统却暴露出诸多问题，主要表现在以下几点：

（1）内部空气滞留，排气效率偏低。冷冻水泵系统原设计结构较为复杂，排气点数量少，多依靠人工手动排气，工作强度大，使得管道和泵体内部空气未能及时、充分排除。大量空气滞留在叶轮区域，导致叶轮出现不同程度的气蚀现象，缩短设备使用寿命，整体水泵效率大幅度下降^[1]。

（2）冷冻水压力不稳定，制冷效果不良。由于大量空气滞

留，排出不及时将会增加水循环阻力，系统压力稳定性下降，严重影响空调设备的制冷效果。在连锁反应下，办公区域可能出现不同区域制冷效果差异显著的问题，影响办公环境的舒适度^[2]。

（3）运行维护成本高，安全性不足。由于冷冻水系统需要人工排气，工作负担重、成本高，并且相较于自动排气装置而言，人工操作方式可能存在排气不充分的情况。如果冷冻水系统长期处于压力频繁波动状态，可能导致接头渗漏或管道振动，大幅度增加系统运行故障风险。

（二）项目改造的必要性

办公楼空调冷冻水系统由于内部大量空气滞留、无法及时排出，导致系统压力波动，威胁空调设备安全、稳定运行。空气积蓄在系统内部，加剧水泵气蚀现象，系统整体换热效率降低15%~20%，冷冻水流量波动超出标准10%，空调机组制冷

效果大打折扣^[3]。因此,为了改善此类问题,通过加装自动排气装置,致力于从源头上解决管道内部空气滞留问题,增强系统水利工况稳定性,提高末端空调设备制冷效果,创设舒适的办公环境。

现阶段设备采用人工维护方式,成本较高,每个月至少需要人工进行3次~4次排气作业,每次排气消耗时间2h~3h;排气不充分,叶轮会发生气蚀现象,使用寿命平均缩短30%左右,每年由于气蚀导致的机械损坏,大幅度增加后期维护成本。系统自动化改造后,可大幅度降低设备故障率、维护工作量、维护成本^[4]。

摒弃手动排气方式,迎合现代化、智能化建筑物管理要求,加装自动排气装置,在现代化信息技术支持下,实现系统远程监控、故障预警,同楼宇自动化系统紧密对接;丰富系统运行经验,为后续设备运行管控提供可靠的数据依据,最大程度上减少对人工实践经验的依赖性,创造更加理想的经济效益、社会效益。

二、办公楼空调冷冻水压力稳定性改造的优化措施

(一) 优化措施

办公楼空调冷冻水压力稳定性改造中,应针对冷冻水泵运行中的排气缺陷和压力波动等问题,每台冷冻水泵加装一个手自一体的排气装置,安装5个手自一体排气阀,采用自动和手动相结合的排气方式,能够保障冷冻水系统压力稳定,实现高效排气的作用。配件选用方面,结合实际需求综合考量系统参数,将DN20排气阀作为系统主要排气部件,适配现有系统管道规格,可以将管道中滞留的空气快速排出^[5]。配备DN15手动阀,自动排气异常故障时,可手动干预排气,增强排气的可靠性与灵活性。同时,为了实现各部件可靠连接,选用黄铜铸造、承插焊接式的20/15变径直通部件,满足不同管径部件的连接需要,增强管道连接流畅性以及密封性。另外,配备DN20内接及配套接头,借助此类部件可大幅度提高管道连接效果,有效避免冷冻水系统出现渗漏水或是漏水等问题,维护排气装置安全、稳定运行。依据流体力学分析结果,手自一体排气阀适合安装在水泵出口1.5m~2.0m垂直升高管段,气囊高度聚集区域,避开变径管或是弯头等紊流区域,便于人员后期检修和维护。为了保障安装质量,螺栓连接区域需要使用专门的密封胶进行处理,安装后对管道进行气密性测试,逐一验证每台水泵的排气功能是否正常发挥。基于此类手自一体排气装置,可实现冷冻输泵和系统中的空气高效、快速排出,避免空气滞留导致系统压力发生波动,为办公楼空调系统高效运行保驾护航^[6]。

(二) 技术细节

办公楼空调冷冻水压力稳定性改造,适合采用双模式排气系统,配备先进、可靠的手自一体排气阀,提供自动排气和手动排气两种模式。冷冻供水系统正常运行工况下,排气阀的自动模式自动化开启,借助排气阀内部精良结构智能感知系统内部空气滞留情况,空气量达到一定程度上后即可自动开启排气口充分排气,排气速度最高为15L/min,内部配备消音装置,增强排气即

时性同时,控制排气产生的噪音强度不超过60dB,有效降低人工操作和维护成本。部分特殊工况下,系统运行初期阶段排气量大,但是自动排气装置存在故障,可调整为手动模式,控制DN15手动阀充分排出系统内部空气。配备1/4转快速排气旋钮,特殊情况下通过该按钮即可强制排气;旋钮提起后旋转即可启动,避免误触;配备可视化窗口,实时观察排气状况,手动排气量最高为20L/min^[7]。

系统改造后,基于排气阀有效排出系统内部滞留空气,提高管道内冷冻水的流动顺畅性,最大程度上消除水锤效应。一般情况下,水锤效应产生,多是由于管道内部水流速度突变,导致管道内部压力骤然升高,诱发管道振动同时,还可能加剧水泵、管道等设备损害,威胁系统压力运行稳定性。及时排出系统内部空气,能够避免空气阻隔诱发的突变问题,提高办公楼空调冷冻水系统运行稳定性。

本次改造采用复合式排气结构,住排气口和辅助排气口分别采用不锈钢浮球阀、锥形喷嘴结构,提供双重密封装置,避免系统运行中发生泄漏问题。系统内部配备自适应控制系统,依托压力传感器实时监控系统运行状态,结合具体压力变化动态预警、调整排气策略;实行模块化维护设计,配备便捷的快拆式阀体结构和标准化接口设计,系统后期维护时即可便捷更换配件,缩短维护时间,最大程度上减少损失^[8]。系统兼容性设计,空调冷冻水压力始终处于0.2MPa~1.6MPa范围内,温度范围-10℃~130℃,可兼容乙二醇、水等常见冷媒。另外,系统配备防冻保护以及过压自动关闭等功能,特殊情况下可操控机械式应急手动装置。此种方式能够有效解决现有系统排气问题,适应各类复杂的工况,维护空调冷冻水系统长期稳定运行,提高系统运行效率。

三、办公楼空调冷冻水压力稳定性改造实施步骤

(一) 掌握管道走向,明确排气阀安装位置

办公楼空调冷冻水压力稳定性改造,在明确具体改造方案基础上,充分调查和掌握冷冻水系统管道走向。改造队伍收集办公楼空调系统的设计图纸和施工方案等文件资料,掌握管道布局、管径变化、具体连接方式,以及换热器、冷冻水泵以及末端空调设备的位置数据。配备专业人员前往现场,沿着管道走向勘察,使用激光测距仪收集管道的布局尺寸规格,使用超声波流量计检测不同管段内部液体流速,通常为2.5m/s~3.2m/s,全面记录系统压力波动数据;使用PipeFlow软件统计处理数据,在此基础上建立三维模型,精准识别管道气囊高风险区域;结合各台冷冻水泵运行特点和位置,确定最佳的排气阀安装位置,多是冷冻水泵出口管道高点区域,便于水泵内部空气及时、高效排出,避免大量空气积聚在管道内部。安装位置确定时,也要考虑后期检查和维护的便利性,避免安装位置与其他设备、管道冲突,提高系统整体运行稳定性和安全性^[9]。

(二) 采购相关配件,安装手自一体排气阀

依据系统改造要求、优化措施以及技术细节,编制详细、

准确的配件采购清单,其中包括 DN20 排气阀、DN15 手动阀、20/15 变径直通、DN20 内接以及配套接头的规格、数量、质量等要求,同时准备管道切割机、扭矩扳手等专用部件安装工具,如图 1。充分市场调查,优先选择高资质厂商建立合作关系,并对厂商提供的配件进行质量管控,进入现场的配件需要出具检验报告以及产品合格证等文件,全面保障配件合乎标准和规范要求^[10]。采购相关配件后,编制为期 15d 的施工进度计划,办理施工许可,组织施工人员参加技术和安全培训活动,至少涵盖了 3 项高危作业许可。



图 1 手自一体排气阀部件

现场改造施工环节,确定安装位置,并充分清理管道表面修饰、油垢等杂质,为后续管道安装质量提供保障。依据定位坐标对管道开孔,误差不得超过 2mm;采用氩弧焊工艺,焊接 DN20 法兰断管,焊接后进行管道压力测试,保持 1.5 倍工作压力,持续运行 30min,检查管道压力是否稳定。按照变径直通、手动阀、排气阀的顺序进行安装,使用扭矩扳手紧固,螺栓扭矩 65N · m

最佳。排气阀安装后,使用密封胶或是密封胶带保证接口密封性能,降低后期渗漏几率。管道安装后进行系统调试,检查是否能够正常运行。

（三）机组试运行，检查排气效果和稳定性

手自一体排气阀安装后即可试运行,仔细检查各设备是否牢固、是否泄露,排气阀的双模式是否正常切换,可视化界面显示的各项参数是否准确等。做好系统试运行记录,记录下各项数据指标。冷冻水机组启动后,依据设备运行程序动态调整机组运行负荷,按照低负荷到高负荷循序渐进过度。试运行环节,工作人员现场观察排气阀的排气效果,自动模式下是否将系统内部空气及时、充分排出;手动模式下,控制 DN15 手动阀检查系统内部空气排出以及渗漏水等分情况。实时监测系统压力变化,控制压力波动始终处于 $\pm 0.004\text{MPa}$ 以下。检查系统运行过程中有无振动、噪音等异常情况,保证系统压力始终处于稳定状态。试运行 48h 后,根据记录的数据综合评估系统改造效果,如果发现排气效果不理想,组织人员及时排查原因,制定针对性措施予以处置,全面保障系统稳定运行需求。

四、结论

综上所述,办公楼空调冷冻水压力稳定性改造是一项系统工程,本质目标在于提高系统压力稳定性和制冷效果,创设舒适的办公环境。因此,通过调查管道走向和分布情况,在合适位置安装 5 个手自一体排气阀,从而提高管道内部水流动顺畅性,保障系统安全、稳定运行。

参考文献

[1] 肖敏杰,曹勇,毛晓峰,等.基于需求响应的空调冷冻水系统热惯性研究[J].建筑科学,2025,41(06):205-213+244.
[2] 周俊杰,何延治,姜军.深圳高密度地区数据中心空调设计探索与实践[J].制冷,2025,44(03):20-23+34.
[3] 张长兴,赵光磊,丁卫科,等.基于自然冷却的数据中心空调系统应用特性[J].科学技术与工程,2025,25(15):6324-6331.
[4] 连梦雅.基于大型商业综合体的暖通空调节能设计要点分析[J].节能,2025,44(05):14-16.
[5] 王峻,李炯,王奕飞.建筑中央空调全局智控节能技术研究[J].建筑科技,2025,9(04):59-63.
[6] 罗文林,胡洪.杭州市某办公研发园区空调能源中心规划设计[J].山西建筑,2025,51(10):94-98+194.
[7] 杨木和,李志英.某超高层建筑空调冷源系统技术经济性分析[J].洁净与空调技术,2024,(03):1-5.
[8] 杨德志,陈飞虎,廖曙光,等.某新型空调水冷系统节能分析[J].洁净与空调技术,2024,(03):95-98.
[9] 周伟财.智慧建筑中央空调水系统节能优化设计分析[J].新城建科技,2024,33(08):68-70.
[10] 齐宗潮,龙广伟.关于采用下沉式冷却塔的地铁车站增设冷冻水定压补水装置的探讨[J].制冷,2019,38(04):6-9.

高水压条件下地铁盾构机防水密封施工技术要点

徐东升

中铁一局，江苏 无锡 065200

DOI:10.61369/ETQM.2025110014

摘 要： 随着城市的建设与发展，地铁项目不断增多，由于施工地面临复杂地质结构，尤其在高压条件下，防水施工就成为了关键施工环节。因此，盾构机防水密封作为确保施工安全与隧道质量的关键环节，其技术要点的把控至关重要。本文深入剖析高压环境对盾构机防水密封的挑战，系统阐述盾构机主驱动、盾尾、铰接等关键部位的防水密封技术，包括密封结构选型、密封材料选择以及施工工艺控制等方面要点，并探讨防水密封施工过程中的质量控制手段，旨在为高压条件下地铁盾构机防水密封施工提供全面的技术参考，保障地铁工程的顺利建设与长期稳定运行。

关 键 词： 高压；地铁盾构机；防水密封；施工技术

Key Technical Points for Waterproof Sealing Construction of Subway Shield Machines under High Water Pressure Conditions

Xu Dongsheng

China Railway First Bureau Group Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 065200

Abstract： With the continuous construction and development of cities, the number of subway projects is increasing. Given the complex geological structures encountered during construction, especially under high water pressure conditions, waterproofing construction has become a critical aspect. Therefore, controlling the technical key points of waterproof sealing for shield machines is crucial for ensuring construction safety and tunnel quality. This paper deeply analyzes the challenges posed by high water pressure environments to the waterproof sealing of shield machines and systematically elaborates on the waterproof sealing technologies for key parts of shield machines, such as the main drive, shield tail, and articulated joints. This includes aspects such as the selection of sealing structures, choice of sealing materials, and control of construction processes. Additionally, it explores quality control measures during the waterproof sealing construction process, aiming to provide comprehensive technical references for waterproof sealing construction of subway shield machines under high water pressure conditions, ensuring the smooth construction and long-term stable operation of subway projects.

Keywords： high water pressure; subway shield machine; waterproof sealing; construction technology

引言

在城市地铁建设蓬勃发展的当下，盾构法凭借其诸多优势成为隧道施工的主要方法之一。然而，当盾构机穿越富水地层、江河湖底等区域时，会面临高压的严峻挑战。高压条件下，一旦盾构机防水密封出现问题，地下水和泥沙可能大量涌入，不仅会引发盾构机故障、施工停滞等问题，还可能导致隧道坍塌等严重安全事故，对工程进度、成本以及周边环境造成巨大影响^[1]。因此，深入研究高压条件下地铁盾构机防水密封施工技术要点，对于保障地铁工程安全、高效建设具有重要的现实意义。

一、高压对盾构机防水密封的挑战

高压环境是地铁盾构施工中防水密封系统面临的核心考验，其通过力学作用、介质侵蚀及施工干扰等多重途径，对密封结构的稳定性、材料性能及施工可靠性构成显著威胁。

（一）高压对密封结构的力学冲击

高压对盾构机密封结构的力学作用具有直接性和持续性，主要表现为：第一，压力荷载的动态叠加。地层水压随盾构掘进深度、地质变化而动态波动，密封结构需长期承受交变荷载。当水压超过设计阈值时，密封件与密封面的贴合压力失衡，可能导

致间隙产生，形成渗漏通道。第二，结构变形的连锁影响。高压水易引发盾构机壳体、管片等结构的微变形，尤其在软硬不均地层中，盾构机姿态调整时的铰接部位、盾尾与管片的相对位移增大，可能导致密封结构压缩量不足或过度挤压，破坏密封连续性。第三，密封失效的连锁反应。若某一部位密封失效，高压水会沿缝隙快速渗透，对相邻密封结构形成二次冲击，加速整体密封系统的崩溃，增加应急处理难度。

（二）高压水对密封材料性能的劣化作用

密封材料是防水密封的核心载体，高压水环境会从物理和化学层面加速其性能衰减。长期高压作用下，橡胶类密封材料易出现弹性疲劳，压缩永久变形率上升，导致密封件无法回弹填充间隙；纤维增强类密封件则可能因水压冲击导致纤维倒伏、断裂，降低密封屏障效果。同时，高压水环境常伴随地下水的腐蚀性，密封材料会发生溶胀、硬化或龟裂，丧失原有的粘结性和密封性。例如，普通丁腈橡胶在高矿化度水中长期浸泡后，硬度可能上升30%以上，弹性显著下降。另外，高压水下，密封件与金属结构或管片表面的摩擦力增大，加之水流携带的泥沙颗粒冲刷，会加速密封材料的磨损，缩短其有效使用寿命^[2]。

（三）高压水对施工过程的干扰与风险

高压水不仅影响密封系统的静态性能，更对施工环节的操作精度和稳定性构成挑战。在高压水环境中，密封件的安装易受水流冲击干扰，可能出现错位、褶皱等问题，导致初始密封性能不达标。同时，管片拼装时的微小错台在高压水下会被放大，使接缝密封垫受力不均，形成局部渗漏隐患。盾构掘进中，需对盾尾密封油脂、主驱动密封润滑脂等进行动态补充，高压水会导致油脂注入压力难以控制，压力不足则无法形成有效密封屏障，压力过高又可能击穿密封结构或造成油脂浪费。此外，密封件更换需在带压环境下进行，操作空间受限且易引发涌水风险。高压水下，一旦出现渗漏，水流速度快、携砂能力强，若不能在短时间内封堵，可能迅速发展为大规模涌水涌砂，威胁施工安全。因此，对密封系统的实时监测和应急响应提出了更高要求。

二、盾构机关键部位防水密封技术要点

（一）主驱动密封技术

主驱动密封是盾构机防水密封的关键部位之一，常见的密封结构有唇形密封、迷宫密封和组合密封等。在高压水条件下，组合密封结构因其良好的密封性能而被广泛应用。例如，采用多道唇形密封与迷宫密封相结合的方式，唇形密封可有效阻止介质的泄漏，迷宫密封则通过增加泄漏路径和阻力，进一步提高密封效果。这种组合密封结构能够适应高压、高转速的工作环境，确保主驱动系统的密封可靠性。另外，主驱动密封的安装质量直接影响其密封性能。在安装过程中，需严格按照安装工艺要求进行操作，确保密封件的安装位置准确、密封间隙均匀。例如，唇形密封的唇边应正确贴合在密封面上，避免出现扭曲或损伤。定期对主驱动密封进行维护检查，及时更换磨损或老化的密封件，确保密封系统的正常运行。同时，加强对主驱动密封处的润滑管

理，合理选择润滑油脂，保证密封件在良好的润滑条件下工作，降低磨损程度^[3]。

（二）盾尾密封技术

盾尾密封通常采用多道钢丝刷密封结构，一般设置3-4道钢丝刷。在高压水条件下，可适当增加钢丝刷的道数或优化钢丝刷的排列方式，提高密封效果。例如，采用交错排列的钢丝刷结构，能够增加密封路径的曲折程度，有效阻挡泥水和浆液的侵入。同时，在钢丝刷之间设置密封油脂腔，通过注入密封油脂来填充钢丝刷之间的间隙，形成一道可靠的密封屏障。同时，密封油脂是盾尾密封的重要组成部分，其性能直接影响盾尾密封效果。在高压水条件下，应选用高粘度、高耐压、抗冲刷性能好的密封油脂。例如，含有特殊添加剂的膨润土基密封油脂，具有良好的粘附性和抗水性，能够在高压水下形成稳定的密封膜。密封油脂的注入量和注入压力需根据盾构机的掘进速度、地层水压等参数进行精确控制。一般来说，掘进速度越快、水压越高，密封油脂的注入量和注入压力也应相应增大。通过安装在盾尾的压力传感器和流量传感器，实时监测密封油脂的注入情况，确保密封油脂的注入满足密封要求。除此之外，在盾构机掘进过程中，盾尾密封刷会因磨损而逐渐失去密封性能，需要定期进行更换。在高压水条件下，盾尾密封刷的更换难度较大，风险也较高。因此，在设计盾构机时，应考虑密封刷的更换便利性，例如设置专门的密封刷更换装置。同时，制定完善的应急处理预案，当盾尾出现大量涌水涌砂等紧急情况时，能够迅速采取有效的应急措施，如注入双液浆或聚氨酯等堵漏材料，进行封堵处理，确保施工安全。

（三）铰接密封技术

盾构机铰接密封主要用于防止泥水和浆液从盾构机的铰接部位泄漏。常见的铰接密封结构有橡胶密封带、钢质密封环和组合密封等。橡胶密封带具有良好的柔韧性和弹性，能够适应盾构机铰接部位的变形，但在高压水下其密封性能相对较弱。钢质密封环则具有较高的强度和耐压性能，但安装和维护较为复杂。在高压水条件下，常采用橡胶密封带与钢质密封环相结合的组合密封结构，充分发挥两者的优势，提高铰接密封的可靠性。铰接密封材料应具备良好的耐水性、耐腐蚀性和抗挤压性能。橡胶密封带一般采用三元乙丙橡胶等耐水、耐腐蚀性能好的橡胶材料制作。钢质密封环则需选用高强度、耐磨损的钢材，并进行表面防腐处理，如镀锌、镀铬等，以提高其抗腐蚀性能。此外，为提高密封材料的密封性能，可在橡胶密封带与钢质密封环之间添加密封垫或密封胶，增强密封效果。铰接密封的安装精度要求较高，安装过程中需确保密封结构的各个部件安装牢固、密封间隙均匀。例如，橡胶密封带应紧密贴合在铰接部位的密封槽内，不得出现松动或扭曲现象。钢质密封环的连接螺栓应均匀拧紧，保证密封环的密封性能。在盾构机调试阶段，对铰接密封进行严格的密封性测试，检查是否存在泄漏现象。如有泄漏，及时查找原因并进行调整，确保铰接密封在盾构机掘进过程中正常工作^[4]。

三、防水密封施工工艺控制要点

（一）管片制作与拼装精度控制

管片作为盾构隧道的永久衬砌结构，其制作精度对防水密封至关重要。在高水压条件下，应采用高精度钢模制作管片，严格控制管片的尺寸偏差。例如，管片的宽度偏差应控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内，弧长和弦长偏差控制在 $\pm 1.0\text{mm}$ 以内。同时，优化管片混凝土配合比，提高混凝土的密实性和抗渗性，确保管片自身的防水性能。在管片制作过程中，加强对原材料质量的检验和生产过程的质量控制，保证管片质量的稳定性。管片拼装时，严格按照设计要求和拼装顺序进行操作，确保管片的定位准确。采用先进的管片拼装设备，如具有高精度定位功能的拼装机，提高管片拼装的精度。控制管片拼装的错台量，环向错台量一般控制在 5mm 以内，纵向错台量控制在 3mm 以内。错台量过大会导致管片接缝处的防水密封垫无法有效压紧，从而降低防水密封效果。在管片拼装完成后，及时对管片的椭圆度进行测量和调整，确保管片衬砌环的椭圆度符合设计要求，一般控制在 $6\% D$ 以内。

（二）密封垫的粘贴与安装

根据高水压条件和隧道工程的特点，选择合适的密封垫材料和型号。常用的密封垫有三元乙丙橡胶密封垫、遇水膨胀橡胶密封垫等。三元乙丙橡胶密封垫具有良好的耐老化、耐水性和弹性；遇水膨胀橡胶密封垫则在遇水后能够膨胀，填充密封间隙，提高密封性能。在密封垫采购过程中，严格按照相关标准进行检验，确保密封垫的尺寸、硬度、拉伸强度等性能指标符合要求。对密封垫的外观质量进行检查，不得有气泡、裂纹、缺胶等缺陷。在管片粘贴密封垫前，对管片粘贴面进行清洁处理，去除油污、灰尘等杂质，确保粘贴面干燥、平整。采用专用的粘贴胶将密封垫牢固地粘贴在管片上，粘贴过程中注意密封垫的位置准确，不得出现偏移或扭曲现象。密封垫的接头应采用搭接或硫化对接的方式进行处理，搭接长度一般不小于 100mm ，硫化对接时应确保对接质量，保证接头处的密封性能。粘贴完成后，对密封垫的粘贴质量进行检查，确保密封垫粘贴牢固，无松动现象。在管片吊运和拼装过程中，采取有效的保护措施，防止密封垫受到损坏。例如，在管片吊运时，使用专用的吊具，避免管片与吊具

之间的碰撞对密封垫造成损伤。在管片拼装过程中，操作人员应轻拿轻放，避免密封垫被刮伤或挤压变形。当发现密封垫有损坏时，及时进行修补或更换，确保密封垫的密封性能不受影响。

（三）嵌缝施工工艺

嵌缝材料应具备良好的粘结性、弹性、耐水性和抗老化性能。在高水压条件下，可选用环氧树脂类、聚硫橡胶类等嵌缝材料。环氧树脂类嵌缝材料具有较高的粘结强度和硬度，但弹性相对较差；聚硫橡胶类嵌缝材料则具有良好的弹性和耐水性，能够适应管片接缝的变形。根据工程实际情况，也可采用两种或多种嵌缝材料复合使用的方式，取长补短，提高嵌缝效果。嵌缝施工前，对管片接缝进行清理，去除杂物、灰尘和积水等。使用专用的工具将嵌缝材料均匀地嵌入管片接缝的嵌缝槽内，嵌入深度一般不小于 20mm 。嵌缝过程中，注意嵌缝材料的密实度，避免出现空洞或气泡。嵌缝完成后，对嵌缝表面进行修整，使其与管片表面平齐，并保证嵌缝材料的表面光滑。在嵌缝材料固化前，采取保护措施，防止嵌缝材料受到外力破坏。嵌缝施工完成后，按照相关标准和规范对嵌缝质量进行检验和验收。检查嵌缝材料的填充密实度、粘结牢固程度以及表面平整度等。采用外观检查、敲击检查等方法进行质量检验，对于不合格的部位，及时进行返工处理。同时，对嵌缝施工的相关资料进行整理和归档，确保施工质量的可追溯性^[5]。

四、结束语

总之，高水压条件下地铁盾构机防水密封施工技术要点涵盖了盾构机关键部位的密封技术、施工工艺控制以及质量控制与监测等多个方面。通过合理选择密封结构和密封材料、严格控制施工工艺精度、加强施工质量控制与监测等措施，可以有效提高盾构机防水密封的可靠性，保障高水压条件下地铁盾构施工的安全与顺利进行。随着地铁建设向更复杂地质条件区域的推进，还需不断深入研究和创新盾构机防水密封技术，以应对未来工程建设中可能面临的各种挑战，为城市地铁事业的可持续发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 张志萌. 富水地层地铁盾构管片接缝和车站关键部位防水技术研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023, (02): 73-78.
- [2] 沈子贺, 郭义, 王浩楠, 等. 地铁盾构管片接缝的防水施工分析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(19): 120-122.
- [3] 罗拥辉. 地铁盾构管片连接处密封垫防水性能分析[D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [4] 龚国栋, 丁超, 李宏亮, 等. 地铁盾构隧道管片接缝复合型密封垫防水研究[J]. 地下空间与工程学报, 2020, 16(05): 1563-1568+1579.
- [5] 朱耀民. 浅谈地铁盾构隧道的防水技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2020, (15): 68.

基于局部放电监测的高压试验方法优化研究

郭兴帅, 马晓玮

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司, 内蒙古 鄂尔多斯 010300

DOI:10.61369/ETQM.2025110018

摘 要 : 高压试验是电力设备绝缘性能评估的重要手段, 但传统方法多依赖宏观指标, 难以及时揭示潜在缺陷。局部放电作为绝缘劣化的敏感表征, 可在微观层面反映绝缘状态。本文系统阐述局部放电的机理与监测方法, 剖析耐压试验、泄漏电流、介质损耗和绝缘电阻等传统试验的局限性, 并提出基于局部放电监测的优化路径。通过协同监测、脉冲特征融合、频谱扩展及多维参数耦合等措施, 实现高压试验由宏观诊断向精细化、智能化演进, 为电力设备绝缘状态评价与智能电网运行提供新思路。

关 键 词 : 局部放电; 高压试验; 绝缘诊断; 信号处理; 优化路径

Optimization Study of High-Voltage Test Methods Based on Local Discharge Monitoring

Guo Xingshuai, Ma Xiaowei

Xuejiawan Power Supply Branch, Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia 010300

Abstract : High-voltage testing serves as a crucial method for evaluating the insulation performance of electrical equipment, yet traditional approaches predominantly rely on macro-level indicators, making it difficult to promptly identify potential defects. Partial discharge, as a sensitive indicator of insulation degradation, can reflect insulation conditions at a microscopic level. This paper systematically elaborates on the mechanisms and monitoring methods of partial discharge, analyzes the limitations of conventional tests such as withstand voltage testing, leakage current, dielectric loss, and insulation resistance, and proposes optimized approaches based on partial discharge monitoring. Through coordinated monitoring, pulse characteristic fusion, spectrum expansion, and multi-dimensional parameter coupling, this study facilitates the evolution of high-voltage testing from macro-level diagnosis to refined and intelligent evaluation, offering new insights for assessing electrical equipment insulation status and supporting smart grid operations.

Keywords : partial discharge; high-voltage test; insulation diagnosis; signal processing; optimization path

引言

随着电力系统电压等级不断攀升, 设备绝缘性能成为运行安全的关键环节。长期以来, 高压试验作为常规检测手段在保障设备可靠性方面发挥了重要作用, 但其侧重宏观参数, 往往无法揭示绝缘内部潜在缺陷。近年来, 国际上对绝缘状态评估的关注不断深化, 传统耐压、泄漏电流、介质损耗及绝缘电阻等方法在工程实践中逐渐显现局限, 难以满足智能电网对早期隐患识别和精细化诊断的需求。如何在现有试验体系中引入更敏感、可量化的指标, 成为高压试验方法亟需解决的核心问题。

一、局部放电监测在高压试验中的理论基础

(一) 局部放电机理与特征

局部放电是绝缘系统在承受电场作用时局部区域发生的非完全击穿现象, 通常出现在气隙、固体界面或绝缘材料劣化部位^[1]。其产生过程与局部电场畸变密切相关, 放电形式包括气隙

击穿、沿面闪络及树枝状发展等。局部放电虽不会立即导致设备击穿, 但在长期作用下会逐步恶化绝缘性能, 最终演化为绝缘失效。其特征主要表现为放电量大小、脉冲波形、能谱分布和相位分布规律, 这些参数能反映绝缘缺陷的性质与发展趋势, 因此被视为评价绝缘早期劣化的敏感信号, 具有重要理论与工程应用价值。

作者简介:

郭兴帅(1987.08.12—), 男, 河北邯郸人, 汉族, 大学本科, 副高, 工程师, 专业和研究方向: 电力高压试验。

马晓玮(1995.01.12—), 女, 内蒙古乌兰察布人, 汉族, 大学本科, 工程师, 专业和研究方向: 电力高压试验。

（二）局部放电监测方法分类

局部放电的监测方法依据信号类型和检测原理可分为多种路径。电气法通过电流脉冲和电容耦合采集放电脉冲，灵敏度高但受噪声干扰明显；电磁法以超高频天线或传感器捕捉放电电磁辐射，适用于 GIS 和电缆场景；声学法依靠超声波换能器识别放电产生的机械波动，便于空间定位；光学法则利用放电伴随的光辐射特征，适合检测透明或局部可视的绝缘体^[2]。不同方法各有优势和适用范围，随着传感技术与数据处理算法的发展，综合多源监测并融合分析结果逐渐成为趋势，为后续高压试验方法的优化和创新奠定了更加坚实和广阔的技术基础。

二、传统高压试验方法的局限性

（一）耐压试验的局限性

耐压试验通过施加高电压考察绝缘承受能力，但该方法只关注击穿阈值，忽视了电压作用下可能发生的局部放电现象^[3]。局部缺陷往往在额定电压以下就已产生放电活动，而传统耐压试验并未监测这些信号，导致潜在隐患被掩盖。另外，单纯依赖电压升高可能加速绝缘老化，甚至诱发新的微裂纹，反而降低设备的长期可靠性。从局部放电监测的角度看，耐压试验缺少对放电相位分布和脉冲特征的捕捉，无法实现早期诊断。更重要的是，该方法给出的结果通常是“合格或不合格”的单一判据，缺乏细化的健康等级评估功能，也不利于长期状态趋势的跟踪。

（二）泄漏电流测量的局限性

泄漏电流测量常用来评估整体绝缘导电性，但该方法主要反映均值变化，对局部缺陷导致的瞬态放电信号并不敏感。在绝缘材料内部产生的放电脉冲，其电流贡献往往极小，很容易淹没在背景电流中^[4]。传统测量方式忽略这些短时高频信号，因此即便存在局部放电，测试结果仍可能显示绝缘良好。在局部放电监测的视角下，泄漏电流测量缺乏对脉冲波形和能谱信息的获取能力，导致其诊断分辨率不足。另外，测试结果还易受外部电磁干扰和环境变化的影响，进一步降低了其在复杂现场条件下的可靠性，也限制了其在早期缺陷预警中的实用性。

（三）介质损耗因数测量的局限性

介质损耗因数是反映绝缘在交流电压下介质损耗水平的重要指标，但该参数主要呈现整体趋势，对局部放电引起的微观能量释放反映不足^[5]。实际中，放电活动会在高频区产生能谱特征，而传统损耗测量聚焦于工频条件，无法有效捕捉高频分量。另外，该方法受湿度、温度等外部因素影响明显，掩盖了局部放电信号的贡献。从局部放电监测的角度看，介质损耗测试缺少与放电脉冲能量耦合的能力，限制了其在精细化诊断中的作用。尤其在特高压设备中，这种不足会导致早期缺陷被延迟发现，降低了测试对运维决策的指导价值，也使设备健康评价的灵敏度明显不足。

（四）绝缘电阻测量的局限性

绝缘电阻测试通常用于宏观评估绝缘状况，但在特高压设备中，这种方法无法揭示局部放电引发的早期劣化^[6]。放电活动在直流电压下同样可能发生，但其表现为瞬时脉冲，难以通过平均

电阻值反映出来。由于该方法侧重整体电阻数值，缺乏对瞬态局部放电信号的敏感捕捉，结果往往显示正常而实际存在隐患。同时，环境湿度与温度的波动对电阻数值影响较大，进一步降低了对局部放电活动的指示能力。其局限性还体现在测试周期较长、判断粗糙，使其在现代电力设备状态评估中的独立价值逐渐减弱，也难以满足精细化诊断和全寿命周期管理的需求。

三、基于局部放电监测的高压试验方法优化路径

（一）耐压试验的协同监测优化

在高压设备的检测实践中，耐压试验长期作为“通行证”，然而仅凭电压能否承受往往无法揭示绝缘材料内部的隐性问题^[7]。引入局部放电监测后，试验的意义被重新定义：升压不仅是电场强度的考验，更是对放电活动的实时跟踪。其优化路径首先体现在判据的转变。过去结果只有“是否击穿”，而现在可以通过“电压阈值+放电活动”双标准进行综合判断。例如，在逐级升压过程中，如果在额定电压的八成水平就检测到持续放电量超过 10 pC，且脉冲分布具有稳定相位集中性，即可认定设备绝缘存在缺陷风险，而不必继续冒险升压。

技术实现上，这一优化并不依赖大规模改造，而是通过加装局放传感器实现嵌入式改进。常见做法是在高压回路中安装高频电流互感器，同时布设超高频传感器，用于捕捉不同形态的放电信号。数据采集采用高速示波器与专用监测软件，在升压过程中生成“电压—放电量”曲线，并同步存储用于后期比对。通过这一方式，耐压试验不仅能区分设备的绝缘等级，还能实现健康度分级：当放电量长期低于 5 pC，可判定绝缘状态良好；若在电压尚未达到额定水平时放电量已超过 20 pC，则表明局部缺陷处于活跃状态，必须进行检修。进一步地，还可以将不同设备的历史试验结果建立数据库，通过横向对比识别典型缺陷模式。优化后的流程让试验结论不再是单一的合格或不合格，而是面向维护决策的精细化参考，使耐压试验真正转向动态预警和风险控制。

（二）泄漏电流测量的脉冲特征融合

在常规高压试验中，泄漏电流被视为评价绝缘导电性的直接指标，但这种宏观量值往往掩盖了缺陷发展的细节^[8]。通过引入局部放电监测，可以让这一方法焕发新价值。其核心思路是把泄漏电流分解为两部分：一是低频背景分量，反映绝缘整体的稳定性；二是高频脉冲分量，直接对应局部放电活动。优化后的测试流程要求在电流采集回路中增加宽带传感器，以捕捉脉冲信号，同时保持整体电流监测。随后，利用滤波与时频分析将两类信号分离，再进行耦合对比。如果整体电流变化在 0.5 μ A 以内，而脉冲活动频度却在电压上升过程中不断增加，则表明绝缘内部已经存在活跃缺陷，应引起重视。

这一融合方法的优势在于，它能够将原本稳定的电流曲线转化为“整体值+脉冲特征”的双维度结果。试验人员不再仅仅依赖数值的绝对大小，而是观察脉冲出现的频度、幅值以及与电压的相关性。例如，一根电缆在升压至额定值前，整体电流仍维持在允许范围，但脉冲活动在数百千赫兹到数兆赫兹的频段持续

出现，这一迹象往往预示着气隙或界面缺陷的存在。通过这种方式，泄漏电流测量不再停留在宏观诊断，而是成为揭示微观劣化的精密工具。同时，结合多次测量、平均化统计和噪声抑制手段，可以有效降低外界干扰的影响，提高数据的可信度。更进一步，试验结果还可与局放相位分布图谱联动，形成多源信息融合，使诊断结论更加稳健。最终，该优化路径使泄漏电流测试实现了由粗粒度到精细化的转型，为设备状态评估提供了更敏感、更前瞻的依据。

（三）介质损耗测量的频谱扩展应用

介质损耗因数常用于反映绝缘在交流电场下的整体能量损耗，但其不足之处在于，只在工频条件下取值，局部放电的高频能量释放往往被忽略^[9]。优化思路是将局部放电监测方法引入介质损耗测试，使其从单一工频量值扩展为多频段诊断。具体路径包括两个层面。第一，采集放电脉冲信号并进行频谱分析，提取局放活动在数百千赫兹到数兆赫兹范围内的能量特征；第二，将这些高频特征与工频损耗因数进行关联，构建“多频损耗曲线”。在实践中，如果某设备的工频损耗值仍处于合格范围，但在高频区出现能量峰值集中，且与放电脉冲对应关系明确，就可以认定绝缘存在早期劣化迹象。

实施过程中，需要在测试平台上增加频谱分析单元，能够对局部放电引起的脉冲群进行能量分布计算。数据处理方面，常用小波包分解方法对不同频段的能量占比进行量化，再与损耗因数的基准曲线进行比对。这样一来，介质损耗测试不仅能反映整体趋势，还能揭示放电源的活跃程度和位置特征。例如，若在1 MHz 附近能量显著增强，往往指向沿面放电；若在数百千赫兹频段能量占比增加，则多与气隙缺陷相关。通过频谱扩展，介质损耗测试实现了由单参数向多维度指标的转变，使结果不仅仅是一个数值，而是包含频率分布、能量结构和缺陷特征的综合判据。这一方法能够让传统测试焕发新的诊断能力，更适应特高压设备复杂的绝缘系统。同时，这种扩展方式还能对不同设备建立“指纹特征库”，通过历史比对实现长期趋势监控，为状态评估提供更加全面的技术支撑。

（四）绝缘电阻测量的多维参数耦合

绝缘电阻测量向来以宏观数值为判据，其优点在于简便，但

缺点是难以发现局部放电引起的瞬态变化^[10]。优化路径是将电阻测量与局放监测耦合，使测试结果从单一电阻值拓展为“电阻趋势+局放活动”双指标体系。具体方法为：在直流耐压过程中同步采集局放脉冲信号，当电阻值显示稳定但脉冲数量逐步增加时，可判断绝缘内部已存在微小缺陷。进一步地，还可以在试验结束后进行“吸收比”与“局放活动量”的交叉比对，以揭示绝缘材料的极化过程是否与局部放电关联。例如，如果吸收比仍符合标准，但局放量在几十 pC 以上，说明宏观性能尚未恶化，但微观缺陷已经萌芽。

该方法的实施强调结果的多维解读。单独的电阻数值只能给出整体状态，而与局部放电信号耦合后，就能区分“表面稳定、内部活跃”的情况。为了提升可靠性，可通过多点测试采集不同时间段的电阻和局放数据，建立趋势曲线，判断劣化的动态发展。结果呈现方式也不再是一个固定的兆欧级数值，而是包含电阻基线、脉冲活动频率和趋势指标的综合图表。这样一来，绝缘电阻试验不再是入门级的“初步判断”，而是升级为兼具宏观和微观视角的诊断手段。通过这种多维参数耦合，检测人员能够更准确地把握绝缘劣化的早期阶段，从而为预防性维护和寿命评估提供科学依据。另外，这一方法还能与在线监测系统对接，形成“实验室检测+运行监控”的双重机制，从而实现长期稳定的数据积累，为智能电网的绝缘全寿命管理提供可行路径。

四、总结

本文围绕高压试验方法的优化，系统引入局部放电监测思想，突破了传统耐压、泄漏电流、介质损耗和绝缘电阻试验宏观判据单一、灵敏度不足的局限。研究结果表明，通过协同监测、脉冲融合、频谱扩展及多维耦合等路径，可实现从“是否击穿”到“早期预警”、从“宏观指标”到“微观细节”的转型。该优化体系不仅提升了检测的准确性和前瞻性，也为绝缘状态分级评估和智能化诊断提供了实践依据。未来有望与大数据、人工智能结合，构建面向全生命周期的智能监测平台。

参考文献

- [1] 李军浩, 韩旭涛, 王昊天, 等. 电气设备局部放电检测技术述评: 2015—2025[J]. 高电压技术, 2025, 51(07): 3132–3158.
- [2] 张羽翔. 高压电气试验的局部放电检测方法及其故障诊断研究[J]. 防爆电机, 2025, 60(04): 124–127.
- [3] 郑楠. 基于物联网的电力电缆局部放电故障状态自动监测方法[J]. 自动化应用, 2025, 66(12): 252–254+258.
- [4] 张红彬, 黄明辉, 乔亚飞. 高压电气设备局部放电在线监测技术与应用[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(17): 182–185.
- [5] 吴江锋. 电力电缆局部放电检测技术及应用分析[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(05): 82–83+86.
- [6] 王德玉. 基于局部放电检测技术的高压开关设备状态评估研究[J]. 电气技术与经济, 2025, (04): 69–72.
- [7] 杨应仓, 张斌山, 陈俊德, 等. 局部放电理论及其检测方法研究[J]. 中国设备工程, 2025, (04): 18–20.
- [8] 王理强, 李玉华. 局部放电测试技术在电力电缆的应用分析[J]. 中国设备工程, 2025, (S1): 276–278.
- [9] 徐明磊. 电力变压器电气高压试验技术要点探讨[J]. 中国设备工程, 2024, (24): 212–214.
- [10] 胡晖, 周广成, 李安茂. 高压试验中变压器试验问题及故障处理方法[J]. 科技资讯, 2022, 20(15): 63–65.

水利工程运行维护的智能化管理模式研究

徐冉殷¹, 海平², 胥照³, 于坚⁴, 王旭⁵

1. 淮安市淮泗涵闸管理所, 江苏 淮安 223001

2. 淮安市高良涧水利工程管理站, 江苏 淮安 223001

3. 淮安市清晏园, 江苏 淮安 223001

4. 淮安市淮涟灌区管理所, 江苏 淮安 223001

5. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/ETQM.2025110026

摘 要 : 水利工程作为重要的基础设施, 其运行维护直接关系到水资源的合理利用与安全保障。随着信息技术的不断发展, 智能化管理在水利工程中的应用成为提升管理效率和精准度的有效手段。通过物联网、大数据与人工智能等技术的融合, 智能化管理模式能够实时监控水利设施运行状况, 优化资源配置, 并提前预测和处理潜在问题。研究表明, 智能化管理能显著提高水利工程的运行效率, 减少维护成本, 为未来水利工程的可持续发展提供有力支持。

关 键 词 : 智能化管理; 水利工程; 物联网; 大数据分析; 自动化调度

Research on Intelligent Management Mode for the Operation and Maintenance of Water Conservancy Projects

Xu Ranyin¹, Hai Ping², Xu Zhao³, Yu Jian⁴, Wang Xu⁵

1. Huaisi Sluice Management Office, Huai'an, Jiangsu 223001

2. Gaoliangjian Water Conservancy Project Management Station, Huai'an, Jiangsu 223001

3. Qingyan Park, Huai'an, Jiangsu 223001

4. Huailian Irrigation District Management Office, Huai'an, Jiangsu 223001

5. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : As vital infrastructure, water conservancy projects' operation and maintenance directly relate to the rational utilization and safety assurance of water resources. With the continuous development of information technology, the application of intelligent management in water conservancy projects has become an effective means to enhance management efficiency and precision. Through the integration of technologies such as the Internet of Things (IoT), big data, and artificial intelligence, intelligent management modes can monitor the operational status of water conservancy facilities in real-time, optimize resource allocation, and predict and address potential issues in advance. Research indicates that intelligent management can significantly improve the operational efficiency of water conservancy projects, reduce maintenance costs, and provide strong support for the sustainable development of future water conservancy projects.

Keywords : intelligent management; water conservancy projects; Internet of Things; big data analysis; automated scheduling

引言

水利工程是保障社会经济发展和人民生活的重要基础设施, 其运行维护直接影响水资源的利用与安全。随着信息技术的不断进步, 智能化管理在各行业的应用取得了显著成效, 特别是在水利领域, 智能化管理能够提升运行效率、优化资源配置, 并有效预防和解决潜在问题。目前, 传统水利工程管理面临着信息滞后、效率低下等挑战, 因此, 探索智能化管理模式对于解决这些问题具有重要意义。通过引入先进的技术, 推动水利工程管理的智能化转型, 能够确保水资源的合理利用和可持续发展。

一、水利工程管理的传统模式与存在的问题

（一）传统水利工程管理的特点

传统水利工程管理主要依赖人工监控与管理，运作方式较为传统。工程运行过程中的数据大多依赖人工记录和现场观察，信息的传递与处理多通过纸质文件或人工手动输入系统。由于这些管理方式的依赖性，传统管理模式常常存在效率低下的问题。例如，工程工作人员需手动巡检设备和设施，检查结果可能延迟录入系统，从而导致信息更新滞后，无法及时反映设施的实际运行情况。同时，传统模式下，管理层面之间的信息传递也常常存在时间上的空档，决策时无法得到及时且精确的数据支持^[1]。这种管理方式不仅增加了工作量，还极大地影响了水利工程的运营效率和管理质量。

（二）面临的挑战

水利工程的管理面临着复杂性与多元化的挑战。随着社会发展，水利设施规模不断扩大，涉及的项目种类、管理层次、设备种类等也越来越多，增加了管理的复杂性。不同类型的水利工程（如水库、灌溉系统、供水系统等）在功能、运行维护要求和管理难度上各不相同，因此在管理过程中涉及的知识面广，要求人员具备多学科知识。同时，水利工程管理中大量的数据无法得到及时采集与处理，导致决策支持系统的效率低下。由于监测设备分布广泛且难以实时联网，很多设施的运行状况难以及时获取，数据收集常常依赖人工巡查和定期记录。这样，不仅提高了管理成本，还降低了管理的响应速度，给水利工程的安全性和稳定性带来了隐患。

（三）传统模式的局限性

传统水利工程管理模式的局限性表现得尤为明显，尤其是在管理成本和突发事件应对能力方面。首先，传统管理模式，人工巡检、数据记录和信息传递都需要大量的人工参与，增加了人力成本和管理成本。此外，人工管理方式难以有效提高工作效率，往往依赖于人工经验和感知，容易出现管理盲点或失误，导致设备故障、运行问题等难以及时发现和解决。其次，传统模式下的应急反应速度较慢，面对突发问题时，管理人员通常需要依赖现场调查、手动处理等方式来获取信息并作出决策，这在实际操作中往往出现延误，导致应急处置滞后。例如，在暴雨、洪水等突发情况下，水利设施的应急响应能力较差，可能导致水库溃坝或排水系统堵塞等严重问题^[2]。这些局限性不仅影响了水利工程的运行效果，还对水资源的安全性和高效利用造成潜在威胁。

二、智能化管理的核心技术与应用

（一）物联网技术的应用

物联网（IoT）技术作为智能化管理的核心技术之一，已在水利工程管理中发挥着重要作用。物联网技术的关键在于通过传感器和设备将水利工程中的各种设施与管理系统进行连接，实现数据的实时采集与传输。通过布设大量的智能传感器，水利工程中的水位、流量、压力、温度等关键参数能够被实时监控和记录。

这些传感器采集到的数据可以通过无线网络传输至中央数据库进行存储与分析，管理人员可以在任何时刻查看水利设施的运行状态。物联网技术的应用大大提高了数据的精度和时效性，确保了实时掌握设施运行状况，使得管理人员可以及时做出响应。同时，物联网技术还能够与其他系统结合，推动水利工程管理向智能化、自动化方向发展^[3]。

（二）大数据分析人工智能的支持

随着物联网技术的普及，水利工程生成的数据量急剧增加。大数据技术能够高效处理这些海量数据，并为决策提供支持。通过对多维数据（如气象、土壤湿度、设施状态等）的分析，系统可以实时了解工程健康状况，并预测水位变化、设备磨损等趋势，帮助管理者做出预防性维护决策。人工智能（AI）通过深度学习和算法优化，对大数据进行更深层次分析，提供精准的决策支持。AI能够识别设备故障规律，并预测未来的故障风险，减少设备停机时间。AI还可以根据实时数据调整水利设施的运行策略，如优化水流量和调整泵站运行，实现系统的自我优化和调整。通过大数据与AI的结合，水利工程管理更加智能化，能够提前识别潜在问题并提高响应速度，降低设备故障带来的风险。

（三）智能化监控系统的构建

智能化监控系统的构建是实现水利工程智能化管理的关键环节。通过远程监控和自动化控制，智能化监控系统能够实现对水利设施的全天候、全方位的监控与管理。传统的管理模式需要依赖人工巡检，而智能化监控系统通过联网传感器和监控设备的布设，能够实时监测水库、水闸、泵站等重要设施的运行状态，及时发现故障或异常情况，并通过远程操作系统进行处理。管理人员可以通过集中的监控平台，随时查看各项数据，并远程进行控制和调整。例如，在某一水库出现溢洪问题时，监控系统可以自动调节闸门开度，并及时通知相关人员进行处理，从而避免灾难性的后果。此外，集成信息平台的设计与应用也是智能化监控系统的重要组成部分。该平台可以将水利工程的所有数据、设备和控制系统进行集成，形成一个高度协同的管理体系。集成信息平台不仅能显示各类数据，还能对数据进行深入分析，帮助管理者做出合理决策^[4]。通过集成各类信息，系统能够实现跨部门、跨区域的协作管理，确保水利设施的高效运行与智能化决策的实时性。如图1展示物联网设备、传感器、数据中心、分析平台与智能监控系统。数据采集后传输至数据中心，经过大数据分析与AI支持，生成决策支持，同时进行远程控制、自动化维护和应急响应。

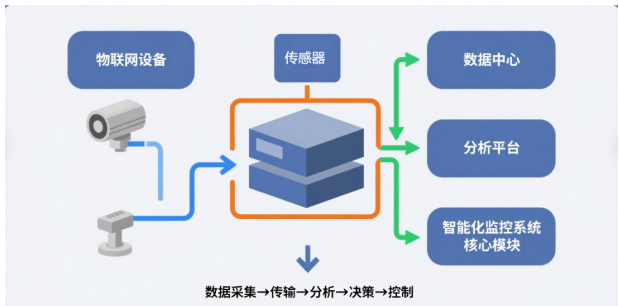


图1：智能化水利管理系统框架图

三、智能化管理模式的实现路径

（一）智能感知与信息采集系统

智能感知与信息采集系统是实现智能化管理的基础。为了有效提升水利工程管理效率，首先需要在关键设施和设备上安装传感器与物联网设备。这些传感器可以监测水位、流量、压力、温度等多项参数，并通过无线网络将数据实时传输到中央数据处理平台。通过这些设备，管理人员能够实时掌握各个水利设施的运行状态，迅速发现潜在问题，及时进行调整和维护。传感器的准确性与数据传输的及时性直接影响智能管理系统的效能。因此，在设备安装时需要确保传感器的稳定性和高精度，以保证数据采集的可靠性^[5]。

（二）数据中心与分析平台建设

数据中心与分析平台建设是智能化管理系统的核心组成部分。水利工程的智能化管理需要处理海量的实时数据，这些数据来自各类传感器、监控设备及外部环境因素，如何高效处理和利用这些数据成为关键。建设一个统一的数据处理平台，可以将来自各个设施和系统的数据集中管理，实现数据的标准化、清洗与存储。数据中心不仅需要具备强大的存储能力，还要有高效的处理能力，以便能够快速分析和挖掘数据中的有价值信息。通过高效的数据分析，管理人员可以获得设备运行状态的全面视图，分析设施的运行效率、预测设备的维护周期，并作出科学决策。此外，平台还需要具备强大的决策支持能力，通过与人工智能结合，平台可以根据历史数据和实时数据，为管理者提供精确的决策建议，甚至实现决策的自动化，进一步提升水利工程的运营效率与安全性^[6]。

（三）智能化维护与自动化调度

智能化维护与自动化调度是智能管理模式中实现高效运作的关键。通过远程控制和自动化维护，水利设施管理变得更灵活高效。智能化维护可以自动检测设备状态，分析潜在故障，及时进行调整或维护，减少人工操作。例如，当监控系统发现泵站压力异常时，自动调节阀门或启用备用设备，确保系统稳定运行。智能化维护不仅降低了人工成本，还提高了维修效率，减少设备故障停机损失。此外，故障诊断与应急响应机制也智能化，系统能自动诊断故障并发出预警或启动应急响应。这种智能化方式使水利工程能够迅速应对突发事件，保障安全运行，提高应急管理能力。

四、智能化管理模式的效益分析与未来发展

（一）提高水利工程运行效率

智能化管理模式显著提高了水利工程的运行效率。一方面，自动化技术使得大量的人工操作得以减少，从而节省了管理成本。比如，通过物联网技术和智能化监控系统，水利设施的运行

状况可以实时监控，管理人员只需处理异常数据和紧急情况，极大降低了日常管理和巡检的频率。另一方面，自动化管理减少了人为错误。研究显示，在实施智能化管理前，传统水利工程的人工误操作率高达15%，而智能化管理模式下误操作率已降至2%以下。通过精确的控制和数据分析，设施的运行效率得到了极大的提升，确保了水资源的合理利用和工程的安全高效运行^[7]。

（二）提升管理精准度与决策支持

智能化管理模式极大提升了水利工程的管理精准度与决策支持能力。传统的管理方式依赖人工经验和偶然信息，决策过程难以做到精准和实时。而在智能化管理模式下，数据驱动的决策过程成为核心。通过实时采集和分析来自各类传感器的数据，管理系统能够及时提供详尽的信息和趋势分析，为决策者提供更准确的参考依据。比如，在洪水期间，基于历史数据和实时气象信息，系统能提前预警并优化排水方案。通过数据分析，系统可为管理者提供关于水库水位、流量等多维度的预警信息，显著提高了风险管理能力。例如，某地区的智能水利管理系统在过去五年内，通过精准的决策支持，降低了水库溢洪事件的发生率达30%。

（三）未来智能化管理的方向

未来智能化管理的方向将朝着深度集成与跨领域应用的方向发展。随着物联网、云计算、大数据和人工智能技术的不断进步，水利工程的智能化管理系统将不再是孤立的系统，而是一个高度集成的网络，能够与气象、环境等其他领域的数据进行联动与整合。通过跨领域数据的整合，水利工程管理可以更加精确地预测水资源的需求和分配，实现资源的最优配置。同时，随着技术的不断进步，智能化管理系统将持续优化，逐步实现自主学习、自优化和自决策能力的提升^[8]。智能化管理系统将通过技术迭代，逐步提升其在复杂环境下的适应性与智能决策能力，为水利工程的可持续发展提供更有力的保障。如表1所示。

表1：智能化管理模式实施前后水利工程管理效率对比表

水利工程管理效率提升对比	智能化管理前	智能化管理后
人工巡检频率	每周3次	每月1次
设备故障响应时间	48小时	2小时
误操作率	15%	2%
管理成本	100万元	60万元

智能化管理系统显著提高了水利工程的管理效率和精准度，降低了人工巡检频率和误操作率，大大节省了管理成本。随着技术的持续优化，未来智能化管理将在资源配置、风险预测等方面发挥更大作用，为水利工程的可持续发展提供强有力的支撑。

五、结束语

智能化管理模式在水利工程中的应用显著提高了运行效率、

降低了管理成本，并大大减少了人为错误。通过物联网、大数据和人工智能的结合，水利工程的管理更加精准、实时和高效。智能感知与信息采集系统为决策提供了实时数据支持，智能化维护和自动化调度优化了应急响应与设备维护，提升了管理的整体效能。未来，随着技术的不断发展和跨领域应用的深入，智能化管理将在水利工程的资源配置、风险管理等方面发挥更加关键的作用，推动水利工程的可持续发展。

参考文献

[1] 赵文靖. 推进水利工程运行管理智能化的实践探索 [J]. 中国战略新兴产业, 2022, (23): 89-91.

[2] 曾俊翔. 农田水利灌溉渠道工程运行维护与管理探析 [J]. 粮油与饲料科技, 2024, (02): 192-194.

[3] 陈琳. 水利工程管理现代化与精细化建设路径探究 [J]. 工程建设与设计, 2024, (16): 239-242. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2024.08.279.

[4] 邢世林. 水利工程运行管理单位财务智能化转型思考 [J]. 治淮, 2024, (10): 10-11.

[5] 彭直. 基于信息化的黄河下游防洪工程管理效能提升研究 [D]. 河南大学, 2024. DOI: 10.27114/d.cnki.ghnau.2024.003448.

[6] 陈道刚. 智慧灌区运维管理研究 [J]. 四川水利, 2025, 46(02): 107-109.

[7] 左淑燕. 国家粮食安全战略下山东现代化生态灌区建设与管理新模式研究 [D]. 重庆三峡学院, 2025. DOI: 10.27883/d.cnki.gcqsx.2025.000024.

[8] 张佳. 试论基层水利工程智能化管理及运行机制 [J]. 科技视界, 2025, 15(16): 20-22.

机械工程中电子元器件与机械结构的融合设计研究

刘新平

广东 东莞 523660

DOI:10.61369/ETQM.2025110033

摘 要： 针对电力设备在高压、强振、高温工况下的机电协同难题，研究提出多物理场耦合理论框架与结构功能一体化设计方法。攻克电子模块嵌入式集成、动态环境自适应补偿等关键技术，实现智能断路器与变压器组件的高精度状态感知与高效热管理。通过多学科仿真与工业验证构建闭环设计体系，现场应用表明维护周期延长30%以上，全寿命周期经济性模型量化物料成本降低15%及供电可靠性提升效益，为电力装备升级提供技术支撑。

关 键 词： 机电融合；电力设备；多物理场耦合

Research on Integrated Design of Electronic Components and Mechanical Structures in Mechanical Engineering

Liu Xinping

Dongguan, Guangdong 523660

Abstract： Aiming at the electromechanical-coordination challenges of power equipment under high-voltage, strong-vibration, and high-temperature conditions, a multi-physics coupling theoretical framework and a structure-function integrated design methodology are proposed. Key technologies such as embedded electronic-module integration and adaptive compensation in dynamic environments are solved, enabling high-precision condition monitoring and efficient thermal management for intelligent circuit breakers and transformer components. A closed-loop design system is constructed through multidisciplinary simulation and industrial validation. Field applications indicate that the maintenance interval is extended by more than 30 %, while the life-cycle economic model quantifies a 15 % reduction in material costs and an improvement in power-supply reliability, providing technical support for power-equipment upgrades.

Keywords： mechatronic integration; power equipment; multi-physics coupling

引言

2023年国家发改委颁布《关于推动机械电子融合创新发展的指导意见》，明确要求突破机电系统协同设计瓶颈。电力设备在高压强电磁环境中面临电子系统与机械结构独立设计的固有矛盾：电磁兼容约束限制空间布局效率，机械振动传递导致精密电路失效，热力学多场耦合引发结构形变漂移。传统设计方法难以满足智能变电站高可靠性要求，亟需建立机电界面耦合量化模型与多学科协同优化框架。本研究聚焦电力设备特殊工况，通过结构功能一体化设计实现电子模块嵌入式集成，攻克动态环境适应性技术瓶颈，为提升国产电力装备综合性能提供理论支撑与技术路径^[1]。

一、机电融合设计的理论基础

（一）电力设备特殊工况下的机电耦合机制

电力设备的高电压环境引发强电场与漏磁通，对电子系统形成电磁兼容性（EMC）约束，需通过结构屏蔽与接地设计抑制传导干扰。机械振动通过传递函数影响电子元器件可靠性，微动磨损导致焊点疲劳裂纹，需建立振动-应力-失效概率模型。温度梯度场中材料热膨胀系数差异产生热机械应力，功率器件结温升高引发发热失效，需基于热-力-电多物理场耦合理论优化散热路

径与结构刚度，控制热致形变对电路参数漂移的非线性效应^[2]。

（二）行业标准与设计规范体系

IEC 61850标准要求智能变电站设备实现结构功能一体化，机械载体需预留传感器模块化接口与通信线缆通道。IEEE C37.90标准规定电力设备需耐受4kV/10 μ s电快速瞬变脉冲群，驱动结构设计中金属隔舱与滤波电路的协同布局。机械外壳IP54以上防护等级与电子散热需求存在矛盾，需依据IEC 60529规范设计迷宫式散热气道，在防尘防水条件下维持功率器件温升 $\leq 40K$ ，实现密封性与散热效率的帕累托最优。

二、电力行业机电融合关键技术

（一）结构-功能一体化设计方法

电子模块嵌入式机械载体设计将 PCB 作为承力结构件，通过玻纤增强基板提升刚度并集成安装定位功能。母线排与传感器集成采用拓扑优化技术，在有限空间内重构载流路径，使电流互感器绕组与导体的几何中心重合，降低测量误差。密封机箱设计融合电磁屏蔽与散热需求，波纹夹层结构实现多频段电磁波衰减，同时引导气流形成湍流散热通道，使散热效率提升 25% 以上，满足 CISPR 32 Class A 辐射限值^[3]。

（二）动态环境适应性设计

抗振缓冲机构采用硅胶-金属复合阻尼层，隔离 10-2000Hz 机械振动传递，配合电路板刚柔结合布局抑制谐振点位移响应。温度自适应结构引入双金属片变形补偿单元，抵消因 CTE 差异导致的连接器插拔力波动，维持接触电阻稳定在 $\pm 5\%$ 范围内。污秽环境共形设计在绝缘套管表面沉积 Al_2O_3 陶瓷膜，同步集成电容式积污监测电路，通过介电常数变化实现绝缘状态自感知，在盐密 $\leq 0.3\text{mg}/\text{cm}^2$ 条件下维持泄漏电流 $< 1\text{mA}$ ^[4]。

三、典型电力设备应用案例

（一）智能断路器机电融合设计

1. 操动机构与状态监测模块集成

位移传感器直接嵌入断路器凸轮机构内部，通过非接触式磁阻检测技术实时采集主轴转角位移，动态反馈分合闸位置及速度特性，解决了传统外置传感器安装空间受限与机械振动干扰问题^[5]。电弧状态监测采用耐高温光纤与微型光电传感器集成方案，光路通道经陶瓷绝缘套管嵌入灭弧室侧壁，实现电弧光强与燃弧时间的原位高精度采集，机械封装设计兼顾了电气隔离强度与光学透射效率，确保强电磁环境下监测数据的可靠性。

2. 智能控制单元结构优化

功率器件布局采用热-电协同设计原则，IGBT 模块与散热鳍片形成交错式立体结构，通过铜基板热桥连接降低界面热阻，强制风冷气流沿鳍片梯度槽道定向流动，显著降低功率单元温升^[6]。电磁锁扣机构驱动电路与机械本体集成设计，将驱动芯片、保护二极管及电流采样电阻嵌入锁扣壳体内部，缩短大电流脉冲回路路径，减少寄生电感对脱扣响应速度的影响，同时利用机构金属框架实现电磁屏蔽，提升抗干扰能力。

（二）变压器智能组件集成

1. 油浸式变压器本体集成设计

振动监测加速度计采用环氧树脂灌封嵌入油箱壁，传感单元轴线与铁芯磁致振动主方向对齐，通过有限元分析优化安装位置，避开绕组漏磁引起的涡流干扰，实现 $\pm 0.5\text{g}$ 量程内振动特征精确提取。绕组测温 RFID 标签嵌入玻璃纤维增强基板，利用变压器油对流特性设计燕尾槽机械锁紧结构，在 150°C 热油环境中保持标签位移量 $< 0.1\text{mm}$ ，无线读取距离稳定在 $3\text{m} \pm 10\%$ ^[7]。

2. 冷却系统智能控制模块

风机驱动电路与叶片结构实施流固电耦合设计，基于 PWM 调制频率调整叶片攻角，抑制特定转速下的卡门涡街振动，使叶尖振幅降低 60% 的同时维持风量 $\geq 1200\text{m}^3/\text{h}$ ^[8]。油泵变频器散热通道采用梯度翅片拓扑，依据 IGBT 热源分布构建非对称流道，入口段密集翅片强化换热（换热系数提升 35%），出口段低阻力平滑过渡，配合涡流发生器将散热器压降控制在 $\leq 200\text{Pa}$ ，满足 IP55 防护下的温升限值。

四、设计验证与性能评估

（一）多物理场联合仿真平台

1. 仿真模型构建

ANSYS Workbench 机电热耦合模型集成 Maxwell 电磁场模块与 Mechanical 结构模块，构建断路器操作机构涡流制动效应瞬态分析流程，求解器耦合步长 $\leq 10\mu\text{s}$ ，精确捕捉电磁力-位移-温升的动态交互过程。COMSOL Multiphysics 采用磁致伸缩本构方程描述铁芯振动，通过移动网格技术模拟油浸式变压器绕组热膨胀形变，电磁-结构交互仿真误差控制在 $\pm 5\%$ 内，为绝缘间隙设计提供理论边界^[9]。

2. 关键参数灵敏度分析

结构刚度变化显著影响高频电路谐振频率，有限元模态分析表明当安装支架刚度提升 50% 时，PCB 固有频率从 87Hz 偏移至 112Hz，有效规避 100Hz 工频共振带。接触电阻与插拔力呈现非线性负相关，通过多目标遗传算法获取 Pareto 前沿解集，优化接触件簧片倾角为 15° 时实现插拔力 $35\text{N} \pm 2\text{N}$ 与接触电阻 $0.8\text{m}\Omega$ 的平衡点，较初始设计电阻降低 30% 且插拔寿命延长 3 倍^[10]。

（二）原型实验测试方案

1. 环境适应性测试

振动适应性测试依据国际标准构建宽频机械激励环境，通过正弦扫频覆盖典型谐振频段，监测关键部位动态应变分布以验证抗振设计有效性。湿热循环试验模拟极端温湿度交变工况，重点考察密封界面在冷凝相变条件下的材料膨胀匹配性，评估绝缘材料吸湿蠕变对结构完整性的影响机制。开关操作冲击电流测试采用高 di/dt 负载回路，通过近场电磁扫描分析瞬态干扰频谱特征，验证机箱屏蔽结构对传导干扰的抑制能力，确保电力电子器件在电磁瞬变过程中的功能稳定性。

2. 寿命加速验证方法

温度循环加速试验基于热机械疲劳物理模型，建立焊点塑性应变能与裂纹扩展速率的本构关系，通过微观组织演化分析预测界面金属间化合物的失效路径。机械磨损与电路退化协同试验设计多轴运动加载装置，量化插拔循环中接触件摩擦系数动态变化，结合接触电阻谱分析建立微动磨损深度与导电性能退化的映射模型，揭示机械磨损诱发接触电阻非线性跃变的失效机理。

（三）工业现场验证案例

1. 智能环网柜试点运行数据

智能环网柜在沿海工业区开展为期两年的现场验证，机电融

合设计单元经受高盐雾、强电磁干扰复合环境考验。振动监测模块嵌入式安装结构有效抑制潮气渗透，密封界面未出现电化学腐蚀迹象。温度自适应补偿机构维持连接器接触电阻稳定性，极端温差工况下插拔力波动幅度低于设计阈值。无线测温标签在金属柜体屏蔽环境中保持信号传输完整性，数据丢包率符合 IEC 61850-7-420 通信可靠性要求。运维数据表明融合设计显著延长预防性维护周期，故障诊断时间缩减至传统设备的 30%。

2. 经济性评估模型

构建覆盖设计、制造、运维的全寿命周期成本分析框架，系统量化机电融合设计产生的综合效益。设计阶段集成化结构消除分立传感器独立安装需求，减少连接器与线束用量，显著降低物料成本与装配工时。模块化功能单元缩减备件仓储种类与数量，提升供应链管理效率。运维经济性通过故障率降低系数（ λ ）与诊断效率提升因子（ η ）建模，智能监测功能削减定期巡检频次，优化人力资源配置。停电损失成本模型引入故障预测准确率（ α ）权重因子，精确表征状态检修策略缩短的停电时长收益，计

算可用率提升带来的供电可靠性溢价。技术附加值评估纳入设备寿命延长产生的资产折旧优化效应，形成“设计降本－制造提效－运维增值”的经济性优化闭环，为电力设备升级提供决策依据。

五、总结

机电融合设计通过多物理场耦合理论解决电力设备特殊工况下的电磁兼容、机械振动与热管理协同问题，建立行业标准驱动的结构功能一体化设计框架。关键技术突破体现于电子模块嵌入式载体拓扑优化、动态环境自适应补偿机构及污秽环境共形监测设计，显著提升设备空间利用率与环境鲁棒性。典型应用验证智能断路器与变压器组件的机电深度集成方案，实现状态感知精度与散热效率的协同优化。多物理场仿真与加速寿命试验构建闭环验证体系，工业现场数据证实融合设计延长维护周期 30% 以上，全寿命周期经济性模型量化集成化结构带来的物料成本降低与供电可靠性溢价，为新能源电力装备升级提供技术范式。

参考文献

[1] 董瑞霞. 融合视觉推理的堆叠电子元器件图像分割方法研究 [D]. 江苏大学, 2021.
[2] 吴栋梁. 电子元器件缺陷智能检测方法研究与实现 [D]. 西南科技大学, 2023.
[3] 何家旺. 极性电子元器件装配缺陷的检测方法研究和系统设计 [D]. 浙江理工大学, 2023.
[4] 杨燕. 基于深度学习的电子元器件定位与识别研究 [D]. 宁夏大学, 2021.
[5] 李里. A 公司电子元器件营销策略优化研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2022.
[6] 张哲瑞, 刘郡, 袁宵, 路浩天. 基于航空应用背景下电子元器件的结构分析技术研究 [J]. 航空标准化与质量, 2022, (2): 46-51.
[7] 胡绍忠. 浅谈提高电子元器件使用可靠性的措施 [J]. 无线互联科技, 2013(10): 81-81.
[8] 黄云生. 电子电路 PCB 的散热分析与设计 [D]. 西安电子科技大学, 2010.
[9] 王伟涛. 轨道交通高架车站钢结构与混凝土结构协同分析 [J]. 铁道标准设计, 2019, 63(6): 146-150.
[10] 柳思泉. 浅议电子元器件的筛选与电子元器件质量控制 [J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(12): 46-47.

电气技术在能源行业工程管理中的应用与创新

梁永波

广州大学城能源发展有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025110034

摘 要 : 本文阐述电气技术在能源行业工程管理中的多方面应用。包括在电力系统、自动化控制等领域的作用, 如变频器、PLC等技术应用。还涉及施工监控、BIM等创新应用, 以及多层级能源管理系统协同等机制。强调其提升管理质量效率, 未来呈融合趋势, 需完善标准体系。

关 键 词 : 电气技术; 能源行业; 工程管理

Application and Innovation of Electrical Technology in Engineering Management of the Energy Industry

Liang Yongbo

Guangzhou University Town Energy Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper elaborates on the multifaceted application of electrical technology in the engineering management of the energy industry. It includes its roles in fields such as power systems and automation control, exemplified by the application of technologies like Variable Frequency Drives (VFDs) and Programmable Logic Controllers (PLCs). It also covers innovative applications such as construction monitoring and Building Information Modeling (BIM), as well as mechanisms like multi-level energy management system coordination. It emphasizes how these technologies enhance management quality and efficiency, points to a future integration trend, and underscores the need to improve standard systems.

Keywords : electrical technology; energy industry; engineering management

引言

随着能源行业的快速发展, 相关技术也在不断革新。2020年我国发布的《新时代的中国能源发展》白皮书强调了能源技术创新对能源行业可持续发展的重要性。电气技术作为能源行业的核心驱动力, 在电力系统、自动化控制等多个领域发挥着关键作用。从电力系统的高效生产、传输与分配, 到自动化控制使能源利用更精准高效, 再到变频器、智能电网等技术带来的变革, 以及 BIM 技术在变电站设备布局优化中的应用等, 电气技术的不断进步对能源行业工程管理产生了深远影响, 其融合发展趋势也将带来新的机遇与挑战。

一、电气技术概述

(一) 电气技术在能源行业的地位

电气技术在能源行业中占据核心地位, 是其发展的关键驱动力。在电力系统方面, 电气技术保障了电能的高效生产、传输与分配。例如, 先进的发电技术提高了能源转换效率, 智能电网技术实现了对电力系统的实时监测和优化控制, 降低了传输损耗, 提高了供电可靠性^[1]。在自动化控制领域, 电气技术使能源生产和利用过程更加精准和高效。通过自动化控制系统, 能够对能源设备进行精确调节和管理, 提高生产效率, 减少人工干预带来的误差。物联网技术的融入进一步提升了电气技术在能源行业的作用。它实现了能源设备之间的互联互通, 使得能源数据的采集和分析更加全面和准确, 为能源行业的智能化管理提供了有力

支持。

(二) 工程管理的技術需求演变

传统电气工程施工主要关注电气设备的安装与调试, 以确保电力系统的基本运行。随着技术发展, 变频器控制技术的应用成为一大变革。它能够精确控制电机转速, 提高能源利用效率, 在工业生产等领域广泛应用, 促使工程管理需掌握其原理及调试维护方法^[2]。智能电网技术的出现更是带来了管理体系的重大升级。智能电网整合了先进的通信、传感和控制技术, 实现电力系统的智能化监测和控制。工程管理不仅要了解电网架构, 还需掌握相关软件系统的操作和数据分析, 以应对电网运行中的复杂情况, 确保能源的高效分配和利用。

二、关键技术应用领域

（一）电力系统自动化管理

电力系统自动化管理中，基于 PLC 的技术应用至关重要。在配电网自动化方案设计方面，PLC 可实现对配电网的实时监测与控制，提高供电可靠性和电能质量^[3]。它能够快速采集配电网的各种运行参数，如电压、电流、功率等，并根据预设的算法进行分析和处理，及时发现故障并采取相应的措施，如自动切换线路、调整电压等。在多电机协同控制策略中，PLC 通过精确的编程和控制算法，实现多个电机之间的协调运行。它可以根据不同的工作需求，合理分配电机的负载，提高电机的运行效率，降低能耗。同时，PLC 还可以实现电机的远程监控和故障诊断，便于及时维护和管理，确保电力系统的稳定运行。

（二）变频器在能效管理中的应用

变频器在能效管理中的应用主要体现在对泵组和风机等设备的驱动上。通过变频驱动技术，可根据实际需求动态调整设备的运行频率，从而实现节能。例如，在泵组运行中，传统的定速驱动方式往往导致能源浪费，而变频器可根据流量需求调整电机转速，使泵的输出与实际需求匹配，降低能耗^[4]。对于风机，同样可通过变频器实现对风速的精准控制，提高风机的运行效率，减少能源消耗。这种基于变频器的能效管理方式，不仅能有效降低企业的能源成本，还对能源行业的可持续发展具有重要意义。

三、技术创新实践案例

（一）智能化施工技术创新

1. 分布式光伏施工监控系统

随着分布式光伏产业的快速发展，施工监控系统的智能化创新至关重要。该系统基于物联网技术构建，实现了施工进度与质量的实时监控。通过在施工现场部署各类传感器，可实时采集施工设备运行数据、施工环境参数以及施工人员操作信息等^[5]。这些数据上传至监控平台后，利用数据分析算法对施工进度进行精准预测和评估，及时发现潜在的质量问题。同时，系统还具备远程监控和预警功能，管理人员可通过移动终端随时随地了解施工情况，一旦出现异常，系统立即发出警报，以便及时采取措施进行处理，确保分布式光伏施工的高效、高质量完成。

2. BIM 在电气工程施工中的应用

BIM 技术可构建三维建模指导变电站设备布局优化。通过 BIM 软件精确创建变电站设备及环境的三维模型，直观呈现各设备的空间位置与相互关系^[6]。这有助于提前发现潜在的布局冲突，如设备间距不足、管道交叉等问题，及时调整设计方案，避免施工过程中的返工与延误。同时，基于 BIM 模型可进行模拟分析，如光照分析、通风分析等，确保变电站内部环境符合运行要求。还能利用 BIM 模型进行可视化交底，使施工人员更清晰地了解设备布局 and 施工要点，提高施工效率和质量。

（二）能源管理创新解决方案

1. 微电网储能系统协同控制

多层级能源管理系统与变频器调节的协同运行机制是能源管理创新的关键。该机制整合了不同层级能源管理系统的优势，实现了对能源的精细化管理^[7]。同时，变频器调节技术的应用提高

了能源转换效率，减少了能源浪费。在协同运行过程中，多层级能源管理系统实时监测能源需求和供应情况，并将相关数据传输给变频器。变频器根据接收到的数据，自动调整电机的转速和输出功率，以实现能源的优化配置。这种协同运行机制不仅提高了能源利用效率，还降低了能源成本，为能源行业的可持续发展提供了有力支持。

2. 能效优化与容错设计

随着能源需求的不断增长和能源管理的日益复杂，开发先进的能效优化与容错设计方法至关重要。深度学习技术为电力设备故障预测与容错控制提供了新的途径。通过构建深度神经网络模型，能够对大量的电力设备运行数据进行学习和分析，挖掘出潜在的故障模式和特征^[8]。该算法可以实时监测设备的运行状态，提前预测可能出现的故障，从而采取相应的容错控制措施，如调整设备运行参数、切换备用设备等，有效避免故障的发生或减少故障带来的损失。这不仅提高了能源利用效率，还增强了能源系统的可靠性和稳定性。

四、技术集成与发展展望

（一）自动化与物联网融合

1. 5G 通信在设备监测中的应用

随着自动化与物联网的深度融合，5G 通信在设备监测中展现出巨大潜力。5G 的高速率、低延迟和高可靠性等特性，使其能够满足能源行业工程管理中中对设备监测的高精度、实时性要求。通过 5G 网络，大量的电气设备可以实现高效连接，实时传输设备的运行参数，如电压、电流、功率等分布式电气参数^[9]。这不仅有助于及时发现设备的潜在故障，还能为设备的维护和管理提供准确的数据支持。同时，5G 通信与自动化控制系统相结合，可实现对设备的远程控制和智能调度，提高能源利用效率，降低运营成本，推动能源行业工程管理向智能化、高效化方向发展。

2. 边缘计算数据处理架构

随着自动化与物联网的深度融合，边缘计算在数据处理架构中扮演着至关重要的角色。在能源行业工程管理中，构建电力设备状态诊断的分布式边缘计算模型是关键应用之一。通过在设备端或靠近设备的边缘节点进行数据处理，能够减少数据传输延迟和网络带宽压力^[10]。这种分布式架构可以实时采集电力设备的运行参数，如温度、电压、电流等，并利用边缘计算的强大计算能力进行快速分析和诊断。同时，结合自动化技术和物联网的传感器网络，可以实现对设备状态的持续监测和精准预测，为能源行业的工程管理提供更高效、可靠的技术支持，优化设备维护策略，提高能源系统的稳定性和安全性。

（二）新型变频器技术开发

1. 宽禁带半导体器件应用

宽禁带半导体器件如 SiC 在新型变频器技术开发中具有重要应用。SiC 器件具备高耐压、低导通电阻和高开关频率等优势。在高压变频器中，其可改进拓扑结构。例如，采用 SiC 器件能够减少功率模块的数量，简化电路拓扑，从而提高系统的可靠性和效

率。同时，SiC 器件的高开关频率特性可降低变频器输出的谐波含量，改善电能质量。此外，它还能在高温环境下稳定工作，这对于一些特殊工业应用场景具有重要意义，有助于拓展高压变频器的应用范围，推动变频器技术向更高性能和更可靠的方向发展。

2. 云平台远程管理设计

随着工业互联网的发展，开发变频器集群智能运维平台至关重要。在新型变频器技术开发方面，需注重提高变频器的效率和性能，采用先进的控制算法和功率器件，以适应不同的工业应用场景。同时，要考虑变频器的可靠性和稳定性，加强散热设计和电磁兼容性设计。

在云平台远程管理设计上，要构建安全可靠的通信网络，确保变频器与云平台之间的数据传输稳定。云平台应具备实时监测变频器运行状态的功能，如电压、电流、温度等参数，以便及时发现故障隐患。通过数据分析和处理，实现对变频器的智能诊断和预测性维护，提前制定维护计划，减少停机时间，提高生产效率。此外，云平台还可提供远程控制功能，方便用户在不同地点对变频器进行操作和管理。

（三）安全管理体系构建

1. 电气设备故障树分析

故障树分析（FTA）是一种用于评估系统可靠性和安全性的重要方法。在电气设备管理中，基于 FTA 法构建供电系统可靠性评估指标体系具有重要意义。首先需确定顶事件，即供电系统故障这一关键事件。然后分析导致顶事件发生的中间事件和基本事件，中间事件可能包括设备老化、过载运行等，基本事件则涵盖具体的零部件损坏、线路短路等。通过对这些事件的逻辑关系进行梳理，构建出故障树。基于故障树，可以计算出各事件的发生

概率以及对顶事件的影响程度，从而确定关键的薄弱环节。进而建立可靠性评估指标体系，该体系可用于指导设备维护计划的制定、风险评估以及安全管理策略的优化，提高供电系统的可靠性和安全性。

2. 智能保护装置研发

在智能保护装置研发方面，重点在于研制集成故障录波与暂态分析功能的综合保护装置。通过对电气系统运行状态的实时监测，准确捕捉故障发生瞬间的各种参数，并进行详细的录波。这不仅有助于快速定位故障点，还能为后续的故障分析提供可靠的数据支持。同时，暂态分析功能可对电气系统在故障前后的暂态过程进行深入研究，了解系统的动态特性，为优化保护策略提供依据。该综合保护装置的研发将提高能源行业工程管理中电气系统的安全性和可靠性，降低故障带来的损失，推动电气技术在能源行业的进一步应用和发展。

五、总结

电气技术在能源行业工程管理中具有重要作用。它能够提升能源工程管理的质量与效率，通过综合评估可知其应用效果显著。未来，电气技术呈现出融合发展趋势，数字化孪生、人工智能与新型电力电子器件的融合将为能源行业工程管理带来新的机遇与挑战。在此基础上，完善技术标准体系至关重要，明确实施路径有助于规范电气技术在能源行业工程管理中的应用。这不仅能够推动能源行业工程管理的进一步发展，还能保障能源系统的稳定运行，提高能源利用效率，促进能源行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 曹伟. 投资者关注与盈余管理——基于能源行业的统计检验 [D]. 山东财经大学, 2022.
- [2] 刘晓翠. BIM 技术在料场封闭工程中的应用研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2023.
- [3] 冉叶子. 基于文本挖掘技术的 A 股能源行业上市公司财务预警研究 [D]. 贵州大学, 2022.
- [4] 史凯博. 中国能源行业上市公司债券融资与绩效关系的实证研究 [D]. 内蒙古大学, 2021.
- [5] 李慧洋. “双碳”目标下促进能源行业数字化转型的财税政策研究 [D]. 山东财经大学, 2023.
- [6] 张雪原. 电气技术在油田开采工程中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(13): 163–165.
- [7] 马乐. 电气技术在新能源设计中的应用分析 [J]. 数码设计 (下), 2019, (8): 182–183.
- [8] 任永超, 李杜宇. 电气节能技术在建筑工程中的应用探讨 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016, 000(007): 1851–1851.
- [9] 薛媛媛, 苏博巍, 杨艳伟. 探讨电气技术在新能源汽车中的应用 [J]. 时代汽车, 2021, 000(18): 73–74.
- [10] 张东. 电气技术在铝电解阳极效应熄灭中应用的探讨 [J]. 世界有色金属, 2021, 000(2): 33–34.

水利、房建、市政工程施工中的技术管理与工程风险管理研究

刘承泉

广东 广州 510800

DOI:10.61369/ETQM.2025110040

摘 要： 阐述水利、房建、市政工程施工技术管理差异，包括各自核心技术。介绍5G物联网监测系统应用及地质、工艺、设备选型风险关联，还涉及多种风险评估与管理方法及相关技术应用，强调技术管理与风险管理的重要性及协同成效。

关 键 词： 工程施工；技术管理；风险管理

Research on Technical Management and Engineering Risk Management in Hydraulic, Building Construction, and Municipal Engineering Projects

Liu Chengquan

Guangzhou, Guangdong 510800

Abstract： This paper elaborates on the differences in technical management for hydraulic, building construction, and municipal engineering projects, including their respective core technologies. It introduces the application of 5G IoT monitoring systems and analyzes the interrelationships among geological conditions, construction techniques, and equipment selection risks. Additionally, it covers multiple risk assessment and management methods along with related technical applications, highlighting the importance of technical management and risk management as well as their synergistic effects.

Keywords： engineering construction; technical management; risk management

引言

随着我国工程建设行业的不断发展，相关政策也在持续完善。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》强调了新技术在工程建设中的应用。水利、房建、市政工程因自身特点在施工技术管理上存在差异，如水利工程的温控技术、房建工程的BIM深化设计技术、市政工程的装配式施工技术。同时，智能建造技术发展下的5G工程物联网监测系统等新技术不断应用，还有工程风险量化模型、集成BIM-GIS的管理平台等的研发，以及各方主体在风险管理中的责任明确等，都对工程施工的技术管理与风险管理产生重要影响，推动行业进步。

一、工程施工技术管理体系构建

（一）多元工程类型的技术管理特征

水利、房建、市政工程由于其自身特点，在施工技术管理上存在显著差异。水利工程中，大体积混凝土温控技术至关重要，因其混凝土浇筑量巨大，需严格控制温度变化以防止裂缝产生，对原材料选择、浇筑工艺及养护措施等都有特殊要求^[1]。房建工程的BIM深化设计技术是核心，通过BIM模型实现建筑结构、机电等多专业的协同设计，优化空间布局和施工流程，提高施工效率和质量。市政管廊装配式施工技术则注重预制构件的生产、运输和安装精度，需要精确的测量和定位技术，以及高效的现场装配工艺，以确保管廊的结构安全和使用功能。这些不同工程类型的技术管理特征，要求施工企业针对具体工程特点制定相应的技

术管理策略。

（二）智能建造技术集成应用

随着智能建造技术的发展，5G工程物联网监测系统在水利、房建、市政工程中得到了应用。该系统在边坡稳定性监测、高支模实时预警和盾构姿态调控方面具有重要作用。在边坡稳定性监测中，系统可实时获取相关参数，依据一定标准进行分析判断，及时发现潜在危险^[2]。对于高支模实时预警，能精确监测其状态，当出现异常时迅速发出警报。在盾构姿态调控中，通过对盾构机各项参数的监测，依据应用标准进行调整，确保施工的准确性和安全性。这些应用不仅提高了施工效率，还降低了工程风险，为工程施工技术管理体系的完善提供了有力支持。

二、工程风险关键要素识别与评估

（一）风险因子耦合作用机制

在水利、房建、市政工程中，地质条件、施工工艺与设备选型之间存在复杂的风险关联。构建风险关联矩阵可清晰呈现其相互关系。例如，不同地质条件对施工工艺有特定要求，不合适的工艺选择会增加风险^[3]。同时，施工工艺又制约设备选型，不合理的选型无法满足工艺需求，进一步加大风险。以地下水水位突变对深基坑支护体系的影响为例，采用蒙特卡洛模拟分析其多级影响。地下水水位突变这一地质条件变化，通过影响施工工艺（如降水措施），进而影响设备选型（如抽水设备），最终对深基坑支护体系产生从局部构件到整体稳定性的多级影响，体现了风险因子的耦合作用机制。

（二）风险动态评估模型建立

开发基于模糊贝叶斯网络的工程风险量化模型。该模型结合模糊理论与贝叶斯网络，能够处理不确定信息，有效解决参数不确定条件下超高层建筑风振风险的多维度评估问题^[4]。首先构建贝叶斯网络结构，确定节点及其之间的因果关系，以描述工程风险系统的复杂性。然后利用模糊理论对不确定参数进行模糊化处理，将其转化为模糊数，从而更好地反映实际情况。通过概率推理，计算不同风险事件发生的概率，实现对工程风险的量化评估。这一模型为超高层建筑风振风险评估提供了一种新的方法，有助于提高风险管理的科学性和有效性。

三、技术管理－风险管理协同机制

（一）过程协同控制模型

1. 设计施工一体化协同平台

研发集成 BIM－GIS 的工程全生命周期管理平台对水利、房建、市政工程施工至关重要。该平台可整合建筑信息模型（BIM）与地理信息系统（GIS）的优势，实现数据的高效共享与交互。通过 BIM 的三维可视化模型，能够对危大工程方案进行精确模拟，分析施工过程中可能出现的各种情况^[5]。同时，结合 GIS 的地理空间分析能力，对工程所处的地理环境因素进行综合考量，从而实现风险预判。这种智能联动机制，能够在工程施工前提前识别风险，为技术管理和风险管理提供科学依据，有助于优化工程方案，提高工程施工的安全性和效率。

2. 知识驱动的决策支持系统

构建包含海量工程案例的决策知识库以及开发相关智能推演算法，对水利、房建、市政工程施工中的技术管理与工程风险管理意义重大。通过收集和整理 3 万+工程案例，分析其中的技术应用、风险发生及处置情况，形成全面且系统的决策知识库^[6]。这为后续工程提供了丰富的参考资料，使其能在面临类似问题时迅速获取有效的解决方案。同时，针对隧道涌水突泥风险这一特定问题，开发智能推演算法。该算法能够依据知识库中的数据以及实时监测的工程参数，对风险处置方案进行智能推演，从而提高风险处置的效率和准确性，为工程施工的顺利进行提供有力

保障。

（二）保障体系建设

1. 多主体协同责任体系

水利、房建、市政工程施工中，需构建设计建设－施工－监理－监测四方联动的风险管理责任矩阵，并明确 EPC 模式下界面管理标准。四方主体应明确各自在风险管理中的职责，设计建设方要确保设计方案的科学性与合理性，考虑可能存在的风险因素^[7]。施工方需严格按照设计要求施工，对施工过程中的风险进行实时监控与处理。监理方要监督施工过程是否符合规范，及时发现并督促整改风险问题。监测方负责对工程进行实时监测，提供准确的数据支持，以便各方及时了解工程状态，共同应对风险，保障工程顺利进行。

2. 智慧化监管机制

建立基于区块链的工程档案存证系统，可有效提升水利、房建、市政工程施工中的技术管理与风险管理水平。区块链技术的去中心化、不可篡改等特性，确保了工程档案的真实性和完整性^[8]。在质量追溯方面，通过该系统可以精准记录每一个施工环节的详细信息，一旦出现质量问题，能够迅速定位责任主体。在风险责任管理上，系统能够智能分析潜在风险，并明确各方在风险防控中的职责。这不仅有助于提高工程建设的透明度和公正性，还能为后续的监管和纠纷处理提供有力依据，促进工程施工的顺利进行和行业的健康发展。

四、实证研究与效果分析

（一）跨江大桥工程应用

1. 深水基础施工风险控制

在跨江大桥工程的深水基础施工中，针对汛期水流突变风险，实施了三维激光扫描引导的钢围堰智能纠偏技术^[9]。通过三维激光扫描技术，实时获取钢围堰的空间位置和姿态信息。利用智能算法对这些数据进行分析处理，准确判断钢围堰是否发生偏移以及偏移的程度。当检测到偏移时，系统自动发出指令，驱动相关设备进行纠偏操作。这一技术的应用有效提高了钢围堰在汛期水流突变情况下的稳定性，减少了因钢围堰偏移可能导致的施工风险，保障了深水基础施工的顺利进行。

2. 大跨度缆索系统监控

在跨江大桥工程应用中，针对大跨度缆索系统监控，采用光纤光栅传感网络实现主缆应力的分布式实时监测。光纤光栅传感网络具有高精度、抗干扰能力强等优点，能够准确获取主缆应力的变化情况^[10]。通过在主缆上合理布置光纤光栅传感器，可实现对主缆应力的长期、稳定监测。监测数据能够实时反馈给工程技术人员，为判断缆索系统的安全状况提供重要依据。同时，该监测技术还可以与其他监测手段相结合，如应变片监测等，进一步提高监测的准确性和可靠性，确保跨江大桥大跨度缆索系统的安全运行。

（二）城市综合体项目实践

1. 交叉作业风险预控

城市综合体项目施工过程中，开发了施工进度－资源投入－

风险概率的三维仿真系统，并对幕墙安装与设备吊装的时空关系进行优化，以实现交叉作业风险预控。该系统综合考虑施工进度安排、资源投入情况以及风险发生概率等多方面因素，通过三维可视化技术模拟施工过程。针对幕墙安装与设备吊装的交叉作业，详细分析其在时间和空间上的相互影响，通过调整作业顺序、合理安排施工空间等措施，避免两者在同一时间和空间内产生冲突，从而降低交叉作业风险，提高施工效率和安全性。经项目实践验证，该系统和优化措施有效减少了交叉作业风险事件的发生，保障了项目的顺利进行。

2.绿色施工技术融合

在城市综合体项目实践中，绿色施工技术融合至关重要。对于装配式降噪围挡，建立碳排放-降尘效率双控指标体系是关键举措。通过科学测算和分析，明确围挡在生产、运输、安装及使用过程中的碳排放量，同时精准评估其降尘效果。这一体系的建立，有助于施工企业合理选择围挡材料和安装方式，在降低碳排放的同时，最大程度提高降尘效率。例如，采用环保型材料可减少碳排放，而合理的结构设计能增强降尘能力。该体系为城市综合体项目的绿色施工提供了量化标准和指导方向，促进施工过程更加环保、高效。

（三）市政管网工程验证

1.非开挖施工风险管控

在市政管网工程非开挖施工风险管控的实证研究中，应用地质雷达扫描与导向钻机姿态自调整的协同控制技术具有重要意义。通过地质雷达扫描，能够精准探测地下地质结构及障碍物分布，为施工提供详细的地质信息，有效避免因地质不明导致的施工风险，如塌方、地下管线损坏等。同时，导向钻机姿态自调整技术可确保钻机在复杂地层中按照预定轨迹钻进，提高施工精

度，减少因钻机偏移而造成的施工失误。在实际工程验证中，该协同控制技术显著提高了施工效率，降低了施工风险，保障了市政管网工程非开挖施工的顺利进行，提升了工程质量和安全性。

2.管线保护智能预警

在市政管网工程中，构建分布式光纤振动传感系统进行了验证。该系统通过在管线上方或附近敷设传感光纤，能够实时感知管线周围的振动情况。当第三方施工产生的振动干扰靠近管线时，系统可在毫秒级时间内作出响应。这一快速响应能力对于保护市政管网的安全至关重要。它能够及时发现潜在的破坏风险，为采取相应的保护措施争取宝贵时间。通过实际工程验证，该系统的准确性和可靠性得到了证明。在多次模拟第三方施工破坏的实验中，系统均能准确地检测到振动信号并发出预警，有效避免了可能对市政管网造成的损害，为市政管网的安全运行提供了有力保障。

五、总结

水利、房建、市政工程施工中的技术管理与工程风险管理至关重要。通过实证研究发现，技术管理与风险控制协同体系成效显著，能大幅降低重大风险发生率和工程延误率。这为工程施工提供了有力保障，有助于提高工程质量和效率。同时，提出基于数字孪生的工程智能管控平台建设方向，这将为工程管理带来新的机遇和变革，使工程管理更加智能化、精准化。建议制定融合风险管理要素的新版施工技术规范标准，以进一步规范工程施工中的技术管理和风险管理，确保工程施工的顺利进行，提升工程的整体效益和可持续发展能力。

参考文献

- [1] 尹佳雯. Y 市政道路工程施工阶段风险管理 [D]. 中国科学院大学, 2021.
- [2] 张盼. 大跨度站房装饰工程施工安全风险研究 [D]. 兰州交通大学, 2021.
- [3] 苏宇祺. JH 市政高架桥工程施工质量风险管理研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2023.
- [4] 彭贝. R 市沽河治理水利工程施工过程风险管理研究 [D]. 山东大学, 2021.
- [5] 姜小芮. 基于主成分分析的房建类项目工期风险管理研究 [D]. 青岛大学, 2021.
- [6] 戴远志. 房建建筑施工和工程节能技术管理的策略 [J]. 居业, 2021, 000(8): 69-70.
- [7] 蔺艳玲. 浅析公路工程施工技术管理和控制的策略 [J]. 中外交流, 2021, 28(6): 154-155.
- [8] 刘玉东. 房建工程施工技术管理探讨 [J]. 科技创新导报, 2022, 19(23): 210-212.
- [9] 闵丽坤. 公路工程施工阶段成本风险管理与控制研究 [J]. 运输经理世界, 2021, (13): 24-26.
- [10] 闫鑫. 市政道路工程施工现场技术管理研究 [J]. 河南建材, 2022(12): 84-86.

建筑施工安全管理

李锦焘

兵团建材（集团）有限公司，新疆 石河子 832000

DOI:10.61369/ETQM.2025110002

摘 要： 由于施工过程中高空作业多，施工环境复杂，所以安全管理一直是企业经营的首要任务。本论文的研究对象是新疆兵团建材（集团）有限公司。通过对该公司建筑施工安全管理现状的分析，总结施工安全制度的实施情况，员工的安全意识，现场安全控制和应急处置等方面存在的问题。在此基础上，结合行业先进经验，提出优化对策，包括健全安全管理制度体系，加强员工安全教育培训，优化现场安全控制措施，完善应急管理机制。通过本课题的研究，为新疆兵团建材（集团）有限公司的安全生产管理工作提供借鉴，帮助企业实现安全高效的建设和运营。

关 键 词： 建筑施工；安全管理；安全制度；应急管理

Safety Management in Construction Projects

Li Jintao

Corps Building Materials (Group) Co., Ltd., Shihezi, Xinjiang 832000

Abstract： Due to the numerous high-altitude operations and complex construction environments during the construction process, safety management has always been the top priority for enterprises. The research subject of this paper is Bingtuan Building Materials (Group) Co., Ltd. in Xinjiang. Through the analysis of the current situation of safety management in construction projects of this company, the problems existing in the implementation of safety management systems, employees' safety awareness, on-site safety control, and emergency response are summarized. Based on this, combined with advanced industry experience, optimization countermeasures are proposed, including improving the safety management system, strengthening safety education and training for employees, optimizing on-site safety control measures, and improving the emergency management mechanism. Through the research of this topic, it provides a reference for the safety production management of Corps Building Materials (Group) Co., Ltd. in Xinjiang, helping the enterprise achieve safe and efficient construction and operation.

Keywords： construction projects; safety management; safety systems; emergency management

引言

建筑业是我国国民经济的重要支柱产业，对推动我国城镇化和经济发展具有举足轻重的作用。然而，建筑施工周期长，作业环境多变，高空作业频繁，交叉作业频繁，安全事故频繁发生，不仅造成人员伤亡及财产损失，而且严重影响企业的信誉与社会稳定。在此基础上，提出加强施工安全管理、提高安全管理水平的对策。

一、新疆兵团建材（集团）有限公司建筑施工安全管理现状

（一）公司概况

新疆兵团建筑材料（集团）有限责任公司是一家集建筑工程设计，施工为一体的综合性公司。公司拥有一批专业的施工队伍，先进的施工设备，承接过多个工程项目，如：房建，市政，

道路，钢结构安装和光伏等，并已在新疆地区形成一定的品牌。

“安全第一，预防为主，综合治理”是我司一贯坚持的安全方针，把施工安全管理工作摆在企业经营的重要位置，着力建立健全的安全管理制度。

（二）安全管理组织架构

公司已建立起一套比较完善的安全管理体系，从上到下形成一张安全管理网。在公司总部层次上，成立以主要领导为组长的

安全生产管理委员会，负责对公司安全管理工作进行统筹协调，拟订安全管理制度、方针和目标。安全生产管理委员会下设安全生产管理部，是日常安全管理工作的实施部门，负责制定和实施安全制度，检查监督，安全培训和教育。在项目层次上，各建设项目均成立安全生产领导小组，由项目经理任第一责任人，并配备专职安全员，对施工现场进行安全管理。专职安保员直接向项目经理负责，及时发现、处理施工现场存在的安全隐患，并督促施工人员严格按照安全规程操作^[1]。

（三）安全管理制度建设

为规范施工过程中的安全管理，本公司制定一系列的安全管理制度。《施工现场安全管理规定》《安全教育培训制度》《安全事故报告与处理制度》《安全生产责任制》《施工现场安全管理规定》等。该制度对各层级人员的安全责任、施工过程中的安全管理要求、安全检查的次数与内容、安全教育培训的对象与内容、安全事故的处理程序等进行详细的规定，为施工安全管理工作提供制度保证^[2]。

（四）安全隐患排查

为及时发现并消除安全隐患，本公司建立定期安全检查和不定期抽查的安全检查制度。安全生产管理部每月组织一次全公司安全检查，主要检查各方面的安全管理制度的执行情况，工地的安全防护设施，工人的安全作业行为等。由项目经理带队，专职安全员及施工组长参加，每周组织一次安全巡查。检查人员认真填写《安全检查记录表》，并对发现的安全隐患下达《安全隐患整改通知书》，明确整改人员、整改时限及整改措施，并对整改情况进行详细的说明。整改完毕后，由监理人员对整改情况进行复查，确保安全隐患能够及时排除。同时，鼓励员工及时发现安全隐患，并给予奖励。

二、新疆兵团建材（集团）有限公司建筑施工安全管理存在的问题

（一）安全制度执行不到位

尽管公司已经建立比较完善的安全管理体系，但是在实际操作中还存在着一些制度执行不力的问题。一些项目负责人对安全制度不够重视，片面追求施工进度、追求经济效益，而忽略安全管理制度的实施，致使安全管理流于形式。比如，《安全生产责任制》对各级员工的安全责任进行明确的规定，但是在实际操作过程中，有些人没有很好地履行自己的安全责任，出现问题时推卸责任。另外，部分安全管理制度可操作性差，没有与工程实际紧密结合，导致施工企业难以贯彻执行。比如，有些安全操作规程太过笼统，没有具体的施工步骤，没有具体的操作步骤，施工人员在实际操作中缺少明确的指导，这就增加安全事故的风险^[3]。

（二）人员安全意识淡薄

建筑工人安全意识的高低直接关系到建筑施工的安全性。当前，该公司部分员工的安全意识较差，存有侥幸心理、麻痹思想，对安全操作规程不严格执行，违章操作时有发生。比如，在施工现场施工中，一些工人没有按照规定佩戴安全带；动火作业

未办理动火审批手续，未采取有效防火措施。导致建筑工人安全意识薄弱的原因有：第一，安全培训教育力度不够，培训内容和方法比较单一，主要以理论讲解为主，缺少实际操作演练，这造成施工人员对安全知识的理解和掌握程度不够；二是部分建筑工人受教育程度不高，安全风险意识不强，很难认识其危害；三是缺乏激励机制，对遵守安全规程的员工缺乏相应的激励措施，激励员工积极性不高。

（三）现场安全管控存在漏洞

施工现场是安全管理工作的关键环节，但在施工现场的安全管理上还存在一定的不足之处。一是安全防护设施不健全，一些工地上的安全防护设施如脚手架、临边防护、洞口保护等不规范和不牢固，存在安全隐患。如脚手架搭设不规范，立杆间距过大，横杆缺失等，都会造成脚手架倒塌事故。二是施工过程中交叉作业安全管理不力，施工过程中存在土建施工与安装交叉、高空作业与地面交叉等多工种交叉作业的现象。由于各工种间缺乏有效的沟通与协调，导致安全事故时有发生。如高空作业工人坠物伤人、不同工种施工设备之间相互干涉等。三是对施工现场的临时用电管理不够规范，一些施工现场存在私拉乱接电线，配电箱漏电保护装置失效，线路老化破损，极易发生触电事故。

（四）应急管理机制不健全

虽然企业已经建立事故报告和处理系统，但是应急管理机制还不完善。一是由于应急预案不够完善，一些工程的应急预案针对性、可操作性较差，对可能出现的安全事故类型、应急救援组织机构、救援措施等方面的规定比较笼统，很难对突发事件起到有效的引导作用。二是企业应急救援队伍建设落后，企业没有专业的应急救援队伍，人员以兼职为主，缺乏系统的训练与演练，应急救援能力严重不足。事故发生后，很难进行快速有效的应急救援。三是应急物资储备不足，一些施工现场应急物资配置不全，如灭火器、急救药品、担架等，发生事故后不能及时投入使用，影响应急救援的成效^[4]。

（五）安全投入不足

安全投资是建设工程安全生产的物质基础，而企业在安全投资上却存在着不足。一些工程为降低成本，降低安全投入，没有及时更新和维护安全防护设施，缺乏安全培训教育经费，造成安全管理工作缺少必要的物质保障。比如，一些工地上的安全设备还在使用，这些设备老化，给工人带来安全隐患；安全培训的教育设施、教学材料落后，严重影响培训的效果^[5]。

三、新疆兵团建材（集团）有限公司建筑施工安全管理优化策略

（一）完善安全管理制度体系

一是要加强制度的修订和完善，结合公司实际情况及行业发展趋势，全面梳理、修改现行安全管理制度，增强其可操作性、针对性。在修订过程中，充分听取各部门、各项目的意见与建议，以保证该制度能适应不同工程的特点及安全管理要求。二是要加强制度执行和监督，建立健全制度实施监督机制，加强对制

度实施的监督^[6]。把制度的实施纳入各部门、各项目的绩效评价体系中,对严格执行制度的单位或个人予以奖惩,以保证制度的有效实施。三是建立安全管理制度的动态更新机制,定期评估与更新安全管理制度,根据国家法律、法规的变化、行业标准的变化、企业的业务发展情况,适时对制度内容进行调整与完善,确保制度的先进性和适用性。

（二）强化人员安全教育培训

一是要创新培训内容和方法,使培训内容更加丰富,在传统的安法律法规、安全管理制度、安全操作规程之外,还要将案例分析、实际操作演练、应急处理技巧等内容加入进来,增强培训的针对性和实效性。在培训过程中,通过现场教学、模拟演练、网上学习等多种形式,激发员工学习兴趣,提高培训效果。二是要对不同层级的人员进行培训,对不同层级的人员,如项目经理、专业安全人员、施工人员等,分别制定相应的培训方案和培训内容。对项目经理及专职安全员进行安全管理知识、风险评估、应急处置等方面的培训;对施工人员,着重进行安全操作规程、安全防护知识和紧急自救技能的培训;三是建立培训评估和激励机制,强化培训效果评估,并将评价结果与员工业绩相结合^[7]。经考核合格者,发放培训合格证书;未通过考核者,将接受补考或再培训,直到通过。同时,对开展安全培训表现突出的单位或个人,给予表彰,以激励员工积极参与培训。

（三）优化现场安全管控措施

一是要加强安全防护设施的建设,增加安全防护设施的投入,在施工现场的脚手架、临边防护、洞口防护、安全网等安全防护设施要根据国家标准和规范进行完善,以保证它们的牢固和可靠。定期检查维修安全防护设施,对老化或破损的设备及时更换,消除安全隐患。二是要加强交叉作业的安全管理,建立完善交叉作业的安全生产管理体系,明确交叉作业时各作业人员的安全责任及相互配合的要求。在交叉作业前,应组织各作业岗位的安全技术交底,制订详细的施工计划及安全保护措施。在交叉施工现场安排专人负责协调、监督,及时解决交叉作业中出现的问题,保证施工安全。三是严格按照《施工现场临时用电安全技术规范》要求,规范施工现场的临时用电管理工作^[8]。做好配电箱,配线,用电设备等的检查与维修工作,以保证其正常运转。严禁私自接电,凡违反规定的,一律严肃处理。

（四）健全应急管理机制

一是要建立完善的应急预案体系,针对不同工程项目的特点

及可能出现的安全事故类型,制定有针对性的、可操作的应急预案。应急预案应包括组织机构、措施、物资储备和演练等方面的内容。“七都能应急预案”应定期评估、修改,以保证其符合实际情况。二是要加强应急救援队伍建设,建立专业化应急救援队伍,配备必要的设备,定期组织应急救援训练与演练,提高应急救援队伍的应急处置能力^[9]。同时,要加强与当地政府和消防部门的沟通和配合,建立联动机制,形成应急救援合力。三是要加强应急物资的管理,建立应急物资储备库,按应急预案要求,备足灭火器材、急救药品、担架、拆拆工具等应急物资。定期检查并更新应急物资,以保证应急物资的完好有效。建立应急物资调配机制,确保突发事件发生后,能够快速有效地调配应急物资,保证应急救援工作的顺利开展。

（五）加大安全投入力度

一是要合理安排安全投资,把安全投资列入企业年度预算,保证有充足的资金投入到安全防护设施的建设和维护、安全培训教育和应急救援物资的储备^[10]。根据工程规模及风险等级,对安全投资进行合理配置,以保证高风险项目的安全投资;二是要加强对安全投资资金的管理和监管,建立安全投资专项管理制度,保证资金的提取和使用。要加强安全投资资金的监管和监督,防止资金被挪用和浪费。定期评价安全投资效益,持续优化投资结构,提高投资效益。三是要推广应用先进的安全技术与装备,增加安全技术研究与应用方面的投入,引进与推广先进的安全防护技术、监控技术和应急救援技术,提升施工安全管理的科技含量与水平。如利用视频监控系统实时监测施工现场,及时发现安全隐患;利用智能头盔等设备实时监控工人的位置及状态,从而保证施工人员的人身安全。

四、结论

本文以新疆兵团建材(集团)有限公司为例,对该公司的安全管理现状进行分析。针对存在的问题,提出优化对策,包括:健全安全管理制度体系,加强员工安全教育培训,优化现场安全控制措施,完善应急管理机制,增加安全投入。通过上述优化策略的实施,能够有效地提高新疆兵团建材(集团)有限公司的安全管理水平,降低事故发生率,保证职工生命财产安全,增强企业经济效益与社会效益。

参考文献

- [1] 韩鹏军. PDCA循环下建筑施工安全管理探究 [J]. 新疆有色金属, 2025, 48(3): 90-91.
- [2] 孙敬博, 耿明涛, 王彩凤. 高层建筑施工安全管理策略研究 [J]. 中州建设, 2025(6): 91-92.
- [3] 侯跃虎. 建筑施工安全管理与风险控制探讨 [J]. 现代职业安全, 2025(2): 25-27.
- [4] 鲁鹏. 建筑施工安全管理及风险防范策略 [J]. 砖瓦世界, 2025(2): 181-183.
- [5] 隋沿辉. 建筑施工安全管理与风险控制分析 [J]. 陶瓷, 2025(1): 216-218.
- [6] 李嘉伦. 建筑施工现场安全管理中的风险评估与应对策略 [J]. 产品可靠性报告, 2025, (07): 245-246.
- [7] 于蒙蒙. 建筑工程施工过程管理和现场安全管理措施研究 [J]. 城市建设, 2025, (14): 65-67.
- [8] 杨立杰. 建筑工程施工安全管理实施策略——评《建筑施工技术与安全管理研究》[J]. 安全与环境学报, 2025, 25(07): 2884.
- [9] 廖禄武. 建筑施工安全管理中的风险评估与防控 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (19): 37-39.
- [10] 李颖. 建筑工程施工现场安全管理措施研究 [J]. 工程建设与设计, 2025, (11): 245-247.

公路路面施工质量控制常见问题与改进对策

张建胜

河北光太路桥工程集团有限公司, 河北 邯郸 056000

DOI:10.61369/ETQM.2025110008

摘 要： 公路路面施工质量直接影响道路使用寿命与通行安全。当前，我国部分公路工程在施工阶段仍存在材料控制不到位、施工工艺不规范、管理机制不健全等问题，导致路面早期破损、结构稳定性下降等质量隐患。本文结合实际施工经验，从常见质量问题出发，深入分析其成因，并提出切实可行的技术与管理改进对策，为提高公路路面施工质量、保障工程整体效益提供实践指导与理论支撑。

关 键 词： 公路路面施工；质量控制；常见问题；技术改进；管理对策

Common Problems and Improvement Countermeasures in Quality Control of Highway Pavement Construction

Zhang Jiansheng

Hebei Guangtai Road and Bridge Engineering Group Co., Ltd., Handan, Hebei 056000

Abstract： The construction quality of highway pavements directly affects the service life and traffic safety of roads. Currently, some highway projects in China still exhibit issues such as inadequate material control, non-standard construction techniques, and unsound management mechanisms during the construction phase, leading to quality hazards like early pavement damage and reduced structural stability. Based on practical construction experience, this paper delves into the causes of common quality issues and proposes practical technical and management improvement countermeasures, providing practical guidance and theoretical support for enhancing the construction quality of highway pavements and ensuring the overall benefits of the projects.

Keywords： highway pavement construction; quality control; common problems; technical improvement; management countermeasures

引言

随着我国交通基础设施快速发展，公路工程建设规模不断扩大，施工质量成为保障工程效益的关键。路面作为公路结构的重要组成部分，其施工质量直接关系到行车安全与道路耐久性。然而，受管理、技术、材料等多方面因素影响，公路路面施工中频繁出现裂缝、离析、沉陷等质量问题。本文围绕常见问题展开系统剖析，探索技术与管理层面的改进路径，以促进路面施工质量全面提升。

一、公路路面施工质量常见问题分析

（一）材料控制环节存在问题

在公路路面施工过程中，材料质量的稳定性直接关系到工程的整体结构强度与使用寿命。然而，现实施工中材料控制常常存在疏漏。一方面，粒径级配不合理是最常见的问题之一，部分施工单位为降低成本，使用未经筛分或级配不合格的石料，导致混合料密实性差、空隙率过大，进而引发裂缝、沉陷等质量缺陷。另一方面，材料含水率控制不到位也是制约施工质量的关键因素，特别是在沥青混合料和水泥稳定碎石中，过高或过低的含水量都会影响拌合质量和后期压实效果。此外，粘结材料质量波动大、性能不稳定，甚至存在部分施工方使用过期或劣质沥青粘层

油、乳化沥青等材料的问题，严重削弱了结构层间结合力，导致层间剥离、开裂等现象频发。

（二）施工工艺不规范

施工工艺的不规范性同样是造成公路路面质量问题的重要原因，直接影响路面的结构强度和使用寿命。在基层施工过程中，常见的问题包括压实度不足、碾压遍数不够、碾压时间控制不当等。研究表明，基层压实度每降低1%，将导致路面承载力下降5%~8%，显著增加路面早期破损的风险^[1]。实际施工中，一些单位为赶工期缩短碾压时间或减少压实遍数，造成基层松散、密实度不达标，进而埋下结构不稳定的隐患。在面层摊铺过程中，摊铺厚度不均更是普遍现象，部分施工工区忽视找平作业，或由于机械调平系统故障与操作失误，致使摊铺厚度误差超过

±10mm，影响路面平整度和行车舒适性。此外，接缝处理粗糙也是常见质量问题之一。接缝处若未及时加热处理或未清理干净，容易造成层间结合不紧密，雨水渗入后在冬季形成冻胀，造成剥离与裂缝。据《公路沥青路面施工技术规范》统计，超过70%的早期路面裂缝源于接缝部位。由此可见，规范施工工艺是确保路面整体性能和延长使用年限的关键环节。

（三）施工管理体系薄弱

施工管理体系不健全是导致质量问题频发的重要制度性因素。首先，施工人员技术素质参差不齐，缺乏系统培训与技术指导，现场操作随意性较大，技术规程落实不到位；特别是在新工艺、新设备应用中，操作失误率高，容易埋下质量隐患^[2]。其次，质量检查机制缺失或执行力度不足，部分项目仅在交工阶段进行一次验收，忽视了过程中的关键工序控制与中间验收，导致问题积压、错过修正最佳时机。再者，施工现场组织混乱、职责不清，现场调度与协调能力不足，常因工序交叉、物料堆放无序、临时调整频繁等问题影响整体施工质量。尤其在多承包方协作工程中，缺乏统一标准和监督协调机制，施工效率与质量均难以保障。

二、公路路面质量问题成因剖析

（一）设计与实际脱节

在公路建设实践中，设计图纸往往成为施工单位的唯一依据，但在复杂多变的地质与气候条件下，设计方案若未充分考虑实际施工环境，极易造成与现场实际不符的问题。一些设计单位缺乏对施工现场的全面踏勘，仅凭历史资料或通用标准制定设计参数，忽视了地区性土壤湿度、地下水位、荷载分布等关键要素，从而导致基层结构层设计厚度、材料选择与真实需求不匹配。此外，施工过程中若发现地质变化或结构适配问题，一些设计单位响应滞后或变更流程繁琐，致使施工方难以及时调整计划，最终只能勉强按图施工，埋下质量隐患。特别是在老路改扩建项目中，设计中未考虑原有路基沉降和结构失衡问题，导致新旧结构结合部位频繁出现裂缝、沉陷等病害，影响路面整体性能。

（二）施工环境影响

施工环境的不确定性对公路路面施工质量产生直接影响，尤其是在高温、多雨或严寒地区表现更为明显。首先，气候条件是施工工序能否达标的重要外因。例如，在高温天气下，沥青摊铺温度难以控制，冷却过快导致碾压效果差，易形成纵向裂纹；而在多雨季节，基层或底基层易受水浸泡，影响结构强度，若未及时采取防护或排水措施，将造成返工或埋下质量隐患。其次，夜间施工时受照明条件限制，易出现施工细节控制不严、摊铺厚度不均、接缝处理不规范等问题，造成质量不一致^[3]。再者，交通干扰也是影响施工环境的重要因素。尤其是在边施工边通车项目中，来往车辆产生的震动与尘土严重干扰铺装质量，且施工作业频繁中断，压实度与结合效果无法保障，增加后期维修频率。

（三）监理与验收机制缺陷

监理和验收机制的缺陷在当前工程管理中表现明显，直接制

约了施工质量的提升。一方面，部分监理单位对项目控制不严，工作流于形式，监理工程师未能及时深入现场进行质量巡查，对重点工序如基层压实、沥青混合料温控、接缝处理等缺乏全过程监督，导致质量问题未能早发现、早纠正。另一方面，验收流程设置不合理，常见的一次性交工验收代替阶段性验收，忽视了施工关键节点的质量把控。例如底基层完成后未组织验收便直接进入上层铺装，使得前期问题被掩盖，后期难以补救。此外，部分项目缺乏第三方独立验收机制，建设单位与施工单位之间存在过度合作，验收标准执行偏松，存在走过场现象，最终影响了路面工程质量的公正性与可靠性。因此，建立健全、多层次、全过程的监理验收机制是杜绝质量隐患的关键环节。

三、施工技术与工艺改进对策

（一）原材料进场控制强化

为保障公路路面施工质量，首先应从源头把控原材料质量。原材料进场控制必须建立严格的验收和抽检制度。根据《公路工程质量检验评定标准》规定，沥青混合料、水泥稳定碎石等主要材料必须具备出厂合格证与第三方检测报告，并按批次抽样复检。实践数据显示，合格材料使用率提升10%可有效降低后期病害率12%。施工单位应在材料到场后组织专职质量检测人员进行物理指标、含水率、级配等参数比对，杜绝以次充好、无证进场。此外，应建立材料供应商资质档案和信誉评估体系，淘汰不合格供货方，推动形成良性供应链。对于外购沥青类材料，还需重点检测其针入度、延度、软化点等指标，确保其与设计要求匹配。通过信息化平台进行材料批次登记与追溯，能够显著提升材料质量可控性，减少施工返工和质量纠纷^[4]。

（二）优化施工工艺流程

施工工艺流程的科学化和标准化是提升路面工程质量的关键。应合理安排施工工序与作业时间，避免因工序错位或交叉作业引起结构变形。以沥青摊铺为例，需确保混合料出厂温度控制在160℃至180℃，摊铺温度不低于140℃，碾压终止温度不得低于100℃，否则会导致压实度下降、结合力不足。数据表明，控制在此温度范围内的压实度合格率达96%以上。同时，采用先进机械设备如智能摊铺机与振动压路机可实现自动找平和压实轨迹跟踪，提高施工精度^[5]。对接缝施工应严格控制切缝宽度、热合温度及密封材料质量，推荐使用热粘缝封胶提高接缝防水性能。在基层施工中，应进行预湿处理，并分段碾压以避免过长作业面导致压实不均。通过全过程流程卡控与技术交底制度，保证每一环节可控、可查、可追溯。

（三）提升施工人员专业技能

施工队伍的专业素质直接决定施工工艺能否有效落实。据交通运输部统计，具有岗位操作证书的一线施工人员比例不足60%，专业技能缺失已成为制约施工质量的瓶颈。应加强对施工人员特别是一线操作人员的岗前培训和定期考核，培训内容包括新材料使用、新设备操作、规范化施工流程等，确保技术标准理解到位、实际操作熟练。在关键工序如摊铺、碾压、切缝等环

节，应安排经验丰富、经认证的技术工人负责操作，并推行“岗位责任制”，将质量问题落实到个人。施工单位还应通过组织观摩交流、实操演练等形式提高工人综合素质。结合现代信息化手段，可采用现场摄像、无人机巡查、智能监控等技术记录作业过程，发现问题及时反馈给操作人员进行修正，从而形成“培训—实操—考核—监督”全闭环质量保障机制。提升施工人员技能水平不仅能有效降低人为操作失误率，还能在面对突发施工状况时，快速响应并处理问题，保障施工质量稳定可控^[6]。

四、施工质量管理与监督体系建设

（一）完善质量管理制度

健全和科学的质量管理制度是保障公路路面施工质量的基础。当前多数施工单位仍沿用传统纸质资料管理与经验型管理方式，制度执行流于形式，缺乏标准化和可操作性。应按照《公路工程施工质量管理办法》等行业规范，构建以“计划—执行—检查—反馈”为核心的全过程质量管理体系，覆盖施工准备、过程控制、成品检验、缺陷整改等各个环节。具体包括：制定明确的质量目标与验收标准，建立施工日志、质量巡查记录、整改闭环反馈表等制度化台账，确保每道工序质量均有迹可循；推行“质量首检+过程抽检+成品终检”三道检测机制，对关键节点必须由专职质量人员现场确认签字；强化施工单位内部审核机制，组织定期质量会议和通报制度，对质量问题及时追踪和问责。通过建立覆盖全体参建方的质量目标责任书，将管理制度由静态文件转化为动态执行体系，推动质量理念深入人心，提升制度执行力与现场约束力^[7]。

（二）引入信息化监管手段

随着信息技术的发展，传统依靠人工监督的方式已无法满足现代公路施工对实时性与精确性的要求，引入信息化监管手段成为提升质量管控效率的重要方向。通过建立施工全过程数字化监管平台，实现对施工工序、设备状态、人员作业、材料流向等信息的实时采集与集中管理，可有效提升项目透明度与响应效

率^[8]。例如，在摊铺压实过程中安装 GPS 定位系统和智能温控传感器，可实时记录摊铺轨迹、温度变化及压实遍数，系统自动识别未压实区域并发出预警，确保每一段路面压实度达标；在原材料管理中，可应用二维码或 RFID 标签，对各批次材料进场时间、检测结果、使用部位等进行全过程追溯，杜绝不合格材料进入施工链条。利用无人机对施工现场进行航拍巡查，结合图像识别技术辅助识别施工缺陷、物料堆放混乱等问题，提高监督全面性与可视化水平。平台数据还可接入主管部门，实现远程督查与质量评估，推动施工监管由“事后追责”向“过程控制”转变，显著提升施工质量管理的科学性与实时性。

（三）强化第三方监督机制

第三方监督机制作为外部力量介入，是打破“建设—施工—监理”三方可能存在的默契关系、提高工程质量公正性与透明度的有效方式。应从制度上明确第三方检测、评估、审计等机构在项目全生命周期中的独立参与权限和责任边界。引入具有国家认证资质的第三方质量检测机构，对关键材料如沥青、水泥、水稳层材料等进行随机抽检，并出具具有法律效力的检测报告；在工程节点验收前，由第三方评估机构根据国家标准及合同要求对压实度、平整度、接缝处理等指标进行复核，作为是否允许进入下一工序的重要依据；建设单位应对第三方机构的工作结果采信并及时处理其提出的问题，防止流于形式。建立第三方信用评价制度，对多次出具虚假报告或监管不到位的机构予以通报或列入黑名单，确保其独立性与权威性。

五、结束语

公路路面施工质量直接关系到道路使用性能与公众出行安全。针对当前存在的材料控制不严、工艺执行不规范、管理体系薄弱等问题，需从原材料进场、施工流程优化、人员培训及信息化监管等方面全面推进质量提升。同时，强化制度建设与第三方监督，实现全过程、全要素、全责任闭环管控，才能有效保障工程质量与耐久性，推动公路建设迈向高标准、高质量的发展目标。

参考文献

[1] 张涛. 沥青路面裂缝养护方法与施工处理技术 [J]. 时代汽车, 2025, (14): 181-183.
[2] 任燕晴. 公路路基路面拓宽改造工程中的关键技术问题 [J]. 汽车周刊, 2025, (07): 125-127.
[3] 齐大伟. 沥青路面预防性养护技术在公路养护中的应用 [J]. 汽车周刊, 2025, (07): 90-92.
[4] 郑九珍. 公路施工中碎石基层的铺设与质量控制技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (17): 114-116.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202517038.
[5] 安雪利. 基于现场试验检测技术的公路沥青路面施工分析 [J]. 时代汽车, 2025, (10): 165-167.
[6] 刘廷乾. 公路桥梁路基路面施工质量的影响因素及控制措施 [J]. 汽车画刊, 2025, (05): 176-178.
[7] 周雅. 公路路面工程混凝土破损及养护对策分析 [J]. 汽车周刊, 2025, (06): 28-30.
[8] 李国立. 公路沥青混凝土路面离析的原因及对策 [J]. 中国水泥, 2025, (05): 112-114.

钢波板在隧道加固施工中的应用及质量控制研究

方自冰¹, 骆建刚²

1. 云南云岭高速公路工程咨询有限公司, 云南 昆明 650214

2. 云南交投集团昆明东管理处, 云南 昆明 650214

DOI:10.61369/ETQM.2025110011

摘 要 : 在未来,我国高速公路以及高铁建设里程呈现高速增长。随着隧道因施工中的质量缺陷以、隧道老化以及地震等自然灾害的影响。导致隧道出现质量缺陷而需要进行维修加固。传统的隧道加固技术已经不能完全满足相应的技术要求。采用传统的施工技术比如更换二衬,则工艺复杂,工期长且必须进行交通管制甚至是交通中断。但新材料、新工艺的出现弥补了传统技术的不足。比如钢波板具有较强的刚性、质量轻、可机械化加工从而缩短工期的优势,应用将越来越广泛。本次就讨论钢波板在隧道加固中的施工应用以及质量检验。

关 键 词 : 隧道加固; 钢波板施工; 质量控制

Research on the Application and Quality Control of Steel Corrugated Plates in Tunnel Reinforcement Construction

Fang Zibing¹, Luo Jiangang²

1.Yunnan Yunling Expressway Engineering Consulting Co., LTD., Kunming, Yunnan 650214

2.Yunnan Transportation Investment Group Kunming East Management Office, Kunming, Yunnan 650214

Abstract : In the future, China will witness rapid growth in the construction mileage of expressways and high-speed railways. Tunnels may develop quality defects due to construction flaws, aging, or natural disasters such as earthquakes, necessitating repair and reinforcement. Traditional tunnel reinforcement techniques can no longer fully meet the corresponding technical requirements. Traditional construction methods, such as replacing the secondary lining, involve complex processes, long durations, and often require traffic control or even traffic interruption. However, the emergence of new materials and processes has compensated for the shortcomings of traditional techniques. For instance, steel corrugated plates offer advantages such as high rigidity, light weight, and mechanized processing, which can shorten construction periods and will find increasingly wider applications. This paper discusses the construction application and quality inspection of steel corrugated plates in tunnel reinforcement.

Keywords : tunnel reinforcement; steel corrugated plate construction; quality control

引言

工程概况: 玉元高速路线由峨山境内小甸中村后整体式路基 K127+986.61 分幅进入隧道,穿过小甸中村后山脊,从石屏境内的上骆子箐沟头出隧道,出隧道后下、上行继续分幅行驶。该隧道下、上行线隧道测中线间的平距玉溪端约为 186 米,元江端约为 126 米。K128+668 ~ K128+690 段(养护里程)左拱腰位置二次衬砌混凝土存在一处带状空隙、起层、剥落、开裂等综合性病害,纵向开裂位置裂缝宽度 0.5 ~ 2.0cm。通过隧道病害的检查,不进行相应的处置,任由病害发展,裂缝继续发展,可能导致二次衬砌混凝土脱落,影响行车安全。而本隧道作为昆曼高速大通道的一部分,将影响整个大通道的道路营运安全节点,对云南交通及经济影响较大。

一、隧道施工过程中存在的质量问题

要对隧病害进行处置,就要有的放矢,解决主要问题,找到病害形成原因,做出正确的处置技术方案。通过分析,主要原因分析: 结合《专项检测报告》及现场调查情况,

K128+668 ~ K128+690 段纵向贯通裂缝应是隧道在施工时,衬砌混凝土两次浇筑形成的施工冷缝逐步发展形成的。混凝土浇筑初期,在混凝土结合面就已形成施工冷缝等细小裂缝,混凝土间因结合面黏结强度较低,在强度形成过程中,由于混凝土的自重及混凝土的收缩徐变,前、后浇筑的混凝土在结合面薄弱位置逐

作者简介: 方自冰(1977.02—),男,汉族,云南陆良人,本科,中级工程师,研究方向:路面桥梁隧道养护加固。

渐分离，随着时间的发展慢慢分层，形成近期发现的病害情况。由于该隧道位于昆曼国际大通道上，交通流量较大，采用更换二衬，需要中断交通，会导致交通拥堵及交大的社会负面影响，就要求能够工期短、不中断交通且能处置效果好的处置方案（如图1所示）。

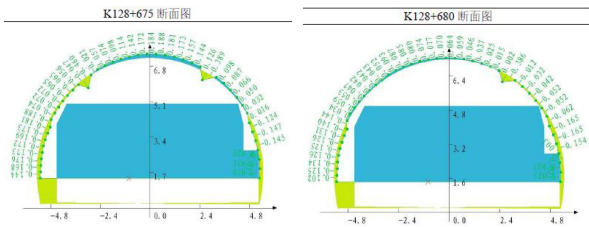


图1 实测衬砌轮廓与设计轮廓、建筑限界对比图

二、结合主要原因的分析，提出主要处治措施

1. 针对 K128+630~K128+720 段发现的裂缝病害，对裂缝进行表面封闭处理，或灌浆注浆封闭裂缝处理，提高衬砌结构耐久性；

2. 针对 K128+668~K128+690 段病害严重段落，对分层、开裂混凝土灌注环氧树脂胶进行填充密实，局部凿除破碎、松散混凝土，采用环氧砂浆修补、打磨、找平后，再在 K128+664 ~ K128+694 段衬砌内增设钢波纹板对原衬砌结构进行补强^[1]。

3. 针对局部发现的拱顶空洞病害，采用拱顶注浆填充方式对脱空进行处理。

4. 针对局部衬砌表面空响部位，对表面松散混凝土凿除后，采用环氧砂浆进行修补处理。对于隧道裂缝处置都是遵循相应的隧道加固处理方案的基本原则^[2]。对于采用钢波纹板对原衬砌结构进行补强进行讨论。

因本项目设计年代久远，运营 20 多年，施工时谨慎施工核对检查，不造成大的扰动，未对结构造成破坏。处治施工前对其认真检查、复核，数量会存在偏差，实际发生量及时签证。

三、施工前需要确定的主要施工过程中的控制重点

波纹管片安装前应结合照明及消防设计图等预先切割出照明灯具出线孔（仅在出线位置预留圆形孔洞，环向线槽不留孔槽）及消防箱安设孔等。在对 K128+668 ~ K128+690 段衬砌分层、松散、破碎混凝土进行凿除及灌注环氧树脂胶施工时，分段局部施工，分段长度不宜过大，严禁大面积凿除。凿除时根据现场情况在凿除范围两侧设置临时支撑，必要时两侧增加临时钢支撑，临时钢支撑紧贴二衬沿环向设置，其纵向间距为 60cm，以保证衬砌结构的安全稳定。灌注环氧树脂胶液时，应合理控制注浆压力，在保证注浆密实的前提下，严禁对衬砌混凝土造成进一步损伤。病害处治时会将局部防火涂层及两侧瓷砖镶面、砂浆垫层铲除。混凝土修补、重新浇筑等新老混凝土结合的，新老混凝土结

合面凿毛 5 ~ 6mm，形成凹凸不平的结合面，并将结合面清理干净、干燥后再进行下一步施工，以保证新老混凝土结合面的强度。由于小甸中隧道施工时采用的是小模板施工，施工后的衬砌断面轮廓、曲线形式与原设计存在偏差，在波纹板施工前，现场实测衬砌断面轮廓，并放样，获取精准断面尺寸，核实无误后，进行相关采购、下料工作，避免造成材料废置。装钢波纹板前，对衬砌表面进行凿毛处理，并保证表面干燥、清洁，钢波纹板与衬砌表面间的空隙，应用环氧胶泥灌注密实，以保证两者密贴形成一个整体，共同受力。在衬砌表面植入高强螺栓时，保证螺栓植入可靠稳固的混凝土中，保障螺栓连接质量；钢波纹板施工时在具备工作面后，及时凿毛、植筋、清洁、安装钢波纹板并灌注环氧胶泥，分段进行，保证衬砌结构整体的安全性和稳定性。拱部空洞注浆施工时应控制好注浆压力，必要时增设临时支护措施并加强观测衬砌变形及周围裂缝发展情况，发现异常应及时停止注浆^[3]。

（一）施工过程及质量控制

1. 施工前质量控制。严格按照施工程序报批施工保通方案，在交警路政同意批复后上路。在监理人、业主、路政、交警、施工单位五方对保通设施进行检查确认签收后施工。对主要施工材料裂缝填充胶、密封胶钢筋、注射胶、钢筋、钢波纹板等产品样品合格证，产品质量检验报告进行抽检。合格后进行采购。2. 密封检查：密封剂采用气密检查法。达到强度后，沿接缝涂抹一层肥皂水，用螺栓（用原材料胶带包裹）将中间灌浆孔堵在 1000~200mm 的距离处，并让空气从灌浆口进入。如果密封接头上有气泡，则应再次密封零件。当接头较长时，可分段进行气体测试。在检查测试过程中，根据未密封接缝处的空气泄漏大小，判断裂缝大小及深度。漏气严重且深度较浅，增加泥浆粘度，并采用减压和延迟的方法持续填充。3. 灌浆后的视觉效果可通过水压法或者气压法进行检查。根据注入水量、水压，测吸水率，检查灌浆前后的防渗效果。主要看接缝处渗漏大小，灌浆前渗漏裂缝灌浆后应无渗漏即达到相应的防渗效果。采用气压法时，只需渗透率，渗透率小即可^[4-6]。

（二）空洞、破损露筋处治 采用环氧砂浆，对空洞、露筋及局部破损的混凝土构件进行修复

处治步骤：1. 构件锈胀、破损露筋调查 对构件锈胀、破损露筋面积进行检查统计。2. 表面处理构件锈胀、破损露筋表面处理 凿除构件锈胀、破损露筋部位周围松散、破碎混凝土，凿除范围以露出崭新、密实混凝土为宜，清除表面浮浆，吹去灰层，并用清水将空洞部位清洗干净，晾干，并对外露钢筋采用除锈剂进行除锈处理。3. 涂阻锈剂滚涂或者喷涂在混凝土表面；喷涂两遍，第一遍喷涂 6 ~ 8h 后涂刷第二遍。4. 缺陷修复对构件锈胀、破损露筋部位采用环氧砂浆进行修补。注意混凝土接合面的结合质量，防止脱空下坠。当修复面厚度超过 20mm 时，分层嵌补，每层控制在 10 到 15mm，一次修复面积控制不大于 1.5*3m。5. 控制新旧混凝土粘结。主要保持旧混凝土表面的粗糙度；达到结合表面的完整性、粘结表面的清洁度等。新老混凝土表面处理施工可采用高压水喷射法、钢丝刷或人工凿毛法。将旧混凝土表面上的粗

骨料和细骨料暴露在外，形成粗糙不平的表面。表面处理的质量要求旧混凝土凿出的界面应完全暴露于主体混凝土粗骨料应暴露50%，表面粗糙度不应小于6mm。接缝表面应、连续浇水至少3至6小时，然后用湿麻袋覆盖，直到旧混凝土和粘结表面上没有清水，在保湿12至24小时后才能浇筑新混凝土^[7]。

（三）拱部脱空注浆 首先根据检测情况，明确需注浆加固的范围和数量

注浆施工工艺按下列流程进行：钻孔——埋管——制浆——注浆——检测——清理 施工要点：（1）钻孔：找出空洞位置并进行标记，在空洞部位布设注浆压注空及排气孔，钻孔时应严格注意钻孔深度，严禁钻破防水板。（2）埋管：打孔完成之后埋设Φ42 注浆管，主要注重灌浆钢管与孔洞之间的缝隙应采用水泥砂浆等相应材料密封，要保证密封料的强度（3）制浆：采用42.5的普通硅酸盐水泥，浆液注意保持水灰比为0.5:1~1:1。（4）灌浆：灌浆检查管道的密封性。顺序从低到高。保持灌浆压力0.1~0.3MPa。（5）检测：用电锤钻孔检测灌浆效果通过。主要检查指标密实度和泌水率。（6）清理：检查孔后，附着物进行打磨、清理，并进行清理。灌浆管嵌入钻孔时，管口与围岩之间应留有5~10cm的间隙，以便浆液顺利流出。（7）灌浆管要加固牢靠。注意灌注压力适中，压力大时候，停顿5~10分钟，使浆料顺利扩散。待灌浆具有一定的自稳能力后，再拆除并及时封堵灌浆口^[8~9]。

（四）种植钢筋

种植钢筋工艺流程：钻孔—— 清洁钻孔—— 灌胶 —— 插入锚杆—— 注胶。施工注意事项（1）植筋焊接点与粘接面距离不小于10cm；（2）采取冷却措施，（3）采用环形焊接施工的方法，即逐点逐根焊接一批焊接钢筋^[10]。

四、结束语

通过采用钢波板高强螺栓及环氧砂浆填充的加固方式，从结构上分析，未破坏原隧道的整体结构，通过树胶材料填缝，是整个加固形成一个整体结构，加强原有结构的刚度，增加了隧道的使用寿命。从经济上看使用钢波板加固，对比二衬及钢架更换的加固方式，不使用二衬台车及模板及圬工材料，节约投资15%~25%。质量控制方面看，通过钢波板的在加工厂制作，现场安装，保证了制作品质。从工期对比看需要混凝土养护，通过移动门架结构的工作平台，无需中断交通也可施工，保障了交通正常运营且工期减少20%。当然钢波板加固也存在表面反光到至眩晕的问题。需通过表面涂装油漆改善反光特性的缺陷，保证运营交通安全。

参考文献

[1] 卢傲, 余顺新, 夏飞, 等. 波纹钢管桥涵标准化设计与应用 [Z]. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司. 2015.
[2] 李地红, 夏嫒, 王艳君, 等. 镶嵌式混凝土构件加固、补强、修复技术研究 [J]. 材料导报, 2019, 33(z1): 225-228.
[3] 张连新. 桥梁隧道施工中的常见问题及质量控制对策 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(6): 153-155.
[4] 陈明奎, 张钰, 姚晓励, 等. 高山地区斜坡地形下波纹钢管明挖隧道力学特性研究 [J]. 隧道建设 (中英文), 2021, 41(z2): 290-298.
[5] 战福军. 一种高填方波纹钢管涵洞的施工方法 [J]. 科技风, 2018(24): 95, 100.
[6] 沈阳建筑大学. 一种装配式波纹钢-充填层复合隧道支护体系及其施工方法 :CN202110613226.9[P]. 2025-01-28.
[7] 广州金土岩土工程有限公司. 一种应用于隧道掘进施工的韧性水泥土施工系统 :CN202011291041.2[P]. 2024-12-20.
[8] 王静. 波纹钢管涵在生态脆弱区公路工程中的应用 [J]. 技术与市场, 2021, (7).
[9] 徐平, 罗小祺, 郭玉娟, 等. 高填方区域的波纹钢管涵洞施工技术研究 [J]. 建筑技术, 2020, (10).
[10] 李祝龙, 李鹏飞, 梁养辉, 等. 波纹钢管用作隧道逃生管道时的模拟分析 [J]. 公路交通科技, 2017, 34(8): 105-113.

建筑信息模型（BIM）在房屋建筑工程施工质量追溯管理中的应用研究

刘新强

广东建鑫投融资住房租赁有限公司，广东 广州 510170

DOI:10.61369/ETQM.2025110017

摘 要： 本文聚焦 BIM 技术在房屋建筑工程施工质量追溯管理中的应用，传统施工质量追溯管理依赖人工，存在信息记录不规范、传递滞后、责任难界定、追溯效率低等问题。基于 BIM 的管理框架通过构建基础层、数据层、功能层和应用层，借助 BIM 的可视化、参数化、协同化等特性，实现质量信息数字化、集成化管理。其核心要素包括 BIM 模型、质量信息、参与方、物联网技术和管理流程，各要素相互作用实现全过程精准追溯。配套的追溯系统设计涵盖感知层、传输层、数据层、应用层和用户层，核心功能模块包括 BIM 模型管理、质量信息采集、协同管理、预警与分析等，并对材料质量管理、工序质量控制、质量问题处理等关键业务流程进行再造，提升施工质量追溯的速度与精准度，保障工程质量。

关 键 词： 建筑信息模型（BIM）；施工质量追溯；管理框架；系统设计

Research on the Application of Building Information Modeling (BIM) in Quality Traceability Management of Housing Construction Projects

Liu Xinqiang

Guangdong Jianxin Investment, Financing, and Housing Leasing Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510170

Abstract： This paper focuses on the application of BIM technology in quality traceability management for housing construction projects. Traditional quality traceability management relies heavily on manual processes, leading to issues such as non-standard information recording, delayed information transmission, difficulty in defining responsibilities, and low traceability efficiency. The BIM-based management framework, through the construction of foundational, data, functional, and application layers, leverages BIM's visualization, parametrization, and collaboration features to achieve digital and integrated management of quality information. Its core elements include BIM models, quality information, participating parties, Internet of Things (IoT) technology, and management processes, which interact to enable precise traceability throughout the entire construction process. The accompanying traceability system design encompasses perception, transmission, data, application, and user layers, with core functional modules including BIM model management, quality information collection, collaborative management, early warning, and analysis. It also reengineers key business processes such as material quality management, process quality control, and quality issue handling, thereby enhancing the speed and accuracy of construction quality traceability and ensuring project quality.

Keywords： building information modeling (BIM); construction quality traceability; management framework; system design

引言

房屋建筑工程作为关乎民生安全与社会发展的重要基础设施，其施工质量直接影响建筑的使用寿命、使用安全及社会经济效益。随着建筑行业的快速发展，房屋建筑工程呈现出规模扩大化、结构复杂化、技术多元化的趋势，传统的施工质量追溯管理模式已难以满足现代工程管理的需要。建筑信息模型（BIM）技术以其可视化、参数化、协同化及全生命周期管理的特性，为解决传统施工质量追溯管理的痛点提供了全新思路。通过将 BIM 技术与施工质量追溯管理深度融合，能够实现质量信息的数字化集成、实时共享和精准追溯，打破各参与方之间的信息壁垒，构建从设计、施工到运维的全过程质量管控体系。鉴于此，本文以房屋建筑工程为研究对象，探索基于 BIM 的施工质量追溯管理框架构建方法，设计相应的追溯系统及关键业务流程，旨在为提升房屋建筑工程施工质量追溯的效率与精准度提供理论支持和实践参考，推动建筑行业向数字化、智能化质量管理转型。

一、传统施工质量追溯管理现状及问题分析

（一）传统施工质量追溯管理流程分析

传统的施工质量追溯依赖人工记录与经验判断，面对日益复杂的施工流程和海量信息，这种方式如同“盲人摸象”，效率低下且准确性难以保证^[1]。在传统施工质量追溯管理流程中，施工前相关人员会依据设计图纸、施工规范等文件制定质量计划，明确各环节的质量标准和检验要求^[2]。施工材料进场时，由材料员进行外观检查和资料核对，确认无误后手动记录材料信息，随后将材料入库。施工过程中，各工序完成后，施工班组自检合格后填写自检记录表，再报给质检员进行检验^[3]。质检员按照质量标准对工序质量进行现场检查，合格则在检查表上签字确认，不合格则要求返工整改，整改后重新检验。同时施工日志由施工员手动填写，记录当天的施工内容、施工人员、天气情况以及质量情况等信息。当工程出现质量问题时，管理人员会根据施工日志、检验记录表等纸质资料，追溯问题产生的环节。先查看问题部位对应的施工工序，找到该工序的施工班组和质检员，再检查当时的材料使用情况，逐步排查问题原因。若涉及材料问题，还需联系供应商，查阅材料进场记录和相关资料。

（二）传统模式存在的主要问题

传统模式主要依赖人工手动记录信息，易导致记录不规范和信息遗漏，给后续质量追溯带来困难。信息传递依赖纸质资料人工交接，耗时久且滞后；资料分散存放，缺乏统一管理平台，跨部门查阅耗时，严重影响追溯效率。因信息记录不完整、不规范，出现质量问题时难以界定责任主体，各方易推诿，影响问题解决及工程进度与质量^[4]。传统质量追溯需人工翻阅大量纸质资料，耗时费力且易疏漏，大型项目中资料庞大，更难及时处理问题。此外，质量信息多集中于施工过程检验记录和日志，对施工前设计交底、材料采购及施工后维护等环节记录少，难以实现从设计到使用的全过程追溯，无法全面掌握工程质量形成过程。

二、基于 BIM 的施工质量追溯管理框架构建

（一）构建目标与原则

基于 BIM 的施工质量追溯管理框架构建目标，是借助 BIM 的可视化、参数化、协同化等特性，解决传统模式中信息不规范、传递滞后、共享难、责任不清、效率低及难全过程追溯等问题，实现施工质量信息数字化、集成化管理，保障信息准确完整规范，提高信息传递共享效率，明确各方责任，提升追溯速度与精准度，最终实现从设计、施工到运维的全过程质量追溯，保障工程质量^[5]。构建原则包括实用性原则，需结合施工实际，满足现场需求，确保可操作；集成性原则，将 BIM 技术与材料、人员、工序、检验等各类信息有效集成，实现集中管理与共享；协同性原则，支持建设、设计、施工、监理、供应商等各方在同一平台协同工作，促进信息实时交互；可扩展性原则，能随技术发展和需求变化灵活扩展，适应新功能与业务；准确性与安全性原则，保证录入信息真实准确，采取措施保障信息安全。

（二）总体框架设计

基于 BIM 的施工质量追溯管理总体框架分为基础层、数据层、功能层和应用层，基础层作为支撑，包含硬件设施、软件系统和网络环境，为信息处理传输提供支持与保障；数据层是核心数据层，以 BIM 模型为载体，集成材料、人员、工序、设计、运维等各类质量信息，通过数据库技术分类存储管理，确保信息完整一致，为上层功能提供数据支持；功能层是核心功能实现层，涵盖信息采集与录入、信息查询与追溯、协同管理、预警与分析等模块；应用层面向不同参与方提供服务，施工单位用于质量控制追溯，监理单位进行实时监督，建设单位查询质量与进度，供应商了解材料反馈，运维单位参考历史信息用于维护。

（三）核心要素与运行机理

基于 BIM 的施工质量追溯管理框架核心要素包括 BIM 模型、质量信息、参与方、物联网技术和管理流程，BIM 模型是载体核心，提供三维可视化空间载体；质量信息是运行基础，影响追溯效果；参与方协同推动管理实施；物联网技术助力信息自动采集传输；管理流程规范行为与信息流转^[6]。运行机理为，施工前设计单位转化 BIM 模型并录入设计信息，施工单位制定计划，供应商关联材料信息；施工中自动与手动结合采集信息并关联 BIM 模型，各方协同共享；出现质量问题时通过模块定位追溯原因并通知整改，预警模块实时分析预警；交付后录入运维信息关联模型供运维参考。各要素相互作用，实现全过程精准追溯。

三、基于 BIM 的施工质量追溯系统设计与关键流程

（一）系统总体架构设计

基于 BIM 的施工质量追溯系统总体架构分为感知层、传输层、数据层、应用层和用户层，是对前述框架技术实现路径的细化。感知层借助 RFID 阅读器、传感器、摄像头等物联网设备，采集材料信息、环境数据、施工影像等，将物理信息转为数字信号^[7]。传输层以有线和无线网络为通道，结合安全技术保障数据安全高效传输，并有冗余能力确保连续性。数据层作为数据中枢，以分布式数据库和数据仓库存储结构化与非结构化数据，经处理保证数据准确一致，为应用层提供支持。应用层基于数据开发各类业务模块，如质量信息管理、BIM 模型集成等，协同完成追溯管理，且可灵活扩展。用户层为不同参与方提供个性化终端界面和权限控制，保障系统安全有序运行。

（二）核心功能模块设计

BIM 模型管理模块是系统的核心支撑，负责 BIM 模型的导入、更新、浏览和关联管理。它支持主流 BIM 建模软件生成的模型文件导入，并能对模型进行轻量化处理，方便在移动终端上快速浏览。在施工过程中，当设计发生变更时，该模块支持 BIM 模型的版本管理和更新，并自动关联相关的设计变更信息，确保模型与实际施工情况保持一致^[8]。同时它实现 BIM 模型与质量信息的精准关联，将材料、人员、工序等信息附着到对应的模型构件上，用户点击模型中的任意构件，即可查看与之相关的所有质量数据。质量信息采集模块旨在实现质量信息的多元化采集，提

高信息录入的效率和准确性^[9]。录入的信息会自动与 BIM 模型关联,并带有时间戳和录入人员信息,确保信息的可追溯性。用户可通过输入构件编号、工序名称、材料批次、施工时间等关键词,快速定位到相关的质量信息;也可直接在 BIM 模型上点击目标构件,查询其对应的材料来源、施工人员、检验记录、质量问题及处理结果等全生命周期信息。在追溯方向上,既能从发现的质量问题出发,逆向追溯至问题产生的工序、使用的材料和相关负责人,也能从材料进场、工序施工等环节正向追踪其质量状态和影响范围,为质量问题的分析和处理提供全面的数据支持^[10]。协同管理模块打破各参与方之间的信息壁垒,实现高效协同工作。该模块提供信息共享平台,各参与方可在平台上发布和获取相关质量信息,如施工单位发布工序验收申请,监理单位在线查看并反馈验收意见,建设单位实时了解验收进展。同时它支持任务分配和跟踪,管理人员可将质量整改任务分配给具体责任人,并设置完成期限,系统会自动提醒责任人及时处理,跟踪任务的完成情况,确保问题得到及时解决。预警与分析模块通过对质量信息的实时监测和深度分析,为质量管理提供决策支持。该模块设置了各类质量预警阈值,当采集到的信息超出阈值时,系统会自动发出预警信号,通过短信、APP 推送等方式通知相关人员,以便及时采取措施防范质量风险。在分析功能方面,它运用统计分析、数据挖掘等技术,对历史质量数据进行分析,生成质量趋势报告、不合格项分布图表等,帮助管理人员识别质量薄弱环节,总结质量问题规律,为优化施工工艺、改进质量管理措施提供依据。

(三) 关键业务流程再造

材料质量管理流程再造针对传统流程中依赖人工导致的信息滞后和错误问题进行优化。材料质量管理流程再造优化人工导致的信息问题,供应商为每批材料附含详细信息的 RFID 标签;进场时施工单位用阅读器读取上传系统,关联 BIM 模型对应构件;质检员按系统标准抽检录入结果,合格入库,不合格系统预警并通知供应商;出库扫码记录使用部位和数量,实现材料全程追踪。工序质量控制流程再造改变纸质记录弊端,施工前人员查

BIM 模型中工序要求;完成后班组自检合格,上传结果和照片至系统并申请验收;质检员依标准和模型检验录入数据关联工序,合格进入下道,否则记录并分配整改,直至合格,信息实时录入可追溯。质量问题处理流程再造解决了传统流程中问题上报、原因分析和整改跟踪效率低下、责任难以界定的问题。当发现质量问题时,相关人员通过系统在 BIM 模型中定位问题部位,上传问题描述和现场影像资料,发起质量问题处理单;系统自动通知相关责任单位(如施工单位、监理单位)和责任人;责任单位接到通知后,结合系统中该部位的材料信息、工序记录、人员信息等进行原因分析,将分析结果和整改方案录入系统;整改方案经监理单位和建设单位审批通过后,施工单位组织整改,整改过程中的信息实时上传至系统;整改完成后,申请验收,质检员检验合格后在系统中确认,问题处理完毕。系统全程记录问题处理的每一个环节,包括问题发现时间、原因分析、整改措施、验收结果等,明确各参与方的责任,提高问题处理效率。

四、结束语

本文通过对传统施工质量追溯管理现状及问题的剖析,构建了基于 BIM 的施工质量追溯管理框架,设计了相应的追溯系统及关键业务流程,为解决传统模式下的诸多弊端提供了切实可行的方案。研究表明,基于 BIM 的施工质量追溯管理模式,能够有效实现施工质量信息的数字化、集成化管理,打破信息壁垒,提高信息传递与共享效率,显著提升质量追溯的速度与精准度,真正实现从设计、施工到运维的全过程质量追溯,为保障房屋建筑工程质量奠定了坚实基础。在实际应用中,BIM 技术的推广还面临着部分施工人员技术水平不足、初期投入成本较高等问题,且系统的稳定性和安全性在复杂工程环境下仍需进一步验证。相信随着 BIM 技术的不断发展和完善,其在房屋建筑工程施工质量追溯管理中的应用将更加广泛和深入,为推动建筑行业的高质量发展贡献重要力量。

参考文献

- [1] 赵俊. 大数据环境下施工质量问题追溯技术研究 [C]//2025 工程技术与材料应用学术交流会论文集. 2025:1-2.
- [2] 高佳. 基于 BIM 的立井井筒施工质量管理研究 [D]. 中国矿业大学, 中国矿业大学(江苏), 2022.
- [3] 吴俊希. 基于区块链技术的工程施工质量追溯体系研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- [4] 周涛. 信息化背景下水利水电工程管理及施工质量控制路径 [J]. 建筑与施工, 2025, 4(14): 164-166. DOI: 10.12417/2811-0528.25.14.069.
- [5] 张艺文. 数字化 + 物联网技术在桥梁施工管理中的应用研究 [D]. 山西: 中北大学, 2024.
- [6] 董雪松. 基于全生命周期的建筑工程项目质量、安全管理与分包商管控研究 [J]. 中州建设, 2025(7): 83-84. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4863.2025.07.042.
- [7] 朱建旭, 胡宇翔, 陈云海, 等. 基于区块链下装配式建筑全过程质量管理研究 [J]. 安徽建筑, 2024, 31(8): 85-87. DOI: 10.16330/j.cnki.1007-7359.2024.8.32.
- [8] 周琳凤. 预制构件供应链关键利益相关者质量追溯系统采纳意愿研究 [D]. 陕西: 长安大学, 2023.
- [9] 刘征峰. 市政公用工程施工质量控制与技术问题探讨 [J]. 电脑校园, 2025(21): 100-102.
- [10] 张涛, 李力, 高卫平, 等. 基于二维码技术的质量追溯系统在建筑工程中的探索与实施 [J]. 建筑安全, 2015, 30(5): 12-14. DOI: 10.3969/j.issn.1004-552X.2015.05.005.

预制叠合板生产过程中常见质量缺陷及防治措施

张正刚

中铁三局集团有限公司勘测设计分公司，山西 太原 030001

DOI:10.61369/ETQM.2025110019

摘 要： 针对预制叠合板生产中的质量问题，解析生产流程各环节可识别常见质量缺陷表现形态和形成逻辑，继而提出系统性防治方案，研究表明生产中易发生外观缺陷、尺寸偏差等问题，企业经过工艺改进、材料管控等措施可有效遏制缺陷引发，为强化预制叠合板生产质量带来实践指导，保障其在建筑结构中的安全应用。基于此，本文就对预制叠合板生产过程中常见质量缺陷及防治措施进行具体研究，希望可以为整个行业带来一些有益的参考。

关 键 词： 预制叠合板；质量缺陷；防治措施

Common Quality Defects in the Production Process of Prefabricated Composite Plate and Prevention Measures

Zhang Zhenggang

Survey and Design Branch company, China Railway NO.3 Engineering Group Co., LTD., Taiyuan, Shanxi 030001

Abstract： To address quality issues in prefabricated composite panel production, this study analyzes common defect manifestations and formation mechanisms across manufacturing processes. A systematic prevention strategy is proposed, identifying prevalent surface defects and dimensional deviations. Through process optimization and material control measures, manufacturers can effectively mitigate these defects, providing practical guidance for quality assurance in composite panel production and ensuring their safe application in building structures. This research specifically investigates typical quality defects and corresponding prevention strategies in prefabricated composite panel manufacturing, offering valuable references for the industry.

Keywords： prefabricated composite plate; quality defect; prevention and control measures

引言

预制叠合板是由预制底板和现浇混凝土层结合而成的装配构件，其在建筑工业化过程中非常重要，质量缺陷指生产过程中因工艺、材料或操作不当导致的性能偏差，这将直接影响构件受力性能和运用寿命。企业明确此类缺陷表现和成因并制定科学防治措施，对强化建筑装配质量、推动行业标准化发展具有关键意义，此项工作是保障建筑结构安全平稳的关键环节之一。

一、预制叠合板生产过程中常见质量缺陷

（一）板面蜂窝麻面

板面蜂窝麻面表现为混凝土表面出现密集孔洞或凹凸不平的麻点，孔洞直径从数毫米到数厘米不等，麻点则呈现不规则地针眼状凹陷，混凝土浇筑时若水泥浆流动性不足，无法彻底填充骨料间隙就会在表面形成蜂窝状空隙；振捣过程中若振捣棒插入深度不足或移动速度过快，气泡未能完全排出，其聚集在模板和混凝土接触面便会形成麻面^[1]。水泥品种和骨料级配不匹配也会加剧此类问题，如运用早强水泥时，若初凝时间过短则易导致水泥浆提前丧失流动性，无法有效包裹骨料；环境温度过高时，混凝土

土表面失水过快也会使表层水泥浆过早凝固而形成麻面。这类缺陷破坏混凝土的整体性进而使板面表层强度降低，在后期运用中易因外力作用发生剥落并且还会增加水分渗透，加速钢筋锈蚀风险，这会对构件耐久性构成威胁。

（二）边缘缺棱掉角

边缘缺棱掉角多发生在叠合板的边角部位，其表现为混凝土局部脱落，形成不规则缺口，缺口深度可达数厘米，严重时甚至会暴露内部钢筋，在模具安装时若边角处密封不严，混凝土浇筑时引发漏浆则会导致边角部位骨料暴露；拆模过程中一旦过早拆除模板或拆模方法不当，外力冲击会使尚未彻底硬化边角混凝土发生碎裂^[2]。混凝土养护初期若边角受碰撞也会造成缺棱掉角，

模具材质选择对其也有影响，木质模具若边角磨损未实时修复则易导致混凝土成型时边角不平整，养护覆盖物若未彻底包裹边角就会使边角水分流失过快，强度强化不足，稍受外力便易破损。该缺陷不仅仅影响构件外观规整性，而且还削弱边角部位受力能力，在使应力集中现象加剧的同时降低构件整体承载性能，在吊装和运输过程中可能引发连锁性损坏的情况。

（三）钢筋保护层偏差

钢筋保护层偏差体现为钢筋实际位置和设计要求的距离不符，过厚或过薄均属常见问题，偏差值常超出规范允许的 $\pm 5\text{mm}$ 范围，钢筋绑扎时若垫块放置数量不足或位置不当，混凝土浇筑过程中钢筋易发生位移，振捣时强烈振动会导致钢筋骨架变形，继而改变保护层厚度^[9]。钢筋骨架自身的刚度不足则会产生偏差，如直径较小地钢筋在绑扎后若未设置支撑，易因自重引发弯曲进而改变保护层厚度，绑扎点间距过大时，钢筋易在浇筑压力下产生局部偏移，尤其是在板面受力较大区域，保护层过薄会使钢筋易受外界腐蚀介质侵蚀而缩短运用寿命，过厚则会降低截面有效高度，影响构件抗弯能力，无法满足设计承载要求并对结构安全性产生潜在影响，尤其在受弯构件中可能导致过早产生裂缝。

（四）板面平整度超标

板面平整度超标表现为板面发生局部凸起或凹陷的同时超出允许偏差范围，严重时偏差可达10mm以上，模板安装时若支撑体系刚度不足，在混凝土自重作用下会引发变形，模板表面清理不彻底存在杂物或粘结的混凝土残渣，也会导致板面发生凸起^[4]。混凝土浇筑后若未立即实行抹面处理或抹面操作不规范，则会造成板面平整度不佳，混凝土浇筑时的布料不均同样会影响平整度，如局部堆积过厚，就会导致因为重力作用引发流淌并形成凹陷，模板拼接处若存在错台未实行打磨处理，则会在板面形成明显的高低差，这种缺陷会增加后续施工难度，影响整体受力平衡，在叠合板拼接处易出现附加应力而引发开裂。

（五）预留孔洞偏移

预留孔洞偏移指预设管线孔、吊点孔等位置和设计位置存在偏差，偏移量可达数厘米且严重影响后续安装精度，模板加工时若孔洞定位标记不准确就会直接导致预留位置错误，钢筋绑扎过程中若和孔洞位置发生冲突，未经合理调整便强行施工则会使孔洞被迫移位^[9]。混凝土浇筑时的冲击力也可能推动预埋件移动并造成孔洞偏移，预埋件自身的固定方法不当会加剧偏移，如仅采用铁丝简单绑扎，易在混凝土流动时发生松动，预埋件和模板间若存在间隙而未用专用填充材料固定，浇筑时混凝土侧向压力会使预埋件发生倾斜。这种缺陷会影响后续管线安装和吊装作业，往往需要现场二次处理，不仅仅增加施工成本，还会破坏构件结构完整性，在孔洞周边出现应力集中的情况，这样就会降低构件承载能力。

二、预制叠合板生产过程中常见质量缺陷防治措施

（一）优化混凝土配比，强化振捣工艺

保证混凝土流动性和黏聚性适配且严格控制水灰比和砂

率，基于环境温度调整配比参数，高温环境下适当扩大缓凝成分，低温环境则提升早强剂掺量，掺量控制在胶凝材料用量的3% ~ 5%，选用级配合理骨料时，企业要确保持续级配且最大粒径不超过板厚的1/3，骨料进场后需实行筛分继而控制含泥量不超过1%，防止过大粒径骨料造成浇筑困难，掺入适量减水剂改善混凝土干活性能，优先选用聚羧酸系减水剂，其分散性优秀，将会使水泥浆能彻底包裹骨料并填充间隙^[6]。在振捣作业时，工作人员依据混凝土坍落度调整振捣频率跟时间，坍落度小于180mm时采用高频振捣，坍落度较大时降低频率以防离析，振捣棒需插入下层混凝土5 ~ 10cm并采用行列式或交错式移动方法，移动间距不超过振捣棒作用半径的1.5倍的同时确保振捣覆盖均匀，直至混凝土表面泛浆且不再下沉，杜绝漏振和过振现象。振捣完成后实时开展二次抹面，工作人员运用抹子沿同一方向反复压抹，消除表面气泡并减少蜂窝麻面的产生，抹面完成后立即覆盖薄膜来防止表面失水过快。

（二）加强模具管控，规范拆模流程

模具加工需保证边角精度，企业可采用数控切割技术确保接缝严密，误差控制在1mm以内，模具材质优先选用高强度钢板，厚度不小于6mm，以强化整体刚度，模具焊接处需实行打磨光滑并防止发生焊渣凸起。安装时在边角缝隙处粘贴耐油橡胶密封胶条，胶条截面呈梯形，压缩量控制在30% ~ 50%，进而在确保受压后能彻底填充缝隙并防止漏浆，模板支撑体系应实行受力验算且根据混凝土浇筑高度和自重计算支撑间距，企业要选用足够刚度地型钢支架，支架底部设置可调底座，调节精度为1mm有助于微调模板标高，防止浇筑过程中发生变形^[7]。拆模时间需基于混凝土强度确定，企业经过条件养护试块检测，达到设计强度的75%以上方可拆除，冬季施工时需做到100%强度，拆模时运用专用吸盘或撬棍并且从非承重侧开始，防止直接敲击边角部位。拆除顺序遵循“先支后拆、后支先拆”原则，拆除后对模具边角实行检查修复，立即对磨损部位实行打磨补焊，涂抹脱模剂时保证边角部位均匀覆盖，企业可选用水性脱模剂既环保又能减少对混凝土表面污染，也能为下一次浇筑创建良好根基。

（三）精准控制钢筋定位，规范垫块设置

钢筋绑扎前需复核设计图纸，企业要明确保护层厚度要求来围绕钢筋直径选择相应规格垫块，垫块强度不低于混凝土设计强度且抗压强度 $\geq 50\text{MPa}$ ，对于直径大于20mm的钢筋则采用带凹槽的专用垫块，凹槽深度为钢筋直径的1/2，防止钢筋滚动。工作人员采用梅花状布置方法放置垫块，间距控制在600 ~ 800mm且在钢筋拐角处加密至400mm，保证每一个垫块都和钢筋紧密接触，垫块和模板之间涂抹少量隔离剂进而防止粘结导致移位^[9]。工作人员在绑扎过程中运用定位卡具固定钢筋位置，卡具采用ABS工程塑料材质，这种材质具有一定弹性且强度充足，能有效约束钢筋位移，绑扎点间距不超过300mm以防止绑扎松动导致钢筋移位。混凝土浇筑前再次检查钢筋位置，工作人员运用激光测距仪逐点测量保护层厚度，测量点间距不大于500mm，一旦发现偏差则实时调整，振捣时振捣棒避免直接接触钢筋骨架，通常要维持50mm以上距离，防止振动导致钢筋偏移并促使保护层厚度

符合设计标准，偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。

（四）严格模板校验，细化抹面操作

模板安装前实行平整度检测，工作人员采用2m靠尺检查，每米长度内偏差超过3mm的部位需实行打磨修整，模板表面清理干净后涂刷隔离剂，隔离剂选用无腐蚀性专用脱模油，在涂刷时采用海绵蘸取确保薄厚均匀，用量控制在 $0.1 \sim 0.2\text{kg}/\text{m}^2$ ，以此来防止混凝土粘结。支撑体系安装完成后实行预压试验，预压荷载为设计荷载的1.2倍，持续时间不少于24小时并且分三次加载，每次加载后静置8小时，这样才能消除非弹性变形，预压后再次检查模板标高和平整度，企业在浇筑过程中安排专人监测模板沉降，每30分钟记录一次数据，发现异常立即加固^[9]。混凝土浇筑至设计标高后采用铝合金刮杠沿模板顶面往返刮平，刮杠长度不小于3m，待混凝土初凝前实行二次抹面，此时混凝土表面手指按压有轻微印痕但不塌陷，工作人员运用抹子反复搓压表面，先横后竖交叉实行来消除早期收缩裂缝，抹面完成后在表面覆盖透气型养护布以及维持湿润状态，保证板面平整度误差控制在规范允许范围内且不超过5mm。

（五）精准定位孔洞，强化预埋件固定

模板加工时采用激光定位技术标记孔洞位置，激光发射器需每周校准一次，误差控制在2mm以内，预埋件安装时运用高强螺栓同模板固定，螺栓直径不小于8mm且拧紧扭矩做到 $30\text{N} \cdot \text{m}$ ，

螺栓间距在不超过150mm的同时要确保连接牢固。钢筋绑扎过程中若和预埋件位置冲突则需和设计单位沟通调整，可适当调整钢筋间距或增设加强筋，加强筋直径不小于原钢筋直径，这样就会防止强行移位导致预埋件变形^[10]。混凝土浇筑时，工作人员在预埋件周边采用直径30mm的小直径振捣棒轻柔振捣，振捣时间控制在10 ~ 15秒，振捣点距预埋件边缘不小于100mm，浇筑顺序从远离预埋件部位开始逐步向预埋件推进，使混凝土缓慢包裹预埋件并减少冲击力，浇筑完成后立即复核孔洞位置，运用全站仪实行三维坐标测量，测量精度为1mm，确保预留孔洞满足安装要求。

三、结束语

总而言之，预制叠合板生产过程质量缺陷控制措施的制定是影响建筑结构安全的关键要素，通过分析常见的质量缺陷及对材料、工艺、操作等提出有效控制措施，是提升产品质量的必要举措。在预制叠合板生产实际过程中，企业要加强全过程质量控制的意识，利用原材料进场控制到成品出厂的全过程检验、监测等手段，根据生产过程的实时监测及跟踪不断迭代技术及操作要求，实现生产过程精细化及规范化的同时夯实建筑工业化健康发展的基础，保障建筑工程的安全性及可靠性。

参考文献

[1] 谢辉. 混凝土预制叠合板生产工艺及质量控制 [J]. 工程机械和维修, 2024(7): 133-135.
[2] 王志强. 叠合板智能化生产线预制技术应用研究 [J]. 安徽建筑, 2024, 31(1): 36-37, 138.
[3] 梁智斌. 预制混凝土叠合板生产工艺及质量控制 [J]. 城市情报, 2024(17): 154-155.
[4] 于海洋, 李海生, 彭伟, 等. 基于机器视觉的预制叠合板智能检测关键技术 [J]. 施工技术 (中英文), 2024, 53(20): 36-41.
[5] 周晨. 叠合板智能化生产线预制技术的运用分析 [J]. 汽车博览, 2024(4): 19-21.
[6] 王新建, 秦康, 何仕, 等. 装配式预制叠合板生产效率提升的研究和应用 [J]. 房地产导刊, 2021(15): 187, 189.
[7] 付智博. 混凝土预制叠合底板生产工艺及质量控制研究 [J]. 建筑工程技术和设计, 2021(36): 227-228.
[8] 王春才, 李金伟, 金龙. 自密实混凝土配制及预制叠合楼板生产 [J]. 建材世界, 2023, 44(5): 44-47.
[9] 刘建军, 王恒. 混凝土预制叠合底板生产工艺及质量控制研究 [J]. 甘肃科技, 2021, 37(16): 136-138.D
[10] 姜魏, 李鑫, 杨镇. 基于智能化预制下叠合板构建生产技术和施工质量管理 [J]. 智能建筑和智慧城市, 2020(6): 66-67, 71.

进度控制和质量控制 in 建筑施工中的作用与关系

陈军湖

广东省广大工程顾问有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025110020

摘 要 : 通过在建筑工程施工过程中加强对施工进度的严格控制, 有助于提升整体的管理质量。在当前的建筑行业发展过程中, 建筑施工企业要想实现长远可持续发展, 必须重视对施工现场管理和施工进度有效控制, 只有这样才能促进自身竞争力不断提升, 进而为自身带来更多经济效益。这意味着需要按照计划进行施工, 并进行严格的进度检查, 保证施工进度, 并在合同规定的时间内完成所有施工任务, 以提升施工质量。

关 键 词 : 进度控制; 质量控制; 建筑施工; 作用与关系

The Roles and Relationships of Schedule Control and Quality Control in Construction Projects

Chen Junhu

Guangdong Guangda Engineering Consultant Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : Strengthening strict control over construction schedules during the building project process helps enhance overall management quality. In the current development of the construction industry, construction enterprises aiming for long-term sustainable development must prioritize effective control over on-site management and construction schedules. Only by doing so can they continuously improve their competitiveness and generate greater economic benefits. This entails adhering to planned construction schedules, conducting rigorous progress inspections, ensuring timely completion of all construction tasks within the stipulated contract period, and thereby enhancing construction quality.

Keywords : schedule control; quality control; construction projects; roles and relationships

引言

在进行工程建设时, 确保进度和质量是两大核心任务。只有严格按照预定计划执行, 才能保证工程的顺利进行, 并确保工程在尽可能短的时间内完成。所以要提高工程质量, 保证工期目标的实现, 必须重视施工进度和质量管理工作, 加强两者协调, 以达到建设目的。尽管我国在工程建设方面已经积累了丰富的工程进度和质量管理经验, 并取得了显著的进步, 但在工程建设的进度和质量的协调管理上, 依然存在众多的挑战和问题。

一、进度控制和质量控制的作用

(一) 确保项目按时交付, 保障整体规划有序推进

为了确保项目的进度, 制定了详尽的时间线, 并对任务和资源进行了合理的分配, 同时对项目的每一个环节都进行了严格的监督和持续的调整。项目管理进度控制是一种事前预控的管理方法, 其特点是在项目实施过程中随时根据项目进展情况及时地做出决策并采取相应措施, 以保障项目按计划顺利推进。这不仅确保了项目能够按照预定的计划顺利完成, 同时也维护了企业对客户的承诺, 提高了企业的信誉, 并确保了依赖该项目的其他工作能够顺利进行, 从而保证了整个产业链或业务流程的连贯性^[1]。

(二) 保障项目成果符合标准, 提升产品或服务竞争力

在项目的整个过程中, 质量控制都是以标准和规范作为其指

导原则。从采购原材料、制造生产, 再到服务的设计和实际执行, 对每一个环节都进行了细致的管理和控制, 以确保产品和服务的品质达到最佳状态。通过建立完善的管理体系和持续改进机制, 保证了工程质量及安全环保要求。高质量的成果不仅可以增强客户的满意度和忠诚度, 还能助力企业建立其品牌地位, 在剧烈的市场对抗中获得优势, 从而在经济和社会效益上都取得显著的进步。

(三) 优化资源配置, 降低项目成本与风险

将进度控制与质量控制紧密结合, 可以更有效地分配人力、物力和财力等各种资源。在项目建设过程中, 进度管理是整个项目管理体系的基础, 而质量管理则是项目实施的核心任务。通过对进度的严格控制, 可以避免资源的闲置或过度使用, 同时通过质量控制, 可以降低因返工、次品或客户投诉产生的附加成本。

通过对项目管理中存在的进度、质量管理方面问题进行分析研究，提出了在施工阶段采用“双监控”模式，即进度计划与工程质量监控相结合的方式实施进度和质量控制^[2]。

二、建筑工程施工中进度控制与质量控制的关系分析

（一）建筑项目进度控制

在当前的建筑工程施工实践中，施工过程是进度控制的核心环节，而对施工进度管理主要集中在项目推进的设计调整和监督活动的执行上。进度控制贯穿于工程项目的始终，同时它又是一个动态的管理过程，所以说进度控制与项目管理密不可分，两者相辅相成。在建筑工程施工中，进度控制被视为一个不可或缺的环节，它是一个系统化的管理任务^[3]。施工进度的管理和控制贯穿于建筑工程的各个阶段，并且与其他各方面因素都有一定关系，因此必须要做好进度的控制工作。对施工进度的大力管理不仅对建筑施工公司的资金投入产生深远的影响，同时也是确保企业整体经济回报的关键因素。

（二）建筑项目质量控制

从狭隘的角度看，建筑工程的质量是基于其是否能满足业主对于使用功能的基础需求；从广义来说，质量管理包括工程建设全过程中各个环节的质量控制和管理。在整个建设工程中，施工阶段是工程实体形成和发挥效用的关键环节之一，也是决定工程质量优劣的重要时期。建筑工程施工是一个系统性的过程，任何一个环节或任何一个因素的偏差都可能对整个施工过程产生连锁效应，各个要素之间存在相互联系、限制和影响。其中，由于建设主体——施工单位的不可控性以及外界环境因素的复杂性，导致整个建设工程在实际开展过程中存在诸多问题，从而给工程质量带来了较大隐患。在建筑施工中，质量控制被视为关键步骤，它的效果会直接影响到工程的最终成果和预期的使用寿命。在建筑工程执行过程中对质量进行严格监控，成为确保工程质量的核心环节^[4]。

（三）建筑工程施工中进度控制与质量控制的关系

在建筑施工过程中，对进度控制和质量控制之间的关系进行精准把握显得尤为关键，这两者不仅相互制衡，还相互促进和相辅相成。只有对施工进度和工程质量都做到有效地控制才能确保工程施工顺利的展开。如果在施工过程中对进度进行过快的控制，这可能会打乱原有的施工计划，导致施工进度无法按照原定的计划进行。这种情况会使得施工过程中的各个环节变得不连贯，无法协调和有序地进行，从而间接增加了施工的难度，对施工人员和施工质量产生负面影响。同时施工进度和工程质量之间存在着一定的联系，在实际工作的时候，可以将两者结合起来，对工程施工的效率进行提高，从而保证工程的顺利进行。然而，如果施工过程中对质量的过度重视，可能会导致施工时间延长和工作量增加，这将显著减缓施工进度，并可能触发一系列后续问题^[5]。同时由于施工工期的不断延长，对企业来说是非常不利的，因此在工程施工的时候需要注意一定要做好施工进度管理和控制工作，保证施工进度符合双方协议要求。这种情况可能无法

在双方事先约定的时间内实现，同时也不利于公司的持续成长。从更宏观的角度观察，建筑项目中工程进度与工程质量之间的冲突和矛盾是一个普遍的问题。过分追求项目的质量可能导致人力和财力的不必要消耗，从而对工程的正常进行产生不良影响^[6]。

三、建筑企业提高进度管理的具体策略

（一）加强建筑工程项目的管理

在建筑工程的施工阶段，项目管理的质量直接关系到施工进度有效控制，这也反映了一定程度的管理能力。因此，如果建筑企业希望在市场上具有竞争力，提高项目管理水平成为了一个不可或缺的关键任务。因此，建筑施工企业应当加强对自身工程项目管理工作进行优化与创新，不断提高工程施工质量，保证工程经济效益和社会效益得到最大化发挥。因此，建筑公司的管理团队必须对各项任务进行合理的策划，确保各个部门间的合作能够流畅进行，这样才能在最合适的时机实现施工项目的既定目标^[7]。

（二）细化时间进度管控计划，落实好各阶段分工制度

需要对时间进度管理计划进行更为详细的划分，这主要涵盖了年度、季度、月度和周度的施工计划，并以此为基础制定建筑工程的总体施工计划。通过编制该工程的施工总计划来确保整个项目工期和质量符合设计要求。鉴于总计划不能直接为建筑工程施工提供指导，建筑工程公司为了满足施工的实际需求，不得不进一步细化其时间进度的管理计划。在细化过程中要明确工程目标，制定切实可行的措施来完成该项工作。相关的工作人员需要对工程项目进行更为细致的划分，确保每一个建筑工程环节都得到细致的管理；还需要制定明确的分工机制，将具体的建筑工程施工职责和任务明确分配给每位相关的工作人员，这样可以确保每位施工人员都清楚自己的职责和任务，从而提升建筑施工的总体效率；还需要建立一个明确的奖惩机制，对那些在工作中表现出色的员工给予合适的奖赏，从而激发他们的工作热情。

（三）加强施工进度管理信息化建设

考虑到信息技术的快速普及，施工进度管理需要借助网络技术作为信息交流的平台，以实现各参与方之间的高效、便捷的信息共享和协作。同时，项目管理人员还需要了解工程中各项数据的具体含义和处理方法，以确保工程项目顺利进行，提升施工质量。建筑公司也应当深刻理解信息化建设的核心价值，并将信息软件整合到项目进度管理中，从而构建一个高效的管理网络。这样，项目经理在协同工作时可以对网络系统进行深入的数据分析，进一步提升管理的效率^[8]。

（四）控制设计变更问题

当施工过程中的结构与最初的设计不符时，结构的调整成为了影响施工进度的核心要素，为了确保施工的高质量，对结构的调整是不可或缺的。为了更好地管理工程的进度，施工前必须对图纸进行细致的检查。如果在施工现场发现任何不一致的地方，必须立刻进行纠正。但是，不能随意更改设计，需要根据实际情况进行调整，继续规范施工项目，以确保工程能够按计划完成。

若果要修改,应该及时与设计部门沟通,了解其存在问题及解决办法等信息。例如,在进行地质测量时,如果检测到设计图纸存在错误,那么地质勘查单位、建筑单位和设计单位需要联合起来进行全面检查,以加强实际操作的控制,并确保不会对后续的工作产生不良影响。

(五) 根据每个项目实际情况采取的可操作性的措施

每一个项目的实际需求都是独特的。为确保项目的顺利进行,需要根据项目的特性确保有足够的人力和机械资源,提前采购施工所需的材料,并确保不会出现现场或其他材料的问题。此外,还需要明确每个项目的核心任务,并在施工过程中进行细致的规划,如流水线作业、交叉施工工序、增加班次和延长工作时长。在施工现场进行严格地监督检查,加强管理,做到文明生产。在确保施工质量的前提下,减少各个工序的重复劳动也是确保施工进度^[9]的关键。

四、建筑工程管理中施工质量控制的有效措施

(一) 加强建筑材料管理

在建筑工程的实施过程中,施工现场必须实施严格的物料管理措施,构建健全的物资监管机制,以确保建材的采购和储存完全符合规定的标准和要求,旨在实现理想的工程质量,并保证工程不会受到物料的不良影响。建筑施工单位要做好建筑材料的管理工作,从多个角度出发对原材料进行监督,保证其符合设计需求,并加强现场管控,避免发生安全事故。在管理建筑材料时,必须考虑到工程的实际需求,确保其与施工的各个环节和过程完全匹配,这样才能真正体现出材料管理的重要性,使施工管理更为便捷,并有效地管理存储材料的输入与输出。建筑施工的每一个阶段都会涉及到材料的应用,如果没有对材料进行严格的监督管理,就会导致材料出现质量隐患或者安全隐患。仅当不断地进行施工材料的管理时,才能预防施工中可能出现的不需要的材料问题,强化施工质量的核心控制因素,并从根本上确保施工的顺利进行。

(二) 加大建筑施工全过程的监督管理力度

在进行建筑工程的管理和施工质量的监控时,管理部门需要

建立一个健全的监督和管理体系,以促进各部门之间的协作,同时加强成本的控制,从而提高施工管理的效率。从当前建筑施工实际来看,存在着很多不足,主要体现为管理制度不健全,缺乏监督和约束体系,管理人员素质有待提高等方面。面对施工的质量问题和制度执行的不足,应当确立明确的责任分配机制,确保不出现推脱的情况。施工单位需要加强自身建设,提高专业素质和综合能力,以保障工程施工顺利展开。在整个施工过程中,管理部门需要根据工程的特性,制定实际有效的质量管理方案。施工单位也需要加强对项目实施过程中各环节质量管控工作的落实和监督,并将工程质量作为重要目标之一进行考核。同时,需要全面协调工程管理与质量控制之间的关系,以提升工程施工的质量和整体效益^[10]。

(三) 及时进行技术交底

技术交底被视为建筑技术管理的中心环节,它直接影响到施工的质量和进度。从当前建筑施工实际来看,存在着很多不足,主要体现为管理制度不健全,缺乏监督和约束体系,管理人员素质有待提高等方面。为了确保工程的各个环节能够准确实施,需要提前准备包含特殊工艺内容的技术文档。在交底的工作流程中,施工单位要遵循分层递进的策略,技术主管首先向管理层传达关键信息,然后由管理层进一步向前线的施工人员详细解释。施工单位需要加强自身建设,提高专业素质和综合能力,以保障工程施工顺利展开。通过这种有序的传递方式,确保所有参与建设的人员都能明确地了解设计要求和质量标准,从而高效地推动施工计划的实施,并保证工程能够按照预定的时间和质量完成。

五、结束语

综上所述,为了确保施工的高质量,必须对施工的进度和质量的一个环节进行严格控制,这样才能确保建设项目的高质量,并进一步提高其经济回报。其中进度规划和事前控制作为工程管理过程的两个重要部分,必须加以重视,确保两者相互协调配合。在施工过程中和施工完成之后,必须严格控制问题,确保施工的顺利进行,从而确保整体施工的质量得到充分的保障。

参考文献

[1] 魏文明. 进度控制和质量管理在建筑施工中的作用分析 [J]. 装饰装修天地, 2020(9):39.
[2] 宋雪梅. 建筑工程管理施工过程中质量控制与进度控制措施 [J]. 建材与装饰, 2021, 17(35):109-110.
[3] 李树田. 浅谈施工过程中的进度与质量控制 [J]. 装饰装修天地, 2020(18):198.
[4] 刘昌军. 探讨工程建设中进度控制和质量管理 [J]. 魅力中国, 2019(39):335-336.
[5] 邵峰. 建筑工程进度管理与质量管理的关系 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(25):2608.
[6] 杜志坚. 公路工程项目质量控制和进度管理研究 [J]. 砖瓦世界, 2019(8):211,213.
[7] 吴文君. 工程项目建设中的进度控制和质量管理研究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2020(2):54-55.
[8] 张宝珠. 土建工程施工进度和施工质量控制与管理分析 [J]. 中国住宅设施, 2023(5):160-162.
[9] 罗嘉. 建筑工程管理中质量控制与进度控制策略 [J]. 建筑经济, 2024, 45(Z1):812-815.
[10] 伍通辉. 房屋建筑工程施工进度及其质量控制研究 [J]. 上海建材, 2024(5):70-72.

能源电力工程中的机电技术管理与安全风险防控

唐明

叙永鑫福煤业有限公司, 四川 泸州 646400

DOI:10.61369/ETQM.2025110032

摘 要 : 能源电力工程中机电技术管理与安全风险防控的协同优化是新型电力系统安全运行的关键。研究通过分析设备全生命周期管理、动态风险评估与智能化技术应用, 揭示机电技术管理与安全防控的交互机制, 提出数字孪生驱动风险预测、多部门协同责任体系及行业标准动态迭代的优化路径。典型案例表明, 智能监控与冗余设计可使故障预警准确率提升至92%, 应急响应效率提高60%。研究为高比例新能源接入下的系统韧性提升提供理论支撑, 同时指出需在氢能储运、分布式能源聚合等新兴领域深化风险防控技术验证。

关 键 词 : 机电技术管理; 安全风险防控; 协同优化

Mechanical and Electrical Technology Management and Safety Risk Prevention in Energy and Power Engineering

Tang Ming

Xuyong Xinfu Coal Industry Co., LTD., Luzhou, Sichuan 646400

Abstract : The collaborative optimization of electromechanical technology management and safety risk prevention in energy and power engineering is crucial for the safe operation of new power systems. This study analyzes equipment lifecycle management, dynamic risk assessment, and the application of intelligent technologies to reveal the interaction mechanisms between electromechanical technology management and safety prevention. It proposes an optimization path driven by digital twins for risk prediction, a multi-department collaborative responsibility system, and dynamic iteration of industry standards. Typical cases show that intelligent monitoring and redundant design can increase fault warning accuracy to 92% and emergency response efficiency by 60%. The research provides theoretical support for enhancing system resilience under high proportions of new energy integration, while also highlighting the need to deepen the validation of risk prevention technologies in emerging fields such as hydrogen storage and transportation and distributed energy aggregation.

Keywords : mechanical and electrical technology management; safety risk prevention and control; collaborative optimization

引言

随着全球能源结构向低碳化转型, 能源电力工程领域正经历深刻变革。国家能源局发布的《2025年能源工作指导意见》提出提升非化石能源发电装机比例, 并加快构建新型电力系统。机电技术作为核心支撑, 其管理效能影响系统运行的可靠性与安全性。然而, 新能源占比增加、电力电子设备应用及电网复杂性带来了宽频振荡、设备故障和操作风险等挑战^[1]。尽管国内外在机电设备监测和风险评估方面有所进展, 但缺乏针对新型电力系统的系统性协同机制研究。政策如“电力安全治理体系建设专项行动”强调健全特高压输电与配电网安全管理规范。本文分析机电技术管理与安全风险防控的交互作用, 通过优化设备全生命周期管理和智能运维, 结合动态风险评估和多层级防护策略, 探讨二者协同机制, 提供理论和技术支持, 回应新型能源体系下机电安全一体化管理的需求, 并提出多维度政策建议^[2]。

一、能源电力工程机电技术管理的关键要素

(一) 机电系统设计优化与管理

机电系统设计优化是保障能源电力工程可靠运行的基础。设备选型需遵循标准化与兼容性原则, 重点考量新型电力系统中新

能源设备(如光伏逆变器、储能变流器)与常规机组的协同适配能力, 同时结合《2025年能源工作指导意见》中“提升设备智能化水平”的要求, 强化设备接口标准化与通信协议统一化设计^[3]。集成化设计则强调多设备功能模块的耦合优化, 通过拓扑结构重构与参数匹配降低系统损耗, 例如采用模块化多电平换流

器（MMC）提升交直流混联电网的稳定性。全生命周期成本与效能平衡策略需贯穿设计、运维至退役阶段，通过建立全寿命周期成本（LCC）模型，量化设备初始投资、维护费用与能效收益的关联性，并借助数字孪生技术模拟不同工况下的设备退化路径，动态调整冗余配置与维护周期，实现经济性与可靠性的动态均衡^[4]。

（二）运维技术管理创新

运维技术管理创新是应对复杂电力系统安全风险的核心手段。状态监测技术依托高精度传感器与物联网（IoT）架构，实时采集设备振动、温度、绝缘状态等多维度数据，结合边缘计算实现局部故障特征提取，例如通过局部放电监测提前预警变压器绝缘缺陷。预防性维护技术则基于大数据驱动故障预测模型，利用历史运维数据与实时状态参数的融合分析，构建设备健康指数（HI）评估体系，精准制定差异化检修策略。数字化运维平台通过集成 SCADA、GIS 与云计算资源，实现跨区域设备的全景可视化监控与资源调度优化；智能诊断系统借助深度学习算法（如 LSTM、CNN）对海量故障样本进行模式识别，提升故障定位准确率与修复效率。此类技术符合“电力安全治理体系建设专项行动”提出的“智能化风险预警能力提升”要求，为高比例新能源接入下的系统安全提供技术保障^[5]。

二、能源电力工程安全风险防控体系构建

（一）安全风险识别与评估方法

安全风险识别与评估是防控体系构建的科学基础。基于 FMEA（故障模式与影响分析）与 FTA（故障树分析）的多层次风险识别模型，可系统解构新型电力系统中新能源设备、柔性输电装置及智能终端的潜在失效模式，通过建立“设备-子系统-系统”三级故障传播链，揭示多源风险耦合机理。定量风险评估（QRA）通过蒙特卡洛模拟与贝叶斯网络融合算法，量化极端天气、设备老化、人为操作失误等风险因子的发生概率与损失后果，结合动态风险等级划分机制，依托实时运行数据与数字孪生模型动态调整风险阈值，例如针对大规模储能电站的热失控风险，构建温度-电压-SOC（荷电状态）多维预警指标体系。此类方法契合《电力安全生产标准化基本规范（2025年修订版）》中“风险动态分级管控”要求，为精准防控提供决策依据^[6]。

（二）安全风险控制策略

安全风险控制需技术标准与防护技术的协同推进。工程安全标准与规范体系完善重点在于整合分散的行业标准，针对特高压换流站、分布式光伏集群等新型场景，细化设备准入、安装调试及运维检测技术要求。例如参照《新能源并网安全技术导则（2025版）》强化逆变器低电压穿越能力验证流程。人-机-环境协同防护技术通过智能安全帽、AR 远程巡检系统等智能终端实时采集人员行为数据，结合环境监测传感器网络（如 SF6 气体泄漏检测、微气象监测）与设备状态信息，构建多源异构数据融合的风险防控闭环。该策略响应“电力安全治理体系建设专项行动”提出的“人机环智能联动”目标，显著降低高压作业触电、设备过载爆炸等事故发生率，提升系统整体韧性。

三、机电技术管理与安全防控的协同机制

（一）技术管理对安全风险的主动干预

1. 设备可靠性提升与故障率降低路径

设备可靠性提升需从材料性能优化与智能监测技术融合入手，例如采用碳化硅半导体器件降低功率模块热损耗，结合 AI 驱动的剩余寿命预测算法动态调整维护策略。通过数字孪生技术模拟设备在极端工况下的退化轨迹，精准定位薄弱环节并优化冗余配置，可系统性降低故障率。某特高压换流站实践表明，基于 LCC（全生命周期成本）模型的预防性维护计划使关键设备年均故障次数下降 28%，运维成本减少 19%^[7]。

2. 智能化技术对人为失误的抑制效应

智能化技术通过自动化流程与智能决策支持减少人为操作偏差，例如智能巡检机器人搭载高精度红外热像仪与声纹传感器，可自主识别设备过热、局部放电等隐性缺陷，避免人工巡检中的主观误判。操作票智能校核系统内置电力系统拓扑逻辑库，实时拦截违反安全规程的操作指令，某省级电网应用后调度误操作率降低 67%。此类技术符合《电力安全治理体系建设专项行动》中“人防向技防转型”要求，将安全管理从被动处置转向主动防御。

（二）安全需求驱动的技术管理优化

1. 安全冗余设计与容错机制嵌入

安全冗余设计通过模块化架构与多路径备份提升系统容错能力，例如柔性直流输电工程采用 N-2 冗余换流阀组配置，确保单阀组故障时系统仍可维持 70% 输送容量。容错机制需在控制算法中预设自适应调节逻辑，当检测到设备异常参数时自动切换至降额模式，某海上风电场的电压波动抑制系统通过该机制将故障扩散概率降低 53%^[8]。

2. 应急预案与快速响应技术集成

应急预案与快速响应技术依赖数字孪生平台与边缘计算节点的协同，通过实时仿真推演事故场景生成最优处置方案，并联动断路器、继电保护装置实现毫秒级故障隔离。某区域电网应用数字孪生驱动的黑启动策略后，停电恢复时间缩短至传统模式的 40%。此类技术满足《新能源并网安全技术导则（2025版）》对“秒级风险闭环管控”要求，形成从预警到恢复的全链条防控体系。

四、典型案例分析与优化路径

（一）案例一：某火电厂机电系统安全风险防控实践

某火电厂因设备老化与操作风险叠加，面临锅炉爆炸、电气故障等安全风险。设备老化表现为关键部件（如汽轮机叶片、变压器绝缘层）性能退化，而传统人工巡检模式存在漏检率高、响应滞后等问题，导致 2019 年因液位传感器失效引发模拟量输入模块烧毁事故。针对此，该电厂构建安全风险分级管控体系，将危险源辨识与 ERP 工作票系统整合，实现风险预控与日常运维的数字化联动。技术管理优化措施包括：部署红外热成像与振动传感器实现设备状态实时监测，建立基于 LCC（全生命周期成本）模

型的预防性维护计划，并通过数字孪生技术模拟设备退化路径，动态调整检修周期。实施后，设备故障率下降35%，操作票违规率降低42%，成功阻断多起因误操作导致的连锁故障风险。

（二）案例二：新能源场站智能化安全监控系统应用

某新能源场站为应对分布式光伏集群的运维低效与安全响应滞后问题，部署了智能化安全监控系统。系统架构采用多模态数据融合框架，集成语音识别、视频分析与环境传感器网络，核心功能模块包括语音指令远程控制、异常声音智能报警及多源数据联动分析。例如，语音识别模块支持运维人员通过自然语言指令调取特定区域监控画面，智能报警模块通过声纹识别技术捕捉设备异响并触发应急预案，联动视频追踪故障点。系统引入基于LSTM的行为模式评估模型，实时分析运维人员操作数据与设备状态，实现风险预警准确率提升至92%，应急响应时间缩短至30秒以内。此外，自动化运维报告生成功能将人工记录时长减少70%，数据误差率降低至5%以下，显著提升安全管理效能^[9]。

（三）优化路径建议

能源电力工程安全效能的持续提升需技术、管理与政策三维联动。技术层面应深化数字孪生与AI驱动的风险预测技术应用，通过设备退化建模与多物理场耦合仿真，构建覆盖“设备-系统-环境”的动态风险图谱。例如将数字孪生平台与边缘计算节点协同，实现故障预测与自适应调控的毫秒级闭环^[10]。管理层面

需建立多部门协同安全责任体系，依托智慧工地系统整合运维、安监与应急部门数据流，设计“电子围栏”与安全责任矩阵，通过违章行为自动识别与曝光机制强化全员参与。政策层面应动态迭代行业标准与法规，依据《新能源并网安全技术导则（2025版）》细化特高压设备容错机制要求，推动跨国电力互联场景下的安全标准国际接轨，并建立标准修订的快速响应机制以适配技术迭代节奏。

五、总结

机电技术管理与安全风险防控的协同机制研究为新型电力系统安全运行提供了理论与实践支撑。研究表明，设备全生命周期优化、智能运维技术革新与动态风险评估方法的融合，可系统性提升系统可靠性并降低多源耦合风险，例如数字孪生与AI技术的应用使故障预警准确率提升至92%以上。然而，研究样本多集中于火电与新能源场景，数据覆盖范围需扩展至氢能储能、虚拟电厂等新兴领域，且技术协同的长期经济性与稳定性仍需实证检验。未来研究应聚焦碳中和目标下的新型风险防控挑战，如大规模氢能储运的安全监测技术、分布式能源聚合体的连锁故障阻断机制，以及区块链与量子计算在电力安全防护中的潜在应用，以应对能源转型进程中的未知风险与复杂系统脆弱性。

参考文献

[1] 史文亮. 机电设备安装电力工程施工技术以及质量安全管理方法 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2022(1): 4.
[2] 尉凯凯. 浅析煤矿机电技术管理在安全生产中的应用 [J]. 电力系统装备, 2019(4): 2.
[3] 李紫冰. 电力工程管理中的安全问题研究 [J]. 电子制作, 2014, (17): 262.
[4] 王招辉. 研究机电安装工程项目施工安全风险管控 [J]. 新商务周刊, 2020, 000(021): 57-58.
[5] 孙嘉泽. 电力工程管理中的安全问题研究 [J]. 黑龙江科技信息, 2014, (31): 134.
[6] 高志超, 喻迎. 电力工程管理中的安全问题 [J]. 湖南农机, 2013, 40(11): 308+310.
[7] 杜庆红. 浅析石油化工工程中机电安装工程施工技术与质量管理 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2023.
[8] 邓卫民. 电力工程管理中的安全问题研究 [J]. 机电信息, 2013(3): 2.
[9] 王群. 机电安装工程项目施工安全风险管控研究 [J]. 中国建材科技, 2017(6): 2.
[10] 李维谊. 机电工程技术在智能电网建设中的应用 [J]. 文渊 (高中版), 2022(4): 659-661.

