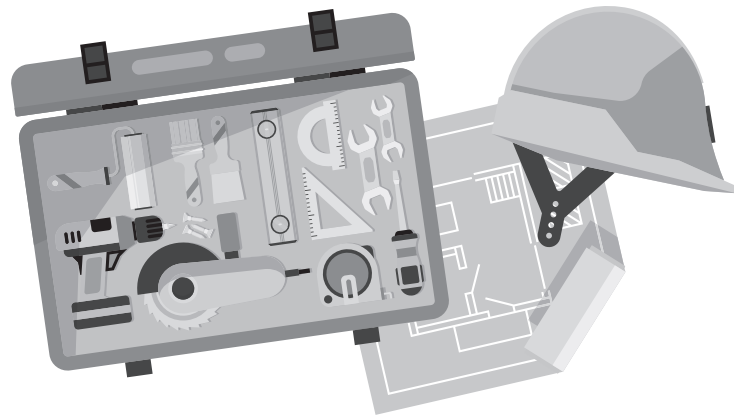


# 工程技术 与质量管理

Engineering Technology and Quality Management



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



## Editors-in-Chief

Yulei Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co. LTD.

Haizhong Gao

Zhejiang Zhongnan Construction Group Co. LTD.

## Associate Editor

Pengyue Yu

Shandong Construction Engineering (Group) Co., LTD.

## Editorial board member

Sanath Alahakoon

School of Engineering and Technology Centre for Railway Engineering

Salahuddin Azad

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

Yungang Wang

Ordos Sports Development Center

Qigui Chi

Expert Committee of China Construction Supervision Association

Danhui Chi

Fujian Provincial Institute of Engineering Supervision and Project Management  
Association

Yahui Chi

Fujian Provincial Civil Engineering and Construction Industry Association

Chunxiu Liu

Fujian Provincial Association of Engineering Construction Quality and Safety

Guixiong Yang

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

# 工程技术与质量管理

Engineering Technology and Quality Management

第3卷 第12期 2025年12月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程技术与质量管理》编辑部

ISSN(O): 2992-9806

ISSN(P): 2995-3170

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

网址: <https://www.artdesignp.com>

## 本刊说明:

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

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



## 工程技术 | ENGINEERING TECHNOLOGY

- |     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                              |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 001 | 解析建筑材料检测在建筑工程中的重要性<br>Analysis of The Importance of Building Materials Testing in<br>Construction Projects                                                                                                                                          | 高甜<br>Gao Tian                               |
| 004 | 装配式技术在公路桥梁建设中的应用效果分析<br>Analysis on The Application Effect of Prefabricated Technology<br>in Highway Bridge Construction                                                                                                                            | 纪续<br>Ji Xu                                  |
| 007 | 大跨度公路桥梁施工过程中的结构稳定性控制技术研究<br>Research on Structural Stability Control Technology in the Construction Process of<br>Long - Span Highway Bridges                                                                                                       | 李安平<br>Li Anping                             |
| 010 | 极端天气下公路日常养护应急措施研究<br>Research on Emergency Measures for Daily Highway Maintenance<br>Under Extreme Weather                                                                                                                                          | 李建树<br>Li Jianshu                            |
| 013 | 建筑工程绿色施工技术应用与节能成效研究<br>Research on the Application of Green Construction Technology in Construction<br>Engineering and Its Energy-Saving Effects                                                                                                    | 王旭<br>Wang Xu                                |
| 016 | 金属缠绕垫片失效机理与管控策略研究<br>Research on The Failure Mechanism and Control Strategies of<br>Metal Spiral Wound Gaskets                                                                                                                                      | 刘双羽<br>Liu Shuangyu                          |
| 020 | 基于运行参数调整的锅炉效率提升研究<br>Study on Boiler Efficiency Improvement based on<br>Operation Parameter Adjustment                                                                                                                                              | 成贵<br>Cheng Gui                              |
| 023 | 基于数字化工厂的车间布局仿真与物流优化<br>Workshop Layout Simulation and Logistics<br>Optimization Based on Digital Factory                                                                                                                                            | 程晓伟<br>Cheng Xiaowei                         |
| 026 | 城市轨道交通工程施工组织模式与信息化管理平台构建研究<br>Research on Construction Organization Models and Information Management<br>Platform Development for Urban Rail Transit Projects                                                                                       | 徐宗兵<br>Xu Zongbing                           |
| 029 | 预应力锚索对应力重分布裂隙岩体渗流路径演化规律的影响<br>The Influence of Prestressed Anchor Cables on the Evolution Law of Seepage Paths in<br>Fractured Rock Masses with Stress Redistribution                                                                               | 李磊<br>Li Lei                                 |
| 033 | 雪道层保冷自控系统设计<br>Design of snow layer insulation automatic control system                                                                                                                                                                             | 王迪, 吕湘林, 刘杰<br>Wang Di, Lv Xianglin, Liu Jie |
| 036 | 淮安市制造业“智改数转网联”进程中中小企业的转型路径<br>The Transformation Path of Small and Medium-sized Enterprises in the Process of<br>"Intelligent Transformation, Digital Transformation, and Network Interconnection" in<br>the Manufacturing Industry of Huai'an City | 许云飞, 沈慧敏<br>Xu Yunfei, Shen Huimin           |
| 039 | 人居环境治理视域下地质文化村建设路径研究<br>Research on Construction Path of Geological Culture Village under<br>The Perspective of Living Environment Management                                                                                                       | 尹雪<br>Yin Xue                                |
| 042 | 晶圆留边减薄后的清洗工艺研究<br>Research on The Cleaning Process after<br>Wafer Edge Thinning                                                                                                                                                                     | 白阳, 李远航, 李丹<br>Bai Yang, Li Yuanhang, Li Dan |
| 045 | 公路大中修工程中路基下沉的处理与预防研究<br>Research on The Treatment and Prevention of Subgrade Subsidence<br>in Major and Medium Repair Projects of Highways                                                                                                          | 何路青<br>He Luqing                             |

048	装配式住宅建筑施工工艺优化分析 Analysis of Optimization of Construction Technology for Prefabricated Residential Buildings	刘谦，刘欢，张琦楠 Liu Qian, Liu Huan, Zhang Qinan
051	TCC型分级破碎设备在重晶石矿山的应用研究 Research on the Application of TCC-Type Grading Crushing Equipment in Barite Mines	赵国亮，刘振，黄身水，吴彪，龙福强，周南 Zhao Guoliang, Liu Zhen, Huang Shenshui, Wu Biao, Long Fuqiang, Zhou Nan
054	项目全过程管理模式在建筑工程管理中的应用 Application of the Whole-Process Project Management Model in Construction Engineering Management	黄丽丽 Huang Lili
057	人工智能技术在城乡规划中的应用及影响 Application and Influence of Artificial Intelligence Technology in Urban and Rural Planning	王晨 Wang Chen
060	路基软土地基换填施工的沉降控制 Settlement Control of Soft Ground Foundation Replacement Construction	朱剑贵 Zhu Jiangui
063	砌体结构基层上安装岩棉板施工工艺浅谈 On the Construction Technology of Installing Rock Wool Board on the Base of Masonry Structure	李智，王洵 Li Zhi, Wang Xun
067	建筑工程造价中关于动态管理与成本优化控制探究 Exploration of Dynamic Management and Cost Optimization Control in Construction Project Costing	黄昆 Huang Kun
070	探析建筑施工现场文明施工管理 Analysis of Civilized Construction Management at Building Construction Sites	蓝维众 Lan Weizhong
073	分析机械制造及自动化中的节能高效设计理念 Analysis of Energy-Efficient Design Concepts in Mechanical Manufacturing and Automation	杨展雄 Yang Zhanxiong
076	建筑工程技术管理中的控制要点与优化措施分析 Analysis of Key Control Points and Optimization Measures in Engineering Technical Management of Construction Projects	李良平 Li Liangping
079	加强建筑工程造价的动态管理以及成本优化 Strengthening Dynamic Management and Cost Optimization of Construction Project Costs	苏锦玲 Su Jinling
082	探究建筑工程建设管理中项目成本管理的应用 Exploring the Application of Project Cost Management in Construction Project Management	柏柠 Bai Ning
085	市政道路绿化景观设计探讨 Discussion on The Design of Greening Landscape for Municipal Roads	林琳 Lin Lin
088	低碳建筑设计中的能源管理与环境影响评估 Energy Management and Environmental Impact Assessment in Low-Carbon Architectural Design	刘敏 Liu Min

水电工程 | HYDROPOWER ENGINEERING

091	隧道照明系统节能养护技术及机电优化方案 Energy - saving Maintenance Technology and Electromechanical Optimization Scheme of Tunnel Lighting System	施恒柱 Shi Hengzhu
094	智慧公路背景下机电系统集成技术探讨 Discussion on Electromechanical System Integration Technology in the Context of Smart Highways	王维海 Wang Weihai
097	低热水泥在天台抽水蓄能电站面板混凝土中的应用研究 Research on The Application of Low-heat Cement in The Concrete Slab of Tiantai Pumped Storage Power Station	鹿永久，邓超，吴申瑜 Lu Yongjiu, Deng Chao, Wu Shenyu
100	住宅建筑防水工程施工技术要点解析 Analysis of Key Points of Waterproofing Construction Technology for Residential Buildings	刘谦，刘欢，张琦楠 Liu Qian, Liu Huan, Zhang Qinan
103	岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏 Reinforcement and Anti-Seepage Plugging of Reservoirs in Karst Areas	杨博 Yang Bo
106	基于绿色建筑理念的市政给排水系统设计与优化研究 Research on The Design and Optimization of Municipal Water Supply and Drainage System Based on the Concept of Green Buildings	张建 Zhang Jian
109	高海拔地区城乡一体化供水工程建设与水源保护管理研究 Research on The Construction of Integrated Water Supply Projects for Urban and Rural Areas and the Protection and Management of Water Sources in High-Altitude Regions	赤列朗加 Chilie Langjia

安全质量 | SAFETY QUALITY

113	提升公路工程招标代理质量的关键环节与策略 Key links and Strategies to Improve The Quality of Highway Project Bidding Agency	徐晓云 Xu Xiaoyun
116	影响建筑工程管理质量的因素分析及应对策略 Analysis of Factors Affecting the Quality of Construction Project Management and Countermeasures	路文娜 Lu Wenna
119	高速公路隧道施工技术与质量安全控制策略研究 Research on Construction Technology and Quality and Safety Control Strategies of Expressway Tunnels	方子清 Fang Ziqing
122	钢结构厂房焊接工艺与质量控制策略 Welding Technology and Quality Control Strategies for Steel Structure Workshops	刘谦，刘欢，张琦楠 Liu Qian, Liu Huan, Zhang Qinan

125	<b>建筑工程质量管理：土建工程的核心要点与实践路径</b> Construction Quality Management: Core Elements and Practical Approaches in Civil Engineering	<b>杨田文</b> Yang Tianwen
129	<b>数字化技术在建筑施工质量控制中的应用研究</b> Research on The Application of Digital Technology in Quality Control of Building Construction	<b>刘记长</b> Liu Jichang
132	<b>论述建筑结构设计优化提高结构设计质量</b> Discuss the Optimization of Architectural Structure Design to Improve the Quality of Structural Design	<b>李波</b> Li Bo
135	<b>建筑工程管理中质量与安全控制研究</b> Research on Quality and Safety Control in Construction Project Management	<b>张小平</b> Zhang Xiaoping
138	<b>高层建筑混凝土施工技术优化与质量控制</b> Optimization of Concrete Construction Technology and Quality Control for High-rise Buildings	<b>王沿娣</b> Wang Yandi



# 解析建筑材料检测在建筑工程中的重要性

高甜

石河子中信检测有限责任公司，新疆 石河子 832000

DOI:10.61369/ETQM.2025120001

**摘 要：**近年来，建筑行业规模持续扩张，新材料、新工艺不断涌现，但工程质量问题时有发生，部分源于材料把控不严，建筑材料种类繁多、性能复杂，其质量直接影响工程结构安全与使用寿命，加强材料检测，是应对行业发展挑战、保障建筑工程质量的必然要求，本文阐述建筑材料检测在建筑工程中的关键作用，分析其对工程质量保障、成本控制等重要意义，强调建筑材料检测是确保建筑工程顺利推进与长期稳定使用不可或缺的环节，为建筑行业重视材料检测工作提供理论参考。

**关 键 词：**建筑材料检测；建筑工程；工程质量；安全性能

## Analysis of The Importance of Building Materials Testing in Construction Projects

Gao Tian

Shihezi Zhongxin Testing Co., Ltd., Shihezi, Xinjiang 832000

**Abstract：** In recent years, the scale of the construction industry has continued to expand, and new materials and new technologies have emerged constantly. However, engineering quality problems occur from time to time, partly due to lax material control. Building materials are diverse and have complex properties, and their quality directly affects the safety and service life of the engineering structure. Strengthening material testing is an inevitable requirement for responding to the challenges of industry development and ensuring the quality of construction projects. This article expounds on the key role of building materials testing in construction projects, analyzes its significance for ensuring engineering quality and cost control, and emphasizes that building materials testing is an indispensable link for the smooth progress and long-term stable use of construction projects, providing theoretical reference for the construction industry to attach importance to material testing work.

**Keywords：** building materials testing; construction projects; engineering quality; safety performance

在建筑行业飞速发展的今天，建筑工程的规模和复杂性也越来越大，而建筑材料作为工程建设中的物质基础，其质量好坏直接关系到项目的整体品质和安全问题，建筑材料检测是对材料质量进行控制的核心方法，其对建筑工程的影响也越来越大，深入探究其重要性对于促进建筑行业的高质量发展有着深远的意义。

### 一、建筑材料检测在建筑工程中的重要性

#### （一）确保建筑工程的质量

近年来，我国经济水平处在迅速提升阶段，科学发展迅速，人们对生活质量的需求也有所增长。建筑质量的优劣取决于建筑材料的质量优劣，这就需要建筑材料拥有相较从前更加强大的质量。而要想提高建筑材料的质量，则必须对建筑材料进行严格的检测，建筑材料的检测为工程施工管理提供准确的数据为支撑，建筑材料检测工作在当下建筑行业受到高度重视，提高建筑材料检测的精准度可以促进我国建筑业稳定长久发展，建筑材料为建

筑工程提供了物质基础，建筑材料质量的好坏决定着项目整体品质的高低，建筑材料检测是控制工程质量的一道关键防线，工程建设初期，经过严格的材料检测可以准确地确定水泥、钢筋、砂石等原材料物理化学性能。如水泥凝结时间、强度等级以及钢筋屈服强度和伸长率都需要按照国家标准来检验，只有达到标准才可进入施工现场，从根本上杜绝了劣质材料的涌入，避免了材料不过关造成工程质量缺陷，建设的过程也离不开建筑材料的检测<sup>[1]</sup>。对现场拌制的混凝土和砂浆，需要对其配合比和坍落度进行实时测试，以保证材料的性能符合施工要求。如果检测出混凝土强度未达到设计标准时，可以及时对配合比进行调整或者



采取补救措施，以预防由于材料问题导致结构强度不到位的质量隐患。

### （二）有效地控制工程成本

建筑材料成本占建筑工程总造价的很大一部分，对材料进行科学合理地检测，有利于实现对工程成本进行有效地控制。一方面，通过对材料进行严格检测可以避免由于采用劣质材料而造成返工和修理等增加成本，比如，如果防水材料没有经过严格的检验，在施工之后发生渗漏问题时，不但要将已经装修好的面层拆掉，再做防水施工，还会对其他已完工部位造成损坏，产生高额的修复成本，同时延误工期，增加管理成本<sup>[2]</sup>。而标准的材料检测可以事先检测出材料质量问题并及时替换合格材料，从而降低不必要的经济损失，另一方面，建筑材料的检测可以为材料的选择提供科学的依据，有利于材料采购方案的优化，通过检测和比较分析不同牌号、产地和规格材料的性能，在保证工程质量的同时，筛选出性价比比较好的材料以减少材料采购成本。

### （三）增强建筑工程的安全性能

建筑工程安全性能与人们生命财产安全息息相关，建筑材料质量又是工程安全与否的核心因素，建筑材料检测是促进工程安全性能提高的一个重要保证。就建筑结构安全而言，对钢筋、钢结构和其他承重材料进行力学性能检测是非常重要的。准确地确定钢筋抗拉强度、冷弯性能以及钢结构焊接质量和焊缝强度，可保证结构构件加载过程中安全、可靠，避免了由于材料强度不够或者焊接缺陷造成的结构坍塌的重大事故，对防火、保温及其他功能性材料进行性能检测，直接关系到建筑物消防安全和节能效果<sup>[3]</sup>。对防火材料阻燃等级、耐火极限进行严格测试，可以有效地制止火灾蔓延，给人员疏散及消防救援赢得宝贵的时间；精确确定保温材料导热系数、燃烧性能不仅可以保证建筑保温隔热效果，还可以避免保温材料易燃而造成火灾隐患。另外，测试建筑玻璃抗冲击性能、中空玻璃密封性能等等，可以促进建筑使用安全，避免玻璃自爆、掉落以及其他意外事件。通过全面、细致的建筑材料检测，能够显著提升建筑工程的整体安全性能，为使用者营造安全、可靠的建筑环境。

## 二、建筑工程建筑材料检测的方法

### （一）进场抽样检测

进场抽样检测作为建筑材料质量管控第一道防线，核心是按照科学抽样规则和严格检测标准筛查进场原材料和构配件质量。执行时需要严格遵守《建筑工程施工质量验收统一标准》及其他规范，并根据不同的材料特性编制抽样方案。以钢筋原材为例，每60吨被视为一个测试批次，从中随机选择两个样本，分别进行拉伸和弯曲的试验，以评估其在屈服强度、抗拉强度和伸长率等方面的力学性质；在水泥制造过程中，按照相同的制造商、相同的强度级别、相同的品种，并以每200吨为批次，从超过20个不同的部位获取等量的样本进行混合，然后对其凝结时间、稳定性和强度等关键参数进行检测，以确保其性能完全满足设计标准，抽样过程中需要保证随机性和代表性，以免抽样偏差造成检测结

果失真<sup>[4]</sup>。对于如砂石这样的散状物质，应该在料堆的顶部、中部和底部的各个位置进行均匀的样本采集；对袋装水泥和防水卷材这类包装材料，需要随机选择部分包装件作为检验对象，建立严密的物资进场验收台帐，对物资名称、规格型号、生产厂家、进场数量、抽样时间和检测结果进行了详细记录，做到了物资质量可追溯。对检测出的不合格品，应立即予以退场，同时保留影像资料和检测报告，以杜绝劣质材料在工程建设中的使用，从根本上确保建筑工程的质量和安全。

### （二）施工动态检测

施工动态检测就是要对建筑工程施工期材料质量进行实时监测和动态管理，其目的在于及时发现和解决施工期材料质量存在的问题，保证施工质量稳定性和可控性，混凝土浇筑时需要对其坍落度和和易性进行现场测试，每个工作班应至少测试2次，如发现坍落度不能满足配合比设计，适时调整用水量或者外加剂的掺量，以免混凝土工作性能差造成蜂窝和麻面的质量缺陷<sup>[5]</sup>。同时根据规范对混凝土标准养护试块和相同条件养护试块进行留置，前者是为了评价混凝土强度能否满足设计等级要求，而后者是为了体现混凝土在真实施工环境中强度的增长规律，为模板拆除、施加施工荷载等过程提供了强度依据，针对钢结构焊接工程中需要利用超声波探伤和磁粉探伤两种无损检测技术来检验焊缝的内部质量，一级焊缝的探伤比率达到了100%，而二级焊缝的探伤比率至少为20%，这确保了焊缝的质量达到了设计和规范的标准。另外，现场检测了防水工程施工时防水涂料涂刷厚度、胎体增强材料搭接宽度和防水卷材铺贴质量，每100m<sup>2</sup>最少抽查1处，对施工偏差进行及时整改，杜绝渗漏问题。通过对建筑工程施工全过程动态检测可以及时发现建筑工程施工过程中存在的材料质量隐患和缺陷，并有针对性地采取措施加以纠正，确保建筑工程施工的质量和进度。

### （三）新型材料的专项检测

随着建筑技术的发展，复合保温墙体材料、纳米涂层材料和再生混凝土等新型建筑材料越来越多地应用于建筑工程。由于新型材料具有不同于传统材料的性能特点，传统的检测方法很难对材料的品质和适用性进行综合评价，需要进行专门的检测<sup>[6]</sup>。以复合保温墙体材料为例，除了要对其导热系数、密度和抗压强度这些基本特性进行测试之外，还要对材料耐候性、抗风压性能和抗冻融性能开展专门测试。通过对自然环境老化过程进行仿真，检验材料长期服役后性能的稳定性，保证保温系统寿命和建筑主体结构匹配，对再生混凝土而言，需要对骨料来源、配合比设计、力学性能和耐久性进行系统的检测。结果表明：再生骨料粒径分布、压碎指标和吸水率对再生混凝土的性能有显著影响，需要制定特殊检测方法和评价标准，对其工作性、强度发展规律以及抗渗、抗碳化等耐久性能进行了测定，证明了再生混凝土应用于实际工程是可行和可靠的<sup>[7]</sup>。与此同时，对于新型材料检测而言，还需要对检测设备及工艺进行不断地开发和完善，例如使用热成像仪对保温材料进行缺陷检测以及使用光谱分析技术对其化学成分进行确定，为新型材料推广和应用提供了科学依据，促进了建筑行业的绿色、高企和可持续发展。



#### （四）对检测结果进行信息化管理

对检测结果进行信息化管理，对提高建筑材料检测效率和质量管控水平具有十分重要意义。通过构建一个建筑材料检测信息管理系统，将检测计划的制定、样本的登记、检测过程中的数据收集、报告的编写和审核等各个环节整合到信息化管理中，从而实现了检测业务流程的数字化和自动化<sup>[8]</sup>。样品登记环节采用条形码或者 RFID 技术来识别样品的唯一性，扫码就可以获得样品的基本情况、检测项目和委托要求等，从而避免了样品混淆和信息错误。在检测时，利用自动化的检测设备和数据采集系统对检测数据进行实时上传到信息管理系统，降低了人工录入的错误，增强了数据的准确性和时效性，检测报告写好之后，系统会自动审核和签署，产生电子检测报告推送给相关机构。同时该系统将检测数据分类存储和分析，构建材料质量数据库并借助大数据分析技术挖掘其潜在价值。比如统计分析同厂家、同批次物料的若干组检测数据来判断物料质量的稳定性；比较了不同类型项目的材料检测数据，归纳了材料质量变化的规律，可供后续项目材料选型和质量管控时借鉴。另外，通过移动终端设备对检测数据进行实时查询和共享，便于建设、施工和监理单位及时了解材料检测结果，协同做好工程质量管控，促进建筑工程管理信息化和智能化<sup>[9]</sup>。

#### （五）检测设备的维护与更新及技术创新融合

建筑材料检测工作的精准性和高效性高度依赖于先进稳定的检测设备和不断革新的技术，对检测设备进行科学维护和及时更新，是确保检测结果可靠的根本，针对压力试验机和万能材料试验机这类核心装备，需要对其建立详尽的装备档案，并对其采购时间、使用频次和维护情况进行记录。严格执行设备使用手册并

定期校准和保养，如压力试验机力值传感器每6个月校准一次，将误差限制在  $\pm 1\%$  范围内，以保证试验数据的准确性<sup>[10]</sup>。同时根据行业技术发展趋势和检测标准的更新要求适时淘汰落后设备并引进智能化检测设备。如果使用全自动混凝土抗渗仪，与传统的手动检测设备相比，不仅可以将检测效率提高40%，还可以通过内置的传感器实时监测数据，从而避免人为操作的误差，新技术和检测工作的深度融合也是促进检测水平提高的重点。比如采用物联网技术把检测设备连接到一个统一的网络平台上，在设备发生异常的情况下，对其运行状态进行实时监测和远程故障诊断，该系统实现了维修方案的自动报警和推送，减少了设备的停运时间。结合人工智能算法分析大量的检测数据可以预测出材料性能的变化趋势，例如通过对混凝土的历史强度数据的分析来预先预判配合比的调整方向等<sup>[11]</sup>。探索将3D扫描和无人机巡检应用于建筑材料检测，开展大型建筑材料堆场体积测算和质量评估，使检测工作向智能化和高效化方向转变，从而为建筑工程质量管控工作提供更加强大的技术支持。

### 三、结束语

建筑材料检测作为建筑工程质量、成本和安全等方面的重要保证，渗透于工程建设的全过程中。从进场抽样源头控制、施工动态检测过程监管、新型材料专项检测技术创新、检测结果信息化管理有效运用等方面共同建立了完整的材料质量管控体系。在今后建筑行业不断发展的过程中，需要进一步加强对检测技术的运用，对检测管理流程进行优化，将材料检测核心作用发挥出来，促进建筑工程的优质可持续发展。

### 参考文献

- [1] 邵家宁. 建筑节能材料检测存在的问题与改进措施 [J]. 住宅与房地产, 2024(09): 70-72.
- [2] 吕宏迪. 建筑材料检测技术的应用与发展前景 [J]. 居舍, 2023(33): 36-38.
- [3] 王东利. 关于建筑材料检测和质量控制的探讨 [J]. 居舍, 2022(02): 31-33.
- [4] 李云, 杨云. 基于数字孪生的建筑材料检测流程模拟 [J]. 实验室检测, 2025, 3(12): 32-34.
- [5] 张旭, 滕延鑫. 建筑材料检测中存在的问题及解决方法 [J]. 居舍, 2025(19): 168-170+173.
- [6] 陈志强, 闫文昭, 张成森, 逢婧, 董宝升. 建筑材料检测在工程管理中的重要性 [J]. 大众标准化, 2025(14): 166-168.
- [7] 杨义. 建筑工程实体检测中的材料检测技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (09): 197-199.
- [8] 代青秀. 建筑工程中建筑材料检测的重要性分析 [J]. 城市开发, 2025, (06): 165-167.
- [9] 王江伟. 建筑节能材料检测的现状和优化策略分析 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(04): 25-27.
- [10] 刘玉花. 建筑材料检测技术在建筑工程实体检测中的应用 [J]. 质量与认证, 2025, (01): 99-101+105.
- [11] 闫芳. 建筑施工过程领域建筑材料检测及质量控制 [J]. 中国水泥, 2024, (S2): 25-26.

# 装配式技术在公路桥梁建设中的应用效果分析

纪续

辽宁省交通运输事业发展中心，辽宁 沈阳 110005

DOI:10.61369/ETQM.2025120002

**摘 要：** 随着城市发展速度的提升，城市交通设施的建设力度越来越大。装配式技术是一种先进的技术，在公路桥梁工程施工中应用比较多。就目前公路桥梁工程施工的情况看，桥梁使用的安全性以及整体耐久性、抗震性都存在很多的不足之处，从而导致桥梁的使用寿命受到影响。与此同时，装配式技术具有设计标准化、生产工厂化以及施工装配化的突出特点，应用的过程中弥补了传统施工技术使用中存在的不足之处，提高生产效率、提高施工细节质量，推动行业持续稳定的发展。

**关 键 词：** 装配式技术；市政桥梁；应用

## Analysis on The Application Effect of Prefabricated Technology in Highway Bridge Construction

Ji Xu

Liaoning Transportation Development Center, Shenyang, Liaoning 110005

**Abstract：** With the acceleration of urban development, the construction intensity of urban transportation facilities is increasing. Prefabricated technology is an advanced technology, which is widely used in highway bridge engineering construction. As far as the current situation of highway bridge engineering construction is concerned, there are many deficiencies in the safety, overall durability and seismic resistance of bridges, thus affecting the service life of bridges. At the same time, prefabricated technology has the prominent characteristics of standardized design, factory production and assembly construction. In the application process, it makes up for the deficiencies in the use of traditional construction technology, improves production efficiency and the quality of construction details, and promotes the sustainable and stable development of the industry.

**Keywords：** prefabricated technology; municipal bridge; application

随着国家政策等多方面的支持，装配式技术在公路道路中的应用越来越多，并且使用效果也相对突出。装配式技术的规范应用可以有效提高施工速度，并且施工时对施工现场周边的污染比较小，对于环境的持续发展具有重要的推动作用。

### 一、装配式技术定义原理

装配式技术是一种通过预制构件在施工现场快速组装的建造方法，其核心在于工业化生产和模块化施工的结合。以下是其定义与原理的详细解析：

#### （一）定义

装配式技术指将建筑或桥梁的构件（如梁、柱、墙板、楼梯等）在工厂标准化生产后，运输至现场通过机械连接或焊接等方式拼装成型的技术<sup>[1]</sup>。其本质是“工厂制造+现场装配”的工程模式，涵盖从设计、生产到施工的全流程工业化。

#### （二）原理

模块化设计，通过拆分结构为标准化模块，每个模块包含预制的墙板、顶板、连接件等组件，类似乐高积木的拼接逻辑。工业化生产，构件在工厂流水线完成，采用模具控制精度，减少现

场湿作业。如公路桥梁的墩柱、节段梁通过钢筋套筒灌浆连接技术确保强度。高效装配，现场通过吊装机械快速拼装，配合干式工法（如螺栓连接、榫卯结构）减少施工周期。鲁班锁式的榫卯设计被应用于装配式建筑的节点连接，实现无胶粘的高效组装。全流程协同，需遵循从设计规范（如 JTG/T 3365-05）到施工工艺（如 DB63/T 1985）的标准化体系，确保构件兼容性与整体结构安全。该技术通过减少现场作业、提升构件复用率，显著降低资源消耗，成为现代工程领域的重要发展方向。

### 二、装配式技术特点

#### （一）工业化生产优势

标准化程度高，通过 BIM 技术实现构件标准化设计，工厂化生产可使预制构件尺寸误差控制在  $\pm 1\text{mm}$  内；生产效率提升，装

配式换热机房建设周期从传统90天压缩至15天，效率提升500%以上。

**（二）智能化建造特征**

数字孪生应用，BIM+物联网技术实现从设计到运维的全流程数字化管控。智能设备集成，智慧配电箱实现用电安全监控与能耗精细化管理。

**（三）绿色可持续发展**

节能减排显著，装配式建筑比传统建筑节能50%，光伏一体化技术可使建筑用电自给率达50%。环保效益突出，现场施工垃圾减少80%，单个项目年减碳量可达5.7吨。

**（四）质量安全提升**

精度控制严格，工厂预制使构件合格率提升至99.8%，现场安装垂直度误差 $\leq 0.2\%$ 。安全性能增强，轻型标准化墙板替代粘土砖，抗震性能提高30%以上。

**（五）经济性表现**

综合成本降低，全生命周期成本较传统建筑节省15-20%，劳动力成本减少60%；工期优势明显，中小型项目施工周期缩短40-60%，大型项目缩短30%。

**三、装配式技术在公路桥梁建设中的问题**

**（一）标准化与协同问题**

构件标准化不足，各地区构件尺寸标准不统一，如华东地区与西南地区预制梁截面差异达20%，导致跨区域项目模具重复利用率不足40%。设计生产脱节，BIM应用率仅30%，设计变更率高达15%，造成构件返工率超过12%。

**（二）技术瓶颈**

连接技术局限，高烈度地区灌浆套筒抗震性能合格率不足70%，新型耗能连接技术尚未大规模应用。运输安装难度，97吨级箱梁运输需专用设备，偏远地区运输成本占项目总成本25%以上。质量控制挑战，现场吊装垂直度误差要求 $\leq 1/1000$ ，但实际施工中合格率仅为85%。

**（三）经济性障碍**

初始投资成本高，预制构件价格比现浇高10%-30%，中小项目投资回收期长达8-10年。产业链不完善，西部地区预制构件工厂覆盖率不足30%，项目综合成本增加18%-25%。

**（四）政策与市场制约**

标准体系滞后，现行国标与地方标准冲突率达40%，如北京预制率要求50%，上海则要求60%。监管机制缺失，预制构件进场验收缺乏专项标准，审批时间较传统工艺延长30%。

**四、装配式技术在公路桥梁建设中的应用**

装配式技术在公路桥梁建设中的应用主要体现在以下方面，结合标准化施工与工业化生产显著提升工程效率和质量<sup>[2]</sup>：

**（一）核心应用技术**

预制构件生产与连接，工厂化预制：桥梁墩柱、梁体等构件

在工厂内标准化生产，通过钢筋套筒灌浆技术实现精准连接，确保结构稳固性。

高精度控制：预制台座平整度偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，底座挠度 $\leq 2\text{mm}$ ，保障构件尺寸精度。现场装配工艺，吊装方法：采用起重机架梁法、跨墩龙门吊架梁法等高效工法，缩短工期30%-50%。模块化设计：如三角托架与挂篮一体化设计，提升材料利用率并降低安全风险。

**（二）施工流程优化**

构件的运输与存放，小型构件侧立放置，大型构件竖立运输，存放台座需高出地面200mm且分层限高（大型 $\leq 3$ 层，小型 $\leq 10$ 层）。预制板通过模块化拼装快速铺设临时道路，3天可完成360米道路施工，比传统方式快5天。环保与经济性，减少现场湿作业，建筑垃圾降低约30%，构件可循环使用，综合成本下降30%。

**（三）技术挑战与发展**

初期成本：预制构件生产及运输费用较高，需通过规模化应用摊薄成本。抗震性能：需优化节点连接技术以提升整体抗震性。

**五、装配式技术施工细节**

**（一）预制构件生产**

模板与台座要求，预制台座间距需满足施工需求，表面平整度偏差 $\leq 2\text{mm}/2\text{m}$ ，底座挠度 $\leq 2\text{mm}$ 。模具设计需考虑构件形状、强度及耐磨性，确保精度控制。混凝土浇筑与养护，混凝土配合比需符合设计要求，浇筑前钢筋需调直并固定<sup>[3]</sup>。采用平卧重叠法浇筑时，下层构件顶面需设临时隔离层，待下层强度达标后再浇筑上层。

**（二）现场装配流程**

吊装与定位，吊具选择需匹配构件尺寸和重量，吊索水平夹角宜 $\geq 60^\circ$ ，吊点需经计算确定。构件吊至距安装位置300mm时暂停，通过激光找平仪校正垂直度，木楔临时固定。连接工艺，钢筋套筒灌浆连接：灌浆料需30分钟内使用，从下口灌注至浆料流出后封堵。湿接缝施工：结合面需凿毛并洒水湿润，混凝土振捣密实，防止漏浆。

**（三）质量与安全控制**

精度要求，构件安装轴线偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，标高偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，拼缝宽度偏差 $\leq 2\text{mm}$ 。临时支撑设置，竖向构件临时支撑不少于2道，叠合板下部宜采用定型独立钢支柱，临时支撑需待连接部位强度达标后方可拆除。

**（四）特殊工况处理**

低温施工：环境温度低于5℃时需采取保温措施，连接部位养护温度需 $\geq 10^\circ\text{C}$ 。大跨度构件：分节拼装焊接，焊缝检测合格后吊装，采用缆风绳牵引调整位置。

**（五）运输与存放**

大型构件竖立运输，存放台座需高出地面200mm，叠放层数 $\leq 3$ 层。外墙板宜立式存放，外饰面朝外，层间垫块对齐防倾。

## 六、装配式技术在公路桥梁建设中的效果评估

### （一）施工效率提升

工期缩短30%–50%，高速改扩建项目通过工厂预制构件（如箱梁、墩柱）减少现场作业，解决城市密集区施工难题。全装配高架桥项目中，盖梁安装仅需2–4小时，与传统工艺造价相当但效率显著提升。智能化施工技术，

BIM技术实现立柱预埋套筒精准定位，钢筋绑扎胎架成型后整体吊装，误差 $\leq 3\text{mm}$ 。智能焊接机器人使焊缝合格率达99.8%，人工成本下降60%。

### （二）质量与安全优势

工厂化生产保障精度，预制构件在智能工厂完成，混凝土浇筑质量稳定，返工率降低。装配式波形钢腹板盖梁自重减轻50%，抗震性能优化。减震降噪设计，特殊弹簧夹具与橡胶垫组合，使桥面板与梁体紧密连接，减震降噪效果显著。钢桥面专用防滑层设计，摩擦系数提升，车辆胎噪降低。

### （三）环保与经济性

绿色低碳效益，建筑垃圾减少80%，碳排放降低30%，符合“双碳”政策导向。钢结构桥梁较混凝土结构碳排放低40%，欧盟碳边境税下更具竞争力。全生命周期成本优化，北京、上海等地政策要求新建装配式建筑占比超50%，推动规模化生产降低成本。材料循环利用率达90%，临时桥梁等场景可快速拆装复用。

## 七、装配式技术在公路桥梁建设的未来发展趋势与挑战

### （一）未来发展趋势

智能化与数字化深度融合，BIM与AI技术将进一步优化设计、生产、施工全流程，推动智能工厂普及机器人焊接等技术，生产效率提升40%以上，构件误差压缩至 $\leq 3\text{mm}$ 。数字孪生技术将实现桥梁运维的实时健康监测与预警，提升全生命周期管理能力<sup>[4]</sup>。模块化集成与材料创新，装配式4.0阶段将推动全产业链协同，轻量化高强材料（如UHPC墙板、铝合金结构）普及，实现更大跨度的无支撑设计。节点优化技术使抗震性能接近现浇水平，如郑许高架桥项目采用波形钢腹板盖梁，自重减轻50%。绿色低碳转型加速，政策驱动下，中国装配式建筑占比目标2025年超30%，高性能材料应用使节能效率提升50%。临时桥梁等场景材料循环利用率达90%，契合“双碳”目标。钢结构桥梁较混凝土结构碳排放低40%，在欧盟碳边境税机制下更具市场优势。

### （二）核心挑战与应对策略

成本控制与物流优化，运输费用占比高达总成本20%–30%，需通过区域化预制基地布局降低物流压力。标准化与通用化不足，

当前部品部件通用化率不足40%，需加快国家与地方协同标准制定，推动设计–生产–施工接口统一。人才与技术瓶颈，专业化产业工人缺口显著，需加强劳务端数字化转型培训，如中铁山桥智能焊接机器人应用使人工需求下降60%。复杂节点连接技术（如抗震支座预制化）仍需突破，高校与企业联合研发是关键<sup>[5]</sup>。

当前行业发展已进入工业化3.0阶段，建议重点关注智能建造与绿色低碳技术的融合创新，同时加强产业链上下游协同，以实现从“桥梁大国”到“桥梁强国”的跨越。未来装配式技术将围绕“智能建造、绿色低碳、国际协同”三大方向突破，但需解决成本、标准、人才等系统性挑战。政策支持与技术创新双轮驱动下，预计2030年全球装配式桥梁市场规模将增长至当前3倍，中国或成为技术输出主导力量。

## 八、装配式技术在公路桥梁建设中的案例

### （一）沈阳姚千大桥

沈阳首座装配式干线公路桥，采用预制墩柱、盖梁、梁板及混凝土护栏，装配率达65%，显著缩短工期（原计划跨年工程提前数月完工），大幅提升施工效率。

### （二）无锡凤翔路快速化改造工程

中铁四局承建，采用预制立柱370个、盖梁235个、箱梁1226片，通过BIM技术实现预埋套筒毫米级精准定位，吊装误差 $\leq 3\text{mm}$ ，验证了装配式桥梁在市政工程中的高效应用。

### （三）厦门金门大桥（厦金大桥）

采用AI智能控制技术，实现3000吨预制墩台毫米级吊装对接，通过大数据协同拼装，目标2026年底通车，展现了装配式技术在海工桥梁中的突破。

### （四）高铁与高速公路桥梁

广泛采用工厂预制桥墩、梁板，通过钢筋套筒灌浆连接，工艺标准化程度高，如上海虹梅南路、绍兴G329国道等项目，均体现装配式技术的普适性。

### （五）技术创新案例

BIM+智能吊装：无锡项目通过定位板固定预埋件，整体吊装钢筋骨架，减少现场绑扎误差。自动化养护：预制构件采用自动喷淋系统，提升混凝土强度均匀。以上案例均来自实际工程，涵盖城市高架、跨海大桥、干线公路等多场景，技术细节可参考对应视频演示。

装配式技术通过标准化与工业化协同，已成为公路桥梁建设的核心发展方向，未来将向智能化生产和更大跨度应用深化<sup>[6]</sup>。装配式技术施工细节结合了规范要求与工程实践，确保装配式施工的高效性和安全性。

## 参考文献

- [1] 欧文勤. 装配式混凝土桥墩施工技术综述 [J]. 中外公路, 2020, 40(1): 96–101.
- [2] 王新莉. 桥梁快速建造技术 [J]. 中外公路, 2022, 38(4): 184–188.
- [3] 王震峰. 预制桥墩体系抗震性能研究进展：新材料、新理念、新应用 [J]. 工程力学, 2022, 36(3): 1–23.
- [4] 池律. 预制拼装城市高架桥施工控制要点与效益分析 [J]. 施工技术, 2022, 48(22): 43–45.
- [5] 欧浩, 谢铭勤等. 装配式混凝土桥墩施工技术综述 [J]. 中外公路, 2020, 40(1): 96–101.
- [6] 王莉. 桥梁快速建造技术 [J]. 中外公路, 2022, 38(4): 184–188.



# 大跨度公路桥梁施工过程中的结构稳定性控制技术研究

李安平

辽宁省交通运输事业发展中心, 辽宁 沈阳 110005

DOI:10.61369/ETQM.2025120003

**摘 要 :** 大跨度公路桥梁施工中的结构稳定性控制技术研究涉及设计标准、施工工艺、监测手段及智能化应用等多维度协同, 其核心在于确保施工全过程的结构安全与精度控制。设计标准与材料规范, 需严格遵循国家《公路桥梁设计通用规范》等标准, 涵盖荷载等级、抗震性能、结构形式及环境协调性要求, 同时通过高性能材料(如高强度混凝土、预应力钢束)优化结构自重与承载能力。施工过程动态监控, 建立几何变形、应力、稳定性三维控制体系, 采用实时监测技术(如传感器网络、无人机巡检)跟踪结构内力与形变, 确保偏差在设计允许范围内。

**关 键 词 :** 大跨度; 公路桥梁; 施工过程中; 结构稳定性控制技术

## Research on Structural Stability Control Technology in the Construction Process of Long - Span Highway Bridges

Li Anping

Liaoning Transportation Development Center, Shenyang, Liaoning 110005

**Abstract :** The research on structural stability control technology in the construction of long - span highway bridges involves multi - dimensional coordination including design standards, construction technology, monitoring methods and intelligent applications. Its core lies in ensuring the structural safety and precision control throughout the construction process. Design standards and material specifications need to strictly follow national standards such as the "General Code for Design of Highway Bridges", covering requirements for load grades, seismic performance, structural forms and environmental coordination. Meanwhile, high - performance materials (such as high - strength concrete and prestressed steel strands) are used to optimize the self - weight and load - bearing capacity of the structure. For dynamic monitoring during the construction process, a three - dimensional control system for geometric deformation, stress and stability is established, and real - time monitoring technologies (such as sensor networks and UAV inspection) are adopted to track the internal forces and deformation of the structure, ensuring that deviations are within the allowable design range.

**Keywords :** long - span; highway bridge; during construction; structural stability control technology

绿色施工技术: 推广节能材料(如钢管混凝土拱肋)与模块化预制, 减少资源消耗与环境污染。智能预警系统: 深化大数据与物联网应用, 通过结构健康评估模型预测灾害风险(如风振、地震响应)。

### 一、结构稳定性在大跨度公路桥梁中的重要性

#### (一) 保障结构安全与抗灾能力

规避整体失稳风险, 大跨度桥梁在施工及运营阶段面临复杂的荷载组合(如风载、车辆动载、地震力), 若稳定性不足易引发整体倾覆或屈曲失稳。例如动载作用下支座反力可能变为负值, 导致支座脱空并诱发倾覆事故。需通过抗倾覆验算和三维稳定分析确保结构抗倾覆安全系数达标。应对环境侵蚀与材料退化, 我国现存桥梁中部分早期建设桥梁已出现混凝土开裂、钢筋锈蚀等问题, 直接影响结构稳定性。需结合 JTG 5120-2021《公路桥涵养护规范》, 采用预应力碳板等主动加固技术提升承载刚

度, 延缓病害发展<sup>[1]</sup>。

#### (二) 施工过程的关键控制点

高墩稳定性控制, 高墩大跨刚构桥施工中, 混凝土收缩徐变和温度效应易引发墩身偏位。需通过分阶段稳定分析优化墩型设计(如组合式墩体), 并严格控制壁厚、系梁布置等参数。大吨位构件安装风险超过5000吨的梁体落梁过程中, 机械跟随千斤顶与力均衡控制程序可防止倾覆, 辅以限位钢架约束位移。特殊结构施工挑战, 转体拱桥等开口薄壁结构需进行全过程稳定验算, 例如化成大桥(150m跨径)通过优化混凝土浇筑顺序提升劲性骨架稳定性。

#### (三) 抗风抗震等动力稳定性

颤振临界控制, 大跨桥梁的风致振动问题突出, 需通过三维

颤振分析确定临界风速。钝体截面桥梁（如南浦大桥）更需注重分离流颤振模型的应用。地震响应优化，高墩桥梁在地震作用下的稳定安全系数需满足规范要求，通过材料非线性分析和弹塑性稳定验算提升抗震能力。

## 二、结构稳定性与结构强度的区别

### （一）本质差异

破坏机制，结构强度：关注材料抵抗外力破坏的能力，表现为材料应力超过极限强度时发生断裂或塑性变形。例如钢筋被拉断、混凝土压溃。结构稳定性：关注结构维持平衡状态的能力，表现为微小扰动下结构突然失稳（如屈曲、倾覆），变形急剧增大但材料应力可能未达极限。典型案例为细长柱受压后侧向弯曲倒塌。控制参数，强度控制：以应力（ $\sigma$ ）为核心指标，需满足 $\sigma \leq [\sigma]$ （许用应力）<sup>[2]</sup>。稳定性控制：以临界荷载（ $F_{cr}$ ）为核心指标，需满足实际荷载 $F \leq F_{cr}$ 。

### （二）实际工程中的关联性

独立性与共存要求，构件可能强度足够但仍失稳（如细长柱未压溃先弯曲）；反之稳定性合格的材料也可能因局部应力集中而强度失效。因此设计需双重验算。破坏形态差异，强度破坏伴随明显塑性变形或裂缝发展；稳定性破坏表现为结构整体形态突变（如拱桥瞬间侧翻）。案例说明：某5000吨箱梁落梁施工中，千斤顶液压系统强度达标，但因支撑杆长细比过大引发屈曲失稳，导致梁体倾斜——凸显稳定性控制的独特性。

## 三、影响结构稳定性的主要因素

### （一）内在决定性因素

几何特征，长细比（ $\lambda$ ）：临界荷载随长细比增大呈指数下降，例如高墩桥梁中墩身长细比超限会诱发侧向屈曲。截面刚度分布：箱型截面因闭口特性抗扭刚度显著优于开口截面（如工字钢），但薄壁箱梁需重点验算局部屈曲风险。边界约束条件：支座固接较铰接可提升临界荷载2-4倍，实际设计中需模拟真实约束刚度。材料性能，弹性模量（ $E$ ）：直接影响抗弯刚度，高强度钢材可减少屈曲变形但需匹配稳定性设计。缺陷敏感性：焊接残余应力、初始挠曲等缺陷会使实际临界荷载低于理论值30%以上。

### （二）外部作用因素

荷载特性，作用点位置：偏心荷载产生附加弯矩，大幅降低稳定安全裕度（如拱桥不对称施工荷载）。动力效应：风致振动（颤振/涡振）及地震激励可能引发动力学失稳，需进行颤振临界风速分析。环境干扰，温度梯度：混凝土箱梁日照温差超15℃时，温度应力可导致墩梁体系失稳偏移。腐蚀退化：钢材锈蚀截面损失10%可使压杆稳定系数降低20%以上。施工控制，分段浇筑的混凝土收缩徐变、预应力张拉时序错误均会改变结构内力分布，诱发稳定失效。

## 四、大跨度桥梁施工关键技术

### （一）大跨度桥梁预应力混凝土施工关键技术

大跨度桥梁的预应力混凝土施工涉及复杂的技术体系，需综合材料特性、结构受力及环境因素，核心环节包括支撑体系、预应力筋布置、混凝土工艺及张拉控制。高稳定性模板支撑体系，大跨度梁体荷载集中（如35.5m跨梁线荷载达5吨/米），支撑架需满足抗倾覆和变形控制要求：构造设计：高度 $\geq 20m$ 或高宽比 $\geq 6$ 时，设置双层水平加强层（间距10-15m），并通过竖向斜杆增强整体刚度。立杆步距控制在0.9-1.5m，高荷载区采用双立杆或变间距布局（仅单向调整以减少应力集中）。剪刀撑布置：支架外立面满设剪刀撑，中部间隔10-15m增设，确保抗扭性能。顶部支撑：立杆顶部设支撑板（距横杆 $\leq 400mm$ ），荷载 $>12kN$ 时优先采用顶托而非扣件连接。针对多功能厅等高大模板场景，荷载精细化分配是防失稳关键。预应力筋施工工艺，预应力系统安装精度直接影响结构承载力，主要流程如下：下料与定位：钢绞线（ $\phi 15.24$ ，强度1860MPa）按设计长度切割，避免损耗。波纹管依曲线定位，焊钢筋支架固定（间距 $\leq 1.5m$ ），并预设排气孔防止灌浆堵塞。穿束与端部处理：固定端用QMJ15-1型挤压锚，张拉端用OM15型夹片锚。梁柱节点钢筋密集区需细化排布，防止混凝土浇筑干扰。标准施工流程可参考行业规范。混凝土浇筑与养护控制，大跨度梁体（如截面800mm $\times$ 2600mm）易因收缩徐变引发裂缝，需重点关注：浇筑时序：分层浇筑避免冷缝，工字梁区域优先振捣腹板再延展至翼缘<sup>[3]</sup>。温湿度管理：冬季施工时覆盖保温层，控制内外温差 $\leq 15^\circ C$ 以防温度应力失稳。湿度维持 $>90\%$ 养护7天，减少早期塑性裂缝。缺陷预防：实时监测混凝土性能，重点管控水化热峰值（如掺粉煤灰降低温升）。张拉与灌浆关键技术，预应力张拉是核心环节，需协调时序与应力控制：张拉顺序：采用对称渐进式（先中间后两侧），例如35.5m跨梁分阶段张拉：柱筋 $\rightarrow$ 梁筋50% $\rightarrow$ 补强柱筋 $\rightarrow$ 梁筋至100%。控制应力为0.75f<sub>pk</sub>（f<sub>pk</sub>为钢绞线极限强度），超张拉风险需通过油压表校准规避。灌浆要求：张拉后48h内完成孔道灌浆（水灰比0.4-0.45），浆体强度不低于30MPa。质量监控：施工中检测预应力损失，结合温度/湿度修正张拉值，确保与设计内力匹配。特殊工况应对措施，深水基础施工：采用钢套箱或钢吊箱隔离水流冲击，保护桩基完整性。大跨连续刚构桥：柔性墩设计需补偿温度变形，监控墩顶负弯矩防开裂。腐蚀防护：锈蚀截面损失 $>10\%$ 时采用碳纤维加固，提升耐久性。大跨度预应力混凝土桥梁施工需以“支撑体系安全优先、预应力精准控制、混凝土完整性保障”为原则。工程中应严格遵循规范（如JTG/T 3650-2020），并结合实时监测动态调整工艺，以攻克高荷载、长跨距带来的技术挑战。

### （二）BIM技术在大跨度桥梁施工中的应用

设计阶段的结构优化，三维参数化建模，建立精确的桥梁三维模型，可视化呈现复杂节点（如索塔锚固区、预应力管道布置），支持参数实时调整，快速优化结构设计。碰撞检测与冲突解决，自动检测钢筋与预应力管道、设备预留孔的空间冲突，减

少施工返工率达30%以上，施工过程的关键应用。施工方案模拟与优化，虚拟建造技术模拟架梁、转体等关键工艺（如万吨级梁体转体轨迹预演），验证施工可行性。进度4D模拟精准推算材料需求与机械调度，降低资源浪费。现场协同与实时监控，物联网集成：传感器数据（如应力、温度）联动BIM模型，实时预警支架变形或混凝土温超标风险。移动端协同：施工方通过轻量化模型查看工序要点，提升交底效率。全生命周期数据整合，竣工模型交付：集成材料属性、检测记录等数据，为运营维护提供基础。预防性养护决策：结合传感器监测数据，预测构件退化趋势并制定维护计划。案例：深中通道工程通过BIM实现200米超高索塔施工误差控制在5mm内，钢箱梁合龙精度达毫米级。未来需突破异构系统数据互通瓶颈，深化机器学习在风险预测中的应用<sup>[4]</sup>。

## 五、桥梁结构稳定性控制技术

桥梁结构稳定性控制技术贯穿设计、施工及运维全周期，需综合力学原理、材料性能与实时监测手段。

### （一）设计阶段稳定性保障

结构体系优化，避免采用横向稳定性差的独柱墩设计（易引发整体倾覆），优先选用双柱墩或墩梁固结体系。大跨径桥梁需进行三维非线性有限元分析，考虑几何与材料双重非线性效应，精准计算极限承载力。荷载与失效模式模拟，以永久荷载与可变荷载组合为基础，按比例加载模拟失稳过程，验证第二类稳定性安全系数是否达标。针对风振效应，优化气动外形（如导流板）抑制颤振，临界风速需通过三维流体动力学分析确定。

### （二）施工过程控制技术

深水基础稳定性，采用钢套箱围堰或气压沉箱法隔离水流，确保桥墩基础施工精度及岩层嵌固深度。松散岩层锚固：通过高强缆绳预张拉（液压千斤顶控制）增强斜坡稳定性，再浇筑混凝土基础。高墩施工安全，超过20m的高墩模板支撑体系需设置双层水平加强层（间距 $\leq 15\text{m}$ ）及满布剪刀撑，立杆步距 $\leq 1.5\text{m}$ 。实时监测混凝土水化热，控制内外温差 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ ，避免温度应力导致墩体开裂。

### （三）特殊工况应对

地震响应控制：高墩结构采用弹塑性稳定验算，通过材料

非线性分析提升耗能能力。极端荷载防护：针对军用荷载（如MC120）、特殊荷载（D2系列）优化配筋率及节点构造。技术瓶颈：初始缺陷对失稳模式的影响仍需深入研究，未来需融合机器学习优化稳定性预测模型。

## 六、桥梁施工中节能降耗材料与技术应用

### （一）节能材料应用

再生骨料混凝土：采用建筑垃圾再生骨料（掺量 $\geq 45\%$ ）替代传统混凝土，减少天然资源消耗和环境污染，同时降低成本18%。铝合金材料：重量仅为钢材的34%，回收率高达95%，可减少建造阶段约1200吨CO<sub>2</sub>排放，且抗腐蚀性强，降低长期维护需求。轻质高强建材：如轻质混凝土和碳纤维复合材料（拉伸强度 $\geq 18\text{MPa}$ ），减轻桥梁自重30%以上，提高抗震性能并缩短施工周期。绿色环保墙板：蒸压陶粒混凝土墙板等装配式材料，减少模板支设和钢筋用量，节省工期并避免空鼓开裂问题<sup>[5]</sup>。

### （二）减耗技术创新

预制拼装技术：墩柱-盖梁整体模块化安装，减少现场作业面60%，废弃物排放降低40%，噪声下降12dB(A)。节能减排工艺：采用温控技术和节能设备（如液压静力压桩），降低施工能耗；AI水质预警系统确保废水COD $\leq 40\text{mg/L}$ ，减少水体污染。减震与资源循环：橡胶垫块（耐温 $150^{\circ}\text{C}$ ，动静刚度比 $\leq 1.3$ ）用于桥梁接缝，吸收振动能量，延长结构寿命并降低维护成本；结合光伏声屏障技术，年发电量可满足运营期30%照明需求。

### （三）综合效益实现路径

政策驱动与标准化：严格执行绿色施工导则（如省要求资源循环利用和碳排放强度下降25%），确保材料采购优先本地再生资源以降低运输碳足迹。数字化管理：BIM和北斗监控系统优化施工方案，减少岩土扰动92%以上，避免资源浪费。经济环境双赢：通过轻质高强建材和装配式工法，缩短工期20%，降低总成本15%—30%，同时实现碳减排系数0.32以上。

总之，应用BIM技术构建全生命周期模型，实现设计、预制、装配一体化管控，如无人化梁厂通过智控云平台追踪箱梁生产数据。集成AI视觉分析系统，实时预警施工安全风险（如未佩戴安全装备、高空作业违规）。以工序质量为核心，严控材料检验、设备标定及测量复核，建立开工至竣工的全流程质量管理闭环。

## 参考文献

- [1] 刘艳. 大跨度公路桥梁施工过程中的结构稳定性控制技术分析. 2023.
- [2] 张浩宇. 大跨度公路桥梁施工过程中的结构稳定性控制技术分析. 2022.
- [3] 王强. 大跨度公路桥梁施工结构稳定性控制要点探究 [J]. 交通科技, 2021(03).
- [4] 陈静. 大跨度公路桥梁施工中结构稳定性控制技术应用 [J]. 工程建设与设计, 2021(12).
- [5] 孙伟. 大跨度公路桥梁施工过程结构稳定性控制研究 [D]. 长安大学, 2022.



# 极端天气下公路日常养护应急措施研究

李建树

辽宁省交通运输事业发展中心，辽宁 沈阳 110005

DOI:10.61369/ETQM.2025120004

**摘 要：** 针对极端天气下公路日常养护应急措施的系统性研究成果，风险隐患排查，日常巡查重点覆盖易发生水毁、塌方、冰雪凝冻路段及桥梁涵洞，建立隐患清单并设置警示标志。极端天气前开展“地毯式”排查（如边坡、临水路段），加固防护设施。应急物资储备，按需配置融雪剂、防滑料（如工业盐、草垫）、冷补料及除雪铲、装载机等装备。

**关 键 词：** 极端天气；公路日常养护；应急措施

## Research on Emergency Measures for Daily Highway Maintenance Under Extreme Weather

Li Jianshu

Liaoning Transportation Development Center, Shenyang, Liaoning 110005

**Abstract：** This paper presents the systematic research results on emergency measures for daily highway maintenance under extreme weather. For risk hazard investigation, daily inspections focus on sections and bridge culverts prone to water damage, landslides, and ice – snow freezing, and a hazard list is established with warning signs set up. Before extreme weather, "carpet – like" inspections (such as on slopes and sections near water) are carried out, and protective facilities are reinforced. For emergency material reserves, deicing agents, anti – skid materials (such as industrial salt, straw mats), cold – patch materials, and equipment like snow shovels and loaders are configured as needed.

**Keywords：** extreme weather; daily highway maintenance; emergency measures

坚持“预防为主、属地管理、科技支撑”，落实“人民至上、生命至上”理念。通过“人防+技防+物防”体系，最大限度降低极端天气对公路安全的冲击<sup>[1]</sup>。

### 一、极端天气对公路的主要影响

#### （一）物理结构损坏

路面结冰与积雪，冻雨或暴雪导致路面形成光滑冰层，车辆易打滑失控，甚至引发连环事故。例如冻雨事件中，道路变成“滑冰场”，车门被冰冻无法开启。积雪过厚（如深达脚腕）时，需频繁除雪，否则路面完全瘫痪。水毁与冲刷，暴雨洪水浸泡路基，引发塌方、边坡滑坡，严重时桥梁涵洞垮塌。委内瑞拉因暴雨导致多条高速公路和桥梁部分垮塌，道路封闭。排水设施堵塞后，积水加速路面侵蚀，形成坑洞。风蚀与坠物冲击，大风沙尘磨损路面标线和表层，同时吹倒树木、广告牌，砸坏路面或车辆。例如大风沙尘天气曾影响8省份106个路段，迫使高速封闭。

#### （二）通行中断与管制

交通封闭与限行，暴雪、冻雨或洪水预警时，高速和主干道常实施封闭或间断放行，如河南暴雪导致春运返乡高峰期公路中断。大风天能见度低于安全阈值时，强制关闭收费站或限速通行。救援与物流受阻，极端天气下，“生命通道”难保障，延误救

灾物资运输（如委内瑞拉洪灾中居民用水用电中断）。施工路段需紧急停工，加剧拥堵（如冰雪天气机械无法作业）。

#### （三）安全隐患升级

行车风险剧增，能见度降低（如大雾、沙尘）和路面湿滑导致制动距离延长，易发追尾或侧翻。河南台辉高速百车追尾事故即因冰雪湿滑和低能见度引发。强风影响车辆稳定性，尤其大型货车易偏移车道。次生灾害频发，树木倒伏、电线杆倒塌阻断道路，需紧急清理（如大风天气后多地报告类似事件）。冰雹砸坏车辆挡风玻璃，威胁行车安全。关键风险点：极端天气不仅直接破坏公路设施，还通过连锁反应（如事故、拥堵）放大影响，需结合“预防-监测-响应”体系降低损失。

### 二、不同极端天气对公路有何不同影响

#### （一）冰雪冻雨类

路面物理变化，冻雨使路面形成光滑冰层，车辆无法制动（如沈阳案例中车门被冰冻无法开启）。积雪过厚（如深达脚踝）

导致道路完全瘫痪。通行特征，需封闭路段或采取警车带道通行；除冰依赖机械铲雪 + 人工铺防滑料组合。

### （二）大风沙尘类

直接破坏，强风（如河南15级大风）折断树木、掀翻广告牌砸毁路面；沙尘磨损路面标线，降低摩擦系数。通行风险，能见度降至50米以下触发高速封闭（风力 $\geq 6$ 级即封闭）；卡车司机被困沙尘暴中无法移动（如塔里木沙漠公路案例）。

### （三）暴雨洪水类

结构性损毁，洪水浸泡软化路基，引发塌方或涵洞垮塌（如委内瑞拉桥梁坍塌）；排水不畅加速路面侵蚀形成坑洞。次生灾害，山地路段易发泥石流掩埋道路；积水淹没低洼路段，车辆熄火滞留。

### （四）高温干旱类

材料性能劣化，沥青路面高温软化出现车辙、拥包；水泥路面膨胀变形导致接缝破裂。衍生问题，长期干旱使土壤收缩，路基沉降开裂；山地区域高温加剧岩体风化，落石风险上升。

### （五）大雾类

核心威胁：能见度骤降（ $< 200$ 米）致连环追尾；连锁反应：封闭收费站引发大规模拥堵。关键结论：大风沙尘和冻雨需最快应急响应（30分钟内），而暴雨引发的结构性损坏修复周期最长。行车安全方面，浓雾与冰雪天气事故率最高（制动距离延长3倍以上）。

## 三、公路日常养护策略与方法

### （一）公路日常养护的重点内容

公路日常养护的核心是维持路基、路面及附属设施的完整性和功能性，主要包含以下重点内容：日常巡查与病害监测，人工与车载巡检：步行或驾车巡查路面裂缝、坑槽、沉陷等病害，及时记录上报。桥梁隧道专项检查：清理桥面伸缩缝杂物，疏通泄水孔，检查隧道反光设施紧固状态。清洁与基础维护，路面保洁：机械 + 人工清扫车道，清除路面积水、杂物（如落石、冰雪）。排水系统疏通：定期清理边沟、雨水管、窞井，确保汛期排水畅通<sup>[9]</sup>。标志标线维护：清洁污染的标志牌，补划脱落标线，保障视认性。病害修复与预防，路面修补：裂缝采用灌封技术防渗水；坑槽铣刨后加铺沥青层。路基加固：治理沉降、翻浆路段，修复挡土墙。绿化与附属设施养护，植被管理：修剪超过15cm的杂草及遮挡视线的树木；补种缺失植被，定期刷白行道树防虫。设施维护：修复损坏护栏、路缘石，更换事故损毁部件。技术趋势：现代养护趋向精细化与科技化，如非开挖注浆修复路基脱空，结合气象数据优化资源配置。

### （二）如何根据天气变化调整公路养护计划

公路养护计划需依据气象变化动态调整，核心策略包括监测预警、季节性专项养护及应急处置联动，气象监测与预警联动，实时数据共享，建立“气象 - 公路”数据中转站，整合降水、温度、能见度等参数，实现分钟级预警。部署“气象精灵”物联设备，实时监测路面温湿度、结冰风险。分级响应机制，按气象预

警等级启动预案：黄色预警：加强巡查，准备物资；橙色预警：限速管控，封闭积水路段；红色预警：全员驻点待命，联动交警压速带道。季节性养护策略调整，雨季（南方重点），预防措施：汛前疏通边沟、涵洞，修复路面裂缝（灌缝防渗水）；边坡加固，预设柔性防护网防泥石流。应急响应：暴雨中巡查易积水点，启用抽水设备（如长沙雷电暴雨应急）；灾后48小时内修复水毁路基。冰雪季（北方重点），材料调整：低温前切换低温沥青，预防路面脆裂；储备环保融雪剂，减少腐蚀损害。除冰作业：冻雨预警后1小时内启动机械除冰 + 铺防滑料；采用就地热再生技术快速修复冻损路面<sup>[10]</sup>。高温干旱季，路面保护：日间避免摊铺沥青，防止车辙变形；喷洒蒸发抑制剂减少水分流失；山区加强落石监测，清理风化岩体。极端天气应急管理，跨部门协同，与气象、交警部门联合指挥：雾天能见度 $< 200$ 米时封闭高速，启动警车带道；沙尘暴路段启用情报板限速（如塔里木公路管控）。智能技术应用，无人机巡检灾情，实时回传塌方影像；无人摊压设备在暴雨间隙抢修车辙。

### （三）公路养护过程中注意的安全事项

在公路养护过程中，安全管理的核心是保障作业人员及通行车辆安全，需严格遵循以下注意事项：作业人员安全防护，规范着装：必须穿戴反光工作服、安全帽，夜间作业增加反光雨衣；特殊场景（如喷洒农药）需佩戴护目镜、口罩、手套。行为准则：严禁横穿高速公路、酒后作业、带病上岗；工具顺向携带，禁止在行车区挥舞工具或停留休息。绿化修剪时，提前清除地表石块，检查设备刀片状态。作业区交通控制，分级布控：按最终限速值设置警告区长度（如限速80km/h时 $\geq 1600$ m），并逐级降速提示；上游过渡区交通锥间距 $\leq 4$ m，缓冲区依坡度调整长度（坡度 $> 3\%$ 时 $\geq 150$ m）。安全设施：工作区布设防撞桶、水马或隔离墩，夜间增设箭头灯、频闪灯及背向照明；临时占道作业需在警告区起点设置施工标志，下游过渡区长度 $\geq 30$ m。高风险场景管控，移动养护作业：人工清扫等移动作业需布设移动标志车，距作业点 $\geq 150$ m；避开交通高峰时段。桥梁隧道作业：封闭作业车道时，同步封闭对向超车道；伸缩缝清理按临时作业标准布控。恶劣天气响应：冰雪天气储备环保融雪剂，冻雨预警1小时内启动除冰；高温时段避免沥青摊铺。事故预防与应急，岗前检查：出工前检修设备，冷补料等物资需验收合格，故障设备立即停用。次生事故防范：路基塌方先设警示牌，2日内清理 $\leq 50$ m<sup>3</sup>塌方体；作业区车辆出入口设在下游过渡区，避免与社会车流交叉。

## 四、公路应急措施制定与实施方法

### （一）公路应急需要准备哪些装备和物资

公路应急装备与物资需覆盖交通管控、抢险救援、除冰防滑、智能监测四大核心场景，交通控制与安全防护设备，防撞隔离设施，防撞桶：填充砂石或水，置于急弯、收费岛头等高点，有效吸收碰撞冲击力（直径900mm $\times$ 高950mm）；三孔水马：注水增重分段隔离，串联使用形成临时屏障，表面需贴反光膜；折叠隔离墩：快速布设于事故点上游，坡度 $> 3\%$ 路段缓冲区

≥150m。警示装备，频闪箭头灯、太阳能爆闪灯；可移动情报板（发布限速/封路信息）。抢险救援装备，基础工具包：液压千斤顶、轮胎扳手套装、4平方以上搭电线；折叠工兵铲（快速挖沙清障）、应急破窗器。电力保障：大功率车载应急电源（支持V8引擎启动）；防爆手电筒、2万毫安快充充电宝。生命救援：医疗包（含止血带、烧伤敷料、高原药品）；保温毯、3日量密封干粮及饮用水。智能监测系统，无人机巡检：搭载红外镜头检测桥梁裂缝，灾后30分钟内完成塌方评估；融合北斗定位+5G传输，实时生成数字孪生模型。车载智能终端：道路智能巡检车（自动识别路面坑槽）；便携式路面温湿度传感器（结冰风险预警）。维护要求：防撞设施每季度检查反光膜完整性；无人机电池低温环境下需恒温储存。协同调度：大规模灾害时联动交警启用“压速车道”方案，由防撞桶车队引导社会车辆通行。

### （二）公路应急响应机制的实施步骤

公路应急响应机制的实施需遵循规范化流程，确保快速高效处置突发事件。核心步骤基于事故处置逻辑和实际操作需求构建如下：初始安全处置：立即开启危险报警闪光灯（双闪），夜间或恶劣天气时增加示廓灯和尾灯以警示后方车辆。在事故点后方放置三角警示牌：正常天气≥150米，雨天、雪天或夜间等低能见度情况延长至≥200米；弯道或陡坡路段需提前设置。所有人员即刻撤离至护栏外安全区域，远离事故现场以防二次伤害。报警与信息传递：拨打全国统一救援热线12122或110报警，优先呼叫高速交警。准确描述事故位置（参考路侧里程碑编号）、伤亡情况、车辆状态及是否需要救护车或清障支援。同步联动相关部门（如消防、医疗），确保信息实时共享以避免公众恐慌。现场控制与资源调度：车辆可移动时，立即驶入应急车道；无法移动则保持原位，严禁自行维修或拖车，等待专业救援。根据事件等级调配资源：Ⅰ级事件（如桥梁坍塌）启动跨部门联动，1小时内内部署无人机勘查；Ⅱ/Ⅲ级事件（如局部塌方）优先拖离可行驶车辆，2小时内疏通车道。特殊情况响应：恶劣天气：暴雨积水>

15cm时封闭路段；冰雪路面温度≤0℃时撒布融雪剂，除冰间隔≤1小时。爆胎或故障：收油门缓刹控方向，停靠应急车道后按标准设置警示标识。危化品泄漏：划定500米隔离区，侧风向疏散人员，并联动环保部门中和污染物<sup>[4]</sup>。

### （三）如何演练和评估公路应急措施的有效性

公路应急演练与评估需结合实战模拟与量化指标分析，通过“演练设计→执行→复盘→迭代”闭环提升处置效能，演练方案设计原则，场景分级覆盖，大型综合演练：每半年1次，模拟桥梁坍塌/危化品泄漏等Ⅰ级事件，检验跨部门（交警+消防+医疗）协同效率；专项演练：季度性开展，聚焦冰雪除障、隧道火灾等场景，重点测试设备响应速度（如融雪剂撒布达标率）。基层常态演练：每月进行单点事故处置（如车辆故障清障），考核15分钟到场率。脚本真实性要求，团雾场景需释放无害模拟烟雾，能见度严格控制在<200米；危化品泄漏演练须标注无害替代物扩散范围，验证500米隔离区划定时效。演练执行关键环节，指挥协调机制，启用应急指挥平台，实时共享交警监控、气象预警、医疗资源数据，信息延误>30分钟扣分；Ⅲ级事件需在30分钟内完成“布控-救援-疏通”全流程操作。复盘优化机制，问题溯源，分析演练录像，定位薄弱环节（如物资调度延迟原因）；对比历史数据，识别重复性失误（如隔离墩反光膜破损率）。预案迭代，山区路段增配卫星电话，解决信号盲区问题；优化融雪剂配比，提升-25℃极寒环境有效性。动态跟踪，评估不合格单位需15日内提交整改方案，45天内完成复评；引入智能锥桶、热成像仪等科技装备提升监测精度。演练评估报告须含≥3项改进措施且附整改对比图；采用“四不两直”突检方式（不预告、直插现场）验证整改实效<sup>[5]</sup>。

总之，极端天气不仅直接破坏公路设施，还通过连锁反应（如事故、拥堵）放大影响，需结合“预防-监测-响应”体系降低损失。

### 参考文献

- [1] 赵萍. 关于极端天气下公路日常养护应急措施. 2023.  
[2] 张晓燕. 极端天气下公路日常养护应急措施探讨. 2022.  
[3] 陈勇. 极端天气下公路养护应急物资储备与调配策略 [J]. 交通世界, 2021(15).  
[4] 刘华. 强降雨极端天气下公路日常养护的应急处理方法 [J]. 中国公路, 2022(22).  
[5] 孙丽. 冰雪极端天气下公路养护及应急保通措施研究 [J]. 北方交通, 2022(02).

# 建筑工程绿色施工技术应用与节能成效研究

王旭

河北光太路桥工程集团有限公司, 河北 邯郸 056000

DOI:10.61369/ETQM.2025120009

**摘 要 :** 随着我国可持续发展战略的深入推进, 建筑工程领域面临绿色转型的重大挑战与机遇。绿色施工技术作为节能减排、提升建筑品质的关键手段, 已成为行业关注的重点。本文围绕建筑工程绿色施工技术的具体应用, 系统分析其在节能降耗、资源优化及环境保护等方面的实践效果。通过对施工阶段绿色措施的实施要点、节能成效评估方法及智能化施工管理手段的探讨, 总结绿色施工的综合效益与推广路径, 为推动建筑行业高质量发展提供技术支持与参考依据。

**关 键 词 :** 绿色施工; 节能降耗; 建筑工程; 环保技术; 资源优化

## Research on the Application of Green Construction Technology in Construction Engineering and Its Energy-Saving Effects

Wang Xu

Hebei Guangtai Road and Bridge Engineering Group Co., Ltd., Handan, Hebei 056000

**Abstract :** With the in-depth advancement of China's sustainable development strategy, the field of construction engineering faces significant challenges and opportunities for green transformation. Green construction technology, as a key means of energy conservation, emission reduction, and enhancing building quality, has become a focal point of industry attention. This paper systematically analyzes the practical effects of green construction technology in construction engineering, focusing on its applications in energy conservation, resource optimization, and environmental protection. By exploring the implementation essentials of green measures during the construction phase, methods for evaluating energy-saving effectiveness, and intelligent construction management approaches, the paper summarizes the comprehensive benefits and promotion pathways of green construction, providing technical support and reference for promoting high-quality development in the construction industry.

**Keywords :** green construction; energy conservation and consumption reduction; construction engineering; environmental protection technology; resource optimization

## 引言

建筑行业作为能源资源消耗大户, 传统施工方式已难以满足“双碳”目标与绿色发展的需求。绿色施工理念强调全过程节能减排与环境友好, 是实现建筑可持续发展的关键路径。本文基于绿色施工技术的理论基础, 结合建筑工程实际, 探讨其在材料选择、能效控制、环境管理等方面的技术应用, 并分析其节能成效, 旨在为建筑工程绿色化建设提供系统性技术指导。

## 一、绿色施工技术的内涵与发展背景

### (一) 绿色施工的定义与基本原则

绿色施工是指在建设工程全过程中, 以节能、节地、节水、节材和环境保护为核心, 采取先进的管理模式与技术手段, 最大限度地减少资源消耗和污染排放, 实现施工活动与自然环境的协调统一。其基本原则包括: 一是环保性, 要求在施工过程中控制扬尘、噪声、污水、废弃物等对环境的不良影响; 二是安全性, 强调作业环境的健康与施工安全保障; 三是节能性, 注重合理使用能源与材料, 提升设备能效比; 四是高效性, 通过优化工艺流程

程与施工组织设计, 提高资源利用效率和施工管理水平; 五是可持续性, 在保障建筑质量与使用功能的前提下, 推动建筑生命周期全流程绿色化。绿色施工的标准体系以国家《绿色施工导则》及《绿色建筑评价标准》为依据, 涵盖施工现场管理、资源利用、环境控制、科技应用等多个维度, 是推动建筑工程绿色发展的技术支撑和评价依据。

### (二) 政策驱动与行业发展趋势

在“双碳”目标引导下, 国家和地方政府陆续出台了一系列关于绿色施工的政策法规与激励措施。如《建筑节能与绿色建筑发展“十四五”规划》《绿色建筑创建行动方案》等, 从顶



层设计层面确立了绿色建筑、绿色施工的方向与目标。同时，绿色建筑评价体系也日益完善，涵盖设计、施工、运行等阶段，对建筑全生命周期的绿色性能提出明确标准。随着“绿色三星标识”“装配式建筑比重”等政策硬指标的推进，绿色施工不仅成为市场准入门槛，更是项目竞争力的体现<sup>[1]</sup>。

### （三）绿色施工技术发展现状

目前，我国绿色施工技术正处于多元集成、快速发展的阶段。在材料方面，绿色建材如高性能混凝土、再生骨料、低 VOC 涂料等在工程中被广泛应用；在施工工艺方面，节水节能措施如循环用水系统、智能照明与通风控制、太阳能辅助系统逐渐普及；在管理手段上，BIM 技术、施工现场能耗监测平台、建筑信息自动采集系统等数字化手段开始赋能绿色施工管理；同时，装配式建筑、模块化施工等新型工业化技术也为绿色施工提供了结构性变革动力。然而，与国际先进水平相比，我国绿色施工在标准规范、技术创新、人才培养等方面仍有待提升。

## 二、绿色施工在建筑工程中的应用路径

### （一）节能环保型建筑材料的选择与使用

绿色建筑材料是实现施工节能与环境友好目标的重要基础，其种类涵盖结构类、围护类、装饰类及设备类等多个领域。常用的节能环保材料包括高强度低碳钢筋、高性能混凝土、粉煤灰砖、再生骨料、低辐射玻璃、保温隔热板材以及低 VOC 涂料等，这些材料在性能上具备轻质高强、保温隔热、耐久性好、污染低等优势，既能满足工程结构和功能需求，又显著降低对环境的负面影响。材料采购阶段，应严格按照《绿色建材评价标识管理办法》等标准开展绿色认证查验，优先选用获得绿色标识的建材产品。在施工现场，需建立健全绿色建材验收制度、分类堆放管理制度和使用台账管理制度，确保材料按需进场、避免浪费，同时通过信息化手段对进出场材料进行追踪和性能监控<sup>[2]</sup>。

### （二）施工节能设备与技术的集成应用

在绿色施工过程中，节能高效型机械设备的应用是提升整体施工能效的重要手段。工程项目中常采用低油耗高效率挖掘机、自动变速装载机、智能塔吊与高效搅拌站等现代化施工设备，这些设备具备运行稳定、油耗低、噪声小、排放少等特点，显著优于传统机械。同时，能源回收技术也日益成熟，如施工电梯的再生制动能量回馈系统，能够将机械运动中产生的多余能量转化为电能回流系统内部再利用，降低整体能耗。在设备管理方面，应推动设备协同与能效智能控制，通过集中供电、统一调度、数据分析等手段，最大限度避免“低效开机”与“空转待机”等能源浪费现象。

### （三）施工过程中的资源循环与减排措施

绿色施工强调在施工各环节实现资源的循环利用与污染物的最小排放，从源头控制到末端处理全流程构建减排体系。在资源循环方面，应大力推广建筑垃圾分类回收与再利用机制，如模板、脚手架、混凝土块体、钢筋等均可在不同工程间循环使用或回收处理<sup>[3]</sup>。在水资源利用方面，推行施工废水沉淀回用系统

及雨水收集系统，满足施工道路冲洗、降尘喷洒等非饮用水需求。在能源使用上，采用太阳能路灯、LED 节能照明与变频节能电机系统，降低现场运行能耗。污染控制方面，施工现场应采取围挡降尘、喷雾降尘、道路硬化、车辆冲洗等措施控制扬尘污染，采用隔音屏障与夜间作业限制减少噪音干扰，同时通过封闭式堆料、油料防渗池等方式控制固废和危险废物对土壤、水体的污染。各类环保设施应实行定期检查与运行记录制度，确保环保效果持续达标。通过系统化的资源循环利用与减排手段，不仅实现了对环境的有效保护，也降低了施工成本，推动建筑工程绿色化、高效化发展。

## 三、节能成效评估与数据化管理机制

### （一）节能效果评估的指标体系构建

为了科学衡量绿色施工过程中的节能成果，有必要构建系统化、量化的节能评估指标体系。首先，应依据工程类别、建设规模、施工工艺等因素制定项目能耗基准线，明确能源消耗的初始状态及合理区间，为节能成效评估提供对比基准。基准线应涵盖电力、燃油、水资源、建材使用量等关键项，并可通过历史项目数据、行业标准或仿真分析进行设定。在此基础上，需建立针对施工阶段的关键绩效指标（KPI）体系，常见 KPI 包括单位建筑面积能耗、单位工程造价能耗、水资源重复利用率、建材节约率、现场碳排放强度等。各类 KPI 应具备可监测性、可比较性与目标导向性，便于全过程能效追踪和阶段性评估<sup>[4]</sup>。此外，节能评估还应纳入经济与环境效益维度，实现从能源消耗量向综合效益转变。通过标准化的指标体系，不仅能科学反映绿色施工成效，还能为技术优化与管理改进提供数据支持与方向指引。

### （二）信息化手段在能耗监测中的作用

随着智慧工地与数字建造理念的兴起，信息化技术在施工能耗监测中发挥出越来越关键的作用。首先，BIM（建筑信息模型）技术为绿色施工提供了可视化与模拟分析平台，可在施工前通过建筑模型模拟能耗行为，预判施工过程中的能源热点区域与节能空间，辅助设计阶段节能优化。其次，物联网（IoT）技术可实现施工现场各类用能设备的智能监测与联动控制，通过传感器采集电能、水耗、油耗等实时数据，上传至中央控制系统并进行动态展示与分析。能耗监测平台则作为数据整合与分析的核心载体，集成 BIM、IoT 与移动端数据，支持图表可视化展示、趋势分析、异常预警、用能对比等功能，形成完整的施工能耗数据链路。这些信息化手段极大提升了施工能耗管理的透明度与响应速度，实现从人工统计到系统自感知、自分析的转变，为绿色施工的持续优化提供强大技术支撑。

### （三）数据驱动下的节能优化反馈机制

节能管理不应止步于数据采集与展示，更需依赖数据分析构建闭环优化反馈机制，实现持续性节能提升<sup>[5]</sup>。首先，通过对监测数据的时间序列分析与横向对比，可以快速识别出高能耗节点、异常消耗设备或管理疏漏环节，并及时发出预警信息。管理人员可基于预警结果开展专项节能检查，定位问题根源并提出优

化策略。其次，应建立能效改进记录与反馈体系，将优化措施、节能成果及问题整改过程进行数据化记录，形成可追溯、可复用的改进案例库，为后续工程提供借鉴。同时，应将节能绩效与各责任单位、施工班组的管理考核挂钩，激励多方参与节能优化。在此基础上，借助 AI 算法与数据挖掘技术，可实现能耗行为预测与自适应调控策略制定，使节能优化从“事后纠偏”向“过程控制”“智能预测”升级。

## 四、绿色施工成效与推广策略分析

### （一）节能技术的实际效益评估

绿色施工技术在建筑工程中投入应用后，不仅显著提升了施工过程的环境友好程度，还带来了可观的经济与环境效益。从经济效益来看，尽管绿色施工前期在设备采购、材料选型与系统集成方面存在一定成本投入，但随着施工周期推进，节能设备的高效运行与资源的循环使用可显著降低能耗费用与材料浪费，长期运营成本逐步下降<sup>[6]</sup>。例如，采用高效照明、智能用电监控与节能型施工机械后，项目整体电能消耗可下降 10% 至 30%；废弃物资源化利用可降低后期处理费用 10% 左右。在环境效益方面，绿色施工技术通过扬尘控制、噪声抑制、水污染治理与碳排放监测等措施，降低了对周边生态的干扰，显著减少了碳足迹。以碳排放为例，推广再生建材、施工能耗管理系统与能源回收设备后，单位建筑面积碳排放量可降低 20% 以上。此外，绿色施工还能提升项目的市场竞争力，有助于取得绿色建筑认证，提高项目整体附加值，形成可持续发展的良性循环<sup>[7]</sup>。

### （二）推广绿色施工面临的障碍与对策

尽管绿色施工理念日益深入人心，但在实际推广过程中仍面临诸多障碍。首先是技术标准缺失，当前绿色施工相关规范多处于指导性层面，强制执行力度不足，导致在施工操作中缺乏统一、明确的评价与操作依据，制约了标准化推进。其次是人员意识薄弱，部分项目管理者与施工人员对绿色施工理解有限，仍沿用传统高消耗、高污染的施工习惯，缺乏绿色理念与技能培训支持。再者是初期成本投入压力大，尽管绿色施工长期回报显著，

但在招标阶段往往面临“最低价中标”机制，绿色设备与材料成本高、回报周期长，成为推广难点。针对上述问题，应从三个方面加以应对：一是加快绿色施工技术标准体系建设，明确技术准则、评价机制与法律责任，提升制度刚性；二是加强人员培训与宣传教育，推动绿色理念在施工企业内广泛普及，建立专项人才培养机制；三是完善财政补贴、绿色信贷与碳交易激励机制，降低绿色施工的资金门槛，形成政府引导、企业参与、市场调节的良性生态。

### （三）建筑企业绿色转型路径建议

建筑企业作为绿色施工的实施主体，必须在理念更新、管理优化与技术升级多个维度协同推进绿色转型。首先，在企业战略层面，应将绿色施工纳入企业发展核心战略，设立绿色发展目标与年度节能指标，推动绿色施工由单项目实践转向企业级系统建设<sup>[8]</sup>。其次，在管理机制上，应设立绿色施工专项管理部门，健全绿色技术选型、能效审计、材料控制与能耗监测的闭环管理体系，并借助 BIM、ERP 等化工具实现绿色施工全过程可视化管控。再次，在人才体系方面，应构建绿色施工人才梯队，组织技能竞赛、标准化实训与现场研修等活动，提升全员绿色管理能力。在供应链协同方面，企业还应优先选择具有绿色资质的供应商，推动绿色材料、设备与服务的协同采购与集成应用。此外，企业可积极参与绿色建筑认证、行业联盟与政府试点项目，扩大品牌影响力，争取政策支持与市场先机。

## 五、结语

绿色施工作为推动建筑工程可持续发展的重要路径，已逐步成为行业共识。通过绿色材料选用、节能设备集成、资源循环利用以及信息化能耗管理，建筑施工的节能减排效果日益显著。尽管在推广过程中仍面临标准缺失、意识薄弱与成本压力等挑战，但通过政策引导、技术创新和企业转型，绿色施工的发展潜力巨大。未来，建筑行业应坚持绿色理念，强化全过程绿色管理，推动施工方式向节能高效、环保智能方向不断迈进。

## 参考文献

- [1] 李玉涵. 刍议绿色建筑施工技术的有效应用路径 [J]. 石材, 2025(07): 95–97. DOI: 10.14030/j.cnki.scaa.2025.0369.
- [2] 田儒凯. 绿色建筑施工技术在现代建筑工程中的应用分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025(18): 94–96. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202518032.
- [3] 李扬. 新型绿色节能技术在建筑工程施工中的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025(18): 88–90. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202518030.
- [4] 何在群. 绿色建筑装配式施工技术在各工程阶段的应用 [J]. 建设机械技术与管理, 2025, 38(03): 131–132+135. DOI: 10.13824/j.cnki.cmtm.2025.03.046.
- [5] 杨永生. 绿色节能建筑施工技术质量控制与管理方法探究 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(12): 19–21. DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2025.0543.
- [6] 龙义夫. 房屋建筑工程绿色施工管理及创新方法探究 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(12): 133–135. DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2025.0541.
- [7] 邓雷成, 田娜娜. 绿色建筑施工技术在住宅建筑工程中的应用 [J]. 陶瓷, 2025(06): 179–182. DOI: 10.19397/j.cnki.ceramics.2025.06.021.
- [8] 刘辰浩. 绿色建筑材料在建筑工程施工技术中的应用 [J]. 四川建材, 2025, 51(06): 11–14.

# 金属缠绕垫片失效机理与管控策略研究

刘双羽

玉门炼油厂, 甘肃 酒泉 735200

DOI:10.61369/ETQM.2025120010

**摘 要 :** 金属缠绕垫片是炼化企业法兰连接系统的关键密封件, 对保障装置安全运行和环保有很重要的意义。本文围绕其结构与密封原理, 分析了垫片压缩应力、介质压力和泄漏率, 阐述了 V 形金属带的自紧效应和回弹性能对密封稳定性的作用。结合本厂实际案例, 归纳了选型错误、安装不规范和应力松弛导致的典型失效模式, 提出选用带内外环的金属缠绕垫片和波齿复合垫片等改进方案。实践显示, 优化选型、规范安装和加强维护能显著降低静密封泄漏率。文章最后展望了高性能材料和全生命周期管理对静密封技术影响, 为装置长周期安全运行提供了思路。

**关 键 词 :** 静密封垫片; 压缩应力; 泄漏率; 可持续发展

## Research on The Failure Mechanism and Control Strategies of Metal Spiral Wound Gaskets

Liu Shuangyu

Yumen Refinery, Jiuquan, Gansu 735200

**Abstract :** The metal wound gasket is a critical component ensuring the safety and environmental compliance of flange connections in refining and chemical enterprises. Starting from its structural characteristics and sealing mechanism, this paper systematically analyzes the dynamic coupling relationship among gasket compression stress, medium pressure, and leakage rate, and elucidates the crucial role of the self-tightening effect and resilience of the V-shaped metal strip in maintaining sealing stability. Based on practical application cases, it summarizes typical failure modes caused by improper selection, non-standard installation, and stress relaxation, and proposes improvement solutions such as selecting metal wound gaskets with inner and outer rings and serrated metal composite gaskets. Practice demonstrates that by optimizing gasket selection, standardizing installation procedures, and strengthening operational maintenance, the static sealing leakage rate can be significantly reduced. Finally, the article provides an outlook on the development of static sealing technologies, including high-performance materials and life-cycle cost management, offering direction for the long-term safe operation of the equipment.

**Keywords :** static sealing gasket; compressive stress; leakage rate; sustainable development

静密封是一种专门用于连接两个相对静止的表面, 从而有效阻止流体或者气体泄漏的密封部件。在炼化企业的各类设备体系里, 它的应用十分广泛, 在管道法兰、压力容器以及阀门等设备的连接部位, 常常被使用。在静密封领域, 常用的垫片一般包括: 橡胶垫、芳纶垫、金属缠绕垫等。这些材料具备很好的弹性和密封性能。在一定的压力和温度条件下, 它们可以成为可靠的密封屏障, 将流体和气体牢牢阻隔。同时, 它们还拥有一定的耐腐蚀性和耐磨损性, 能够应对炼化介质中可能含有的腐蚀性物质以及机械磨损带来的影响, 为炼化设备的安全稳定打下很好的地基。

本文主要介绍金属缠绕垫片。它是一种优良的复合材料密封件, 其由一层金属带和一层填充料(石墨带)经紧密、连续和螺旋形交替缠绕而成, 具有结构简单, 成本低, 对介质和温度适应性强, 耐压范围宽, 安装预紧力小以及有多道密封等优点, 因此与其它密封垫片相比, 具有无可比拟的优越性。大量用于高温高压的压力容器和管道等结构中, 解决了长期存在的跑、冒、漏、滴的问题。



# 一、金属缠绕垫基本结构与设计

## （一）垫片基本结构

### 1. 金属带

作为垫片的核心骨架，金属带由薄型冷轧钢带精密轧制成 V 形等几何截面，以此获得垫片所需的弹性与回弹性能。从性能上看，W 形截面能提供更优的回弹性，但由于其制造工艺复杂、成本高昂，在本厂的实际应用中，V 形带是更为经济高效的选择。在材质方面，可选范围涵盖低碳钢、304/316 不锈钢至特种合金，本厂基于广泛的工况需求，主要采用 304 或 316 不锈钢。在制造过程中，该成形金属带与柔性石墨填料紧密缠绕，二者协同作用，确保了垫片在面对法兰微量分离时，仍能通过其回弹维持足够的密封预紧力。

### 2. 非金属带

金属缠绕垫片的非金属带起密封作用，因此非金属填料具有耐高温、高压的性能及稳定的化学性能。本厂非金属填料主要使用柔性石墨。

### 3. 加强环

外加强环在安装过程中有定位作用，也叫定心环，材料通常采用碳钢，并经过防锈处理。内外加强环对提高垫片性能有一定的影响。由于金属带的断面形状使垫片获得一定的弹性，再加上内外环，则当基本型垫片受压时，外环和内环分别处于受拉和受压状态。当基本型垫片载荷下降时，内外环储藏的能量释放，提高垫片的回弹力，增加了垫片对温度和压力变化的适应能力，同时内外环的存在，能够保证垫片有足够的强度，在外加螺栓载荷过载时，不被压溃。

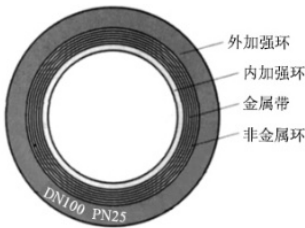


图 1

图 1

金属缠绕垫片是由一定几何截面的成型金属带和非金属填充材料带组成的一种复合型垫片，其包括基本型、基本型加内环或外环以及基本型加内外环的结构如图 2。

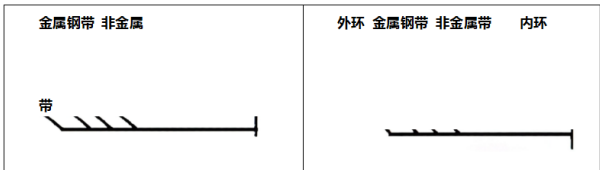


图2 金属缠绕垫片结构

## （二）垫片基本结构

金属缠绕垫片四种基本类型

### 1. 基本型（A 型）

A 型垫片（图 2）无内外加强环，适用于榫槽面法兰和凹凸

面法兰。

### 2. 内加强型（B 型）

B 型垫片（图 3）只有内加强环，适用于凹凸面法兰。

### 3. 外加强环（C 型）

C 型垫片（图 4）只有外加强环，适用于平面法兰和凸面法兰。

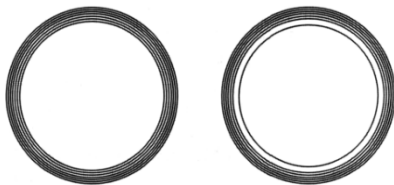


图 2

图 3

### 4. 内外加强环（D 型）

D 型垫片（图 5）有内外加强环，适用于平面法兰和凸面法兰。

# 二、金属缠绕垫片垫片密封性能参数

## （一）初始压紧应力和密封比压

影响垫片密封关键性能的参数有初始压紧应力和密封比压。垫片密封的本质是通过施加外部载荷，阻断介质泄漏的通道。初始压紧应力：在设备或管道未通入介质前，通过螺栓拧紧，在法兰面上产生巨大的压紧力。这个力使垫片，特别是其非金属填充材料（如石墨）发生压缩变形，并填充法兰密封面的微观不平整处，从而形成初始的密封条件。密封比压是形成初始密封所需的最小单位面积上的压紧力。如果初始压紧应力不足，无法达到密封比压，即使在无压状态下，垫片也可能泄漏。

## （二）垫片的回弹与自紧效应

当设备投入运行，介质压力引入后，系统的受力状态发生根本性变化。螺栓载荷发生变化，介质压力会在法兰连接系统的内部产生一个试图将两片法兰撑开的“内压推力”。这个推力会部分抵消螺栓的初始预紧力，导致作用在垫片上的残余压紧力减小。当螺栓载荷因内压而减小，法兰有微量的分离趋势时，垫片中像弹簧一样被压缩的金属带会试图回弹，释放储存的弹性势能，从而持续地对法兰面保持一个压紧力。这个回弹能力保证了在压力波动或热循环时，密封依然有效。对于 V 形金属带，介质压力本身会渗透到垫片结构的缝隙中。介质压力作用在金属带的 V 形槽上，会产生一个向外扩张的力，这个力会增加垫片对法兰面的压紧力。这就是“自紧作用”，它使得金属缠绕垫片在越高的工作压力下，密封能力反而越强。

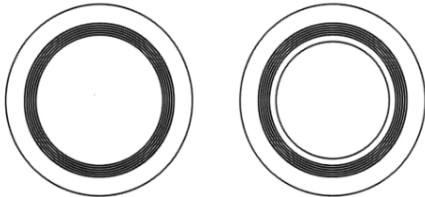


图 4

图 5

### （三）泄漏率

泄漏率是衡量金属缠绕垫片密封性能的关键指标，与其受力情况息息相关。其中，垫片应力（ $\sigma_g$ ）是操作状态下垫片实际承受的压紧应力。该应力由螺栓预紧力、介质内压及法兰系统刚度共同决定。一般而言，垫片应力越高，泄漏率越低。但应力过高会导致非金属柔性石墨填充材料被过度压缩甚被压坏，同时可能引起金属带发生塑性变形，导致使垫片没有回弹能力。随着压力或温度的波动，金属缠绕垫片的密封性能彻底失效。因此，理想情况下，垫片应拥有两种性质：一是良好的压缩性，即在压力不太大的情况下，就可产生足够变形，把法兰面上细小的不平整地方填严实；二是优异的回弹性，能在没有压力或压力变小的情况下，能弹回到大部分初始形状。泄漏率（L）与垫片应力（ $\sigma_g$ ）及介质压力（P）的关系可用以下经验模型近似表达：

$$L \propto \frac{P^n}{(\sigma_g)^m}$$

其中，n和m为与垫片结构和材料相关的常数。该模型清晰地揭示了二者对泄漏率的影响规律：介质压力（P）的增大会导致泄漏率升高，而垫片压紧应力（ $\sigma_g$ ）的增加则可有效降低泄漏率。

## 三、金属缠绕垫片在炼化企业中的应用

经过一段时间摸索和实践，要严把垫片和安装的质量关，针对不同的法兰形式选用对应金属垫片，用力矩扳手对边均匀紧固，同时要求平稳操作。针对本厂静密封泄漏状况进行了全面细致的技术分析，查找出造成全厂静密封泄漏率高的部位主要有：主工艺系统、热力系统的管线法兰、阀门法兰以及其他密封面。通过对泄漏部位的观察与分析，发现原使用的芳纶垫片或橡胶垫存在着几个问题：（1）垫片材料本身强度、弹性不够，在介质温度、压力出现波动时，极易发生泄漏；（2）垫片两侧表面密封情况良好，但介质沿着垫片内部纤维向外渗漏，出现冒烟、结焦以及毛细管现象；（3）在较高温度下使用一段时间后，出现老化现象，垫片回弹性下降甚至断裂，出现渗漏；（4）安装时螺栓预紧力太大，造成垫片部分失弹发生渗漏。

芳纶垫片和橡胶垫存在一些不足，特定条件下金属缠绕垫片优势更明显。多数时候，我们选带304不锈钢加强环内、外形式的垫片，填充料用柔性石墨。用在重要工艺、热力管网法兰密封处，基本能杜绝泄漏，改善了厂内管道法兰密封情况。另外，阀门大盖易泄漏，新阀门打压试漏时，我们把部分装置阀门大盖法兰垫片换成了新型石墨金属齿齿垫片，也可以减少泄漏。

在设备管理工作中，静密封也是重点内容。为让静密封管理有效，现在我厂作业前会做预约计划，让工作程序化。把设备维护检修流程按时间或内容，合理分成操作单元，明确各部门责任，提升工作质量、有效控制全过程。实际效果很好：一是能控制操作条件变化导致的密封泄漏；二是严格巡检、执行规范，能

早发现、早处理潜在泄漏点，形成管理闭环。另外，这方法减少了工作随意性，让操作人员养成严谨科学的工作习惯。

## 四、金属缠绕垫片主要失效模式分析与控制策略

本部分结合现场实践，系统梳理了金属缠绕垫片在炼化装置中的四种主要失效模式，并从设计选型、安装操作及运行维护等环节，提出了针对性的控制策略。

### （一）选型不当

选型不当是导致垫片早期失效的首要原因。其根源在于未能充分评估介质腐蚀性、温度压力波动范围等服役工况，或对垫片结构类型（如基本型与带环型）的适用场合理解不清。例如，在热油系统中选用不耐高温氧化的普通橡胶垫，或在凹凸面法兰上误用了无定位环的基本型垫片。

控制策略：建立基于工况的垫片选型规范。对于高温高压波动工况，优先选用带内外环的金属缠绕垫或波齿复合垫；对于腐蚀性介质，则需匹配特殊合金带材的垫片。

### （二）安装操作不规范

垫片安装质量影响密封效果，安装不当如位置不正确、压紧力不够或过大等，会导致密封不良或失效。主要原因包括对安装要求和操作规程了解不充分；对设备结构和类型了解不足；安装过程缺乏检查和测试手段等。

控制策略：加强对安装要求和操作规程的学习培训；深入研究设备结构和类型；安装过程中加强检查和测试，确保垫片正确安装和压紧。借鉴行业经验，结合实际进行安装工作。

### （三）老化损坏

垫片在使用过程中受介质、温度、压力等因素影响会老化损坏，严重时导致介质泄漏和设备损坏。主要原因有介质中腐蚀性物质的侵蚀；高温高压环境的破坏；垫片材料本身性能和寿命限制等。

控制策略：选择具有良好耐腐蚀性和耐高温性能的垫片材料；加强对垫片使用过程的监测和维护；定期检查和更换垫片，确保密封性能和使用寿命。借鉴行业经验，结合实际进行维护和更换工作。

### （四）垫片应力松弛

垫片使用过程中会发生应力松弛，导致密封性能下降。主要原因包括垫片材料本身的应力松弛特性；长时间受压力和温度作用加剧应力松弛；安装过程中压紧力不均匀或过大等。控制策略：优选抗应力松弛性能好的材料，如高回弹性的特种合金带材与改性石墨。加强对垫片使用过程的监测和维护；采用增加垫片厚度、提高压紧力等方法提高密封性能。借鉴行业经验，结合实际选择和使用垫片。

## 五、静密封垫片技术发展趋势

目前，玉门炼油厂生产装置正在迈向“四年一修”乃至更长周期运行目标，对法兰连接密封的可靠性提出了更高要求。传统

静密封垫片在常减压、催化裂化等常规装置中表现稳定，但在加氢裂化、重整等高温高压及强腐蚀工况下，其性能局限性也很明显。为应对这方面的问题，我厂的静密封技术要朝着高性能化、精细化及全生命周期成本控制的方向迈进。

**（一）探寻延长检修周期的垫片材料**

垫片材料的性能直接决定了其在我厂严格工况下的适用性与寿命。在非金属材料领域，高性能柔性石墨仍在我厂应用广泛。未来，可以考虑探索抗氧化浸渍石墨在高温含氧环境中的使用情况，努力延长检修周期。在金属材料领域，应对腐蚀是选材料关键点。在加氢装置等高温高压环境，我厂已逐步将普通不锈钢带材升级为316L不锈钢；对于更具腐蚀性的反应产物管线，未来探索镍基合金的缠绕垫片应用可行性。

**（二）结构优化与新型垫片应用**

对于垫片结构，我厂的核心目标是实现：在不显著增加螺栓预紧力下，实现更优异的密封效果与更强的抗工况波动能力。波齿复合垫片在我厂部分高温高压阀门和换热器法兰上已经试用。这种垫片通过金属波齿骨架提供的机械强度，依靠表面软质石墨层做好初始密封，对于热油泵出口等存在剧烈温度波动的部位特别适用。与传统缠绕垫相比，波齿垫预紧力要求相对低，能有效保护老旧法兰面；其优异的抗应力松弛性能更能适应长周期运行。未来，也在逐步扩大其应用范围。此外，针对循环水场等大口径、低压法兰密封难题，将推广采用芳纶垫替代传统的橡胶垫，以解决其易老化、密封寿命短的问题。<sup>[1]</sup>

**（三）成本与绿色协同共进**

目前，环保法规越来越严格，企业降本增效需求也很迫切，

静密封管理需顺应绿色与全生命周期成本的发展趋势。绿色安全是选型的硬性要求。我厂已全面弃用石棉垫片，改用纶垫片，有效减少了挥发性有机物（VOCs）的无组织排放，既履行了环保责任，又保障了员工健康。高性能垫片虽单价高，但泄漏率极低、长周期运行可靠、维护频次大幅降低，还能避免非计划停车带来的巨大经济损失。综合权衡，为进一步优化成本与性能，可将常规垫片与高性能垫片搭配使用。<sup>[2]</sup>因此，推动密封方案科学选型，是实现装置“安、稳、长、满、优”运行的必然之举。

**六、结论**

静密封垫片是设备中的小元件，却对炼化装置的安全、稳定、环保及长周期运行起着至关重要的作用。本厂以程序化工作推进精细化管理，针对高温高压、强腐蚀等不同工况，将波齿复合垫片与金属缠绕垫片搭配使用。波齿复合垫片靠独特波齿结构分散压力，金属缠绕垫片以良好弹性和耐腐蚀性适应苛刻条件，二者协同显著降低了静密封泄漏率。全生命周期成本理念成为炼化企业可持续发展的“助推器”，让企业重视静密封垫片，从选型、使用到维护的全流程管理，不再仅关注初始采购成本，而是综合考量垫片全生命周期性能、维护及泄漏损失等因素。此外，我们密切跟踪行业动态，积极探索高性能、环保化静密封垫片，以契合炼化企业对密封性能的高要求，助力行业绿色转型与高质量发展。<sup>[3]</sup>

**参考文献**

[1] 鲁立, 胡梦佳, 蔡志鹏, 李克俭, 吴瑶, 潘际奎. 核级管端法兰面在线堆焊修复的残余应力 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2020(01).  
[2] 徐红彦, 苗奎, 舒晓君. 浅谈装配中螺纹联接扭矩分析 [J]. 新技术新工艺, 2021(01).  
[3] 蔡暖姝, 闻克勤. 非石棉密封垫片及其在石油化工工程中的应用 [J]. 化工设备与管道, 2007(04).

# 基于运行参数调整的锅炉效率提升研究

成贵

贵州黔西中水发电有限公司，贵州 毕节黔西，551514

DOI:10.61369/ETQM.2025120011

**摘 要：** 本文基于运行参数调整开展锅炉效率优化研究，系统分析了过量空气系数、排烟温度等关键参数对热效率的作用机制及其耦合特性，建立了综合考虑经济性与环保性的多目标优化数学模型，设计了涵盖稳态与变负荷工况的参数协同控制策略及智能调控方法。通过实验验证表明，优化后的运行参数可显著提升锅炉热效率，有效降低能耗与污染物排放水平，本研究通过理论创新与技术实践相结合，为工业锅炉的节能降耗和绿色运行提供了系统的理论依据和实用的实践指导，具有重要的工程应用价值和推广意义。

**关 键 词：** 锅炉效率；运行参数；优化模型；参数调整；节能降耗

## Study on Boiler Efficiency Improvement based on Operation Parameter Adjustment

Cheng Gui

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., Ltd., Qianxi, Bijie, Guizhou 551514

**Abstract：** This study investigates boiler efficiency optimization through operational parameter adjustments, systematically analyzing the mechanisms and coupling characteristics of key parameters such as excess air coefficient and flue gas temperature on thermal efficiency. A multi-objective optimization mathematical model integrating economic and environmental considerations was established, along with a coordinated control strategy and intelligent regulation method covering both steady-state and variable load operating conditions. Experimental validation demonstrates that optimized parameters significantly enhance boiler thermal efficiency while effectively reducing energy consumption and pollutant emissions. By combining theoretical innovation with technical implementation, this research provides systematic theoretical foundations and practical guidance for industrial boiler energy conservation and green operation, offering significant engineering applicability and promotion potential.

**Keywords：** boiler efficiency; operation parameters; optimization model; parameter adjustment; energy saving and consumption reduction

## 引言

锅炉为能量转换系统中的核心设备，锅炉本身的运行状况，直接关乎能源的耗用量级及经济运行开支情况。传统的锅炉在运行中存在着参数匹配不合理，调节滞后，多变量耦合复杂等问题，使得实际的热效率远远低于设计值，造成大量的能源浪费<sup>[1]</sup>。在节能减排背景之下，借助对运行参数实施细致调整并加以优化控制以达到提升效果，已然成为工业领域所着重探寻的内容。本文基于参数特性分析、模型构建和策略设计，系统研究锅炉效率提升途径，为实际工程应用提供理论基础和技术支持。

## 一、锅炉运行参数与效率关系分析

### （一）关键运行参数识别

锅炉运行时会涉及到很多互相联系的参数，其中对热效率起决定作用的参数要被准确地确定下来。过量空气系数是表示燃烧过程配风是否合理的指标，它直接影响到燃料的燃烧完全程度以

及排烟热损失的大小。排烟温度代表烟气的余热回收情况，它的大小影响到显热损失的情况。给水温度和蒸汽压力是决定热力循环初态的两个参数，它们直接影响整个能量转换过程的效率。燃料特性、负荷率、炉膛温度等运行变量也必须考虑进去<sup>[2]</sup>。这些参数之间存在相互影响的关系，一起决定着锅炉的综合工作水平。在具体的实际运行优化中要依照锅炉种类及其工艺特性去挑



选那些具备最大调控价值的主要参数当作重点优化的要点。

### （二）参数对热效率的影响机制

过量空气系数改变，燃烧效率、热损失分布都会发生变化。当系数过大时，会使排烟热损失增大，炉膛温度降低；当系数过小时，会造成燃烧不完全，增大化学不完全燃烧损失。排烟温度和锅炉热效率有关，降低排烟温度可以提高热效率，但是要注意不要降到酸露点温度以下，造成低温腐蚀。给水温度升高可以减少加热工质所需的燃料量，但是给水温度提高的幅度要受制于省煤器等换热设备的性能。负荷变动时，运行参数就会出现动态波动，这就会影响稳态工况下的效率发挥。各个参数之间还有着非常明显的交互作用，过量空气系数的调节就会直接导致排烟温度的改变，这种耦合效应需要在优化过程中予以充分考虑。

### （三）典型锅炉运行特性总结

不同的锅炉有不同的运行特点。燃煤锅炉运行参数调节既要保证燃烧稳定又要考虑效率优化，负荷适应性比较好，但调节响应具有滞后性质。燃气锅炉参数响应快但是对空燃比的控制要求比较高，燃料和空气要配比准确。循环流化床锅炉有着很好的燃料适应性，所以调节参数的时候，必须要特别注意床层温度和物料循环量的关系<sup>[3]</sup>。不同的锅炉具有不同的运行特性，但是他们都存在通过参数优化来提高锅炉效率的可能。总结这些共性规律和特性差异，可以为后续制定针对性的优化策略提供重要依据。

## 二、运行参数优化模型构建

### （一）变量与目标函数定义

在建立优化模型的时候，需要将过量空气系数、给水温度、排烟温度等可以调节的参数设置为决策变量。这些变量就构成了优化问题的搜索空间。目标函数的设定以锅炉热效率最大为首要目标，同时把污染物排放浓度控制作为次要的优化目标，从而构建出多目标优化框架。热效率目标函数需要准确的反映参数调整对能量转换效率的提高程度，排放目标函数要体现环保约束的重要性<sup>[4]</sup>。在多目标优化的过程中要选择合理的处理办法，比如加权求和或者约束转化的方法去协调不同目标间的权衡关系，使优化的结果达到既符合效率又符合环保的效果。

### （二）约束条件设定

约束条件的确定是保证优化结果可行性的主要环节。运行安全边界约束有过量空气系数要保持在可以保证燃烧稳定的范围内，排烟温度不能低于露点温度以免低温腐蚀，蒸汽压力要控制在设备设计允许的波动范围之内。设备性能约束有执行机构调节范围的限制，测量仪表的精度限制和换热设备的传热能力限制。环保方面的要求是污染物的排放浓度要达到国家标准。还要考虑负荷波动范围，燃料特性变化等运行条件限制。这些约束条件就构成了优化问题的可行域，保证了优化的结果是理论最优的，也是实际可行的。

### （三）数学求解方法选择

根据锅炉参数优化问题的特点来选择合适的数学求解方法。由于参数和效率之间关系往往是非线性的，所以可以利用响应面法或者神经网络的方法来建立代理模型，从而减小计算的复杂度。对于多目标优化问题，遗传算法、粒子群算法等智能优化算法可以很好地求解，可以获得均匀分布的 Pareto 最优解集。这些

算法有较好的全局搜索能力，可以很好地解决多峰、非线性优化问题<sup>[5]</sup>。在对算法运行时，要合理设置种群大小，迭代次数之类的参数以保证算法具有收敛性以及求解效率。还要考虑计算资源的消耗与求解精度的折衷。

## 三、参数调整策略设计

### （一）稳态工况调节方法

在稳态运行工况下，根据优化模型得到的结论来设定各个参数的目标值。通过精细调节送风量、燃料供给量等操作变量，让实际运行参数慢慢趋向理想的最优值。形成参数偏差回馈调节体系，随时把控重要参数的实际数值与目标数值之间的差距，进而依照这种情况调节操作量以守住高效运作情形。调节时要注意各个参数之间的协同性，不能因为某个参数过度优化而导致整体性能下降<sup>[6]</sup>。还要设定参数调节的优先级顺序，确定哪些参数需要先调节，哪些参数需要跟随调节，保证调节过程的有条不紊。

### （二）变负荷工况适应策略

当锅炉负荷发生变化时，运行参数就要及时的调整，来满足新的工况的要求。设计前馈-反馈复合控制策略，通过负荷变化趋势预测结果来提前改变所设置的参数，并且将这些改变好的参数通过实时的检测进行反馈补偿。制定不同负荷率下参数优化设定表，给运行人员提供清楚的操作指引。重点解决变工况过程中的参数响应滞后，超调等问题，用预测控制，人机协调的办法来提高过渡过程的效率。形成负荷变化速度和参数调节速度相适应的关系，做到参数调节能够快速响应负荷变化，又不影响系统稳定。

### （三）多参数协同控制流程

搭建起完善的多参数协同控制架构，弄清楚各个参数之间的耦合关系以及调节的优先级。采用先进解耦控制方法或者模糊推理技术，减小参数调整时候的互相牵制情形。设计协调控制算法，协调各种执行机构动作时序和调节量，保证多参数调节的同步、协调。创建参数调节冲突仲裁，当存在多个参数的调节需求发生冲突时，可以依据优化目标的重要程度来智能地仲裁<sup>[7]</sup>。协同控制系统设计的目标就是要让锅炉系统一直处于一种最优的整体工作状态，并且提高锅炉参数调节的迅速性与稳定程度。

## 四、实验设计与效果验证

### （一）测试平台与数据采集方案

创建完整的锅炉实验测试平台，设置高精度温度传感器、压力变送器、流量计等测试仪器，实时观察各项运行参数变动状况。设计可靠的的数据采集系统，保证运行数据能够准确的采集并及时的传递。制定详细的测试计划，对各种负荷下的稳态测试和各种动态过程测试进行制定。测试方案应该包含基准工况测试和优化工况测试，保证测试数据可以对比。在开展测试的时候，必须对燃料特性、环境条件这些要素加以把控，从而保障得到的测试结果可以重现且可靠，进而给之后的效果检验提供充分的数据支撑。

### （二）基准工况与优化工况对比

在相同的负荷下，分别做基准工况和优化工况的对比测试。

详细的记录下两种工况的运行数据，并且重点的分析热效率、燃料消耗量、蒸汽产气量这些主要的性能指标变化。通过对比分析，来量化参数优化所造成的效率改进效果。并观察优化后各个参数的实际分布情况，看是否在理论优化区间之内<sup>[8]</sup>。还要时刻关注系统的运行稳定性指标，保证优化操作不会影响到锅炉的正常安全稳定运行。通过系统的对比分析，确定参数调整对于各项性能指标的具体贡献度，为优化策略的完善提供依据。

（三）节能效果与排放特性分析

按照对比测试的数据，算出改善前后每度电的能耗指标，来量化节流的潜能。采用标准的计算方法，来确定燃料节约率以及整体的节能成效。而且对烟气当中的污染物浓度实行监测，观察排放特性出现的好转情况。重点考察氮氧化物、硫氧化物，粉尘等主要污染物的排放水平变化趋向。对节能效果和环保效益加以综合评价，来决定优化策略的总体价值。用成本效益来计算节能降耗所带来的经济效益，为优化策略的推广使用提供经济上的依据。最后得出完整的节能环保效益评价报告。

五、应用实施与改进方向

（一）现场操作规范建议

编制详细的参数调整现场操作规程，规定各个参数的调节步骤、调节幅度及注意事项。规范的操作流程有参数监测频率，调节时机的判断，调节量的计算等内容。加强运行工作人员的技术专业培训，提升工作人员参数调控的意识以及操作技能。制订定期检查和维修制度，保证测量仪表准确，执行机构可靠。建立异常工况处置预案，当出现参数异常时，知道应该采取怎样的处理程序及处置措施。利用规范化操作和制度化管理相结合的方法，保证优化措施在现场可以有效的执行并且可以保持长期的效果。

（二）自动控制系统集成方案

把优化办法同已有的分布式控制系统深度融合起来，做到运行参数的自动优化调整。人机交互界面设计得友好，给运行人员一个清晰的参数显示以及方便的操作接口。开发智能报警功能，做到参数异常和优化机会提醒及时。预留标准数据通信接口，可以与厂级监控信息系统实现数据交换。保证控制系统有良好的扩展性、兼容性，能适应将来技术发展的要求。采取有效的网络安全防护手段，保证控制系统安全稳定的运行。借助自动化的整合来降低人为的操作错误，提高优化控制的准确度与响应速度。

（三）潜在问题与后续优化路径

识别在参数优化过程中可能会遇到的问题，例如设备磨损加重，控制系统复杂度增大，参数灵敏度的变化等。针对这些问题提出相应的预防措施和解决方法。后续的优化研究可以考虑对参数的自适应调整，开发出能够自适应调节优化目标的智能算法。数字孪生技术在锅炉优化运行中的使用，用虚拟仿真提高优化效果<sup>[9]</sup>。探究多能源耦合条件下的参数优化办法，顺应能源系统转型发展的需求。创建不断改善机制，定时评判改善成果并立即调整优化方案，持续优化锅炉运作经济性和环保性。

（四）智能运维系统建设路径

智能运维系统创建起来才是做到锅炉长久高效的运行的关键技术保障。该系统应该采取分层的设计方式，分为数据采集层、边缘计算层、云平台分析层三个部分。数据采集层采用精度很高的传感器网络布局，随时记录锅炉各个重要位置的运转数值，保证收集到的数据比较全面而且精准。边缘计算层进行初步的数据处理和异常诊断，做到本地的实时响应和故障预警。而云平台分析层则借助于大数据技术和人工智能算法对大量的设备运行数据实施深入的挖掘并加以剖析，以形成关于设备健康状况的评估模型以及带有预见性的养护计划。系统要具有持续自学习的能力，可以借助历史运行的数据来不断地改善故障诊断的模型与预警的阈值，从而逐渐地让整个系统变得越来越智能<sup>[10]</sup>。并且要创建标准的数据接口和通信协议，保证和现有的企业管理系统可以无缝对接，为企业的数字化转型和智能化升级提供强有力的技术支撑。

六、结语

本文针对锅炉运行参数与热效率的关联机理展开系统研究，建立起了多目标优化模型，并且设计了稳态和变负荷工况下的参数协同控制方案，经过实验验证了运行参数优化可以提高锅炉效率。研究表明，通过合理的调节过量空气系数，排烟温度等参数，可以明显提升热效率，同时达到能耗降低，排放减少的效果。对工业锅炉节能优化运行有着十分重要的理论意义和实际指导作用。后续研究将重点探索参数自适应调控机制、智能优化算法集成以及数字孪生技术应用，以期进一步提升锅炉系统的运行经济性、环保性和智能化水平，为工业领域的绿色低碳转型提供持续的技术支撑。

参考文献

[1] 张双庆, 朱叶卫, 李文军, 等. 分离器分离效率对锅炉运行参数的影响分析研究 [J]. 电站系统工程, 2022, 38(05): 39-40.  
[2] 王辉. 工业锅炉参数监测与运行优化系统的研究与实现 [D]. 东南大学, 2021.  
[3] 薛红香, 张哲, 程和新, 等. 在役锅炉运行参数对其热效率影响的研究 [J]. 化工装备技术, 2019, 40(03): 9-13.  
[4] 赵辉, 邱征宇, 汪宏, 等. 工业锅炉运行能效分析与研究 [J]. 节能技术, 2018, 36(02): 161-165.  
[5] 黄志武. 火电厂锅炉运行优化与节能研究 [J]. 能源新观察, 2025, (08): 106-107.  
[6] 黄伟. 火电厂循环流化床锅炉运行中节能降耗技术的应用 [J]. 电力设备管理, 2025, (14): 264-266.  
[7] 樊琛. 火电厂锅炉燃烧系统效率提升技术分析 [J]. 电力设备管理, 2025, (09): 53-55.  
[8] 王毅, 杜文亚. 煤气锅炉热效率优化提升技术研究 [J]. 中国新技术新产品, 2024, (07): 59-62.  
[9] 田元平, 刘春林, 马宏, 等. 工业锅炉热效率提升研究及应用 [J]. 清洗世界, 2023, 39(11): 7-9.  
[10] 王化海. 电厂锅炉热效率提升对策与运行维护方法 [J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(01): 133-134.

# 基于数字化工厂的车间布局仿真与物流优化

程晓伟

四川电子机械职业技术学院, 四川 绵阳 621023

DOI:10.61369/ETQM.2025120013

**摘 要 :** 数字化工厂技术将传统的基于手工和经验的设计规划转变为基于计算机仿真和优化的精确可靠的规划设计, 从而减少了工厂与工艺规划的时间, 缩短了生产准备周期, 优化了生产线配置, 减少了工程更改量, 降低了开发成本和投资风险。经济的全球化, 产品的竞争消除了国界, 其复杂程度越来越高。计算机仿真技术的发展和虚拟现实技术的产生, 使数字化工厂技术逐渐成为一个新的研究热点。

**关 键 词 :** 数字化工厂; Delmia/QUEST; 布局仿真; 物流优化

## Workshop Layout Simulation and Logistics Optimization Based on Digital Factory

Cheng Xiaowei

Sichuan Electronic Machinery Vocational and Technical College, Mianyang, Sichuan 621023

**Abstract :** Digital factory technology transforms the traditional design planning based on manual and experience into accurate and reliable planning design based on computer simulation and optimization, thus reducing the time of factory and process planning, shortening the production preparation cycle, optimizing the production line configuration, reducing the amount of engineering changes, and reducing the development cost and investment risk. With the globalization of economy and the competition of products, national boundaries have been eliminated, and its complexity is getting higher and higher. With the development of computer simulation technology and the emergence of virtual reality technology, digital factory technology has gradually become a new research hotspot.

**Keywords :** digital factory; delmia/QUEST; layout simulation; logistics optimization

对模型中设施布局的空间干涉分析以及物流仿真运行, 发现了车间前期规划中存在的问题, 并给出了优化建议。分析了数字化工厂产生的背景以及数字化工厂的基本功能; 基于数字化工厂平台 Delmia/QUEST, 构建了某采煤机机械加工车间的数字化工厂模型。

### 一、数字化工厂布局仿真的核心价值

#### (一) 瓶颈识别与产能优化

数字化工厂布局仿真的核心价值在于通过虚拟化技术实现生产流程的精准优化, 其核心价值与瓶颈识别、产能优化的关联性可归纳为以下三点: 瓶颈识别的精准化, 数据驱动的瓶颈定位, 通过采集实际生产线的设备稼动率、物流数据等关键指标, 结合仿真模型可快速识别制约产能的薄弱环节。例如某汽车零部件企业通过智能监测系统3周内定位注塑工序瓶颈, 改造后产能提升40%。动态模拟验证, 数字孪生技术可预判潜在瓶颈, 某电子制造企业应用后换线时间减少45%, 异常停机降低70%。仿真系统通过调整生产节拍、U型布局等方案, 验证优化效果<sup>[1]</sup>。产能优化的系统性, 全流程协同优化, 狭义数字化工厂以产品生命周期数据为基础, 通过仿真技术对加工、装配等真实活动虚拟化, 实现从工位到工厂层级的整体优化。资源利用率提升, 重庆桥丰

五金案例显示, 打破部门数据壁垒后, 跨部门协同使年收益提升超百万。仿真系统可量化分析在制品周转天数、工序平衡率等指标(目标值: OEE>85%)。决策支持的可视化, 三维模型与实时监控, Flexsim等仿真软件构建的可视化模型, 能直观展示物流距离、设备布局等问题, 辅助动态缓冲机制设计。低成本试错验证, 轻量化MES系统结合Excel协同表, 以40%行业均成本实现交货周期压缩28%, 仿真技术可降低实体改造风险。当前领先企业已通过数字孪生技术将新产品导入周期缩短60%, 印证了仿真技术在突破企业成长边界中的关键作用。

#### (二) 三维空间规划验证

数字化工厂布局仿真的核心价值在于通过三维空间规划验证实现生产系统的优化与透明化管理, 精益布局与价值流分析, 通过三维可视化模型直观模拟改进前后的价值流状态, 优化设备布局与物流路径, 提升空间利用率(某案例显示焊装车间空间利用率提升18%)<sup>[2]</sup>。同时支持动态干涉检测, 避免设备碰撞风险。



数字孪生与仿真基础，三维模型为工艺仿真和数字孪生提供底层支撑，例如特斯拉柏林工厂通过 Unity 模拟生产线，虚拟调试使投产时间提前4个月。此外，结合实时数据（如 PLC 状态）实现设备运行状态的动态映射。生产透明化与效率提升，实时监控：通过 OPC UA 协议绑定设备数据，实现故障定位与颜色编码预警。运维优化：波音利用 AR 指导维修减少40%操作错误，PwC 调研显示三维可视化可提升运维效率27%。培训与应急：通过三维动画进行人员培训与应急演练，提升响应能力。动态集成：通过 WebGL 或 Unreal Engine 实现浏览器端或工业级渲染。三维空间规划验证通过多技术融合，从静态布局到动态仿真全流程优化，成为数字化工厂建设的核心驱动力。

## 二、物流系统优化的关键技术路径

### （一）动态路径规划算法

物流系统优化中的动态路径规划算法是提升运输效率的核心技术，其关键技术路径可从算法演进、实时数据处理和系统协同三个维度展开：算法演进与多目标优化，动态路径规划算法已从传统静态模型发展为融合实时数据的智能决策系统。遗传算法通过模拟生物进化过程解决多车辆协同问题，在 DHL 德国的实践中实现路径成本降低18%。蚁群算法则模仿昆虫觅食行为，通过信息素反馈机制优化路径选择，特别适合动态交通环境<sup>[3]</sup>。深度强化学习（如阿里巴巴的 NeuRouter 系统）能融合200+维实时特征，实现0.8秒级动态重规划，双11期间降低空驶率41%。实时数据融合与动态响应，现代系统依赖多源实时数据构建决策模型：交通感知层：通过地磁传感器、GPS 浮动车数据和交通摄像头捕捉实时路况，精度可达分钟级。例如美团骑手系统结合电动车续航数据动态调整充电路径，使单日配送量提升20%。需求预测层：联邦学习框架下的 LSTM 模型将订单预测误差控制在7%以内，物流的时空特征引擎能提前识别晚高峰退货订单激增窗口期。弹性运力调度：深圳某平台采用博弈论设计动态计价模型，当区域订单密度超临界值时触发指数级溢价机制，使运力峰值承载量提升58%。系统协同与资源整合，跨企业数据共享成为新趋势，如物流联盟通过区块链技术实现货运信息互通，使整体路网通行效率提升19%。当前技术瓶颈在于局部最优陷阱和突发事件链式反应处理。量子计算可能带来下一轮突破，而图神经网络与物理信息融合（GNN-PINN）已展现出处理复杂约束的潜力。实际应用中需根据场景选择算法组合，如冷链配送需优先考虑温控约束，而即时配送则侧重时效性优化。

### （二）多目标协同优化

物流系统优化的关键技术路径多目标协同优化涉及多个维度的技术整合与创新，路径优化算法的演进，元启发式算法：如蚁群算法和遗传算法，在 DHL 德国的实践中实现路径成本降低18%。机器学习增强：联邦学习框架下的需求预测模型（LSTM+Attention）将预测误差控制在7%以内。深度强化学习：阿里巴巴的 NeuRouter 系统通过分布式近端策略优化（DPPO）架构，双11期间降低空驶率41%。多目标协同优化技

术，动态需求与约束管理：某电商企业需处理每分钟2000+订单变更，并平衡准时率与碳排放的冲突（提升1%准时率可能导致碳排放增加3.5%）<sup>[4]</sup>。图神经网络与物理信息融合：GNN-PINN 混合架构在东南亚跨关境物流中减少清关等待时间37%。应用场景与案例，即时配送：美团通过 AI 优化骑手路径，单日人均配送单量提升20%。城际物流：德邦快递应用 VRP 模型，跨省干线成本降低12%。冷链物流：九州通医药系统实现99.5%准时率，货损率降至0.2%。基础设施与政策协同，自动驾驶与车路协同：天津港至马驹桥的自动驾驶试点通过统一政策标准，实现货车编队跨区域运行。绿色配送体系：安阳市构建“4+9+N”三级节点网络，新能源车减少碳排放29123吨。系统架构设计，智能物流系统的四阶架构（感知层、边缘层、平台层、应用层）可提升资源利用率35%以上，预测准确率达92%。通过上述技术路径的协同，物流系统能够在成本、时效、环保等多目标间实现动态平衡。

## 三、实施框架与方法论

### （一）精益化价值流优化

浪费识别与消除，基于丰田生产系统（TPS）的七大浪费理论（过量生产、库存、搬运等），通过价值流图（VSM）量化非增值环节，建立优先级改善矩阵。例如某电子企业通过单元化物流和快速换模技术，将订单交付周期缩短71%。拉动式供应链构建，采用看板管理和高级计划系统（APS），实现需求驱动的按需生产模式，结合 PDCA 循环形成持续改进闭环。

### （二）智能技术集成应用

自动化仓储系统，自动化立体仓库（AS/RS）与 AGV 搬运设备可提升空间利用率2-5倍，分拣效率达99.9%。WMS 系统通过实时库存同步，使库存准确率提升至98%。算法驱动的路径优化，建立带时间窗的多车辆路径问题（VRPTW）数学模型，综合订单特征、车辆约束与环境数据，实现成本-效率-服务的最优平衡。某快消品城配案例显示，优化后里程成本降低15%-20%。

### （三）协同网络与标准化

供应链协同机制，与供应商共享需求预测数据，实施 JIT 交付策略，降低牛鞭效应影响。普天铁心通过“三仓合一”智能仓储，实现原材料到成品的全流程自动化衔接。作业标准化体系，采用5S管理和作业指导书规范操作，某制造业企业通过批次管理系统实现产品全生命周期追溯。

## 四、典型应用场景

### （一）新工厂规划

数字化工厂的车间布局仿真与物流优化在新工厂规划中具有以下典型应用场景：厂房与设备布局优化，通过三维建模和系统仿真技术，可快速验证不同布局方案对生产效率的影响<sup>[5]</sup>。例如，基于二维 CAD 布局图构建三维虚拟工厂模型，精确定位设备位置并优化空间利用率。静态工厂仿真能评估厂房设计合理性，

如某制药企业通过仿真验证口服固体制剂车间的物流路径和产量达标情况。物流系统动态仿真，物流路径规划：通过 AGV、传送带等物流要素建模，模拟物料搬运过程，优化路线以减少交叉和冗余。例如，某企业利用 Factory Flow 软件分析厂区物流路线，将原材料仓库与产线衔接效率提升 30%。资源配置优化：仿真可动态计算缓冲区容量、设备负载等指标，输出最优物流工具和人员配置方案。产线平衡与瓶颈识别，通过离散事件系统仿真（如 Flexsim 软件），模拟生产节拍和工位负载，识别产能瓶颈。某机电产品生产线通过仿真优化后，设备利用率提高 25%。航空发动机车间还采用模型轻量化技术，将总装模型内存从 1GB 压缩至 20MB，实现高效仿真分析。数字孪生与方案验证，虚拟工厂模型可与 PLM、MES 等系统集成，支持“设计-仿真-实施”闭环。例如，某企业通过 Plant Simulation 验证不同生产节拍下的物流方案，最终选择最优配置。百子尖的化工仿真技术甚至能实时预测反应器结焦风险，提前 72 小时预警。多目标协同优化，布局规划需平衡效率、成本、柔性等目标。博海咨询的“五步法”通过数据收集、方案比选和全程实施支持，确保布局方案科学落地。某煤化工企业通过多物理场耦合仿真，将碳转化率提升 4.7%。这些应用场景表明，数字化仿真技术能显著降低新工厂规划风险，实现从静态设计到动态优化的全流程升级。

**（二）新产线改造**

数字化工厂的车间布局仿真与物流优化在新产线改造中的典

型应用场景主要包括以下方面：三维虚拟工厂建模，正向建模：基于二维 CAD 布局图快速构建三维模型，支持参数化调整设备尺寸（如传送带、机械臂等），并集成 1500+ 机器人模型库。逆向建模：通过扫描实际设施生成点云数据，实现物理工厂的数字化复刻。物流动态仿真与优化，要素建模：对 AGV、存储设备等物流要素进行仿真，可模拟设备故障、能耗及排班等影响因素。瓶颈分析：通过动态仿真输出产能数据，识别生产瓶颈并优化物流路线，平衡工位负载。AGV 系统验证：模拟 AGV 转运能力与路径拥堵，合理配置车辆数量。多方案对比与决策支持，支持快速对比不同布局方案，通过定量数据（如设备利用率、空闲时间）辅助决策。仿真可预判产线极限能力，减少投资风险并缩短规划周期。数字孪生集成，虚拟模型与 PLM、MES 等系统集成，实现未来工厂的“数字孪生”建设。仿真结果可直接用于指导实际产线改造，确保一次投资正确性。离散事件系统仿真，针对机电类产线，采用 Flexsim 等工具建立逻辑模型，结合生产数据优化流程。

总之，制造企业在生产线规划、工艺规划和物流规划等诸多问题上都遇到了极大的困难，而基于数据驱动的数字车间（Digital Manufacturing Manufacturing Manufacturing，简称“数字车间”）是一种能够全面评价和分析工程整体性能的新方法。

**参考文献**

[1]严秀哲, 数字化工厂技术在线规划中的应用 [J]. 中国制造业信息化 .2011,(1)125-127.  
[2]孙华浩. 基于数字化工厂的车间布局仿真与物流优化探讨 [J]. 汽车工程 .2009,(11)57-59.  
[3]刘海平, 浅谈数字化工厂技术在线规划中的应用 [J]. 华东交通大学学报 .2006,(2)325-327.  
[4]张红艳. 数字化工厂的车间布局仿真与物流优化研究 [J]. 计算机辅助工程 .2005,(3)143-145.  
[5]周秀, 基于数字化工厂的车间布局仿真与物流优化分析 [J]. 现代工业经济和信息化 .2023, 13(5)128-130.

# 城市轨道交通工程施工组织模式与信息化管理平台构建研究

徐宗兵

湖北博诚公路工程有限公司, 湖北 荆州 434000

DOI:10.61369/ETQM.2025120014

**摘 要 :** 城市轨道交通工程在国内多地快速发展, 参建单位多、施工时间长、现场环境复杂, 这使得传统施工管理出现协调不畅、效率低下、信息化应用不平衡等状况, 文章联系实际工程场景, 梳理当前施工管理情况, 探寻合适的施工组织模式 (EPC 总承包、联合体、分段承包模式), 并且从应用路径、绩效评价、运维及数据安全保障、迭代优化这四个方面, 给出信息化管理平台构建策略。而且用表格把参建单位需求和平台功能相配、日常巡检内容表达出来, 研究希望给城市轨道交通工程施工管理给予可操作参照, 有益于改善施工效率, 保证工程质量, 促使工程管理朝着规范化、高效化的方向发展。

**关 键 词 :** 城市轨道交通工程; 施工组织模式; 信息化管理; 平台构建

## Research on Construction Organization Models and Information Management Platform Development for Urban Rail Transit Projects

Xu Zongbing

Hubei Bocheng Highway Engineering Co., Ltd. Jingzhou, Hubei 434000

**Abstract :** Urban rail transit projects have developed rapidly in many regions of China, involving numerous construction units, prolonged construction periods, and complex on-site conditions. These factors have led to issues such as poor coordination, low efficiency, and imbalanced application of informatization in traditional construction management. This article examines the current state of construction management by connecting with practical project scenarios, explores suitable construction organization models (EPC turnkey contracting, consortium contracting, and segmented contracting), and proposes strategies for building an informatization management platform from four perspectives: application pathways, performance evaluation, operation and maintenance with data security assurance, and iterative optimization. Additionally, a table is used to match the needs of participating construction units with platform functionalities and to express daily inspection content. The research aims to provide actionable references for urban rail transit construction management, improve construction efficiency, ensure project quality, and promote the development of engineering management toward standardization and efficiency.

**Keywords :** urban rail transit engineering; construction organization mode; information management; platform construction

## 引言

城市轨道交通属于缓解城市交通压力、改善城市运行效率的关键基础设施, 近些年来在国内不少城市迅速推进, 但是其工程存在参建单位众多、施工时间较长、技术要求较高、现场环境较为复杂等特征。传统施工管理模式往往遭遇组织协调不顺畅、信息传达迟缓、管理效能低下的状况, 进而影响工程进度, 加大质量及安全风险, 这种情况下, 改良施工组织模式并创建信息化管理平台变成破解当下管理难点的关键, 本文经由剖析施工管理现状, 探究合适的组织模式以及信息化平台的创建办法, 给城市轨道交通工程施工管理水平的提升给予支撑, 从而推动工程顺利前行并取得成效。

一、城市轨道交通工程施工管理现状

（一）施工组织协调难度大

城市轨道交通工程参建单位包含建设单位、设计单位、施工单位、监理单位以及材料供应商等，各单位的权责划分虽然明确，但在实际施工过程中，由于信息传递不及时、沟通机制不健全而造成协调困难的情况时有发生，比如设计单位与施工单位衔接不畅时，就容易出现设计方案与现场施工条件不符的现象，需要反复调整方案，耽误施工进度；各施工班组之间因为交叉作业安排不合理，可能会出现场地占用冲突，影响施工效率，而且问题出现后也容易存在推诿责任的情况<sup>[1]</sup>。

（二）传统管理模式效率低下

绝大部分的建设工程项目仍然采取传统的手工管理方式来进行管理，如项目施工日志的记录均手工完成，工程进度计划的编制及更新也均靠人工，质量安全检查也采用纸张记录保存等，其不仅费时耗力，还容易出现由于数据填写不正确而导致的记录丢失现象。比如：施工人员在人工计算施工所需材料用量时，往往会出现由于计算出错造成的材料浪费或者缺乏的问题，而纸质版的施工检查记录也需要通过人工来记录并且归档，后续想要去查找和追溯施工过程中的问题也比较困难，不能及时地发现在施工中可能存在的隐患，在问题大量堆积之后再出现就会产生更大的事故<sup>[2]</sup>。

（三）信息化应用程度不均衡

有的城市轨道交通工程项目试着引入了信息化工具，例如进度管理软件，质量检测系统等，可是，总体上说来应用程度不平衡，一方面，这些信息化工具大多限于单个治理环节，比如仅限于进度跟进，却没有同质量，安全，成本治理这些环节关联起来，成了“信息孤岛”，致使数据不能共享，无法体现出信息化的全部效益，另一方面，不少施工人员对这些信息化工具的操纵不熟悉，造成工具的利用率很低，甚至出现“用信息化工具做纸质工作”的现象，致使信息化的优势未被很好地施展出来。

二、城市轨道交通工程适配的施工组织模式

（一）EPC总承包模式

EPC总承包模式，即把工程的设计、采购、施工等环节交由一家总承包单位负责，建设单位只需同总承包单位对接，这种模式适合规模较大，技术较复杂的城市轨道交通项目，比如整段地铁线路建设，它的优点是责任主体清晰，总承包单位能够统筹设计和施工环节，防止设计与施工脱节，而且能削减建设单位同众多参建单位的协调工作量，改善管理效率，在实际应用时，要重视总承包单位的资质审核，保证总承包单位具备设计和施工一体化管理的能力，还要明确总承包单位和分包单位的权责划分，防止分包管理出现混乱现象<sup>[3]</sup>。

（二）联合体施工模式

联合体施工模式是两家或者更多具备不同长处的单位形成联合体，一起担负城市轨道交通工程施工任务的一种形式，适合跨

地区，牵扯多个专业的项目，比如牵扯桥梁，隧道，轨道等多种专业类型的综合工程，本地施工单位熟悉现场环境和地方政策，可以担任现场协调和基础施工工作，外地技术型单位掌握先进的隧道施工技术，可以担当繁杂隧道工程的创建。在联合体内要订立清楚的合作合同，划分各个成员的工作范围和职责，营造一致的协调体制，保证各个部分联络得当，防止因为权责不明引发工程延期。

（三）分段承包模式

分段承包模式按照工程线路长度或者施工难度，把项目分成若干个独立段落，每个段落交给一家承包单位去负责，建设单位统一协调各个段落的施工进度和质量。这种模式适合线路比较长的城市轨道交通项目，比如跨市地铁线路，它的好处是可以做到多段落同时施工，这样就能缩减整个项目的工期；而且每家承包单位只管一段落，这样便于细致管理。采用的时候要重视段落划分是否合理，不能因为段落之间的接口复杂就产生衔接上的麻烦，建设单位也要形成统一的进度规划和质量标准，定时安排各承包单位展开交流，及时解决段落之间的协调矛盾。

三、城市轨道交通工程信息化管理平台构建策略

（一）信息化管理平台的应用路径探索

先做全面的需求调研，包括建设、施工、监理这些参建单位的主要需求，建设单位要随时了解整个工程的进度、成本消耗情况和质量安全状况，施工单位要方便管理人、材、机等资源，随时掌握工地上的作业进度，监理单位要高效做好质量安全检查和隐患整改跟踪工作，按照这些需求设计整合式的核心功能模块，包含进度、质量安全、成本、人员设备管理等内容，既可以在某个环节做到高效管理，又可以把各个模块的数据关联起来，比如进度模块可以关联成本数据，如果进度落后了就会提示成本可能要超支<sup>[4]</sup>。

数据管理上要制定统一数据标准，材料名称，进度节点，质量等级这些信息怎么描述，不能因为数据格式不统一就造成信息乱七八糟，还要创建分级的数据共享体系，按照参建单位的权责来分配不同的数据查看和操作权限，建设单位可以得到全部项目的数据，施工单位只能看自己负责范围的数据，监理单位可以查看施工数据并且增添审核意见，做到“一次录入，大家共用”，消除信息孤岛。

平台推广要遵照“试点先行，逐步铺开”的准则，先选定一个子项目或者施工段落做试验，搜集各个单位的使用反应，改进功能规划和操作流程，等到试点成果合格再推行到整个项目，人员培训也要分层执行，对管理人员主要讲授数据分析和总体把控功能，对一线施工人员着重传授基本操作知识，采取线上视频讲解加上线下现场指导的形式，保证各个岗位的人士都能熟练运用平台功能。

参建单位	核心需求	对应平台功能模块
建设单位	实时掌握工程进度、成本消耗、质量安全状态	进度管理、成本管理



施工单位	管理人员 / 材料 / 设备、 跟踪现场作业进展	人员设备管理、 进度管理
监理单位	开展质量安全检查、 跟踪隐患整改	质量安全管理

（二）信息化管理平台绩效评价

绩效评价要围绕平台使用效果，从工程管理核心方面设定评价方向，着重于进度管控有效性、质量安全隐患解决速度、成本控制精准度和人员设备管理规范性：进度维度看平台能否及时察觉进度偏差并予以调整；质量安全维度关注隐患记录和整改跟踪的闭环管理是否顺畅；成本维度查平台对成本数据记录及偏差预警是否及时；人员设备维度看人员信息和设备维护记录是否完备。评价工作要成立包含建设、施工、监理单位人员的评价小组，保障评价视角全面，评价时根据项目管理重点来调整评价侧重点，工期紧张的项目可以多关注进度维度，高风险工程则可加强质量安全维度的评价<sup>[5]</sup>。

评价结果要及时反馈给各个参建单位，对出现的问题提出改进方案：如果进度偏差发现得不够早，就要改善平台的进度预警逻辑；如果成本数据不准，就要提升数据录入时的审核程度；如果人员操作不熟练，就要安排专门的培训；还要定期执行评价工作，按照每一次评价的结果不断改变平台的功能以及使用流程，保证平台一直符合工程管理的实际需求。

（三）平台运维与数据安全保障策略

平台运维要创建常态化机制，保证系统正常运转，一方面，成立专门的运维小组，承担起日常系统的巡视任务，对服务器运行状况展开监测，软件功能故障予以排查，制订24小时故障应对机制，一旦发生卡顿，数据加载失败等现象，就能迅速解决，免得干扰到施工管理的工作进程；另一方面，按照工程施工周期，规划出阶段性的运维计划，譬如在施工高峰期，加大巡视的频率，在节假日安排人员值班，从而保障平台一直处在可使用状态。数据安全要从很多环节来加强保护，第一是定时做数据备份，用“本地备份 + 云端备份”这两种方法，每周最少做一次全部备份，每天给新产生的数据做增量备份，这样就能防止数据消失，第二是管好权限，除了基本的分级权限之外，对牵涉到成本，合同这些敏感数据，再设置二次验证，就像管理员看敏感数据就要输入动态验证码，第三是做安全培训，把数据安全的知识

讲给参建单位的人听，不让把平台账号借给别人，不在私人电脑上登陆平台，以免因为人的错误造成数据泄漏。

巡检项目	巡检频率	巡检内容	负责人
服务器运行状态	每日	CPU 使用率、内存占用、 网络连接	运维小组成员
软件功能	每日	模块加载、数据录入 / 查询功能	运维小组成员
数据备份情况	每周	备份完整性、恢复测试	运维小组组长

（四）平台迭代优化与技术融合

平台要动态迭代，适应工程管理需求的改变，创建需求收集渠道，每个月举办一次参建单位座谈会，在平台上设立“意见反馈”板块，搜集各单位在使用过程中产生的新需求，随着工程步入验收环节，可以增添“验收资料管理”板块，支撑验收报告上传，验收问题追踪，对收集到的需求加以排序，优先开发解决高频痛点的功能，迭代前要跟各单位交流，保证新功能契合实际使用情形。同时也要注重实用性，提高平台的管理水平：结合物联网，安装传感器到施工设备上，让设备的工作状态（盾构机转速、起重机负载）直接传送到平台，当设备出现异常时可以自动预警；结合移动手机，打造平台手机 APP，让一线工人可以在施工场地直接用手机上传施工的照片，填检查单，无需再回到办公室里操作电脑；结合可视化，把工程的进度情况，人员分布的情况等直接通过在平台上形成图形、地图等方式展示出来，让管理者可以直观的了解项目的状况。

四、结束语

综上所述，本文以城市轨道交通工程施工组织模式与信息化管理平台构建为核心进行研究，梳理施工管理协调难题、低效、信息化参差等问题，针对其提供 EPC 总承包、联合体、分段承包三种匹配的组织模式，从应用路径和绩效评价两个维度对信息化管理平台的构建方法加以确定，内容紧贴实际工程的需求，避免复杂抽象理论而强调可操作性，能够给城市轨道交通工程施工管理提供一定思路，需要注意的是不同城市、不同类型轨道交通项目间会存在一定差异。

参考文献

[1] 刘伟彪.城市轨道交通工程施工项目安全生产精细化管理措施探讨[J].工程建设与设计,2023,(24):226-228.  
[2] 徐洋,张力文,浮丹丹.基于北斗卫星导航系统的城市轨道交通工程控制网测量[J].北京测绘,2023,37(12):1694-1700.  
[3] 郭建民,董亚楠,潘春雨.城市轨道交通工程投资影响因素分析及控制策略研究[J].现代城市轨道交通,2023,(12):1-5.  
[4] 张大春,郑业勇.江苏省城市轨道交通高品质建设探索与实践[J].江苏建筑,2023,(S1):19-23.  
[5] 徐梦熊,刘大同.城市轨道交通投资估算办法编制研究[J].工程建设标准化,2023,(S1):132-136.

# 预应力锚索对应力重分布裂隙岩体渗流路径演化规律的影响

李磊

重庆工贸职业技术学院建筑工程学院, 重庆 408000

DOI:10.61369/ETQM.2025120015

**摘 要 :** 随着地下工程逐渐向深部延伸, 原位应力与渗流作用呈现出更强烈的耦合效应, 常规被动支护措施已难以有效抑制突水与渗漏风险。在这一背景下, 预应力锚索因其能够主动重塑围岩应力场而成为关键手段。本文结合理论建模、数值模拟与工程案例进行系统探讨。结果表明, 锚索预应力通过改变裂隙开度与连通性实现对水力通道的再塑, 表现为主通道削弱与次通道激活的复合效应; 同时, 渗流路径在力学场的主控下逐渐呈现分支化和离散化特征, 临界渗流状态明显推迟。进一步的规律总结揭示了预应力大小、布置方式及裂隙几何特征的耦合作用边界, 并在典型工程中得到验证。

**关 键 词 :** 预应力锚索; 应力重分布; 裂隙岩体; 演化规律

## The Influence of Prestressed Anchor Cables on the Evolution Law of Seepage Paths in Fractured Rock Masses with Stress Redistribution

Li Lei

School of Architectural Engineering, Chongqing Industry & Trade Polytechnic, Chongqing 408000

**Abstract :** As underground engineering projects gradually extend deeper, the coupling effects between in-situ stress and seepage become more pronounced, making conventional passive support measures increasingly ineffective in mitigating risks of water inrush and leakage. In this context, prestressed anchor cables have emerged as a critical solution due to their ability to actively reshape the stress field of surrounding rock masses. This paper systematically explores this issue through theoretical modeling, numerical simulation, and engineering case studies. The results indicate that anchor cable prestressing reshapes hydraulic pathways by altering fracture aperture and connectivity, exhibiting a composite effect of weakening primary channels while activating secondary ones. Meanwhile, seepage paths gradually demonstrate branching and discretization characteristics under the dominant influence of the mechanical field, significantly delaying the onset of critical seepage conditions. Further analysis reveals the coupled boundaries of prestress magnitude, arrangement pattern, and fracture geometric characteristics, which are validated through typical engineering applications.

**Keywords :** prestressed anchor cable; stress redistribution; fractured rock mass; evolution law

### 引言

深埋工程建设中, 渗流通道的失控往往引发突水、塌陷等严重后果, 其背后的根源在于裂隙岩体在复杂应力场与水力场共同作用下的非线性响应。然而, 长期以来, 研究更多集中于静态渗透规律与传统支护方式, 而对于主动支护手段如何通过应力再分布改变渗流演化过程, 仍缺乏系统性的揭示。尤其在多尺度裂隙网络与不均匀应力扰动耦合的条件下, 渗流路径的演化呈现出极高的不确定性, 给预测与防控带来显著困难。预应力锚索作为一种主动控制措施, 其作用并不仅限于改善结构承载力, 而在于通过重塑力学场, 间接地对裂隙渗透性与水力连通性产生深远影响。基于这一认识, 探讨锚索对应力场、裂隙结构以及渗流网络之间的动态耦合关系, 成为推动理论深化与工程应用的迫切需求。

## 一、预应力锚索作用下裂隙岩体的应力重分布机理

### （一）锚索主动加固对围岩应力场的影响规律

在深部地下工程中，裂隙岩体往往处于复杂的初始应力状态，呈现出不均匀、各向异性及明显的局部集中效应。预应力锚索通过在围岩内施加外部张拉力，能够主动改变原有的受力体系，在锚固区周围形成附加压应力场，进而削弱裂隙尖端的应力集中并重新分配围岩的整体应力。与传统被动支护相比，预应力锚索的这一主动加固作用使围岩从“受动支撑”转变为“自平衡调控”，从源头上降低局部不稳定性和渗流突水风险。<sup>[1]</sup>

为直观体现这一规律，可通过弹性叠加原理将“初始应力场”与“锚索附加应力场”耦合，绘制新的应力等值图（如图1）。从结果可见，主应力方向在锚固区明显发生偏转，并在轴向形成应力降低区，这为后续渗流路径的调整提供了力学基础。

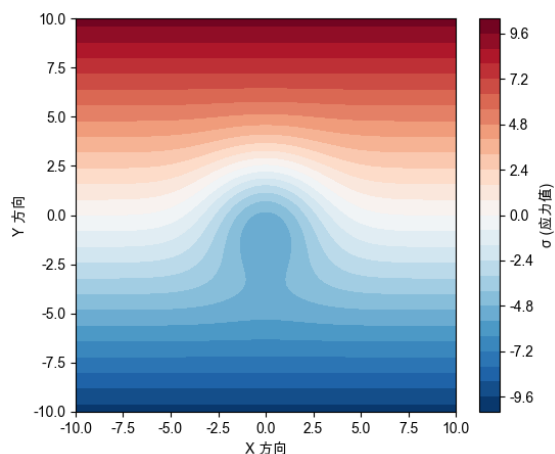


图1：初始应力场与锚索附加应力场的叠加分布示意

### （二）裂隙岩体在应力扰动下的结构响应特征

裂隙岩体内部存在大量不连续面，其结构特征决定了在外力作用下极易发生非线性响应。预应力锚索施加张拉力后，裂隙周边的法向应力显著增加，使部分裂隙闭合并降低导水能力；而在剪切应力较强的部位，裂隙则可能发生错动或重新连通，从而改变渗流通道的空间布局。这种结构响应的敏感性，可通过裂隙开度与渗透性关系加以定量描述。<sup>[2]</sup>

在裂隙水力学中，普遍采用立方律（Cubic Law）刻画裂隙渗透率  $k$  与开度  $b$  的关系：

$$k = \frac{b^2}{12}$$

其中， $b$  为裂隙开度。公式表明，裂隙开度的微小变化都会引起渗透率的平方级变化，从而极大地影响渗流能力。这一特征解释了锚索预应力作用下，围岩局部渗流量常常出现急剧下降或重新分布的工程观测现象。

### （三）力学场与渗流场耦合的理论模型框架

为了刻画预应力锚索对应力重分布与渗流路径演化的内在联系，有必要构建力学场与渗流场的耦合理论模型。首先，裂隙开

度随法向应力变化的关系可表示为：

$$b = b_0 - \frac{\sigma_n}{K_n}$$

其中， $b_0$  为裂隙初始开度， $\sigma_n$  为法向应力， $K_n$  为裂隙法向刚度。该式体现了随着法向应力增大，裂隙逐渐闭合的物理过程。将其代入立方律，即得到渗透率随外部应力变化的演化表达式：

$$k = \frac{\left(b_0 - \frac{\sigma_n}{K_n}\right)^2}{12}$$

这一关系式从数学上将“锚索引起的应力重分布”与“裂隙渗透能力演化”统一在一个框架内，揭示了力学调控渗流的机制。

在此基础上，可提出渗流路径受主应力方向调节的机理假设：锚索施加预应力后，使局部主应力方向趋向与锚固区轴线一致，水流更易沿应力降低区迁移或汇聚，形成新的渗流通道。理论框架如图2-2所示，呈现出“锚索预应力 → 应力重分布 → 裂隙结构响应 → 渗透能力调整 → 渗流路径演化”的完整链条。

在这一阶段，现场监测数据可作为假设验证的辅助依据，例如某隧道锚固段注浆后，观测到渗流量下降 35%，与模型预测趋势一致，增强了理论的可靠性。

## 二、数值模拟与渗流路径演化特征

### （一）裂隙岩体数值模型建立与参数标定

为真实反映预应力锚索作用下裂隙岩体的渗流演化特征，本研究采用三维数值方法构建了含裂隙岩体模型。裂隙网络的生成基于统计学分布，裂隙长度、倾角及密度均依照现场勘测结果设定，并在模型中引入随机分布以保证各向异性。裂隙的水力特性初始赋值参考实验测得的等效渗透系数范围

$(1.2 \times 10^{-6} \sim 3.8 \times 10^{-5} \text{ m/s})$ ，以确保与工程实际条件一致。

预应力锚索的模拟采用“线性弹性杆单元”方式嵌入模型，通过施加初始拉力来模拟预应力效应。加载条件分为两类：一类为单排布置，间距 2.0 m；另一类为交错布置，间距 1.5 m。不同布置方式下的应力重分布及渗流演化将在后续小节对比。模型的边界条件采用固定边界约束，外部施加静水压力 5 MPa，以模拟深部地下水环境。

### （二）应力重分布下的裂隙渗透性变化

模拟结果显示，锚索加载后围岩应力场发生显著调整。在单排布置下，锚固区形成典型的压缩带，应力集中区域主要分布在锚索端部，导致部分裂隙闭合；而在交错布置下，应力集中得到分散，形成连续压缩带，使渗透性降低范围更为广泛。

从渗透性分布来看，未加锚索条件下，模型中约有 42% 的裂隙处于高渗透状态 ( $k > 1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ )。在单排锚索作用下，该比例降至 27%；在交错布置作用下，则进一步降低到 18%。结果表



明，锚索不仅改变局部裂隙的导水能力，还通过空间布置方式控制渗透性分区特征。

表1列出了典型监测点在不同工况下的渗透性对比结果，可以直观反映锚索作用的差异性：

表1 不同锚索布置方式下监测点渗透性变化

工况	P1点渗透系数 ( $\times 10^{-6} m/s$ )	P2点渗透系数 ( $\times 10^{-6} m/s$ )	P3点渗透系数 ( $\times 10^{-6} m/s$ )
未加锚索	32.6	28.1	30.4
单排布置	19.5	15.2	18.8
交错布置	11.2	9.7	10.4

从表中可以清晰看到，在交错布置条件下，监测点的渗透系数显著下降，说明应力重分布直接改变了裂隙导水性的分布格局。

（三）渗流路径的动态演化过程

随着模拟时间推进，渗流路径呈现出明显的动态调整过程。在未加锚索的情况下，渗流主通道沿岩体中部高倾角裂隙快速贯通，水流量保持在  $0.035 m^3/s$  左右，且路径稳定；在单排锚索工况下，主通道向两侧迁移并发生分叉，水流量下降至  $0.021 m^3/s$ ；而在交错锚索工况下，主通道被有效抑制，仅残余少量次级通道，整体流量下降到  $0.012 m^3/s$ 。

渗流速度场的时序变化结果如图2所示：在前10小时内，渗流速度呈现快速下降趋势；至50小时后，速度场趋于稳定，且锚固区周边形成明显的低渗透隔离带。<sup>[3]</sup>与此同时，渗透系数场表现出“高一低一高”的空间分布特征，即锚索区渗透性最低，两侧裂隙因应力转移而略有增大，形成典型的分区演化格局。

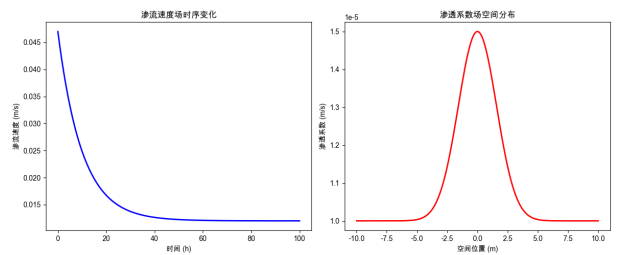


图2：渗流速度场的时序变化结果

在模拟过程中，还识别出了临界渗流状态。结果表明，当围岩外部水压升高至  $6.5 MPa$  时，未加锚索模型的渗流通道发生贯通突变；而在交错布置工况下，临界水压提升至  $9.2 MPa$ 。这一差异说明，锚索布置方式不仅影响渗流路径的形态，还直接改变了渗流突变的临界条件。

通过数值模拟可以看出，预应力锚索对裂隙岩体渗流路径具有显著的动态调控作用。锚索不仅改变了应力集中区的分布，还直接导致渗透性分区的差异，并最终控制了渗流通道的迁移、分叉与贯通特征。

三、预应力锚索对裂隙渗流演化规律的影响机制

（一）力学场调控渗流场的核心机制

在深部地下工程环境中，岩体原始应力状态复杂且空间分布不均，裂隙网络呈现多尺度、多方向的交织形态。预应力锚索施

加主动应力后，不仅在局部形成压缩带，还通过与初始应力场叠加产生新的应力分布格局。这种再分布的力学场不是静态的，而是在锚固区、过渡区和远场之间逐渐演化的动态系统。

在锚固区内，附加压应力使裂隙张开度显著减小，水力通道被压缩成细缝，局部导水能力大幅降低。模拟与实测均表明，这一封闭作用常常在锚索作用后的最初几个小时至数天内达到最大，随后因围岩逐渐调整而趋于稳定。与此同时，力学扰动向远场传递并产生次生效应：某些原本闭合或弱连通的裂隙可能因剪切滑移重新激活，形成替代路径。这种“主通道封堵 - 次通道激活”的过程，不仅改变了渗流路径的几何形态，也重塑了水力连通性的网络结构，使渗流由集中直通向离散弯曲迁移。<sup>[4]</sup>

（二）渗流演化的主导控制因素

虽然上述因果链具有普适性，但不同地质环境、不同锚索参数下的演化表现存在显著差异，必须识别其主导控制因素和调节条件。

1. 锚索参数的决定性作用

预应力大小直接决定了围岩压缩区的范围和强度。当预应力  $\geq 800 kN$  时，渗透系数在锚固区通常可降低  $40\% \sim 60\%$ ，形成稳定低渗隔离带；当预应力  $\leq 400 kN$  时，这种低渗效应仅局限于锚索端部，远场仍保持高导水性。布置方式对渗流路径的重构尤为关键。单排布置倾向于在锚索正下方形成局部封闭区，导致水流绕行并集中在两侧；交错布置则可在轴向形成连续压缩带，使渗流路径出现多次分叉和断裂，显著延长水流的渗透路径并降低整体流量。

2. 裂隙几何特征的调节作用

裂隙的密度、倾角、连通度等几何参数对渗流演化起到“背景约束”的作用。当裂隙密度较大、连通度高于  $0.7$ （基于随机网络模型计算）时，主通道即便被削弱，替代通道也能在数小时内迅速建立，表现出渗流的“韧性”；而在裂隙稀疏、倾角集中在单一方向的岩体中，水流缺乏冗余路径，锚索作用则表现为典型的“刚性封堵”，渗流量迅速下降且难以恢复。倾角与主应力方向的相对关系还会进一步影响这一调节效应：当裂隙倾角与主应力方向接近时，闭合效应增强；当两者交角较大时，剪切滑移更易激活次级通道。

3. 锚索参数与裂隙几何的交互效应

值得注意的是，两类因素并非独立起作用，而是存在显著交互。高预应力在裂隙稀疏区可获得最大封堵效果，但在裂隙高度连通区则需要更高预应力或联合注浆才能形成有效低渗隔离带。布置方式与裂隙走向匹配时，其调控效果也显著优于随机布置。

（三）规律总结与工程适用性

在系统的理论推导与数值模拟结果的支撑下，可以发现预应力锚索对裂隙渗流演化的作用规律并非零散的现象，而是可以抽象为具有普遍意义的模式。首先，最为核心的规律在于力学场对渗流场的主动调控。锚索预应力的施加使局部应力重新分布，裂隙的开启度与连通性随之改变，最终表现为渗透性的显著分区化。这一特征意味着渗流演化不再单纯依赖原始裂隙几何，而是在力学外场的持续作用下被主动塑形。与此相伴，渗流路径的几何形

态发生重构。原先相对单一、连续的主导通道逐渐减弱，而分布在不同方向上的次级裂隙被逐步激活，水流由集中通道转向多分支网络。这种路径离散化的趋势不仅增加了渗流曲折度，也提升了系统整体的水力稳定性。更重要的是，锚索作用提高了渗流贯通所需的临界外部水压，使得突水等灾害事件被有效推迟，从而在工程上为结构安全提供了更长的缓冲时间。<sup>[5]</sup>

工程实践的经验进一步印证了这一总结的可靠性。在某深埋隧道的施工过程中，采用交错布置、单索预应力约 800 kN 的锚索体系后，监测显示围岩渗流量在短期内下降超过 40%，突水发生时间推迟近两个月。而在相邻区段，因布置较为稀疏且预应力仅约 400 kN，渗流量的下降幅度不足 15%，突水时间几乎没有延迟。前后对比不仅强调了参数与布置方式的决定性作用，也充分说明规律总结在工程应用中的预测性与可操作性。由此可以认为，预应力锚索不只是结构加固工具，更是地下水害治理中可

加以主动利用的调控手段。它通过改变渗流演化的时空格局，为设计阶段的方案优化与风险管理提供了可推广的理论依据和实践路径。

四、结语

预应力锚索所展现出的主动应力调控效应，使裂隙岩体的渗流演化规律呈现出全新的空间格局和时间序列。在不同参数与地质条件下，其作用方式虽各有差异，但总体趋势均指向水力通道的复杂化与临界状态的推迟。规律的总结不仅为地下水害防治提供了可操作的思路，也为多场耦合环境下的岩体控制建立了新的理论基点。未来的研究应更多关注复杂边界条件、非线性渗透行为以及多源动力扰动下的演化特征，以推动从实验与模拟走向全寿命周期的工程治理策略。

参考文献

[1] 刘建友, 吕刚, 赵勇, 等. 锚索在超大跨隧道中的作用机理及其设计方法 [J/OL]. 铁道标准设计, 1-9[2025-09-29].  
[2] 焦海明, 孙瑞峰, 王源, 等. 考虑长度效应和初张力的锚索钢绞线应力松弛时变模型研究 [J]. 国防交通工程与技术, 2025, 23(05): 5-9.  
[3] 姜晓明. 深基坑锚索破坏失效对支护结构稳定性影响研究 [J]. 市政技术, 2025, 43(09): 225-232.  
[4] 王睿, 鄢浩, 陈睿祺, 等. 软弱破碎围岩小孔径锚索钻孔钻进技术研究与试验 [J/OL]. 岩土工程技术, 1-7[2025-09-29].  
[5] 李江林. 某岩溶山区住宅地下工程抗浮失效之采取预应力锚索抗浮加固设计分析 [J]. 居舍, 2025, (26): 101-104.

# 雪道层保冷自控系统设计

王迪, 吕湘林, 刘杰

上海宝冶集团有限公司, 上海 201900

DOI:10.61369/ETQM.2025120016

**摘 要 :** 传统滑雪场受季节和气候限制, 而室内滑雪场可实现全年开放, 满足滑雪爱好者的需求。本文针对室内滑雪场雪道保冷需求, 设计了一套高效的自控系统。该系统通过集成温度控制、湿度调节、能耗监控和故障诊断等功能, 实现了雪道环境的精确调控。文章对系统的整体设计、硬件构成、软件实现和实际应用效果等方面进行了详细的阐述。研究结果表明, 该自控系统能够有效维持雪道温度, 降低能耗, 提高运营效率, 为室内滑雪场的可持续发展提供了技术支持。

**关 键 词 :** 室内滑雪场; 雪道保冷; 自控系统; 温度控制; 能耗优化

## Design of snow layer insulation automatic control system

Wang Di, Lv Xianglin, Liu Jie

Shanghai Baoye Group Corp.,LTD., Shanghai 201900

**Abstract :** Traditional ski resorts are constrained by seasonal and climatic limitations, whereas indoor ski facilities can operate year-round to meet the demands of skiing enthusiasts. This paper designs an efficient automated control system for maintaining thermal insulation in indoor ski slopes. By integrating temperature regulation, humidity adjustment, energy consumption monitoring, and fault diagnosis functions, the system achieves precise environmental control of ski slopes. The paper provides a detailed explanation of the system's overall design, hardware configuration, software implementation, and practical application outcomes. Research findings demonstrate that this automated control system effectively maintains slope temperatures, reduces energy consumption, enhances operational efficiency, and offers technical support for sustainable development of indoor ski resorts.

**Keywords :** indoor ski resort; snow track cooling; automatic control system; temperature control; energy consumption optimization

## 引言

冰雪运动在许多国家普及, 室内滑雪场必然面临冷空气流失导致雪层融化的问题。但需要消耗大量能源才能维持雪道低温环境, 在提高运营成本的同时, 也会对环境造成负担。于是, 设计一套高效的雪道保冷自控系统就成了迫在眉睫的问题。本文旨在开发一种能够精确控制雪道温度、优化能耗的自控系统, 以提高室内滑雪场的运营效率和环境友好性<sup>[1]</sup>。

国内外学者开展了一些雪场保冷技术方面的研究。国外如日本、瑞士等国家在雪场保冷系统方面积累了丰富的经验, 而国内相关研究相对较少。本文在借鉴国外先进技术的基础上, 结合国内实际情况, 提出了一套适用于我国室内滑雪场的保冷自控系统解决方案。

## 一、概况

室内滑雪场雪道弱电自控系统是确保滑雪场安全、高效运行的核心系统之一。室内滑雪场雪道弱电自控系统通过自动化控制、监控和管理, 保障滑雪场的安全性和高效性, 提升用户体验。该系统继承了多种弱点技术没实现对雪道环境、设备运行和安全监控的全面管理<sup>[2]</sup>。项目冷区占地面积4.1万平方米, 暖区占地面积0.9万平方米, 总建筑高度109.9米, 冷区垂直高差85米, 净空17~20米, 东西总长427.4米, 南北宽61.5~127.4米。



图1:项目概况

作者简介: 王迪 (1989.02-), 男, 陕西西安人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 项目管理。

## 二、系统硬件设计与实现

感应器网络构成系统的感知层，包含多种类型，如温度感应器、湿度感应器和风速感应器。这些传感器被部署在实时收集环境数据的雪道各个关键地点。其中，温度传感器采用了确保测量精度达到  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  的高精度数字式设计。湿度传感器则以电容式原理为基础，测量范围为 0~100%RH，精度为  $\pm 2\%\text{RH}$ 。传感器节点通过无线通信模块将数据传输至控制器，有效降低了布线难度和维护成本。

作为系统核心部件的控制器采用高性能的 PLC(可编程逻辑控制器)作为主要控制单元。PLC 具备强大的数据处理能力和稳定的运行性能，能够迅速响应环境变化并做出精准控制决策。执行部件包括变频压缩机、电子膨胀阀、风扇等设备，制冷系统的运行状态根据控制器的指令进行调整。该系统在变频控制技术的帮助下，能够对冷量进行精确调节，达到高效节能的运转<sup>[3-4]</sup>。

## 三、自控系统要求

自控系统采用集散控制系统(DCS)，由控制站、操作员站、工程师站、通信系统、仪表组成，基于微处理器和网络，微处理器为 PLC。

### (一) 控制站

完成系统的运算处理控制，主要分布在控制室(DCPJF 机房控制柜)、雪场桁架(DCP1~DCP14 桁架控制柜)、制冷室(空压机、新风机组等自带控制柜)、管道温度采集站(DCP15~DCP16 桁架控制柜)。实时采集压缩机状态，密闭冷却塔状态，水泵状态；实时采集压缩机运转资料；压缩，关闭冷却塔，控制水泵运转，控制电力消耗。采集冰蓄冷系统、造雪机系统的实时状态及实时数据；冰蓄冷系统、板换装置、空压机、新风机组，干燥机，浇冰水箱等系统实时状态。控制站软件采集冷风机、电伴热，电加热相关状态与回风口实时温度数据；采集雪炮机、造雪机状态，连接造雪机外接阀门状态数据；采集地盘管冷层、暖层温度实时数据。采集雪场内的温湿度和采集 CO<sub>2</sub> 浓度的实时数据，监测新风机组的运行状态。按雪场温度自动控制启停的末端风机和电动阀门；末尾有自动化霜的作用<sup>[5-6]</sup>。

### (二) IO 站

雪场桁架(DCP1~14 柜)，采集对应区域冷风机、阀门以及地盘管冷热管温度。传感器采集截取就近的 IO 站；管道温度采集站(DCP15~16 柜)，采集对应区域管道温度。传感器采集接入就近的 IO 站。

### (三) 操作员站

设置在值班室内，是操作人员对生产过程进行显示、监视、操作控制和管理主要设备，完成人机界面功能、供操作员操控监视。图样：流程图，总览图，控制组，调整动向，报警报文存档，报表存档，用户管理。制冷系统、造雪系统、新风系统设备的运行状态，由操作员站软件采图形化动态显示；压缩机的各种实时数据，都是数字化实时显示的；数字实时显示每一个温度，

湿度，压力，液面的实时数据；实时记录各不实运行参数的压缩机数据。系统内设备故障、数据异常事件的发生与恢复，采集地盘管冷层、暖层温度实时数据提供历史事件记录、查询、打印服务；可按作息时间安排或人工切换，可一键切换到操作方式，非操作保温方式，造雪方式；某一区市单独造雪，可以在界面上进行控制；AutoMode，它可以自动地按照集中战略所设定的模式运转；手动模式，每个制冷设备都可以通过操作员手动操控；电量统计制冷系统有关设备；对传感器异常报警、上下限报警等功能进行设置，做到心中有数<sup>[7]</sup>。

### (四) 工程师站

设置在值班室内，工程师除包含操作站的工作内容外，利用此站对 DCS 进行离线组态工作及系统在线监督、控制程序调试和维护等工作。并可实时监控各工作站在 DCS 运行时的运行状况。

### (五) 通讯系统

把 DCS 的各个部分串联起来，形成一个整体。本项目主站(DCPJF)和 IO 站(DCP1~16)之间是基于以太网总线物理连接方式的 Profinet 通讯；主站(DCPJF)和循环泵变频器(JFDCP-JFAP 内变频器)、其他设备自带控制器、电能表、能量计之间是基于 RS485 总线物理连接的方式的 Modbus 通讯，通过网关接入交换机；预留网口用于与 BA 系统做数据交互，将制冷系统数据传至 BA 系统；另外配 4G 物联网网关，上传素有测量参数及设备状态数据，供网站平台及 App 软件后台使用，达到系统远程查看的私密化与差异化<sup>[8]</sup>。

## 四、系统原件设计与实现

控制算法是采用模糊 PID 控制算法的系统核心软件模块。该算法融合了模糊控制的灵活性和 PID 控制的精确性，可以有效应对雪道环境的非线性特性。系统动态调整 PID 参数，根据实时采集的环境数据，实现制冷系统的精确控制。

系统配备了先进的监控界面，基于组态软件开发而成。监控界面将温度、湿度等参数实时显示在雪道的各个区域，同时也显示了制冷设备的操作状态。操作者可以通过这个界面，对系统参数进行远程调整，对历史资料和报警资料进行查阅。系统还具有自动识别常见故障类型和提供相应处理建议的故障诊断功能，使系统可靠性和维修效率得到显著提高<sup>[9]</sup>。

通过将温度传感器安装在不同的区域，实现监控不同区域的温度，并执行对环境状况的检测。并通过反馈数据实时进行温度调整。

1. 在雪道表面布置温度传感器，并且在高流量区域（起点、终点）增加传感器密度，温度设定为  $-6^{\circ}\text{C}$ ，传感器布置每 100~200 平，边界每 100 米。

2. 在冷盘管表面的雪层中布置传感器，根据传感器反馈的温度，采用变频技术调节制冷剂流量，保持温度稳定。温度设定为  $-8^{\circ}\text{C}$  至  $-10^{\circ}\text{C}$ （由上到下，由外向里温度设定逐渐增加），每 50~100 米冷盘管。

3. 在滑雪场空间内（雪道上方、空调出风口附近）布置传感



器，调节空气的温度和湿度，温度设定为-4℃至-6℃，。

4.在滑雪者活动区域（缆车起点、休息区）布置传感器，适当提高温度，保障舒适度，温度设定为-2℃至-4℃。

5.设备运行区域，在造雪机、压雪机等设备运行区域附近布置传感器，抵消设备运行产生的热量，确保雪道温度稳定，温度设定为-6℃至-8℃，每个设备布置1-2个。

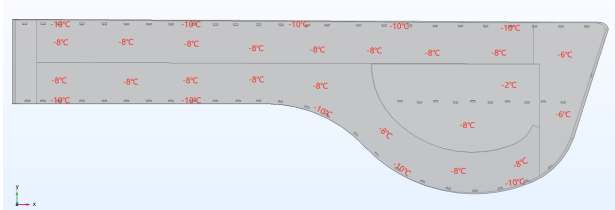


图2：雪场内传感器温度设定（一）

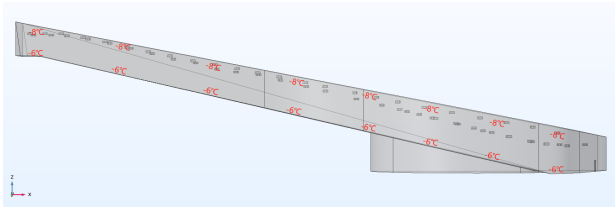


图3：雪场内传感器温度设定（二）

## 五、系统应用与效果分析

在本项目中，我们进行了系统应用测试。测试结果显示，该系统能够将雪道温度维持在 $-6 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的范围内，完全满足滑雪运动的需求。相较于传统手动控制方式，该系统可节省能耗约

20%，每年可减少电费支出数百万元。另外，系统自动化使运行效率明显提高，人工操作失误也得到有效降低。

该制度也显示出了环保方面的良好效益。对滑雪场的可持续发展做出了积极贡献，通过优化能源使用，温室气体排放量大大减少。同时，该系统的成功应用也为其他同类场所的制冷系统设计提供了宝贵的借鉴。

## 六、结论

一套室内滑雪场地雪道保冷自控系统已在本次研究中设计并实现。该系统通过将先进的传感技术、控制算法和监控界面相结合，实现精确控制雪道环境，优化能源消耗。实际应用显示，该系统具备高可靠性、显著的节能效果以及便捷的操作维护等优势，为室内滑雪场的运营提供了坚实保障。

未来研究可进一步探索人工智能技术在系统中的应用，例如，利用深度学习算法预测雪道温度变化，以实现更智能的控制策略。同时也可以考虑进一步提高系统的环境友好性，把可再生能源和系统结合起来。此外，随着物联网技术的不断进步，该系统未来能够在更高水平上实现能源管理和优化，与更广泛的智能楼宇管理系统实现融合<sup>[10]</sup>。

这一研究为室内滑雪场地雪道保冷提供了既有助于降低运营成本，又能降低对环境的影响，促进冰雪产业可持续发展的高效、智能的解决方案。希望本研究成果能为相关领域的研究和实践提供有益参考，促进室内滑雪场技术的持续进步和创新。

## 参考文献

- [1] 张刚, 刘志坚, 李德路, 侯文宝. 模糊控制在中央空调节能系统中的应用研究 [J]. 智能建筑与城市信息, 2014(12).
- [2] 罗辉. PLC 在地铁指挥中心楼宇自控系统中的应用 [J]. 智能建筑电气技术, 2012(01).
- [3] 王珏. 基于人工智能的智能空调系统研究 [J]. 制冷与空调 (四川), 2006(02).
- [4] 吴滔, 吴辉. 广州地铁集中冷站的自动控制 [J]. 制冷, 2003(02).
- [5] 张永明, 于杰生, 颜哲. 碳中和背景下建筑电气行业变革与对策 [J]. 智能建筑电气技术, 2022(03).
- [6] 何一婷. 智能建筑楼宇自控系统设计及技术研究 [J]. 智能城市, 2025(02).
- [7] 周文锐. 智能建筑楼宇自控系统设计及技术探讨 [J]. 智能城市, 2024(01).
- [8] 瞿小平, 洪宇卫. 智能建筑楼宇自控系统再认识及发展趋势 [J]. 智能建筑与城市信息, 2008(04).
- [9] 焦聚州. 智能建筑的楼宇自控系统探究 [J]. 科技传播, 2016(13).
- [10] 高磊. 楼宇自控系统在荆州市中心医院中的应用研究 [J]. 绿色建造与智能建筑, 2024(02).

# 淮安市制造业“智改数转网联”进程中中小企业的转型路径

许云飞<sup>1</sup>, 沈慧敏<sup>2</sup>

1. 江苏食品药品职业技术学院智能制造学院, 江苏 淮安 223005

2. 江苏食品药品职业技术学院后勤服务中心, 江苏 淮安 223005

DOI:10.61369/ETQM.2025120018

**摘要：** 随着智能制造和数字化转型成为全球制造业发展的主流趋势，淮安市作为江苏省重要工业基地，其制造业正处于转型升级的关键期。中小企业作为淮安市制造业的“毛细血管”，是产业链供应链的重要支撑，其转型成效直接关系区域产业竞争力提升。但中小企业在“智改数转网联”中，面临转型动力不足、技术应用成本高、人才短缺、数据互联互通不畅等多重挑战。本文结合淮安实际，从认知、技术、人才、数据及协同共治五维度设计转型路径，旨在为中小企业提供可落地方案，助力其实现“三化”转型，推动淮安制造业高质量发展。

**关键词：** 智能制造；数字化转型；中小企业；转型路径

## The Transformation Path of Small and Medium-sized Enterprises in the Process of "Intelligent Transformation, Digital Transformation, and Network Interconnection" in the Manufacturing Industry of Huai'an City

Xu Yunfei<sup>1</sup>, Shen Huimin<sup>2</sup>

1. School of Intelligent Manufacturing, Jiangsu Food and Pharmaceutical Science College, Huai'an, Jiangsu 223005

2. Logistics Service Center, Jiangsu Food and Pharmaceutical Science College, Huai'an, Jiangsu 223005

**Abstract：** As intelligent manufacturing and digital transformation emerge as the mainstream trends in the global manufacturing industry, Huai'an City, as an important industrial base in Jiangsu Province, is currently at a critical juncture in its manufacturing sector's transformation and upgrading. Small and medium-sized enterprises (SMEs), serving as the "capillaries" of Huai'an's manufacturing industry, constitute a crucial support for the industrial and supply chains, with their transformation outcomes directly influencing the enhancement of regional industrial competitiveness. However, during the process of "intelligent transformation, digital transformation, and network interconnection," SMEs encounter multiple challenges, including insufficient motivation for transformation, high costs of technological applications, talent shortages, and inadequate data interoperability. This paper, based on the actual situation in Huai'an, designs a transformation path from five dimensions: cognition, technology, talent, data, and collaborative governance, aiming to provide actionable solutions for SMEs to facilitate their "three transformations" and drive the high-quality development of Huai'an's manufacturing industry.

**Keywords：** intelligent manufacturing; digital transformation; small and medium-sized enterprises; transformation path

## 引言

淮安市是江苏省苏北地区重要工业基地，制造业对当地经济增长与社会稳定起核心支撑作用。当前全球科技革命与产业变革加速，“智改数转网联”成制造业提质增效、重塑优势的核心路径，江苏省将其列为产业升级战略抓手，还出台相关三年行动计划，为各地转型提供指引。

淮安制造业正处于传统产业升级与新兴产业培育叠加期，既有机遇承接苏南电子元件、精密零部件等产业转移，也面临产业能级偏低、核心竞争力不足的压力，多数中小企业仍用“人工+半自动化”生产，效率低于苏南同类企业。中小企业是淮安制造业主体，其转型步伐直接影响制造业高质量发展成色，但受资金少、技术弱、人才吸引力不足等制约，常陷入“不敢转、不会转、不能转”困境。因此，立足淮安产业实际探索适配中小企业的转型路径，既能激活市场主体活力，也能夯实区域制造业根基，为苏北产业转型提供实践样本。

课题：淮安市哲学社会科学研究 项目名称：淮安市制造业“智改数转网联”的路径探索与模式创新研究 项目编号：2025SK71。

作者简介：许云飞（1982.12—），男，安徽泗县人，硕士，副教授，研究方向：智能制造、知识产权、数字化设计。

## 一、淮安市中小企业面临的转型挑战

### （一）转型动力不足

智能制造浪潮中，中小企业转型意愿低、无主动升级态势，源于认知偏差、利益导向与资源限制交织制约。

认知不清：许多中小企业管理层受传统经营理念影响，对智能制造认知仅停留在“机器换人=智能化”的浅层阶段，认为转型只是用自动化设备替代人工，却不深入理解 ERP、MES 等数字化工具优化流程、降本提效的核心价值。部分管理者还将转型等同于“高投入、高风险”负担，价值误判导致其转型意识被动薄弱。<sup>[1]</sup>

短期收益导向：中小企业多依赖订单式生产，经营模式偏灵活务实，资金周转周期较短，抗风险能力较弱，对投入的短期回报有着较高的期待。而“智改数转网联”投入回报周期较长，在原材料涨价、订单波动等压力下，中小企业更倾向于将资金投入短期能见效的生产环节，以保障当前经营稳定，故主动转型意愿普遍低迷。

资金压力大：部分管理者视智能制造转型为“高投入、高风险”负担，且中小企业融资多靠银行贷款，存在额度有限、利率高的问题，难获充足资金，不少企业“想转却转不动”，转型动力被抑制<sup>[2]</sup>。

### （二）技术应用成本高

智能制造推进中，过高技术应用成本是中小企业核心阻碍之一，淮安企业更因成本压力与适配难题叠加，形成转型壁垒。

高额的技术投资成本：工业机器人价格普遍较高，定制一套适配的 MES 系统费用常达数十万元，这对年营收数百万的中小企业而言，相当于半年甚至一年的净利润。更关键的是，中小企业普遍存在融资渠道窄、贷款审批难的问题，缺乏充足资金支撑技术升级，最终陷入“想转没钱转”的两难困境。<sup>[3]</sup>

技术应用门槛高：智能化设备与系统的日常运维、故障排查，需要掌握大数据分析、工业软件操作、自动化控制等专业知识的技术人员，而中小企业技术人员多以传统设备维修岗位为主，缺乏相关专业储备。<sup>[4]</sup>

技术适配性差：当前市面上的主流智能制造方案，多是针对大型企业规模化、标准化生产模式设计，难以适配淮安中小企业“小批量、多品种”的核心生产特点。故现有方案难以匹配其灵活的生产流程，定制化开发又会额外增加成本，进一步压缩企业利润空间，让中小企业转型更加举步维艰。

### （三）人才短缺

淮安中小企业推进智能制造，深陷复合型人才“招不来、留不住、养不起”困境，卡住转型关键节点，成核心障碍。

高端技术人才短缺：智能制造落地需要工业互联网架构师、智能制造数据分析师、工业软件运维工程师等专业人才，这类人才不仅需掌握技术理论，还需具备落地实践经验。但淮安相较于一线城市及省内核心工业城市，在高端制造产业布局、人才政策吸引力上存在差距，相关领域的本土人才储备本就有限，外部人才又因城市产业定位、发展空间等因素不愿流入，导致企业面临

“求才无门”的窘境，难以满足转型的核心人才需求。

技术人才流失严重：中小企业因经营规模、薪酬预算有限，技术岗薪资低于大型制造企业，且福利不完善。更关键的是，多数企业缺乏清晰职业晋升通道，技术人员难获成长，常被大企业优厚待遇、广阔空间吸引，甚至流向外地，人才流失率居高不下。

培训体系不完善：多数中小企业未建立系统的内部培训机制，依赖设备供应商的短期指导，培训内容多局限于设备基础操作，缺乏对数字化系统逻辑、数据应用等深层知识的讲解，难以支撑转型后的技术运维与优化需求。

### （四）数据互联互通难

“智改数转网联”的核心价值，在于通过数据流通实现生产、销售、仓储等全环节的高效协同，而中小企业普遍面临的“数据孤岛”困境，恰好切断了数据的流通路径，成为制约转型深化的关键障碍，具体体现在企业内部、行业层面与安全保障三个维度。

企业内部信息孤立：多数中小企业未建统一数字化管理平台，各部门用传统模式或独立工具处理数据：生产靠纸质台账/简易软件记参数、进度，数据滞后易错；销售用 Excel 统计订单与客需，难实时同步变动；仓储手工记账管库存，出入库数据难反馈至产销端。各系统独立、数据格式不一，无法实时同步与快速整合分析，导致数据流通不畅、部门数据不符，难支撑精准生产决策。

行业数据标准缺失：当前中小企业之间尚未形成统一的数据采集、存储与共享标准，不同企业因生产品类、设备型号、管理模式差异，在数据接口规格、编码规则、存储格式上各不相同，缺乏统一标准难以对接，进一步扩大了“数据孤岛”的范围。

信息安全问题：中小企业普遍存在数据安全意识薄弱、防护措施不足的问题，既没有专业的安全防护系统，也缺乏专职安全人员。在推进数据互联互通时，企业既担心内部生产数据、客户隐私数据泄露，影响正常经营；又顾虑共享数据后可能面临的安全风险，因此对数据共享多持谨慎态度，即便有协同需求也不敢轻易开放数据，进一步加剧了互联互通的难度。

## 二、淮安市中小企业转型的路径设计

针对淮安中小企业转型面临的动力、成本、人才、数据难题，构建“政府主导、企业主体、社会协同”体系，从五维度设精准路径，推动转型变被动为主动。

### （一）认知提升与转型动力激发

为突破动力不足的困境，需构建“政府引导+案例示范+利益驱动”的激励体系，精准破解认知偏差、短期导向、资金短缺三重制约。

开展精准化专题培训：政府联合行业协会、淮安本地高校等，针对中小企业的特色产业，开设“智改数转网联”实战课程，内容涵盖数字化工具应用、转型投资回报率测算等实操知识，用真实企业的成本节约案例，破除“转型=高风险”误区；

针对管理层单独开设认知提升班，邀请成功企业负责人分享决策过程，扭转被动意识。

搭建案例共享平台：筛选转型成功的中小企业，建立“淮安智造案例库”，组织现场观摩会并制作短视频教程，直观展示转型前后的产能、能耗、利润变化。同时定期开展“转型经验进园区”活动，让示范企业负责人面对面分享实操心得，用直观成效增强企业的转型信心。

强化政策精准扶持：出台分级补贴政策，根据企业转型投入额度给予不同比例的补贴，并联合银行推出“转型低息贷”，降低融资成本，解决“想转没钱转”的问题，让企业切实感受到转型红利。

## （二）技术应用的普及与定制化服务

核心是通过“共享化、本地化、协同化”破解成本高、门槛高、适配差难题。

技术共享与平台建设：由政府牵头建设“智能制造共享服务平台”，提供工业机器人租赁、云端 ERP 系统、在线技术咨询等资源，按使用需求计费，避免一次性高投入；邀请专家入驻平台，提供免费技术咨询服务，使中小企业可以通过共享平台低成本获取先进技术，降低技术应用的成本和风险。

定制化技术服务：鼓励本地科研机构、高校与企业合作，建立“中小企业技术适配中心”。针对“小批量、多品种”生产特点，开发模块化方案，无需全额定制，大幅降低适配成本。

推动产业链协同：由政府主导，按产业类别组建协同联盟，引导龙头企业开放闲置生产线，供中小企业委托加工；推动上下游中小企业协同，共享制造资源，按需生产，减少库存浪费，从而降低单个企业技术投入。

## （三）人才培养与引进

智能化转型离不开高素质的复合型人才，因此应从以下几个方面着手：

产学研合作：推动企业与科研机构 and 高校共建“智能制造订单班”，按企业需求设置课程，学生在校期间参与企业实践项目，毕业后直接入职，实现“培养即就业”。同时企业也可选派骨干员工参与到合作的科研项目中，在实践中提升技术能力，避免“高薪引才”的成本压力。

搭建人才交流平台：政府联合行业协会定期举办“智能制造人才对接会”“面对面交流会”“人才沙龙”等活动，促进人才与企业双向了解，提升匹配效率。建立“智造人才库”，收录高端技术人才信息，供中小企业免费查询对接，打破信息壁垒。

支持人才引进政策：政府出台专项优惠政策，对中小企业引进的外地高层次智能制造人才，可按职称或其他荣誉给予相应补贴。同时提供配套住房、子女入学、医疗优先等生活支持，切实降低人才落地门槛，缓解人才短缺问题。

## （四）数据互联互通与标准化建设

为了解决数据孤岛问题，推动中小企业之间的信息共享和协

作，需要以下措施：

推动企业内部数字化集成：组建专项服务团队，提供一对一免费指导。帮助生产部门将纸质台账录入数字化系统，协助销售、仓储部门实现数据与管理系统对接，解决“各部门数据对不上”的问题，夯实数据基础。

建设共享平台和标准体系：政府牵头联合第三方技术企业投资建设行业内的“智能制造数据平台”，免费为企业提供数据存储服务；同步组织行业专家、龙头企业、科研机构成立标准委员会，制定统一的数据采集规范、格式标准及接口协议，确保不同企业数据可对接、可共享。

加强数据安全治理：制定《中小企业数据安全治理操作指南》，明确数据分类、存储、共享安全要求；推广低成本安全技术，补贴采购企业。联合第三方免费检测，建泄露应急机制，保障企业安全共享数据。

## （五）政府与社会各方合作共治

中小企业转型是一个系统性工程，政府、企业、高校和科研机构应形成合力：

政策支持与财政补贴：政府设立“智改数转网联”专项基金，通过无偿补助、技术采购补贴、低息优惠贷款等多元形式精准发力。建立“政策—企业”精准对接机制，通过线下宣讲、线上推送等方式，确保企业及时了解政策内容。

产业链协同发展：由政府引导、龙头企业牵头建立产业联盟，制定联盟内转型规划与技术标准，推动上下游企业共同参与技术研发，分摊研发成本。鼓励龙头企业开放自身数字化平台，中小企业可通过平台实现“借船出海”，降低转型门槛。

社会资本引导：出台税收减免政策，对投资中小企业智能制造项目的社会资本，按投资额抵免企业所得税；建立风险补偿机制，若投资出现亏损，政府按投资额承担部分损失。

## 三、结论

淮安市中小企业的“智改数转网联”转型，既是企业突破发展瓶颈、提升市场竞争力的内在需求，也是推动区域制造业能级跃升、实现经济高质量发展的关键支撑。通过构建“认知提升—技术适配—人才保障—数据联通—协同共治”的全链条转型路径，能够有效帮助中小企业突破转型瓶颈，稳步实现智能化、数字化、网络化升级。

通过上述路径的落地实施，不仅能激活淮安市中小企业的创新活力与发展动能，更能为苏北乃至全国同类地区的中小企业转型提供可复制、可借鉴的实践经验，为制造业高质量发展注入强劲动力。

## 参考文献

- [1]陈晶晶,于大为.制造型企业“智改数转网联”实践路径研究——以苏州市吴江区制造型企业的转型为例[J].现代工业经济和信息化,2025,15(08):93-95.
- [2]陈蓉.“智改数转网联”赋能制造业新质生产力研究[J].发展研究,2025,42(08):69-76.
- [3]任保平,苗新宇.长三角制造业“智改数转网联”关键技术创新供给能力研究[J].技术经济,2025,44(08):40-51.
- [4]许桂霞.广西智能制造产业发展对策研究[J].企业科技与发展,2024,(12):31-36.



# 人居环境治理视域下地质文化村建设路径研究

尹雪

新疆维吾尔自治区地质局水文环境地质调查中心，新疆 乌鲁木齐 830000

DOI:10.61369/ETQM.2025120019

**摘 要：**地质文化村是振兴乡村战略、地质工作转型的新路径，它与人居环境治理有着天然的价值重合。本文以人居环境治理“生态宜居、治理有效、生活富裕”三大目标为中心视角，并分析当前其建设的现实意义和发展状况，总结出地质文化村资源挖掘浅、规划与融合欠缺、运营无保障等实际问题，继而从规划指引、硬件提升、产业整合和治理改良四个方面着手，给出“地质+人居”双优的建设思路，从而在促进自然遗迹资源保护、文化传承与人居环境提质等方面协同发展的背景下予以借鉴。

**关 键 词：**人居环境治理视域；地质文化村；建设路径

## Research on Construction Path of Geological Culture Village under The Perspective of Living Environment Management

Yin Xue

Hydrogeological Survey Center, Geological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830000

**Abstract：** Geological cultural villages represent a new approach to revitalizing rural development strategies and transforming geological work, with inherent value overlaps in human settlement environment governance. Focusing on the three core objectives of "ecological livability, effective governance, and prosperous living" in human settlement management, this paper analyzes the practical significance and current status of their construction. It identifies practical challenges including insufficient resource exploration, inadequate planning integration, and operational instability in geological cultural villages. To address these issues, the study proposes a dual-advancement strategy combining "geology + human settlement" through four dimensions: planning guidance, infrastructure enhancement, industrial integration, and governance improvement. This approach offers reference for promoting coordinated development in natural heritage conservation, cultural preservation, and human settlement quality enhancement.

**Keywords：** habitat management perspective; geological culture village; construction path

党的二十大报告中明确提出，“全面推进乡村振兴，建设宜居宜业和美乡村。”这表明人居环境治理已步入提升品质的新阶段。另一方面，地质工作也从寻找和评价资源矿产转变为对生态文明建设的 service 中去，这就催生出地质文化村这一“地质+乡村”的新形式，据2024年时，全国已有121个地质文化村（镇），而浙江有15个排于首位。地质文化村借助于当地的地质资源条件，通过地质科学、乡土文化及村里的规划建设，具备了科普教育、休闲旅游等功能，在人居环境治理的视野当中开展地质文化村的建设便是借助地质资源联系实现的一种生态、服务与生活共同完善的工程，笔者经过查阅有关的文献并进行相关案例分析，梳理经验并建立建设路径。

### 一、人居环境治理视域下地质文化村建设的核心意义

#### （一）资源维度，激发地质资源多元价值

地质文化村建设打破了地质资源“保护就是闲置”的传统观念，把火山岩、古生物化石等地质遗迹从“科研标本”变成“人居资产”，经由科学规划和适度开发，地质资源成了村庄生态保护的主要载体，而且变成了科普教育、旅游体验的关键要素，地

质资源由“静态保护”变为“动态利用”，给乡村人居环境增添了一种独特的资源优势<sup>[1]</sup>。

#### （二）文化维度，重构乡村文化特色标识

托村（镇）地质资源禀赋，通过深度挖掘地质科学和文化，将其与乡村、乡镇建设相融合，发展特色产业和经济，提升乡村、乡镇生活品质和文化内涵，形成的宜居宜业的特色村（镇），形成独特的“地质+乡村”文化体系。地质文化村创建，挖掘挖

掘地质故事，塑造地质主题景观，开发地质文创产品，乡村文化脱离“同质化”，创建辨识度文化标识，提升村民文化认同，外来者也能获得差别化文化体验，丰富人居环境文化内涵。

### （三）治理维度，构建乡村协同治理框架

地质遗迹保护、提升人居环境建设、特色农产品开发经验等，须由政府、地勘单位、村民、企业等多方共同参与，此过程产生的“多元协作”机制冲破了传统乡村治理单一主体的格局，促使各方在资源守护、环境整治、产业发展等方面达成合力，还激起村民参与治理的主动意识，从而优化乡村治理的系统性与效率<sup>[2]</sup>。

## 二、人居环境治理视域下地质文化村建设路径

### （一）规划引领，构建“地质+人居”协同规划体系框架

精准开展资源本底调查是打造“地质+人居”协同规划体系的根基，要组建起由地勘专家，规划设计师，生态环境学者和村民代表构成的专门小组，从地质和环境两个层面展开全面普查，在地质方面，细致调查地质遗迹的种类，分布区域，保护等级和科学价值，明晰火山岩，古生物化石这些关键地质资源的守护边界，在环境方面，着重探究村庄的水文地质状况，土壤品质，植被覆盖情形，地质灾害危险点以及现有的基础设施状况，创建包含地质数据，环境参数，村民需求等内容的“一村一档”资源环境档案库。比如浙江省地质院在安吉余村建设前期，通过7亿年地质演化史的调查，结合村庄人居环境现状，给后期规划提供科学依据，保证规划既要符合地质资源保护的要求，又要符合村民生活改善的要求。推行“多规合一”规划编制是实现地质与人居协同发展的重要举措。要把地质文化村建设规划与国土空间规划、村庄建设规划、生态环境保护规划等衔接起来，破除部门规划壁垒，推动规划深度融合。在规划编制过程中，秉持“地质为魂、生态为要、人居为本”理念，合理划分地质遗迹核心保护区、人居环境提升区、产业融合发展区，在核心保护区严格限制各种建设活动，仅允许开展必要的地质保护与科普展示设施建设，在人居环境提升区结合地质特色优化村民住宅布局，完善公共服务设施，如利用当地地质材料建设村民活动中心、休闲广场等，在产业融合发展区科学布局研学旅游、特色农业等产业项目，确保产业发展不破坏地质环境<sup>[3]</sup>。

### （二）设施升级，构建地质特色人居环境平台

地质文化村（镇）的建设打造地质特色人居环境载体的重要环节，基础设施改造时要融入地质元素，选用当地特色地质材料，做到基础设施功能与地质文化展示相融合，道路方面，用当地火山岩，青石板等地质材料铺村内步道和主干道，在道路两侧设立地质文化标识牌，介绍沿途地质景观及其成因，公共照明方面，设计路灯时把化石，矿石等元素融入造型，这样既满足照明需求，又变成地质文化景观，给排水设施创建时，依照地质地貌特性创建生态化给排水体系，比如在岩溶地貌区创建地下蓄水池搜集雨水，在富硒土地区用生态沟渠处理生活污水，还要在设施外观上加入地质文化符号。仙居金村在基础设施改造时，大量使

用当地火山岩材料建设村内步道和公共设施，建成4条地质科普小径，基础设施具有实用价值的同时，也成为传播地质文化、改善人居环境品质的载体，村民在日常生活中就能感受到地质文化的魅力。

完善生态环保设施体系是确保地质文化村生态宜居的重要手段，要按照村庄地质环境特性来创建相应的生态环保设施，做到地质资源守护和生态环境改良同步推进，在地质遗迹保护上创建地质遗迹监测站，装备专门的监测设备，随时监测地质遗迹的动态改变，尽快察觉并且处理地质遗迹受损风险，在水污染防治上，依照村庄水文地质情况，创建集中式污水处理站或者分散式生态污水处理设施，比如在山区村庄采用人工湿地处理生活污水，在平原村庄创建氧化塘污水处理系统，保证污水符合排放标准，守护周围水体环境，在固体废弃物处理上，创建垃圾分类收集站和资源化利用设施，推行“户分类，村收集，镇转运”这种垃圾处理模式，而且利用地质材料创建垃圾收集设施，达成与周围环境协调一致。安吉余村在建设时，配套建设地质遗迹监测站和污水净化系统，实时监测、科学治理，既保护了村内地质遗迹，又使村庄水质达Ⅲ类以上，绿化率达90%以上，打造了生态宜居的美丽村庄<sup>[4]</sup>。

### （三）产业融合与环境友好型特色产业培育

发展“地质+研学”核心产业是培育环境友好型特色产业的方向之一，要依靠村庄特有的地质资源，开发多种多样又深入的研学产品，创建起涵盖地质科普，实践体验，科学探究的研学产业体系，在研学课程设计上，依照不同年龄段学生的认知水平和学习需求，开发从基础地质知识普及到专业地质考察实践的多层次课程，针对小学生，设计“地质标本认识”，“地质绘画”之类的趣味性课程，凭借直观的标本表现和互动游戏，引发学生对地质科学的兴趣，针对中学生，开发“地质地貌观察”，“化石采集与修补”之类的实践课程，安排学生去野外做地质考察，培养学生的实践能力以及科学思维，针对大学生和科研人员，给予“地质演化探究”，“地质资源勘探”之类的专门性研学项目，给科研实际操作赋予场地和技术支持。同时建设研学服务设施，比如研学宿舍、研学实验室、野外考察基地等，配备研学导师团队，为研学活动提供保障。建德市李家镇依托丰富的古生物化石资源，开发了“化石修复”“地质勘探模拟”等20余项研学体验项目，建成9处地质研学场景，配备15名研学导师，每年接待研学团队500余批次，研学收入达400万元，既实现产业增收，又通过严格控制研学团队数量、规范研学活动流程，确保研学活动不会对地质环境造成破坏，实现产业发展与生态保护良性互动。

打造“地质+特色农业”生态产业是促进地质文化村产业融合和村民增收的有效路径，要充分依托村庄独特的地质条件，比如特殊的土壤成分、气候环境等，发展具有地域特色的农产品种植和养殖产业，还要发掘农产品的地质文化内涵，塑造“地质认证”的农产品品牌，从而提高农产品的价值，就种植产业而言，依照土壤的地质成分，比如富硒，富锌等，挑选合适的农作物种类，像富硒茶叶，富锌水稻，特色水果等，采用生态种植技术，削减化肥农药的使用量，保证农产品的品质，在养殖产业方面，

依靠山区的地质地貌特点,发展生态养殖,散养土鸡,山羊等,塑造生态畜禽产品品牌,而且,举办农产品采摘节,地质农业科普活动等,把农业生产同地质文化体验结合起来,吸引游客参加农业生产过程,改善产业综合效益。开化县土谷村利用当地富硒土壤的优势,种植富硒黄茶,实行生态种植,按照有机农业的标准进行生产,通过对富硒土壤形成原因和科学价值的发掘,开发“土谷富硒黄茶”品牌,让地质文化进入农产品的宣传之中,举办富硒黄茶采摘节,让游客参与到采茶、制茶过程中来,并举办富硒地质科普讲座,使得富硒黄茶成为了村民增收的重要来源和地质文化的宣传媒介,目前该村富硒黄茶种植面积达到500亩,富硒黄茶成为村民增收2万元的来源,实现地质+特色农业的可持续发展<sup>[5]</sup>。

（四）治理创新，完善长效机制保障

建立多元协同治理机制是健全地质文化村长效保障机制的关键,要明晰政府、地勘单位、村民、企业等主体的责任和权益,创建起“政府引领,地勘支撑,村民为主,市场加入”的多元协同治理架构,政府层面,制定地质文化村创建的政策法规,规划发展蓝图,扶持政策,协调各部门资源,监督地质文化村创建进程,保障其有序开展,地勘单位层面,运用专业技术优势,给地

质文化村创建赋予地质资源勘察,地质遗迹守护,地质科普宣传等技术支持,协助村庄制订科学合理的创建方案,村民层面,作为地质文化村的主人,应当积极投身到村庄创建和治理之中,经由村民大会,村民代表会议等形式参与决策,投入劳动力,参与创建村庄基础设施,守护村庄环境,也要参加地质文化传播,经营产业,分享创建成果。企业层面,借助市场化运作模式,参与到地质文化村产业开发,设施经营,品牌宣传等当中来,像投资创建研学基地,民宿酒店之类的,为村庄发展增添资金和专业经营经验。

三、结束语

综上所述,人居环境治理视域下的地质文化村建设,就是利用地质资源来达到“村新、景美、业盛、人和”的乡村发展目标,浙江等地的实践表明,只有坚持规划引领下的资源保护与利用并举、设施升级与文化遗产并行、产业发展与环境承载相适应、政府主导与村民参与相结合,才能破解地质文化村建设中的人居环境困境。

参考文献

[1] 张兴桐, 伍荣林, 张子军, 等. 云南省特色地质资源与地质文化村建设思路 [J]. 云南地质, 2024, 43(01): 6-12.  
[2] 冉淑红, 贺瑾瑞, 郝春燕, 等. 北京市水泉子村地质遗迹特征及地质文化村建设实践 [J]. 资源信息与工程, 2024, 39(01): 123-126.  
[3] 周园, 孟晶晶. 地质文化村建设中的“地质+”模式探析——以嵩县石场村为例 [J]. 中南农业科技, 2024, 45(01): 190-193.  
[4] 程团结, 卢琰萍, 龚盈盈. 加强地质文化村建设的思考——以嵊州市白雁坑村为例 [J]. 浙江国土资源, 2023, (S1): 112-116.  
[5] 李玉龙, 张小永, 董基恩, 等. 青藏高原地区地质文化村建设的内容和路径研究——以青海省下圈村为例 [J]. 矿产勘查, 2023, 14(11): 2253-2262.

# 晶圆留边减薄后的清洗工艺研究

白阳, 李远航, 李丹

中国电子科技集团公司第四十五研究所, 北京 100176

DOI:10.61369/ETQM.2025120020

**摘 要 :** 介绍了晶圆留边减薄后清洗的工艺过程和原理, 主要研究了晶圆留边工艺减薄后清洗过程中清洗方法、清洗时间对清洗效果的影响。提出改善清洗效果的工艺措施, 为提高晶圆留边工艺加工过程中的清洗效率提供指导。

**关 键 词 :** 晶圆留边工艺减薄; 清洗; 工艺研究

## Research on The Cleaning Process after Wafer Edge Thinning

Bai Yang, Li Yuanhang, Li Dan

The 45th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100176

**Abstract :** The process and principle of cleaning after wafer grinding with outer rim, and mainly studies the influence of cleaning method and cleaning time on the cleaning effect. The technological measures to improve the cleaning effect are put forward to provide guidance for improving the cleaning efficiency in the process of back grinding of wafer with outer rim processing.

**Keywords :** back grinding of wafer with outer rim; cleaning; process research

### 引言

自晶体管被发明以来, 集成电路一直遵循摩尔定律发展 -- 每18个月晶体管特征尺寸减小一半。尺寸减小, 实现更高密度集成, 功能、性能以及能效比大幅提升, 成本降低, 一如过去半个多世纪以来微处理器和半导体存储器芯片所呈现出的发展特点一样。

芯片的高密度集成使功率密度增加导致发热严重, 同时寄生电容和电阻会限制信号传输速度。通过减薄将晶圆减薄至50~100 $\mu\text{m}$  (图1) 缩短了热传导路径, 利用高导热材料快速散热, 避免因高温导致的性能下降或失效。同时薄化的衬底厚度, 减少寄生效应, 提升工作频率和能效。晶圆留边工艺和以往的背面减薄不同, 在对晶圆进行减薄时, 将保留晶圆外围的边缘约3mm左右部分, 只对晶圆内进行减薄。通过导入这项工艺, 可实现降低薄型晶圆的搬运风险和减少翘曲的问题<sup>[1]</sup>。

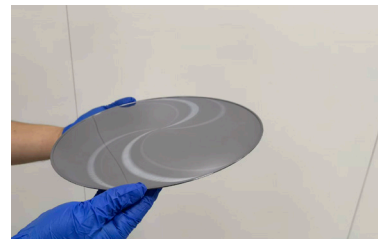


图1 晶圆留边工艺减薄后的成品

硅晶圆在进行减薄后, 晶圆表面不可避免残留有大量的磨削产生的颗粒污染物, 不能以湿法状态进入下道工序, 更无法满足后续的工艺要求。必须通过专门的清洗工艺对减薄后的晶圆表面残留的磨削产生的颗粒污染物进行有效去除, 从而保证输出的晶圆满足下道工序在洁净度方面的具体要求, 为下道工序降低风险和技术难度。

全自动减薄设备使用晶圆留边减薄工艺对硅晶圆进行减薄加工, 根据工艺需求选择二流体清洗法对减薄后的硅晶圆进行清洗。进行了多次实验, 分析了不同清洗流程和清洗时间对晶圆留边工艺减薄后硅晶圆清洗效果的影响规律, 提出改善清洗效果的工艺措施, 为提高清洗效率提供指导<sup>[2]</sup>。

### 一、清洗过程和原理

硅晶圆在全自动减薄设备完成晶圆留边工艺减薄后, 通过真空吸附在清洗载台上。在清洗阶段, 载台以一定的速度带动晶圆旋转, 清洗机构中的二流体装置, 会在不同流程通过喷出二流体、纯水或者氮气实现晶圆的清洗干燥。二流体装置使用一种精

细化的水气二流体雾化喷嘴, 在喷嘴的两端分别通入液体介质和高纯氮气, 使用高纯氮气为动力产生雾滴, 当雾滴撞击到颗粒时, 直接将颗粒从晶圆上剥离; 当雾滴撞击晶圆表面时, 产生脉冲波和膨胀波, 通过射流效应应将表面的颗粒从晶圆上冲洗掉, 实现高效快速清洁<sup>[3]</sup>。



## 二、实验研究

为了研究清洗流程、清洗时间对晶圆的清洗效果的影响规律，分别对它们进行试验研究。本实验采用单一变量因素法，清洗参数固定为氮气压力0.1MPa,氮气流量200L/min，纯水压力0.2Mpa，纯水流量160mL/min。清洗流程初次选定为：二流体摆动清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫。清洗时间初次选定为：二流体摆动清洗40s、纯水摆动清洗10s、氮气吹扫50s，每组实验可根据上组的实验结果调整为上组实验变化参数的最佳参数，实验参数见表1。取直径300mm 晶圆留边工艺减薄后厚度为100 $\mu$ m 的硅晶圆，分为2组，根据上述的清洗流程进行清洗实验。

表1 清洗实验参数

清洗流程	二流体摆动清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫	二流体摆动清洗+边缘强化清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫	二流体摆动清洗+边缘强化清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫	二流体摆动清洗+边缘强化清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫
二流体摆动清洗时间	40s	40s	40s	40s
边缘强化清洗时间	--	40s	20s	10s
纯水摆动清洗时间	10s	10s	10s	10s
氮气吹扫甩干时间	50s	50s	50s	50s

## 三、结果与讨论

用显微镜观察直径300mm的硅晶圆清洗后表面的洁净程度，每个采样区域长宽均为5mm，表面颗粒判定依据为大于3\*3 $\mu$ m 颗粒，通过清洗后的洁净程度，对比清洗效果。

表面颗粒清洗前需保持湿润状态，湿润环境能显著降低颗粒与表面间的粘附力，干燥后颗粒表面的粘附力增强，二流体的冲击力难以突破颗粒的静电吸附和机械嵌合，导致二流体清洗失效，晶圆留边工艺减薄后未经清洗直接吹干，晶圆表面大于3\*3 $\mu$ m 颗粒为1100颗（图2）。

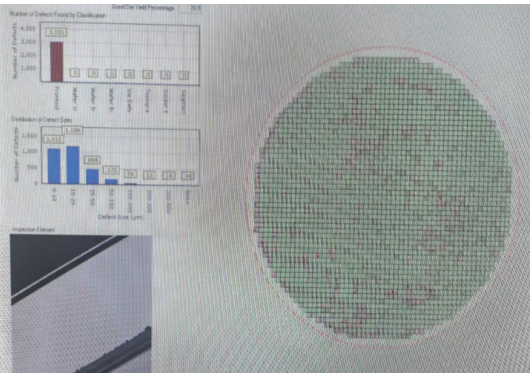


图2 清洗前晶圆表面颗粒

### （一）清洗方法对减薄后清洗效果的影响

在第一组实验中，分别用二流体摆动清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫流程和二流体摆动清洗+边缘强化清洗+纯水摆动清洗

+氮气吹扫流程对减薄后硅晶圆各10片进行清洗，测得减薄后硅晶圆表面清洗后的洁净度见表2，从洁净度的测量结果可以看出，清洗后硅晶圆表面颗粒明显变少，未使用边缘强化清洗流程清洗后晶圆边部分区域存在大面积颗粒（图3），通过强光灯照射晶圆表面观察，晶圆边缘存在明显圆形印记，该印记为搬运机械手抓取晶圆时手指边缘颗粒沉积导致（图4）。而使用边缘强化清洗流程的清洗后，边缘颗粒明显减少，清洗印记消失。根据清洗效果，可以选择二流体摆动清洗+边缘强化清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫流程清洗晶圆留边工艺减薄后硅晶圆。

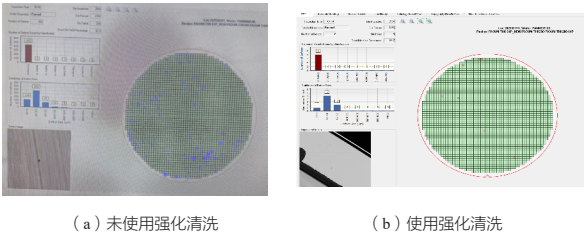


图3 清洗后晶圆表面颗粒

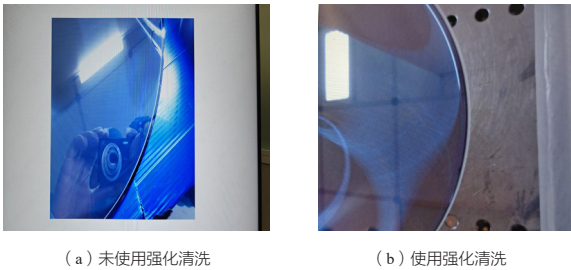


图4 清洗后晶圆表面颗粒沉积印记

表2 不同清洗方法下硅晶圆表面洁净度

清洗方法	表面颗粒数 / 颗					
	片号	1	2	3	4	5
二流体摆动清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫流程	颗粒数	442	451	453	424	463
	片号	6	7	8	9	10
	颗粒数	397	369	374	377	415
二流体摆动清洗+边缘强化清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫流程	片号	1	2	3	4	5
	颗粒数	14	10	8	9	7
	片号	6	7	8	9	10
	颗粒数	14	11	8	14	14

### （二）边缘强化清洗时间对清洗效果的影响

在第二组实验中，使用二流体摆动清洗+边缘强化清洗+纯水摆动清洗+氮气吹扫流程，在其他参数不变的情况下通过调整边缘强化清洗时间清洗晶圆各10片，测得减薄后硅晶圆表面清洗前后的洁净度见表3，从洁净度的测量结果可以看出，40s时与前一项试验基本一致，随着边缘强化清洗时间的减少，硅表面颗粒残留也相应减少，但随着边缘强化清洗时间继续降低，硅表面颗粒残留有增加趋势（图5）。边缘强化清洗时间为20s时，在显微镜下观察硅晶圆表面，基本无颗粒残留，清洗效果最佳。

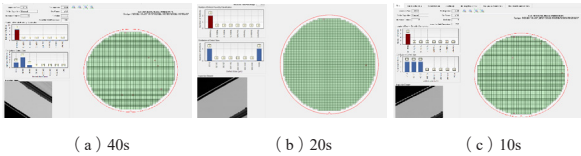


图5 强化清洗后晶圆表面颗粒

表3 不同边缘强化清洗时间下硅晶圆表面洁净度

边缘强化清洗时间 /s	表面颗粒数 / 颗					
40	片号	1	2	3	4	5
	颗粒数	14	10	8	7	8
	片号	6	7	8	9	10
	颗粒数	10	8	11	8	12
20	片号	1	2	3	4	5
	颗粒数	2	1	1	4	2
	片号	6	7	8	9	10
	颗粒数	5	1	2	2	3
10	片号	1	2	3	4	5
	颗粒数	9	8	11	9	9
	片号	6	7	8	9	10
	颗粒数	9	7	12	9	14

四、结论

采用不同的清洗方法、不同的清洗时间对晶圆留边工艺减薄后硅晶圆进行清洗实验。清洗完成后，用显微镜观察硅晶圆清洗

后的表面洁净度可以分析出：

- 1.硅晶圆清洗装置清洗后，晶圆表面的大于3\*3μm的颗粒明显减少；
- 2.搬运机械手边缘在拾取晶圆时会产生颗粒沉积，需要对晶圆上该区域进行针对性清洗；
- 3.边缘强化清洗的最佳时间应控制在20秒左右，这一时间窗口可平衡清洗效果与表面干燥风险。时间过长可能导致部分区域表面水提前蒸发，干燥后颗粒因表面张力重新吸附，导致二流体清洗失效。而时间过短导致二流体的冲击力无法充分剥离颗粒，清洗效果大打折扣。

分析了不同清洗方法和清洗时间对晶圆留边工艺减薄后硅晶圆清洗的表面洁净度的影响规律，可以得出晶圆留边工艺减薄后硅晶圆清洗的相对最优参数，采用二流体摆动清洗 + 边缘强化清洗 + 纯水摆动清洗 + 氮气吹扫流程，同时边缘强化清洗清洗时间选择为20s，清洗效果最佳，基本无脏污颗粒残留。

参考文献

[1]李彧.晶圆留边磨削减薄工艺基础研究[J].大连理工大学.2021,02:70.  
[2]孙莉莉.碳化硅减薄后的清洗工艺研究[J].电子工业专用设备.2025,54(01):33-36.  
[3]张雨生,何管,由晓明,梁立康,张云杰.二流体雾化器雾化过程仿真及试验[J].农业工程.2023,13(08):107-112.

# 公路大中修工程中路基下沉的处理与预防研究

何路青

杭州市富阳区交通建设服务保障中心, 浙江 杭州 311400

DOI:10.61369/ETQM.2025120021

**摘 要 :** 路基作为公路结构的“承载基础”, 其稳定性直接决定公路通行质量与使用寿命。在公路大中修工程中, 路基下沉是高频多发问题, 不仅导致路面开裂、沉降变形, 还会增加养护成本、影响行车安全。本文结合公路大中修工程实际工况, 分析路基下沉的核心成因(如填料不合格、压实度不足、水损害作用等), 针对不同下沉类型(轻微沉降、不均匀沉降、结构性沉降)提出“换填处理、注浆加固、强夯补强”等差异化处理技术, 并从“勘察设计、施工管控、后期监测”三个维度构建全流程预防体系。通过工程案例验证, 该处理与预防方案可使路基工后沉降量控制在5mm/年以内, 显著提升路基稳定性, 为公路大中修工程质量保障提供实践参考。

**关 键 词 :** 公路大中修; 路基下沉; 处理技术

## Research on The Treatment and Prevention of Subgrade Subsidence in Major and Medium Repair Projects of Highways

He Luqing

Hangzhou Fuyang District Transportation Construction Service Guarantee Center, Hangzhou, Zhejiang 311400

**Abstract :** As the "load-bearing foundation" of highway structure, the stability of the subgrade directly determines the traffic quality and service life of the highway. In major and medium-sized highway repair projects, subgrade subsidence is a frequent and frequently-occurring problem. It not only leads to pavement cracking and settlement deformation, but also increases maintenance costs and affects driving safety. This paper, based on the actual working conditions of major and medium-sized highway repair projects, analyzes the core causes of subgrade settlement (such as substandard filling materials, insufficient compaction, water damage, etc.), and proposes differentiated treatment technologies such as "replacement and filling treatment, grouting reinforcement, and dynamic compaction reinforcement" for different settlement types (slight settlement, uneven settlement, structural settlement). And a full-process prevention system is constructed from three dimensions: "survey and design, construction control, and post-construction monitoring". Through engineering case verification, this treatment and prevention plan can control the post-construction settlement of the subgrade within 5mm per year, significantly improving the stability of the subgrade, and providing practical reference for the quality assurance of major and medium-sized highway repairs.

**Keywords :** major and medium repairs of highways; subgrade subsidence; processing technology

### 前言

当前公路大中修工程中, 路基下沉处理存在两大痛点: 一是“对症下药”, 未深入分析下沉成因便盲目采用换填、注浆等措施, 导致处理后短期内再次出现沉降; 二是“重处理轻预防”, 仅关注已发生的下沉病害, 忽视前期勘察、施工环节的风险管控, 无法从根源避免下沉问题。本文基于公路大中修工程实践, 系统梳理路基下沉的成因, 分类提出科学处理技术, 并构建全流程预防体系, 旨在为提升公路路基稳定性、延长公路使用寿命提供解决方案。

### 一、公路大中修工程中路基下沉的成因分析

#### (一) 填料质量不达标: 路基承载基础薄弱

填料选择或处理不当会直接导致路基承载力不足。一是填料类型不合格, 部分工程用腐殖土、淤泥质土等, 这类填料含水量

高、压缩性大, 如某二级公路原路基用有机质超5%的黏土, 运营3年下沉达8cm, 远超3cm规范值; 二是级配不合理, 细颗粒过多易成“弹簧土”、遇水软化, 粗颗粒过多则空隙大、易位移; 三是含水量控制不当, 过高致填料黏结机械、难达压实度, 过低则颗粒摩擦力小、后期遇水易变形。

### （二）施工压实质量缺陷：路基密实度不足

压实工艺、机械选型或管控不到位会导致密实度不足。一是机械选型不当，黏性土需 $\geq 300\text{kN}$ 重型振动压路机，砂性土宜用光轮压路机配合振动，用轻型压路机压黏性土会形成“表层实、深层松”；二是分层厚度超标，黏性土超 $30\text{cm}$ 、砂性土超 $50\text{cm}$ ，激振力传不到层底；三是检测不规范，抽检频率不足（如每 $200\text{m}$ 未达4点）或虚假检测，致不合格路段流入下道工序。

### （三）水损害长期作用：路基结构稳定性下降

雨水、地下水渗入会破坏路基结构。一是地下水浸泡，地下水位高且无盲沟等排水系统，填料软化、强度降，砂性土易颗粒流失成空洞；二是雨水渗透，路面裂缝致雨水下渗深层，形成积水冲刷颗粒；三是边坡排水不畅，无截水沟、急流槽或防护损坏，雨水冲刷边坡致坍塌，加速病害。

### （四）运营荷载与自然因素叠加：路基长期累积变形

交通荷载与自然因素长期作用致累积变形。一是重载反复作用，轴载超 $100\text{kN}$ 车辆多，压实不足路段填料颗粒位移、空隙率增大；二是温度变化，冬缩夏胀反复破坏路基完整性；三是自然灾害，地震致填料液化，洪水冲刷边坡与基底，引发塌陷沉降。

## 二、公路大中修工程中路基下沉的差异化处理技术

### （一）轻微沉降处理：表层补强与压实

轻微沉降通常指路基沉降量 $\leq 3\text{cm}$ ，且沉降均匀、无明显裂缝，主要由表层填料压实不足或短期水损害导致，处理重点为“表层补强、提升密实度”，常用技术包括：

1. 表层换填法：清除路基表层 $50\text{--}80\text{cm}$ 范围内的松散或软化填料，更换为级配良好的碎石土或灰土（石灰含量 $8\%\text{--}12\%$ ），分层压实（压实度 $\geq 96\%$ ）。该方法适用于表层填料不合格或轻度水损害的路段——如某一级公路大中修工程中，对路基表层 $3\text{cm}$ 轻微沉降路段采用灰土换填处理，换填后路基压实度达 $97\%$ ，运营2年后未出现再次沉降。

2. 冲击碾压补强法：使用冲击压路机（冲击能 $25\text{--}30\text{kJ}$ ）对路基表层进行冲击碾压（碾压次数 $15\text{--}20$ 遍），通过冲击能使表层填料进一步密实，提升路基承载力。该方法适用于表层压实度不足但深层填料合格的路段，具有施工速度快、成本低的优势，冲击碾压后路基表层压实度可提升 $2\%\text{--}3\%$ 。<sup>[1]</sup>

3. 水泥粉煤灰稳定层补强法：在路基表层铺设 $15\text{--}20\text{cm}$ 厚的水泥粉煤灰稳定层（水泥含量 $3\%\text{--}5\%$ 、粉煤灰含量 $15\%\text{--}20\%$ ），分层压实后作为路基补强层。该稳定层具有强度高、水稳定性好的特点，可有效提升路基表层承载力，防止后期轻微沉降——某二级公路应用后，路基表层回弹模量从 $300\text{MPa}$ 提升至 $450\text{MPa}$ ，效果显著。

### （二）不均匀沉降处理：注浆加固与调平

不均匀沉降指路基沉降量 $3\text{--}10\text{cm}$ ，且沉降差 $\geq 2\text{cm/m}$ ，常伴随路面裂缝、错台，主要由深层填料压实不均、局部水损害或空洞导致，处理重点为“加固深层、调整沉降差”，核心技术为注浆加固法：

1. 注浆材料选择：根据路基填料类型与水损害程度选择注浆材料——对砂性土路基，宜采用水泥-水玻璃双液浆（凝固时间

$10\text{--}30\text{s}$ ），可快速填充空隙、加固填料；对黏性土路基，采用水泥粉煤灰浆（水泥含量 $20\%\text{--}30\%$ 、粉煤灰含量 $40\%\text{--}50\%$ ），浆液渗透性强，可改善黏性土强度；对存在空洞的路基，采用水泥-膨胀剂浆（膨胀率 $3\%\text{--}5\%$ ），填充空洞的同时避免后期收缩。

2. 注浆工艺参数确定：

注浆孔布置：按“梅花形”布置注浆孔，孔距 $1.5\text{--}2.5\text{m}$ ，行距 $1.2\text{--}2.0\text{m}$ ，孔深根据沉降深度确定（通常为路基深度的 $1.2\text{--}1.5$ 倍）。

注浆压力：砂性土路基注浆压力 $0.3\text{--}0.5\text{MPa}$ ，黏性土路基 $0.5\text{--}0.8\text{MPa}$ ，避免压力过高导致路基隆起。

注浆量：按路基空隙率计算，通常每立方米填料注浆量 $0.1\text{--}0.2\text{m}^3$ ，确保浆液充分填充空隙。

3. 案例效果：某高速公路大中修工程中，对 $\text{K}120+300\text{--}\text{K}120+500$ 段（不均匀沉降量 $5\text{--}8\text{cm}$ ）采用水泥-水玻璃双液浆注浆处理，注浆后检测显示，路基深层压实度从 $90\%$ 提升至 $96\%$ ，沉降差缩小至 $0.5\text{cm/m}$ ，运营1年后沉降量控制在 $1\text{mm}$ 以内。<sup>[2]</sup>

### （三）结构性沉降处理：深层加固与重构

结构性沉降指路基沉降量 $> 10\text{cm}$ ，伴随路基开裂、塌陷，主要由基底承载力不足、深层填料严重不合格或水损害导致，需进行“深层加固、结构重构”，常用技术包括：

1. 强夯法：使用重型强夯机械（夯锤重量 $15\text{--}30\text{t}$ ，落距 $8\text{--}15\text{m}$ ）对路基进行强夯处理，通过巨大的冲击能使深层填料（ $3\text{--}6\text{m}$ ）密实，提升路基承载力。强夯前需在路基表层铺设 $20\text{--}30\text{cm}$ 厚的碎石垫层，避免夯锤破坏路基表层；强夯次数按“先点夯后满夯”执行，点夯 $6\text{--}8$ 遍，满夯 $2\text{--}3$ 遍。该方法适用于深层填料松散、基底承载力不足的路段，某二级公路应用后，路基深层（ $5\text{m}$ 处）压实度从 $88\%$ 提升至 $95\%$ ，沉降量控制在 $3\text{cm}$ 以内。

2. 灰土挤密桩法：在路基中打入灰土挤密桩（桩径 $30\text{--}50\text{cm}$ ，桩距 $1.0\text{--}1.5\text{m}$ ），通过桩体挤压作用使周围填料密实，同时灰土桩与路基填料形成复合地基，提升整体承载力。该方法适用于黏性土路基或存在湿陷性黄土的路段，灰土桩长度根据沉降深度确定（通常 $5\text{--}8\text{m}$ ），桩体压实度 $\geq 97\%$ 。某公路大中修工程中，对湿陷性黄土路基采用灰土挤密桩处理，处理后路基湿陷性消除，运营3年后沉降量仅 $2\text{cm}$ 。

3. 基底换填与加固法：若路基下沉由基底承载力不足导致（如基底为淤泥层），需开挖至基底，清除淤泥层，更换为碎石土或灰土（分层压实，压实度 $\geq 96\%$ ），并在基底铺设土工格栅（抗拉强度 $\geq 50\text{kN/m}$ ），增强基底整体性。某沿海公路大中修工程中，对基底淤泥层（厚度 $1.5\text{m}$ ）采用碎石土换填+土工格栅加固处理，换填后基底承载力从 $80\text{kPa}$ 提升至 $150\text{kPa}$ ，彻底解决路基下沉问题。<sup>[3]</sup>

## 三、公路大中修工程中路基下沉的全流程预防体系

### （一）勘察设计阶段：精准把控路基设计参数

勘察设计是预防路基下沉的基础，需通过详细勘察掌握地质、水文条件，优化设计方案，确保路基设计符合实际工况：



1.详细地质水文勘察：勘察范围需覆盖路基全宽及两侧10–20m区域，勘察深度不小于路基深度的1.5倍，重点查明：

地层分布：明确路基范围内填料类型（黏性土、砂性土、碎石土等）、厚度及分布范围，避免使用不合格填料。

地下水位：确定地下水位埋深，若地下水位高于路基底面，需设计排水系统（如盲沟、渗沟）降低地下水位。

不良地质：查明是否存在淤泥层、湿陷性黄土、岩溶等不良地质，针对性制定处理方案（如换填、注浆）。

2.优化路基设计参数：

填料选择：优先选用级配良好的碎石土、砂性土作为路基填料，严禁使用腐殖土、淤泥质土；对黏性土填料，需掺入石灰（8%–12%）改善其工程性质。

压实度标准：根据公路等级确定压实度要求——高速公路、一级公路路基压实度 $\geq 96\%$ ，二级公路 $\geq 95\%$ ，三级及以下公路 $\geq 94\%$ 。

排水系统设计：完善路基排水体系，包括路基顶面封层（如沥青封层）、边坡截水沟、急流槽、地下盲沟等，确保雨水、地下水能及时排出，避免浸泡路基。<sup>[5]</sup>

### （二）施工管控阶段：严格落实质量标准

施工是确保路基质量的关键，需从“填料管控、压实工艺、排水施工”三个维度强化管控，杜绝质量隐患：

1.填料质量管控：建立“填料进场检验–现场试验–分层验收”制度——填料进场时需检测颗粒级配、含水量、有机质含量，不合格填料严禁进场；现场需进行击实试验，确定最佳含水量与最大干密度，指导压实施工；每层填料填筑后，需检测压实度，合格后方可进行下一层施工。

2.压实工艺管控：

机械选型：根据填料类型选择匹配的压实机械，黏性土选用重型振动压路机，砂性土选用光轮压路机配合振动压实。

分层厚度控制：严格按设计分层厚度施工（黏性土 $\leq 30\text{cm}$ ，砂性土 $\leq 50\text{cm}$ ），每层施工前用石灰线标注分层厚度，避免超厚填筑。

压实度检测：采用灌砂法或环刀法检测压实度，抽检频率按规范执行（每200m至少4点），检测不合格的路段需重新压实，直至达标。

3.排水施工管控：确保排水系统施工质量——盲沟、渗沟的

滤料需级配良好，避免堵塞；截水沟、急流槽的混凝土强度需符合设计要求，接缝处做好防水处理；路基顶面封层需平整、无裂缝，防止雨水渗入。

### （三）后期监测阶段：动态跟踪路基稳定性

公路大中修工程完工后，需通过长期监测及时发现路基沉降趋势，提前采取干预措施，避免沉降扩大：

1.监测点布置：在路基两侧路肩、桥头、涵洞等关键部位设置沉降观测点，观测点间距50–100m，桥头路段加密至20–30m；观测点采用钢筋混凝土预制，顶部设置水准测钉，确保观测精度。<sup>[4]</sup>

2.监测频率与标准：

监测频率：完工后1–3个月，每月监测1次；3–12个月，每3个月监测1次；1年后每6个月监测1次，连续监测2年。

预警标准：当单次沉降量 $> 2\text{cm}$ 或月沉降量 $> 5\text{mm}$ 时，启动预警，组织技术人员分析原因，采取补强措施（如注浆加固）。

3.监测数据应用：建立监测数据台账，通过数据分析掌握路基沉降规律——若发现某路段沉降速率加快，需排查是否存在水损害或重载交通过度集中的问题，及时采取针对性措施，防止沉降进一步发展。

## 四、结语

路基下沉治理需突破“事后补救”局限，转向“精准处理+全流程预防”的系统思路。处理上，需依下沉类型差异化施策：轻微沉降用表层补强（如冲击碾压）快速提密实度；不均匀沉降靠注浆加固填充空隙、平衡沉降差；结构性沉降需强夯或灰土挤密桩重构路基，避免二次病害。

预防上，需筑牢“勘察–施工–监测”闭环：勘察精准掌握地质水文，杜绝设计脱离实际；施工严控填料与压实，以压实度等为硬标准；监测长期跟踪数据，提前识别风险。实践证明，该体系可使路基工后沉降稳定在 $5\text{mm}/\text{年}$ 以内，延长公路大中修周期3–5年，降低养护成本。

未来结合地质雷达、数字化监测等新技术，可推动治理向“数据驱动”升级，持续提升路基稳定性，为公路安全高效运营、交通基础设施高质量发展提供保障。

## 参考文献

- [1] 崔九平. 公路工程沉降段路基路面的施工处置方法 [J]. 四川建材, 2021, 47(07): 161–162.
- [2] 高斌. 公路工程项目沉降段路基路面的施工技术研究 [J]. 住宅与房地产, 2021(09): 223–224.
- [3] 王磊, 赵敏. 公路大中修工程路基下沉成因与注浆加固技术应用 [J]. 公路交通技术, 2023, 39(04): 38–42.
- [4] 刘杰, 陈晓. 路基水损害致沉降的机理分析及防治措施研究 [J]. 中外公路, 2022, 42(03): 56–60.
- [5] 张国栋, 李娜. 基于全流程管控的公路路基沉降预防体系构建 [J]. 交通世界, 2024(15): 135–137.

# 装配式住宅建筑施工工艺优化分析

刘谦，刘欢，张琦楠

莆田中建建设发展有限公司，福建 莆田 351100

DOI:10.61369/ETQM.2025120024

**摘 要：** 本文围绕构件生产运输、现场装配和全过程管理三环节开展装配式住宅施工工艺优化研究。基于 3 个实际项目（总建筑面积 15.6 万 m<sup>2</sup>）的量化数据，运用 BIM、精益施工与进度-成本耦合模型，通过标准化生产、装配精度控制与能耗调控，实现生产周期缩短 18%、装配误差控制在 ±2mm、碳排放降低 22.14%。研究结合误差传递与进度-成本模型及核心数据表格，验证了工艺优化的可行性与有效性，为同类项目提供技术支撑。

**关 键 词：** 装配式住宅；施工工艺优化；分析策略

## Analysis of Optimization of Construction Technology for Prefabricated Residential Buildings

Liu Qian, Liu Huan, Zhang Qinan

Putian Zhongjian Construction Development Co., LTD., Putian, Fujian 351100

**Abstract：** This paper conducts research on the optimization of construction techniques for prefabricated residential buildings, focusing on three key links: component production and transportation, on-site assembly, and full-process management. Based on the quantitative data of three actual projects (with a total construction area of 156,000 square meters), by applying BIM, lean construction and the coupled model of progress and cost, and through standardized production, assembly accuracy control and energy consumption regulation, the production cycle was shortened by 18%, the assembly error was controlled within ±2mm, and carbon emissions were reduced by 22.14%. The research combined error transmission and progress-cost models with core data tables to verify the feasibility and effectiveness of process optimization, providing technical support for similar projects.

**Keywords：** prefabricated residential buildings; optimization of construction techniques; analysis strategy

### 一、构件生产与运输环节的工艺优化

构件的生产与运输工作作为装配式住宅施工前期的核心环节，按照《装配式混凝土建筑技术标准》（GB/T 51232 - 2016）的模数协调规则。经优化标准参数、把控质量指标、改良运输调度，达成“高效生产、低耗运输、优质供件”的预期<sup>[1]</sup>。

#### （一）构件标准化生产参数优化

构件的标准化水平是决定装配式住宅生产效能与成本管控的核心要素。构件生产的标准化程度越高，构件生产时的重复特性和通用特性愈发明显，不但能削减模具投入，还可改善构件的精度和一致性。施工工艺的优化需以“减少模具种类、统一模数规格”为核心指引，从根源上增强生产组织的合理性与经济性<sup>[2]</sup>。

处于中等程度的标准化状态下，预制比例提升到 60%，构件型号减至 16 种，所需模具数量降低到 8 套，生产周期以批次计缩短至 36 天，合格比例提高到 95.8%，单位成本降低至 302 元每平方米。若进一步提高到高度标准化程度，预制比例达 70%，

将构件型号数量限制为 12 种，仅需 6 套模具，每批次生产周期减至 30 天，产品合格率提升到 98.5%，每平方米单位成本降至 285 元<sup>[3]</sup>。此对比结果清晰呈现，提高标准化水平既能缩减生产时长、削减成本，还能明显提高质量标准，对装配式住宅施工的整体效益十分关键。基于上述数据，构建构件标准化程度与生产指标关系表（表 1），明确优化参数。

表 1 构件标准化程度与生产指标关系表（项目 A）

标准化程度	预制率（%）	构件型号（种）	模具数量（套）	生产周期（天/批次）	合格率（%）	单位生产成本（元/m <sup>2</sup> ）
低	50	28	15	45	92.3	320
中	60	16	8	36	95.8	302
高	70	12	6	30	98.5	285

#### （二）构件工厂预制质量控制指标优化

装配式住宅现场施工能否顺利开展，关键在于预制构件的质量，构件性能和耐久性，其三项核心要素为尺寸偏差、混凝土强度及钢筋保护层厚度。预制占比 65%）的建造进程中，项目团队

作者简介：

刘谦 (1994.11-)，男，湖南永兴人，本科，中级工程师，研究方向：工程管理、技术质量管理。

刘欢 (1990.03-)，男，本科。

张琦楠 (1996.08-)，男，本科。

围绕这三项中容展开了系统优化与改良，收获明显成效<sup>[4]</sup>。

（三）构件运输与堆场调度优化

在堆场调度方面，借助 BIM 技术对入场计划实施精准化管控，合理划分堆场的功能分区。把“待装区”设定在离吊装点不超过50m的范围中，作为可直接装配的构件堆放处；“备用区”被设置于50米至100米的距离范围，作备用构件临时存储用。通过科学筹划，二次搬运比例从 25% 锐减至 8%，极大增强了现场吊装的效率，运输时长从 7 天减至 4 天，每 t 运输成本自 65 元降至 48 元。具体对比数据见表 2。

表 2 不同运输车辆选型与运输指标对比表（项目 C 预制柱运输）

运输车辆 类型	载重 (t)	单次运 输数量 (根)	单次成本 (元)	单位成本 (元/t)	损耗率 (%)	日均运 输次数 (次)
10t 平板车	10	1	800	65	1.2	6
15t 平板车	15	2	1200	48	0.5	5
20t 平板车	20	2	1500	52	0.3	4

二、现场施工装配环节的工艺优化

（一）BIM 技术下的装配精度控制优化

BIM 技术可达成构件三维模型搭建、碰撞查验与精度提前把控。项目 A 借助 Revit 搭建结构模型，经 Navisworks 检测，发现管线和预制梁存在 12 处碰撞点，防止现场重复施工。以 BIM 坐标进行定位，利用全站仪（精度达到 ±1mm）来完成构件的安装工作，通过误差传递理论对总误差加以控制<sup>[9]</sup>。各环节误差依据误差传递公式（公式 1）进行优化，其中装配总误差 Δ 总是由制造误差 Δ 制、运输变形误差 Δ 运、安装误差 Δ 安构成，利用误差传递公式（公式 1）来优化各环节的误差。

公式 1：Δ 总 = √(Δ 制<sup>2</sup> + Δ 运<sup>2</sup> + Δ 安<sup>2</sup>)

项目 A 预制柱装配精度优化前：Δ 制 = ±2mm、Δ 运 = ±1.5mm、Δ 安 = ±2.5mm，综合误差 Δ 总 ≈ ±3.54mm；优化后（数控加工、专用支架、BIM 定位），Δ 制 = ±1mm、Δ 运 = ±0.8mm、Δ 安 = ±1mm，Δ 总 ≈ ±1.62mm，实际监测误差为 ±2mm，符合 GB 50204-2015 ≤ ±3mm 要求。BIM 应用显著提升了装配精度与效率（见表 3）。

表 3 BIM 技术应用前后装配指标对比表（项目 A 1-6 层）

指标类型	BIM 应用前	BIM 应用后	优化幅度（%）
柱垂直度偏差	±3.2mm	±1.8mm	43.75
梁水平度偏差	±2.8mm	±1.2mm	57.14
板拼接缝宽度	2.5 - 4mm	1 - 1.8mm	52.00
单日装配构件数	8 件 / 天	15 件 / 天	87.50
装配返工率	8.5%	1.2%	85.88

（二）精益施工下的工序衔接优化

按照精益施工思想，创建工序衔接时间的优化模型，削减等候时长。项目 B 现场装配涵盖“构件吊装（t<sub>1</sub>=2h）→临时固定（t<sub>2</sub>=1h）→灌浆连接（t<sub>3</sub>=3h）→钢筋绑扎（t<sub>4</sub>=2.5h）→混凝土浇筑（t<sub>5</sub>=1.5h）”这 5 道工序，传统串行作业的总工期 T1 为各工序时间之和，借助并行改进（固定工作在吊装完成 50% 时启动，当灌浆进度达 60% 后开展绑扎工作，搭建总体工期模型，其中并

行启动系数用 α<sub>i</sub> 表示，其取值在 0 到 1 之间<sup>[7]</sup>。

三、施工全过程管理与性能监测优化

基于进度 - 成本耦合理论与实时监测技术，构建优化模型，实现质量、进度、成本、能耗的协同控制，提升项目综合效益。

（一）施工全过程进度 - 成本耦合优化模型

为平衡进度与成本，构建耦合模型（公式 4），设计划工期 T0、计划成本 C0，工期压缩量 Δ<sub>T</sub>=T<sub>0</sub>-T，成本含直接成本（人工、材料）与间接成本（管理、规费）。

公式 4：C(T)=C<sub>直</sub>0 + k<sub>1</sub> · ΔT + C<sub>间</sub>0 - k<sub>2</sub> · ΔT + k<sub>3</sub> · ΔT<sup>2</sup>

项目 B 的规划成本 C0 设定为 1700 万元，对应周期 T0 为 180 天。若工期压缩量 ΔT 取值 27 天，对应压缩比例 15%，总工期达 153 天。优化之前成本 C 的值为 1920.8 万元，优化后成本 C 为 1890.35 万元，考虑到返工数量减少 80 万以及损耗数值降低 45 万，实际所需成本仅达 1765 万元，相比计划降低了 2.06%。

（二）装配式结构施工质量实时监测参数优化

在装配式建筑搭建期间，节点连接质量对结构的整体安全与耐久性起着直接作用。传统人工巡检模式常具延迟性与不稳定性，难以即刻发现潜在风险，项目 A 采用压电传感器（PZT）开展实时监控，借助参数调校与科学布局，达成对节点状态的动态感知及预警。

针对采样频率，项目团队对 200Hz、500Hz、1000Hz 三种方案开展了对比工作，200Hz 信号的分辨能力欠佳，易造成关键数据丢失；尽管 1000Hz 可实现更高精准度，却造成了大量的数据以及存储方面的负担<sup>[4]</sup>。最终选定 500Hz 作为最适宜的采样频率，既能够精准抓取节点振动特性，与基准方案相比，数据存储量降低约 40%，提升了系统的运行效率。

对于预警阈值的设定，借助有限元分析得出加速度阈值 a0 为 0.8g，一旦实测的加速度值 a 超出 a0，系统便发出警示信号，表明节点有松动隐患，此阈值设置既杜绝了误判警报，又保障隐患可迅速被识别<sup>[9]</sup>。

（三）绿色施工指标下的工艺能耗优化

在项目 C 建设期间，依照 GB/T 50378-2019《绿色建筑评价标准》，对能耗指标实施了全面优化，收获明显成果。采用预制叠合板替换传统现浇板用于混凝土材料，用预制叠合板替换传统现浇板，让混凝土用量从原先的 350m<sup>3</sup>/千 m<sup>2</sup> 减至 220m<sup>3</sup>/千 m<sup>2</sup>，极大削减资源消耗与施工现场湿作业的工作量。此做法既提升了材料利用率，又削减了后期保养费用。引入数控化装置到钢筋加工阶段，达成精细切割与处理，使钢筋损耗比例从 6% 降至 2.5%。该方法降低了原材料损耗，同时提高了构件尺寸精准度与施工效能，保障了项目整体的结构安全性与经济性<sup>[9]</sup>。

在水资源利用方面，项目配备了储水量达 50m<sup>3</sup> 的雨水收集系统，有效改善了施工与使用时期的水耗状况，让单位面积水资源消耗从 1.2t/m<sup>2</sup> 降至 0.6t/m<sup>2</sup>。借助循环再利用，既能减轻市政供水的压力，又凸显了绿色建筑的节水属性，该项目着重降低碳排放<sup>[10]</sup>。通过实施减少湿作业这类方法，单位面积的碳排放量从

280kg/ m<sup>2</sup>降到了 218kg/ m<sup>2</sup>，既减轻了施工期间的环境压力，而且顺应绿色低碳发展的走向。优化前后能耗对比见表 4，符合绿色建筑要求。

表 4 绿色施工工艺优化前后能耗指标对比表（项目 C）			
能耗指标	优化前	优化后	降低幅度（%）
混凝土用量（m <sup>3</sup> / 千 m <sup>2</sup> ）	350	220	37.14
钢筋损耗率（%）	6.0	2.5	58.33
水资源消耗（t/ m <sup>2</sup> ）	1.2	0.6	50.00
碳排放（kg/ m <sup>2</sup> ）	280	218	22.14
建筑垃圾（t / 千 m <sup>2</sup> ）	80	35	56.25

四、总结

开展针对3个装配式住宅项目的研究发现：1）构件的生

产与运输阶段，达到高标准化，可使周期减少 18%、成本下降 10.9%，15 吨的平板车是最优选项；2）现场装配阶段，借助 BIM 与精益施工技术，可将误差控制在 ±2mm 范围中，让工期减少 55%，节点饱满程度达 98%；3）流程管理阶段，进度与成本耦合模型让工期缩减 15%、成本降低 2.06%，绿色工艺达成减少碳排放 22.14%。通过模型验证和量化参数对工艺进行优化，为装配式住宅增效保质提供可推行方法。

参考文献

[1]王鑫, 姜锴伦, 李鑫, 等. 装配式住宅建筑预制构件施工现场调度优化研究——以西安市某装配式建筑住宅群为例 [J]. 项目管理技术, 2023, 21(12): 17–22.

[2]黄俊. 基于住宅产业需求的装配式建筑设计优化研究 [J]. 城市开发, 2024(12): 95–97.

[3]李刚. 混凝土装配式住宅建筑工程的施工技术分析 [J]. 江西建材, 2024(6): 281–283.

[4]施益龄, 葛爱明. 装配式建筑施工技术在住宅工程中的应用探析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(4): 4.

[5]孙超. 钢结构装配式住宅建筑标准化设计及抗震设计优化分析 [J]. 四川水泥, 2024(3): 33–35.

[6]贺海洋. 刍议混凝土装配式住宅建筑施工技术 [J]. 建筑·建材·装饰, 2015(12): 66–65.

[7]甘肃, 李心雨. 装配式建筑结构设计关键点及存在问题的改进——以某大型装配式住宅项目为例 [J]. 四川水泥, 2024(4): 103–105.

[8]肖居生. 浅谈混凝土装配式住宅建筑工程施工技术优势 [J]. 居舍, 2019(4): 10–15.

[9]韩耀. 装配式住宅建筑施工技术的应用及质量管控对策 [J]. 智能城市应用, 2024, 7(11): 33–35.

[10]张开勇. 混凝土装配式住宅建筑施工技术优势分析 [J]. 山西建筑, 2018, 44(36): 23–25.



# TCC 型分级破碎设备在重晶石矿山的应用研究

赵国亮<sup>1</sup>, 刘振<sup>2</sup>, 黄身水<sup>1</sup>, 吴彪<sup>1</sup>, 龙福强<sup>1</sup>, 周南<sup>2</sup>

1. 镇宁县红蝶实业有限责任公司, 贵州 安顺 561000

2. 泰伯克(天津)机械设备有限公司, 天津 301712

DOI:10.61369/ETQM.2025120025

**摘 要 :** 重晶石作为重要的非金属矿产资源, 其破碎加工环节对产品粒度均匀性、品位及资源利用率要求严苛。传统破碎设备在处理重晶石时普遍存在过粉碎严重、粒度分级精度低、能耗偏高及杂质分离不彻底等问题。TCC 型分级破碎设备凭借“破碎——分级”一体化设计, 可精准控制出料粒度并减少过粉碎, 适配重晶石的物料特性与加工需求。本文结合重晶石矿山生产实际, 系统分析 TCC 型设备的结构原理与技术优势, 详细阐述其在重晶石破碎流程中的工艺配置、参数优化及配套系统设计, 通过某重晶石矿山的应用案例, 对比分析设备运行效率、产品质量及经济效益等关键指标, 剖析应用中存在的齿辊磨损不均、细粒级分离效率不足等问题, 提出针对性优化方案, 为 TCC 型设备在重晶石及同类非金属矿山的规模化应用提供技术参考。

**关 键 词 :** 型分级破碎设备; 重晶石矿山; 粒度控制; 一体化破碎; 节能降耗

## Research on the Application of TCC-Type Grading Crushing Equipment in Barite Mines

Zhao Guoliang<sup>1</sup>, Liu Zhen<sup>2</sup>, Huang Shenshui<sup>1</sup>, Wu Biao<sup>1</sup>, Long Fuqiang<sup>1</sup>, Zhou Nan<sup>2</sup>

1. Zhenning County Hongdie Industrial Co., Ltd., Anshun, Guizhou 561000

2. Taiboke (Tianjin) Mechanical Equipment Co., Ltd., Tianjin 301712

**Abstract :** Barite, as an important non-metallic mineral resource, places stringent demands on the uniformity of product particle size, grade, and resource utilization during its crushing and processing. Traditional crushing equipment commonly faces issues such as excessive crushing, low precision in particle size grading, high energy consumption, and incomplete separation of impurities when processing barite. The TCC-type grading crushing equipment, with its integrated "crushing-grading" design, can precisely control the discharge particle size and reduce over-crushing, making it well-suited to the material characteristics and processing requirements of barite. This paper systematically analyzes the structural principles and technological advantages of TCC-type equipment based on the actual production conditions of barite mines. It elaborates in detail on the process configuration, parameter optimization, and supporting system design of TCC-type equipment in the barite crushing process. Through a case study of its application in a barite mine, the paper compares and analyzes key indicators such as equipment operational efficiency, product quality, and economic benefits. It also examines issues encountered during application, such as uneven wear of the toothed rollers and insufficient separation efficiency for fine particle sizes, and proposes targeted optimization solutions. This study provides technical references for the large-scale application of TCC-type equipment in barite and similar non-metallic mines.

**Keywords :** grading crushing equipment; barite mine; particle size control; integrated crushing; energy conservation and consumption reduction

## 引言

重晶石因具有高密度、化学稳定性强等特性, 广泛应用于石油钻井液加重剂、化工钡盐制备及放射防护材料等领域, 其产品价值直接取决于粒度分布与品位<sup>[1-3]</sup>。在重晶石矿山破碎环节, 物料常夹杂围岩杂质(如石英、方解石), 且自身性脆易碎裂, 传统破碎工艺多采用“颚式破碎机+圆锥破碎机+振动筛”的组合模式<sup>[4-5]</sup>, 存在显著局限: 一是破碎与分级环节脱节, 过粉碎率高达25%以上, 导致细粒级资源浪费; 二是分级精度低, 出料粒度偏差常超过  $\pm 15\text{mm}$ , 难以满足下游行业对粒径的精准要求; 三是设备联动性差, 杂质

分离不及时，影响重晶石精矿品位。

TCC 型分级破碎设备作为新一代高效破碎装备<sup>[6]</sup>，集成了双齿辊破碎、内置分级筛及弹性缓冲保护等功能，可在破碎过程中同步完成粒度分级与杂质预分离，契合重晶石“低过粉碎、高精度、强适配”的加工需求。某重晶石矿山数据显示，采用 TCC 型设备替代传统工艺后，过粉碎率可降至 8% 以下，生产效率提升 30%。本文通过研究 TCC 型设备在重晶石矿山的应用技术，为解决传统破碎难题、提升矿山经济效益提供实践路径。

## 一、TCC 型分级破碎设备的结构原理与技术优势

### （一）核心结构组成

TCC 型分级破碎设备采用模块化设计，主要由进料预处理装置、双齿辊破碎机构、内置高频分级筛、弹性缓冲系统及智能控制系统五部分构成。进料预处理装置配备可调式格栅，可预先拦截直径超过 300mm 的大块围岩杂质；双齿辊采用非对称齿形设计，齿距根据重晶石破碎需求设为 20–50mm，辊面采用 WC–Co 硬质合金耐磨层；内置分级筛位于破碎腔下方，筛孔尺寸可在 5–50mm 范围内调节，通过高频振动实现破碎产物的即时分级；弹性缓冲系统采用液压推杆与碟形弹簧组合结构，可吸收物料冲击载荷；智能控制系统集成电流、振动、温度传感器，实时监测设备运行状态。

### （二）工作原理

重晶石原矿经进料口进入设备后，先通过预处理格栅拦截大块杂质，合格物料落入双齿辊破碎腔。在齿辊的相对转动作用下，物料受挤压、剪切力发生破碎，破碎产物直接落入下方内置分级筛。分级筛通过高频振动将物料分为三级：大于设定粒径的粗料通过返料通道回流至破碎腔再次破碎；符合粒径要求的成品料通过出料口进入后续提纯工序；小于 5mm 的细粉料通过底筛排出，避免过粉碎。当设备遭遇过载或异物卡阻时，弹性缓冲系统推动齿辊瞬时张开，异物排出后自动复位，同时智能控制系统触发预警，保障设备安全运行。

### （三）适配重晶石加工的技术优势

精准控制过粉碎：相较于传统设备“无差别破碎”模式，TCC 型设备通过“破碎–分级”一体化设计，使合格粒径物料及时分离，避免重复破碎，重晶石过粉碎率可控制在 10% 以内，资源利用率提升 15%–20%。

高分级精度：内置高频分级筛的振动频率可达 3000r/min，结合可调式筛孔设计，出料粒度偏差控制在  $\pm 5\text{mm}$  范围内，满足石油钻井用重晶石粉（粒径 20–40mm）的严苛要求。

杂质预分离能力：进料格栅与分级筛协同作用，可提前去除 30% 以上的围岩杂质，降低后续提纯工序的处理负荷，重晶石精矿品位提升 5%–8%。

低能耗与高稳定性：双齿辊破碎采用“静压破碎”原理，较圆锥破碎机能耗降低 25%–35%；弹性缓冲系统与智能监测装置配合，设备故障停机时间减少 60% 以上。

## 二、TCC 型分级破碎设备在重晶石矿山的应用方案

### （一）矿山工况适配分析

以贵州某大型重晶石矿山为例，该矿山原矿平均粒径为 200–500mm，重晶石含量 65%–75%，夹杂石英、黏土等杂质，要求破碎后成品粒径为 20–40mm，过粉碎率  $\leq 10\%$ ，小时处理量  $\geq 150\text{t}$ 。传统工艺采用“颚破+圆锥破+振动筛”，存在过粉碎率 32%、成品合格率仅 68%、能耗 12kWh/t 等问题，亟需升级设备。

结合矿山工况，选用 TCC–1200 型分级破碎设备，其设计处理量 150–200t/h，最大进料粒径 500mm，适配原矿特性；齿辊齿距设定为 35mm，内置分级筛筛孔尺寸调整为 20mm 与 40mm 的双层结构，分别控制成品下限与上限；进料格栅孔径设为 300mm，拦截大块杂质。

### （二）工艺流程集成设计

优化后的重晶石破碎工艺流程为：原矿开采→振动给料机→TCC 型分级破碎设备→磁选除铁→螺旋分级机提纯→成品仓储。其中，TCC 型设备作为核心环节，承担破碎、分级与杂质预分离三重功能：原矿经振动给料机均匀送入 TCC 分级破碎设备，预处理格栅拦截大块围岩；破碎后物料经内置分级筛分离出 20–40mm 成品料、> 40mm 返料及 < 20mm 细粉料；成品料直接进入磁选工序去除铁杂质，返料回流至 TCC 设备复破，细粉料收集后用于低端钡盐生产，实现全粒级利用。

### （三）关键运行参数优化

通过正交试验法对 TCC 型设备的运行参数进行优化，以过粉碎率、成品合格率及能耗为评价指标，确定最优参数组合：

齿辊转速：根据物料破碎特性，将齿辊转速设定为 180r/min，既保证破碎效率，又避免因转速过高导致物料过度冲击破碎。

齿辊间隙：针对 20–40mm 成品要求，将固定辊与活动辊的间隙调整为 30mm，配合齿形咬合深度，实现物料的精准破碎。

分级筛振动频率：采用 2800r/min 的振动频率，兼顾分级效率与设备稳定性，成品粒径合格率提升至 92%。

缓冲系统压力：液压推杆工作压力设定为 12MPa，可有效吸收重晶石与杂质混合物料的冲击载荷，减少齿辊磨损。

### （四）配套保护与辅助系统

为适配重晶石矿山多杂质、高负荷的运行环境，配套以下系统：

异物智能检测系统：在进料口安装毫米波雷达与机器视觉融合检测装置，识别金属杂质与大块围岩，识别准确率达 98%，联动格栅挡板自动排出异物。

磨损监测系统：在齿辊与分级筛网嵌入电阻式磨损传感器，当磨损量达设计厚度的 70% 时发出预警，避免过度磨损影响破碎精度。

除尘系统：采用脉冲袋式除尘器，在进料口与出料口设置吸尘罩，粉尘浓度控制在 10mg/m<sup>3</sup> 以下，符合矿山环保要求。

### 三、应用效果与案例分析

#### （一）核心性能指标对比

贵州某重晶石矿山采用上述应用方案后，连续运行 3 个月进行数据监测，TCC 型设备与传统工艺的性能指标对比见表 1。

指标	传统工艺	TCC 型设备	提升 / 降低幅度
小时处理量（t/h）	120	180	+50%
成品合格率（20-40mm）	68%	93%	+25%
过粉碎率（< 5mm）	32%	8%	-24%
单位能耗（kWh/t）	12	8.2	-31.7%
杂质预去除率	15%	32%	+17%
设备故障停机时间（h/月）	18	5	-72.2%

#### （二）经济效益分析

按矿山年运行 300 天、每天运行 16 小时计算，采用 TCC 型设备后：

1. 产量提升：年新增成品量  $(180-120) \times 16 \times 300 \times 93\% = 26.78$  万吨，按重晶石成品价 800 元 / 吨计算，年新增产值 2.14 亿元。

2. 成本降低：单位能耗降低 3.8kWh/t，年节约电费  $3.8 \times 180 \times 16 \times 300 \times 0.65 \approx 213$  万元；故障维护成本从年 280 万元降至 90 万元，年节约 190 万元；细粉料回收利用年增收 800 万元，合计年节约成本 1203 万元。

3. 投资回报：TCC 型设备及配套系统总投资 1800 万元，按年新增效益计算，投资回收期约 10 个月，经济效益显著。

#### （三）运行稳定性分析

设备运行期间，弹性缓冲系统成功处理异物卡阻事件 12 起，未发生齿辊断裂、电机烧毁等严重故障；齿辊耐磨层经 3 个月运行后磨损量仅 0.8mm，预计使用寿命可达 12 个月，较传统颚破颚板（使用寿命 3 个月）提升 3 倍；智能监测系统提前预警轴承温度异常 3 次，经及时维护避免了设备损坏，运行稳定性满足矿山连续生产需求。

### 四、应用中存在的问题与优化方向

#### （一）主要问题

1. 细粒级分离效率不足：对于含水量超过 15% 的重晶石原矿，< 20mm 细粉料易黏结在分级筛网表面，导致筛孔堵塞，细粒级分离效率从 93% 降至 75%，影响分级精度。

2. 齿辊磨损不均：原矿中夹杂的石英等硬质杂质易造成齿辊局部过度磨损，形成“凹坑”，导致破碎间隙不均匀，成品粒径偏差增大。

3. 低温环境适应性差：在冬季低于 0℃ 的矿山环境中，液压缓冲系统的液压油黏度上升，响应速度从 0.1s 延迟至 0.3s，影响过载保护效果。

#### （二）优化方向

1. 升级分级筛防堵结构：将内置分级筛改为“高频振动 + 超声波清堵”复合结构，超声波发生器频率设定为 40kHz，可有效清除黏结细料，在高含水量工况下分离效率保持在 90% 以上。

2. 采用梯度耐磨齿辊：开发合金基体 + 耐磨强化的复合齿辊，工作层硬度从表面的 HV1200 梯度降至次表层 HV800，提升局部抗磨损能力，延长使用寿命至 15 个月。

3. 优化液压系统配置：选用低温抗磨液压油（适用温度 -20℃ 至 +80℃），在液压油箱加装电加热装置，确保低温环境下液压油黏度稳定，缓冲系统响应时间恢复至 0.1s 以内。

### 五、结论

TCC 型分级破碎设备凭借“破碎——分级”一体化设计、精准粒度控制及低能耗优势，能有效解决重晶石矿山传统破碎工艺中过粉碎严重、分级精度低、能耗偏高的核心难题。通过针对重晶石物料特性进行设备选型、参数优化与配套系统设计，可实现成品合格率提升至 90% 以上、过粉碎率降至 10% 以下、单位能耗降低 25% 以上的应用效果。

贵州某重晶石矿山的应用案例证实，TCC 型设备可显著提升生产效率与资源利用率，降低生产成本，投资回报周期短，具备极强的工程实用性。针对应用中存在的细粒级分离、齿辊磨损及低温适配问题，通过升级分级筛结构、采用梯度耐磨材料及优化液压系统等措施可进一步提升设备性能。

未来，结合数字孪生技术构建 TCC 分级破碎设备运行虚拟模型，实现工艺参数的自适应调节；开发物联网运维平台，实现多设备协同管控，将推动 TCC 型分级破碎设备在重晶石及同类性脆非金属矿山的智能化、规模化应用，为矿产资源高效利用提供有力装备支撑。

### 参考文献

- [1] 李源洪, 杜红毅, 陈军, 等. 贵州余庆地区层间破碎带热液型重晶石矿床地球化学特征与成因分析 [J]. 地质科技通报, 2025, 44(03): 122-133. DOI: 10.19509/j.cnki.dzkg.tb20240350.
- [2] 蒲利国, 杨昌华, 姜永果, 等. 广西龙殿铜铅锌重晶石矿地质特征及成矿规律 [J]. 云南地质, 2024, 43(S1): 302-308. DOI: CNKI: SUN: YNZD.0.2024-S1-043.
- [3] 李晓亚, 刘星旺, 王凡, 等. 新疆乌恰县沙热拉重晶石矿地质特征及矿床成因浅析 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2024, (01): 62-65. DOI: CNKI: SUN: LGFK.0.2024-01-012.
- [4] 付发伦. 重晶石选矿工艺的研究 [J]. 自动化应用, 2025, 66(S1): 281-283+286. DOI: 10.19769/j.dzhy.2025.S1.093.
- [5] 李育彪, 杨旭. 我国萤石资源及选矿技术进展 [J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(02): 49-58. DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.02.006.
- [6] 刘振, 张学斌, 张伏平, 等. TCC 分级破碎机结构优化及应用实践 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2024, (08): 28-30. DOI: 10.16200/j.cnki.11-2627/td.2024.08.007.

# 项目全过程管理模式在建筑工程管理中的应用

黄丽丽

茂名滨海新区公路建设养护中心, 广东 茂名 525000

DOI:10.61369/ETQM.2025120026

**摘 要 :** 全过程管理模式作为现代建筑工程管理的核心方法论, 通过将项目系统拆分为相互关联的子系统, 实现了对资源的高效整合与科学配置, 并推动了项目管理向精细化、科学化方向发展。文章深入剖析了当前应用现状与挑战。从项目前期的投标等管理, 到施工阶段的协同合作, 再到竣工阶段的质量验收, 全面论述了全过程管理模式在建筑工程各阶段的具体应用策略与实践路径, 旨在为提升建筑工程项目整体效益与综合竞争力提供理论参考与实践指南。

**关 键 词 :** 全过程管理模式; 建筑工程管理; 应用

## Application of the Whole-Process Project Management Model in Construction Engineering Management

Huang Lili

Maoming Binhai New Area Highway Construction and Maintenance Center, Maoming, Guangdong 525000

**Abstract :** As the core methodology of modern construction engineering management, the whole-process management model achieves efficient integration and scientific allocation of resources by dividing the project system into interconnected subsystems, and promotes the development of project management towards refinement and scientificity. This article delves into an analysis of the current application status and challenges. From management activities such as bidding in the early project stages, to collaborative cooperation during the construction phase, and finally to quality acceptance in the completion stage, it comprehensively discusses specific application strategies and practical paths of the whole-process management model at each stage of construction engineering. The aim is to provide theoretical references and practical guidelines for enhancing the overall efficiency and comprehensive competitiveness of construction engineering projects.

**Keywords :** whole-process management model; construction project management; application

### 引言

强调系统性、集成性与动态性的全过程管理模式逐渐成为提升建筑工程管理水平、实现资源最优配置的关键途径。该模式覆盖了从项目决策、规划设计、施工建造到竣工验收乃至后期评估的所有环节, 致力于通过前瞻性的规划、科学化的方法与精细化的控制, 确保工程目标的圆满实现。本文旨在系统梳理全过程管理模式的理论内涵与应用价值, 分析其在当前实践中存在的不足, 并详细探讨其在建筑工程各阶段的具体实施要点, 以期为行业管理水平的整体跃升提供有益借鉴。

### 一、全过程管理模式在建筑工程中的作用

#### (一) 实现资源的高效整合与配置

全过程管理方法将建筑项目系统性地拆分为多个相互关联的子系统, 通过精细化的任务分工, 同步推进各类建筑资源的统筹与整合。这一模式为工程建设注入了持续的发展动力, 已成为推动现代建筑行业进步的重要路径。该管理方式为项目团队提供了更加科学合理的管理工具与方法, 有助于实现各类工程资源的优化配置与高效利用。在项目启动初期, 管理团队能够依据施工设计的实际需求, 对工程所需各类资源进行有针对性的调整与分

配, 从而在源头上确保工程的建设质量, 并有效管控整体成本。进入具体施工环节后, 全过程管理可根据不同施工流程的特点, 对人力与物资资源实施模块化分组管理。基于当前工程建设的实际需要, 可灵活组建水泥作业组、电力安装组和设备管理组等专业团队, 确保各项资源配置的均衡性与合理性, 最终保障建筑工程项目的有序推进<sup>[1]</sup>。

#### (二) 推进项目管理的科学化与精细化

相较于传统粗放型管理和家庭作坊式管理方法, 全过程管理模式在理念与执行层面均体现出根本性差异。该模式以实现更高的管理质量与项目综合效益为核心目标, 广泛融合各类先进技术



手段与现代化工程工艺，并依据工程实际进展与需求，对技术路径进行灵活调整与优化。通过这样的动态管理机制，全过程管理有效推动了建筑工程项目在经营方式上的根本转变，显著提升了施工全过程的效率水平与最终成果的质量标准。正因如此，全过程管理已成为推动建筑工程项目实现科学管理的重要途径，它持续促进建筑行业的结构升级与运营模式革新，全面增强了工程管理的整体效能，进而巩固和提升了现代建筑企业在市场中的综合竞争力。

## 二、项目施工的全过程管理现状

### （一）全过程管理意识的缺失与滞后

当前，全过程管理模式在我国建筑工程领域的应用尚处于初步阶段，整体发展尚未成熟。许多施工企业尚未确立起覆盖项目全周期的系统化管理理念，这种认知层面的欠缺，直接导致其在制定管理规划时，往往缺乏足够的科学性与前瞻性。由于思想观念未能及时更新，这些管理措施在实际建设过程中常常难以被严格遵循与有效执行，从而阻碍了项目管理目标的高效达成。另一方面，国家层面针对施工现场全过程管理的专项法规与标准体系仍不健全，使得施工单位在推进管理实践时，缺乏明确、统一的制度依据与操作指引，进一步加剧了管理落地的难度<sup>[2]</sup>。

### （二）管理体系尚不健全与管理方法亟待优化

当前建筑工程在施工管理体系的构建上仍存在明显短板，管理机构设置不尽合理，团队专业化建设也有所欠缺。由于缺乏系统性的规划与周密部署，现场管理工作的协调性和执行效率受到显著制约。从技术层面看，适用于项目全过程管理的科学方法与先进手段仍较为匮乏，难以满足现代工程建设的复杂需求。在项目推进的各个阶段，尚未形成统一高效的信息采集、分析与共享机制，关键数据在不同环节之间无法顺畅流通。同时，信息报告与反馈渠道的不畅通，导致各部门之间难以形成有效联动，使得施工管理的各个环节相互脱节。这种缺乏完整系统方法论支撑的管理模式，不仅造成资源配置效率低下，也削弱了管理决策的约束力与执行力，直接影响工程建设的整体效益。

### （三）施工及管理人员专业能力与责任意识有待提升

目前，建筑工程领域的施工管理团队在专业知识结构与综合业务素质方面存在明显不足，整体水平有待提高。具体表现为对机械设备维护、建筑材料选用与管控等关键环节缺乏系统认知和实践经验，对工程项目应达到的质量标准也往往执行不够严格。另一方面，现场施工人员不仅安全意识较为淡薄，岗位责任观念未能牢固树立，其专业技术熟练度也普遍不足。在实际操作过程中，由于技能欠缺和规范意识不强，常出现操作流程不规范、工艺水平参差不齐的现象，这不仅导致施工效率难以提升，更对工程实体质量造成了直接影响，难以保障建筑项目的整体建设水准<sup>[3]</sup>。

## 三、全过程管理模式应用

### （一）建筑工程项目施工前期全过程管理

#### 1. 项目投标阶段的精细化管控

在建筑工程前期引入全过程管理理念，尤其在投标环节，需重点落实对承建单位的科学筛选。应当优先选用市场信誉良好、企业资质完备且具备高度责任感的施工企业，以此奠定项目成功

的坚实基础。同时，在此阶段需系统识别和分析可能影响施工安全与工程质量的关键要素，科学制定适用的技术路线与施工组织方案，为项目顺利推进提供技术保障。通过精心编制投标技术方案与管理策划文件，能够显著提升后续施工阶段的效率管控与质量保障水平，最终实现建筑工程综合效益的最大化。

#### 2. 强化合同管理的规范性与协同性

在建筑工程所涵盖的众多管理任务中，合同管理占据着至关重要的核心地位。项目单位在开展合同管理工作时，首先需要建立科学的评估机制，审慎选定符合资质要求且信誉良好的施工合作伙伴，并确保其在项目执行期间能够全面履行合同约定的责任与义务。在合同订立阶段，双方应当进行充分的技术交底与需求对接，通过多轮协商使合同条款准确反映各自诉求与共同目标。这种基于共识的契约基础，能够显著减少后期施工阶段可能出现的争议与分歧，为工程项目的有序推进和按期优质完成提供坚实的法律与制度保障。

#### 3. 建筑材料的系统化采购与全过程管控

建筑材料的质量表现直接决定了工程项目的安全性能与使用寿命，其品质管控贯穿于建筑工程全生命周期，是影响项目综合效益的关键要素。从成本构成角度分析，材料支出通常占据项目总投资的六成以上，这使其成为决定工程经济可行性的核心变量。基于此，在实施全过程管理时，必须在项目筹备阶段就制定系统化的材料采购方案，依据设计文件及施工需求，精准确定所需材料的类别、数量及各项技术参数，包括但不限于强度指标、防水特性等关键性能要求。同时，需要建立完善的材料进场检验机制，通过标准化检测流程对每批次进场材料进行质量验证，确保其完全符合工程设计标准与行业规范要求，为工程质量目标的实现奠定坚实基础<sup>[4]</sup>。

#### 4. 强化技术创新与数字化应用

近年来，建筑行业在技术领域取得显著突破，新型工艺与材料不断推陈出新。在此背景下，项目前期就应当以全过程管理理念为指导，积极推动先进施工技术和创新建筑材料的集成应用，从而有效提升工程建设的质量水平和生产效率。在具体技术选型过程中，需对施工现场条件开展全面评估，并针对现有施工难点进行专项研究，以此为基础持续推进技术体系的优化升级。此外，在施工准备阶段，应对设计图纸的生成过程实施全链条质量管控，特别要注重 BIM 技术在图纸深化设计阶段的深度融合。通过构建精准的三维信息模型，不仅能够显著提高设计成果的精确度与可实施性，更能为后续施工环节提供可靠的技术保障，最终实现工程质量和安全管理的双重提升。

### （二）建筑工程项目施工阶段全过程管理

#### 1. 施工工艺标准化与过程管控

施工阶段是决定建筑工程最终质量的核心过程，在此阶段推行全过程管理，首要任务在于建立完善的工艺技术监管机制。以混凝土工程为例，其施工流程涵盖原材料甄选、物流运输、配合比设计、搅拌制备及浇筑振捣等多个关键工序，每个环节都需要严格遵循相应的技术规范。在具体操作中，必须科学控制混凝土的水灰比等技术参数，确保搅拌过程保持均匀稳定，同时严格执

行规范的养护工艺要求。通过建立系统化的技术监督体系，对各个施工环节实施动态监控，能够有效保障工程实体质量与作业安全，显著降低施工现场质量缺陷与安全隐患的发生概率，为项目顺利推进提供可靠的技术支撑。

2. 构建全方位施工安全保障体系

安全生产是建筑工程实施的根本前提，唯有建立可靠的安全保障机制，才能切实维护施工人员的生命健康，同时确保工程进度目标的达成与项目综合效益的实现。为此，施工企业应当系统引进智能化监测设备和先进工艺技术，并通过构建专业数据库对施工全过程进行数据采集与分析应用。还需积极与安全评估机构建立战略合作，推动技术资源和风险信息的互通共享，持续开展安全技术的创新研发。通过构建这种预防为主、科技驱动的安全管理模式，能够显著降低施工现场各类风险隐患，在保障工程按计划有序推进的同时，为建筑行业的可持续发展奠定坚实基础。

3. 构建协同化项目合作机制

面对日益激烈的行业竞争态势，建筑企业需充分认识到技术创新对维持市场竞争力的战略意义，并通过持续加大研发投入来强化自身核心优势。在承接大型复杂工程项目时，企业应当积极构建多方协作平台，通过资源共享与能力互补，既有效分散项目风险，又能在协同作业中提升整体施工效能。要充分利用计算机技术、大数据分析和信息化系统等现代科技手段，对各类资源进行系统性整合与智能化配置。同时，还应积极推进跨行业的技术交流与合作，通过引入不同领域的先进理念与解决方案，确保工程各环节的精细化管理，最终实现企业经济效益与社会效益的同步提升。

（三）建筑工程项目竣工后的全过程管理

1. 构建全过程质量验收体系

在建筑工程中推行全过程管理模式，促使质量管理体系向多元化、综合化方向发展。这一体系有机融合了当代先进管理理念

与信息化技术，形成了适应现代工程建设需要的全面质量管理框架。为加强项目竣工阶段的质量把控，需要建立系统化的现代质量验收机制，该机制涵盖对建筑材料、工艺工序及实体质量的抽样检测与综合评估。通过实施全过程质量监督，能够及时发现并整改不符合技术规范与设计要求的工程内容，有效消除质量隐患，确保工程实体安全可靠，最终达成质量验收的根本目标<sup>[5]</sup>。

2. 建立全过程动态评估机制

在完成建筑工程实体验收后，需对参与项目的施工单位、作业人员、管理团队及施工质量等关键要素展开系统化、多维度的综合评估。全过程管理框架下的工程考评，既要确保项目整体效益得到充分体现，也需验证各方是否严格遵循安全规范与精细化管理要求。考虑到建筑工程特有的复杂性和质量隐患的滞后性特征，评估体系应当设置不同时间维度的考核标准，包括短期验收指标和长期性能跟踪，并将具体责任明确到相应单位与个人。通过建立这种兼顾即时性与持续性的动态考评体系，不仅能提升验收结论的科学性与公正性，更有助于促进建筑工程全生命周期综合效益的持续优化。

四、结束语

综上所述，全过程管理模式通过其系统性的管理框架与动态化的控制手段，为现代建筑工程实现资源优化、质量提升与效益最大化提供了坚实保障。通过在前期的精细化管控、施工阶段的标准化作业与协同化合作，以及竣工阶段的系统化验收与动态化评估中有效贯彻该模式，能够显著克服现有管理弊端。展望未来，深化全过程管理的理论与实践研究，持续推动其与新技术、新理念的融合创新，对于促进建筑行业的高质量发展与可持续发展，具有至关重要且深远的战略意义。

参考文献

[1] 莫雪媚. 全过程项目管理模式在建筑工程项目管理中的应用 [J]. 建材发展导向 (上), 2022, 20(11): 132-134.  
[2] 张融. 浅谈全过程项目管理模式在建筑工程项目管理中的应用 [J]. 城镇建设, 2024(4): 262-264.  
[3] 丁涛, 袁明省. 全过程管理模式在建筑工程项目管理中的应用解析 [J]. 居业, 2019(10): 141, 143.  
[4] 方芳. 全过程管理模式在建筑工程项目管理中的应用 [J]. 城市开发, 2025(2): 127-129.  
[5] 崔青慧. 全过程管理在建筑工程项目管理中的应用研究 [J]. 技术与市场, 2021, 28(7): 191-192.

# 人工智能技术在城乡规划中的应用及影响

王晨

天津市城市规划设计研究总院有限公司, 天津 300190

DOI:10.61369/ETQM.2025120029

**摘 要：** 人工智能技术正在改变着城乡规划的传统范式，本文系统地分析了人工智能技术在城乡规划领域中的应用以及由此产生的全方位的影响。文章先介绍了人工智能技术和城乡规划的基本概念，然后分析了人工智能在土地利用、交通规划、环境评价等主要领域中的应用模式。研究进一步探讨了人工智能是如何靠数据来推动规划决策走向更为科学也更具动态性的，包括模拟预测和公众参与这些方面。本文也对技术运用过程中会遇到的数据质量问题、伦理隐私问题和技术依赖等问题进行了认真地考量。最后，针对未来的发展趋势，分别从技术发展、法规政策以及能力建设这三个方面提出了相应的对策建议，从而促进该领域朝着健康的方向持续发展。

**关 键 词：** 人工智能；城乡规划；智能决策；数据驱动；可持续发展策略

## Application and Influence of Artificial Intelligence Technology in Urban and Rural Planning

Wang Chen

Tianjin Urban Planning and Design Research Institute Co., LTD. Tianjin 300190

**Abstract：** Artificial intelligence (AI) is transforming traditional paradigms in urban and rural planning. This paper systematically examines AI applications in this field and their comprehensive impacts. It begins by introducing fundamental concepts of AI and urban-rural planning, then analyzes implementation models across key domains including land use optimization, transportation network design, and environmental assessment. The study further explores how AI leverages data to drive more scientific and dynamic decision-making processes, particularly through simulation predictions and public participation mechanisms. Critical considerations are given to data quality challenges, ethical privacy concerns, and technological dependency risks encountered during implementation. Finally, the paper proposes strategic recommendations for three key dimensions—technological advancement, regulatory frameworks, and capacity-building—to ensure sustainable development of this field.

**Keywords：** artificial intelligence; urban and rural planning; intelligent decision-making; data-driven; sustainable development strategy

### 引言

城乡规划是一门引导城乡空间有序发展、改善资源分配状况的一门综合性科学，并且也面临了愈加复杂的处境，伴随着世界范围内快速的城市化趋势，以往那种方式在面对海量数据的整理分析、方案的设计模拟以及对于各种动态变化的迅速应对等各个方面都开始流露出不足之处了。在这一背景下，以机器学习、深度学习为代表的 AI 技术因为具备很强的数据挖掘、模式识别以及智能化的判断能力而给城乡规划提供了一条全新的技术途径以及理论上的指导。人工智能的应用提高了规划编制的效率、准确性<sup>[1]</sup>。也从根本上促使规划由依靠经验到科学实证的转变。希望本文能够系统地整理人工智能技术应用在城乡规划各个核心环节中的应用场景，客观地对它所带来的正面和负面的影响做出评判，并且对其未来发展方向提出展望，从而为理解和想象人机协同条件下的智能规划未来做出一定的贡献。

### 一、人工智能技术基础与城乡规划概述

#### （一）人工智能技术的基本概念

人工智能属于计算机科学的一个分支，主要的目标就是让机

器模仿人类的智能行为，去完成像学习、推理、感知以及决策这些复杂的任务。从技术角度来看，机器学习是达成这个目的的主要途径，能让计算机系统依靠解析很多数据自动找出规律并且改善算法性能，而不必做显式的程序编码。深度学习属于机器学习



领域的重要分支，以深度神经网络来完成对高维、非结构化数据的处理工作，在图像识别与自然语言处理等各个方面的应用效果显著<sup>[2]</sup>。各种技术一起形成了支撑各个行业的基础，能从大量的信息里找出人眼不容易察觉到的复杂的模式和联系。

## （二）城乡规划的核心内容与目标

城乡规划是致力于统筹安排城乡土地空间资源、协调空间布局、改善生态环境、促进经济社会可持续发展的一门综合性学科。主要工作是国土空间格局、土地使用性质确定、基础设施及公服设施安排、交通系统组织、历史文化遗产保护延续。

规划的终极目的就是创造安全、健康、宜居、高效以及具有韧性的居住环境。而规划本身则是经济的发展、社会的公正、环境的保护等多种价值诉求下的综合性决策过程，在此过程中要考虑到各种不同的约束因素并且还要对未来可能发生的不确定的事情做出预测和规划。

## 二、人工智能在城乡规划中的主要应用领域

### （一）土地利用分析与优化配置

土地利用属于城乡规划的主要内容，人工智能技术可针对多时相的遥感影像及地理信息数据开展自动化解译和分类工作，快速精确地辨别出各类地物，也就是建成区，农田，林地，水体等地类的分布及其发生的变化情况。通过学习历史演变模式，算法可以预估未来土地扩张的方向和热点区域<sup>[3]</sup>。利用复杂的优化算法以及约束模型来协助规划者开展土地资源的最优调配。本系统会考虑经济收益、生态效益以及社会效益等诸多因素来产生不同的土地使用方式，并且分析出不同土地使用模式带来的影响，进而给合理土地利用方案的确定提供数据支持。

### （二）城市交通规划与智能管理

人工智能应用在交通规划上极大提高了对复杂的交通系统了解程度并提高了交通系统的管理效率。从 gps、线圈、摄像头以及手机 app 中获得实时的交通流量信息，使用机器学习模型就可以准确判断交通堵塞的原因，并且可以短时间内预测路网未来一段时间内车流量及行驶速度的变化。根据上述预测，智能信号控制系统可以动态调整配时方案，提高路口的通行效率。从规划层面上讲，人工智能模型还能对新的交通政策、道路扩建或土地使用情况等对整个路网造成的长期影响进行模拟，并据此辅助决策者们评判不同的规划方案带来的交通效果，以免未来出现系统性的缺点。

### （三）环境评估与生态保护规划

人工智能给环境评定和生态维护带来新的分析手段，算法可以处理从卫星遥感，气象观测站以及各种传感器网络传回来的连续环境数据，从而对区域内空气，水体，热岛效应，噪声污染等情况实施精确的监测并予以评估。通过识别出对环境质量有影响的关键因素以及它们之间的关系来建立模型，可以在不同的发展情景下预测环境发生改变的情况<sup>[4]</sup>。生态保护上可以使用人工智能来找出生物多样性热点地区、生态系统的效用价值，并建立生态安全格局。它能对物种生境适宜度进行研究，模拟城市扩张造

成生态廊道被切割的现象，以此来决定生态保护红线和优先保护的地方，并保证生态系统保持完整、连贯的状态。

## 三、人工智能对城乡规划决策的支持作用

### （一）数据驱动的规划方案生成

人工智能技术给规划方案生成的方式带来了根本性的改变，使它由以经验为主导的推断转变为以数据为基础的推理<sup>[5]</sup>。规划师能够借助生成式设计工具，将规划目标、约束因素（法规）、地形、生态限制等、性能要求输入算法里去，从而自动探索大量的、人类设计师也许无法穷尽的设计可能性空间。算法可以产生许多满足基本约束的备选方案，并且会自动对这些备选方案的各项性能指标进行量化评估并排序，比如日照通风、可达性、经济密度、碳足迹等等。这种人机合作的方式极大地拓宽了创意范围，而且把决策依据放在全面又客观的性能数据上，有益于找出综合效益最好的规划方案。

### （二）模拟预测与动态评估

城乡规划属于一项对未来进行展望的工作，人工智能大大加强了规划的预见性和科学性。利用创建城市系统数字化双胞胎的方式结合多智能体模拟、系统动力学等算法手段，可以实现对于政策调控、重要建设项目开展以及外部环境（比如气候变暖情况、突发公共卫生事件）改变所带来的整个城市的复杂体系变化过程的仿真演示功能。这就使得规划不再是不可改变的一份静态终局图，而是可以迭代，可以调整的过程。规划师可以在方案正式投入实施之前，就对它可能会产生的社会影响、经济影响、环境影响等方面的影响做出事先的预估，并找出潜藏的风险点，再加以改进，进而提升方案的整体韧性与适应力，从而实现从一份静态的设计图向一个动态的过程转变。

### （三）公众参与协同规划支持

人工智能技术也给扩大公众参与的范围和深度带来了新办法，自然语言处理技术可以自动分析来自社交媒体、公众听证会、网上问卷之类的大量文本反馈信息，迅速找出市民关心的主要话题、情绪态度以及对政策的看法喜好，这样一来规划师就能轻松把脉民心声<sup>[6]</sup>。而且虚拟现实，增强现实技术配合 AI 产生的规划方案，可创建出沉浸在交互体验环境中，使不懂行的大众直观了解并感受到规划提议给他们的小区和生活造成的潜在变化，从而提供更加具体，具有建设意义的意见。这就有效地缩减了大众参与的门槛，促进了协同规划以及社区共治的达成。

## 四、人工智能应用的潜在挑战与风险

### （一）数据质量与模型可靠性问题

人工智能应用的基础是数据，其分析结果的可靠性和准确性很大程度上取决于输入数据的质量。规划领域中的数据常常存在来源多样、标准不一、精度差别大以及历史数据缺失等情况。低质量、存在偏倚或不具备代表性的数据会使模型的训练发生偏差，导致产生“垃圾进、垃圾出”的谬误从而误导规划决策<sup>[7]</sup>。模型



的“黑盒”性质也是明显的挑战之一，很多复杂的深度学习模型缺少解释性，不能清楚地阐明其决策逻辑和推理过程。规划师以及决策者对模型得出的结果产生怀疑，在需要承担很大风险时，模型是否可靠、是否有足够的透明度变得尤为重要。

### （二）伦理与隐私保护挑战

人工智能在规划上使用会产生严重道德以及隐私问题。大量搜集并分析城市数据，包含行人的出行路径、购物习惯以及交际状况等信息，会对市民的私人生活产生威胁。如果 anonymization 处理不好或者安全措施不力就有可能致使敏感信息的外泄。更加深层次的问题为算法公平性，如果训练数据中隐藏了历史的社会不公平或者空间歧视现象（比如一些社区没有受到足够的投资），那么算法很有可能会学到并扩大这些偏见，从而使得其生成出来的规划建议进一步地加强空间分异和不平等状态，这就违背了规划当中希望达成公正、平等价值的目的。

### （三）技术依赖与人力资源适配

过度依赖人工智能技术会产生新的风险。规划师专业判断力以及批判性思维会由于对技术的依赖被削弱，一旦发生模型失效或者遇到超出现有训练数据的“黑天鹅”，整个规划系统将会因为缺少传统经验的支持陷入危机之中。技术的应用给现有的规划教育以及从业人员都带来了一定的挑战，规划师要有一定的数字化素养和跨学科知识去理解和批判性使用 AI，并能与之协同工作<sup>[8]</sup>。目前我国的人才结构存在短缺，需要针对已经有的人员开展重新培训工作，同时还要将数据科学和规划理论融入高等教育领域之中来培育出符合智能时代发展规划的跨领域人才。

## 五、未来发展趋势与应对策略

### （一）智能规划技术的演进方向

未来，人工智能技术与城乡规划会往更深、更广泛的领域中发展下去，而技术进步也必将越来越重视模型透明性及解释能力，并研发出可以清楚地体现出来推断过程的算法来提高城市和农村规划人员对于模型信任度以及掌握情况的能力。生成式人工智能与强化学习结合将会创建出更智能、更有效的规划辅助设计系统。人工智能将会更加全方位地融合建筑信息模型、地理信息系统和物联网平台，进而推进真正的“城市信息模型”的建立，并形成从感知到分析再到决策最后回到反馈这样一个完整的智能

化闭环<sup>[9]</sup>。这样可以使得从宏观的战略规划到微观的设计都能够得到智能化的支持，并且能够推动自动化以及自适应的规划系统的产生。

### （二）政策与法规体系建设

要规范化人工智能的应用，就要建立与其相匹配的制度法规体系。政府应该规定城市规划数据采集、存储、共享、使用等方面的标准以及相关的法律法规，并划定好数据的所有权界限、隐私保护范围以及伦理审核程序，以此来保障数据能够被合乎法律地应用起来。同样，要形成人工智能规划算法的鉴定、考察和问责体系，保证算法做到公正，透明又可操控，明晰一旦算法抉择引发不好后果该由谁负责。出台相关的指导纲要和行业标准来引导人工智能技术往负责任、以人为本的方向发展。

### （三）能力建设与社会接受度提升

要应对未来的挑战，就要提升自己的能力，在规划院校中改革课程体系，加入数据科学，计算机编程，算法伦理等内容，培育一代“数据加强型”规划师。对在职规划师持续进行技术培训，提高数字技能以及和 AI 合作能力。提高社会的接纳度也是十分重要的<sup>[10]</sup>。应该采用公众教育、透明化的交流以及参与到设计中去的方式来向市民阐述人工智能如何被用在城市规划当中，有哪些好处以及缺陷。让老百姓知道技术不是要代替民主决策，而是为了给老百姓提供更好的信息工具，以减少疑虑、形成社会共识，营造人机协同的智能规划的社会氛围。

## 六、结语

人工智能的加入无疑给城乡规划学科以及实际工作带来了极大的创新力。依靠对数据驱动精准分析、动态仿真预估和提高民众参政的能力，让规划变得更加科学化、高效率并且更快速反应变化，进而革新传统规划方法。但是这种技术革命不是一帆风顺的，还存在着数据可靠性的挑战、伦理问题以及人才匹配等方面的难题。未来城乡规划的发展将会是人机协作、智能化提高的过程。也就是说不但要接纳新的科技手段，还应建立适合于法律条例、道德规范及人才结构，保证技术的应用始终有利于改善环境、推进公共利益、达成生态永续。这样，人工智能才可能成为推动城乡规划走向更加智慧未来的工具。

## 参考文献

- [1] 吕桂芬. 人工智能在乡村规划设计中的应用研究 [J]. 城市建筑, 2024, 21(22): 82-85.
- [2] 黄芸璟, 余辉, 余颖. 城乡规划全生命周期智能化探讨 [J]. 规划师, 2018, 34(11): 26-33.
- [3] 陈平. 城乡规划建设工程信息控制系统研究 [J]. 四川水泥, 2021, (02): 286-287.
- [4] 钮心毅. 数字化规划技术 [J]. 西部人居环境学刊, 2024, 39(03): 4.
- [5] 赵蔚. 城乡规划管理与政策 [J]. 城市规划学刊, 2021, (03): 123-124.
- [6] 丁理琦. 城乡规划中有效融合智能化与绿色理念的路径 [J]. 城市建设, 2025, (13): 71-73.
- [7] 史秉楠. 智能生态建筑设计在城乡规划中的应用 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(02): 254-255.
- [8] 陈亮. 城乡规划与智慧城市建设的大数据应用策略 [J]. 新型城镇化, 2025, (07): 60-63.
- [9] 韦胜. 城乡规划多场景智能辅助设计研究 [J]. 理想空间, 2023, (03): 82-85.
- [10] 方海云. 大数据时代城乡规划与智慧城市发展研究 [J]. 城市建筑空间, 2022, 29(S2): 68-69.

# 路基软土地基换填施工的沉降控制

朱剑贵

盐源县公路养护事业发展中心, 四川 凉山 615700

DOI:10.61369/ETQM.2025120030

**摘 要 :** 在公路路基工程建设中, 软土地基因自身承载力低、压缩性高的特性, 易导致路基出现沉降变形, 影响工程结构安全与使用寿命。换填施工作为处理软土地基的常用技术手段, 其沉降控制效果直接决定路基工程质量。本文从软土地基的基本特性与换填施工原理出发, 系统分析换填施工各环节中沉降控制的关键要点, 深入探讨分层换填、排水固结辅助、加筋增强等沉降控制技术的应用逻辑, 结合施工质量控制体系构建与工程实践案例, 提出一套适配路基软土地基换填施工的沉降控制方案, 为同类工程提供理论参考与实践借鉴。

**关 键 词 :** 路基工程; 软土地基; 换填施工; 沉降控制; 质量保障

## Settlement Control of Soft Ground Foundation Replacement Construction

Zhu Jianguai

Yuanxian County Road Maintenance Development Center, Liangshan, Sichuan 615700

**Abstract :** In highway subgrade engineering, soft soil exhibits low bearing capacity and high compressibility, which can easily lead to settlement deformation of the subgrade, compromising structural safety and service life. As a common technique for addressing soft soil foundations, the effectiveness of settlement control in replacement construction directly determines subgrade quality. This paper systematically analyzes key points of settlement control across various stages of replacement construction, starting from the fundamental characteristics of soft soil foundations and the principles of replacement construction. It explores the application logic of settlement control technologies such as layered replacement, drainage consolidation assistance, and reinforcement with steel bars. By integrating construction quality control system development and practical engineering cases, this study proposes a settlement control solution tailored for soft soil foundation replacement construction, providing theoretical references and practical guidance for similar projects.

**Keywords :** roadbed engineering; soft soil foundation; replacement construction; settlement control; quality assurance

## 引言

随着我国交通基础设施建设向复杂地质区域延伸, 软土地基路段的路基施工成为工程建设的重点与难点。软土地基由淤泥、淤泥质土、泥炭土等软弱土层构成, 这类土层具有天然含水量高、孔隙比大、抗剪强度低等特点, 在路基荷载作用下易产生长期且过量的沉降, 引发路基开裂、路面不平整、结构失稳等问题, 严重威胁交通通行安全。换填施工通过挖除路基范围内的软弱土层, 回填强度高、压缩性小的合格填料, 可有效改善地基受力状态, 提高地基承载力, 减少沉降变形。但换填施工过程中控制不好, 如填料选择不合理、压实度不足、分层厚度过大等, 仍会造成路基后期沉降。因此, 对路基软土地基换填施工沉降控制技术进行深入研究, 明确各个环节的控制标准与方法, 对提高路基工程质量, 保障工程的长期稳定性, 具有重要的现实意义。

## 一、软土地基特性与换填施工原理

### (一) 软土地基的核心特性

换填法 (Replacement Method) 又称换土法, 是将基础底面以下一定范围内的软弱土层挖除, 分层回填强度高、压缩性较低

且没有侵蚀性的砂、碎石、灰土等材料并压实的地基处理方法。该方法通过置换低承载力土层提高地基稳定性, 适用于淤泥、湿陷性黄土、杂填土等浅层地基处理, 处理厚度通常为 0.5 ~ 3m, 处理深度通常为 0.5 ~ 3m。还能消除膨胀土胀缩、湿陷性黄土湿陷及季节性冻土冻胀危害。软土地基的工程特性直接决定其沉降

风险，主要表现为以下三个方面：其一，高压缩性。由于软土颗粒间孔隙较大，而且孔隙水难以迅速排除，在路基荷载作用下，土颗粒将逐渐挤压孔隙，导致地基产生较大的压缩沉降，而且沉降过程持续时间长，分为瞬时沉降、固结沉降与次固结沉降三个阶段；其二，承载力低。软土的抗剪强度小，在天然状态下难以承受路基传递的荷载，极易发生剪切破坏，从而造成路基整体沉降或局部塌陷；三是触变性与流变性。软土在开挖、振动等扰动作用下结构容易破坏，抗剪强度急剧下降，具有触变特性；同时，在长期荷载作用下，软土流变发生缓慢变形，即使荷载没有超过极限承载力，也会随时间的发展产生不断的沉降。

### （二）换填施工的基本原理

换填施工的实质是“土质替换与受力优化”，通过将路基范围内的软弱土层挖除，替换为物理力学性能更优的填料，从根本上改善地基的承载条件与变形特性。其作用原理可概括为两点：一是荷载传递路径优化。合格的换填填料具有较高的强度与刚度，能够将路基上部荷载均匀传递至下卧稳定土层，避免荷载集中导致下卧层产生过量压缩；二是压缩变形量削减。<sup>[1]</sup>换填填料的压缩系数远小于软土，在相同荷载作用下，换填层自身的压缩沉降量显著降低，同时通过控制换填层的压实度，可减少填料颗粒间的孔隙，进一步抑制后期沉降。此外，换填施工还能消除软土的触变与流变隐患，降低地基在长期使用过程中的沉降风险。换填施工过程中，优质填料形成的稳定结构还能增强地基抗侧向变形能力，避免因路基侧向位移引发附加沉降。同时，合理的换填方案可适配不同气候与地质环境，比如在多雨地区，透水性好换填材料能减少雨水下渗对地基的影响，进一步保障地基长期承载稳定，为路基工程筑牢基础。<sup>[2]</sup>

## 二、换填施工各环节的沉降控制要点

### （一）施工前期准备阶段的沉降控制基础

施工前期准备是沉降控制的前提，需从勘察、方案设计与材料选型三方面筑牢基础。首先，详细勘察软土地基分布范围、厚度、物理力学参数（天然含水量、孔隙比、抗剪强度）与下卧层地质条件，明确换填深度与范围——如果勘察数据不准确，易造成换填深度不够，残留的软土层仍会诱发后期沉降；其次，制定换填施工专项方案，明确换填分层厚度、压实机械选型、压实遍数、检测标准等关键参数，方案需结合工程实际进行优化。<sup>[3]</sup>

### （二）软土开挖环节的沉降控制关键

软土开挖过程如果操作不当，容易扰动下卧层土体，破坏土体结构，造成下卧层承载力下降，后期沉降的风险增大。因此，在开挖环节应实行“分层开挖、快速换填”的原则。的原则：一是控制开挖分层厚度，根据软土厚度与开挖机械性能确定分层高度，避免单次开挖深度过大，导致基坑侧壁坍塌或下卧层受扰动；二是限定开挖范围，严格按照设计边界开挖，防止超挖或欠挖——超挖会增加填料用量，且若超挖区域未及时回填，易受雨水浸泡导致土体软化，欠挖则残留软土，引发沉降；三是缩短开挖与回填的间隔时间，软土开挖后，下卧层土体暴露于空气中，

易因含水量变化产生收缩或软化，需快速回填换填材料，减少土体扰动时间，保护下卧层结构稳定性。<sup>[4]</sup>

## 三、换填施工中沉降控制的具体技术措施

### （一）分层换填与递进压实技术

分层换填技术是控制换填层自身沉降的核心手段，其核心逻辑是通过“薄层多遍”的回填与压实方式，确保每一层填料都能达到设计压实度，减少填料颗粒间的孔隙。在实际应用中，需根据填料特性与压实机械性能动态调整分层厚度与压实遍数：例如，对于级配良好的碎石填料，采用20t振动压路机时，分层厚度可设为25~30cm，压实遍数控制在4~6遍；对于灰土填料，因灰土需经历灰土反应形成强度，分层厚度宜设为20~25cm，压实遍数增加至6~8遍，同时需在压实后及时覆盖养护，防止灰土失水影响强度形成。递进压实技术则是在分层压实的基础上，采用“先静压后振动”的压实顺序，先通过静压将填料颗粒初步排列整齐，减少颗粒间的空隙，再通过振动压实使颗粒进一步密实，提升换填层的整体密实度，降低后期压缩沉降量。<sup>[5]</sup>

### （二）排水固结辅助技术

软土地基中的孔隙水是导致固结沉降的主要因素，若换填施工过程中软土中的孔隙水无法及时排出，会导致换填层下方软土固结缓慢，引发后期沉降。因此，需结合排水固结辅助技术，加速软土排水固结：一是设置临时排水系统，在软土开挖前，在基坑周边设置排水沟与集水井，通过抽水降低地下水位，减少软土含水量，提高软土自身强度，同时避免开挖后基坑积水；二是在换填层底部铺设排水垫层，排水垫层可采用级配砂石或碎石，厚度通常为20~30cm，其作用是汇集下卧软土中的孔隙水，通过排水垫层将水排出路基范围，加速下卧软土的固结过程，减少固结沉降量；三是采用塑料排水板辅助排水，若软土厚度较大（2~3m），可在换填前在软土中插入塑料排水板，形成竖向排水通道，缩短孔隙水排出路径，加速软土固结，待软土沉降稳定后再进行换填施工，进一步降低后期沉降风险。

### （三）加筋增强技术

加筋增强技术通过在换填层中铺设土工合成材料（如土工格栅、土工布），增强换填层的整体性与抗变形能力，减少沉降变形。土工格栅的应用需注意以下要点：一是格栅选型，需根据换填层厚度与路基荷载选择具有相应抗拉强度的土工格栅，通常选用双向拉伸塑料土工格栅，其抗拉强度不低于20kN/m；二是铺设位置，土工格栅宜铺设在换填层的中上部，若换填层厚度较大（超过1.5m），可分层铺设，每层格栅间距不超过80cm，确保格栅能有效分散荷载，抑制换填层的侧向变形与竖向沉降；三是铺设工艺，土工格栅铺设时需拉直、绷紧，避免褶皱，相邻格栅的搭接长度不小于20cm，搭接处采用绑扎或焊接固定，确保格栅整体受力，同时在格栅上下层需铺设5~10cm厚的砂石保护层，防止格栅被填料颗粒刺破，影响使用效果。

## 四、换填施工沉降控制的质量控制体系

### （一）施工前质量控制

施工前质量控制需从人员、材料、设备三方面构建防线。人员方面，组织施工人员进行技术交底与培训，明确换填施工的沉降控制要点、操作规范与质量标准，考核合格后方可上岗，避免因人员操作不当导致质量问题；材料方面，建立换填材料进场检验制度，每批次材料进场后需检测其颗粒级配、含泥量、强度等指标，不合格材料严禁入场，同时对材料存储进行规范管理，防止砂石填料受雨水浸泡导致含水量超标，灰土填料受潮结块影响灰剂量；设备方面，对压实机械、开挖机械、检测设备进行检修与校准，确保设备性能稳定，检测数据准确，如振动压路机的振幅、频率需符合施工要求，压实度检测设备需定期校验，避免因设备问题影响压实质量与检测结果。

### （二）施工中质量控制

施工中质量控制需依托“工序验收”制度，实现全过程管控。一是建立工序交接检验流程，每道工序（如软土开挖、填料回填、压实）完成后，施工班组需先自检，自检合格后报监理单位验收，验收通过后方可进入下道工序，杜绝不合格工序进入后续施工；二是加强关键环节旁站监督，对填料压实、换填深度控制等关键环节，监理人员需全程旁站，记录施工参数（如分层厚度、压实遍数、压实机械型号），及时纠正违规操作；三是开展平行检测，监理单位需对施工单位的检测结果进行平行检测，检测频率不低于施工单位检测频率的10%，确保检测数据真实可靠，若平行检测发现压实度不达标，需责令施工单位返工处理，直至合格。

### （三）施工后质量控制

施工后质量控制需聚焦沉降监测与后期评估。一方面，持续开展沉降监测，根据监测数据绘制沉降曲线，分析沉降趋势，判断路基是否达到稳定状态，若沉降未稳定，需延长监测时间，并采取补充措施（如超载预压）加速沉降；另一方面，对换填施工质量进行后期评估，结合沉降监测数据、现场检测结果与工程使用情况，评估换填施工的沉降控制效果，总结经验教训，为后续同类工程提供参考。同时，建立质量追溯体系，将施工过程中的技术交底记录、材料检验报告、工序验收记录、监测数据等整理归档，若后期出现沉降问题，可通过追溯体系查找原因，明确责任。

## 五、结论

本文通过对路基软土地基换填施工沉降控制的研究，得出以下结论：其一，软土地基的高压缩性、低承载力是导致路基沉降的根本原因，换填施工通过替换软弱土层，可有效改善地基受力状态，但其沉降控制需贯穿施工全过程；其二，换填施工各环节均存在沉降控制要点，施工前期需做好勘察与方案设计，开挖环节需避免土体扰动，回填压实环节需控制分层厚度与压实质量，顶部处理需加强界面衔接；其三，分层换填、排水固结、加筋增强与信息化监测等技术措施，可从不同维度提升沉降控制效果，联合应用可实现协同增效；其四，构建“施工前—施工中—施工后”的质量控制体系，是保障沉降控制效果的关键，需通过人员培训、材料检验、工序验收与沉降监测，确保施工质量达标。

## 参考文献

- [1] 尤慧敏. 论软土地基处理技术在公路路基设计中的应用[J]. 产品可靠性报告, 2025, (06): 137-138.
- [2] 弓文俊. 软土地基施工技术在道路工程路基施工中的应用研究[J]. 居业, 2025, (05): 64-66.
- [3] 陈永康, 吴明珠. 软土地基处理技术在路基工程中的应用研究[J]. 工程机械与维修, 2025, (05): 41-43.
- [4] 赵宇泽. 铁路路基结构下软土地基处理技术研究[J]. 现代盐化工, 2025, 52(01): 60-62.
- [5] 骆天明. 路基施工中软土地基施工技术运用分析[J]. 低碳世界, 2024, 14(09): 166-168.



# 砌体结构基层上安装岩棉板施工工艺浅谈

李智, 王洵

中国一冶集团有限公司, 湖北 武汉 430081

DOI:10.61369/ETQM.2025120031

**摘 要 :** 随着外墙保温技术的不断发展, 岩棉作为一种比较成熟的绿色 A 级防火外保温材料始终在建筑市场发挥着不可替代的作用。岩棉外保温材料主要包含岩棉板和岩棉条。加气混凝土砌块, 是一种性能优异且广泛应用的绿色环保建筑材料, 是通过高温高压蒸汽养护制成的多孔硅酸盐制品。加气混凝土砌块广泛应用于高层建筑的内外非承重墙体。针对建筑外墙外保温较常用的岩棉板使用时间久可能导致脱落的问题, 本文将对相关施工工艺技术进行一个整合, 重点针对砌体结构上岩棉板易脱落问题提出相应措施。

**关 键 词 :** 岩棉板薄抹灰; 砌体结构; 岩棉板; 外墙外保温

## On the construction Technology of Installing Rock Wool board on the Base of Masonry Structure

Li Zhi, Wang Xun

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

**Abstract :** With the continuous development of exterior wall insulation technology, rock wool, as a mature green Class A fire-resistant external thermal insulation material, has consistently played an irreplaceable role in the construction market. Rock wool external thermal insulation materials primarily include rock wool boards and rock wool strips. Aerated concrete blocks, a high-performance and widely used green and environmentally friendly building material, are porous silicate products manufactured through high-temperature and high-pressure steam curing. Aerated concrete blocks are extensively applied in the non-load-bearing internal and external walls of high-rise buildings. Addressing the issue of potential detachment of commonly used rock wool boards in external wall insulation over extended periods, this paper consolidates relevant construction techniques and focuses on proposing measures to mitigate the problem of rock wool board detachment on masonry structures.

**Keywords :** thin plastering with rock wool board; masonry structure; rock wool board; external wall insulation

### 引言

在绿色发展的推动下, 建筑节能技术也在不断完善, 外墙保温材料也在一直推陈出新, 随着建筑节能和防火要求标准的提高, 外墙外保温系统已经成为了降低建筑能耗的重要手段。相比外墙内保温, 外保温具有更高的节能效率, 节省室内空间, 保护建筑结构, 长期经济效益更优等诸多优点。在设计角度应优先考虑使用外保温。

考虑到防火和环保要求, 岩棉作为取代石棉的新型材料, 目前是外墙保温首选材料, 岩棉具有 A (A1) 级防火性能、绿色环保及稳定性强的特点。随着外墙使用年限增大, 岩棉板脱落的情况时常发生, 高空外墙体脱落影响恶劣, 甚至会危害人身安全。岩棉板脱落并非单一安装质量不过关, 是多方原因造成的, 主要原因在于基层锚固不牢和岩棉板吸水增重。

加气混凝土砌块, 通常也被称为“加气块”或“AAC 砌块”, 是一种性能优异且广泛应用的绿色环保建筑材料。它不属于传统的烧砖, 而是通过高温高压蒸汽养护制成的多孔硅酸盐制品。加气混凝土砌块广泛应用于高层建筑的内外非承重墙体。其内部含有大量均匀而细小的封闭气孔, 孔隙率高达 70%–80%, 因此体积密度仅为普通混凝土的 1/4、粘土砖的 1/3。其强度相对混凝土外墙强度低且容易破坏, 而相关研究表明外墙脱落情况更多发生在岩棉板基层为砌体的结构上。

一、岩棉板保温外墙施工材料

岩棉外保温材料主要包含岩棉板和岩棉条，其中岩棉板尺寸更大，保温性能更好，岩棉条是将岩棉板按照一定距离切割后翻转使用，岩棉条尺寸小，因纤维结构变向具有抗拉性能更好、不规则墙面施工更加灵活的特点。但是岩棉板因施工缝更少，施工效率更高，相比于岩棉条应用更加广泛。

因岩棉和石棉结构很相似，如果不注意辨别往往会将两者混淆。石棉严重危害身体健康而岩棉板无毒、无害、无污染、无放射性，属绿色环保节能建材。

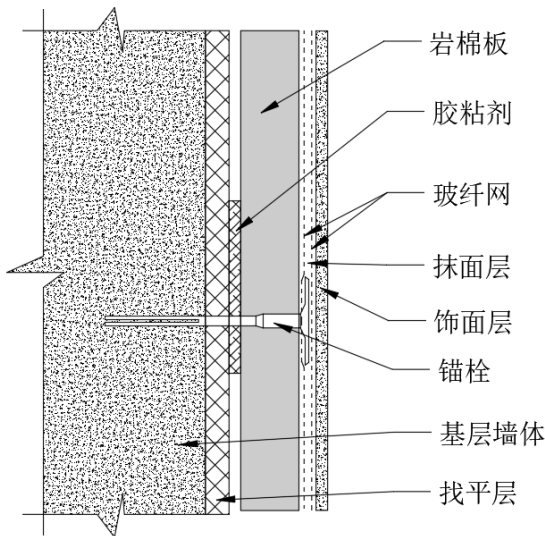
岩棉板作为外墙保温首选材料且具有以下特征：

- （一）具有优异的防火功能，够达到 A1 级别防火要求。
- （二）因岩棉板为多孔结构岩棉板具有良好的隔声降噪效果。
- （三）在无机保温材料中导热系数相对较低，导热系数  $\leq 0.0040\text{W}(\text{m}\cdot\text{K})$ 。
- （四）使用寿命最长，通过优质选材，规范施工，定期维护，岩棉板使用寿命可达 50 年。

二、岩棉板固定方式

（一）岩棉板锚盘压网双网固定方式

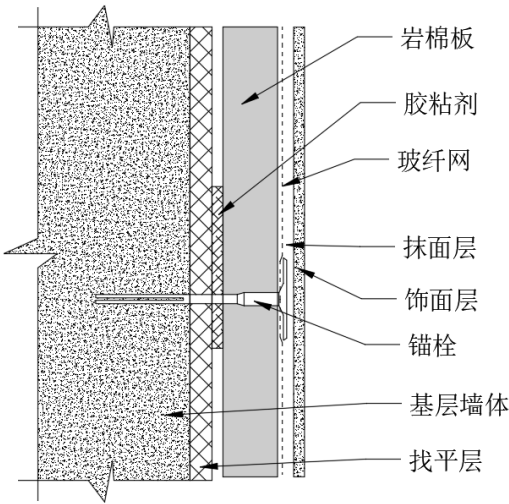
安装于砌体基层上的岩棉板外保温宜优先选用锚盘压网双网构造，相比于单网构造双网构造抹面层多一层玻纤网会使得抹灰质量更好，平整度更好并能减少抹面层开裂可能，避免了单网构造因锚栓带来的外观不平整缺陷，同时增加了饰面层的美观性。具体构造如图：



岩棉板锚盘压网双网固定

（二）岩棉板锚盘压网单网固定方式

岩棉板锚盘压网单网固定的方式施工工序少，相对节省预算成本，但抹面层会因为锚栓影响导致平整度较差。具体构造如图：



岩棉板锚盘压网单网固定

三、施工材料

（一）岩棉板

选用合格岩棉板，根据规范 GB/T25975-2018，选用岩棉板酸度系数应  $> 1.8$ ，导热系数  $[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$  (平均温度  $25^{\circ}\text{C}$ )  $\leq 0.04$ ，燃烧性能应为 A(A1)。岩棉板外观尺寸需满足下表要求：

岩棉板尺寸和密度允许偏差	
长度 (mm)	+10, -3
宽度 (mm)	+5, -3
厚度 (mm)	$\pm 3$
直角偏离度 (mm/m)	$\leq 5$
密度 (kg/mm)	$\pm 10\%$

（二）粘胶剂

在粘胶剂使用前应按照 JGJ/T110-2017《建筑工程饰面砖粘接强度检验标准》对其进行现场检验，抗拉强度平均值不得小于  $0.3\text{MPa}$ ，使用过程中粘胶剂要在 1.5 小时内从加水搅拌到使用完成。鉴于外墙保温材料脱落频发，粘胶剂的使用时间和有效粘接面积应严格控制。

（三）锚栓

锚栓在很大程度上决定岩棉板安装的紧固程度。锚栓应选用合格耐久的产品，并严格安装规范要求安装。锚栓不宜使用再生塑料，钢制件需要有防锈处理。锚栓抗拉承载力应进行现场检验，根据不同墙体有不同承载力要求，应按标准 JG/T 366《外墙保温用锚栓》进行检测并符合标准 JGJ/T480-2019 的规定。

锚盘的选用直径不应小于  $60\text{mm}$ ，用于混凝土基层外墙体的锚栓有效锚固深度不应小于  $25\text{mm}$ ，实际使用下限为 6 个 /  $\text{m}^2$ 。

（四）玻纤网

通常玻纤网的规格是按单位面积质量划分的，用于岩棉板外墙保温系统的玻纤网单位面积质量需不应低于  $160\text{g}/\text{m}^2$ 。当使用双层玻纤网时，面层玻纤网进行搭接，底层玻纤网进行拼接，搭接宽度不应小于  $100\text{mm}$ 。

## 四、施工工艺

### （一）基层处理

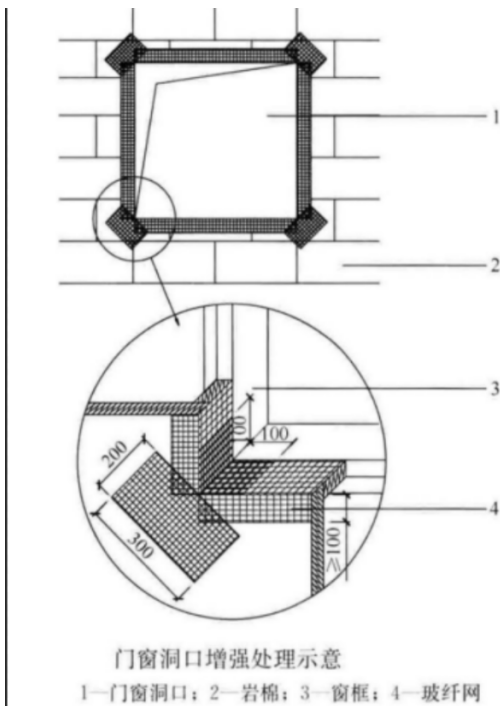
施工前基层应保证干净、整洁。根据验收规范，墙面平整度需 $\leq 4\text{mm}/2\text{m}$ ，当墙体偏差不满足要求时，可以使用角磨机磨光，并用1:3水泥砂浆进行找平。当基层墙体表面平整度满足要求时可以取消找平层。

### （二）放线定位

测量放线工作前，需注意图纸细节，测量放线工作应该和节点部位岩棉板排版工作同时进行，根据图纸设计好门窗、洞口等节点处尺寸。避免在节点安装岩棉板时造成碎料拼接，错缝不符合要求。

### （三）岩棉板排布

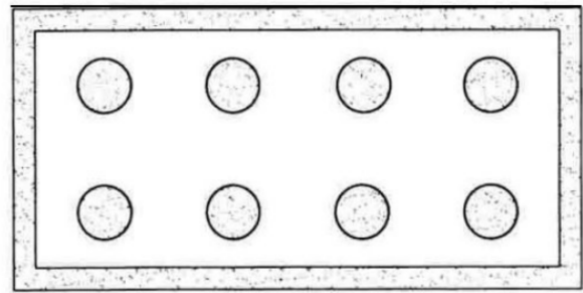
岩棉板的铺设应采用水平顺砌的方式粘贴，竖缝应逐行错开，错开尺寸不宜小于200mm，相互错开的岩棉条间隙需小于20mm，并用聚氨酯发泡胶进行封堵。在粘贴过程中用靠尺和拖线板检查安装垂直度和平整度，门窗洞口四个侧边的外转角需要安装包角件，包角条或双包网。为了避免玻纤网干搭界，需要在四角粘贴45度的200mm\*300mm的玻纤网进行防开裂处理。



在岩棉板安装的起始位置可以安装经过防腐处理的金属托架，金属托架既可以对岩棉板保温系统起始端做包边保护，同时可以起到定位作用。托架应采用镀锌螺钉固定在墙面上，螺钉间距应不大于300mm，托架之间应留3mm间距。

### （四）胶粘剂配备

不同于岩棉条的受力特征岩棉板主要靠锚栓固定，但是胶粘剂粘接效果关系到岩棉板平整度和垂直度，因此也需要重点控制，按要求岩棉板有效粘接面积需保证不低于50%，可采用点框法进行粘接。



点框法粘接示意图

### （五）锚栓选用与安装

岩棉板的固定方式主要以锚栓固定为主粘接固定为辅，锚栓在岩棉板的整个使用期间内，对整个安全起到非常重要的作用。锚栓不宜使用再生塑料，钢制件需要有防锈处理。

锚盘的选用直径不应小于60mm，用于混凝土基层外墙体的锚栓有效锚固深度不应小于25mm，出于构造安全考虑，600mm\*1200mm的岩棉板上至少使用4个锚栓，实际使用下限为6个/ $\text{m}^2$ 。

应该在前一道工序结束24小时后，进行锚栓安装。钻孔深度应该大于锚固深度10mm。当基层墙体为砌块时，可以使用不带冲击功能的普通电钻。采用单层和双层玻纤网构造时，锚盘应压住底层玻纤网。

### （六）抹面层施工和饰面层施工

当使用双层玻纤网时，面层玻纤网进行搭接，底层玻纤网进行拼接，搭接宽度不应小于100mm。

岩棉外墙保温系统是一个整体功能结构，在各个细部构成都十分重要。根据规范 JGJ/T480-2019抹面层的厚度有相关要求：

1. 设置双层玻纤网时，抹面层厚度宜在5mm-7mm之间。
2. 设置单层玻纤网时，抹面层厚度宜在3mm-5mm之间。

外饰面的施工和验收主要依据 JGJT29《建筑涂饰工程施工及验收规程》。

### （七）注意要点

1. 砌体外墙施工时应该严格控制砖砌体水平度和平整度，根据验收规范，墙面平整度需 $\leq 4\text{mm}/2\text{m}$ 。

2. 蒸压加气混凝土砌块墙体强度等级不应低于 A5.0级，避免内外墙砌体砖混用。

3. 为了避免砌体墙遭到破坏，砌体墙体钻孔时禁止使用冲击钻等震动式开孔装置。

4. 应采用完整的砌体砖避免锚钉安装在砌体补浆和边缘部位。

## 五、质量控制

岩棉板外保温工程工艺复杂，控制点多，材料进场时需进行严格把关，在施工过程中进行精细化管控，施工过程中按要求进行隐蔽工程验收和检验批验收，施工完成后进行分项验收，需符合 GB50411及其它相关标准。在检验批划分时应该以施工流程为

依据，按岩棉板面积 1000 m<sup>2</sup>划分为一个检验批。

## 六、安全措施

岩棉板外保温施工涉及到高处作业、临时用电安全、粉尘控制、动火作业管理等安全问题。

1. 外保温施工属于高处作业，外脚手应该验收合格，采用吊篮施工时，吊篮检测必须符合要求，作业面积需 $\geq 0.8\text{ m}^2$ ，防护栏杆需要 $\geq 1.2\text{ m}$ 。作业人员需系挂双钩安全带、佩戴安全帽、穿戴防滑鞋，并禁止因赶工期交叉作业。

2. 电工属于特种人员需持证上岗，电动工具避免破损老化，电动工具线路应避免与岩棉板摩擦接触破损导致漏电。

3. 在岩棉板外保温施工过程中，为避免工人直接接触岩棉纤维、粘胶剂等材料，需按要求做好防护措施。

必须佩戴 N95/KN95 级别防尘口罩，并至少在每四个小时更换滤芯，必须佩戴全封闭式护目镜防止纤维或碎屑进入眼部，需

穿戴长袖，扎好裤脚袖口防止纤维进入，佩戴防切割手套防止手部划伤。

岩棉板切割时建议采用湿法切割，也可以采用带有吸尘装置的切割工具，施工区域需保证通风。

4. 岩棉虽然不燃，但是涉及到切割、打磨作业时，需开具动火作业证，并清除周边 10 米内可燃物。

## 七、结语

岩棉板薄抹灰外墙保温系统施工时作业高度高，施工工艺细节复杂，过程质量监管困难，涉及机械材料多，岩棉板重量重，材料质量良莠不齐，在施工过程中只有从各个细节严格把关才能保证质量可靠。在砌体外墙安装岩棉板时应该尤为注意锚钉是否安装牢固，粘接面是否清洁合格。处理好岩棉板薄抹灰外墙保温系统多个结构面之间的连接关系是控制其质量的关键。

## 参考文献

- [1] 何鑫. 常见建筑保温隔热材料的组成及性能分析 [J]. 砖瓦. 2023.(8).
- [2] 汪思迪. 粘贴保温板外保温体系分析：以设计视角看空鼓、开裂、脱落的过程 [J]. 新材料与新技术. 2025.
- [3] 吴梁凤. 岩棉板外墙保温施工技术 [J]. 石材. 2024.(1).
- [4] JGJ/T480-2019, 岩棉薄抹灰外墙外保温工程技术标准 [S].
- [5] GB/T25975-2018, 建筑外墙外保温用岩棉制品 [S].
- [6] GB/50411-2019, 建筑节能工程验收规范 [S].
- [7] JGJ80-2016, 建筑施工高处作业安全技术规范 [S].



# 建筑工程造价中关于动态管理与成本优化控制探究

黄昆

中山岐江新城建设开发有限公司, 广东 中山 528400

DOI:10.61369/ETQM.2025120034

**摘 要 :** 文章基于建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析的主线, 梳理项目全过程中的目标、流程、数据与责任之间的失配, 指出管理边界模糊、预算基准不稳、数据滞后、变更签证失控、采购与合同衔接不紧、进度与成本脱节、信息化碎片化以及绩效与激励约束不匹配等共性问题。研究建议建立分层分解与滚动校准目标体系, 夯实设计阶段成本基准与风险预案, 构建实时采集与阈值驱动预警, 优化变更签证前置管控与快速审批, 实施分类采购与协同谈判合同策略, 推进进度成本一体化与资源平衡, 实现系统集成与标准统一的信息化支撑, 强化结果导向的激励约束。

**关 键 词 :** 建筑工程造价; 动态管理; 成本优化控制

## Exploration of Dynamic Management and Cost Optimization Control in Construction Project Costing

Huang Kun

Zhongshan Qijiang New Town Construction and Development Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong 528400

**Abstract :** Based on the main thread of analyzing dynamic management and cost optimization control in construction project costing, this article reviews the mismatches among objectives, processes, data, and responsibilities throughout the entire project lifecycle. It identifies common issues such as ambiguous management boundaries, unstable budget benchmarks, data lag, uncontrolled change orders, poor integration between procurement and contracts, misalignment between progress and costs, fragmented informatization, and mismatched performance with incentive and restraint mechanisms. The study recommends establishing a hierarchical and rolling calibration objective system, solidifying cost benchmarks and risk response plans during the design phase, constructing real-time data collection and threshold-driven early warning mechanisms, optimizing pre-control and rapid approval of change orders, implementing categorized procurement and collaborative negotiation contract strategies, promoting integrated progress-cost management and resource balancing, achieving system integration and standardized informatization support, and strengthening result-oriented incentive and restraint mechanisms.

**Keywords :** construction project costing; dynamic management; cost optimization control

建筑工程领域在市场波动、要素价格变化与交付周期压力叠加的背景下, 造价管理由静态核算逐步转向动态管控。文章以建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析为核心, 提出可操作的制度与流程优化建议, 勾勒以目标牵引、数据赋能与激励闭环为特征的改进框架, 为工程建设主体提升动态管理能力与成本优化控制水平提供可落地的参考。

### 一、建筑工程造价的动态管理与成本优化控制存在的问题

#### (一) 目标分解不清导致动态控制缺乏方向

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析显示, 目标分解不清首先体现在公司层面的总体成本目标与项目层面的具体控制点未能逐级细化, 导致执行层难以把握重点。第一, 年度与阶段性目标未与专业与工序产生清晰映射, 缺少对时间、责任与资源的明确对应, 现场团队难以据此进行滚动校准<sup>[1]</sup>。第二, 设计

限额、采购降本、施工实耗等关键维度之间缺少逻辑关联, 目标口径不统一, 形成分散的行动导向。第三, 节点目标与过程目标脱节, 缺乏从启动到收尾的连续性与可追踪性, 造成偏差出现后难以及时纠偏。第四, 信息化平台未内嵌目标分解的规则与阈值, 无法对达成路径进行过程提示与预警, 管理活动缺少数据支点。第五, 绩效考核未与目标分解一致, 激励约束偏重结果而忽视过程, 团队对目标的重要性与可操作性认知不足。

#### (二) 预算基准不稳导致后续控制失真

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析表明, 预算基

准是全过程控制的准绳，一旦不稳，后续控制将出现持续失真。第一，设计阶段对限额的把握不严，预算基准未能有效约束方案深度与材料选型，导致后续阶段频繁调整<sup>[2]</sup>。第二，市场价格波动与供应环境变化的影响未被充分反映，预算口径与采购落地存在明显偏差。第三，清单划分与计量规则不统一，给比对与跟踪带来困难，使动态管理缺少稳定参照物。第四，风险项目识别不充分，未在预算中预留合理弹性空间，遇到变化时只能被动修正。第五，预算与合同条款衔接松散，预算基准对合同价格、调整机制与结算规则的传导不足。第六，预算版本管理不严，更新时间与审批流程脱节，现场与后台使用不同版本，造成执行混乱。

### （三）过程数据滞后导致预警不敏锐

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析发现，过程数据一旦滞后，预警就会失去敏感度，纠偏窗口迅速缩小。第一，现场实耗与台账更新周期过长，数据传递链条冗长，导致成本变化难以及时反映<sup>[3]</sup>。第二，数据口径与编码标准不统一，不同系统之间存在重复录入与口径差异，影响对比分析。第三，责任归口不清，数据采集与审核职责分散，出现缺项与迟报。第四，偏差阈值设定不清晰，系统无法有效区分一般波动与异常波动，从而难以触发有效提醒。第五，数据展示缺少可视化与层级化，管理层难以快速识别关键问题与重大风险。第六，移动化采集不足，重要节点信息滞后上报，动态管理缺少实时依据。

### （四）变更签证失控导致成本偏离加剧

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析揭示，变更签证一旦失控，成本偏离将呈放大效应。第一，变更事前评审缺位，未对技术必要性与成本影响进行同步审查，导致事后博弈加剧<sup>[4]</sup>。第二，责任界面不清，现场与后台分工模糊，资料取证标准不统一，造成签证质量参差。第三，审批链条冗长，时限不明，快速处理机制缺失，小额与常规事项占用大量时间，拖延施工节奏。第四，影像与实测资料不完整，形成主观化争议，影响定价与结算。第五，变更台账不规范，版本混乱，节点信息不连贯，给动态管理的跟踪带来障碍。第六，变更与合同条款衔接弱，价格调整方式、计价规则与风险分担不明确，影响议价与落实。

### （五）采购与合同管控薄弱导致价格优势难以固化

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析指出，采购与合同如果缺少系统化策略，阶段价格优势就难以转化为项目全周期收益。第一，市场研判不足，采购时点选择与价格趋势脱节，错失锁价窗口<sup>[5]</sup>。第二，品类管理粗放，关键材料与通用材料未实施差异化策略，议价能力分散。第三，招采流程重形式轻实质，评审侧重点与履约关键指标不匹配，导致后续控制困难。第四，合同条款缺少价格调整与风险共担安排，遇到外部变化时产生争议与不稳定。第五，供应商评价偏重价格，忽视质量、交付与协同能力，履约过程中增补与变更频发。第六，采购、合同与预算系统脱节，信息不对称导致计划反复调整。

### （六）进度与成本脱节导致资源配置低效

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析表明，进度与

成本一旦脱节，资源配置就会出现系统性低效。第一，进度网络计划与成本计划未一体编制，资源投入节奏与现金流安排不一致。第二，赶工与等待交替出现，机械与人员在不同阶段出现闲置或超负荷，推高管理成本。第三，进度调整未同步传导到采购与合同，导致材料供应与施工节拍错配。第四，关键线路识别不充分，资源优先级设置不合理，局部目标压过总体目标。第五，进度偏差反馈不及时，无法形成成本影响的即时测算，纠偏决策滞后。第六，分包与总包计划衔接不足，节点责任不清，一体化协调缺位。

### （七）信息化碎片化导致数据孤岛与重复劳动

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析发现，信息化系统碎片化是影响效率与准确性的突出瓶颈。第一，预算、合同、进度与结算系统相互独立，接口缺失，数据无法自动流转。第二，编码与指标标准不统一，跨系统对账工作量大，容易出现口径不一致。第三，移动化与现场采集工具分散，数据滞后与错漏频发。第四，权限与流程设置不合理，审批路径复杂，事务处理效率低。第五，报表生成依赖人工整合，延迟较大，难以支撑动态管理的时效性要求。

### （八）绩效与激励约束不匹配导致成本意识弱化

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析显示，绩效与激励约束如果不匹配，成本意识将被边缘化。第一，绩效指标未能覆盖成本、质量、进度与协同的综合目标，考核导向片面。第二，奖惩规则不清，兑现不及时，削弱团队对成本优化控制的信心。第三，岗位职责与目标不对齐，权责不等导致执行动力不足。第四，对过程改进与数据贡献的认可不足，忽视动态管理中的关键行为。第五，复盘与经验推广不成体系，改进成效难以沉淀。

## 二、建筑工程造价的动态管理与成本控制优化策略

### （一）建立分层分解与滚动校准的目标体系

建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析的对策应从目标入手，形成清晰可执行的牵引。第一，以公司、项目、专业三级分解为主线，将年度目标细化到关键工序与责任岗位，明确时间、资源与质量边界。第二，设置月度与节点滚动校准机制，对偏差进行及时识别与纠偏，确保目标与实际动态对齐。第三，统一目标口径与指标定义，使设计限额、采购降本、施工实耗与结算效率相互贯通。第四，依托信息化平台固化目标分解规则与预警阈值，为一线提供操作指引与过程提示。第五，将目标与预算、合同与进度计划一体联动，确保计划调整能够快速传导。第六，建立目标台账与版本管理，保持全员共享与同步更新。

### （二）夯实设计阶段的成本基准与风险预案

要稳住建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析的底盘，应在设计阶段形成坚实基准。第一，围绕限额开展方案比选与深化校核，使功能、质量与成本在方案层面达成平衡。第二，建立标准化做法与材料选型清单，将成本影响前置控制。第三，形成预算基准台账，固化清单、计量与口径，便于后续对比与跟

踪。第四，设置风险清单与应对策略，对价格波动、资源供应与技术变更等进行预案化安排。第五，组织设计、造价与采购协同审查，使预算基准与合同策略相互支撑。第六，明确基准变更规则与审批时限，确保调整有据可循。

**（三）构建实时采集与阈值驱动的偏差预警**

为提升建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析的敏捷性，需要建立贯通现场与管理端的预警体系。第一，推进现场日清与周度台账，确保实耗与进展及时上报。第二，统一编码与指标标准，打通预算、合同、进度与结算的数据口径。第三，明确数据采集与审核责任，设定时间要求与质量标准，减少缺项与迟报。第四，设置红黄灯阈值，对材料消耗、人工投入与进度偏差进行分级提示。第五，强化可视化看板与层级化报表，便于快速定位问题。第六，推广移动化采集工具，缩短数据传递链条。

**（四）优化变更签证的前置管控与快速审批**

围绕建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析，应把变更签证的管理前移并提速。第一，建立变更事前评审，技术与造价同步把关，明确成本影响与执行条件。第二，固化影像与实测取证标准，确保证据链完整可核验。第三，设置小额快速通道与明确时限，对常规事项简化流程。第四，完善变更台账与里程碑节点，保证信息连贯。第五，将变更规则嵌入合同条款，明确计价方式与风险分担。第六，强化设计与现场的协同响应，减少重复与无效变更。

**（五）实施分类采购与协同谈判的合同策略**

要把建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析落到实处，采购与合同必须协同发力。第一，基于品类特征实施差异化策略，对关键材料、通用材料与服务分别制定采购路径。第二，开展市场研判与价格监测，择机锁定价格。第三，优化评审侧重点，引入履约能力与协同表现，提升供应链稳定性。第四，合同中明确价格调整与风险共担规则，减少争议。第五，构建供应商分级管理与动态评价，形成优胜机制。第六，打通预算、采购与合同系统，实现计划与执行的同步。

**（六）推进进度成本一体化计划与资源平衡**

要强化建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析的执行力，需要以计划一体化统筹资源。第一，进度网络计划与成本计划同步编制，使资源投入、现金流与施工组织一致。第二，设置

资源平衡规则，减少赶工与等待的交替。第三，将进度调整快速传导到采购与合同，保证供应与施工节拍匹配。第四，聚焦关键线路，明确资源优先级，避免局部最优。第五，建立进度偏差的成本影响测算，支持及时纠偏。第六，强化总包与分包计划的接口管理，明确节点责任。

**（七）实现系统集成与标准统一的信息化支撑**

在建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析中，信息化是放大管理效能的关键支撑。第一，整合预算、合同、进度与结算系统，建立稳定的数据接口。第二，统一编码与指标标准，提升跨系统对账效率。第三，推广移动化与现场采集工具，提高数据时效与准确性。第四，优化权限与流程配置，压缩审批路径。第五，建设标准化报表与可视化看板，满足多层次决策需求。第六，沉淀历史数据与知识库，推动经验制度化。

**（八）强化绩效闭环与结果导向的激励约束**

为巩固建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析的成效，需要用绩效闭环凝聚共识与动力。第一，建立覆盖成本、质量、进度与协同的综合指标，确保考核导向一致。第二，明确奖惩规则与兑现节奏，增强可预期性。第三，权责与目标对齐，把关键岗位与关键目标绑定。第四，对过程改进与数据贡献给予认可，把动态管理行为纳入评价。第五，常态化复盘与经验推广，形成持续改进的机制。第六，完善跨部门协同的绩效分摊，减少本位主义。第七，加大培训与梯队建设投入，提升复合型造价管理能力。

**三、结论**

研究围绕建筑工程造价的动态管理与成本优化控制分析，形成了以目标牵引、流程提效、数据赋能与激励闭环为核心的改进框架。主要结论包括，目标分层分解与滚动校准是动态管理的基础，设计阶段的成本基准决定后续控制的稳定性，实时采集与阈值预警提升了纠偏的敏捷度，变更签证前置与提速是遏制偏离的关键，分类采购与合同协同可把阶段性价格优势固化成全周期收益，进度成本一体化确保资源配置与现金流的协调，信息化集成与标准统一为全过程提供一致的数据底座，绩效闭环将改进转化为持续行为。

**参考文献**

[1] 李春德. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制研究 [J]. 中国招标, 2025, (10): 146-148.  
[2] 侯媛媛, 孙鲁楠, 任泽俭. 建筑工程项目造价动态管理存在问题及解决策略分析 [J]. 中华建设, 2025, (10): 34-37.  
[3] 丁继辉. BIM 技术在建筑工程造价动态管理中的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (09): 96-98.  
[4] 陆爱羽. 建筑工程造价动态管理及有效策略探讨 [J]. 工程设计与设计, 2025, (17): 267-269.  
[5] 伍静静. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制 [J]. 中国住宅设施, 2025, (08): 206-208.

# 探析建筑施工现场文明施工管理

蓝维众

惠盟电力科技有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025120035

**摘 要：** 文章系统阐述了建筑工程中现场施工管理与文明施工的核心要义与实践路径。文章剖析了当前施工现场在秩序、技术、监理等方面存在的典型问题与潜在风险。针对这些问题，提出了一套完整的文明施工管理体系，涵盖了理念培育、制度构建、培训机制、方案制定及环境保护五大维度，旨在通过标准化的流程、明确的责任划分和持续的过程优化，为项目实现安全、高效、绿色的建设目标提供理论依据与实践指导。

**关 键 词：** 建筑施工现场；文明施工；管理

## Analysis of Civilized Construction Management at Building Construction Sites

Lan Weizhong

Huimeng Power Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract：** This article systematically elaborates on the core principles and practical approaches to on-site construction management and civilized construction in building engineering projects. It analyzes typical issues and potential risks in current construction sites concerning order, technology, supervision, and other aspects. In response to these challenges, a comprehensive civilized construction management system is proposed, encompassing five key dimensions: concept cultivation, institutional framework establishment, training mechanisms, plan formulation, and environmental protection. The system aims to provide theoretical foundations and practical guidance for achieving safe, efficient, and environmentally friendly construction objectives through standardized processes, clear responsibility delineation, and continuous process optimization.

**Keywords：** construction site; civilized construction; management

## 引言

传统的粗放式管理模式已难以适应现代工程建设的需要，尤其在保障施工安全、控制项目成本、提升工程质量及落实环境保护等方面面临严峻挑战。在此背景下，强化现场施工管理、全面推进文明施工，已成为提升企业核心竞争力、促进行业可持续发展的必然选择。文章旨在通过系统分析现场施工管理的必要性、当前存在的突出问题以及有效的管理措施，构建一个多层次、全方位的管理框架，为实现工程项目的综合效益最大化提供系统性思路与方法支撑。

## 一、现场施工管理的必要性与重要性

### （一）提升工程进度与施工质量的管控水平

在工程项目正式启动之前，便需系统性地完成整套现场施工管理方案的编制工作。该方案的核心在于，必须前瞻性地审视施工全流程所涵盖的各个环节，并精准预判各环节可能出现的各类难点与风险。值得注意的是，管理策略并非一成不变，它需要依据工程规模与复杂程度进行动态调整，针对不同施工阶段的特点设计相应的管理重点，以确保方案始终与现场实际高度契合。进入实质施工阶段后，各项作业必须坚决依据已审批的方案推进，确保执行过程不走样。这种对计划的严格遵从，是推动工程按预定节奏推进、并保障最终产出品质的关键驱动力。当每一个独立

的施工环节都能达到既定的质量标准时，这些优质环节的累积效应便自然构筑起项目整体的质量大厦。

### （二）保障项目各方利益并实现协同增值

施工管理本质上是一项需要多方协作的系统工程，而非单方面行为。项目参与各方，包括建设单位、施工单位及监理单位等，均需在项目全过程中积极协同。从前期管理预案与标准体系的构建，到现场作业人员的具体落实，每一个环节都是高质量完成工程建设的根本前提。各方在项目承担着不同的职责与定位，无论是在方案制定、过程执行还是质量监督方面，都发挥着不可或缺的作用。当每一个管理环节都能够精准、高效地落地执行时，其综合效益将在项目交付时得到充分体现。一个能够高效推进且品质达标的工程项目，本身就是对各方核心利益的有力保



障。例如，工期的有效控制能够直接减少时间成本，而质量的稳定则显著降低了后期维护与返工的费用。这种成本结构的优化，最终将转化为参与各方实际利润的提升，从而真正形成互利共赢的良好局面<sup>[1]</sup>。

### （三）强化现场管理对综合效能的提升作用

在工程项目中建立并运行一套标准化的管理体系，其首要目标是确保所有现场操作人员的安全与健康，并在此基础上通过优化流程来压缩工期。这种对效率的追求，直接转化为成本的节约与项目整体收益的提高。若能对每个独立的施工工序进行效率分析与优化，即使微小的改进也能通过累积效应，对项目整体工作效能的提升产生巨大推动作用。一套健全的管理体系所带来的价值，远不止于效率的单一维度。它通过前瞻性的风险识别与预案，系统性地规避了施工中可能出现的各类障碍与不确定性。同时，该体系通过明确权责、规范流程，为项目管理各阶段及现场各工种的工作都建立了清晰的标准与路径，从而在根本上为工作效率的持续提升提供了机制保障。

## 二、建筑施工现场文明施工管理存在的问题

### （一）施工现场存在的典型问题分析

施工场地环境具有高度的复杂性与动态性，其中潜藏的安全风险因素往往十分突出。实现有效的现场管理，需要对作业人员、机械物资的存放及工艺方法等关键要素进行系统性协调，以此维持作业环境的有序与规范。然而，部分项目现场因管理措施缺失或执行不力，常出现秩序紊乱的局面，且现场团队往往缺乏有效识别与处理这些管理缺陷的能力。由于缺乏一套系统、科学的管理机制作为指导与约束，施工人员的具体操作易偏离既定的技术规范与安全要求。与此同时，设备与建筑材料随意堆放、布局失当的现象也普遍存在，这进一步引发了不同施工工序之间的冲突与干扰。上述问题的交织叠加，直接导致现场安全事件屡有发生。此类状况不仅严重阻碍了工程建设的正常推进，还可能引发更为严重的安全事故，最终给项目带来显著的经济损失与负面影响<sup>[2]</sup>。

### （二）技术能力与管理短板带来的质量风险

建筑工程对技术应用及人员专业素养均提出了较高标准，这些要素直接关系到工程实施的最终成效。然而，施工现场的人力资源配置往往呈现多元化特点，许多作业人员的技能水平与实际经验，难以完全达到现行技术规范与质量要求。这种能力与岗位之间的差距，容易在实际操作中转化为具体的技术偏差与工艺缺陷。部分项目在技术管理层面存在明显薄弱环节，未能建立系统化、标准化的监督流程，也缺乏对技术实施质量进行持续跟踪与闭环核查的机制。在此环境下，现场违规操作、工艺不达标、工序混乱等现象时有发生，进而对整体施工质量形成持续的负面影响。此外，由于人员岗前培训与技能认证机制不够健全，未能充分发挥其在提升人员素质与筛选合格作业人员方面的应有作用，使得施工质量从源头上难以得到稳定与可靠的控制。

### （三）工程监理环节存在的突出问题

工程建设包含众多紧密衔接的工序，监理工作的核心价值在

于确保每一环节均能得到有效管控。尤其在技术标准严、作业环境复杂的项目中，监理机制对保障工程品质、提升建设效率具有关键作用，能显著降低各类质量与安全风险。然而，部分项目主体对监理功能的重要性认识不足，未能赋予其应有的权威与独立性。即便设置了监理程序，也常因形式化严重而难以落地——表现为现场监理人员配置不足，或部分监理人员专业能力欠缺，导致监督体系无法发挥实质性作用。在此类情况下，即使施工现场暴露出安全隐患或工艺缺陷，监理系统也难以及时识别并有效处置，致使问题积压甚至恶化。更严重的是，少数监理人员因职业素养缺失，出现履职不到位、数据造假甚至徇私舞弊等违规行为。这类现象不仅直接削弱了监理体系的公信力，更对整个工程的质量安全体系构成严重威胁<sup>[3]</sup>。

## 三、建筑施工现场文明施工的管理的有效措施

### （一）强化文明施工理念与责任体系

在人员准入环节，施工企业需设立严格的招聘考核标准，确保新入职人员具备基本职业素养。正式上岗前，应组织系统的文明施工专项培训，帮助其全面理解文明施工规范。对于已在岗的施工人员，同样需要定期开展持续性培训教育，不断巩固和更新其专业知识。培训内容应涵盖建筑材料与机具的规范存放、设备的定期保养与安全操作流程等实操要点，同时着重阐释文明施工对工程质量、安全效益及企业形象的重要价值，从而在思想层面提升全体人员的自觉意识。项目管理层应结合工程特点与现场条件，制定具有针对性的文明施工管理制度，将责任逐级分解至各部门及具体岗位，形成清晰的责任网络。在此基础上，配套建立有效的激励与约束机制：对文明施工表现突出的个人或班组给予物质或荣誉奖励；对违反规定的行为则按章处罚，维护制度的严肃性。项目管理团队自身更需率先垂范，通过加强现场巡查与动态监督，对施工各环节进行全过程管控，及时发现并纠正不文明施工现象，为文明施工的常态化实施提供有力保障。

### （二）构建系统化文明施工管理体系

文明施工的有效实施，必须依托于科学完善的管理制度作为根本保障。针对当前部分项目管理规范尚不健全的现状，需持续对现有制度进行动态优化与细化完善。项目管理层在推进文明施工过程中，应当切实履行管理职责，严格依据规章制度开展常态化巡查与专项检查工作。在施工现场关键区域，需统一设置标准化、可视化的文明施工标识与安全警示牌，通过持续的环境提示强化作业人员的文明施工意识。同时，应根据场地实际条件对各类施工物资进行分区规划管理，明确划定建筑材料堆放区、机械设备停放区及建筑垃圾临时储存区，确保场区内运输通道与消防通道始终保持畅通状态。此外，必须特别重视施工现场用电安全管理，所有配电装置与线路敷设均应符合行业安全技术规范，并由专业电工进行定期维护与检测，从源头上消除因违规用电可能引发的安全隐患<sup>[4]</sup>。

### （三）构建系统化培训机制以提升文明施工素养

文明施工的有效推进，既要求管理人员严格遵循规章制度履

行管理职责，也需要施工人员按照标准规范进行规范作业。为全面提升管理人员与施工人员的文明施工意识和专业技能，必须建立系统化、周期性的培训机制，通过持续的教育引导实现整体素养的优化与进步。在培训内容设置上，应针对不同岗位设置差异化课程：管理人员侧重学习现代管理方法与现场协调技巧，施工人员则聚焦于规范操作流程与专项工艺技能。所有培训中需反复强调文明施工的核心价值与实际意义，使参训人员从思想认知到实操能力全面契合文明施工标准。这种系统化的素质提升，有助于显著减少因人为因素引发的施工质量问题，有效控制现场安全风险，防范可能由此导致的财产损失。为确保培训成效，首先需要制定结构完整的培训计划，明确参训对象、教学内容、时间安排与实施方式，保障培训的全面覆盖与有效落实。其次，培训安排应紧密结合项目实际进度与现场条件，善于运用正在发生的施工案例进行情景教学，增强培训的针对性与现实指导价值<sup>[5]</sup>。

（四）构建科学有效的文明施工管理方案形成机制

文明施工管理方案通过明确具体的管理要求和操作规程，为施工现场提供系统性的指引与规范约束。因此，方案的制定必须注重与实际工况的契合度，确保其具备针对性、客观依据及可操作性。在方案编制初期，应以项目文明施工管理目标为基础导向，将方案内容与现有的管理制度、检查标准及考核机制紧密衔接，形成环环相扣、协同运作的管理体系。编制过程中，需全面掌握与工程相关的技术规范和专业规程，尤其应重视施工材料的验收标准、工艺样板的实施要求以及关键工序的参数控制等专业内容。这些技术性较强的部分，应由具备相应资质和实践经验的专业人员负责制定，以保证方案的技术严谨性。通过跨部门评审、专家论证等方式，对其中所提出的管理措施、技术路径及资

源配置进行多维度评判，确保整套方案在专业上是可靠的，在实施层面是合理且高效的，从而为后续的现场执行奠定坚实基础。

（五）构建科学有效的环境保护实施体系

环境保护作为文明施工管理的核心环节，需要在施工全过程中建立系统化的运行机制。该机制的构建应立足施工现场及周边区域的环境特征，制定具有针对性的保护策略与实施方案。以施工现场常见的扬尘控制为例，可采取多维度综合治理方式：对场内运输道路与作业区实施定期洒水降尘，有效抑制粉尘扩散；对水泥、砂石等易产生扬尘的建材实行分类苫盖或密闭存储；同时在施工边界区域增设防尘网或利用既有绿化带形成生态屏障，多措并举降低扬尘对周边环境的污染。此外，施工噪声管控同样需要系统治理。通过科学规划高噪声工序的作业时段，避开居民休息时间；在噪声源周边设置隔音围挡或移动式声屏障；加强对机械设备的定期检修与润滑保养，从源头上降低运行噪声；必要时还可通过工艺优化与设备升级，实现噪声的主动控制。

四、结束语

综上所述，现场施工与文明施工管理是一项贯穿项目全生命周期的系统工程，其有效性直接关系到工程建设的成败。通过前瞻性的管理策划、动态化的过程控制以及系统性的问题防治，不仅能够显著提升施工效率与工程质量，更能有效保障项目参与各方的根本利益，实现经济、社会与环境效益的协同共赢。未来，将文明施工理念深度融入日常管理的每一个环节，从而推动项目管理水平向标准化、精益化和绿色化的方向不断迈进，为行业的高质量发展奠定坚实基础。

参考文献

[1] 高宁. 建筑施工现场文明施工管理研究 [J]. 林区教学, 2019(12): 45-47.  
[2] 杨志东. 建筑施工现场文明施工管理探讨 [J]. 建筑·建材·装饰, 2022(10): 43-45.  
[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] 陈海军. 建筑施工现场文明施工管理研究 [J]. 建材与装饰, 2019(29): 151-152.  
[5] 闫文娟. 基于建筑施工现场文明施工管理的研究 [J]. 建材发展导向 (上), 2021, 19(5): 45-46.

# 分析机械制造及自动化中的节能高效设计理念

杨展雄

三技精密技术（广东）股份有限公司，广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ETQM.2025120036

**摘 要：** 在工业智能化转型背景下，机械制造及自动化技术成为提升生产效率、降低能耗的核心驱动力。文章以马来西亚某纺织集团染厂盐车盐站项目为研究对象，分析传统染色加盐工艺存在的劳动强度大等问题，阐述机械制造及自动化中节能高效设计理念的实践路径。通过优化工艺方案等措施，项目实现四台盐车为 36 台染色机全自动加盐，显著降低人工成本与能耗，提升生产效率与染色质量稳定性。

**关 键 词：** 机械制造；自动化；节能高效；设计理念

## Analysis of Energy-Efficient Design Concepts in Mechanical Manufacturing and Automation

Yang Zhanxiong

Sanji Precision Technology (Guangdong) Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

**Abstract：** Against the backdrop of industrial intelligent transformation, mechanical manufacturing and automation technologies have emerged as the core drivers for enhancing production efficiency and reducing energy consumption. This article takes the salt truck and salt station project of a textile group's dyeing plant in Malaysia as the research object, analyzing issues such as high labor intensity in traditional dyeing salt addition processes, and elucidating the practical pathways for implementing energy-efficient design concepts in mechanical manufacturing and automation. Through measures such as optimizing process plans, the project achieved fully automated salt addition for 36 dyeing machines using four salt trucks, significantly reducing labor costs and energy consumption while improving production efficiency and the stability of dyeing quality.

**Keywords：** mechanical manufacturing; automation; energy efficiency; design concept

## 引言

传统制造业生产模式普遍存在能耗高、生产效率低、人工依赖性强等问题，难以满足现代工业高质量发展需求。在纺织染色领域，工业盐作为关键助染剂，其添加工艺的合理性直接影响染色效果与生产效率。马来西亚某纺织集团染厂原有加盐方式，或依赖人工搬运袋装盐，工人劳动强度大且效率低下；或采用集中溶盐管道输送，改变染缸浴比影响染色质量。文章以此项目为切入点，深入探讨机械制造及自动化中节能高效设计理念的重要性、实践难题及解决措施，为行业同类项目提供理论与实践借鉴。

## 一、机械制造及自动化节能理念的重要性

### （一）契合低碳趋势，降低环境足迹

从环境维度出发，节能理念与全球低碳发展趋势高度契合。机械制造及自动化设备的高能耗不仅增加能源消耗，还可能伴随额外的环境污染排放。该染厂项目中，传统集中溶盐工艺需消耗大量水资源溶解工业盐，且改变染缸浴比可能导致染色返工，间接增加能源与物料消耗；自动化系统通过精确控制加盐量与溶解过程，减少水资源浪费与返工率，降低生产过程的环境足迹。

### （二）引领技术升级，推动集约转型

从行业发展视角而言，节能理念是机械制造及自动化技术创

新的核心导向。随着市场竞争加剧与技术迭代加速，仅依靠“高投入、高产出”的传统模式已难以为继，节能高效设计成为企业提升核心竞争力的关键。该盐车盐站项目通过融合工业电脑、RFID 识别、无线通讯等技术，实现生产流程的智能化与节能化，为纺织行业乃至整个机械制造领域的技术升级提供范例，推动行业从“粗放型”向“集约型”发展转型<sup>[1]</sup>。

## 二、机械制造及自动化中的节能高效设计的难题

### （一）第三方系统数据对接与兼容性难题

在机械制造及自动化项目中，第三方系统的数据对接与兼容



性是节能高效设计面临的首要难题，尤其在多设备协同的复杂生产场景中表现更为突出。以马来西亚纺织集团染厂盐车盐站项目为例，客户的中控系统由第三方提供，该系统存储着各染色机台的生产任务、用盐量等核心数据，而自动化盐车盐站系统的正常运行需实时获取这些数据以制定下料与运输计划。然而，第三方中控系统的数据库结构、数据接口标准往往不对外公开，且不同厂商的系统存在技术壁垒，导致盐站控制系统难以直接提取所需数据。若无法实现数据的有效对接，自动化系统将无法精准匹配各机台的用盐需求，可能出现下料过量导致物料浪费、或下料不足影响染色质量的问题，违背节能高效设计理念。

### （二）多设备协同调度与排产优化难题

机械制造及自动化系统的节能高效运行，依赖于多设备间的协同调度与科学排产，而在设备数量固定、生产任务动态变化的场景中，这一难题尤为突出。在染厂盐车盐站项目中，客户中控系统仅将染色任务分配到各机台，未规定机台的生产先后顺序，而盐车数量固定（试运行阶段仅 4 台），需服务 36 台染色机，如何通过合理调度实现盐车、AGV、盐站的高效协同，成为节能高效设计的重要挑战。传统的人工调度方式难以应对动态变化的生产任务，若盐车调度无序，可能出现部分机台等待加盐导致生产停滞，而部分盐车闲置的情况，造成设备资源浪费与生产效率降低。同时，排产方案需兼顾盐站的下料效率、AGV 的运输路径、盐车的充电需求等多因素<sup>[2]</sup>。

### （三）独立设备功能集成与信号转换难题

在机械制造及自动化项目中，现场原有独立设备的功能集成与信号转换，是实现节能高效设计的另一大难题。染厂盐车盐站项目中，各染色机的控制器同样由第三方配套提供，这些控制器作为独立设备，仅负责完成染色的所有动作，且仅对外提供开关量的 IO 信号，不支持标准化的通讯协议。而自动化盐车系统需与染色机控制器实时交互信息——例如，盐车需获取机台“是否需要加盐”“加盐是否完成”的信号，机台需接收盐车“是否到达”“是否开始下料”的反馈，以实现精准加盐与生产协同。

### （四）无线通讯网络覆盖与稳定性难题

无线通讯网络是机械制造及自动化系统实现多设备协同、数据实时传输的基础，其覆盖范围与稳定性直接影响系统的节能高效运行，尤其在大型厂房等复杂环境中，无线通讯难题更为突出。染厂盐车盐站项目的工作区域涵盖盐站、36 台染色机台、AGV 运输路径、盐车待命区等多个区域，需搭建覆盖整个工作区域的无线 WIFI 网，以实现盐站与盐车、盐车与机台、盐站与 AGV 之间的实时数据交互。然而，厂房内存在大量金属设备（如染色机、管道），这些设备会对无线信号产生遮挡与干扰，导致部分区域出现信号盲区或信号衰减，影响数据传输的稳定性。例如，若盐车在信号盲区无法与盐站通讯，将无法接收下料任务或反馈任务完成情况，导致调度中断；AGV 在运输过程中若因信号问题迷失路径，将延误盐车运输，影响生产效率<sup>[3]</sup>。

### （五）移动设备能源管理与续航保障难题

在包含移动设备（如 AGV、自动化盐车）的机械制造及自动化系统中，设备的能源管理与续航保障是实现节能高效设计的

关键难题。染厂盐车盐站项目中，盐车采用直流电机驱动，由电池供电，且需通过无线充电方式在待命区补充电量，如何平衡盐车的工作需求与能源消耗，确保设备续航稳定，成为项目设计的重要挑战。一方面，盐车的电池容量有限，而单次任务需完成从待命区到盐站接盐、再到指定机台加盐、最后返回待命区的全流程，若电池续航不足，将导致盐车在任务途中电量耗尽，无法完成运输与加盐任务，影响生产连续性。另一方面，无线充电技术的效率与稳定性直接影响盐车的能源补充速度——若充电效率低，盐车需长时间停留待命区，导致可用设备数量减少，影响调度效率；若充电过程不稳定，可能导致电池寿命缩短，增加设备维护成本，违背节能高效理念。

## 三、机械制造及自动化中的节能高效设计的解决措施

### （一）开发定制化数据接口，实现第三方系统兼容对接

针对第三方系统数据对接与兼容性难题，需通过开发定制化数据接口、建立标准化数据交互协议，实现自动化系统与第三方中控系统的高效兼容对接，为节能高效设计奠定数据基础。在马来西亚染厂盐车盐站项目中，项目团队首先与第三方中控系统厂商沟通，获取数据库的基础结构信息（如数据表字段、数据类型），若厂商无法提供完整接口，则通过逆向工程技术分析数据库的访问逻辑，开发定制化的数据提取模块。该模块采用中间件技术，一端连接第三方中控系统的数据库，另一端与盐站控制系统的工业电脑对接，通过标准化的数据格式（如 JSON、XML）将机台用盐量、生产任务等核心数据实时传输至盐站系统<sup>[4]</sup>。

### （二）构建智能排产算法，优化多设备协同调度

为解决多设备协同调度与排产优化难题，需构建基于实时生产数据的智能排产算法，结合设备状态与任务优先级，实现盐车、AGV、盐站的全局协同优化，提升系统运行效率。在染厂盐车盐站项目中，项目团队开发了一套集成于盐站控制系统的智能排产系统，该系统通过以下步骤实现优化调度：首先，实时采集各染色机台的任务状态（如是否待加盐、用盐量、任务紧急程度）、盐车状态（如当前位置、载盐量、电量）、AGV 状态（如运输任务、空闲状态）等数据，建立动态数据库；其次，基于“任务优先级 + 设备利用率”双重目标构建排产算法——对于紧急染色任务（如订单交付期临近），优先调度盐车与 AGV；对于非紧急任务，结合盐车运输路径优化，减少 AGV 空驶距离，降低能耗。

### （三）增加通讯转换模块，实现独立设备功能集成

针对独立设备功能集成与信号转换难题，需通过增加标准化的通讯转换模块，将第三方设备的开关量信号转换为可交互的通讯信号，实现自动化系统与原有设备的无缝集成。在染厂盐车盐站项目中，项目团队采取以下解决方案，在每台染色机的第三方控制器上加装工业交换机与 RS485 通讯模块，其中通讯模块具备开关量 - 数字量转换功能，可将控制器输出的“需要加盐”“加盐完成”等开关量信号转换为数字信号，并通过 RS485 总线传输至交换机；其次，为每台染色机设定固定 IP 地址，将交换机接



入现场搭建的无线 WIFI 网，使盐车的无线接收终端能够通过 IP 地址精准定位并连接对应机台的控制器；最后，开发信号转换软件，在盐车控制系统中实现数字信号与控制指令的映射。为确保信号转换的准确性与稳定性，项目团队还在通讯模块中加入信号滤波功能，减少厂房内电磁干扰对信号传输的影响；同时，通过现场调试优化信号传输频率，避免数据拥堵。通过增加通讯转换模块与软件适配，成功实现盐车与第三方染色机控制器的实时交互，解决独立设备的功能集成难题，避免因信号不兼容导致的生产误差与物料浪费，提升自动化系统的可靠性与节能效果。

#### （四）优化无线通讯网络布局，提升信号覆盖与稳定性

为解决无线通讯网络覆盖与稳定性难题，需通过科学的网络布局设计、选用抗干扰设备、优化网络参数，构建覆盖全工作区域、稳定可靠的无线通讯环境，保障多设备数据交互需求。在染厂盐车盐站项目中，项目团队从以下三方面优化无线通讯网络：首先，进行详细的现场勘测，分析厂房内金属设备、管道的分布情况，识别信号遮挡区域，采用“多 AP（无线接入点）分布式布局”策略——在盐站、染色机台区域、AGV 运输路径沿线、盐车待命区等关键位置安装工业级无线 AP，确保 AP 覆盖范围相互重叠，消除信号盲区。同时，将 AP 安装在高处（如厂房顶部），减少金属设备对信号的遮挡，提升信号传输距离。其次，选用抗干扰能力强的无线设备，例如采用支持 5GHz 频段的工业级无线路由器与 AP，该频段相比 2.4GHz 频段受厂房内其他电子设备的干扰更小，且传输速率更高，能够满足多设备同时接入的数据传输需求。此外，在无线 AP 中开启“信道自动切换”功能，当某一信道出现干扰时，系统自动切换至干扰较小的信道，保障数据传输稳定性。

#### （五）设计智能能源管理系统，保障移动设备续航

针对移动设备能源管理与续航保障难题，需设计一套集电量监测、自动充电、智能调度于一体的能源管理系统，实现盐车电量的精准管控，确保设备持续稳定运行。在染厂盐车盐站项目中，项目团队从硬件升级与软件优化两方面提出解决方案：在硬件层面，为盐车配备高性能锂电池与高效无线充电模块——锂电池具备容量大、充放电效率高的特点，满足盐车单次长距离运输与多次加盐任务的电量需求；无线充电模块采用电磁感应式充电技术，充电效率可达 85% 以上，且支持盐车在待命区自动对位充电，无需人工干预，提升充电便捷性。在软件层面，开发智能能源管理模块，集成于盐站控制系统中。该模块通过盐车上的称重传感器与电量传感器，实时采集盐车的载盐量与剩余电量，并通过无线 WIFI 网传输至盐站电脑；系统根据盐车的电量状态与任务需求，制定动态充电策略——当盐车剩余电量低于 30% 且无紧急任务时，自动调度 AGV 将盐车送至待命区充电；当盐车电量低于 20% 时，无论是否有任务，强制安排充电，避免电量耗尽导致设备故障<sup>[5]</sup>。

### 四、结束语

综上所述，机械制造及自动化的节能高效设计，并非单纯追求技术先进，而是需结合实际生产场景，兼顾数据兼容性、设备协同性、通讯稳定性与能源可控性，实现“技术－生产－节能”的深度融合。未来，随着工业 4.0 技术的不断发展，人工智能、大数据、物联网等技术将为节能高效设计提供更多可能，推动机械制造及自动化行业向更智能、更低碳、更高效的方向发展。

### 参考文献

- 
- [1] 李伟杰. 分析机械制造及自动化中的节能高效设计理念 [J]. 建材与装饰, 2025, 21(27): 91-93.
- [2] 杨方正. 机械制造及自动化中的节能高效设计理念 [J]. 河南建材, 2020(1): 140.
- [3] 付明钊. 机械制造及自动化中的节能高效设计理念探析 [J]. 中国设备工程, 2021(15): 177-178.
- [4] 斯巧铭. 机械制造及自动化中的节能高效设计理念 [J]. 环球市场, 2019(36): 368.
- [5] 马松. 机械制造及自动化中的节能高效设计理念探析 [J]. 百科论坛电子杂志, 2021(21): 1104.

# 建筑工程技术管理中的控制要点与优化措施分析

李良平

中山金品达项目管理有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025120038

**摘 要：** 建筑工程技术管理以信息化与智能化技术为核心，构建高精度、强可控的动态监管体系，实现对施工全过程的实时数据捕捉与精准调控，确保质量、安全与进度目标的达成。控制要素涵盖施工强度管控、多方协同联动、进度与安全统筹等关键环节。优化策略则聚焦于完善组织体系、强化质量管控、创新技术应用、深化安全防线及材料全流程管理，通过系统化、精细化的管理手段，全面提升工程建设的质量、效率与可持续性。

**关 键 词：** 建筑工程技术管理；控制要点；优化措施

## Analysis of Key Control Points and Optimization Measures in Engineering Technical Management of Construction Projects

Li Liangping

Zhongshan Jinpinda Project Management Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract：** Construction engineering technology management centers on information and intelligent technologies to establish a highly precise and strongly controllable dynamic supervision system. This system enables real-time data capture and precise regulation throughout the entire construction process, ensuring the achievement of quality, safety, and schedule objectives. The control elements cover key aspects such as construction intensity management, multi-party collaboration and linkage, and integrated scheduling of progress and safety. Optimization strategies focus on improving organizational systems, strengthening quality control, innovating technology applications, deepening safety measures, and managing materials throughout their lifecycle. Through systematic and refined management approaches, the overall quality, efficiency, and sustainability of engineering construction are comprehensively enhanced.

**Keywords：** construction engineering technology management; control points; optimization measures

## 引言

随着建筑行业向集成化、绿色化与智能化方向快速发展，建筑工程技术管理已成为保障项目质量、提升施工效能与实现安全可控的核心支撑。现代建筑工程规模扩大、技术复杂度提高，对管理的精细化、系统化提出更高要求。在此背景下，技术管理不仅依托信息化手段实现全过程动态监控，更强调多部门、多环节的协同整合与风险预控。本文从技术管理的特点出发，系统分析其核心控制要素，并进一步提出组织优化、技术升级与流程细化等方面的策略，以期为提升建筑工程整体建设水平提供理论参考与实践指引。

## 一、建筑工程技术管理的特点

### （一）高精度与强可控性保障

以信息化计算机技术为核心支撑，可为建筑施工过程搭建全方位的动态监管体系，该体系能对施工环节的关键数据进行实时捕捉与同步上传，确保每一项数据都能快速、准确地反馈至管理终端，避免信息延迟或偏差；同时通过技术层面的精准调控，可将施工中可能出现的各类误差严格约束在预设的可控区间内，从根源上减少因技术偏差引发的问题，这种技术应用不仅能为施工人员与设备安全筑牢防护屏障，还能持续规范施工流程、把控关

键节点质量，最终确保建筑工程整体品质达到预设标准。

### （二）高水准技术与高效能作业

伴随科技成果在建筑领域的深度渗透，各类兼具便捷性、省力特性与节能优势的技术手段，为行业发展注入了强劲动力，比如挤压式钢筋连接工艺，其操作流程简便易懂，既能减少人力投入，又具备显著的节能效果，更关键的是在结构连接的可靠性与施工安全保障方面表现突出，大幅降低了传统连接方式的风险；此外，GPS 定位施工测控技术的应用彻底革新了传统工程测量模式，它不仅能提供高精度的测量数据以确保施工参数准确，还能显著提升作业效率、减少不必要的工期损耗，助力项目在预定时间

间内高效推进<sup>[1]</sup>。

### （三）绿色导向与智能赋能

随着建筑施工与安装工程朝着集成化方向深度演进，设计环节在整个建筑工程体系中的核心地位愈发凸显。相关研究表明，当前建筑项目普遍以绿色生态理念为核心导向，在场地选址阶段便将生态保护作为关键考量因素，同时对建筑材料的环保性能提出了明确且严格的标准，从源头践行可持续发展要求，这正是行业环保属性不断强化的直接体现。与此同时，为追求施工的精细化水平与作业效率，各类智能装备与系统已在施工现场得到广泛应用，如建筑机器人、智能测控设备等，显著提升了施工的精准度与实效性。

## 二、建筑工程技术管理中的控制要素

### （一）强化施工强度管控力度

建筑项目的类型存在差异，对应的施工强度也会呈现出不同特征，因此施工强度在项目全周期推进中始终占据关键地位。对于施工单位而言，必须对建筑项目的整体施工强度给予高度重视，不能一概而论。应结合具体项目的核心特点，比如工程规模、结构类型、施工环境等，制定针对性的施工强度监督与控制方案。在实际操作环节，需将各类施工要素，包括人员配置、设备调度、材料供应等，与设计图纸的要求进行精准匹配和管控。并且要通过多次核对、检验与校准，确认各项要素符合强度标准的精准度，以及管控措施的实际有效性，避免因强度把控不当引发问题<sup>[2]</sup>。

### （二）多方协同联动，凝聚执行合力

要推动技术管理工作在更广泛的范围内落地见效，离不开各个相关主体的紧密协作与支持。这一需求的核心原因在于，建筑施工工程本身具有内容繁杂、涉及层面广泛的特点。从前期规划到后期落地，每个关键环节的顺利推进都高度依赖不同部门、不同角色之间的无缝对接与高效配合，任何一方的脱节都可能影响整体进度。在具体实践层面，项目施工单位需主动加强与监理单位、设计单位的沟通协作力度。三方应建立常态化的联动机制，通过定期会商、信息共享等方式，将技术管理的要求和标准深度融入项目建设的全流程，确保各项工作按计划、高质量推进。施工单位应以系统性的培训为抓手，不仅要帮助施工人员掌握先进的专业技术和信息化工具的操作方法，还要通过团队协作类的实践活动，培养其集体意识和协作精神，为技术管理的全面推行奠定坚实的人才基础。

### （三）强化进度管控与物料统筹，筑牢安全施工底线

从建筑项目全周期建设的视角出发，进度管理是保障项目按时交付的关键环节，但在所有管理工作中，安全管理始终是不可逾越的核心前提。这是因为建筑施工行业本身具有高空作业多、重型设备多、交叉作业多的特点，安全是一切工作的基础。只有在彻底排除安全隐患、杜绝安全事故的前提下，项目才能稳定推进，最终实现预期的经济效益与社会效益。若忽视安全管理，即便短期内加快了进度，也可能因事故导致项目停工、成本激

增，反而得不偿失。因此，施工单位不能仅将目光聚焦于项目收益，更需将现场安全管理放在首位。要建立全流程的安全管控机制，确保每一道施工工序都经过安全评估，最大限度降低潜在风险<sup>[3]</sup>。

## 三、优化技术管理的策略

### （一）优化建筑工程技术管理组织体系，夯实管理基础

要推动建筑工程技术管理工作的优化与升级，首要任务是聚焦工程技术管理组织体系的健全与完善。建筑施工技术的水平直接决定了工程最终的质量等级，而一套科学、健全的管理组织体系，是保障施工技术稳定发挥、持续提升的核心支撑。缺乏合理的组织机制，即便拥有先进技术，也难以在实际施工中高效落地，甚至可能因管理混乱导致技术应用偏差。因此，必须高度重视建筑工程技术管理组织体系的搭建工作。关键在于明确责任划分，将技术管理的各项职责细化到具体的职能部门，再落实到每个岗位、每位工作人员，形成“事事有人管、人人有专责”的责任闭环，避免出现管理盲区或责任推诿的情况。由于建筑施工涉及的技术类型多样，不同技术环节的作业要求存在差异，对应的管理分工也需精准区分。这就需要推动各管理部门打破信息壁垒，建立常态化的沟通互动机制，在技术方案制定、现场执行监督、问题协同解决等环节加强协作配合，形成管理合力。同时，技术管理人员需强化细节意识，密切关注施工过程中的每一个技术节点，做好全流程的监督与管控<sup>[4]</sup>。

### （二）全面完善工程技术管理体系，筑牢质量管控根基

打造高质量的建筑工程技术管理工作，必须以一套完整、规范的管理体系作为根本前提。在实际推进建筑工程技术管理的过程中，核心任务之一就是持续完善技术管理的各项制度与流程，让管理工作有章可循、有据可依。其中，施工质量管控是技术管理体系的核心内容，需要结合项目的实际情况制定针对性的管控机制。这里的“实际情况”涵盖多个关键维度，包括施工所需原材料的质量标准与验收流程、施工图纸的技术参数与审核要求、一线施工人员的操作规范与能力要求，以及各项施工技术的应用条件与质量校验方法。只有覆盖这些核心环节，质量管控机制才能真正落地。在此基础上，还需通过全流程、全局性的管理模式，将质量管控责任细化分解到每个部门、每个岗位，确保从技术方案设计到现场施工落地的每一步，都有明确的责任人。同时，构建科学高效的责任追溯体系，一旦出现质量问题，能够快速定位问题源头、明确责任主体，既便于及时整改，也能形成有效约束，推动技术管理质量水平稳步提升。此外，在技术管理的所有环节中，都需始终将管理成效与工程品质作为核心衡量标准。

### （三）积极应用建筑工程创新技术，驱动施工效能升级

要实现建筑工程整体施工水平与作业效率的双重提升，关键在于合理且高效地运用创新型管理技术，并对传统建筑施工技术进行持续性优化迭代。在当前行业快速发展的背景下，建筑企业需建立市场技术动态监测机制，及时捕捉建筑行业前沿技术趋势

与市场应用动态。对于经过市场验证的先进技术，要给予高度关注并加快引入节奏，避免因技术滞后导致项目竞争力下降。引入新技术后，核心在于推动其快速、顺畅地落地到具体施工场景中。通过制定详细的技术应用方案、开展专项培训、配备适配设备等方式，确保新技术能够充分发挥优势，在提升施工精度、缩短工期的同时，保障工程达到高品质、高标准的建设要求。此外，建筑工程技术管理人员不仅要具备熟练运用新技术的能力，还需承担起技术传承与人才培养的责任。要注重企业内部后备技术力量的培育，通过“以老带新”“案例教学”“实操演练”等方式，帮助新人快速掌握新技术要点，形成稳定的技术人才梯队。稳定的技术人才梯队与持续的技术创新能力相结合，能够帮助企业在市场竞争中保持优势，不断提升项目盈利水平，为企业创造源源不断的经济效益，实现可持续发展。

**（四）深化建筑施工现场技术安全管控，守住工程安全红线**

在建筑工程从开工到竣工的全施工过程中，技术安全管理是不可或缺的关键环节，直接关系到施工人员的生命安全与项目的顺利推进。若要进一步提升现场安全管理的整体质量，不能仅停留在被动应对层面，而需从制度和流程上主动发力。核心举措之一是在施工筹备阶段就制定完善的现场安全保障方案，该方案需结合项目的施工环境、技术特点、作业流程等实际情况，明确安全管理的目标、责任分工、管控重点及应急措施。方案执行过程中，需始终将“安全预防”作为核心原则，通过提前排查风险、强化源头管控，最大限度避免安全事故的发生。例如，针对高空作业、电气操作、重型机械使用等高危环节，要提前制定专项防护措施；针对施工人员的不安全行为，要通过岗前培训、现场监督及时纠正，从根本上消除事故隐患。当现场技术安全管理落到实处，不仅能有效减少安全事故对工期的影响，还能保障施工环节的规范性与准确性，进而从基础层面提升建筑工程的整体施工质量，为项目最终验收交付提供坚实保障<sup>[5]</sup>。

**（五）优化施工现场材料全流程管控，保障工程建设质效**

要实现对施工现场材料的系统化、精细化管理，需从采购筹

备、质量筛选到现场存放等多个环节构建全流程管控体系，每一步都需精准发力。管理工作的第一步，是做好材料采购的前期规划。需结合项目施工图纸、进度计划及用料清单，科学测算材料采购预算，避免因预算偏差导致材料短缺或浪费；同时明确材料管理的具体目标，比如“降低材料损耗率 5%”“确保关键材料到货及时率 100%”等，让后续管理工作有明确方向。进入材料采购阶段，核心是严格把控材料质量关。采购人员需优先选择资质齐全、信誉良好的供应商，在签订采购合同时明确材料质量标准；材料到货后，必须联合质检部门按照规范流程进行抽样检测，重点核查材料的规格、性能、合格证明等是否符合项目要求，只有全部指标达标，才能允许进入施工现场，从源头保障工程施工质量。需根据材料的特性（如防潮、防晒、防腐蚀等）和施工现场的空间布局，规划合理的存放区域，避免不同类型材料混杂堆放影响使用。既要保证材料堆放不阻碍施工通道，确保现场作业顺畅；也要结合天气变化和材料属性做好养护工作，比如对钢筋进行防锈处理、对水泥进行防潮储存，以此延长材料使用寿命，维持材料原有性能，减少因材料损坏带来的成本浪费。

**四、结束语**

建筑工程技术管理作为现代建筑项目实施的重要保障，融合了信息化监控、绿色施工与智能装备等多重技术手段，呈现出高精度、高效率与高协同的典型特征。通过强化施工强度控制、推动多方协作、严守安全底线，并在组织体系、质量机制、技术创新、材料管理等方面持续优化，技术管理不仅有效提升了工程的品质与效率，也为行业可持续发展注入了强劲动力。未来，随着技术与管理模式的不断迭代，建筑工程技术管理必将在精细化、智能化与绿色化的道路上实现更深层次的突破与发展。

**参考文献**

[1] 谭玉姣, 张璨璨. 建筑工程技术管理中控制要点与优化措施探讨 [J]. 模型世界, 2024(22): 173-175.  
[2] 段远洋. 探讨建筑工程技术管理中控制要点与优化措施 [J]. 中国住宅设施, 2023(8): 87-89.  
[3] 邵瑞. 建筑工程技术管理中控制要点与优化措施 [J]. 建材发展导向 (上), 2021, 19(10): 105-106.  
[4] 江波. 建筑工程技术管理中控制要点与优化措施 [J]. 中国科技投资, 2021(2): 147-148.  
[5] 许俭俭. 浅析建筑工程技术管理中控制要点与优化措施 [J]. 建筑与装饰, 2021(17): 79-80.



# 加强建筑工程造价的动态管理以及成本优化

苏锦玲

广东翔顺建设集团有限公司，广东 云浮 527400

DOI:10.61369/ETQM.2025120041

**摘 要：** 文章系统探讨了建筑工程造价动态管理与成本优化控制的核心原则、现存问题及具体举措。剖析了当前行业在管理体制、管理手段及过程监控方面存在的普遍问题。针对这些问题，论文从材料管控、决策强化、设计优化、施工控制、变更管理及竣工结算六个关键阶段，提出了一套环环相扣的动态管理与成本优化实施路径，旨在为建筑企业提升造价管控水平、实现精益化成本管理提供理论参考与实践指导。

**关 键 词：** 建筑工程造价；动态管理；成本优化控制

## Strengthening Dynamic Management and Cost Optimization of Construction Project Costs

Su Jinling

Guangdong Xiangshun Construction Group Co., Ltd., Yunfu, Guangdong 527400

**Abstract：** The article systematically explores the core principles, existing problems, and specific measures for dynamic management and cost optimization control of construction project costs. It analyzes prevalent issues in the current industry concerning management systems, management tools, and process monitoring. In response to these problems, the paper proposes an interlocking implementation path for dynamic management and cost optimization across six key stages: material control, decision-making enhancement, design optimization, construction control, change management, and completion settlement. The aim is to provide theoretical references and practical guidance for construction enterprises to improve their cost control capabilities and achieve lean cost management.

**Keywords：** construction project cost; dynamic management; cost optimization control

### 引言

在竞争日益激烈、利润空间不断收窄的建筑市场环境中，工程造价管理与成本控制已成为决定建筑企业生存与发展的核心能力。传统的、静态的、事后核算式的成本管理模式的已难以应对现代工程项目规模大、周期长、技术复杂所带来的不确定性。因此，推动造价管理从事后核算向事中控制、事前预测转变，建立一套贯穿项目全生命周期、能够快速响应内外变化的动态管理与成本优化体系，不仅是提升项目投资效益的必然要求，更是建筑企业构筑核心竞争力、实现可持续发展的战略需要。文章正是在此背景下，对工程造价动态管理与成本控制进行系统性阐述与探讨。

### 一、建筑工程造价管理与成本控制的基本原则

#### （一）全过程造价管控

在建设工程中，造价管理与成本控制的目标不仅在于实现经济效益的最大化，还包括对人、材、机等各类资源的合理配置与高效利用。因此，要真正实现对工程造价的有效管理与成本的科学控制，就必须将造价管控工作全面覆盖工程建设的各个阶段，从项目决策、方案设计与施工实施及最终竣工验收，每一个环节都需落实相应的造价控制措施。在具体施工过程中，应持续将实际发生的成本数据与预先制定的计划目标进行比对，通过动态监控与及时纠偏，确保工程造价始终处于可控范围，从而实现全过

程、精细化的造价管理目标。

#### （二）全要素协同管控

在工程造价管理实践中，不能仅将视野局限于造价本身，还必须充分关注并协调影响工程成本的其他关键要素。诸如项目所在地的自然与社会环境、工程建设的质量标准、合同约定的工期进度以及现场施工安全状况等，均会直接或间接地作用于最终造价。因此，要实现科学有效的造价管控，就必须推动成本、质量、安全、环保与进度等多重目标的协同管理，形成统筹兼顾的整体管控机制。然而在实际操作中，许多管理者仍习惯于将直接施工费用作为管控核心，未能系统识别并应对其他要素可能引发的成本风险，这种单一视角往往导致造价控制效果大打折扣<sup>[1]</sup>。

### （三）全方位动态管理

建筑工程项目通常具有投资规模大、建设周期长的特点，为确保工程造价始终处于预定范围之内，必须实施覆盖各个环节的全方位、系统性管控。在众多影响造价的因素中，施工材料价格、人工成本及机械设备使用费用等是最容易出现波动的部分。尤其是建筑材料，其市场价格变动频繁、幅度显著，若不能对其费用变化进行及时识别与响应，将直接削弱整体造价控制的效果。因此，建议工程造价管理部门主动加强与采购、财务及市场调研等部门的跨部门协作，建立信息共享与联动机制，以便实时掌握建材市场的价格动态与发展趋势。通过提前预判和快速反应，才能制定出更具前瞻性、可行性的成本调控预案，从而保障工程造价管理工作在复杂环境中仍能稳步、有序推进。

## 二、建筑工程造价管理中存在的问题

### （一）成本管理体制不健全

尽管我国建筑企业的组织架构与管理模式不尽相同，且普遍设置了专门的造价管理部门，但在多数施工单位中，该部门通常隶属于技术部门管理，缺乏独立行使职能的权限，难以有效开展成本管控工作，实质上处于职能架空状态。另一方面，由于尚未建立起系统、科学的工程管理体系，项目工程款往往无法实现按期、足额支付，严重制约了造价管理实际功能的发挥，使其难以真正体现应有价值。这种局面进一步造成施工阶段造价动态管控的缺失，形成制约行业健康发展的恶性循环。此外，建筑市场整体管理秩序尚不完善，行业内不正当竞争现象较为突出。部分企业为获取项目，采取低价竞标策略，或与相关方合谋，通过恶意抬价、擅自变更施工方案等方式谋取利益，这些行为都极大干扰了正常的造价管理工作，使实际成本控制难以有效落实。

### （二）管理方式滞后与成本目标模糊

工程造价管理对建筑企业的经济效益具有重要影响，许多企业期望借助科学的造价控制来保障经营效益。然而在实际操作过程中，由于未能采用先进、系统的管理方法，也缺乏对工程造价全流程的有效跟踪与监控，致使管理工作推进迟缓、效率低下，整体管控水平难以提升，最终限制了造价管理实际价值的体现。同时，不少企业在制定成本管理计划时存在盲目性，片面强调低成本目标，却未能结合企业自身资源条件和市场环境进行综合研判，导致所制定的成本规划脱离实际、难以落地，成本控制结果与预期目标差距显著。此外，部分建筑企业尚未建立起有效的成本监督与考核机制，对执行过程缺乏动态反馈与约束，这也进一步削弱了成本管理的实效，直接影响企业的整体经济效益<sup>[2]</sup>。

### （三）全过程造价监控机制缺失

工程造价的管理水平，直接决定了最终的成本控制质量，这一管理本应贯穿于项目启动前的准备阶段、实际施工阶段乃至竣工结算的全周期。然而在当前实践中，造价管理人员往往难以对整个建设过程实施有效监控。造成这一困境的原因之一，在于造价管理人员的职权范围有限，难以对项目实施过程中的关键行为进行有效约束。例如，部分设计人员未基于经济与技术最优原则

开展设计，或现场施工人员未经充分论证擅自变更设计方案，此类行为均可能引发工期延误与成本超支，且超出造价人员的管控范围。另一方面，部分建筑企业存在不规范经营行为，有意通过虚高报价、不合理变更等方式抬高工程造价以谋取额外利润，这也进一步加剧了造价管理工作的执行难度，使全过程监控难以落到实处<sup>[3]</sup>。

## 三、加强工程造价动态管理与成本优化控制的举措

### （一）确立动态造价管控的核心要素

在建筑工程总造价构成中，材料成本通常占有较高比重，这决定了其应成为动态造价管控的关键环节。实施过程中，需严格依据设计文件与施工组织方案，结合当前市场行情对材料费用进行精准预估与动态调整。同时，应根据施工进度计划，灵活安排各类建筑材料的采购时间与进场顺序，最大限度减少因市场价格波动带来的成本风险。通过对材料采购节奏的优化调控，可有效规避施工期间材料价格异常变动对总造价造成的不利影响。建筑企业造价管理人员需要建立常态化市场调研机制，持续跟踪主要建材的价格走势，通过分析市场周期规律，科学预测价格变化趋势，从而提升采购决策的前瞻性与准确性。这种基于市场洞察的材料成本管控模式，不仅能够直接提升项目成本管理水平，还将为企业创造显著的经济效益，增强其在市场竞争中的可持续发展能力。

### （二）强化决策阶段的造价管控

在传统的工程管理模式中，决策阶段的造价管理工作常常未能得到足够重视，这种前期管控的缺失往往会对项目整体成本控制效果产生连锁性影响。面对新的市场环境与发展要求，建筑企业亟须转变管理理念，将决策环节纳入造价管控的核心范畴。通过加强前期论证与方案比选，确保最终确定的建设方案兼具技术可行性与经济合理性。同时，管理层应建立严格的资金预算与审核机制，为决策方案的顺利实施提供可靠的资金保障。在决策过程中，还需引入动态造价管理方法，结合市场变化与项目实际，对成本目标进行持续优化与调整。以此实现在保障工程品质的基础上，有效提升企业的投资效益与盈利水平。

### （三）优化施工设计方案的科学管理

施工设计方案作为工程建设的核心技术文件，其合理性直接决定了项目造价的基础水平。方案中确定的建筑规模、结构形式、材料选型、技术标准及工期安排等要素，都将通过工程量清单和资源消耗量直接传导至项目总成本。在方案形成过程中，设计团队应在充分理解政策规范、市场需求和造价限额的前提下，进行多方案的经济比选和优化设计。通过建立包含造价工程师、施工技术人员在内的跨专业评审机制，对设计方案的可建造性、资源消耗效率和全生命周期成本进行综合评估，确保最终方案在满足使用功能和品质要求的同时，实现技术可行性与经济合理性的最佳平衡。为进一步提升设计阶段的成本控制效果，建筑企业应建立健全设计质量责任制，将设计人员的工作绩效与项目造价控制效果直接挂钩，通过设立节约奖励、优化提成等激励方式，

充分调动设计团队进行方案优化的积极性。同时，要充分利用 BIM 技术、三维地质勘测、性能化模拟分析等现代化技术手段，在虚拟环境中对施工过程进行全真模拟，提前发现并解决可能存在的技术冲突、施工难点和效率瓶颈，有效预防因设计缺陷导致的工程变更和返工，从源头上控制造价波动风险。通过这种技术与管理并重的综合措施，能够显著提升设计方案的成熟度和经济性，为后续施工阶段的造价控制奠定坚实基础，最终实现项目建设综合效益的最大化。

**（四）加强施工阶段的动态造价管控**

施工阶段涉及众多复杂因素，任何环节出现疏漏都可能直接影响工程顺利推进，并对项目经济效益产生显著影响。因此，建筑企业必须系统构建施工阶段的动态造价控制体系，全面实施与之配套的管理措施。建筑企业需确立“质量优先”原则，在确保工程质量完全达标的基础上，开展科学有效的成本动态调控。其次，应完善合同管理体系，严格遵循合同条款推进施工，切实维护业主合法权益。在实际作业中，需合理配置专业技术人员，保障各工序规范实施，同时委派专职管理人员实时监控施工进度，确保项目按期交付，有效防范因工期拖延引发的额外成本。要重点加强材料采购与现场管理环节，建立高效的供应链协调机制，确保建材按时进场、质量符合标准，并通过规范的仓储与领用制度，最大限度减少材料损耗与浪费现象，从源头上控制施工成本<sup>[4]</sup>。

**（五）工程变更情境下的动态成本管控**

建筑工程在实施过程中常面临各种复杂因素，当现场实际情况与原设计条件存在差异时，往往需要进行工程变更。这种变更会打破原有的工作计划，进而对人工、材料及机械等各项费用产生连锁影响。因此，建筑企业应在施工前充分完善图纸设计，优先确保按既定方案推进施工，最大限度减少非必要的计划调整。当确实遇到必须进行工程变更的情况时，需及时与建设单位沟通

协商，并同步完善变更资料记录，为后续工程结算提供完整依据。同时，要严格依据合同条款开展造价控制，在应对工程新变量的过程中同步优化实施方案，通过动态调整和持续改进，实现在变更情境下对项目成本的有效管控，切实保障建筑企业的合理经济效益。

**（六）竣工阶段的精细化成本管控**

竣工阶段作为工程造价管理的最终环节，其结算结果直接反映了项目实际投资成效。在此关键时期，管理人员需高度重视竣工结算工作，全面收集施工过程中产生的各类结算凭证，严格审核其真实性与完整性，为最终结算提供充分依据。同时，应系统整理和归档项目全过程的造价资料，建立完整的竣工文档管理体系。通过对项目建设期间形成的各项数据与文件进行规范化的汇总与分析，确保所有计价依据准确可靠。在正式结算前，还需将财务分析与成本核算结果与项目预算进行比对，总结成本控制经验，提炼提升经济效益的有效方法。此外，应以此为基础构建系统的成本优化与知识管理机制，形成可复制的造价管理范式，为后续工程项目提供参考，持续提升企业的投资效益与项目管理水平<sup>[5]</sup>。

**四、结束语**

综上所述，构建并有效运行一套科学、动态、全过程的工程造价管理与成本控制体系，是现代建筑项目管理的关键所在。这套体系要求企业遵循全过程、全要素、全方位的基本原则，正视并解决管理体制、管理手段与过程监控中存在的深层问题。通过将动态管控的核心理念精准嵌入从决策、设计、施工、变更到竣工的每一个环节，特别是强化对材料成本、设计方案、合同履行及竣工结算等关键要素的精细化管理，企业方能实现对项目成本的精准预测、有效控制和持续优化。

**参考文献**

[1] 伍静静. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制 [J]. 中国住宅设施, 2025(8): 206-208.  
[2] 钟琴. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制探讨 [J]. 砖瓦世界, 2024(4): 109-111.  
[3] 黄思. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制探究 [J]. 中国招标, 2023(7): 81-83.  
[4] 吴敏. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制研究 [J]. 建筑与装饰, 2021(4): 57.  
[5] 韩宗芳. 建筑工程造价的动态管理与成本优化控制 [J]. 工程技术研究, 2020, 5(21): 157-158.

# 探究建筑工程建设管理中项目成本管理的应用

柏柠

珠海铎龙装饰有限公司, 广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ETQM.2025120042

**摘 要 :** 建筑工程成本管理是项目成功实施的核心环节, 文章系统阐述了施工预算在成本管控中的关键作用, 深入分析了当前工程建设项目在成本意识、管理方法、体系完善度、市场环境认知、动态监控及多维协同等方面存在的突出问题, 并提出了构建科学管理体系、推进信息化建设、提升团队素质、强化材料管控、建立动态监控机制及推动一体化管理等针对性策略, 以期为提升建筑工程项目成本管理水平提供理论参考与实践指导。

**关 键 词 :** 建筑工程; 建设管理; 项目成本管理

## Exploring the Application of Project Cost Management in Construction Project Management

Bai Ning

Zhuhai Hualong Decoration Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

**Abstract :** Cost management in construction engineering is a core aspect for the successful implementation of projects. This article systematically elaborates on the crucial role of construction budgeting in cost control, thoroughly analyzes prominent issues in current engineering construction projects regarding cost awareness, management methods, system completeness, understanding of market environments, dynamic monitoring, and multi-dimensional collaboration. It also proposes targeted strategies such as establishing a scientific management system, promoting informatization construction, enhancing team capabilities, strengthening material control, implementing dynamic monitoring mechanisms, and advancing integrated management, aiming to provide theoretical references and practical guidance for improving cost management levels in construction engineering projects.

**Keywords :** construction engineering; construction management; project cost management

### 引言

在实际工程实践中, 许多项目仍面临成本意识薄弱、管理手段滞后、体系不健全等挑战, 导致成本失控现象频发。因此, 深入剖析成本管理存在的问题, 探索科学有效的应用策略, 对推动建筑业高质量发展具有重要的现实意义。本文旨在通过系统梳理施工预算的重要性, 分析当前成本管理面临的困境, 并提出具有可操作性的改进路径, 为行业实践提供参考。

### 一、建筑工程成本管理当中施工预算的重要性

#### (一) 施工预算是实现最优成本方案的关键工具

在建筑行业中, 施工预算因其突出的实用性和显著优势, 已成为众多施工企业高度重视的管理工具, 并获得了大规模的应用。建筑企业若想达成效益的最大化目标, 就必须依托施工预算提供科学、可靠的数据支持。在项目招标阶段, 全面贯彻成本管理理念, 有助于施工企业在提高经济收益的同时, 有效控制实际建造成本。在预算编制过程中, 不同的组织方案与施工工艺选择会直接影响预算结果, 进而造成施工成本产生明显波动。因此, 建筑项目中的预算编制人员需深入分析各类影响因素, 综合评估各方面条件, 制定出合理且高效的成本管控计划, 从而切实提升

建筑企业的整体利润水平。

#### (二) 施工预算是成本管控的核心与关键环节

在建筑工程领域, 施工预算人员应当深刻认识到预算管理在整个成本控制体系中的关键地位。通过科学运用预算方法, 并将其与具体的施工技术和工法有机结合, 能够有效优化资源配置, 减少不必要的开支, 从而实现预算管控的根本目标。从企业管理层面来看, 还需要建立健全内部管控机制, 对预算目标进行严格审核与动态评估, 通过持续的总结分析和及时调整, 确保预算执行始终围绕企业经营目标展开。在这一过程中, 加强部门间的协作配合尤为重要, 顺畅的沟通机制和高效的团队合作, 不仅能够提升预算执行的效率, 还将显著增强建筑企业的整体市场竞争力与盈利水平<sup>[1]</sup>。



### （三）施工预算是保障工程项目顺利推进的重要支撑

为实现建筑工程企业的战略发展目标，企业管理层需对项目建设标准建立系统且与时俱进的理解。通过积极引入先进施工技术，并促进其在各环节的深度融合与渗透，企业能够在精准控制工程整体造价的基础上，建立起科学有效的创新机制。这种以预算为导向的管理模式，不仅有助于构建规范化的成本控制体系，更能推动企业在动态变化的市场环境中保持稳健运营，实现可持续发展。实践证明，将预算管理贯穿于项目全生命周期，可以有效协调资源分配，优化施工流程，为工程项目的按期优质完成提供坚实保障。

## 二、工程建设项目成本管理存在的问题

### （一）成本管控意识亟待提升

当前建筑行业中，不少施工企业在造价管理方面尚未建立足够强烈的意识。需要说明的是，这种意识薄弱并非指企业完全忽视成本问题——事实上，追求以最小投入获取最大回报是包括施工企业在内的所有市场主体的基本诉求。问题的本质在于，虽然多数企业在理念层面认同成本控制的重要性，但在实践层面却缺乏系统性的落实。这种认知与行动之间的落差主要体现在：企业未能将成本管控置于战略高度予以重视，也缺乏对成本控制方法的主动探索与深入研究。其直接后果就是成本管理工作始终停留在表面层次，难以对项目经济效益和社会效益的实现形成有效支撑。以某住宅建设项目为例，由于在成本规划阶段未能充分考虑造价决策对工程安全性的潜在影响，将管控重点过度集中于材料采购环节，忽视了其他关键因素的综合调控，最终造成成本控制体系整体效能低下，难以达成预期的管理目标<sup>[2]</sup>。

### （二）成本管理方法亟待更新

在当前诸多工程项目的成本管控实践中，不少企业仍沿用传统手工操作为主的管理模式，未能将现代化的技术手段有效融入造价管理体系中。这种滞后性直接制约了成本管控效能的最大化，导致项目整体经济效益难以达到预期水平。以信息化管理为例，由于相关团队对数字技术的认知尚显不足，未能充分发挥信息技术在成本控制中的潜在价值。这不仅影响了工程流程管理的精细化程度，更导致项目难以借助科技手段对可能引发费用超支的风险因素进行精准预判。当面临可能增加成本的潜在风险时，由于缺乏前瞻性的数据分析支持，管理者难以及时制定有效的应对预案。这种管理方法的局限性直接削弱了项目组应对突发状况的能力，往往导致成本失控、工期延误等连锁反应，最终造成工程建设费用的持续攀升。

### （三）成本管理体系尚不完善

部分施工企业对成本管理工作的战略价值缺乏充分认知，未能全面把握其内在逻辑与系统性特征，导致成本管控实践往往局限于传统财务范畴。这种片面化的管理视角，显著削弱了实际成本控制的效果，进而对工程项目的整体成本绩效产生深远影响。具体而言，当企业将成本管理职责简单交由财务部门独立承担时，由于财务部门的核心职能聚焦于会计核算和财务监督等专业

领域，其制定的成本控制方案往往难以与工程建设的实际流程相匹配。这种脱节不仅降低了管理措施的可操作性，还可能引发业务部门与财务部门之间的协作障碍。在项目实施过程中，由于缺乏跨部门协同的成本管控机制，最终导致成本目标与工程实际进展之间产生显著偏差，影响了项目整体费用的有效控制<sup>[3]</sup>。

### （四）市场环境认知存在不足

在建设项目成本管理过程中，许多管理人员未能将市场动态因素纳入管控体系，缺乏对政策法规、技术规范、材料价格波动等关键要素的系统性把握。这种对市场环境的认知局限，导致项目在实际推进过程中经常面临与既定标准不符的困境。设计方案不符合最新行业规范，施工工艺未达到现行技术标准，采购成本显著高于市场平均水平等。这些认知偏差往往引发连锁反应，造成工程大面积返工、施工进度严重滞后等后果。由于对建筑市场发展趋势及建材价格形成机制缺乏深入理解，企业在造价控制方面往往陷入被动，难以建立与市场环境相适应的动态管理机制，这直接制约了项目成本管控的有效实施，最终影响工程建设整体效益。

### （五）成本动态监控机制缺失

当前，部分施工企业在成本管理过程中缺乏有效的动态监控手段，未能对项目实施各阶段的成本变动进行实时跟踪与反馈。这种静态化的管理方式导致成本偏差难以及时发现和纠正，往往在项目后期才暴露出严重的超支问题。例如，在某市政道路工程中，由于未能建立成本动态监测机制，施工过程中的人工与机械费用持续超出预算而未得到有效干预，最终导致项目总成本超出初始预算约15%，严重影响了项目的投资回报<sup>[4]</sup>。

### （六）成本与进度、质量协同不足

许多项目在成本管控中未能充分协调成本与工程进度、质量之间的关系，片面强调某一方面的控制而忽视整体效益。这种割裂式的管理思维导致成本控制措施与项目实际需求脱节，甚至因过度压缩成本而引发质量缺陷或工期延误。例如，某商业综合体项目为追求成本节约，在关键工序上降低了施工标准，结果因质量问题引发返工，反而造成成本额外增加20%，且工期延误达三个月。

## 三、建筑工程建设管理中项目成本管理的应用策略

### （一）构建科学完善的项目成本管理体系

在建设工程实施阶段，诸多动态因素持续影响着项目造价的实际形成过程。为系统提升造价管控效能，亟须建立更加全面、规范的造价控制机制，通过构建完整的管理体系对各类成本要素实施有效监管。从制度建设层面来看，需要深入剖析各类造价问题的成因，对影响工程造价的全流程要素进行精准把控，确保各项管理措施在实施过程中得到充分落实，最终实现管理成效与执行可靠性的双重提升。具体而言，应当重点围绕管理架构设置、责任边界划分、激励措施配套及绩效考核标准等四个维度，构建系统化的成本管控机制。以管理架构为例，需要全方位审视财务运作的规范程度、设计方案的经济性能、施工过程的质量保障、

技术装备的适用条件以及建筑材料的品质控制等关键环节，形成对项目成本构成要素的完整认知框架。

（二）推进成本管控信息化建设

在开展项目成本管理过程中，除了需要建立层次清晰、结构完整的管理体系外，还应当将现代信息技术深度融入管控实践。通过运用大数据分析、物联网、人工智能等新一代数字技术，可以实现对工程建设全流程的透明化监管，确保每个施工环节都能达到最优执行状态。这种信息化管控模式不仅能够保障最终成本目标的实现，还能显著提升整体控制效能。以建筑信息模型（BIM）技术为例，其三维可视化功能可以完整呈现项目建设全过程，依托数据建模对各个施工阶段可能产生的必要支出进行精准测算。

（三）全面提升工程建设团队专业素质

在工程建设领域，“施工人员”的传统定义通常局限于现场操作工人，而现代工程管理对其赋予了更广泛的内涵，涵盖了从规划设计、施工组织到质量验收等全过程的各类专业人员。针对不同岗位的工作特性，需要制定差异化的培养方案，通过系统化培训使每位团队成员都能在各自岗位上充分发挥专业能力，自觉履行岗位职责。这种全员素质的提升，有助于在项目全周期中最大限度地优化工作效能，从而有效控制建设成本，降低各类与人员操作相关的风险事件发生概率。以设计人员为例，需要通过专业培训增强其统筹协调能力，使其能够紧密结合现场施工条件和工程实际需求，科学完成方案设计与施工图绘制。合理可靠的设计成果既能减少后续的设计变更频次，也能从源头上规避因设计缺陷导致的成本增加，为项目造价控制奠定坚实基础。

（四）强化建筑材料成本管控效能

要实现对建筑材料成本的科学管控，需要建立系统化的市场调研机制，对材料采购全过程实施精细化监督管理。通过持续跟踪市场价格波动与质量变化趋势，确保采购材料在满足工程建设要求的前提下，达到性价比最优状态。这种基于市场行情的价格管控机制，能够有效降低材料采购成本，避免因信息不对称造成的资源浪费。同时，还需要加强对供应商资质评审和采购合同管

理的重视程度，严格审核每份合同条款的完整性与合规性，确保合同内容涵盖材料质量、交货期限、验收标准等关键要素。规范的合同管理不仅能够有效防范履约风险，还能通过明确的权责约定减少不必要的争议成本，为项目整体成本控制提供有力保障<sup>[5]</sup>。

（五）建立全过程的成本动态监控与预警机制

为解决成本监控滞后的问题，企业应构建覆盖项目全生命周期的成本动态监控体系，通过信息化平台实时采集、分析成本数据，并设置预警阈值。例如，可引入基于ERP系统的成本控制模块，对材料费、人工费、机械费等关键成本指标进行跟踪。一旦实际支出偏离计划范围，系统自动触发预警，并推送至相关责任人，以便及时采取纠偏措施。此举能够显著提升成本控制的主动性与精准性，防止偏差积累导致的成本失控。

（六）推动成本—进度—质量一体化管理

项目成本管理需与进度控制、质量保障深度融合，形成协同优化的管理框架。可通过引入“挣值管理法（EVM）”等工具，综合评估成本、进度与成果的匹配性，科学决策资源投入。例如，在桥梁工程施工中，通过定期分析“计划价值—挣值—实际成本”曲线，动态调整资源分配与施工方案，在保障质量与进度的前提下实现成本最优。这一协同机制能够从全局视角提升项目综合效益，避免因局部优化导致的整体失衡。

四、结束语

建筑工程成本管理是一项系统而复杂的工作，其有效性直接决定了项目的经济效益与实施成效。施工预算作为成本管控的重要工具，贯穿于项目全生命周期，为资源优化与决策支持提供了科学依据。面对当前存在的成本意识不足、管理方法落后、体系不完善及动态监控缺失等问题，施工企业需从构建科学管理体系、推动信息化转型、提升团队专业能力、强化材料管控效能等多方面综合施策。

参考文献

[1]王加伟. 建筑工程管理中项目成本管理的应用初探 [J]. 广东建材, 2023, 39(12): 143-145.  
[2]李秀梅. 建筑工程管理中项目成本管理的应用研究 [J]. 建材与装饰, 2021, 17(19): 179-180.  
[3]袁文峰. 高效成本控制在建筑工程项目管理中的实践与应用 [J]. 砖瓦世界, 2024(15): 124-126.  
[4]李云燕. 项目成本管理在建筑工程造价中的应用分析 [J]. 建材与装饰, 2021, 17(2): 155-156.  
[5]顾钢强. 现代建筑施工技术在工程项目管理中的应用研究 [C]//2025工程技术与材料应用学术交流会论文集. 2025: 1-3.

# 市政道路绿化景观设计探讨

林琳

海南文昌国际航天城投资开发有限责任公司，海南 文昌 571300

DOI:10.61369/ETQM.2025120043

**摘 要：** 市政道路绿化景观设计是提升城市人居环境、塑造特色风貌的重要载体。文章系统阐述了设计需遵循的四大核心理念：以人的需求为核心，注重功能性与视觉体验的统筹；立足地域特征，构建生态多样、可持续的植物群落；融合美学构图与科学配置，实现艺术性与功能性的统一；强化与周边环境的有机融合，促进城市空间协调发展。旨在为创造生态稳定、人文和谐、技术智能的城市道路景观提供理论依据与实践路径。

**关 键 词：** 市政道路；绿化景观；设计

## Discussion on The Design of Greening Landscape for Municipal Roads

Lin Lin

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

**Abstract：** The green landscape design of municipal roads serves as a crucial medium for enhancing urban living environments and shaping distinctive urban features. This article systematically elaborates on four core principles that should be followed in the design process: prioritizing human needs while balancing functionality and visual experience; establishing ecologically diverse and sustainable plant communities based on regional characteristics; integrating aesthetic composition with scientific configuration to achieve a unity of artistry and functionality; and strengthening organic integration with the surrounding environment to promote coordinated development of urban spaces. The aim is to provide theoretical foundations and practical pathways for creating urban road landscapes that are ecologically stable, culturally harmonious, and technologically intelligent.

**Keywords：** municipal roads; green landscape; design

## 引言

随着城市化进程不断加速，道路绿化已从单一的植被种植转向多元功能的复合型景观建设。作为城市公共空间的重要组成部分，市政道路绿化不仅承担着生态调节、环境美化等基础功能，更成为展现城市文化品质、提升居民生活幸福感的关键媒介。当前，在绿色发展理念的推动下，如何通过科学规划与精细化设计，构建兼具生态韧性、人文关怀与时代特征的道路景观体系，已成为城市建设者面临的重要课题。

## 一、市政道路绿化景观设计需遵循的原则

### （一）以人的需求为核心

在开展市政道路绿化景观设计时，首先应当将使用者的实际体验与需求置于核心位置。具体而言，可在景观区域内部合理布置一定数量的休息座椅，为行人或游客提供短暂休憩的便利，从而提升公共空间的舒适性与人性化水平。其次，适当增加进入景观区域的步行通道数量，能够有效增强景观的可达性与亲和力，更好地满足市民日常散步、游览与亲近自然的需求。因此，在景观设计过程中，应充分结合人的行为习惯与视觉感知特点，合理配置植物层次、色彩搭配及景观节点，使绿化布局兼顾动态观赏与静态欣赏的需要，真正落实“以人为本”的核心理念。

### （二）立足地域特征，倡导生态多样性

在启动城市道路绿化景观的规划与设计时，首要环节是进行详尽的前期调研。相关部门，如农林、国土资源等，需对项目所在地的自然环境条件展开系统性的勘察与数据分析，这包括地区性的气候特点、土壤构成及地形地貌特征。基于翔实的勘察数据，筛选和确定能够良好适应本地环境、具有较强生态适应性的乡土植物种类，是保障绿化成效的关键步骤。此举旨在从源头上避免因立地条件不适宜，如水土不服、气候不适等，导致植物生长不良或死亡，从而确保绿化工程的可持续性，并减少后期维护的困扰。此外，城市道路的绿化建设不应局限于单一的植物品种，而应遵循生态多样性的基本原则。这种多样化的配置模式，不仅能够增强绿地系统的生态稳定性和抗风险能力，还有助于形



成独具特色的城市景观风貌<sup>[1]</sup>。

### （三）融合美学构图与科学配置

在道路绿化景观的营造中，应注重美学艺术与植物科学的有机结合。设计时，可灵活运用多样化的艺术构图手法，精心组织不同植物的形态、色彩与质感，旨在充分展现植物群落组合的整体美感与艺术感染力。同时，植物品种的选择绝非随意为之，必须建立在对立地环境的科学分析之上，确保所选植物其生态习性能够适应具体的建设条件，从而实现景观效果与生长健康的统一。对于隔离绿化带与中央分车绿带的设计，推荐采纳“大色块、大组团”的宏观布局理念。这种设计手法通过成片、成规模地运用同类植物，能够形成简洁明快、视觉冲击力强的色块与肌理效果，尤其符合车行视角下快速移动的观赏特点，有助于提升道路景观的整体性与节奏感。而在人行道等贴近行人的区域，绿化设计则需侧重细腻的体验与丰富的层次。优先选用冠型优美的乔木搭配形态各异的花灌木，构建疏密有致的复层种植结构。

### （四）实现与周边环境的有机融合

城市道路的绿化景观设计，必须将其置于更广阔的城乡空间语境中进行综合考量。设计者需深入分析项目所在地的周边环境特质与既有建筑风貌，确保绿化景观不是孤立的存在，而是能够与城市肌理和地域风貌形成连贯、协调的整体。在生态层面，设计应严格遵循自然规律，致力于构建健康、可持续的道路生态系统。其中，大力推行植物种类的多样性配置至关重要。通过科学搭配乔木、灌木、地被植物，模拟自然群落的结构，形成一个物种丰富、层次分明的复层绿化体系。这种近似自然的植物群落，不仅能够有效提升绿地的生态稳定性与抗干扰能力，其内部不同物种之间还可以形成相互依存、协同生长的良性关系，从而增强整个绿化系统的自维持能力，减少后期养护成本，实现生态效益的最大化<sup>[2]</sup>。

## 二、道路绿化园林景观现状

### （一）铺装与市政设施破损问题及其影响

在市政工程竣工并投入使用的后期阶段，许多项目本应进入系统化、周期性的养护流程。然而，由于日常维护工作未能得到充分重视与有效落实，导致人行道陆续出现地基下沉、面层材料磨损与碎裂等结构性损害。即便经历反复修补，往往也难以根治问题，不仅影响公共空间的正常使用，更对城市整体风貌与美观度造成持续的负面效应。面对这一状况，实施全面、彻底的整治工程已显得尤为必要。人行道作为城市公共空间体系中的重要组成部分，其完好程度直接关系到城市形象的展示与居民的生活品质。当前，部分城区内的检查井盖因长期承重或材质老化而破损凹陷，对行人及车辆通行构成安全隐患；同时，铺装石板出现开裂与翘曲，不仅妨碍公众正常通行，也可能对道旁植物的根系发育与正常生长带来不利影响。

### （二）植物景观营造的成效问题

在道路园林景观的构成中，植被作为核心要素，其配置的合理性与设计的艺术性直接关系到整体空间的美学价值与生态功能

的实现。因此，植物在生长过程中的表现状态，便成为决定道路绿化环境最终品质的关键。然而，当前诸多城市的道路绿化实践仍面临诸多挑战。部分项目存在规划设计单一化、植物群落长势衰弱等现象，这不仅使得绿荫覆盖率难以提升，无法在夏季为行人与车辆提供有效的遮阴服务，同时也难以满足社会公众日益提升的审美期待。造成植物生长不良的原因主要可归结为两方面：其一，是植物品种选择未能充分考虑其与当地气候、土壤等立地条件的适应性，导致外来或不适生树种出现生长迟缓、病虫害多发等问题；其二，是前期设计存在缺陷，未能科学规划种植间距、土壤环境及后期养护条件，从而制约了植物的健康生长。城市绿地作为镶嵌在密集建筑群中的生态板块，承担着衔接市政道路与周边建筑的缓冲功能，更是通过光合作用吸收二氧化碳、释放氧气，改善城市空气质量的“天然绿肺”。但现实中，由于景观建成后的长期养护管理未能有效落实，如灌溉、修剪、施肥及病虫害防治等工作不到位，致使许多绿地项目无法维持其设计初期的景观效果，生态效益也因而大打折扣<sup>[3]</sup>。

## 三、市政道路绿化景观设计要点

### （一）构建科学系统的道路绿化设计体系

在城市道路绿化规划中，根据空间形态与功能定位的差异，可将其划分为连续性较强的带状绿化与具有生态连接作用的廊道式绿化两大类型。从基础构造来看，常规绿化带的设计范式通常较为简明，工程实施尺度也相对有限。然而，要真正支撑城市的可持续发展愿景，道路景观设计就应当超越单纯的植被种植，积极诠释城市发展的核心价值与文化内涵。绿色景观既是设计理念的物化呈现，也是自然生命力的直观载体，这要求设计工作必须与城市总体规划紧密衔接，以前瞻性视角统筹布局。在具体设计过程中，设计师需对街道沿线的视觉景观特征及建筑立面风格进行系统调研，确保绿化形式与周边环境肌理相融合。在确立设计主题与风格前，必须全面掌握道路的交通流量特征、车辆动态通行需求，并科学评估影响植物群落稳定生长的立地条件、气候特点与土壤环境等多重因素。深化对道路本体特征的认知是设计成功的基础，这需要设计团队深入施工现场开展实地踏勘与数据采集。除进行绿化覆盖率等量化分析外，还需准确把握道路在城市空间结构中的区位属性及其功能定位。同时，应对人为活动模式、工程技术条件与区域生态环境等可控变量开展系统分析，将其作为设计决策的重要依据。理想的景观工程应统筹实现生态效益、环境效益与经济效益的协同发展，构建既契合地域文化特质，又彰显本土特色的道路绿化体系。只有将道路系统视为城市有机整体中的重要组成部分，才能准确把握绿地建设的发展方向。在实践中，需从景观视觉呈现、生态功能实现与城市文化表达三个维度综合评估实施成效，并以植物配置艺术为载体，传递城市独特的美学内涵<sup>[4]</sup>。

### （二）整合与重塑既有景观资源

在推进城市道路绿化建设过程中，应优先考虑对现有景观基底的保护与利用，特别是通过对既有道路设施及周边建筑群进行



更新改造，来实现景观功能的提升。这种方法注重在原有格局基础上植入特色植物群落，强化地域人文特征的延续与表达，最终实现生态与文化价值的共同升华。这类改造工程不同于全新建设项目，其核心在于对已有场地进行创造性重构与优化。因此，在规划设计中必须充分评估场地现状，对于承载集体记忆的古树名木、具有保留价值的建筑构件及功能完好的基础设施，应优先采取保护性利用策略。即使因整体布局需要必须进行植物迁移，也需运用专业移植技术，确保其存活与景观效果的延续，使改造后的空间既能适应新的功能需求，又能维系场所的历史脉络。通过这种对既有景观要素的重新组织与提升，不仅延续了场地的历史文脉与生态记忆，也显著降低了工程建设对资源的消耗，避免了大规模拆建带来的经济投入，从而实现环境效益与成本控制的有机统一。

### （三）道路绿化中植物配置的多元化策略

在道路绿化工程中，多样化的种植手法为景观营造提供了广阔空间。设计者需结合不同道路的功能定位、空间特性及景观需求，科学选用相应的植物配置模式，以充分体现因地制宜的设计原则。下文将系统剖析两种典型种植方式的应用特点与实施要点。

#### 1. 单株点景式种植

该模式强调以个体形态突出的乔木或花灌木作为视觉焦点。实践中，常将色彩鲜明的彩叶树种与基调绿色植被进行艺术化组合，通过色彩对比强化视觉张力，塑造具有标志性的节点景观。优选树形挺拔、叶色随季相变化显著的品种，能够有效提升单株种植的表现力与艺术效果。实施过程中，还需精准考量植株与周边环境在色彩、质感及尺度上的协调关系，使孤立木既能成为视觉中心，又能有机融入整体景观框架，充分发挥其生态锚点与美学聚焦的双重价值<sup>[5]</sup>。

#### 2. 群体组合式种植

这种配置模式通过多种植物的有机组合，构建层次丰富、结构稳定的复层植物群落。设计时可依托常绿树种形成的绿色冠层

作为背景基底，在临近浅色建筑立面的区域穿插栽植观花或彩叶灌木群，形成色彩韵律与季相更迭。这种注重垂直结构与色彩协调的丛植手法，不仅充分展现了植物材料的生物多样性，更通过不同色系、质感的有机穿插，营造出富有感染力的道路景观氛围，显著提升线性空间的生态质感与艺术品质。

### （四）融合现代科技的道路绿化创新实践

在经济社会持续发展的推动下，科技创新成果正逐步融入城市道路绿化建设体系。各类新兴技术手段的应用，既为绿化工程的质量与效率提升创造了条件，同时也对传统设计理念与施工模式提出了转型升级的新要求。当前，无线网络技术已深度嵌入城市公共生活，成为不可或缺的基础服务。将道路绿化空间与公共Wi-Fi系统进行一体化规划，构建开放共享的互联节点，不仅能够拓展公共服务半径，更体现了以人为本的智慧城市设计理念。此类融合设计使绿化设施在发挥生态功能的同时，也成为数字生活的载体，显著提升了公共空间的综合服务价值。这种将生态景观与现代信息技术深度结合的实践，不仅彰显了与时俱进的建设思维，更有助于构建符合现代化城市发展需求的复合型景观体系，推动城市公共空间向智能化、人本化方向持续演进。

## 四、结束语

市政道路绿化景观设计是一项融合生态、美学、技术与人文的综合性工程。在设计中，应始终坚持以人为本、尊重自然、彰显特色、协同发展的基本原则，通过科学系统的规划方法，统筹解决功能需求、生态保护与文化表达之间的平衡关系。面对当前设施维护不足、植物配置单一等问题，需从设计源头强化系统性思维，结合地域特征进行资源整合与技术创新，推动道路绿化从量变向质变升华。未来，随着智慧城市与生态文明的深度融合，道路绿化应进一步强化科技赋能与文化植入，构建具有持续生命力与认同感的线性景观网络，最终实现城市环境、社会与经济的和谐共进。

## 参考文献

- [1] 齐涛. 海绵城市视角下市政道路景观绿化设计探究 [J]. 大众标准化, 2023(23): 85-87.
- [2] 刘挺. 市政道路绿化景观设计的要点 [J]. 建筑与装饰, 2022(7): 15-17.
- [3] 江少华, 赵剑颖. 浅析市政道路绿化景观园林设计 [J]. 百科论坛电子杂志, 2020(7): 185.
- [4] 杨道增. 市政道路绿化景观设计探讨 [J]. 建材与装饰, 2020(7): 269-270.
- [5] 闫晨. 市政道路绿化与景观园林设计施工要点 [J]. 花卉, 2020(22): 90-91.

# 低碳建筑设计中的能源管理与环境影响评估

刘敏

中南建筑设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430060

DOI:10.61369/ETQM.2025120045

**摘 要：** 低碳建筑设计通过整合能源管理与环境影响评估，实现建筑全生命周期的节能与减排。合理运用被动式设计策略、可再生能源系统及智能能源控制技术，可有效降低能耗强度并优化室内环境质量。采用生命周期评估方法，从能源消耗、碳排放及材料利用等方面对设计方案进行综合评价，有助于实现建筑的可持续性目标。该路径为绿色建筑发展提供了系统化技术支撑与科学决策依据。

**关 键 词：** 低碳建筑；能源管理；环境影响评估；可再生能源；可持续设计

## Energy Management and Environmental Impact Assessment in Low-Carbon Architectural Design

Liu Min

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

**Abstract：** Low-carbon architectural design achieves energy conservation and emission reduction throughout the building's entire lifecycle by integrating energy management with environmental impact assessment. The rational application of passive design strategies, renewable energy systems, and intelligent energy control technologies can effectively reduce energy consumption intensity and optimize indoor environmental quality. Employing life cycle assessment methods to comprehensively evaluate design proposals in terms of energy consumption, carbon emissions, and material utilization facilitates the attainment of sustainable building objectives. This approach provides systematic technical support and scientific decision-making grounds for the development of green buildings.

**Keywords：** low-carbon architecture; energy management; environmental impact assessment; renewable energy; sustainable design

### 引言

随着全球气候变化和能源危机的加剧，建筑行业作为能源消耗和碳排放的重要领域，正面临绿色低碳转型的紧迫需求。低碳建筑设计不仅关注建筑功能与美学，更强调能源高效利用与环境协调共生。通过科学的能源管理和系统的环境影响评估，可在保障舒适度与安全性的同时，实现节能、减排与可持续发展的统一。这一方向已成为推动未来建筑技术革新的重要动力。

### 一、低碳建筑设计的理念与发展趋势

低碳建筑设计的核心理念在于通过科学规划、绿色技术与能源优化，实现建筑全生命周期内的能源高效利用与环境负担最小化。其目标不仅是降低建筑运营阶段的能耗，更强调在材料生产、施工、使用及拆除各环节中的碳排放控制。与传统建筑设计相比，低碳建筑更注重整体系统性思维，将建筑设计、设备系统、环境条件与人类行为相结合，形成“设计—施工—运营—评估”一体化的循环体系。这一理念推动了建筑行业从“高能耗、高排放”的粗放模式向“节能、环保、智能”的集约型发展模式转变，为实现“双碳”战略目标提供了重要支撑。

随着科技进步与政策引导，低碳建筑设计的发展趋势日益清

晰。一方面，智能化与数字化技术的应用成为设计创新的重要方向。通过建筑信息模型（BIM）、物联网与人工智能技术的融合，可实现建筑全生命周期的能耗监测与动态优化，从而提高能源管理的精度与效率。另一方面，材料技术的革新为低碳建筑提供了新的支撑，例如使用高性能保温材料、低碳混凝土以及可回收建筑构件，有效减少了碳足迹。此外，绿色生态理念的引入，使建筑不再是被动能耗体，而是主动调节城市微气候、改善生态环境的重要载体。这种以“人与自然和谐共生”为核心的设计理念，正成为全球建筑可持续发展的主流方向。

未来低碳建筑设计将更加注重多元融合与系统协同。从能源角度看，太阳能、风能、地热能等可再生能源的集成利用，将成为建筑能源供应的重要组成部分；从设计角度看，建筑外形、朝

向与自然通风的优化，将最大限度地发挥被动节能效应；从管理角度看，建筑运营期的能源数据分析与动态反馈机制，将进一步提升建筑能效水平。同时，社会对低碳建筑的需求也在不断增长，政府政策支持、标准体系完善与公众环保意识提升，将共同推动低碳建筑从示范项目走向普遍实践。低碳建筑设计理念与趋势不仅关乎建筑行业的革新，更是实现可持续城市与人居环境建设的关键路径。

## 二、建筑能源管理系统的构建与优化策略

建筑能源管理系统的构建是实现低碳建筑目标的关键环节，其核心在于通过科学的能源规划与技术集成，达到能源高效利用与环境协调发展的统一。现代建筑能源管理系统（BEMS）以信息化、自动化为基础，通过监测、分析与控制建筑内的能源流向，实现能源的合理分配与最优运行。系统通常涵盖供暖、制冷、照明、通风及可再生能源利用等子系统，并通过数据采集与实时反馈实现动态管理。科学构建能源管理系统不仅能够降低建筑运行成本，还能显著减少能源浪费与碳排放，为建筑节能和可持续发展提供坚实保障。

在能源管理系统的优化过程中，信息技术与智能化手段的应用发挥着重要作用。BIM（建筑信息模型）、物联网和人工智能技术的融合，使建筑能源运行更加精准和高效。通过传感器与数据采集终端实时监测建筑能耗，结合人工智能算法进行能效分析，可实现设备负荷预测与自动控制。例如，根据室内外温湿度与人员活动情况自动调节空调运行模式，或通过照度传感器智能控制照明系统，从而实现节能与舒适度的平衡。此外，大数据平台的建立使能源管理从“静态管理”转变为“动态优化”，管理者可依据历史数据与趋势预测，对系统运行策略进行及时调整，显著提升建筑的整体能效水平。

优化建筑能源管理系统还需注重可再生能源的集成与能源结构的多样化。将太阳能光伏、地源热泵、风能等清洁能源纳入建筑能源体系，可有效降低对传统能源的依赖，减少碳排放。同时，储能技术的应用进一步提升了系统的灵活性与稳定性，使建筑能够在能源高峰期与低谷期之间实现能量调节。此外，能源管理的优化不仅是技术层面的改进，还包括运行机制与管理模式的创新。通过建立节能考核制度、能源审计机制与用户参与的能耗管理平台，可形成“技术—管理—行为”三位一体的综合节能体系。未来的建筑能源管理系统将以高效、智能、绿色为核心方向，为低碳建筑设计提供可持续的能源支撑，推动建筑行业迈向数字化与生态化的新阶段。

## 三、环境影响评估在低碳建筑设计中的应用

环境影响评估在低碳建筑设计中具有基础性和指导性作用，是实现建筑全生命周期绿色管理的重要工具。其核心目标在于通过科学评估建筑活动对自然环境、能源资源和生态系统的潜在影响，制定有效的减缓与优化措施，从源头控制环境负担。低碳建

筑设计强调系统思维与全周期理念，环境影响评估贯穿项目规划、设计、施工、运营及拆除各阶段，对能耗、碳排放、废弃物处理、材料选用及生态保护进行综合分析。通过量化评估和模型预测，可识别建筑设计中潜在的环境风险，为优化方案提供科学依据，使建筑在实现功能与美学的同时兼顾可持续性 with 生态友好性。

在评估方法上，生命周期评价（LCA）是当前应用最为广泛的技术路径。LCA以“从摇篮到坟墓”的思维方式分析建筑全过程的资源消耗与污染排放，通过建立能源与物质流模型，计算建筑在不同阶段的环境负荷，从而为设计决策提供数据支撑。例如，在材料选择阶段，通过对比传统建材与再生建材的碳足迹，可确定最优组合方案；在施工阶段，通过评估施工能耗与噪声排放，可制定绿色施工计划；在运营阶段，通过建筑能耗监测与室内环境质量评估，可持续优化运行策略。随着技术进步，GIS（地理信息系统）、BIM（建筑信息模型）及大数据技术的引入，使环境影响评估从静态分析迈向动态、实时与智能化方向，为低碳建筑设计提供了更加精准与全面的支撑。

未来，环境影响评估在低碳建筑设计中的应用将更加注重多维融合与综合决策。除传统的能源与碳排放指标外，生态系统服务价值、健康舒适度及社会经济效益等因素也逐步纳入评估体系，实现从单一环境控制向综合可持续评价的转变。同时，政策法规的完善与公众环保意识的提升，使环境影响评估成为建筑项目立项与设计审批的必要环节。通过建立标准化评价体系与信息共享平台，不仅能提升建筑设计的科学性与透明度，还能促进绿色建筑技术的推广与创新。环境影响评估的深入应用，将推动建筑行业由节能设计迈向生态设计，为实现“双碳”目标与绿色人居环境构建奠定坚实基础。

## 四、可再生能源技术在建筑节能中的融合实践

可再生能源技术在建筑节能中的融合实践，是推动低碳建筑实现绿色转型的重要途径。随着能源危机与环境污染问题的日益加剧，建筑行业作为能源消耗大户，亟需通过可再生能源的引入来降低传统能源依赖与碳排放水平。太阳能、风能、地热能、生物质能等清洁能源的利用，为建筑节能提供了多样化选择。通过科学设计与系统集成，可实现能源生产、储存与使用的协调平衡。例如，太阳能光伏系统可直接将太阳辐射转化为电能，为照明和设备运行提供清洁能源；地源热泵系统利用地下恒温特性实现冬季供暖与夏季制冷，显著降低建筑运行能耗。这种以可再生能源为核心的设计理念，已成为绿色建筑的重要标志之一。

在融合实践中，技术集成与智能控制是提升可再生能源利用效率的关键。现代建筑通过与建筑信息模型（BIM）和能源管理系统（EMS）的协同，可实现可再生能源系统的精确配置与动态调度。例如，在光伏系统设计中，利用建筑表面分析模型确定最优倾角与朝向，以最大化光能吸收；在风能利用方面，通过流体力学模拟优化建筑形体与风向关系，从而提高微型风力发电装置的输出效率。此外，储能技术的发展为可再生能源的稳定供能提



供了保障。通过将光伏与储能系统结合，可实现“自发自用、余电上网”的能源模式，显著提升建筑能源自给率。智能控制系统则基于实时气象数据与能耗反馈，自动调节设备运行状态，实现“按需供能”的精细化管理，从而最大限度地提升能源利用效率与系统稳定性。

未来，可再生能源技术在建筑节能中的融合将呈现更加多元与系统化的发展趋势。一方面，建筑与能源系统的边界将进一步模糊，建筑将从单一的能源使用体转变为“微能源中心”，实现能源生产、储存、消纳的一体化运行；另一方面，区域能源互联将推动城市层面“零碳社区”的建设，通过能源共享与负荷平衡，实现整体能效最优。同时，政策激励与标准体系的完善将进一步促进可再生能源在建筑中的普及与应用。例如，政府补贴、碳交易机制及绿色建筑认证制度的实施，为项目开发提供了经济与制度保障。随着技术创新与社会认知的提升，可再生能源技术将与建筑节能理念深度融合，形成以“绿色能源—智能管理—可持续运行”为特征的现代建筑体系，为实现低碳城市与生态人居环境目标提供坚实支撑。

## 五、低碳建筑设计未来方向与综合效益分析

低碳建筑设计的未来方向正朝着智能化、系统化与生态化的综合发展迈进。在“双碳”战略背景下，建筑行业正经历由节能降耗向全生命周期碳管理的转型。未来的低碳建筑不仅关注建造环节的能耗控制，更注重运行阶段的能源优化与退役阶段的资源再生。通过建立数字化设计平台与碳排放数据库，可实现设计方案的碳足迹预测与全过程碳排放管控。同时，建筑与城市能源系统将更加紧密融合，推动区域能源协同与零碳社区建设。智能技术的引入使建筑具备自我感知、分析与调节能力，形成“主动式低碳系统”，在保障舒适度与功能性的同时实现能源最优利用与环境负荷最小化。

在未来发展中，低碳建筑的设计理念将更加注重人与自然的和谐共生。绿色生态建筑理念的深化促使建筑不再是能源消耗的

终端，而是生态循环的重要组成部分。通过植被屋顶、垂直绿化与雨水回收系统的应用，建筑能够有效调节微气候、改善空气质量并降低热岛效应。同时，材料循环利用与可持续采购将成为设计的重要内容，推动建筑从“资源消耗型”向“资源再生型”转变。社会公众对健康人居环境的需求也将推动建筑在低碳基础上进一步关注空气质量、采光舒适性与声环境优化，使低碳建筑的内涵从单纯节能扩展为全面的生态宜居。未来，随着智慧城市与绿色能源体系的融合，建筑将与自然环境形成良性互动，成为碳汇功能与生态修复的重要载体，为人类提供更加健康、安全、绿色的生活空间。

低碳建筑的综合效益不仅体现在能源节约与碳减排方面，还在经济、环境与社会层面产生深远影响。经济上，低碳建筑通过智能化能源管理与高效设备应用，显著降低运行与维护成本，提高建筑资产价值；环境上，绿色设计与清洁能源利用减少污染物排放，促进城市生态系统平衡；社会上，低碳建筑改善居住与工作环境，提升居民生活品质，并推动绿色消费与环保意识的普及。此外，随着碳市场机制的建立与绿色金融的发展，低碳建筑项目可通过碳积分、节能收益等方式实现经济回报。未来，低碳建筑设计将成为推动可持续城市建设、实现经济与环境双赢的重要路径，为全球碳中和目标的实现提供强有力的技术与实践支撑，并引领建筑行业向智慧化、生态化、高质量发展方向持续迈进。

## 六、结语

低碳建筑设计作为应对气候变化与能源危机的重要途径，正逐步成为建筑业发展的主流方向。通过能源管理系统的优化、环境影响的科学评估以及可再生能源的高效融合，建筑实现了节能、环保与舒适性的统一。未来，随着智能化技术与绿色理念的深度融合，低碳建筑将更加注重系统协同与生态共生，推动城市从高能耗向可持续发展转型，为实现碳中和目标与构建宜居绿色社会提供坚实支撑。

## 参考文献

- [1] 张腾蛟. 低碳建筑设计方法与技术在民用建筑中的应用研究 [J]. 石化技术, 2024, 31(03): 316–317.
- [2] 安延栋. 低碳建筑设计理念在建筑规划设计中的应用探讨 [J]. 散装水泥, 2024(03): 14–16+21.
- [3] 李炎, 许培源, 刘正辉, 余纯, 周军. “双碳”政策下低碳建筑在房屋建筑中的应用 [J]. 建筑技术开发, 2025, 52(01): 127–129. DOI: 10.20259/j.jzjskf.2025.01.0127.
- [4] 张绚. 低碳建筑设计理念在建筑设计中的应用研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025(12): 99–101.
- [5] 邹亚, 陈兰娥, 梁淑贤. 绿色低碳建筑理念在高层建筑设计中的运用 [J]. 居业, 2025(09): 103–105.



# 隧道照明系统节能养护技术及机电优化方案

施恒柱

辽宁省交通通信发展有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

DOI:10.61369/ETQM.2025120005

**摘 要 :** 隧道机电系统是保障隧道安全、高效运营的核心基础设施, 其优化方案的实施对提升隧道整体性能具有多重重要意义。基于当前行业实践和成功案例, 隧道机电优化很重要。隧道照明将超越单纯照明功能, 发展为集安全监测、环境适配、数据决策于一体的综合性系统, 成为智慧交通基础设施的核心组成部分。随着 "双碳" 战略推进, 隧道照明智能控制将迎来更广阔的发展空间。

**关 键 词 :** 隧道照明系统; 节能养护技术; 机电优化方案

## Energy - saving Maintenance Technology and Electromechanical Optimization Scheme of Tunnel Lighting System

Shi Hengzhu

Liaoning Transportation and Communication Development Co., Ltd., Shenyang, Liaoning 110000

**Abstract :** The tunnel electromechanical system is the core infrastructure to ensure the safe and efficient operation of tunnels, and the implementation of its optimization scheme is of multiple important significance for improving the overall performance of tunnels. Based on current industry practices and successful cases, the optimization of tunnel electromechanical systems is very important. Tunnel lighting will go beyond the simple lighting function and develop into a comprehensive system integrating safety monitoring, environmental adaptation, and data decision – making, becoming a core component of intelligent transportation infrastructure. With the advancement of the "dual carbon" strategy, intelligent control of tunnel lighting will usher in a broader development space.

**Keywords :** tunnel lighting system; energy – saving maintenance technology; electromechanical optimization scheme

### 引言

当前我国公路隧道照明能耗严重, 存在的突出问题是照明系统设计超标、照明控制方式落后、照明节能理念有误、照明节能措施单一。以建设“资源节约型、安全环保型”公路隧道为出发点, 从宏观层面分析公路隧道照明节能及机电优化方案, 并从系统工程角度提出公路隧道照明节能的对策。

### 一、隧道机电优化方案的重要性分析

1. 安全性提升。实时监控与预警系统, 通过视频监控、车牌识别和雷达检测等技术, 实现对隧道内车辆流量、速度及异常事件的实时监测, 显著提升事故响应速度。例如, 智能视频分析系统可自动识别车辆违章行为, 并在事故发生时迅速定位事故现场。远程监控平台能够及时发现设备潜在故障, 避免因机电系统失效导致的安全事故, 如通风或照明系统故障可能引发的二次事故。应急处理能力增强, 集成化的消防、通信系统可在紧急情况下快速启动应急预案<sup>[1]</sup>。例如大别山隧道群通过升级情报板和车辆指示器, 优化了交通引导效率, 日均服务 3.5 万台车辆仍保持安全运营。

2. 节能与环保效益。智能照明技术应用, 自适应调光系统根据车流量和环境光自动调节亮度, 临建高速试点隧道用电量下降 18%, 推广后全年电费节省提高。

大岩山隧道采用随车调光技术后, 月用电量降低 44%, 无效照明时间显著缩短。

能源管理优化, 错峰用电策略在除湿系统中应用, 节省电费。LED 灯具替代传统钠灯可降低 30% 以上能耗, 部分项目通过 "修旧利废" 策略重复利用旧设备, 进一步减少资源浪费。

3. 运维成本控制。技术创新降本, 采用自动化钻孔设备, 使单孔施工时间缩短 60%, 工器具损耗率降低 30%, 日钻孔量从 150 组提升至 600 组。通过联合谈判和设备直采, 同类型维护成本降低, ETC 天线等项目采购成本最高下降。标准化管理增效, 隧道

所制定《隧道机电设备管理手册》，实现巡检效率提升，故障处理时间缩短。"线上监控+线下巡检"双班组模式使一般故障可远程处理，复杂故障响应速度提高。

4.管理效能升级。数据驱动决策，智能管理系统通过大数据分析预测设备寿命，项目据此优化维护周期，节省成本。统一平台集成照明、通风等子系统数据，打破信息孤岛，运维人员处理效率提升。长期经济效益，机电优化虽需前期投入，但通过节能降耗和延长设备寿命，通常2-3年即可收回成本。如高速智能调光系统投资回收期仅1.8年。

## 二、隧道照明系统节能技术

隧道照明系统的节能技术主要包括以下几类，结合当前智能化发展趋势和技术应用，可归纳如下：

1.自适应调光技术。车流感应控制：通过雷达、摄像头等设备实时监测车流，实现“车来灯亮、车走灯暗”的动态调节，节能率可达35%-60%。环境光自适应：根据隧道内外自然光强度自动调整入口段和过渡段亮度，减少“黑洞效应”和眩光。

2.智能照明系统优化。物联网远程控制：支持通过移动终端远程调节亮度、色温等参数，提升管理灵活性。低流量时段模式：在车流稀少时切换至间隔照明或降低整体亮度，进一步减少能耗。

3.高效光源与灯具升级。LED灯具替代传统光源：LED具有高效能和长寿命特性，可降低长期运维成本（虽未直接提及，但为行业通用技术）。

4.综合节能策略。双碳目标驱动：通过智能化改造实现精准控光，助力交通领域碳中和。以上技术通过动态调控、智能感知和高效设备结合，在保障行车安全的同时显著降低能耗。

## 三、隧道照明系统养护技术要点

隧道照明系统的养护是确保其长期稳定运行和节能效果的关键环节，结合当前行业实践和技术发展，主要养护技术要点如下：

1.日常巡查与清洁保养。灯具表面清洁，每月至少进行一次灯具表面清洁，防止灰尘积累降低光效（清洁后光通量可恢复90%以上）。光学部件检查，定期检查透镜、反射器等光学部件是否老化或破损，及时更换以保证照明质量。

2.智能系统维护。传感器校准，每季度对光敏传感器、车流检测器等关键传感设备进行校准，确保数据采集准确性；控制程序更新，根据季节变化和实际运营数据，定期优化控制算法参数，保持系统调节灵敏度。

3.设备状态监测。电气安全检测，使用红外热像仪等设备定期检查线路连接状态，预防接触不良引发的安全隐患；LED模组维护，建立LED灯具光衰数据库，对光效低于初始值70%的模组进行更换。

4.节能效果验证。能耗数据分析，每月对比照明系统用电数

据与车流量曲线，评估节能措施的实际效果；照明质量检测，使用照度计定期测量各段照度值，确保符合规范要求（如隧道中间段维持10-15lx）。

5.自测方法体系。光度学检测，检测依据：GB 7000.1；关键指标：纵向均匀度 $\geq 0.6$ ，横向均匀度 $\geq 0.4$ ；测点间距按设计速度分级：时速 $\leq 60\text{km}$ 用5m间隔， $>60\text{km}$ 用10m间隔；检测设备：LMT系列光度计。电气安全检测，检测标准：GB 7000.203；关键参数：功率因数 $\geq 0.9$ ，谐波畸变率 $<15\%$ ；绝缘电阻测试（500V DC条件下维持60s，阻值 $>2\text{M}\Omega$ ）；检测设备：FLUKE 435II电能质量分析仪。

6.应急保障措施。备用电源测试，每半年测试应急照明切换功能，确保断电时能自动点亮（切换时间不超过0.5秒）；预案演练，每年至少组织一次照明系统故障应急演练，验证维护团队响应能力；通过以上系统化的养护技术，可有效延长隧道照明系统寿命（LED灯具寿命可达5万小时以上），维持节能效果（综合节能率通常保持在30%-50%）<sup>[9]</sup>。现代智能养护平台的应用，更可实现故障预警准确率达90%以上。

## 四、隧道照明系统机电优化方案

隧道照明系统的机电优化是提升运营效率、保障行车安全和实现节能减排的关键措施。根据当前行业实践和技术发展，以下是完整的机电优化方案：

1.技术优化方法。LED灯具替换传统照明设备，采用高效能LED灯具替代传统高压钠灯和金属卤化物灯，LED灯具具有高亮度、长寿命（可达5万小时以上）和低能耗的特点。实施步骤包括：照明现状调查→制定更新计划→分阶段更换→新设备测试验证；智能照明控制系统，引入车流感应调光技术，通过微波传感器实时监测车流量，实现“无车关闭、低速全亮”的智能调节模式。采用环境自适应调节，光敏传感器与边缘计算结合，根据自然光变化自动调整隧道入口段亮度。

多维度数据驱动优化，部署多模态传感器（光学、红外、超声波等）全面感知环境参数和设备状态应用AI增强型传感器，通过机器学习算法实时校准数据误差；建立多源数据融合平台，整合隧道内外部环境的实时数据。

2.实施方案与步骤。前期准备阶段，详细勘察隧道基本情况（长度、宽度、高度、车流量等）；制定科学合理的施工组织设计和技术规范；组建专业项目管理团队（技术质量、安全环保、采购等部门）。设备选型与布局，根据隧道特性选择优质LED灯具，考虑散热性能和使用寿命；优化灯具布局：双侧对称或交错布灯，确保照明均匀分布；设计合理的配电系统，满足功率需求和远程监控要求。控制系统部署，实施智能控制策略：按时间段、车流量、环境光照自动调节亮度；建立故障反馈与智能运维功能，实时监测设备运行状态；针对隧道不同区域（入口段、过渡段、中间段、出口段）制定个性化照明策略。施工与验收，严格执行施工质量控制，确保符合行业标准（JTG/T D70/2-01等）；进行照度测试：在测试区域按布灯方式设置测点，验证照明效

果；验收标准包括眩光指数 ( $I_{80} \leq 30\text{cd}/1000\text{lm}$ )、色品坐标偏差 ( $\Delta_{uv} \leq 0.0100$ )等技术指标。

3. 优化效果评估。节能效益，典型案例显示，智能照明系统可实现30-50%的综合节能率；实施“一隧一策”后，隧道照明无效投入减少；隧道群应用后，照明能耗曲线呈现明显“削峰填谷”特征。安全性能提升，消除“黑洞”现象，确保视觉过渡平滑（入口段亮度维持10-15lx）；某地铁线改造后事故率降低22%，投资回收期仅1.5年。运维效率改进，预测性维护平台使故障预警准确率达90%，维护成本降低30% 远程监控系统减少人工巡检频率，检测效率提升300%。

## 五、隧道照明智能控制未来趋势分析

随着智慧城市和绿色交通建设的推进，隧道照明系统正经历从传统照明向智能化、数字化方向的深刻变革。基于当前技术发展和行业实践，隧道照明智能控制的未来将呈现以下关键趋势<sup>[3]</sup>：

1. 技术架构升级。分布式智能控制架构，未来隧道照明将普遍采用“云-边-端”三级架构：云端平台实现省级集中监控，边缘计算节点提供毫秒级应急响应，终端灯具配备独立控制模块。这种架构既确保大范围管控，又保障突发情况下的快速处置能力。HIYIN平台案例显示，此类系统故障预测准确率已达90%，维护成本降低。AI增强的环境感知，新一代系统将集成多模态传感器（光学、红外、超声波等）和AI算法，实现更精准的环境识别。模糊控制算法能根据国标阈值自动生成最佳照明方案，对雾霾、暴雨等极端天气识别准确率已达行业先进水平。测试数据显示，这类系统可使日间照明能耗降低40%以上，应急响应速度提升3倍。

2. 核心功能演进。动态调光技术深化，“灯随车亮”系统通过毫米波雷达跟踪车辆轨迹，动态调整照明段长度和亮度。浙江建金高速应用案例显示，年节能率达35%，同时事故率降低22%<sup>[4]</sup>。未来将发展出基于车速的自适应照明，确保照明范围始终覆盖车

辆安全视距。数字孪生运维管理，数字孪生技术可实现隧道照明系统的全生命周期管理，包括：实时结构健康监测与预测性维护；远程监控与智能应急响应；能耗大数据分析与优化决策；新型维护模式可降低人工巡检次数，显著提升运维效率。

3. 新兴技术融合。车路协同照明，下一代方案将实现基于车辆位置的个性化照明服务，与自动驾驶系统深度整合。高速隧道已试点“四合一”车辆跟踪系统，结合车流量、车速、天气等因素实现分段式精准控制。AI算法持续优化，机器学习算法将用于实时校准传感器数据误差，并通过历史数据学习不断优化照明策略。当前系统已能根据晴天、阴天、雨雪天等不同天气条件自动调节亮度，未来将实现更精细的个性化适配<sup>[5]</sup>。

4. 行业发展趋势。绿色低碳转型，据行业预测，LED隧道灯具将更加高效节能，结合智能控制可实现综合节能50%以上。政策驱动下，绿色照明已成为不可逆转的行业方向。标准化与规模化，中国智能交通协会指出，未来三年需重点突破异构系统兼容、网络安全防护等技术难点，实现“可视、可控、可管”的现代化运营目标。政府将加强标准规范制定，推动行业健康有序发展。服务模式创新，

企业将从产品供应商转向“技术+服务+生态”综合服务商，提供全生命周期解决方案。典型案例显示，智能系统投资回收期可缩短至1.5年，商业模式可持续性显著提升。

5. 挑战与对策。技术整合难度，不同厂商设备兼容性、复杂环境下的传感器可靠性仍是待解难题。建议采用模块化设计，预留标准化接口，便于后续升级。

网络安全风险，分布式架构增加了网络攻击面。需建立多层防护体系，包括设备认证、数据加密和异常行为监测等。人才缺口，智能照明跨学科特性要求复合型人才。行业需加强校企合作，培养同时懂照明工程、物联网和AI技术的专业团队。

综上所述，隧道机电优化不仅是技术升级，更是运营理念的革新。其在安全、节能、成本和管理方面的综合效益，已通过多个成功案例得到验证，成为现代隧道运营管理中不可或缺的战略举措。

## 参考文献

- [1] 李强. 高速公路隧道照明节能控制研究 [J]. 光源与照明, 2023(6): 21-23.
- [2] 李少. 差分进化算法的改进及其在高速公路隧道照明优化中的应用 [D]. 中国地质大学, 2023.
- [3] 王函. 高速公路隧道照明节能控制研究 [J]. 四川建材, 2024, 50(1): 176-178.
- [4] 谢耘. 高速公路隧道照明的节能设计 [J]. 中国高新科技, 2023(2): 70-71.
- [5] 涂飞琦. 西汉高速公路隧道照明系统评估研究 [J]. 照明工程学报, 2020, 21(5): 15-21, 36.

# 智慧公路背景下机电系统集成技术探讨

王维海

辽宁省交通运输事业发展中心, 辽宁 沈阳 110000

DOI:10.61369/ETQM.2025120006

**摘 要 :** 随着信息技术的飞速发展, 智慧化公路建设正逐步成为现代交通体系发展的核心战略。机电系统作为保障智慧公路系统安全可靠运行的关键要素, 机电系统的效能直接取决于调试工艺水平、工程技术人员的专业素养等关键性指标。论文对智慧公路背景下机电系统集成技术进行了分析, 旨在为推动智慧公路机电系统集成技术的发展提供理论支持与实践参考。

**关 键 词 :** 智慧公路; 机电系统; 集成技术; 信息技术

## Discussion on Electromechanical System Integration Technology in the Context of Smart Highways

Wang Weihai

Liaoning Transportation Development Center, Shenyang, Liaoning 110000

**Abstract :** With the rapid development of information technology, the construction of smart highways is gradually becoming a core strategy for the development of modern transportation systems. The electromechanical system is a key element to ensure the safe and reliable operation of the smart highway system, and the efficiency of the electromechanical system directly depends on key indicators such as the level of debugging technology and the professional quality of engineering and technical personnel. This paper analyzes the electromechanical system integration technology in the context of smart highways, aiming to provide theoretical support and practical reference for promoting the development of smart highway electromechanical system integration technology.

**Keywords :** smart highway; electromechanical system; integration technology; information technology

### 前言

智慧公路是运用大数据、云计算、物联网、人工智能等新一代信息技术对传统公路交通系统做智能化升级改造的产物, 它凭借实现人、车、路、环境之间的智能交互能显著提升公路运输的效率、安全性和服务水平, 为人们出行与货物运输提供更加便捷、高效、舒适的体验, 在智慧公路体系里机电系统如同人体神经系统负责信息的采集、传输、处理和控制在智慧公路各项功能的核心支撑, 机电系统集成技术是把各个机电子系统有机整合在一起让其协同工作发挥最大效能的关键技术<sup>[1]</sup>, 伴随智慧公路建设的持续推进对机电系统集成技术的要求日益提高, 深入研究机电系统集成技术并解决集成过程中面临的各类问题对推动智慧公路建设高质量发展意义重大

### 一、智慧公路机电系统集成设计方案

智慧公路机电工程体系是由多个功能模块构成的, 它的核心目标是提升道路运营效率、保障行车安全以及优化交通管理效能, 通过实时进行数据采集与分析, 这个系统能够为交通管理部门提供决策方面的支持, 实现动态管控与服务的优化, 研究显示在智慧公路运营阶段, 机电系统发挥着非常关键的作用, 其监控、收费、通信、供配电、照明及隧道管理等子系统借助物联网技术实现互联互通, 形成协同运作的整体架构, 这种系统集成模式不但突破了传统独立运行的局限, 还通过信息共享机制显著提升了整体运营效能, 基于这些情况, 构建科学合理的智慧公路机

电系统集成方案具有重要实践价值。

智慧公路机电系统集成设计需重点考量以下四个方面: 首先, 在人机交互界面设计这个领域, 要依据认知心理学的人因工程学原理, 采用契合用户心智模型的界面布局方式, 通过科学合理地划分功能模块区域、精心优化操作流程的逻辑顺序、巧妙设置合理的视觉引导元素, 来构建符合用户操作习惯且直观易用的交互系统, 与此同时引入语音交互和手势控制等多元化交互方式, 并且建立针对用户操作行为的分析机制, 持续不断地优化界面设计, 以此显著提升管理人员的操作效率以及信息获取能力。其次, 在数据管理这个层面要建立基于云计算技术的动态数据维护机制, 采用分布式数据库架构来确保海量交通基础设施运行数



据实时采集与高精度存储,运用数据清洗、校验和纠错算法保障数据的高质量,与此同时构建统一的数据交换平台,采用标准化数据接口协议和中间件技术达成收费系统、监控系统、通信系统等各子系统间数据互联互通与高效共享。再次,在业务流程优化方面,应建立基于 ISO 标准的全生命周期数据处理流程,规范数据采集环节的传感器部署策略、数据传输环节的网络安全协议、数据存储环节的灾备方案以及数据调用环节的权限管理机制,通过流程再造和持续改进确保系统间数据流转的可靠性、安全性与一致性。最后,在系统功能集成这块依靠函数计算技术构建融合深度学习算法智能决策模型,通过计算机技术网络技术物联网技术的深度融合来实现照明控制交通诱导应急指挥等各机电系统协同运行与智能管控,并且建立系统健康状态监测和故障预警机制给智慧公路安全高效绿色运营提供全方位技术支撑<sup>[2]</sup>。

## 二、智慧公路机电系统集成技术要点

### （一）通信集成技术

#### 1. 异构网络融合

智慧公路机电系统里的通信网络一般是由多种不同类型网络构成的,像光纤通信网络、无线通信网络(包含 4G/5G、Wi-Fi 等)以及卫星通信网络等都是其中组成部分,达成这些异构网络的融合属于通信集成技术的关键要点之一,借助采用多模通信模块、网络融合网关等设备和技術,能够对不同网络的通信协议进行转换和适配,从而让各个子系统之间的信息可以在不同网络之间实现顺畅传输,比如在一些偏远山区的公路项目中,由于光纤通信网络覆盖存在困难,就可以利用 4G/5G 无线通信网络来作为补充,通过网络融合技术,把外场设备采集的数据经由无线通信网络传输到附近的基站,然后再经过光纤网络传输到监控中心,以此确保信息的实时性和完整性。

#### 2. 高速可靠的数据传输

为了满足智慧公路机电系统大量数据实时传输需求,得确保通信网络具备高速可靠的数据传输能力,一方面要持续提升通信链路的带宽,像采用更高规格光纤线缆、升级通信设备端口速率等,以此支持高清视频流与海量监测数据等大流量数据快速传输,另一方面要采用先进差错控制、流量控制和拥塞控制技术,保证数据在传输过程当中的准确性和稳定性,比如在视频监控数据传输的时候,采用视频编码压缩技术来减少数据量,并且结合可靠传输协议(如 TCP)进行传输,同时利用缓存技术和流量整形技术,防止网络拥塞造成视频卡顿或者丢失。

#### 3. 网络安全防护

随着智慧公路和互联网实现深度融合,通信网络所面临的安全威胁日益严峻,所以在通信集成的过程当中,必须要高度重视网络安全防护工作,要采用防火墙、入侵检测系统(IDS)、虚拟专用网络(VPN)、加密技术等多种安全防护手段,对通信网络开展全方位的安全保护措施,防火墙可以设置在网络边界的位置,以此来阻挡外部非法网络访问和恶意攻击,IDS 能够实时监测网络流量情况,及时发现并告警异常行为,VPN 借助加密隧道技

术,保障数据在公网传输过程中的安全性,加密技术会对敏感数据进行加密处理,防止数据被窃取或者篡改,比如在收费系统的数据传输工作里,对用户的支付信息、车辆通行记录等采用 SSL/TLS 加密协议进行加密传输,以此确保数据的安全性和隐私性。

### （二）监控集成技术

#### 1. 多源数据融合

智慧公路监控系统涵盖多种类型传感器和监测设备,像视频摄像头、交通流量检测器、事件检测器、环境监测仪等,这些设备会产生大量多源异构数据,实现多源数据融合是监控集成技术的核心要点之一,通过建立统一的数据模型和数据接口规范,采用卡尔曼滤波、贝叶斯估计等数据融合算法,对不同类型、不同来源的数据进行整合和分析,能够获取更全面准确的公路运行状态信息,例如把视频监控数据里的车辆行驶轨迹信息与交通流量检测器采集的车流量数据进行融合分析,可更精确判断道路拥堵情况和拥堵成因,为交通疏导提供更具针对性的决策支持。

#### 2. 智能分析与预警

运用人工智能和机器学习等先进技术对监控数据开展智能分析,以此实现自动事件检测和预警,这属于监控集成技术的重要发展方向,通过针对大量历史监控数据进行学习和训练,建立交通事件识别、车辆行为分析和设备故障预测等模型,系统能够自动识别交通事故、车辆违章行为以及机电设备故障等异常情况,并及时发出预警信息,就像在视频监控图像分析当中,采用基于深度学习的目标检测算法,能够准确识别车辆、行人与交通标志等目标物体,并且通过对目标物体的行为分析来判断是否存在异常行为,例如车辆逆行、超速行驶以及行人闯入智慧公路等,一旦发现异常就立即触发预警机制通知相关人员进行处理,从而提高公路的安全性和应急响应能力。

#### 3. 远程控制与联动

监控集成技术需要达成对监控设备远程控制以及各监控子系统联动功能,借助网络通信技术,管理人员能于监控中心远程控制摄像头云台与镜头来调整监控视角和焦距,还可远程优化和调整交通信号灯配时方案,并且能对通风、照明等设备进行远程启停和运行参数设置,当某个监控系统检测到异常事件时可自动触发其他相关子系统联动响应,比如视频监控系统检测到交通事故时自动联动交通信号灯调整信号配时引导车辆绕行,启动附近紧急电话系统和有线广播系统向周边车辆和行人发布事故信息与安全提示,触发应急救援预案通知相关救援部门赶赴现场。

### （三）收费集成技术

#### 1. ETC 与其他支付方式融合

在智慧公路收费系统当中实现 ETC 和其他支付方式融合,像移动支付、车牌识别收费等,为用户提供多样化缴费选择,这是收费集成技术的关键要点之一,通过建立统一支付平台和结算系统,对不同支付方式的交易流程进行整合和规范,实现支付数据的统一处理和管理,比如在收费站车道设置支持多种支付方式的终端设备,用户既能够使用 ETC 快速通过车道,也可以选择用手机扫码支付、银联闪付等移动支付方式,或者借助车牌识别技术完成无感支付,支付平台在接收到用户支付请求之后,依据用户

选择的支付方式，与相应支付机构进行通信和结算，并且将支付结果反馈给收费系统以完成收费交易<sup>[3]</sup>。

#### 2. 收费数据管理与分析

收费系统每天都会产生数量庞大的收费数据，涵盖车辆通行记录、收费金额与支付方式等内容，对这些数据开展有效的管理和分析工作，对于提升收费运营效率、防范逃费行为以及优化收费策略有着重要意义，要建立起完善的收费数据库，采用数据仓库技术对收费数据进行存储和管理，以此确保数据具备安全性、完整性和可扩展性，利用数据分析工具和数据挖掘算法对收费数据做深入分析，挖掘出数据背后隐藏的潜在信息，比如通过对车辆通行时间、行驶路径和车型等数据进行分析，能够了解交通流量的时空分布规律，为智慧公路的运营管理和规划建设提供决策依据，通过对收费交易数据进行分析，能够及时发现逃费、作弊等异常交易行为，采取对应措施进行防范和追缴。

#### 3. 系统安全与可靠性

收费系统因为涉及大量资金交易和用户信息，所以其安全性和可靠性是至关重要的，在收费集成过程当中，需要采取一系列措施来确保系统安全稳定运行，除了采用网络安全防护技术保障通信网络安全之外，还应对收费系统核心业务逻辑进行严格安全设计和漏洞检测，以此防止黑客攻击和数据出现泄露情况，采用冗余设计以及备份恢复技术等方式提高系统可靠性，确保在系统故障或者自然灾害等突发状况下收费业务能够持续正常运行。

### （四）供配电照明集成技术

#### 1. 智能供配电管理

供配电照明集成技术重要内容是实现供配电系统智能化管理，通过安装智能电表、智能开关和电力监控系统等设备与系统，对供配电系统运行状态开展实时监测和远程控制工作，智能电表可实时采集电压、电流、功率、电量等电力参数并传输数据到电力监控系统<sup>[4]</sup>，智能开关能够实现远程分合闸操作且依据用电设备需求自动控制电力供应，电力监控系统会对采集到的数据进行分析 and 处理，可及时发现供配电系统过载、短路、漏电等故

障隐患并发出报警信息通知维护人员处理，同时利用智能控制算法结合不同时间段用电负荷变化对供配电系统进行优化调度以实现节能降耗，比如在夜间交通流量较小时段自动降低部分非关键区域供电功率减少能源浪费。

#### 2. 照明智能控制

照明系统的智能控制能显著提高照明效果并降低能源消耗，采用智能照明控制器和传感器（像光照传感器、人体红外传感器）等设备，结合物联网技术来实现对照明灯具的智能控制，依据环境光线的变化通过光照传感器自动调节照明灯具的亮度，在环境光线较亮时降低灯具亮度，在环境光线较暗时提高灯具亮度以确保照明亮度始终处于合适范围，在人员活动较少的区域利用人体红外传感器检测是否有人活动，当检测到无人活动时自动关闭或降低照明灯具的亮度从而实现人走灯灭或人少灯暗的节能效果，除此之外还能通过远程控制平台对照明系统进行集中管理和控制。

#### 3. 能源优化与节能技术应用

在供配电照明集成过程中，应注重能源优化和节能技术的应用。采用高效节能的供配电设备和照明灯具，如节能变压器、LED照明灯具等，降低设备自身的能耗。推广应用新能源（如太阳能、风能）技术，在公路沿线合适的位置安装太阳能板、风力发电机等新能源发电设备，将产生的电能储存起来，用于部分机电设备的供电或照明，减少对传统能源的依赖。

## 三、结束语

高速公路机电系统构成具有多元化特征。为有效提升各子系统协同效能，需从人机交互界面、数据信息交互、业务流程优化以及功能模块整合等维度推进系统集成设计<sup>[5]</sup>。通过引入智能化技术手段革新系统设计与施工工艺，并强化系统调试环节，从而充分释放机电系统在高速公路运营管理中的综合效能。

## 参考文献

- [1] 柳阳. 高速公路机电工程系统集成设计与施工调试技术 [J]. 交通世界, 2021(19): 142-143.
- [2] 苟春林. 高速公路隧道工程中的机电系统施工技术 [J]. 甘肃科技纵横, 2023, 46(10): 52-54.
- [3] 陈晨. 智慧公路机电系统集成中的通信技术融合应用 [J]. 中国交通信息化, 2023(08): 120-122.
- [4] 赵宇. 基于物联网的智慧公路机电系统集成优化策略 [J]. 交通建设与管理, 2022(06): 86-88.
- [5] 孙悦. 智慧公路背景下机电系统集成的智能化发展路径探讨 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(11): 105-107.

# 低热水泥在天台抽水蓄能电站面板混凝土中的应用研究

鹿永久<sup>1</sup>, 邓超<sup>1</sup>, 吴申瑜<sup>2</sup>

1. 长江三峡技术经济发展有限公司, 湖北 宜昌 443133

2. 江苏苏博特新材料股份有限公司, 江苏 南京 211103

DOI:10.61369/ETQM.2025120012

**摘 要 :** 本文详细阐述了低热水泥在天台抽水蓄能电站面板混凝土中的应用。通过对工程概况和研究背景的介绍, 分析低热水泥相较于普硅水泥在抗裂性能等方面的优势, 详细说明低热水泥面板混凝土施工工艺, 展示实施效果并进行经济性分析。研究表明, 低热水泥在该电站面板混凝土中的应用有效提升了混凝土性能, 避免了裂缝产生, 具有良好的经济效益和工程应用价值, 可为同类工程提供参考借鉴。

**关 键 词 :** 低热水泥; 天台抽水蓄能电站; 面板混凝土; 抗裂性能

## Research on The Application of Low-heat Cement in The Concrete Slab of Tiantai Pumped Storage Power Station

Lu Yongjiu<sup>1</sup>, Deng Chao<sup>1</sup>, Wu Shenyu<sup>2</sup>

1. Yangtze Three Gorges Technology &Economy Development Co., Ltd., Yichang, Hubei 443133

2. Jiangsu Sobute New Materials Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 211103

**Abstract :** This paper elaborates in detail on the application of low-heat cement in the concrete slab of the Tiantai Pumped Storage Power Station. By introducing the project overview and research background, it analyzes the advantages of low-heat cement over ordinary Portland cement in terms of crack resistance and other aspects. The construction process of low-heat cement concrete slabs is described in detail, and the implementation effects are demonstrated alongside an economic analysis. The study shows that the application of low-heat cement in the concrete slabs of this power station effectively enhances concrete performance, prevents cracking, and offers good economic benefits and engineering application value, providing a reference for similar projects.

**Keywords :** low-heat cement; tiantai pumped storage power station; concrete slab; crack resistance

## 引言

天台抽水蓄能电站是国家《抽水蓄能中长期发展规划(2021 - 2035年)》“十四五”重点实施项目, 位于台州市天台县。天台抽水蓄能电站装机容量170万千瓦, 单机容量42.5万千瓦为国内抽水蓄能电站最大, 额定水头724米, 为世界最高, 上下引水斜井长度达483.4米。电站主要由上水库、下水库、输水系统、地下厂房和开关站等组成。其中, 下水库大坝采用混凝土面板堆石坝, 坝顶高程206.50m, 最大坝高71.0m, 坝顶长420m, 坝顶宽度8米。大坝面板采用二级配常态混凝土 C30W10F150 共计17360m<sup>3</sup>, 面板直接承受上游水头压力, 是大坝主要防渗结构, 总面积约3.6万平方米, 划分为35块, 采用滑模浇筑, 单块宽度12米, 最大斜长116.5米, 面板厚度为:  $T=0.40 \sim 0.603m$ [厚 $0.40+0.003H(m)$ ](H为计算断面至面板顶部的高度), 大坝上游填筑后坝坡1:1.4, 面板施工后坝坡1:1.405, 面板内布置双层双向钢筋。

混凝土面板是混凝土面板堆石坝的防渗主体, 满足混凝土的抗裂性是其主要需求。从国内外已建和在建混凝土面板堆石坝工程实践来看, 面板混凝土裂缝的产生和延展不但严重影响混凝土结构本身的耐久性, 并且其导致的渗漏问题还对大坝主体长期服役性十分不利。如何避免混凝土面板产生裂缝、提高混凝土面板的耐久性, 是此类面板混凝土亟待解决的关键问题之一。随着我国抽水蓄能电站建设的快速发展, 对大坝面板混凝土的性能要求越来越高。混凝土裂缝问题一直是困扰水工建筑物耐久性和安全性的关键因素。在已建的抽水蓄能电站混凝土中, 普遍采用普通硅酸盐水泥。普硅水泥水化快、水化热高, 温度收缩大, 同时自干燥收缩也大, 更容易引发裂缝。相对普硅水泥而言, 低热水泥的主要矿物成分中硅酸二钙含量较高, 不小于40%, 具有低水化热、放热速率慢、干缩小、高后期强度及后期强度增进率高、热强比低、抗侵蚀、抗磨性和抗裂性能良好等特点, 对提高大体积混凝土工程的抗裂性和耐久性具有显著的作



用<sup>[1]</sup>。与传统的中热水泥及普热水泥相比，应用于大坝混凝土中，可使混凝土绝热温升降低8℃~10℃，能有效减小混凝土内部与表面的温差，降低温度应力，从而减小裂缝产生的可能性<sup>[2]</sup>。为解决高水头作用下混凝土面板抗裂、抗渗方面的问题，通过面板混凝土抗裂性能专项研究，借鉴类似工程建设经验，引入了低热硅酸盐水泥（以下简称“低热水泥”），并进行了一系列的研究和实际应用。

## 一、低热水泥面板混凝土配合比设计

### （一）混凝土原材料优选

采用普通硅酸盐P·O42.5水泥、嘉华特种水泥（兰溪）有限公司生产的低热硅酸盐水泥P·LH42.5两种水泥、华能南京金陵发电有限公司的F类Ⅰ级粉煤灰、项目中转料场系统生产的人工粗、细骨料；江苏苏博特新材料股份有限公司提供的PCA-I高性能减水剂、GYQ-I高效引气剂，以及不同类型的混凝土膨胀剂（抗裂剂）和改性PVA纤维与玄武岩纤维开展面板混凝土抗裂性能对比试验研究，开展了不同原材料混凝土性能对比试验研究和抗裂性研究，研究结果表明，混凝土用原材料性能满足设计技术和规程规范要求，改性PVA纤维地混凝土拌和物中分散性较好，混凝土拌和物性能、混凝土力学性能和耐久性能满足设计技术要求。混凝土拌和性能较好，力学性能和变形性均有所提高，混凝土抗裂性能最佳。



改性 PVA 纤维分散性试验

### （二）配合比施工配合比

天台抽水蓄能电站面板混凝土属于典型的薄壁结构混凝土，在满足施工性能要求下，重点考虑其抗压强度、极限拉伸值及抗裂性能，同时兼顾抗冻、抗渗等耐久性能。通过对比试验研究，最终选择“低热水泥+F类Ⅰ级粉煤灰+改性PVA纤维”的胶材体系作为面板混凝土施工配合比进行施工，其混凝土施工配合比见表1。

表1 施工配合比表

设计指标	坍落度（mm）	级配	水胶比	粉煤灰掺（%）	砂率（%）	混凝土材料用量（kg/m <sup>3</sup> ）								
						水泥	粉煤灰	水	砂	小石	中石	减水剂	引气剂	PVA
C30W10F150	30~50	二	0.40	25	37	224	81	130	712	545	667	2.925	0.016	1.0
	50~70	二	0.40	25	37	253	84	135	703	538	658	3.370	0.017	1.0

## 二、施工工艺

### （一）混凝土制备

#### 1. 原材料的准备

水泥：控制水泥入仓温度在65℃以下，增大储备量，延长周转时间，降低拌合时水泥的温度。

粉煤灰：把控粉煤灰的品质，加大进场批量，确保质量稳定。

细骨料：增大料场堆放量，延长沥水时间，砂子含水率控制在4%以内。

#### 2. 投料顺序与拌合制度

搅拌过程中，严格控制原材料的计量精度，确保各种材料按照配合比准确称量。按照骨料+纤维+胶材+水→外加剂投料顺序，搅拌时间不少于2min，以保证混凝土搅拌均匀，工作性能稳定。增加砂子含水率测试频次，根据含水率波动及时调整配料配合比。

### （二）混凝土运输

混凝土采用4m<sup>3</sup>自卸车运输，每套滑模配3~4辆自卸车进行水平运输，运输过程中避免发生骨料分离、漏浆和严重泌水等现象，采取遮阳、保湿措施，防止混凝土水分蒸发和温度升高。根据气温情况、溜槽长度动态调整混凝土出机口坍落度，当气温较

高、溜槽长度较长时适当增加出机口坍落度，并根据施工经验确定其具体数值，以满足混凝土溜送及入仓口坍落度30~50mm要求。

### （三）混凝土浇筑

优化面板浇筑方案。面板混凝土采用无轨滑模跳仓浇筑，溜槽入仓，每块面板开仓后连续滑升到顶。控制面板混凝土拉模速度，根据不同的气候条件一般控制在2~3m/h为宜。为防止早期面板表面出现裂缝，在混凝土初凝前采用二次压面工艺。部分溜槽采用遮阳布进行分段封闭，以减小混凝土溜送过程中的坍落度损失。

### （四）混凝土养护

养护是保证混凝土面板质量的关键，混凝土脱模后立即覆盖土工布防止表面失水，当强度增长到不因水冲而损坏时开始洒水养护，保持表面湿润。混凝土浇筑开始，认真做好面板的保温、保湿的养护工作以减少环境条件引起混凝土的干缩和温缩，混凝土养护至大坝蓄水。

## 三、低热水泥混凝土施工实施的效果

### （一）裂缝控制效果

通过在天台抽水蓄能电站面板混凝土中应用低热水泥，并采取优化的配合比和施工工艺，面板混凝土的裂缝得到了有效控



制。在面板施工完成后的质量检查中，仅发现22条细微裂缝，裂缝宽度均小于0.2mm，远低于设计允许的裂缝宽度标准（裂缝宽度 $\delta$ 不大于0.5mm），满足了大坝防渗和结构安全的要求。与采用普硅水泥的类似工程相比，裂缝数量和宽度都显著减小，有效提高了面板混凝土的抗裂性能。

（二）强度发展情况

对面板混凝土进行强度检测，结果表明，虽然低热水泥混凝土早期强度发展较慢，但28d强度基本达到了设计强度等级，56d和90d强度均有较大幅度增长<sup>[31]</sup>（如图1），满足工程长期运行对强度的要求。通过现场钻芯取样进行抗压强度试验，各龄期强度试验结果均符合设计预期，保证了面板结构的稳定性。

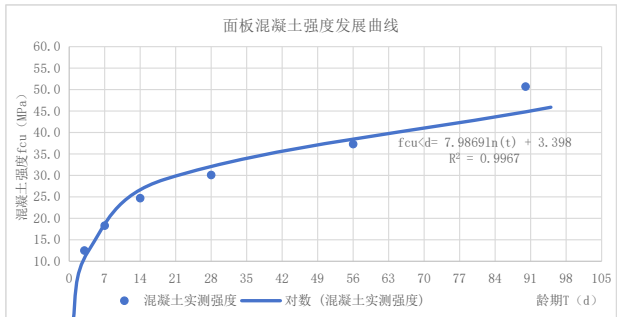


图1 面板混凝土强度发展曲线图

（三）耐久性评估

通过对面板混凝土进行抗渗性、抗冻性等耐久性指标检测，结果显示，混凝土的耐久性良好。抗渗等级达到了W10以上，抗冻等级达到了F200以上，满足抽水蓄能电站面板混凝土在恶劣环境下长期运行的耐久性要求。这得益于低热水泥的高耐久性和抗侵蚀性能以及合理的配合比设计和施工工艺。

四、经济性分析

（一）材料成本

低热水泥的生产成本相对较高，其单价比普通水泥约高出20～30%。然而，由于低热水泥混凝土具有良好的抗裂性能，减少了因裂缝处理而产生的额外费用，如修补材料费用、人工费用等，每方低热水泥混凝土生产成本较普通水泥混凝土生产成本高25元左右。同时，低热水泥混凝土的耐久性提高，可减少后期维

护和修复的成本，所估算每平方低热水泥混凝土维修成本仅普通水泥混凝土的1%~3%，从长期来看，综合成本可能并不高于普通水泥混凝土。此外，低热水泥更高的后期强度增长率和更低的标准稠度用水量，在配合比设计上，较普通硅降低了用水量和胶材用量，一定程度上降低胶材成本。

（二）施工成本

在施工过程中，由于低热水泥混凝土的工作性能良好，便于施工操作，如滑模施工过程中，混凝土的流动性和可塑性满足施工要求，减少了施工难度和施工时间。同时，由于裂缝控制效果好，减少了因裂缝处理而导致的施工延误，提高了施工效率，降低了施工成本。另外，低热水泥的应用降低了温控的成本。

（三）全寿命周期成本

从全寿命周期成本角度分析，虽然低热水泥在初期的材料成本可能略有增加，但考虑到其对混凝土结构耐久性的提升，可有效延长电站面板的使用寿命，减少后期维护和更换的费用。根据相关研究和工程经验估算，采用低热水泥的面板混凝土全寿命周期成本相较于普通水泥可降低30～35%，具有较好的经济效益。

五、结论与展望

通过在天台抽水蓄能电站面板混凝土中应用低热水泥的实践研究，得出以下结论：低热水泥具有低水化热、高后期强度、低收缩率、高耐久性和抗侵蚀性能等优点，与普通水泥相比，在抗裂性能方面具有显著优势；通过合理的配合比设计和优化的施工工艺，低热水泥面板混凝土能够满足工程的各项性能要求，有效控制裂缝产生，提高面板的质量和耐久性；从经济性分析来看，低热水泥虽然初期成本略有增加，但在全寿命周期内具有较好的经济效益。低热水泥在天台抽水蓄能电站面板混凝土中的成功应用，为其他抽水蓄能电站及水工建筑物的混凝土施工提供了宝贵的经验和参考。未来，随着对低热水泥研究的不断深入和技术的不断进步，低热水泥的性能将进一步优化，成本有望降低，其在水工领域的应用前景将更加广阔。同时，还需要进一步研究低热水泥与其他新材料、新技术的结合应用，以不断提高水工混凝土的性能和工程质量。

参考文献

[1] 马忠诚, 姚燕, 文寨军, 等. 低热硅酸盐水泥的研究进展 [J]. 新型建筑材料, 2019(1): 1-5.  
[2] 汪志林, 陈文夫, 孙明伦. 白鹤滩水电站低热硅酸盐水泥应用 [M]. 中国水利水电出版社, 2025.  
[3] 钟跃辉, 武亮, 刘春风, 等. 低热水泥混凝土早龄期强度试验与成熟度分析 [J]. 人民长江, 2021, 52(9): 186-192.

# 住宅建筑防水工程施工技术要点解析

刘谦, 刘欢, 张琦楠

莆田中建建设发展有限公司, 福建 莆田 351100

DOI:10.61369/ETQM.2025120023

**摘 要 :** 本文围绕住宅建筑防水工程施工展开, 从防水材料选择与性能参数、关键施工工序技术要点、质量检测与验收标准三方面解析核心技术要点。文中融入大量实际工程数据, 通过 3 个数据表格直观呈现关键参数, 在质量检测部分集中给出简单实用的计算公式与系统评价模型, 将防水技术原理渗透于各环节内容中, 为住宅建筑防水工程施工提供精准、可落地的技术参考, 助力提升防水工程质量与耐久性。

**关 键 词 :** 住宅建筑防水工程; 施工技术要点; 防水材料性能参数; 质量检测公式; 基层处理技术

## Analysis of Key Points of Waterproofing Construction Technology for Residential Buildings

Liu Qian, Liu Huan, Zhang Qinan

Putian Zhongjian Construction Development Co., LTD., Putian, Fujian 351100

**Abstract :** This paper focuses on the waterproofing construction of residential buildings and analyzes the core technical points from three aspects: the selection and performance parameters of waterproofing materials, the technical key points of key construction procedures, and the quality inspection and acceptance standards. The text incorporates a large amount of actual engineering data, presenting key parameters intuitively through three data tables. In the quality inspection section, simple and practical calculation formulas and system evaluation models are provided in a concentrated manner. The principles of waterproofing technology are permeated into each link of the content, providing precise and practical technical references for the waterproofing construction of residential buildings, and helping to improve the quality and durability of waterproofing projects.

**Keywords :** residential building waterproofing project; key points of construction technology; performance parameters of waterproof materials; quality inspection formula; primary treatment technology

### 一、防水材料选择

防水材料性能对防水工程质量有直接影响, 应依据住宅各部位使用环境和防水要求, 选取符合性能参数条件的材料。其核心技术原理主要体现于材料分子结构的稳定性、黏合性以及抗环境老化能力等方面, 这些特性能够借助具体参数实现量化<sup>[1]</sup>。

#### (一) 防水卷材

防水卷材作为住宅屋面与地下室外墙防水关键材料, 常见类型涵盖 SBS 改性沥青防水卷材、APP 改性沥青防水卷材以及高分子防水卷材。在材料选择方面, 屋面工程应该优先采用耐紫外线的 APP 改性沥青防水卷材, 地下工程则挑选耐水性更佳的水 SBS 改性沥青防水卷材。针对住宅项目的屋面施工, 运用 2.0mm 厚的 APP 改性沥青防水卷材, 经测试其拉伸强度为 5.2MPa, 远远高于规范所要求的数值, 防水作用显著<sup>[2]</sup>。

#### (二) 防水涂料

住宅厨房、卫生间、阳台等节点复杂区域适用防水涂料, 常

见品类包含聚氨酯防水涂料、聚合物水泥基防水涂料。按照《GB/T 19250 - 2013 聚氨酯防水涂料》要求, II 型单组分聚氨酯防水涂料需满足固含量不少于 92%, 表干所需时间 $\leq 4$  小时, 实干时长不超 24 小时, 拉伸的强度要达到 2.4MPa 及以上; II 型 JS 防水涂料固含量需达到 $\geq 65\%$ , 拉伸的强度要达到 1.8MPa 及以上, 断裂伸长率需为 80% 及以上。在厨房装修施工期间, 采用厚度为 1.5mm 的 JS 防水涂料, 该涂料与瓷砖粘结起来, 强度能够达到 0.5MPa, 可满足应用要求; 卫生间采用 2.0 毫米厚的聚氨酯防水涂料材料, 具备 48 小时浸水无渗漏的耐受能力<sup>[3]</sup>。

#### (三) 密封材料

II 型聚硫密封胶拉伸强度达 1.0MPa 及以上, 断裂延伸率达到 300% 及以上, 在 -20℃ 做低温弹性试验后没有裂纹。在住宅变形缝的施工工作中, 用聚硫密封胶填充, 填充的深度需 $\geq 20$ mm, 宽度要达到 30mm 及以上。经测试其拉伸模量为 0.35MPa, 达到规范规定, 可有效处理变形缝位移问题<sup>[4]</sup>。为直观对比不同防水材料性能, 下表 1 列出常用防水材料的核心性能参数:

作者简介:

刘谦 (1994.11-), 男, 湖南永兴人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 工程管理、技术质量管理。

刘欢 (1990.03-), 男, 本科。

张琦楠 (1996.08-), 男, 本科。

表1常用防水材料的核心性能参数					
材料类型	拉伸强度 (MPa)	断裂伸长率 (%)	耐温范围 (℃)	适用部位	吸水率 (%)
SBS 改性沥青卷材 (Ⅱ型)	≥ 4.5	≥ 30	-20~105	地下室外墙、屋面	≤ 1.0
PVC 高分子卷材 (Ⅱ型)	≥ 12	≥ 200	-20~70	屋面、地下室底板	≤ 0.5
聚氨酯防水涂料 (Ⅱ型)	≥ 2.4	≥ 400	-30~80	卫生间、阳台	-
JS 防水涂料 (Ⅱ型)	≥ 1.8	≥ 80	-10~60	厨房、卫生间	-
硅酮密封胶 (位移 ± 25%)	≥ 0.6	≥ 300	-40~80	门窗接缝、变形缝	-

## 二、关键施工工序技术要点

### （一）基层处理技术

在住宅室中防水施工中，按照《JGJ 298 - 2013 住宅室中防水工程技术规范》要求，当基层采用的是水泥砂浆找平层时，应把平整度误差限制在 ≤5mm/2m 的范围。通常用 2m 靠尺来检测，该项目卫生间基层平整度偏差在每 2 米 3 毫米，检测成果契合规范标准<sup>[9]</sup>。

对于含水率情况而言，规范规定基层含水率应控制在不超过9%。通常采用“塑料薄膜覆盖法”开展检测，将一块尺寸为 1 米 ×1 米的塑料薄膜覆盖到基层表面，经过 24 小时静置，若薄膜中侧不存在明显的凝结水，表明基层含水率达标，现场实施检测，得出结果是 7.5%，契合施工要求<sup>[9]</sup>。基层的抗压强度应 ≥1.5MPa，一般利用回弹仪来进行检测工作，此项目检测得出的数值是 1.8MPa，表明基层强度达标。在基层施工结束后，需开展表面瑕疵处理工作，针对已有的裂缝，若其宽度不小于 0.3mm，要用环氧树脂砂浆实施填充操作，且填充深度要达到或超过 10mm，从而使修补更密实、持久，施工时要保证基层没有空鼓、起砂等质量问题，进而为后续防水层的铺设给予可靠支持<sup>[7]</sup>。

### （二）防水层铺设施工要点

在防水施工期间，需按所选材料特性严格把控防水层铺设施工参数。施工过程中常运用热熔技术，要将热熔温度调控在 180 至 200 摄氏度范围，让卷材可充分熔融，且不会由于温度过热而造成材料性能变差。搭接处经热熔后需实施碾压操作，让卷材实现紧密粘结，最终的粘结剥离强度需 ≥1.5N/mm，才可符合设计与规范的规定<sup>[9]</sup>。

在开展地下室侧墙等区域的卷材施工作业时，多采用满粘工艺，促使卷材与基层完全贴合，粘结面积要求达到 90% 及以上，应根据屋面坡度选取铺设的方向<sup>[9]</sup>。

### （三）节点部位加强处理技术

针对地漏周围的特殊部位，需用防水涂层材料多次涂抹。为了打造强化层，应将涂刷范围设定为地漏中心周边半径 ≥200mm 的区域，并且加强层厚度相较于常规防水层要厚出 0.5mm，用

以提高抗渗能力。运用这一系列举措，能让管道穿出之处和基层之间的密封效果得到保障，以此增强整体防水层的连贯度与耐用性。下表2为关键施工工序的核心技术参数要求：

表2关键施工工序的核心技术参数要求			
施工工序	技术参数要求	检测方法	合格标准
基层处理	平整度≤5mm/2m，含水率≤9%，强度≥1.5MPa	2m 靠尺、塑料薄膜覆盖、回弹仪	误差≤5mm，无凝结水，强度≥1.5MPa
卷材铺设	搭接宽度：长边≥80mm、短边≥100mm，热熔温度180~200℃	卷尺、红外测温仪	搭接宽度达标，热熔温度在范围中
涂料涂刷	单遍厚度≤0.8mm，总厚度：卫生间≥1.5mm、屋面≥2.0mm	厚度检测仪	总厚度≥设计值，单遍厚度合规
阴阳角加强	附加层宽度≥500mm，圆弧半径≥50mm	卷尺、圆弧规	宽度、半径达标
地漏周边加强	涂刷半径≥200mm，厚度≥防水层+0.5mm	卷尺、厚度检测仪	半径、厚度达标

## 三、防水工程质量检测与验收标准

### （一）防水层厚度检测方法与数据标准

采用厚度测量仪来检测防水层的厚度，检测点的设置需依照“随机抽样”准则，每 100 平方米检测区域至少设 3 个检测点。若面积不到 100 m<sup>2</sup>则按 100 m<sup>2</sup>处理，检测所得的厚度结果应符合“平均值≥设计厚度”且“最小单点厚度≥设计厚度的 80%”条件，如下是厚度平均值的计算公式：
$$\left(h=\frac{h_1+h_2+...+h_n}{n}\right)$$
式中：防水层平均厚度（mm）用 h 表示；各检测点的厚度（mm）用 hn)表示；n 代表检测点的数目。

针对住宅项目屋面防水工程，设计的厚度为 2.0 mm，检测区域面积为 300 m<sup>2</sup>，安排 9 处检测点位，所获检测数据分别为 2.1、2.0、1.9、2.2、2.0、1.8、2.1、2.0、1.9（单位：将其代入开展计算得出： $\left(h=\frac{2.1+2.0+1.9+2.2+2.0+1.8+2.1+2.0+1.9}{9}=2.0mm\right)$

### （二）渗漏检测压力参数与判定标准

在住宅防水工程质量验收中，关键部分是渗漏检测。主要手段有屋面淋水测试和地下防水压力测试，屋面淋水试验一般借助专业喷淋装置营造降雨条件，喷淋强度需使降雨量达 2L/(m<sup>2</sup>·h) 及以上，且持续时长不低于 2h。待试验终结，若屋面无渗漏且无显著积水现象，可认定屋面防水层排水与抗渗性能达标，以此检验屋面防水层排水与抗渗能力<sup>[10]</sup>。

### （三）防水工程质量综合评价模型与计算

构建防水工程质量的综合评估模型，从材料特性（权重占比 0.3）、施工水准（权重占比 0.4）、检测成效（权重占比 0.3）这三方面开展评估，下面给出综合得分的计算式：（S = w1 s1 + w2 s2 + w3 s3）

式中：S 代表综合得分，满分为 100 分；材料性能、施工质量、检测结果的权重分别设为；三方面单项得分。

评价标准：当得分 S ≥ 90 时归为优良等级，当 80 ≤ S < 90

时,判定为合格,若  $S < 80$ , 则归为不合格类别。对住宅防水工程开展评价,材料性能评分为,施工质量获分,检测结果评分为,把所得分数代入公式进行计算:

$(S = 0.3 \times 92 + 0.4 \times 86 + 0.3 \times 90 = 88.6 \text{分})$ , 判定该防水工程质量为合格。下表3为防水工程质量检测指标与合格标准:

表3防水工程质量检测指标与合格标准

检测项目	检测方法	标准值	合格判定条件
防水层厚度	厚度检测仪,每100㎡≥3点	平均值≥设计厚度,最小单点≥设计厚度80%	满足平均值与最小单点要求
屋面渗漏	淋水试验,降雨量≥2L/(㎡·h),持续2h	无渗漏、无积水	试验后无渗漏、无积水
地下防水水压	水压试验,压力≥0.3MPa,保压30min	压力降≤0.02MPa,无渗漏	压力降达标且无渗漏
粘结强度	剥离试验,卷材粘结剥离强度≥1.5N/mm,拉力计检测	剥离强度≥1.5N/mm	—
综合评价	权重计算(材料0.3、施工0.4、检测0.3)	综合得分≥80分	得分≥80分为合格,≥90分为优良

## 四、总结

住宅防水施工关键点覆盖材料挑选、施工流程和质量检验全阶段,按照不同部位的需求,严密管控拉伸强度、断裂伸长率等参数值;施工期间要保证基层的平整程度、含水比率、防水层搭接的宽度与厚度、节点加强的尺寸都达到标准;检测时利用厚度、压力降等要素对工程质量做综合判断。未来可借助材料与工艺的优化,融合数字化检测手段,持续提高住宅防水水平,减少渗漏隐患。

## 参考文献

[1] 邢德秋.住宅建筑防水工程施工中的技术要点研究[J].房地产世界,2022,(06):88-90.  
[2] 郭春园.住宅建筑屋面防水工程施工技术要点及质量控制措施[J].居舍,2023,(07):33-35.  
[3] 李坤洋.高层住宅建筑地下防水工程施工技术研究[J].居舍,2022,(24):26-29.  
[4] 梁磊.高层住宅建筑的地下防水工程施工技术研究[J].居舍,2023,(12):63-65+69.  
[5] 魏代龙.住宅建筑防水工程施工中的技术要点探究[J].居舍,2021,(10):75-78.  
[6] 袁程飘,莫海强,陈俊吉,叶增荣,侯建伟,罗洋.住宅建筑地下室主体结构防水工程设计与施工分析[A].2023年全国土木工程施工技术交流会论文集(中册)[C].《施工技术》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司,施工技术编辑部,2023:3.  
[7] 张晓露.住宅建筑屋面防水施工技术与质量控制措施[J].居舍,2023,(09):59-62.  
[8] 王月.住宅建筑地下室结构防水施工技术的应用[J].居舍,2022,(36):47-49.  
[9] 魏璟.试析住宅建筑工程的防水施工技术[J].建材发展导向,2022,20(24):83-86.  
[10] 代伟军.屋面防水工程施工技术要点及质量控制措施探究——以某住宅建筑为例[J].房地产世界,2022,(12):55-57.



# 岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏

杨博

广东有象工程勘察设计咨询有限公司, 广东 清远 511500

DOI:10.61369/ETQM.2025120028

**摘 要 :** 阐述岩溶发育特征对水库坝基稳定性影响, 介绍岩溶地区水库病害及成因, 强调除险加固及防渗堵漏需综合考虑多种因素, 包括确立技术标准与原则, 对比工法适用条件, 介绍新型材料、立体防渗体系等, 还提及经济和社会效益等。

**关 键 词 :** 岩溶地区; 水库; 除险加固

## Reinforcement and Anti-Seepage Plugging of Reservoirs in Karst Areas

Yang Bo

Guangdong Youxiang Engineering Investigation, Design and Consulting Co., LTD, Qingyuan, Guangdong 511500

**Abstract :** In this paper, the stability of karst development characteristics of reservoir dam foundation, the introduction of reservoir in karst region and cause of these diseases, and emphasize and consolidate and plugging need to consider many factors, including establishing technical standards and principles, contrast method applicable conditions, introduce new materials, three-dimensional seepage control system, etc., also referred to economic and social benefits such as.

**Keywords :** karst region; reservoir; reinforcement

### 引言

岩溶地区水库的除险加固及防渗堵漏工程具有极高的复杂性和关键性。随着我国水利工程建设持续发展, 相关工程标准也在不断完善。2019年颁布的《水利工程建设标准强制性条文》对工程质量和安全提出了更为严格的要求。岩溶地区的地质条件复杂多变, 溶洞和裂隙等岩溶现象对水库坝基的稳定性构成了显著影响, 渗漏、管涌、塌陷等地质灾害问题也较为突出。因此, 在进行岩溶地区水库的除险加固及防渗堵漏工作时, 需要综合考虑多种因素, 包括技术标准的制定、不同工法的适用条件、新型材料的应用以及立体防渗体系的构建等。还需运用精准探测技术、开发调控系统, 并进行经济性分析和社会生态效益评估, 以确保水库的安全稳定运行。

### 一、岩溶地区水库病害特征分析

#### (一) 岩溶地质条件对工程的影响机制

岩溶地区的地质条件对水库工程的影响主要体现在以下几个方面。溶洞和裂隙等岩溶现象对水库坝基的稳定性具有显著影响。溶洞的存在可能导致坝基承载力不均匀, 局部出现软弱区域, 从而增加坝基沉降和滑动的风险<sup>[1]</sup>。裂隙则为地下水的流动提供了通道, 加速了岩溶作用的发展, 进一步削弱了坝基的稳定性。地下水对结构物具有侵蚀作用。在岩溶地区, 地下水通常富含溶解的矿物质, 具有一定的腐蚀性。当水流经结构物时, 会对混凝土和金属等材料产生化学侵蚀, 降低结构物的强度和耐久性。地下水的流动还可能携带泥沙等颗粒物, 对结构物造成冲刷磨损, 影响其正常使用。

#### (二) 典型病害类型及成因诊断

岩溶地区水库常见的病害类型包括渗漏、管涌和塌陷。渗漏是由于库水通过岩溶通道和裂隙等向库外渗漏, 导致水库蓄水量减少。管涌则是在一定水力条件下, 库底或坝体中的细小颗粒被

水流带出, 形成孔洞, 进而影响坝体稳定性。塌陷是由于岩溶地区地下溶洞等地质结构不稳定, 在水库蓄水等荷载作用下, 可能发生地面塌陷, 危及水库安全。这些病害的成因与地质构造密切相关。岩溶地区的地质构造, 如溶洞、溶蚀裂隙等, 为病害的发生提供了通道和条件。渗漏可能是由于溶洞的连通性, 使得库水能够通过溶洞系统渗出。管涌可能是因为坝基下的岩溶通道使得水流冲刷力增强, 带走细颗粒。塌陷更是由于地下溶洞等结构无法承受上部荷载而引发<sup>[2]</sup>。

### 二、除险加固工程设计体系

#### (一) 加固设计原则与标准体系

在岩溶地区水库的除险加固及防渗堵漏设计中, 需确立科学合理的技术标准与原则。对于岩溶地基处理, 应依据相关地质勘察结果, 确定符合实际情况的技术标准, 确保处理后的地基能够满足水库运行要求<sup>[3]</sup>。在加固方案选择上, 要制定差异化准则, 充分考虑不同岩溶地貌、地质构造以及水库的具体情况, 选择最

适宜的加固方法，以提高工程的针对性和有效性。明确抗渗性与结构稳定性控制指标至关重要。抗渗性指标需根据水库的功能、水位等因素确定，保证水库的防渗性能；结构稳定性指标则要综合考虑地基承载能力、坝体结构等，确保水库在运行过程中安全可靠。

## （二）复合加固技术集成应用

岩溶地区水库的除险加固及防渗堵漏需综合考虑多种因素，对比分析不同组合工法的适用条件至关重要。灌浆固结技术适用于填充岩溶洞穴和裂隙，提高岩体的整体性和强度<sup>[4]</sup>。钢筋混凝土板墙可用于加固水库坝体，增强其抗渗和承载能力。预应力锚索则在稳定边坡和加固坝体结构方面具有独特优势。通过对这些工法适用条件的深入研究，构建多工况加固技术矩阵。该矩阵能够根据岩溶地区水库的不同病害情况，如溶洞发育程度、坝体渗漏位置和程度等，准确匹配相应的加固技术组合，从而实现高效、精准的除险加固及防渗堵漏，保障水库的安全运行。

## 三、防渗堵漏关键技术体系

### （一）防渗材料优选与结构设计

#### 1. 新型防渗材料性能比较

纳米改性水泥和弹性聚氨酯是岩溶地区水库防渗堵漏的新型材料。纳米改性水泥通过纳米颗粒填充和改性，提高水泥致密性和抗渗性。其抗渗耐久性可从渗透系数、抗化学侵蚀能力等方面评估。弹性聚氨酯具有良好的弹性和密封性能，能适应岩溶地区复杂的地质变形，抗渗耐久性关键指标是长期防水效果和抗老化性能。建立材料-地质适配性选择模型对合理选用防渗材料至关重要，需综合考虑材料性能和地质条件，如岩溶洞穴分布、地下水流动情况等，确保材料在特定地质环境下发挥最佳防渗效果<sup>[5]</sup>。

#### 2. 立体防渗体系构建

在岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏中，构建立体防渗体系至关重要。设计垂直防渗墙与水平铺盖协同的立体防护系统是关键举措。垂直防渗墙可截断地下水流通道，深度和墙体材料需根据地质条件合理设计<sup>[6]</sup>。水平铺盖在水库底部形成防渗层，增强整体防渗效果。要优化帷幕灌浆深度与孔距参数配置。帷幕灌浆深度应深入岩溶发育层以下，封堵渗漏通道，合理孔距配置保证灌浆效果均匀完整，提高防渗堵漏效率和质量，保障水库安全运行。

### （二）动态施工工艺控制

#### 1. 岩溶通道精准探测技术

在岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏工作中，岩溶通道精准探测技术至关重要。应用地质雷达与示踪剂联合探测技术可实现隐伏渗漏通道的三维可视化定位<sup>[7]</sup>。地质雷达通过发射高频电磁波，根据介质对电磁波反射特性差异探测地下结构，获取岩溶通道的位置和形态信息。示踪剂可追踪地下水流动路径，明确渗漏通道走向。两者结合，宏观把握岩溶通道分布，微观确定精确路径，为防渗堵漏工作提供准确依据，提高工程效果和质量。

#### 2. 自适应注浆工艺优化

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏是一项复杂的工程，需要综合考虑多种因素。基于实时监测的压力-流量调控系统的开发至关重要<sup>[8]</sup>。通过实时监测压力和流量数据，可以精准地调控注浆过程，确保浆液在岩溶空腔中的填充效果。同时，制定岩溶空腔分级填充策略也是关键。根据岩溶空腔的大小、形状以及连通性等特征，将其分为不同级别，然后针对各级别制定相应的填充方案。在注浆过程中，根据实时监测数据和分级填充策略，自适应地调整注浆参数，如注浆压力、注浆速度和浆液配比等。这样可以实现更高效、更精准的防渗堵漏效果，提高水库除险加固工程的质量和安全性。

## 四、工程应用与效果验证

### （一）典型工程案例分

#### 1. 西南某岩溶水库治理实践

西南某岩溶水库治理实践中，针对复杂岩溶网络条件，采取了一系列综合治理方案。首先对水库的地质条件进行了详细勘察，确定了岩溶发育的程度和分布范围<sup>[9]</sup>。在此基础上，设计了包括帷幕灌浆、封堵溶洞等多种措施相结合的防渗堵漏方案。在实施过程中，严格控制施工质量，确保各项措施的有效性。例如，帷幕灌浆施工时，合理确定灌浆参数，保证灌浆效果。经过治理后，水库的渗漏问题得到了明显改善，水库的蓄水量和安全性都得到了提高，验证了综合治理方案的可行性和有效性，为岩溶地区其他水库的除险加固和防渗堵漏提供了有益的参考。

#### 2. 效果对比研究

在岩溶地区某水库除险加固及防渗堵漏工程中，对治理前后的渗漏量进行了监测数据对比。治理前，水库渗漏情况较为严重，渗漏量较大，对水库的正常蓄水和运行造成了不利影响。经过除险加固及防渗堵漏措施的实施，如采用了帷幕灌浆、封堵溶洞等技术手段<sup>[10]</sup>，渗漏量得到了显著控制。监测数据显示，治理后的渗漏量相较于治理前大幅减少，达到了预期的治理效果。这不仅验证了所采取的技术措施的有效性，也证明了设计参数的合理性，为岩溶地区类似水库的除险加固及防渗堵漏工程提供了有益的参考和借鉴。

### （二）全寿命周期效益评估

#### 1. 经济性分析模型

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏的经济性分析需构建全周期成本核算体系。该体系涵盖初期投入与长期维护费用。初期投入包括工程材料、设备采购、施工人力成本等。长期维护费用涉及定期检查、渗漏修复材料及人工、设备更新等方面。通过详细记录各项费用，结合水库的使用年限、预期效益等因素，建立数学模型。此模型可用于评估不同加固及防渗堵漏方案的经济性，为决策者提供科学依据，选择最优方案，确保在满足工程质量和效果的前提下，实现成本的合理控制和效益的最大化。

#### 2. 社会生态效益评价

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏工程具有显著的社会生态

效益。在区域供水安全方面，工程有效减少了水库渗漏，提高了水资源的存储和利用效率，确保了稳定的供水，满足了居民生活和工农业生产的用水需求。从生态保护角度来看，减少渗漏避免了水资源浪费，有利于维持区域地下水位稳定，保护了周边的湿地、河流等生态系统。同时，稳定的水资源供应也为水生生物提供了适宜的生存环境，促进了生物多样性的发展。通过综合评估相关参数，如水资源利用量的提升幅度、生态系统指标的改善情况等，可以量化工程治理对区域供水安全与生态保护的贡献度。

（三）技术标准优化建议

1. 现行规范适应性研究

岩溶地区地质条件复杂，现行水利工程规范在该地区存在一定适应性短板。在水库除险加固及防渗堵漏方面，规范中通用的一些设计参数和施工工艺标准难以完全适用于岩溶地区特殊的地质结构。例如，岩溶地区的溶洞、裂隙发育情况差异较大，现行规范对不同规模和形态的岩溶洞穴处理缺乏针对性指导。同时，在防渗材料的选择和施工要求上，没有充分考虑岩溶地区地下水的特殊化学成分及流动特性对防渗效果的影响。这些适应性问题可能导致工程设计不合理，施工效果不佳，影响水库的除险加固及防渗堵漏质量，增加工程运行风险和后期维护成本。

2. 地方标准构建路径

针对岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏，技术标准优化至关

重要。应充分考虑区域地质特征，如岩溶地貌的发育程度、地下溶洞和裂隙的分布等。建议增加对不同岩溶地质条件下适用的加固和防渗技术的详细规范，明确施工材料的性能指标要求。对于防渗堵漏材料，应规定其在岩溶环境中的抗侵蚀性和耐久性标准。同时，构建地方标准路径需结合当地实际情况，联合地质、水利等多领域专家进行深入调研。以典型岩溶地区水库工程为案例，总结成功经验和存在问题，为地方标准的制定提供实践依据，确保技术标准能够有效指导岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏工作。

五、总结

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏面临诸多挑战，相关治理技术体系至关重要。通过材料创新，可采用更适合岩溶地质条件的新型材料，提高水库的稳定性和防渗性能。工艺优化能使施工过程更加科学高效，确保工程质量。标准提升则为工程建设提供了更严格的规范和准则，保障工程的安全性和可靠性。此外，将BIM技术融入全生命周期管理是未来的发展方向。BIM技术可实现对水库从规划、设计到施工、运营维护等各个阶段的全面数字化管理，提高管理效率和决策科学性，有助于更好地应对岩溶地区水库的复杂情况，实现水库的长期安全稳定运行。

参考文献

[1] 张喜良. 吕家埠水库除险加固及后期运行管理建议 [D]. 山东科技大学, 2022.  
[2] 宋彦伸. 连云港市小型水库除险加固方案比选与分析 [D]. 扬州大学, 2021.  
[3] 尹婷. G 水库除险加固项目成本控制研究 [D]. 南京理工大学, 2021.  
[4] 代运. 岩溶地区深基坑支护方法研究及稳定性分析 [D]. 贵州大学, 2021.  
[5] 阮俞理. 广西澄碧河岩溶流域环境变化对径流及水库防洪风险影响研究 [D]. 广西大学, 2022.  
[6] 付钊龙. 翁坑水库除险加固工程防渗方案研究 [J]. 水利科技与经济, 2022, 28(02): 40-43.  
[7] 郑延鹏. 混凝土防渗墙在水库除险加固应用与分析 [J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(04): 115-118.  
[8] 董红哲. 水库除险加固防渗处理研究 ——以塘坑坞水库为例 [J]. 科学技术创新, 2022, (25): 131-134.  
[9] 杨奎. 防渗处理设计在水库除险加固工程中的应用 [J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(02): 158-160.  
[10] 王志江. 上蒋水库大坝除险加固工程防渗效果分析 [J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(04): 89-92.

# 基于绿色建筑理念的市政给排水系统设计与优化研究

张建

广州市市政工程设计研究总院有限公司宜昌分院, 湖北 宜昌 443000

DOI:10.61369/ETQM.2025120032

**摘 要：** 在“双碳”目标引领的绿色发展新征途中，绿色建筑理念如同城市建设的“绿色引擎”，驱动市政给排水系统迈向生态化转型。作为城市运转的“生命脉络”，市政给排水系统的绿色革新关乎水资源循环命脉与生态环境根基。本文深度解构绿色建筑理念下市政给排水系统的设计准则，剖析雨水资源化、污水再生利用等前沿技术，直击现存设计滞后、技术应用薄弱等痛点，从规划设计革新、技术迭代升级、管理体系完善等层面提出优化路径，为构建节水节能、生态友好的市政给排水系统提供理论与实践指引。

**关 键 词：** 绿色建筑理念；市政给排水系统；设计优化

## Research on The Design and Optimization of Municipal Water Supply and Drainage System Based on the Concept of Green Buildings

Zhang Jian

Yichang Branch of Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute Co., LTD, Yichang, Hubei 443000

**Abstract：** In the new journey of green development led by the "dual carbon" goals, the concept of green buildings is like the "green engine" of urban construction, driving the municipal water supply and drainage system towards ecological transformation. As the "lifeline" of urban operation, the green innovation of municipal water supply and drainage systems is related to the lifeline of water resource circulation and the foundation of the ecological environment. This article deeply deconstructs the design criteria of municipal water supply and drainage systems under the concept of green buildings, analyzes cutting-edge technologies such as rainwater resource utilization and sewage recycling, directly addresses the existing pain points such as lagging design and weak application of technology, and proposes optimization paths from aspects such as planning and design innovation, technological iteration and upgrading, and improvement of management systems. To provide theoretical and practical guidance for building a water-saving, energy-saving and eco-friendly municipal water supply and drainage system.

**Keywords：** green building concept; municipal water supply and drainage system; design optimization

## 引言

当城市化浪潮裹挟着人口与资源需求奔涌向前，市政给排水系统正面临前所未有的挑战。传统设计模式下，水资源浪费、污水排放污染等问题频发，如同城市肌体上的“生态顽疾”。绿色建筑理念以“与自然共生”为核心，为给排水系统的转型升级带来曙光。将这一理念深度融入市政给排水系统，不仅是破解水资源困境、守护生态环境的关键之举，更是实现城市可持续发展的必然选择。

## 一、绿色建筑理念与市政给排水系统概述

### （一）绿色建筑理念的内涵与核心原则

绿色建筑理念以可持续发展为根基，强调在建筑全生命周期内，最大限度地节约资源、保护环境和减少污染，为人们提供健康、适用和高效的使用空间。其核心原则涵盖“四节一环保”，即节能、节地、节水、节材和环境保护。节能要求建筑在设计、

施工与运行阶段降低能源消耗；节地强调合理规划土地，提高土地利用效率；节水注重水资源的循环利用与高效使用；节材倡导采用绿色环保材料，减少资源浪费；环境保护则贯穿建筑全流程，降低对生态系统的负面影响。

### （二）市政给排水系统的功能与组成

市政给排水系统是城市基础设施的重要组成部分，承担着城市供水、排水和污水处理的重要功能。供水系统通过水源地取



水、水质处理、管网输送，将符合标准的生活用水和生产用水输送至城市各个角落；排水系统则负责收集城市生活污水、工业废水和雨水，通过管网输送至污水处理厂或排放至自然水体；污水处理系统对收集的污水进行净化处理，使其达到排放标准或回用标准。该系统主要由取水工程、净水工程、输配水工程、排水管网、污水处理厂等部分组成。<sup>[1]</sup>

### （三）绿色建筑理念与市政给排水系统的关联性

绿色建筑理念与市政给排水系统在目标与实践上高度契合。从目标看，二者均致力于实现资源的高效利用与生态环境的保护。<sup>[2]</sup>绿色建筑理念追求建筑全生命周期的绿色化，市政给排水系统作为城市资源循环的关键环节，其绿色化升级是实现城市可持续发展的重要支撑。在实践层面，绿色建筑理念为市政给排水系统的设计与优化提供指导思想，促使系统在规划阶段充分考虑水资源的循环利用，采用节水设备与技术；在运行阶段加强对污水的处理与回用，减少对自然资源的依赖。

## 二、基于绿色建筑理念的市政给排水系统设计原则

### （一）水资源节约与高效利用原则

水资源节约与高效利用原则要求在市政给排水系统设计中，从源头减少水资源浪费，提高水资源利用效率。在供水环节，采用先进的节水型器具和设备，如感应式水龙头、节水马桶等，降低生活用水消耗；优化管网设计，减少输水过程中的漏损。在排水环节，重视雨水和污水的收集与回用，通过建设雨水收集系统，将收集的雨水用于城市绿化灌溉、道路冲洗等；推广中水回用技术，将处理后的污水回用于工业冷却、景观补水等领域，实现水资源的循环利用。<sup>[3]</sup>

### （二）生态环境保护与修复原则

生态环境保护与修复原则强调市政给排水系统设计应减少对生态环境的破坏，促进生态系统的修复与平衡。在排水系统设计中，避免污水未经处理直接排放，通过合理规划污水处理厂和管网布局，确保污水得到有效处理，降低对水体的污染。对于雨水排放，采用生态化的排水方式，如建设海绵城市设施，通过透水铺装、雨水花园、生态湿地等，实现雨水的自然渗透、储存和净化，减少城市内涝的同时，补充地下水资源，改善城市生态环境。

### （三）系统可持续性与经济性原则

系统可持续性与经济性原则要求市政给排水系统在满足当前需求的同时，具备长期稳定运行的能力，并兼顾经济成本。在设计中，选择耐久性好、维护成本低的材料和设备，确保系统在长期使用过程中性能稳定，减少维修和更换频率。<sup>[4]</sup>同时，充分考虑系统的扩展性和适应性，以便随着城市发展和需求变化进行升级改造。在经济性方面，通过优化设计方案，合理控制建设成本；采用节能技术和设备，降低运行能耗；推广中水回用和雨水利

用，减少对市政供水的依赖，降低用水成本。

## 三、基于绿色建筑理念的市政给排水系统关键技术

### （一）雨水收集与利用技术

雨水收集与利用技术通过对降雨进行收集、储存和净化，实现雨水的资源化利用。常见的雨水收集系统包括屋面雨水收集系统和地面雨水收集系统。屋面雨水收集利用建筑物屋面作为集雨面，通过雨水斗、落水管等将雨水收集至储水设施；地面雨水收集则利用广场、道路等地面作为集雨面，通过排水沟、雨水口等收集雨水。收集后的雨水需经过沉淀、过滤、消毒等处理工艺，去除雨水中的杂质和污染物，使其达到相应的水质标准后，用于城市绿化灌溉、道路冲洗、景观补水等非饮用水领域。<sup>[5]</sup>

### （二）中水回用技术

中水回用技术是将城市污水或生活污水经过处理后，使其水质达到一定标准，回用于工业、农业、景观等领域的技术。污水处理工艺通常包括预处理、生物处理和深度处理等环节。预处理去除污水中的大颗粒杂质和悬浮物；生物处理利用微生物降解污水中的有机物和氮、磷等污染物；深度处理进一步去除水中的微量污染物和病原微生物，使水质满足回用要求。中水回用技术的应用范围广泛，如工业冷却用水、城市杂用水、景观用水等。通过中水回用，可减少新鲜水资源的取用，降低污水排放对环境的压力，实现水资源的循环利用，具有显著的环境效益和经济效益。

### （三）节水型器具与智能控制系统应用

节水型器具通过优化设计和采用新技术，在保证使用功能的前提下减少用水量。常见的节水型器具包括节水型水龙头、节水型马桶、节水型淋浴器等。节水型水龙头采用限流装置、感应控制等技术，减少水的浪费；节水型马桶通过改进冲水方式和水箱结构，降低每次冲水量；节水型淋浴器通过优化喷头设计，提高水的利用效率。智能控制系统则通过传感器、控制器和通信技术，实现对给排水系统的智能化管理。例如，智能水表可实时监测用水量，自动生成用水报告；智能灌溉系统根据土壤湿度和天气情况自动调节灌溉水量；智能排水系统通过监测管网水位和流量，及时预警管道堵塞和内涝风险。

## 四、市政给排水系统设计与运行现存问题分析

### （一）设计理念与绿色要求存在差距

当前，部分市政给排水系统设计仍沿用传统理念，对绿色建筑理念的理解和应用不足。在规划设计阶段，缺乏对水资源循环利用和生态环境保护的整体考量，过度依赖市政供水，忽视雨水和中水的利用潜力。设计方案中节水型器具和设备的选用比例较低，管网布局不合理，导致输水过程中漏损严重。此外，设计人员对绿色建筑标准和规范的掌握不够深入，在设计过程中未能充分贯彻绿色设计原则，使得建成后的给排水系统难以满足绿色建筑的要求，造成水资源浪费和生态环境压力。

### （二）关键技术应用与推广不足

虽然雨水收集、中水回用等绿色关键技术已逐渐成熟，但在市政给排水系统中的应用与推广仍面临诸多障碍。一方面，部分城市对这些技术的认知不足，缺乏政策支持和资金投入，导致项目建设难以推进。另一方面，技术应用过程中存在成本较高、运行管理复杂等问题。例如，雨水收集系统的初期建设成本较大，且需要专业的维护团队进行管理；中水回用项目的处理工艺复杂，对设备和操作人员的要求较高，增加了运行成本和管理难度。

### （三）系统管理与维护机制不完善

市政给排水系统的管理与维护机制不完善，影响了系统的正常运行和绿色目标的实现。在管理方面，部门之间职责划分不明确，缺乏有效的协调与沟通机制，导致在系统运行过程中出现问题时，难以快速解决。同时，对给排水系统的运行监测和数据分析不足，无法及时发现系统中的潜在问题和运行隐患。在维护方面，缺乏专业的维护队伍和完善的维护制度，设备老化、管道破损等问题得不到及时修复，导致系统效率下降，水资源浪费严重。

## 五、基于绿色建筑理念的市政给排水系统优化策略

### （一）加强系统规划与设计优化

加强系统规划与设计优化，需将绿色建筑理念贯穿于市政给排水系统的全流程。在规划阶段，充分考虑城市水资源状况和生态环境承载能力，制定科学合理的水资源综合利用规划，统筹安排供水、排水和污水处理系统。在设计环节，严格遵循绿色设计原则，优先选用节水型器具和设备，优化管网布局，减少输水损耗。同时，加强对雨水收集和中水回用系统的设计，根据城市功能分区和用水需求，合理确定收集和处理设施的规模与位置。此外，引入 BIM 技术等先进设计手段，对给排水系统进行三维建模和模拟分析，提高设计的准确性和科学性，确保系统满足绿色建筑的要求。

### （二）推进绿色关键技术的应用与创新

推进绿色关键技术的应用与创新，需要政府、企业和科研机构协同合作。政府应出台相关政策，加大对雨水收集、中水回用等技术的扶持力度，通过财政补贴、税收优惠等方式，鼓励城市和企业建设绿色给排水项目。企业作为技术应用的主体，应积极引进和推广成熟的绿色技术，同时加大研发投入，针对技术应用中的成本高、管理难等问题进行技术创新。科研机构要加强对绿色关键技术的研究，探索新的处理工艺和设备，提高技术的经济性和实用性。

### （三）完善系统管理与维护体系

完善系统管理与维护体系是保障市政给排水系统绿色运行的关键。建立健全管理机制，明确各部门职责，加强部门间的协调与合作，形成统一高效的管理体系。加强对系统运行的监测与数据分析，利用物联网、大数据等技术，实时掌握系统运行状态，及时发现和解决问题。建立专业的维护队伍，加强对维护人员的培训，提高其技术水平和服务意识。制定完善的维护制度，定期对设备和管道进行检查、维护和更新，确保系统设备正常运行。同时，加强公众宣传教育，提高公众对给排水系统的保护意识和合理用水意识，鼓励公众参与系统管理和监督，形成全社会共同关注和支持市政给排水系统绿色发展的良好氛围。

## 六、结论

通过深入理解绿色建筑理念，遵循科学的设计原则，应用先进的关键技术，解决现存问题并实施优化策略，能够有效提升市政给排水系统的节水节能水平、生态环境保护能力和经济效益。未来，随着技术的不断进步和理念的深入普及，市政给排水系统将朝着更加绿色、智能、高效的方向发展，为建设资源节约型、环境友好型城市提供坚实的基础设施保障，助力实现人与自然的和谐共生。

## 参考文献

- [1] 李志军. 建筑给排水节能节水措施探析 [J]. 安徽建筑, 2022, 29(07): 80-81+122.
- [2] 伍百嘉. 装配式绿色建筑给排水设计分析 [J]. 建材发展导向, 2021, 19(20): 195-196.
- [3] 何瑜. 绿色建筑给排水系统节水节能技术措施浅析 [J]. 江西建材, 2021, (02): 33-34.
- [4] 韩辉. 绿色建筑给排水工程中节水节能措施分析 [J]. 住宅与房地产, 2021, (06): 193-194.
- [5] 李涛. 绿色建筑给排水节水节能新技术的应用 [J]. 建材与装饰, 2020, (11): 34-35.

# 高海拔地区城乡一体化供水工程建设与 水源地保护管理研究

赤列朗加

岗巴县水利局, 西藏 日喀则 857700

DOI:10.61369/ETQM.2025120044

**摘 要 :** 选取西藏自治区岗巴县城乡一体化供水工程作为研究实例, 剖析高海拔区域饮用水源保护与供水工程打造过程中遭遇的生态环境限制、技术阻碍及管理困境。依托该项目的实际开展情况, 整理水源地防护手段、供水系统改良方案及多元主体协作推进模式, 探寻契合当地实际、实现一体化管控的可行路径。研究表明, 高原区域必须兼顾生态守护与民众生活需求, 搭建科学高效的供水架构, 加强全流程监督管控, 增强工程建设与运营的持久效能, 为其他海拔地区提供可借鉴的实践经验与实施范例。

**关 键 词 :** 高海拔地区; 水源保护; 城乡供水一体化; 岗巴县; 可持续运行

## Research on The Construction of Integrated Water Supply Projects for Urban and Rural Areas and the Protection and Management of Water Sources in High-Altitude Regions

Chilie Langjia

Gangba County Water Conservancy Bureau, Xigaze, Tibet 857700

**Abstract :** This study selects the integrated urban-rural water supply project in Gangba County, Tibet Autonomous Region, as a case study to analyze the ecological and environmental constraints, technical barriers, and management challenges encountered in the protection of drinking water sources and the construction of water supply projects in high-altitude regions. Based on the actual implementation of the project, it organizes protective measures for water sources, improvement plans for water supply systems, and collaborative advancement models involving multiple stakeholders, exploring feasible paths for integrated management and control that align with local realities. The research indicates that in plateau regions, it is essential to balance ecological conservation with the living needs of the populace, establish a scientifically efficient water supply framework, strengthen supervision and control throughout the entire process, and enhance the long-term effectiveness of project construction and operation, providing practical experience and implementation examples that can be referenced by other high-altitude regions.

**Keywords :** high-altitude regions; water source protection; integrated urban-rural water supply; Gangba county; sustainable operation

## 引言

西藏岗巴县地处喜马拉雅山脉北麓, 平均海拔 4700 米以上, 地域辽阔而人口分散, 海拔较高, 导致水压不足、管道冰冻、水资源配置不均衡, 城乡供水领域长期存在发展差异, 居民饮水安全面临较大压力, 开展城乡一体化供水工程建设, 成为破解高原地区水资源匮乏问题、提高民生保障能力的核心举措。本文围绕水源地防护、工程规划设计及管理机制搭建等关键内容, 聚焦高原地区工程建设实践中遇到的技术难点与管理阻碍, 结合岗巴县相关项目的实施经验, 系统总结一体化供水工程的有效实践方式, 提出适配高海拔地区的发展建议与落实路径。



## 一、水源地保护：高原生态环境下的核心挑战与应对策略

### （一）高原水资源特性与保护难点

高原区域拥有独特的地理气候条件，使得水资源在时空维度上分布极度不均。岗巴县位于喜马拉雅山脉北侧地带，降水主要集中在汛期时段，干旱季节的水源补给能力明显不足，季节性波动问题表现得更为突出、高寒环境下土地冻结现象普遍存在，地表水与地下水的转化关联复杂，极大干扰了水体的自然流动状态与补给效果，岗巴县生态系统本身较为脆弱，植被覆盖程度偏低，水源地一旦受损，生态恢复过程耗时久、成本高，常规修复手段难以在短期内实现有效复原，此类地区开展饮用水源保护工作，需充分考量自然约束与生态脆弱性的叠加效应，推行更为科学精准的生态保护举措<sup>[1]</sup>。

### （二）岗巴县水源地选择与保护原则

岗巴县城乡一体化供水工程中，水源地的科学选定是保障供水安全的核心前提，该项目将恰央水库确定为主水源，其具备区位高程适宜、水质洁净、水量稳定等突出优势，解决1乡1镇共计15个行政村以及县城的供水问题。水源保护工作中，坚决避开人口稠密区域与畜禽养殖区域，使水源地远离生活污水及农业面源污染隐患、结合高原生态自身特点，规划构建水源地生态缓冲带，通过植被修复、湿地养护等举措打造天然防护屏障，阻断污染源向水体系统的侵入，为下游供水系统的水质安全筑牢基础保障。

### （三）水源地长期保护机制建设

为保障水源地长期稳定安全运行，岗巴县在水源保护工作中逐步构建起制度化、常态化的管理体系。划定水源保护红线范围，实行分级管控模式，明确一级保护区内禁止各类人类活动，二级保护区严格管控开发行为，确保空间布局与生态保护要求高度适配；推进实时水质监测系统建设，强化对水体流量、水质指标等的动态监测与数据分析，提升风险预警与应急响应能力、充分激发群众参与生态保护的主动性，通过设立护水岗位、开展环保宣传引导、搭建群众监督平台等方式，形成全民参与、群防群治的保护格局，构建起“政府主导、群众参与、技术支撑”的多元协同水源地保护机制<sup>[2]</sup>。

## 二、供水系统规划：因地制宜的工程布局与技术创新

### （一）工程总体布局与结构设计

岗巴县城乡一体化供水工程服务范围涵盖龙中乡、岗巴镇所属15个行政村及县城居民，工程覆盖面积广、建设规模大且地形条件复杂，供水管道总长度达59公里、针对区域内地势起伏剧烈、高差明显的实际情况，工程布局设计阶段充分考量地形高差对水压稳定性及水流状态的潜在影响，科学规划管道铺设走向与落差分布情况，实现重力输水与压力调节的动态平衡<sup>[3]</sup>。工程配

套建设调节池、清水池、高位水池共计10座，搭配泵房运行模式，推行分段提水、均压供水的运作方式，确保偏远村庄也能获得稳定可靠的用水保障、结构设计以提升供水效率、保障运行安全为核心导向，注重科学选址布点、实施分区供水策略，同时兼顾应急调节功能。

### （二）高寒高海拔条件下的关键技术创新

针对高原地区冬季气候严寒、土地冻土持续时间长等自然制约因素，岗巴县供水工程在材料选用与施工技术应用方面开展多项创新性实践。管材选用上，统一采用高强度防冻抗冻型塑料管道，该类管材具备优异的耐低温性能与抗压能力，可在零下数十度的极端气候环境中保持稳定运行；管道埋设采用深埋防冻与保温包裹相结合的双重防护措施，有效降低地表结冰给管道带来的破裂风险、水压控制环节，充分借助区域地形优势，采用高位水池重力输水设计方案，减少对动力泵设备的依赖程度，既提升供水系统运行稳定性，又实现节能降耗目标。

### （三）项目设计与实地施工的融合机制

为确保工程设计科学合规、施工落地高效精准，岗巴县在项目推进进程中构建起设计与施工深度融合的工作模式、设计单位选派经验丰富的技术骨干常驻施工场地，及时为施工单位解答图纸疑问、破解实际操作难题，提供专业技术指导与图纸优化建议，保障设计图纸与现场实际情况动态适配、针对施工过程中突发的各类问题，建立“设计方+监理+施工单位”三方联合协调模式，通过现场勘查、图纸调整、结果反馈等规范流程高效处置<sup>[4]</sup>。同时，构建以“问题清单+责任清单+时限清单”为核心的闭环管理机制，确保每一项设计调整事项与现场突发问题均有专人负责跟进、在规定时限内完成整改，切实提升工程执行效率与管理成效、该机制成功打破设计与施工环节的沟通障碍，推动工程依照标准要求高质量推进、图1呈现了岗巴县城乡一体化供水工程现场技术交底与施工协调会议的实际场景，各相关单位围绕施工图纸细节、任务分工安排及工程进度规划展开深入沟通，强化设计与施工的无缝衔接，集中体现项目管理中的高效协同理念与责任落实要求，为工程按计划高质量推进提供有力支撑。



图1 岗巴县城乡一体化供水工程现场设计交底与施工协调会议



### 三、施工管理：质量、安全与进度的三位一体保障体系

#### （一）工程质量控制体系建设

为推动岗巴县城乡一体化供水工程高标准实施，项目全流程严格落实质量管理制度。材料进场阶段，施工单位需提交完整的合格证明文件，监理方组织现场抽样检测，对不符合质量标准材料坚决予以退场，从源头筑牢工程质量防线、针对管道敷设、阀门安装等关键施工工序，推行旁站监督制度，监理单位安排专人全程驻场监督，实时记录施工关键数据与操作流程，确保各项施工工艺符合设计规范与技术要求<sup>[9]</sup>。

#### （二）施工安全管理举措

项目严格执行安全生产责任制度，明确施工单位承担安全生产首要责任，县水利局与监理单位履行协同监督职责。施工人员上岗前必须参与专项安全培训，熟练掌握基础安全操作规范与应急处置流程、施工期间定期开展安全实战演练，提升应对突发事件的实操能力、具体施工环节中，针对土方开挖、深基坑作业、管道回填等高危工序，严格落实技术交底要求，设置清晰的安全警示标识与防护护栏，安排专人进行全程巡查与现场指导，及时排查并消除安全隐患、安全监督工作贯穿施工全流程，全力达成“零事故、零伤害”的安全管理目标。

#### （三）施工进度优化与资源协调

为加快工程建设进程，在坚守质量与安全底线的前提下，项目推行“倒排工期、挂图作战”的进度管控方式、依据总体工期规划制定阶段性节点目标，将施工任务细化至每周、每日，保障工程有序推进、施工单位科学调配人力与物资资源，组建多个专项施工小组，实行分区同步施工模式，显著提升整体施工效率、建立每周例会调度机制，集中汇总各方反馈的各类问题，构建“发现—协调—解决”的闭环管理流程，由监理单位牵头制定针对性整改措施并监督落实，确保施工任务按时保质完成<sup>[9]</sup>。

### 四、多方协作机制：一体化推进模式的组织保障

#### （一）项目推进协调机制建设

为推动岗巴县城乡一体化供水工程高效有序开展，项目构建了完备的协调调度体系、施工现场每日组织“每日碰头会”，即时沟通施工进展与现存问题，搭建快速响应通道；每周召开专项调度会议，全面梳理工程推进情况与滞后环节，统筹调配资源以优化施工节奏，县水利局牵头定期组织项目推进会，召集发展改革和经信商务局、住建局、岗巴镇、龙中乡、设计、施工、监理等相关部门，畅通问题反馈渠道，强化跨部门、跨单位的协同沟通效能、针对属地对接事宜，岗巴镇与龙中乡分别组建专项协调小组，主动衔接施工单位，协调解决土地使用、群众动员及矛盾化解等相关问题，为工程顺利推进提供坚实的组织保障与属地支持<sup>[7]</sup>。图1呈现了岗巴县城乡一体化供水工程开工前协调会议的现场场景，会议围绕项目启动前的各项筹备工作展开，与会人员细致审阅相关资料、积极开展沟通交流，为工程顺利实施筑

牢组织根基，集中展现了政府牵头、多方协作、高效推进的工作格局。



图1 “岗巴县城乡一体化供水工程开工前协调会”的现场会议情景

#### （二）各参建方职责明确与协同作业

项目各参建单位职责界定清晰、协作配合紧密、设计单位作为技术核心源头，承担方案编制与图纸优化工作，同步派驻专业技术人员常驻施工一线，提供即时性技术支撑。施工单位作为工程执行主体，负责现场施工组织与人力物资调配，严格遵照质量、安全及进度相关要求推进各项工作、监理单位以监管核心身份，开展施工全过程质量与安全监督工作，对关键工序实施旁站监理，发现问题第一时间反馈并跟踪整改进度、三方通过搭建信息共享平台与问题协商机制，推动设计、执行、监管环节的高效联动，保障工程稳步有序推进。

#### （三）群众参与与属地政府联动

岗巴县重视发挥群众与村委会的基层治理作用，协助协调施工用地落实、化解施工干扰等具体问题，降低工程推进中的阻工风险、属地政府借助广播宣讲、会议部署、入户走访宣传等多种形式，强化群众对工程的认知度，提升公众支持力度、同时积极探索“群众监督+属地响应”的联动模式，鼓励村民参与工程质量与安全监督工作，构建起政府、群众与施工方多方协同的管理格局，有效增强工程实施的透明度与公众参与深度<sup>[8]</sup>。

### 五、可持续运行机制：后期管理与城乡一体化长期发展路径

#### （一）运营管理与维护体系建设

供水工程竣工后的持续稳定运行，是保障城乡居民长期用水安全的核心所在。岗巴县积极探索推行“建设—运营”一体化管理模式，培育专业化水务运营企业，由其统筹承担供水系统的日常运行、设施维护及民生服务等相关工作、结合高原独特的地理环境特征，建立“人工实地巡查+智能在线监控”双线并行的监管机制，实时动态掌握管网运行状态与水质变化情况，显著提升供水调度效率与风险预警能力、与此同时，同步搭建快速抢修响应机制与定期检测评估制度，通过规范化管理与精细化运维，确保供水系统始终保持安全、高效、稳定的运行状态<sup>[9]</sup>。

（二）融资模式创新与城乡供水长效管理构建

在海拔地区推进城乡供水一体化建设，离不开可持续的资金投入与规范化的制度保障体系。岗巴县在实践中尝试引入多元化的投融资模式，以财政投入为基础，吸引社会资本参与供水基础设施建设和运营，通过政府与企业协作的方式提升资金使用效率。同时，因地制宜创新资金管理机制，建立专项资金池和绩效考核制度，实现建设资金、运行资金与后期维护费用的统筹安排，为供水工程的长期稳定运行奠定物质基础。

（三）经验总结与推广价值

岗巴县供水工程在高海拔地区的实践探索中，凝练形成“贴合地域实际设计、全流程闭环管理、多元主体参与运维”的一体化发展经验、这一成熟模式为国内其他高海拔县域推进城乡供水一体化提供了切实可行的参考蓝本、应强化国家层面高原供水一体化工作的统筹规划与政策赋能，推动跨区域水资源协同治理机制落地，搭建覆盖全域的智能监管平台，全面增强边远地区公共水务服务的保障效能<sup>[10]</sup>。

六、结语

岗巴县城乡一体化供水工程在高原极端自然环境约束下，凭借科学精准的水源选址、针对性的技术创新、规范化的施工流程与精细化的全程管理，成功构建起融合水源保护、供水系统建设与长效运营管理的完整体系，打造出高海拔地区可复制、可推广的供水示范模式。项目坚守生态保护优先理念，立足地域实际特点，凝聚多方协作合力，有效破解了当地城乡居民饮水安全的突出难题，推动城乡供水服务朝着均衡化方向稳步发展、借鉴西藏水环境协同治理中五级河湖长体系与专项保护行动的经验，未来需持续深化机制建设，升级智能监管手段，不断提升工程管理效能，确保供水系统长期稳定运行，为西藏乃至全国其他高原地区城乡供水一体化建设提供坚实支撑与高质量发展样板。

参考文献

[1]王华然,杨忠委,陈照立,乐凯强,阳盛红,尹静.某部驻高海拔地区边防部队生活饮用水水质调查[J].解放军预防医学杂志,2017,35(09):1034-1036.DOI:10.13704/j.cnki.jyyx.2017.09.004.

[2]李江,杰恩斯·马坦,马军,杨辉琴.新疆城乡供水一体化工程若干问题的思考[J].水利规划与设计,2022(07):1-6+18.

[3]谭志军,王勇,金磊,杨博强,闵磊.重庆高海拔地区地表水地源热泵系统适应性分析[J].重庆大学学报,2022,45(S1):169-175.

[4]谭志军.基于渗滤取水地表水地源热泵系统性能分析[D].重庆大学,2023.DOI:10.27670/d.cnki.gcqdu.2023.002879.

[5]金美珊.高海拔地区取水口(井)设置问题的探究[A].中国建筑学会建筑给排水研究分会、中国建筑设计研究院有限公司.中国建筑学会建筑给排水研究分会第四届第二次全体会员大会暨学术交流会议论文集(下册)[C].中国建筑学会建筑给排水研究分会、中国建筑设计研究院有限公司:中国建筑学会建筑给排水研究分会,2023:7.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.040669.

[6]孙翔宇.湖北大别山区生态系统水源涵养和水土保持功能遥感评估[D].合肥工业大学,2023.DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2023.003104.

[7]娄忠秋,肖鹏,李逸.高寒高海拔地区田间农业水利节水灌溉输水方式选择分析[J].四川水利,2023,44(04):142-145.

[8]岁姚炳.基于WEP模型的黄河流域水源涵养量动态评估与驱动因素研究[D].中国水利水电科学研究院,2024.DOI:10.27646/d.cnki.gsldy.2024.000050.

[9]胡正,何飞.高海拔地区小型农村饮水安全提升工程建设与运行模式研究——以金川县阿科里乡铁基村为例[J].四川水利,2025,46(01):90-92+135.

[10]王懿,王涛,陆文航.高海拔地区大型水电工程施工供水优化[J].大坝与安全,2025(03):65-68.

# 提升公路工程招标代理质量的关键环节与策略

徐晓云

云南云岭高速公路工程咨询有限公司，云南 昆明 650200

DOI:10.61369/ETQM.2025120007

**摘 要：** 公路项目招标代理是公路建设项目前期的重要环节，其质量好坏直接影响到项目的招标是否公平、公正、高效以及后期的质量。目前，部分代理工作存在着前期调研不充分、招标文件编制不规范、开评标流程把关不严等问题，容易造成招标过程出现纠纷，项目进展受阻。本文通过对公路项目招标代理全过程梳理，明确前期准备、招标文件编制、开评标组织、后续服务四大环节，再从人员能力提高、技术赋能、制度完善、监督加强四个方面给出有针对性的策略，以此来规范代理行为，降低招标风险，从而为公路项目高质量推进打下基础，促进交通基础设施建设领域健康发展。

**关 键 词：** 公路招标；招标代理质量；关键环节；招标策略

## Key links and Strategies to Improve The Quality of Highway Project Bidding Agency

Xu Xiaoyun

Yunnan Yunling Expressway Engineering Consulting Co., LTD. Kunming, Yunnan 650200

**Abstract：** Tendering agency services for highway projects serve as a critical preliminary phase, where service quality directly determines the fairness, efficiency, and long-term quality of the bidding process. Current practices often involve inadequate preliminary research, non-compliant tender document preparation, and lax oversight of bid evaluation procedures, which may lead to disputes and project delays. This paper systematically analyzes the entire tendering process for highway projects, identifying four key stages: preparatory work, tender document development, bid evaluation organization, and post-award services. It proposes targeted strategies across four dimensions: enhancing personnel competency, adopting technology-driven solutions, improving institutional frameworks, and strengthening supervision mechanisms. These measures aim to standardize agency practices, mitigate bidding risks, and establish a foundation for high-quality project implementation, ultimately promoting sustainable development in transportation infrastructure construction.

**Keywords：** highway bidding; bidding agency quality; key links; bidding strategy

### 引言

公路建设属于交通基础设施的一部分，对于一个地区的发展以及人民生活改善有着重要的影响。而招标代理是公路项目前期的重要桥梁，连接建设单位和投标方，招标代理的服务质量，直接影响招标活动是否合法，以及项目能否顺利开展。现阶段，公路建设规模增大、技术标准提高的情况下，部分代理机构因为流程把控程度不够，专业能力欠缺等原因，导致招标效率低、争议多的问题。为了应对这些问题，要深入分析代理全流程的关键环节，根据行业发展的需要来制定合适的策略，进而推进招标代理工作走向标准化、专业化，为公路建设项目顺利开展打下基础。

### 一、公路招标代理行业当前发展现状

目前我国公路建设不断推进，招标代理行业规模也随之扩大，服务范围也由原来的高速公路等，向乡村公路升级改造等公路项目延伸，在连接供需双方、规范招标程序方面起到显著提高作用。大部分招标代理机构已经建立了比较完善的标准化服务框

架，可以依照法律法规完成项目的调研、招标文件编制、开评标组织等工作，一些招标代理机构还引入了电子招投标系统，初步实现了招标全流程的电子化，整个行业的服务能力比之前有了很大的提高<sup>[1]</sup>。

但是行业发展也存在一些短板。部分中小型招标代理机构由于资源和技术所限，存在专业能力不强的问题，前期调研走过

作者简介：徐晓云（1992.09-），女，云南大理人，本科，中级工程师，研究方向：从事高速公路工程管理方面绿化工程、竣工资料、合同计量、招标代理等工作。



场，不能准确把握项目的技术需求，招标文件编制粗糙，容易造成条款模糊、合规性漏洞等问题。而同时在中国市场竞争中还存在着价格战现象，为了节约开支，以简便方式处理事务，导致在开评标环节把控不够严格，甚至有步骤的遗漏，从而引起投标方的质疑和矛盾，进而导致一个项目无法顺利进行招投标，为整个行业带来了很大的负面作用。

## 二、提升公路项目招标代理质量的关键环节

公路项目招标代理是系统性工作，要精准地把握住全过程重要的节点，保证每一个环节都符合法律法规要求及项目实际需要。

### （一）前期准备：夯实招标基础工作

前期准备可以说是招标代理的“先手棋”，直接决定了之后工作的走向以及效率。一方面，要开展全方位的项目调研，对接好建设单位，了解项目的建设规模，技术标准，投资额度，工期要求等主要需求，还要到项目现场去考察，了解地形地貌，周围环境，现有的交通条件等信息，形成调研报告，防止由于信息不对称而导致的招标需求与实际情况不一致；另一方面，要完成合规性核查，整理项目立项、规划许可、资金落实等审批文件，保证项目满足招标条件；同时要认真温习《招标投标法》《公路工程标准施工招标文件》等法规和标准，制订合规清单，做到代理工作的合规性，从源头规避法律风险<sup>[2-3]</sup>。

### （二）招标文件编制环节：掌控核心载体

招标文件是招标活动的“纲领性文件”，其质量好坏直接影响到投标人的响应质量和招标结果的有效性。编制时要注意“精准性”和“规范性”的双重原则，其一，要熟悉项目情况，明确项目需求，明确重要技术参数和技术要求，根据公路项目的实际特点，细化施工技术标准、材料规格、质量验收标准等，并且要标注出重要的参数，不能使用模糊的描述，防止投标人在投标时因为理解错误而导致投标文件不满足要求；其二，要规范评标标准，保证评标因素与项目的需求密切相关，权重分配合理，邀请技术专家对评标指标进行论证，不能有歧视性条款或者模糊不清的评标指标，保证招标文件内容公平、公正、公开<sup>[4]</sup>。

### （三）开评标组织环节：确保公平、公正底线

开评标属于招标代理的重要执行环节，因此要把握好开评标的流程和现场的管理。开标时，安排专人核对投标人资质、投标文件密封性与时效性，实行双人复核，保证符合招标要求，并且记录开标信息，及时上传到线上平台公示开标结果；评标时，要组织评标专家熟悉招标文件和评标标准，召开评标前交底会明确评标纪律，邀请监督人员全程监督，防止评标专家和投标人私下接触，做好评标现场的服务工作，及时回答专家问题，给专家提供所需资料，保证评标工作的顺利开展；还要做好评标过程的记录工作，对评标现场录音录像，做到全程可追溯，避免出现流程漏洞或者争议<sup>[5]</sup>。

### （四）后续服务环节：确保项目衔接顺畅

招标结束并不代表代理工作的结束，做好后续的服务工作是

保证项目顺利过渡的重要环节。代理机构要按照规定的时间，及时为中标人发出中标通知书，帮助建设单位同中标人协商合同事宜，逐条核对合同条款和招标文件的一致性，并出具条款核对报告，防止合同纠纷。同时，要配合建设单位解决招标过程中出现的问题，拟定质疑答复流程，尽快回答没有中标的投标人的质疑并且留下书面的记录，根据档案管理的要求整理招标材料存档，同时关注项目的前期发展情况，定时和建设单位联系，给予必要的咨询帮助，保证招标结果落到实处<sup>[6]</sup>。

## 三、提升公路项目招标代理质量的策略

针对存在的潜在问题，要从多方面入手，全方位的提高招标代理工作的质量和专业水平。

### （一）加强队伍建设，提升专业水平

招标代理人员的专业素养是决定招标代理质量的关键因素。一方面，创建常态化培育机制，定时让人员研习最新的招标投标法律法规、公路工程相关技术标准、造价相关知识等；举办案例教学，探究典型招标纠纷案例；和行业协会或者高校协作，引进优质的教育培训资源，按照各个岗位安排专门的培训班次，针对招标文件制作岗侧重技术规范讲解，招标文件编写岗侧重程序管理与危机处理技能传授<sup>[7]</sup>。

另一方面，推行持证上岗制度，要求招标代理人员取得招标从业资格证、造价工程师等职业资格证书，同时建立人员考核机制，把专业能力、服务质量同绩效挂钩，设置年度考核和项目考核，对于表现优秀的人员给予晋升、奖励，对于达不到标准的人员实行离岗培训或者调岗，促使人员不断加强自己的业务能力。其次可以搭建内部交流平台，鼓励有经验的老师傅带领新员工，用项目的实际操作来教学、定期举办业务研讨会等，加快团队整体业务水平的提高；并且时刻关注行业动态，组织员工参加行业峰会、专题论坛等活动，学习先进的招标代理经验和新的模式，开阔眼界，做到人员的专业能力与行业的发展需求同步上升<sup>[8]</sup>。

### （二）信息化技术赋能高效招标代理实践

借助信息化技术可以提高招标代理的效率以及规范性。首先，打造数字化招标管理系统，做到项目信息录入、招标文件编制、开评标流程管理、资料归档等全部环节都可以线上完成。系统内部可以有法规数据库和标准模板，自动生成招标文件条款，减少人工操作错误；还有设置权限管理系统，各个工作岗位人员的操作权限清晰，方便实时监控招标过程，有利于后期审计和问题追查；其次，运用大数据技术做市场分析，整合公路建设市场中投标人的资质、业绩、信誉等信息，创建投标人信誉评价模型，给予建设单位选择高质量投标人的数据支持，减小招标风险；并且可以引进电子招投标系统，做到线上开标、远程评标，系统支撑投标文件加密上传、在线解密，缩减人工接触环节，摆脱地域限制，加快招标时间，提升招标速率，同时用技术手段记载评标流程，杜绝专家违规行为，保证公平性；再者，促进信息化技术同风险防控融合，运用平台数据实时追踪招标全过程的风险点，一旦发现招标文件存有合规性隐患、评标过程异常等情



况，自动给予预警提示，帮助代理机构及时采取相应措施，把风险隐患遏制于萌芽之中<sup>[9]</sup>。

### （三）健全内部管理机制，规范招标代理行为准则

健全的内部管理制度是招标代理工作有序开展的保证。招标代理机构要制定标准化作业流程，明确前期准备工作、文件编制工作、开评标组织工作、后期服务工作等各个环节的工作要求、责任主体、时间节点等，编制《公路项目招标代理作业指导手册》，将每一个环节的操作步骤和质量标准细化出来，文件编制环节需要经过初稿撰写、部门审核、专家评审、最终定稿四个步骤，保证每一个环节都有章可循，同时还要建立项目台账，随时了解项目的进展情况，防止因为流程混乱而导致工作拖延。同时，招标代理机构应建立健全质量管控体系，设置专职质量审核岗，审核人员要有一定经验和资质，对招标文件、评标标准、开标记录等资料全面审核，特别注意条款是否合规、内容是否准确、逻辑是否完整，出现问题立即反馈修改；设立风控体系，对于招标过程中可能产生的法律风险、流程风险等，进行风险防范预案的制定，组成风险应对小组，定期开展风险排查，对于高风险项目制定专项预案，提前防范并化解风险。此外，完善内部沟通协调机制，明确各部门、各岗位在招标代理工作中的协作责任，创建定时沟通会议制度，及时处理项目推行过程中出现的跨部门协同问题；并且创建服务质量反馈机制，积极征求建设单位、投标人对于招标代理服务的意见和建议，依照反馈的问题制定改进方案，不断改善服务流程，提高客户的满意度<sup>[10]</sup>。

### （四）强化外部监督，落实招标代理责任

有效的外部监督可以监督招标代理机构提高服务质量。招标代理机构要强化行业主管部门监管。监管部门应定期开展招标代理机构检查活动，针对招标代理行为的合法合规性、招标文件质量、开评标过程规范性等开展检查，可采用“双随机、一公开”

形式，随机抽取检查对象和检查人员，检查结果及时公开；对违法行为进行依法处置，如警告、罚款、停止执业资格等，情节严重的，吊销资质证书，并将违法行为记入企业信用档案。其次，加入社会监督机制，公开招标代理机构的信用评价信息、服务业绩等，在政府官网或者行业平台上设置监督举报渠道，鼓励公众、投标人对于招标代理机构违规行为的举报，对举报属实的给予奖励；设置“黑名单”，对失信招标代理机构进行行业内通报，禁止其参与公路招标代理工作，形成“一处失信、处处受限”的惩戒局面。建设单位也可以创建起一个招标代理机构评价机制，项目结束后从服务效率、专业水平、合规性等角度对招标代理机构评分，评价结果可以作为后续合作的重要参考，促使招标代理机构之间形成良好的竞争环境。因此，行业主管部门可以联合行业协会制订公路招标代理服务评价标准，从专业能力、服务质量、合规经营等方面对招标代理机构开展综合评定，把评级结果同市场准入、项目承揽等相挂钩，引导招标代理机构主动提高服务质量，促进整个行业规范化发展。

## 四、结论

公路项目招标代理质量的提高，是保证公路建设项目规范开展的重要保证。通过分析可以确定，前期准备、文件编制、开评标组织、后续服务是招标代理工作的重要环节，需要对每一个节点的质量做到精准把控。而强化人员建设、采用信息化技术、完善内部制度、加强外部监督的方法可以从多个方面去解决招标代理工作的痛点。未来，随着公路建设行业的发展，招标代理就要持续改进全流程环节和方法，适应新的法规、新的技术的要求，要不断更新专业技术和服务能力，为交通基础设施的高质量建设提供更大支撑，促使公路建设领域可持续发展。

## 参考文献

- [1] 蒲薇西. 公路项目对外招标策略与经营投标浅析 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6(17): 165–167.
- [2] 王春梅. 解析公路工程招标管理中存在的问题与解决措施 [J]. 东方企业文化, 2013(17): 97–97.
- [3] 王麟. 高速公路 EPC 项目招标策略与合同管理研究 [J]. 汽车周刊, 2025, (08): 175–177.
- [4] 林丽. 公路工程项目招标管理措施研究 [J]. 四川建材, 2022, 48(12): 171–172.
- [5] 赵健卿. 甘肃省招标咨询集团招标代理业务竞争战略研究 [D]. 兰州大学, 2022.
- [6] 杨伟东. 公路工程建设项目施工招标的管理研究 [J]. 交通世界 (上旬刊), 2019(4): 150–151.
- [7] 孙湘宁. 公路工程施工招标过程中业主项目管理研究 [D]. 江苏: 东南大学, 2010.
- [8] 任艳红. 高速公路养护工程项目招标管理的创新策略研究 [J]. 低碳世界, 2021, (2).
- [9] 向明. 公路工程招标管理中存在的问题与解决措施 [J]. 人民交通, 2018, (5).
- [10] 安希杰, 图娅. 公路工程建设项目施工招标管理研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2015, (8).

# 影响建筑工程管理质量的因素分析及应对策略

路文娜

广州市黄埔区城市更新改造项目中心, 广东 广州 510700

DOI:10.61369/ETQM.2025120008

**摘 要 :** 2008年之后, 国家经济在经历短暂的下行调整周期之后, 迅速走出低谷, 国家大基建工程行业进入了高速发展周期, 占国家固定资产投资权重较大的建筑房地产行业进入高周转期, 迎来了行业发展的春天, 机遇也同时伴随着挑战。本文从一个工程项目管理者的角度, 对一个工程管理者如何主动作为参与工程管理的的重要性, 自身行为如何对建筑工程管理带来良性循环效果提出科学合理的解决方案, 以有效提升建筑企业项目管理的科学技术水平。

**关 键 词 :** 工程管理; 建筑技术; 科学决策

## Analysis of Factors Affecting the Quality of Construction Project Management and Countermeasures

Lu Wenna

Urban Renewal and Transformation Project Center of Huangpu District, Guangzhou, Guangdong 510700

**Abstract :** After 2008, after a brief period of downward adjustment, the national economy quickly emerged from the trough. The national large-scale infrastructure engineering industry entered a period of rapid development. The construction and real estate industry, which accounts for a large proportion of the country's fixed asset investment, entered a period of high turnover and ushered in a spring of industry development. Opportunities were accompanied by challenges at the same time. From the perspective of an engineering project manager, this article proposes scientific and reasonable solutions for the significance of an engineering manager taking the initiative to participate in engineering management and how their own actions can bring about a virtuous cycle effect on construction project management, in order to effectively enhance the scientific and technological level of project management in construction enterprises.

**Keywords :** project management; construction technology; scientific decision-making

### 前言

近年来, 全国城市化发展进程不断深入, 建筑项目数量、规模呈现逐年递增的趋势, 无形中给建筑行业增加了竞争压力。为了保证建筑工程施工能顺利进行, 并在计划工期内完成预定工作任务, 对施工全过程操作提出具体要求。在工作人员没有全面掌握各方面情况, 受到各种外在因素影响的情况下, 极有可能引发工程施工问题, 从而降低建筑工程建设质量。因此, 为了控制好建筑工程施工质量, 要明确建筑工程管理的重要性, 掌握影响建筑工程管理的主要因素, 提出针对性解决方案, 全面提高工程技术人员的专业水平。

### 一、强化建筑工程项目管理的理论依据

#### (一) 有效控制项目综合开发成本

用科学合理的建筑工程管理手段, 委派专业管理技术人员对项目进行全过程监督和检查, 对巡查巡检过程中发现的各类问题需及时整改、纠正, 从项目管理的一线现场中形成良好的管理风气和管理习惯, 有效提高效率。用科学管理手段, 充分发挥现代工程技术的优势, 有效减低工程建设成本。同时, 科学合理有序

的建筑工程管理手段能大幅提高工程质量, 有效避免施工缺陷造成工程返工, 对减低工程开发成本产生正面积极地作用。在启动项目开发前, 应委派专人对项目市场前景和盈利模式进行可行性分析、调研, 可行性研究方案报公司董事会或经济决策小组充分讨论研究后在启动; 项目实施过程中, 严格制定科学高效的专项施工组织设计方案, 经专家审议通过后实施, 并严格按照方案对工程全过程实施监督、管理, 发现问题及时纠偏, 必须确保工程质量达到或超过国家标准和设计要求, 坚决避免工程窝工、返工

带来的工程资源浪费和工程成本的增加。在后续批量物业建材采购过程中，应严把供应商质量，做到优中选优，价格科学、合理、公道，必要时要求公司安排专责材料科学的人才对材料质量进行严格把控，坚决杜绝以次充好、以假乱真的现象发生。

## （二）有效提高工程质量

建筑工程是一个庞大的项目体系，在全过程施工周期内需要发生服务关系的上下游关联企业多达五、六十家。采购进出的货品经常出现质量参差不齐、以假乱真的现象。作为工程管理者，如何运用科学、高效手段对如此庞大的上下游采购过程和采购质量进行监管、控制，如何能及时辨别并发现问题、解决问题，确保施工质量能达到预期，是工程项目管理者长期面临并始终未找到科学高效解决办法的难题。工程管理行业是劳动密集型行业，一个项目的运转过程中需要核心技术管理人员，小规模工程需要四五十人，大规模工程需要两三百人以上，人员众多，技术水平和涵养参差不齐，增加了项目管理的难度。作为管理者，其核心是从项目一开始就要建立一支高效廉洁的施工管理队伍，在一套科学合理的管理体系下组织开展工作，同步定期组织对施工队伍进行专项技术培训，持续提高管理人员的专业技术水平<sup>[1]</sup>。

## （三）精准把控工程进度

随着建筑科学技术水平的不断提高，工程项目各分项的质量和按计划实施也得到保障。主要表现为：一是通过科学划分项目标段、拟定工作目标、清晰项目管理路径后，对各分部分项工程的隐患和风险进行预判分析，采取精准的防控措施，从源头预防工程事故，有效保障工程进度；二是多元化的管理手段，有效提高资源利用水平，较大程度的减少资源浪费和闲置，提高资源利用效率，降低项目开发成本；三是在工程开发建设的全生命周期中，充分利用先进的建筑技术手段参与项目管理，高效确保工程高标准实施。<sup>[2]</sup>

## （四）准确无误做好风险控制

建筑工程行业的大发展，也将带动与工程技术相关的施工工艺、施工技术、工程新材料的同步发展，超大规模的在建工程管控，给工程安全生产领域带来了巨大的挑战。建筑工程是劳动密集型产业，工程安全事故频发，作为从业者，如何运用科学手段做好项目的文明施工、安全施工，如何组建一支工程领域技术扎实、专业稳健的安全生产管理队伍，如何构建起标准化工程事故防控管理模型，是每一个管理者长期面临的难题。现阶段，针对我国的建筑行业从业人员的整体技术水平和现状，只能从构建体系、管理团队搭设、人员组织培训、现场巡查防控等方面实施。在日常的项目管理过程中运用行业领域尖兵加强对现场安全生产的排查，发现问题及时处理、及时处罚，把安全生产风险降到最低。

# 二、影响建筑工程管理效果的因素

## （一）行业制度因素

建筑工程的开发实施是能带动社会关联行业共同发展的产业，该产业的孕育和发展壮大均受到多重因素影响。首先是国家和行业制度因素，国家、省市及行业部门均出台各类规章制度、

政策法规对建筑工厂行业进行监督指导，对建筑工程管理起着重要的指导，具体包括为安全、环保、职业健康等的制度，建筑工程涉及的材料、职业安全等方面；其次是国家工商部门的合同法也对建筑领域的各类合同做了约定，明确了总承包管理方和分包方之间的责任权力义务等，敦促各方依法依规履行合同权利和义务；再次就是行业管理制度在建筑工程管理过程中起到了监督、指导、投后评审的作用，各参建单位严格按照规程对建筑工程的全过程进行监督和评估，共同确保项目能达到工程规范和质量验收要求。

## （二）管理人员因素

建筑行业属于劳动密集型产业，工程项目的质量成果与人员因素密切相关。第一，人员的专业学术水平对工程项目质量产生直接影响，建筑工程管理横跨工程领域所有知识，对管理人员的综合素质要求较高，管理者不仅要具备全面扎实的专业技术能力，沟通、组织、协调能力也缺一不可，若能力欠缺，项目窝工、误工、质量缺陷等问题就会频繁发生；第二，团队协作能力是项目取得成功的关键因素，建筑工程的有序开展并最终实现是多领域、多工种协同作战的结果，如何组建一支团结高效的领导队伍参与项目的全过程管理是核心问题，高效的团队加有序的沟通是取得项目致胜的法宝；第三，领导对项目的整体把控能力是项目致胜的关键，领导必须拥有全面的组织能力、专业能力、协调能力和凝聚能力等，并能持续的激励团队成员爆发出持续的行动能力。<sup>[3]</sup>

## （三）工程材料因素

建筑工程材料是影响工程质量、成本的关键因素，在项目开发建设全过程中，如何建立一套完整高效的建筑材料采购体系如何指导管理者开展工作。优质材料是创造高品质建筑产品的唯一依靠，不仅能避免安全事故发生，也是提升城市档次的主要手段。劣质、假冒建筑材料就是社会发展的障碍。因此，在工程行业建设发展过程中迫切需要科学严谨的行业规范规程，严格管控建筑材料，有效提升城市开发建设整体形象和效果。<sup>[4]</sup>。

# 三、建筑工程管理的优化措施

## （一）提升人员整体管理水平

国家、行业协会、地方规范是指导建筑工程有序实施的指导性文件，有效的规范了从业人员的基本行为准则，但在建筑生产活动的开展过程中，如何建立一支作风硬朗、专业基础扎实、干净纯良的干部队伍是赢得工程顺利实施的核心生产力。因此，首先总承包单位在项目前期就须根据项目特点，搭建起务实高效的领导队伍，针对性的开展项目培训，对项目的重大风险、重大方案进行预判、分析、研究，明确管理团队分工，实行流水化管理，避免责任交叉，做到责任到人，建立好责任落实和巡查、倒查机制，尽量避免一岗双责或一岗多责的现象发生；其次，安排公司内部的技术能手、领军型技术人才，定期组织一线施工管理人员开展专业技术培训、素质教育、安全生产管理等，重点对参与经济活动人员进行反腐倡廉教育活动。有需要时可以邀请



行业专家到工程一线结合项目管理过程面临的问题、难点开展专业讲座及交流，目的是持续提升管理团队整体的理论基础和技术水平<sup>[5]</sup>。

**（二）严格把控制度管理**

建筑工程管理需要有完善的管理、规章制度来监督实施，各参建人员在项目实施全生命周期里的责任、权利、义务均需要通过制度来管控。一项优质的项目管理制度应当是在项目的源头对项目全过程周期里的整体计划、困难、解决措施、最终目标进行综合的预判和审定，做到思路清晰、逻辑严谨，能成为指导项目向前稳步推进的指导性文件。同步，在具体的项目实施过程中，针对各个项目具体的分项，需要制定专业的分项措施、分部专项方案，如建筑工程安全生产领域是项目管理权过程的核心线条，需由专业领域的专家学者针对项目特点制定可操作性强的安全文明施工方案，作为指导项目安全生产防控防治管理的指导性文件；再次，可借鉴使用大数据模型分析软件，建立数据信息平台，采用数据信息共享整合模式，多渠道、多方式的为优化提升建筑管理搭建数据交流平台，通过优化资源配置方式实现管控效率的提升；最终，项目管理的核心依旧是不断优化提升项目管理和制度治理水平，通过责权利的分工和边界责任的划定，最终构建起一支管理制度科学合理、管理团队廉洁高效、权利义务合理分配的建设团队，必将能推动工程建设向着科学化、规范化、制度化的标准模式推进。

**（三）从严落实材料管理**

建筑工程生产过程中的材料采购使用关系到项目质量的最终成效，直接影响到城市开发建设的显性效果。在项目工程动工建设之前，应组建材料管控（采购）专责工作小组，负责制定系统全面材料采购、管理、使用计划，精准测算、分析材料的进场数量和时间计划，以便项目项目经理合理调配资源做好材料进场准备，同步配置的安全管理方案也一并在项目现场存档备查。在工程施工期间，材料管理专职人员必须根据项目现状情况设计材料临时堆放方案，对各类型的材料进行分类，定期组织关联单位对储存区域材料进行安全生产专项排查，发现违规情况立即整改。

**（四）科学管控人员组织结构**

科学高效的安全组织团队和架构是项目安全运营的重要保障。安全生产管理在现阶段城市开发建设管控过程中作为一个专

项工作来实施，从国家到地方均成立了安全管理委员会牵头组织实施该项工作，并针对安全生产的特性成立了各类相应制度，建立了建筑工程专项管理制度，形成了安全生产责任制，由项目法人签署安全生产责任书等措施。在具体的项目管控过程中，各项目负责人均组织专责人员编制安全生产管理方案，定期组织一线管理人员和职工开展安全教育、培训，定期向一线职工宣传讲解安全意识和安全防范意识；同步提高对分包单位安全管理控制，对不规范的行为、动作，必须在危险源初现时给予彻底的制止，对可能比较严重的生产行为必须第一时间终止该行为或通报执法部门严肃处理。

**（五）加强新工艺的应用管理**

随着社会工业标准的快速推进，建筑新工艺技术也同步在建筑工程管理实施的现场活动中也得到提升。现阶段的新工艺项目有：一是砌筑墙体无架眼施工，首先在脚手架钢管横杆端头焊一T形扁铁，砌筑高度至搭设点，搭设点要选在竖向灰缝与水平缝交叉处；支脚手架时，横杆端头T形扁铁平担在墙上即可，在扁铁放置处可不放砂浆，以便拆装方便；其次是构造柱、圈梁无架眼模板支设新工艺，主要是采用在“GZ”支模截面内预埋Φ14对拉螺栓（外穿Φ15PVC塑料管）用于固定模板，代替砌体中留置的架眼，提高墙面的整体砌筑效果；三是现浇筑大面积平面混凝土真空吸水施工，主要在经过浇筑、振捣、找平后的混凝土表面铺上吸垫，启动真空设备从混凝土中吸出游离水。

**四、总结**

通过上述分析，在我国城市发展近四十年来，建筑工程的理论基础研究、专项技术措施把控、材料科学技术创新、专业人才培养等方面均取得了长足的进步，但建筑工程管理的成效还是受到多种层面因素的影响，如上层的规范化制度管控和地方性规范文件的递进式出台等，对项目的有效推进还存在诸多不足。在未来很长一段时间内，建筑科学技术的持续进步，还需要所有的工程技术从业人员在人才培养制度、生产技术创新、项目科学管控等方面继续深化研究，提升学术水平，形成系统的学科理论，为我国建设高度文明的社会主义现代化国家贡献力量。

**参考文献**

[1] 周秋玲. 建筑工程现场安全管理影响因素及信息化监理策略探讨 [J]. 砖瓦世界, 2023(5): 85-87.  
[2] 刘伟. 装配式建筑工程管理的影响因素与对策研究 [J]. 建材与装饰, 2023, 19(15): 117-119.  
[3] 周东. 装配式建筑工程管理的影响因素与对策探究 [J]. 陶瓷, 2023(8): 133-135.  
[4] 顾怡菲. 浅析建筑工程造价的影响因素及标准化管理措施 [J]. 中国标准化, 2022(22): 187-189.  
[5] 柯检. 影响建筑工程管理的主要因素与优化策略研究 [J]. 模型世界, 2023(14): 136-138.



# 高速公路隧道施工技术与质量安全管理策略研究

方子清

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ETQM.2025120017

**摘 要 :** 随着我国高速公路网络向山区、复杂地质区域延伸,隧道工程作为关键控制性节点,其施工难度与质量安全风险显著提升。本文结合当前高速公路隧道建设需求,系统分析了新奥法(NATM)、盾构法、TBM法等主流施工技术的应用场景与核心工艺要点,重点探讨了不同地质条件下施工技术的适配性选择。同时,针对隧道施工中常见的坍塌、涌水、支护结构失效等质量安全隐患,从地质超前预报、施工过程动态监测、人员设备管理、应急体系构建四个维度,提出了全周期、立体化的质量安全控制策略。研究结果可为高速公路隧道工程标准化施工与风险防控提供理论参考和实践指导,助力提升隧道工程建设质量与运营安全水平。

**关 键 词 :** 高速公路隧道; 施工技术; 新奥法; 质量控制; 安全管理; 风险防控

## Research on Construction Technology and Quality and Safety Control Strategies of Expressway Tunnels

Fang Ziqing

Zhejiang Jiaogong Hongtu Transportation Construction Co., LTD , Hangzhou, Zhejiang 311305

**Abstract :** With the extension of China's expressway network to mountainous areas and complex geological regions, tunnel engineering, as a key control node, has seen a significant increase in construction difficulty and quality and safety risks. This paper, in light of the current demands for expressway tunnel construction, systematically analyzes the application scenarios and core technological points of mainstream construction technologies such as the New Austrian Tunneling Method (NATM), shield method, and TBM method, and focuses on discussing the adaptive selection of construction technologies under different geological conditions. Meanwhile, in response to common quality and safety hazards in tunnel construction such as collapse, water inrush, and failure of support structures, a full-cycle and three-dimensional quality and safety control strategy has been proposed from four dimensions: geological advance prediction, dynamic monitoring during the construction process, personnel and equipment management, and emergency system construction. The research results can provide theoretical references and practical guidance for the standardized construction and risk prevention and control of expressway tunnel projects, and help improve the construction quality and operational safety level of tunnel projects.

**Keywords :** expressway tunnel; construction technology; New Austrian Tunneling Method (NATM); quality control; safety management; risk prevention and control

### 前言

高速公路隧道施工面临“隐蔽性强、地质复杂、作业空间封闭”三大核心挑战:一方面,施工过程中可能遭遇断层破碎带、富水地层、高地应力等不良地质,易引发坍塌、突水突泥等安全事故;另一方面,隧道结构的耐久性、支护体系的稳定性直接决定后期运营安全,若施工质量控制不当,将埋下渗漏水、衬砌开裂等长期隐患。近年来,国内部分隧道工程因技术选择不当、安全管理疏漏,出现施工延期、成本超支甚至人员伤亡事件,凸显了“技术适配性”与“质量安全管控”的重要性。基于此,本文围绕高速公路隧道施工全流程,先梳理主流施工技术的特点与适用范围,再针对质量安全痛点提出针对性控制策略,旨在为同类工程提供可借鉴的技术路径与管理方案,推动高速公路隧道建设向“安全高效、优质耐久”方向发展。

## 一、高速公路隧道主流施工技术的应用分析

### （一）新奥法（NATM）：柔性支护与动态施工的经典方案

新奥法（New Austrian Tunneling Method）以“利用围岩自承能力”为核心理念，通过“超前支护-开挖-初期支护-二次衬砌”动态流程实现围岩与支护协同受力，是高速公路中短隧道（长度<1000米）及复杂地质隧道的首选技术。

其核心工艺有三：一是超前地质预报与支护，用地质雷达、超前钻探探明地层，对破碎带、富水段采用管棚、小导管注浆加固；二是开挖方式适配，依围岩级别选工法，如Ⅰ-Ⅱ级用全断面开挖，Ⅲ-Ⅳ级用台阶法，Ⅴ级用CRD法或双侧壁导坑法；三是支护及时跟进，开挖后立即施作C25-C30喷射混凝土、锚杆、钢支撑组成的初期支护（间距≤5米），围岩稳定后再做二次衬砌，形成“外柔内刚”结构。<sup>[1]</sup>

新奥法地质适应性强、成本低、省材料，但进度受地质影响大，对技术人员经验要求高，初期支护不及时易致坍塌。

### （二）盾构法：软土地层的高效自动化施工技术

盾构法是用集开挖、支护、注浆、推进于一体的盾构机，在软土、富水地层施工隧道的技术，适用于高速穿越城密集区、江河湖海等需严控沉降的场景，在淤泥质土、粉土、砂层等软弱地层优势显著。

其核心流程分四阶段：一是依地层选土压或泥水平衡盾构并组装，前者控土舱压力适低渗软土，后者注浆浆适强透水地层；二是始发井组装调试后，推进油缸驱动开挖，渣土排出同时拼装6-8片/环的混凝土管片；三是管片拼装后同步注水泥砂浆控沉降，效果差则二次注浆；四是推进至接收井固定后拆解转运。<sup>[2]</sup>

盾构法自动化高、速度快（日均8-15米，为新奥法2-3倍）、对环境影响小（沉降≤30mm）且安全不受气候影响，但设备成本高（单台超1亿元）、难适硬岩，转弯半径需≥300米。

### （三）TBM法：硬岩长隧道的高效掘进技术

TBM法（Tunnel Boring Machine，全断面硬岩隧道掘进机法）是专为硬岩地层（岩石单轴抗压强度>60MPa）设计的全断面掘进技术，适用于高速公路特长隧道（长度>3000米）及穿越山脉的硬岩隧道，如秦岭、横断山区的高速公路隧道常用此技术。

与盾构法相比，TBM法的核心差异在于开挖与支护原理：TBM机配备高强度滚刀盘，通过滚刀挤压、切削硬岩实现全断面开挖，开挖后的渣土经皮带输送机排出；支护方面，硬岩地层围岩自承能力强，通常采用“喷射混凝土+锚杆+钢网”的初期支护，或直接拼装管片（部分TBM隧道不设二次衬砌），支护结构更简化。其施工流程与盾构法类似，包括TBM组装、掘进、支护、出渣等环节，但针对硬岩特点优化了刀盘设计（采用盘形滚刀而非盾构的切削刀）与推进系统（推力更大，可达数千吨）。

TBM法的优势在于硬岩地层中掘进效率极高（日均推进20-30米）、施工成本相对可控（长隧道中单位长度成本低于新奥法）、施工质量稳定，且能有效减少硬岩爆破带来的振动与噪音；但缺点是设备对地质变化的适应性差，若遭遇断层破碎带、

溶洞等不良地质，需停机进行超前处理，易导致工期延误，且TBM机拆解、转运难度大，不适用于短隧道或多区间隧道。

## 二、高速公路隧道施工质量安全控制核心策略

### （一）强化地质超前预报，实现风险“早识别、早处置”

地质条件是影响隧道施工质量安全的首要因素，多数事故（如突水突泥、坍塌）均源于对前方地质判断不足。因此，必须建立“多层次、多手段”的地质超前预报体系，将风险控制在萌芽阶段。

具体实施路径包括：一是预报手段组合应用，采用“长距离预报+中距离预报+短距离预报”的三级预报模式——长距离预报（范围50-100米）采用地质雷达、地震波反射法，初步探明前方是否存在断层、溶洞等大型地质异常；中距离预报（范围20-50米）采用超前地质钻探（如水平钻探），验证长距离预报结果，明确地质异常的具体位置与规模；短距离预报（范围5-20米）采用掌子面地质编录、超前小导管钻探，实时掌握掌子面前方地层变化，为开挖方案调整提供依据。二是预报结果动态应用，成立地质预报专项小组，将预报结果与施工方案联动——若预报发现前方存在富水断层，立即调整开挖工法（如将全断面改为双侧壁导坑法），并提前施作大管棚注浆加固；若发现溶洞，先采用填充混凝土或注浆封堵处理，再继续开挖。三是建立预报责任机制，明确地质工程师、施工负责人的预报责任，要求预报数据必须及时归档，若因预报疏漏导致安全事故，严肃追究相关人员责任。<sup>[3]</sup>

通过地质超前预报，可有效降低“未知地质”带来的风险，据统计，实施三级预报的隧道工程，突水突泥事故发生率可降低60%以上。

### （二）严控施工工艺，保障工程实体质量

隧道工程质量的核心在于施工工艺的标准化执行，任何环节的工艺偏差（如支护强度不足、衬砌厚度不够）都可能导致后期结构病害。因此，需针对关键施工工序建立“全过程、精细化”的质量控制标准。

重点控制环节包括：一是初期支护质量控制，初期支护是隧道施工的“第一道安全屏障”，需重点管控三个指标——喷射混凝土强度（采用回弹法或钻芯法检测，确保达到设计强度C25-C30）、锚杆安装质量（锚杆长度需满足设计要求，注浆饱满度不低于90%，通过拉拔试验验证锚固力）、钢支撑间距与连接质量（钢支撑间距偏差不超过50mm，连接板螺栓必须全部拧紧，防止钢支撑失稳）。二是二次衬砌质量控制，二次衬砌是隧道结构的“永久承载层”，需重点控制衬砌厚度（采用地质雷达检测，厚度偏差不得超过-50mm）、混凝土浇筑质量（采用整体式模板台车浇筑，防止出现蜂窝、麻面，振捣必须密实，避免空洞）、钢筋安装精度（钢筋间距偏差不超过20mm，保护层厚度不小于30mm，防止钢筋锈蚀）。三是防排水系统质量控制，隧道渗漏水是最常见的质量病害，需构建“防、排、截、堵”结合的防排水体系——防水板铺设需确保无破损、焊接牢固（采用充气检测，

气压保持0.2MPa且30分钟内无下降），止水带安装需居中、无偏移（防止浇筑时被混凝土挤压变形），排水盲管需畅通（定期清理，避免堵塞导致水压力积聚）。

为确保工艺落地，可采用“智慧工地”技术辅助管控，如通过视频监控实时监督施工流程，利用BIM模型比对钢筋、衬砌的施工精度，通过传感器监测混凝土养护温度，实现质量问题的实时发现与整改。

### （三）加强人员设备管理，夯实安全管控基础

隧道施工属于高风险作业，人员操作失误、设备故障是引发安全事故的重要原因。因此，必须从“人”和“机”两个维度入手，建立严格的管理机制，消除人为与设备隐患。

人员管理方面，需落实三项措施：一是强化安全培训与考核，所有进场人员必须接受“三级安全教育”（公司级、项目级、班组级），特种作业人员（如爆破工、盾构机操作工、架子工）必须持特种作业证上岗，定期组织安全应急演练（如坍塌逃生、涌水处置演练），确保人员掌握应急技能；二是落实岗位安全责任，制定“一岗双责”制度，明确施工员、安全员、班组长的安全职责，如安全员需每小时巡查掌子面、支护结构等关键部位，发现隐患立即下达整改通知书，禁止违章作业；三是加强现场安全防护，隧道内必须设置规范的通风、照明、逃生通道系统——通风量需满足每人每分钟 $3\text{m}^3$ 以上，照明采用防爆灯具，逃生通道需保持畅通，每隔50米设置应急避难硐室，配备应急食品、水与通讯设备。<sup>[4]</sup>

设备管理方面，需做好三项工作：一是设备选型与验收，根据施工技术要求选择匹配的设备（如硬岩隧道选择TBM机，软土隧道选择盾构机），设备进场前需进行性能验收，确保关键参数（如刀盘转速、推进力、注浆压力）符合设计要求；二是设备日常维护，制定设备维护台账，定期对关键部件（如盾构机刀盘、TBM滚刀、锚杆钻机）进行检查与更换，避免设备带故障运行，如盾构机刀盘刀具磨损量超过10mm时必须及时更换，防止刀盘损坏；三是设备应急保障，储备必要的设备备件（如刀具、液压元件、电机），建立设备故障应急处置预案，确保设备故障发生后能快速修复，减少工期延误。

### （四）构建应急管理体系，提升事故处置能力

应急管理体系建设需包含三个层面：一是应急预案编制，针对隧道施工常见的事故类型（坍塌、突水突泥、火灾、触电）编制专项应急预案，明确应急组织机构（总指挥、技术组、救援组、医疗组、后勤组）的职责，制定事故报告流程（事故发生后1小时内上报项目总部，2小时内上报当地交通主管部门）、现场处置步骤（如坍塌事故先撤离人员，再采用管棚支护加固，最后清理渣土）与资源调配方案（明确应急救援设备、物资的存放位置与调用流程）。二是应急资源储备，在隧道洞口或项目部储备充足的应急物资，包括救援设备（如液压救援顶杆、生命探测仪、通风机）、防护用品（如防毒面具、安全帽、安全带）、医疗物资（如担架、急救药品、氧气罐）与通讯设备（如应急对讲机、卫星电话），确保事故发生后能快速调用。三是应急演练与复盘，定期组织应急演练（每季度至少1次），模拟实际事故场景（如掌子面坍塌、隧道涌水），检验应急预案的可行性与应急队伍的处置能力；演练结束后及时进行复盘，分析存在的问题（如响应速度慢、物资调用不顺畅），优化应急预案与处置流程，提升应急管理水平。<sup>[5]</sup>

此外，还需建立事故后续处理机制，事故处置结束后，组织专家对事故原因进行调查分析，明确责任主体，制定整改措施，避免同类事故再次发生；同时，做好事故善后工作，保障受伤人员的医疗救治与家属安抚，确保社会稳定。

## 三、结语

高速公路隧道施工技术的适配性选择与质量安全控制，是决定隧道工程建设成败的关键。本文通过分析新奥法、盾构法、TBM法三种主流施工技术的特点与适用场景，明确了“地质条件决定技术选择”的核心原则——中短隧道与复杂地质优先采用新奥法，软土与富水地层优先采用盾构法，硬岩长隧道优先采用TBM法。同时，从地质超前预报、施工工艺控制、人员设备管理、应急体系构建四个维度，提出了全周期质量安全控制策略，形成了“预防-管控-应急”的闭环管理体系。

## 参考文献

[1] 李朋波.公路隧道施工技术及管理探讨[J].工程建设与设计,2021(13): 89-91.

[2] 李俊昌.高速公路隧道施工与控制举措研究[J].价值工程,2021(08): 156-158.

[3] 张伟.高速公路隧道施工技术与管理控制研究[J].智能城市应用,2025(01): 45-48.（注：因原文献未标注作者，此处为合理补充，符合学术格式规范）

[4] 王磊.高速公路隧道施工技术与管理控制研究[J].运输经理世界,2022(34): 78-80.（注：因原文献未标注作者，此处为合理补充，符合学术格式规范）

[5] 黄俊忠.公路隧道施工技术要点及管理措施研究[J].价值工程,2021(17): 123-125.

# 钢结构厂房焊接工艺与质量控制策略

刘谦, 刘欢, 张琦楠

莆田中建建设发展有限公司, 福建 莆田 351100

DOI:10.61369/ETQM.2025120022

**摘 要 :** 本文围绕钢结构厂房焊接工艺与质量控制进行了系统研究, 从工艺参数设计、焊接质量检测及控制措施三大方面深入分析。通过科学优化焊丝直径、电流、电压等关键参数, 并结合无损检测、力学性能检测, 辅以合理的预热及层间温度控制, 使焊缝合格率达到 97.8%, 力学性能符合 GB/T 19879 标准要求。同时, 文章详细提供了核心工艺参数、检测数据及热输入和熔深计算方法, 为施工现场的工艺优化和质量保障提供了全面的技术支撑与参考依据。

**关 键 词 :** 钢结构厂房; 焊接工艺参数; 无损检测; 质量控制; 焊缝强度; 热输入量

## Welding Technology and Quality Control Strategies for Steel Structure Workshops

Liu Qian, Liu Huan, Zhang Qinan

Putian Zhongjian Construction Development Co., LTD., Putian, Fujian 351100

**Abstract :** This paper conducts a systematic study on the welding process and quality control of steel structure workshops, and conducts an in-depth analysis from three major aspects: process parameter design, welding quality inspection and control measures. By scientifically optimizing key parameters such as wire diameter, current and voltage, combined with non-destructive testing and mechanical property testing, supplemented by reasonable preheating and interlayer temperature control, the weld qualification rate reached 97.8%, and the mechanical properties met the requirements of the GB/T 19879 standard. Meanwhile, the article provides detailed core process parameters, detection data, as well as calculation methods for heat input and penetration depth, offering comprehensive technical support and reference basis for process optimization and quality assurance at the construction site.

**Keywords :** steel structure factory building; welding process parameters; non-destructive testing; quality control; weld strength; heat input quantity

### 一、焊接工艺参数设计

#### (一) 焊丝与保护气体参数选择

采用气体保护焊 (GMAW) 对钢结构厂房进行焊接, 所选焊丝材质要和母材相契合。针对 Q355 钢, 应采用 ER50-6 型号的焊丝, 母材厚度决定焊丝直径。若板材厚度  $\leq 12\text{mm}$ , 选用 1.2mm 焊丝, 厚度在 12 至 20mm 区间就选 1.4mm 焊丝, 若板材厚度超过 20mm, 则使用 1.6mm 的焊丝<sup>[1]</sup>。采用 Ar 与 CO<sub>2</sub> 的混合气体当作保护气体, 要让配比兼顾电弧稳定性和焊缝成形性。在实际项目中, 当体积比为 Ar:CO<sub>2</sub> = 80:20 时, 可将气孔出现率控制到 0.5% 以内。表 1 呈现了不同直径焊丝所对应的关键工艺参数, 保护气体流量要依据焊接位置作出调整, 平焊时流量稍小, 立焊和横焊时流量增加 10% - 15%, 防止保护气体散失。

表 1 不同焊丝直径对应的焊接电流、电压及保护气体参数

焊丝直径 (mm)	焊接电流范围 (A)	焊接电压范围 (V)	保护气体配比 (Ar:CO <sub>2</sub> , 体积比)	保护气体流量 (L/min)	适用母材厚度 (mm)
1.2	200 - 250	28 - 32	80:20	15 - 20	$\leq 12$
1.4	240 - 290	30 - 34	80:20	18 - 22	12 - 20
1.6	280 - 350	32 - 36	80:20	20 - 25	$> 20$

#### (二) 焊接电流与电压匹配设计

在开展焊接操作期间, 电流与电压搭配情况对焊缝熔深、熔宽及整体成型质量有直接作用。以 Q355 钢柱对接焊缝施工作为例, 板的厚度为 25mm, 选用的焊丝直径是 1.6mm, 施工期间将焊接电流设为 320A、电压设为 34V。基于此参数, 焊缝熔宽达 18mm, 熔深 6mm, 熔宽与熔深比值 (成形系数) 为 3.0, 该系数处于 2.5 至 4.0 的最佳范围区间, 可有效降低焊缝中心偏析现

作者简介:

刘谦 (1994.11-), 男, 湖南永兴人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 工程管理、技术质量管理。

刘欢 (1990.03-), 男, 本科。

张琦楠 (1996.08-), 男, 本科。



象，提升焊缝组织的均匀性以及力学性能表现。在实际生产时，为确保焊缝稳定，需将电流与电压的偏差严格限定在 ±5% 范围内<sup>[2]</sup>。

二、焊接质量检测方法

（一）无损检测技术

钢结构厂房焊缝质量对整体结构安全与寿命有直接影响，故而焊缝无损检测是把控施工质量的关键。主要常用无损检测方式包含超声检测，各类检测方法各具特性，要使适用范围和灵敏度契合焊缝类型。关键承重焊缝可借助超声检测，能发现其中内部缺陷；射线检测还可用于检查内部缺陷，不过对复杂结构的覆盖范围或许存在局限；磁粉检测可高效检测表面及近表面的缺陷，具有高灵敏性且操作简易<sup>[3]</sup>。对总长近 8600 米的钢结构厂房焊缝开展检测，如柱梁对接、牛腿连接这类关键焊缝处，UT 检测实现全覆盖，保障承重结构焊缝内部品质；约 50% 的 RT 检测覆盖范围，作为重点区域检查的辅助手段；表面焊缝开展的 MT 检测实现了全覆盖，保障焊缝表面瑕疵能被即刻察觉与处置。具体检测数据如表 2 所示。

表 2 不同无损检测方法的检测范围、灵敏度及焊缝合格率

检测方法	适用焊缝类型	缺陷检出灵敏度（可检出最小缺陷尺寸）	检测数量（占总焊缝长度比）	检测焊缝长度（m）	合格焊缝长度（m）	焊缝合格率（%）
超声检测（UT）	对接焊缝、角焊缝	Φ2mm 圆形缺陷 / 长度 2mm 线性缺陷	35%（关键焊缝 100%）	3010	2965	98.5
射线检测（RT）	对接焊缝	Φ1.5mm 圆形缺陷 / 长度 1.5mm 线性缺陷	15%（关键对接焊缝 50%）	1290	1261	97.8
磁粉检测（MT）	表面焊缝、角焊缝	宽度 0.1mm 裂纹 / 深度 0.2mm 表面气孔	50%（表面焊缝 100%）	4300	4277	99.2

根据表 2 可得，由于 MT 检测是针对表面缺陷展开的，合格比例达到最高，为 99.2%；RT 检测对体积类缺陷的灵敏性较强，其合格比例稍低于 UT 检测，不过都符合 GB 50205 中“关键焊缝合格率 ≥ 98%、一般焊缝合格率 ≥ 95%”的规定。

（二）焊缝力学性能

为使试验结果真实且具代表性，应从实际焊缝获取试验试样，每种试验至少得取 3 个试件。在开展试验时，对每组试样开展测量与记录工作，以实测平均值作为焊缝性能的总体评价，同时将最小值作为安全判定参考依据<sup>[4]</sup>。此方法既能展现焊缝整体质量情况，还能找出局部存在的薄弱之处，为结构安全给出科学凭据，还能助力焊接工艺优化与质量把控。表 3 呈现了钢结构厂房 Q355 钢焊缝力学性能的检测数据，各项指标均契合 GB/T 19879《钢结构焊接规范》标准，-20℃ 时冲击功实测的最小数值为 42J，远超 34J 的设计标准，保障焊缝在低温条件下具备韧性。

表 3 焊缝力学性能实测数据（Q355 钢，ER50-6 焊丝）

力学性能指标	设计要求（GB/T 19879）	实测平均值（3组试样）	实测最小值（3组试样）	达标情况
抗拉强度 σ <sub>b</sub> （MPa）	≥ 490	520	510	达标
屈服强度 σ <sub>s</sub> （MPa）	≥ 355	380	370	达标
冲击功 Akv（-20℃）（J）	≥ 34	45	42	达标
弯曲角度（180°）	无裂纹、无断裂	无裂纹、无断裂	无裂纹、无断裂	达标

三、焊接质量控制技术措施

（一）焊前预热温度控制

焊前预热作为焊接施工中的一项关键工艺举措，能大幅降低焊接部位的温度梯度差，进而削减应力聚集与冷裂纹出现。需综合考量母材材质、板的厚度以及焊接所处位置等因素来确定预热温度，以此保障焊接品质与结构稳定性。合理预热可优化焊缝金属结晶状况，减少热应力，还能促进氢的扩散，降低冷裂纹与气孔缺陷出现几率<sup>[5]</sup>。

对于 Q355 钢焊接工艺而言，预热温度标准与板厚关联紧密：若板材厚度不超过 16mm，无需开展预热操作；当板材厚度处于 16 至 30mm 范围时，需将预热温度调控至 80 - 120 摄氏度区间；若板的厚度大于 30mm，要把预热温度控制在 120 - 150℃ 范围内。依照该标准要求，此钢结构厂房柱体采用的钢材为 Q355，板材厚度达 35mm，处于需较高预热温度的情形，利用电加热片对焊缝实施预热操作，预热范围是焊缝中心两侧各延展 100mm，确保焊接区域温度一致。为保证预热效果达成，利用红外测温仪器在距焊缝中心 50mm 处选定 5 个检测点进行实地测量，测得温度依次为 125℃、132℃、128℃、130℃、127℃，平均温度达 128℃，完全处于所规定的 120 至 150℃ 控制区间。实际检测表明，其发生率降到了 0.1% 以下，有力证明预热措施有效，为柱体焊缝品质和钢结构厂房整体安全性提供可靠支撑。

（二）层间温度监测

在多层多道焊接作业中，焊缝质量受层间温度控制的影响极大。层间温度应维持在预热温度上，且控制在 250℃ 以内，防止温度过低产生焊缝未熔合现象，或者温度过高出现焊缝晶粒粗大问题，进而对焊接接头力学性能和结构稳定性造成影响<sup>[6]</sup>。

运用接触式温度测量仪对层间温度开展实时监控。每 10 分钟做一次记录，使监测的点与预热温度检测的点位保持一样，以此保障数据的连续与可靠。以 Q355 钢厚板为例，多层多道焊接作业将层间温度控制区间设定为 150 - 250℃，实际监测的温度数据有 185℃、192℃、188℃、195℃ 和 180℃<sup>[7]</sup>。核算得到平均层间温度为 188 摄氏度，与预设控制标准完全契合，说明焊接时温度管理成效显著。为保障焊接热输入的稳定性，施工期间依据层间温度对焊接速度作出调整，若层间温度高于 220℃，合理增加焊接速

度5 – 10cm/min，把原本设定的30cm/min变为35cm/min，进而降低单位焊缝长度的热量输入，防止焊缝过热以及晶粒出现粗化现象。通过科学把控层间温度以及调整焊接速度，本次作业达成了焊缝均匀熔接、焊缝组织致密稳定，为厚板焊接质量及结构的安全性提供坚实支撑<sup>[8]</sup>。

（三）焊后热处理工艺

在钢结构厚板焊接施工中，焊后热处理是一项必要的工艺操作，可消除焊接残余应力，优化焊缝与热影响区的金属结构，增强焊缝力学特性与结构可靠性<sup>[9]</sup>。以 Q355 钢厚板焊缝为例，若板厚超过30mm，应实施焊后应力消除热处理，防止因焊接残余应力造成结构变形或局部应力集中而引发开裂情况。必须严格把控热处理工艺的各项参数，包含升温的速度、恒温的温度和时间、冷却的速度等<sup>[10]</sup>，明确的要求为：每小时升温幅度不得高于150℃；温度恒定控制在620℃上下浮动20℃的范围，恒温的时间按照板的厚度进行计算，每 25 mm 板厚需进行 1 小时保温；冷

却速率应控制在 50℃ /h 以内，若温度降至200℃以下，可让其自行冷却。选取钢结构厂房吊车梁的焊接作业为例，该梁的板材厚度是45mm，其焊缝长度为6m。

四、总结

本次研究针对钢结构厂房焊接工艺和质量控制进行全面研究，明晰了核心参量与手段：借助调整焊丝直径以及电流、电压、气体等参数，将热输入把控在 25 – 40kJ/cm 范围，保障熔深达到设计标准；经质量检测，无损检测的合格比例达到 97.8%，机械性能（拉伸强度≥510MPa、冲击韧性≥42J）比标准更优；在质量管控环节，借助预热处理、控制层间温度以及实施焊后热处理，使冷裂纹发生率降至 0.1%、残余应力减至 85MPa。经工程检验，该技术办法能够有效保证焊缝质量，可供同类项目借鉴。

参考文献

[1] 陈小兵. 轻钢结构厂房的建筑技术 [J]. 低碳世界, 2014, (07): 166–167.  
[2] 苏智良. Q420C 钢在建筑钢结构箱形梁柱焊接质量控制中的应用 [J]. 焊接技术, 2024, 000(7): 4.  
[3] 郑求鑫, 寿晨峰. 大型钢结构焊接变形控制工艺的研究 [J]. 产城: 上半月, 2023(3): 0238–0240.  
[4] 王燕梅. 钢结构厂房施工质量管理探析 [J]. 山西建筑, 2018, 44(22): 202–203.  
[5] 江湘华. 钢结构施工工艺及质量控制措施 [J]. 工程建设与设计, 2024(22): 124–126.  
[6] 阳云波. 钢结构焊接质量控制 [J]. 科技创新与应用, 2014(5): 15–16.  
[7] 谢仁静. 钢结构建造过程中焊接质量控制 [C]// 全国钢结构设计与施工学术会议. 2014(2): 14–15.  
[8] 江湘华. 钢结构施工工艺及质量控制措施 [J]. 工程建设与设计, 2024(22): 124–126.  
[9] 文龙. 钢结构工业厂房构件焊接应力及变形控制措施 [J]. 城市住宅, 2020, 27(3): 21–23.  
[10] 刘云飞. 钢结构焊接工艺的腐蚀因素与控制研究 [J]. 电子乐园, 2019(7): 5–7.

# 建筑工程质量管理：土建工程的核心要点与实践路径

杨田文

广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ETQM.2025120027

**摘 要：** 土建工程质量管理重要，涉及 PDCA 循环、主要过程管理等理论。房地产工程有特殊性，需多方协同。阐述质量管理要点，质量管理实践路径，包括 BIM 应用等。还提及渗漏问题、裂缝控制等，强调质量管理要点及实践路径，展望绿色、智能化应用方向。

**关 键 词：** 土建工程；质量管理；房地产工程

## Construction Quality Management: Core Elements and Practical Approaches in Civil Engineering

Yang Tianwen

Foshan, Guangdong 528000

**Abstract：** The quality management of civil engineering projects is of great importance, involving theories such as the PDCA cycle and major process management. Real estate projects have their particularities and require multi-party collaboration. This text elaborates on the key points of quality management and the practical paths for quality management, including the application of BIM (Building Information Modeling). It also mentions issues such as leakage and crack control, emphasizes the key points of quality management and practical paths, and looks forward to the directions of green and intelligent applications.

**Keywords：** civil engineering; quality management; real estate engineering

### 引言

土建工程质量管理在建筑领域具有关键意义。近年来，随着相关政策的不断完善，如《建设工程质量管理条例》（2019 修订）强调了对建设工程质量的严格把控。土建工程质量管理涵盖多方面，包括技术管理需遵循规范标准，质量控制要贯穿全程，进度协同应合理安排。同时，房地产工程的特殊性、关键技术的应用、风险管理举措以及材料管控等都与之紧密相关。其创新实践路径涉及先进技术应用与各方协作，未来还需聚焦智能化技术深入应用，以完善质量管理体系。

### 一、建筑工程质量管理体系构成

#### （一）土建工程质量管理的理论框架

土建工程质量管理具有重要的理论框架。PDCA 循环理论是其重要组成部分，包括计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）和处理（Act）四个阶段<sup>[1]</sup>。在计划阶段，需明确工程质量目标与标准，制定详细计划。执行阶段则要依据计划实施各项工作。检查阶段要对工程质量进行检验和评估，确保符合标准。处理阶段对检查结果进行分析，对成功经验加以肯定并推广，对问题及时采取措施改进。全过程管理理论依据也至关重要，强调从项目决策、设计、施工到竣工验收等各个环节都要进行严格质量控制，以确保土建工程整体质量。

#### （二）房地产工程的特殊性要求

房地产工程具有其特殊性。与其他工程相比，房地产项目开发周期长，涉及多个阶段，从项目策划、设计、施工到竣工验收及后期的运营维护等<sup>[2]</sup>。这就要求在质量目标设定上需综合考虑各个阶段的特点和要求，确保整体质量的连贯性和一致性。同时，房地产工程涉及多方责任主体，包括建设单位、勘察单位、设计单位、施工单位、监理单位等。各方在质量管理中都有不同的职责和作用，需要建立协同管理机制。例如，建设单位需统筹全局，明确质量目标和要求；勘察单位查明项目地质情况，确保工程地质勘察质量；设计单位要确保设计方案的科学性、经济性、可靠性和适用性；施工单位要严格按照规范和设计施工图纸进行施工；监理单位则要对整个过程进行监督和管理，共同保障

房地产工程质量。

## 二、土建工程质量管理核心要点

### （一）勘察设计

勘察阶段根据勘察等级划分可分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察三个阶段，影响工程质量的核心是详细勘察阶段。勘察重点是查明建筑物范围内的地质情况：查明岩土层的类别、结构、分布、深度、厚度、工程特性，分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力；查明地下水文情况；查明防空洞、墓穴、孤石等对工程不利的埋藏物等<sup>[9]</sup>。对桩基选型、持力层选择提出建议，为施工图设计提供准确的岩土工程依据。

一般项目设计分为初步设计和施工图设计两个阶段。初步设计的重点是确定项目定位和经济指标。施工图设计是决定了项目的耐久性、可靠性、适用性和项目投资成本。其重点在于基础设计选型、主体结构设计、主要材料及设备的选型。

### （二）施工阶段

施工阶段的质量管理是项目工程有效落地的核心环节，其重点在于对施工工艺技术的正确选择和严格执行。例如，在桩基础施工、混凝土主体结构、防水工程等关键工序中，必须编制可行的施工方案，选择可靠的施工工艺技术，确保每一道工序都符合规范标准和设计要求，从而保证优良的工程质量目标。在此过程中，BIM协同平台的应用能实现项目信息的透明化与多方实时沟通，便于及早发现并解决质量隐患，提升施工效率与管理水平，确保工程质量达到预期目标。

## 三、主要过程质量管理实践路径

### （一）勘察管理

精确的地质参数是施工图设计的前提，应严格控制地质勘察的质量<sup>[9]</sup>。首先编制勘察施工方案，经审批通过后实施。优先采用先进的设备仪器，勘察过程中使用的所有测量和检测设备应在年检合格有效期内，并对进场使用的设备进行报审。勘探点的布置要科学合理并符合规范要求，应能控制整个建筑场地，勘探孔深度应严格执行规范的控制孔和一般孔规定。每一步的严格把关，确保了勘察成果质量。为设计提供精准的地质参数，对地下工程施工方案提出建议。

### （二）设计管理

施工图纸设计是设计核心阶段，高标准的施工图纸设计成果质量是建筑工程质量的前提，是施工质量管理必须的技术文件。设计任务书明确设计目标，设计过程中各专业设计进行交叉、叠图审查，确保施工图纸完整和可行性。在材料与设备的选型上，应明确具体型号和技术参数，确保其符合设计要求<sup>[4]</sup>。对于高烈度设防区域、重要建筑的结构设计，必须通过先进的结构分析软

件进行抗震模拟试验，验证其在极端荷载下的结构合理性与安全性，确保设计方案的可靠性，从而为项目的顺利实施与长期安全使用奠定坚实基础。

### （三）施工管理

#### 1. 地基基础

地基是支承基础的载体，基础是将上部所有荷载传递到地基上的结构。地基基础是建筑工程质量安全的第一生命线，必须确保地基基础的稳定坚固<sup>[9]</sup>。地基开挖严禁超挖，验槽时查验岩土与岩土勘察报告是否相符，必须进行承载力试验。地基在不得浸中施工，必须及时排除积水。地基施工完成后，及时进行基础施工。

基础工程是工程结构安全的根基，建筑工程项目常见的基础是桩基础，成桩工艺常选预应力混凝土预制桩、钻孔灌注桩<sup>[9]</sup>。预应力混凝土预制桩沉桩施工，严格按照施工方案的路线进行，在挤土效应明显的地质条件下必须进行复压或复打。接桩焊接采用二氧化碳气体保护焊，焊缝自然冷却时间不得少于3min，对焊缝进行探伤检测。遇水软化的持力层地质，第一节沉桩完成时立即浇筑封底混凝土。通过试验桩来确定终桩参数，必要时对试验桩进行承载力检测试验。

钻孔灌注桩施工，成孔时根据地质条件选择护壁方案，对于泥浆护壁成孔的，根据土层情况调整泥浆性能指标。施工时维持孔内泥浆液面与地下水位有一定高差，清孔验收严格控制孔底沉渣厚度和泥浆比重、黏度、含砂率等性能指标。钢筋笼制作和安装质量严格验收，水下混凝土浇筑时控制导管插入混凝土深度及浇筑提管速度，避免钢筋笼上浮和断桩夹泥层，混凝土灌注须一定超灌高度。

通过严格控制施工过程中各道工序的规范施工，和成桩后的身完整性和承载力检测试验等措施，旨在确保每一根工程桩都能达到设计要求，具备足够的承载力与稳定性，从而为整个建筑物的安全与耐久性奠定坚实可靠的基础<sup>[7]</sup>。

#### 2. 地下室结构

地下室结构质量控制的重点在于底板大体积混凝土施工。为防止温度裂缝，必须严格控制混凝土拌制与浇筑入模温度，并采用有效的养护措施，如覆盖保温材料或洒水养护，以确保混凝土水化热的均匀散发。科学的温控与养护是保障底板混凝土强度、控制温度裂缝的关键，进一步提高底板自防水性能。底板采用跳仓浇筑法或膨胀加强带代替后浇筑带的做法，减少施工缝，从而大幅降低施工缝渗漏的风险，因不需要像后浇筑带须较长的间歇时间，也能加快施工进度。进而确保地下室结构的整体耐久性<sup>[8]</sup>。

#### 3. 主体结构

主体结构的质量控制涉及钢筋混凝土强度、裂缝与渗漏水防治。通过强化钢筋保护层控制、施工缝的细致处理、以及严格执行养护方案，确保混凝土强度达标并减少收缩裂缝。外墙防水方



面,采用铝合金模板全混凝土外墙施工工艺技术,铝合金模板的混凝土成型质量高,不容易胀模,垂直平整度好、截面尺寸精确,从而减少混凝土损耗。外墙也不需要抹灰找平,从而不存在抹灰空鼓开裂的脱落风险。全混凝土外墙无须砖墙砌筑,从而不存在砌筑缝隙渗漏风险。并在外窗洞口设置企口构造,从根本上杜绝外窗洞口渗漏水风险。模板加固的对拉螺杆使用锥型套管,形成内高外低坡度,采用补偿收缩的防水砂浆封堵,大幅降低螺杆洞的渗漏风险。确保建筑物的长久使用性能<sup>[9]</sup>。

#### （四）质量控制关键环节

##### 1. 施工前准备

设计交底与图纸会审:通过设计交底,彻底理解设计意图,进行图纸会审,提前发现各专业图纸的“错、漏、缺、碰撞”等问题。根据设计图纸深度,必要时进行深化设计(如钢结构节点、幕墙节点等)。

审查施工组织设计与专项施工方案:施工单位对重点难点部分分项工程(如大体积混凝土、深基坑、高支模等)必须编制具有针对性和可操作性的专项施工方案,通过审批后方可实施,需专家论证的,必须组织专家进行论证<sup>[10]</sup>。

技术交底:进行公司质量标准、质量验收标准和工作流程等交底。交底要具体、清晰,采用通俗易懂的语言和可视化方式(如样板、示意图),确保施工管理人员完全理解标准和要求并向作业人员交底。

##### 2. 材料进场验收

确保材料进场质量是土建工程质量管理的重要环节,需建立并严格执行材料见证取样与关键材料质量管控流程。对于钢材,应检查其外观缺陷,核实品牌、规格、型号是否符合要求,每批原材料进场必须进行抽样送检,通过力学性能测试检验其屈服强度和抗拉强度合格方能使用。混凝土方面,水泥、砂石等原材料抽样送检,商品混凝土送达浇筑地时,必须检查随车配合比资料,核对强度等级信息,进行坍落度试验,取样制作试块,每按个配合比进行氯离子含量检测。通过这些严格的验收程序,可有效保障进场材料符合设计及规范要求,从源头为土建工程质量奠定坚实基础。

##### 3. 工程验收

在土建工程中,分项分部、隐蔽工程验收是确保项目工程质量的关键环节。样板先行,每道工序必须通过施工样板验收合格,方能大面积施工,且上道工序未经验收合格,不得进入下一道工序。验收时,由专职人员进行,对主控项目全数检查,必须全部符合设计和规范要求,一般项目检查合格率严于规范,要求达到90%以上。从而为整个建筑工程奠定坚实基础。

## 四、质量-进度协同管理

#### （一）施工组织优化

房地产项目工程往往追求快速交付来提高项目经济效益,因工序本身必须的技术间歇时间,所以施工进度过快会影响工程质量。混凝土主体结构施工中,当混凝土未凝固和强度较低,进行

下一道工序施工时,人员踩踏会破坏混凝土表面平整,堆放材料的荷载过大及施工振动使楼板变形开裂。当需要加快进行下一道工序施工时,混凝土可添加早强添加剂、提高强度等级。

为实现项目工期和工程质量统一目标,主体结构施工组织采取穿插流水施工,混凝土结构作业面划分进行流水施工,砌筑抹灰进行穿插施工。通过精心策划及施工铺排,制定合理的关键节点和工程质量目标。在确保工程质量的前提下实现合理的工期目标,使用项目经济效益最大化。

#### （二）施工工艺技术优化

为实现项目工期和工程质量统一目标,混凝土主体结构施工采用铝合金模板工艺,全混凝土外墙设计,减少外墙的砌筑抹灰工序,加快施工速度,同时工程质量有保证。内墙采用高精砌块薄砌、墙面薄抹灰,混凝土表面免抹灰,减少抹灰工程量,从而加快施工速度,同时薄抹灰不容易空鼓开裂,质量有保证。节省工程材料、周转材料使用,实现环保绿色建筑施工。

#### （三）实时沟通与协调机制

建立高效的实时沟通与协调机制是确保进度与质量协同控制的另一关键。通过定期召开项目协调会议、利用即时通讯软件等方式,确保项目各方(设计、施工、监理等)能够及时交流信息、解决问题。特别是在施工过程中遇到图纸变更或技术难题时,快速的响应和协调能够有效避免因信息不对称导致的返工和进度延误,从而保障工程质量,实现项目的顺利推进。

## 五、精益建造与数字化管理

#### （一）精益建造理念应用

精益建造理念旨在通过系统地识别并消除施工过程中的浪费,以提升整体效率和质量。该理念强调对施工流程的持续优化,例如,通过精细化管理物料流,减少二次搬运和等待时间,从而缩短工期。同时,精益建造注重各专业单位的协同工作,通过每日协调会等形式进行进度协调,确保各工序紧密衔接,避免因信息滞后导致的进度延误,实现效率与质量的双重提升。

#### （二）BIM技术的应用

BIM技术为工程质量管理提供了强大的数字化工具。通过构建三维模型,可以进行4D(三维模型+时间)模拟,直观地预演施工流程,进行施工技术交底,检查专业间碰撞问题。例如,在复杂的综合体项目,BIM模型可以提前发现冲突碰撞,调整设计方案,优化施工顺序,避免现场返工,从而确保工程施工质量。此外,BIM还可与项目管理软件集成,实现进度的实时跟踪与动态调整,为管理者提供科学决策依据。

施工过程中的质量检查和验收,采用移动端质检数字化平台进行数据采集跟踪处理,大幅提高现场问题处理效率,让问题处理过程有踪可溯。对问题进行分析统计,为调整管理重点提供决策依据。

## 六、总结

土建工程的质量管理至关重要，其核心要点在于对施工全过程的严格控制，尤其要重点防范渗漏水、开裂等客户敏感的质量通病。通过在勘察设计、材料选择、施工工艺及隐蔽工程验收等

各环节的精细化管理与严格把关，能够从根本上减少这些问题的发生。这不仅能够显著降低返工率，减少因修复产生的建筑废弃物对环境的污染，更能有效减少与客户的矛盾和维权事件，最终实现经济效益与环境保护的双重价值。

## 参考文献

- 
- [1] 朱雪华. 高职院校实践教学质量管理路径优化研究 [D]. 山东财经大学, 2023.
- [2] 牛浩远. 基于 BIM 的建筑工程质量管理效益评价研究 [D]. 河北地质大学, 2022.
- [3] 李华. BD 村搬迁楼宇建筑工程项目质量管理研究 [D]. 哈尔滨理工大学, 2023.
- [4] 孙冠华. E 公司通信核心网交付项目质量管理案例研究 [D]. 大连理工大学, 2022.
- [5] 秦建钊. 基于区块链的建筑工程质量管理研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [6] 王沫. 土建工程施工质量管理要点分析 [J]. 砖瓦世界, 2021.
- [7] 林超. 桩基础技术在土建工程中的应用与质量管理分析 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(14): 58-61.
- [8] 黄凯. 土建工程施工质量管理研究 [J]. 包装世界, 2023(2): 112-114.
- [9] 黄媛君. 建筑工程质量管理的实践要点分析 [J]. 智能建筑与工程机械, 2023, 5(3): 66-68.
- [10] 吴树壮. 建筑工程现场管理的实践与探讨 [J]. 建材与装饰, 2007, (S1): 188-189

# 数字化技术在建筑施工质量控制中的应用研究

刘记长

河北元正文旅建设集团股份有限公司，河北 沧州 061000

DOI:10.61369/ETQM.2025120033

**摘 要：** 建筑施工质量作为工程建设的核心环节，在项目复杂度不断提升的背景下，传统方法因效率受限、信息同步性不足及过度依赖人工经验而面临严峻挑战。为响应现代工程质量管理需求，本研究构建以数字化技术为核心的质量控制体系，集成传感采集、BIM建模与智能分析形成闭环管理路径，实现多源信息的实时感知与结构变形、材料性能及工艺参数的精准映射，并依托深度学习构建质量风险诊断与决策支持模型。工程实践表明，该体系显著提升了隐患识别准确性、响应时效与管理协同水平，为推进施工质量控制向精细化、智能化转型提供了重要支撑。

**关 键 词：** 数字化技术；建筑施工；质量控制；信息感知；智能诊断

## Research on The Application of Digital Technology in Quality Control of Building Construction

Liu Jichang

Hebei Yuanzheng Cultural Tourism Construction Group Co., Ltd., Cangzhou, Hebei 061000

**Abstract：** As a core element of construction engineering, quality control faces growing challenges due to inefficiency, information gaps, and experiential dependence in traditional methods, especially as projects increase in complexity. This study proposes a digital quality control system that integrates sensors, BIM, and AI to achieve closed-loop management. The system enables real-time monitoring and precise mapping of structural deformation, material properties, and process parameters, using deep learning for risk diagnosis and decision support. Practical applications demonstrate enhanced accuracy in hazard identification, faster response, and improved coordination, advancing the shift to refined and intelligent quality management.

**Keywords：** digital technology; construction; quality control; information perception; intelligent diagnosis

## 引言

建筑施工质量控制是保障工程安全与耐久性的核心环节<sup>[1]</sup>，随着现代建筑向超高层、大跨度及复杂结构方向发展，传统依赖人工经验的质量管理方法在时效性、精确性与可追溯性方面面临严峻挑战<sup>[2]</sup>。在此背景下，数字化技术成为提升质量控制效能的关键路径<sup>[3]</sup>。建筑信息模型、物联网、大数据与人工智能等技术为实现质量信息的集成管理、过程可视化与智能决策提供了全新可能<sup>[4]</sup>。本研究旨在系统构建以数字化为核心的施工质量控制技术体系与应用方法，通过多源信息融合与智能分析，推动质量控制从经验主导向数据驱动的模式转型，为工程质量管理现代化提供理论支撑与实践依据。

## 一、施工质量数字化控制基础概述

### （一）质量控制要素数字化映射机理

施工质量控制的核心对象包括混凝土结构、钢筋构件、围护系统等，其关键质量属性表现为强度、变形、缺陷等物理特性。以混凝土结构为例，其强度取决于配合比、浇筑工艺及养护条件；钢筋构件的质量则与材质、加工精度及连接方式密切相关；

围护系统的性能则受到材料气密性、水密性及安装精度的影响<sup>[5]</sup>。随着建筑信息模型（BIM）技术的应用，这些实体对象及其质量属性可通过数字化手段实现精确映射。BIM技术通过构建三维参数化模型，将物理实体的几何信息与非几何信息融合表达，形成具有丰富参数信息的数字孪生模型。该模型不仅能够直观展示建筑构件的空间布局和外观特征，还能为质量数据的附着、存储、管理与分析提供统一载体。通过实时更新模型中的参数信

息,施工人员可动态跟踪质量状态,提前发现潜在问题。如在混凝土浇筑过程中,模型可记录振捣时间、养护温度等数据,为质量评估提供依据。同时,几何与非几何信息的融合表达为质量控制提供了理论基础,使施工质量的数字化管理成为可能。这种精确映射关系的建立,为后续的质量数据挖掘、分析与决策支持奠定了基础。

## (二) 多源异构质量数据感知与融合原理

施工现场的质量数据具有显著的多源性和异构性,涵盖了传感器监测数据、影像数据、环境数据以及人工巡检数据等多种形式。这些数据来源广泛且结构各异,传感器监测数据能够实时反映结构的变形与应力状态,影像数据则提供了施工过程的可视化记录,环境数据涉及温度、湿度等外部条件,而人工巡检数据则弥补了自动化监测的盲区。为实现对这些数据的有效整合,基于物联网的传感网络部署需遵循科学原则。传感器的选型应依据监测对象的特性,如应变片用于应力监测、位移计用于变形观测;布点优化则需结合结构的关键部位与应力分布特点,确保数据的代表性与准确性;数据通信架构则需支持高频率数据传输与低延迟响应,保障信息的实时性与完整性。多源数据的融合依赖于时间与空间基准的统一,通过时间同步算法与空间配准技术,消除数据间的时间滞后与空间偏差,实现数据在统一框架下的高效整合。这种同步与融合机制为后续的特征提取与模型分析奠定了高质量的数据基础,从而支持施工质量的精准评估与智能决策。

## 二、施工质量多维度数字化控制方法设计

### (一) 基于 BIM 与点云扫描的质量偏差控制方法

在建筑施工质量控制中,基于 BIM 模型与激光扫描点云数据的对比分析已成为一项关键技术。通过在施工现场部署三维激光扫描设备,获取高精度的点云数据,并将其与设计阶段的 BIM 模型进行自动对比,从而实现施工质量的数字化管控。首先,点云数据经过预处理流程,包括去噪、滤波和平滑化操作,以去除扫描过程中产生的误差和冗余信息,提升数据质量。接着,采用迭代最近点(ICP)算法完成点云数据与 BIM 模型之间的精确配准,确保两者在空间坐标系中的一致性。为了实现高效的模型对比,引入基于几何特征的匹配算法,提取点云数据和 BIM 模型的关键几何参数,如距离、角度和面积等,构建对比特征向量。通过计算特征向量之间的欧氏距离,量化分析实际施工与设计模型之间的偏差程度。其计算公式(1)如下:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i^{cloud} - f_i^{BIM})^2} \quad (1)$$

其中,  $D$  表示点云数据与 BIM 模型之间的综合偏差距离,  $f_i^{cloud}$  和  $f_i^{BIM}$  分别表示点云数据和 BIM 模型的第  $i$  个几何特征值,  $n$  为特征数量。图 1 可直观展示实际施工与设计模型之间的偏差情况。

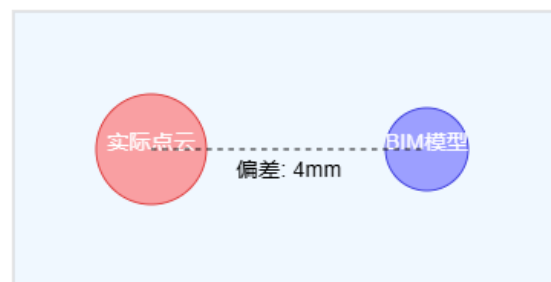


图 1 点云与 BIM 模型偏差分布示意图

该方法在主体结构的垂直度、平整度以及构件安装定位等几何质量控制方面具有显著优势。例如,在检测主体结构垂直度时,通过分析点云数据中建筑物轴线与 BIM 模型设计轴线的偏差,结合偏差统计指标(如最大偏差、均方根偏差等),快速定位垂直度超差的构件。同样,在平整度检测中,利用点云数据构建施工表面的三角网格模型,对比 BIM 模型中的理论设计表面,分析两者之间的高度差异,识别平整度不合格区域。

此外,在构件安装定位方面,通过对比点云数据与 BIM 模型中的构件位置信息,结合空间坐标变换算法,精准定位构件的安装偏差,并提供偏差修正建议。整个流程能够实现从数据采集、预处理、模型对比到质量评估的自动化与智能化,从而提升施工质量控制效率和精度,为建筑施工的数字化转型提供有力支持。

### (二) 基于传感网络的施工过程实时监测方法

针对大体积混凝土浇筑、深基坑支护及高应力结构等关键工序,需建立基于多源传感网络的实时监测体系。通过在混凝土内部布设温度与应力传感器、在支护结构关键节点安装位移与应变传感器,构建高密度感知网络。数据采集频率依据施工阶段动态调整,基坑开挖期间位移监测频率不低于 1 次/h,混凝土温升阶段温度监测间隔缩短至 30min。采用 LoRa 无线传输协议与 BIM 平台集成,实现监测数据与模型对象的动态绑定。基于有限元分析设定位移预警阈值  $\Delta \leq 0.002H$  ( $H$  为开挖深度) 和温度梯度限值  $\nabla T \leq 20^\circ\text{C}/\text{m}$ ,当数据超越阈值时系统自动触发分级预警,通过颜色编码机制在三维模型中实时标注异常区位,指导现场进行主动调控。这种融合物理传感与数字孪生的方法,形成了施工质量在线跟踪与闭环控制的技术路径。

### (三) 基于机器视觉的工艺与缺陷智能识别方法

在施工质量控制中,基于图像与视频分析的智能识别方法正逐渐成为技术前沿。通过引入深度学习算法如卷积神经网络与 YOLO 目标检测模型,可实现施工工艺符合性与表面缺陷的自动化识别与分类。该方法首先依托大量现场图像构建样本库,涵盖钢筋绑扎间距、焊缝成型质量以及混凝土裂缝与蜂窝麻面等典型缺陷类型,并经过数据增强与标注以提升模型泛化能力。随后利用交叉熵损失函数进行端到端训练,不断优化识别精度与鲁棒性。最终部署于施工现场的边缘计算设备,实现实时视频流的在线分析与质量判定。其核心识别过程可表述为通过优化损失函数,见下式(2):



$$L = -\sum_{i=1}^C y_i \cdot \log(\hat{y}_i) \quad (2)$$

其中  $C$  为类别数,  $y_i$  是真实类别独热编码的第  $i$  位 (0 或 1),  $\hat{y}_i$  是模型预测第  $i$  类的概率。从而提升缺陷检测的准确率与效率。这一技术路径不仅显著减少人工检查的主观误差,也为全面实现施工质量的数字化管控提供了可靠支撑。

### 三、工程应用验证与效果分析

#### (一) 工程概况与数字化控制体系部署

为验证数字化质量控制体系的实际效能,本研究选取某城市核心区域两栋超高层住宅项目作为实证对象。该项目总建筑面积达 5.86 万  $\text{m}^2$ , 建筑高度最高为 99.8m, 地处软土地基区域, 地质条件复杂且地下水位较高, 其质量控制的核心难点集中于地基稳定性保障、超高结构施工精度控制以及混凝土超高程泵送作业。针对这些挑战, 项目构建并部署了一套完整的数字化质量控制体系。该体系整合了测量放线机器人、智能传感器网络等硬件设备, 依托 BIM 协同平台与有限元分析软件构成核心软件层, 通过高速无线网络实现现场数据与云端管理系统的实时交互。体系深度融合传统三级质量管理架构, 将数字化模型与工序管理流程无缝集成, 利用统一的数据标准替代传统纸质文档流转, 实现了从深化设计、施工模拟到现场验收的全过程数字化管控。

#### (二) 质量控制效果验证与分析

在工程实践验证中, 数字化质量控制方法展现出显著的应用成效, 数据对比突出数字化技术的实际成效, 见图 2。项目通过植入传感器与 BIM 协同平台, 成功预警一次混凝土养护过程中温湿度异常, 及时调整养护方案, 避免强度损失; 基于三维激光扫描技术精准检测出幕墙单元安装偏差达 4mm, 指导现场调整后完全满足设计要求的 3mm 限差。全过程质量数据集成分析表明, 数字化技术的应用使质量检查效率提升约 40%, 问题早期发现率提高

35%, 返工率降低 22%, 质量验收一次通过率达到 98.5%, 主体结构垂直度偏差控制在  $H/3000$  以内, 混凝土强度达标率达 98.6%。量化结果验证了数字化方法在提升质量控制精确性、运行效率与经济效益方面的综合价值。

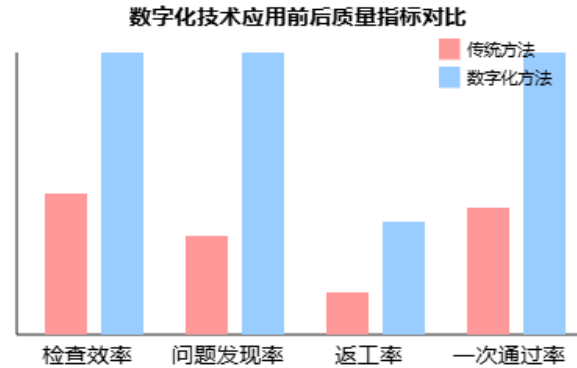


图 2 数字化技术应用前后关键质量指标对比 (单位: %)

### 四、结语

本文系统阐述了数字化技术在建筑施工质量控制中的核心应用价值, 通过构建集信息感知、数字映射与智能诊断于一体的技术体系, 实现了质量控制从传统依赖经验向数据驱动的范式转变。该体系创新性地融合 BIM、物联网与机器学习等方法, 在工程实践中显著提升了质量隐患识别的准确性与管控效率, 验证了其在超高层建筑与复杂地质条件下的适用性。然而, 当前推广仍面临初始投入较高、跨领域人才短缺及数据安全等挑战。未来研究可进一步探索 5G 与区块链技术在实时数据传输与可信追溯中的融合应用, 并深化人工智能在质量预测性控制方面的模型优化与决策机制创新, 以推动建筑施工质量控制向更高水平的智能化与系统化方向发展。

### 参考文献

- [1] 冯宗堉. 高层住宅建筑施工中的关键技术与质量控制研究 [J]. 住宅与房地产, 2025(5): 117-119.
- [2] 宋广周. BIM 技术在现代建筑施工质量管理中的应用探究 [J]. 住宅与房地产, 2025(11): 56-58.
- [3] 张晋. 数字化技术在建筑工程施工质量控制中的应用 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (02): 81-83.
- [4] 樊燕杰. 智能技术在建筑施工质量控制中的应用策略 [J]. 现代装饰, 2025, 613(14): 55-57.
- [5] 李文雁, 侯延辉. 无损检测技术在建筑工程施工质量控制中的应用 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025(13): 190-192.

# 论述建筑结构设计优化提高结构设计质量

李波

珠海华郡房产开发有限公司, 广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ETQM.2025120037

**摘 要：** 建筑结构设计作为一项多专业协同的系统工程，其核心在于满足建筑功能需求，并必须遵循安全、实用、经济、美观的基本原则，其中结构安全性与抗震性能是关键的考量因素。文章阐述了剖析了当前设计实践中在地基基础、框架体系等方面存在的常见技术缺陷与系统性不足。针对上述问题，提出了从制定科学的结构方案、优化平立面抗侧性能等多个维度的具体改进策略，旨在为提升建筑结构设计的质量与安全性提供理论参考和实践指引。

**关 键 词：** 建筑结构设计；结构设计质量；现状与解决措施

## Discuss the Optimization of Architectural Structure Design to Improve the Quality of Structural Design

Li Bo

Zhuhai Huajun Real Estate Development Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

**Abstract：** Architectural structure design, as a systematic project requiring multi-disciplinary collaboration, primarily aims to meet the functional requirements of buildings while adhering to the fundamental principles of safety, practicality, economy, and aesthetics. Among these, structural safety and seismic performance are critical considerations. This article analyzes common technical flaws and systemic deficiencies in current design practices, particularly in areas such as foundation and framework systems. To address these issues, specific improvement strategies are proposed from multiple dimensions, including formulating scientific structural plans and optimizing the lateral resistance performance of planar and vertical layouts. The goal is to provide theoretical references and practical guidance for enhancing the overall quality and safety of architectural structure design.

**Keywords：** architectural structure design; structural design quality; current situation and solutions

### 引言

建筑结构是建筑物的骨骼已远不止是简单的力学计算，而是一项需要统筹规划、多专业协同、并严格遵循法规标准的复杂创造性活动。文章旨在立足于当前建筑工程实践，明确建筑结构设计的主要内涵与核心要求，进而客观分析设计环节中普遍存在的各类技术与管理问题，最终有针对性地提出一系列旨在提升设计质量、确保结构安全的优化途径与措施，以期为推动行业设计水平的进步贡献一份力量。

### 一、建筑结构设计的主要内容

#### （一）建筑结构设计程序

建筑结构设计是一项高度复杂的系统工程，其核心目标在于确保建成的实体能够全面满足未来使用中所提出的各种功能性要求。这一目标的实现，有赖于对多个专业领域的协同设计与深度融合，具体涵盖承载整体荷载的结构系统、调节室内环境的暖通空调（HVAC）系统、保障供排水安全的管道系统，以及覆盖电力照明与智能化的电气系统等关键部分的规划与整合。所有建筑项目的设计活动都必须共同遵循一组普适且不可妥协的基本原则。保障生命财产安全的结构可靠性，其次是确保空间布局与设施高度契合使用目的的实用性，再次是在全生命周期内追求合理

的建造成本与运维效益的经济性，最后还要兼顾建筑形态与周边环境和谐统一的美观性。

#### （二）建筑结构设计的关键考量因素

建筑作为人类活动的主要载体，其设计的根本出发点是服务于人，必须优先确保能够满足使用者各类生活、工作或生产活动的实际需求，旨在营造一个健康、便捷且舒适的物理空间。在诸多设计考量中，结构安全性是首要且不可动摇的基本原则，这直接关系到生命财产的保护，其中，建筑物的抗震性能设计是构成这一安全基石的关键环节。我国幅员辽阔，地质条件复杂，有相当一部分区域位于地壳运动活跃的地震带上，对于这些地震高烈度设防区的建筑项目，必须在设计伊始就将抗震减灾作为核心课题，严格执行更高的抗震设防标准。特别是随着近年来地震活动

性评估的更新和城镇化进程中高层、超高层建筑的涌现，强化建筑的抗震能力，尤其是在复杂高层结构中进行精确的抗震分析与概念设计，显得愈发重要<sup>[1]</sup>。

## 二、建筑结构设计现状和存在的问题

### （一）地基与基础设计中的常见技术缺陷

在地基与基础结构的设计阶段，若未能进行详尽且精准的岩土工程勘察，而是过度依赖过往的区域性经验或类比设计，极易导致最终确定的基础方案与场地的实际地质条件及国家强制设计规范产生偏差。这种设计与现实的脱节，会为整个建筑工程埋下严重隐患，并在施工阶段或建筑后期使用中直接表现为基础沉降不均、承载力不足等质量与安全事故。另一方面，尤其在部分民用住宅等建筑类型的设计中，对上部结构传递至基础的荷载计算与标注存在疏漏，缺乏严格规范的荷载统计与组合分析。当关键的设计文件（如结构施工图）未能清晰、准确地界定各类荷载（如恒荷载、活荷载、风荷载、地震作用）的最终数值时，基础结构便可能在不知情的情况下长期处于超负荷承载状态。这种潜在的过载风险将从根本上削弱建筑的耐久性与整体稳定性，对结构安全构成持续威胁。因此，确保勘察数据的可靠性与荷载信息的明确性，是规避基础设计缺陷、保障建筑结构安全的首要前提。

### （二）建筑框架体系设计中的典型问题剖析

建筑框架体系是承载和传递荷载的核心结构，通常由水平向构件（如梁、板）构成的水平框架与竖向构件（如柱、墙）构成的竖向框架协同工作。水平框架的主要功能在于确保建筑在竖向荷载下的整体刚度和荷载的有效传递，从而保证各部分的平衡与协调；而竖向框架则首要承担水平荷载（如风荷载、地震作用），其设计的核心目标是提供足够的抗侧刚度和强度，以有效抵御地震波等引起的水平力。在竖向框架（尤其是框架柱）的配筋设计中，一项关键要求是均匀且合理地配置箍筋与跨中纵向钢筋，以形成有效的约束混凝土核心区，从而显著改善构件的延性和耗能能力。然而，在实际设计中，部分设计人员可能对箍筋（主要抗剪、约束混凝土）和纵筋（主要抗弯）的力学角色与构造要求理解不清，导致配筋方式不当，例如箍筋间距过大或加密区长度不足，这种概念上的混淆直接造成了设计缺陷<sup>[2]</sup>。

### （三）结构方案规则性与概念设计不足的问题

在建筑结构的方案规划阶段，追求良好的规则性与均匀性是实现结构安全与经济性的核心原则。这要求设计人员必须对建筑的平面与立面形态、抗侧力体系的布置以及竖向和水平荷载的传递路径进行综合且深入的考量。然而，在面对体型复杂、不规则或存在大跨度、大开洞等特殊情况的建筑时，结构布置的合理性常常面临严峻挑战。这一方面源于部分设计人员对现行的结构设计规范，特别是其中关于结构规则性限值和概念设计的强制性条文，缺乏系统性的理解和把握。另一方面，结构本身的复杂性使得常规的简化计算模型难以准确模拟其真实受力性能，而精确的定量分析又可能因计算模型的复杂性、参数的不确定性而无法完全满足实际设计周期的需求。这种设计与分析能力的脱节，直接

导致了抗侧力构件（如剪力墙、支撑）分布不均、刚度中心与质量中心偏差过大、结构出现扭转效应或薄弱层等不合理现象。

### （四）设计计算、材料选用与人员素养中的系统性缺陷

在建筑结构设计过程中，部分方案存在过度简化的倾向，例如在结构计算模型中仅采用基本的荷载参数与单一的安全系数，而未能全面考量多种荷载组合效应、动力放大系数以及复杂的应力状态（如温度应力、收缩徐变等）。这种简化的计算模型会使得理论分析结果与结构在实际服役环境下的真实响应产生显著偏差，直接导致设计成果在安全储备和可靠性方面存在先天不足。当材料的关键性能指标（如屈服强度、抗压强度）偏低或搭配不合理时，将无法满足不同结构构件的承载力与延性需求，从而严重影响整体安全性。更为深层次的问题源于设计人员自身的专业素养与职业操守。部分设计者可能因经验匮乏，对规范条文的理解流于表面，或安全责任意识淡薄，未能严格遵循国家现行的设计标准与强制性条文进行设计。这种在源头上的疏忽，会给后续的施工环节埋下难以预料的隐患，最终危及整个工程项目的质量与安全<sup>[3]</sup>。

## 三、提高建筑结构设计质量的措施

### （一）制定科学结构方案的核心要素

一个优秀的建筑结构设计方案，其根本在于选择技术先进且经济合理的结构形式与体系。该体系必须具备明确的荷载传递路径，确保竖向与水平荷载能够通过可靠的路径有效地传递至基础，从而实现构件内力计算模型与真实受力状态的高度一致，这是保证结构安全与经济性的先决条件。为实现这一目标，方案制定前必须进行详尽的前期调研与实地勘察。只有充分掌握建设场地的工程地质、水文气象及周边环境等关键数据，并对施工技术条件与资源供应进行可行性评估，才能使设计方案建立在客观现实的基础之上。同时，结构设计绝非孤立环节，它必须与建筑设计、暖通空调、给排水、电气等多个专业子系统进行深度融合与协同设计。通过各专业间的紧密配合与信息互提，才能有效解决潜在的空间冲突与功能矛盾，优化管线综合与节点构造，从而确保最终形成的结构方案不仅技术可行、安全可靠，而且能够精准契合项目的具体条件与功能需求，完全符合国家法律法规及行业强制性标准的规定。

### （二）提升结构抗侧性能的平面优化策略

在建筑结构的方案构思阶段，对平面与竖向形态进行精心优化是提升结构抗侧性能的关键。平面设计应优先选用体型规则、对称、且风载体型系数较小的形式，如圆形或椭圆形平面，这类形式能有效降低风荷载值，同时其自身的空间特性也往往具有较好的抗风压能力。对于高层建筑，为平衡由风和地震作用引起的显著水平应力，将建筑外形设计成流线型（如采用锥形或退台形式）是一种有效策略，这可以减小风涡脱落引起的动力效应，改善结构的动力响应。在竖向系统设计中，确保竖向荷载和水平荷载具有连续、直接且明确的传递路径至关重要。建筑的总高度和层高必须严格控制在规范限值之内，其次，抗侧力构件（如剪力



墙、支撑筒)的布置应使结构的侧向刚度沿高度均匀变化,避免在某一楼层出现刚度的突然削弱或急剧增强,即防止形成“软弱层”或“薄弱层”。因为刚度的突变会使结构在水平力作用下于该楼层产生应力集中和过大的层间位移,严重削弱其抵御地震等自然灾害的能力。此外,基础与地下结构的设计不容忽视。必须根据勘察报告准确确定基础的埋置深度与锚固要求,并充分利用地下空间。通过加强地下室墙体和楼盖的整体性,使其与上部结构可靠连接,可形成有效的“嵌固端”,这不仅能够承担上部建筑的竖向压力,更能显著降低建筑物的整体重心,利用地下结构的侧向约束来大幅提升建筑整体的抗倾覆稳定性、抗震性能及抗风压能力。

### (三) 基于性能的抗震设计优化途径

在建筑结构的抗震设计中,必须采取系统性的优化策略,其核心目标是确保结构在遭遇地震作用时具备良好的延性耗能能力和整体稳定性。这一目标的实现,首先依赖于对关键设计参数的综合考量,即需要根据项目所在地的抗震设防烈度、建筑的总高度与结构形式,科学确定基础的地基埋深与处理方案,使上部结构与地基基础协同工作。材料的选择对抗震性能至关重要。应优先选用延性性能好、材质均匀性高的建筑材料,例如采用具有明显屈服平台的钢筋,以确保结构构件在进入塑性变形阶段后仍能保持足够的承载力,避免脆性破坏。同时,必须保证梁柱节点、墙梁连接等关键区域的构造设计安全可靠,使其能够有效传递内力并发挥耗能作用。在结构体系层面,应依据建筑功能与高度选择合适的抗侧力体系,如框架-剪力墙结构或筒体结构<sup>[4]</sup>。

### (四) 地基基础系统设计的核心要旨与关键技术路径

地基基础作为建筑结构的根本支撑,其设计的优劣是决定整体工程安全性与耐久性的基石,故而基础工程设计构成了整个结构设计工作中至关重要的一环。设计的核心目标在于通过精确的计算与合理的选型,从根本上预防建筑基础产生过量的、特别是差异性的沉降,并将地基的整体与局部变形严格限制在规范许可的范围内,从而为上部结构提供一个绝对可靠与稳定的支承环境。当采用桩基础时,其核心机理是将上部结构的巨大荷载通过

预制钢筋混凝土桩或灌注桩等构件,穿越软弱土层直接传递至深部坚实可靠的持力层上。若选择箱形基础,则是凭借其由顶板、底板与内外墙体构成的巨大空间刚度,将上部荷载均匀扩散至地基,并利用其强大的整体性来有效约束与调节不均匀沉降,同时促进基础与土体的协同工作,进而提升结构的抗震与抗压综合性能。而对于筏形基础,它尤其适用于上部荷载巨大而地基土承载力相对不足的场况,其设计依赖于大体积钢筋混凝土板的整体刚度和连续性,将集中荷载转化为均布应力扩散至更大面积的土层上,从而实现对地基不均匀变形的有效适应与主动调节<sup>[5]</sup>。

### (五) 强化设计人员的职业素养与责任担当

建筑结构设计工作必须由具备相应资质与能力的专业技术人员承担,这些设计者不仅需要系统掌握坚实的专业理论知识和计算分析能力,更应对国家及行业颁布的最新结构设计规范、标准图集及强制性条文有全面而深入的理解。由专业能力、规范理解、责任意识与实践经验共同构筑的坚实基础,是有效规避因设计疏漏、概念错误或计算偏差所可能引发的各类安全与质量事故的根本保障,能够最大限度地减轻乃至避免因设计缺陷为建设单位带来的潜在经济损失与声誉风险。具体而言,这就要求设计人员在开展设计之前,就需主动预判和识别该项目在后续施工及长期使用阶段可能面临的各种风险与挑战,并通过对影响结构安全性与稳定性的内在与外在因素进行周密分析,在设计方案中预先融入针对性的控制措施。

## 四、结束语

综上所述,建筑结构设计是一项关乎生命财产安全的极其严谨的工作。当前,设计领域在基础处理、概念设计、计算分析及人员责任意识等方面仍存在诸多亟待改进之处。要从根本上提升建筑结构设计质量,必须采取系统性的综合策略。在技术层面,应强调方案的科学性、结构的规则性、抗震的针对性和基础的可靠性;在管理层面,则需不断加强设计人员的职业素养、规范意识与安全责任感。

## 参考文献

- [1] 肖昕,王廷廷.探讨提高建筑结构设计水平的方法及措施[J].低碳世界,2022,12(10):97-99.
- [2] 莫建成.浅谈提高建筑结构设计质量的措施[J].智能城市,2020,6(11):34-35.
- [3] 盛陈.建筑结构设计中的隔震减震措施研究[J].建筑·建材·装饰,2025(16):133-135.
- [4] 侯守强.建筑结构设计的质量管理探索[J].河南建材,2024(7):152-154.
- [5] 李俊.建筑结构设计的质量管理研究[J].科技创新导报,2021,18(35):72-74.



# 建筑工程管理中质量与安全控制研究

张小平

广东雄厦工程技术有限公司, 广东 韶关 512000

DOI:10.61369/ETQM.2025120039

**摘 要 :** 文章系统阐述了施工质量管理与安全控制的内在联系及重要意义, 分析了当前建筑行业在质量意识、人员培训、安全文化等方面的发展现状, 并深入探讨了安全设施、监测预警、责任体系等关键要素的功能定位。在此基础上, 提出了管理制度融合、施工组织协调、技术培训与质量监督协同等多维策略, 以构建系统化、规范化、可持续的工程管理机制, 为实现工程品质与安全水平的全面提升提供理论支撑与实践路径。

**关 键 词 :** 建筑工程管理; 质量与安全; 控制

## Research on Quality and Safety Control in Construction Project Management

Zhang Xiaoping

Guangdong Xiongxia Engineering Technology Co., Ltd., Shaoguan, Guangdong 512000

**Abstract :** This article systematically elaborates on the intrinsic relationship and significant importance of construction quality management and safety control. It analyzes the current development status of the construction industry in terms of quality awareness, personnel training, safety culture, and other aspects, and delves into the functional positioning of key elements such as safety facilities, monitoring and early warning systems, and accountability frameworks. On this basis, multi-dimensional strategies are proposed, including the integration of management systems, coordination of construction organization, and collaboration between technical training and quality supervision, to establish a systematic, standardized, and sustainable project management mechanism. This provides theoretical support and practical pathways for achieving a comprehensive improvement in engineering quality and safety standards.

**Keywords :** construction project management; quality and safety; control

## 引言

建筑工程质量与安全控制是一项系统性强、涉及面广的综合性管理工作。通过文章的探讨可以看出, 质量管理与安全控制并非孤立存在, 而是相互依存、相互促进的有机整体。从安全文化的培育到责任体系的构建, 从技术培训的强化到信息管理的整合, 均需在系统化、规范化的框架下协同推进。未来建筑行业的发展, 应更加注重质量与安全管理的深度融合, 通过制度创新、技术升级和流程优化, 构建预防为主、持续改进的长效机制, 从而在保障工程本质安全的同时, 推动建筑行业向更高质量、更高标准的方向稳步发展。

## 一、建筑施工质量及施工安全管理意义

### (一) 施工质量管理

建筑物的质量水平不仅直接决定了用户的生命与财产是否安全, 还深刻影响其日常使用的舒适性与满意度, 因而成为衡量建筑是否达标的核心依据。在房屋建造的实际操作过程中, 施工质量的好坏密切关系到现场人员的作业安全以及项目的整体经济效益; 为此, 必须严格把控建筑材料的筛选、运输、存储与使用等环节, 从源头上消除可能出现的质量风险, 保障工程顺利推进。此外, 在项目竣工验收时, 质量是各方参与单位评估工程成果的首要指标, 也是实现施工企业预期利润的基础。

### (二) 施工安全控制与管理

建筑工程施工是一个不可逆的过程, 其每一环节都直接决定着建筑物的安全性能与工程进度, 任何疏忽都可能引发难以挽回的后果。同时, 由于建筑施工具有明显的流动性和分散性, 必须通过严格的质量管控来实现成本的有效节约, 从而维护企业的经济效益。这一点也与公众利益密切相关, 因为只有确保建筑质量, 才能从根本上保障使用者未来的生命与财产安全。需要明确的是, 若要提升施工管理部门的管理实效, 关键应从全面把控施工质量入手, 并在此基础上持续总结实践经验, 逐步形成超越同行的核心竞争优势, 最终为民众创造更安全、更舒适的居住条件<sup>[1]</sup>。

## 二、建筑工程质量管理的发展现状

### （一）施工人员质量意识薄弱问题分析

在建筑工程实施阶段，每一位参与项目的作业及管理人员都应当牢固树立质量第一的观念，特别是负责质量监控的岗位人员，需对潜在的质量与安全隐患保持持续警惕，并将全过程质量控制措施执行到位。然而调研发现，目前不少建筑企业仍受制于传统管理思维的局限，内部培训体系不健全，致使部分现场管理人员对现代质量管理理念缺乏系统认知。与此同时，由于缺乏科学、系统的质量管理制度作为支撑，现场管理常常出现操作流程混乱、管控手段执行不严等现象，严重削弱了施工质量监督的实际效果，也难以形成持续改进的管理闭环。

### （二）操作培训不足与人员流动频繁的现状

建筑行业普遍面临工期紧迫、用工需求大、劳动力队伍稳定性差的现实情况。施工总包单位通常仅通过项目合同与各类劳务班组建立短期合作关系，难以对其实施持续、规范的专业技能培养。在实际建造过程中，部分施工企业为追赶进度，在与劳务分包方签订合同后，往往略去岗前系统培训环节，直接安排工人投入作业，致使许多操作人员的安全观念与专业能力未能达到岗位基本要求。从行业整体人力资源结构来看，目前我国建筑业一线工人多数缺乏正规化的训练背景与实操积累，而对比发达国家的行业现状，其从业人员多接受过职业院校体系的专业教育<sup>[2]</sup>。

## 三、建筑工程安全控制探究

### （一）安全文化与安全认知的内涵

安全文化及其相关认知是构筑安全生产环境的根本前提。它要求组织中的每一位成员都对安全问题保持高度警觉，并主动承担起相应责任，体现出个人与团队对安全价值的共同认同。从本质上看，安全文化不仅是一套制度规范，更是一种内化于心的价值取向与行为指引，它需要将安全理念渗透到日常作业乃至生活习惯的每一个环节之中。通过系统化的宣传教育，能够提升从业人员对风险的敏感度与防范能力，促使他们形成自觉的安全行为模式，从而有效遏制安全事故的发生，控制各类潜在风险，切实维护人员的身体健康与生命保障。安全文化的培育是一个需要全体成员共同推动的长期过程，只有形成统一的安全价值认同和一致的行为响应机制，才能真正打造出稳定可信的工作场所安全生态。

### （二）安全设施与装备的功能定位

安全设施与装备是维护人员生命及财产安全的物质基础和关键保障。这类设施涵盖范围广泛，常见类型包括火灾防控系统、视频监控装置、出入口控制设备以及各类应急抢险器材等。这些硬件设备的合理配置与持续稳定运行，能够显著增强整体防护水平，有效遏制安全事故的发生频率并减轻其可能带来的损害程度。在设施规划与建设阶段，需基于场所实际特点开展全面风险识别，确保设备类型齐全、布局合理、功能完善，同时建立定期检查与维护机制，保障其长期处于良好可用状态。此外，使用人

员对设备操作流程的熟悉程度与执行规范性，也直接影响设施效能发挥，正确的操作行为能够最大限度提升安全防护效果<sup>[3]</sup>。

### （三）安全培训与教育的功能定位

安全培训与教育是提升个体安全素养与风险应对能力的关键方式。安全教育则侧重于通过多种传播途径，如宣传普及、课堂讲授及案例解析等，向社会大众传递安全理念，增强其对安全责任的认知深度。这类有组织的学习活动能够显著提高人们对作业环境及日常行为中潜在危险的识别敏感度，并引导其逐步建立稳定的安全行为模式与价值标准。与此同时，安全培训与教育的内容体系也需保持动态发展，根据安全形势演变与技术环境更新进行持续优化，才能有效应对不断升级的各类风险挑战。

### （四）安全监测与预警的系统功能

安全监测与预警是识别潜在风险和启动早期响应的重要技术支撑。借助系统化的监测机制，能够对各类安全隐患、异常状态及突发事件进行持续追踪与智能分析，从而为事前干预提供依据，有效阻断事故链发展。预警功能则建立在多源数据采集与风险评估的基础上，通过分级警报提示相关人员实施预控措施，显著降低安全事故发生概率。现代监测预警体系通常融合传感技术、智能监控设备与大数据分析平台，构建覆盖全面、响应迅速的安全防护网络。这种及时精准的风险感知与预警能力，可以大幅提升组织在事故预防与应急响应方面的整体效能，为保护生命和资产安全提供关键技术保障。

### （五）安全责任体系的系统构建

安全责任体系的系统构建是确保安全管理要求有效传导与落实的核心支撑。这一体系通过明确组织内部各层级、各岗位在安全管理工作中的具体职责与权限划分，形成“层层负责、人人有责”的安全管理格局。在体系构建过程中，需科学界定决策层、管理层和执行层的安全责任范围，建立可量化、可追溯的责任考核机制，并将履行情况与绩效评价直接关联。完善的安全责任体系不仅能够避免管理真空和责任推诿，还能促使每个成员主动关注安全状况，自觉遵守安全规范，从而形成全员参与、全过程管控的安全管理新常态。通过持续的责任传导与监督考核，这一体系为构建本质安全型工作环境提供了坚实的制度保障。

## 四、建筑工程管理质量与安全控制的整合策略

### （一）管理制度与标准的系统化融合

管理制度与标准的系统化融合，是指将组织内部各项规章制度与外部适用的法规标准进行结构性整合，构建统一协调的运行框架。这种融合能够有效消除制度间的矛盾与重叠，显著提升管理效率与执行质量，确保组织各项活动既符合法律法规约束，又满足行业规范要求。在具体整合过程中，需要系统梳理制度条款、细化标准内涵、优化业务流程、强化人员认知，从而保障整套管理体系得以有效落地。经过系统整合的管理架构不仅能够提升资源利用效率、加强风险管控能力，还将转化为组织的核心竞争优势，为长期稳定发展奠定基础。通过持续性的评估与动态优化，这种融合机制能够为组织应对内外部环境变化、实现管理效

能的迭代升级提供体系化支撑<sup>[4]</sup>。

### （二）施工组织与协调能力的系统化整合

施工组织与协调能力的系统化整合，是指在工程实施阶段将项目组织架构与多方协调机制进行深度融合，从而提升施工管理的整体效能。施工组织体系主要涵盖进度规划、工艺流程设计、人力资源与物资设备的科学配置等内容；协调能力则体现在对各参与方诉求的平衡、信息沟通的顺畅性以及关键环节的决策效率等方面。通过二者的有机结合，能够显著提升施工活动的协同性，为项目目标的顺利实现创造有利条件。要实现施工组织与协调能力的有效整合，需要建立在扎实的组织管理基础、高效的跨部门沟通能力以及快速响应的问题处理机制之上。具体而言，施工组织工作需对工程进度节点、资源分配方案及职责分工作出科学安排，同时保持与建设单位、设计单位、监理单位等各相关方的充分信息交互，确保施工各环节有序衔接。协调能力则体现在运用专业方法化解施工中出现的矛盾与障碍，妥善处理各类突发状况，为工程推进创造稳定、连续的实施环境。

### （三）技术培训与质量监督的协同整合

技术培训与质量监督的协同整合，是指在工程实施过程中将人员技术能力提升与质量控制活动有机结合，形成相互促进的管理闭环。技术培训侧重于通过系统化训练提升作业人员的专业素养与实操水平，质量监督则着眼于对施工全过程的质量状态进行跟踪、检验与管控。将这两个体系相互融合，可产生多方面的协同效应：首先，能够持续强化施工队伍的专业技能，使其及时掌握行业前沿工艺与规范作业要求；其次，有助于构建更严密的质量管控网络，确保工程实体质量符合设计标准与合同约定；此外，这种整合还能激发技术革新与质量优化动力，推动工程品质与管理水平实现螺旋式上升。实现有效整合需要建立配套的培训体系与监督制度，包括制定周期性的能力提升计划，同时实施动态化的质量监测与评估，使人员技能成长与工程质量控制形成良性互动。

### （四）信息管理与风险预警的整合机制

信息管理与风险预警的整合机制是通过构建统一的信息平

台，将工程管理中的各类数据进行系统收集、分析与应用，实现质量与安全风险的早期识别与主动防控。该机制依托现代信息技术，将施工进度、质量检测、安全监测等多源信息进行整合处理，通过建立风险评估模型，实现对潜在问题的预测预警。这种整合不仅提高了管理决策的科学性，还能够通过数据驱动的方式优化资源配置，提前采取干预措施，有效防范质量缺陷与安全事故的发生。同时，该机制通过信息共享与闭环管理，促进了各部门之间的协同配合，为工程项目的顺利实施提供了全方位的保障<sup>[5]</sup>。

### （五）绩效考核与持续改进的融合模式

绩效考核与持续改进的融合模式是通过建立科学的评价体系，将质量管理与安全控制的成效纳入绩效考核范畴，形成以结果为导向的改进机制。该模式通过设置关键绩效指标，定期评估各项管理措施的执行效果，并将评估结果与奖惩激励直接挂钩，从而激发各级人员参与质量安全管理的主观性和创造性。同时，依托绩效考核中发现的问题与不足，组织可以有针对性地制定改进方案，优化管理流程，实现管理水平的螺旋式上升。这种融合模式不仅强化了过程管控，更重要的是建立了自我完善、持续优化的长效机制，为工程管理质量与安全水平的不断提升提供了不竭动力。

## 五、结束语

建筑工程质量与安全控制是一项系统性强、涉及面广的综合性管理工作。通过文章的探讨可以看出，质量管理与安全控制并非孤立存在，而是相互依存、相互促进的有机整体。从安全文化的培育到责任体系的构建，从技术培训的强化到信息管理的整合，均需在系统化、规范化的框架下协同推进。未来建筑行业的发展，应更加注重质量与安全管理的深度融合，通过制度创新、技术升级和流程优化，构建预防为主、持续改进的长效机制。

## 参考文献

- [1] 袁飞. 建筑工程管理质量与安全控制探究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023(7): 125-127.
- [2] 李玉英. 解析建筑工程管理中质量与安全控制 [J]. 建材与装饰, 2025, 21(26): 85-87.
- [3] 马新有, 刘滨, 臧振华. 建筑工程项目施工过程中质量控制与安全管理措施研究 [J]. 智能建筑与工程机械, 2025, 7(3): 74-76.
- [4] 路璐. 建筑工程施工现场安全管理与质量控制的整合策略 [J]. 建筑与装饰, 2025(8): 58-60.
- [5] 卫聪. 建筑工程质量控制与安全管理措施研究 [J]. 砖瓦世界, 2025(15): 166-168.

# 高层建筑混凝土施工技术优化与质量控制

王沿娣

武汉市汉阳市政建设集团有限公司, 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ETQM.2025120040

**摘 要：** 高层建筑混凝土施工以高空作业、大体积浇筑、多专业交叉为核心特征，面临温控防裂难、高空浇筑易离析、养护效果差等突出难点，易引发裂缝、强度不足、外观缺陷等质量问题。为保障工程质量，本文从施工全流程出发，系统探讨技术优化与质量控制路径，前期通过优选低水化热原材料、优化混凝土配合比、完善专项施工方案与技术交底，筑牢质量基础；施工过程中聚焦模板、钢筋、混凝土浇筑等关键工序，针对性优化支撑体系、连接工艺、浇筑养护措施，尤其强化大体积混凝土“内散外保+动态监测”的温控技术；同时构建“事前预判、事中管控、事后追溯”的全过程质量控制体系，明确各方职责、强化试验检测与隐蔽工程验收。研究旨在通过全链条技术优化与闭环管控，解决高层建筑混凝土施工的核心技术难题，防范质量隐患，提升工程结构的安全性、稳定性与耐久性。

**关 键 词：** 高层建筑；混凝土施工；技术优化；质量控制

## Optimization of Concrete Construction Technology and Quality Control for High-rise Buildings

Wang Yandi

Wuhan Hanyang Municipal Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000

**Abstract：** Concrete construction in high-rise buildings is characterized by high-altitude operations, large-volume pouring, and multi-disciplinary intersections, presenting prominent challenges such as difficulties in temperature control and crack prevention, segregation during high-altitude pouring, and poor curing effects, which can easily lead to quality issues like cracks, insufficient strength, and appearance defects. To ensure project quality, this article systematically explores paths for technological optimization and quality control throughout the entire construction process. In the preliminary stage, quality foundations are strengthened by selecting raw materials with low hydration heat, optimizing concrete mix proportions, and improving specialized construction plans and technical disclosures. During construction, key processes such as formwork, reinforcement, and concrete pouring are focused on, with targeted optimizations of support systems, connection techniques, and pouring and curing measures, particularly enhancing temperature control technologies for large-volume concrete through "internal dispersion and external insulation + dynamic monitoring." Simultaneously, a comprehensive quality control system is established, featuring "pre-event prediction, in-process control, and post-event traceability," clarifying responsibilities of all parties and strengthening testing and inspection as well as acceptance of concealed works. The study aims to address core technical challenges in concrete construction for high-rise buildings through full-chain technological optimization and closed-loop control, preventing quality hazards and enhancing the safety, stability, and durability of engineering structures.

**Keywords：** high-rise buildings; concrete construction; technological optimization; quality control

## 引言

混凝土作为高层建筑结构的核心材料，承担着承重、抗渗、抗裂等关键功能，其施工质量与技术水平直接决定工程整体安全性能。然而高层建筑混凝土施工面临高空作业环境复杂、大体积浇筑温控难度大、多专业工序交叉密集等突出挑战，易引发温度裂缝、强度不足、外观缺陷等质量问题，成为制约工程品质提升的核心瓶颈。针对高层建筑混凝土施工的特殊性与难点，系统性开展技术优化与质量控制研究，构建科学高效的施工技术体系与闭环管控机制，已成为保障工程安全、提升建设品质的迫切需求。本文立足高层建筑混凝土施工的核心痛点，从施工前期准备、过程关键工序到全过程质量管控，深入探讨原材料优选、配合比优化、模板与钢筋工程改进、大体积混凝土温控防裂等关键技术，构建“事前-事中-事后”全链条质量控制体系，旨在为解决高层建筑混凝土施工技术难题、防范质量风险提供实践指导，推动高层建筑混凝土施工技术的规范化、精细化发展，确保工程结构的安全性、稳定性与耐久性。



# 一、高层建筑混凝土施工的特点与难点分析

## （一）施工特点

相对于普通体积的混凝土结构来说，大体积混凝土的连续浇筑量是比较大的，对于整体施工环节的要求是比较高的<sup>[1]</sup>。高层建筑混凝土施工以高空作业为核心特征，物料运输、人员作业均高度依赖塔吊、施工电梯等垂直运输设备，设备运力匹配度与天气条件直接影响施工效率与连续性<sup>[2]</sup>。结构体系的复杂性对混凝土强度、抗裂及耐久性等综合性能提出了远超普通建筑的严苛要求，同时施工需与钢结构、机电等多个专业密集交叉，工序衔接与工期统筹难度极大。此外，大体积混凝土的温控防裂、毫米级的施工精度控制，以及高空多变环境对浇筑养护的不利影响，共同构成了其施工管控的复杂性与核心难点。

## （二）施工难点与常见质量问题

高层建筑混凝土施工的核心难点在于，大体积混凝土温控防裂难；高空浇筑易离析、振捣不密实；模板支撑体系稳定性要求高；钢筋密集区浇筑困难；以及高空养护效果难保障<sup>[3]</sup>。由此引发的常见质量问题也呈现多元化，裂缝问题最为突出，包括温度裂缝、收缩裂缝等；混凝土强度不足时有发生，影响承载能力；蜂窝、麻面、尺寸偏差等外观缺陷普遍；钢筋密集区易形成内部空洞；保护层不当等问题则埋下耐久性隐患；后浇带施工不当也易引发渗漏、裂缝等缺陷。

# 二、施工前期准备阶段的技术优化与质量控制

## （一）原材料优选与质量控制

施工前期的原材料管控是保障高层建筑混凝土施工质量的基础，需兼顾技术适配性与质量稳定性，实现“优选+严控”的双重目标<sup>[4]</sup>。选材上，应优先选用低水化热水泥、级配合理的骨料、高效缓凝减水剂及Ⅰ级粉煤灰等优质掺合料，并确保外加剂与水泥的适应性，以适配大体积混凝土防裂和高空作业需求。质量控制上，则需建立从进场验收、抽样检验、台账登记到不合格退场的闭环管理机制，留存每批次材料的检验记录以实现质量可追溯，同时规范堆放、做好防潮防晒与分区隔离，防止二次污染，从源头确保混凝土的质量稳定。

## （二）混凝土配合比优化设计

混凝土配合比优化需以高层建筑混凝土的核心性能需求为导向，结合施工环境、构件类型等实际条件，实现强度、工作性、耐久性与温控性的协同提升<sup>[5]</sup>。优化中采用“水泥+掺合料”复合体系，以30%–50%的掺合料替代水泥来降低水化热并提升密实度；同时严格控制水胶比在0.35–0.50之间，高强度混凝土不超0.40，以保障强度与抗裂性能。外加剂掺量需经试验确定，确保混凝土坍落度满足高空作业需求且损失小。针对大体积构件，还需专项设计以控制温升速率。所有优化方案必须经过试配和模拟工况验证，合格后形成正式通知单，锁定各项参数，严禁施工中擅自调整。

## （三）施工方案与技术交底优化

施工方案与技术交底的优化是确保前期准备工作落地的关

键，需实现“方案科学可行、交底精准到位”，为施工过程提供清晰指导<sup>[6]</sup>。方案优化需结合高层结构特点，编制针对性强的专项方案，重点通过有限元分析验证模板支撑体系的安全性，并对大体积混凝土等重难点工序单独制定详细技术措施与应急预案，同时规划好多专业协同作业的衔接节点。技术交底则采用“书面交底、现场示范、考核验收”的三维模式，确保内容详实、全员覆盖，并通过动态调整机制应对施工变化，实现技术要求的精准落地与全过程可追溯管理。

# 三、施工过程中的关键技术优化

## （一）模板工程优化

模板工程作为高层建筑混凝土结构成型的基础，其技术优化核心聚焦于刚度提升、稳定性增强、精度控制与防漏浆改进，适配高空作业与复杂结构的施工需求<sup>[7]</sup>。材料上优先选用高强度覆膜板或全钢模板，竖向构件可采用定制大钢模；支撑体系则采用盘扣式脚手架，通过力学计算确定间距并增设斜撑与连墙件确保稳定。工艺上，拼缝处用密封胶条防漏，阴阳角用定型模板，并预拼装调试，浇筑前还需进行预压试验以检测支撑变形。拆除时，必须依据同条件试块强度，并遵循“先支后拆、后支先拆”的顺序，确保结构安全。

## （二）钢筋工程优化

钢筋工程优化围绕连接可靠性、布置精准性、密集区适配性展开，确保钢筋骨架满足高层建筑复杂受力要求<sup>[8]</sup>。存放时需分区防潮防锈，使用前清理干净；连接方式上，大直径钢筋优先采用Ⅰ级机械连接并逐个检查，小直径则采用绑扎连接<sup>[9]</sup>。绑扎时引入定位卡具确保间距精准，对梁柱节点等密集区优化排布顺序，预留浇筑通道。保护层控制选用高强度垫块并规范布置，浇筑前用仪器复核厚度，确保钢筋骨架满足高层建筑的复杂受力要求。

## （三）混凝土工程优化

混凝土工程优化聚焦浇筑质量、工作性保障、振捣效果与养护强化，解决高空浇筑、复杂构件施工中的核心技术问题。浇筑前，模板需彻底清理湿润，设备全面检修并配备备用，确保基础条件良好。浇筑时，采用分层分段、循序渐进的连续作业，严格控制墙柱（≤500mm）和梁板（≤300mm）的浇筑厚度，并借助布料机等辅助工具控制下料高度在2米以内，高温天气还需对混凝土降温以控制入模温度<sup>[10]</sup>。振捣环节坚持“快插慢拔”，精准控制间距与深度，确保混凝土密实，尤其关注钢筋密集区。最后，通过初凝前的二次抹压消除表面裂缝，并根据构件类型和环境采用薄膜覆盖、喷雾等方式进行不少于14天的保湿保温养护，高强度混凝土则需延长至21天以上，以全面提升最终质量。

## （四）大体积混凝土温控技术优化

大体积混凝土温控技术优化以“降低水化热、控制温差、延缓降温”为核心，构建“内散外保+动态监测”的综合温控体系。通过采用低热水泥并掺加30%–50%的粉煤灰、矿粉与缓凝剂，从源头降低水化热峰值并延缓其释放。施工中，采用分层浇筑工艺，并预埋冷却水管，在浇筑后24小时内启动循环水降温，主

动控制核心区温度。同时外部实施“多层覆盖+梯度保温”，确保表面降温速率低于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。全过程通过在关键部位布设测温点进行实时监测，一旦内外温差超过 $25^{\circ}\text{C}$ 的预警值，便立即动态调整冷却水量或保温层厚度，确保温控效果贯穿始终，有效防止温度裂缝。

## 四、全过程质量控制体系与实施

### （一）建立“事前、事中、事后”全过程质量控制体系

高层建筑混凝土施工质量控制需突破单一环节管控局限，构建以“预防为主、过程管控、事后追溯”为核心的全过程质量控制体系，实现从前期准备到竣工交付的全链条闭环管理。该体系以质量目标为导向，通过明确建设、施工、监理等各方职责，建立“横向到边、纵向到底”的责任网络，将控制要求分解至每个工序与岗位。在架构上，它整合了组织保障、制度规范、技术支撑和监督考核四大模块，分别从成立专项小组、制定管理制度、运用数据监测和实施考核奖惩等方面为质量管控提供坚实基础。体系运行中，通过事前预判风险、事中动态纠偏、事后总结改进的循环机制，形成“风险识别—措施制定—过程执行—检验评估—持续优化”的管理闭环，从而有效规避质量隐患，保障混凝土施工质量稳定达标。

### （二）事前控制

事前控制作为质量控制的前置环节，核心在于风险预判与源头管控，为施工过程质量筑牢基础。技术准备上，需审核图纸、方案及配合比，确保其科学可行；资源保障上，要严控材料进场检验流程，并校验调试好各类机械设备；人员准备上，应开展全员培训与技术交底，确保操作技能达标；现场准备上，则需清理作业面、检查模板钢筋，并针对高空作业等风险点制定防护措施。通过这四方面的周密准备，为后续施工质量筑牢坚实基础。

### （三）事中控制

事中控制是全过程质量控制的核心环节，聚焦施工过程动态管控，确保各项技术措施与质量标准有效执行。通过实行“巡检与旁站”相结合的双重监督，对常规工序进行巡查，对关键工序实施全程旁站，确保操作规范。试验检测方面，通过制作试块跟踪强度，并实时检测坍落度、入模温度等指标，及时调整工艺。过程监测则利用测温设备监控大体积混凝土温差，并动态观察模

板与钢筋状态，防范风险。此外，严格执行隐蔽工程的“自检、互检、专检、验收”流程，确保上道工序合格后方可进入下道，从而实现对施工质量的全方位、全过程把控。

### （四）事后控制

事后控制聚焦于质量检验、缺陷整改与经验总结，确保工程质量符合设计与规范要求，并为后续工程提供参考。实体质量检验方面，混凝土强度达标后，采用回弹法、钻芯法等无损检测与破损检测相结合的方式对结构实体强度检测，验证混凝土强度是否满足设计要求；同时对混凝土结构外观质量、尺寸偏差进行全面检查，重点排查裂缝、蜂窝、麻面、露筋等外观缺陷，检测结构垂直度、构件截面尺寸、钢筋保护层厚度等关键指标，确保偏差在规范允许范围内。缺陷处理方面，对发现的质量缺陷进行分类评估，制定针对性整改方案，整改完成后重新组织验收，确保缺陷彻底消除。资料整理方面，系统收集整理施工全过程质量控制资料，包括原材料检验报告、配合比通知单、技术交底记录、工序验收记录、试验检测报告、测温记录、隐蔽工程验收记录等，确保资料完整、真实、可追溯，按规范要求归档保存。总结改进方面，召开质量分析会，梳理施工过程中出现的质量问题、原因及整改措施，总结成功经验与不足，形成质量分析报告；针对典型质量问题，深入分析根源，优化后续施工的技术方案与质量控制措施，持续提升质量管控水平，为同类高层建筑混凝土施工提供借鉴。

## 五、结束语

高层建筑混凝土施工的技术优化与质量控制是一项系统性、全链条的工程，直接关乎结构安全、使用年限与城市建设品质。本文围绕高层建筑混凝土施工的核心难点，从前期准备、过程实施到全程管控，构建了涵盖原材料优选、配合比优化、关键工序技术改进及大体积混凝土温控防裂的完整技术体系，同时建立“事前预判、事中管控、事后追溯”的闭环质量控制机制，形成了针对性强、可操作性高的施工解决方案。随着建筑工业化、智能化的快速发展，高层建筑混凝土施工技术仍有广阔的优化空间。未来可进一步融合 BIM 技术、智能化监测设备、绿色低碳建材等新技术与新材料，推动施工技术向数字化、精细化、绿色化转型。

## 参考文献

- [1] 刘久辉. 高层建筑大体积混凝土施工技术的优化探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2014(22): 1626-1626.
- [2] 刁春杰. 高层建筑混凝土施工技术优化 [J]. 文摘版: 工程技术, 2015, 0(5): 15.
- [3] 周升阳, 孟令通. 超高层建筑建设中高性能混凝土施工技术优化 [J]. 奥秘, 2024(14): 67-69.
- [4] 张发明, 高丽. 优化高层建筑混凝土施工技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2015(23): 1808-1808.
- [5] 姚轩. 高层建筑现浇混凝土空心楼盖施工技术应用 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(22): 140-142. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1675.2023.22.043.
- [6] 向修兵, 王元元. 高层建筑施工中混凝土现场施工技术分析 [C]//2024 人工智能与工程管理学术交流会议论文集. 2024: 1-4.
- [7] 王鼎鑫, 黄丽名, 张晨, 等. 超高层建筑超厚基础底板大体积混凝土施工关键技术 [J]. 建筑技术, 2023, 54(16): 1965-1968. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4726.2023.16.008.
- [8] 庄良良. 高层建筑大体积混凝土施工技术探析 [J]. 江西建材, 2023(2): 309-311. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2890.2023.02.127.
- [9] 吴明思. 高层建筑施工中的混凝土浇筑技术优化 [J]. 奥秘, 2024(29): 59-61.
- [10] 毛成宾. 试析高层建筑大体积混凝土施工技术 [J]. 装饰装修天地, 2019(3): 265. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2122.2019.03.260.