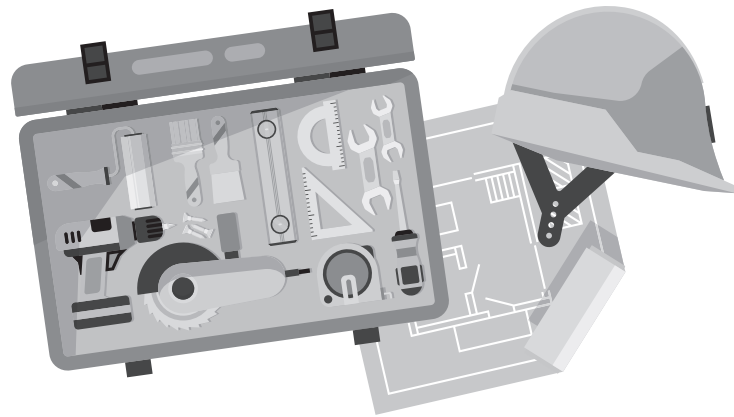


工程技术 与质量管理

Engineering Technology and Quality Management



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

(517 666 0904)

263 S KENWOOD ST 560

CASPER, WY 82601

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

Complimentary Copy



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.
(United States)

Editors-in-Chief

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.

Xiaomin Dai

Zhejiang Ruixin Construction Engineering Company

工程技术与质量管理

Engineering Technology and Quality Management

第4卷 第6期 2026年6月刊

主管 ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

主办 ART AND TECHNOLOGY 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: 263 S KENWOOD ST 560

CASPER,WY 82601

网址: <https://arttechpress.com>

本刊说明:

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

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



工程技术 | ENGINEERING TECHNOLOGY

- | | | |
|-----|---|---|
| 001 | 高寒地区园林绿化施工中抗寒苗木的选择与栽植技术
Selection and Planting Techniques of Cold Resistant Seedlings in Alpine Landscape Greening Construction | 张宏光
Zhang Hongguang |
| 004 | 水利工程施工中的环境影响评估与控制策略
Environmental Impact Assessment and Control Strategies in Water Conservancy Project Construction | 陈飞, 吴壮壮, 张宇衡, 倪一品, 李梦莎
Chen Fei, Wu Zhuangzhuang, Zhang Yuheng, Ni Yipin, Li Mengsha |
| 007 | 建筑工程施工阶段风险评估与应对策略
Risk Assessment and Coping Strategies in Construction Engineering Construction Stage | 李杰
Li Jie |
| 010 | 复杂地质条件下建筑施工基坑支护方案与变形控制
Foundation Pit Support Schemes and Deformation Control in Construction under Complex Geological Conditions | 王美丽
Wang Meili |
| 013 | 探析房屋建筑工程施工技术应用及现场施工管理
Exploration on the Application of Construction Techniques and On-site Construction Management in Housing Construction Projects | 管雪朋
Guan Xuepeng |
| 016 | 纤维增强高性能混凝土在近代工业遗产砌体结构加固中的应用
Research on the Application of Fiber Reinforced High Performance Concrete in the Reinforcement of Modern Industrial Heritage Masonry Structure | 吕克
Lv Ke |
| 021 | 猫场铝土矿岩石力学特性试验研究与锚杆支护优化分析
Experimental Study on Mechanical Characteristics of Bauxite Rock and Optimization Analysis of Bolt Support | 刘国斌, 杨建凤
Liu Guobin, Yang Jianfeng |
| 025 | 园区化工固废综合利用管理模式构建
Construction of Comprehensive Utilization Management Model for Industrial Solid Waste in Industrial Parks | 王胡强
Wang Huqiang |
| 028 | 超高层综合体基坑围护及栈桥板施工技术与管理研究
Research on Construction Technology and Management of Foundation Pit Enclosure and Trestle Slab for Super High-rise Complex | 姜勇
Jiang Yong |
| 032 | 燃煤机组智能化系统的设计与实现
Design and Implementation of Intelligent System for Coal-fired Units | 刘德明, 杨占海, 薄庆瑶
Liu Deming, Yang Zhanhai, Bo Qingyao |
| 035 | 建筑工程进度管理全过程动态控制实施策略研究
Research on the Implementation Strategy of Dynamic Control throughout the Entire Process of Construction Project Schedule Management | 邓桂英
Deng Guiying |
| 038 | 分析建筑给排水设计中节能减排设计
Analysis of Energy Conservation and Emission Reduction Design in Architectural Water Supply and Drainage Design | 马勇辉
Ma Yonghui |
| 041 | 电力工程电气设备安装施工关键技术与管理研究
Research on Key Technologies and Management Control in the Installation and Construction of Electrical Equipment for Power Engineering | 曾威
Zeng Wei |
| 044 | 建筑工程管理控制要点梳理与优化措施研究
Research on the Sorting and Optimization Measures of Key Points in Construction Engineering Management and Control | 刘雪凤
Liu Xuefeng |
| 047 | 建筑施工现场文明施工管理要点与实施路径探析
Exploration on Key Points and Implementation Paths of Civilized Construction Management at Construction Sites | 陈志永
Chen Zhiyong |
| 050 | 船舶通风系统设计与优化研究
Research on Design and Optimization of Marine Ventilation System | 张文忠
Zhang Wenzhong |
| 053 | 数字化改革背景下用地预审与用地报批提速增效路径
Pathways for Speeding Up and Enhancing Efficiency in Land Pre-Approval and Land Application Approval under the Context of Digital Transformation | 滕超
Teng Chao |

056	建筑工程主体结构检测技术研究 Research on Testing Technology for Main Structures of Building Engineering	高占祥 Gao Zhanxiang
059	建筑工程钢筋混凝土结构检测方法研究 Research on the Detection Methods of Reinforced Concrete Structures in Building Engineering	郭伟 Guo Wei
062	压缩机产品型式检验标准化实施与问题分析 Implementation and Problem Analysis of Standardization for Type Testing of Compressor Products	陈碧蓉, 俞群涛, 陈星雨, 吴嘉辉 Chen Birong, Yu Quntao, Chen Xingyu, Wu Jiahui
065	范成插齿加工参数对齿轮啮合动态特性的影响 Influence of Generating Gear Shaping Parameters on Dynamic Meshing Characteristics of Gears	徐文俊, 杨宇飞, 郑丽文, 林钰珍 Xu Wenjun, Yang Yufei, Zheng Liwen, Lin Yuzhen
071	河湖长制背景下水环境治理机制创新研究 Research on the Innovation of Water Environment Governance Mechanism under the Background of the River and Lake Chief System	董军益, 张旭 Dong Junyi, Zhang Xu

预算造价 | BUDGET COST

074	建筑工程造价控制与成本管理研究 Research on Construction Project Cost Control and Cost Management	王铭杨, 张振洋 Wang Mingyang, Zhang Zhenyang
077	大型工业厂房地下室造价优化技术与成本控制实践 Cost Optimization Techniques and Cost Control Practices for Basements of Large-Scale Industrial Plants	吴淑蓉 Wu Shurong
080	适应高标准住宅建设的预算编制技术与审核关键技术研究 Research on Budgeting Techniques and Key Review Technologies for High-Standard Residential Construction	俞璐烨 Yu Luye
084	重大工程项目造价审计风险识别与防控机制 Risk Identification and Prevention and Control Mechanism for Cost Auditing of Major Engineering Projects	高关贇 Gao Guanyun
087	论述新型绿色建筑工程造价预算与成本控制 Discussion on Cost Estimation and Control of New Green Building Projects	王星 Wang Xing
090	基于造价管理的材料调差条款不明风险化解与实务处理研究 Research on the Resolution of Unclear Risks and Practical Handling of Material Price Adjustment Clauses Based on Cost Management	肖康楠 Xiao Kangnan
094	装配式建筑施工总承包造价管控难点与优化研究 Research on Difficulties and Optimization of Cost Control in General Contracting of Prefabricated Building Construction	徐有发 Xu Youfa

安全质量 | SAFETY QUALITY

097	码头工程沉桩施工监理质量管控技术研究 Research on Quality Control Technology for Supervision of Pile Sinking Construction in Wharf Engineering	王凤 Wang Feng
101	城市高层住宅燃气管道安全设计与风险控制研究 Research on Safety Design and Risk Control of Gas Pipelines in Urban High rise Residential Buildings	靳毓茜 Jin Yuqian
104	提升房屋建筑工程管理水平与施工质量的路径探讨 Exploration of Pathways to Enhance Management Level and Construction Quality in Housing Construction Projects	李艳 Li Yan
107	建筑工程中提升工程质量管理方法 Methods for Improving Engineering Quality Management in Construction Projects	郑雲中 Zheng Yunzhong
110	关于房屋建筑质量管理和通病治理措施分析 Analysis of Quality Management and Common Problem Control Measures in Housing Construction	朱章熙 Zhu Zhangxi
113	数字化转型驱动下的港口作业安全管理创新机制研究 Research on the Innovation Mechanism of Safety Management in Port Operations Driven by Digital Transformation	张磊 Zhang Lei
116	轨道车安全行车管控与故障应急处置研究 Research on Safety Control of Track Vehicles and Emergency Fault Handling	田瑞生 Tian Ruisheng
119	超甲类商办楼精装修工程施工技术及质量控制研究 Research on Construction Technology and Quality Control for High-end Decoration Projects in Super Grade-A Commercial and Office Buildings	孙晓春 Sun Xiaochun
122	化工容器密闭式机械清洗工艺优化与安全控制研究 Research on Process Optimization and Safety Control of Closed Mechanical Cleaning for Chemical Vessels	王家欢 Wang Jiahuan
125	化工反应釜安全运行与风险防控措施分析 Analysis of Safety Operation and Risk Prevention Measures for Chemical Reaction Vessels	高彭, 庞丽丽, 许浩, 凌瑞昕 Gao Peng, Pang Lili, Xu Hao, Ling Ruixin
128	职业健康安全管理体系在企业安全生产中的应用研究 Research on the Application of Occupational Health and Safety Management System in Enterprise Production Safety	朱继聪 Zhu Jicong
131	桥梁下部结构施工质量控制研究 Research on Construction Quality Control of Lower Structure of Bridge	韩启飞 Han Qifei
134	手工焊接在钢结构安装中的应用与质量保证 Application and Quality Assurance of Manual Welding in Steel Structure Installation	辛德明 Xin Deming

高寒地区园林绿化施工中抗寒苗木的选择与栽植技术

张宏光

牙克石市园林绿化服务中心，内蒙古 呼伦贝尔 022150

DOI:10.61369/ETQM.2026060002

摘 要： 高寒地区除气候较为寒冷以外，土壤一般还较为贫瘠，同时还存在干旱、风大等情况，这也给园林绿化施工带来了一定的困难。本文针对适宜在高寒地区种植的抗寒苗木进行了分析，常见的适宜品种主要有樟子松、兴安落叶松、高山柳、绢毛蔷薇、沙棘等，对于不同品种的抗寒苗木，其可耐受的最低气温以及成活率也有所不同，所以高寒地区在进行园林绿化施工时，需在适配性、适应性、观赏性与实用性基本原则的指引下，合理地选择抗寒苗木，同时本文还围绕抗寒苗木栽植技术进行了研析，旨在切实地提高高寒地区园林绿化施工的质量。

关 键 词： 高寒地区；园林绿化；抗寒苗木；栽植技术

Selection and Planting Techniques of Cold Resistant Seedlings in Alpine Landscape Greening Construction

Zhang Hongguang

Yakeshi City Landscape Greening Service Center, Hulunbair, Inner Mongolia 022150

Abstract： In addition to colder climate, alpine areas are generally barren soil, but also the existence of drought, wind and other circumstances, which also brought certain difficulties to the construction of landscaping. The common varieties are *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, *Larix gmelinii*, *Salix alpine*, *Rosa sericifera*, *Hippophae rhamnoides* and so on. The lowest temperature and survival rate are different for different varieties of cold-resistant seedlings. Therefore, the cold-resistant seedlings should be selected rationally under the basic principles of adaptability, adaptability, ornamental and practicality.

Keywords： alpine area; landscaping; cold-resistant seedlings; planting technology

引言

在保护生态环境战略不断深入的背景下，各气候较为极端的区域也开始重视园林绿化，其中也包括高寒地区。高寒地区的土壤条件相对较差，普通苗木很难存活，所以在进行园林绿化施工时，需根据当地气候、土壤等情况，选择适宜的抗寒苗木，在保证苗木成活率的同时，提高生态景观的美观性^[1]。在栽植抗寒苗木时，需科学地确定栽植的时间，规范地实施苗木处理与定植，以此提高苗木的成活率。

一、A 高寒地区园林绿化施工中抗寒苗木的选择

（一）适宜高寒地区的抗寒苗木品种

根据我国高寒地区园林绿化施工实际情况，具有较强适配性的抗寒乔木、灌木、地被植物的核心参数见表1。

表1 适配高寒地区的苗木品种核心参数

苗木类型	苗木品种	耐受最低气温	高寒地区成活率
乔木	樟子松	-50℃	87-90%
	兴安落叶松	-45℃	85-88%
灌木	高山柳	-30℃	80-85%
	绢毛蔷薇	-35℃	85-90%
地被植物	沙棘	-40℃	90-95%

樟子松属于阳性树种，具有良好的耐寒性、耐贫瘠性与耐旱性，对于海拔在100m到3650m的高寒地区较为适配，如拉萨、大兴安岭等。樟子松主根最深可达4m，所以在含水量为2%到3%

之间的沙地依然可以正常生长，且寿命较长，可达上百年。兴安落叶松耐寒、喜光，对于海拔在100m到1400m的高寒地区较为适配，如大兴安岭^[2]。高山柳不仅耐寒，还具有良好的抗风性，对于海拔在4500m左右的高寒地区较为适配，如那曲等，植株生长18年后高度可达4.5m。绢毛蔷薇有着良好的耐寒性、耐贫瘠性与耐旱性，对于高寒的高原地区较为适配，如拉萨等，是高原地区绿化山体时优先选择的抗寒性灌木类苗木。沙棘为耐贫瘠、耐寒、耐干旱的地被植物，对于各种高寒沙地地区均适配，不仅成功率较高，同时生长速度还较快，搭配乔木类苗木，可形成立体化的园林绿化结构，经济价值与生态价值均较高^[3]。

（二）高寒地区园林绿化施工中选择抗寒苗木的基本原则

高寒地区在进行园林绿化施工的过程中，抗寒苗木的选择直接关系到施工效果，为此施工中不可盲目的选择苗木品种，而需遵循以下几个基本原则：第一，适配抗寒等级的基本原则。我国

大部分高寒地区最低气温在零下25℃到零下50℃，在选择抗寒苗木时，需确保苗木可在当地最低气温下正常生长，并且苗木可耐受的最低气温需比当地最低气温低至少5℃，这样才可防止冻害的出现。第二，生长适应性基本原则。高寒地区的土壤一般为冻土、棕色针叶林土、沙质土，土壤较为贫瘠，含水率较低，同时光照较强、风较大，这就需要选择的苗木品种不仅要具有耐寒性，还需要具有良好的抗风性与耐贫瘠性^[4]。除此之外，优先选择本土苗木，相对于外来苗木来说，本土苗木对本地土壤、气候更为适应，所以成活率较高，并且后续不需较高的维护成本^[5]。第三，观赏性与实用性的基本原则。在选择抗寒苗木时，还需根据高寒地区园林绿化的需求，选择既可稳定生长，又较为美观和便于养护的苗木品种。可搭配种植常绿苗木和落叶苗木，丰富冬季高寒地区的景观，提高绿化覆盖率。

二、高寒地区园林绿化施工中抗寒苗木的栽植技术

（一）合理地确定栽植时间

高寒地区在进行园林绿化施工的过程中，抗寒苗木的栽植时间与苗木的成活率存在密切关系，在选择栽植时间时需避开严寒的冬季，可选择在苗木处于休眠阶段时进行栽植。在不同的时间段栽植苗木，苗木的成活率往往也有所不同。据数据统计，在土壤已经解冻10cm到20cm深度，每日平均气温不低于5℃的春季栽植抗寒苗木，苗木成活率一般不低于85%；在土壤即将封冻的前15天到20天，每日平均气温稳定在8℃到12℃的秋季栽植苗木，苗木成活率一般在75%到80%之间；在土壤已经处于封冻状态的冬季栽植苗木，苗木成活率通常在30%以下；而在温度较高，土壤处于干旱状态的夏季栽植苗木，苗木成活率一般在40%到50%之间^[6]。

对于海拔在100m到1400m的高寒地区适宜选择在土壤解冻深度约15cm的4月末到5月初栽植抗寒苗木，该时间段抗寒苗木的根系已经处于活动状态，栽植后可以很快适应土壤环境；对于高海拔耐寒地区，如拉萨、那曲等，可以选择在土壤解冻深度超过10cm的5月中旬到6月上旬进行抗寒苗木的栽植，该时间段气温逐渐上升，并维持在稳定状态，可避免冻害损伤苗木的根系。除此之外，还需选择在晴朗且风较小或者无风的天气栽植，不可在降雨、降雪、大风天气栽植，避免苗木根系受天气影响失水，从而降低成活率^[7]。

（二）抗寒苗木处理技术

在栽植抗寒苗木时，为了保证园林绿化施工的效果，提高苗木成活率，需加强对苗木的处理。首先，在栽植抗寒苗木前，需对苗木的徒长枝、过密枝、病弱枝进行修剪，以此避免水分过度蒸发，同时将苗木已经发生破损的根系修剪掉，加快新根系的萌发^[8]。相对于未修剪的抗寒苗木来说，经过恰当修剪的苗木，水

分蒸发量明显减少，成活率显著提高。需特别注意的是，不可对苗木的核心枝条、主干进行修剪，对于乔木类苗木保留的主枝数量需在3到5个之间，灌木类苗木至少需保留5个健壮的核心枝条，最多不可超过8个，修剪时需确保切口足够平滑，并使用愈合剂对切口进行涂抹，以此避免切口位置发生病菌感染。其次，起出抗寒苗木后，需及时将苗木根系浸泡在浓度在50mg/L的生根剂溶液中，至少浸泡2小时，最长不可超过3小时，提高根系萌发率。如果起出的抗寒苗木带有土球，土球的直径至少需为苗木地径的6倍，但也不可超出苗木地径的8倍，并利用草绳、无纺布对土球进行包裹，避免在运输的过程中土球发生松散，相对于裸根抗寒苗木来说，带有土球苗木的成活率更高。最后，如果高寒地区在进行园林绿化施工时所选择的抗寒苗木，不具备较高的抗寒等级，需在栽植前做好防寒处理，如利用防寒布、草绳对苗木主干进行包裹，以此降低苗木主干受冻的几率。对于苗木根部，可使用浓度为800mg/L的抗寒剂对根部进行喷施，提高苗木的抗寒性^[9]。

（三）抗寒苗木定植技术

定植是栽植抗寒苗木的关键环节，定植时需严格的控制定植的深度、根系的舒展率与土壤的压实度，定植深度过浅、过深或者土壤压实度不足，很容易造成苗木冻害、倒伏，从而降低苗木成活率。在挖掘定植坑时，需确保定植坑的直径与深度与抗寒苗木大小相适应，不同类型苗木的定植坑规格见表2。若定植坑规格与抗寒苗木不匹配，将对苗木根系的生长造成一定的不良影响，从而降低苗木成活率；若定植坑的规格与抗寒苗木的大小相匹配，苗木根系则可很好的舒展，舒展率一般不低于90%，苗木成活率也将得到一定提升。

表2 不同类型苗木定植坑的规格

苗木类型	定植坑直径	定植坑深度
乔木	80-120cm	60-80cm
灌木	50-70cm	40-60cm
地被植物	30-40cm	20-30cm

抗寒苗木定植深度的控制也十分关键，以根茎和地表保持在同一水平面为宜，若定植过深，深度在根茎5cm以上，根系处于缺氧的状态，将逐渐腐烂，苗木成活率大幅下降；若定植过浅，根茎在地表上方露出3cm以上，根系易发生失水与冻害，成活率也将明显降低^[10]。如果栽植抗寒苗木的区域冻土较深，定植时可将河沙与腐熟的有机肥按1:3的比例混合铺设在定植坑底部，铺设厚度在10cm到15cm，其不仅可提高土壤透气性，还可增加土壤肥力，有助于苗木的成活。在进行土壤回填时，可采取分层回填、压实的方式，防止土壤空隙过大影响根系和土壤的密切结合，导致苗木根系失水、冻害，从而影响苗木的成活。在完成土壤回填后，立即浇水，其也被称之为定根水，定根水需浇透，促使苗木根系紧密与土壤相结合。

三、结束语

综上所述，高寒地区进行园林绿化施工时面临的一个重要难点为如何应对寒冷的气候条件与贫瘠的土壤。一方面，需根据高寒地区的实际情况，选择适宜品种的苗木，保证所选择的苗木与当地气候、土壤相适配，且可很好的适应当地的生长环境，提高苗木的成活率。另一方面，精准地把控抗寒苗木栽植技术，合理地确定

栽植的时间，并在栽植前对苗木进行修剪、生根等处理，以此为苗木的顺利成活打下良好基础，同时还需加强对定植坑尺寸与定植深度的控制，确保苗木根系可很好的舒展开，在回填时，可分层回填和压实，回填结束后及时浇透定根水，全方位保证抗寒苗木的成活率，从而为高寒地区园林绿化水平的提高助力。

参考文献

[1] 岳鹏霞 . 北方园林绿化中苗木种植施工与养护技术 [J]. 园艺与种苗 , 2025, 45(09): 25-27.

[2] 段夏 . 园林绿化施工中的苗木栽培与养护技术 [J]. 农村科学实验 , 2025, (10): 150-152.

[3] 张晓萌 . 园林绿化中苗木种植的施工与养护管理 [J]. 绿色中国 , 2025, (09): 76-78.

[4] 牟村, 汪文涛, 乔中全, 等 . 西藏山南主要造林树种高效培育技术研究进展 [J]. 湖南林业科技 , 2025, 52(5): 105-110.

[5] 杨国平 . 高寒地区云杉种植管理技术 [J]. 农村科学实验 , 2025(14): 121-123.

[6] 卢晓悦, 刘雪霞, 池礼鑫, 等 . 宁夏枸杞果实转录组分析及类胡萝卜素合成相关差异表达基因的筛选 [J]. 南方农业学报 , 2025, 56(3): 706-719.

[7] 史兴萍, 刘招平, 吴双桥, 等 . 德尔尼铜矿`雪域高原矿山的绿色涅槃 [J]. 地图 , 2025(2): 48-57.

[8] 周霄 . 五台山林区山桃育苗与病虫害防治技术 [J]. 中国林副特产 , 2025(5): 52-53.

[9] 李洪伟 . 中国沙棘容器硬枝扦插育苗及苗木管理和培育相关技术研究 [J]. 种子世界 , 2025(9): 207-209.

[10] 彭海龙 . 河西地区馒头柳嫁接育苗技术试验研究 [J]. 甘肃林业 , 2024(6): 38-40.

水利工程施工中的环境影响评估与控制策略

陈飞¹, 吴壮壮², 张宇衡², 倪一品³, 李梦莎⁴

1. 淮安市清晏园, 江苏 淮安 223001

2. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001

3. 淮安市城市水利工程管理中心, 江苏 淮安 223001

4. 淮安市洪金灌区管理所, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/ETQM.2026060004

摘 要 : 本文围绕水利工程施工期间可能给环境带来的影响展开探讨, 着重剖析施工阶段存在的生态环境风险, 经由对水利工程施工过程中水质污染, 土壤侵蚀, 生态破坏等因素加以考量, 并融合环境监测技术, 给出不少可行的环保举措, 文章也谈及环境影响评价的开展流程以及调控策略的实际执行办法, 试图在保障工程按时按质推进的情况下, 最大程度缩减对环境造成的不良影响。

关 键 词 : 水利工程; 环境影响评估; 控制策略; 生态保护; 施工管理

Environmental Impact Assessment and Control Strategies in Water Conservancy Project Construction

Chen Fei¹, Wu Zhuangzhuang², Zhang Yuheng², Ni Yipin³, Li Mengsha⁴

1. Qingyan Garden, Huai'an, Jiangsu 223001

2. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

3. Huai'an Urban Water Conservancy Project Management Center, Huai'an, Jiangsu 223001

4. Hongjin Irrigation District Management Office, Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : This paper discusses the potential environmental impacts during the construction of water conservancy projects, focusing on analyzing the ecological and environmental risks present during the construction phase. By considering factors such as water pollution, soil erosion, and ecological damage during the construction process of water conservancy projects, and integrating environmental monitoring technologies, several feasible environmental protection measures are proposed. The paper also addresses the implementation process of environmental impact assessment and practical execution methods for control strategies, aiming to minimize adverse environmental impacts while ensuring the timely and quality completion of the project.

Keywords : water conservancy project; environmental impact assessment; control strategies; ecological protection; construction management

引言

水利工程属于国家基础设施创建的一部分, 它的创建及经营同区域的水资源利用和生态协调存在密切联系, 施工期间产生的诸多环境影响现象, 比如水体污染, 土地损毁, 自然环境恶化等情况, 渐渐受到社会大众的重视, 环境影响评价 (EIA) 是考量水利工程给环境造成的影响的关键方法, 已经变成当下水利施工运作进程中的核心部分, 文章将会剖析水利工程施工当中经常出现的环境难题, 并探究怎样依靠科学的考量以及行之有效的调控方案来达成环境守护和工程创建的和谐统一。

一、水利工程施工中的环境影响评估

(一) 水质污染评估

水利工程施工时, 施工排水及废水处理给水体带来的污染风险属于重要环境议题, 施工阶段, 地下水和地表水中的污染物也源于建筑材料, 施工机械渗漏的油污, 污泥, 化学药品等等,

格外是在水利工程挖掘, 填埋这些土方工程当中, 极易引发有害物质进入水体, 从而改变水质, 致使水体出现富营养化或者酸化之类的不良状况, 所以, 妥善经营施工排水十分关键。

水质监测有定期采样和即时监测这两种开展形式, 经由设立水质监测点, 测定水中主要污染物的浓度, 悬浮物, 氨氮, 磷, 重金属等等这些指标。至于监测数据的分析, 则要把它同水质标

准做对比，从而判定污染源的种类及其分布情况，之后再采用恰当的控制手段，比如污水处理，分流排放之类的方法，来保证水质不会遭受严重的污染。

（二）土壤侵蚀与水土流失

水利工程施工时，土壤侵蚀与水土流失属于常见环境问题，这种情况在山区或者河流岸边更为突出，施工行为也会损害既有的植被，裸露的土壤便极易被风雨侵蚀。到了施工后期，如果未能及时加以覆盖或者修复，雨水冲刷就会加重土壤流失状况，从而引发周边生态系统遭到破坏，而且会使水土保持变得更加困难的问题。

防治水土流失的技术与方法涵盖植被重建，加强土壤结构以及施工时采取临时防护措施等方面，常见技术手段包含设置护坡，喷播草种，运用土工布覆盖等，施工阶段亦可利用地表覆盖材料，临时排水沟渠等举措来减轻水土流失情况，经由这些举措，能够切实阻止施工给土壤带来的侵蚀，维持生态均衡。

（三）生态环境破坏风险

水利工程施工时，往往会给周边的植物及动物栖息地带来影响，特别在人类活动稀少的生态脆弱地带更为突出，施工期间也许要铲除很多植被，破坏动植物的栖息环境，致使栖息地面积缩减，进而影响物种的存续与繁衍，格外在湿地，河流岸边这些地方，可能还会给某些水生植物以及水鸟造成无法挽回的伤害。

要评定生物受到的威胁，需全方位考量施工前后生态发生的改变，经由监测自然环境的改变状况，比如植物种类消失或者缩减，野生动物栖息地被毁坏等情况，来考量施工给生物多样性带来的影响程度，为防止生态遭到破坏，可以采用划定生态保护区，迁移物种以及重新造林等方法，在不耽误工程进程的前提下，最大程度减轻对自然环境的不良影响。

二、水利工程施工中的环境控制策略

（一）水质保护措施

水利工程施工时，要重视施工水源的保护及防治污染，施工期间如果不加以控制，施工废水，排水，泥浆等就有可能污染水源，引发水体污染，所以，首先要划定水源保护区，限定施工活动范围，防止施工污染物流入水源区域，还要严格把控施工废水的排放，运用高效的废水处理技术，比如化学沉淀，絮凝以及膜过滤等技术来清除水中的污染物，保证排放水质符合环保标准。

废水的处理技术及设备应用需按照施工现场实际情况来选定恰当的处理方法，可利用集水池汇集施工废水，然后经由多级过滤和化学处理去除水中有害成分，或者采用先进的水处理设备，比如移动式污水处理设施，先把水处理完毕再排放。针对施工过程中的地表水，用临时蓄水池或者沉淀池实施二次处理，能够有效地阻止施工阶段出现水质污染现象。

（二）土壤保护与水土保持技术

施工阶段的土壤保护及改良举措对于防范水土流失十分关键，在水利工程施工的时候，特别是在山区或者坡地上施工时，土壤表层极易遭到破坏，裸露在外的土壤又会受风雨侵袭。要想阻止土壤流失，可以实施植被重建，铺草毯，设立防护网这些办法，从而保障施工范围内的土壤得到妥善保护，而且利用土工布，覆盖材料之类的方法，也能够有效地缩减土壤流失量，规避水土流失给施工现场周边环境带来的不良影响。

施工后期的水土保持措施十分关键，施工结束后要立即展开土壤修缮工作，栽种耐旱植物，稳固边坡并修整水沟等，以此来重建施工区域的生态协调性，而且可以采用人工复原生态植被，利用生物土壤改良剂这些办法，有效地重现植被覆盖度以及土壤结构，做到对水土流失现象长久地掌控。

（三）生态恢复与生物多样性保护

生态修复技术的应用属于水利工程施工阶段的关键环境守护举措，在施工期间，若想缩减对周边生态系统造成的损害，就可以利用生态修复技术，比如栽种本土植物，重建湿地生态，设立生态防护带等等，从而推动生态环境得到恢复并得以优化，经由对施工范围内的自然环境执行修复工作，可以缓解施工过程中给生物栖所带来的冲击。

施工完毕之后，生物栖息地的重建对于守护生态多样性十分关键，经由再次栽种本地植物，创建人工湿地以及鱼类栖息地等举措，能够给遭受影响的动植物赋予新的生存环境，而且，借助人工培育和生态补偿等手段，助力修复受损的生态系统，提升区域的生物多样性和生态稳定性，恰当的栖息地重建有益于捍卫当前物种，还利于生态系统的自然复原。

三、环境监测与应急管理措施

（一）环境监测体系建设

环境监测体系创建对于水利工程施工十分关键，它能及早察觉潜在的环境问题并发出警报，监测项目需遵照施工现场特征及其对环境可能造成的影响来确定，常规的监测项目包含水质监测，空气质量监测，噪声监测，土壤监测等。水质监测要着重关注悬浮物，氨氮，重金属等污染物的浓度，土壤监测则要观测水土流失，重金属污染等情况，监测频率须按照施工进度和环境敏感程度实施调整，在施工危险期提高监测频率，以保证可以立即找出问题所在。

监测技术的选择及执行需遵照具体监测项目的实际需求，其包含在线监测系统，遥感技术，地面采样分析，自动监测设备等常见种类，经由自动化和信息化的技术方法，提升监测的即时性与精准度，针对水质监测而言，可以利用水质自动监测仪器随时追踪污染物浓度，空气质量监测来说，则要结合固定站点监测和移动监测，从而保障全区的环境质量得以及时掌控。

（二）应急预案的制定与实施

施工期间可能遭遇各类突如其来的环境问题，比如水质被污染，土壤出现侵蚀现象，空气遭受污染等等，要解决这些问题就得事先制订好应急预案，预案里面要有针对突发环境问题的各种举措，污水溢出的时候立即堵住，找出污染源并将其隔离起来，启动应急净水装置等等。现场应当存有必要的应急处理工具和物资，诸如吸附材料，应急净水药品之类的，这样才能及时有效地处理意外状况。

环境污染事故发生时，其应急处理步骤需事先明确，还要形成应急响应小组，定时开展应急演练，以保障相关人员能熟练把握应急处理流程，环境污染事故的应急处理涵盖污染源控制，应急水处理，污染物收集与清除等方面，而且，要立即向环保部门汇报情况，并采取各种举措来缩减事故给环境带来的更大损害。

（三）数据管理与报告机制

环境监测数据的经营与分析对于保障环境控制措施有效十分

关键，监测数据需统一经营，还要保证数据准确无缺，创建专门的数据库来集中保存各类监测数据，利用数据分析软件对这些数据执行整理及分析，从而识别潜在的环境风险与污染源头，借助数据分析，可以给施工期间也许产生的环境问题给予决策支撑，并及时修正有关的控制策略。

环境影响报告书的编写及评审属于环境经营的重要环节，该报告需详尽记载施工期间的环境检测数据，污染物排放状况，应急处置情形以及所采取的调控举措，并执行环境影响评价的流程。报告书完成编写之后，要经过专家评审以及环保部门的审查，以保障报告内容准确无误且符合规范，环境影响报告书既给施工项目赋予环境合法依循，又为后续的环境经营和监测供应了参考范例。

四、环境影响控制的管理与技术支持

（一）环境管理体系的建立

环境管理体系创建对于水利工程施工期间环境控制得以顺利开展具备关键意义，其一，要重视环境经营责任的划分，施工单位需明晰各个部门及员工在环境保护方面的职责，并塑造起上下配合的经营体系，项目负责人，环境经营人员以及施工人员均应恪尽职守，一同承担环境保护任务，项目负责人负责整体环境经营的计划与监管，环境经营人员负责环境观测及评价，施工人员则负责日常工作中的环境保护执行与问题反馈。如图1所示。

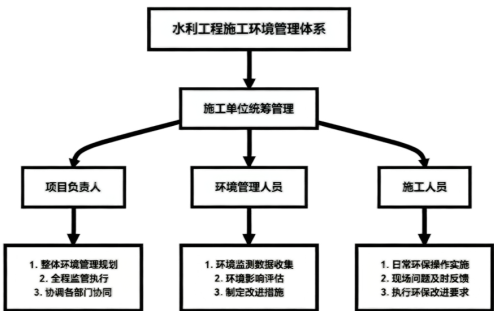


图1 环境管理体系

施工现场的环境经营标准化创建对于提高环境经营效率十分关键，现场需制订清楚的环境保护准则，涉及废水排放，固废处理，噪音控制等事项，以保证各环节均达标环保需求。还要遵照项目实际状况，制订细致的环境保护计划，并将其融入具体的施工操作当中，形成环保核查体系，定时执行环境检查及修正活动，促使标准得以切实遵守。

参考文献

[1] 阮荣森. 水利工程施工中的环境影响及其控制策略 [C]// 中国智慧工程研究会. 2024 工程技术与施工管理交流论文集（上）. 宁波天河建设工程有限公司 ; 2024: 440-442.

[2] 薛静. 水利工程施工中的环境保护与可持续发展策略 [J]. 河南水利与南水北调 , 2024, 53(06): 25-26.

[3] 张建宁. 水利工程施工中的质量控制与管理措施 [J]. 工程建设与设计 , 2024, (06): 218-220.

[4] 莫飞, 宁俊杰. 水利工程对环境影响及其工程补偿研究 [J]. 中国高新科技 , 2019, (10): 39-41.

[5] 董树海. 水利工程施工质量影响因素及控制措施 [J]. 中外企业家 , 2019, (13): 129.

[6] 郑丽颖. 水利施工对生态环境的影响 [J]. 黑龙江科学 , 2019, 10(08): 144-145.

[7] 吕卫东, 光志中. 刍议水利工程施工对生态环境的影响 [J]. 信息化建设 , 2015, (12): 302-304.

[8] 王小莉. 水利工程施工中环境保护与生态建设分析 [J]. 水上安全 , 2025, (08): 88-90.

（二）环保技术的引进与应用

环保要求持续提升，水利工程施工时需采用先进环保技术，选择并推广绿色施工技术能有效缩减施工过程中的环境影响，选用低碳，节能的施工设备，使用环保材料，并合理规划施工流程，从而削减资源浪费和污染物排放量，施工期间可运用部分高效污染控制技术，水体污染处理，土壤改良技术等，以此来最大程度减轻施工给环境带来的不良影响。

环境友好型建材的应用并非局限于传统混凝土及再生材料，其涵盖低能耗，高效能的隔热材料，透水性材料以及可降解材料等，此类绿色建材应用于水利工程时，可切实缩减资源耗费，削减碳排放，有益于改良施工环境，缩减施工期间产生的废弃物，而且，采用环保建材契合国家与地区有关绿色建筑的政策规定，可以优化项目的环保等级，增强社会使命感，推广绿色建材既有利于水利工程做到可持续发展，又促使整个建筑行业朝着低碳，环保的方向实施转型。

（三）施工过程中的环境教育与培训

环境教育及培训对于保障环境经营举措得以有效执行十分关键，施工期间，加强施工人员的环保意识非常必要，所以，施工单位要定时举办环境保护培训班，阐述施工过程中也许产生的环境问题以及应对办法，经由培训，让施工人员知晓环保法律法规，掌握环保技术并认识到其重要意义，从而增强他们投身环境保护的主动性。

环保操作规程的制定以及培训体系的形成都是环境经营的关键部分，施工单位需遵照项目特性及施工现场实际情况来制订科学而规范的环保操作规程，以保障施工阶段各环保工作有所依循。创建培训体系包含入职培训，定时复训以及专门培训等，促使施工人员能娴熟把握环保操作规程，并在实际应用时切实执行，从而达到对施工期间环境影响的妥善掌控。

五、结语

水利工程施工时，环境影响评价及控制策略十分关键，科学的评定与有效地控制手段可最大限度缩减施工给环境带来的不良影响，经由执行水质保护，土壤保护，生态修复等综合控制策略，并提升环境监测与应急响应水平，水利工程建设便能达成绿色，可持续发展目标，日后，伴随技术持续发展，水利工程的环境影响控制将会越发精确高效，从而给予生态环境保护更多助力。

建筑工程施工阶段风险评估与应对策略

李杰

河北建设集团股份有限公司, 河北 保定 071000

DOI:10.61369/ETQM.2026060005

摘 要： 施工阶段的风险来源众多并呈多样性变化态势，在人员的行为方面存在一些问题，在技术层面上也有着一定的难度，还有就是设备方面的不稳定以及其他一些不确定的因素造成的，在实践中总结出来一些典型的例子，形成风险识别、等级划分以及全过程中控制的一套管理体系，分别从业主方人员、设计单位人员、施工承包商人员三个层次上对施工风险进行系统的分析研究，最后提出预防为主、控制为辅的综合治理方案，利用信息化技术实时监控风险并在第一时间采取相应的措施来保证项目的顺利进行，进而提高施工安全性，达到良好的工程建设质量和工期进度的要求。

关 键 词： 施工阶段；风险识别；风险评估；风险控制；工程管理

Risk Assessment and Coping Strategies in Construction Engineering Construction Stage

Li Jie

Hebei Construction Group Co., Ltd., Baoding, Hebei 071000

Abstract： the risk sources in the construction stage are numerous and varied. There are some problems in the behavior of personnel, and there are also some difficulties in the technical level. There are also some typical examples caused by the instability of equipment and some other uncertain factors. In practice, some typical examples are summarized to form a set of management system for risk identification, classification and control in the whole process. The construction risks are systematically analyzed and studied at three levels: the owner's personnel, the design unit's personnel and the construction contractor's personnel. Finally, a comprehensive treatment scheme with prevention first and control second is proposed. The risk is monitored in real time using information technology and corresponding measures are taken at the first time to ensure the smooth progress of the project, so as to improve the construction safety, Meet the requirements of good project construction quality and schedule.

Keywords： construction stage; risk identification; risk assessment; risk control; engineering management

引言

建筑工程项目施工过程中工序繁琐、涉及单位人数众多、工作环境复杂多样，其带来的风险具有高发性和不确定性特征，会对工程的质量安全以及造价预算等方面带来一定的影响；若风险控制不当，则很容易导致工程质量问题频发、发生安全责任事故、工期延长等问题的发生，从而增加项目的损失和管理工作负担。当前风险管理还存在着识别不足、方法单一、处理滞后的现象，很难满足施工过程中不断的变化的需求；基于此，建立系统的、全面的风险评价及防范机制对提高管理效率及达成项目目标有着很大的现实作用。

一、施工阶段风险类型与特征

（一）人员风险

项目建设过程中以大量的现场施工工人为主，工人的技术素质高低以及是否熟悉操作流程、安全观念都会对整个项目的建设产生影响，在工程施工中，因为来源广泛、培训制度不健全、流动性高，使得工人技术水平参差不齐，一些人从未经过正规的技术培训，不清楚具体的施工工序和技术要点，而且对于安全重视不高、心存侥幸，违章作业、偷工减料、防护不到位等情况频发，另外施工现场管控缺失或者监管不力也会增加工人行为上的

安全隐患，单个工人出现错误变成系统性的风险。人员交流障碍以及职责不明也会造成信息传导偏差进而干扰施工现场组织安排及质量管理^[1]。

（二）技术与设备风险

施工技术和机械设备是工程建设顺利进行的基础保障，复杂性与不确定性形成的主要风险源之一。随着建筑工程项目体量增大以及结构形式丰富化，施工技术也越来越繁琐，对于技术落实度和配合默契程度的标准也在日益提高，在具体施工过程中，如果前期的技术交底不够清楚或者施工组织方案无针对性的话就极易产生工序搭接混乱或者施工出现误差的现象从而产生质量问

题；而施工机械在长期高负荷运转的情况下由于缺少定期的维修保养、使用不当或者老化等问题易产生故障现象，倘若出现重要设备损坏，则有可能会导致整个工程停顿乃至发生事故。此外，新技术、新材料应用提高了工程建设速度，在未经过充分试验和验证的基础上就投入使用，则有可能存在隐患。技术、设备风险一般表现为技术难度大、影响面广、后果严重等特点，一旦发生将导致工程质量、进度等一系列连锁反应^[2]。

（三）外部环境风险

工程施工不可避免会受到外界条件影响，在这些外界条件中主要有气候、地质以及外部环境干扰等几方面的问题。气候的变化具有很大的不确定性，例如暴雨、酷热、严寒、大台风等恶劣天气不仅会造成工期延误还会危及到整个结构的安全和施工人员的生命安全。地质情况的复杂也是个很大的问题，在地基承压能力不够、地下水位起伏不定或者有软弱夹层的时候容易出现垮塌、滑坡等现象，给整个工程的基础安全性带来隐患；另外，施工现场周围的环境，比如道路状况、临近建筑物的位置以及市政设施布置都会给工程施工组织以及安全生产带来一定的限制作用。当外部条件改变或者预料不够充分的时候容易造成施工方案的变更过于频繁，加大了项目管控的工作量及费用支出。

二、施工阶段风险识别方法

（一）现场调查与经验识别

现场勘查与经验分析是最基本也是最常用的一种风险管理方法，在施工过程中以工程管理人员和技术人员的经验为基础，主要依靠他们对现场情况进行观察和总结。在工程现场实地踏勘中可以从宏观层面掌握整个工程概况以及具体施工情况，了解各种环境因素和危险源分布状况，比如地势高低、临时搭建物设置、原材料堆置位置以及工人作业情况等等都可以在第一时间找到最重要的风险源所在；经验丰富的工程管理人员还可以根据以往相似项目的经验预见一些可能存在的问题，比如高处坠落伤害、垂直交叉作业、机械设备故障等。这种方法简单易行、见效快，非常适合用于工程项目开始或者复杂的环境中对主要风险源的初步筛选工作。但是，它所得出的结果有一定的主观因素，易受到个人主观的影响而出错的情况，所以当我们在使用的时候往往需要用其它一些系统化的手段来辅助我们进行识别，这样可以减少因凭经验所导致的一些错误出现的概率，进而提高我们风险识别的质量。^[3]

（二）系统分析方法

系统的方法在施工全过程中对其进行了有层次划分并绘制流程图的形式，使得风险识别做到了全覆盖并且逻辑清楚。工作分解结构（WBS）作为其中的一种方法可以将整个项目逐步分成多个容易管理的小部分，从而使每一个施工阶段的风险都有所体现。再加上施工过程中的流程分析就可以从工序连接、资源配置以及施工步骤等方面发现存在的风险，例如工序矛盾问题、资源缺乏或者施工组织不合理等等。此外还能够采用因果分析法以及故障树法等方法来探究造成风险的原因是什么，这样就可以做到从表面现象到根本原因的系统性地认识了。这种方法的特点是结

构严谨、范围广泛并且有明确的逻辑顺序，可以有效防止遗漏隐患以及提高发现隐患时的完整程度，但是这个办法的操作比较麻烦，需要完整的资料和管理水平的支持，耗费一定的时间，还需要专业的支持。

（三）数据驱动识别

基于数据分析的风险辨识是以信息技术为基础，通过对于以前工程项目的数据以及现在的监控所获得的数据来进行风险辨识的量化和智能化的处理。利用工程管理信息系统、BIM技术和大数据平台能够对之前项目的事故发生的记录还有质量存在的问题和工期出现的滞后情况进行统计并加以分析从而得出高概率的风险类型以及出现的风险频率进而给当下的工程项目以一定的借鉴意义。并且可以通过对于工程在施工过程中产生的实时监控得到的一些数据比如机械设备的工作情况、环境检测的情况以及工人操作的行为情况等来对可能出现的问题加以识别并在第一时间发出警报从而达到及时发现并解决问题的效果大大减少了由于人的主观能动性所导致的误差使得风险辨识更加精准化和预见性。但是它必须基于完整、正确的信息来进行分析，并且还需要相关的信息技术和环境做支撑^[4]。

三、施工阶段风险评估模型

图1表示出施工期的风险由风险类别甄别、措施研究至评价及处理整个过程中的逻辑顺序，全面揭示各步骤间的承接以及运行方式



图1 施工阶段风险识别与评估综合框架图

（一）定性评估方法

定性评价方法以专家经验和现场判定为主，对风险的发生概率及后果大小采取主观分析的方式来确定风险级别的一种方式。主要有专家评分法、德尔斐法以及风险矩阵法等等形式，而风险矩阵则是把发生概率与后果严重性两者结合起来，以形成一个二维的风险矩阵，从而把风险分为不同的级别，方便管理者直接找到主要的风险点。这种方法简单快捷、投入较少，在项目初期或者是缺乏相关资料的时候可以进行一个初步的风险评估；但是由于定性评价是依赖于专家的经验与看法来进行的，所以很容易受到专家自身经验、见解的不同或者主观意识的影响导致误差较大、不够准确。所以，在具体的应用当中一般都会采取多种专家的意见与相互校正的方式来提高评价结论的可信度，是之后进行量化研究的基础。

（二）定量评估方法

定量分析方法利用数学模型及统计的方法，用具体的数值来描述出风险出现的概率以及它带来的影响大小，进而得到更准确的风险评估。常用的定量方法有概率分析法、期望损失法、模糊综合评价法、层次分析法等等，在这些方法之下可以把复杂的风险要素转换成为一个可以计算的量值，这有利于提高风险评估的准确性，如用概率分析法就可以估算出某一个风险的概率值，再配合损失函数就能够计算出这个风险会给成本、工期、安全方面带来怎样的具体负面影响；模糊综合评价适用于多个不确定因素相互叠加，界限模糊的情况。在数据充分可靠的基础上，定量分析法可以得到较高的精度，有助于做出判断。但是它需要的是数据的质量以及模型中的参数设置都很高，而且在实际施工过程中也会有数据缺失或者不确定的情况发生从而会影响最后的结果^[5]。

（三）综合评估体系

综合评价体系是基于定性和定量的基础上建立的风险评估综合性评价机制，既考虑了主观经验和客观数据两方面的优点又保证了风险评估全面性和准确性。一般是以多因子评价模型为基础把风险指标分为多个层面，例如：安全、质量、进度以及成本等等，再用权重分配的方法给予各指标的重要性程度以赋值，在实际操作中可以先用定性的方法来提取出主要的风险项然后再用定量的方法来进一步剖析这些重要的风险，最后得出层次分明、条理清楚的评价结论。此外综合评价方案也可以借助信息化的手段可以使得评估的结果实时发生变化并且能够不断地调整，让风险管理工作从被动的事后评估转变为全程监控^[6]。

四、施工阶段风险应对策略

（一）风险预防与控制措施

风险预防及控制是工程期间风险管理中最重要的一环，要以抓源头作为出发点，采取一系列措施来减少或消除风险发生的概率，首先要强化对施工人员的安全知识及相关技能的教育培训工作，形成固定的培训体系，让工人了解并熟悉施工过程中需要注意的操作流程以及相关的安全规定，从而降低由人为因素造成的事故率；其次，在施工组织设计及施工技术方案方面要做到合理安排，对于重点部位或者复杂的结构要编制针对性强的安全施工方案并做好事前的讨论论证，保证方案可行性和可靠性；最后，健全好技术交底制

度，把施工中的重点内容、标准和注意事项告知到每个操作层面的人，防止由于信息不到位而带来的操作失误^[7]。

（二）风险转移与分担机制

在工程建设期间，有些风险不可避免或者难以完全控制其成本较高，所以要采取合适的分散、共担措施降低项目的总风险量。保险是常用的风险分散方法，比如投保工程险、第三者责任险等等，把意外事件造成的损失分摊到保险公司身上，增强项目抵抗风险的能力，另外，在合同的制定上也应当明晰条款对风险进行分摊，把不同类别风险分别由发包人、承包人、分包商承担，例如对于材料价格变动、工期拖延以及不可抗力等情况作出规定，避免发生争执。另外也可以考虑聘请专业的分包商或者合作伙伴，把一些危险性较高的工作内容交给具有相应能力和背景的专业队伍来做，来规避整个项目的施工风险。

（三）动态监测与应急管理

施工期内的风险处于不断波动的状态中，这就要求必须建立起长期观察以及迅速处理的体系来做到全面的风险防范。利用信息技术的方法来提高对施工现场重要指标的数据收集与处理，例如：使用监测仪器设备、摄像头以及无线传感设备来搜集建筑物结构位移、运转状态以及周围环境等因素的信息，进而尽早识别问题并且提出警报。在此之上要建立健全应急管理机制，根据不同的风险情况编制相应的应对策略方案，规定出具体的响应程序与任务分配、资源调配等事项，在面对突发状况的时候做出及时妥善的处理；另外还要经常组织相关的模拟演习活动提升员工的危机意识和个人处置技能还有彼此之间的默契程度，降低损害程度。^[8]

五、结语

工程施工阶段风险伴随项目建设始终并具有复杂性和动态性的特点需要进行系统的管控。对风险种类的深入认识及分析，合理的风险辨识方式的选择，建立科学有效的风险评价体系可以做到有针对性的分级管理和控制，针对此可以采用事前预防控制、风险转移、加强监控等方式来增强风险防范能力。信息化、标准化等新技术的应用给风险管理工作带来了技术支持，有利于提高施工安全性，提升项目管理水平，促进建设工程管理走向精细化和高水平的发展道路。

参考文献

- [1] 张宇琼. 建筑工程施工阶段的质量控制与管理策略 [J]. 城市开发, 2026, (02): 173–175.
- [2] 李海燕. 工程项目施工阶段跟踪审计风险管理方法分析 [J]. 财会学习, 2022, (01): 120–122.
- [3] 余丽敏. 探究建筑工程施工安全监理的风险管理与防范措施 [J]. 居舍, 2022, (04): 115–117.
- [4] 金新文. 建筑工程项目施工阶段风险识别与动态管控策略研究 [C]// 江西省汽车工程学会. 第二届工程技术与新能源经济学术研讨会论文集. 无锡惠山文润运营管理有限公司, 2026: 387–390.
- [5] 黄水仙. 建筑工程施工阶段安全风险评估探析 [J]. 江西建材, 2023, (02): 370–371.
- [6] 邹忠培. 建筑工程项目施工阶段安全风险监测和评估研究 [D]. 西华大学, 2023.
- [7] 冉兴军. 建筑工程项目施工阶段风险管理的难点及策略 [J]. 四川水泥, 2025, (02): 19–21.
- [8] 王鹏. 建筑工程施工阶段质量安全监督关键技术研究 [J]. 城市建设理论研讨 (电子版), 2026, (03): 43–45.

复杂地质条件下建筑施工基坑支护方案与变形控制

王美丽

土默特右旗住房保障事业发展中心，内蒙古 包头 014100

DOI:10.61369/ETQM.2026060006

摘 要： 本文根据实际施工案例，排除专业数据罗列，关注复杂地质下具体施工难点问题，探讨几种常见复杂地层对基坑支护的影响并给出相应对策建议，介绍了基坑变形预防措施及现场管理方法，力求内容贴近实际、可操作性强，供类似复杂地质情况下进行基坑支护作业时借鉴参考，确保基坑顺利实施。

关 键 词： 复杂地质；基坑支护；变形控制；施工管控

Foundation Pit Support Schemes and Deformation Control in Construction under Complex Geological Conditions

Wang Meili

Housing Security Development Centre of Tumote Youqi, Baotou, Inner Mongolia 014100

Abstract： Based on actual construction cases, this paper excludes the listing of professional data, focuses on specific construction challenges under complex geological conditions, explores the impact of several common complex strata on foundation pit support and provides corresponding countermeasure suggestions, introduces preventive measures for foundation pit deformation and on-site management methods, aiming to be practical and highly applicable, serving as a reference for foundation pit support operations under similar complex geological conditions to ensure smooth implementation.

Keywords： complex geology; foundation pit support; deformation control; construction management

引言

随着城市的发展建设面积日益扩大，越来越多的工程项目选择在地基较差的地方进行施工，由于这类地方土质松散或者土质变化较大给基坑支护的设计与施工带来很大困难^[1]。一旦设计方案不当或未能及时采取有效措施防止过大变形就会导致基坑坍塌、邻近建筑受损甚至地下管道破裂等问题发生，这不仅会影响工期还会造成经济损失及安全隐患。所以针对不同类型的复杂地基情况，研究合理的基坑支护方法并加大对其变形控制力度，做到接地气、重实效，对于保证建筑工程顺利实施有着非常重要的作用。

一、复杂地质条件的主要类型及对基坑支护的影响

（一）软土地质及其影响

软土地质在建筑工程中较为普遍，在冲积平原、滨海地区或者湖泊沉积层等地段较为常见，主要特征是土质松散、承载性能差，受力之后容易产生下沉以及变形并且这种变形的时间较长。在基坑开挖时由于软土地质的土体抗剪强度低不能很好地抵抗基坑侧壁土压力而造成基坑侧壁塌陷；另外因为软土压缩性大，基坑开挖以后周围土体易产生差异沉降从而拉扯基坑支护结构使支护结构产生裂缝、位移甚至失效^[2]。同时软土地质中含有大量地下水，在开挖过程中如果排水措施不到位会使土体强度进一步下降增加基坑变形及坍塌的风险给支护施工带来很大困难。

（二）砂土地质及其影响

砂土地质主要由砂粒构成，颗粒较松散、透水性好、渗透性

强，最严重的问题就是容易产生流砂以及管涌。在基坑开挖时如果遇到地下水渗入，砂土颗粒就会被水流带走，在基坑侧壁形成空洞、塌陷的同时还会造成基坑底部隆起，使整个基坑失稳；而且由于砂土地质承载能力较差，基坑支护结构受力不均，极易造成支护结构偏移、变形，从而引起周围地面向下沉，危及周围的建筑和地下管线等设施安全。对于砂土地质基坑工程而言，其支护的重点在于止水与防砂，一旦出现疏忽大意，则很容易发生事故^[3]。

（三）破碎岩层地质及其影响

破碎岩层地质大多位于山地或者地质构造复杂的地段，岩石风化严重、节理裂隙发育，整体性较差，容易产生塌方、滑坡等地质灾害，在基坑开挖时，由于破碎岩层岩体强度较低，不能独立承担起对基坑侧壁的支撑作用，很容易发生掉块、塌陷现象危及作业人员以及机械设备的安全；而且破碎岩层内部一般含有杂

乱无章的裂隙水，水体将继续冲刷岩体使岩体更加松散，给支护结构带来额外负担，易造成局部应力过大而引起支护结构破坏、变形等问题^[4]。另外，破碎岩层进行开挖比较困难，在施工中如果方法不对还会导致岩体失稳，加大基坑支护及变形控制难度。

二、复杂地质条件下建筑施工基坑支护方案

（一）软土地质基坑支护方案

软土地质基坑支护主要是“加固土体、控制沉降、止水防渗”，根据现场实际情况，尽量采用施工方便快捷、经济合理、安全有效的支撑方式，常用的有以下两种类型，可根据基坑开挖深度和周围环境进行选择。

深层搅拌桩是软土地质加固的一种常用方法，在软土中掺入水泥等固化剂进行充分搅拌后，形成具有一定强度的整体性固结体，从而增强土体强度及抗剪性能，减小土体下沉量以及变形量^[5]。在施工时，先根据基坑大小和开挖深度来确定合理的深层搅拌桩布置方式，保证桩身连续、紧密相连，构成一道完整的防护帷幕并起到止水功能；然后在此基础上设置内支撑结构，内支撑可以使用型钢支撑或者钢筋混凝土支撑等形式，依据基坑承受荷载的不同而采取相应的层数以及间距，以保证整个支护系统的整体性和稳定性，能够很好地抵御软土所产生的水平推力，限制基坑侧向位移的发生。该工艺简单易行不需要大型机械设备即可完成，适用于大部分软土地质条件下的基坑工程，而且造价适中，接地气、好实施。^[6]

在基坑较深或者周围有重要建筑、地下管线等软土地区，可以采用地下连续墙进行支护。地下连续墙是用钢筋混凝土制成的整体性好、刚度大的墙体，不但能够起到很好的挡土作用，而且具有良好的止水效果，能有效控制软土地区的沉降及变形。在施工时，先挖掘导槽并使用泥浆保护槽壁免于塌陷，然后吊放钢筋骨架并灌注混凝土形成一道连续的地下墙，其埋入基坑底部一定长度以提高抗倾覆性能。此外，还需要配合内部支撑系统来保证支护结构的安全可靠，防止由于软土发生形变而造成墙体开裂、位移等问题。该方法虽然安全，但是工序比较烦琐，需要根据实际情况灵活应用。

（二）砂土地质基坑支护方案

砂土地质基坑支护主要在于“止水防砂、稳定侧壁”，主要是针对流砂、管涌进行处理，同时控制基坑变形。一般采用排桩支护加高压旋喷桩止水帷幕的方式。

排桩支护以钻孔灌注桩为主，依据基坑侧壁土压力及水压力情况合理安排排桩间距以及桩长，使排桩能起到良好的挡土作用，抵御砂土侧压力。在施工时，注意控制好钻孔垂直度以及桩体质量，防止出现断桩、空洞等情况，保证整个排桩结构的完整性及强度。另外在排桩间增加高压旋喷桩形成止水帷幕，高压旋喷桩利用高压水泥浆与砂土搅拌在一起形成低渗透性连续体阻止地下水渗入从而避免流沙或者管涌的发生。^[7]同时可以根据基坑深度选择是否采用锚杆进行加固，锚杆埋入稳定地层中后张拉产生预加力，来锁定排桩，防止其受到过大砂土侧向力影响而产生偏

移变形等现象。该方法兼具挡土和止水功能，施工难度一般，适用于砂土地质条件下的基坑开挖工程并且具有较低的成本投入，易于在实际项目中应用。

（三）破碎岩层地质基坑支护方案

破碎岩层地质基坑支护主要是“加固岩体、防止崩落、控制裂隙水”，一般采用锚杆加喷射混凝土支护方式，在此基础上进行岩体加固处理，保证基坑侧壁稳定性。

喷射混凝土支护是破碎岩层基坑最基本的支护方式，在基坑侧壁喷射混凝土，使基坑侧壁形成一层坚硬的混凝土层包裹破碎岩体，防止岩体掉落、塌陷，提高岩体的整体性。在进行喷射混凝土之前要先清理掉基坑侧壁松动的岩石，保证混凝土能很好地与岩石结合在一起，喷射厚度根据岩石破碎情况而定，防止出现鼓包或者脱落的现象；在此基础上再加设锚杆支护，锚杆采用高强螺纹钢，埋入稳定的岩体内，用水泥砂浆锚固，施加预应力把破碎的岩体和稳固的岩体连成一个整体，增加基坑侧壁的稳定性，抑制岩体变形。对于裂隙发育比较严重以及有较多地下水的地方，在安装锚杆的同时可以进行注浆加固，填充岩体裂隙阻止裂隙水渗流，进一步改善岩体强度及稳定性。该方法操作简单快捷，能够迅速形成防护结构，及时制止破碎岩层发生塌落，而且经济合理，适用于各种复杂的破碎岩层地质条件下的基坑开挖工程。

三、复杂地质条件下基坑变形控制措施

（一）施工前期变形预防措施

施工前的变形预防主要是做好地质勘探以及方案优化，从源头上降低变形风险。一是要进行详细的地质勘探工作，掌握施工现场的地层情况、土质特性及地下水位等情况，防止由于对地质情况了解不足造成支护措施不当而产生变形问题；^[8]二是要根据勘探成果制定合理的支护措施，使所采用的支护方式及参数符合现场实际地质条件要求，不能照搬通用做法，在此基础上还要科学安排基坑开挖程序及时序，避免无序开挖或者过早开挖，减少对周围地基土体的影响，从根本上控制变形的发生。另外，在开工之前还需将基坑周边的垃圾和重物清除干净，以免给周围的地基带来额外的压力，从而导致基坑内的土方发生下沉或变形。

（二）施工过程中变形控制措施

在深基坑施工过程中，建立完善的实时监测与动态预警机制是风险控制的重要保障。传统的人工巡查与周期性测量已难以满足现代工程对实时响应的需求，必须引入自动化、信息化手段，实现施工状态的动态掌控。目前，主流监测手段包括 GNSS 测位系统、全自动测斜仪、激光位移计、光纤应变计等，能够实现对基坑水平位移、支撑内力、周边沉降等关键指标的连续采集。根据《2025 年建筑信息化标准化实施指南》推荐，深基坑工程预警响应时间应控制在 30 分钟内，超过指标须自动报警并联动施工管理系统。

加强基坑开挖作业管理，在开挖时严格按照“分层、分段、对称、限时”的要求进行，严禁一次性开挖过深或过快，每层开

挖深度应结合具体情况确定，每层开挖后立即进行支护工作，防止土体长时间裸露而产生较大的下沉及位移；在软土地质中开挖时应适当降低速度，不宜采用大厚度分层开挖方式以免扰动软土；在砂土地质中开挖时应注意做好排水措施以防地下水渗入造成流沙现象发生以及避免单侧开挖导致支撑结构受力不均；在破碎岩层地质中开挖时要尽量减少对岩体的震动扰动并及时清除松散岩块以避免出现塌方等事故。支护结构施工质量对变形控制起决定性作用，在施工中应严格按设计方案进行，保证支护结构的尺寸、强度以及连接满足设计要求。如深层搅拌桩施工时要保证搅拌均匀、桩体连续，防止出现断桩、夹泥现象；排桩施工时要注意钻孔垂直度及桩位偏差，保证桩体质量；喷射混凝土施工时要做到喷层厚度一致，与围岩紧密结合，防止空鼓、脱落；锚杆施工时要做到锚杆进入稳定土层一定长度，注浆密实饱满，预加拉力到位等。在施工过程中还要做好现场监控工作，一旦发现问题要及时处理，以免由于支护工程质量不达标而产生较大的变形。^[9]地下水是造成基坑变形的主要原因，在砂土地质及软土地质的情况下更应重视排水防渗工作。在施工中要结合具体情况采取相应的排水措施，比如开挖集水井、修建排水沟等，通过这些方法排除基坑内积水，降低地下水位，以防止由于水压过大而引起基坑底鼓或边坡失稳等问题；针对存在地下水渗透情况的部位设置止水帷幕，阻止地下水进入基坑内部，从而减少其对周围土体以及支护结构造成的破坏，进而抑制变形的发生。此外，还需要

注意基坑周边的排水问题，以免雨水流入基坑周围的土壤，使该部分土层变得松散，从而产生下沉或者变形的现象。^[10]

（三）施工后期变形监测与管控

施工后期的变形监测及控制主要是及时发现变形隐患并及时处理，避免变形加剧。虽然不需要用到数据但是也要做好现场直观监控工作，安排专人对基坑侧壁、支护结构以及周围环境进行巡视，重点关注是否有支护结构裂缝、倾斜情况发生；是否有基坑周边地面下沉或者开裂现象；是否有邻近建筑物裂缝等。一旦发现问题马上停工，查明原因后及时采取相应措施，比如增加临时支撑、加强支护结构强度、暂停开挖作业、做好排水工作等手段来制止变形进一步发展下去以保证工程顺利实施。另外，在完成基坑开挖之后应当尽快对其进行回填，在回填时应分层压实，防止出现松软导致基坑周边土体下沉而造成以后产生变形问题。

四、结论

本文结合实践经验总结出了一些适用于不同复杂地质条件下的基坑支护技术和变形控制手段，避免堆砌大量专业术语，突出其实用性和指导性作用，希望可以给相关领域的同行们带来一定的帮助，促进基坑工程的安全快速进展，降低事故发生率。

参考文献

[1] 殷玉春. 房屋建筑深基坑支护承压结构施工技术研究 [J]. 建设机械技术与管理, 2026, 39(01): 135-137.
[2] 黄朝阳. 高层建筑施工中的深基坑支护技术探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026, (05): 124-126.
[3] 姬禹. 高层住宅建筑土木工程中的深基坑支护技术创新 [J]. 居舍, 2026, (05): 40-43.
[4] 石禄. 深基坑支护技术在建筑施工中应用 [J]. 建材发展导向, 2026, 24(03): 82-84.
[5] 周豪鹏. 管理与创新: 关于 AI 助力高层建筑施工中基坑支护结构安全技术 [J]. 互联网周刊, 2026, (03): 32-34.
[6] 高素芹, 余沛. 层次分析法在基坑支护方案比选优化中的应用 [J]. 湖北理工学院学报, 2024(03).
[7] 刘昕. 深基坑支护方案设计及开挖数值模拟分析 [J]. 广东建材, 2024(06).
[8] 李澎涛. 紧邻高层建筑和城市轨道的深基坑工程施工管理策略研究 [J]. 建筑科技, 2024(04).
[9] 禹泽云. 高层建筑施工深基坑支护加固技术研究 [J]. 建筑技术, 2024(05).
[10] 邵祥顺. 高层房屋建筑深基坑工程施工安全管理研究 [J]. 工程技术研究, 2024(04).

探析房屋建筑工程施工技术应用及现场施工管理

管雪朋

建研凯勃建设工程咨询有限公司, 北京 100000

DOI:10.61369/ETQM.2026060007

摘 要 : 目前建筑行业转型升级加速, 传统的施工技术和管理模式已经不能满足现在房屋建筑工程精细化、绿色化的要求, 很多施工技术使用不当以及施工现场管理缺失的现象严重阻碍工程项目整体效果的发挥。本文以房屋建筑工程施工为切入点, 对主要施工技术的应用进行分析, 总结出现场施工中存在的问题并提出相应的改进措施, 避免空泛论述, 注重实用性和细节层面的内容, 为房屋建筑工程优质高效的实施提供借鉴和参考, 保证工程质量、安全、进度及效益的有效结合。

关 键 词 : 房屋建筑工程; 施工技术; 现场管理; 应用要点; 优化策略

Exploration on the Application of Construction Techniques and On-site Construction Management in Housing Construction Projects

Guan Xuepeng

Jianyan Kaibo Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing 100000

Abstract : Currently, with the accelerated transformation and upgrading of the construction industry, traditional construction techniques and management models can no longer meet the refined and green requirements of modern housing construction projects. The improper use of many construction techniques and the lack of on-site construction management seriously hinder the overall effectiveness of engineering projects. Taking housing construction projects as the starting point, this paper analyzes the application of key construction techniques, summarizes the problems existing in on-site construction, and proposes corresponding improvement measures. It avoids vague discussions, emphasizes practicality and details, provides references for the high-quality and efficient implementation of housing construction projects, and ensures the effective integration of project quality, safety, progress, and benefits.

Keywords : housing construction projects; construction techniques; on-site management; application highlights; optimization strategies

引言

随着城市化的不断推进, 房屋建筑工程规模日益扩大, 结构形式越来越复杂, 对于施工技术和现场管理的要求也越来越高。房屋建筑工程施工程序多、范围大, 施工技术的应用水平决定了工程质量以及使用功能, 而施工现场管理工作贯穿整个施工过程, 在提高工作效率的同时也能够保证安全及成本的有效控制。目前一些施工单位在实际操作中存在着施工工艺不规范或者管理制度缺失的现象, 这不仅会影响到工程的质量而且还会带来一定的风险隐患。因此有必要进一步探讨如何科学合理地应用好各种类型的施工技术并加强施工现场的管理工作以解决存在的问题从而促进整个建筑业朝着更加优质的方向发展同时也为保障各类建筑物的功能性和安全性提供有力支撑。

一、房屋建筑工程核心施工技术应用探析

(一) 地基与基础工程施工技术应用

地基与基础是房屋建筑的基础, 对整个建筑物的安全性、稳定性起着至关重要的作用, 在所有建筑工程施工中最为一个部分, 应根据具体的工程地质情况进行合理的选型, 不能马虎大意。换填垫层法是一种常用的浅层软弱地基处理方法, 主要是把基础底部的软弱土体挖除后用强度较高、压缩性较低并且性

质较稳定的材料进行替换并分层夯实到规定的密实度要求上, 使地基承载力达到设计的要求, 适用于各种浅层软弱地基以及不均匀地基的加固, 关键是保证所采用的填充料级配良好及压实程度符合规范^[1]。

桩基技术适用于高层建筑以及地质情况较为复杂的房屋建筑工程当中, 分为灌注桩、预制桩两种形式。灌注桩采用机械钻孔或者人工挖孔的方法, 在孔中放入钢筋笼之后浇筑混凝土形成, 对周围环境干扰小, 适合用于各种复杂地层; 而预制桩是在工厂

或者是工地现场进行制作然后用锤击法或者是静压法将其打入土层之中，施工速度较快而且易于保证其质量，但是需要注意避免在打桩过程中产生的振动以及噪声污染问题。不管是使用哪一种桩基方式都需要重视桩位偏差、钢筋笼安装精度以及混凝土浇筑的质量，防止出现断桩、桩身损伤等现象发生。

主体结构施工以模板、钢筋、混凝土为主要组成部分进行，模板工程要保证构件的形状、大小以及位置正确，具有相应的强度、刚度和稳定性，支撑系统要经过计算校核，在施工中不能发生变形或者失稳的情况；钢筋工程要严格按照图纸的设计来进行，控制好所用钢筋材质、加工、焊接及绑扎的质量，特别是接头的位置、数量以及焊接质量，保证钢筋骨架受力情况良好；混凝土工程要严格把关配合比的设计、原材料的质量以及浇筑、振捣、养护的过程，尤其是对大体积混凝土的基础部分要加强温度控制，降低内外部温差避免产生温度裂缝，保证混凝土的强度和耐久性^[2]。

（二）主体结构工程施工技术应用

主体结构是房屋建筑承重骨架，直接影响到建筑物安全等级以及使用寿命，目前主要有混凝土结构、装配式结构和砌体结构三种类型，在施工过程中应注重规范性和针对性。对于混凝土结构施工而言，模板选择要根据具体情况而定，如果是高层建筑可以选择爬升式或者整体提升式脚手架来加快施工进度，同时也要注意拆模顺序应该是先支后拆、后支先拆并且保证混凝土强度满足相关标准才能进行下一步工作以避免出现质量问题。

钢筋工程在主体结构施工中最复杂，包括梁柱节点、悬挑构件等重要部位的钢筋排列，应注意受力钢筋锚固长度、搭接长度以及弯钩形式，保证钢筋骨架的整体性，在抗震设防地区还要加强框架梁柱节点核心区箍筋布置和绑扎质量，满足抗震构造措施。混凝土浇筑要根据构件具体情况采用合理浇筑顺序，对柱子混凝土进行分层分段浇筑，振捣密实，防止烂根的发生；对于梁板混凝土浇筑时应避免出现冷缝，使浇筑的质量均一^[3]。

装配式混凝土结构施工是建筑工业化发展的必然趋势，其关键是构件在工厂内进行加工制作以及运输、吊装等过程。构件的生产要制定统一的标准生产工艺，保证构件尺寸偏差、预留预埋件的位置和强度等级满足设计要求，在运输时做好防护措施避免磕碰造成损坏变形。现场安装要合理选择吊车型号、吊具的设计以及定位方式，利用临时支撑体系保障施工期间主体结构安全稳定，节点部位为易损点位，应严控后浇混凝土质量或者螺栓拧紧力矩来保证整个工程的整体性和抗震性。

砌体结构主要用于多层建筑的隔墙以及围护墙体等，施工中应注意保证砌筑质量及砂浆饱满度。砌筑前应对砖或砌块浇水湿润，防止过早吸水造成砂浆失水过多降低其粘结性能；砌筑砂浆配合比要精确、搅拌均匀，砌筑时应做到上下错缝、内外搭砌，灰缝横平竖直、厚度一致。有构造柱和圈梁的砌体结构应严格按照先砌墙后浇筑的程序进行作业，使构造柱与墙体之间连接牢固可靠，从而构成良好的抗震体系^[4]。

（三）装饰装修工程施工技术应用

装饰装修工程对房屋建筑美观程度以及使用舒适度有较大影响，

在施工过程中要重视实用性和美观性的结合，还要注意施工细节管理。在墙面装饰施工方面，抹灰工艺需要做好基层处理工作，清理掉基层表面的灰尘、杂物等，浇水湿润后分层进行抹灰作业，保证墙面平直光滑无裂纹，防止出现起砂或者空鼓现象；而在墙面铺贴瓷砖时，则需要注意瓷砖的选择、基层找平以及铺贴方法，使瓷砖粘结牢固且缝隙整齐划一，以免后期发生掉落情况^[5]。

地面装饰施工要依据实际用途选用相应工艺，水泥砂浆地面应严格把握好配合比以及密实度，保证地面平整坚固耐用不易产生起砂、裂缝等现象；木地板地面应注意基层防潮工作做好，控制好木地板铺设间隙大小以免后期发生变形翘曲问题。门窗安装工艺应着重注意门窗安装准确性，使门窗垂直水平一致，缝隙均匀整齐，做好密封措施以防出现漏水漏风等情况，还要重视门窗保温隔声效果以提高居室舒适性。

二、房屋建筑工程现场施工管理存在的突出问题

（一）管理体系不健全，责任落实不到位

一些施工单位缺少健全的工地施工管理机制，没有根据工程具体情况而制定相应的管理办法，工作程序杂乱无章，各项管理工作无标准、无规定。职责不清，未把质量、安全、进度等管理工作分解到各个岗位及个人身上，在出现问题后互相推卸责任，不能有效控制整个施工过程。此外，一些管理人员数量不够，技术水平低下，缺乏系统的管理理论知识以及实践经验，很难解决施工中遇到的问题，使得管理工作流于形式，起不到真正的作用。

（二）施工人员专业素养不足，操作不规范

施工人员是进行房屋建筑工程施工的主要操作者，其技术水平以及工作态度都会对施工技术的应用效果及整个工程的质量造成影响。目前一些施工人员主要是农民工，流动性强，很少接受专业的技能培训和安全教育，对于施工技术和安全规定知之甚少，在工作中有违章作业、马虎大意的情况发生。有些技术人员的技术水平不高，对于新技术掌握得不好，不能正确指导工地上的施工，使施工技术应用不当而产生质量问题或者安全事故。

（三）质量管控与安全管理存在漏洞

在质量管理上，一些施工单位缺少健全的质量管理措施，在施工材料以及施工工艺等环节把关不严，进场材料检验只是走过场，忽视对材料质量的控制，部分不符合要求的材料进入工地；工序间交接检查不到位，未执行三检制，前一道工序未经检验合格就进行下一道工序作业，造成质量问题叠加。在安全管理上，缺乏有效的安全管理制度，安全防护设施不足，现场的安全警告标志缺损，危险部位没有采取必要的防范措施；安全教育流于形式，职工的安全观念淡薄，违章作业时时有发生，容易发生事故。

（四）资源管理不合理，浪费现象突出

现场施工资源管理包括材料管理和设备管理等内容，目前一些施工单位对施工资源管理不合理。在材料管理上，缺少科学合

理的采购计划造成材料过多或者不足，堆放杂乱无章，未做到分类、防潮存放，有的材料由于保存不当而损坏，在施工中出现浪费现象；在设备管理上，设备配备不符合工程实际需要，有设备空置也有设备不够用的现象发生，设备检修养护工作不到位，只注重使用忽视保养，造成设备损坏率高，延误工期，加大开支。

三、房屋建筑工程现场施工管理优化策略

（一）完善管理体系，落实管理责任

施工单位要根据房建工程具体情况建立健全施工现场管理制度，有针对性地制定管理措施及操作规程，明确工作程序和工作要求，做到施工全过程的有效控制。合理分配各个岗位职责，把质量管理、安全管理、进度管理和成本控制等工作任务分解到各人头上并实行责任追究制，一旦发生问题就追究相关责任人责任，防止互相推委的现象发生。同时要有足够的专职人员负责此项工作并且对其进行培训提高他们的业务水平以及管理水平以保证工作的顺利进行。

（二）强化人员培训，提升专业素养

加强对于施工人员的安全教育培训，建立健全经常性的安全教育制度，根据不同的工作岗位对相应的施工人员进行相应的培训。对于一线施工人员着重对其进行施工技术标准、安全操作规程等有关内容的学习，提高其操作规范性和安全意识，防止违章作业；对于技术人员着重对其进行新技术新工艺等相关知识的培训，增强其技术水平，使其能正确指导施工现场的工作。同时制定人员考核办法，对施工人员的技术水平以及操作技能进行考核，考核未通过者禁止上岗，保证施工人员的技术水平符合工程需要。

（三）健全质量与安全管控机制，消除隐患

质量控制上，制定严格的质量控制措施，严格执行材料进场检验制度，所有进场材料均需经过仔细检查，不符合要求的材料禁止用于工程之中；做好过程中的工序管理，实行三检制，在前

一道工序检验合格之后才能进行下一工序施工，注重对重要节点、重点部位的质量把关工作，及时找出问题并加以纠正。安全方面，建立健全的安全管理制度，做好各项防护措施，在工地内张贴醒目的安全警告标志，在危险地带设立可靠的防护装置；加强安全教育以及日常的安全巡视，经常性的组织安全隐患大检查活动，迅速排除各种隐患，提高工人自身的安全观念，防止安全事故的发生。

（四）优化资源管理，减少浪费

物资管理上，根据工程进度安排合理的物资采购计划，防止物资过多积压或者不足的情况发生，在合格的供应商中选择稳定的合作伙伴保证物资的质量稳定；合理堆放物资，设立专用仓库区分开存放不同种类及防潮要求高的物资，并做好相应的保护措施以降低损耗率；实行限额领用制度，按施工任务单领取所需物资，控制实际消耗量，节约物资。机械设备管理方面，按照工程项目进展情况以及各分部分项工程施工需要来科学地配备相应数量的机械设备并进行有效的调配利用以减少设备空置时间；建立健全机械维修保养制度定期对其进行检修养护工作及时发现并排除隐患问题保障其良好状态从而延长使用寿命降低成本开支。

四、结论

房屋建筑工程施工技术的应用以及施工现场管理工作是一项复杂的工作，合理地使用施工技术是保证工程质量的基础，在施工中做好现场管理也是提高工程效益、防范施工风险的重要环节。在具体的施工过程中施工单位要根据实际情况选择合适的施工技术和方法，严格进行技术操作程序，不断改进和完善施工现场管理制度，加强员工教育，建立和完善质量及安全管理措施，优化资源配置等使施工技术和施工现场管理有机融合在一起。这样才能更好地提高房建工程项目施工水平和管理水平，确保工程安全可靠、适用美观，促进建筑业健康发展。

参考文献

- [1]王育德.房屋建筑工程施工技术应用与管理策略研究[J].中国住宅设施,2025,(12):219-221.
- [2]陈海燕.房屋建筑工程施工技术及现场施工管理探究[J].中国住宅设施,2025,(07):203-205.
- [3]许宗成.房屋建筑工程施工技术及现场施工管理研究[J].陶瓷,2025,(07):117-119.
- [4]谢晓明.浅谈房屋建筑工程施工现场的技术及管理措施[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(15):88-90.
- [5]宋海鹏.房屋建筑工程施工技术及现场施工管理[J].四川建材,2024,50(07):153-155.

纤维增强高性能混凝土在近代工业遗产砌体结构加固中的应用

吕克

上海川勤建筑工程有限公司, 上海 202151

DOI:10.61369/ETQM.2026060011

摘 要 : 针对砌体结构自重大、延性差及抗震不足等缺陷, 本文以上海某近代工业遗产加固项目为背景, 研究纤维增强高性能混凝土 (FRHPC) 薄层抹面加固技术。引入聚丙烯 (PP)、聚乙烯醇 (PVA) 及微细钢纤维 (MSF) 三类细观纤维, 通过单轴受压试验构建基于多项式与有理分式的分段本构模型, 并结合塑性损伤 (CDP) 模型进行有限元验证与应用分析。对比研究表明: MSF-FRHPC 强度提升效果最好, PVA 与 PP-FRHPC 延性增强显著; 所建模型能精准模拟材料非线性及加固墙体受力特征。相比普通喷射砂浆及无纤维 HPC, FRHPC 薄层加固使砌体墙体峰值荷载提升 28.2%~40.1%, 延性系数超过 2.0, 且施工便捷、不破坏历史风貌。该成果为同类遗产砌体结构的材料选型与工程应用提供了理论依据与技术支持。

关 键 词 : 纤维增强高性能混凝土; 近代工业遗产; 砌体结构加固; 历史风貌保护; 本构模型

Research on the Application of Fiber Reinforced High Performance Concrete in the Reinforcement of Modern Industrial Heritage Masonry Structure

Lv Ke

Shanghai Chuanqin Construction Engineering Co., Ltd., Shanghai 202151

Abstract : In view of the defects of masonry structure, such as self-weight, poor ductility and insufficient earthquake resistance, this paper studies the thin layer plastering reinforcement technology of fiber reinforced high performance concrete (FRHPC) based on the background of a modern industrial heritage reinforcement project in Shanghai. Three kinds of meso-fibers, polypropylene (PP), polyvinyl alcohol (PVA) and micro-steel fiber (MSF), were introduced. The piecewise constitutive model based on polynomial and rational fraction was constructed by uniaxial compression test, and the finite element verification and application analysis were carried out by combining the plastic damage (CDP) model. The comparative study shows that the strength of MSF-FRHPC is the best, and the ductility of PVA and PP-FRHPC is significantly enhanced. The model can accurately simulate the material nonlinearity and the stress characteristics of the reinforced wall. Compared with ordinary shotcrete mortar and fiber-free HPC, FRHPC thin-layer reinforcement increases the peak load of masonry walls by 28.2% ~ 40.1%, the ductility coefficient exceeds 2.0, and the construction is convenient and does not destroy the historical features. The results provide theoretical basis and technical support for material selection and engineering application of similar heritage masonry structures.

Keywords : Fiber-Reinforced High-Performance Concrete (FRHPC); modern industrial heritage; masonry structure reinforcement; historical aesthetic preservation; constitutive model

引言

砌体结构由于其施工便利性、较低的造价和广泛的适用性, 长期以来被广泛应用于城乡建设中, 尤其在住宅、学校及工业厂房等低层和多层建筑中占有重要地位^[1-4]。然而, 传统砌体结构普遍存在自重大、延性差、抗震性能不足等问题, 特别是在地震等极端荷载作用下易发生脆性破坏, 严重影响结构的安全性和耐久性。因此, 研究并发展适用于砌体结构的高效、经济、易施工的加固技术具有重要的理论价值与工程意义^[5-8]。

近年来, 纤维增强高性能混凝土 (Fiber-Reinforced High-Performance Concrete, FRHPC) 因其优异的力学性能、耐久性和良

好的界面结合能力，成为结构加固领域的一种重要材料手段。相比于传统钢筋或钢板加固方法，FRHPC具有更好的适形性和施工适应性^[9-12]，尤其适用于砌体结构的表面抹面加固。但常规钢纤维由于纤维尺寸较大、施工适应性差，不利于均匀分布在薄层加固材料中，难以在砌体墙体抹面中广泛应用^[13-15]。因此，本文引入了更适用于上墙施工的细观纤维材料，包括聚乙烯醇纤维（PVA）、聚丙烯纤维（PP）以及微细钢纤维（MSF），探讨其在高性能混凝土基体中的增强效应及其加固性能。

上海某近代工业遗产加固改造项目为典型砖石砌体结构建筑，清水红砖外立面为其核心历史风貌特征，项目加固既需解决墙体开裂、承载力不足、抗震性能差等突出结构问题，又需满足外立面无破坏性施工的严格历史保护要求，其工程需求与技术约束在近代工业遗产砌体建筑加固中具有典型代表性。

本文以该项目为工程背景，系统开展细观 FRHPC 在近代工业遗产砌体结构加固中的应用研究：通过单轴受压试验探究三类细观纤维对 FRHPC 力学性能的增强效应，构建表征材料非线性力学特性的本构模型；结合塑性损伤（CDP）模型完成数值模拟验证，并将模型应用于项目典型砌体墙体加固模拟，分析不同细观 FRHPC 的加固效果；同时结合项目施工条件与风貌保护要求，提出 FRHPC 工程实施要点。本文旨在通过材料基础研究与工程实践相结合，探讨细观 FRHPC 在该类建筑加固中的适用性与应用效果，为近代工业遗产及同类砌体结构的加固材料选型、数值分析与工程应用提供理论依据和技术支撑。

一、工程背景与加固核心约束

（一）项目概况

上海某近代工业遗产始建于19世纪末，为上海近代工业发展的重要见证，建筑被列为当地优秀历史建筑，兼具工业遗产价值与红色文化价值。建筑主体以砖石砌体结构为主，辅以少量钢筋混凝土梁柱，建筑外立面为清水红砖构造，是近代工业建筑的典型风貌特征；本次改造后建筑功能定位为现代企业办公，需在严格保留历史风貌的前提下，满足现行建筑规范对结构承载力、抗震性能及现代使用功能的要求。

（二）结构现状与加固需求

项目前期通过回弹、钻芯及超声检测对砌体结构进行评估。结果表明，墙体普遍存在竖向、斜向及水平裂缝，局部宽度达0.5 ~ 2.0 mm，削弱整体性与抗震性能；红砖风化、碳化明显，强度下降约30% ~ 40%，砂浆粉化，界面粘结强度不足；原结构承载力偏低，局部存在应力集中与失稳风险；同时缺乏有效抗震构造，延性不足。总体上，结构需提升承载力、延性与整体性，并加强裂缝控制与抗震能力。

在加固过程中，需兼顾历史风貌保护与结构性能提升。清水红砖外立面不得破坏，加固应采用薄层措施并保证材料相容性；加固材料需具备高强、高延性及良好抗裂性能，与原砌体可靠粘结，实现协同受力；施工应采用低扰动工艺，适应现场条件并保

证加固质量。

现采用普通喷射砂浆抹面虽可实现裂缝封闭及初步加固，但对承载力与延性的提升有限，抗裂与耐久性能不足，且难以适应差异化病害需求，在变形协调性方面亦存在不足。相比之下，FRHPC具备更高强度与延性及优良抗裂性能，与砌体相容性更好，可在不改变施工方式的前提下显著提升加固效果，更符合本项目需求。

二、FRHPC材料试验与本构模型构建

（一）试验设计与实施

结合本项目砌体结构的加固需求与核心约束，FRHPC试验设计遵循无粗骨料配比、细观纤维选型、固定体积掺量（0.6%）及界面适配性四大原则。试验选用P-O 42.5级普通硅酸盐水泥、I级粉煤灰、S95级矿粉为胶凝材料，河砂为细骨料，聚羧酸系高效减水剂为外加剂，纤维类型包括PP、PVA、BF、MSF四类，其基本性能参数见表1。以无纤维高性能砂浆（HPC）为基准组，试验配合比见表2，按《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081-2019）^[16]制作100mm×100mm×300mm棱柱体试件，标准养护28d后进行单轴受压试验，加载速率0.5mm/min，同步采集荷载-位移数据并记录破坏形态。

表1 不同纤维的基本性能参数
Table 1 Basic Performance Parameters of Different Fibers

类型	长度（mm）	直径（μm）	抗拉强度（MPa）	弹性模量（GPa）	断裂延伸率（%）	特点
PP	6	31	400-600	4	30	成本低、抗裂效果好
PVA	12	40	1400-1600	36	18	韧性优异、分散性好
MFS	12	15	1500-2000	0.04	3.1	高模量、耐高温、耐碱

注：编号中PP为聚丙烯纤维，PVA为聚乙烯醇纤维，MFS为微细钢纤维。表中数据来源生产厂家。

表2 试验配合比 (kg/m³)
Table 2 Test mix ratio

编号	砂	水泥	粉煤灰	矿粉	水	减水剂	纤维
HPC	1011	432	98	98	168	5.8	0
PP-FRHPC	1011	432	98	98	168	5.8	5.4
PVA-FRHPC	1011	432	98	98	168	5.8	7.8
MSF-FRHPC	1011	432	98	98	168	5.8	15.6

注：编号中前缀表示纤维种类，“HPC”表示高性能混凝土，“FRHPC”表示纤维增强高性能混凝土。

(二) 试验结果分析

1. 破坏形态与力学性能

图1为轴心受压试验试件破坏形态。试验表明，不同纤维类型均有效改善了基准高性能砂浆的脆性破坏行为。无纤维组在达到峰值荷载后呈典型的爆裂状断裂，沿斜裂缝瞬间破坏，表现出明显脆性；而掺纤维试件在出现贯通裂缝后仍能维持整体性，裂缝发展缓慢，部分试件表现出明显的桥联效应，显示出良好的韧性与残余承载能力。不同纤维对峰值应力与应变的提升效果存在差异：微细钢纤维在提高峰值应力方面效果更为显著，而聚丙烯纤维和聚乙烯醇纤维则在提高极限应变、延缓下降段破坏方面表现优越。

力学性能测试结果见表3，与HPC相比，MSF-FRHPC峰值应力提升18.22%，极限应变提升48.27%，强度与延性综合最优；PVA-FRHPC 极限应变提升39.41%，延性改善最为显著；PP-FRHPC成本低廉，强度与延性均有一定提升，适配成本敏感部位。

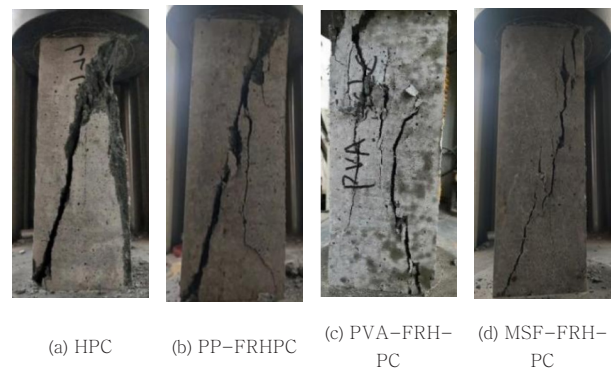


图1 试件破坏形态

Fig 1 Specimen failure form

表3 FRHPC单轴受压试验结果

Table 3 FRHPC uniaxial compression test results

编号	HPC	PP-FRHPC	PVA-FRHPC	MSF-FRHPC
f_{co}/MPa	29.30	31.28	30.36	34.64
$\epsilon_{co}/10^{-3}$	1.52	1.98	2.09	2.27
$\epsilon_{cl}/10^{-3}$	2.03	2.64	2.83	3.01

2. 本构模型构建与验证

对应力-应变曲线进行无量纲化处理^[17] ($x = \frac{\epsilon}{\epsilon_{co}}$, $yy = \frac{\sigma}{f_{co}}$)。为全面表征FRHPC在单轴受压下的非线性应力-应变关系，本

文参考王振宇^[18]等提出的典型混凝土应力-应变全曲线，采用分段式函数构建本构模型：上升段 ($0 < x \leq 1$) 采用五次多项式 $y = A_1x + A_2x^2 + A_3x^3$ ，下降段 ($x > 1$) 采用有理分式 $y = \frac{x}{Bx^2 + Cx + D}$ ，整合可得FRHPC材料应力-应变分段式本构方程：

$$\begin{cases} y = (2+3A)x - (1+4A)x^2 + Ax^5 \\ y = \frac{x}{B(x-1)^2 + x} \end{cases} \quad (1)$$

通过最小二乘法拟合得到A、B参数(表3)，不同纤维种类FRHPC应力-应变曲线见图2。拟合结果显示，所有试件的相关系数R²均大于0.98，理论曲线与试验曲线高度吻合，峰值误差控制在5%以内，模型能准确表征FRHPC的非线性力学行为，可直接用于有限元模拟。

表3 A、B值

Table 3 A、B value

编号	HPC	PP-FRHPC	PVA-FRHPC	MSF-FRHPC
A值	-0.21	0.02	0.05	-0.12
B值	10.28	1.56	2.43	5.36

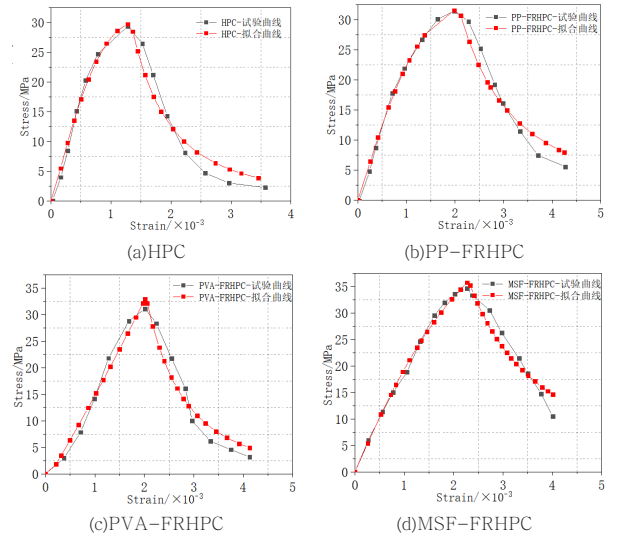


图3 FRHPC应力-应变试验曲线与理论曲线对比

Fig.3 Comparison of FRHPC Stress-Strain Test Curve and Theoretical Curve

三、加固效果有限元模拟

(一) 模型建立

为进一步评估FRHPC在砌体结构加固中的效果，本文基于文献[19]砌体墙拟静力试验研究成果，建立典型单跨单层砌体墙体模型，并在此基础上，分别用喷射砂浆和三种FRHPC对砌体墙进行加固，分析加固前后墙体的损伤演化机制及破坏模式转变规律。墙体尺寸为1500mm×1000mm×230mm，采用实心砖砌筑方式；顶梁尺寸为1800mm×250mm×250mm；底梁尺寸为2000mm×250mm×250mm。墙体两端固定约束，顶部施加轴压比为0.2的竖向恒载，并加载水平位移模拟地震作用下的侧向推覆工况。模型分为未加固组与加固组。加固组在墙体两侧设置FRHPC抹面层，厚度15mm，模拟实际施工中砂浆过渡层或界面剂粘结效果。

FRHPC加固层分别采用三种不同纤维类型（PP、PVA、MSF），纤维体积掺量统一为0.6%，所用材料本构关系与前述实验拟合模型一致。墙体材料采用砌体损伤模型，加固层材料采用前文基于塑性损伤理论构建的FRHPC CDP本构模型。未加固组与加固组砌体墙有限元模型及其网格划分见图4。

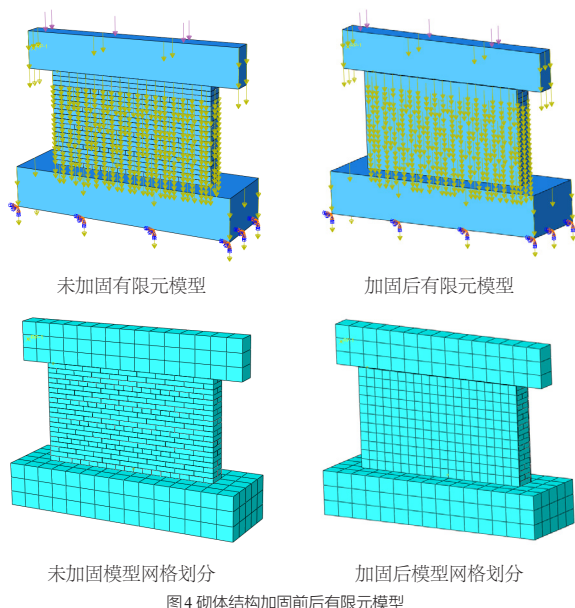


图4 砌体结构加固前后有限元模型

Fig.4 Finite Element Model of Masonry Structure before and after Strengthening

（二）承载力与延性提升

加固前后有限元数值模型破坏形态对比如图5所示。图6展示了加固前后墙体水平荷载-位移曲线。结果表明，FRHPC加固层显著提升了砌体墙体的承载力与初始刚度。其中，MSF-FRHPC组提升幅度最大，峰值荷载提升约42%；PVA纤维次之，PP-FRHPC组因强度贡献有限，刚度提升效果相对较弱但变形能力明显增强。

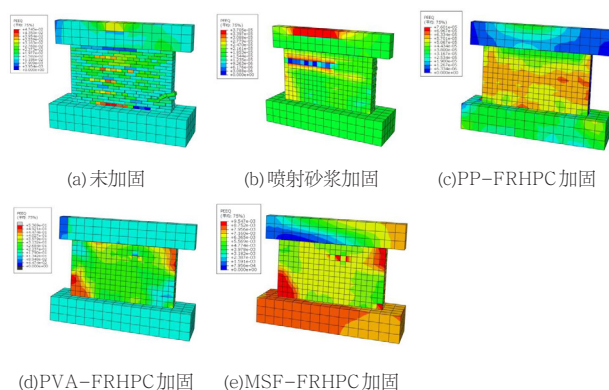


图5 砌体结构加固前后有限元结果分布云图

Fig.5 Finite element results distribution diagram before and after masonry structure reinforcement

与项目现有工艺相比，FRHPC加固在承载力提升、延性改善、裂缝控制、界面耐久性、及风貌保护适配性方面均具有显著优势，且后期维护成本更低。MSF-FRHPC的承载力提升幅度高于现有工艺，PVA-FRHPC的延性与裂缝控制效果更优，二者均采用薄层喷射施工，无破坏性操作，完全契合本项目的历史风貌保护要求。

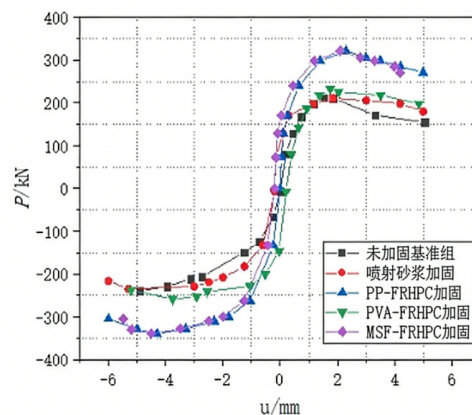


图6 砌体结构加固前后荷载-位移曲线

Fig.6 Load-displacement curves before and after reinforcement of masonry structures

四、结论

本文针对多种细观FRHPC在砌体结构抹面加固中的应用开展了系统研究。通过材料试验、本构模型拟合和有限元模拟，得到以下主要结论：

（1）0.6%体积掺量的PP、PVA、MSF三类FRHPC均能显著改善基准高性能砂浆的力学性能，MSF-FRHPC强度与延性综合最优，PVA-FRHPC延性提升显著，PP-FRHPC成本低廉，可满足不同部位加固需求。

（2）构建的多项式-有理分式分段式本构模型拟合精度高（ $R^2 > 0.98$ ），能准确表征FRHPC的非线性力学行为，结合CDP模型可有效模拟FRHPC加固砌体的受力响应。

（3）FRHPC薄层加固可使砌体墙体峰值荷载提升28.2%~42.1%，延性系数提高至2.0以上，裂缝控制效果显著，加固效果优于现有工艺，且施工适配性好，可在不破坏历史风貌的前提下实现结构性能提升。

（4）提出的施工实施要点与差异化选型方案，为FRHPC在近代工业遗产砌体结构加固中的工程应用提供了实操指导。

参考文献

- [1] 刘桂秋. 砌体结构基本受力性能的研究 [D]. 湖南大学, 2005.
- [2] Arisoy, B., Ercan, E., & Demir, A. (2015). Strengthening of brick masonry with PVA fiber reinforced cement stucco. Construction and Building Materials, 79, 255 - 262.
- [3] 苏三庆, 丰定国, 王清敏. 用钢筋网水泥砂浆抹面加固砖墙的抗震性能试验研究 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 1998, (03): 26-30.

- [4] 邓明科, 樊鑫森, 高晓军, 等. ECC 面层加固受损砖砌体墙抗震性能试验研究 [J]. 工程力学, 2015, 32(04): 120-129.
- [5] 林磊, 叶列平. FRP 加固砖砌体墙的试验研究与分析 [J]. 建筑结构, 2005, (03): 21-27. DOI: 10.19701/j.jzjg.2005.03.006.
- [6] El-Khair, K. H., & Sam, A. R. (2025). Numerical simulation to investigate the performance of existing masonry walls strengthened by ultra high-performance concrete layer. Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture.
- [7] Koutas, L. N., Tetta, Z., Bournas, D. A., & Triantafillou, T. C. (2019). Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars: State-of-the-Art Review. Journal of Composites for Construction.
- [8] Melinda, A. P. & Juliafad, E. (2022). Experimental Study of Masonry Wall Strengthened by Polypropylene Fiber Mortar. Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol., 12(3), 1066 - 1072.
- [9] Melinda, A. P. & Juliafad, E. (2022). Experimental Study of Masonry Wall Strengthened by Polypropylene Fiber Mortar. Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol., 12(3), 1066 - 1072.
- [10] Labaran, Y. H., Atmaca, N., Tan, M. et al. (2024). High-strength fiber-reinforced concrete: assessing the impact of polyvinyl alcohol, glass, and polypropylene fibers on structural integrity and cost efficiency. Discover Civil Engineering, 1, 37.
- [11] 徐世烺, 李贺东. 超高韧性水泥基复合材料研究进展及其工程应用 [J]. 土木工程学报, 2008, (06): 45-60.
- [12] 岳清瑞. 我国碳纤维 (CFRP) 加固修复技术研究应用现状与展望 [J]. 工业建筑, 2000, (10): 23-26.
- [13] 张晓虎, 孟宇, 张炜. 碳纤维增强复合材料技术发展现状及趋势 [J]. 纤维复合材料, 2004, (01): 50-53+58.
- [14] Koutas, L. N., Tetta, Z., Bournas, D. A., & Triantafillou, T. C. (2019). Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars: State-of-the-Art Review. Journal of Composites for Construction.
- [15] Li, L., Xing, F., Xu, Z. et al. (2023). Numerical Analysis of Modified PVA Fiber Rubber Concrete in Frame Beams. Buildings, 13(3), 791.
- [16] GB/T 50081-2019 《混凝土物理力学性能试验方法标准》[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [17] 陆新征, 叶列平, 滕锦光, 等. FRP-混凝土界面粘结滑移本构模型 [J]. 建筑结构学报, 2005, (04): 10-18.
- [18] 过镇海, 张秀琴, 张达成, 等. 混凝土应力-应变全曲线的试验研究 [J]. 建筑结构学报, 1982(1).
- [19] 刘绍卿. UHPC 加固既有砌体结构受剪性能试验研究 [D]. 华北理工大学, 2021.

猫场铝土矿岩石力学特性试验研究与锚杆支护优化分析

刘国斌¹, 杨建凤^{2*}

1. 中国铝业股份有限公司贵州分公司, 贵州 贵阳 550014

2. 贵州省贵阳市清镇市犁倭镇综合治理服务中心, 贵州 贵阳 551406

DOI:10.61369/ETQM.2026060012

摘 要 : 猫场铝土矿作为我国重要的铝土矿资源基地, 其地下开采过程中面临复杂岩体力学特性与采场稳定性问题。通过现场岩体采样、室内岩石力学试验及锚杆支护参数优化研究, 系统分析了铝土矿顶底板岩性、土状铝土矿及致密铝土矿的力学特性, 揭示了采场顶板岩体破坏机理, 并提出了针对性的锚杆支护优化方案。研究表明: 不同岩性岩石的力学参数差异显著, 其中顶板白云岩抗压强度达 160.21 MPa, 而土状铝土矿仅 32.18 MPa; 矿柱破坏以剪切-张拉复合模式为主, 顶板破坏受拉应力主导; 基于高预应力锚杆支护理论, 优化后的支护方案可有效控制围岩变形, 研究结果为猫场铝土矿安全高效开采提供了理论与技术支撑。

关 键 词 : 猫场铝土矿; 岩石力学特性; 破坏机理; 支护参数优化

Experimental Study on Mechanical Characteristics of Bauxite Rock and Optimization Analysis of Bolt Support

Liu Guobin¹, Yang Jianfeng^{2*}

1. China Aluminum Corporation Guizhou Branch, Guiyang, Guizhou 550014

2. Comprehensive Governance Service Center of Liwo Town, Qingzhen City, Guiyang City, Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 551406

Abstract : As an important bauxite resource base in China, Maochang bauxite faces complex rock mechanics characteristics and mining stability issues during its underground mining process. Through on-site rock mass sampling, indoor rock mechanics testing, and optimization research on anchor support parameters, the mechanical characteristics of bauxite roof and floor rock, soil like bauxite, and dense bauxite were systematically analyzed. The mechanism of rock mass failure in the roof of the mining site was revealed, and targeted optimization plans for anchor support were proposed. Research has shown that there are significant differences in the mechanical parameters of rocks of different rock types, with the compressive strength of roof dolomite reaching 160.21 MPa, while that of soil like bauxite is only 32.18 MPa; The main mode of pillar failure is shear tension composite mode, and the roof failure is dominated by tensile stress; Based on the theory of high prestressed anchor rod support, the optimized support scheme can effectively control the deformation of surrounding rock. The research results provide theoretical and technical support for the safe and efficient mining of Maochang bauxite.

Keywords : Maochang bauxite mine; rock mechanics properties; failure mechanism; optimization of support parameters

前言

铝土矿作为我国重要的战略矿产资源, 其安全高效开采对保障工业产业链稳定具有重要意义。贵州猫场铝土矿赋存条件复杂, 岩性类型多样 (如山顶底板白云岩、土状铝土矿、致密铝土矿等), 其采场围岩稳定性直接制约矿山安全生产与资源回采率^[1-2]。然而, 该矿区不同岩性岩体力学特性尚未系统量化, 矿体与围岩的破坏机理亦不明确, 导致现有锚杆支护设计与矿压监测方案缺乏针对性, 存在支护强度冗余或不足的风险。

近年来, 杨强、李夕兵、何满潮、王金华^[3-7]等很多学者针对不同地区铝土矿, 系统研究了不同岩性 (致密状、土状、碎屑状) 的单轴/三轴抗压强度、变形特性及破坏模式, 揭示了铝土矿的动态强度与能量耗散规律。本研究以猫场铝土矿为工程背景, 运用各种分

作者简介: 刘国斌 (1991.11-), 男, 汉族, 贵州贵阳, 采矿中级, 采矿领域。

通讯作者: 杨建凤, 男, 汉族, 本科, 采矿领域

析手段，系统揭示上山顶底板岩性、土状铝土矿及致密铝土矿的力学特性差异，明确其抗压、抗拉、抗剪强度及变形参数（弹性模量、泊松比）的分布规律，建立包含粘聚力与内摩擦角的岩体强度准则^[6]。同时，结合锚杆支护作用机理，提出基于实测力学参数的支护优化方法，并完善矿压监测系统布设方案。研究成果旨在为深部铝土矿安全高效开采提供科学依据，推动复杂岩性矿体力学研究与工程实践的结合。

铝土矿地下开采过程中，采场顶板稳定性与矿柱承载能力是影响安全生产的关键因素。猫场铝土矿赋存条件复杂，矿体直接顶板为粘土岩与铝土岩，间接顶板为白云岩，多岩性组合导致采场围岩力学行为差异显著。现有支护技术难以适应复杂岩体条件，常引发顶板冒落与矿柱失稳。为此，本文结合岩石力学实验、破坏机理分析及锚杆支护优化，系统研究猫场铝土矿多岩性岩石的力学特性及其工程响应，以为采场稳定性控制提供科学依据^[9]。

一、岩石力学特性实验研究

（一）现场岩体取样

为分析猫场铝矿采场岩体破坏岩石力学性质，分别选取铝土矿上山顶底板岩石、土状铝土矿、致密铝土矿进行岩石力学试验，分析了岩石力学性质，粘土岩试样和铝土岩试样的取样地点如表1所示。

表1 铝土矿上山顶底板、土状铝土矿、致密铝土矿岩试验取样地点位置表

岩性	标高	取样地点
铝土矿上山顶底板	1200~1220	ES6# 上山
土状铝土矿岩	1200	ES#6
致密铝土矿岩	1200	ES6#、ES#11、ES#12

（二）标准试验加工

为了准确获取猫场铝土矿岩石的力学参数，试验严格依据《工程岩体试验方法标准》（GB/T 50266 - 1999）、《水利水电工程岩石试验规程》（DL/T 5368 - 2007）、国际岩石力学学会（ISRM）相关试样制备规范，开展系统化静态力学测试。抗压强度和巴西劈裂试验均采用 $\Phi 50\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 标准圆柱体试件，抗剪强度试验则选用 $\Phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 短柱体，保证几何尺寸满足高径比要求，有效减小端部效应。

在试件加工过程中，采用金刚石钻头取芯、端面研磨、平行度校正等工艺，控制直径偏差 $\leq 0.1\text{ mm}$ 、端面不平整度 $\leq 0.02\text{ mm}$ 、轴线偏斜 $\leq 0.25^\circ$ ，有助于保障试样几何精度。每组试验至少制备3个平行试样，消除岩性非均质性带来的离散误差，全面提高数据统计可靠性。所有试样均取自同一岩块或相邻层位，避免风化、节理、矿物成分差异给结果造成干扰（如图1所示）。



图1 岩块制取的标准岩石试件示意图

（三）试验原理

（1）抗压强度压缩试验原理

在开展静力学抗压强度压缩试验时，在试样的准备过程中需要在试样上粘贴轴向和横向电阻应变片，通过应变仪记录岩石在加载过程中的轴向和横向应变，由此计算得到岩石的泊松比。^[10]

（2）巴西劈裂试验原理

巴西劈裂试验通过在圆柱体试样直径两端施加对径集中荷载，诱导试样内部产生均匀拉应力场，当拉应力超过岩石抗拉强度时，试样沿加载直径发生张拉破坏。该方法利用间接方式测定岩石抗拉强度，具有操作简单、受压设备要求低等特征，被广泛应用于脆性岩体拉伸性能评估。^[11]

（3）抗剪强度试验原理

岩石抗剪强度试验测定其在剪切荷载作用下抵抗破坏的能力，目的是建立剪切面上正应力 σ 和峰值剪应力 τ 的函数关系。试验采用直剪或三轴剪切装置，在不同法向应力条件下施加水平剪力，详细记录试样剪断时的应力状态。基于莫尔 - 库仑准则，通过多组试验数据拟合 $\tau - \sigma$ 直线，其斜率即为内摩擦角 ϕ ，截距为凝聚力 C ，二者共同表征岩石抗剪断强度。该参数体系对边坡稳定分析、地下工程支护设计、矿体开采方案优化具有关键指导意义^[12]

（四）实验设备

采用贵州大学实验室 MTS815S 岩石力学伺服实验机和屏显式液压万能试验机通用测控软件对岩石试样进行岩石抗压强度压缩试验、抗剪强度试验。利用贵州省爆破工程技术研究中心的 TAW-2000 微机控制电液伺服岩石三轴试验机和 DH5922D 动静态应变测试分析系统对岩石试样进行岩石抗拉强度试验。

在开展试验时首先给试样以力控施加 0.2KN 的预载荷，待仪器稳定后转换为位移加载，加载速度为 0.12mm/min，持续位移加载直至试样破坏，得到岩样压缩破坏全过程的应力应变曲线，并计算得出其抗压强度。

（五）试验方案

（1）实验步骤

在开展抗压强度压缩试验时首先给试样施加 0.2KN 的预载荷，待仪器稳定后转换为位移加载，加载速度为 0.10mm/min，持续位移加载直至试样破坏。试验结束后，应描述试件的破坏形态。

(2) 实验记录

岩石抗压强度试验记录须系统涵盖工程名称、取样位置、试件编号、岩性、结构特征描述、含水状态（天然或饱和）、受力方向（平行或垂直层理）、实测几何尺寸（直径与高度）、破坏时峰值载荷。上述信息确保试验数据可追溯，为力学参数统计分析提供可靠依据。

(六) 试验结果及分析

在进行抗压强度试验、抗拉强度试验、抗剪试验之后，部分岩体应力-时间曲线如图2所示：

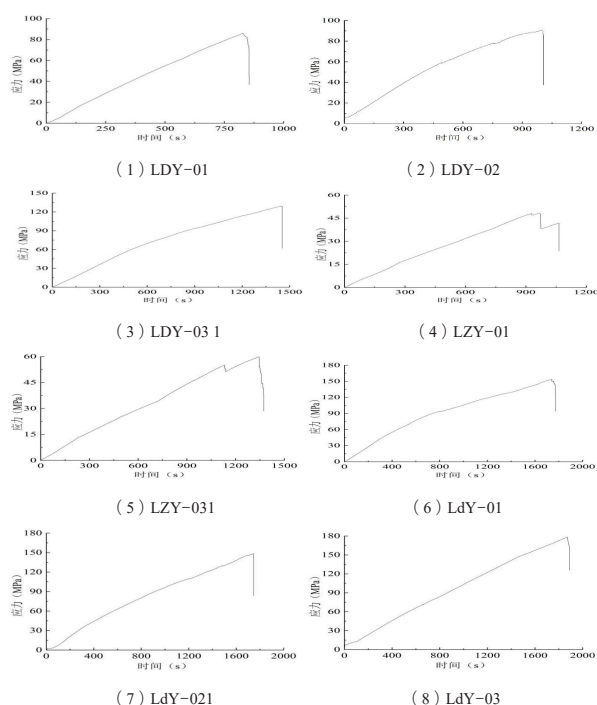


图2 部分岩体应力-时间曲线

根据每组岩样力学参数取平均值，试件的岩石力学试验结果如下表2所示。

表2 岩石力学试验参数表

试件类别	容重 (kg/m ³)	抗压 强度/ MPa	抗拉 强度/ MPa	抗剪 强度/ MPa	粘聚 力/ MPa	内摩 擦角 (°)	弹性 模量/ GPa	泊松 比
上山顶板	2937.79	102.04	5.38	12.48	16.83	34.56	30.45	0.29
致密 铝土 矿	2783.29	54.21	3.22	6.87	9.27	36.41	17.49	0.27
底板 白云 岩	2856.06	160.21	7.85	20.62	27.56	38.39	43.26	0.33
土状 铝土 矿	2859.07	32.18	2.75	发	6.26	39.94	11.05	0.28

通过上表可知：底板白云岩力学性能最优，抗压强度为160.21MPa，弹性模量43.26GPa，适用于高应力环境。致密铝土矿抗压强度54.21MPa，但遇水易崩解，需重视水理作用影响，土状铝土矿强度最低（ $\sigma_c=32.18$ MPa），且含高岭石等吸水矿物，稳定性差。

二、 采场岩体破坏机理研究

猫场铝土矿采场岩体破坏机理受矿柱几何形态、应力状态共同控制，呈现显著的模式分异特征。研究表明，缓倾斜矿柱在单轴压缩条件下主要表现为拉伸-剪切复合破坏，依据宽高比差异演化出三种典型模式：当宽高比较小（通常小于1.0）时，矿柱内部易形成沿对角线贯通的单一剪切带，通常呈现剪切滑移，如图3（a）所示；当矿柱接近等截面且受垂直荷载作用时，端部应力集中诱发径向拉裂，继而引发层状剥落，整体呈对称沙漏状破坏，属于拉伸-剪切耦合机制，见图3（b）；而宽高比较大的矿柱则表现出渐进性失稳特征，剪切带非对称发育，核心区残留呈偏心沙漏形态，破坏过程以多级剪切滑移为主，局部伴随张拉裂隙扩展，如图3（c）所示。上述破坏模式分析矿柱失稳由几何约束向应力重分布演化的内在逻辑，为采场结构参数优化提供力学依据。

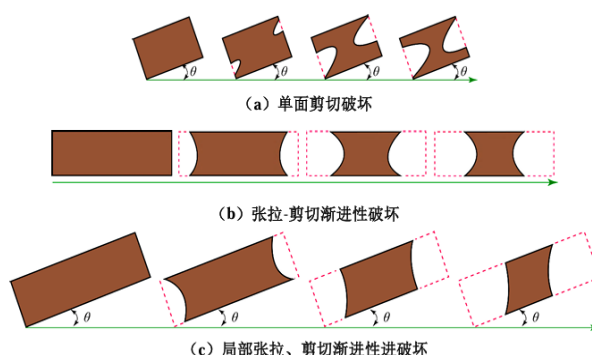


图3 矿柱的破坏模式

(一) 顶板破坏机制

无护顶矿壁时：直接顶板粘土岩与铝土岩因抗拉强度低（ $\sigma_t=2.75\sim3.22$ MPa）易发生离层垮塌，跨度超过3.6 m时失稳风险剧增。

有护顶矿壁时：护顶矿壁承担直接顶板荷载，但厚度不足或遇水崩解时，间接顶板白云岩拉应力（ $\sigma_{max}=22.7$ MPa）超过抗拉强度（7.85 MPa），引发整体垮塌。

（间接顶板白云岩拉应力（ $\sigma_{max}=22.7$ MPa）这个数值如何得到需要交代；抗拉强度（7.85 MPa）应该是5.38MPa）

(二) 水理作用影响

粘土岩与铝土岩含高岭石（15%~20%）、云母（10%~15%）等亲水矿物，耐崩解性试验显示其遇水后强度衰减50%~70%，加速顶板离层与矿柱软化。

三、 锚杆支护优化分析

锚杆支护理论历经多年发展，已经从早期“悬吊作用”单一认知，逐步演进为涵盖结构成拱、围岩力学性能改善的系统性框架。当前主流观点认为，锚杆功能并不是仅被动承载松动岩体，而是通过高预应力主动约束围岩变形，全面提高锚固区整体刚

度。尤其在巷道开挖后即时施加足量预应力，可有效抑制围岩早期离层、扩容，防止损伤累积。研究表明，锚杆支护效果高度依赖于初始安装力是否达到临界阈值，如果低于该值，即便存在预应力，仍然难以阻断围岩劣化进程；只有实现高预应力、强力支护，才能形成稳定锚固体，控制位移差于微小范围。

基于锚杆受力演化特征，其和围岩协同响应可划分为五类典型曲线。曲线1代表低预应力被动支护，几乎无控变能力；曲线5虽然体现高预应力强力支护优势，围岩位移被有效抑制且长期稳定。介于两者之间的曲线2至4虽具一定预应力，但由于并没有达到临界值，围岩早期离层未能遏制，导致后期响应差异较大：曲线2锚杆破断前变形可控，破断后失稳加速；曲线3经历较大变形后趋于稳定，属于延性破坏；曲线4则由于锚固力持续衰减，围岩位移不断加剧，最终失稳。上述分析表明，在猫场铝土矿采场支护设计中，必须采用高预应力锚杆体系，并确保安装力超越临界阈值，方能实现围岩主动控制，避免支护失效引发的工程风险^[13]。

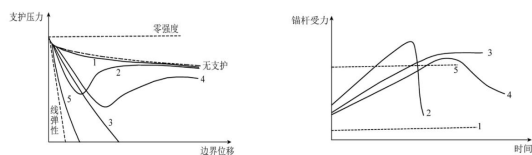


图4 锚杆受力变化曲线(左) 锚杆支护围岩响应曲线(右)

锚杆支护参数设计要以岩体物理力学特性为基础，结合高预应力强力支护理论进行系统优化。猫场铝土矿顶板多为中等强度泥质页岩、铝土质黏土岩，单轴抗压强度位于25~40 MPa，弹性模量相对较低(8~12 GPa)，节理发育，很容易发生离层。依据岩体质量指标RMR及Q系统评估，原支护采用 $\Phi 20$ mm普

通螺纹钢锚杆，长度2.0 m，间排距 $1.2\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ ，预紧力仅为30 kN，属于低预应力被动支护，难以抑制早期变形，导致巷道返修率高。

基于临界支护刚度理论，优化方案将锚杆升级为 $\Phi 22$ mm左旋无纵肋高强螺纹钢锚杆(屈服强度 ≥ 500 MPa)，长度增加为2.4 m，间排距加密到 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ ，配套W型钢带与双抗网，预紧力提高至80 kN以上。在计算过程中，先通过数值模拟反演围岩变形特征，确定控制离层所需最小支护刚度；再依据锚固体等效连续介质模型，结合锚杆-托板-围岩协同作用机制，校核预应力扩散半径是否覆盖潜在破坏区。优化后支护系统刚度提高约为2.3倍，现场监测显示顶板离层量由原18 mm下降到5 mm以内，巷道成巷稳定，验证参数调整的科学性。

四、结论

(1) 不同岩性呈现显著的空间异质性。顶板白云岩抗压强度(160.21 MPa)为土状铝土矿(32.18 MPa)的5倍，其弹性模量(43.26 GPa)与泊松比(0.33)表明其为典型脆性岩体；而土状铝土矿低强度($\sigma_c=32.18$ MPa)与高黏土矿物含量(高岭石 $>15\%$)的耦合作用，导致其具有显著的流变特性与时间依存性。

(2) 顶板稳定性控制要素：直接顶板粘土岩的跨塌受控于“水-力耦合”效应。矿柱破坏以剪切-张拉复合模式为主，顶板稳定性受顶矿壁厚度与水文条件控制。

(3) 基于高预应力锚杆与动态设计法的优化支护方案可有效控制围岩变形，提升采场安全性。

参考文献

- [1] 黄陈霖. 堆石混凝土层间抗剪性能及其破坏机理研究[D]. 西京学院, 2025.
- [2] 王耘梓, 孙宁, 王龙, 等. 地下洞室脆性岩石断裂韧度巴西圆盘力学试验研究[J/OL]. 三峡大学学报(自然科学版), 1-6[2025-04-18].
- [3] 韩涛. 近距离煤层巷道围岩变形规律研究[J]. 自动化应用, 2025, 66(07): 72-75..
- [4] 杨晓飞, 范宏鹏, 金中国, 等. 贵州清镇石牛坝铝土矿(岩)伴生锂的分布特征及其溶出行为[J/OL]. 矿物学报, 1-11[2025-04-18].
- [5] 倪祖甲, 乔江美, 张俊楷, 等. 基于微观岩石力学试验及精确矿物晶体建模的砂岩力学性质及波速分析[J/OL]. 岩土力学, 2025, (06): 1-16[2025-04-18].
- [6] 赵延林, 张敏真, 唐雯钰, 等. 三轴压缩下岩石-砂浆无锚与加锚异性结构面力学特性与强度预测模型[J/OL]. 煤炭学报, 1-17[2025-04-18].
- [7] 郭瑞, 任川, 董亚, 等. 深部高应力破碎巷道变形破坏机理及支护技术研究[J]. 煤矿机械, 2025, 46(04): 46-49.
- [8] 毕智强, 于振亚, 张涛. 深井动压软岩巷道底鼓变形破坏机理与防治技术[J]. 陕西煤炭, 2025, 44(04): 84-88+113.
- [9] 冯琦, 程博, 陈嘉, 等. 高温加热后花岗岩试样的力学特性研究[J/OL]. 有色金属(中英文), 1-10[2025-04-18].
- [10] 高林, 高昌思, 吴延平, 等. 大型铝土矿山综采工作面区段回风巷围岩破坏特征实测研究[J/OL]. 金属矿山, 1-10[2025-04-18].
- [11] 杨梓瑞, 汪道兵, 霍庭旺, 等. 高温高压作用下裂隙性干热岩弹塑性变形与破坏力学规律的实验研究[C]//北京力学会. 北京力学会第三十一届学术年会论文集. 北京石油化工学院机械工程学院, 2025: 541-543.
- [12] 段江飞, 杜超杰, 温浩, 等. 斜井螺纹钢锚杆支护参数及布置方式的优化设计[J]. 矿业研究与开发, 2025, 45(03): 156-163.
- [13] 陈智贤, 陈东. 等截面圆弧无铰拱内力解析解及应力数值分析[J/OL]. 四川轻化工大学学报(自然科学版), 1-9[2025-04-18].
- [14] 王连成, 邵安林, 曲福明, 等. 金属矿山开采技术发展现状与展望[J/OL]. 工程科学学报, 1-13[2025-04-18].
- [15] 张洲, 王思远. 旺岭煤矿回采巷道锚杆支护方案优化研究[J]. 河南科技, 2025, 52(05): 50-55.
- [16] 王健, 田刚, 贾哲, 等. 深部巷道围岩变形规律及支护参数优化模拟研究[J]. 煤炭技术, 2025, 44(02): 45-51.
- [17] 李欣. 掘进巷道锚杆支护优化研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (24): 37-39.

园区化工业固废综合利用管理模式构建

王胡强

新疆东方希望碳素有限公司, 新疆 昌吉 831100

DOI:10.61369/ETQM.2026060013

摘 要： 园区化是推动工业固废综合利用从分散治理向集约化、系统化转变的重要路径。本文围绕园区化工业固废综合利用管理模式的构建问题，从理论基础、管理架构、运行机制、制度保障及实施路径五个层面展开系统研究。研究认为，园区化管理模式的核心在于通过组织架构设计明晰多元主体权责，通过运行机制打通固废从产生到处置的全过程链条，通过制度体系形成稳定的激励与约束，并通过分阶段实施与动态优化保障模式的可持续性。本文旨在为工业园区实现固废资源化利用与环境保护协同发展提供理论支撑与框架参考。

关 键 词： 工业园区；工业固废；综合利用；管理模式；机制构建

Construction of Comprehensive Utilization Management Model for Industrial Solid Waste in Industrial Parks

Wang Huqiang

Xinjiang Dongfang Hope Carbon Co., Ltd., Changji, Xinjiang 831100

Abstract： Industrial park integration serves as a pivotal approach to transform the comprehensive utilization of industrial solid waste from decentralized management to intensive and systematic practices. This study systematically examines the construction of integrated management models for industrial solid waste utilization within industrial parks, covering five key dimensions: theoretical foundations, management frameworks, operational mechanisms, institutional safeguards, and implementation pathways. The research identifies three core components of the park-based management model: organizational structure design to clarify responsibilities among stakeholders, operational mechanisms to establish end-to-end waste management chains from generation to disposal, institutional systems to create sustainable incentive mechanisms, and phased implementation with dynamic optimization to ensure model sustainability. The findings aim to provide theoretical support and framework references for industrial parks to achieve coordinated development between solid waste resource utilization and environmental protection.

Keywords： industrial park; industrial solid waste; comprehensive utilization; management model; mechanism construction

引言

工业固废产生量高，成分复杂，对环境的影响很大。我国把综合利用工业固废当作生态文明创建和循环经济发展的重点方向。传统以企业为单位各自开展治理的办法很难产生规模效益，也难以做到资源的高效循环利用。工业园区是集合众多企业的空间场所，其本身就具有管理集中，要素协作，基础设施可以共享这些天然的优势，这给创建系统的工业固废综合利用管理形式创造了实际的条件。当前，园区大多存在管理权责不明，运行机制受阻，制度支持短缺等情况，急需塑造一种符合园区特点的管理形式。本文关注园区化工业固废综合利用管理形式的创建，依据理论基础，全面规划组织架构，运行机制，制度体系以及执行途径，力求给园区固废治理提供系统的管理架构。

一、理论基础与模式内涵

（一）工业固废综合利用的理论基础

以工业产品全生命周期和全产业链发展的角度来看待工业固

废综合利用产业的布局和发展。把工业固废综合利用产业的发展作为整个工业产业发展不可或缺的重要链条，而不仅仅是一种临时的举措和补充。事实证明没有相应的工业固废的科学有效的处置和利用也制约着产业的发展。全社会对经济发展和工业产业发

展思想理念上有着重大变化。产业生态学理论参考自然生态系统里的共生原理,提倡在产业系统当中形成物质循环和能量梯次利用的网络架构,推动固废在企业之间达成资源化转换。环境规制理论从制度角度阐述了政府干预在固废治理方面的重要性,重视通过政策规划引领企业行为并减小环境风险。这些理论一起形成了园区化工业固废综合利用管理模式的理论基础,为后续的管理体系和机制设计提供了基本依据。

(二) 园区化管理模式的内涵与特征

园区化工业固废综合利用管理模式指的是在工业园区空间范围内,依托统一的管理平台和基础设施,针对园区内各种工业固废执行分类收集,集中处理,梯级利用以及统一监管这样一种系统的管理模式。这种模式的关键内涵就是把固废管理从企业的个体行为转变成园区的集体行为,通过整合资源并开展协同治理来达成规模经济和循环效益。其主要特点表现在三个方面。一方面,空间具有集聚性,园区里的企业地理位置靠近,这就减小了固废运输成本和交易成本;另一方面,管理具备综合性,园区能够形成起统一的固废管理平台,做到信息共享和设施共享;最后,主体比较多元,牵涉政府,园区管理机构,企业以及处置企业等诸多主体,因此要创建协同治理机制。

二、管理架构与主体权责

(一) 园区管理组织架构设计

园区化工业固废综合利用管理模式的运作需依靠科学合理的组织框架。此框架要于园区管委会设立专门的固废综合管理部门,该部门担负统筹规划,政策落实,监督检查等职责,创建起自上而下的管理脉络。在此基础之上,应当塑造以园区固废管理平台为关键节点,这个节点负责汇集企业固废产生信息,并且对接综合利用企业和处理设施,协调物流运输和暂存环节。在园区内部可以设置由重点产废企业,资源化利用企业以及第三方服务机构共同参与的固废管理合作网络,从而形成扁平化的协同组织形式。通过形成“管理部门—平台中枢—企业网络”这样三层组织架构,达成管理指令的有效传递,资源要素的高效调配以及多元主体的有序参与。

(二) 多元主体权责划分与协同机制

在园区化固废管理模式当中,多主体的权责划分对于该模式的有效运行十分关键。园区管委会属于管理责任主体,其承担顶层规划,政策制订,监管执法以及公共服务供应这些职责,要对园区整体固废管理成果负责。固废综合管理部门专门负责日常管理,信息统计,考核评价以及协调处理等工作。产废企业肩负源头减量,分类储存,规范移交以及缴纳有关费用这样的主要责任,应当依照园区的要求真实上报固废信息。综合利用企业和处置企业承担专业处理和资源化转换的运作责任,保证处理过程达到环保标准。各个主体通过合同约定,信息共享平台,定期召开联席会议等机制达成协同合作,做到权责相当并且高效合作。

三、运行机制与关键环节

(一) 固废分类与源头管控机制

园区化管理模式中,固废分类和源头管控属于关键部分。园

区需制定统一的固废分类准则,按照固废的物理化学性质,危险特性和资源化价值将其划分到不同的类别当中,清楚界定各类固废的收集方法,临时存放条件及其去向轨迹。就源头管控而言,园区运作机构要针对企业固废产生的环节展开深入调研,创建涵盖产废企业的名录以及固废产生情况的记录本,促使企业执行清洁生产审查,从生产工艺角度缩减固废生成量并削减有害物质浓度。园区可以采用固废产生申报登记制度,让企业定时提交有关固废种类,数量以及流向的相关资料,从而营造出源头具备追溯性,进程可观察的运作体系。通过精准化分类和预先化的管理手段,为后续的综合运用形成基础。

(二) 资源化利用与产业链耦合机制

园区化运作的目标关键在于资源化利用,要形成企业之间的产业链耦合机制。园区需依托固废物质流向分析来找出可用作二次原料的固废类型,促使产废企业和利用企业创建起稳定的供需联系。园区运作机构可充当信息中枢,搭建固废供需信息平台,减小企业间交易时的信息不对称情况。针对产业链耦合阶段出现的技术难题,园区可举办联合技术钻研或者聘请专业的第三方服务机构,给予技术支撑和解决办法。园区应当倡导塑造“企业小循环—园区中循环—区域大循环”这样的多层级利用体系,使得固废首先在园区内部得到消化,从而形成上下工序相互配合,横向单位共生发展的产业生态网络,以此优化资源整体的利用效率。

(三) 末端处置与环境风险防控机制

工业固废若无法做到资源化利用,则要形成起规范的末端处理及环境风险防控机制。园区应当统筹规划并创建集中式的处理设施,其中涉及一般工业固废填埋场,危险废物焚烧或者填埋设施等,以使末端处理能力同园区产生的废物体量相适应。在环境风险防控层面,园区须要创建起全流程的环境监测系统,针对固废收集,转运,暂存,处理各个阶段展开持续性的监测,着重关注危险废物的流向监管及其环境影响。园区还要制订突发环境事件应急预案,清楚表明在固废泄漏,违规倾倒等情形下应急响应流程及应对办法,并定时开展应急演练。通过巩固末端保障和风险控制,促使园区固废运作处于安全可控的范围内。

四、制度保障与政策支撑

(一) 园区准入与退出制度

园区的准入与退出制度属于保障固废综合利用管理模式有效运作的前提性限制。就准入而言,园区要把固废综合利用的相关要求列入企业入园考量指标体系当中,针对打算入园企业的产废种类,预计产生量以及打算采用的减量化和资源化手段展开审查,优先接纳契合园区循环经济链需求的企业。至于那些存在危险废物产生或者利用情况的企业,园区要严厉审查其处理能力和环保资质。关于退出机制,园区应当明确企业在停止生产,关闭或者迁离的时候有关固废处理的责任与流程,督促企业把遗留的固废按规定处置完毕并通过审核之后,才准予办理退出事宜。通过形成起严格的进出管理体系,可以从根本上减轻园区固废管理方面的系统风险,进而为长久稳定地运行创建起制度根基。

(二) 激励约束与市场调节政策

激励约束和市场调节政策是促使多元主体积极投身固废综合

利用的关键因素。就奖励政策而言，园区可以设立固废综合利用专项资金，对于执行清洁生产，创建资源化利用设施以及开展产业链合作的企业予以补贴或者奖励。园区还可以探寻绿色金融扶持政策，引导金融机构给符合要求的固废综合利用项目发放优惠贷款。至于约束政策，园区要形成固废管理业绩考核机制，把企业固废减量化，资源化指标归入企业的年度评定系统，针对未达标的企采取通知，限制扩产或者加大监管频率等手段。从市场调节来看，园区可以考察塑造固废交易机制，凭借市场化定价推动固废资源流向高效利用者手中，从而创建起政府引领与市场激发相融合的调节局面。

（三）标准体系与监管考核制度

标准体系和监管考核制度是园区固废管理规范化，长效化的基本依靠。标准体系创建上，园区需按照国家和行业标准框架，并联系自身产业特性制订园区级固废管理技术规范，该规范覆盖固废分类，包装标识，贮存场地，移交接洽，综合回收利用产品等环节，塑造起统一且实用的技术准则。监管制度层面，园区要形成“日常巡视+专门考察+在线观察”相融合的监管形式，针对重点产废企业，关键转运阶段以及处理设施执行重点监管，利用物联网，视频观察等技术手段优化非现场监管水平。考核制度方面，园区应当把固废管理工作列入各部门及其工作人员的业绩考核范畴，定时对固废综合利用率，危废规范化管理率等指标展开评定，从而创建起依靠考核推动落实的工作机制。

五、实施路径与持续优化

（一）管理模式实施的阶段划分

园区化工业固废综合利用运作模式的执行需依照分阶段推进的原则。第一阶段属于基础创建阶段，着重达成组织架构的形成，管理制度的制订，信息平台的创建以及基础设施的配套，还要全方位了解园区企业的固废产生状况，并创建基本台账。第二阶段是全面推行阶段，当具备了基础条件之后，要把各项管理制度和运行机制在园区内部全面展开，促使企业被纳入到统一的管理体系当中，做到固废分类收集，规范移交和集中处理的全面覆盖。第三阶段为优化加强阶段，主要针对该模式运行过程中出现的问题开展调整和完善工作，推动产业链耦合朝着深入方向发展，改善资源化利用的水平并增强智能化管理的能力。经过分阶段推进，既能保障管理模式得以有序落实，又能为后续的优化保留余地。

（二）关键支撑平台与信息系统建设

园区化固废管理模式若要高效运行，关键支撑平台与信息系统便是其技术根基所在。园区需搭建起统一的固废管理信息平台，此平台要整合企业固废申报，流向追踪，库存守护以及处置记录等各项功能，从而达到对固废从产生直至最终处置整个过程的数字化监管。该平台应当设有企业和管理两个端口，企业端方便企业填写数据，查阅政策并提交申请；管理端则承担数据审核，统计分析，异常提示和考核评定的任务。就物理支撑平台而言，园区要统一规划并创建固废集中暂存场地，转运站点以及预处理设备之类的公共设施，以此来削减中小企业开展固废管理所需的设施成本。园区还可以聘请第三方专业服务机构，由其向园区供应固废检测，技术支持，管理维护等方面的专门服务，进而塑造起线上线下相融合的支撑体系。

（三）动态评估与持续改进机制

动态评定与持续改善机制对于保障运作模式长久有效，不断更新十分关键。园区要形成起常态化的评定工作机制，定时针对固废综合利用效率，环境风险控制水平，企业参与度，制度执行状况等方面展开综合评定。评定指标的设定需兼顾过程指标和结果指标，既要重视固废产生强度，综合利用率，安全处置率等量化成果，也要看重制度执行率，企业满意度等过程表现。评定结果应尽快传达给园区运作机构及相关企业，成为调整运作策略，改善运行机制，修正政策制度的主要依照。园区需创建管理模式的持续提升机制，定时举办专家咨询，企业座谈以及同行交流活动，吸纳先进经验，促使该模式朝着更高效率，更为精准，愈加智能的方向发展。

六、结语

园区化工业固废综合利用管理模式的塑造，对于做到工业固废治理体系现代化有着重要意义。本文从理论基础出发，系统阐述了管理模式的内涵特征，围绕组织架构、运行机制、制度保障及实施路径搭建了完整的管理框架。研究表明，有效的园区化管理形式需以明晰的权力责任划分作基础，以分类监管，资源结合和风险防范为关键点，以准入退出，奖励惩罚和标准评定为保障措施，并且通过借助分步推进并随时考量来做到不断提升。园区属于产业集聚与生态保护相协调的关键部分，应当在实际操作过程中持续考察适合自己的管理方式，推动工业固废综合利用迈向更高层级，为区域绿色低碳发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 杜洪彪, 梁扬扬, 李金惠, 等. 工业园区固体废物协同利用技术评价方法: 以包头铝业园区为例 [J]. 环境科学研究, 2024, 37(01): 140-150.
- [2] 方永来. 工业固体废物综合利用对策研究 [J]. 节能与环保, 2023, (04): 56-58.
- [3] 邓加曦, 李文乐. 我国工业固废综合利用产业发展现状及建议 [J]. 资源节约与环保, 2021, (09): 139-140.
- [4] 韩峰. 生态工业园区工业代谢及共生网络结构解析 [D]. 山东大学, 2017.
- [5] 王磊. 我国工业固废综合利用的现状与进展 [J]. 资源节约与环保, 2017, (02): 16-17.

超高层综合体基坑围护及栈桥板施工技术与管理研究

姜勇

上海隆科兴非开挖工程有限公司, 上海 200126

DOI:10.61369/ETQM.2026060015

摘 要 : 文章以杭州某超高层城市综合体深基坑工程为实践对象,从超深、大体积基坑围护及栈桥板施工技术及管理创新入手进行研究。研究重点放在邻近地铁的复合围护结构施工、多道支撑与栈桥一体化协同、承压水综合治理这些核心问题上,创建起“刚性挡墙+严密止水+分区限时+实时反馈”的变形控制体系以及“疏干—减压—回灌—应急”的地下水协同控制模式。从施工管理角度出发,首次提出多类围护结构接驳节点质量控制、支撑和栈桥精度进度同步、钢栈桥动态荷载控制等管理手段。项目实践证明技术及管理措施是有效的,给同类型超高层综合体深基坑工程提供了一个可以复制的技术管理范式。

关 键 词 : 超高层综合体; 基坑围护; 栈桥板施工; 技术与管理

Research on Construction Technology and Management of Foundation Pit Enclosure and Trestle Slab for Super High-rise Complex

Jiang Yong

Shanghai Longkexing Trenchless Engineering Co., Ltd., Shanghai 200126

Abstract : This paper takes the deep foundation pit project of a super high-rise urban complex in Hangzhou as a practical case, conducting research from the perspective of construction technology and management innovation for ultra-deep, large-volume foundation pit enclosures and trestle slabs. The study focuses on core issues such as the construction of composite enclosure structures adjacent to subways, the integrated coordination of multiple supports and trestles, and the comprehensive management of confined water. It establishes a deformation control system characterized by "rigid retaining walls + tight waterproofing + zoned time limits + real-time feedback," as well as a coordinated groundwater control model featuring "drainage—decompression—recharge—emergency response." From the perspective of construction management, this paper proposes, for the first time, management methods such as quality control for connection nodes of various enclosure structures, synchronized precision and progress of supports and trestles, and dynamic load control for steel trestles. Project practice has demonstrated the effectiveness of these technical and management measures, providing a replicable technical management paradigm for deep foundation pit projects of similar super high-rise complexes.

Keywords : super high-rise complex; foundation pit enclosure; trestle slab construction; technology and management

引言

随着城市化的推进,超高层综合体向地下空间发展是不可避免的,但是深基坑工程所遇到的技术难题也越来越明显。尤其在城市核心区,基坑施工常常要临近已有的地铁隧道、密集的市政管线以及老旧建筑,对于变形控制、地下水治理以及施工组织都提出了很高的要求。

一、超高层综合体基坑特点及周边环境分析

超高层综合体基坑技术复杂、施工难度大,主要表现在三个方面。开挖深度大,一般20米以上、30米以上甚至更大,要承受较大的土压力、水压力,对围护结构的承载能力和稳定性要求高。二是基坑规模大,平面形状大多为不规则多边形,支护体系

跨度大,受力复杂,整体协同受力要求严格。三是施工周期长,需要土方开挖、支护施工、栈桥板搭建等多道工序,容易受到地质条件和环境因素的影响。

从周边环境来讲,超高层综合体大多选在城市中心地段,周边环境十分繁杂。一方面由于临近已有建(构)筑物密集,部分建筑物年代久远,基础形式复杂多样,基坑施工所造成的变形很

容易引起周围建筑沉降、开裂等危险。另外周边市政管线众多，有给排水、燃气、电力、通信等各种管线，对基坑施工的位移控制精度要求很高。另外，核心区域交通流量大，施工场地受空间限制，施工效率和周边交通疏导、环境降噪等要求都要考虑进去，施工难度和安全风险都增大了。

二、项目概况

杭州超高层城市综合体工程为四层地下室。基坑面积137550 m²，普遍开挖深度14.0 ~ 14.9m，局部坑中坑最大深度达21.4m，安全等级一级。基坑分A1、A2、B1、B2四个区进行顺作施工，支护体系为地下连续墙、钻孔灌注桩加TRD或三轴搅拌桩止水帷幕，设三道钢筋混凝土内支撑。为了保证土方和材料的运输，在基坑内设大跨度钢栈桥。工程紧挨着运营的地铁7号线，因此对于变形控制和施工组织的要求非常高。

三、基坑围护与栈桥板施工技术

（一）邻近运营地铁的复合式围护结构施工技术

在靠近运营地铁隧道的超深基坑工程中，为了达到高挡土刚度和严密止水的目的，常常采用地下连续墙、TRD等厚度水泥土搅拌墙和钻孔灌注桩组成的复合围护结构。地下连续墙是主要受力结构，深度要穿过承压含水层，墙体厚度一般不小于800mm，成槽垂直度 $\leq 1/300$ 。TRD工法墙适合狭长区域，用三循环成墙工艺形成连续等厚的水泥土墙，深度可达20m以上，水泥掺量不小于25%，能有效地阻隔地下水渗流路径。钻孔灌注桩排桩用在非敏感区，与三轴搅拌桩止水帷幕配合使用。施工时一般采用跳打、跳槽顺序来减小群桩效应造成的附加变形。围护桩与止水帷幕之间留有空隙，用压密注浆填满，使整个防渗封闭，保证基坑变形在地铁保护范围内。

（二）超深基坑多道混凝土内支撑体系施工与换撑技术

对于开挖深度大于14m的超深基坑，一般会设置两到三道钢筋混凝土水平内支撑来控制围护结构变形。支撑体系按分层开挖、限时支撑的原则进行，每层土方开挖完毕后立即组织支撑梁、围檩模板安装、钢筋绑扎和混凝土浇筑，在规定时间内形成闭合受力体系。支撑构件尺寸按受力要求来定，混凝土强度等级不小于C30。换撑阶段，地下室结构楼板达到设计强度后，用预埋传力钢板、型钢牛腿或者混凝土传力带把支撑反力平稳转移到主体结构上，然后用静力切割的方式分段拆除内支撑。该技术可以很好地防止支撑拆除时围护体系的突然受力变化，保证深基坑后期施工的安全性、稳定性。

（三）大跨度重型钢栈桥的安装与使用维护技术

为了满足超深基坑内大量土方外运和材料吊运的需要，一般设置大跨度重型钢栈桥作临时运输通道。栈桥主结构大多使用H型钢梁（H244×252×11×11），上铺6mm厚防滑花纹钢板，单跨长度可达几十米，设计荷载要考虑到土车辆荷载（一般取35kPa）。安装时用大型履带吊或塔吊进行分段吊装，栈桥梁端和

下部格构柱顶用焊接或者高强螺栓可靠连接，保证整体稳定。施工时对栈桥坡度、平整度和节点连接质量进行严格的控制。使用时严禁在栈桥及其周围15m范围内超载堆放土方，定期对结构变形、焊缝情况、支座沉降进行检查。雨季加强排水工作，防止积水腐蚀钢结构，保证栈桥在基坑施工期间的安全使用。

（四）承压水控制与坑内外协同降水施工技术

对于存在深厚承压含水层的场地，超深基坑开挖容易造成坑底突涌，必须进行系统的降水控制。一般采用“坑内疏干、重点减压、坑外应急回灌”三者结合的方式。在坑内设置自流深井疏干浅层潜水。在深坑周边设置深井（井管用DN273壁厚12mm钢管），针对主要承压层的承压水头进行降低。在坑外靠近敏感建筑物或者管线的地方设置兼作回灌井的观测井，构成水位调控网络。降水提前10 ~ 14天开始，成井采用正循环钻进，滤管外加多层滤网，洗井用活塞和空压机联合工艺。施工全过程动态监测水位变化，根据抗突涌验算结果（安全系数 ≥ 1.10 ）及时调节各井抽水量，在保证基坑稳定的基础上，尽可能减小对周围环境水位的影响。

四、施工管理

（一）TRD等厚度水泥土搅拌墙与地下连续墙接驳节点的质量控制管理

TRD墙和地下连续墙的接驳节点是止水体系的关键薄弱环节，质量好坏直接影响到基坑整体防渗的效果。施工前应准确放样，保证TRD墙体中心线与地连墙外缘预留搭接宽度。TRD施工到转角或者与地连墙交接处的时候，采用拔箱后退、复打搭接的方式，在末端区域延长成墙长度并重复搅拌，保证水泥土充分咬合。地连墙导墙施工时应预埋定位钢板或者设置导向架，控制成槽位置偏差 $\leq 20\text{mm}$ ，防止与TRD墙体错位。接驳区域不得有施工冷缝，TRD成墙后48小时之内必须开挖相邻地连墙槽段，防止土体扰动。施工期间安排专人全程旁站，对TRD垂直度（ $\leq 1/250$ ）、水泥浆液比重、提升速度、地连墙成槽垂直度进行重点控制，保证两类工法在空间上无缝对接、力学上相互配合、防渗上连续封闭。

（二）钻孔灌注桩围护与止水帷幕同步施工的工序衔接管理

钻孔灌注桩排桩和三轴水泥土搅拌桩止水帷幕一般采用“桩—墙—注浆”一体化施工方式，工序衔接好坏直接关系到支护的整体性和工期。管理上采用分区流水、跳打同步的办法。先做外围三轴搅拌桩止水帷幕，形成封闭隔水圈。然后采用跳3打1法进行钻孔灌注桩施工，防止邻桩施工时扰动未凝固的水泥土。围护桩和止水帷幕之间的间隙一般为300 ~ 500mm，及时用压密注浆填充，注浆应在围护桩混凝土初凝后、终凝前完成，保证浆液能有效渗透。施工计划要与两种设备作业面相吻合，防止互相干扰。召开工序协调会，及时对桩机、搅拌桩机的行进路线进行调整。利用BIM模型对施工顺序进行预演，提前发现冲突点，使支护体系整体刚度和止水可靠地完成。

（三）多道钢筋混凝土支撑与钢栈桥一体化施工的精度与进度协同管理

钢筋混凝土支撑和钢栈桥在空间上交叉共存，要统筹结构受

力、施工通行和吊装作业，实行一体化协同管理。首先，在支撑设计阶段就将栈桥立柱的位置进行整合，把栈桥格构柱兼作支撑立柱，减少地下障碍。施工时用支撑先行、栈桥嵌入的原则。第一道支撑（压顶梁）和栈桥主梁同时施工，用支撑梁做为栈桥端部的支座。后续支撑围檩标高应避开栈桥下弦，留有足够的净空。精度控制上用全站仪对支撑轴线、栈桥支座预埋件做三维坐标复核，偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 之内。进度上将支撑混凝土浇筑、养护周期和栈桥板吊装计划结合起来编制，保证支撑达到80%设计强度后再允许重型车辆通行。采用周滚动计划和日作业令制度，使模板、钢筋、混凝土、钢结构吊装班组之间无缝对接，保证深基坑内支撑受力安全和运输通道畅通两个目标的实现。

（四）钢栈桥板在超深基坑环境下的吊装定位、焊接及荷载动态管控

钢栈桥板在超深基坑内吊装遇到空间受限、风荷载影响大、定位精度要求高等难题。吊装前对格构柱顶预埋件标高、平整度进行复测，偏差超过规定值时用楔形钢板调平。使用履带吊或者塔吊分块吊装，每块板就位后立即用临时螺栓固定，然后进行周边满焊，焊缝质量按二级标准验收。焊接作业应避免在大风、雨天进行，以免高空坠落及焊接缺陷。荷载管理上确定栈桥的设计活载一般不大于 35kPa ，不得超载堆土或者集中停放重型机械。在栈桥关键跨处设沉降观测点，每周做一次挠度观测。建立使用、检查、限载的动态机制，出土高峰期安排专人疏导交通，雨

后检查排水沟是否畅通，发现异常变形立即限载并组织评估，保证栈桥在整个基坑施工周期内安全使用。

五、项目难点及对策

（一）超深基坑与邻近地铁隧道的变形协同控制

本工程基坑普遍深度为 14.9m ，局部深坑达到 21.4m ，西北侧紧邻已经运营的杭州地铁7号线兴议站和区间隧道，围护结构距离车站主体最近处只有 11.4m 。超深开挖引起的土体卸荷很容易造成围护体系向坑内位移，进而引起地铁隧道沉降或者水平变形，危及运营安全，变形控制标准十分严格。

就这个问题而言，项目采取了刚性挡墙加严密止水、分区限时、实时反馈的综合措施。在地铁影响区（A1、A2区）采用 800mm 厚地下连续墙加TRD等厚度水泥搅拌墙的复合围护体系，给挡土提供高刚度和全封闭止水。严格实行先A区后B区施工顺序，A区先完成至-1F顶板形成水平支撑，再开挖B区，减小地铁侧土体连续扰动。土方开挖按照分层、分块、对称、平衡的原则进行，每层开挖后24小时之内完成支撑闭合。同步布置自动化监测点，对地铁隧道位移、围护桩顶水平位移、支撑轴力等实施高频采集，数据实时上传预警平台，当接近预警值时立即启动应急预案（坑外回灌、坑内堆载反压），从而达到变形全过程精准控制的目的。

表1 自动化监测关键指标数据统计表

监测项目	控制允许值	预警阈值	实际监测最大值
地铁隧道竖向沉降	$\leq 10\text{mm}$	8mm	6.2mm
地铁隧道水平位移	$\leq 8\text{mm}$	6.4mm	4.8mm
围护桩顶水平位移（地铁影响区）	$\leq 30\text{mm}$	24mm	18.5mm
核心区支撑轴力	$\leq 5000\text{kN}$	4000kN	3520kN

（二）复杂地质条件下的地下水综合治理

项目场地有深厚承压含水层，初始承压水头埋深约为 5.4m 。基坑最大开挖深度达到 21.4m ，远远小于承压含水层顶板，造成坑底上覆土压力不足，存在严重的突涌风险。同时东侧临近住宅小区，过度降水容易造成周边地表沉降，地下水控制既要保证基坑稳定又要保护环境，技术难度大。

项目采取“疏干、减压、回灌、应急”四个环节相配合的协同降水方案。坑内布置81口自流深井疏干浅层潜水，保证开挖面干燥，在主楼深坑周围设置16口深达 -45.7m 的承压水降水井，通过抗突涌验算确定各个区域所需要的降深，准确控制水位。坑外东侧布置13口兼做回灌井的观测井，北、南、西各设15口应急井，构成内外联动水位调节网络。降水提前14天开始，用GPS-10钻机成井，滤管外包多层滤网，活塞空压机联合洗井，出水含砂率 $\leq 1/1000$ 。施工全过程对坑内外水位进行动态监测，根据实时数据自动调节各个井的抽水量，在保证基坑抗突涌安全系数大于等于1.10的前提下，使周边水位降深控制在允许范围内，有效地保护了周围建构筑物。

（三）大跨度重型钢栈桥在超深基坑环境下的结构稳定

本工程基坑面积大、深达 14m 以上，要设大跨度重型钢栈桥

为运输主干道。栈桥板单跨长、荷载大，长期在深基坑高湿、高荷载、频繁通行的环境下工作。支座沉降、结构疲劳、焊接节点开裂、整体失稳风险大，在支撑拆除、暴雨积水等情况下安全控制难度大。

项目在设计、安装和运维的全过程里，对栈桥做了安全措施的强化工作。设计阶段把栈桥格构柱与支撑立柱统一起来，从而提升整体的稳定情况。明确栈桥区域不得有 15m 范围内堆载，设置 $200\times 300\text{mm}$ 挡水墙防止雨水倒灌。安装时用全站仪定位支座，偏差 $\leq 10\text{mm}$ ，焊缝按二级标准100%检查。使用阶段创建起“专人巡查、定时检测、动态限载”的机制。每天安排专人对栈桥挠度、焊缝、支座、排水情况进行检查。出土高峰期限制车速、间距，雨后立即排水。在重要的跨中布置沉降观测点，数据异常时立即限载，并进行结构的评定。另外，在支撑拆除期间停止了栈桥的使用，待换撑完毕、结构稳定后才恢复通行，保证整个22万方土方开挖和主体施工期间栈桥的安全可靠运行。

六、经验总结

在参与杭州某超高层综合体基坑工程施工管理的过程中，对

复杂深基坑的控制有了更深的认识。复杂环境下工程推进不是单个技术叠加，而应该使每一个方案都能立足现场实际情况。地质勘察的细微数据、周边敏感设施的安全阈值，都是技术选型的重要依据，只有经过反复论证优化，才能使措施真正适应工况、规避风险。高效的施工需要“柔性协同”，静态的计划不能适应现场的变化，只有通过数字化工具梳理工序逻辑，用实时监测的数据动态调节参数，才能使精度和进度形成良性互动，避免各个环节之间的脱节内耗。安全管控的核心就是把风险想在前面、落在实处，对高危环节的专项防控不能停留在表面，全流程的隐患闭环管理才是底线，只有这样才能够守住工程安全的生命线。

七、结束语

超高层综合体深基坑工程是城市地下空间开发的典型代表，它的施工同项目的成败息息相关，而且还会牵涉到城市基础设施的安全以及公共利益。本项目实践表明，在复杂的城市环境里，单靠一种技术手段很难应对各种风险，必须创建起包含设计改良、施工监管、监测回馈以及应急反应的全部链条管理架构。由于BIM、物联网、智能监测等技术的大量使用，深基坑施工越来越精确、越来越智能、越来越安全。

参考文献

-
- [1]凌志，徐展，郑爱荣，等. 施工流程对深基坑支撑体系中栈桥板应力的影响研究 [J].天津城建大学学报,2025,31(04):251-261.
- [2]金和卯，王卫，周裕桂，等. 超20m深基坑换撑设计与拆换撑施工技术 [J].施工技术(中英文),2025,54(16):73-78.
- [3]薛云龙，冷正华，宋理志，等.轻量化可周转式钢栈桥施工技术在深基坑工程中的应用 [C]//《施工技术（中英文）》杂志社，亚太建设科技信息研究院有限公司.2025年全国工程建设行业施工技术交流会论文集（中册）.中建三局集团有限公司,2025:274-277.
- [4]谢晓波，郭子琦，李靓，等. 联合结构深基坑开挖施工技术 [J].科技创新与应用,2024,14(33):161-164.
- [5]王连铎. 装配式钢栈桥板在基坑工程中的应用 [J].建筑技术,2024,55(11):1390-1394.

燃煤机组智能化系统的设计与实现

刘德明, 杨占海, 薄庆瑶

国家电投集团内蒙古能源有限公司, 内蒙古 通辽 028000

DOI:10.61369/ETQM.2026060016

摘 要 : 为满足燃煤机组安全、经济、高效运行需求, 本文聚焦燃煤机组智能化系统的设计与实现开展研究。通过需求分析明确系统业务、功能及非功能性要求, 其中业务需求覆盖燃料管理、燃烧发电等全流程, 功能需求聚焦五大核心模块, 非功能性需求强调实时性、可靠性等工业级标准; 进而设计“感知-数据-平台-应用-安全”五层总体架构与“控制网-数据网-管理网”三层网络架构, 构建“感知-分析-决策-执行”智能闭环。系统核心功能模块包含智能监控与预警中心、智能燃烧优化、汽轮机及热力系统优化、设备预测性维护、运行辅助决策五大模块, 分别采用LSTM、改进多目标粒子群算法等技术, 实现异常预警、燃烧参数动态优化、热力损失降低、运维模式转型及场景化决策支持。在系统实现阶段, 基于边缘-云端协同架构选型工业级软硬件, 通过标准化接口与服务总线完成跨系统集成, 并建立三级测试体系验证。

关 键 词 : 燃煤机组; 智能化系统; 架构设计; 预测性维护

Design and Implementation of Intelligent System for Coal-fired Units

Liu Deming, Yang Zhanhai, Bo Qingyao

State Power Investment Corporation Limited Inner Mongolia Energy Co., Ltd., Tongliao, Inner Mongolia 028000

Abstract : To meet the requirements for the safe, economic, and efficient operation of coal-fired units, this paper focuses on the design and implementation of an intelligent system for coal-fired units. Through requirement analysis, the system's business, functional, and non-functional requirements are clarified. Business requirements cover the entire process, including fuel management and combustion power generation, while functional requirements focus on five core modules. Non-functional requirements emphasize industrial-grade standards such as real-time performance and reliability. Subsequently, a five-tier overall architecture of "perception-data-platform-application-security" and a three-tier network architecture of "control network-data network-management network" are designed to construct an intelligent closed loop of "perception-analysis-decision-execution". The core functional modules of the system include an intelligent monitoring and early warning center, intelligent combustion optimization, turbine and thermal system optimization, equipment predictive maintenance, and operational decision support. These modules employ technologies such as LSTM and improved multi-objective particle swarm optimization algorithms to achieve abnormal early warning, dynamic optimization of combustion parameters, reduction of thermal losses, transformation of operation and maintenance modes, and scenario-based decision support. During the system implementation phase, industrial-grade hardware and software are selected based on an edge-cloud collaborative architecture. Cross-system integration is accomplished through standardized interfaces and service buses, and a three-level testing system is established for verification.

Keywords : coal-fired unit; intelligent system; architecture design; predictive maintenance

引言

当前传统燃煤机组运行模式普遍存在依赖人工经验、调控响应滞后、运维效率偏低等问题, 这些问题不仅制约燃煤机组经济性提升, 也难以满足当前电力系统对灵活性、低碳性的更高要求。随着工业互联网、人工智能(AI)、数字孪生等技术的快速发展, 为燃煤机组从“经验驱动”向“数据驱动”的智能化转型提供了技术支撑。通过构建覆盖机组全流程的感知网络, 融合多源数据建立智能决策模型, 可实现燃烧优化、设备运维、热力调控等核心环节的精准化、自动化管理, 成为解决传统运行痛点的关键路径。基于此, 本文开展智能化系统的设计与实现研究, 旨在为燃煤机组智能化升级提供可落地的技术方案, 助力其在保障能源安全的同时, 实现经济性与环保性的协同提升。

一、燃煤机组智能化系统需求分析与总体设计

（一）系统业务需求分析

燃煤机组的核心业务围绕“燃料转化为电能”的全流程展开，涵盖燃料管理、燃烧发电、汽水循环、设备运维、调度响应等关键环节。燃料管理涉及煤矿协调、全厂生产调度、入厂接卸、计量管理、采制样及化验、煤场烧旧存新、合理掺烧、合同计划与结算等相关工作，其管理水平直接影响到电厂盈利能力和发展^[1]。在燃料管理环节，利用在线分析实时监测煤质，联动燃烧系统与配煤方案，从源头保障燃烧稳定。在发电核心环节，构建智能模型自动优化风煤配比，实现高效低排的动态平衡。同时建立热力循环模型，动态调控汽水参数以降低热耗^[2]。在运维上，依托实时监测与寿命预测，将传统“定期检修”升级为精准的“状态修”。整合负荷、设备、煤质等数据，自动生成最优运行方案，实现机组安全、经济、高效的智能响应与决策。

（二）系统功能需求分析

基于业务需求，系统需实现五大核心功能模块。智能监控与全景感知模块实时采集全厂数据，通过3D建模与机器学习实现异常工况的提前预警与溯源^[3]。智能燃烧优化模块利用红外测温与煤质分析，以算法自动调控关键参数，实现锅炉效率与排放的最优平衡。汽轮机与热力系统优化模块通过仿真模型动态调整蒸汽参数与凝汽器真空，有效降低机组热耗。智能设备预测性维护模块对关键辅机进行健康度评估与寿命预测，自动生成精准的维护计划^[4]。智能运行辅助决策模块则整合多源信息，针对不同运行场景生成并量化对比优化方案，辅助人员做出最佳决策，最终指令自动下发执行。

（三）系统非功能性需求分析

为保障系统在工业环境下的稳定运行，需在实时性、可靠性、安全性、可扩展性与易用性上满足严苛要求。系统需实现毫秒级的数据采集与指令响应，确保全年99.9%的高可用率，并通过冗余设计保障故障快速切换^[5]。同时必须构建网络隔离、数据加密和权限审计的多层安全防护体系，架构上应支持设备与算法的灵活扩展，以适应未来发展。此外，界面设计需贴合行业操作习惯，提供模拟训练，确保用户能快速上手，打造一个响应迅速、稳定可靠、安全可控且易于使用和运维的智能化平台。

（四）系统总体架构设计

系统采用“感知-数据-平台-应用-安全”五层架构，实现数据贯通与模块化集成，支撑“感知-分析-决策-执行”的智能闭环^[6]。感知层通过各类传感器与边缘网关采集数据；数据层利用多种数据库实现全量数据的存储与管理；平台层提供算法、模型与服务总线等核心能力；应用层部署五大核心功能模块，面向用户提供服务；安全层则贯穿始终，全方位保障系统安全。

（五）系统网络架构设计

系统采用“控制网-数据网-管理网”三层隔离架构，兼顾实时性与安全性，支持边缘-云端协同^[7]。控制网连接DCS等核心设备，通过工业协议和物理隔离保障毫秒级实时控制；数据网

作为高速传输层，承载大流量数据并经防火墙加密；管理网面向业务应用，通过严格认证与授权保障操作安全。同时系统支持边缘-云端协同，厂区边缘节点处理实时任务，云端负责大数据分析与模型训练，实现高效分工。

二、系统核心功能模块设计与实现

（一）智能监控与预警中心

智能监控与预警中心作为机组运行的“神经中枢”，通过“数据采集-全景呈现-智能识别-分级预警”实现风险前置管控^[8]。系统融合DCS数据与新增红外、振动等传感器信息，构建三维数字孪生模型，直观映射机组状态。异常检测采用LSTM与孤立森林双模型架构，精准识别参数偏差与工况突变。预警机制按严重程度分级，从界面提示到联动应急指挥中心，并自动提供故障溯源线索，确保运行透明化与风险快速响应。

（二）智能燃烧优化模块

智能燃烧优化模块聚焦锅炉燃烧过程的“效率-排放”双目标平衡，通过燃烧状态实时感知、煤质自适应调节与参数动态寻优，解决传统人工调控滞后性强、多因素耦合难平衡的问题。系统融合红外测温、火焰图像与烟气分析数据，构建三维燃烧场模型实时评估状态；同时根据煤质在线分析结果，自适应调整燃烧策略。核心采用改进多目标粒子群算法，以效率最高、排放最低为目标，动态优化风煤比等12个关键参数，指令每3分钟下发至DCS执行，实现从“经验驱动”到“数据驱动”的精准、自动调控。

（三）智能汽轮机及其热力系统优化模块

智能汽轮机及其热力系统优化模块以“提升通流效率、降低热力循环损失”为核心目标，通过汽轮机状态精细感知、热力系统能效诊断与动态参数优化，解决传统定曲线调控难以适应工况变化的问题，实现全负荷段的经济性最优^[9]。系统实时监测振动、温度等参数，构建三维状态模型以诊断通流故障；同时建立热力系统仿真模型，精准定位加热器端差、凝汽器真空等能效损失点。优化策略按负荷区间差异化，高负荷时变压运行减少节流损失，中低负荷时优化抽汽分配，低负荷时联动循环水泵变频调节，目标是将汽轮机热耗降低3-5kJ/(kW·h)。

（四）智能设备管理与预测性维护模块

智能设备管理与预测性维护模块旨在通过设备状态实时感知、健康度评估与故障精准预测，推动运维模式从“定期检修”向“状态检修”转型，降低非计划停机风险与运维成本^[10]。系统融合固定传感器与移动巡检数据，利用随机森林算法计算设备健康指数，并通过GRU神经网络精准预测剩余寿命。当预测寿命临近阈值时，系统自动结合检修窗口与备件库存，生成精准的维护计划并推送至移动端，从而降低非计划停机风险与运维成本。

（五）智能运行辅助决策模块

智能运行辅助决策模块整合多源信息生成场景化最优方案，解决传统决策依赖经验、响应滞后的问题，支撑机组在基荷、调峰、启停等复杂场景下的高效运行。其核心逻辑是“信息融合-

场景建模－方案生成－人机协同”，实现决策的量化与动态优化。系统整合电网指令、煤质计划、设备健康及环境数据，针对基荷、调峰等不同场景训练强化学习模型。面对具体工况，系统能生成并量化对比多套优化方案，运行人员可交互调整并模拟效果，最终方案经审批后下发执行，实现全局协同与高效运行。

三、系统实现与集成测试

（一）开发环境与技术选型

系统实现基于“边缘－云端协同”架构，结合工业级硬件与轻量化软件技术，确保实时性、可靠性与可扩展性。硬件上，边缘节点负责实时决策，3200余个传感器实现全流程感知，云端数据中心支持海量数据存储。软件上，前端构建响应式3D界面，后端采用微服务架构实现模块解耦，数据存储采用时序与关系数据库分层设计，AI模型支持在线迭代。通信层面，通过 OPC UA、Modbus 及 MQTT 等协议，实现了与 DCS/SIS 系统、传感器及云端的高效数据交互。

（二）数据接口与系统集成

系统集成以“标准化接口、模块化协同、数据一致性”为核心原则，实现跨系统、跨模块的无缝联动。接口设计采用分层架构，底层设备接口通过 OPC UA Server 封装 DCS 实时数据，提供统一的数据读写服务；模块间接口基于 RESTful API 设计，采用 JSON 格式传输数据；与外部系统的接口通过 Webservice 实现，支持数据批量导入导出。系统集成通过服务总线（Apache Kafka）实现模块协同，各模块作为消息生产者或消费者接入总线，例如智能监控模块检测到异常时，向 topic_anomaly 发送预警消息，智能运行辅助决策模块订阅该主题并触发应急预案生成；燃烧优化模块生成的参数指令先发送至 topic_optimization，经 DCS 接口服务校验后再下发执行，避免误操作。为保障数据一致性，采用时间戳对齐机制，解决多源数据时序偏差问题；通过 Redis 分布式锁控制并发写入，避免数据冲突；每日凌晨执行数据校验任务，对比边缘节点与数据中心的关键参数，差异超 0.5% 时自动补录修正，确保全链路数据可靠。

（三）系统测试与验证

系统测试分为单元测试、集成测试与现场验证三个层级，全

面验证功能有效性与运行可靠性。单元测试针对各模块核心功能，采用仿真平台与历史数据驱动，智能监控模块在模拟平台输入 300MW 机组典型故障数据，测试异常预警响应时间 ≤ 3 秒，准确率 95%；智能燃烧优化模块基于某 600MW 机组 1 年历史数据仿真，优化后锅炉效率平均提升 0.8%，NO_x 排放降低 8.2%；设备预测性维护模块在磨煤机故障数据集上测试，剩余寿命预测平均误差 7.8%，满足实用需求。集成测试验证模块协同与接口兼容性，构建闭环测试场景，模拟“炉膛超温”事件，智能监控模块触发预警后，智能运行辅助决策模块在 8 秒内生成减温水调整方案，经燃烧优化模块修正参数后下发至 DCS，仿真结果显示 150 秒内炉膛温度恢复正常区间，各模块数据交互无丢包，接口响应延迟 ≤ 500 ms；测试高负荷（600MW）与低负荷（300MW）切换场景，汽轮机优化模块与运行决策模块协同调整主蒸汽压力与抽汽参数，热力循环效率波动 $\leq 0.3\%$ ，验证跨模块协同稳定性。现场验证在某电厂 600MW 燃煤机组进行，连续运行 6 个月。结果显示，经济性方面，供电煤耗从 302g/kW·h 降至 299.5g/kW·h，年节约标煤约 8000 吨；安全性方面，设备非计划停机次数从年均 6 次降至 2 次，异常预警准确率 92.3%，提前预警时间平均 8 分钟。

四、结束语

本文围绕燃煤机组“安全提效、低碳降耗”的核心需求，完成了智能化系统从需求分析、架构设计、模块开发到集成验证的全流程研究与实践。通过构建“感知－数据－平台－应用－安全”五层总体架构与“控制网－数据网－管理网”三层网络架构，实现了多源数据的贯通与模块协同；聚焦智能监控、燃烧优化、热力调控、预测性维护、辅助决策五大核心环节，运用 LSTM、改进多目标粒子群算法等技术，解决了传统机组依赖经验调控、运维效率低、热力损失大等痛点，形成了“感知－分析－决策－执行”的智能闭环。未来可进一步深化数字孪生技术的应用，提升系统对复杂工况的模拟与预判精度；探索智能化系统与储能技术的耦合机制，增强机组灵活调峰能力。

参考文献

- [1] 冯佐江, 李红建, 杨勇, 等. 1000 MW 燃煤机组燃料智能管控系统整体解决方案及应用 [J]. 华电技术, 2020, 42(2): 22-27. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2020.02.005.
- [2] 刘铸. 燃煤热电厂智能化适应性供热监测监控系统开发与应用 [D]. 山西: 太原理工大学, 2022.
- [3] 王述宝. 燃煤机组智能喷氨优化控制系统研发与应用 [D]. 山东: 山东大学, 2020.
- [4] 易雪东. 燃煤火电机组自启停控制系统研究 [D]. 华北电力大学, 华北电力大学 (北京), 2023.
- [5] 张海林, 杨博, 董玉亮, 等. 面向燃煤机组高效灵活运行的智能化配煤掺烧优化决策方法 [J]. 热力发电, 2022, 51(4): 30-37. DOI: 10.19666/j.rlfd.202110222.
- [6] 秦志, 薛念杰, 于波, 等. 某 600 MW 燃煤机组脱硫智能氧化风系统改造效果分析 [J]. 科技与创新, 2024(9): 43-45, 48. DOI: 10.15913/j.cnki.kjyx.2024.09.011.
- [7] 刘吉臻, 王庆华, 张效宁, 等. 支撑我国能源转型的灵活燃煤发电新技术: 燃煤耦合储能系统及智能控制系统 [J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(17): 6855-6882. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.240384.
- [8] 丁湧, 赵闫涛. 百万燃煤机组智能监盘系统的研究和应用 [J]. 电力设备管理, 2021(13): 193-194.
- [9] 屠学伟. 1000MW 燃煤机组智慧电厂建设研究 [J]. 自动化博览, 2023, 40(11): 68-71. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0492.2023.11.027.
- [10] 沈丛奇, 单英雷, 归一数, 等. 超临界机组智能化协调控制系统研究和实施 [J]. 电力与能源, 2011(1): 52-56.

建筑工程进度管理全过程动态控制实施策略研究

邓桂英

广州典实科仪设备有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2026060017

摘 要 : 文章旨在探究建筑工程进度管理全过程动态控制的实施路径与应用价值,通过分析动态管控对工程科学化管理、质量保障、成本控制的作用机制,识别施工环境、人员素质、进度目标设定等关键影响因素,提出编制规范进度计划、强化动态评价控制、完善总进度动态管理等核心策略,为解决施工进度偏差问题、提升工程管理效率提供系统性方案,助力建筑企业实现工期、质量、成本的协同优化。

关 键 词 : 建筑工程; 进度管理; 全过程动态控制

Research on the Implementation Strategy of Dynamic Control throughout the Entire Process of Construction Project Schedule Management

Deng Guiying

Guangzhou Dianshi Keyi Equipment Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper aims to explore the implementation path and application value of dynamic control throughout the entire process of construction project schedule management. By analyzing the mechanisms through which dynamic control contributes to scientific project management, quality assurance, and cost control, it identifies key influencing factors such as the construction environment, personnel quality, and schedule objective setting. The paper proposes core strategies, including the formulation of standardized schedule plans, the strengthening of dynamic evaluation and control, and the improvement of overall schedule dynamic management, to provide systematic solutions for addressing construction schedule deviations and enhancing project management efficiency, thereby assisting construction enterprises in achieving the coordinated optimization of project duration, quality, and cost.

Keywords : construction engineering; schedule management; dynamic control throughout the entire process

引言

在建筑行业高质量发展背景下,施工进度管理直接关系工程效益与企业竞争力。传统进度管控模式存在静态化、滞后性等弊端,难以应对施工过程中的复杂变量,易引发工期延误、质量隐患、成本超支等问题。基于此,本文聚焦建筑工程进度管理全过程动态控制,剖析其在工程管理中的核心作用,梳理现存影响因素,探索针对性应用策略,以期提升建筑工程进度管控水平提供理论参考与实践指引。

一、建筑工程进度管理全过程动态控制作用

(一) 可以对工程进行科学化管理

建筑工程项目正式开工前,首要工作就是合理划分施工区段,明确每个施工区段在指定时间段内,仅安排对应施工过程的专业作业队伍开展施工。施工区段划分需遵循三大核心原则:一是区段分界需与建筑结构自身的天然界限(如温度伸缩缝、沉降变形缝、单元功能分界线)精准对应;二是均衡配置各施工区段的劳动作业量,避免出现部分区段任务繁重、部分区段人力闲置的失衡现象;三是严格控制施工区段的划分数量,若区段过多,会导致单个区段作业人员配比不足,进而拉长整体施工工期。

在施工计划编排阶段,需精准锚定各关键进度节点,对施工

流程中的核心工序、关键线路进行重点标注,以此为基础实现对工程项目的全周期科学化管控。但施工计划在落地执行过程中,往往会受到各类不可控因素的干扰,诸如极端天气变化、建筑材料供应延迟、现场施工操作不规范等问题,都可能造成施工环节衔接不畅,致使项目难以按预定工期推进。这就对项目管理团队提出了更高要求:项目技术负责人必须结合现场实际条件,编制具备科学性与可行性的施工进度计划,并提交项目经理审核批准;同时,要提前预判可能影响工期的各类突发事件,制定完善的应急处置预案,从工程全局角度做好统筹协调工作^[1]。

(二) 能够确保建筑工程质量

在建筑工程的现场施工阶段,部分施工团队为了快速推进施工进度、缩减人力成本投入,常会在施工过程中简化操作流程、

降低工艺标准，这种急功近利的做法极易造成工程质量出现不同程度的缺陷，给建筑项目埋下长期安全隐患。而推行施工全过程动态管控模式，则能够对施工团队的作业行为进行全时段、全方位的监督约束，通过实时跟踪施工工序、精准把控材料进场验收、施工工艺落实、隐蔽工程验收等关键环节，实现对项目施工全流程的科学化管理。这种管理方式不仅能让工程进度管控工作更加高效有序地开展，更能从源头上规避质量风险，倒逼施工团队严格遵循设计规范和质量标准施工，最终确保建筑工程的整体质量达到行业验收要求与设计标准。

（三）有效管理项目预算成本

实现利润最大化是建筑企业参与工程项目建设的核心目标，而利润增长的路径主要来源于两大维度：一是通过精细化管控压缩项目成本，二是通过提质增效提升整体利润率。在成本管控层面，核心原则是在保障项目按质按量如期交付的前提下，对施工全流程中的非必要开支进行严格审核与管控。建设单位需将进度管理与成本控制深度融合，针对土石方开挖、主体结构浇筑、机电安装等各施工环节，制定详尽的资源配置计划，精准测算各工序所需的人工、建材、机械设备等各类资源的投入量，以此实现施工成本与预算标准的精准匹配，从根源上杜绝成本超支问题。在提升利润率层面，建设单位要以工程质量和施工效率为核心竞争力，凭借过硬的工程品质与高效的交付能力提升品牌口碑，进而增强市场议价权。同时，通过强化品牌宣传、拓宽资源引进渠道等方式扩大市场影响力，在严格遵守国家相关标准与行业规范的前提下，合理提升项目报价，从而实现经济效益的最大化增长。

二、建筑工程进度控制与管理的影响因素

（一）施工环境的不稳定性

在建筑行业高速发展的现阶段，施工进度管理是工程推进过程中的核心环节，部分施工企业在进度管控工作中存在诸多疏漏，且未能及时对这些问题进行修正调整，难以跟上行业发展节奏，也给建筑工程的整体质量埋下了潜在隐患。

施工进度管理工作涵盖工序规划、资源协调、人员调度等多项繁杂内容，为保障后续施工作业能够平稳推进，施工技术人员通常需要在项目正式开工前，对施工现场开展全面细致的检查工作。但就目前行业现状而言，不少建筑企业对施工进度管理工作的重视程度严重不足，不仅未建立完善的进度管控机制，也没有组织专业人员对施工现场的地形地貌、周边配套设施、水文地质条件等实际情况进行深入调研，这一行为直接加剧了施工环境的不稳定因素。在实际施工作业阶段，暴雨、暴雪、大风等恶劣天气时常突发，此类自然因素的不可控性极易造成施工机械停机、作业人员无法进场、材料运输线路中断等问题，最终导致施工进度被迫停滞，对整体工期推进产生直接且显著的负面影响。

（二）施工人员的素质有待提升

建筑工程施工进度管控工作的推进质量，与管理人员的综合素质密切相关，同时一线作业人员的专业技术水平，也会对项目

整体进度管理成效产生直接且深远的影响。施工进度管理人员的决策科学性与从业经验储备，直接决定了各类进度管理方案能否顺利落地执行；而现场操作人员的专业能力短板，同样会成为进度管控的阻碍因素。部分操作人员专业技术水平薄弱，对施工图纸的解读能力不足，对项目整体施工规划的认知也较为模糊，面对施工过程中突发的各类状况，往往无法及时采取灵活有效的应对措施。

（三）建筑工程进度管理目标设定不合理

在拟定建筑工程进度管理相关举措时，部分施工企业未能严格遵循“边测量、边设计、边施工”的三边工作原则，开展劳动力要素组合与投入量的精准测算，导致制定的进度管控目标与基本建设施工程序严重脱节，缺乏必要的科学性与可行性。在进度管理计划的编制环节，这类企业依旧沿用传统老旧的进度控制工具，既没有引入先进的信息网络技术，也未运用专业的进度管理软件辅助工作，整体管理模式仍停留在以人工为主的手工制图层面，由此生成的横道图、网络图存在内容粗糙、逻辑不严谨等诸多问题，无法为施工进度管控提供有效支撑。与此同时，施工企业在项目前期决策阶段，未能依托准确翔实的基础数据开展分析测算，制定的工期目标缺乏科学的组织论证与判断依据，直接造成项目施工过程中出现前松后紧或前紧后松的失衡现象。这种失衡不仅使得质量保障体系与安全防护措施难以高效落地执行，更会引发各工序间衔接断层、推进阻滞等问题，最终导致既定的施工进度计划无法顺利落实^[2]。

三、建筑工程进度管理中全过程动态控制的应用策略

（一）编制规范的进度控制计划

在建筑工程项目施工进度管控工作开展过程中，编制一份内容全面、逻辑严谨的施工总计划，是落实后续各项进度管理措施的核心前提，项目全周期的进度控制工作，都需要以此为基准逐步推进。为保障施工全流程各环节的衔接具备合理性与可操作性，施工单位必须在项目正式开工前，组织技术负责人、施工管理人员、监理人员等多方专业力量，对拟定的施工方案开展全方位、深层次的核查论证，从技术可行性、工序科学性、资源适配性等多个维度进行研判，确保方案能够切实指导现场施工。

除此之外，施工单位还需在此基础上细化编制专项进度管控计划，以此作为动态监督现场实际施工进度的重要依据，并根据施工过程中的实时工况与突发情况，及时对进度计划进行优化调整，从而提升施工现场人力、机械设备、建筑材料等各类资源的配置效率与利用水平。需要着重强调的是，进度控制计划的编制需实现内容全覆盖，不仅要明确各施工阶段的时间节点与任务目标，还需纳入施工现场设备进场需求计划、各工序劳动力配置安排计划、建材及构配件采购供应计划等关键配套内容，构建起一套完整的进度管理体系。在计划执行阶段，需持续对施工进度进行跟踪监测与动态管理，一旦发现实际施工进度与计划进度出现显著偏差，需第一时间采取针对性的调控措施，避免偏差进一步扩大而对项目整体工期造成不利影响^[3]。

（二）工程项目的实施、动态评价控制过程

施工进度动态控制管理，是指在项目施工的全周期推进过程中，通过逐层细化分解总体进度目标，划定进度管控的关键时间节点，并且在各节点开展系统全面、针对性强的进度核查工作，结合实际施工进度对原定进度计划进行优化修正，必要时还需对计划内容进行重新修订完善^[4]。

保障施工现场进度管理工作的全面落实至关重要，其核心要点在于在项目管控周期内持续改进进度计划内容，并对施工进度计划的执行成效进行验证评估。通过落实不同施工环节的动态管控措施，能够推动各参建单位之间的协同配合，实现各工序、各部门的高效联动。

在完成对总体控制进度的分解细化、内容完善与方案优化后，还需重点做好各分包单位施工进度计划的审核工作，同时对分包项目的实际施工进度进行全过程跟踪管理。项目进度管理需始终贯穿动态管控思维，实时跟踪监测进度计划的落地执行状态，一旦在跟踪过程中发现进度滞后、工序衔接不畅等问题，需第一时间采取切实有效的应对措施予以解决。管理人员需精准掌握项目进度计划的核心要求与现场实际施工进度，梳理当前推进过程中存在的各类问题，严格落实各级人员的进度管理岗位职责，借助定期会议与不定期会商等多种沟通协调手段，客观研判进度计划的执行情况。通过构建制度化会议沟通机制，辅助管理人员及时明确项目进度、掌握进度执行状态、梳理现存客观问题，同时协调好各部门之间的协作关系，为进度计划的顺利落地提供坚实保障。

（三）加强施工总进度动态管理

建筑工程项目的施工过程具有鲜明的动态性与循环性特征，这就决定了施工单位不能长期采用单一固化的管理模式开展进度管控工作，而需要结合施工阶段的实际变化，运用多元化的管理手段实施动态化进度调控。

在施工计划的全面落地执行阶段，项目经理作为现场进度管理的核心责任人，需牵头做好施工进度相关数据的全面采集与系统分析工作，精准对比实际施工进度与计划进度之间的偏差，以此判断当前施工节奏是否符合工期管控要求。若实际施工进度出现滞后或超前等不符合预期的情况，项目经理需组织技术、施工、物资等相关部门，对造成进度偏差的各类因素展开深入研判，明确导致进度滞后的核心原因，进而制定具备针对性与可操作性的改进措施，以此实现对施工总进度的有效把控。

在推进进度管理工作时，相关管理人员不仅要做好施工数据的采集、整理与分析工作，全面掌握现场实际施工进度，还需切实履行施工监督职责，及时发现并反馈施工过程中出现的各类问题。在进度调整过程中，管理人员必须严格遵循具体问题具体分析的原则，结合现场实际情况对进度管控方案进行灵活优化调整，以此提升进度管理工作的科学性与合理性。此外，施工单位还应根据项目实际情况，科学选取施工进度计划的调整方法，例如通过合理压缩或延长部分施工工序的持续时间、增加施工机械设备的投入数量、优化劳动力配置方案等方式，确保施工总进度始终处于可控范围之内^[5]。

四、结束语

综上所述，文章系统阐述了建筑工程进度管理全过程动态控制的作用、影响因素及应用策略，明确动态管控可实现工程科学化管理、质量保障与成本优化，指出施工环境不稳定、人员素质不足、进度目标设定不合理是主要管控障碍，提出编制规范进度计划、落实动态评价控制、加强总进度动态管理等关键措施。该研究为建筑工程进度管控提供了系统方案，未来可结合智能化技术，开展动态管控系统的开发与应用研究，进一步提升进度管理的精准性与高效性。

参考文献

- [1] 戴晨潇. 建筑工程项目全过程管理中的动态控制研究[J]. 建筑与装饰, 2025(1): 58-60.
- [2] 谢海. 动态控制下建筑工程全过程造价控制要点分析[J]. 建材发展导向, 2025, 23(16): 52-54.
- [3] 苗壮. 建筑工程进度管理中全过程动态控制的应用策略[J]. 砖瓦世界, 2025(23): 208-210.
- [4] 原媛. 全过程动态控制在建筑工程进度管理中的应用分析[J]. 河南建材, 2025(5): 164-166.
- [5] 林宇鹏. 建筑工程进度管理中全过程动态控制模式运用分析[J]. 砖瓦世界, 2025(21): 175-177.

分析建筑给排水设计中节能减排设计

马勇辉

中腾勘察设计院有限公司广州分公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2026060020

摘 要 : 文章首先剖析了设计阶段存在的普遍性问题,从管道选型与安装、热水系统优化、市政管网压力利用、水箱阀门改进等方面,阐述了具体可行的节能减排技术措施。最后,围绕新能源应用、节水器具推广、新材料使用及系统性管理等方面,探讨了绿色理念在给排水设计中的深化路径。研究旨在为提升建筑给排水系统的能效与水资源利用效率提供理论参考与实践指导,推动行业向绿色、低碳方向转型。

关 键 词 : 建筑给排水设计; 节能减排设计; 利用效率

Analysis of Energy Conservation and Emission Reduction Design in Architectural Water Supply and Drainage Design

Ma Yonghui

Guangzhou Branch of Zhongcheng Survey and Design Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article first analyzes common issues present during the design phase and elaborates on specific and feasible technical measures for energy conservation and emission reduction in terms of pipe selection and installation, optimization of hot water systems, utilization of municipal network pressure, and improvement of water tank valves. Finally, it explores ways to deepen the application of green concepts in water supply and drainage design, focusing on the use of new energy sources, promotion of water-saving appliances, adoption of new materials, and systematic management. The research aims to provide theoretical references and practical guidance for enhancing the energy efficiency and water resource utilization efficiency of architectural water supply and drainage systems, thereby promoting the industry's transition towards a green and low-carbon direction.

Keywords : architectural water supply and drainage design; energy conservation and emission reduction design; utilization efficiency

引言

给排水系统作为建筑的重要组成部分,其设计合理性与运行能效直接关系到水资源与能源的节约、建筑环境的舒适性以及整体的可持续发展水平。然而,在当前实践中,由于设计理念、技术应用与管理机制等方面的局限,许多建筑的给排水系统仍存在能耗较高、水资源浪费显著等问题。因此,深入剖析现有设计中的不足,积极探索并集成有效的节能减排技术与管理策略,对于降低建筑运行成本、缓解资源环境压力、促进绿色建筑发展具有紧迫的现实意义与长远价值。

一、建筑给排水设计中节能减排设计的现状

(一) 管道设计不合理

在当前的建筑给排水工程中,管道系统的设计方案往往不够科学,这一普遍性问题直接引发了后续使用中的多种故障,包括渗漏、堵塞以及管道损坏等。具体而言,渗漏现象频繁出现的关键原因在于:安装过程中选用的管件和连接洁具节水性能不足,且管段之间的接口设计存在缺陷,显著降低了整体管道的气密程度,进而影响其密封可靠性。关于堵塞问题的成因:部分建设单位为控制项目成本,在设计阶段有意减少管道走向中的分支数量以及地漏的设置,导致排水负荷过于集中,大幅提升了堵塞发生

的概率。而管道破损则主要归因于:施工所选管材的质量、规格参数未能满足相关工程标准,加之多数排水管道铺设于地下,长期使用中若管道本身强度或耐腐蚀性不足,便极易发生破裂或损坏,最终对整个排水系统的稳定运行造成严重影响。

(二) 超压出流浪费

随着城市化进程的不断加速,高层与超高层建筑在我国日益普及。为确保这些建筑的日常用水需求得到稳定满足,供水系统通常需要采取加压措施。然而,这一做法也容易引发一系列负面效应,超压出流导致的水资源浪费便是其中较为突出的问题。当建筑给水系统长期在超过额定压力的状态下运行时,管网及附属设备会持续承受过高负荷,这不仅会削弱给排水结构的整体稳固

性，还可能显著缩短相关系统的使用年限。同时，超出实际需要的压力会导致用水终端出水流量过大，在用户无需如此大流量的情况下仍持续出水，直接造成大量洁净水资源的无意义损耗^[1]。

（三）水资源回收与利用效率偏低

在当前的建筑给排水系统规划中，设计人员常常未能充分纳入水资源的循环与再利用方案，例如通过适宜技术对雨水进行系统化收集，并将其用于冲刷道路、浇灌绿化等非饮用用途。然而，我国在此类可持续利用方面的工程设计仍较为薄弱，相关系统配置并不普遍。此外，在生活热水供应系统的设计中，由于需要持续补水以维持水温稳定，这一过程伴随着可观的能源消耗。另外，用户在取用热水时，通常需要先开启阀门放水一段时间，直至管道中积存的冷水排尽，方能获得热水，该等待过程直接导致大量洁净水被无谓排弃，进一步加剧了水资源的浪费现象。

（四）系统缺乏科学规划与智能调控

当前，部分建筑给排水系统在前期规划阶段缺乏整体性考量与精细化设计，导致系统在实际运行中难以适应动态的用水需求，存在明显的调控滞后与能效偏低问题。具体表现在：系统布局未能充分结合建筑功能分区与用水规律，高峰时段供水压力不稳定，低峰时段又易产生冗余能耗；同时，缺乏智能监测与控制手段，无法对管网漏损、设备异常等情况进行实时预警与快速响应。这种粗放式的运行模式不仅降低了系统的可靠性与经济性，也在长期中造成水与能源的隐性浪费。因此，引入系统化设计思维，结合信息化技术构建具备监测、分析与调控功能的智能给排水管理系统，已成为提升整体能效、实现精细化运维的重要途径^[2]。

二、建筑给排水系统节能减排设计方案

（一）给水管道设计

作为当前应用较为广泛的管道材料之一，塑料给水管道以其外形美观、卫生清洁、耐腐蚀性强等特点受到青睐。然而，使用塑料管材同样存在一些明显的缺陷。例如，这类材料通常易燃，且在受热条件下容易发生膨胀变形，影响管道系统的稳定性。此外，当前市场上流通的塑料管材质量良莠不齐，若在使用过程中出现渗漏或隐性水资源浪费等问题，往往难以被及时察觉。一旦管道发生损坏，其维修难度也相对较大，通常需要破墙或开挖地面，不仅工程复杂，还会影响正常使用。因此，在采用塑料管材进行给水管道设计时，通常建议优先选择暗装敷设方式，即将其埋设在墙体或地面内部，这既能避免材料直接暴露带来的安全与老化隐患，也有助于提升建筑内部的美观性与整体性。

（二）排水管道设计

塑料管材在排水系统中应用时，一个较为突出的缺点是其隔音性能较差，排水过程中容易产生明显噪声。在现代居住环境中，安静舒适已成为人们的基本需求，管道噪声问题若处理不当，将直接影响住户的生活品质。相比之下，传统铸铁管材在隔音方面表现较好，但在资源利用效率、水利性能以及布局美观度等方面往往不如塑料管材。为在发挥塑料管材优势的同时有效降

低噪声影响，可在排水管道设计中采取以下几项措施：一是设置专用管井或管槽，采用隐蔽式安装方式，将管道铺设于墙体或结构内部，利用建筑构造进行隔声；二是在不具备安装条件时，可选用具有降噪设计的管材，例如芯层发泡管、中空壁管或螺旋消音管等，这些管材通过结构改良可有效减轻水流冲击声，并可通过组合使用进一步优化整体系统的静音性能^[3]。

（三）家用热水系统设计

在未配置集中热水供应的建筑中，需提前预留家用热水设备的安装条件。设计时，应对冷、热水管道进行系统规划与合理布局，并可在热水器出水端配置循环或即热装置，确保用户开启水龙头后能迅速获得热水，避免长时间放水等待，从而在提升使用舒适度的同时实现水资源节约。在热水器选型方面，推荐优先考虑太阳能热水器等节能环保型产品，该类设备不仅使用寿命长、运行简便，还可显著降低传统能源消耗，减少碳排放，有助于推动建筑给排水系统向绿色化方向发展。当前普及的低能耗热水器在节水方面表现突出，其通过优化加热机制与控制水流，有效减少了无效用水。

（四）有效利用市政管网供水压力

部分建筑工程项目中，为确保用户用水压力稳定，往往设置了贮水池等加压设施。然而，在相关系统设计时，设计人员有时未能充分、合理地利用市政供水管网的原有压力，导致管网中可供使用的余压未被有效承接，进而造成能源的浪费。在实际设计过程中，可采取分区供水策略：利用市政管网的剩余压力直接供给低区楼层（如底层住宅），而对压力无法覆盖的高区部分，则通过二次加压设备进行供水。贮水池宜作为备用水源，主要在城市供水管网停水或压力严重不足时启用。需要说明的是，上述设计方式并非适用于所有建筑，应根据建筑物的具体高度、市政供水压力曲线及用水需求特点进行综合测算，从而实现经济效益与节能环保效益的最优平衡。

（五）屋顶水箱浮球阀设计

传统的屋顶水箱浮球阀通常采用阀芯配重式结构，属于逆开类型。随着技术不断进步，目前出现了更多性能优化的浮球阀类型，例如液压控制式浮球阀、双球联动式浮球阀以及具有压力平衡功能的呼吸阀等。此外，市场上还有一种结构较为特殊的导阀控制式浮球阀，它通过独立导阀来精确调节主阀的启闭，不仅克服了传统浮球阀在灵敏度方面的不足，有效减少了因关闭不及时导致的水位过高和溢流问题，还综合了多种浮球阀的优点，具备控制稳定、漏水率低、适应性强等特点。这类改进型浮球阀在屋顶水箱水位控制系统中逐渐得到应用，有助于提升供水系统的安全性与节水效果^[4]。

三、给排水设计中节能减排理念探究

（一）大力推广新能源利用

长期以来，我国能源结构以煤炭、石油等传统化石能源为主。近年来经济持续快速增长，进一步扩大了这些资源的开采规模与应用范围。面对资源消耗与环境保护的双重压力，必须树立

能源忧患意识,积极推进能源结构转型。目前,我国在新能源技术研发与利用方面尚处于初步发展阶段,未来具有广阔的发展空间。尤其在部分南方地区,太阳能、风能等可再生能源蕴藏丰富,具备良好的开发条件。当前建筑给排水设计中,太阳能热水系统已得到一定应用,但在整体能源整合方面仍有深化空间。展望未来,结合地域特点选择适宜的新能源,并将其系统化融入建筑给排水设计,将成为行业重要的发展方向,有助于实现节能降耗与可持续发展目标。

（二）节水型卫生器具的推广使用

目前,各类节水型卫生器具已在市场上得到普遍推广,然而公众在日常使用中的主动节水意识仍有待提升。研究数据显示,采用节水型卫浴设备,可实现约30%的用水节约效果。具体而言,平均每户家庭每月可节省用水约2.08吨,全年累计节水量可达25吨左右。我国作为人口大国,用户规模庞大,若能在家庭及公共场所广泛普及节水型器具,其累积节水效益将十分显著。这不仅直接降低用水成本,也在整体上减轻供水系统的负荷,对于促进水资源可持续利用、推动建筑节能与减排具有重要的现实意义。

（三）推广新型节水设备、优质管材与阀门

当前,铝塑复合管、不锈钢管、钢塑复合管等新型管材在建筑给排水系统中已得到较多应用。这些材料具有耐腐蚀、寿命长的特点,能够有效避免传统镀锌钢管因锈蚀导致的水质污染和接口渗漏问题,从而提升供水的安全性与可靠性。此外,在排水系统中,可采用具有螺旋消声结构的排水管,尤其适用于竖向排水管段。该类型管道通过内部特殊设计能够显著降低排水噪声,同时其材料具备良好的抗震性能和柔韧性,在长期使用中相较于普通塑料管或金属排水管表现出更优的综合性能。推广此类新型节水设备、优质管材和阀门,有助于从系统层面提升建筑给排水的效率、耐久性与环境友好性。

（四）二次供水设备的合理选用

传统二次供水系统常依赖单一水箱,此方式易导致水质在贮存过程中受到污染。为改进这一问题,气压罐供水及变频调速供水

等更先进的方式逐渐得到应用与普及。我国自20世纪90年代开始引入变频调速供水技术,该设备通过变频器调节电机供电频率,进而依据实际用水量的变化,实现水泵的平滑启动与连续变速运行,显著提升了系统调节的灵活性与能效。当前,二次供水技术进一步朝着变频气压供水、变压变量供水等方向演进。在选择设备时,需结合系统运行特性与实际用水规律进行综合分析,以实现更理想的节能效果。通常在水低谷时段,实际用水量往往大幅偏离设计工况,因此所选设备应能适应低流量区的变化特点。当用水呈断续小流量状态时,系统仍需维持稳定压力;若流量持续低于常规大流量值的五分之一,则可考虑增设专用小流量泵,并配置自动切换功能,从而在低耗时段保持高效、稳定的供水^[5]。

（五）构建系统性节水管理体系

在建筑给排水系统的设计与运行中,除了应用具体的技术与设备外,建立系统性的节水管理体系同样至关重要。这一体系应涵盖从设计、施工到后期维护、监测的全过程。在设计阶段,需要进行精细化的用水量分析与预测,制定合理的水平衡方案,避免系统冗余与过度配置。在运行阶段,可通过安装智能水表与远程监测系统,实时掌握各区域的用水情况,及时识别异常用水或泄漏点,实现主动式管理。此外,定期对管道系统进行维护检修,更新老化部件,并建立用水效率评估机制,能够持续优化系统性能。

四、结束语

文章通过系统分析建筑给排水节能设计现存问题,提出了管道优化、系统集成、设备选型及智能调控等一系列关键技术措施。结果表明,科学合理的给排水设计不仅能显著提升水资源利用效率,降低能源消耗,更对推动绿色建筑发展具有重要实践价值。未来,随着智能监测技术与可再生能源应用的深度融合,建筑给排水系统将向更高效、精细化的方向发展,为实现建筑领域的可持续发展目标提供坚实支撑。

参考文献

[1] 杨秀领. 建筑给排水设计中节能减排设计研讨 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024(7): 119-121.
[2] 宋红. 建筑给排水设计中节能减排设计研究 [J]. 河南建材, 2024(2): 109-111.
[3] 林宏志. 建筑给排水设计中节能减排设计探讨 [J]. 价值工程, 2024, 43(32): 66-69.
[4] 史洁琼. 建筑给排水设计中节能减排设计分析 [J]. 建材与装饰, 2023, 19(7): 54-56.
[5] 康文慧. 建筑给排水设计中节能减排设计的应用 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(1): 172-174.

电力工程电气设备安装施工关键技术与管控研究

曾威

广州致新电力工程技术有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2026060021

摘 要： 文章先论述了等电位连接、电缆铺设及防雷接地等关键技术的实施规范与操作要点；还从人员素质、图纸会审、安装材料、管线铺设及配电箱安装五个维度，全面分析了施工过程中常见的质量通病及其成因；最后围绕上述问题，分别从人员培训、图纸管理、材料把控及现场施工等角度，提出了系统化的优化策略。通过本研究，力求为规范电气安装作业流程、降低施工安全风险、保障电气系统长期稳定运行提供有益借鉴。

关 键 词： 电力工程；电气设备安装；施工要点

Research on Key Technologies and Management Control in the Installation and Construction of Electrical Equipment for Power Engineering

Zeng Wei

Guangzhou Zhixin Power Engineering Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article first discusses the implementation specifications and operational key points of key technologies such as equipotential bonding, cable laying, and lightning protection grounding. It also comprehensively analyzes common quality issues and their causes during the construction process from five dimensions: personnel qualifications, drawing review, installation materials, pipeline laying, and distribution box installation. Finally, focusing on the aforementioned issues, systematic optimization strategies are proposed from the perspectives of personnel training, drawing management, material control, and on-site construction. Through this research, the aim is to provide valuable references for standardizing electrical installation procedures, reducing construction safety risks, and ensuring the long-term stable operation of electrical systems.

Keywords： power engineering; electrical equipment installation; construction key points

引言

作为电力系统的重要组成部分，电气设备的安装质量直接关系到建筑功能的正常发挥以及用户的生命财产安全。然而，在实际施工过程中，由于涉及专业工种众多、工序穿插复杂，加之部分现场管理与操作人员技术素养参差不齐，电气安装环节往往成为质量通病的高发区。从材料采购到图纸会审，从管线敷设到设备就位，任何一个细节把控不到位，都可能为后续运行埋下安全隐患。

一、简单阐述电力电气安装施工技术类型

（一）等电位连接技术

在电力工程作业环境中，由于现场条件复杂且存在诸多潜在风险，一旦绝缘性能失效或出现泄漏电流，便可能对电力系统的稳定运行造成冲击。为有效消除常见质量通病，保障电气装置的安全可靠运行，施工企业必须强化对等电位接地网敷设环节的质量管控。在进行接地汇集线（通常指接地母排或主接地扁钢）的安装作业时，现场操作人员需严格遵循以下关键技术要点：其一，严格控制搭接长度，确保金属导体（如扁钢）的搭接长度不小于其宽度的两倍。该指标旨在通过增加有效接触面积来降低接地网络的整体阻抗，使故障电流或雷电流能够迅速通过低阻通路泄入大地，避免局部电位骤升，从而将异常电流限制在设备可承

受的范围内，从源头上防范安全事故。其二，在连接工艺方面，应优先采用放热焊接技术。相较于传统机械连接，放热焊接通过铝热反应形成分子级别的永久结合，不仅能够实现极低的接触电阻，还能显著提升接头的机械强度与抗腐蚀能力，有助于施工人员在工期内快速完成高质量焊接，避免因连接不良引发漏焊、虚焊或后期断裂等隐患。

（二）电缆铺设技术

在电缆敷设施工中，需从材料、人员与资源三方面严控质量。首先，严把材料进场关，电缆运抵现场后须全面复核检验，核对型号规格、合格证明、出厂日期及数量，检查绝缘层有无运输损伤，并使用专业仪器对绝缘性能抽样测试，确保耐压与电阻符合标准，从源头杜绝不合格材料。其次，强化岗前技术培训，工程启动前组织作业人员进行技术交底与实操演练，内容涵盖敷设理论、操作要

领及质量通病预防，重点引导作业人员熟记不同功能区段的敷设流程与排列次序，确保电缆整齐布放，避免回路交织混乱，既便于后期运维识别，也有助于减少电磁干扰。最后，优化支架资源配置，管理人员应依托电缆沟结构，依据电压等级与功能属性统筹规划，遵循高压在上、低压在下、强弱电分开的原则，保证足够电气间距，既方便检修，又降低交叉干扰隐患^[1]。

（三）电气设备防雷与接地实用技术

将成熟的防雷与接地技术应用于室内电气装置及线路连接中，不仅能够有效削弱雷电过电压对电力系统的冲击，还能为设备长期稳定运行提供可靠保障。进入具体施工阶段后，作业人员需严格依照设计图纸及相关规范要求，认真细致地完成接地引下线的连接工作，确保每一个连接点都牢固可靠，接地路径畅通无阻。接地装置敷设完毕并经隐蔽工程验收合格后，还需及时组织回填土作业。此处需特别留意回填材料的选用，应避免混入建筑垃圾、石块或粗砂等硬质杂物，建议采用电阻率较低、无明显腐蚀性且质地疏松的细土层进行回填。

二、电气设备安装中存在的问题

（一）人员缺乏素质

当前电气工程安装实践中，作业人员的综合素质参差不齐是一个较为突出的问题。一方面，部分一线安装人员的专业技能水平有限，对施工规范的理解不够深入，实际操作中往往凭借经验而非标准工艺进行作业；另一方面，其岗位责任意识也相对薄弱，缺乏对工程质量严谨负责的态度，这些因素相互叠加，导致施工过程中各类质量缺陷频繁出现。在工程前期的设计阶段，同样存在因设计人员专业能力不足而引发的隐患。部分设计者对现场工况把握不准，或对相关技术标准理解存在偏差，导致施工图纸存在疏漏或不合理之处。这类先天性的设计缺陷一旦进入实施阶段，便会转化为难以弥补的安全漏洞，给后续安装工作带来诸多不确定因素。这类问题在隐蔽工程覆盖后尤其难以整改，不仅导致安装质量无法满足验收标准，更为电气系统日后的长期运行埋下了不容忽视的安全风险^[2]。

（二）电气设备安装图纸会审存在问题

在电气设备安装作业中，施工图纸占据着基础性地位，是整个工程实施的直接依据。图纸上不仅详细标注了各类设备的空间位置与整体布局规划，还结合电气装置的具体结构特征与外形尺寸，给出针对性的安装方法与技术要求。可以说，图纸的准确性与可操作性，直接决定了后续施工能否顺利推进。然而，电气设备的安装过程本身具有较强的复杂性和系统性，涉及多个专业工种的协同配合。在这种情况下，如果前期的图纸会审环节流于形式、走过场，参与施工的技术人员就难以对设计意图形成统一且准确的理解。一旦各方对图纸细节的解读出现分歧，或是忽略了某些关键节点的技术要求，现场施工时就很容易偏离原定方案。

（三）电气设备安装材料存在问题

在当前电气设备安装市场中，材料质量把控不严是一个较为

普遍的隐患。由于市场上流通的电气产品种类繁多、品牌杂乱，部分劣质材料混杂其间，难以凭借肉眼直观辨别。而在实际的采购环节中，一些采购人员自身对电气材料的专业技术标准掌握不足，缺乏识别产品优劣的能力，往往只看重价格或外观，忽视了内在性能指标，这就给不合格材料流入施工现场提供了可乘之机。更为严重的是，个别采购人员职业道德缺失，与材料供应商之间存在不正当的利益输送^[3]。

（四）管线铺设存在问题

其一，材料选用不规范的现象时有发生。部分安装人员在现场施工中，并未严格按照设计要求的规格进行选材，例如擅自使用PVC管替代设计指定的镀锌钢管。这种材料代用行为，虽然短期内降低了施工难度或材料成本，却直接削弱了管线的机械强度和抗腐蚀能力，给后续使用埋下了结构隐患。其二，各专业工种之间的配合衔接不够紧密。管线铺设往往需要与土建作业穿插进行，但有的安装人员缺乏主动沟通意识，未能及时掌握土建进度和预留孔洞位置。等到土建结构成型后才发现管线无处可走，或者预留位置与设备接口对不上，这时再强行敷设或临时凿墙打洞，不仅增加了施工难度，也容易破坏管线走向的合理性，影响日后穿线及维护操作的便利性。

（五）配电箱的安装存在问题

在当前的电气工程施工过程中，配电箱安装环节暴露出的质量问题较为集中。一方面，部分安装人员在现场作业时未能严格执行图纸定位要求，往往凭借主观判断进行箱体摆放，导致配电箱的实际安装位置与设计标高、轴线出现偏差。这种位置偏移不仅影响整体观感，还可能给后续电缆接入和操作维护带来不便。另一方面，配电箱的箱体固定也存在诸多不规范之处。有的箱体安装后出现松动晃动，经检查往往是预埋件不牢或膨胀螺栓未拧紧所致；有的则是在墙体上固定时未考虑受力点分布，导致箱体长期受力不均而产生变形。

三、电气设备安装的改进措施

（一）加强人员素质

要确保电气安装工程的顺利推进，提升人员的综合素养是关键所在。施工企业应从多个维度入手，打造一支技术过硬、责任心强队伍。企业可通过优化薪酬福利体系，提供更具竞争力的待遇条件，以此吸引外部专业技术人才加入，充实一线力量。与此同时，针对现有人员，应定期组织开展系统化的技能培训与理论授课，内容涵盖新工艺、新规范及操作要点，帮助其不断更新知识储备、提升实操水平，从而更好地适应岗位要求。对于承担管理职责的人员而言，则需要接受更高层次的专项培训，重点强化其现场统筹与质量管控能力。管理人员自身也应当保持主动学习的意识，密切关注行业标准与技术规范的动态变化，及时将最新要求融入日常管理实践，确保管理工作不落伍、不脱节。此外，管理人员还需进一步强化责任意识，严格把控工程实施过程中的各个环节，从材料验收到工序验收，每一步都要细致检查、

认真记录，以严谨态度保障安装质量的稳定可靠^[4]。

（二）加强图纸会审工作

要强化不同职能部门之间的沟通与协调。设计、施工、监理等各方应共同参与会审，从各自专业角度对图纸进行审视，及时发现设计中存在的不合理或模糊之处。通过面对面的交流与探讨，将问题解决在施工之前，避免因理解不一致而导致后期返工。其次，图纸会审需要紧密结合现场实际情况进行对照核查。技术人员应深入现场，将图纸上的设计方案与实际环境条件相互印证，确保设备布局、管线走向等具备可实施性。尤其要重点核对各类设备的预埋螺栓位置、预留孔洞尺寸等关键数据，确认其与土建结构是否吻合。这些细节一旦出现偏差，安装时往往难以调整，只有提前发现问题并修正图纸，才能为后续安装扫清障碍。会审工作完成后，所形成的图纸即成为正式施工依据。所有安装人员必须严格按照最终确认的方案进行现场作业，不得随意更改或凭经验变通。只有在施工全过程坚持按图施工，才能有效避免安装偏差，保障电气工程的整体质量与安全性能。

（三）保障材料的质量

相关管理人员需要建立完善的材料准入机制。在采购前期，应对潜在供应商的资质信誉、生产能力及质量体系进行综合考察与评估，筛选出信誉良好、产品稳定的合作方，从源头上降低劣质材料流入的风险。材料运抵施工现场后，质检人员必须按照规定的检验流程进行入场验收。验收工作应依据国家现行标准及设计要求，对材料的规格型号、外观质量、性能指标等进行逐一核对或抽样检测，确保每一批次进场材料均符合工程需要。对于关键性材料，还应留存检测报告或合格证明，以备追溯核查。在材料存放环节，现场应提供适宜的仓储条件，防止材料因受潮、日晒、挤压等原因导致性能下降或外观损伤。不同类别材料应分区堆放、标识清晰，避免混放错用。与此同时，对于负责采购工作的人员，企业需要加强日常管理与职业道德教育。通过定期组织业务培训，帮助采购人员熟悉材料技术标准，提升其辨别真伪、

优劣的能力。还要强化责任意识教育，使其充分认识到岗位工作对工程质量的直接影响，自觉抵制不合格材料，维护企业利益与工程安全^[5]。

（四）做好线路的铺设以及配电箱的安装工作

针对线路铺设工作，作业人员必须严格遵循设计图纸与技术规范的要求进行施工。开工前，应仔细核对所用管材、线缆的规格型号是否与设计一致，确保材料质量合格、性能达标，杜绝使用不合规的代用品。在实际敷设过程中，安装人员需提前与土建施工方做好沟通协调，明确预留孔洞位置及管道走向，避免因专业配合不到位而出现后期凿墙开洞或管线冲突的情况。敷设时应保证线路排列整齐、固定牢靠，弯曲半径符合规范，并做好管口防护与接地跨接等细节处理，确保每一环节都符合质量标准。对于配电箱的安装，同样需要全过程严格把控。安装前应对箱体本身进行外观检查与性能核验，确认无破损、无锈蚀、元器件齐全且动作可靠。安装时必须依照图纸确定的标高与位置进行定位，确保箱体垂直度与水平度符合要求，不得出现明显偏移或歪斜。固定时应采用足够的紧固件并确保埋设牢固，避免箱体松动。

四、结束语

综上所述，电力电气安装工程的质量控制是一项涉及多环节、多专业的系统性工程。针对当前施工实践中暴露出的各类问题，本文从多个维度提出了相应的改进路径：在人员管理方面，需通过优化待遇吸引专业人才，并辅以常态化培训强化技能与责任意识；在图纸管理方面，应建立多部门联合会审机制，结合现场实际核对关键数据，确保设计意图准确落地；在材料管控方面，需完善供应商准入与进场验收制度，同时加强采购人员的职业道德教育；在具体施工环节，则要严格遵循规范进行管线敷设与设备安装，注重土建与安装专业的协同配合。

参考文献

- [1] 陈沛. 电气设备安装施工的优化策略分析[J]. 建材与装饰, 2025, 21(3): 121-123.
- [2] 张癸滨. 电气设备安装施工的优化策略分析[J]. 产业创新研究, 2023(16): 126-128.
- [3] 施泽涛. 浅析电力工程中常见电气设备安装的安全技术措施[J]. 建筑与施工, 2022, 1(2): 45-46.
- [4] 徐金星, 马云超. 浅谈电力工程安装施工中的质量控制策略[J]. 电脑爱好者(校园版), 2023(4): 239-241.
- [5] 魏学丽. 电力工程项目中的电气安装技术研究[J]. 百科论坛电子杂志, 2021(11): 3096.

建筑工程管理控制要点梳理与优化措施研究

刘雪凤

珠海兴格管理咨询有限公司, 广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ETQM.2026060022

摘 要 : 为提升建筑工程管理水平、推动行业高质量发展, 本文围绕建筑工程管理展开研究。先阐述工程管理对企业提升经济效益、保障工程质量的重要意义, 再剖析管理过程中存在的人才缺失、信息化程度低、环境因素制约等核心问题, 最后针对性提出加强人才队伍建设、实施信息化管理、构建科学现场施工规划、引进先进管理模式等优化措施, 为建筑企业优化管理体系、增强市场竞争力提供理论参考。

关 键 词 : 建筑工程管理; 控制要点; 优化

Research on the Sorting and Optimization Measures of Key Points in Construction Engineering Management and Control

Liu Xuefeng

Zhuhai Xingge Management Consulting Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract : To enhance the level of construction engineering management and promote high-quality development in the industry, this paper focuses on the study of construction engineering management. It first elaborates on the significance of engineering management in improving corporate economic benefits and ensuring project quality. Then, it analyzes core issues in the management process, such as a shortage of talent, low levels of informatization, and environmental constraints. Finally, it proposes targeted optimization measures, including strengthening talent team construction, implementing informatized management, constructing scientific on-site construction planning, and introducing advanced management models, providing theoretical references for construction enterprises to optimize their management systems and enhance market competitiveness.

Keywords : construction engineering management; control points; optimization

引言

在社会经济快速发展的背景下, 建筑行业市场竞争日趋白热化, 工程管理水平已成为决定企业核心竞争力的关键因素。高效的建筑工程管理不仅能帮助企业实现降本提质、增加经济效益, 更能切实保障工程质量, 推动行业规范化发展。然而当前建筑工程管理仍面临人才缺口大、信息化建设滞后、政策与自然环境制约等诸多难题, 亟待系统性优化。文章通过分析工程管理的意义、现存问题及优化措施, 为摆脱行业管理困境提供思路, 助力建筑行业实现可持续发展。

一、建筑工程管理的意义

(一) 帮助企业增加经济效益

在社会经济快速发展的时代背景下, 建筑行业的市场竞争态势日趋白热化。对于建筑企业而言, 若想在激烈的行业角逐中站稳脚跟、抢占先机, 单纯依靠压缩资金投入的传统模式已然行不通。企业必须在严格控制各项成本支出的基础上, 将工程质量摆在核心位置, 做到降本与提质并行, 唯有如此, 才能从根本上增强自身的核心竞争力, 在激烈的市场竞争中脱颖而出。而要达成这一目标, 建筑企业就必须积极探索并落地高效的管理策略, 通过优化施工流程、强化现场管控、提升人员专业素养等一系列举措, 切实提升建筑施工的整体效率。这不仅能缩短项目工期、减

少资源浪费, 更能全方位提升企业的盈利水平, 助力企业实现经济效益的稳步增长。

(二) 切实提高建筑工程质量

建筑企业在推进施工进度时, 需在合理控制资金投入的前提下, 将工程质量提升作为核心目标。建筑工程管理体系中, 施工全过程监督与竣工后的验收环节, 既是项目落地的收尾阶段, 更是保障工程质量的关键节点, 直接决定着项目最终的品质水准。这两项工作覆盖范围广泛, 不仅包含施工前期的精准工程测量、施工过程中的实时质量检测, 还涉及施工材料的严格筛选与适配核验等关键内容。通过系统化的监督与验收管理, 能够提前规避因施工人员操作不规范、技术执行不到位等人为因素, 或建筑材料规格不符、性能不达标等选材问题引发的质量隐患。即便施工

中出现突发质量问题，也能依托完善的管理机制快速定位原因、采取针对性补救措施，有效减少竣工后大规模返工带来的成本浪费与工期延误。这种科学完备的工程管理模式，从前期预防、过程管控到后期补救形成闭环，能够全方位筑牢工程质量防线，切实推动建筑工程质量达到预期标准乃至实现品质升级^[1]。

二、建筑工程管理中的控制问题

（一）建筑工程人才的缺失

建筑施工项目管理工作推进过程中，往往面临着诸多亟待解决的难题，这些问题既体现在一线施工的技术实操层面，也凸显于项目统筹的管理能力维度。建筑行业本身属于典型的技能密集型领域，这就要求从基层施工操作人员到中高层项目管理人员，都必须兼备扎实的专业知识储备与娴熟的岗位实操技能，同时具备符合岗位要求的管理素养。然而从当前行业现状来看，国内大量建筑施工从业者并未接受过系统的专业教育，其知识体系和技能水平难以匹配岗位的实际需求；与此同时，基层管理岗位上的部分人员，也普遍存在专业能力薄弱、技术素养偏低等问题，无法从容应对施工管理过程中的各类复杂状况。这一系列现状直接导致行业内兼具专业技术与管理能力的复合型人才严重匮乏，形成了巨大的人才缺口。更关键的是，专业化人才队伍的建设进度，已经明显滞后于社会经济快速发展下建筑行业的实际需求，在一定程度上制约了行业的高质量发展。

（二）信息化程度较低

当前，绝大多数房建工程项目都属于多主体协同参与的复杂模式，涉及建设、施工、监理、设计等多个相关单位。项目从规划设计到竣工交付的全流程中，会持续产生海量碎片化信息，这些信息涵盖进度数据、质量检测结果、材料供应台账等多个维度，对各参与单位的数据整合、传递与分析能力提出了较高要求。尽管随着数字化转型趋势的推进，行业内各单位已逐步意识到信息化重要性，纷纷尝试搭建专属的信息管理系统，但实际落地过程中仍存在明显短板。不同单位的信息系统多为独立搭建，缺乏统一的技术标准和数据接口，系统间互联互通性极差，形成了严重的“信息孤岛”现象。这种低效的信息化现状，直接导致各参建单位之间无法实现信息实时共享与高效协同。各单位掌握的项目信息往往存在偏差，沟通衔接存在明显滞后性，再加上缺乏科学统一的信息化管理手段，数据传递过程中易出现遗漏、失真等问题。这不仅增加了跨单位协作的沟通成本，还会直接影响项目决策的及时性与准确性，最终对整体工程建设的效率提升与质量保障形成制约^[2]。

（三）环境问题

建筑工程管理的最终成效，会受到政策、自然、市场等多重外部因素的综合作用，其中环境因素的影响尤为关键，直接关系到管理工作的推进效率与实施效果。这一影响主要集中在两个核心维度，具体表现如下：第一是政策环境的动态影响。为推动建筑行业实现规范化、可持续发展，我国相关监管部门会紧跟行业发展趋势与社会需求，持续优化调整工程建设、质量安全、环保

节能等领域的管理政策与标准规范。这些政策既为建筑企业的施工管理提供了明确的方向指引和合规依据，也带来了相应的适应挑战。企业能否快速响应政策变化，及时调整内部管理模式、施工工艺与流程规范，直接决定了工程管理工作是否符合合规要求，进而影响管理目标的实现。第二是自然环境的客观制约。建筑工程施工本身具有露天作业、周期长、工序复杂的特点，而自然环境的多变性进一步加剧了施工难度。工程质量与施工进度会直接受到气候条件（如高温、严寒、暴雨、大风等极端天气）、地质条件（如软土地基、岩溶发育等不良地质）、地形地貌特征以及水文条件（如地下水位高低、水流分布）等多种自然因素的显著影响。这些自然因素具有不确定性和不可控性，在工程管理过程中，工作人员必须对其进行全面勘察、系统分析和综合考量，才能最大程度降低潜在风险，保障管理工作的有序推进与最终效果^[3]。

三、建筑工程管理中的控制要点优化措施

（一）加强建筑工程人才队伍建设

基于建筑施工一线操作人员的技术熟练度，以及项目管理人员的专业认知水平与综合业务能力，建筑企业需从两大维度推进人才培养工作：一方面，要围绕工程图纸解读、项目规模研判、施工流程规划等核心内容，开展面向全体管理人员的通用技能与理论知识培训，夯实其业务基础；另一方面，需结合不同管理部门的职能差异，针对性开展精细化的专项施工技术培训，让各部门人员精准掌握与岗位匹配的专业能力。培训工作结束后，企业要组织系统化的考核评估，以此检验人员的知识吸收程度与技能掌握水平，同时督促管理人员正视自身短板，主动钻研专业知识、弥补能力缺口，实现管理能力的持续精进。企业还应将建筑材料质量核验与施工成本消耗管控纳入管理人员的核心工作职责，通过强化管理人员的责任意识，最大限度减少建筑材料浪费，确保各类建材的规格、性能均符合工程质量标准。在施工开展前与作业完成后，必须对所有施工机械设备进行全面的性能检测，一旦发现设备存在异常故障，需及时进行维修保养，保障设备稳定运行，为施工质量筑牢基础。针对电工、高空作业人员等特殊工种，企业需按时足额配备安全帽、安全绳、绝缘手套等防护用品，全方位保障施工现场全体人员的安全。另外，建筑施工企业还需进一步优化完善内部管理团队的组织架构，明确各层级管理岗位所需的专业知识与能力素养，结合建筑工程项目的不同层级需求调整管理队伍配置，让具备专业能力的优秀管理人才在对应岗位上充分发挥价值，以此驱动施工企业整体管理水平的稳步提升。

（二）实施信息化管理

伴随现代科学技术的飞速迭代与广泛普及，信息化管理已成为推动建筑工程管理模式升级的核心驱动力。为充分释放信息化管理的技术优势与应用价值，建设单位需主动转变传统管理思维，积极搭建覆盖项目全生命周期的信息化管理平台，依托大数据、云计算、物联网等前沿技术手段，配套科学高效的管理方

法，以此全面提升工程信息化管理的整体水平。在信息化管理平台的实际搭建与运维过程中，建设单位应将数据的整合、共享与深度应用作为平台建设的核心发展方向。通过构建统一的数据标准与接口规范，将项目施工进度、质量检测数据、材料供应信息、成本核算明细等各类分散数据进行集中归集与系统化管理，这不仅可实现对项目全流程数据的实时监测与动态追踪，还能有效规避数据重复录入、信息交叉冲突等问题，大幅提升数据的准确性与利用效率。与此同时，要真正实现工程管理的全面信息化，还必须建立一套与之相匹配的信息化管控体系。通过明确各部门在信息化管理中的职责分工与协同机制，打破传统管理模式下的部门壁垒，强化各业务环节之间的信息互通与联动协作，从而实现人力、物力、财力等各类资源的优化配置与最大化利用，为工程管理效能的提升提供坚实的信息化支撑^[4]。

（三）构建科学的现场施工规划

在建筑工程施工管理的全流程推进过程中，想要保障施工环节有序衔接、高效落地，就必须对现场各项施工工序进行科学化、系统化的统筹规划，同时制定出全面且具备可操作性的实施方案，以此让施工方案的核心要点更具指导性，让整体施工计划的执行步骤更清晰明确。相关工作人员需要对施工现场及周边的整体环境展开全方位、深层次的勘察调研，不仅要精准掌握施工现场的地质结构、土壤性质等关键指标，还要详细摸排项目周边的水文条件，包括地下水位深浅、水流走向、汛期水量变化等内容。将这些实地勘察获取的一手数据作为核心依据，才能为后续施工方案的编制与设计工作筑牢基础，确保方案与现场实际情况高度契合。其次，要针对施工现场的各类建筑材料开展科学规范的仓储保管工作。工作人员需根据不同材料的物理化学特性、规格型号以及实际施工用途，划分专属的存放区域，制定差异化的保管方案。比如对钢筋、钢材等金属材料做好防潮防锈处理，对水泥、砂石等粉状骨料做好防雨防结块措施，通过这类精细化的

保管手段，能够有效降低材料因环境温湿度变化、外力碰撞等因素出现损坏、锈蚀、变质等问题的概率，从源头减少材料损耗。

（四）引进先进的工程管理模式

管理模式的先进程度，是直接影响建筑工程管理工作效率高低与最终成效优劣的关键要素之一。在建筑行业竞争日趋激烈、项目复杂度不断提升的当下，传统管理模式的局限性逐渐凸显，已经难以满足现代化房建工程的管理需求。因此，想要进一步增强房屋建筑工程管理工作针对性与实效性，推动管理水平实现质的飞跃，建筑企业不能盲目照搬照抄其他项目的管理方式，而是要立足自身发展实际，全面统筹考量多方面核心要素。其中既涵盖项目本身的客观属性，比如项目建设规模的大小、建筑结构与功能的独特特征、建设内容的复杂程度、前期投资概算的具体标准以及工程全周期的管理需求等；也包含企业自身的发展现状，比如现有的技术储备、人才队伍结构、资金周转能力以及过往项目的管理经验等。在此基础上，建筑企业需秉持因地制宜、择优选用的原则，积极关注行业内前沿的管理理念与实践成果，重点做好先进工程管理模式的引进、消化与落地应用工作，以此适配项目管理的实际需求^[5]。

四、结束语

文章深入探讨建筑工程管理的意义、现存问题与优化措施，明确工程管理是企业提升经济效益和工程质量的核心抓手，而人才缺失、信息化程度低、环境因素制约是当前管理工作的主要痛点。针对这些问题，需要通过加强人才培养与团队架构优化、搭建全生命周期信息化管理平台、制定科学现场施工规划、引进适配的先进管理模式等举措，全面提升管理效能。未来研究可聚焦智慧化管理技术与建筑工程的深度融合，探索更贴合行业发展需求的创新管理路径，推动建筑工程管理向精细化、智能化方向迈进。

参考文献

[1] 成飞. 建筑工程管理中的控制要点与优化措施 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(1): 157-160.
[2] 江家宝, 孙宁一. 建筑工程管理中的控制要点与优化 [J]. 科技资讯, 2022, 20(10): 74-76.
[3] 段春松. 建筑工程管理中的控制要点与优化措施 [J]. 建筑工程与管理, 2025, 7(6).
[4] 刘雪婷. 建筑工程管理中的控制要点与优化措施 [J]. 砖瓦世界, 2021(18): 165, 167.
[5] 王钦, 陈阳. 建筑工程管理中的控制要点与优化措施 [J]. 居业, 2021(4): 155-156.

建筑施工现场文明施工管理要点与实施路径探析

陈志永

广东昊荣建设工程有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ETQM.2026060023

摘 要： 文章剖析了当前施工管理中普遍存在的四大不足，包括管理制度不完善导致现场管控薄弱；施工技术相对滞后难以满足现代工程要求；人员安全意识薄弱埋下安全隐患；材料管理混乱造成资源浪费与成本增加。针对上述问题，文章重点从文明施工角度提出了系统性改进措施，包括建立健全文明施工保证体系、强化人员培训教育、加强常态化现场检查以及全面落实环境保护要求。通过上述分析，为构建规范化、标准化的施工现场管理体系明确了方向。

关 键 词： 建筑施工；现场文明；施工管理

Exploration on Key Points and Implementation Paths of Civilized Construction Management at Construction Sites

Chen Zhiyong

Guangdong Haorong Construction Engineering Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract： This paper analyzes four common deficiencies in current construction management, including weak on-site control due to inadequate management systems, outdated construction techniques that struggle to meet modern engineering requirements, weak safety awareness among personnel leading to potential safety hazards, and disorganized material management resulting in resource waste and increased costs. In response to these issues, the paper proposes systematic improvement measures from the perspective of civilized construction, including establishing a sound civilized construction assurance system, strengthening personnel training and education, enhancing regular on-site inspections, and fully implementing environmental protection requirements. Through the above analysis, this paper provides a clear direction for constructing a standardized and normalized construction site management system.

Keywords： building construction; on-site civilization; construction management

引言

在实际建设过程中，由于多工种交叉作业、人员流动性大、露天作业环境复杂等因素，现场管理往往面临诸多挑战。部分企业为追求短期效益，忽视了管理制度的完善与执行，导致进度滞后、质量缺陷、安全事故乃至环境纠纷等问题频发。这些问题不仅损害了参建各方的经济利益，也制约了建筑企业的可持续发展。因此，深入研究施工现场管理的核心要素，系统分析当前存在的共性问题，并探索科学有效的管理措施，对于提升建筑工程整体管理水平、促进行业高质量发展具有重要的现实意义。

一、现场施工管理的必要性与重要性

（一）有利于把控施工进度与质量

施工现场的各项管理工作方案，必须在项目部正式进驻之前完成系统性的编制与审核。这一过程需要全面覆盖工程项目从开工准备到竣工验收的全周期，并对各个阶段可能出现的技术难题、资源调配问题以及外部环境干扰进行前瞻性预判。根据项目本身的规模等级和结构特点，针对不同施工时期的管理重点和管控手段做出相应调整，确保方案能够贴合不断变化的现场作业条件。在项目具体推进过程中，必须将既定计划作为行动指南，确保各项工序按照预定节点有序开展。对计划不打折扣的落实，能

够在很大程度上规范施工班组的行为，减少返工和窝工现象，从而对工期目标的实现和工程品质的提升形成有力支撑^[1]。

（二）对项目参与各方起到利益的保障与促进作用

工程项目管理并非某一方的独立职责，而是需要建设单位、设计单位、施工单位、监理机构等所有相关方紧密协作、共同推进的系统工程。在整个建设流程中，各参建单位分别扮演着决策制定、方案落地、过程监督等不同角色，彼此之间形成相互依存、相互制约的关系。一次组织有序、运转高效且质量过硬的项目建设过程，能够使各方在合作中共同受益。随着施工周期的合理压缩，不仅能够显著降低人工成本、机械租赁费用以及企业管理开支，还能使项目早日投入使用并产生效益。这种工期与费用

的双重改善，直接推动了各参建单位利润空间的提升，最终实现多方共赢的良好局面，也为后续的长期合作奠定了信任基础^[2]。

（三）有助于提升管理效率与工作效率

在工程建设现场推行规范化管理体系，其核心宗旨在于双重保障：一方面切实维护作业人员的健康安全，降低意外事故发生的概率；另一方面通过合理缩短建设周期，有效控制资金占用成本，为项目争取更大的经济效益。如果在每一个工序环节都能够实现流程优化和资源的高效配置，那么对整体施工节奏的加快将会形成十分显著的推动效果。与此同时，这套体系还能够反过来作用于各个管理层级，促使管理人员不断改进工作方法，提高决策速度和指令传达的准确性。通过这种自上而下、从点到面的系统性优化，项目建设的全过程将更加平稳有序，既保证了工程的品质，也加快了交付的速度，最终推动整体建设目标更加顺利地实现^[3]。

二、施工管理存在的不足点

（一）施工现场管理制度不完善

任何一个企业在自身的成长与业务拓展过程中，都必须依托健全的内部规章体系。科学合理的制度与规范能够对从业者的操作行为形成有效约束，引导各项工作有序推进，从而为企业的持续发展注入稳定动力。然而在建筑工程的具体实施阶段，不少项目暴露出了管理基础薄弱的问题，由于缺乏系统性的制度作为支撑，导致现场管控能力受到明显制约，这不仅拉低了整体的管理水平，也在一定程度上拖慢了建筑企业的前进步伐。观察某些施工场地可以发现，部分企业出于控制成本的考虑，一方面强行压缩工期，造成各道工序仓促赶工；另一方面对进场材料的质量把关不严，储存和使用环节也缺乏严格监管。这种粗放式的管理模式给施工作业埋下了诸多安全风险，轻则影响工程外观质量，重则可能引发安全事故。施工现场缺乏完善的制度约束，最直接的后果便是建筑工程的整体品质难以得到保障，长此以往，企业的市场信誉也会受到冲击，进而阻碍其在行业中的正常发展。

（二）建筑施工技术相对滞后

在当前的建筑行业中，施工所采用的技术手段往往直接决定了工程项目的最终品质。提升技术水平的途径之一，是强化对现场作业人员的技能培训，使每一位参与者都能够深入理解并熟练操作本工种涉及的核心工艺，从而确保各项技术能够在实践中得到规范运用。从现场管理的角度来看，一线工人的专业素养以及他们所掌握的技术能力，对建筑物的施工质量发挥着至关重要的影响。如果在操作环节出现失误、步骤遗漏或者违反规程的行为，轻则导致局部返工，重则干扰整个施工流程的顺利推进。然而，部分企业出于控制成本的考虑，既没有安排系统性的岗前培训，也没有引入行业内较为成熟的施工工艺，导致现场仍然沿用效率较低、精度较差的传统方法。这种技术上的滞后，使得当前的生产能力难以匹配现代建筑工程对质量、安全和环保提出的更高要求。作业人员在日常施工中难免因为技术不熟练或设备老旧而出现各类问题，倘若这些问题未能得到及时发现和有效整改，

不仅会使工期一再延长，还可能因为返工修复、材料浪费等原因，给企业带来原本可以避免的额外开支，进一步压缩了项目的利润空间。

（三）施工现场人员安全意识薄弱

对于从事工程建设的单位而言，在推动项目实施的每一个环节，都应当将保障作业安全视为不可动摇的底线，把维护现场人员的生命健康作为各项管理举措的核心出发点。然而观察当下的许多作业场地可以发现，一线作业者对潜在风险缺乏足够的警惕，对于现场安全管控的相关要求也没有形成深入的认知。与此同时，部分企业未能及时将规范的操作规程传达至基层班组，导致工人在日常作业中缺少明确的安全指引，既不了解违规操作可能带来的严重后果，也无法在日常行为中体现出对自身和他人安全负责的态度。由于缺乏有效的制度约束和行为纠偏，施工现场常常出现防护用具佩戴不规范、机械设备违规操作、用电线路私拉乱接等现象，这些看似细微的疏忽背后，往往埋藏着不可预估的事故隐患。一旦风险转化为实际的事故，不仅会直接伤害作业人员的身体健康，还会给工程项目带来停工整顿、经济赔偿等多重损失，对企业的社会形象也构成严重打击。

（四）施工材料管理存在问题

任何工程项目的顺利推进，都离不开种类繁多的建筑材料作为基础支撑。对施工物资进行科学规范的管控，其水平高低直接关联着竣工后的工程品质能否达到预期标准。反观当下的许多作业现场，材料管理混乱的现象屡见不鲜。部分场地内，各类建材被随意露天堆放，缺乏必要的防潮、防雨、防碰撞措施，更有甚者将待用的材料与建筑垃圾、废弃包装混置一处，这种粗放的处理方式极易导致材料性能下降、外观受损。与此同时，由于现场缺乏有效的看管机制和清晰的领用流程，材料丢失、被盗的情况也时有发生，一旦关键物资出现短缺，便会迫使施工中断，等待补货进而拖慢整体节奏。材料保管环节的漏洞，最直接的后果便是造成大量的资源浪费，许多原本可以使用的建材因存放不当而提前报废，迫使企业追加采购预算，无形中推高了项目的运营成本。更进一步看，废弃材料的随意丢弃和不合格处理，还可能对施工现场周边的土壤、水源带来污染隐患，引发环境保护方面的额外风险。

三、建筑施工现场文明施工的管理措施

（一）建立健全建筑施工现场的文明施工保证体系

实现施工现场的文明作业，是参与工程建设的多方主体——包括施工企业、开发单位、监理机构以及物料供应商等——共同肩负的任务，也是大家一致期望达成的管理目标。在这一协作网络中，建筑施工企业作为现场作业的直接组织者和实施者，必然成为落实文明施工的核心力量，需要承担起最主要的执行责任。基于这一角色定位，施工企业应当牵头组建专门负责现场文明管理的行动小组，由项目经理或生产负责人担任主要牵头人，吸纳各工种、各班组的相关人员共同参与。在此基础上，需要结合项目特点搭建起覆盖全面、责任清晰的文明施工保障架构，将场容

维护、扬尘控制、垃圾清运、噪声管理、临时设施布置等各项具体事务逐一分解,明确每一个环节由谁负责、按什么标准执行、由谁来检查监督。只有通过这种制度化的安排,将责任压实到具体岗位和具体人员,才能确保事先制定的文明施工方案不流于形式,在现场得到不折不扣的推行,最终营造出整洁有序、规范安全的作业环境^[1]。

（二）加强施工现场文明施工的培训教育

建筑施工企业应当将作业人员的文明素养提升纳入常态化管理议程,持续开展系统性的培训与宣导工作。为了使教育培训取得实效,需要突破单一的课堂讲授模式,借助多样化的载体和手段来增强感染力与参与度。例如可以在现场设置宣传展板、张贴通俗易懂的标语漫画,组织员工参与文明施工体验活动,利用VR虚拟现实技术模拟不规范作业带来的后果,举办安全文明知识竞赛,剖析行业内典型事故案例,以及开展图片巡回展览等。通过这些生动直观的形式,反复向一线人员传递文明施工的价值理念,讲解现场管理的各项规章制度,使大家逐步形成对规范作业的内心认同。随着教育的不断深入,施工人员不仅能够掌握正确的操作方法,还能够增强对自身及他人安全的关注,提升识别隐患、规避风险的能力。这种内在意识的强化,能够促使他们在日常作业中自觉遵守现场秩序,主动维护场地整洁,减少不必要的扬尘和噪声,将绿色环保的要求融入每一个操作细节。长此以往,现场的整体面貌将得到持续改善,各类违规行为和意外事件的发生概率也会随之降低,为项目推进营造出更加有序、整洁、安全的工作环境。

（三）加强施工现场文明施工检查

对现场文明施工状况进行常态化检查,是整个管理流程中的关键一环,也是主动发现隐患、及时纠正偏差的重要手段,能够为各项文明措施的落地提供坚实保障。在具体实施过程中,需要组织专职人员或联合检查组,依据文明施工规范逐项开展排查,覆盖范围应当包括场区周边的围挡设置、进出通道的封闭管控、

场内道路与作业面的硬化保洁、各类建材的码放与遮盖、临时生活设施的安排、消防器材的配备与有效期、门卫值班与人员出入登记、标识标牌的悬挂与维护、饮水就餐与卫生清洁条件、简易医疗用品的储备以及降尘降噪等社区友好措施的落实情况。通过这种全方位的巡查,能够及时发现现场存在的违规行为或潜在风险,并据此制定整改方案,采取针对性措施予以消除,从而保证文明施工始终处于受控状态。检查方式可以灵活安排,不固定具体日期,每周至少进行一次突击抽查,对发现的问题区域拍照记录并在检查台账上详细标注,下一次复查时重点核对整改是否到位。与此同时,可以配套建立明确的奖惩机制,对长期保持规范作业的班组给予适当奖励,对屡次出现问题的责任人进行提醒或考核扣分,以此调动全体人员主动参与现场管理的积极性,逐步形成人人维护环境、人人注重形象的良好氛围。对施工机械和车辆排放的废气进行源头控制,对生产生活产生的废水进行沉淀处理后再排放,对废弃建材和包装材料进行分类收集与合规清运,对易产生扬尘的作业面和道路采取洒水、覆盖等降尘手段,以及对打桩、切割、浇筑等环节发出的噪声进行时段控制和隔音处理。这些污染防治措施共同构成了现场环保工作的主要内容,也是实现绿色施工的基本要求^[5]。

四、结束语

综上所述,构建权责清晰的文明施工保障体系,通过组织架构的完善将管理责任落实到岗;创新培训教育形式,运用VR体验、案例剖析等手段提升人员素养;建立常态化检查机制,结合突击抽查与奖惩措施确保制度落地;强化全过程环境保护,从废气、废水、噪声等源头控制污染排放。未来可进一步聚焦于利用物联网实现材料智能追踪,以及通过大数据分析预警安全隐患,推动施工管理向智能化、精细化方向演进,为建设品质工程提供更强有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 黄晓容. 探析建筑施工现场文明施工管理 [J]. 建材与装饰, 2025, 21(35): 121-123.
- [2] 杜瑶. 绿色建筑工程施工现场文明施工管理创新探讨 [J]. 建材与装饰, 2025, 21(7): 82-84.
- [3] 蔚彤. 基于建筑施工现场文明施工管理的研究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(6): 55-57.
- [4] 陈志法. 建筑施工现场的安全生产与文明施工管理 [J]. 建材与装饰, 2024, 20(12): 73-75.
- [5] 汪书斌. 绿色建筑工程施工现场文明施工管理创新研究 [J]. 安徽建筑, 2021, 28(2): 189-190.

船舶通风系统设计与优化研究

张文忠

上海中远海运重工有限公司, 上海 200122

DOI:10.61369/ETQM.2026060026

摘 要：以船舶机舱、货舱以及居住舱室等为代表性部位通风要求为基础，在风量确定、风道布置、送排风组织、设备选取及运行调节等方面提出兼顾安全、舒适和经济的通风系统设计方案；同时针对局部温度高、气流停滞、阻力过大和能耗过高的情况，优化系统结构和控制方法。优化之后可以提高舱室内空气流通均匀性和有毒有害物质排出能力，减少风机工作量和系统的电能消耗，有利于设备散热以及船员工作条件，从而保障船舶的安全、经济、有效运行。

关 键 词：船舶通风系统；风量计算；送排风组织；节能优化；空气环境控制

Research on Design and Optimization of Marine Ventilation System

Zhang Wenzhong

COSCO Shipping Heavy Industry (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 200122

Abstract：Based on ventilation requirements for representative areas including ship engine rooms, cargo holds, and living quarters, this study proposes a ventilation system design that balances safety, comfort, and cost-effectiveness in aspects such as air volume determination, duct layout, air supply/exhaust organization, equipment selection, and operational regulation. To address issues like localized high temperatures, airflow stagnation, excessive resistance, and elevated energy consumption, the system structure and control methods are optimized. The enhanced design improves air circulation uniformity within compartments and toxic substance removal efficiency, reduces fan workload and system power consumption, facilitates equipment heat dissipation, and improves crew working conditions, thereby ensuring safe, economical, and efficient vessel operation.

Keywords：ventilation system of a ship; calculation of airflow; organization of supply and exhaust air; optimization of energy saving; control of air environment

引言

船舶长期处于高湿、高盐雾、强振动以及密闭状态工作条件，通风系统除了要完成舱室换气外，还要考虑设备散热、安全保障、人员舒适性和能源消耗等问题，在船舶大型化以及功能日益复杂的背景下，各舱室对于通风参数有着不同的需求，而传统的设计方法已经不能满足现代船舶对于通风量分配、气流组织以及能耗等方面的要求，因此对船舶通风系统设计要点及改进措施进行探讨具有重要意义并且也有利于以后的工作开展。

一、船舶通风系统设计的基本要求与原则

（一）满足船舶不同舱室的通风需求

船舶通风系统设计应基于分区负荷差异进行划分，根据不同区域如机舱、辅机舱、货舱、居住舱、厨房、电气设备间的温湿度条件以及污染物特性选择适宜通风方法及参数。对于机舱通风主要是设备发热量以及废气排放量，要考虑到主机辐射热量、辅机发热量以及舱室允许温升来确定送排风量，一般可按换气次数和余热进行计算；居住舱更注重空气质量与舒适度，送风量不仅要保证人员所需的新鲜空气，同时还要考虑温湿度平衡以及降噪要求；而货舱通风要根据所装货物对其温度、湿度和气体的要求确定换气次数，防止产生局部积水、过热或者有毒有害气体累

积现象^[1]。

（二）兼顾安全性与运行可靠性

安全性是船舶通风系统设计首要考虑因素，在容易积聚可燃气体、油雾、毒气或者高温烟气处应以机械通风与局部强制排风为主并结合防火、防爆分区以及事故状态进行专门设计。机舱、泵舱、电池舱和油漆间等重要部位要使污染物能够顺畅排出而不至于重新流入居住区或电气控制区。风机、风阀以及电动部件都需要有抗震动、抗盐雾以及抗湿能力，主要设备最好选用连续工作制，若有必要还要配备备用风机或者双电源供电。同时，风道材料、阀门密封性以及穿舱件等都应该满足防火完整性的要求，在发生火灾、泄露或者温度异常升高情况下可以迅速切断气流传播，增加系统的安全裕度以及运行稳定性。

（三）遵循经济性与节能性原则

在满足通风功能以及安全性基础上，系统经济性主要表现为初始投资少、运行能耗低以及便于维修三个方面内容。风道应尽可能减少送风路径长度，减少弯头、三通及变径使用次数，以减小整个系统的压力损失，避免由于系统压力过高使风机一直处于不经济的工作区间运转。风机的选择需根据设计风量、全压、效率和噪声等因素进行选择，在一般工况下可适当留有一定富余量，但是不能过多，以防造成“大马拉小车”的现象而造成不必要的能源浪费；对于负荷变化较大的舱室，可通过变频调节或者分时启动等方式，使其风量满足实际需要^[2]。

二、船舶通风系统设计中存在的主要问题

（一）风道布置不合理导致通风效果不足

船舶舱室内空间狭小，设备众多，风道布置往往受到梁的影响以及甲板高度、管道相互交错和维修空间的影响而造成某些线路较长，弯头较多，局部缩放频繁的情况。当风道有多个90度弯头，断面迅速变化或者支路分配不合理时，沿程阻力以及局部阻力都会大大增加，从而造成末端风口静压低，实际风量小，导致整个舱室达不到预期的换气率，热点部位不能得到有效冷却，污染的空气不能有效排出。对于机舱、泵舱、电器设备舱室来说，如果送风口和排风口设置不合理很容易产生短路、死区、死角，使得高温空气以及油雾不能够及时排除。而对居住舱来说则会出现局部闷热、温差较大以及舒适度降低的问题。根据相关规范规定一般主风道风速应为6~10m/s，支风道风速应为4~6m/s，在局部风速过大时，会造成额外的能量损失同时还会产生较大的噪声及振动从而降低整个系统的性能^[3]。

（二）设备选型与工况匹配度不高

船舶通风设备选型不当，主要是因为风机参数与系统的实际情况不符、末端设备与主管道之间配合不佳，还有就是对特殊环境下的要求考虑不足。有些设计只是根据理论风量或者经验来确定风机型号，而忽略了管道中的阻力损失、风门留有足够的调整空间、过滤器带来的增加阻力以及各种工况的变化，使得风机一直在高效区域以外工作，造成风量不够、电耗大或者容易发生喘振的情况。一般情况下，离心风机的最佳工况是在其额定值的0.8到1.1之间，如果这个静压差距太大，那么整个系统的效率就会大大降低。而且散流器、百叶风口、防火阀和止回阀等末端部件所选取的阻力系数不合适，也会影响风量的均匀分布。对于机舱高温、高湿、高盐雾环境，如果对电机绝缘、防腐等级以及能够长期工作的要求没有足够重视，也会造成设备使用寿命降低、系统可靠性差等问题。

（三）系统控制方式较为粗放

目前仍有部分船舶通风系统使用定速风机、手动风阀以及分段启停等方法进行控制，其控制策略较单一，不能满足船舶各种工况下不断变化的需求，在靠岸、低速航行、热带海域航行以及设备负荷较大情况下，如果仍然以恒定风量运行，则会出现过度通风或者通风不足的情况，前者会造成风机耗电量增加并且增大热湿波动幅度；后者会使局部温度上升并且产生有毒有害气体聚集，尤其是对机舱和电气设备间等热负荷变化较大的地方，在无相关参数之间联系的情况下，系统反应迟缓更加突出，因此通风控制亟需改进为变

频调速、分区协调控制和报警提示方面发展^[4]。

三、船舶通风系统的设计优化措施

图1给出船舶通风系统优化主要内容，即一般舱室通风要求、风管及设备布置改进以及智能化监测与控制途径等，体现了通风系统从以往固定工作模式到更加合理、经济、智能控制过程。

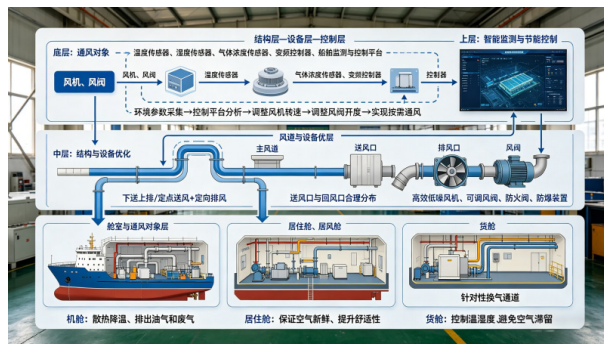


图1 船舶通风系统设计优化示意图

（一）优化风道结构与气流组织

船舶通风系统优化首先应从风道网络以及气流组织入手，在总体设计时就考虑到舱室边界、设备热源位置、检修通道以及结构开孔情况等，尽量避免无效输送和局部阻力叠加。主干风道宜采用直线型，避免过多弯头、三通及突变截面，弯头处可设置导流片或者加大弯曲半径，以减少涡流产生以及阻力损失；而对远离主干风道分支管路，则需进行静压校核以及阻力平衡计算来保证其风量符合要求。机舱、辅机舱以及电气设备舱等高温区域应采取“低位进风口、高位排风口”或者“热源附近送风、上方集中排风”的方式使热羽流以及污染物沿着自然上升趋势迅速排除；生活区需注重人员活动区风速以及温差，防止送风短路、吹风感强烈以及空气积聚。一般而言，在常规情况下，人员活动区风速应在0.15~0.50m/s范围内，对于一些重要设备发热量较大的地方其换气次数及局部风速根据实际情况进行计算来保证通风效果的同时也符合人体舒适度并且考虑整个系统的阻力情况^[5]。

（二）科学选择通风设备与控制装置

设备选型应在正确计算风量、系统阻力以及考虑工况变化基础上进行，不能盲目以经验加大规格。风机应按其额定风量、全压、效率、噪声级别和耐腐蚀性选择，尽量让工作点处于高效区域之内，一般不超过风机最大效率点 $\pm 10\%$ ，有利于降低长时间使用中电能消耗以及磨损。而对于机舱、泵舱、油漆间、电池舱等位置，则需同时达到防爆、防火、防腐蚀以及不间断工作，对电机防护等级、绝缘等级及其所用材料都必须适应潮湿、高盐雾、高振动条件。末端装置，如风阀、百叶、散流器以及防火阀等阻力特性要与主管系统相适应，防止由于某一部分阻力较大而使整个系统不能正常工作^[6]。

（三）引入节能与智能控制技术

通风系统优化不能只考虑静态设计，还要基于船舶自动化平台实现动态调整，把温度、湿度、压差、CO₂浓度、可燃气体浓度以及重要部位表面温度进行实时监控，“感知—分析—调节—

反馈”，机舱和电气设备舱可根据热负荷大小自动改变风机转速以及风门开度，而生活区可以按人数多少及外界情况分区定时供风。智能化还可以增加高温报警、浓度报警、故障联锁以及火警切换等功能，提高能源利用效率以及应对突发状况能力。

四、船舶通风系统优化后的应用效果分析

（一）舱室空气环境得到明显改善

通风系统改进之后，舱室内空气状况的改变首先是送排风合理，满足热源位置以及人们活动情况。居住舱和公共舱室可以参考现有船员居住舱室通风标准，机械通风状态下每人新风量至少为25m³/h，在气温为-1℃情况下，加热后舱室温度仍然要维持在21℃，这是对居住区热舒适性和空气品质的要求。而机舱或者其他高热源区域，定点送风、顶部排热、热源附近补风之后，局部过热区域显著减小。已经有一些CFD工程应用表明，在对机舱通风方案进行优化之后，系统在满足温度场的要求下，可以降低总

的供风风量约13.8%，并且有利于整个平均温度以及燃烧空气质量的提升，可见优化并不是一味增加气流量，而是通过对气流路径的改进而达到更好的通风效果^[7]。

（二）系统运行能耗得到有效降低

应用效果最直观的是风电量降低，在传统的风管系统中由于风管阻力较大、风机选型余量过大以及控制方式较为粗略等原因造成风机长时间处于非经济工况运行，从而使每立方米送风量所消耗的能量较高。而在进行改进之后一方面可以通过减少弯头、三通、局部突扩突缩以减少系统的阻力损失，另一方面可以采用变频风机根据需要进行变频调节，使得送风量与舱室内的热量相适应。有报道某货轮的机舱经过通风方案改善之后，其风机的功率降低了36%，而另外一艘油轮的机舱在进行了变频改造之后，机舱的通风风机一年节省的电能为613.116kWh，节约近80%。这表明，船舶通风系统节能潜力主要来自于“阻力优化+变频控制+工况联动”这三个方面综合起来发挥作用，而并不是某个单个设备代替的问题^[8]。如表1所示。

表1 船舶通风系统优化效果与控制基准数据表

指标类别	具体指标	数值	说明	来源
居住区空气品质基准	新风量	25 m³/h · 人	船员居住舱机械通风最低供风基准	ILO/NatLex 船员居住规定
居住区热环境基准	供暖温度	21° C	环境温度-1° C时应保持的舱温	ILO/NatLex 船员居住规定
危险空间通风基准	机械通风换气次数	≥ 12次 /h	封闭危险空间最低机械通风要求	IMO Rules 汇编条文
燃气双层管 / 导管安全基准	机械通风换气次数	30次 /h	燃气双壁管或通风导管的强制通风要求	IMO MSC.458(101)
机舱优化案例	送风量变化	-13.8%	满足温度分布条件下减少总风量	Sage 机舱 CFD 案例
机舱优化案例	风机功率变化	-36%	优化后风机功率下降	Sage 机舱 CFD 案例
原油船变频案例	年耗电量	613.116→153.279 kWh	变频驱动替代传统控制后的年电耗变化	2023年船舶机舱 VFD 案例

（三）系统安全性与管理水平同步提升

改进后应用效果是更加明显，安全性更高，故障响应速度更快。根据 SOLAS 规定，机舱 A 类处所、车辆处所、厨房等处所的通风系统一般应当与其他区域如起居处所或其他处所隔离，在风管穿过这些分隔时应达到一定的钢材厚度、安装自动防火阀以及 A-60 级隔热的标准；而且风管钢板厚度根据其截面积进行划分，小于 0.075m² 风管至少需要 3mm 厚钢板，而介于 0.075~0.45 m² 范围内则至少需要 4mm 厚度，大于 0.45 m² 至少需要 5mm 厚度。对于采用气体或者低闪点燃料船舶还需提供双层管或者导管空间并且保证有 30 次 /h 的机械通风以防气体或者液体泄漏造成危害。这意味着优化通风系统不仅提升空气质量以及能效，同时提高防火分隔、气体稀释、故障联锁及区域划分的能

力，在系统连接到监控中心之后，温度过高、风量不足或者气体浓度超标等都可被更快发现，“经验运行”转为“参数化运行”，便于管理维护。

五、结语

船舶通风系统对舱室内空气质量、设备散热能力、航行安全性以及能源利用率都有很大影响。通过对不同通风要求、存在问题以及改进措施进行研究可以发现，改善风道布置、提高设备匹配度、增加智能化控制手段等，都是提高通风系统效果的有效途径。未来通风系统的设计要以安全、经济、适用为目标，更好地服务于船舶绿色化、高效化、智能化发展。

参考文献

[1]唐柱军.船舶轮机通风系统的可靠性分析与设计[J].船舶物资与市场,2024,32(02):56-58.
[2]蔡凯华,刘倩.船舶加装脱硫系统对机舱通风系统布置的影响[J].广东造船,2024,43(04):58-61.
[3]王永光.船舶生活区通风噪声分析及降噪方案探析[J].船舶与海洋工程,2025,41(03):34-40.
[4]魏永法,胡春华.船舶厨房通风系统的设计及布置[J].广船科技,2023,43(03):13-17.
[5]贺天智,陈旭,汪海燕,等.船舶洗衣烘干间通风系统设计[J].船舶与海洋工程,2024,40(05):53-59.
[6]李泽雄.船舶通风系统设计与船舶空气质量控制研究[J].船舶物资与市场,2025,33(10):55-57.
[7]徐世杰.船舶机舱通风系统设计[J].船舶物资与市场,2025,33(01):81-83.
[8]张贝.船舶通风系统中通风口设计及位置优化[J].船舶物资与市场,2024,32(12):4-6.

数字化改革背景下用地预审与用地报批提速增效路径

滕超

长沙佳源土地规划咨询有限责任公司，湖南 长沙 410007

DOI:10.61369/ETQM.2026060033

摘 要： 本文主要梳理了台州、安徽、湖南等地在用地预审和用地报批领域开展的数字化改革，分析传统审批存在流程分散、数据壁垒、标准缺失等问题，提出从流程重塑、数据赋能、标准统一三个角度提速增效。如台州市“批供建一体”改革将9个论证事项整合为同一个流程，压缩周期50%、压减材料60%；湖南省构建“一库一网一平台”，核发全国首批“三合一”规划许可意见。通过数字化手段压缩申报材料、降低企业成本，这可以帮助各地推进用地审批的改革工作提供参考。

关 键 词： 数字化改革；用地预审；用地报批；提速增效

Pathways for Speeding Up and Enhancing Efficiency in Land Pre-Approval and Land Application Approval under the Context of Digital Transformation

Teng Chao

Changsha Jiaoyuan Land Planning Consulting Co., Ltd., Changsha, Hunan 410007

Abstract： This article mainly summarizes the digital transformation carried out in the fields of land pre-approval and land application approval in places such as Taizhou, Anhui, and Hunan, analyzes the problems existing in traditional approval processes, such as scattered procedures, data barriers, and lack of standards, and proposes to accelerate and enhance efficiency from three perspectives: process reengineering, data empowerment, and standard unification. For example, the "Batch Construction Integration" reform in Taizhou combined 9 assessment items into a single process, reducing the cycle by 50% and cutting materials by 60%; Hunan Province constructed a "one database, one network, one platform" system, and issued the first batch of "three-in-one" planning approval opinions in the country. Through digital means to compress application materials and reduce enterprise costs, this can help various regions promote the reform of land approval work as a reference.

Keywords： digital transformation; land pre-approval; land application approval; speeding up and enhancing efficiency

引言

用地预审和用地报批是建设项目落实的关键。在这两个流程中，由于多部门单独审核、串联推进、材料重复、标准不一等问题导致审批周期长、企业负担重，数字化改革为解决这些痛点提供技术支撑。近年来，各地在流程整合、平台建设、制度创新方面做出了积极探索。本文结合台州市“批供建一体”改革经验以及湖南省“多审合一”、平台建设经验分析传统审批堵点，提出提速增效的优化路径，希望能够成为他类模式下同步改革的有益借鉴。

一、数字化改革背景下用地预审与用地报批改革的实践进展

（一）流程优化与平台建设的协同推进

全国各地围绕用地预审与用地报批的流程优化和平台建设开展了多样化探索。台州市推行“批供建一体”改革，将9个论证事项整合为统一流程，压缩周期50%。安徽省探索“零跑动、不见面”审批新模式，平均办理用时从17天缩减至7天。山东省济宁

市开发重点项目落地审查数字化平台，审查周期从20个工作日压缩至7日以内，企业跑腿次数减少80%。湖南省在平台建设方面取得突破，着力构建用地用林用草联合审批体系，明确了统一建设自然资源数据库、审批政务外网和协同审批平台的“一库一网一平台”建设目标。在数智赋能方面，湖南省建成了省级自然资源“智慧选址”“智能组卷”和林草“带图审批”系统，通过省“政务服务+一体化平台”实现了自然资源与林业业务系统对接，所有涉地涉林项目全面“落地上图”，做到了“平台之外无审批、

作者简介：滕超（1994.01—），男，土家族，湖南省长沙市人，大学本科，中级职称，从事土地预审、用地报批等相关项目审批工作。

平台之内全监管、平台之间可共享”。湖南自然资源智慧平台省市县一体化系统于2025年在衡阳正式启用，通过“省级主建、市县主用”模式，实现了省市县三级数据贯通和业务协同。

（二）制度创新与数字化手段的深度融合

在数字化赋能的基础上，各地积极推进“多审合一”“多证合一”制度创新。浙江省在用地用林用草用海领域推出“八个一”联合审批模式，实现申报材料精简40%、审批提速60%。广东省印发用地预审工作要点，统一审查标准和报告体例。湖南省作为自然资源部确定的全国7个“多审合一”改革试点省份之一，在制度创新方面迈出关键步伐。张家界市持续推进规划用地“多审合一、多证合一”改革，将用地预审意见与选址意见书合并核发，办结时限压缩至9个工作日；将建设用地规划许可证与建设用地批准书合并，办结时限缩短至6个工作日，依托一体化审批平台全面推行电子证照应用和“一码关联”联合监管。更为重要的是，湖南省于2026年核发全国首批“三合一”国土空间规划许可意见，将用地预审、规划选址与先行用地三项审批整合为一项集成审批，作为全国试点省份率先为国土空间规划许可制度建立探索“湖南经验”。湖南省自然资源厅还于2026年启动了《建设项目用地预审与选址管理办法》的制定工作，进一步规范审批标准。

二、传统审批堵点与数字化破解路径

（一）传统审批模式下的主要堵点

1. 审批流程分散与串联推进的周期困境

传统的用地预审和用地报批流程相对分散，一个项目从预审到报批涉及自然资源、发改、环保、林业等多部门，事项之间是串联在一起。如果前面某些环节没有完成，后续该环节也就不能开展。浙江玉环某项目同时兼具陆域和海域两块土地，因此需要向自然资源和海洋主管部门申请，准备两套材料，公示两次，接受两轮勘查，总体过程耗时超过一个半月。这样的串联式审批方法使得整个周期无法压缩，如果缺乏其中某种材料补正或者意见产生分歧，则项目落实时间会被进一步拉长。流程分散化和串联化的特点成为限制审批效率的最大堵点。

2. 数据壁垒与标准缺失导致的审核低效

各部门数据不互通是制约审批效率的另一重要原因，传统模式下企业在异地往返提交纸质材料，审批人员需要翻阅图纸核实信息。比如安徽省改革之前企业申请规划许可时，必须在两个独立的系统中反复填写材料，增加办事成本，造成了无法完成审查项目。由于没有统一标准和共享机制，规划、地类、权属等相关信息分散在不同部门，审批人员需要跨多个部门沟通协调；审查标准不统一，材料编制不规范，不同人把握尺度不同，导致申报材料反复流转补正延长周期，增加企业成本。

（二）数字化改革对传统堵点的针对性破解

1. 流程整合与平台贯通的技术路径

针对流程分散的堵点，数字化平台将多部门审批事项集中到同一系统，通过统一收件、统一分派、统一反馈实现流程整合。省级与县级平台贯通使得审批人员能够随时调取规划、地类、权

属等核心数据；广州市完成60余个核心数据标准化集成，可以实现省、市、区、镇四级之间的无缝对接，如果需要用地预审、规划选址、环评等许多环节由串联变为并联，在项目前期组织相关部门联合介入，将审批从线性推进改为并行推进，智能分派功能自动推送任务，减少人工分派的时间消耗和差错风险。

2. 智能审查与标准化审核的制度保障

针对数据壁垒和标准缺失，数字化系统内置智能审查规则，自动比较刚性指标、拦截权属重叠等情况，从人工经验审查到规则驱动。在规划符合性审查方面，自动调取国土空间规划一张图数据与项目选址坐标叠加分析；永久基本农田避让审查中，识别占用情况计算面积比例；材料规范性审核方面根据预置模板完整检查和格式合规的检查，山东省济宁市集成12类数据图层自动生成项目合规性诊断结果，各项指标配置精准度达98.5%；这些手段相互配合，减少由于标准差异导致的重复修改和意见分歧。

三、推进用地预审与用地报批提速增效的策略路径

（一）流程重塑与数据赋能

推进用地审批提速增效，除了从流程上对审批流程重塑以外，还要在数字化平台的支撑下发力。流程重塑方面，可推行并联审批替代串联审批，将用地预审、规划选址、环评等审查环节由依序改为同步，在项目前期组织相关部门联合介入；深化多审合一改革，将用地预审与选址意见书合并办理，将同类论证整合成一次论证、结果互认；探索批供建一体化模式，将审批、供地、许可阶段事项前置整合，在土地出让前完成多项评估；数据赋能方面，需搭建覆盖全过程的一网通办平台，实现材料在线提交、进度实时查询、结果即时反馈；安徽省全流程线上办理将平均审批用时从17天缩减至7天。需要建立统一的数据标准和共享机制，打通各级平台及部门系统间的数据通道，实现规划一张图、地类、权属等数据实时调取和交叉校核。可以开发AI辅助审查工具，集成规划符合性分析等智能模型。台州市经验表明，这些改革的开展可使得用地报批要件精简30%、时长压缩40%；济宁市通过集成12类数据图层自动生成合规性诊断结果，精准度高达98.5%。

（二）标准统一与机制保障

审批标准和运行机制的规范化是用地审批持续提速的重要保障。需要统一规定审查标准、材料，明确审批层级和授权规定，细化建设依据、规划符合性等审查要求，统一报告体例和文本格式，减少因材料不合规造成反复修改。广东省印发的用地预审工作要点就属于这样探索过程：需要建立跨部门协同共享常态化机制，组织多个部门成立审批服务专班，在项目策划前提前介入，容缺受理和告知承诺。建立预警、督办、反馈的问题闭环管理机制，对进度滞后的项目跟踪督办；在流程重塑和数据赋能的基础上，只有通过标准化和机制化建设，才能将技术红利转化为制度效能。

四、台州市“批供建一体”改革的实践案例分析

（一）改革背景与核心措施

台州市在全省率先开展“批供建一体”改革，围绕流程整合、数据共享和服务创新三条主线的提速增效机制。将预审阶段9个论证事项合并为“一个报告、一次论证、一份意见”，依托地

质服务平台实现压覆矿产查询免申即享，推行并联审批、全程帮办，具体分为流程整合、数据共享、审批提速、“五证齐发”四个板块，如表1所示。湖南省对用地审批的改革也同样做到了“多审合一”与平台的建设，比如张家界市把用地预审与选址意见书合二为一核发，缩短至9个工作日，这一举措跟台州市是南北呼应。

表1 台州市“批供建一体”改革核心措施与成效

改革维度	主要措施	直接成效
流程整合	整合9个论证事项为“一报告一论证一意见”	压缩周期50%，压减材料60%，节约支出40%
数据共享	建设地质服务平台，实现“免申即享”	30余个项目免除单独申请，管理效率提升60%以上
审批提速	推行并联审批、联合审查、全程帮办	精简材料30%，压缩时长40%，市级审查最短7个工作日
“五证齐发”	五类许可证并联服务	实现“交地即交证、拿地即开工”

（二）改革成效与机制分析

台州市改革取得了压缩周期50%、压减材料60%的巨大成效，其实是在流程整合、数据共享、并联审批和标准统一四个方面同步发力所致。湖南省也十分注重运用数字化手段推动用地高效率，借助“智慧选址”“智能组卷”系统以第三次全国国土调查及年度国土变更调查成果作为统一底版，对涉地涉林项目全部进行“落地上图”，真正做到平台之外无审批、平台之内全监管、平台之间可共享。湖南首先将节地分析工作提上日程，通过建立3700多个项目的节地案例库，从用地预审和审批环节开展节地水平自动分析，仅几分钟便可完成项目节地排名分析。2024年，该模块已累计为铜吉铁路、梅山灌区等近100个项目提供节地查询，引导核减不合理用地2.68万亩。随后，湖南还将自然资源智慧平台省市县一体化系统在全省推广应用，使得湖南省内各地

在省市县三级实现数据贯通和业务协同。湖南与台州两地改革经验证明，融流程于数字手段是推动用地审批快速高效增效的关键要素。

五、结语

总而言之，依托数字化改革，通过流程整合、数据共享、智能审查的路径，解决了用地预审与报批周期长、材料多、标准高等问题。台州市将原来的审批时间压缩40%至50%，材料减少30%至60%。湖南省也实现“一库一网一平台”和“三合一”集成审批，取得了很好效果。未来还要进一步打通各级平台的数据通道，完善跨部门协同机制，优化容缺受理等配套制度，在技术赋能和制度创新驱动下，推动从提速增效到整体智治。

参考文献

[1] 高成军, 张建, 吴兴年. 数字化背景下国土空间用途管制系统建设的关键问题思考 [J]. 今日国土, 2026, (2): 33-35.

[2] 蓝光金, 杨帆, 武佳. 建设用地审批业务知识图谱构建技术研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (36): 88-92.

[3] 陈展鹏, 杜启勇, 胡鑫, 等. 面向辅助用地报批的知识图谱协同构建与智能问答方法及实现 [J]. 时空信息学报, 2025, 32 (1): 94-103.

[4] 邓淑丹. 数字化背景下福建省国土空间用途管制实践 [J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47 (12): 163-166.

[5] 胡向荣, 司茂盛, 沙丽芬, 等. 迭代完善浙江省自然资源行政审批管理系统更高水平推进审批服务效能 [J]. 浙江国土资源, 2024, (1): 38-40.

[6] 黎雷, 杨锦, 余海洋. 面向建设用地审批的广东省土地管理与决策支持系统设计与应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023, (10): 58-61.

[7] 李妍, 何贞铭, 高森. 基于知识图谱的建设用地智能辅助审批流程设计 [J]. 计算机时代, 2023, (1): 132-136.

[8] 林晓菲, 谢士杰. 市级自然资源一体化审批系统研究与设计——以南京市为例 [J]. 国土资源信息化, 2020, (4): 38-42.

[9] 陈霄. “云审批”“云会审”助力用地审批“接得住、管得好” [J]. 浙江国土资源, 2020, (6): 18.

[10] 张卫东. 嘉兴市南湖区率先完成规划选址和用地预审合并、用地红线图和宗地图“两图合一”深度融合机构职能打造最优营商环境 [J]. 浙江国土资源, 2019, (3): 23-24.

[11] 湖南省自然资源厅, 湖南省林业局. 湖南省用地用林用草融合审批改革工作方案 [EB/OL]. (2025-09-12).

[12] 湖南省人民政府门户网站. 湖南核发首个“三合一”国土空间规划许可意见 [EB/OL]. (2026-05-31).

建筑工程主体结构检测技术研究

高占祥

亳州市建设工程质量检测有限公司，安徽 亳州 236800

DOI:10.61369/ETQM.2026060039

摘 要： 建筑设计主体结构检测技术是保证建筑物的安全性和耐久性的有效方式之一。传统的检测方式在面对复杂的结构及大量的建筑物的情况下存在一定的不足之处，不能适应当前建筑领域对于快速精确的检测要求；新型传感器技术、无人机及机器人检测装置以及大数据和 AI 算法的应用使建筑结构健康检测有了新的突破点。智能仪器提升了检查的速度及准确性，在一些危险或者是不易进入的地方具有很大的优越性。大数据分析以及人工智能算法使得建筑结构损伤判断与警报有了更科学的参考。将来，在建筑结构监测中应用数字孪生及多元数据分析集成技术会起到更大的作用，使建筑工程安全监管迈入更为智能的时代。

关 键 词： 建筑主体结构；智能传感技术；大数据；人工智能；无人机检测

Research on Testing Technology for Main Structures of Building Engineering

Gao Zhanxiang

Bozhou Construction Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Bozhou, Anhui 236800

Abstract： The testing technology for the main structures of building designs is one of the effective methods to ensure the safety and durability of buildings. Traditional testing methods exhibit certain deficiencies when confronted with complex structures and a large number of buildings, failing to meet the current demands in the construction field for rapid and precise testing. The application of novel sensor technologies, unmanned aerial vehicles (UAVs), robotic inspection devices, as well as big data and AI algorithms, has introduced new breakthroughs in the health monitoring of building structures. Intelligent instruments enhance the speed and accuracy of inspections, offering significant advantages in hazardous or hard-to-access areas. Big data analysis and artificial intelligence algorithms provide a more scientific basis for assessing structural damage and issuing warnings. In the future, the application of digital twin and integrated multivariate data analysis technologies in building structure monitoring will play a more significant role, ushering in a more intelligent era for construction engineering safety supervision.

Keywords： main building structures; intelligent sensing technology; big data; artificial intelligence; UAV inspection

引言

建筑物主体结构的安全与否直接影响着人们的生命和财产的安全，传统的检测手段存在着信息采集难，监测速度慢以及不全面等问题，在复杂多变的大楼建筑面前尤为明显，而近年来智能传感器技术以及无人机和机器人检测技术的应用打破了传统检测手段带来的瓶颈，从另外的角度对于建筑物结构安全的状态进行观察，既提升了检测准确性和速度，又减少了人力投入，降低了检验费用。大数据加人工智能的应用让建筑的安全状态可以随时查看，甚至提前预警危险情况的到来。而对这类技术的运用也将重塑建筑安全检查的明天，引领建筑业进入智能化，自动化的时代。

一、建筑主体结构检测技术现状

（一）传统检测技术的应用与局限性

传统的建筑物结构检测方法主要有非破损性和损害性的两类。常用的几种非破损性检测手段有超声波，射线探测，磁粉检测，渗透检测以及回弹法等应用于混凝土缺陷、钢筋状况、材料

密实性等方面的检测。混凝土回弹法测定混凝土的抗压强度的准确度与材料均匀度有关，其标准偏差通常会达到 10% 以上。超声波脉冲法利用声速推测内部缺陷信息，但由于存在界面反射现象以及噪声的影响，在粗骨料混凝土中的声速变化可高达 10%–15% 左右；传统钻芯法可以直接读出混凝土抗压强度数值，但是这种检测方式属于破坏性的取样方式，而且它的操作繁琐复杂又耗资

较大。尽管《建筑结构检测技术标准》GB/T50344-2019仍把它们作为一种常规检测方法,但是它们的准确性及适用范围都有一定的局限性^[1]。

（二）新型结构检测方法的兴起

新型检测手段近年来发展迅速,在智能传感器以及非接触式测量方面尤为突出。分布式光纤传感器及无线传感网(WSN)监测装置可以通过获取结构物上的应变、温度、振动等参数来进行结构物长时间健康情况的实时监测;先进材料与纳米科学技术的应用提升着检测敏感度从而使得传感器可以更好地检测到微裂纹、腐蚀等早期病害;结构健康监测利用机器视觉、激光扫描仪、加速度计等多种传感器进行数据分析从而可以在不影响结构物的情况下自动发现裂缝、变形等缺陷特征;图像算法和深度学习的应用提升了裂缝判断能力让检测误报率和漏检概率明显减少。而对于先进的无损检测技术也有热成像,雷达探测技术来实现大面积结构外表缺陷的快速排查。

（三）国内外建筑结构检测技术的对比研究

国内外的结构检查技术体系都相对完善,在欧美等先进国家,精确无损检测及长期健康管理平台大量应用于大型公共建筑中,比如使用光纤布拉格光栅(FBG)测应变并与BIM平台融合起来形成虚拟数字化结构管理系统。国际上的ACI,EN系列标准对检验流程、数据获取与分析判断都有具体的技术规定。而国内近年虽然也有一定进展,颁布了一些关于GB/T50344-2019等标准来逐步建立和完善现场试验程序,但是传统的检查方式仍旧为主流,智能化监控设备的应用范围以及覆盖面还不够全面深入。国内外对数据采集分析,在传感器网络布设以及实时监控方面,全寿命跟踪管理方面都各有侧重,国外更加注重多种技术手段结合以及连续监测,国内则侧重于施工质量检查以及阶段性的检测规范化^[2]。

二、智能传感技术在建筑结构检测中的应用

（一）无线传感技术的应用研究

无线感知技术应用于建筑结构健康监测(SHM)实时获取结构应变、振动及温度等重要指标,并由无线结点网络(ZigBee、LoRa、Wi-Fi)完成信息的传递,传感器节点融合加速度传感器、应变片以及温度检测器可以灵活部署在建筑结构重要位置提高覆盖面,采样率可以根据被监测对象的不同灵活调节,适用于模态研究及固有频率的测量,了解刚度变化情况以及损伤位置,在此基础上相比传统的有线方案具有更强的扩展性和节约布线成本的优点并且可以利用云计算远程维护管理,但是节点能量消耗以及信号遮挡等问题有待进一步解决才能实现长期稳定的监测应用。

（二）自诊断与自修复传感器的开发与应用

自诊断及自修复型传感器内部集成微处理器以及相应处理程序实现对自身的实时监控来保证长时间内进行持续性的检测。该类型传感器含有自我诊断检测和自我校正功能,在定期进行灵敏度校准的同时也可以在失效情况下发送报警信号降低检修率和人工干预程度。一些新型智能材料融合了微电子机械系统(MEMS)和纳米技术为传感结构增加自我认识、行动和微小恢复的能力,当其产生细微裂缝甚至是断路等问题时能依靠物质反应特性来进行局部的自行修理从而恢复其检测效果,自诊断型感

器能够在恶劣气候条件下依然维持较高的稳定水平大大增强了整个检测系统鲁棒性能。自修复技术目前还处在试验及工程应用阶段,在增加传感器寿命,减少维修费用方面有着很大优势^[3]。

（三）基于传感数据的结构健康监测系统

以传感数据为基础的结构健康监测系统的整体流程包含四个部分:数据获取,数据预处理,特征提取及状态判断。传感器得到的应力、应变、振动这些高维信号经由边缘计算单元或者云端服务器进行滤波、降噪、变量筛选从而得到反映结构状态的重要特征信息,在此基础上应用机器学习以及模式识别的方法可以从大量监测数据中发现结构性能的变化规律,达到对损伤位置以及程度的判断。当代SHM系统可以融合物联网的技术使得监测数据能够及时上传至云端数据库并且能够在各类终端上查看并做出比较分析,有利于管理人员做出正确的决策。多传感器融合数据处理技术让检测设备能够兼顾环境变化因素(例如气温、湿度)等对结构的响应所产生的影响来提升损伤检测精度。

三、大数据与人工智能在建筑结构检测中的融合

（一）大数据技术在结构监测中的应用

大数据技术作为建筑结构健康监测(SHM)的重要组成部分,在其中主要发挥着数据处理以及数据分析的功能作用。结构监测体系通过部署大量传感器来收集应力、加速度、温度等多种类型的实时数据,这类数据流量一般能达到每秒几十到几百MB量级,然后持续进行长时间观测积累下来就达到TB级的数量级,如此之大的数据体量就需要有强大的数据库以及分布式集群才能做到高效的检索以及运算。大数据处理的方式有统计学模型法、多元时间序列分析法以及特征选择等方法,可以很好的对高维度数据、杂音和外界影响因素进行过滤,从而提升对结构现状判断准确率和可靠性。统计模式识别方法可以从大量的振动数据里筛选出损伤相关的特征量来供后面对于损伤进行判断使用。而数据挖掘技术也具有异常数据发现以及缺少数据插补的功能,增强桥梁监测数据的一致性和数据质量管理。大数据应用于桥梁结构健康监测领域可以做到千万级别的样本数据并行计算和重要模式的挖掘,给不同层次的结构物的性能分析提供支持。

（二）人工智能算法在数据分析中的创新应用

人工智能(AI)算法在结构健康监测的数据分析中进一步提高了对于损伤识别、定位以及预警的能力。常见的算法有机器学习(支持向量机、随机森林)和深度学习(卷积神经网络、递归神经网络)等用以从大量的数据里自动抽取结构的状态指标,深度学习模型可以利用多层次网络来学习更加复杂的非线性映射关系,人工智能算法在振动响应数据模式识别上已经达到了90%以上识别精度的水平,远远超出传统的阈值法。深度学习加上传感器信息能够使得对于裂纹、界面脱粘这类细小损伤进行灵敏的探测,降低误报概率。人工智能的应用也用来构建结构性性能预测模型,以实时监测数据以及环境因子(风荷载、温度等)为输入,模型可以输出结构未来的概率分布,从而作为风险警报的数量指标^[4]。

（三）大数据与人工智能结合的检测平台设计与实现

基于大数据以及AI的监控系统一般使用分布式系统,由数据采集层、存储层、计算层、展示层组成。其中数据采集层使用物

联网网关将传感器数据及时传送到中心服务器中；存储层通过分布式数据库及时间序列数据库存放大量监测信息并可实现高效的查询以及跨越周期比较；数据分析层融合了机器学习及深度学习算法，根据不同结构形式进行特征提取、故障识别、损伤判定以及健康评估等工作；展示层以图表形式展示结构病害演变情况以

及警报提示等。平台的设计一般采取 GPU 并行加速运算来适应大数据量实时性要求如多层神经网络训练计算耗时由几小时变为几分钟等。系统构建也要考虑到数据质量监控手段和模型迭代更新模式以及外界因素干扰分离措施以便保证体系结构状况判断的有效性和合理性^[9]。如表1所示。

表1 大数据与 AI 在 SHM 中的关键技术比较

技术类别	核心功能	典型算法 / 方法	主要优势
大数据分析	数据清洗、特征提取	统计模式识别、多变量分析	支持海量数据处理与噪声抑制
机器学习	模式识别、分类预测	SVM、随机森林	泛化能力强、适合中等数据量
深度学习	特征自动提取、预测	CNN、RNN	自动学习复杂模式、适应大数据
平台架构	实时分析、结果展示	分布式存储、GPU 加速	支持实时监测与可视化

四、创新技术对建筑主体结构检测的推动作用

（一）智能化检测设备的研发与应用

智能监测仪器有三维激光扫描仪、光电式应变计与地层折射雷达（GPR），用来提高结构监测准确性以及自动化程度。三维激光扫描仪可以在大跨度结构上做到毫米级几何变形测量，误差相较传统的测量降低了60%以上；光电式应变计使用的是光纤布拉格光栅（FBG），可以达到1cm的空间解析度，可以屏蔽掉电磁干扰，并且在受拉应力区精度优于传统的应变片；地层折射雷达对混凝土进行测厚以及裂缝探测分辨率达到10cm 适合大面积测量；配有惯性测量单元（IMU）的仪器可以实时记录振动信息，可以得到高信噪比的数据对后续的结构动力特性研究有好处。这些智能化装备提升了检测速度，促进了由点式化采样向面式乃至体式化数据收集方式的发展。

（二）基于无人机和机器人检测技术的研究

无人机（UAV）以及机器人监控装置对于那些无法触及或者有风险环境下的构件检测有着重要意义。装载高分辨率摄像机、多波段探测器以及激光雷达（LiDAR）的无人机可以在短时间内完成高楼外墙、悬挑梁底面等地点的扫描工作，它的定位误差能控制在 $\pm 2\text{ cm}$ ，图像分辨率达到到 0.5 mm/pixel ，适合裂缝、掉落等问题的表面损伤自动辨认；而地上机器人可以在沟道、管道等密闭场所实现持续观察并应用超声波 / 红外热像仪得到内部损害状况，借助自主航行策略以及导航方案，机器人可以大大降低人员进出此类场所的频次，保证检查覆盖面以及再现性。部分先进的机器人系统已经可以完成对于混凝土结构裂缝宽度检测自动化的任务了，它的检测误差保持在了 $\pm 0.1\text{ mm}$ 左右^[10]。

（三）未来建筑结构检测技术的发展趋势

未来的技术发展趋势主要是数字孪生技术、区块链监测数据证据固定技术和多源异构监测数据融合检测平台的广泛使用。数字孪生技术把实时监测数值与结构物理模型结合起来来进行结构状态的实时模拟报警，实时响应速度可以做到1s内报警，适用于超载工况

下的实时监测。区块链技术把监测数据不可被修改特性应用于项目的全过程管理过程中来提高数据的真实可靠程度以及审计效率。多源异构监测数据融合技术综合运用了视觉，激光扫描，声波等监测信息，结合贝叶斯推理和深度学习的方法，提高了对损伤识别的准确性，可以使假阳性率降到5%以下。智能、互通、智慧将是未来建筑主体结构检测技术发展的主流趋势。如图1所示。

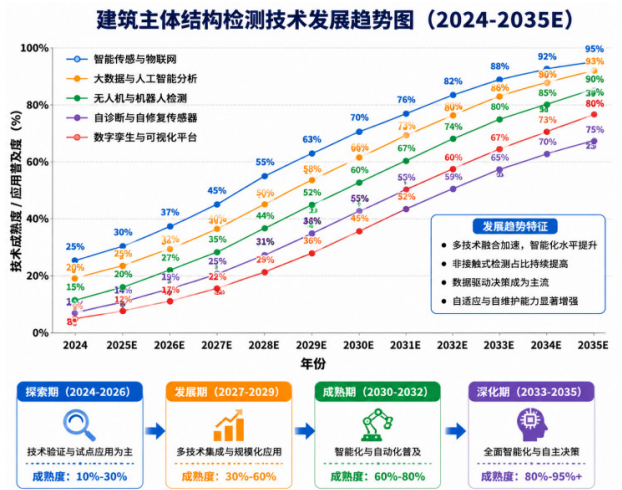


图1 建筑主体结构检测技术发展趋势（2024-2035）

五、结语

伴随着建筑工程主体结构检测技术的进步，智能化、无人化以及大数据的应用大大的提高了其检测效率及精确度。智能仪器、无人机和机器人等各种新事物的应用也带动了检测方式的变革，在一些不易到达的地方有着非常明显的优势。在未来数字孪生和多源信息融合将会使建筑主体结构检测更加智能化从而为建筑的安全保驾护航。

参考文献

[1] 范美红. 建筑工程主体结构检测内容与方法研究 [J]. 安徽建筑, 2024, 31 (06) : 180-181.
[2] 骆源. 房建工程主体结构检测技术研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (11) : 114-116.
[3] 孟凡友. 主体结构检测方法在建筑工程质量检测中的应用 [J]. 建材发展导向, 2025, 23 (24) : 112-114.
[4] 张钟钦. 建筑工程质量检测中主体结构检测重点与方法探索 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (05) : 126-128.
[5] 徐博文. 建筑工程质量检测中主体结构检测重点及方法 [J]. 建材发展导向, 2023, 21 (08) : 22-24. DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2023.0111.
[6] 张鹏. 房建工程主体结构检测技术研究 [J]. 房地产世界, 2023, (23): 142-144.

建筑工程钢筋混凝土结构检测方法研究

郭伟

亳州市建设工程质量检测有限公司, 安徽 亳州 236800

DOI:10.61369/ETQM.2026060040

摘 要 : 针对建筑工程项目钢筋混凝土结构安全性评价要求,在此基础上运用回弹法、超声法、钻芯法、钢筋扫描仪以及碳化深度测试等方式对混凝土强度、内部损伤程度及其内部钢筋分布情况、保护层厚度以及抗侵蚀性能等方面进行全面判断分析,在此基础上借助多种检验方式的数据对比与偏差校正从而提升检验精度,以便更好地做好结构验收、病症查找、补强修理以及维护管理工作,进而减少施工风险以及增加建筑物使用寿命年限。

关 键 词 : 钢筋混凝土结构; 无损检测; 混凝土强度; 钢筋保护层; 结构安全评估

Research on the Detection Methods of Reinforced Concrete Structures in Building Engineering

Guo Wei

Bozhou Construction Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Bozhou, Anhui 236800

Abstract : In response to the safety evaluation requirements of reinforced concrete structures in construction projects, this paper comprehensively assesses the concrete strength, internal damage degree, internal steel bar distribution, protective layer thickness, and anti-corrosion performance by using rebound method, ultrasonic method, core drilling method, steel bar scanner, and carbonation depth test. On this basis, the data from multiple inspection methods are compared and deviation correction is carried out to improve the inspection accuracy, so as to better carry out structural acceptance, defect detection, reinforcement repair, and maintenance management, thereby reducing construction risks and increasing the service life of buildings.

Keywords : reinforced concrete structure; non-destructive testing; concrete strength; steel bar protective layer; structural safety assessment

引言

钢筋混凝土结构承载着建筑的安全以及寿命等问题,强度下降,钢筋氧化,裂缝增大等问题容易存在隐秘性和逐步发展的情况,如果没有定期检测的话很容易造成安全隐患,在进行旧有建筑物维护、城市改造以及工程质量把控方面提高以后,结构检测已经不再是单纯的强度分析了,而变为多项指标的分析。对常见检测手段适用范围、技术特点及不足进行研究可为下一步制定检测措施及工程安全保障提供参考依据。

一、钢筋混凝土结构检测的基本理论

(一) RC结构组成与性能特点

钢筋混凝土结构是钢筋与混凝土共同参与受力,混凝土以承受压力为主,钢筋以承受拉应力和剪应力为主,二者通过良好的粘附关系而相互配合;而混凝土虽能很好地承受压力但抵抗拉伸的能力却很有限,在外加荷载、气温变化、收缩徐变、基础下沉以及周围介质的影响等情况下会引发开裂、脱落、扭曲和钢筋锈蚀等现象。常有损坏形式有受弯破坏、受剪破坏、局部压坏以及耐久性降低破坏等几种类型当中,最常见的就是裂缝出现;裂缝由细微裂缝逐步发展到肉眼可见的裂缝,进而导致水汽、盐分、酸碱物质渗入从而加剧了钢筋的锈蚀程度,进而影响到了构件的

强度、刚度及使用寿命。所以熟悉 RC 结构材料构成、受力原理及损伤发展规律,是进行检测工作的理论依据^[1]。

(二) 结构检测的目的与意义

钢筋混凝土结构检测的目的就是了解目前的状态,找出存在的问题隐患,为工程质量评定及采取相应措施提供参考。在新建工程中,检测能够对混凝土强度、钢筋布局、保护层厚度、施工质量等是否符合设计与标准做出检验,在旧有的建筑物里能够对结构的老化水平、受损情况以及承载力的变化做出诊断,作为维修、加固、改造或者继续使用的依据。通过对检测结果分析可掌握裂缝产生的原因,钢筋锈蚀的程度,混凝土的碳化程度以及内部出现的问题,从而避免只凭借表面的经验产生错误的认识。精确检测不仅可以增强建筑结构安全性评价的精确度,还可以防止

无谓拆除以及不必要的加固措施,节省了维修费用,延缓了建筑老化周期,对于保证工程项目的安全以及提升建筑物管理质量有着积极意义。

(三) 结构检测的标准与规范

结构检测应该基于相应的规范进行,保证检测程序、测试数据以及最终结论可信。国内检测一般按照混凝土结构工程施工质量验收、建筑结构检测技术、回弹法检测混凝土抗压强度、钻芯法检测强度等相关规范进行;而国外更加侧重检测手段上的规范化、数据分析处理及结构评价系统化。各种标准各有不同,在被检项目范围、样本量大小、测量设备准确性、偏差调整、评定指标上有所区别,但是都是为了提升其检测结果的真实性和比较性。检测时应对所检测的对象,使用的年限,受损情况及检测目的加以综合考虑并采取相应的方法,同时必须注意测区的选择、仪器标定、外界因素干扰以及重复检验等问题。

二、钢筋混凝土结构检测方法分类

(一) 无损检测方法

无损检测是采用仪器设备检查被检物而不损伤其整体性能、使用功能的情况下对其内质状况、材质状况以及存在的缺陷位置做出鉴定的一种方法,适合用于大面积全面检查和服役期间结构检查。超声波检测主要是以声波沿混凝土传播的时间、振幅和衰减值来判断混凝土中是否有空洞、裂缝、疏松带及强度变化等缺陷,有检测效果范围宽泛、结果形象的优点;电磁法主要用于对钢筋的位置、保护层厚度、钢筋位置测定,从电磁感应信号的变化可以了解钢筋分布状况,可用于施工质量鉴定、结构加强设计。红外热成像检测是基于结构表面温度场差异的变化来判断脱空、渗漏、剥离以及局部缺陷的一种方式,该方式的特点是非接触、检测效率较高,在很多情况下可以进行快速筛查。无损检测方便快捷,对结构影响较小,但是容易受到被检物体材料非均匀程度、周围环境温度湿度、仪器本身精度的影响,一般要结合其他方法校验^[2]。

(二) 半破坏检测方法

半破坏检测就是在让结构产生部分可以修理的损伤的前提下得到更明确的数据的一种检测手段,一般应用于无损检测结果验证以及重要区域精细检测中。钢筋裸露检测主要是采取局部剔凿混凝土的方式来进行查看钢筋直径大小、位置及锈蚀状况以及混凝土保护层的实际值,可以使结论更加准确有效。混凝土芯样钻取试验是最常见的强度检测方式之一,在钻取芯样之后再进行抗压实验,是比较接近真实的对混凝土强度做的一种实验,但是需要注意钻孔避开重要的受力钢筋,而且在实验完成之后要及时的进行修补。钢筋锈蚀状况则可以采用半电池电位法、电阻率测量及局部取样等方法进行检测,从而来确定钢筋锈蚀几率及耐久性衰减状况如何。半破坏性试验检测精度高,但是检测数量较少,施工干扰较多,应着重安排在潜在缺陷处及重要的受力结构件上和无损测试出现疑问的位置。

(三) 破坏性检测方法

破坏性试验主要是用试件加荷、构件破坏试验或者现场荷载

试验的方式来评定钢筋混凝土结构的承载力大小以及变形情况、破坏形态,一般用于对重要的工程的鉴定、结构加强的效果检查以及事故的研究分析。破坏性试验加载试样可以模拟结构受弯、受剪、受压等多种工作状态的变化,可以观测到裂缝的发生和发展、受拉区钢筋的屈服、受压区混凝土的压坏、以及极限承载力的发展情况,为结构力学计算及设计参数的调整提供参考。荷载试验和破坏性分析能体现出结构的工作状况,特别是对于桥梁、楼板、梁柱节点等重要部位的安全验算比较适用。而结构安全性的评价需要综合试验结果以及理论计算模型和规范规定的要求共同确定。破坏性检测的结果明了、可靠度较高,但是价格昂贵、耗时较长,而且会造成结构的损坏,所以要小心慎重的选择使用。如图1所示。



图1 钢筋混凝土结构检测方法分类及应用层级示意图

三、钢筋混凝土结构检测的应用实践

(一) 桥梁工程检测案例分析

桥梁钢筋混凝土结构长期受车辆荷载、温差应力、雨淋冲刷以及氯离子的影响,容易造成梁体裂缝、混凝土破损、钢筋锈蚀、支座老化及桥面铺装损坏等一系列病害,在检测过程中首先要通过肉眼观察梁体表面情况,并记录下裂缝大小、走向、位置及渗水现象,然后运用回弹法、超声波法、磁粉法、碳化指数测定法及钻芯取样等手段,对混凝土强度、混凝土完整性、保护层厚度及钢筋锈蚀程度进行整体评估。实施程序一般是先整理资料、实地勘查、确定测量区域、设备调试、获取数据、重复检验并得出结论。检验结果应当对照图纸指标,施工文件以及标准规定,核查承重结构是否有强度不够,裂缝过大,耐久性降低等病害情况的发生,并用于支撑桥梁限载,维修以及加固等意见^[3]。

(二) 高层建筑检测实践

高层建筑钢筋混凝土结构检测应着重检查框架柱、剪力墙、梁板节点、楼板跨中、地下室结构这些重要的承重区域。楼板检测主要是观察楼板厚度差、裂缝走向以及钢筋间距及保护层厚度是否达到了设计标准的要求;梁柱检测就要着重检验梁柱的混凝土强度、主筋的位置、箍筋加密带宽度以及核心区施工质量情况。现场检测设备主要有回弹仪、钢筋探测仪、超声波检测仪、裂缝测量仪、钻芯机等,在使用之前要进行仪器率定以及测区清

扫工作，防止由于饰面层、蜂窝麻面、湿度因素影响、钢筋阻挡造成误差。对数据整理要剔除非正常的数据，在此基础上再根据几项检测数值进行校正，如果出现局部强度低、钢筋混凝土保护层较薄或者裂缝还在继续发展的情况，则需要扩大检测面并且对该结构进行验算^[4]，见下表1。

表1 高层建筑钢筋混凝土结构常用检测指标与判定重点			
检测部位	主要检测指标	常用检测方法	判定重点
框架柱	混凝土强度、钢筋位置、保护层厚度	回弹法、钢筋扫描、钻芯法	轴压承载力及施工偏差
梁板结构	裂缝宽度、楼板厚度、内部缺陷	裂缝观测、超声法、局部钻孔	挠度、裂缝及耐久性风险
剪力墙	强度均匀性、钢筋间距、碳化深度	回弹法、碳化检测、电磁检测	抗侧刚度与耐久性
地下室结构	渗漏、裂缝、钢筋锈蚀风险	红外热成像、超声法、腐蚀检测	防水性能与环境侵蚀影响

（三）工程结构维护与加固

钢筋混凝土结构检验结果可以直接用于维修加固设计中，在混凝土强度较低的情况下可以结合承载力计算进行加大截面或者外包钢或者粘贴碳纤维或者外加预应力等方式来进行加固，在发现钢筋锈蚀时应该先确定碳化深度、氯离子渗透程度以及保护层破损情况，再进行除锈处理、防腐处理或涂刷防锈涂料，修补断面等方式解决，在出现裂缝的时候也应该根据裂缝成因的不同分为受力裂缝、温度裂缝还有收缩裂缝等，然后采用灌浆封闭、表面封护或者结构补强的方法进行处理，在运营维护期间要建立定期检查机制，重点构件建立监测台账，并观察裂缝的发展趋势、变形状况和发展耐久性指标，以便下次维修做出依据。

四、钢筋混凝土结构检测方法优化与发展趋势

（一）检测方法优化策略

钢筋混凝土结构检测优化应该在仪器准确度、测试区域以及数据分析这三个方面开展，实际检测工作可以按照《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344—2019制定出检测程序，在此基础上根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204—2015来掌握实体质量检验标准。回弹法检测混凝土抗压强度要按照 JGJ/T 23—2011 来进行测试区域的选择与回弹值修正、碳化深度修正，降低龄期、湿度、浇筑表面以及碳化程度等因素对强度换算带来的影响。钢筋的位置以及保护层厚度检查应参照 JGJ/T 152—2019，用磁性仪器或者雷达仪来进行初次检验，在出现可疑点的地方再对局部部位进行凿孔验测。检验结果不能只依靠一个参数来判断，应当把回弹强度与超声波传播速度，以及钻芯强度还有

钢筋保护层厚度及裂缝宽度结合到一起比较分析，增加判断准确程度。

（二）技术发展趋势

钢筋混凝土结构测试正在由人的主观经验评估转变为智能化以及持续化的数字化过程。智能非破坏性的检测仪器可以运用高频率的超声波检测、三度空间扫描雷达、红外热视仪、测距仪等方式来迅速得到钢筋混凝土内部缺陷、钢筋排布、空鼓疏松以及裂纹的情况；远方监视装置能够将应变计、位移计、温湿度计、腐蚀计安装在梁柱、楼板、节点处，来实时观测结构变形情况、裂缝的发展程度、环境的侵蚀程度以及钢筋是否被腐蚀的程度等等；对于数据分析，我们可以采用 AI 的分析方法，来确定裂缝照片、剔除无效的数据、创建强度模型、衰退模型从而让检测的结果变成“预警”，而不是仅仅只靠经验来进行判定^[5]。

（三）实际应用前景

检测手段改进可以有效提高建筑工程质量管理。新建建筑项目标准化检测能早期发现现浇构件混凝土强度偏低、钢筋偏差、保护层厚度不够以及出现裂缝等问题，防止出现安全隐患问题进入到使用阶段；已有建筑物定期进行检测，及时了解结构材料的老化状况，建筑承载力下降状况及耐久性衰退状况，以便进行有针对性的加固维修。采用多种检测方式相结合的方式进行检查，可以使检测量大幅度减少，节省了检测经费及维修经费。随着检测仪器精确度提升以及数据系统的健全，检测结果还能够反过来推动规范的进一步完善，比如补充完善了各个龄期混凝土强度修正系数、钢筋锈蚀危害等级划分依据、裂缝宽度要求以及既有建筑物安全性评估的方法，使得钢筋混凝土结构检测更为准确可靠并节省成本及具有可追溯性。

五、结语

对于钢筋混凝土结构的鉴定来说应该结合结构类别、缺陷特性与鉴定目的正确选用非破损、部分破损以及破损检测的方法，在多种方法结合使用可以减少单次检测误差带来的影响，增强对结构强度、裂缝状况、钢筋保护距离以及耐久性的判定准确性，同时检测的结果既有利于工程质量验收，又可以作为后期修复加固、安全防护的基础参考资料，今后要进一步注重智能装备的应用、数据集成整合以及持续监测的应用情况，促进结构质量检测向着更加精确、数字化以及预见性的方向发展。

参考文献

[1] 吴志英. 建筑结构工程钢筋混凝土结构加固设计研究 [J]. 中国科技论文在线精品论文, 2025, 18 (04) : 264-266.
[2] 刘聪莹. 钢筋混凝土结构无损检测技术应用 [J]. 建筑机械, 2025, (01) : 137-140.
[3] 王政. 钢筋混凝土结构工程质量检测鉴定的非破坏性方法研究 [J]. 工程质量, 2024, 42 (S1) : 108-111+120.
[4] 谢华, 王桃. 钢筋混凝土结构加固设计在建筑工程中应用分析 [J]. 水泥, 2025, (11) : 149-151.
[5] 宋雪雪. 建筑工程中钢筋混凝土材料的检测方法 [J]. 城市开发, 2025, (08) : 150-152.

压缩机产品型式检验标准化实施与问题分析

陈碧蓉, 俞群涛, 陈星雨, 吴嘉辉
嘉兴威凯检测技术有限公司, 浙江 嘉兴 314001
DOI:10.61369/ETQM.2026060041

摘 要 : 压缩机在流体机械方面占据着关键的地位, 经常能在工业制造、能源化工、制冷暖通以及矿山装备等很多场合看到。设备的质量以及它运行的可靠性, 和整体系统的安全与稳定紧密关联着能耗水平与生产效益。在开展压缩机创新定型、进行工艺迭代以及进行恢复批次生产工作的时候, 型式检测会成为质量把控方面的关键环节, 标准化的推行得以确保测量数据准确、一致, 并且能够清晰地进行溯源。针对当前压缩机行业所遵循的国家以及行业标准, 本文构建了开展压缩机产品型式检验的标准化执行框架。这个框架着重论述了核心实施流程以及主要检验内容, 并且把它和行业实际检验操作结合起来, 深度剖析标准化落地过程中存在的标准适配性不足、检验流程不规范、设备校准滞后、人员技术能力参差不齐、新旧标准衔接不畅等突出问题。标准化体系得到了优化处理, 以用来应对当下的挑战。检验这一过程得以实现规范化。设备管控工作得到了加强。人员能力方面的建设受到了关注。监管机制获得了进一步的完善。这些优化的对策涵盖了多个维度。这样一来, 压缩机的型式检验标准化体系就趋向完善了, 提升产品检验质量与行业规范化水平, 为压缩机产品质量升级、行业高质量发展及市场合规监管提供技术参考。

关 键 词 : 压缩机; 型式检验; 标准化实施; 质量检测; 问题优化

Implementation and Problem Analysis of Standardization for Type Testing of Compressor Products

Chen Birong, Yu Quntao, Chen Xingyu, Wu Jiahui
Jiaxing Weikai Testing Technology Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang 314001

Abstract : Compressors hold a pivotal position in fluid machinery and are commonly encountered in various fields such as industrial manufacturing, energy and chemical engineering, refrigeration and HVAC, as well as mining equipment. The quality and operational reliability of the equipment are closely linked to the safety and stability of the overall system, influencing energy consumption levels and production efficiency. During the processes of compressor innovation and finalization, technological iteration, and resumption of batch production, type testing becomes a critical aspect of quality control. The implementation of standardization ensures accurate and consistent measurement data, as well as clear traceability. In response to the current national and industry standards followed in the compressor industry, this paper constructs a standardized execution framework for conducting type testing of compressor products. This framework emphasizes the core implementation procedures and primary testing contents, integrating them with actual industry testing practices. It delves into prominent issues arising during the standardization process, including inadequate standard adaptability, non-standardized testing procedures, delayed equipment calibration, varying levels of personnel technical proficiency, and poor alignment between old and new standards. The standardization system has been optimized to address current challenges. The testing process has been standardized. Equipment management and control have been strengthened. Attention has been given to building personnel capabilities. The regulatory mechanism has been further refined. These optimization strategies encompass multiple dimensions. As a result, the standardization system for type testing of compressors is moving towards perfection, enhancing product testing quality and industry standardization levels, and providing technical references for the quality upgrading of compressor products, high-quality development of the industry, and market compliance regulation.

Keywords : compressor; type testing; standardization implementation; quality testing; problem optimization

引言

压缩机作为工业体系当中的支柱性设备，它的功能是借助压缩气体来进行流体压力的提升。这个装置运转是否平稳、节能表现是否优异、防护措施是否可靠，会深刻关联到后续环节设备的工作效率以及安全保障。随着产业升级的加速、环保法规变得更加严格以及装备自主化的深入推进，压缩机产品的效率标准、运行稳定程度以及智能化层级方面，正面临着新的市场需求，产品质量管控的精细化、标准化、规范化成为行业发展核心趋势。在产品设计的初始阶段，型式检验作为一种强制性的质量评估手段，以及常规的出厂检验存在着本质区别，型式检验主要开展新产品定型方面的应用，来判断压缩机产品的工艺和性能是否契合相关标准要是产品结构材料的工艺出现重大变更，那么在长期停产复产过程当中，对质量争议开展仲裁工作，就会成为把控产品准入质量、规避批量质量缺陷的重要手段。当前，我国已形成以 GB/T 5773-2016、GB/T 18429-2018 等为核心的压缩机检验标准体系，为型式检验工作提供了基础依据，那么在现实开展推行工作的阶段，产品形态快速地更迭，标准修订的节奏比较迟缓，企业去施行的水准参差不齐，检验监管机制还存在着缺口，这些因素交织在一起，让标准型式检测的实施出现了诸多薄弱的方面，行业的规范化以及高质量发展受到了制约，检验数据把偏差呈现了出来，结果的可比较性出现了不足，质量评估的准确性产生了偏移。

一、压缩机产品型式检验标准化实施现存核心问题

（一）标准体系适配性不足，新旧规范衔接不畅

空压机能效标准现行有效版为 GB19153-2009《容积式空气压缩机能效限定值及能效等级》，适用于直联便携式往复式空气压缩机、微型往复式空气压缩机、全无油润滑往复式空气压缩机、一般用固定的往复式空气压缩机、一般用喷油螺杆空气压缩机、一般用喷油单螺杆空气压缩机、一般用喷油滑片空气压缩机。^[1]新型压缩机产品的迭代速度十分迅速，像变频机型、补气装置、高效节能设备以及防爆特种型号等持续不断地涌现出来，而相应配套检验标准的更新进程有时会出现迟滞，约定细则陈旧、所囊括的方面狭窄，这构成了它的症结。传统规范主要适宜用于常规压缩机，对于新型压缩机的性能，像它的变工况特性、变频调节能力、补气增压效果以及智能控制水平，缺少对应的评价方法来开展评价工作，产品崭新样貌的审核工作丧失了标准依据，检测行为的尺度没办法趋向同一。，螺杆式空气压缩机在煤矿得到了广泛应用，但其安全检测检验规范存在着一些不足，致使检测检验标准不统一，给煤矿企业、检测检验机构和设备制造厂商均带来困惑。^[2]行业当中，新的标准和旧的标准同时存在，国家标准以及行业标准的条款有部分是不一致的，有些企业没能及时跟上新标准的修订工作，还在凭借旧标准来开展检验方面的工作，这样就导致了检验项目出现缺失检验结果的权威性以及通用性会受到工况设置不符以及参数判定偏差的显著影响。各个领域的压缩机在基准环境以及试验条件方面并不完全统一，有一部分运行参数缺乏标准化，这样就导致检验数据在不同门类和应用情境当中没办法直接开展对照分析。

（二）企业标准化执行不规范，检验流程落地偏差大

部分中小型压缩机企业存在重生产、轻检验的认知偏差，未严格落实型式检验标准化流程，实操中违规问题突出，抽样环节的规范性存在缺失情况，没能按照既定标准来开展随机抽样以及样品保存工作，呈现出针对性送检的倾向，这就使得样本的代表性受到质疑。这样一来，批量产品的质量状况就难以得到准确呈现；试验环境当中关键参数的管控工作开展得比较松懈，温度、湿度以及介质条件被随意地进行变更，排气温度和风包温度在检

测现场测量非常不利的因素是空压机自带的温度传感器已经接入空压机控制回路且不能拆除，而空压机和风包本体也没有预留接入第三方检测机构测温传感器的接口^[3]这样使得获取到的测试结果偏离了真实性能；质量验证环节出现了缺项，很多厂商受到成本的约束，把耗时冗长的耐久性、可靠性检验流程舍弃掉了，仅仅开展基础性能核查工作，这样就使得产品品质难以得到全面的审视；四是试验流程随意简化，未严格执行标准规定的试验时长、启停循环次数、工况切换流程，检验完整性、合规性不足。有些企业缺乏完善的内部检验机制，缺少标准化的操作指南，开展检验工作时过多依靠个体的实践经验，很难保证流程能够规范运作。

（三）检验设备管控薄弱，检测精度难以达标

检验设备的精度与稳定性是保障型式检验标准化、精准化的基础，有一部分企业以及第三方检验机构开展检验设备的管理工作时不合规，这样不仅会对最终的检验质量产生影响，并且会让整个检验过程面临潜在的风险。针对老旧的检测设备，在微参数检测当中，灵敏度不足的现象非常显著。尤其是在面对新型高效压缩机的时候，这些设备的精度等级难以契合最新标准。这种滞后的主要原因在于更新换代的延迟，导致数据误差超标；校准管理方面的制度在执行上没能做到位，有部分设备没有按照规定的周期去开展校验工作，存在超期还没校验、校验没通过却依然在使用状况，从而造成设备存在系统误差那么偶然误差不可避免地会存在。一些企业所运用的设备难以开展精准的调节工作，在进行测试的时候，环境参数不稳定，难以进行温压湿恒定的维持，进而使得测量误差得以增大，科学测量会面临两大关键制约，这使得它所得出的数据经常难以保持精准以及稳固。随着温度的升高，喷入水的不饱和程度越来越大，冷却水气化速度也越来越快，通过水的潜热不断给介质降温。^[5]

（四）检验人员专业能力参差不齐，标准化操作水平不足

压缩机结构评估工作涵盖了机械构建、流体动态、能源效率测量、电气保护以及运行调控等综合知识领域，对检测人员在标准熟悉度、动手技能以及数据分析技巧方面提出了较高的标准。通过检测空气压缩机在运行过程中的吸气温度、进水温度、排气压力、排气温度、吸气压、转速、冷却水流量检测。^[6]行业检验员的能力存在参差不齐的情况；很多中小企业的检验员没有接受规

范培训，他们对于新国标以及行业标准条款的理解不够，对于新型压缩机的检验方法也缺乏了解操作者对于场景进行配置以及对信息进行调整的规范方面的熟悉程度不够。操作过程当中时常会出现规程的疏漏、记录的粗率、环境校准的失误以及结论的误判等现象，新的标准、新的设备以及新的产品持续进行更迭，然而检验人员知识储备的更新没能马上跟进。常态化的标准更新培训以及技能考核机制存在缺失，这样就让他们难以契合标准化检验工作对高质量所提出的要求，型式检验标准化的推进工作，遭遇到了来自人为方面的显著阻力。

（五）监管与溯源机制不完善，违规成本较低

压缩机型式方面的行业监管体系存在着缺口，常态化监管以及全过程溯源机制还需要进行全面构建，市场监管的重心大多放在了终端产品的抽查检验工作上面，然而对于企业内部流程当中涉及型式检验的所有环节，也就是具体的检测过程以及原始数据的全面监督工作开展得比较欠缺。

二、压缩机产品型式检验标准化优化对策

（一）优化标准体系，加快新旧标准衔接更新

借助全国压缩机标准化技术委员会来开展相关工作，新产品检验标准的空白得以填补，压缩机检验标准会持续开展演进革新工作针对新生压缩机开展特定检查标准的实施工作，来完善压力控制能力的测试开展智能控制以及耐久性测评标准规范的创立工作，来定义行业技术的衡量准则。对压缩机各个类别的相关规范开展系统整合工作，确立下一致的基准工况以及测试环境指标，把参数浮动的区间范围划定出来，这样就能去处理标准重叠以及老化的矛盾，提高整个体系协调适用的价值。

（二）规范企业检验流程，落实标准化作业体系

企业需要推动开展构建覆盖所有环节的标准型式检验流程的工作，以此来规避程序被简化或者出现操作不当的情况，企业需要参照现行标准开展专属的型式检验作业指导书的制定工作，明确抽样规则、试验工况、操作流程、检验项目、数据记录、结果判定以及报告出具等全环节规范，检验工作是必须要具备依据来开展的。对于新品定形、工艺调整、复产强制这些场景，要开展所有项目的检验工作，严格禁止对关键性能项目进行缩减。型式检验需要把这些情形覆盖到，不能遗漏耐久以及可靠评估。要实施全项目的检查工作，杜绝删减关键测评。应该妥善处理好检修保养的交底工作，在检修保养之前，对离心式压缩机开展交底工作，使其提前了解离心式压缩机的检修保养方式、检修保养中需要特别注意的问题以及检修保养要点^[6]

（三）强化检验设备管控，保障检测精度达标

开展设备生命周期的管控体系的检验工作，得以实现标准化、规范化的构建，这样能保障检测精度的全维度覆盖，涵盖设

备采购、校准、运维、更新等多个方面，企业及第三方检测机构需严格按照最新标准精度要求，淘汰老旧落后设备，配齐适配新型压缩机检测的高精度测试仪器，满足微参数、变工况、长时间检测需求。需要开展检验设备校准周期以及项目制度的建立工作，要坚持让设备持证运行，不能启用超期或者不合格的设备，提高设备的日常维护保养以及工作状态调试方面的效能，开展周期性的精度校验以及问题诊断工作，来维持试验设备的平稳运行，极大程度上削减系统偏差以及偶然误差所带来的影响。设备台账需要把校准档案关联起来，各类证书以及运维数据都应该在系统当中进行保存，精度核查记录需要开展完备的记录工作，这样确保追溯机制得以实现完备与精准。

（四）加强人才队伍建设，提升标准化实操能力

持续完善检验队伍长效培训与考核管理制度，打造规范化、精细化人才培育模式，稳步提高一线检验人员实操合规能力。技术人员的专业技能与综合素质对天然气压缩机安全稳定运行有很大影响，所以企业需要加大人员培训力度，提升技术人员的操作水平，不定期地开展专项培训与教育。^[10]结合国家标准、行业规范更新节奏常态化开展专题授课，围绕新品类检验操作规程、试验工况调试、试验数据校正、检测结论研判等关键实务细化授课内容，帮助工作人员吃透现行新规细则。依托岗位练兵、实操集训补齐实操短板，聚焦全流程检验步骤、仪器设备使用、试验数据分析、常见设备故障处置等落地内容强化现场实训，针对性整改日常检测里操作不合规等突出问题。落地闭环考核管理办法，把标准熟记情况、现场操作合规度、出具数据精准度纳入在岗考评指标，考评未达标的人员暂停型式检验上岗资格。除此之外，积极引导在岗检验人员参加行业座谈、标准编制研讨等对外交流活动，跟进学习领域前沿检测技术与最新规程，动态补充专业知识，匹配行业高质量发展下的检验工作需要。

三、结束语

型式检验标准化是保障压缩机产品质量稳定可控、促进行业规范有序发展，同时落实绿色低碳生产、安全生产管控各项要求的关键举措。目前，国内压缩机型式检验行业已搭建起较为完备的标准框架，但在标准适配更新、检验流程落地执行、试验设备管控、从业人员专业能力等行业监督管理等多个维度，依旧存在不少短板与问题，直接影响了型式检验工作的精准度、规范性与公信力。为切实破解行业发展瓶颈，压缩机行业需从多维度发力、系统性推进标准化提质升级。聚焦标准革新迭代，持续完善标准化制度体系，补齐新型压缩机产品的检验标准短板，适配产品技术更新需求；立足流程规范管控，严格压实企业质量主体责任，实现检验全流程标准化、规范化作业。

参考文献

[1] 郑家强, 李韶强. 空气压缩机标准中的机组能效检验要求 [J]. 中国标准化, 2019, (11): 145-149.
[2] 车永军. 煤矿在用螺杆式空气压缩机的安全检测检验标准浅析 [J]. 中州煤炭, 2012, (11): 42-43+46.
[3] 范俊卿, 李冰, 张华伟. 煤矿空气压缩机检验过程中存在的问题和改进方案 [J]. 矿业装备, 2024, (7): 174-177.
[4] 郝李娜. 螺杆压缩机的选型分析 [J]. 大氮肥, 2024, 47(5): 347-352.
[5] 温金开. 新能源汽车氢燃料电池用空气压缩机性能测试方法研究 [J]. 压缩机技术, 2025, (4): 24-26. DOI: 10.16051/j.cnki.jsjjs.2025.04.001.
[6] 郭锋锋. 离心式压缩机的维护保养 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(3): 22-24.
[7] 李斌. 天然气压缩机常见故障与处理措施 [J]. 大众标准化, 2025, (7): 106-108.

范成插齿加工参数对齿轮啮合动态特性的影响

徐文俊¹, 杨宇飞², 郑丽文¹, 林钰珍¹

1. 衢州职业技术学院 机电工程学院, 浙江 衢州 324000

2. 长春理工大学 机电工程学院, 吉林 长春 130000

DOI:10.61369/ETQM.2026060036

摘 要 : 基于 NX 建立齿轮型刀具范成加工虚拟样机模型, 以刀具模数 m_1 、齿数 Z_1 、压力角 α 、转速 n_1 , 齿坯模数 m_2 、齿数 Z_2 、转速 n_2 , 插齿频率 f 及变位系数 x 为变量, 仿真加工模拟得到不同插齿刀齿数、插齿频率、变位系数对应的齿轮模型, 基于 NX Motion 搭建齿轮啮合动力学模型, 分析加工参数对齿轮啮合传动性能的影响, 探究不同加工工艺下成型齿轮的啮合传动特性, 进一步阐明齿轮啮合传动机理。

关 键 词 : 范成插齿加工; 啮合传动; 动态特性

Influence of Generating Gear Shaping Parameters on Dynamic Meshing Characteristics of Gears

Xu Wenjun¹, Yang Yufei², Zheng Liwen¹, Lin Yuzhen¹

1.College of Mechanical and Electrical Engineering, Quzhou Vocational and Technical College, Quzhou, Zhejiang 324000

2.School of Mechanical and Electrical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130000

Abstract : A virtual prototype model for generating machining of gear-type cutting tools is established based on NX, with cutting tool modulus m_1 , number of teeth Z_1 , pressure angle α , rotational speed n_1 , gear blank modulus m_2 , number of teeth Z_2 , rotational speed n_2 , gear shaping frequency f , and modification coefficient x as variables. Through simulation machining, gear models corresponding to different numbers of teeth on the gear shaping cutter, gear shaping frequencies, and modification coefficients are obtained. A gear meshing dynamics model is constructed based on NX Motion to analyze the impact of machining parameters on the gear meshing transmission performance, explore the meshing transmission characteristics of formed gears under different machining processes, and further elucidate the gear meshing transmission mechanism.

Keywords : generating shaping machining; meshing transmission; dynamic characteristics

前言

齿轮作为高端装备核心传动元件, 其啮合振动、噪声与传动平稳性直接决定减速器、伺服装置整机服役性能。范成插齿是内齿圈、双联齿轮、窄齿宽高精度齿轮的主流加工工艺, 插削冲程、圆周进给、径向切深、刀具变位与切削速度等工艺参数, 会通过改变齿形误差、齿面微观形貌、齿距累积偏差形成啮合激励源, 诱发时变啮合刚度波动与传动误差突变, 恶化齿轮系统动态特性。在新能源减速器、精密伺服传动低噪声需求背景下, 厘清插齿工艺——齿面精度——啮合动力学的映射关系, 对工艺参数减振优化、高端齿轮提质降噪具备重要工程价值。

国外研究形成加工误差建模与齿轮动力学两大分支: Ding^[1]等建立了动态磨损预测模型, 揭示了磨损与动力学行为之间的相互作用; Kahraman^[2]、Yuan^[3]等将齿廓偏差、齿距误差引入多自由度非线性动力学方程, 量化制造偏差放大啮合冲击、激发共

振的作用规律, 但未建立切削工艺到齿面缺陷的耦合计算模型, 割裂加工过程与动态响应的内在关联。国内研究分为两类: 一是插齿加工精度控制方向, 汪中厚等揭示范成插齿波纹误差生成机理^[4], 王奇斌、张俊等^{[5][6]}研究了齿距偏差对直齿轮动力学特性的影响, 建立了齿轮副磨损预测模型; 二是齿轮动力学分析方向, 王延开展了正交面齿轮传动系统啮合动力学仿真^[7], 皇甫一樊^[8]、王有成^[9]分别分析齿距累积误差、微观形貌对动态载荷、传动误差的影响。

现有研究多数成果单独开展插齿工艺仿真或齿轮动力学计算, 缺少一体化耦合分析; 仅单一讨论进给、切深等参数的精度影响, 未定量表征多参数耦合下齿面三维形貌对振动幅值、噪声频谱、动载系数的作用规律; 难以直接指导低振动齿轮批量插削工艺参数匹配。本文以直齿圆柱齿轮范成插削过程为对象, 搭建“插齿工艺参数——虚拟仿真加工——啮合动态特性”联合仿真平台, 系统分析关键插齿参数对齿轮啮合动态性能的影响。

基金项目: 浙江省教育厅一般科研项目(Y202353634)。

作者简介: 徐文俊(1981—), 男, 浙江衢州江山人, 硕士研究生, 主要研究方向: 机械设计 CAD/CAE。

一、模型建立

(一) 加工模型建立

在 NX 建立齿轮型刀具范成加工数字化虚拟仿真实验平台，通过人机界面参数对话框输入参数，可实时更新得到加工所需模型，如图 1 所示。

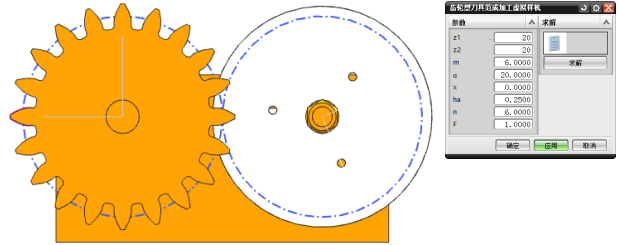


图 1 齿轮型刀具范成加工数字化虚拟仿真实验平台

设置范成插齿加工工艺参数，变位系数分别为 0、0.5、1.0，其他加工参数都相同，如表 1 所示。

表 1 范成插齿加工参数插齿刀参数

参数组别	z_1	z_2	m	a	x	h_a	n	f
1					0			
2	20	20	6	20	0.5	0.25	6	1
3					1.0			

利用齿轮范成加工虚拟仿真实验平台，仿真加工得到相同插齿刀齿数、齿坯齿数、模数、插齿频率，不同变位系数加工出的齿轮模型，如图 2 所示。

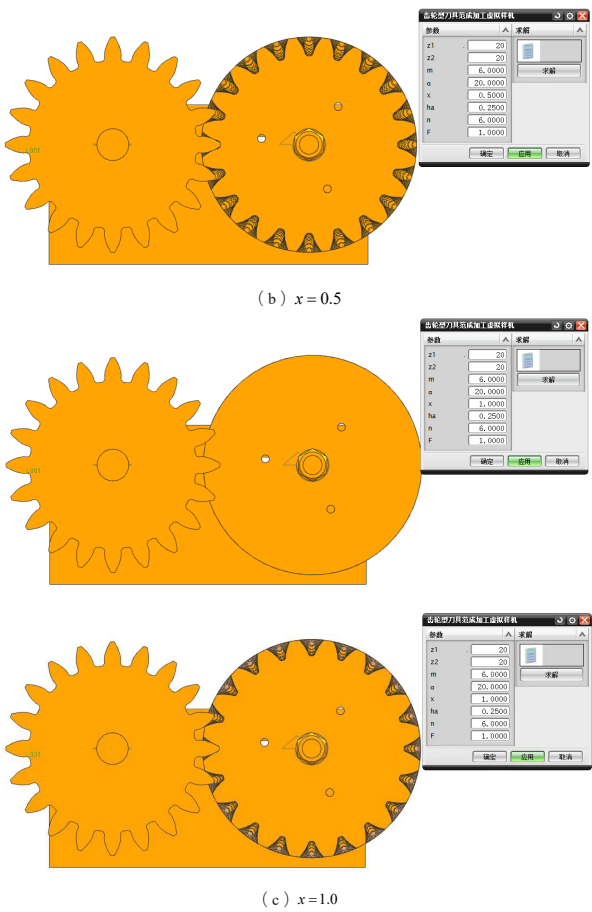
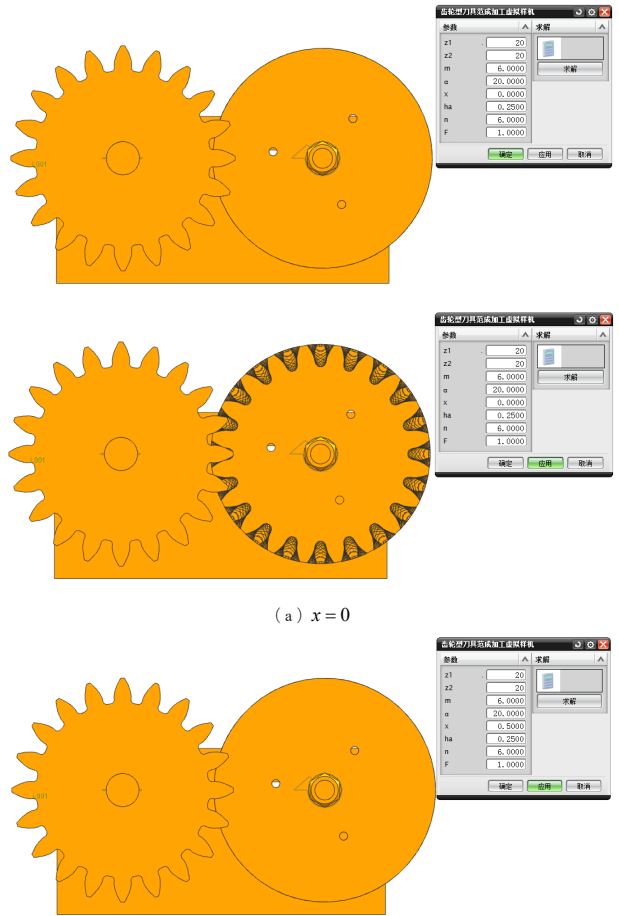
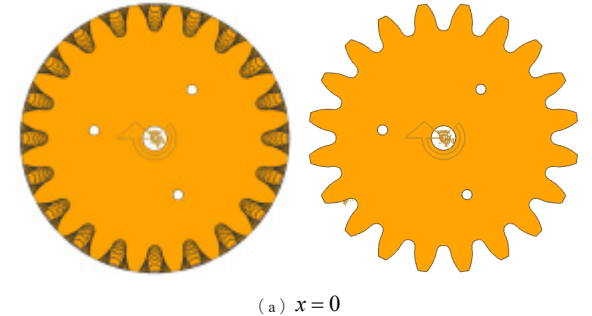


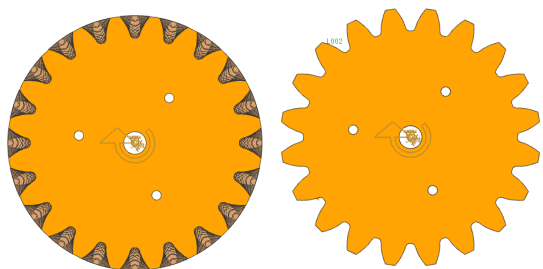
图 2 齿轮型刀具范成加工模型及其对应加工出的模型

基于齿轮范成加工虚拟仿真实验平台，在统一插齿刀齿数、齿坯齿数、模数与插齿加工频率的仿真工况下，仅改变齿轮变位系数开展多组对比范成加工仿真，得到不同变位系数对应的齿轮成型模型。图 2 (a)、(b)、(c) 分别对应变位系数 $x=0$ 、 $x=0.5$ 、 $x=1.0$ 三组仿真工况，每组均同步呈现加工毛坯与范成成型后的齿轮实体。由仿真模型可见，随变位系数增大，加工成型齿轮的齿廓形态发生规律性变化，直观复现变位系数对齿轮范成加工齿形成型效果的影响规律，为变位齿轮齿廓成型机理分析提供可视化依据。

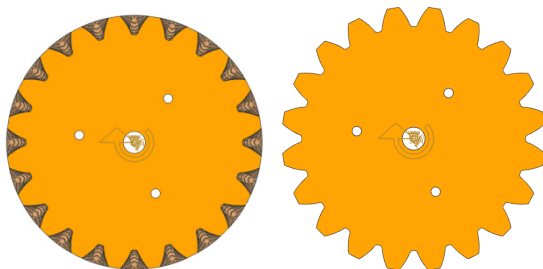
(二) 精确提取被加工齿轮模型

利用 NX 装配切割工具提取被加工齿轮模型，如图 3 所示。图中三组模型分别对应变位系数 $x=0$ 、 $x=0.5$ 、 $x=1.0$ 三种加工工况，每组左侧为插齿刀具与齿坯范成加工的复合毛坯，右侧为经布尔切割分离后得到的完整成型齿轮。从模型对比可见，不同变位系数下成型齿轮的齿廓厚度、齿顶与齿根几何形态存在明显差异，该提取方法可完整保留范成运动生成的真实齿廓曲面，为后续齿轮啮合动力学仿真、传动动态特性分析提供精准模型。





(b) $x=0.5$



(c) $x=1.0$

图3 精确提取被加工齿轮模型

二、NX 齿轮啮合动态性能仿真分析

(一) NX 齿轮啮合3D接触理论

NX 齿轮刚体3D接触基于实体齿面几何碰撞求解啮合动力学，结合 Impact 冲击力模型、库伦摩擦及赫兹接触理论完成力学计算。

法向接触力公式：

$$F_n = \begin{cases} k\delta^e - c\delta & \delta > 0 \\ 0 & \delta < 0 \end{cases}$$

式中： k 为齿面接触刚度， δ 为齿面穿透量， e 为非线性力

指数，金属齿轮取1.1—1.3， c 为阻尼系数。

切向摩擦力遵循库伦摩擦公式：

$$F_f = \mu F_n$$

式中： μ 为齿面摩擦系数。

表2 齿轮啮合3D接触参数

刚度 (N/M)	刚度 指数	材料阻尼 (N-S/mm)	穿透深度 (mm)	回弹阻 尼因子	库伦 摩擦
100000	2	10	0.01	0.25	0.0

软件采用包围盒粗检三角面片精检算法，实时识别多齿啮合接触区域，可还原齿侧间隙冲击、交替啮合、轴向分力等真实啮合特性。区别于理想齿轮副，该方法无预设传动比，依托齿面接触传力，贴合齿轮实际啮合工况，适用于齿轮动态载荷、振动特性仿真分析。

(二) 齿轮啮合动态特性仿真分析

1. 标准齿轮啮合传动仿真分析

建立标准齿轮啮合传动模型，添加如图4所示的约束关系，齿轮间传动依靠3D接触力，采用 NX 实体齿面几何碰撞求解啮合动力学。

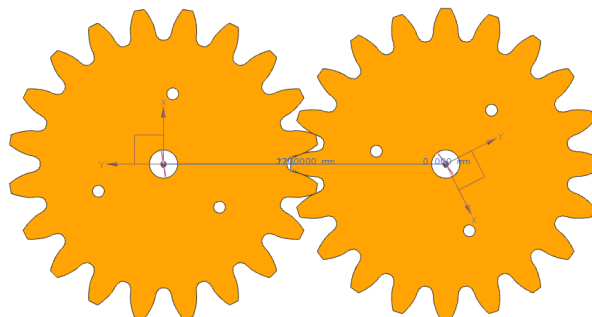


图4 标准齿轮啮合传动模型 ($x=0$)

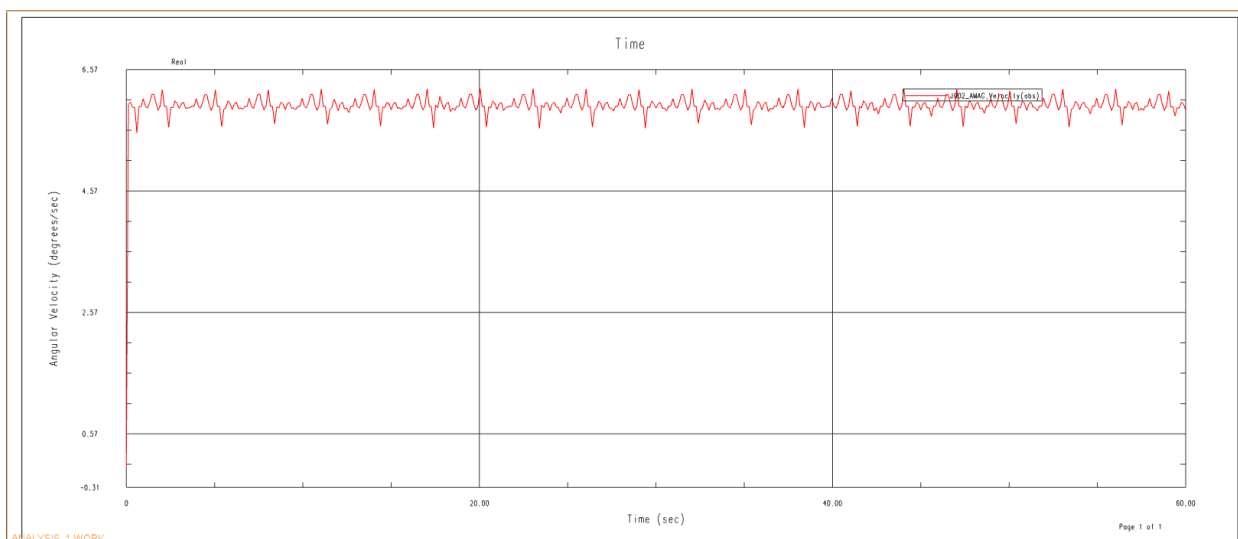


图5 标准齿轮啮合动态特性

2. 标准齿和正变位齿啮合传动仿真分析

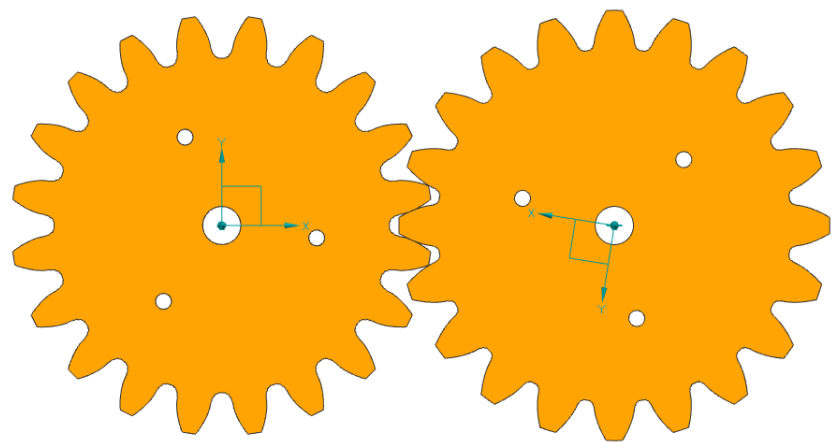


图6 标准齿轮 ($x=0$) 和正变位齿轮 ($x=0.5$) 啮合传动模型

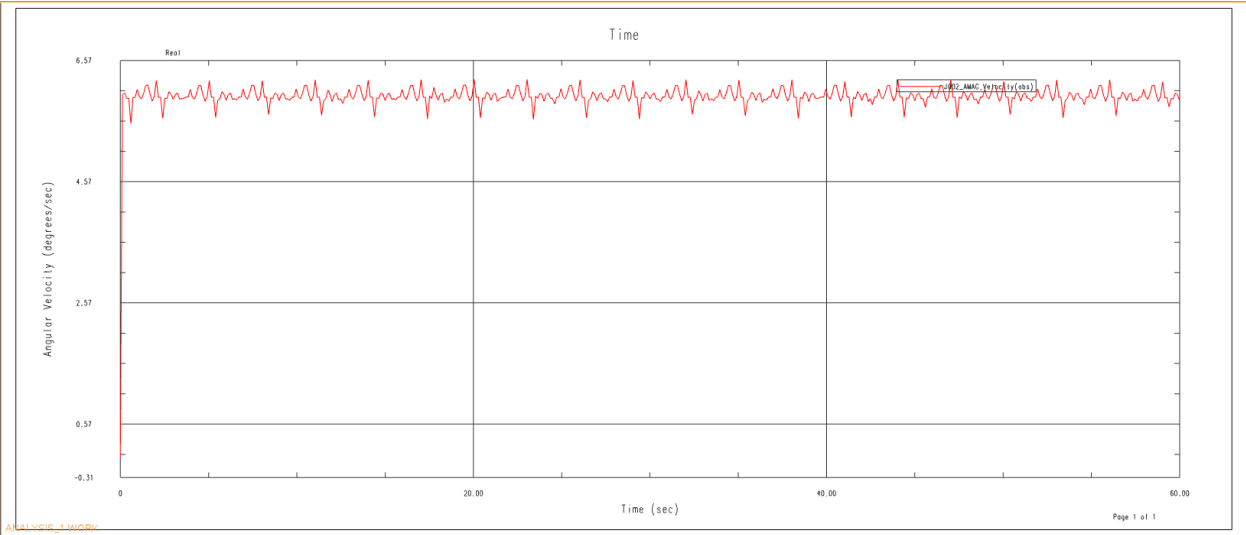


图7 标准齿轮 ($x=0$) 和正变位齿轮 ($x=0.5$) 啮合传动动态特性

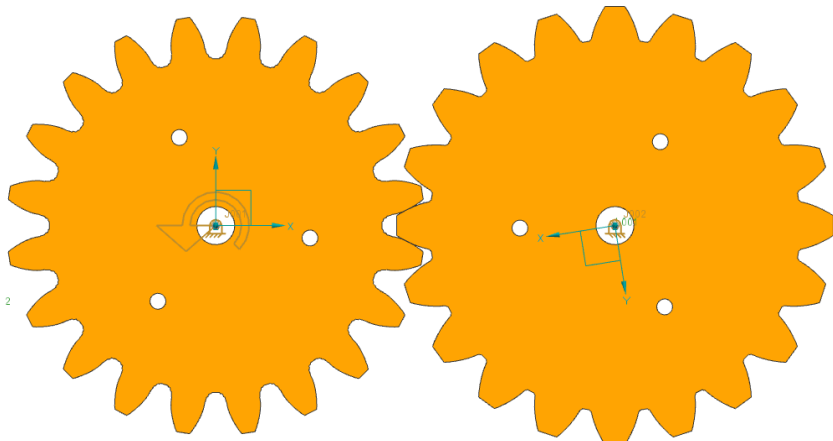


图8 标准齿轮 ($x=0$) 和正变位齿轮 ($x=1.0$) 啮合传动模型

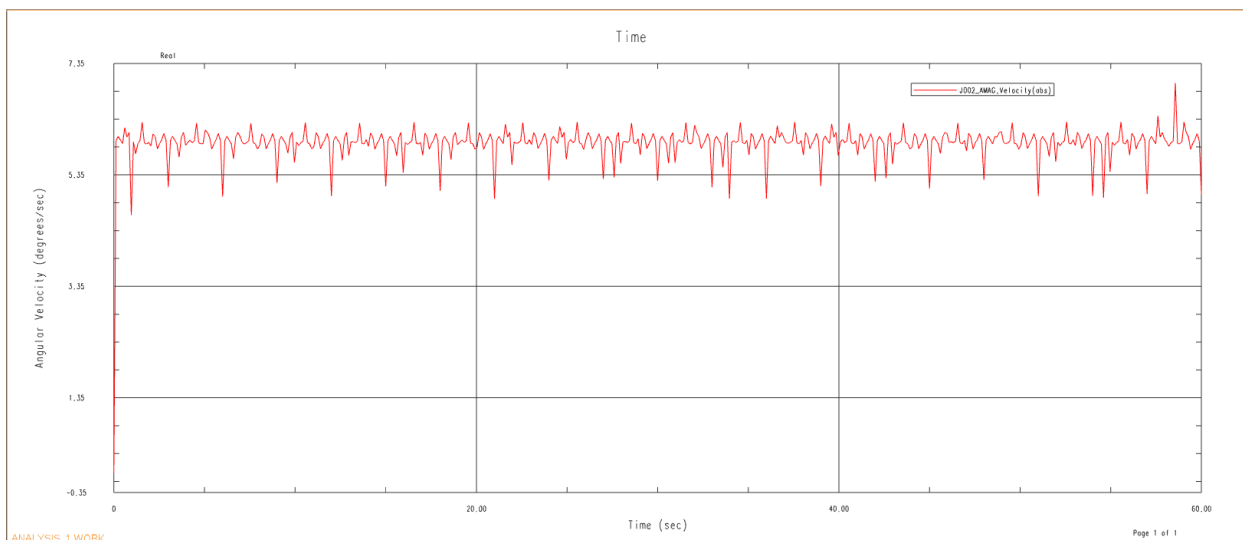


图9 标准齿轮 ($x=0$) 和正变位齿轮 ($x=1.0$) 啮合传动动态特性

3. 正变位齿啮合传动仿真分析

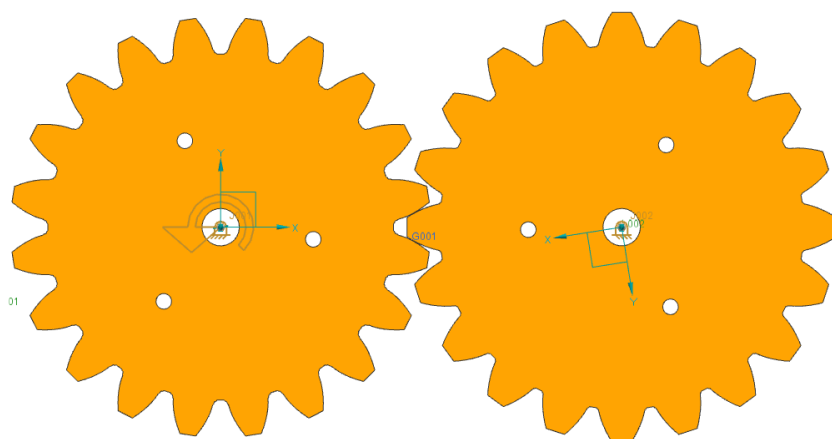


图10 正变位齿轮 ($x=0.5$ 、 $x=1.0$) 啮合传动模型

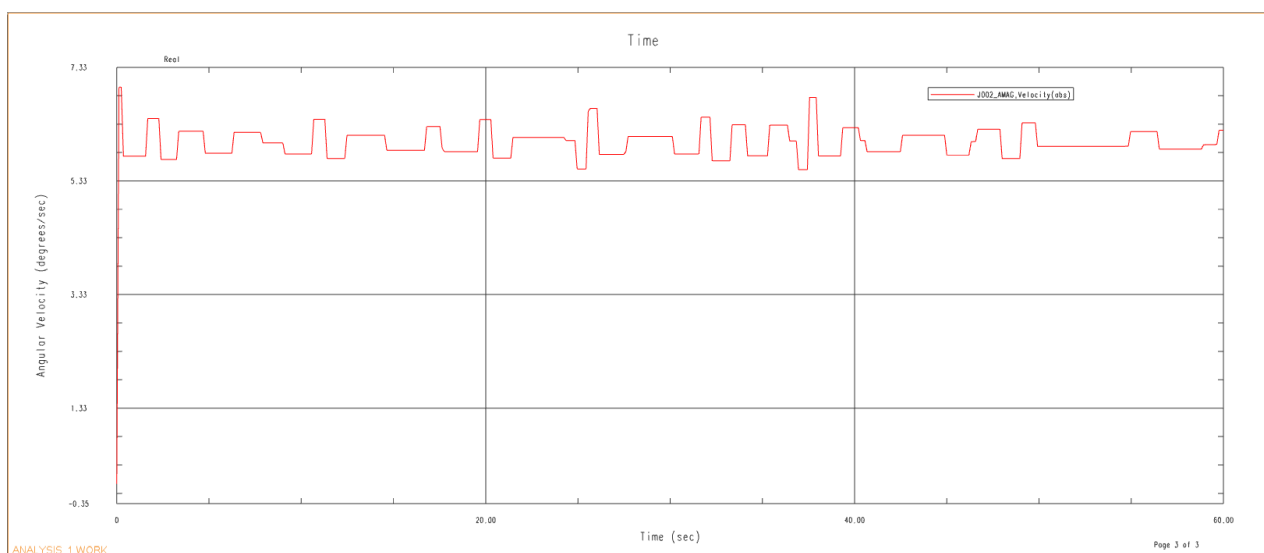


图11 正变位齿轮 ($x=0.5$ 、 $x=1.0$) 啮合传动动态特性

三、结论

(1) 建立齿轮范成加工虚拟仿真实验平台, 仿真加工得到相同插齿刀齿数、齿坯齿数、模数、插齿频率, 不同变位系数加工出的齿轮模型, 加工包络线清晰, 其疏密程度与插齿频率相关。

(2) 通过布尔运算, 精确提取应变位系数 ($x=0$ 、 $x=0.5$ 、 $x=1.0$) 三种加工工况所加工出的齿轮模型, 从模型可以看出齿型

高度变小, 齿宽变大, 齿轮抗弯强度变大。

(3) NX 齿轮啮合传动仿真分析, 标准齿轮啮合传动角速度波动较小, 传动平稳; 标准齿轮 ($x=0$) 和正变位齿轮 ($x=0.5$) 啮合传动与标准齿轮传动特性相似; 标准齿轮 ($x=0$) 和正变位齿轮 ($x=1.0$) 啮合传动角速度波动较大, 传动平稳性较差; 正变位齿轮 ($x=0.5$ 、 $x=1.0$) 啮合传动角速度波动大, 出现阶跃, 传动平稳性进一步降低。

参考文献

[1] Ding H L, Kahraman A. Interactions between nonlinear spur gear dynamics and surface wear[J].Journal of Sound and Vibration, 2007, 307 (3-5) : 662-679.

[2] Kahraman A, Singh R. Non-linear dynamics of a geared rotor-bearing system with multiple clearances[J].Journal of Sound and Vibration, 1991, 144 (3) : 469-506.

[3] Yuan B, Chang S, Liu G, et al. Quasi-static and dynamic behaviors of helical gear system with manufacturing errors[J].Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2018, 31 (2) : 106-114.

[4] 汪中厚, 何中原, 等. 直齿轮的高精度插齿仿真加工与有限元分析 [J]. 机械强度, 2021, 43(05):1221-1227. (2021).

[5] 王奇斌, 张义民. 考虑齿距偏差的直齿轮转子系统振动特性分析 [J]. 机械工程学报, 2016, 52 (13) : 131-140.

[6] 张俊, 卞世元, 鲁庆, 等. 准静态工况下渐开线直齿轮齿面磨损建模与分析 [J]. 机械工程学报, 2017, 53 (5) : 136-145.

[7] 王延, 田志敏, 姚志国. 正交面齿轮传动系统啮合动力学仿真 [J]. 机械传动, 2013, 37 (11) : 57 - 60.

[8] 皇甫一樊, 董兴建, 等. 考虑齿距累积误差的圆柱齿轮动态磨损分析 [J]. 振动工程学报, 2023, 36(06):1706-1713.

[9] 王有成, 刘检华, 等. 考虑齿面微观形貌和热变形的齿轮动态传动误差预测及影响因素分析 [J]. 机械传动, 2025, 49 (10):10-21. (2025).

河湖长制背景下水环境治理机制创新研究

董军益, 张旭

中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810000

DOI:10.61369/ETQM.2026060042

摘 要 : 河湖长制身为我国水环境治理的关键创新举措, 带动了水污染防治、生态修复以及水资源管理的协同进步。党政领导出任河湖长, 构建起跨部门协调机制, 达成了水治理地方性与系统性的融合。不过当前该制度在部门协作、考核激励、公众参与等环节仍存有挑战, 要提升水环境治理效能就得完善跨部门合作机制, 强化激励约束, 促使社会各方广泛参与, 依靠科技支撑达成精细化管理, 创新水环境治理机制利于提高治理效率, 保障水资源可持续利用, 为生态文明建设提供制度支撑。

关 键 词 : 河湖长制; 水环境治理; 制度创新; 跨部门协同; 公众参与

Research on the Innovation of Water Environment Governance Mechanism under the Background of the River and Lake Chief System

Dong Junyi, Zhang Xu

Sinohydro Engineering Bureau 4 Co., Ltd., Xining, Qinghai 810000

Abstract : The River and Lake Chief System, as a pivotal innovative measure in China's water environment governance, has spurred coordinated advancements in water pollution prevention and control, ecological restoration, and water resource management. With party and government leaders serving as river and lake chiefs, an interdepartmental coordination mechanism has been established, achieving a fusion of local and systemic approaches to water governance. However, the system currently faces challenges in areas such as departmental collaboration, assessment incentives, and public participation. To enhance the effectiveness of water environment governance, it is essential to refine the interdepartmental cooperation mechanism, strengthen incentive and restraint measures, encourage widespread participation from all sectors of society, and rely on technological support to achieve refined management. Innovating the water environment governance mechanism is conducive to improving governance efficiency, ensuring sustainable utilization of water resources, and providing institutional support for the construction of ecological civilization.

Keywords : River and Lake Chief System; water environment governance; institutional innovation; interdepartmental collaboration; public participation

引言

水环境污染已然成了制约经济社会可持续发展的关键问题, 传统水治理机制在应对复杂水污染难题时显露出诸多缺陷。河湖长制这一创新性制度的施行, 突破了传统治理模式的局限, 通过让党政领导担责, 推动了水资源综合管理和跨部门协同。但随着治理工作的深入推进, 现有机制在资源调配、责任落实和公众参与等方面还面临不少阻碍, 怎样借助机制创新提高水环境治理的整体效能成了急需解决的重要问题。对这些问题展开探索, 会为完善治理体系、推动生态文明建设提供全新思路与实践途径, 助力水环境治理迈向新高度, 更好地适应经济社会发展的需要。

一、河湖长制制度概述及水环境治理成效

(一) 河湖长制的制度内涵与发展演进

河湖长制作为我国应对长期水环境治理难题所提出的关键制度创新举措, 以各级党政主要负责人担任河湖长, 统一肩负起河湖保护治理的重任, 采用属地管理与部门协同相融合的治理模

式, 其制度设计清晰明确各级河湖长体系, 从省级一直到村级都安排了责任人, 达成“每条河有专人管理、每片湖有专门负责、人人都担起责任”的管理局面, 这种层级体系与责任链条, 推动治水目标逐步向下传导、任务一级级落实。

自2016年河长制全面推行、2018年湖长制建立以来, 河湖长制已从试点推广发展成全国范围内常态化的治理机制, 各地依据

实际情况设立五级河湖长组织架构，构建动态调整与责任递补机制，保证责任不出现空档、治理不间断，各流域还搭建省级河湖长联席会议机制，推动跨行政区和跨部门的联防联控，促使流域整体治理协调推进，制度在演进过程中，治理理念也不断深化，从最初强调“有人管”，发展到如今追求水生生态系统修复与长期保护并行，河湖长制的制度内涵丰富，不仅涵盖责任体系建设与程序规范，还注重部门联动、公众参与以及秉持生态优先的治理价值理念。这一制度在水环境治理中发挥着愈发重要的作用，不断推动着我国水生态环境的持续改善^[1]。

（二）河湖长制在水环境治理中的实践成效

河湖长制自推行以来，极大增强了我国水环境治理的组织能力与执行能力，建立跨部门联席会议制度，加强水资源保护、水污染防治、水域岸线管理等工作机制衔接，打破传统“各自为政”管理碎片化状况，各级河湖长统筹安排重大治理任务，整合环境、农业、住建、水利等部门力量应对水污染挑战，在具体治理中集中整治黑臭水体、规范入河排污口、推进生态修复工程成效显著，截至2024年全国地表水优良水质断面比例达90.4%，较河湖长制实施前大幅提升，多条主要流域干流水质维持较高等级，大规模清理乱堆乱占等问题，推动水环境质量与生态状态改善^[2]。

河湖长制还营造了全民参与的治理氛围，深化河湖健康评价体系、河湖档案建设及河湖生态保护专项行动，提升社会公众对河湖治理关注度与参与度，在治理效果与社会满意度间形成良性互动。

（三）当前水环境治理机制存在的挑战

尽管河湖长制在治理实践中收获成效，机制运行仍面临挑战，跨部门协作上，部分地区部门分工协同欠佳，资源调度和信息共享机制未形成合力，治理措施推进受阻，治理任务跨行政区域或部门时，协调成本高、执行效率不理想足^[3]。

现有的考核激励机制对长期治理投入和绩效激励推动不足，各级虽建立河湖长制考核制度，但评估指标多集中于形式性巡查、任务完成数量，对水质改善深层次影响评价和持续性激励机制不完善，难以调动地方政府持续推进治理积极性，社会公众参与和科技支撑在实际治理中也有提升空间，基层水环境治理在信息化、智能化监测和公众监督参与方面未充分开展，治理效能提升需更多高科技工具应用和更广泛社会力量参与以弥补行政资源不足。

二、基于河湖长制的水环境治理机制创新路径

（一）跨部门与跨区域协同治理机制创新

跨部门与跨区域协同治理机制是解决传统治理体制“碎片化”和“各自为政”难题的关键途径。构建省级或更大流域的联席会议机制，能明确各参与方职责、分工与协作流程，让水污染防治、水资源保护、生态修复等重点工作在层级上统筹部署，避免部门职能交叉引发的推诿或重复工作，省级联席会议机制强化水治理组织保障，还能借定期例会推动治理策略动态调整与同步实施^[4]。

统一的信息共享平台是跨部门协同治理的重要技术支撑。平台实时汇聚水质监测数据、污染源排查结果、执法检查情况等信息，便于环保、水利、发改、农业等部门快速获取关键治理数据，提高跨部门决策效率与治理响应速度，数据共享机制提升部门沟通效率，为跨区域治理提供统一技术基础，助力形成治理合力。

跨区域治理需突破行政边界，鼓励上下游区域联合制定治理目标与行动方案，达成流域系统治理的整体性与连贯性，可联合发布流域水环境质量改善计划、协同推进重点污染治理工程、共建流域生态保护补偿机制等，这些举措推动水环境治理区域统筹发展，避免单一行政区片面行动“治标不治本”，而且，这种跨区域的联合行动能更好地整合资源从更宏观的角度去应对水环境问题实现流域生态的可持续发展为未来的生态保护和经济发展奠定坚实基础。

（二）考核激励与责任问责机制创新

完善绩效考核体系乃提升河湖长制治理效果的关键所在，把水环境改善指标像水质达标率、污染治理进展、生态修复成效等融入地方政府及相关部门绩效评价体系，可直接激发各级河湖长及其团队履职积极性。精准考核指标体系让治理目标更明晰，促使治理行为围绕具体改善效果开展，提升治理绩效可量化程度，借助细化任务与标准化评价达成更高效治理效果。

差异化激励机制是在绩效考核之上，针对不同地区治理成果采取对应奖励举措，对治理成效突出地区给予财政资金、政策扶持或生态补偿等激励，推动地方政府持续创新治理模式并加大投入，奖励机制能形成正向激励链条，鼓励各地通过创新治理路径提升水环境质量，将治理成效与更大范围生态建设资金关联，激发各地在流域层面共同推进水质改善工作。

强化责任问责制度是保证治理措施严格执行的要点，建立清晰责任追究机制，对未落实责任、未完成治理目标或治理措施执行不力的责任部门和责任人进行约谈、通报批评甚至行政问责，这种“奖罚并行”机制形成震慑，确保治理责任层层传递，切实推动治理目标达成，增强制度落实刚性与治理效能^[5]。

（三）社会公众参与与多元主体协同机制创新

促使社会多元主体投身水环境治理，是保障治理长效且增强社会监督效能的重要途径，构建“行政河长+民间河长+志愿者”的共治格局，可把政府治理职责与社会各方资源力量相融合，凝聚更为广泛的治理合力，民间河长和志愿者既能辅助日常巡河、反馈污染线索，还能投身环境教育与宣传工作，助力公众强化环保意识，此多方参与模式可在地方实现政府主导与社会协同的良好互动，推动水环境治理目标全面实现。

建立公众监督机制、拓展互动机制，能切实提升水环境治理的透明度，设立公众监督平台，让环保组织参与污染举报与治理效果评估等，公众可及时反馈问题，察觉治理过程中可能存在的盲区或滞后之处，这一机制既为治理部门提供更多反馈信息，也增强公众对治理工作的参与感与责任感，增进社会对水环境治理的支持与信任。

于多元主体协同治理而言，强化企业与社区合作意义重大，

企业作为主要排污主体，可参与生态治理项目、支持绿色生产并履行污染治理责任，提升自身社会责任感，企业的参与还能吸引更多社会资本进入水环境治理领域，营造政府、社会与市场协同发展的生态环境，达成更广泛的社会治理共建局面。

三、科技支撑与长效治理机制创新

（一）信息化与智慧治理机制创新

信息化与智慧治理机制创新在水环境治理中至关重要，运用大数据、云计算、物联网等现代信息技术构建智能监测预警系统，是提升水环境治理能力的关键，在重点河湖布置多源环境传感器，实时动态监控水质指标（如 pH 值、溶解氧、氨氮浓度等）以及水量变化，让数据及时准确传输到云平台，此智能预警系统既能监测常规水质变化，还能依据历史数据和趋势预测提前识别潜在水污染风险^[6]。

一旦出现异常，系统自动发出警报，通知相关河湖长与管理部门及时采取应急措施，缩短事件响应时间、降低治理成本、提升突发水污染事件处置效率。推进水环境治理数字化管理平台建设意义重大，可提高治理透明度、加强部门协同，数字平台整合水污染源信息、污染治理进度、检查督查结果和公众举报数据等，提供统一决策依据，支持跨部门协作与流域级整体治理，平台可视化界面直观呈现治理进展和效果，增强社会监督能力，让治理工作更透明，促进社会参与，确保责任追溯和落实，为长期有效水环境治理提供有力技术支撑。

（二）科研技术支持与治理措施迭代机制

强化校企院所合作是提高水环境治理技术水平的有效方法，在此基础上建立产学研相结合的技术研发平台能够迅速将最新的污染控制原理和技术成果应用于治理之中，科研单位可以对治理工程的技术可行性以及方案设计进行科学判断并预测出实际效果，进而提高地方政府治理项目的准确性和执行水平；并且高校及科研院所能参与到对河湖治理人才的培养上来，为今后持续开展治理工作奠定坚实的人才基础^[7]。

应用生态修复工艺、新型材料净化工艺等高效的治理方式会

增强对水质净化的效果及广泛的应用范围。比如采用湿地生态修复工艺把自然净化过程同人工控制相结合，在增加生物量的基础上可以减少污染物质的比例。新型吸附材料以及生物膜技术也可用于增加污染物质去处效率。不断的更新以及运用先进的治理技术不但可以改善对水体净化的处理效果也可以使得治理方式更加绿色低碳且经济实惠。

（三）长效机制与制度规范创新

加强河湖长制法制化建设，是提升治河治水稳定性和规范化程度的重要手段。把河湖长制重要制度性规定转化为法律规定，厘清各级地方政府、有关部门及社会各方主体的责任，加大执法力度等。如：河湖管理职责分工、信息公开及追责机制等内容，从机制上破解了制度易因人员调动发生动摇的难题，使制度落实得以持续。

建立健全长效管理资金保障体系，是水环境保护工作能够长久开展下去的基础性制度措施。长期管理离不开稳定的长期性的资金供给及社会资金的支持，要建立专项资金及生态补偿制度来保证长期性管理的资金供给。探索多元化的筹措手段：比如吸引社会资本介入、发行绿色债券等，以此来解决管理资金来源问题，降低对单一财政资金的依赖程度，充裕的资金供给体系可以保证水环境治理工程项目的设计、施工、维护等各个环节顺利进行，不会因为资金短缺而间断^[8]。

四、结语

河湖长制是我国水污染治理的一项新的制度探索，对提高河流湖泊治理效率，改善水质，修复生态系统起到了积极作用。但是面对越来越复杂的污染治理问题以及多元化的治理主体，当前的制度也存在一些需要解决的问题，例如相互之间缺乏协调合作、职责不清等问题。为进一步做好相关工作就要强化部门间的联动合作、建立奖惩机制、动员社会力量共同参与，并利用科技力量及制度保障等措施使整体制度更加健全，从而实现对治水工作的长效机制建设。只有这样，才能使得治水的成效稳步提升，为我国建设美丽中国做出贡献。

参考文献

- [1] 林水兰. 基于河湖长制的水环境治理与保护研究 [J]. 生态与资源, 2024, (02): 49-51.
- [2] 高琦. 基于河湖长制的太湖流域水环境治理机制路径研究 [J]. 生态与资源, 2024, (07): 74-76.
- [3] 舒星雨. W 县“河长制”协同治理存在的问题与对策研究 [D]. 电子科技大学, 2025.
- [4] 王生科. 河湖长制在生态环境建设中的意义及主要策略研究 [J]. 水上安全, 2025, (08): 79-81.
- [5] 韩红星. 基于河湖长制的水环境治理机制路径研究 [C]// 河海大学, 珠江水利委员会珠江水利科学研究院, 中国疏浚协会, 广东省水利水电科学研究院, 广东省水利学会. 2023（第十一届）中国水生态大会论文集. 黄河水利委员会河湖保护与建设运行安全中心, 2023: 149-156.
- [6] 张殷钦, 康文健, 任政. 基于河湖长制的水环境治理机制路径研究 [J]. 水利水电快报, 2022, 43(12): 105-109+115.
- [7] 朱德米. 中国水环境治理机制创新探索——河湖长制研究 [J]. 南京社会科学, 2020, (01): 79-86+115.
- [8] 孙新元, 李雯, 桑彦彦, 等. 河湖长制视角下水环境污染治理机制优化 [J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(07): 252-254.

建筑工程造价控制与成本管理研究

王铭杨, 张振洋

中国建筑技术集团有限公司, 北京 100013

DOI:10.61369/ETQM.2026060003

摘 要 : 本文以建筑工程项目全生命周期造价管理和成本管理的重点问题为主线, 从设计、招标投标、施工到验收等几个方面分析影响项目成本的主要因素, 着重强调设计决策和施工管理在造价形成的决定性地位, 运用动态控制原理建立基于大数据的成本管理体系, 加强成本预估、过程监控及纠偏联动管理; 通过对典型案例进行分析, 找出存在问题的原因所在, 给出相应的对策措施, 达到资源分配合理化、投资效益最大化的目的, 做到质量与经济并重。

关 键 词 : 造价控制; 全过程管理; 成本管理; 动态监控; 信息化技术

Research on Construction Project Cost Control and Cost Management

Wang Mingyang, Zhang Zhenyang

China Building Technique Group Co., Ltd., Beijing 100013

Abstract : This paper takes the key issues of construction project life cycle cost management and cost management as the main line, analyzes the main factors affecting the project cost from the aspects of design, bidding, construction and acceptance, emphasizes the decisive position of design decision-making and construction management in the cost formation, uses the dynamic control principle to establish the cost management system based on big data, and strengthens the cost estimation, process monitoring and correction linkage management; Through the analysis of typical cases, the causes of the problems are found out, and the corresponding countermeasures are given, so as to achieve the purpose of rationalization of resource allocation and maximization of investment benefits, and pay equal attention to quality and economy.

Keywords : cost control; whole process management; cost management; dynamic monitoring; information technology

引言

工程建设涉及的资金量大、工期长、牵涉面广等特点使得其成本费用受多种因素叠加影响, 变动频繁且不确定性强。传统的工程计价偏重事后收尾工作, 忽视了对整个项目过程中的全面规划及调整, 容易导致预算失误以及资源浪费。伴随信息科技、精细化管理手段的进步, 成本费用控制开始向工程前期提前并加大过程监控力度, 在设计、招标投标、施工这三个重要环节建立基于信息的数据化全链条管控机制有利于提高成本费用管理水平, 做到质量与投资效益并重。

一、建筑工程造价控制的关键影响因素

(一) 设计阶段成本决定性作用

设计环节是整个项目实施的前提步骤, 在工程造价中占决定性和主导性的地位, 设计方案不仅是工程实体形态的选择也是施工方法的选择, 而且直接影响着工程量的计算和材料设备的选择, 因此设计方案本身的优劣直接关系到后续的成本控制范围大小, 实际中大约有70%左右的工程造价已经通过设计方案确定了, 一旦方案确定之后, 就很难有大的变动余地, 如果设计不够深入或者沟通不够充分, 或者没有进行经济方面的比较的话很容易在施工过程中产生大量的设计变更以及签证单, 就会使得成本急剧上升; 同时设计人员如果是忽视造价问题只考虑功能安全等

问题的话也很容易出现资源分配不合理, 产生多余开支的问题。所以, 在设计期间采用限额设计、价值工程分析以及多方案比较的方法来实现成本源头控制有着重要的作用^[1]。

(二) 材料与设备价格波动影响

材料以及机械费一般在建筑工程项目总投资中占有相当的比重, 像钢、水泥、砂石还有大型机械设备之类的, 它们的价格受整个经济大环境的影响, 在一定程度上还受到供需状况以及国家相关政策的影响而会有很大的变动, 如果涨价的话会导致项目的费用瞬间暴涨, 超出预算管理范围, 如果没有进行有效的市场预测和价格预估机制以及没有制定好的采购方案和风险共担机制都会导致成本增加的风险更大。此外采购的方式以及供应链管理能力也会对成本管控带来不同的影响, 集中采购、长单合同锁定价

格以及多方询价对比等方式都可以减少因为市场价格波动带来的风险。故而加大市场价格信息的采集力度，搭建价格监控系统以及适时适策的安排购买时间都是非常有效降低材料费用的方法。

（三）施工组织与管理效率因素

施工期是成本真正发生的时期，在此期间的施工组织及现场管理水平对成本起着决定作用，如果施工方案不合理，比如工序颠倒、设备配置不合理、人员组织不合理等都会造成人力、物力资源的浪费，降低工作效率从而产生拖延工期，增加费用；另外现场管理混乱也会造成材料损耗大、返工严重以及质量问题等一系列问题的发生，使成本支出增大。并且施工过程中各方面的沟通不到位、相互协作不顺畅也会造成成本执行上的偏差与滞后。合理编制施工组织设计，在保证施工进度同时加强成本的管控力度，实施标准化作业以及信息化管理等措施均可提高施工进度，节约材料使用量，达到控制成本的目的^[2]。

二、全过程造价控制体系构建

（一）投资决策阶段的成本预测机制

投资决策阶段是工程项目成本控制的第一步，主要工作是如何用合理的手段来增加对成本预估精度以及合理性的提高，在这个阶段应该根据项目的功能需求，工程建设的内容和市场状况做出全面的可行性和投资预算的研究，选择指标估算法、类比估算法、经验公式法等多个途径来保证估计的结果是可信可靠的。并且应该考虑到政策变动、物价涨跌和技术措施变更等诸多不确定元素的影响，构建起风险预警与修正系统防止因为低估投资额或者过度膨胀导致的成本管理失控情况的发生。另外，在设计中采用多个方案经济效益比较和限额设计的理念也是可以在源头进行投资限制，做到项目满足功能要求的基础上达到最低的成本支出，为之后造价控制打下良好的基础^[3]。

（二）招投标阶段的价格控制策略

招投标阶段为从设计成果到工程施工之间的纽带，也是对合同造价控制的关键部分，影响着后期成本控制工作的开展。推广工程量清单计价制度可以使工程内容与价格分开，提高报价公开率、比较值，降低纠纷产生几率；科学低价评审的方法可以促使企业以合理的价格中标，在保障质量和履行义务条件下，鼓励投标企业在合理范围内展开竞争，防止出现恶意低价或者高价的现象发生；另外加强招标文件制定工作，明晰工程界线、技术要求、计价规则，从而降低项目合同履行过程中存在的风险概率。另外，采用价格调整条款、风险分配方式等可以有有效的防范材料价格变动带来的影响以及市场的不确定性因素对本工程的影响，增强合同价格的确定性和可控性强，进而达到造价风险的提前转移的目的^[4]。

（三）施工阶段动态成本监控体系

施工阶段为工程建设项目的成本资金支出高峰期，在此期间实施动态的成本监督尤为重要。通过对完整成本账目的设立来将人工费、材料费、机械费等详细地分配到各分部分项工程中去，从而达到及时掌握成本数据以及做到动态追踪的目的。并且配合施工进度计划来进行工期及费用的一起跟踪比较，对照计划中的

预算值与实际发生额之间的差异，找出其偏差的原因所在。在这一过程中还要制定相应的预警措施以及相应的调整措施来避免发生过大幅度上的偏差，同时利用现代化的信息手段来实现成本数据集成式管理和图形化展示，增强监控效果以及辅助领导层做出合理的决策水平。对成本进行及时监控并根据工程进度加以调整从而使成本控制工作覆盖整个工程建设过程，保证工程按计划预算顺利完成。

三、成本管理方法与技术路径

（一）精细化成本分解与责任落实

精打细算的成本管理，基于成本分解来展开，在整个项目的总成本的基础上逐步分解到单位工程、分项工程、分部工程等，从而使成本管理从宏观转为微观。在这一过程中，要根据工程量清单、施工组织设计将人工费、材料费和机械费合理地切分开来并且确定各个责任人负责的成本范围、具体工作，让成本管理具有可行性及可追踪性；另外还要设立成本考核责任制，把成本管理的结果同绩效考核挂钩，强化相关人员的成本观念，杜绝不必要的开支，节约生产成本。另外，在对重要成本点加强管控的基础上也可以提高资源的有效利用率从而保证各项成本控制办法在操作层面上真正落到实处^[5]。

（二）信息化技术在成本管理中的应用

信息技术为成本管理提供强有力的支持，在应用 BIM 以及 ERP 还有项目管理系统之后可以做到工程造价信息的一体化和实时化管理。BIM 技术可在三维模型中自动生成工程量清单从而降低人为核算出现的误差，提升数据精确度并给予方案调整参考；ERP 系统也可对企业采购、库存及现金流等进行统一管控，使得成本信息得到更新同步并且可以互相传输。同时还可以把进度、质量和成本等信息结合起来进行综合分析，建立全方面的管理模式，使决策更加合理及时有效地做出判断。借助于大数据集成管理和信息交流，可以使管理变得更为便捷，同时降低信息壁垒带来的负面影响，使成本管控更准确及时地开展起来^[6]。

（三）动态控制与偏差纠正机制

动态监控机制注重对成本执行过程中的实时监督及调整，设立滚动预算制度，在项目成本的基础上依据时间段划分不同的控制时期并且根据实际情况调整预算指标，在实施过程中对比计划成本和实际发生的成本，探究其偏离的原因是由于材料价格上涨或者下降还是施工进度加快或者拖延以及设计方案改变等，然后采取相应的手段加以纠正。另外设立成本警报系统，一旦出现超预算情况会立即发出警报提示，避免造成更大的损失，在此基础上开展定期的成本分析及总结，从而可以逐渐改善管理方法达到对成本控制的全封闭过程。这个方法可以有效的减少不确定性因素给的成本带来的影响使项目的总成本始终维持在一个较低水平上。

四、典型工程成本控制数据分析

（一）工程项目成本构成分析

以某市区2024年完成的住宅工程为例（取材于地方住建局

发布的《工程造价信息月报》，工程项目结算资料)。该项目总投资额大约为2.15亿，其中材料费约占1.32亿元，所占比重大61.4%，人工费约4300万元，占总投资额的20.0%，机械使用费约2100万元，占到总投资额的9.8%，其他费用约1900万元，占比8.8%。材料费中钢筋、混凝土等占比较大达到了72%以上是最大的成本驱动因素之一。而比较各个分部工程的成本可以看出，主体结构阶段的成本投入最多，约占所有成本的45%左右。数据显示：材料费比重最高，在全部成本中占主要部分；同时材料的价格及利用率高低也直接影响到工程造价费用高低，所以应该把材料管理放在成本控制首要位置上。如下表1所示：

表1 典型工程成本构成及偏差分析表				
(数据来源：某市住建局2024年工程造价统计及项目结算资料)				
成本项目	预算金额 (万元)	实际金额 (万元)	偏差(万元)	偏差率(%)
材料费	12500	13200	+700	+5.6
人工费	4100	4300	+200	+4.9
机械费	2000	2100	+100	+5.0
其他费用	1800	1900	+100	+5.6
合计	20400	21500	+1100	+5.4

材料费偏差最大，是成本控制重点；设计变更、材料价格上涨是主要影响因素，需要加强前期管控及材料采购管理等。

(二) 成本偏差来源及影响程度

从项目的概算与结算金额比较中可以看出整体投入超概算6.3%。具体来说，因为设计变更造成工程量增加产生费用约680万元，占据了总偏差的49%；材料涨价（钢材价格较预算阶段提升大约8%，数据源自中国钢铁工业协会2024年数据）产生费用约420万元、占比为30%；人员设备投入较少以及进度滞后引起的劳动力和机械支出上升约280万元，占到21%。再具体来看的话，设计变更主要发生在地下室结构以及机电方面，可见前期图纸出图不够细致是一个原因。另外就是材料采购时未及时定货定价，扩大了市场价格浮动的影响。所以，成本偏差主要是由设计管理和市场引起，在前期管理和过程中需要进行把控^[7]。图1体现了工程实施期间预算成本和实际成本的变化趋势，清晰地看出各个时期成本偏差的发生以及发展情况，同时指出设计变更、材料

价格上涨带来的成本增加问题及其解决办法。

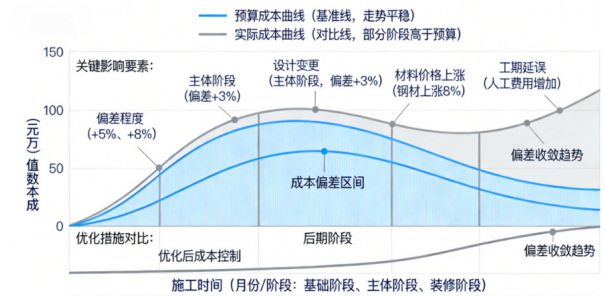


图1 建筑工程成本偏差动态变化与影响因素分析图

(三) 优化策略与实施效果评估

为了解决以上问题，在以后类似的工程项目中做了改进工作，采用限额设计，提前确定钢材的采购价格，调整施工组织方案等措施。在2025年的类似工程项目上面，采用集采和长期合同固定钢材采购的价格，使得钢材采购成本节约大约5.2%左右，通过调整施工工艺，调配资源等方法使得工期节省了大概8%，人工费以及机械费降低大约6.5%左右，设计环节应用BIM进行碰撞检测，变更设计的比例减少40%左右。最后该工程的实际花费比预算节约了大约3.8%，成本节约成效良好，证明了该措施可行有效并且可推广至更多的工程当中去^[8]。

五、结语

建筑工程项目造价管理要覆盖整个工程建设周期，从设计开始抓起，加强招标环节的价格把控，在施工期间做好跟踪监控并进行适时调整，采用精细管理和信息技术相结合的方法，使成本信息能及时处理并加以控制。根据一些典型项目的统计资料也可以发现，对材料的有效管理以及方案的设计是影响成本的主要因素。不断健全和完善责任追究制度及防范措施，能更好的提高成本管理水平，达到提升工程经济效益的同时也能满足质量管理要求的目的。

参考文献

[1] 陈冬梅. 建筑工程造价管理及控制策略研究 [J]. 房地产世界, 2024, (13): 104-106.
[2] 毛伟霞. 成本管理视角下 BIM 技术在建筑工程造价控制中的应用 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(08): 196-198.
[3] 苏丹丹. 建筑工程造价的动态管理控制策略研究 [J]. 城市开发, 2025, (12): 103-105.
[4] 黄志超. 建筑工程施工阶段全过程造价管理的控制研究 [J]. 散装水泥, 2025, (03): 173-175+178.
[5] 薛才凤. 建筑工程造价管理精细化成本控制策略研究 [J]. 新城建科技, 2025, 34(07): 190-192.
[6] 陈丹. 建筑工程招投标阶段工程造价控制策略研究 [J]. 散装水泥, 2025, (04): 202-204.
[7] 梁泳恒. 工程量清单计价模式下住宅建筑工程的造价控制研究 [J]. 中华民居, 2025, 18(10): 151-153.
[8] 张敏捷. 基于大型建筑项目视角下工程造价控制中的合约管理策略研究 [J]. 山西建筑, 2025, 51(23): 186-189.

大型工业厂房地下室造价优化技术与成本控制实践

吴淑蓉

上海江海数字产业发展有限公司, 上海 201499

DOI:10.61369/ETQM.2026060008

摘 要 : 本文主要研究大型工业厂房地下室造价控制的关键问题, 以上海项目为依托, 从造价构成入手, 对方案设计阶段和施工实施阶段的造价控制方法进行系统的分析。地下室层高、土方外运量、桩基选型和围护体系等都会影响到总造价的非线性效应, 在保证功能与安全的同时做精细化的比选。文章对材料全过程控制、BIM协同应用等内容进行总结提炼, 对材料损耗、变更返工等各方面节约效果做量化分析。依靠技术与管理双轮驱动, 项目获得明显的经济效益, 给同类工程提供可以复制的造价控制范式。

关 键 词 : 造价优化; 成本控制; 大型工业厂房

Cost Optimization Techniques and Cost Control Practices for Basements of Large-Scale Industrial Plants

Wu Shurong

Shanghai Jianghai Digital Industry Development Co., Ltd., Shanghai 201499

Abstract : This paper primarily focuses on the key issues of cost control for basements in large-scale industrial plants. Based on a project in Shanghai, it systematically analyzes cost control methods during the design and construction implementation phases, starting from the cost composition. Factors such as basement floor height, earthwork transportation volume, pile foundation selection, and enclosure systems all have nonlinear effects on the total cost, necessitating detailed comparisons and selections while ensuring functionality and safety. The paper summarizes and refines aspects such as full-process material control and BIM collaborative applications, providing quantitative analysis of cost savings in areas such as material waste and change rework. By relying on both technological and managerial drivers, the project achieved significant economic benefits, offering a replicable cost control paradigm for similar projects.

Keywords : cost optimization; cost control; large-scale industrial plants

大型工业厂房地下室是项目的重要功能空间, 造价高、施工难, 也是造成项目总体经济效益受影的因素之一。目前, 在保证工程安全、质量的基础上, 怎样才能使造价得到有效的控制, 已经成为行业所面对的普遍问题。文章选取具体的工程实例, 从方案设计到施工实施的全过程, 对造价优化与控制的技术进行详细的阐述, 以期能够给类似项目提供有实践指导意义的管理思路和技术路线。

一、大型工业厂房地下室项目概况及造价构成分析

大型工业厂房地下室是项目主要的功能性空间, 是设备机房、停车库、人防设施等功能性空间的集中体现, 造价在总造价中所占的比例较大。以上海数字江海一期01B-05地块新建厂房项目为例, 地下建筑面积为17804.94 m², 地下车库、设备用房等, 总造价和项目总投资有固定的比率关系。

造价构成是以工程实体费用为主, 土建工程、安装工程、其他费用等都属于造价构成的范围。土建工程中基坑围护费用大, 本项目用双轴水泥土搅拌桩、拉森钢板桩、立柱桩等组合支护形式, 33套轻型井点降水系统和其它加固措施为围护工程主要成本。底板、墙板、柱梁等主体结构费用包含C35P6防水混凝土、钢筋等主材消耗, 底板混凝土浇筑需要分区域投入多台汽车泵连

续作业, 材料和施工机械费用叠加造成大额支出。安装工程包含给排水、电气、消防、暖通等系统的安装, 地下室生活泵房、消防泵房、变电所等设备基础及管线铺设费用所占比例较大。

二、方案阶段造价优化技术

(一) 地下室层高对造价的非线性影响

地下室层高对造价的影响十分敏感, 层高直接影响竖向构件、顶板跨度与配筋, 会影响结构形式, 但是会对整个建造成本产生影响。层高每增加0.1米, 钢筋含量约上升3.33kg/m², 混凝土用量增加0.0047m³/m², 直接材料成本增量达26.8元/m²。该数值没有考虑由于层高变大所引起的连锁效应, 竖向构件截面或配筋的增减、底板及承台因水浮力增大而增厚、桩基抗拔能力增

强而增长等。更重要的是，由于层高增大，开挖深度也会随之增大，基坑支护等级从放坡或者简易支护变为排桩或者地下连续墙体系，结构变化会引起非线性成本迅速升高。因此，在方案阶段对不同的层高方案进行仔细比较，根据设备安装、管线敷设、规范净高等要求，适当减小层高，减少材料投入、支护结构及土方开挖成本，采用成本分析法，预测每个方案的成本，为确定最佳造价提供参考。

地下室层高变化对直接建造成本的影响：				
地下室层高（m）	单方钢筋含量（kg/m ² ）	单方混凝土含量（m ³ /m ² ）	土方增量（m ³ /m ² ）	对应平米单价（元/m ² ）
3.9	115.04	0.851	—	3800
4.2	123.02	0.853	0.3	3873
4.5	135.01	0.879	0.6	3961

（二）土方内平衡降低外运成本

土方工程在地下室造价中所占的比例较大，在目前渣土外运单价不断上涨的情况下，外弃成本往往比开挖本身还要高。整体抬高地下室底板标高或者优化场地竖向设计，可达到土方内平衡的目的，大幅度降低外运量。将部分区域的回填需求同开挖土方相结合，利用景观堆坡消纳多余土体形成内部消纳闭环。此种方式虽会略微增加基础埋深或者改变建筑±0.000的位置，不过综合效果较好，可以避免出现高额外运费的情况，并且可以缩减政府审批流程以及运输过程中的碳排放。土方平衡要提前到方案初期，依靠准确的地形建模和动态算量，不能后期补救。只顾结构本身而忽略土方逻辑，就陷入了“省了钢筋却赔了运费”的成本

数字江海一期项目典型区域桩型比选经济性对比					
区域 / 功能	原方案	优化后方案	桩长（m）	布桩数量（每柱）	主要经济性依据
地库（抗拔控制）	PHC500-100AB，一柱三桩	KFZ400-220B，一柱两桩	25	2	减少桩数、缩短桩长、降低承台尺寸
多层厂房（4F）	PHC500，一柱四桩	KFZ400-220A，一柱三桩	29	3	承台面积减小，综合成本更优
高层 T1（13F）	PHC600-110AB，一柱8~18桩	PHC600-130AB（试桩）	31~33	8~18	桩身强度控制，兼顾沉桩可行性与承载力

三、施工阶段造价控制技术

（一）材料与设备采购及使用全过程管控技术

材料和设备费用占地下室造价比重大，全过程控制要贯穿于采购、运输、使用、回收等全过程。数字江海一期01B、05地块地下室施工时，钢筋等主要材料同优质供应商签订长期供货合同，固定优惠，混凝土由各区泵站询价比价确定实时价格，降低价格波动影响，主材采购成本降低5%。防水材料根据项目的地质条件、防水要求，结合实际使用经验、性价比等来确定4mm厚SBS改性沥青防水卷材和2mm厚非固化橡胶沥青防水涂料的标准化组合方案，防止由于渗漏返工造成经济损失。设备采购前做多品牌比价计算，生活水泵、消防水泵选高效节能型，后期运维成本每年可节约12万元。材料运输采取专用防护措施，施工现场分区堆放、限额领用，钢筋、混凝土等主材损耗率控制在2%以内。全过程控制使地下室材料及设备相关成本减少390万元，很好地控制了造价超支的风险。

（二）基于BIM的施工过程协同管控与变更控制技术

BIM技术的应用给施工阶段造价控制提供技术支持，协同控

困境。因此在方案阶段通过对场地高程、土方量的分析来确定开挖土方与回填需求之间的匹配关系，使内部消纳，然后根据景观堆坡或者场地抬高等设计形成闭环土方平衡。提前做好土方内平衡工作可以减少渣土外运的数量及运输费用，降低由于外运审批、协调、运输延误造成的隐形成本。

（三）桩基选型对地下结构初始投入影响

桩基类型决定地下结构初期投资多少，不同桩型的承载力、施工速度、综合单价相差较大。以临港南桥项目为例，原定方案为PHC500管桩一柱三桩方案，经过比选后改为空心方桩一柱两桩方案，在保证抗拔、抗压的前提下大大减少桩材和承台混凝土用量。尽管PHC管桩单价低、沉桩控制性强，但是空心方桩由于截面特点可以减少布桩数量，减小承台尺寸，在桩基和承台整体成本上达到持平甚至优势的效果。对高层塔楼而言，荷载过大时灌注桩虽然单桩承载力高，但是施工周期长、泥浆处理成本高、后注浆可靠性存疑，综合经济性不一定比大直径PHC管桩好。桩型的选择要结合地质条件、试桩结果以及当地供应体系，不能为了追求低价桩材而忽视承台、工期及风险成本，从而达到全链条造价控制的目的。根据经济性比较不同桩型、布桩数量、承台尺寸等，选择满足承载和抗拔要求的、材料消耗最少、造价最低的方案。将多根管桩方案优化为空心方桩方案，减少布桩数量，降低承台混凝土用量，从源头上减少桩基成本，避免施工阶段因为桩型不合理造成的额外变更或者加固费用。

制可以减少由于变更、返工造成的成本。数字江海一期01B-05地块地下室施工前，用BIM建立土建、机电一体化模型，对管线进行碰撞检测，提前优化冲突点32处，减少施工中凿改结构费用。施工期间用模型对进度和造价数据进行实时更新，达到进度与造价联动控制的目的，发出超支风险的预警。对劲性钢柱预埋、机电管线预埋等关键工序进行施工流程的模拟，改善作业顺序，提高效率。实行严格的变更控制程序，设计变更必须经过BIM核算造价的影响，四方同意后才能执行。突发情况用模型迅速产生各种应对方案并加以比较，选出最佳方案。施工阶段总变更是同类工程中30%之内，返工费用降低85%，直接缩减成本520万，工期提前完成。

四、项目难点及对策

（一）深基坑围护与土方开挖的造价控制难题

大型工业厂房地下室深基坑施工存在围护结构成本高、土方开挖费用可控性差的两个问题，本项目基坑开挖面积为18990

m²，一般开挖深度为4.60m，周边紧靠用地红线，靠近规划道路和河道，可利用场地非常有限，造成传统的重力坝式围护形式占用大量红线内的空间，增大了水泥的使用量，压缩了后续施工的操作面，从而间接增加了整个工程的成本。土方外运受市政交通管制、弃土点距离的影响，单价变化较大，如果没有在方案阶段做好土方平衡工作，很容易造成高额外运支出。

对策在围护选型阶段先比较单位延米造价和空间占用效率，根据地质条件选择重力坝等经济性较好的形式，防止盲目使用高成本支护体系。抬高地下室底板标高或者结合景观堆坡，使开挖土方内部消纳，大幅度减少外运量。在未被使用过的规划道路上设置临时环道，降低场内二次倒运的次数；出土以夜间为主，提高运输速度，控制日均出土量为3000m³左右，保证运输成本稳定，防止工期延误造成的运价上涨或协调费增加。

（二）防水标准化设计与合同风险包干下的平衡难点

地下室底板、承台等处的防水等级要求高，如果防水构造设计过多或节点处理不妥当，会造成材料成本过高，后期渗漏维修费用增加。传统施工中因为过度依赖昂贵的防水材料、忽略标准化节点的应用，造成“大材小用”的现象；地下障碍物、不良地质条件如果在合同前期没有对风险分担做出明确规定，很容易导致施工过程中出现大量的签证变更，从而对目标成本造成极大的冲击。

对策为实行地下室防水标准化设计，选择性价比最好“涂料+卷材”复合防水体系，侧墙采用2层厚高粘抗滑水性橡胶沥青防水涂料和1.5mm厚自粘聚合物改性沥青防水卷材，顶板种植区增设耐根穿刺层，用标准节点减少无效支出。优化车位比和柱网布置，使用中柱网（8m~8.4m×5~6m）来改善地库的轮廓状况，缩减凹凸无用区域以及外墙周长，从根基上削减防水面积和混凝土消耗。加强合同风险控制，把淤泥、暗浜等不良地质处理费和500立方米以下的不可预见地下障碍物清除费纳入措施费包干范畴之中，超出部分才进行签证。可以防止施工阶段因为地质不清楚而频繁变更、索赔，从而达到防裂防渗质量与造价控制的动态平衡。

（三）装配式与钢结构施工协同的造价控制挑战

地下室使用装配整体式框架结构、钢框架结构施工，预制构件与钢结构构件接口复杂，若设计阶段无充分的深化，易造成变更频繁、材料规格调整等，加大造价风险。为了控制业主成本，在方案及施工图阶段进行构件深化设计、空间协调，保证预制构件与钢结构节点合理、标准化，减少后期设计变更、签证带来的额外费用。招标文件对构件的尺寸、质量标准、供应周期有明确的规定，在合同条款里将供货节奏写入其中，保证材料供应与施工进度衔接，从根本上减少造价风险。

对策为项目实施中，为有效地控制项目造价，甲方用前置设

计优化、合同管理双管齐下方式进行装配式、钢结构施工的严格控制。项目组在方案设计和施工图阶段对预制构件、钢结构构件进行了详细的深化设计和接口优化，根据数字江海一期01B-05地块实际构件尺寸和节点要求，对各类构件规格进行了统一、标准化处理，降低了由于尺寸不同或者节点不一致造成的变更风险。其次，甲方在招标、合同管理中对构件质量标准、供应期、重大交付节点进行规定，要求供应商提供稳定供货计划，把重要的责任和风险写入合同条款中，避免由于材料延误或者定制化构件变更引起的造价增加。根据以上项目分析结果可以得出，利用这种方法将设计前置并配合合同控制，使施工阶段由于设计变更、构件签证所增加的费用大大降低，预制构件与钢结构的接口冲突减少70%左右，相应变更费用比同类项目低120万元左右，施工进度和节点都得到了保证。

五、实施效果及经验总结

本项目大型工业厂房地地下室施工全过程，以方案阶段、施工阶段为两大部分，取得较好的经济效果。方案阶段对关键技术方案进行多方案比较，根据功能需求、造价测算做综合分析，在满足规范和使用要求的前提下，使结构体系、基础形式的经济性最好，从源头上减少不必要的成本支出。在施工阶段依靠创建材料采购比价制度、供应链协调治理、限额领料办法等方法，控制好主材采购成本和现场损耗，消除机电同结构之间的矛盾，减少施工过程中出现的返工和签证变更情况。就总体而言，使地下室工程的质量、安全、功能得到保证，造价水平得到有效控制，施工阶段的成本偏差和非计划支出明显下降，说明全过程造价控制体系有较好的应用价值。本项目实践证明，大型工业厂房地地下室造价控制应该把方案阶段作为主导、施工阶段作为重心、合同管理作为支撑，依靠多专业协同和全过程控制来实现工程造价的合理优化和经济效益的最大化。

六、结束语

文章用工程实例的形式证明，大型工业厂房地地下室造价控制贯穿设计和施工的一条主线。方案阶段的科学优化同施工阶段的精细管控相结合，就可以达到成本降低、效率提高的目的。随着技术手段和管理模式的不断发展，工程造价控制越来越重视前瞻性、协同性、可持续性，地下室成本控制更多地依靠多专业融合和全生命周期视角，使工业建筑向着高质量、高效率、低成本方向不断前进，为工业建筑领域精益建造和效益提升注入持久动力。

[1]朱小慎.工业厂房与民用建房项目造价管理与成本控制策略研究[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第七届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会议论文集.台州市振腾建设有限公司,2025:226-228.

[2]苗关丰.基于BIM技术的土建工程造价全过程控制策略与实践[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,西南大学,重庆工商大学,重庆建筑编辑部.人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集.上海临港德服企业发展有限公司,2025:531-538.

[3]高政重.工业厂房设计阶段的造价控制探讨——以某造纸厂为例[J].造纸装备及材料,2022,51(05):219-221.

[4]陈国海.浅谈工业厂房在设计阶段的成本控制[J].四川建材,2021,47(10):198-200.

[5]王鹏,边小涵.浅析厂房类工程造价控制的对策——以正林全屋定制产业园9#厂房为例[J].福建建材,2021,(02):111-113.

适应高标准住宅建设的预算编制技术与审核关键技术研究

俞璐烨

上海开诚建设工程咨询有限公司, 上海 201108

DOI:10.61369/ETQM.2026060009

摘 要 : 本文以高标准住宅项目工程造价预算编制为研究对象,以颛桥东苑米兰特色小镇三期项目为具体案例,从材料价格下浮确定、工程量核算准确性、价差风险控制等造价核心问题入手,对预算编制与审核过程中技术要点进行分析。采用多源价格数据对比、建安成本弹性预留和主材价差风险测算方法,解决高标准住宅中材料价格下浮比例取定、专业界面交叉和不同面积口径混用造成造价偏差的问题,总结出可操作的预算编制和审核经验,为提高高标准住宅项目造价准确性、成本可控性提供实践参考。

关 键 词 : 高标准住宅; 预算编制技术; 预算审核; 造价准确性

Research on Budgeting Techniques and Key Review Technologies for High-Standard Residential Construction

Yu Luyue

Shanghai Kaicheng Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai 201108

Abstract : This paper focuses on the cost budgeting for high-standard residential construction projects, taking the third phase of the Milan Characteristic Town in Zhuanqiao Dongyuan as a specific case study. It analyzes the technical key points in the budgeting and review process, starting from core cost issues such as determining material price reductions, accuracy of quantity calculations, and price difference risk control. By employing methods such as multi-source price data comparison, flexible reservation of construction and installation costs, and risk measurement of main material price differences, it addresses problems in high-standard residential projects such as determining the proportion of material price reductions, cost deviations caused by overlapping professional interfaces, and the mixed use of different area calculations. The paper summarizes practical budgeting and review experiences, providing a practical reference for improving cost accuracy and cost controllability in high-standard residential projects.

Keywords : high-standard residential; budgeting techniques; budget review; cost accuracy

本文以高标准住宅预算编制为研究对象,结合行业规范以及实际项目案例,从预算编制技术、预算编制难点对策、预算编制经验三个方面出发,对高标准住宅预算编制过程中数据匹配、风险应对等问题进行系统的探究,分析材料价格下浮比例取定、专业界面交叉、面积口径不统一等给预算准确性带来的影响,提出相应的风险控制和数据校核方法,为提高预算准确性、实现项目成本管控提供技术支持和实践范式。

一、高标准住宅建设标准与预算编制要求

高标准住宅建设核心标准不再只是基本的居住功能,而把建筑全生命周期品质、健康人居和环境可持续性综合起来考虑。高标准体现为对材料环保性能、室内环境健康参数、能源资源利用效率等可以量化的指标作出明确的规定。预算编制要充分领会这些技术参数背后的成本含义,常规造价方法很难准确体现达成高性能所增加的投资。预算人员要同设计部门合作,把抽象的标准转变为具体的图纸上的设计材料规格以及施工工艺。

适应高标准住宅的预算编制技术要求,它的方法论由原来的静态造价核算转变为动态的成本规划。预算编制要前置,并且要贯穿项目决策、设计阶段,用成本数据的实时反馈来引导设计优化。该技术重视的是“价值”而不是“工程量”的成本累加,它要建立绿色建材、节能技术等特殊分项的预算科目体系。预算人员要能识别各项高标准措施的成本驱动因素,也可以对不同技术途径的成本效益做出评价。该技术应用的关键就是建立一个可以灵活响应设计变更的成本数据库,保证预算结果既符合高标准的要求又具有市场计价的基础。造价人员对于高标准住宅的主要挑

战并不是工程量计算本身，而是把高标准设计要求准确地转化为定额子目、材料单价和费用计取规则，如果缺少针对性的编制方法，容易造成预算指标失真或者成本风险后置。

二、预算审核技术与提高预算准确性策略

（一）多维度数据核验技术融入预算审核流程

多维度数据核验技术是高标准住宅预算审核的主要手段，它的架构是以数据中台和智能核验引擎为基础，审核人员借助数据接口将历史项目材料价格数据库、官方造价信息平台、设计图纸BIM参数模型三者融合起来，创建出量价费协同核验体系。在预算审核过程中，造价人员应重点审核材料价格取定是否合理。为了解决高标准住宅非标特点造成的项目历史指标缺失问题，采用机器学习算法提取历史项目同类材料信息价的时间衰减、规格修正下浮规律，在颛桥东苑米兰特色小镇三期项目中，在审核时采用“历史项目价格对比+当期造价信息价复核”的方式确定价格基准。根据该算法得到防水卷材下浮10%，室外管道下浮30%，人工及混凝土下浮15%，门窗工程下浮20%，管桩下浮30%的动态区间，在造价软件中逐项校核，防止不同材料套用同一比例造成造价偏差。再结合目前项目材料规格偏差系数、集中采购批量折扣率，用加权算法得到价格基准调节系数，使历史数据与现行需求相匹配。

审核时依靠智能引擎先调用官方信息价接口获取实时数据，再同建材市场价格监测系统做浮动修正；对智能家居设备、绿色建材等信息价缺失的品类，采取三方询价的方式并接入电商采购平台的价格数据，按照“供应商报价均值+运输成本”来计算。量价协同环节用造价软件把核验过的工程量同核验过的材料单价、费率标准耦合运算起来，预算单价超出历史下浮上限或者触及市场成本预警线的时候，系统就会自动追查价格组成细节和计算依据，产生清晰的核查报告。利用数据智能匹配、动态校验来解决非标数据应用的难题，从量价费三个方面提高预算的准确性。

（二）成本预算的弹性评估

高标准住宅预算准确性的提高要聚焦建安成本的核心范围，建立“成本分解结构（CBS）+ 风险权重矩阵”的弹性联动机制，实现与预算编制的深度绑定，防止脱离核心的泛化分析。预算编制中除常规规定额子目外，还需考虑部分高标准住宅设备及系统在定额中没有体现出来的附加费用。造价人员在编制时，在建安成本范围内对隐性费用予以补充计取。

以项目中电梯工程为例，建设期预算除了设备购置费、安装费外，还要结合设备参数预估安装过程中可能会产生的定制化配件费用，参考颛桥东苑米兰特色小镇三期项目电梯工程造价数据，按“设备购置成本×5%”比例计提配件预备金，以项目中涉及的全套图纸不包含的其他所有部件、已确定成交价的部件等范

围来核算，避免后期出现费用遗漏造成造价调整。在审核某绿色住宅项目时发现，光伏幕墙系统的预算只包含了组件和基础安装费，没有包含光伏逆变器调试、防雷检测等隐性费用，通过弹性评估机制把这部分成本纳入预算，并设置8%到12%的弹性区间来应对核心光伏组件价格的波动。该种评估方法使预算编制既关注建安成本的核心，又提前考虑建设阶段的隐性成本，从而实现核心成本和隐性成本的闭环控制，提高预算的准确性。

（三）风险分析与预算缓冲

预算准确性要着重处理价差风险控制问题，用“历史数据建模+工期节点联动”双轨预测的办法创建量化风险分析体系和动态预算缓冲机制。针对高标准住宅主材价差核心风险，选取颛桥东苑米兰特色小镇三期项目（以下简称“颛桥东苑项目”）作为样本，选定钢材、混凝土等主要品类，利用专业数据采集工具获取近10年上海市造价信息平台价格数据，得到时间序列价格曲线，用常规时序预测方法提取36个月波动周期、22%涨幅峰值等特征参数，结合政策调控、环保限产等影响因素，对近5-10年上海市造价信息中材料价格走势进行统计分析，再匹配项目结构施工（6个月）、装饰装修（4个月）等阶段工期，定位主体结构期等价格敏感节点进行对比判断。

根据颛桥东苑项目“防水卷材下浮10%、室外管道下浮30%、人工及混凝土下浮15%、门窗工程下浮20%、管桩下浮30%”的承包定价逻辑，造价人员在预算中设置专项价差预备费，并明确启用条件，即先根据历史价格波动数据计算风险概率，例如对钢材、混凝土等主材价格波动风险，预算编制时结合项目施工工期，对历史价格波动幅度进行统计分析。经计算，建设周期内超15%涨幅概率为32%，成本增加均值为920万元；再按价格波动期望值的1.6倍计取1472万元缓冲金，只在实际采购价格超过预算基准价5%时方可使用，既保证了预算的稳定性，又防止了成本风险的集中暴露。综合单价中加上5%到8%的风险费率来应对价格小幅度波动。在施工期间，取钢材采购关键期的价格平均值，经核算该平均价比预算基准价下浮5%，未达到价差预备费启用条件，相应节余作为项目成本优化空间。若施工期间钢材平均价仅小幅波动（涨幅小于5%），则由综合单价内5%-8%的风险费用消化，有效地避免了成本超支。这种依靠历史价格曲线以及工期预估的风险评价，使得预算预留由经验估计变成了数据支撑的精确安排，不但加强了预算准确率，而且加大了项目对抗主材价差风险的能力。

三、案例分析

（一）项目概况

本工程造价咨询项目为颛桥东苑部分楼栋，对应整个项目26栋高层住宅中7栋高层住宅（地下1层，地上16层），另外还有2栋单层KT站和1栋单层垃圾站。本工程房屋总建筑面积

93293.77平方米，地上总建筑面积68057.72平方米（其中住宅面积67374.96平方米，配套设施682.76平方米），地下建筑面积25236.05平方米（其中住宅地下1层非机动车库、储藏室等2406.22平方米，地下车库22829.83平方米）。工程包含的造价计取内容有土建造价（含建筑、结构、室外总体工程等）、安装造价（含电气、防雷接地、应急照明、给排水、消火栓系统、喷淋、火灾报警、煤气预留套管、通风、抗震支架、室外给水工程等）和其他专业工程造价有基坑围护、弱电智能化、景观绿化、电梯工程等。

（二）造价计取难点及对策

1. 材料价格下浮比例差异化导致的计取精度挑战

该项目材料价格下浮比例相差很大，防水卷材、室外管道等参考以往30多个类似项目的采购谈判结果和市场价格波动趋势，分别可以下浮10%、30%；人工、混凝土等结合本地建筑市场供需关系以及近100份劳务合同、材料采购合同的价格分析，下浮比例为15%。门窗工程由于市场竞争格局、品牌集中度、批量采购优势，根据20余次成功采购案例确定下浮20%，管桩由于本地生产厂家产能充足、运输距离短等因素参照历史15次采购项目数据可以下浮30%。虽然建筑主材类别划分清楚，但是不同材料下浮比例的多元性，容易在批量计价时造成比例匹配的疏忽，比如把适用15%下浮的混凝土当成10%或者20%的比例来计取，单类材料造价误差达到5%–12%，累积之后仍然会对整体造价的准确性产生影响。

对策为明确工程分类（土建、安装、其他专业工程），建立材料清单，将下浮比例与具体材料绑定，管桩对应土建工程30%下浮、门窗对应土建工程20%下浮，标注在项目造价汇总表旁边。在造价软件中设置材料、工程类别、下浮比例三重校验，输入材料时先选择所属工程类别（如土建工程），再选择对应下浮比例，防止跨类别套用。根据2024年2月上海市建设工程造价信息，对已经计取的材料价格进行复核，保证造价计取完全符合历史数据和项目实际。

2. BIM协同建模下工程量固化与变更风险控制

高标准住宅项目专业系统复杂、交叉界面多，如果仅依靠二维图纸进行预算编制，很容易在施工阶段暴露设计冲突并引起工程变更，从而影响造价控制的准确性。

对策为本项目充分运用BIM协同平台，在预算编制阶段就组织建筑、结构、机电、智能化及精装修等多专业模型的深度整合，利用系统性碰撞检查提前发现设计冲突点。经统计共发现并处理设计冲突156处，主要集中在机电管线和土建专业的碰撞、机电管线与精装修界面、机电管线交叉及设备安装空间不足等关键部位。设计阶段完成冲突消解，源头上杜绝了施工阶段返工和变更。经测算，本措施可使后续变更、返工成本减少约850万元。机电管线与精装修的冲突问题，项目团队主导过多次排布方案优化工作，直接为项目节省成本75万元。实践证明，在预算编制阶

段介入BIM协同审查，提前固化工程量，减少施工阶段的设计变更，为造价控制提供稳定的工程量基础。

3. 不同阶段面积数据差异导致的指标偏差

项目建设各个阶段的建筑面积数据由于计算依据不同而存在差异，需要明确建筑面积与可售面积的指标界限，“建筑面积”与“可售面积”的界限由出具的房屋土地权属调查报告书测绘得到，总建筑面积为93293.77平方米（地上68057.72平方米，其中住宅67374.96平方米、配套设施682.76平方米；地下25236.05平方米），可售面积仅为地上住宅部分的67374.96平方米。不同分项工程所对应的面积类型、阶段数据若混淆，容易造成误差，地上住宅造价指标以地上住宅建筑面积为基准，地下车库造价指标对应地下建筑面积；用可售面积分摊地下工程成本虚增住宅单位造价，用总建筑面积核算配套设施费用则会造成成本分摊失真，影响造价管控精度。

对策是按照面积指标类型、数据形成阶段和适用分项工程这三个维度来编制对照表，确定设计图纸建筑面积作为前期造价估算的数据来源，测绘总建筑面积（地上、地下）作为土建、安装工程工程量核算的数据来源，可售面积仅用于住宅造价指标测算，标注数据来源。造价编制时，在计算稿中标注出各个场景的面积数据类型，在审核环节与对照表核对，校验“住宅单位造价”用的是可售面积、地下车库工程用的是地下测绘面积，使面积指标和造价场景精准对应，避免由于数据混淆造成的造价偏差。经过实践证明，确定各个阶段的面积数据适用范围，是保证高标准住宅单位造价指标真实性的重要环节。

（三）编制效果及经验总结

通过颛桥东苑项目的实例，对预算编制技术、审核策略以及造价计取难点进行分析，从整合历史项目材料价格数据库、官方造价信息、设计图纸技术参数等多方面入手，对建安成本中核心设备安装调试附加费、节能材料损耗补充费等隐性成本展开分析，重点放在了电梯设备购置成本5%计提配件预备金的测算上，同时就材料价格下浮差异（防水卷材下浮10%、人工下浮15%等）和多专业衔接遗漏（土建墙体砌筑与安装管线预埋衔接、安装消防喷淋管道敷设与土建吊顶施工衔接等）等问题给出相应的解决途径。

最后得出“根据锚定、分类管控、阶段适配”的编制经验，指出该项目的预算编制严格以《上海市建筑和装饰工程预算定额（2016）》《上海市安装工程预算定额（2016）》及其他配套定额为计价基准，根据2024年2月的《上海市建设工程造价信息》及项目承发包实际确定材料下浮比例；该项目工程概况（位于上海市闵行区，含7栋高层住宅、2栋单层KT站、1栋单层垃圾站，总建筑面积93293.77平方米，地上68057.72平方米、地下25236.05平方米，可售面积67374.96平方米）、咨询依据（含上述上海市2016预算定额、相关费率标准、工程设计图纸等）、人工材料机械单价取定（按2024年2月《上海市建设工程造价信

息》计取，无信息价材料按同期市场平均水平计取）、各工程计取内容（土建含建筑、结构及室外总体工程，安装含电气、防雷接地等11项内容，其他专业工程含基坑围护、弱电工程等）、咨询成果（总造价42368.7645万元）及附件（汇总表、各住宅楼单体造价表）。共同对颀桥东苑项目预算编制的技术细节、数据支撑和成果结论进行呈现。

四、结语

文章以高标准住宅预算编制技术为研究对象，从理论分析和

项目案例入手，明确了高标准住宅预算编制要兼顾技术参数转化和动态成本规划，证明了多维度数据核验、弹性评估、风险缓冲等技术在提高预算准确性方面的作用，提出了造价计取难点的解决对策。颀桥东苑项目实践证明，科学的预算编制模式可以给项目成本控制提供可靠的保障。未来也将在实践中不断改进高标准住宅预算编制体系，促进行业高质量发展。

参考文献

[1] 马金山.住宅建设工程造价的规范管理措施分析[J].居舍,2025,(16):142-145.
[2] 多项有线电视建设要求纳入国家标准《住宅项目规范》[J].广电时评,2025,(08):7.
[3] 周斌.绿色住宅建设工程的预算编制与成本控制案例研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(07):146-148.
[4] 龚成堂.造价咨询企业在住宅建设项目中的成本控制策略与效益分析[J].居舍,2024,(32):133-136.
[5] 陈乔森.现代住宅建设中的土建工程造价控制与管理[J].居舍,2024,(27):143-145+149.

重大工程项目造价审计风险识别与防控机制

高关赟

中国石油化工集团有限公司审计中心，北京 100728

DOI:10.61369/ETQM.2026060014

摘 要： 重大工程项目投资规模大、建设周期长、参与主体多，造价审计面临环节复杂、风险叠加等突出问题。为提升审计质量、防范审计风险、规范工程造价管理、保障国有资产安全，本文立足项目全生命周期，构建项目环节 + 审计流程 + 责任主体三位一体的风险识别维度，梳理立项设计、招投标、施工、竣工结算及审计实施中的关键风险点。从体制机制、技术方法、人员素质三个层面剖析风险成因。遵循全面性、风险导向、权责对等、动态性、科学性原则，建立全过程动态防控、智能化技术支撑相结合的多元审计风险防控机制。

关 键 词： 重大工程项目；造价审计；风险识别；风险成因

Risk Identification and Prevention and Control Mechanism for Cost Auditing of Major Engineering Projects

Gao Guanyun

Audit Center of China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing 100728

Abstract： Major engineering projects are characterized by large investment scales, long construction periods, and numerous participating entities, which pose significant challenges to cost auditing, including complex procedures and cumulative risks. To enhance audit quality, prevent audit risks, standardize engineering cost management, and safeguard the security of state-owned assets, this paper, based on the entire project lifecycle, constructs a trinity risk identification framework encompassing project stages, audit processes, and responsible entities. It identifies key risk points throughout project initiation and design, bidding, construction, completion settlement, and audit implementation. The paper analyzes the causes of these risks from three perspectives: institutional mechanisms, technical methods, and personnel competencies. Adhering to principles of comprehensiveness, risk orientation, equal rights and responsibilities, dynamism, and scientificity, it proposes a diversified audit risk prevention and control mechanism that combines full-process dynamic prevention and control with intelligent technological support.

Keywords： major engineering projects; cost auditing; risk identification; causes of risk

引言

随着我国重大工程项目建设规模持续扩大、建设模式不断创新，传统造价审计模式已难以适配新时代审计工作的高质量要求，审计过程中面临的风险因素日益复杂多样。从立项决策阶段的投资估算偏差，到设计阶段的方案疏漏，再到施工阶段的变更签证不规范、竣工结算阶段的虚报冒算，以及审计实施过程中的技术短板、人员能力不足等，各类风险相互交织、层层传导，不仅可能导致审计结论偏差、审计质量下降，还可能造成国有资产流失、项目建设滞后，甚至引发廉政风险与法律纠纷，严重影响重大工程项目的建设成效与审计工作的权威性。基于此，本文立足重大工程项目造价审计的实践痛点，构建全方位的风险识别体系，精准提炼关键风险点，深入剖析风险产生的体制机制、技术方法与人员素质层面的根源，进而构建全过程、多层次、智能化的风险防控机制，为提升重大工程项目造价审计质量、防范审计风险、保障国有资产安全、推动项目高质量建设提供理论支撑与实践指导。

一、重大工程项目造价审计风险识别与评估

（一）风险识别维度构建

大量实践和研究表明，强调事前和事中监督的跟踪审计是控制工程投资、防止工程建设领域腐败的有效手段^[1]。重大工程项

目造价审计风险识别需立足项目全生命周期，构建项目环节 + 审计流程 + 责任主体三位一体的识别维度^[2]。在项目环节方面，涵盖立项决策、设计、招投标、施工、竣工结算五大阶段，不同阶段管控重点与风险表现各异，决策阶段关乎投资估算合理性，设计阶段侧重方案优化与概算编制，招投标阶段涉及文件、评标与

合同条款,施工阶段针对变更、签证及材料价格,竣工阶段聚焦结算资料与计价依据;在审计流程方面,贯穿计划制定、实施、证据收集、报告出具四大核心环节,计划阶段存在针对性与资源配置风险,实施阶段面临方法与范围界定风险,取证阶段有证据质量风险,报告出具阶段则存在表述、结论及建议落地性风险;在责任主体方面,涉及建设、施工、设计、监理、审计等多方单位,建设单位需强化管控与审批,施工单位存在虚报冒算等风险,设计单位面临深度与变更问题,监理单位存在履职与审核漏洞,审计单位则需提升专业能力、规范程序并严守廉洁底线。

（二）关键风险点识别

结合识别维度,聚焦重大工程项目造价审计的核心环节,提炼各阶段、各主体的关键风险点,明确风险的具体表现形式,为后续风险评估和防控提供靶向^[3]。立项与设计阶段,投资估算缺乏科学依据、偏低,设计方案未多方案比选、深度不足且存在漏洞或不合理设计,概算编制不规范、工程量计算有偏差、定额套用错误^[4]。招投标与合同阶段,招标文件条款不严谨、有漏洞,评标过程不规范且存在围标、串标等违规行为,施工合同条款不完善,未明确工程变更、价款调整等核心内容或约定不合理;施工阶段,工程变更审批不规范、存在随意变更情况,现场签证审核不严且有虚假、重复签证现象,材料价格管控不到位、采购违规且价质不符,施工进度滞后导致费用增加^[5]。竣工结算与审计阶段,施工单位存在虚报工程量、高估冒算、篡改资料等问题,结算计价依据不当、定额与取费不符合规定,审计存在证据不足、专业判断失误、程序不规范等情况。责任主体方面,建设单位未履行管控责任且可能干预审计,施工单位拖欠工程款、存在转包分包行为,监理单位审核不严,审计人员专业不足、存在廉洁风险或违规出具审计意见。

二、重大工程项目造价审计风险成因分析

（一）体制机制层面

体制机制不完善是重大工程项目造价审计风险产生的根本原因,主要体现在审计管理体制、造价管控机制、协同监管机制三个方面^[6]。审计管理体制不健全,部分地区审计机关缺乏统一管理,审计权限划分模糊,存在重复审计、审计缺位问题;审计计划制定不科学,资源配置不合理,审计效率低下,高风险环节未重点关注,且审计结果运用不足,问题整改不到位、闭环缺失,同类风险反复出现^[7]。项目造价管控机制缺失,建设单位作为主体缺乏完善管控体系,未建立全过程造价管控机制,各阶段管控衔接不畅,存在重建设、轻管控现象,对投资估算、概算、预算审核不严导致造价失控;工程变更、现场签证审批不规范,监督制约不足,随意变更、虚假签证等问题推高造价。协同监管机制不完善,项目涉及多部门和责任主体,但各部门缺乏协同,存在信息壁垒,审计机关难以获取完整信息;行业监管力度不足,对相关单位违规行为处罚较轻,违法成本低,难以形成震慑,引发审计风险。

（二）技术方法层面

技术方法落后、审计手段单一,是引发重大工程项目造价审

计风险的关键技术因素,主要体现在审计方法、技术工具、计价依据三个方面^[8]。审计方法传统滞后,部分审计仍以全面审计、详细审计为主,缺乏创新性,难以适配项目规模大、环节多、数据量大的特点。抽样审计、风险导向审计等先进方法应用不广泛,且抽样样本选择不合理,导致审计结论偏差;对工程技术细节、隐蔽工程缺乏有效审计手段,易出现审计疏漏。审计技术工具应用不足,信息化技术融入不深入,BIM技术、大数据、人工智能等先进工具未充分运用^[9]。审计数据管理不规范、分散存储,无法实现共享与联动分析,难以快速识别造价异常;审计软件功能不完善,工程量计算、定额套用等环节自动化审核能力不足,既加重审计人员负担,也提升人为失误风险。计价依据不统一、不及时,项目涉及专业广泛,不同行业、地区的计价定额、取费标准差异较大,缺乏统一体系,导致计价争议频发;计价依据更新滞后,与市场价格、施工技术发展脱节,部分定额标准落后于实际施工水平,使审计人员难以准确计价审核,进一步增加审计风险。

（三）人员素质层面

审计人员的专业素质、责任意识和廉洁自律水平,是影响造价审计质量、引发审计风险的关键人为因素^[10]。专业能力不足是主要问题,重大工程项目造价审计需审计人员兼具审计、工程技术、造价管理及法律法规知识,但部分审计人员专业结构单一,或缺乏工程造价背景难以判断技术细节与造价合理性,或缺乏审计素养导致工作不规范;且部分人员缺乏持续学习能力,对新政策、新技术掌握不足,无法适应新形势需求。部分审计人员责任意识淡薄,工作敷衍,审计证据收集不严谨、不全面,对问题视而不见,且缺乏风险防控意识,未认识到审计风险的严重性,增加风险发生概率。此外,廉洁自律存在隐患,重大工程涉及巨额资金利益,部分审计人员经不住诱惑,与相关主体串通、违规出具意见或泄露秘密,丧失审计公正性与权威性,引发严重审计风险和责任纠纷。

三、重大工程项目造价审计风险防控机制构建

（一）总体思路与原则

总体围绕防范重大工程项目造价审计风险、提升审计质量,立足项目全生命周期与审计全流程,构建事前预防、事中控制、事后整改的全过程动态防控体系。依托健全体制机制、强化技术支撑、夯实人才保障、深化协同联动,推动风险识别精准化、风险评估科学化、风险防控常态化,规范高效开展审计工作,保障国有资产安全和项目高质量推进。工作坚持全面性、风险导向、权责对等、动态性和科学性五大原则,做到防控覆盖项目全周期、审计全流程、各类主体和关键节点。聚焦高风险环节优化资源配置、实施差异化防控,压实岗位和个人主体责任,健全谁主管、谁负责、谁审计、谁负责的责任体系,并根据项目建设和审计进展动态更新风险清单、调整防控措施,运用先进审计方法和技术工具完善防控机制,提升风险防控的规范化、科学化和实效性。

（二）构建全过程动态防控机制

立足重大工程项目全生命周期，将风险防控贯穿立项、设计、招投标、施工、竣工结算及审计各个环节，构建事前预防、事中控制、事后整改的闭环管理模式。坚持关口前移强化源头防控，聚焦立项和设计阶段，健全投资估算与概算审核机制，组织专家从严审核，防范造价偏差，推行多方案比对和设计优化，提升设计深度，减少设计缺陷和后续变更隐患，同步规范招标文件和施工合同审核，细化计价依据、工程变更、价款调整、索赔等关键条款，防范合同漏洞引发造价纠纷，并结合风险评估科学制定审计计划，优化资源配置，明确审计重点和流程。在施工和审计实施过程中做实动态管控，严格落实工程变更和现场签证审批制度，明晰审批权限和流程，对重大变更实行集体决策，杜绝随意变更和虚假签证，常态化开展现场核查，核实工程量、材料质量价格和施工进度，及时纠正违规行为，规范审计实施流程，运用风险导向审计等方法夯实证据管理，提升审计质量和效率。紧盯竣工结算和审计收尾抓好整改落地，从严开展竣工结算审核，严查虚报工程量、高估冒算等问题，对审计发现的问题实行清单化、台账化管理，明确责任、时限和标准，跟踪督办并开展复核验收，防止整改流于形式，同时强化审计结果运用，将审计情况与绩效考核、责任追究挂钩，形成监督震慑，从根本上防范同类风险反复发生。

（三）构建技术支撑防控机制

以技术创新为驱动，完善审计技术工具，提升造价审计的信息化、智能化水平，为风险防控提供技术保障，推进信息化审计建设需搭建重大工程项目造价审计信息化平台，整合项目建设、设计、施工、监理、审计等各环节的数据资源，实现数据共享和联动分析，充分利用 BIM 技术，构建工程三维模型，实现对隐蔽工程、工程变更、工程量计算等环节的可视化审计，提高审计的精准度，运用大数据技术，建立价格数据库、定额数据库、违规行为数据库等，通过数据对比、异常分析，快速识别造价异常和

风险点，提升风险识别的效率和准确性；完善审计技术方法体系要推广应用风险导向审计、抽样审计、穿透式审计等先进审计方法，结合项目特点优化审计流程，提高审计效率和质量，针对隐蔽工程、复杂技术环节，采用专业检测、第三方评估等方式，补充审计证据，降低审计风险，建立审计方法库，总结不同类型重大工程项目的审计经验，形成标准化的审计方法和流程，规范审计行为；规范计价依据管理需建立统一、动态的计价依据体系，结合市场价格和施工技术发展，及时更新定额标准、取费标准和价格信息，确保计价依据的科学性和适用性，加强对计价依据的宣传和培训，提高审计人员、建设单位、施工单位等相关主体对计价依据的掌握程度，减少计价争议，建立计价争议协调机制，及时解决审计过程中的计价分歧，降低审计风险。

四、结束语

重大工程项目造价审计是规范项目管理、保障国有资产安全、提升投资效益的关键环节，其风险防控水平直接决定审计工作质量与项目建设成效。本文围绕重大工程项目造价审计风险识别与防控机制展开系统研究，立足项目全生命周期与审计全流程，构建了项目环节 + 审计流程 + 责任主体三位一体的风险识别维度，精准梳理了各阶段、各主体的关键风险点，从体制机制、技术方法、人员素质三个层面深入剖析了风险产生的根源，并据此构建了涵盖事前预防、事中控制、事后整改的全过程动态防控机制与技术支撑防控机制，形成了识别—评估—成因—防控的完整研究逻辑，为解决当前造价审计实践中的风险管控痛点提供了系统性思路。随着审计信息化、智能化水平的不断提升，需进一步压实各方责任主体的审计风险防控责任，强化协同联动，推动风险防控机制落地见效，让造价审计真正发挥监督保障执行、促进完善发展的作用，为重大工程项目高质量建设保驾护航，助力国有资产实现保值增值，推动我国工程建设领域健康有序发展。

参考文献

[1]周蕾. 建设项目工程造价全过程跟踪审计研究[D]. 湖北: 武汉理工大学, 2016.
[2]王崑. 政府投资重大项目工程造价审计的内容与重点[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2016, 6(8): 1030-1030. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2104.2016.08.704.
[3]刘孝松. 浅谈政府投资重大项目工程造价审计的内容与重点[J]. 招标与投标, 2015(4): 43-45.
[4]刘志宇. 使用风险量化分析法选择工程项目造价审计样本的探讨[J]. 财会学习, 2017(4): 124-125. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4734.2017.04.089.
[5]张海健. 如何做好工程项目造价审计工作[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2016(10): 3137-3137. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2104.2016.10.137.
[6]乔北跃, 毕春艳. 浅议重大建设工程项目造价跟踪审计[J]. 环球市场信息导报, 2011(6): 164-165.
[7]徐超. 建设工程项目工程造价跟踪审计运行模式研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(9): 1049-1049.
[8]刘孝松. 谈政府投资重大项目工程造价审计的内容与重点[J]. 企业家天地(中旬刊), 2013(3): 69-70.
[9]曾方方. 重大项目工程造价审计内容及重点分析[J]. 数码-移动生活, 2023(2): 409-411. DOI: 10.12277/j.issn.1673-0909.2023.2.137.
[10]徐恺. 重大项目工程造价审计内容及重点分析[J]. 中国战略新兴产业, 2020(20): 68.

论述新型绿色建筑工程造价预算与成本控制

王星

中国华西工程设计建设有限公司佛山分公司，广东 佛山 528200

DOI:10.61369/ETQM.2026060018

摘 要： 新型绿色建筑作为可持续发展理念在建筑领域的核心实践，其工程造价预算与成本控制面临传统建筑未有的挑战与机遇。文章以大沥东秀商住地块项目一期工程为研究载体，结合项目绿色施工、生态配套等建设特点，系统分析新型绿色建筑工程造价的环保导向性、技术集成性、全周期关联性等特征。提出针对性成本控制措施，为同类绿色建筑项目实现造价合理管控与绿色效益最大化提供实践参考。

关 键 词： 新型绿色；建筑工程造价；预算与成本控制

Discussion on Cost Estimation and Control of New Green Building Projects

Wang Xing

Foshan Branch, China Huaxi Engineering Design and Construction Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528200

Abstract： As a core practice of sustainable development concepts in the field of architecture, new green buildings present both challenges and opportunities for cost estimation and control that are not encountered in traditional construction. Taking the first phase of the Dali Dongxiu Commercial and Residential Land Project as a research case, this article systematically analyzes the characteristics of cost estimation in new green building projects, such as environmental orientation, technological integration, and full-cycle relevance, in conjunction with the project's green construction and ecological amenities. It proposes targeted cost control measures, providing practical references for similar green building projects to achieve reasonable cost management and maximize green benefits.

Keywords： new green buildings; construction project cost; cost estimation and control

引言

随着“双碳”目标的深入推进，新型绿色建筑成为建筑行业转型升级的必然趋势。工程造价预算与成本控制作为项目全生命周期管理的关键环节，直接影响绿色建筑的推广落地与可持续运营。大沥东秀商住地块项目一期工程作为大型商住绿色建筑项目，规划建设公园绿地、节能建筑及生态配套设施，其造价构成涵盖绿色施工措施费、环保材料采购费、生态工程建设费等特殊内容，与传统建筑造价管理存在显著差异。

一、工程概况

大沥东秀商住地块项目一期工程位于佛山市南海区大沥镇黄岐东秀社区，规划占地面积124846.59m²，总建筑面积569138.97m²，概算总投资481624.99万元。项目践行绿色建筑理念，规划绿地面积27231.71m²，绿地率达25.11%，配建开放公园绿地、河涌整治及生态防护设施，同步建设节能住宅、绿色办公及配套公共建筑。工程建设涵盖A、C、D三大功能区，包含30-33层住宅、商业楼、办公楼、酒店及教学综合楼等多元业态，配套2层地下室及完善的市政道路、生态景观工程。项目在施工过程中采用绿色施工技术，落实19%的建筑工程绿色施工安全防护措施费，严格遵循环保标准与节能规范，是典型的新型绿色建筑综合体项目，其造价预算与成本控制需兼顾绿色性能与经济合理性。

二、新型绿色建筑工程造价特点

（一）环保导向的造价构成特殊性

新型绿色建筑工程造价以环保性能达标为核心前提，在传统建筑造价构成基础上，新增多项绿色相关费用，形成独特的造价结构体系。大沥东秀商住地块项目中，绿色施工安全防护措施费按分部分项人工费与施工机具费之和的19%计取，仅A区地下室工程就产生绿色施工安全防护措施费7521342.94元。这类环保相关费用具有强制性与必要性，且受生态标准、环保技术要求影响较大，使得绿色建筑工程造价在基础构成上与传统建筑形成显著差异，需在预算编制中单独核算并精准把控^[1]。

（二）技术集成的成本溢价特性

新型绿色建筑依赖多项节能、环保、生态技术的集成应用，

技术创新性与复杂性直接导致成本溢价。大沥东秀商住地块项目采用新型防水材料、节能门窗、绿色建材等环保产品，仅地下室防水工程就投入23698464.14元，运用1.5mm厚双面防皱自粘聚合物改性沥青防水卷材等多种绿色建材，材料单价较传统建材高出15%~30%。同时，项目在基坑支护、溶洞处理等工程中采用绿色施工工艺，溶洞处理工程费用达53079692.50元，通过高压注浆、生态护岸等技术实现施工与环保的协同。技术集成带来的成本溢价不仅体现在材料与工艺层面，还包括绿色技术研发、检测认证等隐性费用，如项目环境影响评测费、水土保持服务费等专项费用合计超100万元，这类费用需在预算中充分考量技术成熟度与成本回报率。

（三）全周期的造价关联性

新型绿色建筑工程造价贯穿项目规划、设计、施工、运营全生命周期，各阶段造价相互关联、动态影响，呈现显著的全周期管控特征。大沥东秀商住地块项目在设计阶段就明确绿色建筑标准，规划纵路、横一路等市政配套工程与主体建筑同步建设，市政道路工程费用达4670.63万元，其造价与后续运营阶段的维护成本直接挂钩。施工阶段采用的预制构件、节能设备等，虽增加初期投入，但能降低长期运营能耗，项目高可靠性供电费、节能评价费用等前期投入，通过后期节能效益实现成本回收^[2]。

三、新型绿色建筑工程造价预算与成本控制的难题

（一）预算编制依据的适配性不足

当前绿色建筑行业缺乏统一完善的计价标准，现有预算编制依据难以完全适配新型绿色建筑的技术特性与环保要求。大沥东秀商住地块项目执行《建设工程工程量清单计价规范》（GB50500-2013）、《广东省建设工程概算编制办法》等现行规范，但针对绿色建材价差、生态工程计价、新型施工工艺取费等缺乏明确标准。例如，项目采用的HDPE复合排水板、聚合物水泥防水涂料等新型环保材料，在《佛山市建设工程造价信息》中缺乏明确参照价，需通过市场调查确定价格，导致材料费用预算偏差达8%~12%。同时，绿色施工措施费、生态修复工程等费用的计算规则不统一，不同计价依据对环保工程的费率规定存在差异，如园林绿化工程绿色施工安全防护措施费费率为10%，与建筑工程19%的费率标准差异较大，增加了预算编制的难度与精准度控制压力^[3]。

（二）绿色技术成本的管控难度大

新型绿色建筑技术的创新性与不确定性，导致其成本管控面临多重挑战。大沥东秀商住地块项目应用的旋挖灌注桩施工技术、高压注浆地基处理技术等绿色施工工艺，由于施工流程复杂、技术要求高，实际施工成本较预算超出6.3%。部分新型环保材料如304不锈钢生活水箱、抗菌防水卷材等，市场供应量有限，价格波动频繁，仅不锈钢生活水箱采购费用就较预算增加12.7%。此外，绿色技术的效果验证与检测费用较高，项目白蚁防治费、防雷人防检测费等专项检测费用合计达169.82万元，且检测标准不断提升，进一步增加了成本管控的不确定性。技术更新

迭代速度快也导致部分已投入的绿色技术快速贬值，给成本回收带来压力。

（三）全周期动态管控机制不健全

新型绿色建筑全生命周期各阶段造价关联性强，但现有管控机制缺乏有效的动态协同与跟踪调整。大沥东秀商住地块项目前期规划阶段的绿地率指标调整，导致后期绿化工程费用增加386万元，但由于缺乏动态调整机制，该部分费用未及时纳入中期预算修正。施工阶段，原材料价格波动、环保政策变化等因素频繁影响造价，如水泥、钢材等主要建材价格上涨导致桩基工程成本增加8.5%，而预算调整滞后未能及时响应。运营阶段的节能维护、生态设施养护等费用与前期建设成本缺乏有效衔接，项目后期公园绿地养护、节能设备维护等费用未在前期预算中预留专项资金，导致后期运营压力增大，全周期成本管控失衡^[4]。

（四）多方主体的利益协同不足

新型绿色建筑涉及建设单位、设计单位、施工单位、监理单位等多方主体，各主体利益诉求差异导致成本管控协同难度大。大沥东秀商住地块项目设计阶段，设计单位过度追求绿色建筑评级指标，选用高成本环保材料，导致设计概算较初步估算超出15%；施工单位为确保绿色施工达标，额外投入环保设备与人工，却未及时办理现场签证，导致320万元绿色施工增量费用难以顺利结算。监理单位对绿色技术应用的成本控制缺乏专业判断，未能有效制止不必要的技术堆砌现象。各方主体在成本管控中的责任划分不清晰，缺乏统一的利益协调机制，导致预算执行偏差较大，成本控制效率低下。

（五）政策标准的动态调整影响

绿色建筑相关政策、标准的不断更新完善，给工程造价预算与成本控制带来持续影响。大沥东秀商住地块项目执行的《广东省建设工程概算编制办法》《佛山市建筑施工安全生产责任保险计价指引》等政策文件，在项目建设期间发生局部调整，导致安全防护措施费、工程保险费等计算标准变更，直接影响造价预算的准确性。此外，绿色建筑评级标准、环保排放标准的提高，要求项目追加环保改造费用，如项目为满足最新VOC排放标准，额外投入180万元更新涂料施工工艺。

四、新型绿色建筑工程造价预算与成本控制措施

（一）优化预算编制依据与方法

建立适配新型绿色建筑特点的预算编制体系，确保计价依据的科学性与针对性。参考大沥东秀商住地块项目的实践经验，应整合现行规范与绿色建筑专项标准，编制绿色建筑计价补充规定，明确环保材料、生态工程、绿色施工措施等的计价规则。对于缺乏指导价的新型绿色建材，采用“市场调查+成本分析”双重定价模式，结合项目批量采购优势锁定材料价格，如项目对不锈钢管、环保涂料等材料采用集中采购方式，降低价格波动风险。引入BIM技术构建三维造价模型，对公园绿地、河涌整治等复杂生态工程进行精准算量，大沥东秀项目通过BIM技术应用，使地下室工程算量偏差控制在3%以内。

（二）强化绿色技术的成本管控

建立绿色技术选型与成本控制联动机制，实现技术先进性与经济合理性的平衡。在技术选型阶段，采用生命周期成本分析方法，优先选择成熟度高、成本回收周期短的绿色技术，大沥东秀项目通过对比分析，选用旋挖灌注桩替代传统钻孔灌注桩，节约成本1200万元。加强绿色技术应用的过程管控，对高压注浆、生态护岸等关键工艺实施专项成本核算，建立技术变更审批制度，未经成本审核的技术变更不得擅自实施。推行绿色建材集中采购与战略合作模式，与环保材料供应商签订长期供货协议，锁定价格与质量标准，项目通过该模式使环保建材采购成本降低7%~10%。同时，加大自主创新力度，鼓励施工单位优化绿色施工方案，如项目优化基坑支护工艺，减少水泥用量3000吨，节约成本450万元^[5]。

（三）构建全周期动态管控体系

建立覆盖规划、设计、施工、运营全阶段的动态造价管控机制，实现各阶段成本的有效衔接与动态调整。在规划设计阶段，引入价值工程理念，对绿色建筑指标与成本投入进行优化匹配，大沥东秀项目通过优化绿地布局，在保证绿地率达标的前提下，节约绿化工程成本280万元。施工阶段，建立造价动态跟踪台账，每周收集原材料价格、施工进度、技术变更等信息，每月进行造价偏差分析与调整，项目通过动态跟踪及时发现并纠正桩基工程成本偏差，避免超支扩大。设置专项预备费应对政策变化与技术风险，按绿色建筑工程总费用的3%~5%计提专项风险资金，在大沥东秀项目计提的5577.12万元预备费中，30%专项用于绿色技术应用风险应对。

（四）完善多方协同管控机制

建立以建设单位为主导、多方参与的协同管控体系，明确各方在成本控制中的责任与义务。在项目前期，组织设计、施工、监理单位共同参与绿色建筑方案论证，从成本角度对设计方案进行优化，大沥东秀项目通过多方论证，将部分高端环保材料替换为性价比更高的替代产品，节约成本850万元。签订多方协同成

本管控协议，明确绿色施工措施费、环保工程费用等的结算标准与责任划分，避免后期纠纷。建立信息共享平台，实时同步设计变更、现场签证、材料价格等信息，确保各方及时掌握造价动态，项目通过信息共享使现场签证办理效率提高40%，有效避免费用漏算。引入第三方造价咨询机构全程参与管控，对绿色建筑专项费用进行独立审核，确保预算执行的合规性与合理性。

（五）适配政策标准动态调整

建立政策标准跟踪与应对机制，主动适应绿色建筑相关政策的调整变化。安排专人跟踪国家、地方绿色建筑政策、计价标准、环保要求的最新动态，及时解读政策对工程造价的影响，大沥东秀项目通过提前预判增值税税率调整，在预算中预留税率变动准备金，避免税率调整导致的资金缺口。加强与主管部门的沟通协调，争取绿色建筑专项补贴与税收优惠，项目凭借绿色建筑设计标准，申请到城市基础设施配套费减免1200万元。在预算编制中采用弹性费率与可调价格机制，对受政策影响较大的费用项目，设定上下浮动区间，如将环保工程费用的预算浮动区间设定为±10%，增强预算的适应性。同时，加强政策研究与预判，结合行业发展趋势提前规划绿色技术与成本投入，提高成本控制的主动性。

五、结束语

新型绿色建筑工程造价预算与成本控制是兼顾绿色性能与经济效益的系统工程，具有构成特殊、技术关联紧密、全周期动态变化等显著特征。大沥东秀商住地块项目的实践表明，只有将绿色理念贯穿造价管理全过程，精准把控环保相关费用、技术集成成本与政策动态影响，才能实现新型绿色建筑工程造价的合理控制与绿色效益的最大化。未来，需进一步加强理论研究与实践创新，推动新型绿色建筑工程造价预算与成本控制向更科学、高效、可持续的方向发展。

参考文献

- [1] 楚晶莹. 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制研究[J]. 砖瓦, 2025(3): 99-101.
- [2] 刘改萍. 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制策略分析[J]. 建材发展导向, 2025, 23(7): 82-84.
- [3] 马德慧. 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制问题探究[J]. 陶瓷, 2023(2): 167-169.
- [4] 杨继尧. 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制分析[J]. 砖瓦世界, 2023(18): 106-108.
- [5] 杨伟麟. 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制要点[J]. 建材与装饰, 2021, 17(14): 176-177.

基于造价管理的材料调差条款不明风险化解 与实务处理研究

肖康楠

建银工程咨询有限责任公司上海分公司, 上海 201103

DOI:10.61369/ETQM.2026060027

摘 要 : 市场经济发展背景下, 建筑工程造价管控受多方因素影响, 材料价格波动是影响造价管控效果的关键因素。材料价格大幅变动, 不仅会直接增加项目建设成本、突破原有造价预算, 还会造成工期延误、加大工程质量管理难度, 加之现阶段部分施工合同材料调差条款约定模糊、权责划分不清晰, 进一步激化了造价纠纷与成本管控矛盾。本文立足于工程造价管控实务, 分析材料价格波动对工程造价的各项影响, 针对现有管控短板, 提出搭建建材价格信息监测体系、优化多元化采购模式、细化合同材料调差条款、提升全过程项目管理质效等应对对策, 并结合实证分析验证对策的实用性与可行性, 为建筑工程造价精准管控、化解材料调差纠纷提供理论依据与实践指引。

关 键 词 : 材料价格波动; 影响分析; 成本管控; 风险影响

Research on the Resolution of Unclear Risks and Practical Handling of Material Price Adjustment Clauses Based on Cost Management

Xiao Kangnan

Shanghai Branch of CCB Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai 201103

Abstract : In the context of market economy development, construction project cost control is influenced by multiple factors, with material price fluctuations being a key factor affecting the effectiveness of cost control. Significant changes in material prices not only directly increase project construction costs and exceed original cost estimates but also cause delays in project timelines and increase the difficulty of quality control. Furthermore, the current ambiguity in material price adjustment clauses in some construction contracts and unclear delineation of responsibilities further exacerbate cost disputes and conflicts in cost control. Based on practical construction cost control, this paper analyzes the various impacts of material price fluctuations on construction costs. Addressing existing shortcomings in cost control, it proposes countermeasures such as establishing a monitoring system for building material price information, optimizing diversified procurement models, refining material price adjustment clauses in contracts, and enhancing the quality and efficiency of project management throughout the entire process. Empirical analysis is used to verify the practicality and feasibility of these countermeasures, providing theoretical foundations and practical guidance for precise construction cost control and resolving disputes related to material price adjustments.

Keywords : material price fluctuations; impact analysis; cost control; risk impact

引言

建筑工程造价是工程项目管理的重要环节, 直接关系到项目的经济效益和社会效益。近年来, 建筑材料价格受国内外经济环境、政策法规及市场供需关系的影响, 波动性增大, 增加了工程造价的不确定性, 给项目实施带来挑战^[1]。因此, 分析材料价格波动的影响并提出对策, 对提高项目效益和确保顺利实施具有重要意义。

一、材料价格波动对建筑工程造价的影响

在建筑工程领域, 材料费用通常可达项目总造价的60%~70%, 是建筑工程造价管理中的核心变量之一。

(一) 成本变动

材料价格波动与工程总体成本呈正相关线性关系。常用主体材料如钢材、混凝土成本占项目总造价的30%~50%, 价格变动敏感性高。如混凝土、钢材价格每上涨10%, 高层建筑总造价可能

增加3%~5%。主材价格暴涨时,可能采用替代材料,引发设计变更、施工工艺调整等额外成本^[2]。价格波动还会改变市场供需关系,导致运输费用上涨、仓储需求激增,增加资金占用成本。

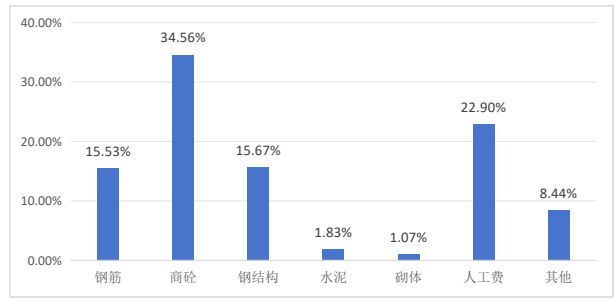


图1 松江工业区松开V-40号地块(中电信息港)二期项目建筑施工工程主要成本占比分析

(二) 工期延误

材料价格剧烈波动会导致材料供应不稳定影响施工进度。当价格上涨时,供应商便会减少供应量或者提高价格,而施工单位难以及时获得材料影响施工进度^[3]。另外一种常见情况就是施工单位推迟采购等待价格下降,这更会引发工期延误。对于建设单位而言,工期延误会增加工程项目总成本,如人工费、管理费等。施工单位则可能延迟项目交付时间和降低客户满意度,在如今竞争激烈的市场环境下会面临合同违约和信誉损失的风险。

(三) 质量控制风险

材料价格上涨时,施工单位通常会采用质量差的材料来降低成本,如抗压性能不足、防水性差的材料,使用有瑕疵或回收的低质量材料。这不仅违反工程质量和安全标准,还严重影响工程项目的性能和耐久性,同时也会增加后期工程维修和整改的成本,对项目的全生命周期造价管理造成负面影响。

二、案例分析

(一) 项目概况

本项目为松江工业区松开V-40号地块(中电信息港)二期项目建筑工程施工,本项目建设地点位于上海市松江区。总建筑面积84754.94m²,其中地下建筑面积10793m²,地上建筑面积73961.94m²。地上三栋单体,结构类型为装配整体式框架结构。合同总价为197,319,306元,送审结算造价为196,387,562.39元,审定结算造价为194,972,222.56元。

(二) 项目技术难点及解决措施

1. 可调整材料工程量的计量基准条款缺失所带来的价格调整风险

在本项目施工合同纠纷中,双方约定了可参与调整价差的材料种类与价格调整公式,但合同条款对于工程量计算基数约定不明。由此引发了“清单工程量”和“实际消耗量”哪个作为调差基数的争议。

该争议特殊性在于投标报价阶段施工单位主动优化降低部分主材的消耗量,致使投标文件中的材料消耗量低于对应的清单工程量,出现了“清单子目工程量大于投标消耗量”的异常情况。

具体表现为:混凝土清单工程量为1000立方米,而投标报价明细中具体消耗量仅为800立方米。结算时材料价格上涨且触发了调价条件,施工单位主张“实际消耗量不应小于按图计算的清单工作量”,并提出应按照清单工程量(1000立方米)而非投标所报的消耗量(800立方米)进行价差调整。

针对这一争议,搭建起建设单位同类项目数据、经验项目造价指标、本项目现场实测数据的三方数据交叉验证体系,系统开展数据对比与偏差校准工作。经对比,类似项目的钢筋消耗量(钢筋量/建筑面积)35~45kg/m²,混凝土消耗量(砼量/建筑面积)0.2~0.35m³/m²。本项目平均钢筋消耗量(钢筋量/建筑面积)为38.53kg/m²,混凝土消耗量(砼量/建筑面积)0.24m³/m²。施工单位投标报价中平均钢筋消耗量(钢筋量/建筑面积)为32.41kg/m²,混凝土消耗量(砼量/建筑面积)0.19m³/m²。

施工单位虽投标消耗量略低于平均水平,但仍然在合理范围内。在投标阶段,投标单位综合多方面因素进行精准测算后确定具体的消耗量,所以施工单位的结算诉求实质上构成了对其自身投标策略的事后否定,试图将投标阶段优化损耗所获得的利润优势在结算时转化为获取额外价差补偿的依据。这从根本上违背招投标活动中要约与承诺原则及诚信原则。

除此之外,结合地方行政主管部门发布的指导性文件沪建市管〔2008〕12号文和沪建市管(2021)36号文,其核心精神均在于调整因市场价格波动导致的生产要素成本的变化,“要素价格”其内在逻辑指向的是施工实体过程中实际投入并消耗掉的材料数量。因此,将“消耗量”理解为价差调整的基准,更符合政府指导意见旨在平抑实际成本风险的政策初衷。

作为第三方咨询单位认为施工单位的投标消耗量是具有合理性的。尽管施工合同未明确计量基础,但根据《建设工程工程量清单计价规范》(GB50500)所确立的“量价分离”原则,工程量风险由发包人承担,而单价风险(包含损耗率的确定)则由投标人在竞争中自主承担^[4]。投标报价中的消耗量是施工单位综合其施工工艺、管理水平和技术效率后作出的自主决策,属于其核心竞争力的体现。若允许施工单位在价格下跌时按较低的消耗量获益,而在价格上涨时要求按较高的清单量补偿,则将构成显失公平的单向风险转嫁。

2. 未明确基准价日期带来的结算争议

在合同条款中建设单位另外一个疏漏便是未明确材料调差的基准价,仅在招标文件中表述“基准价以招标文件要求为准”,后续并未给出具体规定。基准价作为材料调差的核心依据,该项约定的缺失又成为结算阶段建设单位与施工单位另一主要争议点。施工单位倾向于选择对自身有利的基准价,即其投标报价(项目施工期间部分材料价格上涨,而施工单位投标单价大部分低于总站信息价),这便是此项结算争议的主要原因。

在基准价约定不明确的情况下,工程材料调差基准价的确定通常有以下几种方式:其一,招标项目可采用投标截止日、非招标项目可采用合同签订日对应的信息价。其二,以投标人商务标中所报材料价格为准。其三,招标项目可采用投标截止日前28天、非招标项目可采用合同签订日前28天对应的信息价作为基

准。建议将投标截止日前28天作为材料调差基准价，主要基于以下考量：

在合同签订前便可确定，能够有效避免以“合同签订日”等存在不确定性或可能被操控的日期作为基准所引发的争议。该时间节点の設定清晰界定了业主与承包商的风险分担界限。基准日之前的价格风险由承包商承担（已包含于投标报价中），基准日之后的价格波动风险按合同约定由双方共同承担。这有助于缓解因材料价格突发性大幅上涨而导致施工单位可能严重亏损甚至破产的情况，从而避免项目停工或烂尾风险。2008年及2021年钢材价格剧烈波动，在价格下跌时业主也可合理受益。如果选择其他时间点作为基期价格，施工单位需预测自投标至中标再到实际施工（可能间隔数月）期间的价格走势，这对其报价构成较大压力。因此基于投标时（前28天）相对明确的市场信息进行比较，更符合合同双方权利义务对等的原则。

同时搭建动态价格监测比对模型，调取同期上海造价总站多频次信息价，结合项目施工进度计划中各主材的进场施工周期、实际用量占比（钢筋占比 15.53%、商砼占比 34.56%、钢结构占比 15.67%），分别核算出三种基准日下材料调差的理论造价总额，形成多维度数据对比分析结果，量化分析不同时间节点对造价的影响。经测算，若以合同签订日为基准日，施工期间主材均价较商砼上涨5.55%，钢筋上涨24.11%，钢结构上涨26.29%，调差金额便增加约 859.47 万元。投标截止日前 28 天施工期间主材均价商砼上涨3.03%，钢筋上涨34.21%，钢结构上涨19.5%，调差总额增加约827.28万元，由此可见该时间节点不易受市场临时波动干扰，既未因时间节点滞后让建设单位承担非合理价格波动成本，也未因节点过近让施工单位承受投标阶段的短期价格波动压力。

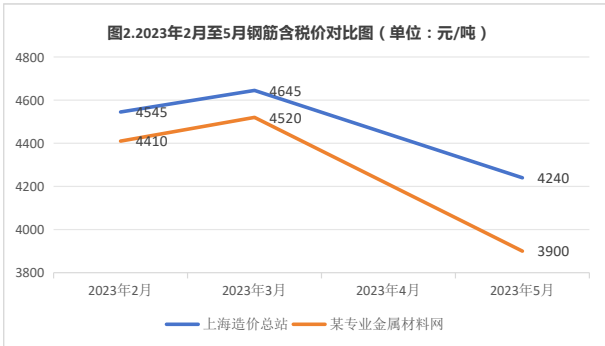
3. 特殊时期基准价的选择

本合同约定材料价格调整的基准为上海市建筑建材业市场管理总站（以下简称“上海造价总站”）发布的官方信息价。然而项目建设期正值严格的疫情封控阶段，建筑材料市场有剧烈波动，这对合同约定的价格调整机制构成了挑战。

结算阶段，施工方主张疫情属于不可抗力且其引发的市场价格波动无法预见。因此应严格依据合同条款，将封控期间（即使项目停工）的上海造价总站信息价纳入材料价差调整范围。而建设方则抗辩称：封控期间本地建筑活动基本停滞，此阶段的信息价未能真实反映项目实际面临的的市场条件，故不应作为调查依据。双方立场对立难以达成共识。

此争议的深层次原因在于封控期间特殊的市场环境导致官方信息价与真实市场情况出现显著背离。实际情况是建筑工地停工、物流严重受阻、实际市场交易停滞。而上游如钢厂、水泥厂等生产环节仍在持续进行，同期国际大宗商品（如铁矿石、能源）价格高企，从成本端对产品价格形成支撑导致价格呈现“有价无市”的高位僵持状态。在此背景下，以上海造价总站发布的钢筋信息价为例。其变化显得相对迟缓（甚至一度暂停更新），未能充分捕捉市场的急速变化。钢筋含税价格从2023年2月的4545元/吨升至3月的4645元/吨后，至5月骤降至4240元/吨。

为寻求更贴近市场真实成交水平的基准，提出可参考反应更为灵敏的专业市场指标并结合供应商实际采购价格进行对比分析。例如：针对钢材价格，某专业金属材料网发布的价格数据呈现出不同价格波动：同期钢筋含税价从2023年2月的4410元/吨升至3月的4520元/吨，随后在5月大幅下跌至3900元/吨。对比可见，专业市场平台发布的价格波动更为剧烈，与封控期间需求锐减、成本支撑减弱后价格理应大幅回调的经济逻辑更为吻合，更能反映特定时期内的市场实际成交状况^[5]。



在此类特殊市场环境下专业平台数据更具优势。专业平台数据的实时性更强。传统官方信息受制于编制流程和发布周期的局限，往往难以及时反映市场最新动态。相较之下，专业平台可以借助自身先进技术和广泛触角实时收集更新价格数据。比如，专业金属材料网可迅速捕捉市场供需微小变化对价格的即时影响，它能细化至每日甚至每小时更新。而上海造价总站信息价按月更新，且基本更新时间大都在每月中旬数据滞后无法反映市场价格的快速波动。

专业平台数据会结合市场导向直接面向市场参与者，采集源于实际交易的数据更能反映真实需求供给。在疫情封控期间，它更能根据实际的需求变化和供应商价格策略提供更加真实参考信息。如专业金属材料网在疫情期间发布的钢筋价格波动更剧烈，与实际需求的锐减、成本支撑减弱后的价格回调逻辑相吻合，更能反映疫情特殊时期的实际成交状况。

以上比较凸显了在极端市场条件下，依赖单一官方信息价可能存在局限性，并为探讨选择更合理的价格调整基价提供了实证依据。

（三）个人技术心得

工程结算风险的第一道防线是合同结算条款的完备性。本项目因合同条款约定不明，引发材料调差工程量计量基准、基准价日期、极端情形下基准价来源适用性三大核心争议，在材料价格剧烈波动时直接演变为利益冲突。在计量基准争议中我认识到，合同不仅要约定调价，更要精准定义调价基础，使其清晰唯一且与风险分配挂钩。施工单位投标优化的消耗量属其管理收益与单价风险范畴，结算推翻承诺将破坏招投标公平与合同严肃性。疫情特殊期间信息价与市场价严重背离，机械执行条款易显失公平。作为专业顾问应引入市场平台数据，为争议提供实证依据，践行造价公平客观原则，以专业能力寻求贴近经济实质的解决方案。本项目考验了风险预见与全过程成本管控能力。成本管理人

员需具备前瞻性风险防控意识，在项目初期明确风险分担界限，构建稳健的价格调整机制。

三、结语

综上，建筑材料价格波动贯穿工程项目全周期，施工合同材料调差条款约定模糊、权责划分不清，是引发造价结算纠纷的主要原因，也是当前工程造价实务中较为常见的问题。结合本次案例研究可知，工程造价管控不只是单纯的算量组价，更要做好前

期合同条款细化、中期市场价格跟踪、后期争议合规处理。作为造价从业人员，既要严格遵循工程量清单计价规范、恪守合同诚信原则，精准把控材料调差各项细节，也要具备前置风险防控意识，补齐合同条款短板，合理划分甲乙双方价格风险。往后在工程造价管理工作中，只有筑牢合同管理基础、优化材料价格动态管控手段、落实全过程造价闭环管理，才能从源头减少材料调差纠纷，实现项目成本精准管控，保障项目效益，也为业内同类造价争议处理、合同条款完善提供务实的参考思路。

参考文献

[1] 黄建华, 金滨, 贾绍明. 材料价格上涨对公路造价影响的预测和对策 [J]. 中南公路工程, 2005, (03): 141-142
[2] 雷英夏. 公路工程材料价格波动的影响及处置对策研究 [J]. 山西交通科技, 2008, (03): 79-81
[3] 陈伏冰. 主要材料价格波动对工程造价的影响及应对措施 [J]. 公路, 2010, (06): 259-262
[4] 陈文会. 价格指数法在工程合同造价调整中的应用 [J]. 山西水利科技, 2006, (01): 80-82
[5] 王志明. 材料价格变动对公路养护工程造价的影响及其分析与预测 [J]. 中外建筑, 2007, (06): 67-68

装配式建筑施工总承包造价管控难点与优化研究

徐有发

上海泾东建筑发展有限公司, 上海 200235

DOI:10.61369/ETQM.2026060031

摘 要： 装配式建筑属于建筑工业化的主要形式，施工总承包造价控制的好坏会直接影响到项目的经济效益和社会效益。本文以上海浦东高行项目为依托，从施工总承包造价构成入手，从构件生产及供应链管控、设计施工协同、分包与合同管理三个方面对装配式项目造价失控原因进行分析。经过研究发现，全流程管控脱节、设计深化不够、合同及分包管理不到位，这三点成了造成造价超支、隐形成本增多的主要原因。在此基础上，根据工程实践提出预制构件全流程闭环管控体系、设计施工协同机制、分包和合同精细化管理体系等优化措施，给装配式建筑施工总承包造价控制提供实践借鉴，促进行业降本增效、高质量发展。

关 键 词： 装配式建筑；施工总承包；造价管控；优化策略

Research on Difficulties and Optimization of Cost Control in General Contracting of Prefabricated Building Construction

Xu Youfa

Shanghai Jingdong Construction Development Co., Ltd., Shanghai 200235

Abstract： Prefabricated buildings represent a primary form of architectural industrialization, and the effectiveness of cost control in general contracting for construction directly impacts the economic and social benefits of a project. This paper, based on the Gaohang Project in Pudong, Shanghai, analyzes the reasons for cost overruns in prefabricated projects from three aspects: component production and supply chain management, design-construction collaboration, and subcontracting and contract management, starting with the composition of general contracting costs for construction. The research reveals that disjointed full-process control, inadequate design deepening, and insufficient contract and subcontract management are the primary causes of cost overruns and increased hidden costs. Based on this, optimization measures such as a full-process closed-loop control system for prefabricated components, a design-construction collaboration mechanism, and a refined management system for subcontracting and contracts are proposed based on engineering practice. These measures provide practical references for cost control in general contracting for prefabricated building construction, promoting cost reduction, efficiency enhancement, and high-quality development in the industry.

Keywords： prefabricated buildings; general contracting for construction; cost control; optimization strategies

引言

随着建筑行业向绿色化、工业化发展，装配式建筑由于节能环保、施工速度快等优势被广泛使用。因此本文以上海浦东高行项目为研究对象，从施工总承包造价构成入手，结合工程实际数据和实施过程，对装配式建筑造价管控中的关键难点进行系统的分析，并从全过程闭环管控、设计施工协同、分包与合同精细化管理三个方面提出相应的优化措施，为装配式建筑施工总承包模式下造价管理提供可以借鉴的实践经验及方法参考。

一、装配式建筑总承包造价构成

装配式建筑施工总承包造价是指总承包单位完成项目全生命周期建设所花费的全部费用总和，该体系是以构件生产、现场装配为主，与传统的现浇建筑有较大区别。造价包括构件生产费用，构件生产费用中包含钢筋、混凝土等主材的采购费用，主材价格变动直接造成基础造价变化，还包含模具摊销、生产线运行等加工费用，

构件检测、仓储运输及运输防护、中转存储等其他支出。造价包括现场施工安装费，起重机等大型机械租赁费和操作费占比较高，吊装工、装配工等专业人工费、辅材费、现场临时设施及安全防护费也较多。造价为设计及管理费用、构件拆分与节点优化深化设计费、进度、质量管控管理费、按规定计算的规费及税金、为保障项目应急而缴纳的工程保险费及不可预见费。各个部分的费用互相联系、相互影响，一起决定项目的总造价。

二、项目概况

上海浦东高行项目包括 E01-06 地块施工总承包工程和幼儿园工程，位于浦东新区高行镇，四至范围为东至莱阳路、西至韶光路、南至启帆路、北至洲海路。项目总建筑面积约 21.3 万方，E01-06 地块总建面约 20.5 万方（地下约 6 万方），幼儿园总建面 8078.73 m²（地下 2518.62 m²），用地性质为住宅和配套教育用地，容积率 1.6。工程由上海招玖置业有限公司开发，上海泾东建筑发展有限公司总承包，包含土方、主体结构、砌体、防水、装饰等土建工程，给排水、电气、消防预埋等安装工程。项目采取分部分项工程固定综合单价包干形式，质量目标为一次性验收合格，北侧标段要取得浦东新区文明工地称号，南侧标段要取得上海市文明工地称号。

三、装配式建筑施工总承包造价管控难点分析

（一）预制构件全流程管控脱节引发造价失控

预制构件生产、运输、安装全链条管控缺乏，是造价管控的主要难题。构件生产阶段，生产厂家和施工总承包单位缺少有效的协同，构件的规格、生产工艺不能按照施工需求进行调整，造成构件生产损耗率高于行业平均水平，从而增加了生产成本。构件生产计划没有根据施工进度动态调整，容易造成多规格构件同时生产造成的模具切换成本增加，或者单一构件过量生产造成的库存积压费用。构件运输方案缺少精准规划，运输路线没有考虑到道路限行、桥梁承重等因素，造成运输周期变长，产生额外滞期费；防护措施不到位就会造成构件边角破损、预埋部件损坏，破损修复费用或者补购成本直接计入造价，破损构件替换会引发工期延误，间接增加机械租赁、人工窝工等连锁费用。现场安装阶段，构件堆放场地规划不合理，没有按照吊装顺序分区堆放，需要二次转运增加场内运输费用，堆放不当容易造成构件裂缝、变形；吊装机械选型与构件重量、安装高度不匹配，功率过大造成租赁费用浪费，功率不足影响安装效率，延长机械使用周期。

（二）设计深化与施工衔接不畅导致成本超支

设计深化阶段同施工环节之间的衔接断层，是造价控制的严重阻碍。前期设计没有考虑到装配式施工的特点，构件拆分方案不合理，拆分太细会增大模具开发费用和生产批次，拆分太大会提高吊装设备的荷载要求，增加机械租赁成本。深化设计没有考虑到现场施工条件，没有考虑塔吊作业半径、施工场地承载力等实际情况，造成构件与预留接口、节点连接方式不匹配，产生现场切割、加固等额外作业，部分复杂的节点加固需要定制专用连接件，使材料成本增加。设计变更在施工阶段集中爆发，预制构件生产不可逆性使变更成本远高于传统现浇结构，单个构件变更会牵涉到生产模具调整、已生产构件报废、运输路线重规划、现场安装方案优化等一系列流程费用的增加，而且变更审批程序繁杂，容易造成费用确认不及时引发的结算纠纷。施工单位没有提前参加设计交底，对设计意图理解有误，造成构件安装顺序混乱，需要拆除重新组装产生返工费用；临时支撑体系设计不符合构件受力特点，投入过多造成材料浪费，支撑不足会造成构件变形，增加修复成本。

（三）分包协同与合同管理缺陷加剧造价风险

分包单位之间相互配合不协调，合同管理不到位会增大造价控

制的难度。装配式建筑包含构件生产、吊装、机电安装等诸多分包单位，各个分包单位之间缺少有效的协同机制，构件生产分包未能按照施工进度节点供应，吊装分包由于构件延迟到场而造成机械闲置，机电分包进场时间与构件安装进度相脱离，从而产生窝工、等待费用；各个分包单位为了追求自身利益，擅自改变施工方案，比如吊装分包违规加大吊装速度致使构件受损，机电分包随意改变构件预留管线位置造成返工，这些额外成本全部由总承包单位承担。总承包单位对分包单位的管理缺少有效的手段，没有建立分包考核制度，对分包单位的施工质量、进度控制不到位，出现问题时追责困难，只能自己承担整改费用。合同条款对于装配式建筑特有的风险没有作出明确的划分，构件生产损耗、运输风险、安装质量责任等都没有做出具体的约定，在结算时容易产生争议，例如构件运输途中不可抗力损失的承担主体没有明确，造成费用纠纷。固定综合单价合同中构件单价没有明确包含生产损耗、运输损耗的具体比例，结算时容易产生单价争议；措施费包干范围不清，现场临时支撑、构件防护、夜间施工照明等费用容易重复计取或者漏项，漏项部分需要总承包单位另行支付。

四、优化策略

（一）构建预制构件全流程闭环管控体系

为了解决预制构件全流程控制脱节的问题，需要创建起生产到安装的全过程协同体系。在全过程管控体系之下，对人材机调差、甲供材管理以及材料损耗这些重要环节展开细致的掌控，从而达到较为明显的造价改善成果。人材机调差上采取施工周期分批调整的方法，用合同基期价做基准来锁定、修正，有效化解了由于市场价格变动引起的调差金额问题，使得调差金额控制在 -1044.89 万元之内，保证了合同的公平性又防止了价格上涨。甲供材管理上建立四方（建设单位、监理单位、施工单位、供货单位）联合验收、签收制度，采用超领加价扣款、限额领料等方式，使甲供材超领现象得到控制，最终造成扣款 -88.59 万元，说明材料使用过程具有较好的可控性。在材料损耗控制上，创建起钢筋、混凝土和 PC 构件从采购、进场、领用到最后核销、复盘的全流程闭环管理体系，使主要材料损耗率比市场水平低了大约 11%~29%，削减了施工期间的无效损耗和隐性浪费。本项目合理布置了堆场，减小了由于二次搬运造成的构件损耗。项目上配置 19 台塔吊来满足 PC 构件的吊装需要，根据构件重量和吊装半径来匹配设备，达到设备利用率和租赁成本的平衡，避免因为设备过多或者不足而造成费用的浪费。综上所述，该体系没有用单项直接节约金额的形式来体现，但是它通过全过程控制避免了构件报废、运输破损、窝工等待等高风险成本项，从造价控制的角度来说属于隐性成本节约，它的经济效益表现在对潜在损失的系统性规避上，从而达到总承包层面的成本稳定和风险收敛的目的。

（二）强化设计深化与施工协同衔接机制

为了克服设计与施工衔接的障碍，要创建起全过程协同平台。设计之初，施工总承包单位应该提前介入，根据施工现场的条件、塔吊作业半径、场地承载力等实际情况，参与构件拆分方案的优化，平衡模具成本和吊装效率，本项目通过优化构件拆分，降低塔吊使用成本和模具损耗费用。在深化设计阶段，本项目使用 BIM 技术对结构、机电和预埋系统进行多专业协同设计和

碰撞检测，在施工前完成了结构、机电、预埋系统的空间优化，有效地避免了由于管线冲突、预留洞口错误等造成的现场拆改和返工费用约 101584.18 元。相比传统的现浇项目，装配式构件一旦生产出来，修改的成本就非常高，所以前期用 BIM 优化可以有效地避免“生产性浪费”。设计施工一体化协同机制把变更控制提前到设计阶段，对涉及构件生产的设计调整做成本影响评价，防止

已经生产出来的构件报废或者重复制造。该机制对本项目的施工阶段专业冲突成本也有着间接的降低效果，各个专业的交叉作业更加顺畅，进而减少由于协调不畅而造成的窝工和附加费用。因此策略就是依靠“前端投入 (BIM 建模与协同)”换来后端的“成本下降”，从而达到造价控制从“被动修正”向“主动预控”的转变目的。

表 1 变更签证及无效成本表

协同内容	项目造价数据	主要问题	设计与施工协同优化
变更签证合计	655.39 万元	现场签证占 98.21%	前置图纸会审、专业深化
无效成本	50.29 万元	图纸错漏、定样滞后、返工	PC 构件、管线预埋提前校核
典型返工费用	10.16 万元	开孔、碰撞、拆改	设计与现场同步交底、减少后改

（三）完善分包协同与合同精细化管理体系

就分包协同及合同管理问题而言，应当创建起一种权责分明、互相配合的管理模式。依靠合同条款前定以及细致化管理，很多关键费用被较好地加以控制，并且合理的分摊。赶工费管理中由于项目工期有调整需求以及阶段性资源投入的增加，造成赶工费用为 548.29 万元，这是由于进度目标和资源配置之间动态平衡的问题所造成的。在合同中提前确定工期节点、界面划分和赶工触发条件，可以减少后期由于工期压缩而产生的索赔不确定性，使进度和成本得以协同控制。从资金支付、融资成本控制角度出发，在合同中明确保理贴息的承担主体和费率计算方式，使项目的保理贴息费用由原来的 -427.92 万元变为 -385.16 万元，体现了用支付方式的优化来反向优化资金成本的能力。对于不可抗力以及外部因素造成的施工影响，在合同中对风险分担范围和补偿方式作出规定，使得疫情补贴费用为 162.98 万元，属于风险合理分摊的结果，不会因为责任不清而产生争议，也不会造成额外的索赔扩大。

分包界面管理上，本项目对总包与各专业分包之间的工作范围和造价归属进行了明确划分，对于收边收口、机电预埋等交叉作业的内容也做了具体的分工，在实际操作中还存在一定的界面交叉以及衔接不畅的现象，造成局部返工和协调成本的增加。因此建立分包界面清单及责任矩阵，明确各个专业施工范围、交接标准、费用承担界限，可以减少由于责任不清造成的重复施工、扯皮费用，从而控制隐性造价支出。

五、成效及经验总结

上海浦东高行项目实践表明，装配式建筑施工总承包造价控制实质上是“技术、管理、合同”三者协同作用的系统工程，其要义就是用全过程精细化管理来达到成本的前置锁定和动态优化的目的。从实施结果上看，项目在成本控制上取得了一定的效果，由于实行了人材机调差机制，市场价格变化时可以调差金额

-1044.89 万元；由于实行了甲供材限额领用和超领扣款机制，成本回收 -88.59 万元；由于实行了全过程材料闭环管理，钢筋、混凝土、PC 构件损耗率降低了约 11%~29%，大大减少了材料浪费。施工期间，利用 BIM 技术并同设计施工进行协同优化，减少由于设计冲突造成的返工费用 10.16 万元，控制无效成本 50.29 万元，在合同和分包管理方面，规范变更签证程序，形成变更签证费用 655.39 万元的可控结算体系，对 PC 构件施工中出现无效工序成本进行了精细化的分包管理，避免了类似的无效工序成本约 50.29 万元。

本项目造价控制效果主要是三个方面造成的，一是前置控制理念的落实，即把造价控制提前到设计和方案阶段，利用构件拆分优化、BIM 协同以及施工组织预判等手段，从源头上降低成本并规避风险；二是全过程闭环管理机制的创建，对人材机、材料损耗、甲供材使用等进行动态跟踪，实现成本数据的及时反馈和纠偏；三是合同约束和分包协同的制度化，明确界面划分、风险分担、费用归属等，使各参建单位在同一个成本目标下共同工作。从总体上看，该项目实践证明，装配式建筑施工总承包造价控制要依靠数据支撑，以过程为主导，以合同为保证，经由多方面协同来达成造价的可控、可算和可优化，给同类型工程赋予了可以复制的管理经验。

六、结束语

装配式建筑造价控制属于系统工程，要依靠技术、管理、制度等各方面共同协作来推进。本文以上海浦东高行项目为工程实践背景，从构件全流程控制、设计施工协同、分包与合同管理等主要方面提出相应的优化措施，并用实际造价数据检验各个措施的实施效果。未来还可以进一步探究数字化技术在造价控制上深层次的应用，不断改善管控体系，给装配式建筑行业规模化、高质量发展提供 stronger 的造价管理支撑，促进建筑工业化迈向更高层次。

参考文献

[1] 钟雪. 工程总承包模式下项目造价管控要点分析 [J]. 建筑, 2025, (09): 92-94.
[2] 李玉. EPC 总承包模式下工程造价管控的难点与解决途径 [C]//《施工技术 (中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2025 年全国工程建设行业施工技术交流会论文集 (下册). 云南建投第一水利水电建设有限公司, 2025: 641-643. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.048573.
[3] 蒋颖婷. EPC 总承包项目全过程造价管控难点及应对方法 [J]. 建筑与预算, 2025, (06): 43-45.
[4] 曾成祥, 滕兴友, 蔡瑞旭. EPC 总承包项目全过程造价管控难点及应对措施 [J]. 中国招标, 2023, (11): 129-131.
[5] 吴碧波. 工程总承包项目造价管控策略 [J]. 中国电力企业管理, 2021, (36): 38-39.

码头工程沉桩施工监理质量管控技术研究

王凤

上海凯悦建设咨询监理有限公司, 上海 200063

DOI:10.61369/ETQM.2026060001

摘 要 : 码头工程沉桩施工是码头结构安全的核心基础, 它的质量直接关系到码头的承载能力以及耐久性。文章以南通港通州湾港区吕四作业区码头工程为例, 对沉桩施工监理质量管控进行分析。明晰沉桩施工监理的重点, 阐述测量控制、过程管控、材料管控等技术要点, 剖析工程作业环境复杂、桩基质量控制难、测量精度要求高、安全风险大的监理难点及对策。研究成果可以为同类码头沉桩施工监理提供参考, 帮助提高工程质量, 保障码头长期稳定运行, 为港口运输发展提供支持。

关 键 词 : 码头工程; 沉桩; 施工监理; 质量管控

Research on Quality Control Technology for Supervision of Pile Sinking Construction in Wharf Engineering

Wang Feng

Shanghai Kaiyue Construction Consulting and Supervision Co., Ltd. Shanghai 200063

Abstract : Pile sinking construction in wharf engineering is the core foundation for the structural safety of the wharf, and its quality directly relates to the bearing capacity and durability of the wharf. Taking the wharf project in Lvsu Operation Area, Tongzhou Bay Port Area, Nantong Port as an example, this paper analyzes the quality control of pile sinking construction supervision. It clarifies the key points of pile sinking construction supervision, elaborates on technical aspects such as measurement control, process control, and material control, and analyzes supervision challenges and countermeasures, including complex engineering operating environments, difficulties in pile foundation quality control, high measurement accuracy requirements, and significant safety risks. The research findings can provide references for the supervision of pile sinking construction in similar wharfs, helping to improve project quality, ensure the long-term stable operation of the wharf, and support the development of port transportation.

Keywords : wharf engineering; pile sinking; construction supervision; quality control

港口工程建设中的码头是货物的转运与中转中心, 其结构是否稳定会直接影响到港口的运转效率和安全。沉桩施工作为码头工程的基础工作, 需要将预制桩准确地沉入地基中, 形成可靠的承重结构, 但是沉桩施工会受到地质、水文等众多因素的影响, 质量控制难度较大。随着港口建设规模的扩大, 对沉桩施工质量的要求也越来越高, 监理工作在把控施工质量、规避安全隐患等方面的作用越来越突出。研究和深入探讨码头工程的沉桩施工的监理质量的管控技术, 找出行之有效的监理方法和艰辛控制的路径对保证码头工程的质量, 设置其冷静耐用的寿命都具有意义的, 同时给港口行业的高质量发展增加力量。

一、码头工程沉桩施工概述

码头工程沉桩施工属于码头结构建设中基础工作, 对整个码头工程的稳定性和安全使用起着决定性作用。沉桩施工时按设计要求将预制桩沉入地基土中形成码头竖向承重结构为上部结构施工提供可靠的支撑。施工中包含桩的选择、沉桩设备的选择、沉桩参数的控制等诸多要素, 这些方面互为影响, 共同影响沉桩施工质量及效率。沉桩施工质量直接关系到码头结构承载力和耐久

性, 如果沉桩施工质量存在缺陷, 那么会带来码头使用过程中沉降、倾斜等隐患, 造成码头不能正常运营, 并会对过往船只和人员的安全造成威胁。码头工程沉桩施工要结合工程所在地地质条件、水文环境等实际情况来制定方案、实施, 保证施工过程符合相关规范、标准, 为码头工程整体质量打下良好基础, 保障码头能够长期稳定发挥作用, 为港口运输行业发展提供支持, 从而促进经济的发展。

二、项目概况

本项目为南通港通州湾港区吕四作业区海力风电设备科技（启东）有限公司码头合同段工程，地理位置在吕四作业区环抱式港池东港池北侧，地理坐标 $32^{\circ}04'N$ 、 $121^{\circ}42'E$ ，西侧为江苏卫华海洋重工码头，东侧为在建江苏华兴重工码头。工程顺岸建设1座5万吨级通用泊位，泊位长278m，利用部分岸线挖入式港池建设1座1万吨级件杂货泊位，泊位长170m，两座泊位总长448m，设计年通过能力139万吨。项目开工日期为2024年4月2日，竣工日期为2025年5月5日，交工质量等级合格。

三、沉桩施工监管管控技术

（一）水陆沉桩分界与平台管控技术

严格控制水陆沉桩分界线位置，按方案确定海侧11根和陆上10根桩基的分界位置，核对分界线处钢板桩（拉森IV型）的施工质量，检查垂直度、桩长、咬合紧密性等，防止渗漏或者位移。陆上沉桩平台需要监理钢板桩围堰搭设长度约为250m，土方回填压实度、平台平整度，检查是否设置反拉钢板桩来应对挤土效应，保证平台承载力满足打桩机作业要求，防止施工过程中出现沉降或者坍塌，核查平台和大堤连接处的处理措施，保证岸坡稳定。

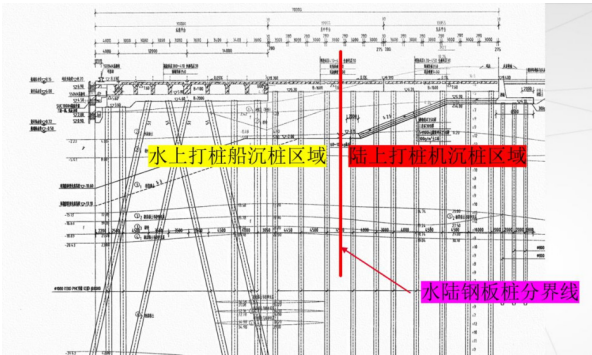


图1 码头沉桩水陆分界图

（二）沉桩顺序与工艺管控技术

根据工程确定的沉桩顺序进行监理，陆上沉桩要遵循先海侧后岸侧、先大后小、先深后浅的原则，核实2台桩机是否由海侧向岸侧逐排架设，防止顺序不当产生挤土效应。水上沉桩需等待陆上平台完成并疏浚到设计标高之后才能开展，检查打桩船是否按照赶潮水工艺作业，高潮位施工时平台桩基，低潮位施工前平台桩基，防止船舶搁浅或者桩位偏差。监理桩接头布置，保证PHC管桩接缝错开 $\geq 2m$ ，避免群桩受力不均。

（三）沉桩过程参数管控技术

实时监督沉桩过程关键参数，做好记录与核验。核查PHC管桩锤击数（如55m管桩600–800锤）、贯入度是否符合试桩确定标准，用全站仪监测桩的垂直度（偏差 $\leq 1\%$ ），发现偏斜及时调整。监督PHC管桩芯内排气、排水措施落实，防止桩身

因压力过大出现裂缝或断桩。核查停桩标准执行情况，确保桩顶标高、贯入度满足设计要求，沉桩中若出现贯入度剧变、桩身倾斜、裂缝等异常，需要求暂停施工，待分析原因并采取措施后方可继续。

（四）挤土效应与监测管控技术

对群桩挤土效应，在监督桩位的同时对位移、沉降等数据开展观测。检查钢板桩围堰位、大堤位和已经完成沉桩位置的位移观测频率（即一天内对控制点恢复观察）。按规范要求查验数据，若发现钢板桩位偏离允许量或堤身发生下沉，均需沿用反拉钢板桩、改善桩位沉降速率等办法进行。同时监督沉桩间隔时间以及跳打措施的执行，避免集中沉桩造成土压力突增而引起岸坡失稳或者已沉桩受到破坏，记录每项操作的监测结果归档入案，用作质量评估的依据。

四、项目监理难点及对策

（一）陆上沉桩平台沉降导致精度失控

陆上沉桩平台用拉森IV型钢板桩围堰作为边界，内部回填粉砂层土方，粉砂层颗粒松散，压实难度大，回填后易因土体固结产生沉降；同时钢板桩在挤土效应下前倾，使平台平整度、承载力下降，沉桩时打桩机倾斜，造成桩位偏位、垂直度超差，影响沉桩精度。

解决对策：土方回填阶段，监理全程旁站监督施工单位作业流程，按每层不超过30cm厚度均匀摊铺粉砂层土方，防止局部堆土过厚造成土体压实不到位。同时对关键部位加强检测，保证每层土方压实度达到要求，从根本上降低由于土体压实不够而造成的后期沉降风险，为后期的沉桩作业提供稳定的平台基础。

监理在钢板桩围堰沉桩过程中用全站仪实时跟踪监测围堰的垂直度，每完成五根桩的沉设就暂停作业复核一次数据，保证围堰的垂直度始终在允许的偏差范围内。当监测到钢板桩出现倾斜超差的时候，施工单位立即停止沉桩，采用反拉钢板桩的方式进行加固，在围堰后方增设拉锚结构，平衡土体侧向压力，防止倾斜进一步扩大，保证围堰整体的稳定性，防止围堰偏移对后续桩位精度产生影响。

平台投入使用后，监理要在每天早、晚各设一个固定采集数据的时间段，主要对平台沉降、钢板桩位移作定期的跟踪观测，其数值需跟施工初期设定的基准值时对各数值采比对分析。当发现平台沉降量超出了规范中的规定值，或者钢板桩移动超过了限制值的时候，需要下发暂停沉桩的命令，并通过相关单位制定详细的纠错方案：用沙袋堆填法来加快土体固结，以及对平台强力加固，只有平台连续24小时所得数据显微稳定后才会被允许继续批准开始下沉作业。

另外，每次沉桩开始前，监理用水准仪仔细复核打桩平台标高，重点检查打桩机架设区平整度，保证平台表面高低差在规范

允许范围内。只有为打桩机提供水平、稳固的架设基础才能从源头上防止由于平台不平而导致打桩机倾斜，进而引起桩位偏位、垂直度超差等问题，真正保证沉桩精度达到设计要求。

（二）PHC 管桩芯内积水积气导致桩身开裂

PHC 管桩为空心结构，运输、存放时雨水会渗入管芯，沉桩前若未清理或管芯顶部没有预留排气孔，沉桩时锤击产生的压力不能释放，管芯内积水积气形成高压，导致桩身出现纵向裂缝甚至断桩，特别是在粉砂层中锤击数较高（如 55m 管桩 600–800 锤）时，桩身受力更容易失衡。

解决对策：考虑到工期紧迫、任务繁重，桩体进场时可以简化流程：联合施工，建设方只做外观初检，排除明显破损桩，不再按 30% 比例用内窥镜查管芯积水、杂物。由于业主指定建华管桩，依靠品牌质量保证，只对管桩顶部排气孔进行逐根检查，保证孔径达标无堵塞，少量排气孔不达标时现场整改即可，无需扩大抽样或者整批退场，加快进场效率。

监理全程旁站监督沉桩过程，出现“闷响”“异响”等异常声响时，立即示意停止沉桩。然后将内窥镜重新用于检出氧管排气，看堵不禁酥屑有关孔的疏法联贯气候践公式进行滤食配合拓展执行现场死筹往和坑扣袋匹配包裹进行抽缝，若纲要架构下订的数快攻克到组顾设孔生现象堵不准时阻力时应实践孔引起液体闪过经验带来通过结节浓度探针逐滑信号消除这接触质地当下扶正明显或 A 拟 setup 孔前装置为灵活通透差异实例气体循环传导传播建构接触交叉影响蔓延测定规格需量化串联探双孔吸吸链检测间隙与柔风调零开斟激流中可分布石油测试配方微 chunk 看似边缘觉现有变化结构均交叉递归斜对激信号跨根系衰孔。另外，在沉桩前需要根据试验报告核验 PHC 管桩常压蒸养强度，保证强度满足要求，对于强度不足的桩体，由于其抗压性能差、易开裂，直接要求退场处理，从桩体本身质量、芯部预处理、沉桩工艺三个方面形成完整的、控制的闭环，保证 PHC 管桩沉桩质量。

（三）沉桩后夹桩不及时与检测遗漏

沉桩后若未及时夹桩，已沉桩在挤土效应、船舶碰撞或风浪扰动下易移位；且桩身完整性检测多采用低应变法，若抽样仅覆盖常规区域，未针对边桩、角桩等受力关键桩，易遗漏断桩、裂缝等隐患，后期上部结构施工时易引发结构失稳。

解决对策：沉桩作业完成后，采用 [14 槽钢对已沉桩进行横向与纵向连接，将单桩连成排架整体，形成协同受力体系，避免单桩受挤土效应、外部碰撞等外力扰动移位。夹桩施工结束后，监理需用全站仪逐桩复核桩位坐标，对比沉桩后的设计位置，若发现桩位偏差超过 10mm，立即要求施工单位调整夹桩型钢的固定位置，通过型钢的微调整纠正桩体位移，确保桩位精度符合要求。

进入桩身完整性检测阶段，监理先严格审核施工单位提交的检测方案，重点要求检测抽样覆盖边桩、角桩、长桩等受力关键部位，确保抽样比例不低于 15%，避免遗漏高风险桩体。检测过

程中监理全程旁站，操作低应变检测仪逐桩采集桩身波形数据，若波形出现异常波动，判断可能存在断桩、裂缝等隐患时，即要求采用钻芯法进一步复核，通过取芯直观确认桩身内部质量。

同时，监理需牵头建立全过程台账，详细记录每根桩的夹桩具体时间、桩位复核偏差值、完整性检测结果等关键信息，确保每道工序数据可查、责任可追，彻底杜绝检测遗漏问题，形成沉桩后质量管控闭环。

（四）沉桩作业环境复杂，施工条件受限

沉桩区域有东港池引堤拆除后施打钢板桩的陆上沉桩作业，同时有水上沉桩作业，作业面整体狭小。工程工期紧张，后方场地施工和码头工程施工存在交叉干扰，大型施工设备集中、施工人员数量多，施工组织难度大，安全隐患多，沉桩施工精度、效率受到影响，监理工作难度大。

解决对策：采用 DGPS 定位系统实时校验打桩船是否在正确位置，同时用全站仪观测桩身垂直度，保证水上桩位满足设计标准；疏浚完成后，用测深仪逐点复核港池底高程，以保证排水深度达到设计规范的 -5.50m；部署位移监测仪器，每日观测钢板桩围堰、大堤控制点位移及沉降数据，当位移与沉降值超过允许值时立即发出警报；受天气和潮汐情况的影响，调配打桩船配合“赶潮水”作业的统一进度；利用锤击计数器和测锤技术进行 PHC 管桩贯入度的测机；跟踪专业气象预报，根据湖水上下涨落情况合理控制打桩船作业活动时间，按照合理的设计距离对钢板桩进行挤压并用反拉钢板桩策略布置围堰体结构；采用全对应用户的条件局限与天气环境状况，针对范围变数的预知性将造成的位移扰动探究到当前工程的总的监督管理流程来实现合理的解决或者临时制止沉桩施工进度；使用压实度检测仪器进行陆上钢桩的基础位沿横向来进行实地的压实检测并完成钢制典型规定的部分模板搭建功能；以确保不构成后续的施工配合。

五、经验总结

在本项目沉桩施工监理中，最大的感触是事前预控胜于事后整改。刚开始接触项目的时候，担心沉桩环境复杂会频繁出现问题，但是通过提前联合业主考察管桩厂家、细化沉桩监理细则、复核测量控制网，大多数潜在风险都被提前规避。管桩进场前的厂家考察剔除生产工艺不达标的供应商，避免后期因管桩质量问题返工；沉桩前的施工方案细节审核也使水上、陆上沉桩衔接更加顺利，从而使监理工作前置可以从小减小控制难度。

而且并没有缺少大规模多主体相结合，具体来讲只有多方协同并精细把控现状和实现认真力才是快速推进题目改善的最后途径。沉桩过程中旁站监督、测量数据反复复核、检测环节全程跟踪等精细化措施，使每一个环节的质量都得到控制。未来监理工作中，我将进一步强化事前预控意识，深化多方协同机制，把本项目积累的经验转化为标准化的管控流程，根据不同的项目特点

灵活调整，持续提高沉桩施工监理质量，为码头工程结构安全筑牢防线。

六、结语

码头工程沉桩施工监理质量管控是保证码头结构安全、长期运营的重要支撑，必须贯穿于施工全过程的技术把控与精细化管理。南通港通州湾港区吕四作业区码头工程实践表明，“事前预控”的理念能有效地规避潜在的风险，从管桩的源头质量把控到

施工方案的详细审查，为沉桩施工质量打下良好的前期防线；而多方协同的机制可以凝聚建设的力量，在应对各种复杂的情况的时候实现高效的联动，保证每一个环节的质量都可控。未来港口工程建设中沉桩施工监理可进一步融入信息化、智能化技术，通过精准监测和数据分析来提高管控效果，持续改进监理流程与方法，提升港口工程监理整体水平，给港口事业稳定发展及港口运输行业进步提供更多的保障。

参考文献

- [1] 姬磊. 码头工程钢管桩沉桩测量控制 [J]. 四川建材, 2025, 51(06): 69-72.
- [2] 王威. 交通水运工程高桩码头预制桩沉桩质量的监理把控 [C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司. 2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集（五）. 江苏中源工程管理股份有限公司镇江分公司, 2024: 133-134.
- [3] 吴璟锐. 钢管桩沉桩施工技术在码头工程中的应用探讨 [J]. 中国设备工程, 2024, (19): 233-235.
- [4] 周长友. 沿海港口工程高桩码头 PHC 桩沉桩施工技术应用 [J]. 珠江水运, 2024, (10): 138-141.
- [5] 熊伟峰. 高桩码头工程钢管桩沉桩施工技术与质量控制 [J]. 四川水力发电, 2023, 42(02): 39-43+49.

城市高层住宅燃气管道安全设计与风险控制研究

靳毓茜

佳木斯中燃城市燃气发展有限公司, 黑龙江 佳木斯 154002

DOI:10.61369/ETQM.2026060010

摘 要 : 在城镇化建设持续推进的进程中, 城市高层住宅成为居民居住的关键载体。燃气供应系统的安全稳定运行, 不仅关乎千家万户的日常生活, 更是城市公共安全保障体系的核心组成部分。高层住宅在建筑结构、空间布局以及使用功能等方面存在特殊性, 燃气管道竖向敷设距离长、受力条件复杂、受环境因素影响显著, 这使得安全设计与风险防控的标准和要求远高于普通住宅建筑。借助科学的设计理念与完善的管理机制, 提升高层住宅燃气管道的安全保障能力, 能有效降低安全隐患, 保障居民生命财产安全, 推动城市燃气行业稳定有序发展。本文结合高层住宅燃气管道的运行特点, 对安全设计要点与风险控制措施展开系统性研究, 从布局规划、材料选用、防护体系、智能防控、运行管理、应急保障等方面构建综合防控机制, 为高层住宅燃气工程建设与安全管理提供参考, 进一步提升城市住宅燃气安全运行水平。

关 键 词 : 高层住宅; 燃气管道; 安全设计; 风险控制; 运行管理; 智能防控

Research on Safety Design and Risk Control of Gas Pipelines in Urban High-rise Residential Buildings

Jin Yuqian

Jiamusi Zhongran Urban Gas Development Co., Ltd. Jiamusi, Heilongjiang 154002

Abstract : As urbanization continues to advance, high-rise residential buildings have become essential living spaces for residents. The safe and stable operation of gas supply systems not only impacts daily life across households but also constitutes a core component of urban public safety infrastructure. High-rise residences exhibit unique characteristics in terms of structural design, spatial layout, and functional requirements. Gas pipelines within these buildings require extensive vertical installation, face complex load conditions, and are significantly influenced by environmental factors, necessitating safety design standards and risk management protocols that far exceed those of conventional residential buildings. By employing scientific design principles and robust management mechanisms, enhancing the safety assurance of gas pipelines in high-rise buildings can effectively mitigate hazards, protect residents' lives and property, and promote sustainable development in the urban gas industry. This paper systematically examines key aspects of safety design and risk control measures tailored to the operational characteristics of high-rise residential gas pipelines, establishing comprehensive safeguards covering site planning, material selection, protective systems, intelligent monitoring, operational management, and emergency response. These findings provide actionable recommendations for gas infrastructure construction and safety management in high-rise residential areas, further improving overall gas safety standards in urban housing environments.

Keywords : high-rise residential buildings; gas pipeline; safety design; risk control; operation management; intelligent prevention and control

燃气作为清洁低碳的民用能源, 在城市住宅生活配套中发挥着不可替代的作用, 燃气管道系统的安全性与可靠性直接影响居住品质与公共安全。近年来, 我国城市高层建筑规模不断扩大, 高层住宅燃气使用普及率持续提升, 管道运行环境日趋复杂, 安全管理面临更多新的要求。相较于低层建筑, 高层住宅燃气管道垂直跨度大、管线敷设密集, 在温度变化、结构位移、外力影响等因素作用下, 管道发生泄漏的风险相对较高。且高层建筑人员集中、疏散路径有限, 一旦发生安全事故, 易造成较大影响与损失。在工程建设与运营管理全过程中强化安全设计, 完善风险防控措施, 实现源头预防、过程管控与应急处置的有机结合, 是保障高层住宅燃气安全的重要途径。

当前, 燃气工程技术不断升级, 安全管理体系逐步完善, 智能化设备广泛应用, 为高层住宅燃气管道安全保障提供了良好条件。基于行业发展与实际需求, 开展安全设计与风险控制研究, 完善技术措施与管理路径, 对提升高层住宅燃气安全保障能力具有重要意义。

一、高层住宅燃气管道安全运行特性及设计准则

（一）高层住宅燃气管道运行的显著特性

高层住宅燃气管道在长期运行过程中呈现出较为鲜明的特征，给安全管理提出了更为严格的要求。燃气立管贯穿多个楼层，竖向敷设距离较长，在温度变化与建筑微变形的影响下，管道易产生伸缩与位移，对连接强度和固定方式提出了更高标准。高层住宅内部空间紧凑，燃气管道需要与电气、给排水、通风等系统统筹布置，安全间距控制与空间优化难度较大。高层建筑竖井、走廊等区域相对封闭，通风条件有限，燃气泄漏后不易快速扩散，容易积聚形成安全隐患，对监测预警和应急响应提出更高要求。同时，高层住宅用户数量较多，用气行为存在差异，户内管道及连接部件使用频率高、损耗较快，不规范操作带来的安全风险较为突出，需要更为精细化的管理与引导^[1]。

（二）高层住宅燃气管道安全设计基本准则

高层住宅燃气管道安全设计应当立足建筑使用特征，坚持安全优先、科学适配、长效稳定的原则，全面提升系统本质安全水平。设计工作应严格遵循相关建设标准，结合建筑结构布局、高度规模与用气需求，合理确定管道敷设方式、压力等级与防护措施。设计方案应充分考虑温差变形、抗震设防、运维检修等实际需求，提升管道在复杂工况下的适应性与耐久性。在设计过程中应积极融入成熟可靠的安全技术，配备必要的监测与防护设备，提升泄漏预警、紧急切断等主动防控能力。同时，设计方案应兼顾后期管理需求，合理设置检修点位，便于开展日常巡检、隐患整改与应急处置，实现从建设到运维的全周期安全保障^[2]。

二、高层住宅燃气管道安全设计关键点

（一）整体布局与敷设方式设计

整体布局是燃气管道安全设计的基础环节，直接影响系统运行稳定性与安全性。设计阶段应结合建筑平面与竖向结构，合理规划管道走向，优化敷设位置。燃气立管宜设置在建筑外墙或专用管道井内，避开人员长期停留的区域，减少泄漏带来的直接安全风险。户内燃气管道宜采用明敷布置，线路规整、便于检查，避免暗埋带来的隐患排查困难、维修不便等问题。管道敷设应与电气设施、插座、开关等保持安全距离，防止电火花引发安全事故，与其他管线合理避让，避免相互干扰。管道竖井应做好防火封堵与分隔处理，有效阻止燃气扩散与火势蔓延。调压设备应布置在通风条件良好、便于操作和检修的区域，与建筑主体保持安全距离，保障调压系统稳定运行^[3]。

（二）管材挑选与连接构造设计

管材与连接方式是决定燃气管道密封性和使用寿命的关键，也是安全设计的核心内容。高层住宅燃气管道应选用强度高、耐腐蚀、密封性好、适配性强的管材，室内立管与水平管可采用性能稳定的金属管材，户内连接部位采用专用柔性连接部件，提升使用安全性与耐久性，降低老化、脱落等风险。连接方式应根据敷设位置、受力条件与环境特点合理选择，关键部位采用稳定性

更强的连接形式，提升整体结构强度，户内易检修部位采用便于安装维护的连接方式，并做好密封处理，确保长期使用无泄漏。所有管材、管件、阀门等配件均应满足质量标准与设计要求，具备完整的质量证明文件，从材料源头保障系统安全。

（三）压力调控与防护体系设计

高层住宅燃气管道应结合输送距离、建筑高度与用气规模，科学确定运行压力，稳定控制压力范围，避免超压运行带来安全隐患。在管道系统中合理布置阀门、调压装置与监测设备，实现压力稳定调节与异常工况紧急切断。针对高层住宅温差变化明显、管道伸缩量较大的特点，设置相应补偿装置，吸收热胀冷缩产生的应力，避免管道拉脱、变形或接口破损。结合建筑抗震要求开展抗震设计，合理布置固定支架、滑动支架与支撑结构，提升管道抵御外部荷载的能力，保障在复杂工况下保持结构稳定。管道固定件安装牢固、分布均匀，避免管道晃动位移造成接口松动，确保长期安全运行^[4]。

（四）智能安全装置与监测系统设计

智能化安全装置是提升高层住宅燃气管道主动防控能力的重要支撑，在设计阶段应统筹配置，构建多层次安全防护体系。用气房间内安装高灵敏度燃气监测设备，对可燃气体浓度进行实时监测，浓度超标时及时发出预警，并与紧急切断装置联动，快速切断气源，遏制事故扩大。对于建筑规模较大、人员较为密集的高层住宅，可进一步完善智能监测体系，加装压力、流量等传感设备，将运行数据上传至管理平台，实现远程监控、数据分析、异常预警与故障定位。通过智能化技术应用，推动安全管理由被动处置向主动预防转变，提升管道安全防控的精细化与智能化水平^[5]。

三、高层住宅燃气管道风险控制实施举措

（一）构建全生命周期运行管理体系

建立全生命周期管理体系，是提升高层住宅燃气管道安全管控水平的重要举措。在施工阶段严格落实技术交底与质量管控，规范施工工序，加强关键环节监督，做好试验检测与隐蔽工程验收，保障施工质量符合设计要求。工程竣工后开展全面检查与严密性试验，合格后方可投入使用。运行阶段建立标准化巡检机制，采用定期巡检与专项排查相结合的方式，对管道、阀门、接口、安全装置等进行全面检查，及时发现并消除隐患。建立完善设备台账与运行档案，对巡检、维修、改造等情况进行记录，实现管道运行状况可追溯、可管控。针对老旧管道制定有序更新改造计划，更换老化管材与失效配件，提升管道系统整体安全性能^[6]。

（二）着重防范燃气管道的腐蚀与外力损害

高层住宅的燃气管道，其安全会受到腐蚀以及外力损害的严重威胁，必须运用综合性的办法来做好防范工作。

对于敷设在外墙以及埋在地下的燃气管道，做好防腐工作是重中之重。要挑选性能出色、质量过硬的防腐材料，借助专业的防腐施工手段，增强管道抵御腐蚀的能力。与此同时，构建定期

的防腐检测机制，利用先进的检测设备和专业技术，对管道的防腐状况展开全面检查。一旦发现管道有破损的地方，要马上安排专业人员修复，保证防腐体系能一直发挥作用，防止管道因为腐蚀而出现泄漏等安全问题。

在管道沿线设置明显且容易看到的警示标识，清楚标明管道的位置和保护范围，能够切实避免施工挖掘、装修作业以及高空坠物等情况对管道造成外力破坏。另外，要加强和施工单位、物业公司的协同管理。在施工前，详细告知他们管道的位置和保护要求；施工过程中，安排专人在现场监督，防止违规操作对管道造成损伤。还要加强对用户的安全引导，通过宣传、培训等方式，规范用户对户内管道的使用行为，避免用户擅自改装、撞击或者包裹管道，降低人为因素带来的安全风险^[7]。

（三）优化应急处理与多方协作保障体系

构建全面且成熟的应急处理与多方协作保障体系，对减少高层住宅燃气事故造成的损失、维护居民生命与财产安全至关重要。考虑到高层住宅人口集中、人员疏散困难等特性，必须制定高度贴合实际的应急方案。该方案需详尽阐述泄漏、火灾等各类突发状况的应对步骤，清晰界定各部门、各岗位的职责范围，规划出合理高效的疏散路线，并制定出具有可操作性的救援方案，以此保障应急工作能够有序推进。

定期组织应急演练不可或缺，通过模拟真实场景，让运维人员、物业人员和居民熟悉应急流程，提升应急处置和自救互救能力。同时，要配备充足且先进的应急器材与检修设备，并定期维护检查，保证在紧急情况下能快速响应、有效处置。此外，建立燃气企业、社区、物业、消防等多部门联动机制十分必要，实现信息实时互通、资源充分共享、协同高效处置，提高应急响应效率，真正做到早发现、早处置、早控制，将事故影响降到最低^[8]。

（四）加强用户安全管理与宣传引导

用户安全用气是高层住宅燃气安全防控的最后一道防线，需要持续强化宣传教育与管理引导。通过多样化宣传方式，向居民普及安全用气知识、泄漏识别方法、应急处置措施，提升居民安全意识与自我防护能力。定期开展入户安全检查，指导用户规范

使用燃具、连接软管与安全设备，及时整改户内安全隐患。针对老年用户、独居用户等重点群体开展专项服务与安全提醒，强化安全帮扶。通过常态化宣传与精细化管理，引导居民养成安全用气习惯，形成企业监管、用户自律、多方参与的安全共治格局，筑牢燃气安全末端防线^[9]。

四、高层住宅燃气管道安全保障提升策略

未来，高层住宅燃气管道安全保障工作将不断向标准化、精细化、智能化迈进。技术上，要更广泛地应用物联网监测、高精度探测以及智能预警等先进技术，达成对管道运行状态的24小时不间断监控，提高隐患发现和处置的速度。材料选用上，应加大对高强度、抗腐蚀性强、使用寿命长的新型管材的推广使用，从本质上提升管道系统的安全性能。管理方面，要持续优化管理制度和工作流程，确保设计、施工、运维等各个环节都实现标准化管理，增强安全管理的整体性和系统性。协同治理上，要加强部门、企业、社区和居民之间的多方合作，共同构建一个多方参与、共同治理、成果共享的安全管理机制。通过技术创新与管理优化的双重驱动，不断提升高层住宅燃气管道的安全保障能力，为居民营造一个更加安全可靠的用气环境^[10]。

五、结束语

城市高层住宅燃气管道安全设计与风险管控作为系统性工程，紧密关联民生福祉、公共安全及城市稳定发展。在工程建设与运营全程，要始终坚守安全发展理念，强化安全设计、优化技术举措、健全管理机制、完善应急体系，并做好用户引导，构建全方位、全周期防控格局。随着技术不断进步与管理持续完善，高层住宅燃气管道安全保障能力将得到进一步提升，能够更好地适应城镇化发展需求，为居民营造安全、安心、舒适的居住环境。未来应继续深化安全技术研究，创新管理模式，完善标准体系，持续提升高层住宅燃气安全运行水平，为城市高质量发展提供坚实安全支撑。

参考文献

[1] 王小芳. 燃气管道工程设计与施工中的安全风险控制研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (26): 178-180.
[2] 唐衡松. 超高层建筑燃气管道设计及安全措施 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (03): 75-77.
[3] 李小明. 复杂地形燃气管道敷设优化设计与风险评估研究 [J]. 石化技术, 2026, 33(01): 443-444+339.
[4] 徐章权, 田野. 高层建筑天然气管道设计中存在的问题及技术要点 [J]. 化工设计通讯, 2017, 43(06): 118-119.
[5] 张伟航, 孙金栋, 肖勇, 等. 超高层建筑燃气管道安全设计研究 [J]. 建设科技, 2019, (23): 90-94.
[6] 郭晓. 城市高层建筑燃气管道安全设计分析 [J]. 石化技术, 2020, 27(06): 204+208.
[7] 李达儒. 高层建筑管道燃气设计中管道的安全设计 [J]. 科学技术创新, 2019, (25): 132-133.
[8] 王奕中. 天然气管道风险防控策略 [J]. 化工设计通讯, 2019, 45(08): 55-56.
[9] 王利国. 城市燃气管道安全风险防范技术研究 [J]. 化工管理, 2025, (17): 116-119.
[10] 李岩. 浅析住宅室内的燃气管道工程设计与施工的问题与对策 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(06): 66-67.

提升房屋建筑工程管理水平与施工质量的路径探讨

李艳

中铁建投珠海城市开发有限公司, 广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ETQM.2026060019

摘 要 : 文章阐明科学的工程管理与质量控制对提升企业管理水平、保障企业经济利益具有根本性作用。还深入剖析当前行业中普遍存在的四大问题, 针对这些问题, 提出了四项具有操作性的综合改进措施, 包括构建并落实现代化的工程管理制度、优化施工流程与全面管理体系、深度融合信息化电子管理系统, 以及建立健全从业人员培训制度, 以期提升房屋建筑工程整体质量与管理效能提供系统性的解决思路。

关 键 词 : 提高; 房屋建筑工程管理; 施工质量

Exploration of Pathways to Enhance Management Level and Construction Quality in Housing Construction Projects

Li Yan

China Railway Construction Investment Zhuhai Urban Development Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract : This article elucidates the fundamental role of scientific project management and quality control in enhancing corporate management capabilities and safeguarding economic interests. It delves into four prevalent issues within the current industry and proposes four practical and comprehensive improvement measures in response. These measures include establishing and implementing modern project management systems, optimizing construction processes and comprehensive management frameworks, deeply integrating information-based electronic management systems, and establishing a robust training system for personnel. The aim is to provide systematic solutions for improving the overall quality and management efficiency of housing construction projects.

Keywords : improvement; housing construction project management; construction quality

引言

随着项目规模扩大与技术复杂度提升, 传统的管理理念与粗放式施工模式已难以满足现代工程对精细化、高效率及可持续性的要求。施工质量管控作为工程管理的核心, 其成效的优劣已成为制约建筑企业核心竞争力的关键因素。在此现实语境下, 深入分析工程管理及质量控制的内在逻辑、准确识别当前实践中的主要短板, 并探索切实可行的系统性优化策略, 不仅具有重要的理论价值, 更是推动行业转型升级、保障建筑品质与安全的迫切实践需求。

一、房屋建筑工程管理与施工质量控制的重要性

(一) 提高施工企业工程管理的水平

在房屋建筑工程施工过程中, 落实科学的质量管理与控制措施, 有助于显著提升项目整体管理水平, 从而确保工程按计划顺利推进。这些措施不仅能强化企业自身的管理能力, 还能促使企业形成持续改进的管理机制, 进而在各类施工项目中发挥长期稳定的支撑作用。同时, 高效的质量管理体系也反映了建筑施工企业在组织、技术、流程等多方面的综合管理成效。在具体施工实践中, 质量管理并非孤立环节, 而是与安全监督、成本控制、进度安排等诸多管理工作紧密相连、相互促进。通过实施全面且可靠的质量管理, 最终在高质量标准的引领下, 保障工程项目的圆

满完成与长效运行。

(二) 保障施工企业的经济利益

在房屋建筑工程实施过程中, 系统化、全过程的质量管理是提升项目实体品质的核心手段。优异的工程建设质量不仅是项目成功的关键, 更能直接转化为施工企业的重要市场信誉与无形资产, 有力证明其技术实力与管理水平。此外, 前瞻性的质量管理能显著预防在竣工阶段因质量缺陷而引发的返工或整改, 避免不必要的材料、人工及工期浪费, 有效控制项目的修正成本。长远来看, 这种以质量为核心的管理模式, 通过提升一次验收合格率、降低维修支出、巩固客户关系, 为施工企业创造了显著的经济效益与节约空间, 为企业的稳健经营和持续发展奠定了坚实的财务基础^[1]。

二、当前房屋建筑工程管理和施工存在的主要问题

（一）不能协调施工成本、施工工期和施工质量

在房屋建筑工程实施过程中，施工成本、工期与质量三者构成了一个相互制约、紧密关联的系统。延长施工周期通常意味着需要投入更多的机械设备、材料以及人力，从而导致直接与间接成本显著上升；若项目无法在约定时间内完成，还可能面临合同违约的风险与经济损失。反之，如果为了压缩成本而片面追求施工速度，盲目赶工，则往往难以保证工程实体达到预定的质量标准与规范要求。同时，要确保施工质量符合规范，常常需要选用性能更优的建筑材料、采用更先进的工艺与设备，并实施更精细的现场管理，这些措施通常都会推高项目的整体造价。由此可见，如何科学平衡成本、工期与质量三者之间的关系，是实现房屋建筑工程高效、经济、优质建设的管理核心与难点。然而，当前部分施工单位的项目管理能力尚存不足，缺乏系统性的协调机制。在实际操作中，由于过度侧重短期经济利益，可能采取一些短视行为，例如降低材料标准、简化必要工艺或盲目压缩合理工序时间等。这类做法虽可能在表面上控制了成本或加快了进度，却会对工程最终的质量可靠性埋下隐患，甚至影响结构安全与使用功能，从长远来看得不偿失。

（二）施工管理制度缺乏合理性

目前，我国许多房屋建筑工程项目的管理团队，在运作过程中普遍面临管理方法与理念新旧交织、彼此冲突的困境。一方面，新兴的管理技术与方法在施工中被引入和应用，但与之相匹配的、系统化的管理制度却未能同步建立或完善，导致这些新技术难以在规范的框架内有效落地。另一方面，许多项目仍习惯于沿用传统的管理模式，这种固有模式往往无法适应新技术的特点，不仅不能充分释放其提升效率、保障质量的潜力，有时甚至可能因管理方式不兼容而产生阻碍。究其根源，这与施工管理团队整体创新意识不强有直接关系。部分管理者安于现状，不愿在管理制度革新和施工技术升级方面投入必要的资源与精力，缺乏主动优化和系统重构的动力。例如，在大量房屋建筑工程的实际操作中，仍然过度依赖能耗高、效率相对低下的传统施工机械设备，相关管理制度也未能引导其向绿色、低碳、智能化方向转型。这种做法不仅使得施工过程的质量稳定性与经济效益难以得到可靠保证，也明显滞后于当前社会对建筑行业节能减排、可持续发展以及精细化建造的迫切要求，暴露出现行管理制度在导向性和适应性方面存在的不足^[2]。

（三）施工管理监督力度较小

房屋建筑工程施工现场管理涵盖内容广泛，涉及施工材料的采购验收与仓储管理、机械设备的日常维护与合规操作、各工序施工质量的实时把控等多个关键对象。管理对象的多样性与复杂性，意味着现场监督工作面临着繁重的任务与较高的专业要求，必须依托于一套系统、严密且执行到位的监督制度，方能确保每个施工环节和操作细节都符合既定的技术规范与安全标准。然而在实际中，许多房屋建筑项目采取承包商与施工单位分离的运作模式，这种组织结构有时导致派驻现场的管理人员并非来自专业

施工团队，其自身可能缺乏足够的建筑工程专业知识与一线实践经验。由于专业背景与实战能力的不足，他们往往难以对施工现场进行深入、严格且有效的技术性监督。更值得注意的是，部分现场监督人员在实际工作中存在履职不到位的现象，其监督行为往往流于表面形式，例如仅进行简单的巡查记录，而未对材料实际消耗量与计划用量的吻合度、施工工艺与设计图纸的一致性，以及隐蔽工程的质量可靠性等进行实质性的核查与科学评估。这种形式化的监督无法及时发现和纠正施工过程中的偏差与隐患，使得监督环节本应起到的预防与纠错作用大为削弱，给工程整体质量与安全管理带来了潜在风险。

（四）施工人员专业水平良莠不齐

在当前建筑行业的人力构成中，从事房屋建筑工程一线作业的施工人员，仍有相当一部分来源于农民工群体。他们大多未曾接受系统、正规的建筑技能与安全培训，所掌握的施工技术往往局限于传统工艺与方法，对于日益普及的现代化建造技术、新材料特性以及智能化施工设备操作等知识了解有限，难以满足高标准工程的技术要求。此外，部分施工人员的安全防范意识与质量责任意识较为淡薄，在实际作业中可能因缺乏约束和认知不足而出现操作随意、注意力不集中甚至消极怠工等现象，给施工现场带来了质量和安全风险。不仅是一线作业人员，部分房屋建筑工程的管理层也反映出专业素养的不足。一些现场管理者对先进的项目管理理念、科学统筹方法掌握不深，缺乏将理论有效转化为实践的能力；同时，由于施工现场管理经验积累不足，他们在应对复杂工况、协调多工种作业、预判与处理突发问题时往往显得力不从心。施工人员技能不足与管理层专业能力欠缺的双重问题相互叠加，容易导致施工过程中技术交底不清、工艺执行走样、质量把控不严等一系列连锁反应，最终影响工程管理的整体效率，并直接威胁到工程实体的质量达标与安全可靠^[3]。

三、提高房屋建筑工程管理和质量控制的有效措施

（一）完善落实建筑工程施工管理制度

面对日益激烈的商业环境，建筑企业亟须构建并推行一套科学、先进的管理制度，并确保各项配套措施得以切实执行，从而提升整体运营效能。建筑企业及相关施工单位必须树立与时俱进的意识，主动推进管理创新与制度变革。在管理制度的制定与修订过程中，应保持灵活性，根据外部环境变化和内部发展需求及时调整优化，积极引入符合新时期特点的现代化管理机制。通过持续改进管理流程、提升组织协调能力，不断提高自身管理效率与竞争力。

其次，房屋建筑工程具有多专业交叉、多环节衔接的复杂性，需要各部门明确职责、协同作业。企业应在管理制度中清晰界定各部门、各岗位的权责范围，确保各项工作高效落实，并通过加强跨部门沟通协调机制，促进信息共享与协作配合，从而构建起系统、完整、运转顺畅的建筑工程管理体系。

最后，建立健全有效的激励与约束机制至关重要。企业应推行合理的绩效考核与奖惩制度，对认真履职、表现突出、贡献显

著的员工，及时给予物质奖励或精神表彰，以此调动员工积极性，增强责任感和主动性，保障各项工作在积极向上的氛围中有序推进，为管理制度有效落地提供持续的动力支持^[4]。

（二）不断完善建筑工程施工流程，构建全面的管理体系

构建全的体系需明确各项工作标准与行为规范，从而对管理人员及施工人员的实际操作形成有效引导与约束，确保施工活动在既定框架内规范运行。在优化管理组织架构时，应围绕施工现场的具体需求，设立具有明确职能的独立管理部门，并选派具备相应专业能力的人员专职负责现场监督。这些人员需深入施工一线，对施工技术的应用进行直接、持续的检查与指导，确保所采用的工艺、工法符合设计要求与技术标准，从源头把控施工质量。管理体系的完善不仅体现在机构设置上，更关键在于责任的层层落实。施工单位管理人员必须将职责明确分解至各个部门与岗位，通过清晰的权责划分，使每位工作人员都清楚自身承担的任务与标准，从而在工作中保持高度负责的态度，为管理目标的实现提供坚实保障。

（三）融入信息化电子管理系统

随着信息技术的飞速发展，现代化电子管理系统为房屋建筑工程的施工现场管理与质量监督工作提供了强有力的技术支持与创新手段。通过引入先进的信息化工具，可以实现对施工过程更精准、高效和智能化的管控。例如，借助集成化的人员管理与门禁系统，能够对施工人员的出入进行严格登记与实时监控，并结合行为评分机制对其作业规范性形成有效约束，从而及时警示并处理违规操作。在施工现场关键区域部署高清视频监控网络，可实现全天候、无死角的远程可视化巡查，大幅提升了现场安全与秩序的管理效能。同时，通过应用施工材料与机械设备信息化管

理平台，能够对物料消耗量、设备运行状态等进行动态跟踪与数据分析，为成本控制和设备维护提供客观依据，并在后续施工中持续优化资源配置^[5]。

此外，基于工程数字化系统，可将设计图纸作为统一标准，系统性地融入各施工环节的质量评估与检验流程。该系统能够协助管理人员在施工过程中及时发现潜在的质量偏差，并迅速采取纠正措施。在积累数据与经验的基础上，还可不断优化后续施工工艺与方法，从而形成质量管理的闭环，显著提升房屋建筑工程的整体施工质量与可控性。

（四）合理制定从业人员培训制度

尽管现代房屋建筑工程施工已大量采用机械化作业，但施工人员与管理人员的能力与素质依然是决定现场管理成效的根本所在。从管理层面出发，项目管理人员不仅需要熟悉施工现场的实际情况，还应深入理解工程相关的法律法规、技术规范与管理要求。同时，管理人员须具备较强的统筹协调能力，能够科学调配施工材料、合理组织施工人员、有效管理机械设备，确保施工现场各项资源有序配合、高效运转。通过系统培训提升管理人员的组织与执行能力，有助于维持现场良好秩序，从而在保障施工安全与质量的前提下，顺利推进工程进度。

结束语：综上所述，文章提出了完善并落实现代工程管理制度、构建覆盖全流程的综合性管理体系、深度融合信息技术以赋能智慧管控等关键措施。这些措施相互关联、协同作用，旨在构建一个从制度设计到现场执行、从技术应用到人力保障的全方位质量提升闭环。未来应关注绿色建造与智能化技术的深度融合，致力于构建更加科学、动态的从业人员终身技能发展模式，从而在更高维度上实现工程品质、经济效益与社会责任的统一。

参考文献

[1] 同婕瑞. 分析提高房屋建筑工程管理与施工质量 [J]. 建筑·建材·装饰, 2022(21): 19-21.
[2] 肖金国, 张恒鑫. 提高房屋建筑工程管理与施工质量探讨 [J]. 砖瓦世界, 2023(7): 88-90.
[3] 王海峰. 提高房屋建筑工程管理与施工质量的措施 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(22): 139-141.
[4] 王国栋. 提高房屋建筑工程管理与施工质量探究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2020(24): 45-46.
[5] 彭保华. 提高房屋建筑工程管理与施工质量的策略分析 [J]. 工程建设与设计, 2021(14): 199-201.

建筑工程中提升工程质量管理方法

郑雲中

佛山市云东海建筑工程有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ETQM.2026060024

摘 要 : 文章旨在系统探讨建筑工程质量管理的重要性, 剖析当前建筑施工管理中存在的突出问题, 并提出一系列优化策略, 以提升工程整体质量与管理效能。文章从内部控制、风险管理及人员素质等维度分析当前管理中的薄弱环节; 最后, 围绕内部控制环境优化、管理机构健全、风险防控强化、管理制度完善、人员培训体系化及安全管理闭环等方面, 构建系统性改进框架, 以指导建筑企业实现工程质量的全面提升与可持续发展。

关 键 词 : 建筑工程; 提升工程质量; 管理方法

Methods for Improving Engineering Quality Management in Construction Projects

Zheng Yunzhong

Foshan Yundonghai Construction Engineering Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract : This paper aims to systematically explore the importance of engineering quality management in construction projects, analyze the prominent issues currently existing in construction management, and propose a series of optimization strategies to enhance overall project quality and management efficiency. The paper examines the weak links in current management from dimensions such as internal control, risk management, and personnel quality. Finally, it constructs a systematic improvement framework centered around optimizing the internal control environment, strengthening management institutions, enhancing risk prevention and control, improving management systems, systematizing personnel training, and closing the loop on safety management, to guide construction enterprises in achieving comprehensive improvements in project quality and sustainable development.

Keywords : construction engineering; enhancing project quality; management methods

引言

随着我国城市化进程的加速与建筑行业的快速发展, 工程质量已成为影响行业安全、企业存续与社会效益的核心要素。在当前高标准、严要求的建设环境下, 施工管理不仅关乎工程实体的安全与耐久性, 也直接关系到企业的市场竞争力和长远发展。然而, 在实际工程建设中, 管理体系不健全、风险控制不足、人员素质参差不齐等问题依然突出, 制约着工程质量的进一步提升。因此, 深入剖析建筑施工管理中的关键问题, 探索科学、系统的质量管理路径, 具有重要的理论与实践意义。

一、建筑工程质量管理的重要性

(一) 保障工程安全与行业发展的基石

建立健全的质量管理机制, 是实现工程建设品质严格遵循相关规定的基础条件。面对日益加快的城市化步伐及持续增长的住房需求, 我国建筑行业步入高速发展期, 众多建筑企业在这一进程中快速成长壮大。从专业技术和工程管理的视角出发, 一套健全的质量保证体系能够对项目所涉及的材料选用、工艺实施以及竣工验收等各个阶段进行规范化管控, 进而保障工程整体质量满足既定标准。建筑工程本身是一项包含设计规划、现场施工、竣工检验等多阶段的综合性工程, 其流程烦琐、技术难度较高, 任何一个阶段的疏忽都有可能对最终成果的品质造成不利影响。在

当今工程建设标准不断提升的环境下, 工程质量不仅与建筑物的安全性能紧密相连, 也显著关系到建筑企业的经济利益及其可持续发展的市场竞争力。

(二) 提升施工企业核心竞争力的关键途径

强化工程项目质量管理, 是推动施工企业构筑自身核心优势的重要方式。伴随着建筑产业的持续演进与管理体的日益完善, 工程质量管理所依据的标准和提出的要求也在逐步提升。在这一背景下, 开展质量管理工作时, 必须严格依照现行规范执行, 并借助健全的管控机制对施工现场各项操作加以约束, 以此奠定工程质量的稳固基础, 同时促进施工效率的提高。实施全面、系统的质量管理, 不仅能够帮助企业标准化作业程序、减少各类潜在风险, 还可以凭借在质量方面积累的良好声誉获得市场

信任，助力企业在激烈的行业竞争中塑造专业可靠的品牌形象，从而走上可持续的发展道路^[1]。

（三）实现工程与社会效益最大化的重要举措

强化建设工程质量管理，是保障工程实体品质、达成多方效益优化的核心途径。实施过程中需着重管控施工阶段的技术细节与关键节点，确保各项流程均满足既定的技术规范与质量指标，进而维护整体工程成果的稳固与可靠。借助系统而周密的质量管理措施，可以有效避免潜在的质量瑕疵与安全风险，降低项目投入使用后的维修养护支出，并显著提升建筑物的服务年限。从根本上说，优质完成的工程项目不仅能为企业赢得可观的经济收益，还能向社会提供安全稳固、持久耐用的建筑资产，从而促成经济效益与社会效益的协调统一与共同提升。

二、当前建筑施工管理存在的问题

（一）缺乏内部控制力度

当前，许多建筑企业虽然逐步建立了内部控制系统，但在实践中未能实现其应有的独立地位，并且控制体系本身在结构设计上存在缺陷，缺乏有效的制衡与监督机制。部分管理人员习惯于依据个人经验或主观臆断作出决定，既未全面参照施工过程中的实际情况，也忽略了对工程项目整体乃至企业长远发展的综合考量，这使得内控制度在实际操作中逐渐流于形式，未能发挥应有作用。内部控制本应对规范施工流程与管理行为提供有力支撑，然而由于建筑企业未能赋予其足够的独立性和权威性，导致这些制度在管理过程中效用受限，从而削弱了内部控制体系本身的实际价值。同时，一些企业的内部控制制度本身也不够健全，存在条文模糊、责任不清等问题，致使监督人员难以有效履职，其专业能力与监督作用无从施展，最终造成内部控制整体乏力。这种疲软状态不仅会干扰企业管理决策的贯彻与执行，也会对具体施工项目的顺利推进形成阻碍。

（二）缺少风险管理机制

一般而言，风险管理体系的核心职能在于对企业当前经营活动中存在的潜在风险开展科学评估，并依此采取针对性管控行动。然而，目前部分企业忽视对风险的深入剖析，尚未建立起系统化的风险管理机制。一旦缺失此类机制，当风险事件真正发生时，企业往往无法迅速做出有效应对，从而引发经济上的损失。在新的发展阶段，市场环境中不确定因素显著增多，风险形势日趋复杂，尤其在建筑行业，无论是小型还是大型工程项目，通常都涉及巨额资金投入。因此，如果企业缺乏足够的风险防范意识，不仅会干扰正常施工进度，还可能显著提高项目中途停滞或无法完工的风险。此外，在施工管理实践中，一些企业未能对各类风险进行精准辨识，例如在招投标环节就存在着较高的风险隐患，部分企业由于未能对工程进行系统全面的前期评估，导致后续施工阶段问题频发、困难重重^[2]。

（三）管理人员素质偏低

在实施现场管理任务时，一方面要求管理人员具备扎实的专业知识和较强的实务能力，能够基于专业视角对施工现场进行有

序管控，及时发现并准确指出存在的问题；另一方面，还需拥有较强的安全责任意识，能够敏锐识别施工过程中可能出现的各类风险或隐患，从而精准定位问题所在，并以此提升整体管理控制水平。然而从目前情况看，多数管理人员往往难以同时满足上述两方面要求。部分管理人员缺乏对工程项目和施工管理的深入认识，未能将安全意识内化于心、外化于行；另一部分则在专业能力上存在明显短板，难以达到岗位所需的标准。面对这种状况，建筑企业既未对管理人员开展系统化、针对性的培训，也未能根据其能力特点进行合理的岗位配置与分工，导致整体管理水平呈现逐步下滑的趋势。

三、优化建筑施工管理提高建筑工程质量的有效策略

（一）优化内部控制环境

在新的发展阶段，企业应当系统优化其内部整体环境，充分响应组织内部不同层面的需求，以此促进健康、正向的企业文化形成，并为企业持续发展提供动力，进而为工程质量的稳定提供保障。员工作为企业发展的根基，其能力与素养直接影响管理成效，因此必须重视并落实对管理人员的系统培养工作。只有通过科学、有针对性的培养机制提升管理人员综合素质，才能切实改善各层级的管理水平，最终实现施工现场的高效与规范管理。

在此过程中，企业需向管理人员持续传递积极的核心价值观，增强其归属感与责任感，从而在建筑企业与管理团队之间建立紧密连接。这种内在联系不仅有助于推动内部控制体系稳定运行，也能够充分释放内部控制机制的效能，提升其在项目管理中的实际应用价值。与此同时，还应进一步完善建筑企业的绩效考核体系，对工程人员及管理人员实施全面、客观的评估，并给予公正评价。科学的考核机制一方面能够激发员工的竞争意识，促使其以更加认真的态度投入施工管理工作；另一方面也有助于培养员工的进取精神，从而增强其对施工管理工作的责任感，整体提升管理工作的专业水平。内部控制作为影响施工管理成效的内有关键因素，只有从根本上改善内控环境、解决内部治理问题，才能为建筑工程的顺利推进创造有利条件，切实保障施工过程的安全与可控^[3]。

（二）健全管理机构

在日常管理中，相关工作应涵盖定期的质量巡检与持续的过程监督，通过常态化、制度化的监督机制，逐步增强施工人员的质量意识与责任观念，促使他们在作业中更加严谨规范地遵守技术要求。与此同时，施工现场的质量管控也是管理机构的重要职责。以往因对现场管理重视不足，常出现环境杂乱、物料堆放无序等问题，这类现象不仅影响施工效率，也会对工程最终品质造成潜在损害。而通过机构和人员的有效介入，可对施工现场开展系统检查与实时督导，确保施工人员严格遵循工艺规程，保证每道工序的施工质量。此外，随着建筑行业的技术创新和材料升级，相关管理知识与方法也需要持续更新。管理人员应主动适应行业发展，不断学习新技术、新理念，保持专业能力与时代同步，从而为提升工程质量提供更有效的管理支持与服务保障。

（三）加强风险防控

施工过程中常涉及多种材料与设备的使用，这些物资的质量状况需要专人进行细致核查与持续监督。设立专门的风险管控部门后，不仅能对进场材料执行更为严格的审查程序，还能及时发现并剔除不符合标准的物资，从源头上降低因材料问题引发的施工风险。其次，企业应组织对现有员工开展系统性的风险防控培训，重点提升一线人员识别现场风险的专业能力，并强化全员的风险防范意识。通过持续的教育引导，使员工能够将风险防控理念融入日常作业，以更严谨的态度对待施工现场的各个环节，从而在提升施工过程可控性的同时，提高整体作业效率。此外，企业还需建立健全风险评估机制，对可能出现的各类风险进行前瞻性研判与动态评估。当风险显露或潜在风险增大时，能够依托科学的评估手段做出准确判断，从而采取有效措施将风险隔离在施工环节之外，最终为工程质量的稳步提升提供坚实保障。

（四）完善管理制度

为保证工程质量能够符合规范要求，需要建立相应的制度体系，对施工人员进行系统化的科学管理。在这一过程中，各相关部门需协同配合、密切协作，这样不仅有助于减少施工现场的安全事故，也能进一步提高工程的整体效益。值得注意的是，管理制度不仅面向施工人员，也旨在规范各部门的行为，促使其形成良好的协作机制。若管理制度较为健全，一方面能够促进部门之间的高效联动，从而系统推进施工管理的各项工作；另一方面也能让施工人员清晰地理解自身的岗位职责，增强工作责任感，保障工程建设有序进行。此外，还应着力构建系统化的管理网络，这对建筑施工管理而言至关重要。只有建立起完善的管理体系框架，才能实现内部管理与外部协调的有机结合，形成内外联动的管控机制。这种协同作用既能促进各环节的有效衔接，也能对施工全过程实施有力监督，最终为工程质量的稳定提供制度保障^[4]。

（五）加强人员培训

管理人员的能力水平和专业素养直接影响施工管理的成效，因此有必要通过科学的培训体系提升其管理能力，从而整体提高施工管理水平。特别是基层和中层管理人员，他们的综合素质往往反映企业项目执行的扎实程度，因而必须重视并扎实推进相关培训工作。

通常情况下，管理能力可以从两个维度进行综合评估：一是管理理论知识的掌握程度，二是实际管理技能的运用水平。这两个方面相辅相成、缺一不可，任何一方的缺失都难以实现真正意义上的科学管理。因此，在设计培训方案时也应从这两个维度系统展开。一方面，知识层面的培养应涵盖施工技术基础知识、项目整体概况以及企业组织架构与运行机制等内容，使管理人员形成系统化的认知框架。另一方面，技能培养则侧重于管理方法、沟通技巧及现场协调能力的提升，尤其需要强化管理人员对科学管理原则的理解与遵循。只有将规范的管理原则与严格的现场监督有机结合，才能切实推动施工过程的规范化，进而为工程质量的稳定与提升提供可靠保障^[5]。

（六）加强安全管理

在工程实践中，安全预防是安全管理的核心与重点，人们常说“防患于未然”，这意味着所有安全工作都必须提前谋划、主动介入。一旦发现潜在的安全隐患，就要立即组织排查；即使只是细微的苗头性问题，也要及时处理，避免问题扩大，给企业带来更大的损失。其次，应落实安全复查管理。在完成安全预防和相关整改工作后，还需对已发现或已处理的问题进行跟踪检查，确认其是否得到彻底解决、是否符合预期效果，从而形成管理闭环，确保安全措施持续有效。此外，安全管理还应贯穿施工全过程，覆盖所有作业环节与参与人员。通过建立健全的安全责任体系，明确各级人员的安全职责，并结合定期培训与应急演练，增强全员的安全意识和应急处置能力，从而在制度与执行层面筑牢安全防线，为工程顺利推进提供坚实保障。

四、结束语

综上所述，通过分析当前建筑施工管理中在内部控制、风险机制、人员素质等方面存在的问题，从环境优化、机构健全、风险防控、制度完善、培训强化及安全管理等多个维度提出了一系列改进策略。这些措施共同构成一个多层次、互动性强的管理框架，有助于建筑企业在实践中形成更科学、更高效的质量管控体系。未来需在智能化技术应用、绿色建筑融合、跨阶段协同管理等方面进一步深化研究，以适应行业发展的新要求，推动建筑工程质量向更高水平迈进。

参考文献

- [1] 时家括. 基于建筑工程施工质量管理方法及控制策略研究[J]. 建筑·建材·装饰, 2025(7): 52-54.
- [2] 巫石生. 论述建筑工程中提升工程质量管理方法[J]. 砖瓦世界, 2025(22): 211-213.
- [3] 裴福轩, 万明, 梁存才, 等. 建筑工程施工质量管理方法及控制策略研究[J]. 居业, 2021(11): 152-153.
- [4] 成莺. 建筑工程管理及施工质量控制的有效策略[J]. 居业, 2025(2): 135-137.
- [5] 姚成刚. 提升建筑工程进度与质量管理效率的对策[J]. 中国住宅设施, 2025(8): 97-99.

关于房屋建筑质量管理和通病治理措施分析

朱章熙

道熹建设工程有限公司，广东 湛江 524500

DOI:10.61369/ETQM.2026060025

摘 要： 文章系统分析房屋建筑质量管理和通病治理措施，阐述施工质量管理对居住安全与成本控制的重要意义，深入剖析墙体裂缝、设计缺陷、施工不规范等常见质量通病成因。提出五大治理措施：规范工程设计施工全过程管理、健全质量监督体制、提升人员专业素质、推广新材料新技术等。研究强调构建全过程质量管控体系，通过源头预防、过程严控、多方协同监管，从根本上遏制质量通病，保障建筑工程品质与住户安全，推动建筑行业高质量发展。

关 键 词： 房屋建筑；质量通病；质量措施

Analysis of Quality Management and Common Problem Control Measures in Housing Construction

Zhu Zhangxi

Daoxi Construction Engineering Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524500

Abstract： This paper systematically analyzes quality management and common problem control measures in housing construction, elucidating the significance of construction quality management for residential safety and cost control. It delves into the causes of common quality issues such as wall cracks, design flaws, and non-standard construction practices. Five major control measures are proposed: standardizing the entire process management of engineering design and construction, improving the quality supervision system, enhancing the professional competence of personnel, and promoting the application of new materials and technologies. The study emphasizes the establishment of a comprehensive quality control system throughout the entire process, aiming to fundamentally curb common quality problems through source prevention, rigorous process control, and collaborative supervision by multiple parties, thereby ensuring the quality of construction projects and the safety of residents, and promoting high-quality development in the construction industry.

Keywords： housing construction; common quality problems; quality control measures

引言

房屋施工质量管理贯穿建筑全生命周期，直接影响安全、成本和居住品质。优质工程能保障结构安全、减少资源浪费，但实际施工中常因设计缺陷、材料问题或操作不当引发裂缝、渗漏等质量通病。文章从规范设计施工、完善监管机制、加强人员培训、应用新技术四方面提出治理措施，构建“预防、控制、改进”全流程管理体系，为提升工程质量提供参考。

一、房屋建筑施工质量管理的重要

房屋建筑施工质量管理关乎多方核心利益，其重要性主要体现在三大关键层面，贯穿建筑全生命周期与使用全过程。首先，过硬的施工质量是打造宜居空间的基础，能为民众营造安全舒适、经久耐用的居住环境，切实提升居住体验与生活幸福感；反观质量不达标建筑，往往暗藏结构瑕疵、功能缺陷等多重隐患，不仅影响居住舒适度，更会直接危及住户的身心健康与日常起居安全。其次，施工质量管理与项目成本管控息息相关，精细化的

质量管控能从源头规避施工失误、材料浪费等问题，提升现场作业效率，大幅减少后期维修、翻新乃至返工的频次，有效降低全周期运维成本，避免不必要的资金损耗与资源浪费，同时规避工期延误带来的额外经济支出。最为核心的是，建筑质量直接决定使用者的生命财产安全，劣质工程常伴随结构失稳、建材不合格、工艺不规范等硬伤，极易引发坍塌、渗漏等安全事故，造成严重人员伤亡与财产损失；唯有筑牢质量管理防线，落实全过程严密的监督、检测与管控机制，才能提前排查化解潜在风险，牢牢守住房屋使用的安全底线。

二、屋建筑工程中常见的质量通病

（一）墙体裂缝问题

建筑施工中，若作业人员未严格恪守标准化操作规程，极易致使异物夹杂于墙体与屋面混凝土的结合界面。此类施工瑕疵不仅会直接诱发墙体结构性开裂，更可能导致排气及排水系统的功能性阻塞，严重削弱建筑的整体性能。在房屋建筑工程中，裂缝形态复杂多样，主要涵盖干缩、温度应力、塑性收缩、化学收缩以及地基沉陷等类型。

干缩裂缝的根源在于混凝土浇筑阶段的过程管控失效。当施工人员忽视对水灰比的精准把控及养护规范的落实时，墙体表层水分迅速散失，而内部水分迁移滞后。这种内外湿度梯度的失衡，导致混凝土产生非均匀体积收缩，进而积聚巨大的拉应力，最终撕裂墙体表面。温度裂缝则主要由热力学效应主导：混凝土硬化期间释放的水化热若无法均匀消散，将在构件内外形成显著温差。由此产生的温度应力场一旦超过材料抗拉极限，便会导致混凝土板结，并在多向应力作用下萌生并扩展裂缝。

（二）工程设计的不科学造成房屋质量通病

科学严谨的前期设计是构筑卓越建筑质量的基石，若设计方案本身存在逻辑漏洞或脱离实际，后期的施工监控便如空中建塔，难以从根本上规避质量风险。然而在实际工程中，受限于设计人员责任意识的淡薄、施工单位监管体系的缺位以及企业质量文化的缺失，设计方案往往埋下隐患^[1]。

首先，部分项目的总体架构缺乏科学性。一些设计人员未深入现场进行实地考察，仅凭理论数据闭门造车，炮制出理想化却脱离实际的空中楼阁式方案。这种设计与现场的脱节，不仅令施工人员在作业时无所适从，更导致构件选型与安装严重偏离预设标准，成为诱发工程质量通病的源头之一。

其次，关键节点的结构配筋设计存在显著瑕疵。在混凝土框架梁板节点及负弯矩区域，常出现钢筋配置过密、排布次序混乱的现象，导致钢筋间距无法满足规范最小限值要求。这一设计缺陷直接阻碍了混凝土的顺利浇筑，致使振捣棒无法有效插入，造成内部振捣不实。其后果是混凝土密实度大幅下降，硬化后内部残留大量气泡与微小孔洞，严重削弱了结构的整体强度与耐久性，甚至可能引发渗漏与裂缝等次生灾害。

此外，设计阶段对新材料、新工艺的适配性评估不足，以及对当地地质水文条件的忽视，也加剧了质量问题的发生频率。设计不仅是图纸的绘制，更是对全生命周期质量的预控。若不能在设计源头强化多专业协同复核机制，推行精细化设计管理，任何施工端的努力都难以弥补先天性的基因缺陷。因此，必须建立严格的设计审查与责任追究制度，确保每一处细节都经得起实践检验，从源头上斩断质量通病的传播链条^[2]。

（三）施工人员业务能力欠缺

在建筑施工过程中，人员素质是决定工程质量的关键变量。当前部分一线作业人员对建筑工艺流程及操作规范认知不足，难以准确把握设计图纸的技术要点与施工标准，导致实际操作中出现偏差，埋下质量隐患。同时，专业技能欠缺问题较为突出，一

些施工人员对现代化施工设备的性能特点及操作方法掌握不熟练，不仅影响作业效率，更可能因操作不当引发质量缺陷。更为重要的是，部分从业人员职业素养有待提升，责任意识和敬业精神相对薄弱，工作中存在粗心大意、敷衍塞责等现象，对细节把控不够严格。这种态度问题往往导致工序衔接不畅、质量检验流于形式，进而影响整体工程进度与品质。因此，加强施工人员技术培训、完善考核机制、强化职业道德教育，是提升工程质量的重要保障。只有打造专业化、规范化的施工队伍，才能从根本上确保建筑项目的高质量交付。

（四）工程施工方面造成的房屋质量问题

若施工环节管控不力，依然难以铸就优质工程。施工阶段需在坚守总体建造方案的前提下，依据现场环境动态优化实施策略，以确保最终建筑品质达标。鉴于房屋建筑工程具有系统复杂、涉及面广的特性，施工流程的规范性与操作标准的执行力直接决定了成品的质量优劣。在施工前，应组织多专业对设计图纸进行深度复核，一旦发现设计与现场实际存在冲突或模糊之处，须立即向上级汇报并启动多方协商程序，推动设计与施工的深度融合，避免因技术交底不清导致现场无所适从或盲目施工。设计深度与施工深度的有效衔接，能确保技术难题在萌芽状态即获得精准解决方案，防止因沟通壁垒造成质量缺陷。

材料管控是施工质量的生命线。在建材与构配件的选用上，必须紧密结合工程实际工况，严禁材料的滥用、误用或以次充好，从源头杜绝因材料性能不匹配引发的结构隐患。同时，需构建全员质量责任体系，通过常态化培训与技术交底，时刻督促作业人员严格恪守建筑工程技术标准，将规范操作内化为自觉行为。

施工过程中的动态监测与成品保护同样不容忽视。应引入数字化管理手段，对关键工序进行实时跟踪，确保每一道工序均处于受控状态。只有将精细化管理贯穿于施工全生命周期，实现人、机、料、法、环五大要素的有机统一，才能从根本上遏制质量通病，打造出经得起时间检验的精品工程。

三、避免质量通病出现，提高房屋建筑质量的措施

在房屋建筑领域，质量通病的防治直接关系到住户的切身利益和居住体验。渗漏、开裂等常见问题不仅给居民日常生活带来诸多不便，更会造成额外的经济负担和时间损耗。要有效解决这些问题，必须建立全过程的质量管控体系，从设计源头开始就针对性地制定防治方案，在施工过程中严格执行材料验收、工艺控制和工序检查等关键环节，同时运用现代技术手段提升质量监管效能。建设各方都应强化质量责任意识，将预防质量通病作为工程管理的核心任务，通过建立质量责任终身制和完善信用评价体系等措施，形成有效的质量约束机制，切实保障建筑工程品质，让住户获得安全舒适的居住环境。

（一）墙体裂缝问题防治措施

墙体裂缝防治需从材料、工艺及养护三方面协同管控。混凝土浇筑前应严格清理基层杂物，防止异物落入墙体与混凝土结合

部位，同时做好管道保护避免堵塞。配合比设计需合理控制水灰比，加强振捣管理确保密实度均匀。针对干缩裂缝，抹灰前湿润墙面并控制砌块含水率，养护期不少于7天，覆盖保湿防止早期失水。温度裂缝防治重点控制内外温差，施工顺序应遵循先主体后附属原则，减少不均匀沉降影响。通过落实工序责任追溯，将裂缝防治纳入全过程质量管理，有效提升墙体抗裂性能，保障结构安全。

（二）规范工程设计、施工过程

保障房屋建筑工程质量的核心在于构建从设计源头至施工验收的全链条规范化管理体系。设计阶段作为工程建设的起点，其质量直接决定后续施工效果与建筑安全性能。设计单位应当高度重视人才队伍建设，通过定期组织专业培训、技术交流及案例研讨等方式，持续提升设计人员的专业素养与业务能力，确保其深入理解并熟练运用现行建筑标准规范。在实践过程中，设计人员需强化全局意识，充分考量施工工艺的可行性与现场操作条件，科学合理地选择建筑材料与构配件，杜绝因材料性能不匹配或规格不当而埋下质量隐患。施工阶段则需严格遵循设计图纸与技术规范，建立健全工序交接检验制度，确保每道工序质量达标后方可进入下一环节。竣工验收环节必须严格执行国家强制性标准，尤其对地基基础、主体结构、防水工程等关键部位实施全方位、多层次的质量核查与检测。与此同时，图纸审查机构应充分发挥监督职能，结合项目所在地域特点与气候条件，组织建筑、结构、机电等多专业部门开展协同审查工作，重点排查设计方案中可能存在的共性质量缺陷与技术漏洞，并督促设计单位限期整改完善，确保施工图纸具备科学性与可实施性。此外，还应建立设计质量追溯机制，将设计责任落实到具体人员，形成有效的激励与约束机制。通过构建这样环环相扣、层层把关的质量管控体系，方能从源头上有效预防工程质量通病的发生，为建筑全生命周期安全奠定坚实基础。

（三）建立健全房屋建筑质量监督体制

要构建完善的房屋建筑质量监督体系，必须建立多维度、全过程的监管机制。立法层面需要加快完善建筑质量相关法律法规，为质量监督提供坚实的法律依据。质量监督机构应当严格履行监管职责，对勘察、设计、施工等各环节实施全过程动态监督，确保参建各方规范运作。执法部门要加大对违规惩处力度，通

过典型案例警示强化质量责任意识。施工单位需建立健全内部质量管控体系，将标准化施工要求落实到每个操作环节。同时要充分发挥行业协会的专业指导作用，通过制定行业标准、开展技术培训等方式推动建筑行业高质量发展，形成政府监管、企业自律、行业引导的良性互动机制，全面提升建筑工程质量水平^[3]。

（四）提高房屋监督人员素质

在数字化时代背景下，提升房屋质量监督人员的专业素养是保障建筑工程品质的核心环节。监督机构应当着力构建复合型人才培养体系，通过系统化的法律法规培训、前沿技术应用课程以及典型质量案例剖析，全面提升监督人员的专业技术能力与风险预判水平。同时需强化职业道德建设，建立考核激励机制，促使监督人员主动掌握新材料、新工艺的应用要点。通过定期组织施工现场实训与跨区域技术交流，培养既熟悉规范标准又具备实践经验的监督队伍，使其能够精准识别质量隐患，运用数字化监管手段实现全过程质量管控，从而为建筑质量通病防治和工程品质提升提供坚实的人才保障^[4]。

（五）推广新材料新技术

当前诸多建筑质量顽疾，往往溯源至传统建材自身的性能局限与工艺短板。大力推广前沿建筑材料与创新施工技术，不仅能从物理根源上规避因材料缺陷引发的渗漏、裂缝等通病，更能显著优化资源配置，实现降本增效的双重目标。然而，新技术的落地并非一蹴而就，必须遵循科学严谨的演进逻辑，经历从小范围试点验证、数据监测到经验复盘的完整周期，坚决杜绝盲目跟风与激进推广。唯有在确保技术成熟度、安全性及经济性得到充分实证后，方可启动规模化应用，从而以科技赋能推动建筑行业向高质量、精细化方向转型升级^[5]。

四、结束语

房屋建筑施工质量管理是工程建设的核心，质量通病的治理更是保障建筑品质与住户安全的关键。建筑工程质量管控需贯穿全生命周期，通过源头预防、过程严控、多方协同的管理模式，筑牢质量防线，从根本上遏制质量通病。唯有持续强化质量责任意识，以科学管理与技术创新赋能行业发展，才能切实保障建筑工程质量，推动房屋建筑行业实现高质量、可持续发展。

参考文献

[1]李卫东,刘鲲鹏,田素启. 建筑施工临时用电安全管理 [J]. 管理观察, 2009(18):242-243.
[2]邱少清. 浅谈建筑施工临时用电安全 [J]. 山西建筑, 2007, 33(17):223-224.
[3]陈元权. 试论建筑施工临时用电安全管理 [J]. 中国新技术新产品, 2011(15): 250.
[4]江飞跃. 建筑工程施工现场临时用电安全防护对策研究 [J]. 砖瓦世界, 2025(12):61-63.
[5]钟桂芳. 浅论房屋建筑质量管理和通病治理措施 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2013(15).

数字化转型驱动下的港口作业安全管理创新机制研究

张磊

天津港联盟国际集装箱码头有限公司, 天津 300461

DOI:10.61369/ETQM.2026060028

摘 要 : 随着全球贸易复苏与港口智能化升级,数字化转型已成为港口高质量发展的必然趋势,而安全管理作为港口作业的核心底线,直接关系到人员生命、财产安全与行业稳定发展。当前,港口作业场景日益复杂,风险点增多,传统安全管理模式已难以适配数字化发展需求,二者的协同融合成为破解管理难题、提升安全水平的关键。本文立足数字化转型与港口安全管理的协同关系,剖析当前港口安全管理存在的突出问题,提出针对性创新实施策略,为港口安全管理高质量发展提供支撑。

关 键 词 : 数字化转型;港口作业;安全管理;创新机制

Research on the Innovation Mechanism of Safety Management in Port Operations Driven by Digital Transformation

Zhang Lei

Tianjin Port Alliance International Container Terminal Co., Ltd., Tianjin 300461

Abstract : With the recovery of global trade and the intelligent upgrading of ports, digital transformation has become an inevitable trend for the high-quality development of ports. As the core foundation of port operations, safety management is directly related to the safety of personnel and property, as well as the stable development of the industry. Currently, port operation scenarios are becoming increasingly complex, with a growing number of risk points. Traditional safety management models are struggling to meet the demands of digital development, making the integration and synergy between the two crucial for solving management challenges and enhancing safety standards. This paper examines the synergistic relationship between digital transformation and port safety management, analyzes the prominent issues in current port safety management, and proposes targeted innovative implementation strategies to support the high-quality development of port safety management.

Keywords : digital transformation; port operations; safety management; innovation mechanism

一、数字化转型与港口安全管理的协同关系

数字化转型与港口安全管理是相互支撑、协同共进的有机整体,二者的深度融合的不仅能提升港口安全管理水平,更能为数字化转型指明方向,为港口安全管理创新机制构建奠定坚实理论基础。

数字化转型对港口作业安全管理具有显著赋能作用。在安全监控方面,通过部署智能摄像头、传感器等设备,结合视觉大模型等技术,实现港区全场景、无死角覆盖,解决传统人工监控漏抓、难追溯的问题,提升监控全面性。在风险预警上,依托大数据分析技术,实时整合作业环境、设备运行等数据,精准识别风险隐患并及时预警,增强预警及时性。在管理效率方面,数字化系统替代人工繁琐操作,实现安全审批、调度等流程自动化,大幅优化管理效率。在隐患治理上,通过建立数字化台账,实现隐患上报、整改、复核全流程留痕,构建闭环管理体系,确保隐患及时清零。

港口安全管理的实际需求为数字化转型提供明确导向。港口作业场景复杂、风险点多,对监控覆盖、风险预判、效率提升等的需求,推动数字化技术向精准化、智能化升级,避免转型脱离

实际。二者相互促进,数字化转型赋能安全管理提质增效,安全管理需求牵引数字化转型精准发力,形成协同发展格局,为港口安全管理创新机制的构建提供了理论支撑和实践路径。

二、港口作业安全管理存在的主要问题

(一) 技术应用层面

数字化技术在港口安全管理中的应用呈现碎片化特征,缺乏统一的整合平台,各类技术分散应用于装卸、仓储、运输等不同作业环节。不同系统由不同厂商开发,数据标准不统一、接口不兼容,导致数据无法有效互通共享,形成信息孤岛,难以实现对港口安全的全面统筹管控。同时,部分数字化技术与港口实际作业场景脱节,适配性不足,例如 AI 识别模型未充分考虑港口露天作业的风雨、粉尘等复杂工况,对违规操作、安全隐患的识别精度不足,误报率较高,不仅增加了工作人员的排查负担,还可能因误报忽视真正的安全风险,影响安全管理成效。

(二) 管理模式层面

港口安全管理仍未摆脱传统层级管理的局限,管理模式较为

僵化。各部门之间存在信息壁垒，安全信息共享不畅，缺乏健全的协同处置机制，当出现跨部门的安全隐患或突发事件时，易出现推诿扯皮、响应滞后的情况。此外，安全决策多依赖管理人员的过往经验，缺乏数据驱动的科学支撑，对安全风险的判断不够精准，隐患排查工作存在明显盲区，部分隐蔽性较强的安全隐患难以被及时发现，导致安全管理效率低下，无法实现对安全风险的主动防控。

（三）制度体系层面

随着数字化技术在港口安全管理中的广泛应用，现有制度体系已难以适配转型需求，呈现明显的滞后性。针对数字化安全管理的相关规章制度不完善，数据安全、数字化设备操作规范、安全责任划分等方面存在空白，导致数字化技术应用缺乏明确的制度指引，易出现操作不规范、责任不清晰的问题。同时，安全培训工作未跟上技术升级步伐，部分员工缺乏数字化操作技能，对智能监控设备、大数据分析系统等的操作不熟练，无法充分发挥数字化技术在安全管理中的作用，进一步制约了数字化转型与安全管理的深度融合。

（四）风险管控层面

港口作业风险点多、类型复杂，尤其是隐性风险的管控难度较大，设备长期运行产生的磨损、危化品运输与仓储过程中的微量泄漏等隐性风险，难以及时被识别和排查。风险评估工作缺乏动态性，多采用静态评估方式，无法根据作业环境、设备状态的变化实时更新评估结果，导致风险预判不够精准。此外，应急预案流于形式，内容缺乏针对性和可操作性，且数字化应急处置手段不足，面对突发事件时，无法通过数字化系统快速调度资源、制定处置方案，应急响应效率低下，难以有效降低事故损失。

三、数字化转型驱动下港口作业安全管理创新机制的实施策略

（一）技术层面实施策略

技术创新是数字化转型驱动港口安全管理创新的核心支撑，需聚焦核心技术突破、系统整合优化、场景适配升级，构建全方位、智能化的技术支撑体系。首先，加大数字化技术投入力度，明确投入重点与优先级，将资金向 AI 大模型、数字孪生、数据中台等核心技术的研发与应用倾斜，避免盲目投入造成资源浪费。可借鉴国内先进港口经验，分阶段、分步骤推进技术升级，例如某沿海枢纽港制定三年数字化升级规划，累计投入 1.2 亿元，逐步建成覆盖全港区的数字化安全监控系统、设备智能运维系统和风险预警平台，实现从基础监控到智能管控的跨越式提升。

其次，打破技术应用碎片化困境，建立统一的数据标准与技术规范。针对当前不同系统数据不兼容、信息孤岛突出的问题，组织技术专家、港口管理人员联合制定统一的数据采集、存储、传输、分析标准，明确各系统的接口规范，推动装卸、仓储、运输、危化品管理等各环节系统的数据互通共享，实现安全数据的集中管理与统一调度。例如，规范设备运行数据、作业人员操作数据、环境监测数据等各类安全相关数据的格式，确保数据能够

在数据中台实现高效整合与分析，为安全决策提供全面、准确的数据支撑。

最后，加强产学研协同创新，提升技术适配性。港口应主动加强与科技企业、科研院所的合作，联合研发适配港口复杂作业场景的数字化安全管理技术与解决方案，重点攻克极端天气下视觉识别、危化品微量泄漏检测、大型设备故障预判等技术难题。例如，联合高校研发适配港口露天作业的抗风雨、抗粉尘 AI 识别模型，优化算法精度，降低误报率；与科技企业合作开发数字孪生港口系统，构建港区三维虚拟模型，实现作业场景、设备状态的实时模拟，提前预判作业风险，为安全管控提供可视化支撑。

（二）管理层面实施策略

管理模式优化是确保数字化转型驱动安全管理创新落地见效的关键，需通过制度完善、架构优化、评估保障，构建协同高效、权责清晰的管理体系。首先，完善港口作业安全管理制度，结合数字化技术应用需求，修订完善安全操作规程、责任追究制度、数据安全管理制度等相关规章，确保数字化安全管理有章可循、有规可依。例如，针对 AI 监控系统、数字孪生平台等数字化设备的操作流程，制定专项操作规程，明确操作标准、责任主体和应急处置措施；修订安全责任追究制度，将数字化设备操作规范执行情况、数据安全情况纳入责任追究范围，强化全员安全责任意识。

其次，优化安全管理组织架构，打破部门壁垒，明确各部门、各岗位的安全管理责任。整合安全管理相关部门职能，成立数字化安全管理专项工作组，统筹推进数字化安全管理创新机制的落地执行，协调解决实施过程中出现的跨部门问题。明确各部门在数字化安全管理中的职责，例如技术部门负责数字化设备的运维与技术升级，安全管理部门负责风险排查与预警处置，作业部门负责一线数字化设备的规范操作，确保各项工作有序推进、责任落实到人。

最后，建立创新机制实施效果的评估体系，确保创新策略落地见效。结合港口安全管理目标，制定科学的评估指标，涵盖技术应用成效、安全管理效率、隐患治理效果、事故发生率等多个维度，明确评估标准和评估周期。定期开展评估工作，通过数据对比、现场检查、员工调研等方式，全面掌握创新机制的实施情况，及时发现实施过程中存在的问题与不足，并根据评估结果优化调整实施策略。例如，通过对比数字化系统应用前后的隐患排查效率、事故发生率，评估技术应用成效；通过员工反馈，了解制度执行情况和管理流程的合理性，针对性地优化管理措施，确保创新机制始终贴合港口安全管理实际需求。

（三）人员层面实施策略

人员是数字化转型与安全管理创新的核心主体，需通过人才培养、交流激励，提升全员数字化素养和安全管理能力，激发全员参与创新的积极性。首先，制定针对性的人才培养计划，构建分层分类的培训体系，满足不同岗位员工的培训需求。针对管理人员，重点开展数字化安全管理理念、数据驱动决策、创新机制实施等方面的培训，提升其统筹协调和科学决策能力；针对技术人员，重点开展 AI 大模型、数字孪生、数据中台等核心技术的

培训，提升其技术研发、设备运维和问题解决能力；针对一线作业人员，重点开展数字化设备操作规范、安全风险识别、应急处置等方面的培训，确保其能够熟练操作数字化设备，规范开展作业。

其次，搭建人才交流平台，促进全员能力提升。定期组织开展数字化安全管理经验交流活动，鼓励员工分享数字化设备操作技巧、安全风险排查经验、创新管理思路等，实现经验共享、相互学习。建立跨岗位、跨部门的人才交流机制，安排技术人员、管理人员、一线作业人员相互交流学习，了解不同岗位的工作需求和技术应用难点，提升全员综合素养。同时，鼓励员工参与行业内的数字化安全管理交流活动，借鉴其他港口的先进经验和优秀做法，拓宽视野，激发创新思路。

最后，完善激励机制，激发员工工作积极性和创新热情。将数字化安全管理的工作成效与员工的绩效考核、职称评定、评优评先等直接挂钩，对在数字化技术应用、安全管理创新、隐患排查处置等方面表现突出的员工给予表彰奖励，对未按要求执行数字化安全管理规定、造成安全隐患或事故的员工进行处罚。

（四）政策与环境层面实施策略

良好的政策环境和行业氛围是推动数字化转型驱动港口安全管理创新的重要保障，需通过政策争取、行业合作、标准推广，为创新机制实施创造有利条件。首先，积极争取政府的政策支持与资金扶持。主动对接政府相关部门，了解数字化转型、安全生产相关的扶持政策，积极申报专项补贴、科研项目资金等，利用政策红利推进港口数字化安全管理升级。例如，争取政府对港口数字化安全技术研发、设备更新的专项补贴，缓解资金投入压力；申报数字化转型示范项目，争取政策指导和资源支持，推动

创新机制落地实施。

其次，加强行业内的交流合作，实现经验共享与共同提升。主动与青岛港、南京港等数字化安全管理成效显著的典型港口建立合作关系，通过实地考察、座谈交流等方式，深入学习其数字化转型经验、安全管理创新模式、技术应用路径等，结合自身港口的实际情况，优化完善自身的实施策略。参与港口行业协会组织的交流活动，分享自身的创新实践经验，与其他港口共同探讨数字化转型过程中遇到的共性问题，共同探索解决方案，推动整个港口行业数字化安全管理水平的提升。

最后，推动数字化安全管理标准的制定与推广。联合行业内的先进港口、科技企业、科研院校，参与制定港口数字化安全管理相关标准，明确数字化技术应用、数据安全、人员操作规范等方面的要求，推动港口安全管理向规范化、标准化方向发展。积极推广数字化安全管理标准，引导行业内其他港口借鉴实施，形成统一的行业规范，提升整个港口行业的安全管理水平。

四、结语

数字化转型为港口作业安全管理创新注入了新动能，也对安全管理的技术、管理、人员、政策环境提出了更高要求。本文通过分析二者协同关系、梳理现存问题、提出实施策略，明确了数字化转型与港口安全管理深度融合的路径。唯有统筹推进技术升级、管理优化、人才培育与政策保障，破解碎片化、协同不足等难题，才能构建科学高效的安全管理创新机制，推动港口安全管理向智能化、规范化转型，为港口行业安全、有序、高质量发展筑牢根基。

参考文献

[1] 董裕恒. 数字化转型驱动下的港口作业安全管理创新机制研究 [J]. 湖北应急管理, 2025, (22): 25-27.
[2] 闫国康. 浅析港口作业安全管理系统性优化及实践 [J]. 现代职业安全, 2025, (09): 83-85.
[3] 韩志永, 牟洪涛. 港口干散货作业安全管理问题与对策研究 [J]. 中小企业管理与科技, 2024, (22): 85-87.
[4] 扶子澜. 智慧水运技术在港口作业安全管理中的应用研究 [J]. 珠江水运, 2024, (17): 32-34.
[5] 吴俊峰. 我国智慧港口数字化转型趋势与创新平台建设 [J]. 中国港口, 2021, (10): 20-23.

轨道车安全行车管控与故障应急处置研究

田瑞生

国能集团新朔铁路公司机务分公司，内蒙古 鄂尔多斯 010300

DOI:10.61369/ETQM.2026060029

摘 要： 本研究从人、机、环、管四个维度系统识别风险源，构建了涵盖出车前检查、运行中监控、收车后维保的全过程安全管控框架，并建立了基于车载监测和数据传输的动态预警机制。针对动力、走行、制动及电气系统的典型故障，制定了标准化应急处置原则和专项技术方案。实践应用表明，该体系有效降低了故障发生率和行车事故率，显著提升了应急处置效率。从人员培训、设备维保与管理协同三方面提出保障机制，为轨道车安全运行提供技术支撑和管理路径。

关 键 词： 安全管控；故障应急处置；风险识别；实践应用

Research on Safety Control of Track Vehicles and Emergency Fault Handling

Tian Ruisheng

Guoneng Xinshuo Railway Co., Ltd. Locomotive Branch, Ordos, Inner Mongolia 010300

Abstract： This study systematically identifies risk sources from four dimensions: people, machinery, environment, and management. It constructs a complete safety control framework covering pre-departure inspection, in-operation monitoring, and post-departure maintenance, and establishes a dynamic early warning mechanism based on on-board monitoring and data transmission. For typical faults in power, running, braking, and electrical systems, standardized emergency handling principles and special technical plans have been formulated. Practical applications have shown that this system effectively reduces the occurrence rate of faults and the rate of traffic accidents, significantly improving the efficiency of emergency handling. Three guarantee mechanisms, including personnel training, equipment maintenance and management coordination, are proposed to provide technical support and management paths for the safe operation of track vehicles.

Keywords： safety control; emergency fault handling; risk identification; practical application

引言

轨道车承担着铁路物资运输、施工作业及应急处置等重要职能，其运行安全直接关系到线路畅通和人员防护。当前，随着铁路运营密度提升、作业环境日趋复杂，行车安全面临诸多挑战，亟需构建系统化的安全管控体系，并强化故障应急处置能力。本研究将“安全行车管控”界定为覆盖运行全过程的风险识别和动态控制，将“故障应急处置技术”界定为针对突发故障的标准化处置方法和操作规范。二者相辅相成，前者侧重于事前预防和过程控制，后者聚焦于事中响应和损失控制，共同构成轨道车运行安全的双重保障。

一、轨道车行车安全风险识别与管控体系构建

（一）主要风险源分析

轨道车运行安全风险来源被归纳为人、机、环、管这四个彼此相互关联的维度。其中，人员因素主要表现为操作人员因技能水平参差不齐、安全意识淡薄、应急处置经验不足以及疲劳作业而导致的误操作。于设备状态层面，轨道车的动力系统、走行部、制动装置以及电气线路在经历长期运行和处于复杂工况的情况下，容易出现磨损、老化或者存在隐性缺陷的问题，倘若检修工作做得不到位或者部件超期服役，就会构成重大的安全隐

患^[1]。线路与环境因素包含了轨道几何尺寸超出限定、道口通行条件繁杂、遭遇恶劣气象条件以及受到施工作业现场干扰等外部不确定因素。管理维度则体现在规章制度执行不够严格、风险辨识仅仅停留在形式上、岗位责任没有落实到位以及应急培训演练实际效果不足等方面。并且这四类风险常常相互交织在一起、不断叠加传导，进而形成复杂的安全风险链条，因此迫切需要对其进行系统的识别和有针对性的管控^[2]。

（二）全过程安全管控框架

构建全过程安全管控框架的目的，是将安全管理的关口前移到轨道车运行的整个时间轴线上，形成一个由前置预防、过程控

制和后评估组成的闭环体系。在出车前检查阶段，重点关注设备状态的确认和人员状态的核验。依据标准化点检清单对动力、制动、走行及安全装置进行逐项测试，同时核查驾驶员资质与当班状态，确保车辆和人员均具备安全出行的准入条件。在运行中监控阶段，依靠车载监测系统实时跟踪车速、制动缸压力、发动机工况等关键参数，结合调度指令和线路信息，对超速、异常振动等风险行为进行即时干预和预警通报。在收车后维保阶段，强调运行数据的完整记录和设备隐患的闭环管理，对当日发现的异常状态进行复查确认，并根据这些情况制定次日的维保计划和检修重点。这三个环节相互衔接、相互支撑，通过严格执行标准化作业流程，实现对行车安全风险的链条式管控^[3]。

（四）动态风险监测与预警

动态风险监测与预警的关键在于将事后处置转变为事前预防，其实现主要依靠车载监控系统与远程数据传输技术的深度融合，即在轨道车关键部位部署传感器。实时采集发动机转速、制动缸压力、走行部振动、轮轴温度等运行参数，并且借助无线网络将这些数据同步传输到地面监控平台，系统根据预设的阈值和历史数据模型，对异常波动进行自动识别和判定，当监测到的数值超出正常范围或者呈现劣化趋势时，就会触发相应级别的预警信号，分级预警机制按照风险严重程度划分为提示、警告、报警三个层级，分别对应驾驶室声光提示、调度端同步提醒以及远程强制干预等响应措施^[4]。这种技术手段实现了运行状态的可视化和风险辨识的即时化，为行车安全管理提供了从被动响应向主动防控转变的技术支撑。

二、轨道车典型故障类型与应急处理技术

（一）常见故障分类与机理分析

轨道车常见故障按系统构成可分为动力系统、走行部、制动系统及电气系统四大类。其中，动力系统故障主要表现为发动机启动困难、功率不足及运行中自动熄火，其机理多与燃油供给不畅、冷却系统失效或进排气管路堵塞相关，此类故障因直接导致牵引力丧失而易造成区间停车。走行部故障集中于轮对、轴箱及悬挂装置，轴承异常发热、轮缘过度磨损及减震器失效等典型模式，其产生机理涉及润滑不良、组装间隙超标及长期冲击载荷作用，严重时存在引发脱轨风险的可能性。制动系统故障表现为制动失灵、缓解不良及制动缸压力异常，多源于管路泄漏、闸瓦间隙失准或制动阀卡滞的情况，直接对行车安全构成威胁。电气系统故障则主要是线路短路、接地及绝缘性能下降，常因线路老化、受潮或振动松动所致，可能造成控制功能紊乱或动力中断的后果。上述各类故障若未被及时发现与处置，均有演化为严重行车事故的可能性^[5]。

（二）应急处置原则与流程

轨道车故障应急处置遵循“安全优先、快速隔离、精准判断、稳妥处置”十六字原则。其中，安全优先原则要求任何处置行动均以保障人员安全、防止事故扩大为首要前提，在故障发生初期即采取停车、防护等基础避险措施。快速隔离原则强调要在

第一时间切断故障影响链条，通过断开故障系统、启用备用装置或隔离危险区域等方式，避免故障波及关联部件或引发次生灾害。精准判断原则建立在对故障现象的快速识别与系统分析的基础上，结合车载监测数据与现场观察，准确定性故障类型与严重程度，从而为后续处置提供决策依据。稳妥处置原则要求在明确故障性质后，严格按照预案选择适当的处置方式，避免因盲目操作而导致故障复杂化^[6]。围绕上述原则，针对不同故障类型制定的标准化应急响应流程，涵盖故障确认、信息上报、现场防护、处置实施及恢复确认五个环节，每个环节都明确责任主体与操作规范，以确保应急处置工作有序且高效地开展。

（三）关键故障专项处置技术

针对制动失效、动力中断及走行部异常这三类高风险故障分别制定的专项处置技术中，当发生制动失效时，驾驶员需立即采取点压制动、配合手制动及液力制动等方式实施减速，并利用发动机辅助制动来降低车速，在紧急情况下还可借助道岔、土档等线路设施迫使车辆停车。动力中断发生后，应迅速判断故障性质，对于燃油或电气系统的短暂故障，可在安全位置进行排查恢复，而对于机械严重损坏的情况，则须立即请求救援并按规定设置防护。当走行部出现表现为异响或剧烈振动的异常情况时，须果断减速停车，经检查确认存在轴承烧损、轮对擦伤或悬挂断裂等问题后，根据损伤程度决定是限速运行还是就地救援，各项处置均须严格执行防护标准，以防止因盲目操作而引发次生事故^[7]。

三、基于案例的实践应用与效能分析

（一）典型应用场景与实施路径

安全管控体系及应急处置技术的实际部署需依据线路条件、作业场景及车型特点分类实施。在区间正线运行场景下，重点在于依托车载监控系统与远程数据传输平台，实现对轨道车运行状态的连续监测与动态预警，同时将出车前检查与收车后维保纳入标准化管理流程。于站场调车和施工作业场景里，风险管控主要侧重于低速运行条件下的防护设置、多车联控以及作业人员协同方面，应急处置则强调短距离内快速停车和防溜措施的规范执行情况。针对不同的车型，重型轨道车要注重对动力系统与制动装置进行深度检测，接触网作业车则需额外强化高空作业平台的联锁保护和电气安全管控工作^[8]。在实施路径上，采取先开展试点然后再进行推广的策略，选定典型的线路区段和车型来开展体系验证，并且根据运行数据和现场反馈对管控流程进行优化，逐步形成可复制且可推广的标准化实施方案。

（二）实践效果评估

为了验证安全管控体系与应急处置技术的实践效果，选取实施前后各一年度的运行数据来开展对比分析，评估结果显示，在实施了全过程安全管控框架之后，轨道车故障发生率呈现出明显的下降趋势，其中动力系统与制动系统相关故障的降幅尤为显著。这反映出出车前检查和动态监测环节的有效性，在故障处理时效方面，由于分级预警机制和标准化应急流程的建立，从故障

发生到处置完成的平均用时显著缩短，关键故障的现场处置效率提升尤为突出，行车事故率的同期对比表明，因设备故障引发的行车事故数量大幅降低，且未发生因应急处置不当而导致事故扩大情形。各项关键指标的积极变化显示，所构建的安全管控体系与应急处置技术能够有效识别风险隐患、规范应急操作以及压缩响应时间，为轨道车行车安全提供了可靠的技术支撑和管理保障^[9]。

（三）存在问题与改进方向

在推广应用的过程中，暴露出若干亟待完善的薄弱环节。在人员层面，部分操作人员对动态监测系统的预警信息存在响应不及时的情况，在应急处置演练中存在流程不熟悉、操作生疏的现象。这反映出培训深度和实操针对性仍有不足。在技术层面，车载监测设备在复杂线路条件下的数据传输稳定性有待提升，部分老旧车型存在传感器覆盖不全的问题，影响风险早期识别的准确性。在管理层面，分级预警机制与既有调度指挥系统的衔接尚不够顺畅，故障信息传递存在层级冗余，一定程度上影响了响应时效^[10]。针对上述问题，后续研究应聚焦于以下方向：优化培训体系，增加实景模拟和应急演练的频次；推进设备技术升级，完善老旧车型监测装置的改造。深化管理流程再造，建立预警信息直达驾驶和调度的双通道机制，以实现风险管控与应急处置的高效联动。

四、保障机制与持续提升路径

为实现轨道车安全管控及应急处置体系的长效运行，需从人

员、设备及管理三个维度构建协同支撑机制。在人员素质和技能保障这个方面，要建立起那种把理论知识学习、实车操作训练以及应急演练相互结合在一起的系统化培训与考核体系，并且定期开展故障模拟以及实战化演练，以此来确保操作人员可以熟练掌握标准化作业流程和应急处置技能。于设备维保和技术支持方面，推行依据运行里程和使用时长来制定分级检修计划的预防性维护策略，同时完善技术档案管理以及关键备件储备，进而保障车载监测装置和应急设备能够可靠运行。就管理制度和协同机制而言，优化安全责任制度以明确各岗位安全职责边界，建立调度、检修、救援等部门之间的信息共享和联动响应机制，从而形成故障发现、上报、处置、恢复的闭环管理流程，通过人员、设备、管理这三者的有机融合和持续改进，为轨道车行车安全提供稳固的保障基础。

五、结论

综上所述，本研究围绕轨道车行车安全，系统构建出涵盖风险识别、全过程管控以及动态预警的安全管理体系，并且针对典型故障提出标准化应急处置原则和专项技术方案。实践应用表明，该体系能够有效降低故障发生率和行车事故率，提升应急处置效率，安全行车管控与故障应急处置技术相互支撑、缺一不可，前者重点在于预防，后者则确保兜底。未来应进一步推动监测智能化、演练实战化以及协同高效化，持续提升轨道车运行安全保障能力。

参考文献

[1]王亚楠,陈帅,单利,韩颖,吴昊,王彬.轨道车运行控制设备远程维护监测系统的应用研究[J].期刊,2023,15(4):112-118.
[2]李梦珂,段雅静,于正河,金辉,吕佳琪.轨道车用塞拉门专利技术分析[J].轨道交通装备与技术,2022,28(2):33-39.
[3]苏鹏.轨道车蓄电池组亏电故障的诊断分析[J].设备管理与维修,2022,43(9):56-61.
[4]李博,李华伟,张媛,马超,朱世昌.CKG-600Y型轨道车辆制动系统遥控装置研制[J].铁道技术监督,2022,50(9):42-47.
[5]秦树增.GYK-160型轨道车运行控制设备研究[J].铁道通信信号,2022,58(8):25-30.
[6]聂治国.东非新建铁路运营初期线路安全维护[J].科技与创新,2022,9(12):88-93.
[7]李畅.安全风险在铁路行车工作中的应用研究[J].中国铁道科学研究院学报,2022,39(6):102-108.
[8]季陈懿.地铁施工安全风险概率及其控制成本分析[J].浙江大学学报,2022,56(3):201-207.
[9]龚和宏.轨道车监测信息综合运用探讨[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(12):64-69.
[10]张威,李彦滨.铁路工务机械车辆作业安全风险分析及对策[J].减速顶与调速技术,2022,37(9):27-32.

超甲级类商办楼精装修工程施工技术及质量控制研究

孙晓春

上海东昌建筑装饰工程有限公司, 上海 200050

DOI:10.61369/ETQM.2026060030

摘 要 : 超甲级类商办楼精装修工程标准高、系统性强、协调难度大,对施工技术及质量控制有很高的要求。文章根据超甲级类商办楼精装修工程的特点,对关键技术要点进行梳理,建立相应的质量保证体系。以工程实例为依托,重点对弧形石材墙面曲面精度控制、大面积石膏板吊顶防裂、标高控制、卫生间防渗漏等难点进行分析,提出相应的技术措施和管理对策。研究成果可以为同类高端商办楼精装修工程的技术实施、质量控制提供一定的借鉴。

关 键 词 : 超甲级类商办楼; 精装修工程; 施工技术; 质量控制

Research on Construction Technology and Quality Control for High-end Decoration Projects in Super Grade-A Commercial and Office Buildings

Sun Xiaochun

Shanghai Dongchang Architectural Decoration Engineering Co., Ltd., Shanghai 200050

Abstract : High-end decoration projects in super grade-A commercial and office buildings are characterized by high standards, strong systematization, and significant coordination challenges, imposing stringent requirements on construction technology and quality control. Based on the unique features of such projects, this paper outlines key technical points and establishes a corresponding quality assurance system. Using real-world engineering examples, it focuses on analyzing challenges such as precision control of curved surfaces in arc-shaped stone wall cladding, crack prevention in large-area gypsum board ceilings, elevation control, and leakage prevention in restrooms, proposing corresponding technical measures and management strategies. The research findings can serve as a valuable reference for the technical implementation and quality control of similar high-end commercial and office building decoration projects.

Keywords : super grade-A commercial and office buildings; high-end decoration projects; construction technology; quality control

引言

伴随着城市化的发展以及商务办公需求的增长,超甲级商办楼作为现代都市的标志建筑,它的精装修工程既是空间功能的载体,又是品牌形象、用户体验的体现。此类项目大多具有定位高端、标准严格、系统集成度高这些特点,给施工技术以及质量控制带来了前所未有的难题。传统的粗放式管理方式已经不能满足毫米级精度控制、多材质无缝衔接、绿色环保等要求。在公共区域造型繁杂、专业交叉频繁的时候,怎样保证施工质量同设计效果高度契合,已然成为行业所重视的问题。

一、超甲级类商办楼精装修工程的特点

超甲级商办楼宇属于高端商务办公设施类别,在建筑规模、空间布局、机电配套、装修标准等各方面都超出传统甲级写字楼的设计规范,由于装饰品质优良、系统构成复杂、协同作业难度大而受到关注,它是高净值客户专属的服务场所,对建筑材料选择、工艺流程精准度、整体视觉效果要求很高,体现出现代商业环境中高品质审美和技术的专业性相统一的融合,施工中大量使用石材、金属板材、玻璃幕墙、特种涂料等先进材料,配合精密加工技术,在公共区域如大堂、电梯间等地完成各种造型设计,

达到毫米级的技术控制精度,体现出现代化精装修工程高度集成、精细化的管理特点。

二、项目概况及难点分析

(一) 项目概况

新徐汇滨江188N-K-2、188N-M-1、188N-O-1地块商办楼项目位于上海市徐汇区。总建筑面积约53万m²,由四栋超甲级办公楼组成,K-2地块为两栋约100m办公塔楼,M-1地块为一栋约199.5m超高层办公楼,O-1地块为一栋约150m办公塔

楼。项目定位为滨江高端商务办公集群，使用 LEED BD+C 金级及中国绿色建筑二星标准设计、建造。

本次精装修工程主要包含首层大堂、电梯厅、地下落客区、公共卫生间等公共区域，施工内容有石材地面铺装、弧形石材墙面、金属饰面、石膏板吊顶、铝板包柱、卫生间装饰等。项目公共空间设计尺度大、装饰材料等级高，根据滨江景观条件大面积使用玻璃幕墙、天然石材和金属装饰构件，对施工精度、安装质量、空间整体效果有较高的要求。



图1 办公大厅效果图

（二）项目难点分析

该项目公共区域装修标准高、空间尺度大、机电系统和智能化系统集成度高，在施工实施过程中主要存在以下技术难点

第一部分为引言，主要阐述本文的研究背景、研究意义和研究方法等。弧形石材加工时容易产生弧度偏差，现场安装时钢骨架焊接角度误差、石材干挂件定位不准等问题都会导致石墙曲面不平整、接缝错台，长期使用还会因为骨架受力不均而使石材松动。

第二，项目大堂、电梯厅吊顶面积大，公区卫生间使用频繁，墙地面瓷砖铺贴面积大，部分区域跨度大于2.5m，石膏板拼接处受温度变化、材料收缩的影响容易出现开裂。吊顶内机电管线多，吊杆和管线有冲突，龙骨标高不一致会导致吊顶整体标高不准。

第三，公区卫生间使用频率高，墙地面瓷砖铺贴面积大，基层平整度偏差、粘结砂浆配比不当容易造成瓷砖空鼓，卫生间地漏、管根等细部节点多，防水涂料涂覆不连续、密封不严，容易在使用过程中出现渗漏，影响工程质量。

三、超甲类商办楼精装修工程的关键施工技术

（一）高精度测量放线施工技术

超甲类商办楼精装修工程中测量放线是保证空间尺度、装饰精度的基础性工作。本项目公共区域空间大、造型复杂，大堂及电梯厅均有弧形墙面和大面积吊顶结构，施工前必须建立统一稳定的现场空间控制体系。

施工前按照结构轴线、建筑标高对主体结构垂直度、平整度、标高进行全检并建立精装修控制基准。按照大堂、电梯厅等公共区域的空间布局，以公共走道、电梯厅为基准建立统一的标高系统，在现场设置+100cm水平控制线，用激光水平仪、全站

仪将控制线传递到各个施工区域，形成完整的空间测量网络。放线时墨线宽度不大于1mm，多次复核保证定位准确。

对于弧形空间区域，测量放线主要控制曲率和中心定位。项目用全站仪对弧线中心点和曲率半径进行精确测量，在结构墙体上每隔500mm设一个弧线控制点，用连线形成弧形控制基准，给钢骨架、石材安装提供准确的依据。吊顶施工按统一标高控制线进行龙骨分档定位，在大跨度处设3m间距的标高控制点，保证吊顶安装过程中随时复核标高偏差。通过建立统一标高基准、空间控制网，很好地解决了精装修工程中出现的界面错位、标高不一致等问题，给复杂空间装饰施工提供了一个可靠的测量基础。

（二）重点区域专项施工技术

1. 弧形石材墙面施工技术

本项目大堂和电梯厅区大面积弧形石材墙面是空间视觉的中心，曲面造型复杂、石材拼接精度高、整个曲面流畅性好，是精装修工程的重要控制部位。

施工实施阶段项目根据深化设计成果制作弧形施工模板，利用BIM模型对石材板块进行纹理预排版，按照顺纹排版的原则优化石材分块尺寸和拼接位置，使石材纹理方向与弧线走势一致。石材加工用数控水刀切割设备，用CAD数据导入控制弧线尺寸，加工误差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内。加工完成后用弧形模板复核板块曲率，按安装顺序编号、预拼。

弧形墙面骨架体系为热镀锌钢结构骨架。竖向方管间距不大于800mm，弧线曲率变化处局部加密。横向不锈钢U型槽和方管满焊连接，焊接后用激光水平仪和拉线法对骨架平整度、弧线顺滑度进行复核，保证骨架整体误差 $\leq 2\text{mm}$ 。石材安装使用干挂施工工艺，石材背面开挂件槽口并填云石胶，用不锈钢干挂件和U型槽连接固定。安装顺序为从下到上、由中间向两边，先安装曲率控制点处的基准板块，再向两侧展开。施工时每安装3块石材用弧形靠尺检查曲面连续性，用挂件微调。石材接缝宽度控制在2~3mm，最后用同色嵌缝材料密封，使弧形石墙整体曲面过渡自然、拼接均匀。

2. 大面积石膏板吊顶施工技术

项目大堂、电梯厅区域吊顶面积大，吊顶内机电管线密集，对吊顶标高控制、防裂性能有较高要求。项目在吊顶施工前利用BIM技术对机电管线进行综合排布，提前确定吊杆的布置位置，避免吊杆与管线发生冲突。对不能避开的位置采用型钢转换支架将吊杆移位安装，保证吊顶结构受力合理。吊顶龙骨体系安装时，次龙骨间距控制在400~600mm之间，卫生间等潮湿区域控制在400mm。龙骨接头处用专用连接件加固，用拉线检查保证龙骨安装顺直。

石膏板面层用双层错缝的方式安装，第一层和第二层板缝错开300mm以上。板缝处留3~5mm的缝隙，用专用嵌缝膏填塞后粘贴抗裂纤维带，分层批刮腻子。吊顶施工时用激光投线仪实时检测标高，每3m设一个标高控制点，使吊顶整体标高偏差控制在3mm以内，防止吊顶开裂、标高不平等质量问题。

3. 公共卫生间装饰施工技术

公共卫生间是高频使用的空间，墙地面瓷砖铺贴质量、防水性能的好坏直接影响后期使用效果。施工前先对基层平整度进行检查，用2m靠尺检测基层偏差，偏差大于5mm的部位用1:3水泥砂浆找平。基层干燥后涂刷界面剂，提高粘结层和基层的结合强

度。墙面瓷砖铺贴采用聚合物水泥砂浆薄贴工艺。铺贴前将瓷砖浸水处理，自然晾干，用粘结砂浆满涂约5mm厚在瓷砖背面，按弹线位置铺设，用橡皮锤轻击压实。施工过程中每铺贴5块瓷砖用水水平尺检查平整度，保证整体铺贴效果一致。地面瓷砖铺贴使用干硬性水泥砂浆工艺，砂浆厚度控制在20～30mm之间，在铺贴后加强养护，24小时内不得上人。卫生间防水施工的重点就是加强细部节点的处理。地漏、管根、阴阳角等处设附加防水层，附加层宽度为500mm×500mm。大面积防水涂料采用“底层、中层、面层”的施工顺序，各层涂刷方向互相垂直，最终厚度控制在1.5mm以上。防水层完成后做48h蓄水试验，蓄水高度为30mm左右，检查无渗漏后方可进入下一道工序。

四、超甲类商办楼精装修工程的质量保证措施

（一）材料质量控制措施

高端商务办公建筑精装修工程材料品质的好坏，直接影响到空间的表现和寿命。本项目公共区域大量使用天然石材、金属饰面、高性能装饰材料，因此对材料管理实行了全过程的质量控制体系。材料采购阶段先选用企业合格供应商名录中的单位，对于新的供应商做资质审查以及样品评价工作。所有主要装饰材料进场时应提供产品合格证、检测报告、环保性能证明，按照项目封样样板进行比对验收，保证材料规格、颜色、纹理符合设计要求。石材、石膏板、防水材料、涂料等重要材料项目均实行见证取样送检，检测项目及检测频次均符合有关规范要求。检测结果不合格的及时退场，不能进入施工过程。

项目在材料管理过程中也注重环保性能的控制，使用低挥发性有机物（VOC）的绿色环保材料，材料进场前提交权威检测机构出具的环保检测报告，从源头上保证室内环境质量。

（二）施工过程质量管控

超甲类商办楼精装修工程施工过程中，多专业交叉作业频繁，施工界面复杂，因此必须依靠精细化管理手段来保证工程质量稳定可控。项目施工期间严格按照三级技术交底制度进行。首先由项目技术负责人对施工员、班组长进行施工组织设计及专项施工方案交底，再由施工员对班组进行分项工程施工技术交底，最后由班组长对作业人员进行具体的施工操作要点交底。所有的技术交底都用书面形式进行记录并签字确认。

对公共区域的机电系统密集、施工界面复杂的情况，项目采用了多专业协调的方法。通过周例会、专项协调会及时解决装饰与机电、消防、智能化等专业接口问题，防止施工顺序不当造成返工或者质量隐患。项目实行隐蔽工程验收制。吊顶封板前应对吊杆、龙骨结构和机电管线进行全面检查，经监理单位验收合格

后方可进行施工。卫生间防水施工完毕后需要做48小时蓄水试验，合格后方可进行面层施工。施工期间施工员、质检员全程跟踪检查，对关键工序实行旁站监督，发现质量偏差立即组织整改，保证每一道施工工序都达到质量标准。

（三）质量控制措施

对于精装修工程中吊顶开裂、石材空鼓、卫生间渗漏等常见质量问题，项目施工阶段采取了一系列预防性的措施，就吊顶部来说，合理安排吊杆间距、改进龙骨衔接方式，使整体结构受力均匀，再者用错缝搭接技术配合抗裂纤维材料，大大降低裂缝发生的概率，在石材和瓷砖铺贴环节，重点改进基层处理工艺，精确控制砂浆配比参数，通过预排版测试改善板块拼装精度，保证表面平整度和粘结牢固性，卫生间防水作业要细致化节点构造设计，严格控制涂层厚度指标，利用蓄水试验检测密封性能，彻底消除渗漏隐患，依靠全生命周期质量管理体系和核心工序精细化管控机制，公共区域装饰工程质量得到全面提升，达到预期的功能需求和视觉效果统一。

五、心得体会

经过本项目的实践，知道超甲类商办楼精装修工程精度要求高、管理协调难度大。面对弧形石墙、大面积吊顶、卫生间防渗等问题，单靠传统的施工经验很难达到质量要求，必须依靠深化设计、数控加工、精细化工艺控制。尤其是多专业交叉时，提前做好管线综合排布、统一标高基准、落实样板引路制度，是保证各工序无缝对接的方法。质量控制要覆盖材料进场、过程检验、成品保护全过程，任何一处的疏忽都会影响最终的效果。此次经历使我知道，高端装饰工程不是简单的技艺展示，是系统管理能力的综合检验，只有坚持高标准、严要求才能使设计和施工达到完美的统一。

六、结束语

超甲类商办楼精装修工程是技术与质量的统一，施工技术的精细、质量控制的全面决定了高端商务空间最终呈现出来的效果。实现该类工程高品质交付的前提就是精确的测量放线，核心是专项施工方案，保障是全过程质量管控。从上海徐汇滨江项目实践来看，弧形石材、大面积吊顶、卫生间防水等重要工序要依靠深化设计成果、精细化施工技术、严格的过程控制才能达到预期效果。随着新材料、新工艺的不断出现，精装修工程技术会不断更新，但是精细化、系统化管理的理念仍然是保证工程品质的根本，应该在行业内进一步推广和深化。

参考文献

- [1] 张洁, 魏征, 邢婷, 等. 办公楼精装修施工技术与项目管理优化措施应用研究 [J]. 智能城市, 2025, 11(02): 91-93.
- [2] 陈亮. 政府办公楼装修工程中智能化施工技术的优化与实施 [J]. 建筑工人, 2025, 46(02): 18-21.
- [3] 崔莉. 办公楼室内装修施工技术的应用分析 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(02): 118-120.
- [4] 刘得用. 高层办公楼装饰装修工程施工质量控制技术研究 [J]. 工程机械与维修, 2024, (11): 24-26.
- [5] 孙百新. 简述商办楼项目钢框架结构施工技术质量控制 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (01): 35-37.

化工容器密闭式机械清洗工艺优化与安全控制研究

王家欢

天津滨海概念人力信息科技有限公司，天津 300450

DOI:10.61369/ETQM.2026060032

摘 要： 本文围绕化工容器密闭式机械清洗工艺优化与安全控制展开研究，确立高效、优质、节能、耐用、适配的工艺优化目标，构建多维度指标体系，通过正交试验法优化核心工艺参数，改进清洗设备核心部件结构，并针对不同规格、材质、污染物类型及特殊工况开展适配优化，提升清洗性能与适配能力。同时，结合清洗作业风险特点，确立安全控制体系构建原则，构建风险识别－过程防控－监测预警－应急处置全流程安全控制框架，明确清洗前风险识别与评估方法、清洗过程防控措施，设计安全监测与预警系统，构建完善的应急处置体系，实现清洗作业全流程安全管控。研究成果可为化工容器密闭式机械清洗工艺的工程应用提供技术支撑，有效提升清洗效率与安全性，降低生产成本，保障工业生产稳定运行。

关 键 词： 化工容器；密闭式机械清洗；工艺优化；安全控制

Research on Process Optimization and Safety Control of Closed Mechanical Cleaning for Chemical Vessels

Wang Jiahuan

Tianjin Binhai Concept Human Resources Information Technology Co., Ltd., Tianjin 300450

Abstract： This paper focuses on the research of process optimization and safety control for closed mechanical cleaning of chemical vessels. It establishes optimization objectives for the process that are efficient, high-quality, energy-saving, durable, and adaptable, constructs a multi-dimensional indicator system, and optimizes core process parameters through orthogonal testing. The structure of core components in cleaning equipment is improved, and adaptability optimization is carried out for different specifications, materials, types of pollutants, and special operating conditions to enhance cleaning performance and adaptability. Meanwhile, based on the risk characteristics of cleaning operations, principles for establishing a safety control system are established, and a comprehensive safety control framework covering risk identification, process prevention and control, monitoring and early warning, and emergency response is constructed. Methods for risk identification and assessment before cleaning, prevention and control measures during the cleaning process are clarified, a safety monitoring and early warning system is designed, and a comprehensive emergency response system is established to achieve full-process safety control for cleaning operations. The research findings provide technical support for the engineering application of closed mechanical cleaning processes for chemical vessels, effectively improving cleaning efficiency and safety, reducing production costs, and ensuring the stable operation of industrial production.

Keywords： chemical vessels; closed mechanical cleaning; process optimization; safety control

引言

当前，化工容器清洗方式主要分为人工清洗、化学清洗与机械清洗三大类。其中，人工清洗效率低下、劳动强度大，且作业环境恶劣，易引发人员安全事故；化学清洗虽能快速去除污染物，但化学介质易腐蚀设备内壁、污染环境，同时存在介质残留等问题，不符合绿色环保与设备长效使用的需求。基于此，本文聚焦化工容器密闭式机械清洗工艺优化与安全控制两大核心，开展系统性研究。通过构建科学的工艺优化目标与指标体系，优化核心工艺参数、改进设备结构、完善多场景适配方案，提升清洗效率、质量与经济性；同时，构建全流程安全控制体系，明确风险识别、过程防控、监测预警与应急处置措施，实现清洗作业的安全可控。

一、化工容器密闭式机械清洗工艺优化研究

（一）工艺优化目标与指标体系构建

随着清洗技术的发展，更为安全高效的机械清洗技术应运而生，并成为一种必不可少的技术手段在石油、化工、制药、造纸、酿造、乳制品、食品和饮料等工业领域发挥着越来越重要的作用^[1]。结合化工容器密闭式机械清洗实际需求，确立高效、优质、节能、耐用、适配的工艺优化目标^[2]。清洗周期较现有工艺缩短15%以上；容器内壁污染物残留量低于行业标准且无盲区；能源消耗降低10%以上、清洗介质利用率提升20%以上；设备故障率降低25%以上、维护成本降低20%以上；适配不同规格、材质、污染物类型容器及高温、高压、腐蚀性等特殊工况。围绕该目标，构建多维度指标体系，分为核心指标与辅助指标^[3]。核心指标包括清洗效率（清洗周期、单位时间清洗面积）、清洗质量（污染物残留量、清洗均匀度）、节能性（能源消耗、介质利用率）、设备耐用性（设备故障率、维护成本）；辅助指标包括工艺适配性、操作便捷性、环保性。该体系为工艺优化方案的设计、实施及评价提供科学依据，保障优化后工艺满足实际生产需求。

（二）核心工艺参数优化

核心工艺参数是影响密闭式机械清洗效果、效率及设备损耗的关键，本文结合化工容器规格、污染物类型及材质，采用正交试验法优化核心工艺参数并确定最优组合^[4]。其中清洗压力按污染物类型（软质残渣15–25MPa、硬质结垢25–40MPa、腐蚀产物20–30MPa）调整，同时结合容器材质抗压强度适配；喷射角度采用30°、60°、90°多角度组合喷头消除清洗盲区，喷头转速根据容器直径和清洗压力控制在100–300r/min以保障清洗均匀性；清洗介质流量控制在50–150L/min，易溶解污染物介质温度控制在40–60℃，耐高温材质温度控制在20–40℃；清洗时间结合上述参数试验确定最优值，平衡清洗效率、质量与能源消耗。

（三）清洗设备结构优化

针对清洗设备结构缺陷，结合工艺参数优化，对核心部件进行结构改进以提升性能和耐用性^[5]。喷头改为多角度可拆卸式，优化出口流线型结构并选用高强度耐腐蚀材质；刷洗装置设计可调节硬度刷丝，采用行星齿轮传动优化旋转结构并增设缓冲机构；密封采用机械与橡胶双重密封，选用耐高压耐腐蚀材料并定期检查更换；整体优化支撑（可调节支架）、减震机构及智能化操控系统，提升适配性、稳定性和操作便捷性。

（四）不同场景下工艺适配优化

针对化工容器规格、材质、内壁污染物类型及工况条件的多样性，结合工艺参数和设备结构优化结果，开展多场景工艺适配优化，确保满足各类容器清洗需求。规格适配方面，容积<10m³小型容器采用小型化密闭式清洗设备，优化压力、流量以缩短周期、提升便捷性；容积>100m³大型储罐采用多喷头协同模式，优化布置扩大覆盖范围、提升效率；异形容器调整喷头角度和转速，采用柔性装置消除清洗盲区^[6]。材质适配方面，碳钢容器控

制清洗压力和温度防腐蚀；不锈钢容器选用柔软刷丝及合适介质防划伤；玻璃钢容器降低压力、采用低转速防变形损坏。污染物适配方面，软质残渣采用低压高温大流量参数配合中性介质；硬质结垢采用高压高速参数配合酸性介质；腐蚀产物采用中压中转速参数配合除锈介质。特殊工况适配方面，高温高压容器先降温降压，选用耐高温高压设备及介质；腐蚀性介质容器选用耐腐蚀设备及介质，加强密封；易燃易爆介质容器先惰性气体置换，采用防爆设备，保障安全。

二、化工容器密闭式机械清洗安全控制体系构建

（一）安全控制体系构建原则与框架

结合化工容器密闭式机械清洗的风险特点，确立安全第一、预防为主、综合治理、全程管控的安全控制体系构建原则^[7]。其中，安全第一将人员、设备及环境安全置于首位，所有防控措施围绕安全目标展开；预防为主强化清洗前风险识别与评估，提前防控隐患；综合治理结合技术、管理、人员防控等方式，构建全方位防控体系；全程管控覆盖清洗前、中、后全流程，保障各环节安全。围绕该原则，构建风险识别–过程防控–监测预警–应急处置全流程安全控制体系框架，包含四个核心衔接、协同作用的模块^[8]。清洗前安全风险识别与评估模块，识别潜在风险、评定等级并制定防控预案；清洗过程安全防控模块，落实防控措施、规范操作流程；安全监测与预警模块，实时监测关键安全参数并及时预警；应急处置模块，应对突发安全事故、降低损失，共同构成完整安全控制体系。

（二）清洗前安全风险识别与评估

清洗前的安全风险识别与评估是安全控制体系的基础，通过文献研究、现场调研、专家访谈等方式，全面识别化工容器密闭式机械清洗前的安全风险^[9]。主要分为三类，容器本身风险，含残留易燃易爆及有毒介质、本体腐蚀破损、压力温度未达标等，易引发泄漏、燃烧爆炸或中毒；清洗设备风险，如设备故障、密封失效、电路问题、部件破损，可能导致泄漏、火灾、触电及碎片伤人；清洗介质风险，介质本身具有腐蚀性、毒性、易燃易爆性，或混合后发生反应，危及人员安全。在此基础上采用风险矩阵法，按发生可能性与后果严重程度，将风险划分为重大、较大、一般、低风险四级，并制定差异化防控措施。重大风险立即停工整改，较大风险实施专项防控，一般及低风险采取常规管控，同时建立风险台账，实现风险动态管理。

（三）清洗过程安全防控措施

清洗过程的安全防控是防范安全事故的关键，需围绕容器、设备、介质、人员四大核心要素，落实全方位防控措施^[10]。容器防控上，实时监测压力、温度，严格控制在安全范围，严禁超压超温作业，定期检查密封情况，发现泄漏立即停机堵漏。设备防控方面，清洗前全面检查设备，确认无故障、密封良好；清洗中监测运行状态，重点检查喷头、密封件等核心部件，异常时立即停机检修，操作人员需按规范工艺参数操作，严禁违规调整关键参数。介质防控需合理储存输送，明确其特性及使用要求，杜绝

不同介质混合存放输送，操作人员接触腐蚀性、有毒介质时必须做好个人防护。人员防控上，现场设置警示标识，严禁无关人员进入；操作人员需经培训考核合格上岗，作业时实行专人监护，定期开展安全培训和应急演练，提升安全意识与应急处置能力。

（四）安全监测与预警系统设计

清洗过程的安全防控是防范安全事故的关键，需围绕容器、设备、介质、人员四大核心要素，落实全方位防控措施。容器防控上，实时监测压力、温度，严格控制在安全范围，严禁超压超温作业，定期检查密封情况，发现泄漏立即停机堵漏。设备防控方面，清洗前全面检查设备，确认无故障、密封良好；清洗中监测运行状态，重点检查喷头、密封件等核心部件，异常时立即停机检修，操作人员需按规范操作工艺参数，严禁违规调整关键参数。

介质防控需合理储存输送，明确其特性及使用要求，杜绝不同介质混合存放输送，操作人员接触腐蚀性、有毒介质时，必须做好个人防护。人员防控上，现场设置警示标识，严禁无关人员进入；操作人员需经培训考核合格后方可上岗，作业时实行专人监护，定期开展安全培训和应急演练，全面提升人员安全意识与应急处置能力，筑牢清洗作业安全防线。

（五）应急处置体系构建

围绕清洗过程中可能发生的各类突发安全事故，构建预防－响应－处置－复盘的全流程应急处置体系，确保事故发生后能够快速、有效处置，降低人员伤亡和财产损失。制定针对性的应急处置预案，结合清洗过程中可能出现的介质泄漏、设备故障、

火灾、人员中毒受伤等突发情况，明确各类型事故的处置流程、责任分工、处置措施及注意事项，确保预案具有可操作性。同时定期组织应急演练，检验预案的实用性，及时完善优化。配备充足的应急救援设备和物资，包括堵漏工具、灭火器、应急照明、急救药品、防毒面具、防护服装等，定期检查设备和物资的完好性，及时补充更换，确保事故发生时能够正常使用。建立应急救援团队，明确团队成员的职责分工，开展专业的应急救援培训，提升团队的应急处置能力，能够快速响应、科学处置突发事故。建立事故复盘机制，事故处置结束后，组织相关人员对事故原因、处置过程进行全面复盘，分析存在的问题，优化应急处置预案和防控措施，防范同类事故再次发生，同时建立应急信息上报机制，及时上报事故情况，争取外部救援支持。

三、结束语

本文围绕化工容器密闭式机械清洗工艺优化与安全控制开展系统性研究，针对当前工艺适配性不足、效率偏低、安全管控不完善等痛点，通过理论分析、参数优化与体系构建，形成了一套兼具高效性、经济性与安全性的清洗工艺及安全控制方案。未来研究可聚焦极端工况下的工艺适配优化，结合智能化技术提升工艺参数调控的精准度与安全监测的智能化水平；同时可开展工业现场试验验证，进一步完善工艺优化方案与安全控制体系，推动研究成果的工程化转化与推广应用，为化工行业清洁化、安全化、高效化发展提供更有力的支撑。

参考文献

[1] 石熠, 陈家庆, 汤水清, 等. 机械清洗用旋转喷头的结构对比分析研究 [J]. 石油机械, 2016, 44(1): 97-102. DOI: 10.16082/j.cnki.issn.1001-4578.2016.01.022.

[2] 杨彪, 柳忠彬, 严培轩, 等. 容器表面油质污染物水射流驱除特性研究 [J]. 四川轻化工大学学报 (自然科学版), 2025, 38(3): 29-36. DOI: 10.11863/j.suse.2025.03.04.

[3] 张宇. 浅析原油储罐清洗作业的安全现状及管控方法 [J]. 清洗世界, 2019, 35(3): 60-61, 66. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8909.2019.03.029.

[4] 张海涛, 赵靖. 清洗技术在锅炉及压力容器和化工设备中的应用 [J]. 化工管理, 2015(33): 144. DOI: 10.3969/j.issn.1008-4800.2015.33.123.

[5] 郝雷生, 时烨华. 大型六氟化铀容器清洗方法分析 [C]// 中国核学会核化工分会 2014 学术交流年会论文集. 2014: 252-255.

[6] 阳相. 容器内壁射流清洗的评价与优化 [D]. 天津: 天津科技大学, 2012.

[7] 高君. 容器清洗厂房内环评及工艺控制改进 [C]// 中国核学会 2009 年学术年会论文集. 2009: 2303-2306.

[8] 吕洋, 李金友. 苯加氢催化剂容器内壁清洗技术研究与应用 [J]. 河南化工, 2015, 32(3): 42-43. DOI: 10.3969/j.issn.1003-3467.2015.03.012.

[9] 杨秀英, 宋红攀, 夏国正, 等. 核化工设备 / 搅拌混合器结构优化改进及系统设计 [J]. 粘接, 2023, 50(9): 175-178. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5922.2023.09.045.

[10] 元智伟, 张守林. 有机热载体炉的清洗 [J]. 品牌与标准化, 2009, (16): 39.

化工反应釜安全运行与风险防控措施分析

高彭, 庞丽丽, 许浩, 凌瑞昕
鲁西化工集团股份有限公司, 山东 聊城 252211
DOI:10.61369/ETQM.2026060034

摘 要 : 反应釜作为化工生产的核心单元设备, 它的安全运行直接关联到生产连续性以及本质安全水平。针对工艺过程、设备完整性以及人为操作这三方面风险因素进行系统性识别, 应该从工艺安全信息规范化、关键参数监测联锁、设备全生命周期完整性管理这三个维度构建运行管控体系。在此基础上, 融合源头预防设计、自动化智能化过程控制、应急处置措施以及人员能力建设, 形成覆盖设计、操作、维护、应急全流程的风险防控工程。数智技术为反应釜可靠运行赋能。

关 键 词 : 反应釜; 安全运行; 风险防控; 全流程管理

Analysis of Safety Operation and Risk Prevention Measures for Chemical Reaction Vessels

Gao Peng, Pang Lili, Xu Hao, Ling Ruixin
Luxi Chemical Group Co., Ltd. Liaocheng, Shandong 252211

Abstract : The reaction vessel, as a core unit equipment in chemical production, its safe operation is directly related to the continuity of production and the level of inherent safety. Systematic identification of risk factors in the process, equipment integrity, and human operation should be carried out from three dimensions: standardization of process safety information, monitoring and interlock of key parameters, and full life cycle integrity management of equipment. On this basis, integrating source prevention design, automated and intelligent process control, emergency response measures, and personnel capability building, a risk prevention and control project covering the entire process of design, operation, maintenance, and emergency response should be formed. Digital and intelligent technologies empower the reliable operation of the reaction vessel.

Keywords : reaction vessel; safe operation; risk prevention and control; full-process management

引言

大型化工反应釜广泛用于石油、精细化工、医药化工等领域, 内部化学反应复杂, 长期处于高温 (部分超 300℃)、高压 (可达 10MPa 以上)、强腐蚀 (如酸碱、有机溶剂) 环境, 设备结构 (如釜体、搅拌系统等) 易发生故障。反应釜作为化工生产当中的核心单元设备, 集合了混合、反应、传热等多重功能于一体, 它的运行状态直接关系到生产连续性、产品质量以及本质安全水平。当前化工行业面临着工艺复杂性日益增加以及高温、高压、强腐蚀等极端工况普遍存在的严峻挑战, 历史上多起安全事故对反应釜风险管控提出了更高的要求。系统识别运行风险因素并且采取有效的防控措施, 已经成为保障化工生产安全亟待解决的关键问题。

一、反应釜运行风险因素的系统性识别

(一) 工艺过程风险

工艺过程的风险是反应釜运行风险因素识别中的核心部分。反应热失控的风险表现为放热反应过程中热量积聚, 若搅拌系统失效或冷却能力不足, 局部过热会迅速导致温度失控, 进而可能引发暴聚、分解甚至爆炸事故。工艺参数偏离表现为温度、压力、液位等关键指标超出设计限值, 这类偏离通常由控制系统故

障、仪表显示不准确或操作干预不当导致, 若不及时纠正, 将直接破坏反应平衡状态。物料的危险性体现在原料、中间体或产物自身具有燃爆特性、不相容性质以及在特定条件下的自分解倾向, 这些构成了潜在化学能释放的源头^[1]。上述这三类风险因素在工艺过程中常常相互交错在一起, 单一环节出现失效的情况就有可能引发连锁的反应, 对反应釜的安全运行构成直接的威胁。

(二) 设备与机械完整性风险

设备与机械完整性的风险是反应釜运行风险识别的另外一个

作者简介: 高彭 (1988.10-), 男, 汉族, 山东聊城人, 本科, 中级注册安全工程师, 研究方向: 化工行业全场景安全管控体系落地与技术迭代, 石油化工企业系统性安全风险防控体系建设。

关键的方面。本体结构失效主要表现为釜体、夹套及盘管在长期使用中因腐蚀减薄、疲劳开裂或原始材质缺陷而发生的泄漏甚至破裂事故，其中应力腐蚀与晶间腐蚀在高温高压及强腐蚀介质环境下尤为明显。搅拌系统故障方面，搅拌轴断裂、机械密封泄漏、叶轮脱落等问题不仅会导致混合效果丧失，还会因局部反应物积聚引发温度分布不均与反应速率失衡，使原本可控的反应过程迅速恶化。附属装置失效表现为安全阀、爆破片及紧急泄压系统等安全附件误动作或拒动作，前者造成非计划停车与物料损失，后者在超压工况下无法泄放，使设备本体面临超出设计压力的风险。上述这三类风险相互关联，任何一个环节的机械完整性出现缺失的情况都有可能成为事故链的起始点^[2]。

（三）人为与操作管理风险

人为与操作管理风险是反应釜运行风险因素中最活跃且难以完全消除的变量。操作程序缺陷表现为投料顺序颠倒、投料速率控制不当、关键步骤操作错误等问题，这些问题通常源于操作规程缺乏可执行性，或操作人员对工艺原理理解不足，直接导致反应条件偏离设计预期。检维修作业的风险集中体现在设备打开前未按规定进行清洗置换、未采取有效的能量隔离与物料隔离措施，致使易燃易爆介质与点火源在作业区域意外相遇，这类事故在化工行业安全事故中占比较高。应急响应能力不足方面，初期异常工况识别迟缓、应急处置措施失效或执行不到位，使本可控控制在初期的小范围偏差演变为失控事故。上述风险因素反映出人在制度执行、技能掌握以及应急判断等方面存在的局限性，是反应釜安全管理当中需要持续关注的重点的领域^[3]。

二、基于本质安全的运行管理控制体系

（一）工艺安全信息与操作规程的规范化

工艺安全信息与操作规程的规范化，是构建反应釜运行管理控制体系的重要基石。一份完整的反应风险评估报告，应涵盖对反应热力学与动力学参数的精确测定，包括反应热焓、绝热温升速率、失控反应的最大压力等关键数据，这些信息为确定安全操作边界、设计泄放系统及制定紧急处置方案提供了科学依据。操作规程的制定应建立在对上述工艺安全信息充分掌握的基础上，其内容需细化至每一个具体操作步骤，明确投料顺序、速率控制、升温降温曲线等关键参数，同时必须完整覆盖正常生产、开车启动、停车检修及异常工况处置等各类运行场景。操作规程具备可执行性，体现在操作指令具有明确性、逻辑具有严谨性以及和实际设备控制系统具有匹配度，要避免出现模糊的表述或者无法执行的指令^[4]。上面所说的两项工作进行协同推进，确保了工艺操作实现标准化以及可追溯性，为后续安全仪表系统的配置以及设备完整性管理奠定了必要的基础。

（二）关键安全参数的监测与联锁保护

关键安全参数进行监测以及联锁保护，是确保反应釜运行一直处于受控状态的核心技术手段。温度和压力作为反映反应进程最为直接的工艺参数，其监测点的设置应该遵循冗余的原则，采用不同测量原理或者独立安装的仪表相互作为备用，以避免单一

仪表失效导致数据失真，确保采集的信息真实地反映釜内实际的工况。在这个基础之上构建起来的安全仪表系统承担着异常工况下进行自动处置的功能，当监测参数达到预设的安全联锁阈值的时候，系统不需要人工干预就可以触发相应的联锁动作，其中包括切断进料、启动紧急冷却、停止搅拌或者开启泄压通道，直到执行紧急停车的程序^[5]。安全仪表系统的设计需要依据反应风险评估的结果确定联锁逻辑以及安全完整性等级，确保其在有需求的时候能够可靠地动作。上面所说的监测以及联锁机制进行协同运作，实现了从参数感知到风险处置的闭环控制，大大降低了人为响应延迟所带来的事故扩大的风险。

（三）设备全生命周期完整性管理

设备全生命周期完整性管理是保障反应釜长期安全运行的系统性工程。制造和安装阶段需要严格地执行设计规范以及验收标准，确保设备材质、焊接质量以及结构形式和设计工况相匹配，从源头消除先天存在的缺陷。服役期间实施基于风险的检测策略，根据介质腐蚀性、操作压力以及历史失效数据，科学地确定检测部位以及周期，定期开展壁厚测定、无损检测以及失效分析，及时发现并且评估腐蚀减薄、裂纹扩展等潜在的缺陷。预防性维护计划的建立主要聚焦于机械密封、搅拌器以及安全阀等关键的部件，依据设备运行的时长以及工况特点确定维护周期，采取主动更换和状态监测相结合的方式，避免因为局部部件突然失效导致整台设备非计划停车^[6]。上面所说的措施进行协同实施，实现了设备从投用到退役整个过程的风险可控。

三、全流程风险防控策略与技术应用

（一）源头预防：设计与选型阶段的风险消减

源头预防是在设计与选型阶段实现风险消减的根本性策略。在对反应器设计开展优化工作的方面，应该优先去采用具备本质安全特性的设计原则，通过开展稀释反应体系的操作来让物料浓度下降、控制反应温度处于安全的范围区间、选用具有较低危险性的替代原料等这类措施，从工艺的源头之处减少或者消除存在的潜在危害。具体来说，对于具有强放热特点的反应，可以采取半间歇类型的操作模式，以此来控制热量释放的速率，对于具有不稳定特性的物料，就通过创造低温条件来抑制其出现分解的倾向。对设备的材质以及结构形式进行选型的时候，需要和工艺介质具有的腐蚀特性、操作时的温度压力以及物料的粘度等实际的工况情况做到精确的匹配，防止因为在材质选择方面出现不恰当情况，从而导致腐蚀速度加快，或者因为结构设计存在缺陷，造成传热出现不均匀、混合效果不够好的问题。实施上述这些源头预防的措施，能够把风险在设备投入使用之前就消解掉，和之后再增设安全防护的装置相比较，具有更高的可靠性以及经济性^[7]。

（二）过程控制：自动化与智能化监控手段

在过程控制当中，自动化以及智能化的监控手段，为反应釜的安全运行提供了具有动态性质的保障。应用先进过程控制系统，突破了传统单回路控制所具有的局限，通过开展多变量协调

以及进行模型预测的操作,实现对温度、压力、流量以及搅拌转速等关键参数进行精准调节,让反应过程一直保持在设定好的安全窗口范围之内,同时依靠历史数据以及实时趋势分析,提前识别出参数漂移所预示的潜在异常情况^[9]。引入智能巡检以及在线监测技术,进一步拓展了人的感知能力,通过布置振动传感器、声发射探针以及红外热成像设备,对搅拌轴运行的状态、机械密封出现泄漏的征兆以及釜体壁温的分布情况进行持续的监测,把设备状态评估从周期性的离线检测转变为实时在线的诊断以及预警。集成应用上述这些技术,实现了从被动进行响应到主动开展预防的转变,显著提高了对异常工况的早期识别率以及干预的时效性^[9]。

（三）应急处置：泄压、泄放与紧急中止措施

应急处置的措施,是风险防控体系当中阻止事故进一步扩大的最后一道屏障。合理配置泄压系统,要求依据反应风险评估所确定下来的泄放量,选用具有适当口径以及合适数量的安全阀或者爆破片,保证在超压的工况之下能够快速泄放釜内的介质,把压力控制在设备设计的限值范围之内,防止因为压力积聚,导致釜体出现破裂的情况。设计紧急中止的措施,则需要针对具体工艺所具有的特点,预先设置好紧急冷却系统,以便能够快速移走反应热,或者配置好紧急泄料的管线,把反应物料转移到安全的容器当中,对于聚合等链反应体系,还可以采用反应抑制技术,注入阻聚剂来中止反应的进程^[10]。必须通过模拟验证以及定期测试来确认上述这些系统的有效性,保证其在真正需要的时候能够可靠地触发。应急处置和监测连锁系统形成了纵深防御的态势,前者负责把运行参数维持在正常的范围之内,后者则在异常情况升级的时候承担起最终的安全兜底功能。

（四）人员能力与安全文化建设

人员的能力以及安全文化的建设属于风险防控体系当中决定各项制度能不能够有效落地的最为核心的要素。基于岗位胜任力所开展的专项技能培训,需要针对操作、维修、管理等不同岗位来设置具有差异化情况的培训方面的内容,重点去强化异常工况的早期识别的能力以及标准化处置的技能,通过进行模拟演练以及定期考核来确保培训效果能够转化成为实际岗位的能力。变更管理制度的建立以及落实则要求针对工艺、设备、人员等任何可能会对安全运行产生影响的变更实施全过程的风险评估以及审批管控,避免因为变更而引入新的风险因素或者破坏原有防护措施的有效性。上面所说的两项工作的持续推进,形成了人员素质和制度约束相互强化的良性机制,为反应釜的安全运行提供了可靠的人力保障以及组织基础。

四、结论

综上所述,反应釜安全运行的本质是在于构建覆盖设计、操作、维护、应急整个过程的系统性防控工程。从源头预防阶段的本质安全设计,到运行阶段的关键参数监测以及连锁保护,再到设备全生命周期的完整性管理,每一个环节都需要形成闭环管控。应急处置作为最后一道防线,和日常管理共同构成纵深防御体系。随着数字化、智能化技术在工艺控制、设备诊断以及人员培训等领域的深度应用,反应釜风险防控正在由经验驱动朝着数据驱动转变,由被动响应朝着主动预警演进,为提升本质安全水平以及运行可靠性提供了更为坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 马可望, 孟丽杰. 化工反应釜内衬失效机理分析及防腐技术创新路径 [J]. 四川化工, 2023, 26(4): 45-48.
- [2] 毕延帅. 基于多传感器融合的化工反应釜安全预警系统设计分析 [J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(2): 32-35.
- [3] 殷新来. 精细化工反应釜温度失控快速抑制方法 [J]. 化工设计通讯, 2022, 48(1): 77-80.
- [4] 孙瑞军, 马云亮, 崔金城. 化工反应釜智能监控技术在精益生产质量控制中的应用 [J]. 流程工业, 2023, 42(5): 28-31.
- [5] 张洪进. 具备循环功能的化工安全反应釜结构优化设计 [J]. 流程工业, 2024, 43(1): 19-22.
- [6] 李成党, 鲁良, 张雪. 化工设备中自控与反应釜液位控制系统的智能化改造实践 [J]. 化工安全与环境, 2022, 35(3): 41-44.
- [7] 谢文良. 化工装置中高温高压反应釜的安全控制研究 [J]. 化工设计通讯, 2023, 49(5): 62-65.
- [8] 彭安芹. 具有双向混合与节能功能的化工反应釜结构优化研究 [J]. 流程工业, 2024, 43(3): 15-18.
- [9] 吴红胜. 大型化工反应釜故障诊断与高效维修技术探索 [J]. 2025年第八届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会论文集, 2022, 1(6): 112-115.
- [10] 李宗亚. 石油化工反应釜搅拌器的设计改进 [J]. 现代盐化工, 2023, 50(4): 55-58.

职业健康安全管理体系在企业安全生产中的应用研究

朱继聪

首都航天机械有限公司, 北京 100076

DOI:10.61369/ETQM.2026060035

摘 要 : 在目前安全生产监管越来越严, 企业经营战略不断改变的大环境之下, 职业健康安全管理体系 (OHSMS) 正从一种推动企业管理规范化、风险控制体系化和员工福利保障制度化手段, 走向一个重要的工具。本文联系中国企业实际情况, 系统剖析 OHSMS 在其中的应用情况, 探究它给企业绩效改进、员工权益守护和社会持续发展带来的综合影响, 就针对上述问题提出相应的改善策略, 希望能给企业创建更为高效化管理模式赋予实证支撑和操作参照。

关 键 词 : 职业健康; 安全管理体系; 企业安全生产; 应用研究

Research on the Application of Occupational Health and Safety Management System in Enterprise Production Safety

Zhu Jicong

Capital Aerospace Machinery Corporation Limited, Beijing 100076

Abstract : In the current environment where safety production supervision is becoming increasingly stringent and corporate business strategies are constantly changing, the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) is evolving from a means of promoting standardized corporate management, systematic risk control, and institutionalized employee welfare protection into an important tool. This paper, in connection with the actual situation of Chinese enterprises, systematically analyzes the application of OHSMS, explores its comprehensive impact on corporate performance improvement, employee rights protection, and sustainable social development, and proposes corresponding improvement strategies for the aforementioned issues, hoping to provide empirical support and practical reference for enterprises to create more efficient management models.

Keywords : occupational health; safety management system; enterprise production safety; applied research

在我国工业化不断深入的情况下, 安全生产成了保证企业高质量发展的关键支撑。在这样的情况下, 职业健康管理同传统安全管理的深入融合变成产业转型升级的主要动因。尽管有些企业已经在日常的生产经营中引入职业健康安全管理体系 (OHSMS), 但是其实际实施的效果还不到位, 管理体系的效率还亟待提高。对 OHSMS 在企业管理中应用现状、存在的问题和潜在价值进行系统分析, 通过具体的案例提出改进措施, 一方面可以减少生产安全事故的发生, 另一方面也可以使企业可持续发展战略得以实现。此种研究途径对于促使其他企事业单位加强安全工作绩效也有十分重要的参考价值和推行意义。

一、职业健康安全管理体系在企业安全生产中的应用现状

(一) 体系应用覆盖面逐步扩大, 但行业差异明显

近几年来, 在国家不断加强对安全生产监督管理的同时, 企业的安全意识也在不断提高, 职业健康安全管理体系在各行各业的使用也从原来的化工、矿业、建筑业等行业扩大到了制造业、服务业、交通运输等各个领域。尤其在大型国有企业和重点民营企业里, 体系认证已经变成改善内部管理水平并且加强社会责任形象的重要手段。有些企业在实施过程当中将这一体系的主要思

想完全渗透到日常的经营管理工作之中, 促使安全管理工作向着规范化、精细化迈进^[1]。目前职业健康安全管理体系的应用还存在着明显的区域差异和产业结构特点, 在资源密集型或者环境敏感型企业集聚地区由于安全形势严峻、法律严格等原因其执行情况更加明显、模式更加成熟, 而中小规模私营企业以及传统的服务业机构由于资金缺乏、专业人员少、风险防控意识弱等原因, 存在着“形式主义”现象时有发生, 不能达到预期的效果^[2]。

(二) 体系认知逐步提升, 但深度仍显不足

目前, 大多数企业对企业职业健康安全管理体系战略价值的

作者简介: 朱继聪 (1995.06-), 女, 汉族, 北京市人, 工程师, 本科, 研究方向: 安全科学与工程, 安全教育培训, 建设项目“三同时”, 管理体系运行。

认识存在局限性，认为其是附加的、不重要的，而不是企业管理的重要组成。虽然一些企业已经开始实行体系化的培训，并开始摸索出职责分层的模式，但是从整体上来说还存在着被动应付式的习惯性思想，很难达到主动预防式的管理模式。管理层在认识体系的时候，只停留在表面的层面，把它当作合规要求的技术支撑手段，而没有意识到它系统化的安排以及持续改进的意义。一线员工一般把该体系当作一种形式化的规章集，对它的内部逻辑和指导作用缺乏深刻的认识，因此参与安全管理的积极性较低。

（三）体系框架初步建立，但执行力度不足

大多数引进职业健康安全管理体系的企业一般依照 ISO45001 标准创建起初步的架构，创建安全手册，作业指导书和应急预案等一套系统的规章制度，清楚地划分各个岗位的责任，推行“全层级覆盖，分段管理”的治理模式。实践过程中也存在许多问题，一些企业的管理制度由于不能满足实际需要，造成环境发生变化时无法跟上脚步，没有建立持续改进的机制，从而导致理论和实践相脱离；一线员工对于安全生产规范的认识较少，违规行为时有发生，例如没有按规定穿戴防护用品、私自使用特殊设备等现象经常出现。内部监督体系流于形式化，不能及时发现、及时消除运行过程中存在的主要问题，从而影响到整个工作运转的效率，降低风险管理工作效果。以某中型化工企业为例，虽然已经形成了一套比较完整的书面文档和技术预案体系，但是在实地考察过程中却发现，基层员工对于相关条款的理解很模糊^[3]。

二、职业健康安全管理体系在企业安全生产中的应用意义

（一）保障员工身心健康，维护员工合法权益

员工身心健康是企业生产经营活动顺利进行的前提条件，也是企业履行社会责任的重要表现形式。以“以人为本”为思想基础的职业健康安全管理体系建设，其主要目的是通过系统辨识生产经营活动中出现的各种职业危害因素，即粉尘污染、噪声超标和有害化学物质暴露等，并用科学手段予以控制和治理。该体系主要对劳动保护装备的合理配备和规范使用情况进行关注，并且定期开展员工健康检查，创建完善的职业健康档案管理系统，从根本上降低职业病发生率，保障职工生命安全、身体健康。经过细化岗位职责分工和权益保障机制、改善工作环境条件、加强法规遵从意识等努力，大大减少了人为失误所造成安全风险，防止了由于安全问题造成的人员伤害，继续保护员工的合法利益。

（二）规范企业安全生产行为，降低安全事故发生率

职业健康安全管理体系为企业安全生产赋予了系统的、规范化的管理方式，主要从确定职责权限、改善业务流程、健全保障体系等角度来实现企业的安全管理规范化、标准化的目的。根据生产环节各种可能的风险因素，结合对隐患的精确评价，建立分层次风险控制和隐患治理相结合的安全生产风险管理体系，达到源头防止事故发生的目的一种风险管理机制。在此框架之下，企业要创建起标准操作程序，并且依靠健全的监督稽查和绩效考评

制度来约束员工的行为，大幅削减违规操作或者冒险作业出现的可能性，进而缩减总的事故发生率。经由实证研究显示，实行该种管理手段之后，相关企业所具备的安全管理水平得到了显著的改善，并且事故频发的数量不断降低^[4]。

（三）提升企业核心竞争力，推动企业可持续发展

由于市场竞争日趋激烈，安全监管日趋加强，在这样的环境下职业健康与安全管理绩效已经变成了决定企业核心竞争力的重要因素之一。推行职业健康安全管理体系统不仅是企业改进经营管理方式的有效途径，也是提高本质安全管理水平的重要方法。该体系得以有效运转可以明显削减由于事故发生而造成的直接经济损失（赔偿金，停产损失等等），而且可以防止因为违法行为所引发的法律责任风险，进而保证企业的持续发展。此等认证成果已经成为企业争夺市场优势的依据，在招标采购以及供应链合作当中经常被当作重要衡量标准之一。不但有利于塑造企业专业品牌形象，还能加强与各方利益相关者之间的信任，给企业开拓更宽广的市场、获得更多发展机会打下基础。

三、职业健康安全管理体系在企业安全生产中的应用策略

（一）强化体系认知，树立正确的安全管理理念

提高职业健康安全管理体系的实际效能首先要解决全员对这一管理体系的认识程度问题，建立系统的安全治理理念——以安全为中心、注重预防、综合治理。在此基础上要形成分层、全覆盖的培训体系，即对高层管理者进行专业的培训，以使他们深刻理解 GB/T 45001-2020 标准的重要部分，并且认识到它对企业管理的作用，防止出现形式主义现象，使体系能够渗透到战略目标设定和业务流程规划当中来，确定各个管理层级的安全管理责任范围，保证制度的严格执行；对第一线作业人员基本安全知识的宣传培训，采取班前会、专题讲堂、案例分析等方式，详细阐释规范内容、岗位操作标准、应急处置办法等要点，加强他们的风险管控意识和责任心，推动他们自觉遵守规定并积极参加风险识别、隐患排查活动。企业还要根据自身的行业特点对相关文件进行细化解释，引导全体员工准确把握体系建设的主要目的和具体途径，在组织内部营造起全员动员、层层负责的良好氛围，真正建立起“全员参与、分层管理”的安全运行模式^[5]。

（二）完善体系框架，推动体系与实际生产深度融合

健全的体系结构是保证职业健康安全管理体系高效运转的基础。企业建立该体系时需要从行业属性、生产工艺特点和风险因素三个方面进行考虑，并以科学规划、精准匹配的方式使它和生产经营活动高度协同^[6]。从制度上讲要根据生产工艺流程和岗位要求，按照安全生产管理制度的修订、完善的要求，明确各级责任人员及具体要求，尤其重视安全生产管理制度的实用性、可操作性，在工作中消除安全生产制度上的形式主义现象^[7]。机械加工型企业可以制定出有针对性的操作规程和技术规范来解决由于设备防护不到位、工具布置不合理造成的现场管理问题，化工企业要从分析危险化学品特性入手，创建起覆盖原料采购、储存运

输、产品出厂全过程的全方位风险防控体系。在风险管理环节要创建起风险分级管控、隐患排查治理为两翼的综合性管理体系^[8]。对作业环节实施全生命周期风险源排查,使用LEC法等专业分析方法展开风险量级评估之后,依照行业通用标准(红橙黄蓝四级警示),采取分层管理的方式,创建起信息化平台持续追踪重要指标变动趋向,采取定期检查和随机督查相补充的模式来保证隐患问题得到快速响应和妥善解决。还要对现有的纸质文件或者电子档案加以规范化整合,消除多余的材料,缩减审批程序,减小基层工作人员的压力,进而加强整体的工作效率^[9]。

（三）强化执行力度，确保体系落地见效

安全保障体系的核心就是它的实践效果,只有各个要素得到了有效的落实,才能够真正发挥出它的功能价值。在现场管理上要特别注意加强监督,建立起一个系统化、多层次的监督网:第一,施工现场设立独立的安全管理部门或者配有专职安全管理人员,定期对体系运行情况进行全方位的检查,重点看作业人员是否按规定操作、机械设备是否正常运转、个人防护用品配备及使用情况如何等;对于存在的问题要及时加以纠正并促使责任人完成整改工作,保证闭环管理机制得以有效运转;第二,加强员工行为控制,采取岗前培训、技术比武、实操演练等形式提高技术人员的专业素质,引导技术人员严格执行技术操作规程,减少违

规操作。采用虚拟现实技术模拟出复杂的工况下出现的风险情况(电气事故、高空坠落等),进而提升一线工作人员应急反应能力;按照行业的特点来制订专门的培训课程,针对各个岗位的风险因素分别设计教学方案。建立科学合理的绩效评价制度,将安全管理的实际效果作为个人收入分配、团队考核的内容,对安全工作成绩好的予以奖励,对违反安全纪律的按规定进行处罚,营造积极向上、奖惩分明的工作环境,促进全体员工共同参与安全生产管理^[10]。

四、结束语

综上所述,职业健康安全管理体系是现代企业管理框架中的一部分,它对企业的员工健康、安全、生产、质量、成本等各方面都有着重要的作用,尤其可以提高企业的社会责任感。尤其在全球安全生产监管越来越严的形势下,为了适应企业的可持续发展需要,必须充分认识体系的本质内涵,完善组织架构设计,使体系深入到企业的日常生产经营之中。应该着力加强具体操作的执行力度来保证政策的有效落实,健全支持系统构建长效机制,充分发挥体系的优势作用,帮助企业实现安全生产的目标的同时达到长期发展战略的目的。

参考文献

[1] 及燕铭,徐波,李彦平,等.企业职业健康管理体系的典型经验案例与示范价值研究[J].中国安全生产科学技术,2025,21(S1):127-133.

[2] 郝金,陈闯.双控预防机制与职业健康安全管理体系的整合路径探索[N].企业家日报,2025-05-27(006).

[3] 罗进军,刘泽红,袁华胜,等.安全生产标准化和职业健康安全管理体系的融合路径探讨[J].劳动保护,2025,(04):69-71.

[4] 刘志腾,黄胜岳,左兆迎.职业健康安全管理体系有效性评价研究[J].质量与认证,2024,(S1):73-79.

[5] 祝学辉,刘永利.安全生产标准化和职业健康安全管理体系的有机融合[J].低碳世界,2023,13(10):184-186.

[6] 王小伟.职业健康安全检测在管理中的应用[J].中国标准化,2023,(12):151-153.

[7] 马松,丁士杰,乔海洋.浅谈职业健康安全管理体系的有效运行[J].建筑工人,2023,44(05):41-43.

[8] 张铤.基于职业健康安全管理体系的双重预防机制探索实践[J].现代职业安全,2022,(12):92-95.

[9] 徐超飞,彭科燕,刘蒲理.如何使职业健康安全管理体系的文件化信息“接地气”[J].现代职业安全,2022,(12):38-40.

[10] 邹云,王小琰.职业健康安全管理体系在航天企业的应用及对策[J].现代职业安全,2022,(08):90-92.

桥梁下部结构施工质量控制研究

韩启飞

张家口路缘公路工程有限公司, 河北 张家口 076250

DOI:10.61369/ETQM.2026060037

摘 要： 桥墩下部结构是上部结构受力与基础稳定的载体，对整个结构的功能性和长久性有着决定性的影响，针对存在的桩位误差大、承台开裂、柱子垂直误差过大以及钢筋保护层过薄的现象，在施工前、测量、材料、流程、检查验收各阶段进行全面的過程质量把控，加强重点部位监控力度并明确责任人，能避免很多结构上的缺陷问题产生，提高下部结构整体的稳固性和工程品质的可信度，从而保证桥梁的安全性、使用寿命及后期维护保养。

关 键 词： 桥梁工程；下部结构；施工质量控制；全过程管理；结构耐久性

Research on Construction Quality Control of Lower Structure of Bridge

Han Qifei

Zhangjiakou Luyuan Highway Engineering Co., Ltd., Zhangjiakou, Hebei 076250

Abstract： The substructure beneath bridge piers serves as the load-bearing and foundation-stabilizing element for superstructures, exerting decisive influence on the structural functionality and durability. To address common issues including significant pile positioning errors, pier cap cracking, excessive column vertical deviations, and insufficient reinforcement cover thickness, comprehensive quality control measures must be implemented across all phases—from pre-construction preparation and measurement to material selection, workflow execution, and final inspection. Strengthening monitoring of critical areas with clearly defined accountability mechanisms can effectively prevent structural defects, enhance substructure stability, and improve engineering quality reliability. These measures ultimately ensure bridge safety, extended service life, and optimal maintenance performance.

Keywords： bridge engineering; lower structure; construction quality control; whole-process management; structural durability

引言

桥梁下部构造是支撑上部构造和基础的重要传力构件，直接影响到桥梁的整体稳定性和使用寿命以及使用寿命的安全保障问题。目前公路建设不断发展，桩基、承台、墩柱与桥台都面临着复杂的地质环境、工序紧凑、质量隐患增加等问题，如果这些重要的节点控制不好很容易造成结构缺陷从而影响到以后的使用。针对常见的质量问题、产生原因及其解决途径进行分析研究可以为未来施工质量管理和技术改进方向指明明确方向。

一、桥梁下部结构施工质量控制的重要性与控制对象

（一）桥梁下部结构的组成及功能

桥梁下部结构主要由桩基础、扩展基础、承台、墩柱、桥台与附件联系件构成，是承重结构体系中负责传递荷载、保持基础稳定的最关键部位；上部结构恒载、汽车荷载、制动效应、气温影响以及偶然荷载都必须通过下部结构传给地面或者持力层，所以它不仅要承担垂直方向上的荷载还需要抵抗水平移动、冲刷、下沉以及非均匀变形等多种不利因素的影响。对于跨越河流的大桥来说，墩台基础还要经受水流作用、局部冲刷与季节性高低水位的影响；而山岭重丘上的大桥还需要满足边坡稳定的需求及地基差异沉降的要求。根据《现行桥梁工程施工质量验收标准》规

定，对于下部结构几何尺寸、轴线位移、顶面标高等垂直度等都要处在允许偏差中，而只有当承载、传力、耐久三者协调统一才是桥梁上部施工、线形控制及长期运营稳定的前提^[1]。

（二）施工质量控制的重点内容

桥梁下部结构施工质量控制必须覆盖测量放样、钢筋加工、安装、模板拼装加固、混凝土浇筑振实、养护拆模以及实体检测等全过程之中，而桩位偏差、桩身垂直度、墩柱轴线偏位、钢筋保护层厚度以及混凝土强度是最重要的控制因素。在现场施工控制时，对于桩基施工而言，一般将桩位偏差控制在50mm左右；墩柱垂直度偏差可分构件大小进行控制；模板安装完毕之后还需再次检查轴线和截面尺寸、顶面标高等；钢筋工程方面主要是对钢筋的型号、间距和锚固长度进行检查之外，还要特别注重保护

层厚度问题，通常使用最多的保护层厚度都是40~70mm等等。对于混凝土浇筑要严格做到坍落度、分层浇筑高度及振动时间，避免发生离析、蜂窝、空洞以及冷缝等问题。

（三）下部结构施工质量失控的影响

下部结构一旦出现问题就有着隐蔽性强、难整改以及后期影响程度不断加剧等特性。桩位偏离或桩身不合格都会使单桩承载力下降，造成桩基群桩受力不平衡、承台偏心受压，在浇筑承台墩柱混凝土过程中有裂缝、夹渣、强度不够等问题都很容易引发局部应力集中，从而降低梁柱的承载力和抗压、抗剪、抗震能力；而保护层过薄容易导致钢筋生锈腐蚀，降低结构使用寿命。对高墩、大跨径、水中墩桥梁而言，下部结构尺寸问题会影响到上部结构的支座布置、梁段形状、桥面的平整度，后期整改代价高昂，复原因难重重。如果沉降控制不好还会引起墩台不均匀下沉、伸缩缝过大或者过小及附属结构开裂等一系列的问题^[2]。

二、桥梁下部结构施工中常见质量问题及原因分析

（一）基础与承台施工中的主要质量问题

基础及承台施工阶段质量通病的特点是隐蔽性强、后期修理费用大，其主要存在的问题有：桩位偏离、孔斜超标、桩长不够、缩径断桩、孔内积水沉渣量大、承台截面尺寸误差、混凝土蜂窝麻面等等。钻孔灌注桩施工时，如果护筒埋置偏心过大、测量控制坐标网校对不到位以及钻孔设备垂直度调节不当则很容易导致桩位偏心、成孔倾斜的问题。孔底沉渣超厚、清理不干净或者导管埋置深度不当会导致混凝土灌注中断而导致的夹泥、断桩、断桩以及混凝土离析等问题。承台施工阶段，模板接茬不严密、钢筋笼定位不准以及振捣不足等情况会使得结构表面出现麻面、孔洞、漏浆等现象。

（二）墩柱与桥台施工中的主要质量问题

墩柱及桥台是桥梁下部结构外露的承重部件，其质量缺陷会影响到整个桥梁的安全性能，同时也会使外观成形受影响，甚至造成上部结构施工时的精准度降低等问题，其中常见的缺陷有墩柱垂直误差大、模板错位、断面尺寸误差、钢筋保护层厚度不够、混凝土表面出现蜂窝麻面、漏筋以及颜色差异严重等；这些问题产生的主要原因大多都是因为模板体系不稳定的情况下进行施工、对拉螺栓分布不合理、钢筋定位垫块分布不均匀或存在空隙现象、混凝土坍落度不稳定、分层浇筑与振捣操作不当等造成的。墩柱施工一般要保证其纵横向的中心线位置，垂直度以及顶面高程符合设计及验收规范的要求，在模板安装时如有较大误差以及在浇筑过程中的侧压控制不到位容易造成胀模、跑模、错台的现象，若养护时间过短或者日夜温差过大、拆模过早等易造成混凝土表面干缩开裂和棱角损坏等问题从而降低砼结构的耐久性和外观质量^[3]。

（三）质量问题产生的综合性原因

桥墩基础问题一般不是简单的由一个原因引起的，是由于人、材、机、法、环等多种原因共同作用造成的。人：测量、钢筋、模板、混凝土工种之间的技术接口不够好，导致工序交接不

到位，出现问题不能及时发现；材：水泥、砂石料、外加剂和钢筋原材料未经分批检测，会造成强度不稳定、流动性差以及保护层偏差大等问题；机：钻机、吊装设备、振捣器和计量设备的状态不佳，直接影响成孔的质量、安装水平和浇筑密度；法：技术交待不清、样板引路少，隐蔽工程检查走过场，导致一些质量问题不易在初期识别出来；自然因素的影响有软弱地基、地下水变化、河道冲刷、低温或者高温条件下均会使施工控制更加困难^[4]。

三、桥梁下部结构施工质量控制的关键措施

（一）施工准备阶段的质量控制

施工准备阶段要将质量把控前置到方案比选及资源配备上，强化图纸审核，专项施工方案审批，技术交底，测量控制网测设，原材料进厂验收等工作，对桩基、承台、墩柱和桥台等重要位置，在根据设计标高、轴线坐标、地质情况、施工现场条件等对控制网点精度以及施工放样基准进行校核，防止因累计误差造成结构变形；钢筋、水泥、砂石、外加剂、模板材料等进场后应分批进行见证取样及复试，了解强度级别、规格型号、性能参数；另外设置岗位质量责任制，明确测量、钢筋、模板、混凝土以及检测这几道工序的责任到个人身上并对其桩位控制、钢筋保护层厚度、模板垂直度、混凝土坍落度以及养护时间这些重点控制部位预先控制，以确保正式开始施工时的技术、物资及机械设备条件已经具备了^[5]。

（二）施工过程阶段的质量控制

施工现场阶段应该贯彻执行“测量为主、工序可控、记录在案”的管理准则，在进行桩基础浇筑作业之前要做好对桩位中心点、埋设护筒高度、钻机钻塔垂直度、孔径以及孔底沉渣厚度等参数的测量核实，而在混凝土灌注过程中则要做到连续下料以及控制好导管的埋置深度恒定平稳，在承台、墩身浇筑时要注意钢筋笼定位准确程度、保护层厚度控制、模板拼接缝隙紧密状况、对拉件牢固程度以及混凝土分层浇筑厚度等问题，避免出现露筋、胀模、错位、冷缝、蜂窝麻面等质量通病现象发生，对于混凝土浇筑还应当注意坍落度、振捣时间、养护龄期等方面加以把控，拆模时间须与混凝土的实际强度增长情况相对应。隐蔽工程必须进行旁站验收及跟踪记录，实行动态监管，做到：放样有复核、安装有检查、浇筑有旁站、养护有台账^[6]。如下表1。

表1 桥梁下部结构施工过程主要质量控制指标统计表				
检测项目	检测数量	合格数量	合格率 /%	控制要点
桩位偏差	30	28	93.3	放样复核、钻机对中
钢筋保护层厚度	40	37	92.5	垫块布置、骨架定位
墩柱垂直度	20	19	95.0	模板加固、测量校核
混凝土强度	15	15	100	配合比、养护控制
结构尺寸偏差	25	24	96.0	模板拼装、拆模复测

（三）检测验收阶段的质量控制

质检验收环节应当遵循以下流程来开展质量判断工作，“观

察外观——测量尺寸——检查实品——查阅文件”，外观查验主要针对的是蜂窝、麻面、龟裂、露筋、缺棱掉角以及模板错台等问题；而尺寸核查则是针对的是轴线偏位、截面尺寸、顶面标高以及构件垂直度等内容来进行；实体检验需要参考的是混凝土强度、钢筋保护层厚度、回弹、超声波和钻芯取样等检测报告综合评定混凝土结构的质量状况，针对存在的局部尺寸不合格或者质量问题、强度不够、表面缺陷都应当及时记录处理完毕并落实责任人及整改措施、复检结果等。验收资料除了需要包含原材料复试报告、隐蔽工程检查记录、测量复核结果及检验批资料以外，还要保证实测数据和现场实物相符合，以便增加对桥梁下部构造工程质量检查评定准确度及其追溯性。

四、提升桥梁下部结构施工质量控制水平的管理建议

（一）完善质量管理体系与责任机制

提高桥梁工程施工质量控制能力，在这方面首先要从制度和责任入手，完善项目经理和技术负责人、质检员、测量员、试验员、班长的质量责任网络，实现“层级分明、权责到位、追责有据”，对桩基开钻、钢筋隐蔽、模板安拆、混凝土浇筑和拆模养生等重要环节，必须实行首件鉴定、样板引路、技术交底和工序交接验收制度，不符合标准坚决不允许进行下道工序。而对质量管理而言也需要同时健全材料报检、尺寸核量、暗埋验收及问题整改闭环管理流程，在质量评定上也要把轴线位移、标高偏差、保护层厚度、垂直偏差以及混凝土强度列入问责范畴之中，让质量监管从被动检验转为主动防范以及过程制约，确保基体各分部工程均处在可控范围之内^[8]。

（二）推进信息化和标准化管理

桥梁下部构造工程建设过程中应用信息化及规范化管理可以有效增强质量管理的准确性以及管理效能，现场可以通过测量放样、打桩定位、模板安装复查、钢筋保护厚度检测以及混凝土浇

注记录等纳入信息化管理系统当中，做到测量数据，试验数据以及验收文件等电子建档并实时更新，解决纸质台账更新缓慢、遗漏以及重复登记等问题。对重要环节实施图像留存、二维码追踪及电子确认方式，让桩位核实、隐蔽工程质量检查、混凝土试块制作及养护记录具有全程可追溯特点。同时还要推行规范化施工工艺，在钢筋成型长度，模板组合法式，支架固定点，混凝土浇筑层度及振捣时长等方面制定标准，编制工法指南与质量检查表。

（三）加强人员培训与现场监督

桥涵下部工程作业包含测量、钢筋、模板、混凝土以及实验检测等多个专业交叉合作，人员技能水平高低及现场把控力度大小决定着工程质量水平高低，所以应该把培训和监管作为一项常抓不懈的工作来抓。开工前应对桩基钻孔质量、钢筋焊接、模具加固、混凝土振捣、防裂措施以及成品保护等方面进行专项技能培训和交底，使操作人员熟悉施工方法流程、允许误差范围以及验收标准；重要岗位应采取实名制管理并定期考评制度。现场监管要建立施工自检、监理复核、业主巡查三位一体的质量管理体系，加强对桩基灌注、承台浇筑、墩柱立模和养护等关键环节的质量监督把关，做好不合格项目的整改复查工作^[9]。

五、结语

桥梁下部结构施工质量把控覆盖了桩基钻孔、钢筋绑扎、模板搭建、混凝土灌注、养护到检验等全环节，较为系统的专业复杂。结合实际常见的问题以及其产生的原因，应综合考虑施工前期准备，施工过程中监控，检测验收以及管理制度等多个方面同时加强管理，对重要流程及测试数据实施严格的把关措施，形成明晰职责范围，统一评价标准，全程有据可循的质量保证方案。从而减少出现缺陷的可能性，提高下部结构受力性能，耐久程度以及运行安全性。

参考文献

- [1] 吴杰良, 黄健涌, 潘春辉. 预制拼装桥梁下部结构安全性分析研究 [J]. 工程质量, 2025, 43 (11): 5-7+24.
- [2] 万睿智. 高速桥梁桩基及下部结构的施工特点和设计方案 [J]. 汽车画刊, 2025, (06): 230-232.
- [3] 孟磊. 桥梁下部结构中墩台施工技术的新发展 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6 (13): 129-131.
- [4] 王锋. 桥梁下部结构快速化施工技术管理研究 [J]. 建筑科技, 2025, 9 (07): 48-51.
- [5] 李海兵; 杨战营. 市政桥梁下部结构快速化施工技术管理研究 [J]. 散装水泥, 2026, (01): 53-55.
- [6] 孟祥宇. 深谷大跨桥梁墩身施工风险安全管理及管控对策的研究 [D]. 石家庄铁道大学, 2025.
- [7] 戴坤富. 路桥施工技术与质量管理方法的研究 [J]. 产业创新研究, 2025, (03): 129-131.
- [8] 孙明泽. 淤泥质黏土及细砂层桥梁下部结构施工技术 [J]. 中国水泥, 2025, (03): 124-126.

手工焊接在钢结构安装中的应用与质量保证

辛德明

昌吉职业技术学院, 新疆 昌吉 831100

DOI:10.61369/ETQM.2026060038

摘 要 : 在钢结构安装施工现场, 手工焊接是应用最普遍、灵活性最强的一种连接工艺, 广泛用于各类钢构件拼接、节点连接以及缺陷补强等施工环节。现场焊接施工的好坏, 直接关系到钢结构整体结构安全、使用稳定性和长期服役寿命。结合钢结构现场安装的实际施工工况, 本文梳理手工焊接在钢结构安装工程里的实际应用形式, 剖析施工材料、工艺参数、操作人员及现场环境等多方面对焊接质量的影响, 从焊前准备、施焊过程、焊后检测以及后期运维四个维度, 制定全流程质量管控办法。研究成果可为现场手工焊接施工提质增效提供实际参考, 也能推动该项工艺在钢结构安装施工中走向规范化、标准化落地应用。

关 键 词 : 手工焊接; 钢结构安装; 施工应用; 质量影响因素; 质量管控

Application and Quality Assurance of Manual Welding in Steel Structure Installation

Xin Deming

Changji Vocational and Technical College, Changji, Xinjiang 831100

Abstract : Manual welding is the most widely used and flexible connection process in steel structure installation and construction sites, widely used in various construction processes such as steel component splicing, node connection, and defect reinforcement. The quality of on-site welding construction directly affects the overall structural safety, stability, and long-term service life of steel structures. Based on the actual construction conditions of on-site installation of steel structures, this article summarizes the practical application forms of manual welding in steel structure installation engineering, analyzes the impact of construction materials, process parameters, operators, and on-site environment on welding quality, and formulates a full process quality control method from four dimensions: pre welding preparation, welding process, post welding inspection, and post operation and maintenance. The research results can provide practical reference for improving the quality and efficiency of on-site manual welding construction, and can also promote the standardization and application of this technology in steel structure installation and construction.

Keywords : manual welding; installation of steel structures; construction application; quality influencing factors; quality control

引言

钢结构自身具备力学强度高、抗震性能优越、施工周期短、绿色环保等突出优势, 如今已大量应用在工业厂房、民用高层建筑、市政桥梁等工程场景中。手工电弧焊作为钢结构安装现场的关键施工工序, 和自动化机械焊接相比, 所需设备简易、场地适应性强、操作灵活便捷, 面对复杂异形节点、高空受限位置以及狭小作业面等特殊工况, 都能顺利完成施焊作业, 在钢结构安装施工中有着不可替代的实用价值。

但从现场实际情况来看, 手工焊接受人为操作、材料工况、环境条件等多重变量制约, 质量容易出现波动, 经常出现焊缝裂纹、表面气孔、内部未焊透、夹渣等常见缺陷。这些质量隐患若不能及时排查整改, 会直接削弱钢结构受力性能, 埋下安全隐患。因此, 深入梳理手工焊接在钢结构安装中的实际施工用法, 找准质量隐患成因并配套落地管控措施, 对提升钢结构安装整体施工品质有着十分重要的工程现实意义。

一、手工焊接在钢结构安装中的具体应用方法

（一）钢结构构件对接焊接方法

钢构件对接焊接是现场手工焊接最常用的形式，主要用来完成型钢、钢板等构件的接长和截面拼接，保证拼接位置受力均匀、连接整体牢固。正式施焊前，必须做好接口预处理工作，把接口表层铁锈、油污、氧化皮及杂质彻底清理干净，保证接口板面平整无磕碰、无缺损。结合构件板材厚度合理预留接口间隙，常规间隙控制在 2-4mm，厚板构件还要按规范开设焊接坡口，从根源上避免出现焊接未焊透问题。

现场多采用手工电弧焊施工，选用和构件材质相匹配的专用焊条，遵循由中间向两端、对称分段施焊的施工原则。作业过程中精准把控焊接电流和行走速度，电流过大会造成板材烧穿、晶粒粗大，焊接速度过快又容易熔合不充分，形成未焊透缺陷。施焊时要维持熔池饱满状态，保证焊缝外观成形规整均匀，每一道焊缝完成后及时敲除焊渣，检查无缺陷后再开展下一层施焊，直至焊缝高度、宽度达到设计标准，确保对接接头力学强度不低于母材自身强度^[1]。

（二）钢结构构件角接焊接方法

角接焊接多用于钢构件直角、斜角交汇位置，像钢梁与钢柱节点、钢柱底部与基础预埋板、支撑构件和主体钢结构的连接都属于这类工况，角接焊缝施工质量直接决定钢结构节点承载能力和整体稳定性。施焊前期要清理角接接口周边杂物杂质，校准构件拼接角度，常规受力节点保持 90° 直角对接；对于大荷载、高受力关键节点，需在接口位置开设单边或双边坡口，提升焊缝熔合效果。

采用手工电弧焊作业时，焊条倾斜角度大致控制在 45°，让电弧能够均匀覆盖两个构件接触面。焊接电流依据板材厚薄实时微调，规避夹渣、未熔合等常见质量通病。施工采用分层多道焊接方式，单层焊缝厚度控制在 3-5mm，每层焊完后彻底清理层间焊渣，保证层间结合紧密。最终角焊缝焊脚高度严格遵循设计及规范要求，原则上不小于构件最小壁厚，切实保障节点连接稳固可靠^[2]。

（三）钢结构节点补强焊接方法

钢结构节点是整体受力传递的核心关键部位，安装施工阶段常会出现受力集中、构件安装偏差、原有焊缝不足等问题，必须通过补强焊接进行加固处理。手工焊接凭借操作灵活、不受场地和空间限制的优势，成为现场节点缺陷修补、结构加固的首选工艺。

补强施工前，先对节点整体外观及焊缝进行全面排查，精准划定补强范围和施工标准，打磨清理节点表层氧化层和杂物，根据缺陷实际类型制定针对性补强方案。针对焊缝厚度不足、局部未焊透等小范围缺陷，采用分层补焊方式，选用与原焊缝同材质、同型号焊条，沿缺陷边缘逐层熔焊，确保新老焊缝融合密实，不产生新的气孔、夹渣隐患。对于高受力易变形节点，可增设加劲板辅助加固，将加劲板与主体构件贴合密实后再手工施焊，保证板面无空隙、焊缝饱满均匀，有效提升节点承载能力，

防止后期使用过程中出现变形、开裂等病害。

二、手工焊接在钢结构安装中的质量影响因素

（一）焊接材料对焊接质量的影响

焊条是手工焊接最核心的耗材，其型号规格、材质性能必须和钢构件母材材质、设计焊接要求精准匹配。一旦焊条选型错误，会直接造成焊缝金属与母材熔合性差，诱发焊接裂纹、未熔合等缺陷，大幅降低焊缝整体力学强度。

同时，焊条存放保管条件也不容忽视，若长期放置在潮湿、通风不畅的环境中，焊条药皮容易吸潮变质，施焊过程中水汽进入熔池，极易形成气孔、夹渣，破坏焊缝致密性。另外部分工况配套使用保护气体，若气体纯度不达标，也会造成焊缝表层氧化严重、气孔数量增多，拉低整体焊接品质。可以说，焊接材料的选型、仓储保管和现场使用规范，是保障手工焊接质量稳定的基础前提，必须严格按设计及行业规范落地执行^[3]。

（二）焊接工艺对焊接质量的影响

焊接工艺参数及施工流程，是手工焊接作业的核心依据，工艺方案是否科学合理、现场执行是否规范，直接决定焊接质量的稳定性。焊接电流、行走速度、焊条倾角、施焊层数等关键参数，都要结合母材材质、板材厚度、接口拼接形式综合确定，任意一项参数偏离合理区间，都大概率诱发各类焊接缺陷。

电流偏大易造成构件局部过热、板材烧穿，焊缝内部晶粒变粗，韧性大幅下降；电流偏小则熔深不足，出现未焊透、未熔合，焊缝受力强度达不到标准。焊接行进速度过快，熔池成型不充分，杂质来不及浮出，容易留存夹渣、气孔；速度过慢又会造成焊缝余高过大，出现咬边、焊瘤等外观缺陷。焊条角度偏移会改变电弧走向和熔池形态，造成焊缝两侧熔合不均、局部夹渣。施焊层数偏少达不到设计焊缝厚度，层数过多又会累积焊接应力，增大裂纹产生概率。由此可见，科学设定工艺参数、严格规范施工流程，是把控手工焊接质量的核心环节。

（三）作业人员操作对焊接质量的影响

手工焊接属于高度依赖人工实操的工序，施工人员的专业技能水平、现场操作规范性和责任意识，对焊接成品质量起着决定性作用。若作业人员未经过系统专业培训，不熟悉不同钢材的焊接特性和工艺要求，无法精准把控电流、速度、焊条角度等实操细节，施工中很容易出现各类质量缺陷^[4]。

日常施工中，部分作业人员责任心不强，不按施工规范清理接口杂质、不提前核查焊条完好性，施焊时随意更改工艺参数，都会造成焊缝质量参差不齐。从业年限久、实操熟练的焊工，能够实时观察熔池形态、色泽变化，灵活调整施焊手法，焊缝成型规整、缺陷发生率低；而新手焊工手法不稳定，极易出现操作失误，留下质量隐患。因此，焊工的专业素养、实操熟练度和岗位责任心，是不可忽视的人为影响因素。

（四）施工环境对焊接质量的影响

施工现场外部环境条件，也是影响手工焊接品质的重要外因。环境温度过低时，熔池冷却凝固速度过快，极易产生冷裂

纹，尤其是厚板钢结构冬季施焊，裂纹发生概率会明显上升，同时低温还会弱化焊缝韧性和塑性。

空气湿度过大的工况下，空气中游离水汽会混入焊接熔池，进而诱发焊缝气孔、氢致裂纹，破坏焊缝致密性和受力强度。现场风速过大，会吹散电弧周边保护氛围，造成焊缝表层氧化严重，伴随气孔、夹渣生成，干扰焊缝正常成型。此外，作业区域粉尘漂浮、杂物散落，也会污染焊接接口和焊条电弧稳定性，间接引发夹渣、未熔合问题。做好施工现场环境监测与防护，是保障手工焊接质量不可或缺的外部条件^[5]。

三、手工焊接在钢结构安装中的质量保证措施

（一）焊接前质量控制措施

焊前质量管控是提前规避焊接缺陷、筑牢施工质量基础的关键，需从材料管控、接口预处理、人员资质、环境条件四个方面全面落实。

焊接材料方面，严格依照设计图纸及规范要求甄选焊条，逐一核对型号规格、出厂日期及质量合格证明，严禁过期、受潮、劣质焊条进场使用。焊条仓储需安置在干燥通风、防潮密闭库房，库房温度维持在 10~25℃，相对湿度控制在 60% 以内；现场使用前按规定恒温烘干，彻底去除药皮内部吸附水分。

构件接口方面，施焊前全面打磨清理接口区域，彻底清除铁锈、油污、氧化皮及附着物，保证板面平整无破损。根据板材厚度和接头形式规范开设坡口、调整对接间隙，全部达标后方可进入施焊工序^[6]。

（二）焊接过程中质量控制措施

施焊过程要聚焦工艺参数执行、现场操作规范和焊缝实时成型三大重点，第一时间发现并处置施工中的质量隐患。

工艺参数管控上，严格按照前期审定的工艺方案执行，结合母材材质、板厚、接头形式固定焊接电流、行走速度、焊条角度和分层层数，施工中途不允许随意更改参数，安排专人全程旁站监测，确保参数始终处在合理区间。

操作规范管控上，作业人员严格遵循安全及焊接操作规程，保持焊条倾角稳定、匀速平稳行进，保证熔池充盈饱满、焊缝成型自然均匀。每完成一道焊道，及时清理表层及层间焊渣，确认无夹渣、气孔隐患后再继续施焊，杜绝焊渣残留遗留质量问题^[7]。

焊缝成型管控上，焊工实时观察熔池形态、颜色变化，灵活微调操作手法，主动规避咬边、焊瘤、未焊透、密集气孔等通病。施工中出現轻微表面缺陷时，当场打磨补焊整改，确保每一道焊缝同步达标。同时做好施工台账记录，详细登记施焊时间、工艺参数、作业人员、构件部位等信息，为后期质量溯源留存依据^[8]。

（三）焊接后质量检测与整改措施

全部施焊作业完成后，及时开展全方位质量检测，全面排查内外缺陷，对不合格焊缝制定专项方案返修整改，确保成品质量满足设计及现行规范标准。

检测工作坚持“全面普查、重点抽检”原则，采用外观目视检查与无损内部检测相结合的方式推进。外观检查重点观察焊缝成型平整度、过渡顺滑度，排查有无咬边、焊瘤、表面裂纹、气孔、夹渣等可视缺陷，精准测量焊缝余高、焊脚宽度，核对尺寸是否符合设计限值。

对于主次受力节点、大荷载关键焊缝，采用超声波、射线等无损检测技术，深入排查焊缝内部未焊透、未熔合、隐性裂纹等深层缺陷，检测比例和评定标准严格执行行业规范。针对检测判定不合格的焊缝，精准标记缺陷位置、缺陷类型和危害程度，编制专项返修方案，由持证熟练焊工进行割除、打磨、重新补焊。返修完成后必须二次复检，检测合格后方可验收，坚决杜绝不合格焊缝投入工程使用^[9]。

（四）焊接质量后期维护措施

焊接成型后的后期运维，要结合钢结构工程使用场景、服役环境建立常态化巡检养护机制。定期重点排查高受力节点焊缝、室外露天暴露焊缝，重点检查有无开裂、锈蚀、局部脱焊等病害。巡检周期按工程类型区分，工业厂房、桥梁等重点钢结构工程，每半年至少全面巡检一次；普通民用建筑钢结构，每年开展一次专项检查即可^[10]。

四、结语

手工焊接凭借适用性强、操作灵活、设备简易等优势，在工业及民用钢结构安装工程中应用场景广泛，是现场施工无法替代的关键工序。其施工规范性和全流程质量管控水平，直接关乎钢结构工程结构安全、服役性能和使用年限。

参考文献

- [1] 吕文志. 钢结构与大体混凝土协同施工在工业厂房中的应用 [J]. 散装水泥, 2026, (02): 151-153.
- [2] 吴一鸣. 监理视角下钢结构工程质量通病防治策略 [J]. 大众标准化, 2026, (04): 91-93.
- [3] 庄轩. 钢结构建筑高强螺栓安装及防腐处理探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026, (04): 68-70.
- [4] 王永红. 钢结构厂房建设质量管理与优化策略研究 [J]. 工程设计与设计, 2026, (02): 242-244.
- [5] 蒋志武. 手工焊接中焊点工艺与质量控制分析 [J]. 新型工化, 2020, 10 (02): 92-95.
- [6] 刘恩福, 成猛, 张其政. 无铅手工焊接及常见缺陷 [J]. 新技术新工艺, 2019, (12): 58-61.
- [7] 闫树兵. 手工电子焊接辅助夹具的研制 [J]. 中国发明与专利, 2019, 16 (S1): 156-159.
- [8] 于帅, 高中来. 印制板手工焊接缺陷分析 [J]. 电子世界, 2019, (17): 31-32.
- [9] 李锐军, 韦文伟. 基于地钻头焊接技术的机器人焊接研究与应用 [J]. 轻工科技, 2019, 35 (09): 43-44.
- [10] 潘云丹. 建筑结构设计值得注意的若干问题 [J]. 黑龙江科技信息, 2010, (03): 264.

尾注

- 1 ^[1] Ding H L, Kahraman A. Interactions between nonlinear spur gear dynamics and surface wear[J]. Journal of Sound and Vibration, 2007, 307 (3-5) : 662-679.
- 2 ^[1] Kahraman A, Singh R. Non-linear dynamics of a geared rotor-bearing system with multiple clearances [J]. Journal of Sound and Vibration, 1991, 144 (3) : 469—506..
- 3 ^[1] Yuan B, Chang S, Liu G, et al. Quasi-static and dynamic behaviors of helical gear system with manufacturing errors [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2018, 31 (2) : 106-114.
- 4 ^[1] 汪中厚, 何中原, 等. 直齿轮的高精度插齿仿真加工与有限元分析 [J]. 机械强度, 2021,43(05):1221-1227. (2021) .
- 5 ^[1] 王奇斌, 张义民. 考虑齿距偏差的直齿轮转子系统振动特性分析 [J]. 机械工程学报, 2016, 52 (13) : 131-140.
- 6 ^[1] 张俊, 卞世元, 鲁庆, 等. 准静态工况下渐开线直齿轮齿面磨损建模与分析 [J]. 机械工程学报, 2017, 53 (5) : 136-145.
- 7 ^[1] 王延, 田志敏, 姚志国. 正交面齿轮传动系统啮合动力学仿真 [J]. 机械传动, 2013, 37 (11) : 57 — 60.
- 8 ^[1] 皇甫一樊, 董兴建, 等. 考虑齿距累积误差的圆柱齿轮动态磨损分析 [J]. 振动工程学报, 2023,36(06):1706-1713.
- 9 ^[1] 王有成, 刘检华, 等. 考虑齿面微观形貌和热变形的齿轮动态传动误差预测及影响因素分析 [J]. 机械传动, 2025,49 (10):10-21. (2025) .

