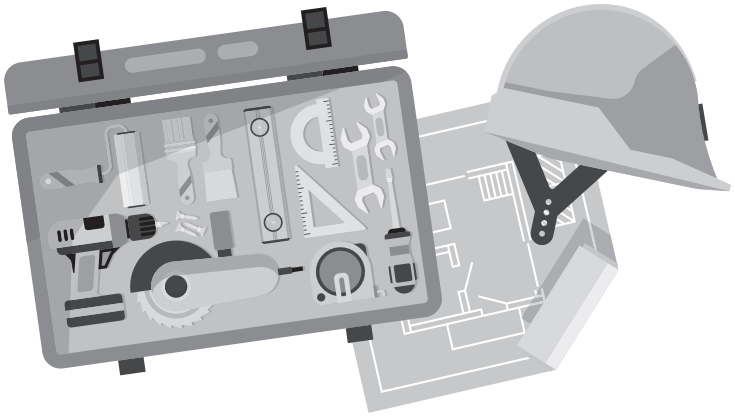
工程技术与质量管理

Engineering Technology and Quality Management



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

(517 666 0904)

263 S KENWOOD ST 560

CASPER,WY 82601

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

Complimentary Copy

ART AND TECHNOLOGY PRESS INC
(United States)

Editors-in-Chief

Yulei Chao
Heze Dehe Construction Engineering Group Co. LTD.

Haizhong Gao
Zhejiang Zhongnan Construction Group Co. LTD.

Associate Editor

Pengyue Yu
Shandong Construction Engineering (Group) Co., LTD.

Editorial board member

Sanath Alahakoon
School of Engineering and Technology Centre for Railway Engineering

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

Yungang Wang
Ordos Sports Development Center

Qigui Chi
Expert Committee of China Construction Supervision Association

Danhui Chi
Fujian Provincial Institute of Engineering Supervision and Project Management Association

Yahui Chi
Fujian Provincial Civil Engineering and Construction Industry Association

Chunxiu Liu
Fujian Provincial Association of Engineering Construction Quality and Safety

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

Xiaomin Dai
Zhejiang Ruixin Construction Engineering Company

目录 CONTENTS

工程技术与质量管理

Engineering Technology and Quality Management

第4卷 第9期　2026年9月刊

主　管　ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

主　办　ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

编　辑　《工程技术与质量管理》编辑部

ISSN(O)：2992-9806

ISSN(P)：2995-3170

地　址：263 S KENWOOD ST 560
CASPER, WY 82601

网　址：https://arttechpress.com

本刊说明：

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

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 论文未曾以任何形式公开发表过。
5. 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　**一种矿用本安型轻量化预警仪的研制**　**贾智新，严海鹏**
Development of an Intrinsic Safety Lightweight Mining Warning Instrument　Jia Zhixin, Yan Haipeng

004　**分析装配式建筑工程管理的影响因素与关键应对措施系统分析**　**黄学智**
Analyzing the Influencing Factors and Key Countermeasures of Prefabricated Construction Project management System Analysis　Huang Xuezhi

007　**分析建筑工程管理中全过程管理的应用实践**　**刘磊乐**
Analysis of the Application Practice of Whole Process Management in Construction Project Management　Liu Leile

010　**关于节能环保技术在建筑工程施工中的应用实践**　**陆栢清**
Application Practice of Energy Saving and Environmental Protection Technology in Construction Engineering　Lu Baiqing

013　**论述岩土工程深基坑支护的设计及施工问题**　**杨志军**
Discuss the Design and Construction Issues of Deep Foundation Pit Support in Geotechnical Engineering　Yang Zhijun

016　**探讨建筑监理对施工现场的协调工作的开展**　**张伟辉**
Exploring the Coordination Work of Construction Supervision on the Construction Site　Zhang Weihui

019　**基于 SolidWorks Motion 分析的贝壳去壳设备的设备设计和刚体动力学分析**　**杨天淳，何政洋**
Equipment Design and Rigid Body Dynamics Analysis of Shellfish De-shelling Equipment Based on SolidWorks Motion　Yang Tianchun, He Zhengyang

022　**集中式光伏发电项目全流程管理措施研究与应用探讨**　**苏云**
Research and Application of Full Process Management Measures for Centralized Photovoltaic Power Generation Projects　Su Yun

025　**封签涂胶系统校准装置在 GDX1 包装机维保中的应用**　**王林鹏，李国良，李晓东，任发军，王增浩**
Application of Seal Label Gluing System Calibration Device in Maintenance and Service of GDX1 Packaging Machine　Wang Linpeng, Li Guoliang, Li Xiaodong, Ren Fajun, Wang Zenghao

028　**新能源光伏支架结构抗风设计关键技术研究**　**董华磊**
Research on Key Technologies for Wind Resistance Design of Photovoltaic Mounting Structures for New Energy Applications　Dong Hualei

031　**地质遗迹保护与地质环境恢复治理协同机制研究**　**尹雪**
Research on the Collaborative Mechanism for the Protection of Geological Heritage Sites and the Restoration and Management of the Geological Environment　Yin Xue

034　**分析岩土工程勘察与岩土设计之间的相互关联**　**梁杰**
Analyze the Interrelationship Between Geotechnical Engineering Investigation and Geotechnical Design　Liang Jie

037　**储能系统在新能源工程中的应用及发展探讨**　**赵麟锐**
Application and Development of Energy Storage Systems in New Energy Engineering　Zhao Linrui

040 建筑工程项目施工全过程精细化管理实施路径探究 钟志亮
Exploration of Implementation Paths for Refined Management Throughout the Entire Construction Process of Building Projects Zhong Zhiliang

043 复杂地质条件下地下铁矿高效采矿工艺优化研究 张景凯
Optimization Research on Efficient Mining Process of Underground Iron Ore under Complex Geological Conditions Zhang Jingkai

046 高校基建工程项目全过程管理优化策略研究 许睿
Research on Optimization Strategies for the Whole Process Management of Infrastructure Construction Projects in Universities Xu Rui

049 基于机器学习的内置角钢 CFST 抗压承载力预测模型 叶喆轩
Machine Learning Based Prediction Model for Compressive Bearing Capacity of Built-in Angle Steel CFST Ye Zhexuan

055 BIM 技术在水库除险加固工程施工管理中的应用研究 张宇，王松叶，陆春荣，臧亮
Research on the Application of BIM Technology in Construction Management of Reservoir Risk Removal and Reinforcement Projects Zhang Yu, Wang Songye, Lu Chunrong, Zang Liang

058 嵌入式 C 语言软件的代码优化与设备运行稳定性提升技术研究 俞光日
Research on Code Optimization and Device Stability Improvement Techniques for Embedded C Language Software Yu Guangri

061 构网型逆变器电应力分析及其主动限流控制 李星彤，杨昊，王红斌，王志宽，赵凯
Electrical Stress Analysis and Active Current Limiting Control of Grid Inverter Li Xingtong, Yang Hao, Wang Hongbin, Wang Zhikuan, Zhao Kai

065 箱式 – 气动 – 垃圾被服三位一体医院自动化物流系统应用实践探析 郭亮，庞玉洁，于洋，吴雪川，宁智林
Practical Application and Analysis of a Three-in-One Hospital Automated Logistics System Combining Containerized, Pneumatic, and Garbage Collection Garment Solutions Guo Liang, Pang Yujie, Yu Yang, Wu Xuechuan, Ning Zhilin

路桥工程 | ROAD AND BRIDGE ENGINEERING

068 关于 BIM 技术在市政路桥施工中的关键应用 钟剑文
Key Applications of BIM Technology in Municipal Road and Bridge Construction Zhong Jianwen

071 道路空洞，疏松病害体检测技术研究 殷焕东
Research on Detection Technology for Underground Caverns and Loose Deterioration Bodies in Roads Yin Huandong

074 公路工程施工中的防水路面基层施工技术关键点研究 朱风龙
Research on Key Points of Waterproof Pavement Base Construction Technology in Highway Engineering Construction Zhu Fenglong

077 智慧养护背景下公路预算管理优化路径 刘欢
Optimization Path of Highway Budget Management under the Background of Intelligent Maintenance Liu Huan

安全质量 | SAFETY QUALITY

080 双重预防机制视角下的建筑工程施工质量与安全管理策略研究 梁兴周
Research on Construction Quality and Safety Management Strategies from the Perspective of Dual Prevention Mechanism in Building Engineering Liang Xingzhou

083 结构检测在房屋安全性鉴定中的重要作用分析 温权峰
Analysis of the Important Role of Structural Inspection in Building Safety Appraisal Wen Quanfeng

086 气象观测质量管理体系在基层台站运行中的问题与改进策略——基于 2026 年安庆市汛前交叉内审的实证分析 张友明，周朋，陈子贤
Problems and Improvement Strategies for the Operation of Meteorological Observation Quality Management System at Grassroots Stations ——An Empirical Analysis Based on the Pre-flood Cross Internal Audit in Anqing City, 2026 Zhang Youming, Zhou Peng, Chen Zixian

089 建筑工程安全施工管理要点及优化措施分析 何俊涛
Analysis of Key Points and Optimization Measures for Safety Construction Management in Construction Projects He Juntao

092 建筑工程管理质量控制要素研究——关键因素及优化措施探讨 洪东昕
Research on Quality Control Elements of Construction Project Management: Key Factors and Optimization Measures Exploration Hong Dongxin

095 建筑工程管理中的质量控制核心要素及系统性影响探讨 林焕钦
Discussion on the Core Elements and Systematic Impact of Quality Control in Construction Project Management Lin Huanqin

098 预应力混凝土空心方桩沉桩施工工艺及质量控制研究 罗佳瑞
Research on Construction Technology and Quality Control of Prestressed Concrete Hollow Square Pile Sinking Luo Jiarui

101 建筑施工现场文明施工管理的关键问题及改进对策研究 罗兴章
Research on Key Issues and Improvement Countermeasures of Civilized Construction Management on Construction Sites Luo Xingzhang

104 探讨建筑幕墙施工质量控制中存在的问题及解决措施 张彪
Exploring the Problems and Solutions in Quality Control of Building Curtain Wall Construction Zhang Biao

107 房屋建筑工程质量监督管理措施探究 Ts. Dr. Kam Kenn Jhun，梁健良
Exploration of Quality Supervision and Management Measures for Building Construction Projects Ts. Dr. Kam Kenn Jhun, Liang Jianliang

110 分析工程监理中如何加强安全监理 杜诚
How to Strengthen Safety Supervision in Engineering Supervision Analysis Du Cheng

113 建筑工程质量管理风险防范研究——基于全过程风险识别与动态控制视角 张海荣
Research on Risk Prevention in Construction Quality Management: Based on the Perspective of Whole Process Risk Identification and Dynamic Control Zhang Hairong

116 建筑工程施工安全管理存在的问题及应对措施分析 朱明恺
Analysis of Problems and Countermeasures in Construction Safety Management of Building Engineering Zhu Mingkai

119 建筑工程技术质量管理问题及对策 张哲
Problems and Countermeasures in Quality Management of Construction Engineering Technology Zhang Zhe

122 铁路 TFDS 动态检测故障判别质量优化方法与改进路径研究 王岫平
Research on Optimization Methods and Improvement Paths for Fault Discrimination Quality in Railway TFDS Dynamic Inspection Wang Xiuping

125 房屋建筑工程质量管理现状及对策分析 姚思政
Analysis of the Current Situation and Countermeasures of Quality Management in Building Construction Projects Yao Sizheng

128 外墙真石漆质量控制措施浅谈 刘铭，郑大勇，王洵，李智
A Brief Discussion on Quality Control Measures for Exterior Wall Genuine Stone Paint Liu Ming, Zheng Dayong, Wang Xun, Li Zhi

131 常用计量单位名称和符号的不规范用法实例 段长生，王文英，陈宝亮，吴珊珊，吴迪
Examples of Non-standard Usage of Commonly Used Metrological Unit Names and Symbols Duan Changsheng, Wang Wenying, Chen Baoliang, Wu Shanshan, Wu Di

一种矿用本安型轻量化预警仪的研制

贾智新，严海鹏 *
中信重工开诚智能装备有限公司，河北 唐山 063020
DOI:10.61369/ETQM.2026090001

摘　　要： 针对现有矿用防爆智能监控预警仪存在重量大、拆装不便、充电困难等问题，研制了一种矿用本安型轻量化预警仪。该预警仪采用本质安全型电路设计，箱体以 ABS 阻燃防静电材料制作，整体重量大幅降低；固定机构采用肘夹结构，可实现预警仪与矿车的快速装拆；电池系统采用快速更换式结构，支持井下快捷换电，无需将设备运回地面充电。预警仪搭载激光雷达、红外摄像机和可见光摄像机，可实时采集矿车前方环境信息，通过识别软件自动识别轨道前方的行人或障碍物，并与绞车控制系统联动实现自动停车。实际应用表明，该预警仪有效降低了操作工劳动强度，提高了拆装效率。

关 键 词： 本安型；矿用预警仪；轻量化；快速固定；研制

Development of an Intrinsic Safety Lightweight Mining Warning Instrument

Jia Zhixin, Yan Haipeng*
CITIC HIC Kaicheng Intelligence Equipment Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063020

Abstract: In response to the problems of heavy weight, inconvenient disassembly and assembly, and difficult charging of existing mining explosion-proof intelligent monitoring and warning devices, a mining intrinsic safety lightweight warning device has been developed. The warning device adopts an inherently safe circuit design, and the box is made of ABS flame-retardant and anti-static materials, significantly reducing the overall weight; The fixed mechanism adopts an elbow clamp structure, which can achieve rapid assembly and disassembly of the warning instrument and the mining car; The battery system adopts a quick replacement structure, supporting quick underground battery replacement without the need to transport the equipment back to the surface for charging. The warning device is equipped with a laser radar, infrared camera, and visible light camera, which can collect real-time environmental information in front of the mining car. Through recognition software, it automatically identifies pedestrians or obstacles in front of the track and links with the winch control system to achieve automatic parking. Practical application has shown that the warning device effectively reduces the labor intensity of operators and improves the efficiency of disassembly and assembly.

Keywords: intrinsic safety; mine warning instrument; lightweight; quick fixing; development

引言

在煤矿井下生产中，为保证绞车、矿车等运输设备的安全运行，技术人员设计研发了矿用防爆智能监控识别预警仪，该防爆预警仪搭载有激光雷达、红外摄像机和可见光摄像机，可实时采集矿车前方的环境信息，对轨道前方路况进行自动识别，并与绞车控制系统联动，识别到人或障碍物时自动停车，从而有效的保证矿车的安全运行。但现有的防爆智能监控识别预警仪存在如下缺陷：（1）防爆预警仪重量大，拆装不方便。为满足井下要求，现有预警仪为防爆型，防爆外壳使得预警仪自身重量很大。预警仪在使用时，需挂在矿车组行进方向的第一辆车上。当矿车反方向下行时，又要挂在下行方向第一辆车的车前。一般矿车每班要运行30多个往返，预警仪便需要拆装搬运60多次，操作工的劳动强度很大。（2）拆装不够快捷。现有预警仪固定方式为使用螺栓顶紧挂钩，每次拆装需较长时间，为保障操作人员安全，拆装操作时矿车需停车等待，过长的操作时间影响了矿车的运输效率。（3）充电不方便。现有预警仪采用隔爆设计方案，按煤矿安全规定不能在井下开盖换电池，也不允许在井下进行充电作业，因此每次电池耗尽都需要将预警仪整体运回地面进行充电。

为解决上述技术问题，本文介绍了一种矿用本安型轻量化预警仪，该预警仪对电路进行了优化设计，降低了电路能量等级，整个电路系统满足煤矿本质安全的要求，克服了防爆预警仪体积大、笨重的缺陷。

作者简介：贾智新（1984.10.02-），男，汉族，河北省秦皇岛市人，学历：本科，职称：工程师，研究方向或工作领域：特种机器人，煤矿智能装备。
通讯作者：严海鹏（1989.03.10-），男，汉族，河北省遵化市人，学历：本科，职称：工程师，研究方向或工作领域：特种机器人，煤矿智能装备。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

一、预警仪结构设计

（一）预警仪系统组成

矿用本安型轻量化预警仪，由：本安箱体（1）、固定机构（2）、电池舱门（3）、电池（4）、电池舱门锁紧机构（5）、补光灯（6）、摄像机（7）、激光雷达（8）、电控系统（9）等组成。

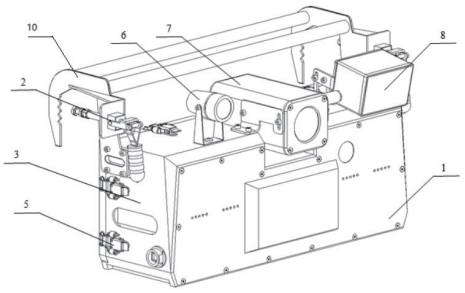


图1预警仪系统结构组成

Fig.1 Structure and composition of early warning system (front)

（二）固定机构设计

固定机构（2）为肘夹机构，由肘夹手柄（2-1）和肘夹压杆（2-2）组成；固定机构（2）有两组，分别安装在本安箱体（1）两侧上方位置，上下扳动肘夹手柄（2-1）可以使肘夹压杆（2-2）发生伸缩动作。挂钩（10）安装在本安箱体（1）上方，用于与固定机构（2）配合将预警仪固定在矿车上。当安装预警仪时，首先将肘夹手柄（2-1）向上抬起，使肘夹的压杆（2-2）缩进，然后将预警仪的挂钩（10）挂在矿车上。此时，压下肘夹手柄（2-1），使肘夹压杆（2-2）伸出，通过肘夹压杆（2-2）和挂钩（10）之间的夹紧力，将预警仪紧紧的固定在矿车上，从而实现预警仪的快速固定。

（三）功能及控制系统设计

电控系统（9）包括交换机（9-1）、电源转换板（9-2）、继电器（9-3）、无线客户端（9-4）和工控机（9-5）。

本安箱体（1）采用轻量化材料制作，分成电器舱和电池舱两部分。电控系统（9）安装在本安箱体（1）的电器舱内， 补光灯（6）、摄像机（7）和激光雷达（8）安装在本安箱体（1）的上方，通过摄像机（7）和激光雷达（8）采集矿车运行前方环境信息，采集到的数据信息通过交换机（9-1）传输给工控机（9-5），工控机（9-5）对采集的数据进行分析处理，通过识别软件自动识别矿车前方轨道是否存在人或障碍物。若发现矿车轨道前方存在人或障碍物，工控机（9-5）则通过无线客户端（9-4）向绞车房内的防爆计算机发送停车信号。

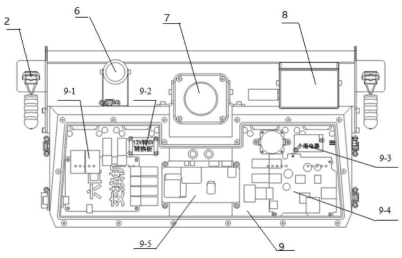


图2 功能及控制系统

Figure 6 function and control system

补光灯（6）、摄像机（7）、激光雷达（8）、交换机（9-1）、电源转换板（9-2）、继电器（9-3）、无线客户端（9-4）、工控机（9-5）。

（四）电池系统设计

电池（4）安装在本安箱体（1）的电池舱内，电池（4）结构上设计有手指孔（4-2）和与之联动的伸缩舌（4-1），用于将电池（4）固定在电池舱内，通过电池舱门（3）和电池舱门锁紧机构（5）将电池（4）封闭。

电池（4）安装在本安箱体（1）的电池舱内，电池舱内部上下左右各方向均设计了限位轨，电池（4）放入电池舱时可以对电池（4）进行导向和定位，确保电池（4）的位置正确。电池（4）结构上设计有手指孔（4-2）和与之联动的伸缩舌（4-1），用手捏住手指孔（4-2）时，伸缩舌（4-1）便会缩入电池（4）内部，当电池（4）装入到位后将手松开，伸缩舌（4-1）便会自动弹出，从而将电池（4）固定。电池舱门（3）安装在本安箱体（1）的背面，电池舱门锁紧机构（5）采用弹簧卡形式，安装在本安箱体（1）的两侧，用于将电池舱门（3）快速锁紧。补光灯（6）、摄像机（7）和激光雷达（8）安装在本安箱体（1）的上方前面位置，也可根据实际情况安装在其它合适部位。电控系统（9）安装在本安箱体（1）的电器舱内，挂钩（10）安装在本安箱体（1）上方后面位置。2个橡胶垫块（11）分别固定在2个电池舱门（3）上，用于辅助预警仪的固定。

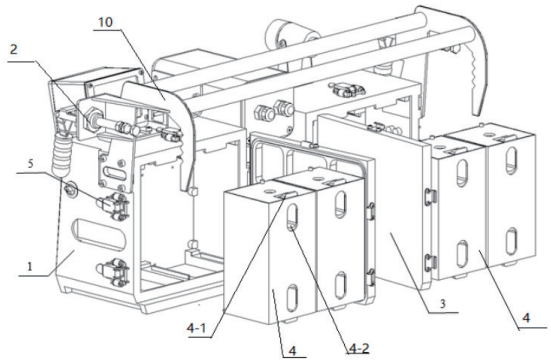


图3电池更换过程示意

Figure 8 schematic diagram of battery replacement process

本安箱体（1）、固定机构（2）、电池舱门（3）、电池（4）、电池舱门锁紧机构（5）、挂钩（10）

二、矿用本安型轻量化预警仪的工作过程

该预警仪工作过程是：首先将预警仪安装在第一节矿车的前面，当矿车行进时，预警仪通过摄像机（7）采集矿车前方的图像，用补光灯（6）为摄像机（7）提供照明，确保在低亮度环境下摄像机（7）可靠采集图像。同时使用激光雷达（8）对前方进行扫描，采集矿车前方的物体轮廓信息。采集到的数据信息通过交换机（9-1）传输给工控机（9-5），工控机（9-5）对采集的数据进行分析处理，通过识别软件自动识别矿车前方轨道是否存在人或障碍物。若发现矿车轨道前方存在人或障碍物，工控

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

机（9-5）则通过无线客户端（9-4）向绞车房内的防爆计算机发送停车信号。防爆计算机接到停车信号后，发出信号给绞车控制系统，防爆计算机与绞车控制系统联动，实现紧急停车，保证人员、矿车安全。当预警仪需要更换电池（4）时，如图6所示，将电池舱门（3）打开，放入充满电的电池（4）。电池（4）放入到位后，将电池舱门（3）关闭，并用电池舱门锁紧机构（5）锁紧，此过程方便快捷，一分钟内就可完成，完全可以满足现场不间断监控的需求。

三、结论

该预警仪内部电路采用本安型设计，箱体采用 ABS 阻燃防静电材料，避免了对壳体结构的隔爆要求，使预警仪自身重量大幅下降，降低了工人的劳动强度；采用快速安装固定结构，提高了拆装的便利性，减少了拆装时间；使用快速更换电池结构，解决了预警仪不能现场充电的问题，保障了矿车运行时的不间断监控。

参考文献

[1] 贾智新，郭映言，岑强，等 . 矿用本安型轻量化预警仪：CN113824868A[P]. 2021-12-20.

[2] 袁崇亮，王露梅，张军良，等 . 一种本安型矿用监控预警仪：CN113098087A[P]. 2021-07-09.

[3] 彭继慎，孙乐，宋绍楼，等 . 井下爆炸性气体检测系统与爆炸预测的研究 [J]. 电子技术应用，2010，36(8)：78-81.

[4] 王恩元，何学秋，刘贞堂，等 . 在线式电磁辐射监测预警仪研制及其应用 [J]. 煤炭学报，2009，34(4)：511-514.

[5] 孙乐 . 矿用本安超声倒车预警系统研究与设计 [D]. 太原：太原理工大学，2022.

[6] 裴文良，贾智新，郭映言，等 . 一种矿用本安型轻量化预警仪 :CN202122285599.6[P]. CN215682420U[2026-04-27].

[7] 武军峰，宋建成，曲兵妮 . 矿用高压配电装置隔离触头温度在线监测系统的设计 [J]. 工矿自动化，2011(9)：4.

[8] 张建国 . 矿用电铲智能斗齿监测系统研究 [J]. 工矿自动化，2025，51(S1)：76-77.

[9] 赵彤宇，王乾，王新亚，等 . 一种钻机传动装置的健康监测方法和装置 :CN202410154614.9[P]. CN117992867A[2026-04-27].

[10] 李小东，张强，许雪娟，等 . 基于预警云平台的 KJ796(A) 声电监测系统在冲击地压矿井生产中的应用 [J]. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2022(6)：4.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

分析装配式建筑工程管理的影响因素与关键应对措施系统分析

黄学智
广东豪大建筑工程有限公司，广东 茂名 525000
DOI:10.61369/ETQM.2026090002

摘　　要： 装配式建筑作为建筑工业化的重要形式，近年来在我国得到快速发展，但在工程管理实践中仍面临诸多挑战。文章系统分析了装配式建筑工程管理的主要影响因素，包括设计深度不足、构件生产质量波动、运输吊装风险、现场装配协调难度大等方面。在此基础上，提出了深化协同设计、强化构件质量管控、优化物流组织、完善现场装配管理等关键应对措施。结合典型项目案例，验证了相关措施的有效性，为装配式建筑工程管理实践提供参考。

关 键 词： 装配式建筑；工程管理；影响因素

Analyzing the Influencing Factors and Key Countermeasures of Prefabricated Construction Project Management System Analysis

Huang Xuezhi
Guangdong Haoda Construction Engineering Co., Ltd., Maoming, Guangdong 525000

Abstract: As an important form of construction industrialization, prefabricated buildings have developed rapidly in China in recent years, but still face many challenges in engineering management practice. The article systematically analyzes the main influencing factors of prefabricated construction project management, including insufficient design depth, fluctuations in component production quality, transportation and lifting risks, and difficulties in on-site assembly coordination. On this basis, key measures were proposed to deepen collaborative design, strengthen component quality control, optimize logistics organization, and improve on-site assembly management. By combining typical project cases, the effectiveness of relevant measures has been verified, providing reference for the management practice of prefabricated construction projects.

Keywords: prefabricated building; engineering management; influencing factors

引言

装配式建筑作为建筑工业化的重要方向，近年来发展迅速，但其工程管理面临设计深度不足、构件质量波动、运输吊装风险及现场装配协调困难等多重挑战。设计阶段拆分滞后与专业协同欠缺，生产环节品质不稳定，运输过程中构件破损率高，现场装配工序衔接紧密、精度要求严苛。这些因素相互交织，影响了工程进度、质量与成本。系统分析管理影响因素并提出针对性应对措施，对于提升装配式建筑工程管理水平具有现实指导意义。

一、装配式建筑工程管理的影响因素分析

（一）设计深度与协同性不足

设计是装配式建筑质量的源头，设计深度不足是当前工程管理的首要影响因素。与传统建筑设计不同，装配式建筑设计需要延伸到构件拆分、节点详图、预埋预留等深度设计阶段。然而，部分项目设计文件停留在方案层面，构件拆分设计滞后，甚至由构件厂自行完成，导致设计与施工脱节。

某住宅项目在设计阶段仅完成建筑平面和立面设计，构件拆分由施工单位委托构件厂进行。由于原设计未考虑结构构件的标准化模数，构件厂在拆分时发现大量异形构件，既增加了模具成本，又影响生产效率。最终该项目构件种类达到280余种，远高于同类项目80-100种的平均水平，生产周期延长近两个月。

设计协同性不足问题同样突出。装配式建筑涉及建筑、结构、机电、装修等多专业，各专业间的协同深度直接影响工程质量。某项目的结构设计未与机电设计充分协调，预制构件生产完成后发现预埋管线位置与实际需求不符，不得不在现场开槽补埋，既影响构件完整性，又增加成本约50万元。类似问题在装配式建筑项目中较为普遍。

设计变更管理不规范进一步加剧了问题。装配式建筑的设计

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

变更一旦涉及已生产构件，将造成较大损失。某项目因建设单位功能调整，要求变更部分户型布局，此时已有近千块墙板完成生产。变更导致这批构件报废，直接损失超过200万元。设计变更管理机制的不健全，使得这类损失难以有效控制。

（二）构件生产质量波动

预制构件生产环节的品质稳定性直接关系装配式建筑的整体质量。当前构件生产企业数量增长迅速，但不同企业的制造能力和质量管控水平差异较大，产品品质波动现象比较普遍。部分中小型企业沿用老旧设备，工艺落后，检验手段不足，构件尺寸偏差、钢筋保护层厚度等指标常出现不合格情况，给现场安装带来拼缝过大或标高不准等问题。原材料管控不严也是造成质量下滑的重要原因，一些企业使用含泥量超标或强度不达标的低价材料，导致混凝土性能离散性大，构件强度无法满足设计需求。生产过程管理较为粗放，养护制度执行不到位，构件含水率偏高，安装后容易出现收缩裂缝。出厂检验环节把关不严，部分企业出具的质量合格证与实际产品状况不符，不合格构件流入施工现场，增加了返工整改成本。提升构件生产质量需要从原材料、工艺、检验等多方面同步加强[1]。

（三）运输与吊装风险

预制构件体积大、重量重且容易损坏，这使运输与起吊环节成为装配式建筑的突出风险点。

运输方面，车辆减震不足、构件堆放方式不合理以及路况颠簸都容易导致构件损坏。某项目统计表明，普通墙板的运输损坏率平均为3.5%，异形构件可达5%以上。损坏的构件需要返厂修补或报废，既增加费用又延误工期。同时，运输计划若与现场装配顺序不匹配，会引发构件进场混乱，急需的构件无法及时到位，堆场压力增大，管理人员不得不临时调整施工顺序。起吊环节中，构件单件重量多数为3至8吨，部分超过10吨，对起重设备的能力要求较高。塔吊选型若未充分考虑最大吊重和吊装半径，可能造成部分构件无法就位，只能额外租用汽车吊，增加大量设备开支。起吊作业的安全隐患同样突出，这类作业涉及高空和交叉施工，一旦吊索具选用不当或专项方案交底不细致，就可能发生构件滑落等险情，严重威胁人员安全。加强运输组织与吊装管理，是保障装配式工程顺利推进的关键。

（四）现场装配协调难度大

现场装配是各环节管理的交汇点，协调难度大是装配式建筑管理的典型特征。与传统现浇施工相比，装配式施工对精度要求更高、工序衔接更紧密，对现场管理能力提出了更高要求。

构件进场验收与堆放管理是现场管理的首要环节。预制构件进场需要核对型号、检查质量、规划堆放位置，工作量大且时效性强。某项目高峰期日进场构件超过200块，现场管理人员难以逐一检查验收，部分问题构件未能及时发现。堆放管理方面，部分项目场地规划不合理，构件堆放无序，查找和吊装效率低下。某项目因场地狭小，构件堆放高度超过规定限值，底层构件受压变形，影响安装质量。

装配顺序管理直接影响施工效率。装配式建筑需要按照构件类型、结构部位、施工条件等因素合理安排装配顺序。某项目前期施工组织设计对装配顺序考虑不足，现场施工时出现结构构件与机电管线安装冲突、预制构件与现浇节点施工顺序颠倒等问题，频繁调整施工计划，效率损失明显[2]。

现浇节点施工质量控制是现场管理的难点。装配式建筑中现浇节点数量虽减少，但节点质量要求更高。某项目现浇节点施工时，钢筋连接质量抽查合格率仅为85%，灌浆饱满度抽查合格率不足80%，均低于规范要求。主要原因在于施工人员对关键节点工艺掌握不熟练，过程检验把关不严。

各专业协调配合问题同样突出。装配式建筑将大量机电管线预埋在预制构件中，安装阶段的协调配合要求更高。某项目因土建与安装专业沟通不畅，部分预留孔洞位置偏差，现场不得不开洞处理，破坏了构件完整性。这类问题反映出传统施工管理模式与装配式建筑特点的不适应。

二、关键应对措施

（一）深化协同设计管理

设计阶段的协同管理是防控后续问题的基础。针对设计深度不足和协同性差的问题，应从设计组织、技术应用、变更管控三个层面加以改进。

设计组织方面，推行设计总承包模式，由一家设计单位统筹建筑、结构、机电、装修等各专业设计，明确设计深度要求和协同界面。某项目采用设计总承包模式，要求设计单位提交构件拆分图、节点详图等全套施工图文件，设计周期虽延长两周，但施工阶段变更数量减少70%以上，总体工期反而缩短[3]。

技术应用方面，大力推广建筑信息模型BIM技术，实现各专业设计信息的集成和碰撞检查。某项目在设计阶段建立BIM协同平台，各专业在同一模型上并行设计，碰撞问题在出图前全部解决，现场因设计冲突导致的返工几乎为零。BIM技术的应用还可延伸到构件生产和现场装配阶段，实现全过程信息传递。

变更管控方面，建立设计变更分级审批机制，明确变更的影响范围和成本责任。对于已进入生产阶段的变更，应充分评估损失后再决定是否实施。某项目在合同中约定，构件生产完成后提出的设计变更，相关损失由变更提出方承担，这一机制有效抑制了随意变更行为。设计变更还需及时更新模型和图纸，确保后续环节的信息准确。

（二）强化构件质量管控

构件生产质量管控应从源头选择、过程监督、进场验收三个环节系统推进。

源头选择方面，建立合格供应商名录，优先选择具备成熟生产经验和质量管理体系的构件厂。某企业建立了构件供应商评估机制，从生产能力、质量体系、履约能力等维度综合评价，年度考核不合格者淘汰出供应商名录。这种机制促使构件厂主动提升管理水平，质量稳定性明显改善。

过程监督方面，建设单位和施工单位应派驻代表驻厂监督关键工序。某项目委托监理单位驻厂监造，对钢筋绑扎、混凝土浇筑、养护等关键工序实施旁站监督，发现问题及时整改。该项目

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

构件出厂合格率从90% 提升至98%，现场因构件质量问题导致的返工大幅减少。驻厂监督的成本虽有所增加，但从整体效益看是值得的[4]。

进场验收方面，建立严格的进场检验制度，明确检验项目和判定标准。对于关键受力构件，应全数检查；对于一般构件，可按比例抽检，但抽检比例应适当提高。某项目进场验收实行「双检制」，由施工和监理单位共同检验，发现不合格构件坚决退货。检验记录及时反馈给构件厂，促进其改进生产工艺。

质量追溯机制的建立同样重要。每块构件应有唯一标识，记录设计信息、生产批次、检验数据等，便于问题追溯和质量责任认定。

（三）优化运输吊装组织

运输和吊装环节的管理优化应从运输组织、吊装策划、安全管控三个方面展开。

运输组织方面，制定详细的运输计划，明确构件进场时间、堆放位置、吊装顺序。某项目开发运输管理信息系统，根据现场装配计划自动生成运输排程，提前三天发送给构件厂。系统还实时跟踪运输车辆位置，现场可提前安排卸货吊装，效率提升明显。该项目构件平均在场堆放时间从五天缩短至两天，场地周转效率提高。

构件保护措施需同步落实。运输车辆应配置专业构件架和减震装置，避免运输过程破损。某项目与运输单位签订协议，约定构件破损率超过一定比例的扣减运费，这一机制促使运输单位改进保护措施，破损率从3.5% 降至1% 以下。对于大型异形构件，应编制专项运输方案，明确吊点、支撑、绑扎方式。

吊装策划方面，合理配置起重设备，确保覆盖范围和吊重能力满足需求。某项目在施工组织设计阶段对吊装工况逐一计算，优化塔吊布置方案，在不增加设备的前提下实现了全场覆盖。对于超重构件，提前规划汽车吊作业时间和位置，避免与塔吊作业冲突。

安全管控方面，编制吊装专项施工方案，明确吊装作业条件、人员资质、索具要求。吊装前进行安全技术交底，吊装过程安排专人指挥。某项目建立吊装作业许可制度，每次吊装前检查作业条件，确认满足要求后签发许可证，吊装安全得到有效保障[5]。

（四）完善现场装配管理

现场装配管理的完善应从施工组织、过程控制、专业协调三个方面着力。

施工组织方面，编制专项装配施工方案，详细规划构件装配顺序、施工流水段划分、资源配置计划。某项目将施工组织设计与 BIM 模型关联，模拟装配过程，提前发现工序冲突，优化施工方案。项目实施中按模拟方案组织施工，装配效率比同类项目提高20% 以上。

过程控制方面，建立关键工序质量控制点，明确检查要求和责任人。对于套筒灌浆、节点现浇等关键工序，实行全过程旁站监督。某项目配备专职灌浆监督员，对每块构件的灌浆过程录像留存，灌浆饱满度合格率达到100%。检验数据及时录入系统，实现质量可追溯。

现场堆场规划需统筹考虑。构件堆放位置应便于吊装，减少二次转运。某项目利用 BIM 模型优化堆场布置，根据构件类型和吊装顺序分区堆放，吊装效率明显提高。场地条件受限的项目，可采用立体堆放方式，但需满足安全要求。

专业协调方面，建立定期协调机制，明确各专业施工时序和交叉作业规则。某项目每周召开专业协调会，对照施工计划排查下周施工冲突，提前制定解决方案。对于涉及多专业交叉的关键节点，编制专项施工方案，明确各专业工序衔接要求。

人员培训同样重要。装配式建筑施工人员应接受专项培训，掌握关键工艺操作要点。某项目对灌浆工、装配工等关键岗位人员实施持证上岗制度，培训考核不合格者不得从事相关作业，施工质量得到有效保障。

三、结束语

装配式建筑工程管理需从设计、生产、运输、装配四个环节系统把控。设计阶段应深化协同，避免拆分滞后与专业冲突。生产环节强化源头管控与过程监督，确保构件品质。运输吊装优化组织与安全管控，降低破损风险。现场装配完善施工组织、过程控制及专业协调。四项措施相互关联且缺一不可。将管理重心前移至设计阶段并在各环节形成闭环，才能有效应对装配式建筑的复杂性，实现工程质量、进度与成本的统筹控制，推动建造方式转型升级。

参考文献

[1] 靖学鹏，高婧瑶．装配式建筑工程管理的影响因素与对策研究 [J]. 建筑・建材・装饰，2023(19):34-36,39.

[2] 王振刚．装配式建筑工程管理的影响因素与对策分析 [J]. 中州建设，2023(5):49,52.

[3] 毛应斌．装配式建筑工程管理的影响因素及优化对策 [J]. 工程技术研究，2021,6(11):143-144.

[4] 姜青．装配式建筑工程管理的影响因素与对策 [J]. 建设监理，2022(4):1-3.

[5] 张志斌．装配式建筑工程管理的影响因素与对策 [J]. 建材与装饰，2021,17(5):183-184.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

分析建筑工程管理中全过程管理的应用实践

刘磊乐
广州石化建设监理有限公司，广东 广州 510000
DOI:10.61369/ETQM.2026090009

摘　　要： 建筑工程管理引入全过程管理方法，能够提升项目整体品质并减少资源浪费。全过程管理覆盖项目启动前、施工过程以及完工后三个阶段。施工前阶段重点做好规划设计、合同与成本预控。施工阶段强化进度、质量、安全与材料控制。竣工后阶段注重验收、资料整理与后期服务。各阶段协同运作，有助于实现工程建设目标。全过程管理要求各阶段信息互通，减少对接失误，提升管理连贯性。

关 键 词： 建筑工程管理；全过程管理；阶段管控

Analysis of the Application Practice of Whole Process Management in Construction Project Management

Liu Leile
Guangzhou Petrochemical Construction Supervision Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: The introduction of whole process management methods in construction project management can improve the overall quality of the project and reduce resource waste. The whole process management covers three stages: pre project initiation, construction process, and post completion. In the pre construction stage, the focus is on planning and design, contract and cost pre control. Strengthen progress, quality, safety, and material control during the construction phase. After completion, emphasis is placed on acceptance, data organization, and post service. The coordinated operation of each stage helps to achieve the goals of engineering construction. The whole process management requires information exchange at all stages, reducing docking errors and improving management coherence.

Keywords: construction project management; whole process management; stage control

引言

建筑工程管理活动日益复杂，传统分段式管理容易造成信息断层和责任模糊。全过程管理主张从项目构思到交付使用实行连贯管控，能够有效衔接各个工作环节。这种管理方式要求管理人员提前识别风险、动态调整施工方案并及时总结完工数据。建筑企业采用全过程管理，有利于提高资源利用效率并降低突发问题带来的损失，促进各方协同配合，减少沟通成本，提升管控水平。

一、建筑工程项目开始施工之前的管理实践

（一）项目可行性研究与目标设定

施工前的管理工作首先需要完成项目可行性研究。管理人员收集地质条件、周边环境和政策法规等信息，分析项目建设的必要性和可能性。可行性研究还需考察当地建材供应能力、劳动力资源状况以及市政配套设施条件，综合判断项目实施是否具备现实基础。基于可行性结论，建设方与设计方共同设定工程目标，包含工期目标、质量目标和成本目标。这些目标应当具体且可测量，避免出现模糊表述。设定目标时，各方需要参考类似工程的历史数据，确保目标值处于合理范围内。例如工期目标应考虑季节性停工因素，质量目标应与工程用途和等级匹配，成本目标应留有一定弹性以应对市场波动。设定目标之后，团队需要编制项目计划书，明确各参与方的责任范围与工作边界。计划书还应列出关键控制节点和阶段性成果要求，以便后续对照检查执行情况。

（二）设计阶段的协调管理

设计阶段是全过程管理的关键环节。设计单位按照建设要求出具图纸，管理人员组织图纸会审和技术交底。会审过程中，施工方、监理方和设计方共同检查图纸中的尺寸冲突或工艺矛盾。若发现设计缺陷，各方及时协商修改方案。管理人员还需评估设计内容与预算的匹配程度，防止设计标准过高造成资金浪费或标准过低影响使用功能。协调管理强调信息互通，所有修改意见留存书面记录[1]。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（三）招投标与合同管理

施工前必须完成招投标工作。建设单位编制招标文件，明确工程范围、技术标准和付款条件。评标环节重点关注投标单位的施工经验、人员配置和安全记录。中标后签订合同，合同条款应当清晰划分各方权利与义务。全过程管理要求合同包含变更处理程序和争议解决机制。管理人员同时建立合同台账，定期核对合同执行情况，避免后期出现履约纠纷。

（四）施工组织设计与资源预控

施工组织设计是指导现场作业的技术文件。施工单位编制施工组织设计，内容包括施工顺序、工艺选择、机械配置和临建布置。管理人员审查方案的合理性与安全性，重点检查关键线路上的工作安排是否紧凑。资源预控方面，采购部门提前联系材料供应商，确认钢筋、水泥等主要物资的供货能力。仓库统计现有设备状况，补充缺少的机具。劳动力管理者根据施工强度安排作业班组进场时间。这些准备工作为正式施工打下基础。

二、施工阶段管理的实际应用

（一）施工进度动态管理

施工阶段需要建立进度跟踪机制。管理人员编制详细的进度计划，将总工期分解为月度、周度和日度任务。每日开工前，班组长汇报当天工作安排，收工后核对完成量。若某一工序出现延误，管理人员分析原因，判断是人力不足、机械故障还是外部因素造成。对于可控延误，通过增加作业班组或延长有效工作时间来追赶进度。对于不可控因素如恶劣天气，启动应急预案并调整后续计划。动态管理还强调利用横道图或网络图展示进度偏差，方便各参建方掌握真实状况[2]。

（二）材料与设备进场控制

材料质量直接影响工程安全。材料进场时，仓库管理员核对出厂合格证和检测报告，同时按照规范取样送检。检测合格的材料分类存放，做好防潮、防晒和防锈措施。不合格材料立即退场并记录在案。材料存放区域设置醒目标识牌，注明材料名称、规格、进场日期和检验状态。管理人员建立材料进场台账，逐笔登记供应商信息、送检结果和使用部位，做到每一批材料都可追溯来源。

设备管理方面，操作人员每日检查机械运转情况，填写运行日志。大型设备如塔吊、施工电梯需要定期维保，维保单位出具书面报告。设备进场前，管理人员检查设备铭牌、出厂合格证和上次维保记录，确认设备在有效使用期内。特种设备还需取得检测合格标志后方可投入使用。管理人员随机抽查材料堆场和设备状态，防止使用过期或受损物资。对于抽查中发现的问题，当场下达整改通知，并跟踪验证整改结果，确保现场使用的物资始终处于受控状态。

（三）质量验收流程

施工阶段的质量管理依靠工序验收来实现。每道工序完成后，作业班组先行自检，自检合格后报请项目部专检。专检人员对照图纸和规范测量尺寸、平整度和强度等指标，测量数据如实记录在验收表格中，不得涂改或事后补填。隐蔽工程如钢筋绑扎、管线预埋，必须经过监理工程师现场确认才能进行下一道工序。管理人员建立质量追溯档案，记录每个检验批的验收结果和整改情况。出现质量缺陷时，技术人员出具整改方案，施工人员在限定时间内返工。返工完成后，验收人员重新检查并签字确认，复查合格后方可进入后续作业。验收流程杜绝走过场，确保质量问题暴露在早期[3]。

（四）安全风险排查

施工现场存在高处坠落、物体打击和触电等风险。安全管理人员制定风险分级管控清单，将重大危险源如深基坑、高支模列为重点监控对象。每日班前会上，安全员讲解当天作业的危险点和防护措施。施工过程中，安全巡查组检查工人是否佩戴安全帽、安全带，临时用电是否符合规范，临边洞口是否设置防护栏杆。对于排查出的隐患，签发整改通知书，指定责任人限期整改。整改完成后复查，形成闭环管理。同时组织应急演练，让工人熟悉逃生路线和急救方法。

（五）成本与变更管理

施工过程中可能出现设计变更或现场签证。变更发生前，技术部门评估变更对工期和费用的影响，造价工程师计算增加或减少的金额。所有变更需要经过建设方、监理方和施工方共同签字确认。管理人员控制现场签证，避免随意扩大工程量。成本管理方面，财务人员按月归集人工费、材料费和机械费，并与预算进行对比。若发现某项费用超支，查找是单价上涨还是用量超标造成。对于用量超标，改进施工工艺或加强领料管理。成本与变更管理相互配合，防止项目结算时出现大幅超支。

三、建筑工程项目在竣工后的管理实践

（一）竣工验收组织

竣工后首先要组织验收工作。施工单位完成合同约定的全部内容后，整理竣工报告并提交验收申请。建设方召集勘察单位、设计单位、监理单位和施工方组成验收组。验收组审查工程档案资料，包括隐蔽工程记录、材料合格证和检测报告。现场查验阶段，验收人员随机抽测房间尺寸、楼地面平整度、给排水管道通水情况和电气设备绝缘电阻。各方确认工程满足设计要求和验收标准后，签署竣工验收报告。对验收中提出的细小问题，施工单位在移交前整改到位。

（二）工程资料归档与移交

工程资料是项目全过程管理的书面证据。资料员按照当地城建档案馆的要求，收集立项文件、设计图纸、施工记录、检测报告和验收文件。所有资料按照专业类别和时间顺序排列，编制目录和页码。签字盖章手续必须完整，日期不得涂改。电子版资料与纸质版保持一致。归档完成后，施工单位向建设单位和物业单位办理资料移交。移交清单一式两份，双方签字各持一份。资料齐全的项目在后续维修和改造时能够快速查找原始信息，减少不必要的勘察工作[4]。

（三）质量保修与后期服务

竣工交付并不意味着管理结束。施工方按照国家规定和合同

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

约定承担质量保修责任，保修范围包括屋面防水、外墙防渗漏和管道堵塞等。建设单位发现使用问题后，通知施工方派人到场查看。属于保修责任的问题，施工方安排维修人员在约定时间内处理完毕。管理人员记录每次维修的内容和结果，分析问题产生的根源。若是施工工艺原因，调整后续类似工程的施工方法。保修期满前，施工方与物业单位进行一次全面回访，确认所有保修事项已经解决。后期服务提升了用户满意度，也为企业积累了口碑。

四、全过程管理中各阶段的信息衔接机制

（一）信息传递的标准化要求

全过程管理依赖准确的信息传递。项目部建立统一的信息编码规则，各类文件使用相同格式的编号和标题。例如，设计变更单的编号包含项目代号、专业代号和流水号。施工日志、监理日志和会议纪要采用标准模板，避免信息遗漏。各参建方使用约定的术语，防止因表述不同造成理解偏差。管理人员定期检查信息传递渠道是否通畅，若发现数据不一致，及时追溯源头修正。

（二）阶段性信息交接流程

施工前、施工中和竣工后三个阶段之间存在信息交接。项目开工前，前期筹备组向施工团队移交场地勘察报告、规划许可和施工图审意见。交接采用书面形式，接收人逐项核对内容。施工阶段结束时，现场管理组向竣工组移交设计变更汇总表、材料检验统计表和设备运行记录。交接会上，移交方说明重要事项的处理经过，接收方提出疑问并当场解答。竣工后，竣工组向物业单位移交维修保养指南和设备操作说明书。清晰的交接流程防止信息丢失，避免同一问题在不同阶段反复出现[5]。

（三）多方协作平台的应用

大型建筑项目涉及多家单位，协作平台有助于整合信息。管理团队搭建共享文档系统，上传进度计划、质量检查表和会议纪要。各参建方按照权限查阅和更新相关内容，减少邮件和电话沟通的滞后性。平台设置通知功能，当某一方修改关键数据时，系统自动提醒相关责任人。管理人员利用平台生成阶段性报告，展示各专业的进度偏差和质量趋势。协作平台要求各方定期登录，长时间未操作者由项目负责人提醒。技术手段辅助信息衔接，降低人为失误。

五、全过程管理对工程综合效益的提升作用

（一）减少返工与资源浪费

全过程管理能够在各环节发现问题并及时处理，避免问题累积到后期集中爆发。施工前的图纸会审消除设计冲突，施工中的工序验收阻止缺陷向下传递，竣工后的资料归档方便后续维护。这些措施共同降低了返工概率。返工减少意味着人工、材料和机械的浪费相应减少。管理人员统计发现，采用全过程管理的项目，工程变更数量下降明显，现场修补工作量也少于传统管理项目。资源节约直接反映为成本控制成果。

（二）提升项目参与方的协作水平

全过程管理打破了部门间的壁垒。施工前阶段，设计方和施工方提前沟通工艺可行性。施工阶段，采购部门和现场班组协调材料进场节奏。竣工后，施工方和物业单位交接使用注意事项。频繁的沟通与协作培养了团队默契，各方逐渐形成共同解决问题的习惯。协作水平提升后，推诿扯皮现象减少，指令传达更加清晰。管理人员不再需要花费大量时间协调矛盾，可以将精力投入核心业务。

（三）为运维阶段提供数据支持

建筑工程的最终服务对象是使用者和维护者。全过程管理产生的各类记录，如设备参数、材料批次和隐蔽工程位置，对运维阶段具有实用价值。物业人员查阅施工资料，可以快速定位管线走向和阀门位置。维修人员了解设备型号后，提前准备替换零件。节能改造时，设计单位调阅原始图纸，评估改造可行性。全过程管理没有终止于竣工交付，而是将价值延伸到建筑全寿命周期。这种延伸让建筑资产得到更充分的利用。

结束语：建筑工程管理引入全过程管理方法，实现了从施工前准备到竣工后服务的连贯控制。施工前阶段的规划设计、合同管理和资源预控为工程奠定良好基础。施工阶段的进度、质量、安全和成本动态管理保障现场作业有序推进。竣工后的验收、归档和保修服务完善了管理闭环。各阶段之间的信息衔接机制确保数据不丢失。全过程管理减少返工浪费，提升协作效率，并为建筑后期运维提供可靠资料。建筑企业应当持续优化全过程管理体系，以适应不断变化的工程环境。

参考文献

[1] 肖飞 . 建筑工程管理中全过程管理的应用研究 [J]. 砖瓦世界 ,2025(23):211-213.

[2] 弓晓婷 . 全过程管理在建筑项目工程管理中的应用研究 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2024(10):181-183.

[3] 陈新联 . 建筑工程管理中全过程管理的应用 [J]. 建材与装饰 ,2025,21(34):126-128.

[4] 冷佳钧 . 全过程管理在建筑工程管理中的应用研究 [J]. 建筑与装饰 ,2024(22):82-84.

[5] 王淏 . 建筑工程管理中全过程管理的应用 [J]. 砖瓦世界 ,2025(23):214-216.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

关于节能环保技术在建筑工程施工中的应用实践

陆栢清
广东昊荣建设工程有限公司，广东 佛山 528244
DOI:10.61369/ETQM.2026090010

摘　　要： 建筑工程施工消耗大量资源并产生环境压力。将节能环保技术融入施工过程，能有效减少能源消耗与污染排放。研究聚焦施工阶段的照明节能、设备能耗控制、水资源循环、材料节约及扬尘噪声治理等关键技术。通过分析各项技术的实际应用方法与效果，发现合理采用这些技术可降低施工成本并提升环境效益。推广这些技术有助于建筑行业实现可持续发展目标，对改善工地周边生态质量具有积极意义。

关 键 词： 节能建造；绿色施工技术；资源节约

Application Practice of Energy Saving and Environmental Protection Technology in Construction Engineering

Lu Baiqing
Guangdong Haorong Construction Engineering Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528244

Abstract: Construction projects consume a large amount of resources and generate environmental pressure. Integrating energy-saving and environmental protection technologies into the construction process can effectively reduce energy consumption and pollution emissions. The research focuses on key technologies such as lighting energy conservation, equipment energy consumption control, water resource recycling, material conservation, and dust and noise control during the construction phase. By analyzing the practical application methods and effects of various technologies, it is found that the reasonable use of these technologies can reduce construction costs and improve environmental benefits. Promoting these technologies can help the construction industry achieve sustainable development goals and have a positive impact on improving the ecological quality around construction sites.

Keywords: energy-saving construction; green construction technology; resource conservation

引言

建筑工程施工活动长期面临高能耗、高水耗与废弃物排放等问题。传统施工模式忽视资源利用效率，造成能源浪费与环境污染。随着环保要求提高，施工企业开始关注节能环保技术的引入。这些技术覆盖施工照明、机械运行、临时设施建造等多个环节，其合理应用可显著减少对自然资源的索取。研究这些技术在施工现场的具体运用方式，对指导实际工程操作、促进行业绿色转型具有现实价值。以下将分项阐述各类节能环保技术的施工应用策略与成效。

一、 施工过程中的照明与电能节约技术

（一）工地照明系统的高效化改造

施工现场需要大量临时照明以保障夜间作业安全。传统照明常使用高压钠灯或卤素灯，这类灯具能耗高且使用寿命短。采用发光二极管灯具替代传统光源，可在相同照度条件下减少电能消耗约七成。发光二极管灯具的光线指向性强，适合塔吊、作业面等局部重点照明区域。施工企业可将发光二极管灯带布置于通道、楼梯口等位置，既满足照明需求又避免光线漫射浪费。此外，为灯具加装光控或时控开关，能自动在日间或无人时段切断电源，消除长明灯现象。某实际住宅项目在主体施工阶段全换用发光二极管照明，每月用电量从前期的八千度下降至两千四百度，节能效果显著。

（二）施工设备待机与运行能耗管理

施工现场的塔吊、施工电梯、电焊机等设备存在长时间待机空转现象。加装智能电控系统可识别设备运行状态，当检测到超过十五分钟无操作指令时，系统自动切断待机电路。对于混凝土搅拌站、砂浆搅拌机等高耗能设备，宜采用变频调速驱动装置。变频器根据实际负载需求调节电机转速，避免电机恒定全速运转导致的能源浪费。例如，在混凝土浇筑高峰期，输送泵的负荷波

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

动较大，变频控制可使电机输出功率匹配实时需要，综合节电率可达三成至四成。同时，建立设备运行台账，记录每台机械的日工作时长与耗电量，定期分析异常数据，发现能效下降的设备及时维修或更换。

（三）太阳能临时供电系统的设置

建筑工地通常拥有开阔的屋顶、空地及尚未封闭的楼层平面，这些区域日照条件良好。铺设光伏板组件构成临时微电网，可为工地生活区的路灯、手机充电站、办公电脑及淋浴间热水器提供电力。太阳能发电系统与蓄电池组及市电备用切换器配合，白天光伏电力优先供应负载，多余电量存入蓄电池；夜间及阴雨天则由电池或市电补充。某大型公共建筑工地在生活区布置了四十块多晶硅光伏板，总装机容量十千瓦，承担了整个生活区七成的日常照明与小功率设备用电，每年减少碳排放约十二吨。这种系统尤其适合远离城区的工地，减少了拉设长距离临时电缆的成本[1]。

二、施工现场的水资源节约与循环利用技术

（一）雨水收集与储存系统的构建

施工期间需要大量水用于混凝土养护、砂浆拌制、车辆冲洗及降尘喷洒。利用工地基坑降水井或场地低洼区域建设临时雨水收集池，是获取非传统水源的有效途径。在场地硬化阶段，提前留设雨水导流沟，引导屋面及硬化地表径流进入沉淀池。池体采用三级沉淀设计，第一级拦截树叶泥沙，第二级进一步澄清，第三级储存清水。收集的雨水经简单检测，若悬浮物含量符合要求，可直接用于清洗进出场车辆轮胎、对裸土进行雾炮降尘以及湿润砌块。对于混凝土养护用水，因养护期需要保持表面持续湿润，雨水的水质完全满足要求。一套容量为五十立方米的雨水收集系统，单次雨季可收集雨水约二百立方米，相当于减少同等数量的自来水消耗。

（二）施工废水处理与回用技术

施工现场产生的废水包括混凝土搅拌机清洗水、桩基施工泥浆水、车辆冲洗废水等。这些废水含有大量水泥颗粒、泥沙及少量油污，直接排放会堵塞市政管道并污染河道。在工地出入口设置三级沉淀池，一级沉淀池容积最大，用于沉降粗颗粒泥沙；二级沉淀池添加少量絮凝剂加速细颗粒沉淀；三级沉淀池存蓄处理后的澄清水。沉淀池底部的泥浆定期清理，经自然干化后可作为回填土使用。处理后的清水通过水泵送至洗车槽循环利用，或用于砌块淋水养护。需要留意的是，废水的酸碱度与重金属含量需定期检测，若用于接触结构钢筋的养护，则必须确保氯离子含量低于规范限值[2]。

（三）节水型施工器具与工艺的采用

淘汰落后的用水方式能直接从源头减少水耗。混凝土养护采用覆盖保湿膜工艺替代持续淋水，可使养护用水量下降八成以上。砌块在砌筑前不宜大量浇水湿润，改用喷壶均匀喷洒两面即可满足要求。施工现场的洗手台、食堂洗涤池应全部安装陶瓷阀芯节水龙头，出水流速限制在每分钟九升以内。冲洗进出场车辆时，使用高压冲洗机代替普通水管，高压水射流能快速剥离轮胎泥土且单次用水量不超过六十升。某高层建筑项目严格推行上述节水措施，主体施工阶段总用水量对比同规模传统工地下降百分之四十五，节水效果十分突出。

三、建筑材料节约与废弃物减量技术

（一）预制装配式构件的现场应用

在工厂预先制作梁、板、柱、楼梯等构件，然后运至工地进行拼装连接，这种生产方式能大幅减少现场模板、支撑及抹灰砂浆的用量。传统现浇作业需要大量木模板，周转次数有限且废弃模板成为建筑垃圾。预制构件采用钢模具重复使用，几乎没有模板废料。同时，预制构件表面平整度高，无需进行大面积水泥砂浆找平，节省了找平层材料。一个十层高的住宅楼，若采用预制叠合板与预制楼梯，可减少现场混凝土损耗约百分之十二，减少木模板用量近两千平方米。此外，预制构件在工厂内蒸汽养护，比现场自然养护的水泥用量可降低百分之五至百分之八，进一步节约了熟料资源[3]。

（二）建筑余料与废料的就地再利用

施工中不可避免产生混凝土余料、断砖、短钢筋及碎木方。这些余料不应直接作为垃圾外运。混凝土泵管清洗后剩余少量尾料，可倒入小型模具中制成路边石、排水沟盖板或防撞墩。断砖及砌块碎料经破碎机加工成粒径三至五厘米的骨料，替代碎石用于铺设临时道路基层。长度一米以上的短钢筋可焊接成马凳筋或定位箍筋；更短的钢筋头则加工成预埋件锚脚。木方短料用于制作窗洞口护角或小型工具手柄。某医院扩建项目统计显示，通过上述分类再利用措施，施工总废弃物量减少近四成，外运垃圾车次数从预计的一百二十车降至七十五车，节省了处置费用。

（三）高强钢筋与绿色混凝土的选用

强度等级为四百兆帕级及五百兆帕级的高强钢筋，其屈服强度高于普通三级钢筋。在相同受力条件下，高强钢筋的用量可减少百分之十五至百分之二十五，同时减少运输能耗及加工切割时的铁屑废料。混凝土方面，采用掺加粉煤灰、矿渣粉的绿色混凝土，每立方米可降低水泥用量四十至六十公斤。粉煤灰与矿渣粉属于工业副产品，将其用于混凝土不仅消纳了废料，还减少了水泥生产过程中的碳排放。需要注意的是，绿色混凝土的早期强度发展较慢，拆模时间应适当延长，施工前需进行同条件养护试块强度检测。某商业综合体主体结构全部采用高强钢筋与粉煤灰混凝土，材料成本节约约一百八十万元，废弃物排放量下降两成。

四、施工现场环境污染控制技术

（一）扬尘综合抑制技术体系

施工扬尘主要来自土方开挖、材料装卸、道路车辆行驶及风蚀裸土。控制扬尘需采取多重手段。第一，场地四周设置连续封闭的硬质围挡，高度不低于两米五，围挡顶部安装喷雾头，每隔三米一个，在风力大于四级时开启喷雾降低场内粉尘外溢。第

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

二，场地内主干道路进行混凝土硬化处理，每日安排洒水车至少洒水三次；非硬化区域采用可降解密目网全覆盖，防止裸露土壤随风起尘。第三，土方作业时配备移动式雾炮机，炮口对准挖掘点，水雾粒径控制在五十微米以下，能有效吸附扬尘颗粒。第四，进出车辆必须经过自动洗车槽，冲洗车轮底盘至少十五秒，避免带泥上路。采用这套体系后，工地边界颗粒物浓度可控制在每立方米一百微克以下，符合环保部门要求[4]。

（二）施工噪声与振动控制措施

打桩、混凝土振捣、钢筋切割及模板拆装都会产生高强度噪声。对于打桩工序，优先采用静压植桩机代替柴油锤击桩机，静压机工作时噪声值仅为六十五分贝，远低于锤击桩机的一百分贝。混凝土振捣棒应选用低噪声型号，且操作时避免触碰钢筋模板产生撞击声。钢筋切断机、弯曲机等固定设备下方铺设橡胶减振垫，并将设备集中布置在远离居民区的场地角落。同时，在工地边界面向敏感建筑一侧架设高六米的可移动式隔声屏障，屏障采用钢板与吸音棉复合结构，实测可降低噪声十分贝至十五分贝。严格控制作业时间，夜间二十二时至次日六时禁止产生高噪声的工序，确需连续施工的必须提前公示并取得许可。

（三）有害气体与光污染控制方法

施工机械废气、油漆及防水材料挥发的有机化合物是主要气态污染物。要求所有非道路移动机械加装柴油颗粒捕集器，并定期检测尾气黑度。现场严禁露天焚烧任何废弃物。对于防水工程，优先采用热熔法施工的自粘卷材，避免使用溶剂型冷底子油，减少苯、甲苯等挥发物排放。光污染方面，夜间施工照明灯具应加设遮光罩，将光束控制在施工区域垂直向下或指向工地内部，不得直射周边道路与居住楼窗。焊接作业时采用可移动挡光屏，防止弧光外泄。这些措施能显著降低施工活动对周边环境的光干扰与气体危害[5]。

五、节能环保技术的综合效益与推广阻碍

（一）经济与环境双重收益的分析

节能环保技术在施工初期的投入会带来成本增加。购置发光二极管灯具、变频设备、沉淀池及喷雾系统等需要资金。但长期运行中，这些技术通过节约水电费、减少材料损耗及降低垃圾处置费，实现成本回收。以中等规模住宅项目为例，采用全套节能环保技术的增量投入约八十万元，而整个施工周期节约的水电费约四十万元，材料节省约五十万元，垃圾处置费减少十万元，合计净收益二十万元。环境效益同样显著：全周期可减少二氧化碳排放三百吨，节约水五千立方米，减少建筑垃圾一千五百吨。这些数据表明，节能环保技术不仅利于生态，也具备财务可行性。

（二）技术推广面临的主要困难

尽管效益明显，实际推广中仍存在阻力。第一，施工企业管理人员担心增加初期成本且影响工期，缺乏主动采用的动力。第二，部分技术对操作人员有技能要求，例如变频设备的参数设置、雨水系统的水质监测，一线工人往往未经过培训，导致技术效果打折扣。第三，小型施工项目场地狭窄，难以布置沉淀池或光伏板，限制了技术的使用空间。第四，目前缺乏针对施工阶段节能环保的强制性定量标准，企业往往只做表面功夫，未真正深入执行。要克服这些困难，需要行业主管部门制定激励政策，对绿色施工达标企业给予税收减免或招标加分，同时组织免费技术培训。

（三）未来技术发展方向与建议

智能化与模块化是节能环保技术的两个主要改进方向。一方面，将物联网传感器与施工管理系统联动，实时监测每台设备能耗、每个用水点的流量及扬尘噪声数值，超出阈值自动报警并记录，便于管理者追溯。另一方面，开发可快速安装拆卸的模块化雨水处理装置、移动式太阳能供电站，使小型工地也能方便使用。建议施工企业在项目策划阶段就将节能环保目标纳入技术标书，明确各项技术的责任人及验收指标。同时，建立绿色施工技术案例库，发布不同气候区、不同工程类型的推荐技术清单，帮助施工人员快速选用合适方案。随着环保法规趋严和公众监督加强，主动应用节能环保技术将成为施工企业提升竞争力的必然选择。

六、结束语

节能环保技术在建筑工程施工中节约资源并显著改善环境。照明与电能管理降电力消耗，水循环减自来水开采，材料节约与废弃物利用降成本，污染控制护生态。技术实施虽有前期投入，但长期经济与环境效益均十分突出。推广过程面临观念资金技能障碍，需要行业政策引导与系统性培训支持。未来随着智能化与模块化发展，节能环保技术将更高效便捷地融入施工流程，推动建筑行业向绿色低碳模式稳步转型。

参考文献

[1] 胡存明 . 节能环保技术在建筑工程施工中的应用研究 [J]. 智能建筑与智慧城市 ,2026(1):129-131.

[2] 赵思栋 . 节能环保技术在建筑工程施工中的应用研究 [J]. 建材发展导向 ,2023,21(24):196-198.

[3] 柴延峰 . 建筑工程施工中节能环保技术的应用研究 [J]. 百科论坛电子杂志 ,2020(7):1775.

[4] 朱学艳 . 基于节能环保技术的建筑工程施工研究 [J]. 中国建筑装饰装修 ,2024(23):83-85.

[5] 李昕 . 建筑工程中节能施工技术的应用研究 [J]. 中国房地产业 ,2020(18):164.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

论述岩土工程深基坑支护的设计及施工问题

杨志军
广东东诚勘测有限公司，广东 惠州 516000
DOI:10.61369/ETQM.2026090013

摘　　要： 文章结合岩土工程施工实际，系统论述深基坑支护的设计要点与施工关键环节，分析当前设计与施工过程中存在的核心难点，包括地质勘察精度不足、支护类型选择不合理、施工工艺不规范等问题，并针对性提出优化措施，旨在完善深基坑支护设计与施工体系，提升工程施工安全性与稳定性，为同类岩土工程深基坑支护工程提供理论参考与实践借鉴。全文围绕设计与施工两大核心，层层递进、重点突出，为岩土工程深基坑支护工作的规范化开展提供支撑。

关 键 词： 岩土工程；深基坑支护；设计及施工；问题

Discuss the Design and Construction Issues of Deep Foundation Pit Support in Geotechnical Engineering

Yang Zhijun
Guangdong Dongcheng Survey Co., Ltd., Huizhou, Guangdong 516000

Abstract: Based on the practical construction of geotechnical engineering, this article systematically discusses the design points and key construction links of deep foundation pit support, analyzes the core difficulties in the current design and construction process, including insufficient geological survey accuracy, unreasonable selection of support types, and non-standard construction technology. Targeted optimization measures are proposed to improve the design and construction system of deep foundation pit support, enhance the safety and stability of engineering construction, and provide theoretical and practical references for similar geotechnical engineering deep foundation pit support projects. The full text revolves around the two core aspects of design and construction, with a step-by-step progression and emphasis on key points, providing support for the standardized development of deep foundation pit support work in geotechnical engineering.

Keywords: geotechnical engineering; deep foundation pit support; design and construction; question

引言

在岩土工程建设中，深基坑支护工程的质量直接关系到整个工程的施工安全、进度控制与成本管控，尤其是在城市中心区域，深基坑开挖深度不断增加，周边建筑物、地下管线密集，地质条件复杂多变，进一步提升了深基坑支护设计与施工的难度。当前，我国岩土工程深基坑支护技术虽不断发展，但在实际工程中，仍存在设计与现场实际脱节、施工工艺不达标、质量管控不到位等问题，易引发基坑坍塌、周边建筑沉降等安全隐患。

一、岩土工程深基坑支护的设计核心要点

（一）地质勘察与资料整合

地质勘察是深基坑支护设计的前提与基础，其精度直接决定设计方案的合理性与安全性。设计前期，需通过现场勘察、取样检测等方式，全面掌握施工区域的岩土体物理力学性质、地下水分布特征、不良地质现象等核心资料，包括土层分布、土壤承载力、孔隙比、渗透系数，以及地下水位埋深、补给方式等关键参数。同时，需整合施工区域周边建筑物、地下管线、交通干道的分布情况，明确周边环境对深基坑支护的约束要求，避免因勘察遗漏或数据偏差，导致设计方案与现场实际不符，引发支护失效。

（二）支护类型的合理选择

深基坑支护类型多样，不同支护方式的适用场景、受力特点与经济性差异较大，合理选择支护类型是设计工作的核心内容。常用的支护类型包括排桩支护、地下连续墙支护、土钉墙支护、钢板桩支护等，设计时需结合地质条件、基坑开挖深度、周边环境、工期要求及成本预算等因素，进行综合对比分析。例如，地质条件较好、开挖深度较浅且周边无重要建筑物的基坑，可采用土钉墙支护，其施工便捷、成本较低；开挖深度较大、周边环境

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

敏感或水文条件复杂的基坑，宜采用地下连续墙支护，其整体刚度大、防渗性强，能有效控制基坑变形；中等深度、地质条件复杂的基坑，可采用排桩 + 锚杆（索）支护，兼顾安全性与经济性[1]。

（三）设计计算与参数把控

设计计算是深基坑支护设计的核心环节，需结合勘察资料与支护类型，建立科学的力学计算模型，精准把控各项设计参数。计算过程中，需重点考虑土压力、水压力、支护结构自重、施工荷载等各类荷载的综合作用，采用合理的计算方法，对支护结构的强度、刚度、抗倾覆能力、抗滑移能力及防渗性能进行全面验算。同时，需严格把控设计参数，包括支护结构的尺寸、材料强度、锚杆（索）的长度与张拉力度、降水或止水方案的参数等，确保各项参数符合规范要求与现场实际。

二、岩土工程深基坑支护设计及施工的核心难点

（一）地质勘察精度不足，设计与现场实际脱节

地质勘察工作做得不够精细，是目前深基坑支护设计面临的一个突出难点，这也让设计方案的合理性和可行性打了折扣。有些工程为了赶工期、省成本，没有认真开展全面细致的地质勘察，只借用附近工程的勘察资料来搞设计，结果勘察数据和现场真实地质情况对不上。比如软土层、砂层、断层、溶洞这些不良地质，勘察时没弄清楚它们的具体分布和特点，设计方案就没办法针对这些问题采取有效办法，基坑边坡失稳、管涌、流沙等风险也就随之增加。另外，有些勘察只盯着基坑内部的地质条件，却忽略了周边建筑物和地下管线的分布状况以及受力情况，导致设计方案没有充分考虑周围环境的影响，施工过程中容易对周边建筑和管线造成破坏[2]。

（二）支护类型选择不合理，适配性不足

支护类型的选择直接关系到深基坑支护的安全性与经济性，而当前许多工程在支护类型选择过程中，存在适配性不足、盲目选型的问题，成为设计与施工的核心难点。部分设计人员未结合现场地质条件、基坑开挖深度、周边环境等关键因素进行综合分析，仅依据过往经验或成本因素选择支护类型，导致支护类型与工程实际需求不匹配。例如，在软土地区采用土钉墙支护，由于软土具有高压缩性、低强度的特点，土钉墙的抗变形能力不足，易导致基坑侧壁位移超标；在周边环境敏感区域采用钢板桩支护，其刚度较小、变形较大，易对周边建筑物、管线造成影响。此外，部分工程过度追求经济性，选择成本较低但安全性不足的支护类型，未充分考虑基坑开挖过程中的各类风险，导致支护结构无法满足强度与稳定性要求；还有部分工程盲目追求高端支护技术，忽略了现场施工条件与成本预算，造成资源浪费，同时增加了施工难度。

（三）施工工艺不规范，质量管控不到位

施工工艺的规范性与质量管控水平，直接决定深基坑支护工程的施工质量，也是当前施工过程中的核心难点。部分施工单位为加快施工进度、降低施工成本，未严格按照设计方案与施工规范开展施工，存在施工工艺不规范、操作不标准的问题。例如，排桩施工中，钻孔偏差、垂直度超标，混凝土浇筑不连续，导致桩体强度不足、出现断桩现象；土钉墙施工中，土钉成孔深度、孔径偏差过大，注浆不饱满，喷射混凝土面层厚度不足，影响支护结构的整体性与稳定性；地下连续墙施工中，成槽垂直度偏差超标，泥浆护壁效果不佳，导致槽壁坍塌，钢筋笼吊装碰撞槽壁，影响墙体质量。

（四）地下水处理不当，引发施工隐患

地下水是影响深基坑支护施工安全的重要因素，地下水处理不当已成为深基坑施工中的常见难点，易引发各类安全隐患。部分工程在设计与施工过程中，未充分考虑地下水的分布特征与影响，未制定科学合理的降水、止水方案，导致施工过程中出现地下水渗漏、管涌、流沙等问题。举例来说，一些基坑的地下水位偏高，却没有布置好降水系统，或者降水速度太快，又或者降水深度不够，结果基坑内部积水，拖慢施工进度，也加大了边坡坍塌的风险。在砂层或粉土地层里面，如果没有装好止水帷幕，地下水就会渗漏进来，引发管涌和流沙，破坏基坑周围的土体稳定。还有些降水方案没顾上周围环境，过度抽排地下水，使得周边地下水位下降，地面跟着沉降，附近建筑物开裂，地下管线也受损。这些问题不光影响施工安全，还可能引来周边居民的纠纷[3]。

（五）监测体系不完善，应急处置能力不足

深基坑支护施工过程中，基坑及周边环境的变形和受力变化是动态的。要想保障施工安全，就得靠完善的监测体系和应急处置能力，这方面目前也是个突出难点。有的工程没有建好监测体系，监测项目不全，像基坑侧壁有没有位移、沉降多少、支撑轴力变化、地下水位高低、周边建筑物沉降这些关键数据，都没有实时去测。还有的设备精度不够，安装也不规范，测出来的数据不准，没法真实反映基坑和周围环境的实际变化。同时，监测数据分析得不及时，没能从数据里预判施工风险，隐患就拖到出问题才发现。另外，有的工程没有制定完善的应急处置方案，应急物资储备不够，应急队伍也没建起来，一旦发生基坑坍塌或者地下水渗漏，根本没法快速有效地处置，结果事故扩大，造成人员伤亡和经济损失。

三、解决岩土工程深基坑支护设计及施工问题的优化措施

（一）强化地质勘察工作，提升勘察精度

解决地质勘察精度不足的问题，可从勘察流程、技术方法、资料分析几方面入手，确保数据准确全面。勘察范围要明确，内容需周全，基坑内部地质条件以及周边建筑物、地下管线、交通干道的分布和受力情况都应详细调查，以掌握施工区域的地质、水文及周边环境全貌。技术手段上宜多种方法并用，钻探、物探、原位测试相结合，提高数据精度。对软土、砂层、断层、溶洞等不良地质，需重点排查，弄清其分布范围、基本特性及对工程的影响。勘察资料的分析解读也要跟上，由专业技术人员深入

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

研究数据，预判施工中可能出现的地质风险，为支护设计方案的制定与优化提供科学依据。此外，还应建立勘察资料审核制度，保证报告真实、准确、完整，避免因资料问题导致设计与现场脱节[4]。

（二）优化支护类型选择，提升适配性

要想解决支护类型选得不对、和实际匹配不好的问题，可以建立一个合理的选型办法，根据工程需要把支护类型选合适。设计人员应当把各类支护形式用在什么场合、受力特点怎么样、成本高低、好不好施工都弄清楚，再结合现场地质条件、基坑挖多深、周边环境、工期长短、预算多少等因素，综合比选，拿出几种不同的支护方案，从技术、经济、安全几个角度去评估，最后挑出最合适的那一个。设计与施工之间也要衔接顺畅，设计人员最好到现场看一看，了解施工条件和施工能力，保证设计方案能真正干出来，不能搞得太复杂或者不符合现场情况，免得增加施工难度。

（三）规范施工工艺，强化质量管控

规范施工工艺、强化质量管控是提升深基坑支护施工质量的关键，需从施工流程、操作标准、质量检查等方面入手，建立完善的施工质量管控体系。明确施工工艺标准，严格按照设计方案与施工规范，制定详细的施工流程与操作细则，对排桩、地下连续墙、土钉墙等支护结构的施工工艺进行规范，明确各施工环节的技术要求，例如，排桩施工中，严格控制钻孔偏差、垂直度及混凝土浇筑质量，避免出现断桩现象；土钉墙施工中，确保土钉成孔精度、注浆饱满度及喷射混凝土面层厚度达标。其次，加强施工过程中的质量检查，建立“事前检查、事中控制、事后验收”的质量检查体系，对施工关键环节进行全过程监督检查，及时发现并整改施工过程中的质量隐患。同时，加强对施工人员的培训与管理，提高施工人员的专业技能与质量意识，确保施工操作规范、标准，避免因人为操作不当导致施工质量问题[5]。

（四）优化地下水处理方案，防范地下水隐患

针对地下水处理不当的问题，需结合施工区域的水文条件，制定科学合理的降水、止水方案，有效防范地下水引发的施工隐患。首先，在设计阶段，结合地下水位埋深、渗透系数等参数，选择合适的降水、止水方式，例如，地下水位较高、渗透系数较大的砂层地区，可采用管井降水 + 止水帷幕的组合方式，既能有效降低地下水位，又能防止地下水渗漏；地下水位较低、土层渗透性较差的地区，可采用轻型井点降水或集水明排的方式，降低施工成本。其次，在施工过程中，严格按照降水、止水方案开展施工，控制降水速度与降水深度，避免过度降水或降水不足，同时加强对降水系统的维护与管理，确保降水系统正常运行。此外，加强对地下水的监测，实时掌握地下水位的变化情况，根据监测数据及时调整降水方案，避免因地下水变化引发管涌、流沙、地面沉降等问题，同时做好周边环境的保护工作，减少降水对周边建筑物、地下管线的影响。

（五）完善监测体系，提升应急处置能力

完善监测体系、提升应急处置能力，是保障深基坑支护施工安全的重要支撑，需从监测系统建设、数据解读、应急处置等方面入手，建立全方位的安全保障体系。首先，建立完善的监测体系，明确监测项目、监测频率及监测标准，重点监测基坑侧壁位移、沉降、支撑轴力、地下水位、周边建筑物沉降、地下管线变形等关键指标，配备高精度的监测设备，确保监测数据的准确性与实时性。其次，加强监测数据的分析解读，安排专业技术人员对监测数据进行实时分析，及时发现数据异常情况，预判施工风险，当监测数据达到预警值时，立即启动预警机制，采取针对性的防控措施。

四、结束语

岩土工程深基坑支护的设计与施工，直接关系到工程施工安全、周边环境稳定及工程整体质量，是岩土工程建设中的核心环节。文章指出当前设计与施工过程中存在的地质勘察精度不足、支护类型适配性差、施工工艺不规范、地下水处理不当、监测体系不完善等核心难点。针对这些难点，提出了强化地质勘察、优化支护类型选择、规范施工工艺、优化地下水处理方案、完善监测体系及提升应急处置能力的优化措施。通过落实各项优化措施，能够有效完善深基坑支护设计与施工体系，提升工程安全性、经济性与稳定性，为同类岩土工程深基坑支护工程提供理论参考与实践借鉴，推动岩土工程行业高质量发展。

参考文献

[1] 梁枫 . 基于岩土工程勘察的深基坑支护设计及施工问题研究 [J]. 模型世界 ,2025(29):198-200.

[2] 赵训洲 . 基于岩土工程勘察的深基坑支护设计及施工问题研究 [J]. 中国住宅设施 ,2024(6):43-45.

[3] 赵世清 . 岩土工程深基坑支护的设计及施工问题 [J]. 建材与装饰 ,2023(10):45-47.

[4] 张恩重 . 岩土工程深基坑支护设计与施工中存在的问题及对策 [J]. 工程技术研究 ,2020,5(12):207-208.

[5] 邱军 . 岩土工程深基坑支护的设计及施工问题研究 [J]. 建材与装饰 ,2019(4):80-81.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

探讨建筑监理对施工现场的协调工作的开展

张伟辉
广州创源汇美工程建设监理有限公司，广东 广州 511300

DOI:10.61369/ETQM.2026090015

摘　　要： 建筑监理在施工现场的协调工作对于保障工程质量、安全及进度具有重要意义。监理通过消除施工中的不利因素、优化资源配置、协调各方部门关系，有效提升施工效率与管理水平。为有效开展协调工作，需提高监理人员素质，坚持事实与法规依据，健全施工现场标准化管理，并全过程监督施工材料质量与施工安全。强化监理的协调职能，有助于减少施工矛盾，控制成本，实现项目整体效益最大化。

关 键 词： 建筑监理；施工现场；协调

Exploring the Coordination Work of Construction Supervision on the Construction Site

Zhang Weihui
Guangzhou Chuangyuan Huimei Engineering Construction Supervision Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 511300

Abstract: The coordination work of construction supervision at the construction site is of great significance for ensuring the quality, safety, and progress of the project. Supervisors effectively improve construction efficiency and management level by eliminating unfavorable factors during construction, optimizing resource allocation, and coordinating relationships among various departments. To effectively carry out coordination work, it is necessary to improve the quality of supervision personnel, adhere to factual and regulatory basis, improve standardized management of construction sites, and supervise the quality of construction materials and construction safety throughout the entire process. Strengthening the coordination function of supervision can help reduce construction conflicts, control costs, and maximize overall project benefits.

Keywords: construction supervision; construction site; coordinate

引言

建筑工程涉及多方主体与复杂工序，施工现场经常面临资源配置、部门协作及安全质量等多重挑战。建筑监理作为独立的第三方，不仅承担质量监督与安全管控职责，更在协调各方关系中发挥关键作用。有效的现场协调能够消除施工不利因素、优化资源利用、化解矛盾冲突，从而保障工程顺利推进。实际工作中协调不力往往影响进度与品质，因此深入探讨建筑监理对施工现场开展协调工作的路径与策略，对于提升工程综合效益具有重要现实意义。

一、建筑工程监理的概述

建筑工程监理指的是在工程建设期间，由持有专业资格的监理工程师或监理机构承担监督职责，保障建设项目按照设计图纸、技术标准、相关法规开展施工作业，最终达到预期的品质、安全性、工期以及经济性等要求。监理的核心任务是对施工全过程实施跟踪检查与质量核验，及时发现并纠正工程中出现的各类问题，从而保证工程质量，维护工程的安全、经济与合理性。

建筑工程监理具备以下几个方面的特征。其一，专业要求较高。监理人员需要掌握扎实的工程专业知识，准确理解施工规范、设计意图与质量标准，能够对施工过程进行全程监督与检验，并能分析解决现场遇到的技术问题。其二，工作保持独立。监理单位独立于建设方和施工方之外，作为第三方机构，其主要职责是监督施工状况与工程质量，保障建筑项目合法、安全、优质，同时维护各方利益。其三，覆盖全程检验。监理工作贯穿工程施工的各个环节，从前期规划、设计阶段直到后期验收与维护阶段，均需进行持续监控与检验，确保工程品质与安全。其四，提供技术支持。监理人员在施工现场向施工方提供技术指导与帮助，协助解决作业中出现的难题，并提出专业建议，以此提升施工效率与工程质量。

二、建筑监理在协调工作中的重要性

（一）合理的施工现场监理能够保障建筑工程的最终质量

监理工作可以规范建筑材料的质量要求和用量标准，确保搭建过程中不会因材料本身缺陷或用法用量偏差而引发结构质量问

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

题。同时，这种监督也能避免建筑建成投入使用之后，由于施工阶段管控不到位而出现异常损坏，从而防止对使用者造成伤害[1]。

（二）施工现场监理还能最大程度保护施工人员的安全

建筑工地上许多作业人员对精细化的材料使用标准并不熟悉，监理可以对施工人员的具体操作进行规范。这一方面有助于保障人员在施工现场的人身安全，减少因不当操作而导致的自我伤害；另一方面也能促使施工人员对建筑工程负起责任，确保材料配比准确、测量与安装环节可靠，从而营造更加安全的作业环境。监理人员巡查指导，提前排除隐患，引导规范操作，使安全保护贯穿全过程，从而可显著地降低风险。

三、建筑监理的协调职能

（一）消除施工中的不利因素

施工现场包含场地、人员、设备、材料等多个构成单元，每一个单元都可能成为干扰施工进度与工程质量的因素。建筑监理需要主动识别并消除这些不利于施工活动开展的因素，从而确保施工按计划推进并达到预期质量要求。

建筑材料在建筑工程中占据重要地位，也占用了较高的成本支出比例。监理方应对工程设计方案进行细致的专业分析与预算评估，严格审核材料采购标准，剔除那些影响成本控制与质量保障的不利条件。在保证材料采购质量符合要求的前提下，合理降低施工成本，实现资源优化配置。此外，施工安全始终是建筑工程顺利推进的根本前提，保障施工作业安全同样是监理工作的一项关键职能。监理方需协调好与施工单位之间的工作关系，明确各自的安全责任，推动安全施工措施落到实处，为后续各项作业创造良好条件[2]。

（二）优化资源配置

建筑工程项目的人力、物力、财力等资源大多集中于施工现场，建筑监理需要对这些资源进行合理优化，才能保障施工质量并提升企业效益。监理应结合现场实际情况与施工方案，推动各项资源高效利用。人力方面，监理需检查各工种人员配备是否充足且技能匹配，避免人员闲置或关键岗位缺人。物力方面，监理关注机械与材料的进场时间和存放条件，确保设备完好、材料无损耗并按序供应。财力方面，监理通过审核工程量与付款申请，控制资金节奏，防止超前支付。

当施工计划因设计变更或现场条件调整时，监理应及时评估原资源配置方案，必要时组织各方协商调整资源投入。例如大型机械的使用需配合各工序，监理可提出调度建议减少冲突。同时借助资源台账比对实际消耗与预算，发现浪费及时预警。资源配置越细致，施工现场混乱程度就越低。监理在资源配置环节的作用，不仅是技术把关，更是对项目整体效益的有力支撑。

（三）协调部门关系

建筑工程施工部门的组成较为多样，监理单位之外还包含设计单位、施工单位、承包单位等多个不同主体。如果承接的工程项目属于市政工程，还需要联系政府方面的多个部门。这些部门之间存在管理关系与接受管理关系、检查关系与接受检查关系等不同性质的联系。在建筑工程施工管理过程中，由于各方出发点不同或工作方式存在差异，很容易产生一些不必要的矛盾。

为了使各部门之间的工作能够有序推进，需要建筑监理发挥中间的协调作用。监理方应及时发现矛盾源头，采取合理的沟通方式解决问题或缓解冲突，避免发生不愉快的事件而影响施工进度。监理并不直接参与各方的具体业务，而是站在工程整体目标的角度，帮助各方找到利益平衡点。

通过监理的协调，设计单位提出的技术变更能够顺畅传达给施工单位，承包单位遇到的现场困难也能及时反馈给相关方。政府部门的检查要求同样需要监理协助传达与落实。这样一来，各部门各司其职又相互配合，工程建设的整体效率就能得到有效保障[3]。

四、建筑监理对施工现场开展协调工作的有效策略

（一）提高监理人员素质

建筑工程涉及多个施工部门，施工过程中各个环节也比较复杂。建筑监理人员需要协调各部门之间的利益关系，防止因缺少沟通而引发冲突。在施工现场，监理人员还要保证资源配置的合理性，及时处理遇到的各种问题，有效控制施工成本，在保证质量的同时实现效益最大化。

提高监理人员素质是做好协调工作的基础。增强监理人员的责任感，使其具备良好的职业素养，这样在协调过程中才能目标明确，处理好各部门之间的关系。监理人员应当做到公平、公正，不偏袒任何一方。面对施工各部门在施工现场的不同情况，灵活运用协调技巧，使各个环节都能有序推进，从而有利于施工进度的顺利开展。

具体而言，高素质的监理人员需要掌握沟通技巧、熟悉合同条款、了解施工工艺，并具备快速判断问题的能力。通过定期培训、案例分析和经验交流，可以逐步提升监理团队的整体水平。一个责任心强、素养过硬的监理团队，能够在复杂的施工环境中找到各方都能接受的解决方案，减少内耗，提升协调效率。只有监理人员自身素质得到保障，现场协调工作才能真正落到实处。

（二）协调工作立足事实与法规

建筑监理在实施协调工作的过程中，需要确保每一个环节都有明确的事实依据和法律支撑。监理人员应当充分运用自身的协调能力，使协调工作具备相应的权威性。在这样的基础之上，工作氛围可以保持严肃而不失活泼，积极且向上。

监理协调各方单位之间的关系时，既要坚持基本原则，也要体现人性化执法的一面。针对不同的协调对象和协调情境，监理人员可以采用多样化的协调方法，以便更有效地拉近各单位之间的距离。协调工作不能脱离国家有关法律法规的框架，同时也需要结合建筑施工过程的各类规范要求。

监理人员还应当尊重所有施工单位各自的现场运行情况，了解各方的实际困难与需求。只有在充分掌握事实情况的前提下，才能帮助各方搭建更好的沟通渠道与合作平台。通过有理有据的协调，各单位之间的配合更加顺畅，施工过程中的矛盾也能得到

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

及时化解，从而为整个工程创造良好的合作环境[4]。

（三）健全施工现场标准化管理

监理人员要想让施工管理在各项规定与要求方面保持一致，就需要把抽象的管理思路转化为可执行的标准操作细则，从而让工作指标实现数量化。标准化管理机制一旦建立，各项规章制度就会更加完善，监理内部人员的管理行为也能得到持续规范，这样每个人的责任范围就会更加清晰。

一个统一的标准化管理体系，有助于对内部人员开展公正的评价，同时也能在团队成员之间形成适度的竞争氛围，这对提升监理工作水平有很大促进作用。标准化管理的推行，不仅限于人员行为规范，还应延伸至工程建设中的施工进度与资金使用两个关键环节。

监理方应当借助量化手段，对施工进度进行节点控制，对资金支出进行预算核对。施工单位也需要严格遵守合同方案，按照约定的内容执行各项任务，确保作业活动不偏离计划轨道。通过健全标准化管理，施工现场的秩序得到有效维护，各方行动有据可依，施工活动能够更加顺畅地推进[5]。

（四）全过程监督施工材料质量

施工材料的质量控制直接关系建筑工程的整体质量与施工进度。现场监理人员有必要加强对施工材料的监督管理力度，确保材料环节不出现疏漏。

在材料选购阶段，施工监理人员需要参与实地考察，确认材料的质量与标准能够满足建筑施工要求，从源头减少不合格材料进入现场。材料进场时，监理工作人员应当对所有材料进行检查与检测，核对规格、数量及外观质量，只有检验合格的材料才能允许使用。同时监理需确保材料按标准存放，不同品种分区堆放，防止受潮或混淆。存放期间，监理应组织定期抽查，防止材料因存放环境变化而出现损坏或变质。一旦发现异常，及时通知施工方处理。

通过上述全程监督，监理能严格控制材料从采购到使用的各个环节，形成质量追溯链条。不合格材料需立即退场并记录在案，避免后续施工因材料问题而返工或延误。

（五）重视施工安全监管

安全管理在任何项目中都属于核心工作内容。现场监理工作人员需要具备较强的安全意识，严格依照相关安全监督管理工作要求开展工程监督管理。监理应提前识别各类施工中可能出现的安全事故与隐患，尤其加强对容易发生安全事故的作业环节和关键位置的重点监管。

结合以往工作经验，监理可以预估施工中可能暴露的安全问题，在努力降低不良事件发生率的同时，做好相应的事故应急预案。组建应急小组，对小组成员进行基本应急措施培训，提升全体施工参与人员的安全意识。提前制定各类安全管理的预算方案，依据实际施工状况，有序推进安全管理工作。

如果施工过程中出现任何突发事件，监理需要及时响应并处理。集合应急小组，迅速联系相关救助人员，确保现场人员安全问题得到妥善处置之后，再调查突发事件的发生原因，进行整改和完善。通过这样的方式，可以有效避免施工过程中各类安全事故的反复出现，逐步提升施工安全质量。

监理还应定期组织安全演练，检验应急预案的可操作性，及时发现预案中的漏洞并加以修正。安全监管工作不能停留于表面检查，而应深入每个作业班组、每个高风险工序，确保安全规定落到实处。只有将安全监管贯穿施工全过程，才能真正为工程建设提供坚实的安全保障。

五、结束语

建筑监理在施工现场的协调是保障工程质量、安全与进度的关键。通过消除不利因素、优化资源配置、协调多方关系，监理减少矛盾冲突，提升施工效率。提高监理人员素质、立足事实法规、健全标准化管理、全过程监督材料质量、强化安全监管等策略，为协调工作提供了可行路径。将协调职能贯穿施工始终，才能发挥监理独立性与专业性优势，促进各方协同配合，降低施工风险，实现综合效益。施工现场协调成效直接反映监理工作核心价值。

参考文献

[1] 刘德波，董鲁杰 . 浅议建筑监理对施工现场的协调工作的开展 [J]. 工程管理与技术探讨，2025，7(18).

[2] 马中军 . 浅议建筑监理对施工现场的协调工作的开展 [J]. 大陆桥视野，2023(8)：134-135.

[3] 薛磊 . 建筑工程监理对施工现场的协调工作的开展 [J]. 建筑工程技术与设计，2020(30)：1401.

[4] 孙广学 . 浅议建筑监理对施工现场的协调工作的开展 [J]. 房地产导刊，2020(36)：154.

[5] 胡杰 . 试论建筑工程监理对施工现场的协调工作的开展 [J]. 建筑工程技术与设计，2020(34)：4341.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

基于 SolidWorks Motion 分析的贝壳去壳设备的设备设计和刚体动力学分析

杨天淳，何政洋
四川大学锦江学院，四川 眉山 620860
DOI:10.61369/ETQM.2026090017

摘　　要： 以全自动贝壳去壳设备中的振动筛网模块和破碎装置模块为研究对象，采用 SolidWorks Motion 开展刚体动力学建模与仿真分析。在 SolidWorks 中完成两个模块的三维实体建模及关键零部件的强度校核与行程分析。基于牛顿－欧拉法构建动力学方程，并在 SolidWorks Motion 环境中分别完成正向与逆向动力学仿真。振动筛网模块重点分析了曲柄滑块机构的运动精度、关节反力与反力矩变化规律。仿真提取了力、力矩及位移、速度、加速度等关键运动参数随时间的变化曲线。所获得的载荷与运动数据可为后续设备的动平衡改进、结构参数标定以及整机动态性能优化提供数值参考。

关 键 词： 贝壳去壳设备；振动筛网；建模；仿真；SolidWorks；SolidWorks Motion

Equipment Design and Rigid Body Dynamics Analysis of Shellfish De-shelling Equipment Based on SolidWorks Motion

Yang Tianchun, He Zhengyang
Sichuan University Jinjiang College, Meishan, Sichuan 620860

Abstract: This paper takes the vibrating screen module and crushing device module of a fully automatic shellfish de-shelling equipment as the research objects, and employs SolidWorks Motion for rigid body dynamic modeling and simulation analysis. Three-dimensional solid modeling of the two modules and the strength check and stroke analysis of key components are completed in SolidWorks. The dynamic equations are established based on the Newton-Euler method, and both forward and inverse dynamic simulations are carried out in the SolidWorks Motion environment. For the vibrating screen module, the analysis focuses on the motion accuracy, joint reaction force, and reaction torque variation of the crank-slider mechanism. The simulation extracts the variation curves of force, torque, and key motion parameters such as displacement, velocity, and acceleration over time. The obtained load and motion data can provide numerical references for subsequent dynamic balance improvement, structural parameter calibration, and overall dynamic performance optimization of the equipment.

Keywords: Shellfish de-shelling equipment; vibration screen; modeling; simulation; SolidWorks; SolidWorks Motion

贝壳去壳效率与壳肉完整度直接影响产品价值。日本、冰岛等国已实现热激、高压水射流及辊压式去壳设备的产业化，但对原料一致性要求高且技术受封锁 [1]。国内样机多基于曲柄滑块敲击与振动筛分原理，设计以经验和静力学校核为主 [2]；少数仿真研究模型过度简化，难以反映力与运动的耦合规律 [3]。刚体动力学仿真是解决该问题的有效途径，其中牛顿－欧拉方法物理意义明确、递推规范，适用于连杆机构的动力学求解 [4]；SolidWorks Motion 可直接对接三维模型，在传动与筛分设备中应用广泛，但在全自动贝壳去壳装置的系统级仿真中尚不多见 [5-6]。本文首先对振动筛网与破碎装置模块进行三维建模及强度校核，基于牛顿－欧拉法建立动力学方程，利用 SolidWorks Motion 完成正、逆动力学仿真。通过分析关键部件的运动与载荷曲线，检验额定工况下的动态可靠性，为结构优化提供数值参考 [4-5]。

作者简介：杨天淳（2006.09—）男，汉族，四川成都人，本科，研究方向为机械设计制造及其自动化。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

一、去壳设备方案

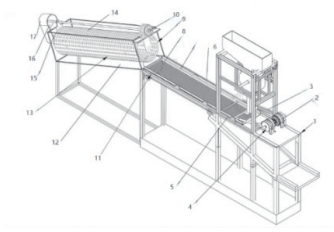


图1 贝壳去壳装置模型图

（一）零部件设计及尺寸计算

（1）偏心轮：图2-3,45号钢，调质，屈服≥355 MPa；轮径100 mm，偏心距70 mm。

（2）压头；图2-3,20mm厚硅胶，邵氏60~70HA，弹性模量5~10MPa。

（3）连杆：如图1-5，Q235钢，矩形截面30×15mm，长200mm，两端铰接。

（4）驱动装置：如图1-4，伺服电机，1.0kW，300r/min，额定转矩31.83N·m。

（5）振动筛网：如图1-10，304不锈钢，850×1600mm，筛孔12mm，倾斜1~5cm。

（二）应力计算与强度校核

（1）偏心轮与压头的冲击力计算

贝壳壳体破碎力根据实测约为200-500N，取最大破碎力F=500N。冲击力通过压头传递至连杆和偏心轮。曲柄长R=70mm，连杆长L=200 mm，连杆最大摆角$\phi max=arcsin(R/L)=arcsin(0.35\approx20.5°$。取连杆与竖直方向最大夹角$\alpha=20.5°$，则连杆承受的轴向力：$Fl=F/cos\alpha=500/cos20.5°\approx534N$。

（2）连杆强度校核

连杆截面积$A=30\times15=450mm^2$，连杆压应力$\sigma=Fl/A=534/450\approx1.19MPa$，连杆两端铰孔处挤压应力：铰孔直径d=12 mm，孔壁厚度t=15 mm，挤压面积$Ab=d\times t=12\times15=180mm^2$，挤压应力$\sigma b=Fl/Ab=534/180\approx2.97$ MPa。Q235钢材屈服强度$\sigma s=235$ MPa，安全系数$n=\sigma s/\sigma max=235/2.97\approx79.1$，强度裕量充足。

（3）偏心轮轴强度校核

轴径ds=25 mm，承受扭矩T=31.83N·m。扭转剪应力$\tau=T/Wt$，其中$Wt=\pi ds^3/16=\pi\times25^3/16\approx3068mm^3$，$\tau=31.83\times10^3/3068\approx10.37MPa$,45号钢许用剪应力$[\tau]\approx0.6\times355=213$ MPa，$\tau<[\tau]$。弯曲应力远低于许用值，轴强度满足要求。

（4）处理能力验证

单次冲击处理贝壳量约0.05kg，冲击频率300次/min，每小时理论处理量约$0.05\times300\times60=900kg/h$。总处理能力可达3吨/小时以上，满足设计指标。

（三）曲柄滑块行程分析

振动筛网模块采用曲柄滑块机构，实现对贝壳壳体和壳肉的筛选。根据设备技术参数，曲柄转速为300r/min，行程为140mm。曲柄长度R=140/2=70mm。曲柄滑块机构的运动方程如下：滑块位移方程：$x=R(1-\cos\theta)+L(1-\cos\phi)$，式中，$\theta$为曲柄转角，$\phi$为连杆摆角，L为连杆长度，取L=200mm。由于R/L=0.35，属小比值机构，可近似认为连杆摆角ϕ的影响较小，简化分析中滑块行程近似等于2R=140mm。在额定转速300r/min下，曲柄角速度$\omega=2\pi\times300/60=31.42rad/s$。滑块最大速度近似发生在$\theta=90°$时，$vmax\approx\omega R=31.42\times0.07=2.20$ m/s。

综上所述，柔性去壳机构的曲柄滑块行程参数、零部件尺寸及材料选择均满足强度和使用要求，为后续SolidWorks Motion动力学仿真分析提供了准确的边界条件和载荷数据。

二、SolidWorks建模与SolidWorks Motion仿真设置



图2 SolidWorks装置建模图

（一）动力学分析方法

针对振动筛网和破碎装置的动力学分析，主要实现：检验额定工况下运动平稳性与位移、速度的精度；揭示驱动力、约束力及力矩的变化规律，为电机选型与结构减重、刚强度优化提供依据；校核满载承载和运动能力，防止驱动力不足或过载失效。因物理样机试验成本高、周期长且极限工况有危险，选用SolidWorks Motion进行刚体动力学仿真。在方法比较中，牛顿-欧拉递推法物理意义清晰、便于编程；欧拉-拉格朗日法方程构建繁琐；李群李代数方法过于抽象。最终采用牛顿-欧拉法建立动力学方程，并借助该工具完成数值仿真，以平衡理论严谨性与工程实用性。

（二）SolidWorks Motion仿真设置

振动筛网模块是仿真分析的重点，其运动核心为曲柄滑块机构。首先在SolidWorks中完成三维建模，并按实际装配关系组装。启动SolidWorks Motion插件后，对曲柄回转副和滑块移动副分别添加运动约束，同时设置导轨与振动板之间的接触约束及摩擦参数。

曲柄驱动按额定工况设置：转速为300r/min，仿真时长为5s，步长取0.0005s。为模拟3t/h处理量下的物料负载，在振动板上表面施加3000N的均布压力。在曲柄轴处布置旋转速度与位移传感器，在曲柄与连杆的铰接点处设置反作用力和反作用力矩传感器，用于提取后续分析所需的运动及动力响应曲线。通过上述设置，可以较为准确地捕捉曲柄滑块机构在额定工况下的运动精度、关节载荷以及整体筛分平稳性。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

三、SolidWorks Motion 仿真结果

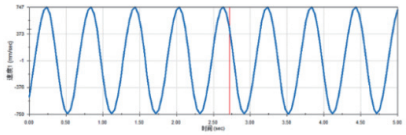


图3 振动筛网曲柄处线性速度

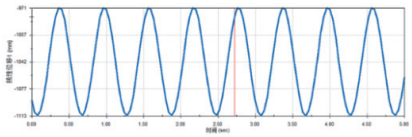


图4 振动筛网曲柄处线性位移

仿真结果表明：滑块实际行程约147 mm，与设计值140 mm偏差约5%，主要源于铰接间隙和接触刚度等非线性因素，在允许范围内。速度曲线呈正弦规律，启动峰值563 mm/s，稳态最大速度2.18 m/s，与理论值2.20 m/s接近，运动平顺无突变。铰链反力峰值约680N，比静力校核值534 N偏高27%，主要来自惯性力（滑块质量1.2 kg）和冲击偏角，但远低于材料屈服极限；反力矩最大约12.5 N·m，电机额定转矩31.83 N·m，裕量超过60%。筛面沿导轨往复移动平稳。综上，振动筛网的运动精度与动力裕量满足3 t/h处理能力要求。获得的载荷与运动数据可为后续动平衡调整和结构参数标定提供数值参考

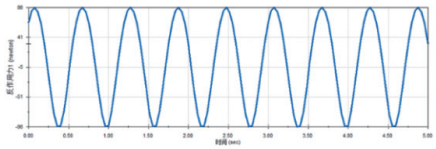


图5 振动筛网曲柄处反作用力

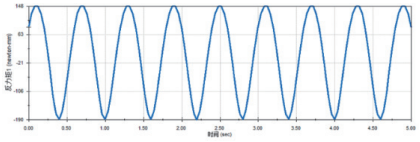
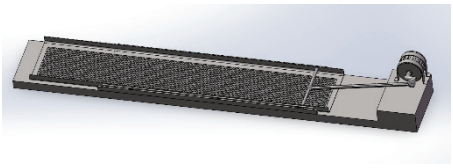
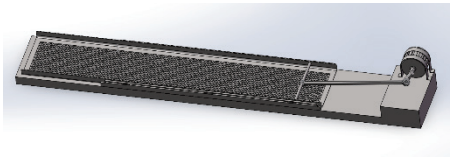


图6 振动筛网曲柄处反力矩





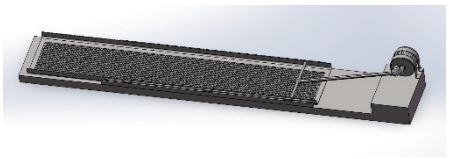


图7 模型在仿真软件中1s,3s,5s的状态

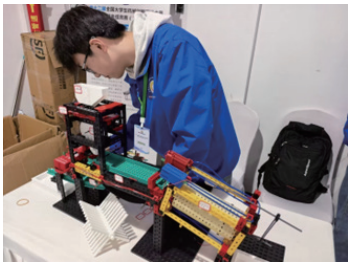


图8 模型慧鱼实物图

图8所示模型在第12届全国大学生机械创新设计大赛中荣获二等奖。

四、结论

本文利用SolidWorks软件，对全自动贝壳去壳设备的振动筛网模块做了三维建模和刚体动力学仿真。仿真结果来看，在额定工况下，振动筛网的运动参数和关节力都处在设计允许的范围内，曲柄驱动电机的转矩裕量比较充足，偏载带来的影响也可控；破碎装置这边，刀辊旋转平稳，实际受到的冲击力矩远低于驱动电机的输出能力，结构强度能满足长期运行要求。这些仿真数据能为后续的整机轻量化、多工况载荷谱研究和疲劳寿命评估提供比较可靠的数值依据和参数化模型基础。

参考文献

[1] 欧阳杰，张军文，谈佳玉，沈建. 贝类开壳技术与装备研究现状及发展趋势 [J]. 肉类研究，2018，32(5)：64-68.

[2] 王珩. 贝类脱壳机设计 [D]. 大连海洋大学，2013.

[3] 浦宏毅，李再参，叶愈，等. 基于Solidworks-Motion的旋耕机动力学仿真 [J]. 科学技术创新，2020,(35):76-77.

[4] 冯志友，张燕，杨廷力，等. 基于牛顿欧拉法的2UPS-2RPS并联机构逆动力学分析 [J]. 农业机械学报，2009,40(04):193-197.

[5] 崔舒然，李光，许光明，孙文良，马明洋，张冲，赵春凯. 条耕机碎土辊仿形装置的仿真与试验 [J]. 农业与技术，2024，44(21)：36-39.

[6]YAMAMOTO K. Food shucking of bivalves by high hydrostatic pressure treatment[J]. Journal of the Japanese Research Group of High Pressure Bioscience and Biotechnology，2008，2(1)：190-194.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

集中式光伏发电项目全流程管理措施研究与应用探讨

苏云
云南华电金沙江中游水电开发有限公司阿海发电分公司，云南 丽江 674122
DOI:10.61369/ETQM.2026090018

摘　　要： 在“双碳”战略深化推进背景下，集中式光伏发电项目凭借规模优势成为新能源发展核心方向。本文结合现有项目管理实践与相关研究，聚焦集中式光伏发电项目全流程管理，梳理各环节管理痛点，整合前期策划、工程建设、运营维护等关键环节的实用管理措施，结合资料中具体案例与数据支撑，探讨管理措施的落地路径，为提升项目建设质量、降低运营风险、保障全生命周期效益提供可借鉴的实践参考。

关 键 词： 集中式光伏发电；全流程管理；工程建设；运营维护；管理措施

Research and Application of Full Process Management Measures for Centralized Photovoltaic Power Generation Projects

Su Yun
Yunnan Huadian Jinsha River Midstream Hydropower Development Co., Ltd. Ahai Power Generation Branch, Lijiang, Yunnan 674122

Abstract: Against the backdrop of deepening the "dual carbon" strategy, centralized photovoltaic power generation projects have become the core direction of new energy development due to their scale advantages. This article combines existing project management practices and related research, focuses on the full process management of centralized photovoltaic power generation projects, sorts out the pain points of each link management, integrates practical management measures for key links such as early planning, engineering construction, operation and maintenance, and explores the implementation path of management measures based on specific cases and data support in the materials. It provides practical references for improving project construction quality, reducing operational risks, and ensuring full life cycle benefits.

Keywords: centralized photovoltaic power generation; full process management; engineering construction; operation and maintenance; management measures

引言

全球能源转型与我国“双碳”目标驱动下，光伏发电产业实现规模化高质量发展。2024年上半年，全国太阳能发电新增1.02亿千瓦，占全国新增电力装机的76%，其中集中式光伏因效益优、稳定性强占据重要地位。但此类项目建设周期长、环节复杂，易出现质量安全隐患与成本失控问题，全流程管理成为破解困境、保障项目效益的关键。

一、集中式光伏发电项目全流程管理核心内涵与现存痛点

（一）全流程管理核心内涵

集中式光伏发电项目全流程管理，覆盖项目前期策划、工程设计、施工建设、生产运营全阶段，核心是通过系统化、精细化管控，协调各环节资源，明确各主体权责，实现项目质量、安全、成本、进度的协同管控[1]。不同于单一环节管理，其核心要义在于“全链条闭环”，从前期手续办理到后期运维保障，每一个节点都需衔接顺畅、管控到位，确保项目全生命周期平稳运行[2]。

（二）现存核心管理痛点

结合资料中项目实践来看，当前集中式光伏全流程管理仍存在诸多突出问题。部分项目前期策划仓促，土地、电力接入等手续办理不规范，易埋下合规风险[3]；工程设计阶段存在照搬模板现象，未结合项目场址气象、地质条件因地制宜，导致后期施工隐患；施工过程中物资供应衔接不畅、质量检验不严，光伏组件隐裂、支架固定不牢等问题频发；运营阶段运维团队专业不足，应急处置能力薄弱，难以应对极端天气与设备故障。

（三）管理痛点产生的核心原因

深入分析不难发现，管理痛点的产生与多重因素相关[4]。部分项目业主过度追求建设进度，忽视前期策划与设计的重要性，甚至压减设计费用，导致设计方案缺乏实操性；管理体系不完善，各环节权责划分模糊，部门间协同不畅，出现问题相互推诿；管理人员与施工人员专业素养参差不齐，缺乏系统培训，对关键环

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

节管控不到位；同时，部分项目未建立完善的风险管控与应急机制，应对政策、自然等风险的能力不足[5]。

二、集中式光伏发电项目全流程管理各阶段核心要求

（一）前期策划阶段：筑牢合规基础

前期策划的重要性远超后续实施，核心要抓牢手续办理与可行性论证两大关键。光伏场区与升压站用地性质不同，需分别核实土地规划、生态红线等关键信息，升压站用地还要按规定完成永久征地手续，各类手续办理不能有丝毫马虎[6]。开展全面调研摸清场址辐照资源、地形条件，才能合理确定建设规模与技术路线，盲目推进只会埋下诸多隐患。

（二）工程设计阶段：突出因地制宜

设计工作绝对不能走“照搬模板”的捷径，组织设计人员深入现场踏勘，把气象、地质、电力接入等真实数据全部收集到位才是关键。内蒙古、新疆等风雪荷载大的区域，要合理设定支架设计标准，重点加固那些容易出问题的薄弱部位；沿海台风多的地方，螺栓与压块结合的组件固定方式更稳妥，能有效避免组件损坏，设备选型和电气设计也要同步优化，让方案既科学又好落地。

（三）施工建设阶段：严控质量安全

质量安全是施工阶段的底线，选对优质承包商、搭建完善的项目管理体系缺一不可[7]。图纸会审必须严格把关，不然设计与实际脱节会带来很多麻烦，光伏组件、支架这些关键物资，进场时要仔细核查合格证明，还要抽样复验，桩基、支架安装等关键工序的质量检测不能松懈，施工损耗和安全隐患要时刻盯紧。

（四）运营维护阶段：保障长效稳定

项目发电效益和使用寿命，全靠运营维护来支撑，完善的运维管理制度和专业团队是核心保障。运维人员要定期培训提升专业能力，做好设备日常巡检和定期检修，智能巡检技术能高效排查组件、逆变器等设备故障，极端天气应急预案要提前制定好，财产险、安全生产险也要及时购买，合理转移运营风险才能让项目长期稳定运行[8]。

三、集中式光伏发电项目全流程管理措施落地路径与实践应用

（一）前期策划阶段：细化手续管理，强化可行性论证

前期策划需秉持“策划重于实施”的理念，拆分各项手续办理节点，每个节点明确具体责任人与完成时限[9]。光伏场区多采用租赁用地，土地手续办理中，区分光伏场区与升压站用地性质，提前核实土地规划、矿权等信息，需提前核查土地性质、矿权归属，确认不触碰生态红线与历史文化保护线；升压站及外送线路属永久建筑，必须按当地要求办理建设用地使用权批复，部分省市允许的塔基“以租代征”需留存完整备案资料。电力接入手续需分两步推进，先提交电力消纳报告取得接入意见，再编制接入系统设计报告并获得电网公司批复。同时，开展全面的可行性论证，结合场址辐照数据、市场电价波动，合理确定项目容量与投资额度，邀请技术、造价专家联合审查方案，避免盲目立项。部分项目因前期手续办理不规范，导致后期建设受阻、工期延误，这一问题值得所有项目业主警惕，必须将合规性作为前期策划的核心底线。

此外，成本管控要提前介入，结合硅料、组件等核心物资的价格周期，初步拟定分批次采购计划，规避后期价格暴涨风险[10]。同时，配置配强项目管理机构人员，高效办理内部立项、论证手续，合理核算前期费用，避免因土地协调、施工阻工等问题造成额外支出，为项目后续推进奠定坚实基础。

（二）工程设计阶段：优化设计方案，强化设计管控

工程设计需坚持“因地制宜、精准施策”，杜绝照搬其他项目设计模板[11]。业主单位应避免过度压减设计费用，要求设计人员深入现场踏勘，详细记录场址气象、地质、水文等数据，结合当地历史极端天气，精准核算基本风压、雪压等设计参数，确保设计输入条件的准确性。对于内蒙古、新疆等风雪荷载较大地区，适当提高光伏支架设计标准，对主、次梁开孔等薄弱部位进行设计校核，采用高强度材料并增添加固措施，防止冬季积雪压垮支架；沿海台风频发地区，当基本风压接近1KN/m² 时，组件固定建议采用螺栓与压块结合的组件固定方式，防止台风导致组件边框撕裂。

设备选型与电气设计环节，需综合考虑运行环境、投资成本与能效要求，选择二级能效及以上的变压器，优先选用干式变压器用于防火防爆要求较高的场地；优化光伏方阵、集电线路路径设计，减少线缆损耗与施工变更，降低成本增量。同时，加强设计审核与图纸会审，组织业主、设计、监理、施工单位共同参与，逐页核对设计细节，明确组件安装间距、桩基深度等具体要求，提前预判设计隐患。对于重大项目，可单独组织具备同等资质的单位进行施工图审核，多角度排查设计问题，提升设计质量[12]。

（三）施工建设阶段：严控关键环节，强化协同管控

施工建设阶段需构建“质量优先、安全第一”的管控体系，从承包商选择、物资管理、工序管控等多方面发力。招标阶段，不仅要看承包商资质与光伏项目业绩，还要核查关键施工人员的从业经验，明确禁止违法分包、转包，确保施工队伍专业可靠；建立完善的项目管理体系，明确各岗位管理责任，定期召开质量、安全分析会，及时解决建设过程中的问题，做到奖罚分明。施工人员需经过专项培训考核后上岗，由经验丰富的班组长开展现场实训，示范组件安装、螺栓紧固等操作，考核合格后方可上岗，避免因操作不规范产生质量隐患[13]。

物资供应与验收是施工质量的基础，需加强对光伏组件、支架、螺栓等物资的采购管理，科学制定采购方案，选择产能强、履约好的供应商，签订明确的质量协议。物资到场后，严格执行“到场初验、开箱核验、专业抽检、竣工复验”四级验收体系，初验核对数量与包装，开箱核验型号规格与质保资料，核心组件委托具备 CMA 资质的第三方机构抽检，重点检测组件隐裂与功率衰减情况，不合格物资坚决退场。同时，运输采用集拼式专线，减

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

少组件运输过程中的碰撞损坏；仓储推行准时制供货，避免物资长期堆放导致的锈蚀、老化，建立跨区域呆滞物资调拨机制，提高物资利用率[14]。

施工工序管控中，桩基施工前先进行试桩，检测抗拔、抗压能力，施工后逐根核查偏差；支架安装后随机抽查螺栓预紧力，防止后期松动；组件安装过程中全程监管，避免搬运、安装时产生隐裂，隐蔽工程验收必须留存影像资料，确保可追溯。同时制定台风、暴雨等极端天气应急预案，购买建筑安装工程一切险，降低施工风险[15]。

（四）运营维护阶段：健全运维体系，提升运维效能

运营维护阶段需建立“常态化巡检、精细化维护、快速应急”的管理模式，保障项目长期稳定运行[16]。首先，健全运维管理制度，结合电站智能化水平、运行环境与电网调度要求，编制运维管理手册，明确巡检频次，比如组件每周巡检一次、逆变器每月检测一次，考核指标直接关联实际发电量与理论发电量的差值，确保运维工作落地。组建专业运维团队，要求运维人员具备高低压电力操作证、登高证等相关资质，定期开展专业培训与技能演练，重点培训组件故障排查、逆变器调试等实操内容，提升运维人员的专业能力。

加强设备运维管理，采用定期检修与状态检修相结合的方式，利用智能巡检技术，通过传感器、红外热成像等设备检测组件热点、微裂纹，借助传感器实时监测逆变器运行参数，精准识别潜在故障[17]。基于知识库的故障诊断模式，故障检测准确率达95%，诊断速度仅需1.5分钟，可在实际运维中推广应用，提升故障处置效率。同时，做好设备日常保养，组件定期清理灰尘，逆变器做好防潮、散热，支架定期检查防腐涂层，延长设备使用寿命；加强废旧物资回收处置，废旧组件、线缆中的铝、玻璃等物资分类回收销售，降低运营成本[18]。

完善风险管控与应急机制，结合项目地水文气象条件，制定防雷、消防、台风、暴雨等应急预案，提前储备发电机、灭火器等应急物资，加强应急演练，提升应急处置能力。沿海或大风频繁地区，需在极端天气来临前抽查组件与支架连接紧固情况，事后逐片排查损坏情况，减少设备损坏[19]。同时，及时购买财产险、安全生产险等运营保险，合理转移设备损坏、人员安全等运营风险；建立协同机制，加强与电网、售电企业的沟通协作，优化绿电消纳交易管理，提升项目运营效益[20]。此外，定期对项目运营效益进行分析，构建效益分析模型，精准核算设备折旧、运维费用等成本，优化资金使用结构，确保项目全生命周期效益最大化。

四、结束语

集中式光伏发电项目全流程管理是一项系统性工程，贯穿项目建设与运营的每一个环节，直接决定项目质量、安全与效益。当前行业发展中，全流程管理仍存在诸多痛点，需通过细化前期策划、优化工程设计、严控施工质量、健全运维体系，推动管理措施落地见效。结合资料中实践经验与技术方法，不断优化管理模式，强化协同管控，才能有效降低风险、控制成本，推动集中式光伏发电项目高质量发展，为我国“双碳”目标实现提供有力支撑。

参考文献

[1] 易土雄，汪朗峰 . 基于 CiteSpace 软件的光伏发电在工程管理领域的研究综述 [J]. 太阳能，2026，(02)：15-22.

[2] 杨迎冬 . 基于云平台的光伏发电安全监测管理系统设计 [J]. 电气技术与经济，2026，(02)：333-335+343.

[3] 易晋 . 光伏发电项目施工管理措施探究 [J]. 居业，2026，(02)：204-206.

[4] 钱建荣，郝进秀，邢星，等 . 能源管理体系运行和现场审核涉及光伏发电系统的技术和管理要求 [J]. 中国水泥，2026，(02)：25-29.

[5] 王兆波 . 基站智慧能源管理平台的设计与实现 [J]. 信息与电脑，2026，38 (04)：191-195.

[6] 刘艳改，程艳辉，宋晓彦，等 . 湖北省集中式光伏发电工程水土流失特征研究 [J]. 水利技术监督，2026，(03)：167-172.

[7] 刘海龙，左宇成 . 新能源光伏发电项目智能施工的管理措施 [J]. 中国战略新兴产业，2026，(03)：55-57.

[8] 范月青 . 光伏发电项目物资采购流程规范化管理及成本控制策略 [C]// 江西省汽车工程学会 . 第二届工程技术与新能源经济学术研讨会论文集（第三册）. 中国水利水电第十二工程局有限公司，2026：247-249.

[9] 曹宏贵 . 光伏发电运维管理困境成因及精细化管理提升路径研究 [J]. 现代工程科技，2025，4 (24)：13-16.

[10] 吴健常 . 集中式光伏发电项目建设与运行管理分析 [C]// 中国国土经济学会 . 2026智慧城市建设与创新发展研讨会论文集（二）. 杭州临安新能源发展有限公司，2025：283-286.

[11] 刘慧筠 . 光伏发电项目资本结构优化路径研究 [J]. 西部财会，2025，(12)：36-38.

[12] 周慧文，刘树春 . 基于数据驱动和知识库的集中式光伏发电系统状态监测及故障诊断研究 [J]. 现代工业经济和信息化，2025，15 (07)：64-67.

[13] 李民胜 . 新能源光伏发电系统中的故障诊断与处理技术研究 [C]// 江西省工程师联合会 . 工程技术与新能源经济学术研讨会论文集 . 中原油田勘探局有限公司热力分公司，2025：288-291.

[14] 李君平 . 集中式光伏发电项目建设与运行管理措施分析 [J]. 通讯世界，2025，32 (04)：115-117.

[15] 曹辉 . 集中式光伏发电项目全流程管理措施研究与应用 [C]// 江西省工程师联合会 . 第二届智能工程与经济建设学术研讨会论文集（一）. 中国石化集团新星石油有限责任公司，2025：41-46.

[16] 曾嘉伟，陈祉叶，王怡静，等 . 碳中和目标下中国光伏发电潜力、空间格局与综合效益分析 [J]. 科技导报，2024，42 (19)：34-46.

[17] 许淑霞 . 光伏发电企业财务集约化管理模式研究 [J]. 会计师，2024，(12)：29-31.

[18] 张诗昆 . 全流程管理体系构建在光伏发电工程建设的应用研究 [J]. 中国战略新兴产业，2024，(17)：75-77.

[19] 杨夯，郭宜果，李哲 . 计及光伏工况的集中式发电场景下储能优化配置 [J]. 电源学报，2024，22 (S1)：116-126.

[20] 李润 . 分布式 / 集中式光伏发电参与电网调频控制策略研究 [D]. 山东科技大学，2023.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

封签涂胶系统校准装置在 GDX1 包装机维保中的应用

王林鹏，李国良，李晓东，任发军，王增浩
山东中烟工业有限责任公司青州卷烟厂，山东 青州 262500
DOI:10.61369/ETQM.2026090020

摘　　要： 针对 GDX1 包装机封签涂胶系统维修调整中存在的精度低、效率差、一致性不足等问题，开展封签涂胶系统校准装置的研制工作。采用仿形基准定位式校准方案，设计并制造由连接定位机架、轴向定位组件及周向定位组件构成的校准装置，该校准装置可实现封签涂胶系统一次精准校准，涂胶轮轴向偏移量平均降至0.26mm，周向偏移量平均降至0.69°，维修校准时间由50.1分钟缩短至16.3分钟，维修效率提升207.36%，有效解决了传统“塞尺 + 目测 + 经验”调整方式的弊端，保障了烟包包装质量，降低了维修人员劳动强度，具有较高的推广应用价值。

关 键 词： GDX1包装机；封签涂胶系统；校准装置；维修精度；效率优化

Application of Seal Label Gluing System Calibration Device in Maintenance and Service of GDX1 Packaging Machine

Wang Linpeng, Li Guoliang, Li Xiaodong, Ren Fajun, Wang Zenghao
Qingzhou Cigarette Factory, Shandong Tobacco Industrial Co., Ltd., Qingzhou, Shandong 262500

Abstract: Aiming at the problems of low precision, poor efficiency and insufficient consistency in the maintenance and adjustment of the seal gluing system of GDX1 packaging machine, the development of a calibration device for the seal gluing system was carried out. The profiling reference positioning calibration scheme was adopted to design and manufacture a calibration device composed of a connection positioning frame, an axial positioning component and a circumferential positioning component. This calibration device can realize one-time accurate calibration of the seal gluing system, with the average axial offset of the gluing wheel reduced to 0.26mm, the average circumferential offset reduced to 0.69°, the maintenance and calibration time shortened from 50.1 minutes to 16.3 minutes, and the maintenance efficiency increased by 207.36%. It effectively solves the drawbacks of the traditional adjustment method of "feeler gauge + visual inspection + experience", ensures the packaging quality of cigarette packs, reduces the labor intensity of maintenance personnel, and has high popularization and application value.

Keywords: GDX1 packaging machine; seal gluing system; calibration device; maintenance precision; efficiency optimization

引言

封签涂胶系统是 GDX1（ZB25）包装机组烟包成型的核心环节，封签粘贴质量直接影响烟包外观和产品合格率，其中封签粘贴不良导致的质量缺陷占包装类缺陷的36.6%。在设备维护过程中，封签胶缸需定期清洗、保养和维修，传统维修调整采用“塞尺 + 目测 + 经验”的方式，存在调整精度低、一次成功率低、维修耗时长、不同人员操作一致性差等问题，不仅影响生产效率，还存在质量隐患。为此，开展 GDX1 包装机封签涂胶系统校准装置的研制工作，旨在解决上述痛点，为设备高效稳定运行提供技术支撑[1]。

一、封签涂胶系统结构与现存问题

（一）系统结构与工作原理

GDX1包装机封签涂胶系统由封签胶缸、涂胶轮、传胶辊、驱动齿轮、锁紧机构等部件组成，封签胶缸为核心部件。涂胶轮通过驱动齿轮与机组联动，旋转蘸取胶液，经传胶辊梳理后将胶线均匀涂覆于封签指定位置，完成粘贴工序。轴向位置、周向相位、径向跳动是决定涂胶质量的关键参数，会导致封签上胶不均匀、胶液溢出、封签粘贴歪斜等问题[2]。

（二）现存问题深度分析

传统调整方式存在明显弊端：一、维修效率低，2025年1-3月各机组共维修调整16次，平均校准耗时40.3分钟、总耗时50.1分钟，耗时主要集中在涂胶轮的反复调整、试机确认环节；二、维修精度低，试验结果显示，涂胶轮轴向、周向、径向调整

作者简介：王林鹏（1982—），男，汉族，山东省青州市人，本科，包装机械维修高级技师，工程师，高级技师，主要从事卷烟包装设备机械维修。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

合格率分别为20.8%、14.6%、39.6%，整体一次调整合格率仅6.25%，其中周向调整难度最大；三、操作一致性差，无统一标准，人员经验差异影响质量稳定性，培训成本高[8]。

二、校准装置方案设计

（一）方案提出

采用仿形基准定位技术，以胶缸基准面为基准，包括连接定位机架、轴向定位组件以及周向定位组件三部分，连接定位机架负责支撑轴向和周向定位组件，并与胶缸基准定位连接。轴向定位组件与胶缸联轴器配合，实现涂胶组件轴向定位。周向定位组件与涂胶轮配合，实现涂胶轮周向定位。装置采用模块化设计，可快速装拆，无需改动设备原有结构[9]。其优势为定位精度高、操作简便直观，可实现一次校准到位；成本低廉，技术实现难度小，调整柔性佳，可有效降低定位调整难度和速度。

（二）最优方案细化设计

对各组件进行细化设计，明确结构参数、材料选择和加工要求，确保装置的定位精度和使用可靠性：

（1）连接定位机架：作为装置的基础部件，主要实现装置与胶缸的精准连接和固定，采用阶梯面定位 + 锁紧螺钉定位方式，计算可知，应力极低。

$$\sigma_{step,h}=\frac{F_h}{A_{step}}=\frac{1500}{6000\times10^{-6}}=0.25\,MPa$$

借助胶缸本身的基准面进行定位，确保装置与胶缸之间的位置重复性，重复定位精度可达 ±0.01mm。材料选用45# 钢，该材料具有良好的机加工性能、耐磨性和抗扭强度，调质处理后表面硬度达到 HRC25~30，可有效提升装置的使用寿命。整体尺寸确定为165×16×（37 + 38），锁紧槽尺寸：ϕ10×12，两定位面间距55±0.05mm，定位配合面尺寸16×3±0.02×5±0.02mm，关键配合面表面粗糙度小于1.6μm，并进行淬火处理，进一步提升表面硬度和耐磨性，确保定位精度稳定[10]。

（2）轴向定位组件：主要实现涂胶轮轴向位置的精准定位，采用轴套配合方式与机架连接，对中性好，定位精度可达0.01mm；与胶缸联轴器采用仿形啮合配合方式，操作简便、定位精度高、耐磨性佳，可有效避免轴向偏移。相关配合方式接触应力核算：$\sigma=\frac{1.48}{29.4}\approx0.05MPa$，相关配合精度核算：$\Delta\theta=arctan\left(\frac{0.05}{13.5}\right)\approx0.21^{\circ}$。材料选用45# 钢，经调质处理后，抗拉强度达到600-800MPa，硬度达到 HRC48-61HRC，加工性能优良，可满足定位精度和结构强度要求。整体尺寸为100×ϕ8mm，配合端面尺寸 ϕ20mm，车削加工，配合凸台尺寸5±0.02×5±0.02mm，表面粗糙度小于1.6μm，并进行淬火处理，确保配合精度和使用寿命[3]。

（3）周向定位组件：主要实现涂胶轮周向相位的精准锁定，采用仿形半圆包裹式配合方式与涂胶轮配合，定位精度高（实际重复精度约为 ±0.01mm）、操作快捷，接触应力低，不会损坏涂胶轮表面；采用锁紧螺钉与机架连接，拆装方便、适用性强，定位精度可达0.02mm。扭矩计算公式：$T_{torque}=F_v\left(\frac{d_2}{2}tan(\psi+\rho')+\frac{\mu_w d_w}{2}\right)$。材料选用45# 钢，硬度达到 HB170-210，刚性极佳，变形可忽略，可有效保证定位稳定性。整体尺寸为28×30mm，配合面尺寸 Φ28±0.05mm，锁紧螺孔 M4±0.05mm，表面粗糙度小于1.6μm，并进行淬火处理，提升表面耐磨性和配合精度[4]。

三、装置结构设计与研制

（1）图纸绘制与审核：采用 CAD 软件绘制三维模拟模型及各部件加工图纸，明确连接定位机架、轴向定位组件、周向定位组件的尺寸、公差、材料、加工工艺及表面处理要求，并完成图纸审核。

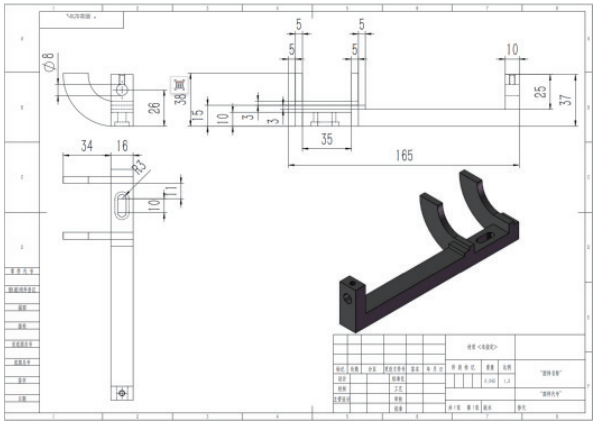


图3-1 连接定位机架加工图纸

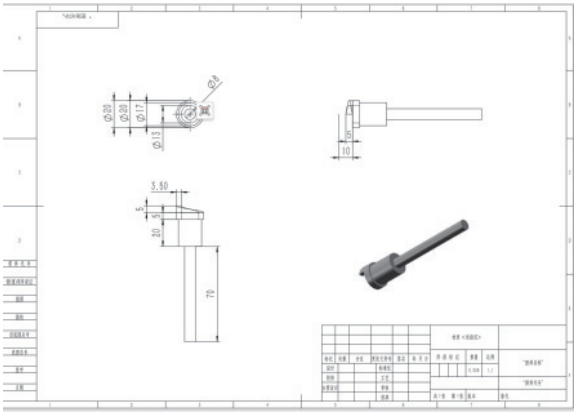


图3-2 轴向定位组件加工图纸

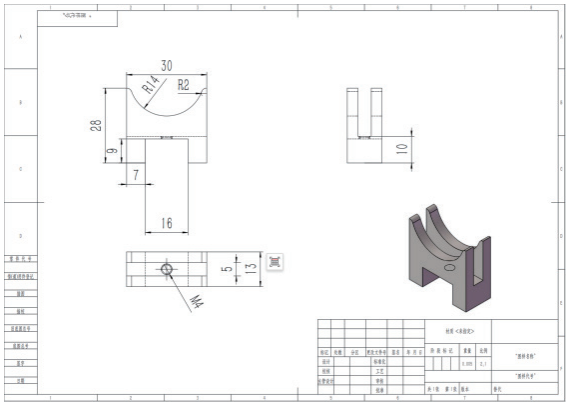


图3-3 周向定位组件加工图纸

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（2）零部件加工制造：选用45# 钢原材料[5]，按图纸加工各组件，重点控制关键尺寸精度与表面粗糙度，精准加工定位配合面、锁紧螺孔等关键部位，确保尺寸符合公差要求。

（3）精度检测与筛选：采用百分表、游标卡尺等专业工具检测各组件精度，重点核查各配合面精度、关键尺寸公差及表面粗糙度。

（4）装配与模拟测试：将合格组件按图纸组装，确保连接可靠、无松动偏移；装配后在实验室模拟现场场景，验证装置调整用时、校准精度及便捷性。

（5）现场调试与优化：将装置投入3台不同运行状态的GDX1包装机进行现场调试，开展现场维修校准试验，记录相关数据，结合反馈优化装置及操作流程，确保适配现场需求[7]。

四、应用效果验证

对GDX1包装机封签涂胶系统维修校准工作开展为期3个月的跟踪调查，累计完成16次维修校准，覆盖车间所有GDX1包装机组，从精度、效率、质量三个维度验证校准装置的应用效果，具体如下：

（1）精度目标验证：跟踪数据表明，应用校准装置后，涂胶轮轴向定位精度均值为0.26mm（最大值0.42mm、最小值0.18mm），周向定位精度均值为0.69°（最大值0.87°、最小值0.52°），均满足预设精度要求（轴向偏移量≤0.5mm、周向偏移量≤1°）[6]。相较于传统调整方式，轴向、周向定位精度分别提升77.0%、52.8%，一次校准合格率由6.25% 提升至100%，彻底解决了定位精度不足、操作一致性差的痛点。

（2）效率目标验证：时间统计显示，应用校准装置后，单台设备维修校准平均用时16.3分钟，其中装置装拆2.1分钟、定位校准12.2分钟、试机确认2.0分钟；与传统维修校准平均用时50.1分钟相比，缩短33.8分钟，维修效率提升207.36%。

（3）质量效果验证：跟踪期间，经校准装置维修校准后的设备运行稳定，封签涂胶均匀、定位准确，未出现封签歪斜、烟包脏污、胶液溢出等质量缺陷；烟包封签粘贴合格率由98.2% 提升至99.8%，有效保障了产品质量稳定性，降低了质量损失。

五、结论

该装置可实现封签涂胶系统一次校准达标，涂胶轮轴向偏移量平均降至0.26mm，周向偏移量平均降至0.69°，维修校准时间由50.1分钟缩短至16.3分钟。该装置具备结构紧凑、操作便捷、成本低廉、安全可靠等优势，不仅优化了设备维保流程、提升了产品包装质量，还为卷烟包装设备精准维保提供了技术参考，具备较高的工程应用价值与行业推广前景。

参考文献

[1] 上海烟草工业机械厂 . GDX1 调整手册 [Z]. 郑州：河南科学技术出版社 ,2001.

[2]《卷烟包装工专业知识》编写组 . 卷烟包装工专业知识 [M]. 郑州：河南科学技术出版社 ,2012:2.

[3] 杨闯，朱祥龙，康仁科等 . 机械密封环工作面轮廓测量系统开发 [J]. 工具技术 , 2025 ,59 (12) ：145-151.

[4] 红塔烟草 (集团) 有限责任公司 . 一种烟包封签胶缸轴向锁紧装置 [P]. 中国 ,CN202121455653.0.2021-11-30.

[5] 戴卫良，陈建军，熊克林等 . GDX1包装机封签涂胶装置的改进研究 [J]. 机械制造与自动化 .2012 ,41 (02) ：87-88.

[6] 薛雷，牛红梅 . 气缸套半精车轴向定位器的改进 [J]. 内燃机配件，1997 (01) ：22-23.

[7] 贺韧，田晶，贺圣越等 . YB25型卷烟包装机封签涂胶系统的改进 [J]. 食品与机械 ,2021 ,37 (12) ：89-94.

[8] 红塔烟草 (集团) 有限责任公司 . ZB25封签打胶定位装置 [P]. 中国 ,CN201220045313.5.2012-9-26.

[9] 河南中烟工业有限责任公司 . 一种 YJ29接装机胶缸弯臂弯架组件 [P]. 中国 ,CN202420546387.X.2024-12-17.

[10] 广东正鑫智能科技有限公司 . 一种旋转90度定位功能机构 [P]. 中国 ,CN202320364491.2.2023-8-22.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

新能源光伏支架结构抗风设计关键技术研究

董华磊
国家电投工程公司（山东院），上海 200233
DOI:10.61369/ETQM.2026090021

摘　　要： 在新能源快速发展过程中，光伏发电因其清洁可再生等优点被广泛应用。而光伏支架是整个光伏组件结构的核心部件。抗风设计直接决定了光伏电场的稳定性、使用寿命和运行安全性。强风作用是光伏支架结构最主要的破坏形式之一，容易引起光伏组件脱落甚至坍塌事故，造成巨大的经济影响和生产安全事故。结合施工现场实践，由浅入深地从介绍光伏支架结构抗风设计开始，深入研究分析了抗风设计过程中的常见问题与关键诱因，针对现场实操困扰提出了具体的优化对策，为规范并增强抗风能力、保证安全运行提供了有效的建议参考，助力新能源太阳能产业发展。

关 键 词： 新能源；光伏支架；抗风设计；关键技术；常见问题；优化对策

Research on Key Technologies for Wind Resistance Design of Photovoltaic Mounting Structures for New Energy Applications

Dong Hualei
State Power Investment Corporation (Shandong Institute), Shanghai 200233

Abstract: Amid the rapid development of new energy, photovoltaic power generation has been widely adopted due to its advantages such as being clean and renewable. The photovoltaic mounting structure serves as the core component of the entire PV module system. Its wind-resistant design directly determines the stability, service life, and operational safety of the photovoltaic farm. Strong winds represent one of the primary failure modes for mounting structures, often leading to module detachment or even structural collapse, resulting in significant economic losses and production safety incidents. Drawing on practical field experience, this paper begins with an introduction to wind-resistant design principles for PV mounting structures, then conducts an in-depth analysis of common issues and their root causes. Specific optimization strategies are proposed to address operational challenges, providing actionable recommendations for enhancing wind resistance standards and ensuring safe operations—thereby supporting the advancement of the solar energy industry.

Keywords: new energy; photovoltaic mounting structures; wind-resistant design; key technologies; common issues; optimization strategies

引言

在实现“双碳”目标的大环境下，随着光伏发电技术的飞速发展和广泛应用，光伏电站建设规模也持续扩大。无论是集中式光伏，还是分散式光伏都存在着许多复杂的环境变化制约，其中强风、暴雨等恶劣天气频发对光伏支架结构带来了严峻的考验。作为承载光伏组件的最主要结构，光伏支架长期受到多种因素的影响，尤其是以风荷载最为典型，它具有较强随机性和破坏性，因此也成为光伏支架结构遭到破坏的最大威胁因素[1]。为了更好地研究分析光伏支架结构抗风设计中的技术要点，剖析其过程中存在的不足，并探究出切实有效的措施，拒绝空泛理论化讲解。从现场操作中入手完善设计内容，进一步提升光伏构架系统的抗风效果以及控制安全风险，为后续推广与发展光伏产业提供规范化要求与支持，是当前亟待思考的议题。

一、新能源光伏支架结构抗风设计概述

新能源光伏支架抗风结构设计，是指在充分考虑了光伏电站在实际中的具体工作条件，并研究电站所在地区不同风荷载工况的基础上，采取合适的设计方法，科学地进行结构选型及结构材料应用，通过规范的施工工艺，使得新能源光伏支架能够承受不同风荷载组合工况下的作用力，不至于由于风荷载的作用而引起破坏，保证新能源光伏支架上的组件正常工作而进行一系列相关的设计[2]。它的目的就是要保证光伏支架在整个使用寿命期间，都能承受强风引起的压力、吸力、扭矩等作用力，保证光伏支架结

作者简介：董华磊（1993.06.16-），男，汉族，山东省德州市德城区人，硕士研究生，中级职称，研究方向：结构设计。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

构的完整性与稳定性，并尽量使设计更加经济和施工更加方便。

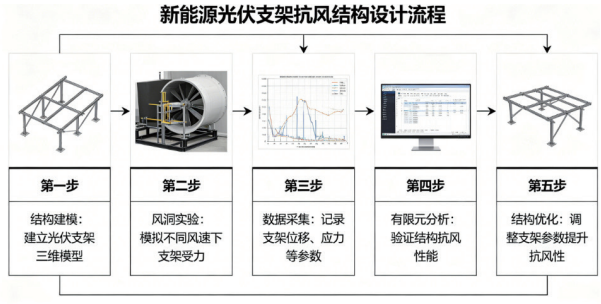


图1设计流程

二、新能源光伏支架结构抗风设计常见问题

（一）设计理念错误，风荷载选取脱离现场实际

设计人员在设计理念方面存在的偏差是支架抗风力不足的根本原因，有些光伏结构设计人员没有现场经验，只考虑设计出图的急迫性和经济性，忽视现场的实际情况，使得风荷载取值不合理，设计方案不切实际[3]。部分设计人员没有考虑到项目的独特性，照抄照搬其他地方或其他项目设计，未考虑光伏发电站当地风力荷载等级和不同地区地貌情况造成的风荷载值不同，导致其选取设计的支架风荷载工况不满足规范所要求的设计标准值；有些设计人员对其风力荷载的作用不了解，仅仅考虑其正压力，而忽略了强大的负压吸力作用，尤其对屋面光伏来说，强大的风会在光伏板和屋面之间形成一个风道，负压吸力很大，容易造成连接件松动、组件掀翻等组件损坏情况，而在设计时并没有考虑到采取相应的防风措施。另外一些设计为了追求“以轻代重”的思想，忽略了结构抗风强度，一味地缩减支架截面及连接构件数量，导致结构刚度不够，造成在大风作用下出现弯曲、变形。造成通风不良，局部节点长时间承受集中风荷载，增大了支架结构的受力，进而导致局部破坏并引发失稳倒塌事故。

（二）结构选型不合理，抗风承载力不足

结构类型的选择会直接影响其抵抗风荷载的能力，当前在部分设计工作中存在着结构类型选择不合理及抗风作用受力设计不合理的问题，导致整个光伏支架的结构缺乏相应的承载能力。例如，在某些多风区未合理选用承受能力强、自身刚度较大的钢质结构，反而选择了自身承载能力相对较低的铝合金材料，从而致使该架体难以有效地抵挡住强风荷载的作用；地面光伏发电设施支架中采用了立杆独立式架构形式[4]。

节点连接设计存在很多不足，这也是最常出现问题的地方。设计人员往往会忽视连接节点的抗风强度要求，采用的连接件规格过小，材料强度不够或连接节点设计不合理，现场仍普通自攻螺钉连接，易造成连接松动和脱开，应采用防风用的螺栓紧固；个别支架立柱与基础、横梁与立柱等连接节点处没有进行加固处理，节点刚性差，无法承受强风所引起的扭力作用，容易造成混凝土裂缝和节点损坏；屋顶光伏支架与屋顶的连接节点设计不当、未充分利用既有建筑物屋面本身的实际情况，进行固定或连接点间距过大，导致支架整体发生滑移现象，严重时发生掉落。节点结构受力分析不透彻，导致各部分受力不合理，个别部位产生应力集中，在大风荷载下发生损坏。

（三）选用材料不合理，控制质量不严格

材料质量是支架结构抗风设计的基本条件，而在目前一些光伏支架抗风设计中因选用材质不合适、材料的质量把控差等原因，造成支架结构的抗风能力降低、使用寿命短的现象。比如，有些设计选用钢材和铝合金材料材质不合理，强度、刚度不能满足抗风要求，或材料防腐无法满足实际要求等，在户外长期使用时由于风雨侵蚀而引起材料的锈蚀和材料强度降低，在大风作用下出现构件损伤破坏现象。有些设计选用连接件质量较差，材质弱，精度低，安装过程中易产生松动断裂现象，不能承受强风作用[5]。

（四）设计与施工不协调，不规范的施工增加了抗风风险

支架抗风设计需要按照相关规范进行施工操作，满足相应设计要求，部分项目因设计与实际衔接不畅、施工工艺不规范等问题，造成设计无法有效指导施工，导致结构抗风能力存在一定的风险[6]。如设计中未对施工工艺提出具体的要求或者施工单位没有按设计要求的工艺进行施工作业，在施工过程中擅自调整支架设置的位置、立杆间距，以及缩减连接件等，导致支架结构偏离图纸的要求，降低抗风能力；部分作业人员缺乏必要的专业技术知识，不熟悉支架安装工艺及抗风设计要点，导致安装过程中未能正确紧固连接件或加固节点，从而引起连接件松动甚至节点裂缝等问题。

三、新能源光伏支架结构抗风设计优化对策

（一）科学设计，结合现场工况

首先，应秉持因地制宜、精准设计的思想。设计人员要深入光伏电站施工现场考察现场条件，包括当地的风荷载等级、地形、周围环境、安装条件等，根据现场实际情况确定支架抗风设计方式及规范取值，避免经验主义，相关设计一成不变。如沿海地区、空旷地面风力较大，提高风荷载等级，加大支架抗风能力；山地光伏要考虑山体坡度及各处坡度不同引起的受风不同，合理排列支架，考虑不同的受力情况；屋面光伏应考虑屋面原有结构承载力等因素选择合理的支架固定方式，以免破坏屋面[7]。另外，深入研究风荷载的作用特性，全面考虑正压力和负压以及扭矩等各方面影响，特别是屋面支架需采取有效的防尘防风措施，对光伏组件的间距进行合理布置，确保在通风良好状态下不产生局部风压集中的问题；有效权衡好经济性设计与抗风强度的问题。在保证支架轻量化方便安装的前提下确保支架结构的刚度和强度，使支架具备足够的抗风能力，不能一味追求轻量化、经济性导致其出现失稳现象。

（二）优化结构选型，加强节点抗风设计

根据现场实际情况及抗风要求选择合理的支架结构形式，使结构形式与相应的风荷载组合工况及安装场景相匹配。对于强风地区优先选择承载能力大且刚度较强的钢制支架，并采用合理的加强支撑；民用建筑屋面项目可采用质量轻、耐腐蚀的铝制支

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

架，但需要保证较高的支架刚度和连接强度；在集中式光伏厂区可以考虑使用稳定性较好的混凝土支架以保证整个支架的抗风能力。正确地确定立杆间距及横梁跨度，防止出现间距过大及跨度过长致使整个结构不满足风荷载控制下的设计要求，在必要时可设置一些加强支撑、斜撑等构件，提高支架的稳定性。

（三）规范材料使用，加强质量控制

材料选用需严格按照抗风要求和户外环境的要求，选用质量合格、强度足够且耐候性强的材质，架体部分优先选择材质为耐候钢或高强度铝合金型材等；确保材质强度及刚度能满足抗风要求，同时对材质进行防锈处理，通过热镀锌、阳极氧化等方式，加强其防锈性能，延长支架使用期限；连接部分按设计要求采用高强抗风螺栓以及高强度螺母连接等，保障连接件强度及可靠性，不得使用劣质连接件。

强化质量控制，设计上要给出明确的材料强度、防腐等性能标准，施工材料在进场的时候要做好材料的质量验收工作。检查材料的型号、材质、防腐等是否符合要求，将不合格的产品杜绝入场。做好使用登记制，记录好材料采购、进场以及使用的具体情况等，保证材料能够得到有效地控制[9]。另外，在追求经济型时不能走极端，选用质次价低的产品，应该在确保满足设计要求的情况下，合理地控制费用，实现经济效益与安全可靠性的统一。同时还要注意考虑材料的可更换性，采用普通且易于采购的产品，便于日后的维护和更换，保障支架长期抗风的性能。

（四）加强设计和施工的衔接，规范作业

设计单位和施工单位要加强联系，设计人员要深入施工现场，对接施工人员讲解抗风设计理念以及工艺标准，对设计中存在的问题进行及时处理。施工者按照设计方案来进行施工操作，不得随意更改支架安装地点及立杆间距、连接点数等内容，如需改变设计方案必须由设计人员批准确认。为避免专业水平有限，施工人员不能理解设计要点的问题存在，在现场组织相关人员学习培训，着重针对支架设置规范、抗风设计要点及连接紧固等方面，提高人员的专业性和操作能力。

施工作业人员严格按照施工规范和标准进行，对连接件紧固、节点加固及基础处理等关键步骤重点把控，保证工程整体质量达到设计要求[10]。比如，连接点处必须按规范进行紧固，并采取防止其松动措施，确保在极端情况下不发生松动现象；严格按照设计方案进行节点结构加强，使该结构刚度足以抵抗强风的作用；在支架基础方面，需使其具有足够的强度、抗拔及抗倾覆能力，保证基础无沉降问题出现等。此外，还要严格验收，工程施工完成后对支架安装的质量及其抗风性能进行全面检测，尤其是连接件处的紧固、节点的加强质量、平整等方面的问题及时整改，确保符合设计需求。

四、结论

抗风设计是实现新能源光伏支架结构安全稳定的基础，对实现产业健康高质量发展具有重要意义。当前光伏支架设计问题包括结构选型不合理、选材不合适及采用的现场输入设计条件不清晰等，都在一定程度上影响光伏支架结构本身的抗风特性，并给安全生产埋下一定的隐患，严重情况下会带来一定的经济损失。对此，基于光伏电站在建项目的实际情况，树立合理的设计理念，科学地进行现场工况及结构形式的选择，加强节点抗风设计，严格把控选材质量关等。运用科学、合理、有效的优化策略能够对光伏支架的结构抗风设计行为予以规范，进而提升其抗风性能及稳定性，保障其在极端风荷载工况组合下的安全稳定，降低相应的安全隐患和经济成本，有效促进光伏电站长期稳定运行。将来，随着光伏产业的发展以及抗风设计技术进步，在新型形式及复杂安装情况下持续优化光伏支架结构抗风设计方案，促使光伏抗风技术不断创新与进步，为新能源太阳能光伏发电事业健康发展保驾护航。

参考文献

[1] 刘争昊，马思娟，史剡烽，郑亮，武镜海 . 光伏发电系统设计方案中不同 AGC 控制策略的应用研究 [J]. 太阳能，2026，(04)：32-43.

[2] 朱宁芳 . 新能源光伏产业发展现状及板带材产品开发进展 [J]. 冶金经济与管理，2026，(02)：22-25.

[3] 马铂浩，尹德志，黄炜，王东彪，宋亮亮 . 上网侧分时电价政策下平单轴跟踪式光伏支架在中国西北地区应用的经济性研究 [J]. 太阳能，2026，(02)：23-33.

[4] 冯龙龙，周孝水，徐进东，曾晓波，王宪，危泽志 . 农光互补场景下光伏支架设计研究进展 [J]. 沈阳农业大学学报，2026，57 (01)：167-181.

[5] 刘帅君，田猛山，苏磊，徐杨 . 山地光伏项目组件安装工艺优化与质量控制探讨 [J]. 应用能源技术，2026，(01)：115-117.

[6] 刘吉兴 . 新疆渠道顶分布式光伏系统适配路径与方案研究 [J]. 水利技术监督，2026，(01)：314-317.

[7] 吕威远，刘军，熊新阳，王康，杨海霞，王丽，王鑫 . CPVC 在光伏支架檩条中应用的可行性分析 [J]. 聚氯乙烯，2025，53 (09)：1-4.

[8] 王文静 . 连云港首列！中哈基地 " 光伏支架 " 铁公班列顺利启程 [J]. 大陆桥视野，2025，(09)：9.

[9] 郑先锐 . 新能源光伏发电与风力发电技术分析 [J]. 低碳世界，2025，15 (08)：70-72.

[10] 彭孝仁 . 中国光伏行业发展前景及用钢需求分析 [J]. 冶金信息导刊，2025，62 (04)：1-4.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

地质遗迹保护与地质环境恢复治理协同机制研究

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.2026090022

摘　　要： 地质遗迹是在地球演化的历史过程中，形成和保存下来的、不可再生的自然遗产。它是宝贵的科学和教育财富，并且还具有很高的美学和经济价值。地质环境恢复治理是解决开发资源与保护生态之间的矛盾及保障生态安全的重要措施。因此，两者相互影响并辩证统一，构建科学有效的协同机制才是实现地质遗迹保护以及改善地质环境的有效方式。本文对地质遗迹和地质环境修复的概念进行了界定，阐述了相关的理论依据，剖析了两者的相关性。最终从目标、实施、培育人才等方面对地质遗迹保护同修复地质环境中科学高效的协同机制进行了构建，为实现两者的融合及地质生态治理能力提供一定的理论支撑和实际指导作用。

关 键 词： 地质遗迹保护；地质环境恢复治理；协作机制；生态治理

Research on the Collaborative Mechanism for the Protection of Geological Heritage Sites and the Restoration and Management of the Geological Environment

Yin Xue

Geological Bureau, Xinjiang Uyghur Autonomous Region Hydrology Environment Center, Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract: Geological heritage constitutes irreplaceable natural legacies formed and preserved throughout Earth's evolutionary history. It represents invaluable scientific and educational assets, while also possessing significant aesthetic and economic value. Geological environment restoration serves as a critical measure to resolve the conflict between resource development and ecological conservation, thereby ensuring ecological security. Consequently, the two aspects interact dialectically and form an integrated whole; establishing a scientific and effective collaborative mechanism is essential for protecting geological heritage and improving the geological environment. This paper defines the concepts of geological heritage and environmental restoration, elucidates their theoretical foundations, and analyzes their interrelationships. Finally, it proposes a scientifically sound and efficient collaborative framework for heritage protection and environmental restoration, focusing on objectives, implementation strategies, and talent development, providing theoretical support and practical guidance for integrating these efforts and enhancing geological ecological governance capabilities.

Keywords: geological heritage protection; geological environment restoration and management; collaborative mechanism; ecological governance

绪论

地质生态保护成为可持续发展的重要战略组成部分，伴随着生态文明的发展。地质遗迹作为记录地球各圈层的演化和生物演变历程的“活化石”，对地学研究以及科普教育具有重要意义，形成了县市级、省级、国家级直至世界级的四级地质遗迹保护体系，截至2024年已建有国家级地质公园283处，拥有联合国教科文组织世界地质公园47处位居世界首位[1]。本文探讨二者协同的关系，分析现存问题，形成科学合理的协同机制有利于解决目前地质生态环境治理难题，并能够促进我国地质遗迹资源保护与地质环境恢复治理工作健康发展，具有十分重要的现实和理论意义。

一、地质遗迹保护和地质环境会恢复治理的关系

（一）基本概念界定

地质遗迹是指在地球演化的漫长地质历史时期，由于各种内外动力地质作用，形成、发展并遗留下来的珍贵、不可再生的地质自然遗产。我国幅员辽阔，地质构造复杂，形成了类型多样的地质遗迹。现今地质遗迹保护工作采取了立法、建设地质公园、设立博物馆等多种保护举措，并且将随着我国经济与社会的发展

作者简介：尹雪（1991.07-），女，汉族，新疆乌鲁木齐市，本科，工程师，研究方向：旅游地质，环境地质。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

而不断推进。地质遗迹是在地球形成和发展的过程中，由内外力作用形成的，具有重大科学意义、观赏价值或历史文化价值，不可再生的自然遗产，包括重要地质景观、地质现象、地质构造和地质事件遗迹，珍贵的化石等，是地球历史的见证，无法替代和再生。保护是指采取法律的、行政的、技术的、经济的手段，防止各种破坏活动，维护地质遗迹的完整与原始，使它保持其科学价值、生态价值和文化价值可持续发挥[2]。

通过工程、生物修复等手段对被破坏、污染的地质环境，改善其地质环境质量，恢复其生态功能，消除灾害隐患，使人们生活和生态环境协调发展的过程称为地质环境恢复。实现地质环境的恢复承载能力，保障区域的生态安全，为人类的生活和生产及自然遗产提供一个健康的地质环境基础，与地质遗迹保护构成了地质生态恢复治理的两大主题。

（二）相关理论基础

以协同治理理论为二者发展构建了协同机制的理论基础。协同理论是一种多元、多方向因素配合协调，利用组合效应发挥最大效能的方法论，强调多个部分相互依赖，通过调整各个部件之间关系实现系统功能最大化。地质遗迹与地质环境保护协同发展就是在该理论的支撑之下，从单一保护或恢复转向综合协调发展。协同治理理论的建立使得在地质遗迹和地质环境治理的复杂系统之中寻找各个部分相互联系、相互影响、相互制约，并通过调整他们之间的关系从而形成“1+1 > 2”的协同效能，实现对地质遗迹与地质环境中各种要素进行有机地整合与优化，提高整体效益，实现了从分散保护和恢复到整合治理的转变。这符合“山水林田湖草是生命共同体”这一科学论断。

（三）地质遗迹保护与恢复地质环境的一体性

二者相互关联，其主要体现在彼此依存、促进和制约关系上。二者是依存关系表现在地质环境承载着地质遗迹，地质环境的好坏决定了地质遗迹保存的状况；地质遗迹能够说明地质环境演变的特点与规律，并指导人们修复被破坏了的地质环境。例如岩溶地貌等的保护离不开岩溶等地质环境恢复、修复的支撑。云阳恐龙化石群等遗迹又表明了区域内地质环境的变化特点、修复的参考信息。

二、地质遗迹保护与地质环境修复协同的现存问题

（一）协同机制流于形式，缺乏深度融合与联动

目前，我国地质遗迹的保护和地质环境修复由不同部门负责，地质遗迹的保护主要由国土资源部门负责，地质环境修复涉及环保、水利、林业等不同部门，相关部门缺少相应的协作和沟通机制，“各自为政”情况突出。虽然部分地区建立了相应的协作机制，但流于表面形式多，缺乏实质性联动，地质公园内保护工作与周边地质环境修复脱节，未能一体化规划与建设[3]。

从现状看，虽然我国已基本建立起地质遗迹保护体系，但是存在一些地区重申报轻保护、轻修复现象。对地质遗迹周围的地质环境修复重视程度不够，造成对地质遗迹面临的隐患得不到及时地治理和处理；在地质环境恢复中，忽视对地质遗迹的保护要求，在进行修复过程中缺少针对性的措施，造成再次破坏。另外，协同规划不完善，缺少统一的规划引导，使两者之间工作目标、流程、标准等有所不同，缺乏有效配合。

（二）从业者协同素养不足，难以驾驭双向协同工作

地质遗迹保护工程和地质环境恢复工程的协调与融合要求工作人员既要有地质遗迹保护相关知识储备、熟知各种类型地质遗迹的属性及特点，又要拥有一定的地质环境修复技术及流程，还要具备协调思想，协调并行两个工作项目。然而当前从事这两个方面的工作人员协同素质普遍较低，存在着专业单方面现象。部分从业工作者侧重于地质遗迹保护方面的知识、技术，而对修复地质环境的知识和技术比较陌生，在工作中缺乏兼顾意识；部分从业工作者精通于修复被破坏的地质环境，而对于地质遗迹保护的相关要求和科学意义等认识不够，在工作过程中容易出现忽略地质遗迹的现象。并且针对相关培训工作不够精准到位，多数只是单纯的某一领域的专业技术培训，并没有开展针对双向协同的理念、双向协调方式等方面的培训内容，造成从业工作者难以在双向中完成协同工作的需要，影响到相关工作的进行以及相关效率能力的提升。

（三）协同资源适配性不足，贴合实际治理需求的资源匮乏

协同资源的适应性是实现地质遗迹保护和地质环境修复协调开展的基础，当前我国在地质遗迹保护和地质环境修复协同的相关资源方面适配度较差。资金资源方面，由于缺乏稳定的资金投入机制以及投资渠道狭窄，主要依靠政府财政投入，社会资本投入参与程度较低，且资金分配不合理，偏重于对地质遗迹保护的投资，对地质环境修复投资相对薄弱，并在基层地区表现尤为明显，其地质遗迹与地质环境保护协同发展工作因缺少充足资金支持，使协同发展难以顺利实施。

在技术资源上，所采取的技术只适用于单一方面，缺乏能够同时完成地质遗迹保护与地质环境修复的相关协同技术，在实际操作中部分针对地质环境修复技术的使用很难保证对原有地质遗迹景观的保留，并且缺乏相关的推广，许多先进技术没有被及时地运用到实践当中，造成整体协调处理的技术水平较低。人才资源方面也缺少相关的专业型人才，即对如何进行地质遗迹与地质环境两者之间协同恢复所需要的复合型的人才，分布极不平均，并且基层地区十分匮乏无法满足实际的要求。

三、地质遗迹保护与地质环境修复协同机制的构建策略

（一）立足实际，设定精准的协同保护与修复目标

精准的目标是协作机制有效运转的基础。基于区域地质遗迹资源特点和地质环境现状，按照生态文明建设要求，确立科学合理、切实可行的协作目标。首先开展详尽调查。调查摸清区域内地质遗迹资源的类型、分布、保护等情况以及区域内地质环境存在的问题和隐患，找出两者协同发展重点与难点。如岩溶区着力加强岩溶地貌遗迹的保护与其地质环境中岩溶环境的修复之间的协作，化石产区注重古生物化石保护与化石周围地质环境保护治

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

理之间的协作[4]。

其次，针对不同类别的地质遗迹、不同性质的地质环境问题确立不同的协同目标。例如：对存在于国家地质公园中的地质遗迹优先确立“保护为主、修复为辅”的目标，以确保地质遗迹的完整，并在此基础上修复其周边受损的地质环境；对地质环境极其破坏并严重威胁地质遗迹安全的地质遗迹则优先设立“修复为主、同时保护”的目标，在消除地质环境安全隐患的前提下进行地质遗迹的保护。最后，落实责任。分解并确定各相关部门及其人员的目标，建立目标考核机制以实现对各项目标的有效监督与实现。

（二）聚焦实效，构建科学完善的协同实施体系

建立完善的协同组织运行系统，是实现二者深度融合的必要途径。首先成立跨机构协同工作体系，由各相关主管部门包括但不限于自然资源、生态环境、水利以及林业等部门构成，并设立相应的协同领导小组负责统筹协调相关工作事项，促进其定期沟通，共同协作完成协同工作，摒弃各自为战的工作现状，通过信息共享和资源整合来实现相互协作，例如学习并运用《世界地质公园管理办法》，以达成统一管理的目的。第二是完善有关的协同计划方案，在实际操作过程中制定有关的统一保护与修复规划，即同时将地质遗迹资源保护与地质环境修复内容纳入区域整体生态环境治理中去，并且要详细安排协同工作的具体流程、技术和时间标准等，实现统一的规划部署、同步实施、同时完成验收。三是完善协作支撑机制，加大资金投入，探索“政府引导、社会参与”的资金投入方式，以政府出资为主，社会资本共同支持；加大科技研发及推广应用，开发有利于地质遗迹与地质环境修复相结合的相关技术如：原地保护技术、生态恢复与遗迹保护结合技术等，推广先进科学技术应用于实际工作之中；建立信息共享体系，整合地质遗迹与地质环境的数据资料信息，实现信息的及时共享，确保信息对协同的科学决策发挥支撑作用。

（三）强化培育，提升从业者协同治理与专业素养

从业人员的协同素质是提高协同治理效率的关键，应加强培养，建设一支具备专业技能和协同理念的专业化队伍。一是完善人才培养机制，各大院校、研究机构等应调整所设专业，设立相关地质遗迹保护与地质环境修复协同专业的设立，在校内进行复合型人才的培养，并针对在职工作者，采取相关协同培训，主要以培养工作人员协同理念及协同方法，提升相关知识与技能等为主要内容，提高工作人员的相关专业知识和协同理念水平。二是健全人才激励机制。建立和完善人才引进培养评价激励制度，吸引各方面复合型人才参与协同工作，表彰奖励业绩突出的协同工作者，调动协同工作者积极性和主动性；建立交流机制，促进不同行业领域和地区的协同工作者交流合作，交流协同工作经验，提高整体协同治理能力和水平。三是完善科学研究支持。鼓励科研机构企业进行相关研究，积极探索适应我国各个区域情况的协同方式技术和方法，给予从业人员理论和技术支持，科学规范地做好各项协同工作。

四、结论

地质遗迹保护和地质环境修复是地质生态治理不可或缺的两个部分，他们之间存在紧密且高度关联的关系，形成合理的高效地协同关系机制有利于保障地质遗迹长期有效保护、持续改善地质环境。目前，这两个工作之间的协调存在协作形式单一化、地质生态工作人员素质较低、相关资源不恰当等问题影响地质遗迹与地质生态环境的综合治理水平。基于实情确立科学协同的目标、构建科学完善协同运行体系、培养和提升从业人员的协同意识等，能够切实解决存在的问题并实现地质遗迹资源保护与地质环境治理的有机融合协调发展。未来还应结合地方实际持续完善协同机制，强化研究探索与人才培育，保障机制落实落位，并提高协同发展能力来促进地质生态与经济社会发展可持续进行良好的互动发展。以此让地质遗迹这一地球“活化石”能够永续流传，使地质环境更加健康稳定。

参考文献

[1] 邓海霞，曹秋香，郑岚淑 . 基于 CiteSpace 的国内外地质遗迹研究的可视化分析 [J]. 江西科学，2025,43(06):1080-1088.

[2] 曾芳，武思琴，王镝，刘汉生 . 武汉市地质遗迹保护与利用协同路径探索 [J]. 南方自然资源，2025,(11):61-65.

[3] 李夏 . 论地质公园建设及其功能 [J]. 工程建设与设计，2022,(10):250-252.

[4] 陈晶，余振国，林燕华 . 基于地质公园的地质遗迹保护现状、问题与对策 [J]. 环境生态学，2022,4(Z1):99-105.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

分析岩土工程勘察与岩土设计之间的相互关联

梁杰
广东南粤勘察设计有限公司，广东 广州 510000
DOI:10.61369/ETQM.2026090027

摘　　要： 岩土工程勘察，会为工程设计提供地层分布、岩土指标、等基础资料。设计提出的各项要求，也会确定勘察的范围、深度和技术手段。两项工作联系密切，岩土参数选取需要相互匹配，方案调整也注重双方配合。现阶段实际工程里，二者常出现配合脱节、参数取值不合理、方案论证不充分等情况，既威胁工程安全，也会造成经济损耗。强化双方交流，统一参数选取标准，完善方案对比分析，能够推动勘察与设计协同开展，切实保障工程整体质量。

关 键 词： 岩土工程勘察；岩土设计；相互关联

Analyze the Interrelationship Between Geotechnical Engineering Investigation and Geotechnical Design

Liang Jie
Guangdong Nanyue Survey and Design Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: Geotechnical engineering investigation provides basic data such as geological distribution, geotechnical indicators, etc. for engineering design. The various requirements proposed by the design will also determine the scope, depth, and technical means of the survey. The two tasks are closely related, and the selection of geotechnical parameters needs to be matched with each other. The adjustment of the plan also emphasizes the cooperation between both parties. At present, in practical engineering, there are often situations where there is a disconnect between the two, unreasonable parameter values, and insufficient scheme demonstration, which not only threaten engineering safety but also cause economic losses. Strengthening communication between both parties, unifying parameter selection standards, and improving scheme comparison and analysis can promote the coordinated development of survey and design, effectively ensuring the overall quality of the project.

Keywords: geotechnical engineering survey; geotechnical design; interrelated

引言

岩土工程勘察与设计，是工程建设中联系紧密的工作环节。勘察工作探明场地地质状况，汇总岩土参数并完成地质评价。设计以勘察数据为基础，选定地基基础方案，开展承载力与变形计算。两项工作相辅相成，勘察数据的准确程度，关系到设计整体效果，设计要求也会指导勘察工作的开展。实际工程里，二者时常出现衔接脱节、参数选取不合理等问题，不利于工程安全与成本管控。理清二者的内在联系、加强工作协同，对工程实践有着实际价值。

一、岩土工程勘察的工作内容

岩土工程勘察分可行性研究、初步、详细与施工四个阶段，分别服务于选址、初步设计、施工图设计及施工中的岩土问题处理。勘察方法包括工程地质测绘、钻探取样、原位测试（载荷试验、静力触探、标准贯入等）及室内试验，获取土的物理力学指标、地下水参数等。勘察成果以报告形式提供，含地质条件、岩土参数、承载力特征值、桩基参数及基础方案建议，是设计的直接依据。

二、岩土设计的工作内容

（一）地基基础设计

地基基础设计包括承载力计算、变形计算、内力计算及构造设计。承载力计算依据勘察报告特征值，经深度和宽度修正后验算轴心与偏心荷载。变形计算采用分层总和法计算最终沉降量，高层建筑还需计算倾斜与差异沉降。内力计算确定基础的弯矩、剪力及配筋。构造设计确定基础类型、尺寸、埋深及配筋。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（二）桩基础设计

桩基础设计包括桩型选择、单桩承载力确定、桩数计算、桩位布置、桩身结构设计及承台设计。桩型依据地质、荷载、施工和经济性选择，常用预制桩（适用于持力层浅、软土层，挤土明显）和钻孔灌注桩（适用于持力层深、硬土层，无挤土但工艺复杂）。单桩承载力根据侧阻力和端阻力计算极限值后除以安全系数得特征值。桩数由上部荷载和单桩承载力确定，桩位布置考虑荷载分布、桩距和承台尺寸。桩身结构需验算承载力、抗裂并配筋。承台设计需验算冲切、剪切、弯矩，确定厚度和配筋[2]。

（三）地基处理设计

天然地基承载力或变形不满足要求时需进行地基处理。设计内容包括处理方法选择、处理范围确定、参数设计及加固效果验算。常用方法有换填垫层法（浅层软弱土）、预压法（深厚软黏土）、强夯法（碎石土、砂土）、水泥土搅拌桩法（软黏土）等，需综合地基土性质、处理要求、施工条件及经济性确定。处理参数涉及置换率、桩长、桩径、水泥掺量等，加固效果应验算复合地基承载力与沉降量。

三、勘察与设计的相互关联

（一）勘察为设计提供基础数据

勘察报告提供的地层结构、岩土性质、地下水条件是设计确定基础形式和埋深的依据。地基承载力特征值、压缩模量、抗剪强度等参数直接用于承载力和变形计算。桩侧阻力、端阻力参数用于单桩承载力计算。场地类别、特征周期用于抗震设计。勘察资料不完整或参数不准确，会导致设计偏于保守或存在安全隐患[3]。

（二）设计需求引导勘察工作

设计需求引导勘察方案，确定勘察范围、深度、方法及试验项目。不同基础形式要求不同：浅基础需查明持力层与下卧层的承载力、变形参数，深度达压缩层；桩基础需查明桩侧与桩端阻力，深度达桩端以下；地基处理需查明处理范围内土层性质与均匀性。设计任务书应明确工程特点、基础形式及参数需求，勘察人员据此开展工作，避免脱节。

（三）参数选用的衔接

岩土参数为统计值，设计人员应理解其含义、取值方法和适用条件。承载力特征值需经深度和宽度修正，压缩模量对应特定压力范围，桩侧阻力为经验值，必要时进行试桩验证。有疑问时应及时沟通或补充勘察。

（四）方案优化的协同

勘察与设计协同优化地基基础方案。勘察报告提出建议，设计初步验算后若发现承载力不足或沉降过大，应反馈勘察人员补充勘察或调整建议。通过协同，选出技术可靠、经济合理的方案[4]。

四、存在的问题

（一）勘察与设计脱节

勘察与设计脱节是常见问题。勘察人员对工程特点了解不足，导致勘察方案与设计需求不匹配，如桩基勘察深度不足、未揭露下卧层或未做必要试验。设计人员对参数理解不深，选用不当，方案与地质条件不符。双方缺乏有效沟通，问题难以及时发现和纠正[5]。

（二）参数取值不当

勘察参数取值不当会直接影响设计质量。勘察报告应说明统计方法、样本数量、变异系数及置信区间。部分报告参数偏于保守，如承载力特征值和桩侧阻力取值偏低，导致设计保守、基础偏大、桩数增多、造价升高。部分报告参数偏于不安全，未考虑变异性，承载力或桩端阻力取值偏高，给工程留下隐患。设计人员选用参数时忽视适用条件，如压缩模量未考虑压力范围、抗剪强度未考虑试验方法，使计算结果失真。

（三）方案论证不足

地基基础方案论证不够充分，容易造成工程成本偏高。勘察报告缺少完善的技术经济对比，给出的方案建议存在片面性。设计人员直接沿用勘察意见，未结合现场条件做优化调整。部分报告仅推荐桩基础，未分析天然地基、地基处理方案的适用条件；选定钻孔灌注桩时，没有对比预制桩、人工挖孔桩的经济差异；推荐 CFG 桩复合地基，也未结合水泥土搅拌桩、预压法开展综合比选。设计阶段同样未合理调整基础埋深、桩长与桩数，最终产生不必要的工程损耗。

五、改进建议

（一）加强勘察与设计的沟通

搭建常态化沟通渠道，促进两方工作配合。勘察任务书需写明工程概况、结构与基础形式、荷载情况及所需岩土参数，以此明确勘察工作方向。现场勘察阶段，双方保持实时交流，勘察人员及时反馈地层、地下水等异常情况，同步参考设计方意见。勘察报告交付后，设计人员仔细审核并尽快给出反馈，若资料不足则开展补充勘察。针对重点工程项目，可联合开展方案研讨，保证勘察成果适配设计要求，地基设计也贴合现场地质实际。

（二）规范参数取值方法

合理选取勘察参数，能够提升数据的科学性。勘察报告需写明数据统计方式、样本数量、变异系数与置信区间。参数选取时，要兼顾岩土分布差异、试验准确度以及工程安全等级。

地基承载力可结合载荷试验、理论计算和规范表格综合判定，尽量不采用单一方式，重点工程必须开展载荷试验。桩侧与桩端阻力，可参照静力触探、标准贯入试验及土体指标综合取值，重要工程还需通过试桩核验。设计人员要掌握参数内涵、取值规则与适用场景，遇到问题及时和勘察方交流。

（三）强化方案论证比较

强化地基基础方案的技术经济论证。勘察报告应进行多方案比较，说明各方案的适用性、经济性和施工条件，并推荐最优方案。比较内容涵盖承载力、变形、造价、工期、施工难度及环境影响。设计人员依据勘察成果优化方案，综合比选天然地基、地基处理及桩基础等方案。重大工程应组织专家论证，确保方案安

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

全、经济、可行且环保。

六、案例分析

文章以广东炜鸿塑料科技有限公司珠江塑料智造大厦项目为例，进一步阐述岩土工程勘察与设计之间的相互关联。

（一）工程概况

项目地处广州市从化区太平镇，规划建设 3 栋框架结构厂房，单柱最大荷载 12000kN。项目基础拟采用桩基础或天然地基，其中 3 号楼配套一层消防水池，对应基坑开挖深度为 5 米。本次岩土工程勘察等级为乙级。

（二）勘察工作及其提供的基础数据

本场区共计布设30个勘探钻孔。现场综合运用钻探、标准贯入、波速测试，搭配室内土工试验开展勘察。据勘察结果，场地地层从上至下分为素填土、冲积粉质黏土、中粗砂、残积粉质黏土，以及全风化、强风化、中风化砂砾岩。素填土厚度0.8~4.5m，土体松散，工程性能偏弱。中粗砂层局部夹杂卵石，土层分布不均。强风化砂砾岩顶面埋深 0~11m，起伏较大，地基承载力良好。中风化砂砾岩饱和抗压强度标准值取 13.9MPa。

勘察成果为本项目设计提供核心数据支撑。报告明确了各土层承载力特征值，其中粉质黏土为 140kPa，强风化砂砾岩为400kPa。针对桩基设计，勘察提出对应参数建议：强风化砂砾岩桩侧阻力特征值 80~90kPa，桩端阻力特征值 3500~4000kPa，相关数据可直接用于单桩承载力验算。场地地下水对混凝土结构、钢筋存在微腐蚀性，可结合该结论制定防腐方案。本场区场地类别为 Ⅱ 类，地震烈度 6 度，作为抗震设计的依据使用。

（三）设计需求对勘察工作的引导

设计需求引导了勘察方案的布置。由于3栋厂房荷载大且对沉降敏感，勘察方案中特意布置了控制性钻孔。控制性钻孔进入中风化岩层至少5米，以满足桩基础持力层查明要求。设计拟考虑天然地基时，勘察详细查明了强风化岩层顶面埋深。勘察指出2号楼局部区域该层缺失，需改用更深的持力层。针对消防水池基坑，勘察专门分析了基坑支护条件，提供了锚杆及土钉的极限粘结强度参数，这直接指导了基坑设计。

（四）参数选用与方案协同

参数选用与方案协同在本案例中得到体现。勘察报告建议1号楼采用预制管桩或钻孔灌注桩，以强风化岩为持力层。设计人员据此进行多方案比选。考虑到周边为工业厂区，对噪音和振动敏感，不宜采用锤击管桩。静压管桩需穿越含卵石的中粗砂层，施工难度较大。经过比较，设计倾向于采用钻孔灌注桩方案。勘察提醒桩基础需考虑填土层的负摩阻力，设计中计算了中性点位置并计划采取涂层措施。针对风化岩遇水软化崩解的特性，设计在基础施工及防水措施中予以专门规定。

表1：勘察与设计协同关联分析

协同环节	勘察提供信息	设计响应	不足与改进
基础选型	建议1号楼以强风化岩为持力层，两种桩型	比选后倾向钻孔灌注桩（噪音、砂层卵石限制）	缺造价工期对比，建议增加技术经济表
负摩阻力	填土厚0.8~4.5m，松散欠固结	计算中性点位置，采取涂层减摩措施	缺负摩阻力系数实测值，宜补充
风化岩软化	全 / 强风化岩遇水易软化崩解	规定及时浇筑垫层、防积水、避免暴露	缺软化系数或承载力折减值，建议定量
持力层缺失	2号楼局部强风化岩层缺失	改用更深持力层或调整基础方案	缺缺失区域范围图及替代建议
抗浮水位	建议取室外设计地坪标高	设计结合当地降雨历史复核	缺近5~10年最高水位记录
基坑支护	提供锚杆 / 土钉极限粘结强度参数	直接用于锚杆承载力计算	缺粘结强度系数或安全系数建议

（五）存在的问题与改进方向

该案例反映出勘察与设计衔接不足。部分土层参数变异较大，如素填土压缩模量变异系数0.182。勘察建议天然地基的区域，个别钻孔显示强风化岩顶面埋深超5米。若直接采用天然地基，可能承载力不足或沉降过大，需验算或调整。抗浮水位取室外设计地坪标高，设计应结合当地降雨历史复核安全性。改进措施：试桩验证，补充施工勘察，加强参数取值与方案优化的沟通。

（六）小结

案例反映出勘察与设计之间关联紧密。勘察工作提供了地层结构、岩土参数和水文条件等基础数据。设计需求则引导了勘察深度、试验项目及参数选取的重点。通过方案比选和协同分析，为不同建筑物选出了技术可行、经济合理的地基基础方案。同时，案例也暴露出参数验证、勘察深度动态调整等方面仍需加强的环节。可见，只有勘察与设计密切配合，才能保障工程质量、控制投资，并降低工程风险。

七、结束语

岩土工程勘察与设计互为依托。勘察提供地质条件和岩土参数，设计据此确定地基方案并计算。设计需求引导勘察方向，参数选用需合理衔接，方案优化重在协同。当前两者存在脱节、参数取值不当、方案论证不足等问题。应加强沟通，规范参数取值，强化方案比较。只有勘察与设计深度融合，才能保障工程质量、降低风险、提高经济性，实现安全可靠与技术合理的统一。

参考文献

[1] 曹祁 . 岩土工程勘察与岩土工程设计关系研究 [J]. 百科论坛电子杂志 ,2020(16):1719.

[2] 陈峰 . 岩土工程勘察与设计的关系探讨 [J]. 建筑工程技术与设计 ,2025,13(20):49-51.

[3] 竹祥 . 岩土工程勘察与岩土工程设计的关系研究 [J]. 建筑工程技术与设计 ,2023,11(4):130-132.

[4] 张林波 . 岩土工程勘察与岩土工程设计的关系探讨 [J]. 城市建设理论研究（电子版）,2022(11):107-109.

[5] 刘家耀 . 岩土工程勘察与岩土工程设计的关系分析 [J]. 中国房地产业 ,2021(18):256.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

储能系统在新能源工程中的应用及发展探讨

赵麟锐
盛发热电公司，内蒙古 通辽 028000
DOI:10.61369/ETQM.2026090029

摘　　要： 随着新能源装机规模持续扩大，储能系统作为提升电网灵活性、促进可再生能源消纳的关键技术，已在发电、电网及用户侧展现出多元应用价值。本文系统探讨储能系统在平抑功率波动、提升低电压穿越能力、削峰填谷与发电计划跟踪等发电侧场景中的功能，分析其在调频辅助服务、系统备用与黑启动、缓解输电阻塞等电网侧支撑作用，并阐述用户侧需求响应、电能质量改善及微网能量管理中的价值。进一步梳理锂电、液流电池、钠离子电池及混合储能等技术发展路径，总结成本、安全性及市场化机制等挑战，展望储能系统在多能互补与电力体制改革背景下的发展前景。

关 键 词： 储能系统；新能源并网；电网支撑；用户侧应用；技术发展

Application and Development of Energy Storage Systems in New Energy Engineering

Zhao Linrui
Shengfa Thermal Power Company, Tongliao, Inner Mongolia 028000

Abstract: With the continuous expansion of the installed capacity of new energy, energy storage systems, as a key technology for enhancing grid flexibility promoting the integration of renewable energy, have demonstrated diverse application values on the generation, grid, and user sides. This paper systematically discusses the functions of energy storage systems in generation- scenarios such as smoothing power fluctuations, improving low-voltage ride-through capability, peak shaving and valley filling, and power generation plan tracking; analyzes its supporting roles on the grid side frequency regulation auxiliary services, system reserve and black start, and alleviating transmission congestion; and elaborates on its value in user-side demand response, power quality improvement, and microgrid management. Furthermore, it reviews the technical development paths of lithium-ion batteries, flow batteries, sodium-ion batteries, and hybrid energy storage, summarizes challenges such as cost, safety and marketization mechanisms, and prospects the development of energy storage systems against the background of multi-energy complementarity and power system reform.

Keywords: energy storage system; new energy grid; grid support; user-side application; technical development

引言

新能源发电存在间歇性和波动性特征，这对电力系统的安全稳定运行形成重大考验。储能系统具备快速响应能力和能量时空转移功能，所以是解决该问题的关键所在。从发电端到电网端直至用户端，储能深入融入电力的生产、输送、分配以及消费各个环节当中。而且，锂电技术不断更新换代，液流电池、钠离子电池等长时储能技术慢慢走向成熟，混合储能形式及其智能控制水准也一直在改善之中。成本是否经济、安全标准体系情况以及电力市场化进程中的商业模式依然限制着它向大规模方向发展。文章针对这些方面实施全面阐述，希望给储能系统在新能源项目里怎样做到改良设置和路线挑选提供参照意见。

一、储能系统在新能源发电侧的应用

（一）平抑功率波动

光伏和风电输出功率受气象条件影响而出现秒级到小时级的波动，如果直接并网，就可能会造成电网频率和电压出现偏差。储能系统能够以快速充放电的方式作出响应，在高功率输出时期储存多余的电量，在功率急剧下降的时候再释放出来，从而使得并网点的功率变化率符合并网规范的要求。在实际工程项目当中，经常会采取电池储能结合超级电容的方案，因为电池储能具有较高的能量密度，而超级电容则具备较高的功率密度，二者相

作者简介：赵麟锐（1989-），男，汉族，内蒙古通辽市人，研究生，工程师，研究方向：新能源建设。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

辅相成。通过合理的容量调配以及改进变流器控制策略之后，储能系统可以把分钟级别的功率波动范围缩减到原来的百分之四十左右，大幅减轻了依靠火电机组调节频率的压力，也为新能源占比达到很高水平创建了前提条件。

（二）提升低电压穿越能力

电网出现短路故障造成电压突然下降的时候，如果风电机组和光伏逆变器没有低电压穿越的能力，会大量脱网，从而产生一系列连锁故障。储能系统通过储能变流器迅速向并网点注入无功功率来维持电压稳定，并且在故障时段吸收多余的能量以防止直流母线电压过高。实际运行情况显示，在升压站高压侧设置集中式储能可以使得低电压穿越的成功率达到95% 以上，这个方案比安装动态无功补偿装置更为经济。而且储能系统一旦故障解除，就能自动参与到电压的恢复当中，免除新能源场站因为保护机制触发而切断发电单元，保障电网受到干扰时仍然具备有功备用的能力。

（三）削峰填谷与发电计划跟踪

新能源发电存在预测误差，是无法避免的。实际出力和日前发电计划曲线之间存在偏差，这种情况会引发考核惩罚。储能系统按照日前的预测数据来制定充放电策略，当预测出力过高时就充电储能，过低时则放电以填补差距，从而让实际出力曲线符合计划值。对于日内的短时强辐照或者突风情况，储能可以削减功率峰值，并在低谷时段加以补充输出，以此来平稳出力的阶梯式变动。西北某个光伏电站安装了容量占装机容量20%、时长为两小时的锂电储能之后，发电计划的追踪精度从76% 优化到92%，每年的考核费用缩减了一百多万。这种模式对于改善新能源电站的经营经济性以及并网友好性有着直接的价值。

二、储能系统在电网侧的支撑作用

（一）调频辅助服务

电力系统频率调节需调节资源具有毫秒级响应能力，传统火电机组存在响应迟缓及爬坡速率受限的情况。储能系统依靠变流器快速功率调节的特性，当电网频率偏离额定值时，会自动转为充放电模式，从而给予虚拟惯量和一次调频支持。相比于抽水蓄能，电化学储能的调频里程成本削减大约四成，并且没有机械磨损方面的限制。实际工程当中，电网侧的独立储能电站参与到调频辅助服务市场之中，利用协同控制策略同火电机组一同作出响应，既能填补火电反向调节所造成的迟缓现象，又可缩减机组频繁改变负载而引发的煤耗上升以及使用寿命缩减，进而变成优良的调频资源。

（二）系统备用与黑启动

电网出现大面积停电事故时，要依靠具有黑启动能力的电源来重建初期的电压和频率参考。储能系统自身无需外加电源就能自主启动变流器生成交流母线电压，渐渐促使新能源场站以及临近负荷重新得电。其响应速度比燃机黑启动方案更快，而且其启动流程更为简洁，不存在燃料供应方面的考量。储能系统还可充当除旋转备用以外的无功热备用，在负荷突然增多的时候立刻发出功率以弥补功率短缺状况，从而给火电机组争取到更多时机去提升出力水平。国内已经形成不少针对电网侧储能黑启动的示范项目，这些项目证实了储能当作黑启动电源带动两台三十兆瓦级风电机组并入电网的技术可行性。

（三）缓解输电阻塞

新能源富集区域输送通道容量小，大发电时段容易发生断面越限现象，这促使调度部门执行弃风弃光策略。而在输电走廊扩建不易的情况下，可以将储能系统设置在升压站或者关键节点处。当断面潮流靠近热稳定极限的时候，储能充电来吸收多余功率，等到阻塞解除后再放电返回电网。此方案达成了输电容量的动态扩充目的，并且其投资成本比新建线路低。拿某个千万千瓦级新能源基地来说，如果在汇集站安排三百兆瓦两小时的储能设施之后，关键断面的利用率就从百分之八十七优化到百分之九十六，每年新增加的新能源电量超过两亿千瓦时。储能调峰和输电阻塞治理相互配合加以改良，正渐渐变成电网规划的新方向。

三、储能系统在用户侧的价值体现

（一）需求侧响应与峰谷套利

分时电价机制之下，工商业用户能够凭借储能系统在低谷时段充电，高峰时段放电来削减平均用电成本。随着电力现货市场的推进，当峰谷价差扩大到每千瓦时0.7元以上的时候，两小时储能系统的静态投资回收期可以缩减到五年之内。用户侧的储能还可以参加需求响应项目，当电网发出削峰指令的时候，通过提升放电功率来获取补偿收益。实际运行过程中要联系用户的负荷曲线以及变压器容量限制，采取需量经营策略防止基本电费增多。江苏、广东等地已经做到用户侧储能的峰谷套利和需量控制协同运作，单个项目每年的收益能达到投资额的12% 到15%。

（二）提升电能质量

电压暂降、谐波污染以及三相不平衡等情况会干扰精密制造、数据中心这些敏感负荷的正常运行。储能系统通过四象限变流器来同步补偿有功和无功，其可在毫秒级别应对电压跌落事件，把敏感母线电压守住在额定值的九成之上。对于电弧炉、轧钢机这类冲击性负荷而言，储能能够立即吸取或者给予功率以控制闪变和谐波。相比于静止无功发生器，储能方案不但做到相同的电能质量治理效果，而且附加了应急备用电源和峰谷调节能力，具备功能叠加的优势。某个电子厂房安装了五百千瓦的储能系统之后，由于电压问题而停止运行的设备台数从每月四次缩减到零点五次，整体效益十分明显。

（三）分布式微网中的能量管理

在离网型微电网以及光储充一体化场景当中，储能系统起着守住功率均衡并稳定电压频率的关键作用。光伏出力存在昼夜起伏，负荷又不确定，所以储能需具备日间能量调动及瞬时功率支持的能力。利用分层控制结构，能量经营系统遵照短期预估来制订储能充放电方案，本地控制器应对毫秒级的功率波动，做到柴油发电机的启停改良，并最大程度利用新能源。针对像海岛、偏

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

远山区这些未被大电网涵盖的地方，用锂电储能加上光伏和柴油机形成一个较为可靠的供电体系。当可再生能源占比高于百分之七十的时候，储能能量经营策略的好坏会直接左右微电网的供电稳定性及其运行成本。

四、储能系统的技术发展路径

（一）锂电储能技术迭代

磷酸铁锂储能电池依靠其较长的循环寿命和较高的安全性而成为当下主要的技术路线，其单体能量密度已达180Wh/kg以上，循环寿命超过8000次。下一代技术包含固液混合电解质以及全固态电池，它们或许能把能量密度优化到300Wh/kg，并彻底解决电解液泄漏引发火灾的问题。从制造工艺来讲，叠片工艺和无模组结构极大改善了体积利用率，系统集成度也在不断加强。就成本而言，碳酸锂价格回到合理区间之后，储能电芯的成本便下降到了每瓦时0.4元以下。不过低温时性能会有所下降，还存在析锂的风险，这些情况得要用热管理和智能充电策略来防止，所以锂电储能还会在中短期应用场景当中占据领先地位。

（二）液流与钠离子等长时储能技术

对于四小时以上甚至日级的调峰需求来说，全钒液流电池由于具备电解液和电堆分离的设计，循环寿命超过两万次而且没有燃烧的风险而受到人们的青睐。它在运行时间变长的时候单位电量的成本会变低，在十小时储能的情况下其经济性堪比抽水蓄能。铁铬液流路线也在朝着低成本的方向发展。钠离子电池凭借钠资源丰富的特点，正负极可以用铝箔集流体来进一步降低成本，虽然它的能量密度比不上锂电池，但是倍率性能和低温特性还不错，在百兆瓦时级别的项目里正在加快开展示范验证工作。

（三）混合储能与智能化管控

不同的储能技术很难兼顾功率密度和能量密度的需求，混合储能系统把锂电或者液流电池同超电容或者飞轮储能结合，通过能量运作系统来分工协作：超电容负责应对秒级的高频波动，电池则承担分钟级以上能量的搬运任务，这明显改善了电池的循环使用寿命。智能运作采用数字孪生和机器学习算法，依靠即时的运行数据来推算剩余寿命，并改良充放电策略，预先察觉单体的异常情况以减小热失控的风险。云边协同架构使得多站点储能聚合能够参加辅助服务市场，而且可以动态适应电网的调度指令。混合储能和智能运作深入融合，正在促使储能系统由被动回应朝着积极智能决策的方向发展。

五、储能系统的发展挑战与前景

（一）成本与全生命周期经济性

储能电芯的价格一直在降价，不过系统整合、土地费用、守护经营以及使用寿命结束时的更换成本都要仔细计算。当下，锂电储能的度电成本大约在0.4到0.6元之间，比起抽水蓄能还是有差距的。在利用小时数较少的用户端情形下，其经济性比较吃力。当电池容量缩减到原始值的80%之下时，梯次利用和再生回收产业链尚未成熟，所以整个生命时段的实际成本必要重新考量。伴随制造规模增长和技术更新换代，估计到2030年，锂电储能的度电成本可以降到0.3元以下。

（二）安全性与标准体系

储能电站火灾事故频繁出现，其背后的原因在于热失控机理包含诸多要素，比如电芯制作存在瑕疵、机械被过度使用以及热经营出现故障等情况。当下的标准体系在消防设计、气体检测和关联灭火装置等方面仍然存在不足之处。针对不同电压等级、不同技术路线所对应的规范并未做到完全一致，而且储能并网检测、调度通信协议、涉网性能评定等标准散见于许多行业的规则当中，这使得设备选型和验收阶段产生分歧。不过国家已经出台储能安全专项行动计划，助力开展强制认证并创建全流程追溯体系。

（三）电力市场化改革下的商业模式

储能系统的价值是多元的，它既能供应调峰，又能供应调频，还能供应备用以及输电阻塞缓解之类的服务。不过当前的市场机制常常按照单个品类来安排交易，这样储能就很难把多种收益加在一起得到。有些地方虽然容许独立储能电站参加电能量和辅助服务市场的交易，但是其准入条件很高，结算规则也很繁杂。从用户角度讲，储能碰上分布式光伏配储政策有所变化以及隔墙售电受到约束的情况。国外的经验显示，容量市场、爬坡产品以及快速频率响应这些新品种的设计能够很好地发挥出储能灵活的价值。国内正在推动电力现货市场全面覆盖并且融合辅助服务市场实施改革，形成储能容量回报机制以及复合服务收益计算规则变得非常关键。

六、结语

储能系统覆盖新能源发电、输配电网直至终端消费的各个环节，在平抑波动、支撑电网、改良用能等方面有着无可替代的意义。锂电技术持续更新换代，长时储能不断取得新进展，混合储能的智能运作水平得到加强，这些给储能的大规模布置形成了技术根基。但成本是否经济、安全标准以及市场机制仍然是主要限制因素。未来要从材料革新、系统整合改良以及电力体制改革这三个方面共同推动，塑造适合高比例可再生能源的储能发展环境，推动能源结构朝着清洁低碳方向转变。

参考文献

[1] 刘吉兴. 构网型储能助力弱电网新能源安全运行研究 [J]. 水利技术监督 ,2026,(6):138-140.
[2] 薛易，王啸林，吴立涵，等 . 基于混合储能的直驱风机高电压穿越控制策略 [J]. 黑龙江电力 ,2026,48(1):52-57.
[3] 丘停峰 . 基于数字孪生的智能电网储能系统全生命周期健康管理技术研究 [J]. 智能制造研究与应用 ,2025,1(3):8-10.
[4] 丁长瑜 . 新能源接入下电气工程及其自动化的稳定性 [J]. 智慧中国 ,2025,(S1):25-26.
[5] 刘鸿清，张秀琦，王立强，等 . 新能源场站惯量支撑与频率响应特性研究 [J]. 内蒙古电力技术 ,2024,42(4):14-22.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

建筑工程项目施工全过程精细化管理实施路径探究

钟志亮
广东佛高控股有限公司，广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ETQM.2026090031

摘　　要： 建筑行业当前普遍存在管理权责划分不够清晰、各业务环节之间衔接不够顺畅、资源利用效率相对偏低等共性问题。精细化管理在具体落地过程中，主要面临两类核心堵点：其一是全链条节点管控的协同性不足，表现为各参与方之间信息传递存在滞后、目标共识存在显著偏差；其二是配套的支撑体系尚不完善，具体体现在人员能力与要求不匹配、制度约束存在缺位、技术工具相对落后等方面。为有效推进精细化管理落地，可以通过分阶段搭建管控体系、落实动态化过程管控、开展系统性复盘与溯源这三类主要路径来加以实施。

关 键 词： 建筑工程项目；施工全过程管理；精细化管理；全流程管控

Exploration of Implementation Paths for Refined Management Throughout the Entire Construction Process of Building Projects

Zhong Zhiliang
Guangdong Fugao Holding Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract: The construction industry currently faces common challenges including unclear delineation of management responsibilities, poor coordination between operational processes, and relatively low resource utilization efficiency. In implementing refined management practices, two primary bottlenecks emerge: first, insufficient synergy in controlling all nodes across the entire supply chain, manifested by delayed information flow among stakeholders and significant discrepancies in goal alignment; second, an incomplete supporting framework characterized by mismatches between personnel capabilities and requirements, gaps in regulatory constraints, and outdated technical tools. To effectively advance refined management implementation, three key approaches can be adopted: establishing a phased control system, enforcing dynamic process monitoring, and conducting systematic post-event reviews with traceability analysis.

Keywords: construction engineering projects; full-process construction management; refined management; comprehensive process control

引言

建筑行业进入高质量发展阶段后，传统粗放式施工管理模式的短板逐步凸显，成本管控精度不足、质量隐患难以及时排查、安全风险防控不到位、工期履约能力不稳定等问题，直接制约行业整体发展质效的提升。精细化管理作为适配行业转型升级需求的新型管理模式，将其贯穿施工全周期，是破解当前行业共性管理难题的可行路径。当前针对施工精细化管理的研究多聚焦单一环节的优化，缺乏覆盖前期筹备、施工建设、竣工交付全周期的系统性落地路径分析。对施工全过程精细化管理的实施基础、落地堵点开展研判，明确分阶段的落地实施路径，能够为建筑企业优化施工管理体系、提升综合效益提供可参考的实操框架。

一、建筑工程项目施工全过程精细化管理的实施基础

建筑工程项目施工全过程精细化管理，是把精细化管理理念贯穿前期筹备（包括项目规划、设计交底、资源配置方案制定等）、施工建设（涵盖各工序执行、现场物料管理、人员调度等）、竣工交付（涉及验收流程、资料归档、交付前整改等）全周期的管理模式，其核心特性是覆盖各环节的全流程管控，与传统粗放式管理的核心差异在于，传统管理模式大多侧重单个节点的事后处置，比如材料浪费严重后才采取补救措施，该模式则实现了事前预判（如提前模拟施工中的材料损耗风险）、事中调控（如实时监控材料使用动态）、事后溯源（如记录每笔材料流向便于问题追踪）的全链条覆盖。从实际应用价值来看，成本管控维度，能对各环节资源消耗开展精准的核算以及调配工作，比如对钢筋、混凝土等主要建材的用量进行动态跟踪，根据施工进度调

作者简介：钟志亮（1990.06-），男，汉族，广东省佛山市人，职称：建筑工程管理中级工程师，学历：本科，研究方向：建筑工程管理研究。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

整采购计划，避免库存积压或短缺，减少不必要的资源浪费，提升项目整体收益；质量保障维度，能对各施工工序的标准执行情况进行动态核查，比如对模板安装的垂直度、钢筋绑扎的间距等关键参数实时检测，及时纠正不符合施工规范的操作，切实保障项目建设品质；安全风险防控维度，能对各作业场景的风险点开展常态化排查工作，比如对高空作业防护措施、临时用电规范情况每日巡检，建立隐患台账及时处理，把隐患消除在萌芽阶段，极大程度上降低安全事故发生概率；工期履约维度，能对各分项工程的进度进行动态跟踪，比如对桩基工程、主体结构工程等进度节点周度对比，若出现滞后则调整人力或设备投入，及时调整进度偏差，保障项目按照既定节点交付。当前建筑行业普遍存在管理权责不清（如部分环节权责交叉或空白，问题出现时互相推诿）、各环节衔接不畅（如设计与施工沟通不足导致返工）、资源利用率偏低（如大型设备闲置时间长或材料堆放混乱造成二次搬运浪费）等问题，开展该类精细化管理是契合行业转型升级需求的重要举措，也为后续落地路径的相关研究铺垫了理论以及现实基础[1]。

二、建筑工程项目施工全过程精细化管理的实施堵点研判

（一）施工全流程各节点管控的协同性堵点从招投标交底、进场筹备、工序流转到分项验收的全链条施工节点，普遍存在管理责任边界模糊的问题，比如在招投标交底环节，施工方与监理方对技术参数的确认责任常常没有明确的书面界定，导致后续进场筹备时双方对材料规格的理解出现分歧；施工方、监理方、分包商以及材料供应商等不同参与方之间的信息传递存在明显滞后性，例如分包商完成某一分项工程后，没有及时将验收报告提交给监理方，导致监理方无法及时开展下一步工序的核查，造成工序衔接的停滞；权责划分不清的状况直接诱发各环节的管理断层。不同参与方的管控目标存在差异，施工方侧重成本与工期管控，监理方侧重质量与安全核查，分包商只关注自身承接的分项工程进度，目标偏差也会进一步放大协同断层的问题，比如施工方为了赶工期可能会压缩某一分项工程的施工时间，而监理方为了保证质量要求延长该工序的验收周期，双方的冲突会直接导致该环节的进度延误。部分项目在开展各节点交接时，没有形成标准化的交接流程，仅依靠口头沟通传递信息，很容易出现信息遗漏或者偏差的问题，有些项目在主体结构施工与装饰装修阶段交接时，仅通过现场口头告知墙体预留洞口的位置，没有形成书面的交接清单，导致装修班组在安装门窗时发现洞口尺寸不符，不得不重新调整。不同工序之间的管控标准没有形成统一的对接规则，前置节点的验收信息没有同步到后续施工环节，很容易诱发各类质量隐患[2]。

（二）精细化管理落地的配套支撑体系堵点从人员维度来看，施工一线的管理人员以及作业人员，普遍对精细化管理的认知不足，一线作业人员中，不少人认为精细化管理只是增加工作量，对诸如“每道工序完成后必须填写电子检查记录”的要求抵触情绪较大；自身的专业能力也与精细化管控的要求存在明显的不匹配问题，部分现场管理人员缺乏精细化管理的系统培训，对如何制定分阶段的管控目标和检查清单并不熟悉；不少一线班组仍然沿用传统的作业习惯，没有按照精细化管控的要求规范自身的作业流程，管理要求很难传导到最末端的作业环节[3]。各类管理要求悬浮在中高层管理层级，无法真正落实到一线作业端，当出现质量问题时，往往只追究直接作业人员的责任，而忽略了管理人员在过程管控中的失职；管控要求的执行效力被大幅削弱，很多管控要求最终只停留在书面文件层面。从技术工具维度来看，部分项目仍然沿用传统人工台账、人工巡检的管理模式，人工台账记录时，常常出现数据填写错误或遗漏的情况，如混凝土试块的养护时间记录不准确；没有引入适配的信息化管理工具，直接导致现场各类施工数据采集不及时，管控指令的下达和反馈存在明显延迟，现场巡检发现的问题需要通过电话或纸质报告层层上报，等到解决方案下达时，问题已经扩大；整体管控效率偏低。比如部分市政道路施工项目没有建立对应的精细化考核制度，现场作业人员的规范落实情况没有对应的考核约束，最终导致现场作业标准参差不齐，各类管控要求无法落地，这类问题共同构成了配套支撑层面的共性堵点，也直接影响精细化管理的实际落地成效[4]。

三、建筑工程项目施工全过程精细化管理的落地实施路径

（一）施工前期筹备阶段的精细化管控机制搭建，首先要搭建一个覆盖施工方、监理方、分包商以及材料供应商的全参与方协同沟通平台，统一各环节的管控标准以及清晰的责任划分规则，将不同参与方的管控目标进行有效对齐，确保各方步调一致，从根本上避免因目标偏差导致的后续协同断层问题。在此基础上，需要系统梳理并形成施工全流程的关键节点管控清单，逐一明确各节点的详细验收标准、对应责任人以及严格的完成时限，将宏观的全流程管控要求精准拆解到每个具体岗位，确保所有参与人员都能清晰知晓并承担起自身的管控责任。其次，必须完成精细化管理的配套制度体系搭建，出台紧密适配项目实际情况的作业规范、考核细则以及追责机制，把精细化管控的具体要求切实嵌入到所有作业环节的日常考核规则中，防止管理要求仅仅停留在中高层管理层级，而无法有效传导和落实到一线作业端[5]。与此同时，要面向项目管理团队以及一线作业班组，组织开展精细化管理理念与实操的专项培训，重点讲解管控清单的具体内容要求以及作业规范的执行标准，帮助一线人员深刻理解并逐步扭转传统的粗放式作业习惯[6]。

（二）施工实施阶段的全节点动态精细化管控，首先要建立健全各工序节点的日巡检与周复盘机制。每天安排现场管理人员对正在施工的工序进行全范围核查，及时发现并纠正不符合规范的作业行为；每周组织所有参与方开展涵盖进度、质量以及安全等多个维度的复盘工作会议，系统梳理当周出现的各类问题，并明确具体的整改责任人与完成时限。每个工序节点在完成后，必

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

须第一时间组织验收工作，并将验收结果与关键信息同步给所有相关参与方。对于验收不合格的节点，必须严格执行整改要求，严禁其进入下一道工序，从而从前端有效阻断质量隐患向后续环节的传导。所有相关管控要求，均需严格契合《建筑工程施工质量验收统一标准》等规范的相关规定，确保整个验收流程的合规性与权威性[7]。例如，某安置房项目在施工阶段全面落实上述全节点动态管控要求后，施工过程中的安全隐患排查整改率达到了100%，因工序质量问题导致的无效成本支出得到了显著压缩，不仅切实保障了安置房项目的建设品质，也顺利实现了项目按期交付的总体目标[8]。

（三）竣工交付阶段的精细化复盘溯源管理，首先要系统开展全施工周期的资料归集与整理工作。对照前期制定的施工全流程节点管控清单，逐一核对各节点的验收资料、过程管控数据以及问题整改记录，确保所有资料的完整性、准确性与可追溯性，最终形成一套完整、规范的项目管理台账。这套台账将作为后续同类项目筹备与管控工作的重要参考样本，能够显著减少新项目在筹备阶段的重复性摸索工作。其次，要针对施工全过程中出现的各类典型问题与偏差，逐一开展深入的溯源分析工作，梳理问题产生的核心缘由，准确判断其根源在于管控规则本身存在漏洞，还是执行层面出现了偏差，从而针对性地优化后续项目的精细化管控清单与制度，填补现有管控体系的潜在短板[9]。此外，还需建立并落实交付后的长效质量回访机制，在项目交付后的质保期内，定期对业主方进行回访，对交付后出现的任何质量问题做到及时响应、妥善处理并做好详细记录。通过对回访信息的汇总分析，梳理出质量问题高发的施工环节与工艺，以此反向优化现有施工环节的管控要求与标准，从项目交付的末端结果出发，倒逼整个施工管理体系的持续迭代与升级[10]。

四、结语

施工全过程精细化管理的落地是一项覆盖全部参与方、贯穿所有作业环节的系统性工作，其实现不可能一蹴而就。它首先需要项目各参与方协同一致，明确并统一管控目标，并配套建立和完善相应的制度、技术与资源支撑体系。在此基础上，需将精细化的管控要求逐层分解、有效传导至最终的一线作业端，确保理念落地。与此同时，管理实践必须紧密结合不同项目的具体建设需求与环境特点，动态调整管控的规则与重点。在实施过程中，应持续进行复盘总结，不断优化既有的管控流程与体系。通过这种循环迭代，逐步沉淀和形成一套可复制、可推广的标准化管理模式。最终目标是在实践中达成施工成本、工程质量、现场安全与项目工期等多维度管控目标的动态平衡与整体最优，从而切实助力整个建筑行业管理水平的扎实与稳步提升。

参考文献

[1] 华海金 . 工程项目全过程造价精细化控制研究 [J]. 中国建筑金属结构 ,2025,24(22):145-147.

[2] 卓金花 . 建筑工程造价全过程动态管理模式分析 [J]. 中国建筑金属结构 ,2025,24(22):163-165.

[3] 张牛虎 , 顾季涛 , 张民 , 叶超 . 船舶工程项目施工中的精细化质量管理分析 [J]. 船舶物资与市场 ,2024,32(12):92-94.

[4] 任旭 . 建筑工程项目管理中精细化施工管理的实施路径 [J]. 现代工程项目管理 , 2025(19).

[5] 常俊杰 . 大数据时代建筑工程管理信息化建设研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025(22):28-30.

[6] 曹权 . 建筑工程项目安全质量管理的影响因素研究 [J]. 黑龙江科学 ,2025,16(20):150-152.

[7] 严峰 . 建筑工程施工中防渗漏施工技术分析 [J]. 建设科技 ,2025,(S1):163-165.

[8] 赵晨 . 建筑工程项目绿色施工管理模式研究 [J]. 中华民居 ,2025,18(10):4-6.

[9] 刘莉虹 . 基于 BIM 技术的施工进度控制研究 [J]. 住宅与房地产 ,2025,(29):68-70.

[10] 郭之成 . 建筑工程项目高大模板工程施工关键技术分析 [J]. 建材发展导向 ,2025,23(19):73-75.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

复杂地质条件下地下铁矿高效采矿工艺优化研究

张景凯
徐州铁矿集团，江苏 徐州 221138
DOI:10.61369/ETQM.2026090032

摘　　要： 针对复杂地质条件下地下铁矿损失贫化大、效率低的问题，剖析了构造应力－结构面耦合诱发的采场失稳、矿体形态多变导致的损失贫化及裂隙水与爆破动载下的出矿效率衰减规律。通过采场参数与回采顺序动态匹配、低扰动精细化爆破及落矿－运搬－空区处理工序衔接优化，实现工艺协同。工业试验表明产能提升、采切比与成本下降；进而构建融合微震、变形及品位的动态反馈机制，提炼技术标准并形成持续优化闭环，有效提高开采效率。

关 键 词： 复杂地质；损失贫化；工艺参数；动态反馈

Optimization Research on Efficient Mining Process of Underground Iron Ore under Complex Geological Conditions

Zhang Jingkai
Xuzhou Iron Mine Group, Xuzhou , Jiangsu 221138

Abstract: In response to the problems of large loss and degradation in underground iron ore mining under complex geological conditions, this paper analyzes the instability of the mining area caused by the coupling of tectonic stress and structural planes, the loss and degradation due to the variable shape of the ore body, and the attenuation of ore extraction efficiency under the influence of fracture water and blasting dynamic loads. Through dynamic matching of mining area parameters and mining sequence, low-disturbance fine blasting, and optimization of the connection between the process of ore discharge, transportation, and empty area treatment, the process is coordinated. Industrial tests show that the production capacity has increased, the cutting ratio has decreased, and the cost has dropped. Furthermore, a dynamic feedback mechanism integrating microseismicity, deformation, and grade is constructed, technical standards are refined, and a continuous optimization loop is formed, effectively improving the mining efficiency.

Keywords: complex geology; loss and degradation; process parameters; dynamic feedback

引言

本文针对复杂地质条件下地下铁矿损失贫化大、效率低的问题，分析构造应力、产状多变及裂隙水引起的采场失稳与工序衰减机理，研究采场结构动态匹配、低扰动爆破及工序连续化协同优化，经工业试验与多源信息反馈形成改进闭环。虽然我国铁矿石资源总量相对丰富，但可供开发利用的高品位资源短缺，因此需要针对不同的铁矿赋存条件，采用更合理、更科学的开采技术以提高资源利用率。我国的铁矿资源主要分布在东北、西北和西南地区，这些地区的铁矿资源储量丰富。在进行铁矿开采时，应结合当地的实际情况选择最适合的采矿方法。

一、复杂地质特征对采矿效率的制约因素与内在机理分析

（一）构造应力场与矿岩结构面耦合作用下的采场失稳模式及作业中断机制

在构造应力场和矿岩结构面产生耦合作用的情况下，采场失稳并非由单一因素导致，而是二者相互交互影响的结果。在高应力的环境当中，岩体内所存在着的节理、层理以及断裂等这些结构面，通常会成为应力释放的具有优势的通道。当采掘活动造成应力重新进行分布的时候，沿着这些弱的面容易形成剪切滑移或者张拉分离的情况。特别是在最大主应力的方向和结构面的走向呈现小角度相交的时候，顶板以及边帮容易产生大范围的结构控制类型的垮落；相反的情况，当高应力集中起来作用在完整的岩体之上的时候，就有可能引发应变类型的岩爆。上述失稳模式直接造成回采作业中断，迫使矿山投入大量时间进行支护修复和危石清理。这打乱了采场作业循环，制约了设备调配，使工序连续

作者简介：张景凯（1992.06-），男，汉族，山东临沂人，本科，中级工程师，研究方向：地下铁矿。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

性难以维持，最终形成了制约开采效率的根本性力学机制 [1]。

（二）矿体形态产状剧烈变化导致的采矿方法适应性不足与损失贫化异常

采矿方法的确定通常以矿体赋存条件相对稳定为基本预设，然而在复杂地质条件下，矿体的厚度、倾角及走向常沿其走向和倾向发生无规律的急剧变化，导致预定的采场结构参数和回采工艺难以持续适配。当矿体在短距离内由厚大变薄、由缓倾斜过渡为急倾斜时，原本合理的凿岩巷道布置、爆破自由面选择及出矿方式随之失效，采切工程难以准确控制矿岩边界。这种不适应的情况直接造成两方面的后果：一是为了尽量回收矿石而被迫超挖围岩，大量的废石混入进来致使矿石的贫化率明显地升高；二是在矿体急剧变薄或者尖灭的地方，受到采场最小作业宽度的限制，部分工业矿体被迫放弃，造成矿石的损失 [2]。损失和贫化异常地增高，不仅削弱了资源回收的水平，还让后续的提升、运输以及选矿环节承担没有效果的负荷，干扰了采场正常的回采节奏和整体的生产效率。

（三）裂隙水渗透与爆破动载叠加条件下凿岩出矿效率的衰减规律

裂隙水渗透与爆破动载的叠加作用，使凿岩出矿效率的衰减呈现出明显的复合效应。裂隙水沿着岩体结构面渗透进去之后，炮孔孔壁的稳定性明显地降低了，成孔的过程当中容易发生塌孔、缩径的情况，导致装药作业受到阻碍，爆破能量因为耦合条件变差而衰减，大块率随之升高，二次破碎的工作量增加。同时，水的润滑和孔隙压力效应削弱了爆破应力波的传播效率，爆破漏斗的体积缩小，实际崩矿量常常低于设计的值。在出矿的环节，渗水让崩落矿石的含水率升高，粉矿粘结的情况加剧，溜井以及出矿巷道的放矿口频繁地出现结拱堵塞的情况，铲运设备在泥化的底板上行走的效率也大幅度地下降 [3]。爆破振动进一步引发裂隙扩展和渗透通道贯通，形成渗流加剧和岩体弱化的循环。上面所说的这些因素相互交织在一起，让采场的循环周期变长，连续作业的能力受到损害，最终导致综合出矿效率持续地降低。

二、以效率提升为目标的采矿工艺结构与参数协同优化

（一）适应产状多变的采场结构参数与回采顺序的动态匹配设计

针对矿体产状沿走向和倾向频繁变化的特点，采场结构参数及回采顺序不能继续沿用全矿统一的固定模式，而需建立分区分段的动态匹配机制。在矿体厚度及倾角急剧变化的区段，不宜强求规则的采场跨度和分段高度，应依据每两到三个采场范围内相对稳定的产状要素，灵活确定进路间距、矿柱尺寸及底部结构形式。回采顺序的选定同样必须要与应力转移路径以及结构面展布相适应，对于产状变化转折的部位，优先安排卸压回采或者充填跟进，避免形成应力集中三角区。相邻采场必须保持合理的空间错距，使采动应力在三维空间内有序释放，防止产状突变处的扰动诱发边帮滑移 [4]。整个参数以及顺序的调整过程，必须要以采场揭露的实时地质信息作为依据，在保证回采安全的前提之下，最大限度地降低边界矿石的损失以及废石的混入，维持采场生产能力的相对均衡。

（二）基于低扰动控制的节理化岩体凿岩爆破参数精细化调控

节理化岩体的爆破控制难点在于结构面会阻断爆炸应力波并导致能量逸散，因此参数调控需从单纯追求破碎块度转变为兼顾围岩保护。孔网参数应根据采场不同部位结构面发育程度分区确定：在节理密集区域适当缩小孔间距并降低单孔药量，采用不耦合装药结构延长应力作用时间，使爆炸能均匀作用于孔壁而非沿裂隙集中释放；邻近最终边帮处则需要采用光面爆破或者预裂爆破，通过减小周边孔距以及药径形成光滑的破裂面，最大限度地阻止爆破扰动向外传递。起爆时序方面，可以采用孔间微差或者排间斜线起爆，为后续孔创造充分的自由面，既改善破碎质量又减少对后侧岩体的扰动 [5]。此外，装药结构也应该由连续柱状向分段间隔装药转变，根据岩体节理分布特征在弱面处设置堵塞段，阻止爆生气体沿裂隙过早泄漏。上述精细化调控措施环环相扣，最终在保证落矿效果的同时有效降低爆破对采场稳定性的损害。

（三）落矿、运搬与空区处理等关联工序的衔接瓶颈消除与流程连续化

落矿、运搬及空区处理构成采场循环的连锁工序，任一环节的阻滞都会向后传导至后续环节，从而拉长整体回采周期。落矿之后崩落矿石如果不能及时运出，凿岩作业就无法进场，而运搬效率受到出矿口通过能力以及铲装设备运距的双重制约，需要使溜井与出矿横巷间距同爆破循环进度相匹配。空区处理的时机也必须要精确协同：滞后的话悬顶面积扩大，危及安全；超前的话充填体强度不足，难以承载。可行措施是在出矿末段并行安排废石回填或者隔离挡墙构筑，压缩充填所占用的独立时段，让三项工序紧凑衔接，缩短采场循环周期 [6]。

（四）工艺参数协同优化的系统整合

上述采场结构动态匹配、爆破参数精细化及工序衔接连续化三项措施并非孤立叠加，而是以围岩稳定与出矿效率为约束条件的系统整合。各参数间的耦合关系需在采场推进中反复校验，避免局部调整引发新的不平衡。

三、优化方案的现场实证与高效采矿长效保障机制

（一）典型采场工业试验中的产能、采切比与单位矿石生产成本对比评测

为检验方案优化后的实效，必须针对典型采场开展工业试验，评测的核心指标为采场产能、采切比及单位矿石生产成本。选取试验采场时，应覆盖矿体产状变化最剧烈及裂隙水最发育的区段，使其条件与前期问题识别的典型场景相对应。进行产能对比的时候，要以采场月均出矿量以及凿岩台车台班效率作为主要的依据，去观察工序衔接优化之后循环周期缩短的实际幅度情况。对采切比进行测算的时候，则要重点去计量因为结构参数进行动态调整从而减少的无效采准工程和增加的边界追索工程量之

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

间的消长关系，以此来评判采切工程投入的集约程度。单位矿石生产成本的构成包含了爆破材料、支护消耗、动力能耗以及设备折旧，通过和试验之前相同条件之下的历史数据进行同期对比，把矿价波动等外部干扰因素剔除掉，明确成本变化的净额以及它的结构来源。对三项指标进行交叉分析，能够有效地判定优化方案在现场的适应性以及经济合理性，为后续进行规模推广提供可靠的数据方面的支撑[7]。

（二）基于微震、变形与品位等多源信息联动的工艺参数动态反馈调整

工艺优化无法通过一次性调整就一劳永逸，必须建立基于采场实时响应的动态反馈与调整机制。这个机制要以微震事件的空间聚集和能量释放速率、围岩收敛变形曲线的异常拐点以及出矿品位和设计品位的偏差这三类信息作为核心判据。当微震监测显示某一区段事件密度和能级持续上升，并且位移监测同步捕捉到变形加速的时候，就表明该部位应力集中程度加剧了，需要及时对回采顺序进行调整或者缩小爆破规模，让采动应力向外围转移。品位信息的反馈则直接指向边界矿石的损失以及废石混入的动态变化，当出矿品位连续多个循环低于边界品位时，必须追溯凿岩爆破参数与出矿方式的匹配偏差，相应地收紧孔网参数或者改为分装分运[8]。三条信息链相互印证，共同构成采场状态的判断依据，使工艺参数调整从经验判断转变为基于监测响应的精准控制，从而在保证安全的前提下持续维持较高的回采效率[9]。

（三）适用于复杂地质条件的采矿技术标准提炼与持续优化闭环构建

为长期巩固优化成果，需将经工业试验验证的有效做法提炼为适用于复杂地质条件的采矿技术标准。标准内容应该涵盖分区分级的采场结构参数选取准则、不同节理发育程度所对应的凿岩爆破参数建议区间，以及基于监测信息触发工艺调整的阈值和响应流程。在此基础之上，建立“执行—监测—评估—修订”的持续优化闭环：每次采场回采结束之后，把实际揭露的地质条件、监测数据和工艺参数进行对照复盘，识别标准条文的适用边界以及偏差原因，定期对技术标准进行修订[10]。由此，工艺优化不再是一次性的技术攻关，而是转化成为和矿床条件同步演进的动态修正过程，让采矿效率持续适应复杂地质变化。

结论：综上所述，针对复杂地质条件下地下铁矿损失贫化大、效率低的难题，揭示了构造应力场与结构面耦合作用下采场失稳中断、矿体产状多变导致的适应性不足以及裂隙水与爆破动载叠加效率衰减的制约机理。通过采场结构参数与回采顺序动态匹配、低扰动精细化爆破及消除落矿－运搬－空区处理衔接瓶颈，实现了工艺协同优化。工业试验证实，产能提高，采切比与单位矿石生产成本下降。在此基础上，建立融合微震、变形与品位信息的动态反馈调整机制，提炼技术标准并形成持续优化闭环，为复杂地质条件地下铁矿高效开采提供可靠保障。

参考文献

[1] 肖政 . 关于铁矿采矿工艺技术探索 [J]. 冶金管理 ,2023,40(2):4-33.

[2] 徐源 . 中关铁矿诱导冒落嗣后充填采矿方法及其应用研究 [J]. 采矿与安全工程学报 ,2022,39(3):456-462.

[3] 杨勇 , 肖小高 . 探究新形势下铁矿开采中的采矿技术 [J]. 冶金管理 ,2022,40(3):14-66.

[4] 李昊 . 疆锋铁矿 460m 采区急倾斜中厚矿体采矿方法优选研究 [J]. 矿业研究与开发 ,2023,43(5):78-83.

[5] 魏西刚 . 关于铁矿采矿工艺技术的探索 [J]. 居舍 ,2023,40(2):7-32.

[6] 李明杰 . 白云铁矿露天转地下开采研究 [J]. 金属矿山 ,2023,52(7):112-118.

[7] 滕永波 . 地下金属矿山绿色产业链模式构建与应用研究——以安徽徐楼铁矿为例 [J]. 中国矿业 ,2024,33(4):201-208.

[8] 陈尚波 . 复杂条件下空区诱发的岩移及顶板冒落效应研究 [J]. 岩土力学 ,2024,45(2):567-574.

[9] 朱靖 , 肖小高 . 利源公司德利铁矿无间柱连续采矿工艺的试验研究 [J]. 采矿技术 ,2024,40(6):22-95.

[10] 胡道喜 . 急倾斜下盘软破铁矿体采矿方法优化研究 [J]. 采矿与安全工程学报 ,2024,41(1):89-95.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

高校基建工程项目全过程管理优化策略研究

许睿
湖南中医药大学基建处，湖南 长沙 410208

DOI:10.61369/ETQM.2026090035

摘　　要： 高校基建工程项目涉及学校教学科研设施的建设与完善，其管理水平直接关系到项目质量、成本控制和风险防控。本文以高校基建项目全过程管理为研究对象，分析了当前管理中存在的规划不充分、设计管控不足、招投标流程不严、施工现场粗放以及竣工结算审核薄弱等问题，提出了针对性的优化策略，包括细化前期调研、强化设计阶段管控、规范招投标流程、优化施工现场管理以及严格竣工结算审核，旨在提升高校基建工程项目的整体管理水平，为高等教育建设提供可借鉴的管理经验和实践指导。

关 键 词： 高校基建工程；全过程管理；优化策略；项目管理

Research on Optimization Strategies for the Whole Process Management of Infrastructure Construction Projects in Universities

Xu Rui
Infrastructure Department, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208

Abstract: University infrastructure projects involve the construction and improvement of teaching and research facilities in schools, and their management level directly affects project quality, cost control, and risk prevention and control. This paper takes the whole-process management of university infrastructure projects as the research object, analyzes the current problems in management such as insufficient planning, inadequate design control, lax bidding processes, extensive construction sites, and weak completion settlement auditing, and proposes targeted optimization strategies, including refining preliminary research, strengthening design stage control, standardizing bidding processes, optimizing construction site management, and strictly auditing completion settlement. The aim is to improve the overall management level of university infrastructure projects and provide reference management experience and practical guidance for the construction of higher education.

Keywords: university infrastructure construction projects; whole-process management; optimization strategies; project management

引言

高校基建工程项目是高等教育发展、校园基础设施建设的重要保障，是项目从立项、规划、设计、招投标、施工、竣工结算等各个环节。由于高校建设规模不断扩大，在管理过程中存在复杂的、长时间的、多方面的协调问题。传统管理模式各阶段控制不到位、信息不通畅、成本和风险控制不到位都会导致项目质量问题产生，还会造成教育资源浪费。因此研究高校基建工程项目全过程管理优化策略有重大的理论价值和实践意义，可以给项目管理提供系统的、标准化的、科学的指导。

一、高校基建工程项目全过程管理的重要性

（一）保障基建项目整体建设质量

高校基建工程包含教学楼、实验楼、图书馆、宿舍和附属设施等许多功能区，施工质量的好坏直接影响教育教学环境和师生安全。全过程管理就是对项目的立项、规划、设计、施工、验收等各个阶段的质量控制体系进行系统的建立，在源头上消除质量隐患。前期调研阶段对建筑使用需求、场地条件等作出准确分析，可以防止后面设计方案不符合实际情况造成的结构安全隐患，设计阶段经过多次的专业评审以及图纸深化，可以保证施工方案具有可操作性，材料选用合理科学，施工阶段开展节点质量验收、材料进场检测、工序交接检查等工作，可降低因为施工工艺不当引发的安全、耐久性问题。全过程管理依靠创建质量责任体系以及信息化监督手段，达成对质量控制的闭环管理，保证每一个环节都有可追溯的管理凭证，进而提升高校基建项目总体建设质量，保证工程可以满足功能使用需求并具备长期使用寿命。

（二）有效控制项目建设成本投入

高校基建项目资金来源主要是财政拨款或者专项建设基金，

作者简介：许睿（1989.01-），女，汉族，湖北省荆门市人，学历：硕士，职称：工程师，湖南中医药大学基建处，研究方向：高校工程项目全过程管理。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

资金使用效率是决定学校整体资源配置的指标。全过程管理就是对预算编制、资金审批、成本控制和阶段性的结算等各方面的全过程进行监督，从而达到精确控制项目的支出目的。在前期规划阶段用可行性研究和成本分析来计算项目的投资规模和材料消耗，在设计阶段用经济性分析和方案比选来在满足功能需求的基础上优化设计方案，减少不必要的结构和材料成本，在施工阶段通过施工组织设计优化、材料集中采购和进度控制来减少工期延误和资源浪费。

（三）规避基建项目建设各类风险

高校基建工程项目周期长、部门多、技术复杂，存在设计风险、施工风险、合同法律风险和安全风险等各方面不确定因素。全过程管理依靠创建风险识别、评价并加以管控的体系，可以使得风险管理渗透到项目的全过程当中去。在前期规划阶段通过环境勘察、技术可行性分析、政策法规研判等手段可以防止选址不当、设计不符合规范、审批拖延等风险，在设计和招投标阶段用合同条款规范、技术标准明确、供应商资质审查等方式来降低合同纠纷和施工质量风险，在施工阶段采用施工安全管理、进度控制、隐患排查等方式来预防事故和施工延误，在竣工验收及结算阶段用严格的审核和数据复核的方式规避财务风险和后续法律责任。全过程风险管理对于项目本身来说是保障，也给高校节约资源、维护学校声誉、保证师生使用安全提供系统的、科学的支撑。

二、高校基建工程项目全过程管理中出现的问题

（一）前期规划调研不够充分

高校基建项目前期规划属于工程管理的基本环节，在实际运作过程中，很多高校在立项及可行性研究期间的调研工作不够到位，即缺少对校园整体规划、未来发展规划以及项目功能定位等展开全面考察的情况出现。部分项目在选址时没有考虑到场地的地质情况、周围基础设施的承载能力以及环境影响，造成以后的设计方案受到限制，施工难度增大，成本上升。前期需求调研不足还会造成缺少各职能部门、使用单位和潜在用户真实的需求情况，造成设计方案中出现功能缺位或者不方便使用的情况。对于政策、法规、审批程序等方面的不足没有进行深入的研究，容易造成项目立项、报批等环节的延误或者修改，从而加大管理的难度。

（二）设计阶段管控力度不足

设计阶段部分高校基建项目设计控制不到位，即设计深度不够、技术方案未做充分论证以及设计变更频繁。设计单位在施工图设计阶段缺少对建筑结构、机电安装和功能布局的充分协调，在施工中容易造成设计不清楚、工艺不能实施、材料选择不合理等状况。高校内部对于设计审核、评审机制的不健全造成了设计方案缺少科学性、前瞻性，缺少可行性论证。设计变更控制松散造成施工期间频繁调整方案，施工周期长、材料浪费大，施工成本高、管理难度大。另外一些项目缺少对设计文件的数字化管理以及信息共享，造成施工单位之间对图纸的理解出现差异，从而影响到施工质量以及进度。设计阶段的管控力度不够会直接造成施工效率、工程质量以及后期维修成本等各方面的问题，是高校基建项目的重大不足之处。

（三）招投标阶段流程把控不严

招投标阶段是高校基建项目保证承包商资质、合同合规性、施工合法性的重要环节，但是实际操作中存在着流程不规范、标准不明、监督不到位等问题。一些高校在编制招标文件时对于技术标准、施工要求、评标标准等表述没有加以具体说明，致使承包商理解不到位、执行不一致。评标环节监督不到位，评分标准主观性强，评标程序简单甚至忽略资格审查，造成承包商的选择不合理，增加后期施工的风险以及合同纠纷的发生概率。合同管理条款缺失、责任不清、变更程序不明等问题都会造成施工过程中质量、工期、安全事故时无从追责。招投标流程控制不到位会直接影响项目的合法性，在项目整体管理过程中也会埋下风险的隐患，加大高校投资的损失和管理压力[1]。

（四）施工阶段现场管理粗放

施工阶段是高校基建项目最复杂的时期，在实际操作过程中却存在着粗放型的现场管理以及监督不到位、工序衔接不畅的现象。施工单位对于工程进度控制、材料管控、施工工艺落实以及安全防护等各方面没有制定出严格的准则并实行全程监督，造成施工质量起伏较大。工序交接、节点验收不落实，造成隐蔽工程验收滞后，给后期安全隐患、返工风险带来隐患。现场信息化管理的缺失造成工程进度、材料使用和施工质量等不能被实时掌握，管理人员依靠人工检查，效率低、容易漏掉问题。多工种、多分包单位协调不到位，现场指挥调度不科学造成施工计划经常更改，增大管理难度和成本。施工阶段管理粗放直接关系到工程质量、工期、安全，是高校基建项目管理需要重点加强的薄弱环节。

（五）竣工结算阶段审核薄弱

竣工结算是高校基建项目资金管理的重要环节，但是在实际操作中审核普遍不足，出现费用核算不准、材料、人工明细核对不到位、信息追溯不完整的状况。一些项目的竣工结算过程缺少标准化的程序以及数据复核制度，造成结算金额同实际施工量出现差别。材料及工程量核对工作不到位，造成结算数据失实，造成成本控制不到位、财务透明度降低。内部审核缺少部门之间的协同合作，责任划分不明易造成账目争议和审计风险。结算审核的不强还会导致施工质量以及合同履行存在瑕疵的情况被掩盖，进而给高校以后的工程保养及资金安排埋下隐患[2]。

三、高校基建工程项目全过程管理的优化策略

（一）细化前期调研工作完善项目规划

前期调研与项目规划属于高校基建工程全过程管理的开端环节，这一部分的质量好坏会直接影响到后面的设计、施工以及运行等环节是否合理且稳定。从优化策略上讲，前期调研要由原来的单向度的需求搜集转变成系统化的、结构化的以及多方面的信息聚合形式，经由对校园功能安排、学科发展趋向、空间运用密集度和长远发展蓝图等各方面内容展开综合剖析，从而改善规划的前瞻性及其契合度。同时加强场地条件综合勘察能力，把地质

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

构造、水文状况、周围环境承载能力以及既有建筑物状况综合起来加以评价，从而降低规划同实际条件出现差异的风险。另外还要加强跨部门协同机制的建立，使教学、科研、后勤、管理部门等各方面的需要可以被系统地整合起来，并且以统一的方式进行表达，防止出现功能设计的碎片化现象。规划决策阶段要加大多方案比选的力度，从空间效率、功能契合度、建设成本和长久扩展等方面加以考量，让项目的规划更有科学性并且更易于实现。全过程信息整合、决策优化可以大大提高前期规划的质量，给后期各阶段的管理打下稳定的根基[3]。

表1. 前期调研工作优化措施结构表：

优化模块	主要内容	管控重点
需求调研体系	多部门需求整合与分类分析	防止功能遗漏与重复建设
场地综合勘察	地质、水文及环境条件评估	提升选址科学性
发展趋势分析	校园长期规划与容量预测	增强前瞻适配能力
多方案比选机制	多维指标综合评估决策	优化规划方案质量

（二）强化设计阶段管控提升方案质量

设计阶段是规划和施工之间的关键环节，设计阶段的质量控制影响工程实施效率以及最终效果的好坏。建立全过程协同的体系，推进建筑、结构、机电和智能化系统之间的多专业协同设计，减少由于专业之间互相割裂造成的设计矛盾。还需要加强设计审查的多级制度建设，用技术审查、功能审查、经济性审查相融合的方法来提高设计成果的综合性。在设计变更管理上要创建严格的标准审批和追踪体系，对设计调整的必要性，影响范围和成本改变展开全面评价，防止单纯的变更造成施工上的混乱。加强设计信息数字化管理，用统一数据平台实现图纸版本及时同步更新、信息共享，从而提高施工单位对设计意图的理解程度。设计阶段还要加强标准化体系的建设，用统一的技术标准和设计规范来约束设计行为，从源头提高设计质量和工程一致性。

（三）规范招投标流程保障合规运行

招投标阶段属于高校基建工程达成公平竞争和规范选型的关键制度安排，招投标阶段运行好坏直接决定项目实施主体专业能力及履约水准。在此基础上，应该对招投标制度体系进行不断的完善，使招投标的各个流程标准化、透明化、常态化，保证整个招投标过程依法依规地运行。招标文件编制阶段应当将技术要求以及合同条款进行具体说明，使评标标准更加具体明确、一致，减少主观因素对结果的影响。从评标机制上讲，要提高专家评审的独立性、专业性，用统一的评分标准提高评审结果的客观性、一致性。还要加强对投标单位资质审查的严格程度，从技术能力、管理水平、履约记录等各方面加以考察，防止不合格的单位参与施工工作[4]。

（四）细化施工现场管理严控施工质量

施工阶段属于整个过程管理中最为动态、复杂的一个部分，施工阶段的管理精细化程度会直接影响到工程质量、安全水平。优化策略要创建一个以全过程动态控制为主的施工管理体系，把进度控制、质量管控、安全管控和成本管控融合起来，达成施工全过程的可视性以及可追溯的管理。同时加强施工现场标准化管理，用统一的施工工艺标准、材料验收标准、安全操作规范来提高施工执行的一致性、规范性。质量控制要对关键节点和隐蔽工程实行全过程的监督检查，保证每一个环节的技术标准得到落实。在安全管理上要重视风险识别和隐患排查，把安全责任落实到具体的岗位和环节上去，减少人为因素造成的安全事故。另外还要推进信息化技术在施工管理中运用，依靠数字化平台达成进度掌控，质量检测以及资源调配的实时互通，从而优化现场管理工作和精准程度。

表2. 施工现场管理优化措施结构表：

管理模块	主要内容	控制目标
进度管理	施工节点动态跟踪	防止工期失控
质量管理	工序验收与材料检测	提升工程实体质量
安全管理	风险识别与隐患排查	降低施工安全风险
信息化管理	数据平台实时监控	提高管理透明度

（五）严格竣工结算审核提升结算精度

竣工结算阶段是高校基建工程资金管理的最后一个环节，审核质量的好坏直接影响项目的成本是否真实，财务管理制度是否完善。优化时要创建起标准化和精细化共存的结算审核体系，依靠统一结算程序和审核准则来加强结算工作规范化、一致化。工程量核算要加大图纸、现场签证、变更资料之间的核对力度，保证结算数据来源真实可信。在费用审核上要严查材料费、人工费、机械费组成是否真实合理，不得出现虚报、多算的问题。还要创建起多方联合审核制度，依靠财务、审计以及工程管理等各部门的共同介入，从而保证审核结论的可信度。另外还应该促进信息化结算管理模式的运用，依靠数据系统完成工程量自动对比和费用智能核算，缩减人为主观误差，改善结算速度和透明程度[5]。

四、结论

由此可见，高校基建工程项目全过程管理是项目整个建设过程中各个环节的管理工作，对保证工程质量、控制建设成本、防范综合风险有重大意义。从前期调研、设计控制、招投标管理、施工监督、竣工结算审核等方面入手，可以提高项目管理系统的科学性、精细化，从而提高工程实施质量以及资源配置效率。未来要继续推进信息化同全过程管理的深度融合，健全协同管理机制和标准体系，从而不断改善高校基建工程管理水平和综合效益，更好地服务高等教育高质量发展。

参考文献

[1] 沈通 . 高校建设工程全过程造价管理的作用及优化 [J]. 常州工学院学报 ,2025,38(6):8-12+44.

[2] 陈跃 .BIM 在高校基建全过程工程咨询中的应用 [J]. 高校后勤研究 ,2024,(S1):194-196.

[3] 宋丽伟 . 加强高校基建项目全过程管理的思考 [J]. 财会学习 ,2022,(15):131-133.

[4] 郝丛卉 . 关于基建项目全过程管理的探讨 [J]. 中小企业管理与科技 (下旬刊),2021,(3):76-77.

[5] 赵国政 . 审计视域下加强高校基建工程项目管理思考 [J]. 广西质量监督导报 ,2020,(3):141+140.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

基于机器学习的内置角钢 CFST 抗压承载力预测模型

叶喆轩

浙大城市学院工程学院，浙江 杭州 310015

DOI:10.61369/ETQM.2026090038

摘　　要： 为提高内置角钢钢管混凝土构件抗压承载力的预测精度，本文建立了包含 133 组试验样本的内置角钢 CFST 抗压承载力数据库。选取钢管直径、壁厚、构件长度、钢材屈服强度、混凝土抗压强度、角钢宽度、角钢厚度及角钢屈服强度等 8 个参数作为输入特征，以轴向承载力为输出目标。分别采用随机森林（Random Forest, RF）、极端梯度提升（eXtreme Gradient Boosting, XGBoost）和轻量级梯度提升机（Light Gradient Boosting Machine, LightGBM）三种集成学习算法建立抗压承载力预测模型，采用贝叶斯优化方法实现超参数自适应寻优，并通过 20 次随机重复试验评估模型稳定性。结果表明：XGBoost 模型综合性能最优，20 次重复试验平均决定系数 R^2 达 0.9284，平均绝对误差 MAE 为 322.61kN，均方根误差 RMSE 为 502.87kN；三种模型的特征重要性分析均表明钢管直径、钢材屈服强度与混凝土抗压强度为关键影响参数，角钢参数呈协同增强效应。研究成果可为内置角钢 CFST 构件的智能化承载力预测提供参考。

关 键 词： 内置角钢 CFST；承载力预测；集成学习；贝叶斯优化；XGBoost

Machine Learning Based Prediction Model for Compressive Bearing Capacity of Built-in angle Steel CFST

Ye Zhexuan

School of Engineering, Hangzhou City University, Hangzhou, Zhejiang 310015

Abstract: To improve the prediction accuracy of compressive bearing capacity for concrete-filled steel tubes reinforced with internal latticed steel angles, this paper establishes a compressive bearing capacity database containing 133 test samples. Eight parameters are selected as input features, including steel tube diameter, wall thickness, member length, steel yield strength, concrete compressive strength, angle steel width, angle steel thickness, and angle steel yield strength, with axial bearing capacity as the output target. Three ensemble learning algorithms, namely Random Forest (RF), eXtreme Gradient Boosting (XGBoost), and Light Gradient Boosting Machine (LightGBM), are employed to establish prediction models. Bayesian optimization is adopted for adaptive hyperparameter tuning, and model stability is evaluated through 20 randomized repeated experiments. The results indicate that the XGBoost model achieves the optimal comprehensive performance, with an average coefficient of determination R^2 of 0.9284, mean absolute error (MAE) of 322.61 kN, and root mean square error (RMSE) of 502.87 kN across 20 repeated trials. Feature importance analysis of all three models consistently identifies steel tube diameter, steel yield strength, and concrete compressive strength as the key influencing parameters, with angle steel parameters demonstrating synergistic enhancement effects. The research findings can provide reference for intelligent bearing capacity prediction of concrete-filled steel tubes reinforced with internal latticed steel angles.

Keywords: Concrete-Filled Steel Tubes Reinforced with Internal Latticed Steel Angles; Bearing Capacity Prediction; Ensemble Learning; Bayesian Optimization; XGBoost

引言

钢管混凝土（Concrete-Filled Steel Tube，CFST）结构通过在钢管内部浇筑混凝土，使钢管对核心混凝土产生约束作用，从而显著提高构件的承载力和延性[1,2]。CFST 结构兼具钢结构和混凝土结构的优点，具有承载力高、抗震性能好、施工速度快等优势，已广泛应用于高层建筑、大跨桥梁、输电塔架等重要工程领域[3,4]。为进一步提升 CFST 构件的承载性能，研究者提出了多种内部加劲形式，其中内置角钢 CFST 构件通过在钢管混凝土内部设置角钢骨架，形成外钢管、核心混凝土与内置角钢三者协同工作的复合受力体系，能够有效提高构件的轴向承载力和抗变形能力[5,6]。

作者简介：叶喆轩（2001—），男，硕士研究生，主要从事钢管混凝土结构及机器学习在结构工程中的应用研究。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

内置角钢CFST构件的极限承载力受几何参数（钢管直径、壁厚、构件长度、角钢尺寸等）、材料性能（钢材强度、混凝土强度等）以及构造细节（角钢布置方式、缀条间距等）的多因素耦合影响。传统基于简化假定的解析模型或规范公式难以充分考虑各参数之间的复杂非线性交互作用，导致预测精度与适用范围之间存在矛盾[7,8]。近年来，随着人工智能技术的快速发展，机器学习方法在结构工程领域得到了广泛应用，为构件承载力预测提供了新的技术途径[9]。

集成学习（Ensemble Learning）作为机器学习的重要分支，通过构建多个基学习器并对其预测结果进行组合，能够有效提高模型的精度、稳定性和泛化能力[10]。其中，随机森林（Random Forest，RF）[10]、极端梯度提升（eXtreme Gradient Boosting，XGBoost）[11]和轻量级梯度提升机（Light Gradient Boosting Machine，LightGBM）[12]是三种代表性的集成学习算法，已在多个工程领域的预测问题中展现出优异的性能。陈曦泽等[13]基于XGBoost-SHAP方法建立了钢管混凝土柱轴向承载力预测模型，取得了良好的预测效果。然而，针对内置角钢这一特殊加劲形式的CFST构件，现有机器学习预测模型的研究仍较为匮乏，亟待开展系统性研究。

本文以内置角钢CFST构件为研究对象，系统收集公开发表的轴压试验数据，建立包含133组样本的抗压承载力数据库；选取RF、XGBoost和LightGBM三种集成学习算法建立预测模型，采用贝叶斯优化实现超参数自适应寻优；通过多种评价指标对模型性能进行系统对比分析，并结合SHAP（SHapley Additive exPlanations）可解释性方法揭示关键影响参数的作用规律，以期为内置角钢CFST构件的智能化承载力预测提供方法支撑。

一、方法

（一）数据库建立与特征选取

1. 数据来源与筛选

通过系统查阅国内外公开发表的学术文献，收集已有内置型钢（含角钢）钢管混凝土构件的轴压试验数据。数据来源主要包括王军[3]、Cai等[14]、Xu等[15,16]、侯新宇[17]、Yang等[18]等发表的文献数据，涉及《建筑结构学报》、《工程力学》、Engineering Structures、Thin-Walled Structures、Journal of Constructional Steel Research等国内外权威期刊。从文献中提取的数据包括外钢管几何尺寸（直径D、壁厚t_o、长度L）、角钢几何尺寸（宽度b、厚度t_a）、材料性能参数（钢管钢材屈服强度fy、混凝土立方体抗压强度$f$cu、角钢钢材屈服强度f_{ya}）以及对应的极限承载力N_u。

为保证数据质量，仅选取试验过程完整、破坏模式明确且参数记录齐全的试验结果纳入数据库。考虑到不同学者采用的混凝土强度测量方式存在差异，本文将所有文献中混凝土强度统一转换为150mm×150mm×150mm标准立方体抗压强度f_{cu}。经过筛选预处理后，最终数据库包含133组有效样本。

2. 数据库统计特征

数据库各参数的统计信息如表1所示。由表1可知，数据库样本覆盖了较宽的工程取值区间：钢管直径D=250~400mm，壁厚t_o=1.5~10mm，长度L=500~10500mm，钢材屈服强度fy=206~420MPa，混凝土抗压强度f_{cu}=32.9~70MPa；角钢参数中，宽度b=20~70mm，厚度t_a=2~8mm，屈服强度f_{ya}=227~460MPa。输出目标N_u的均值为5053.63kN，标准差为2339.48kN，说明样本分布具有一定的离散性，能够为回归建模提供丰富的监督信息。

参数	N_u(kN)	D(mm)	t_o(mm)	L(mm)	f_y(MPa)	f_{cu}(MPa)
最小值	967	250	1.5	500	206	32.9
最大值	10750	400	10	10500	420	70
平均值	5054	332	4.53	1974	289	44.1
标准差	2331	47	1.29	1739	37	7.7

表1 抗压承载力数据库参数统计

参数	b(mm)	t_a(mm)	f_{ya}(MPa)	—	—	—
最小值	20	2	227	—	—	—
最大值	70	8	460	—	—	—
平均值	45	4.6	289	—	—	—
标准差	11	1.2	41	—	—	—

表1（续）

皮尔逊相关性分析结果如图1表明：承载力与钢管直径D、壁厚t_o、钢材强度f_y、混凝土强度f_{cu}呈正相关，体现了截面尺度与材料强度对承载力的主导作用；与长度L呈负相关，提示样本中存在稳定性效应。角钢参数b与t_a呈强共线性，说明仅依赖线性相关难以揭示变量的独立贡献，需采用能够刻画非线性交互效应的集成学习模型。

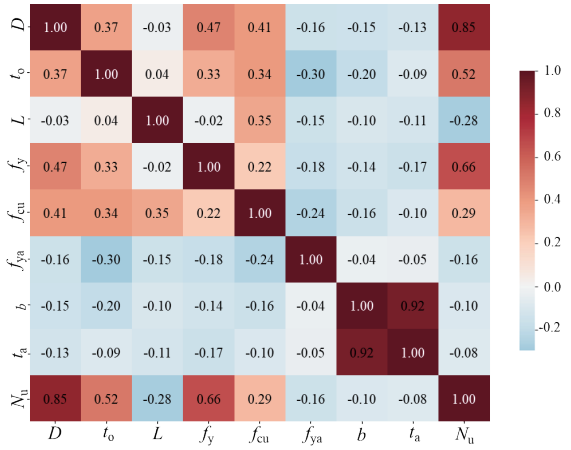


图1 抗压数据库各参数之间的皮尔逊相关系数矩阵

（二）集成学习算法原理

本文选取三种代表性集成学习算法建立内置角钢CFST抗压承载力预测模型，各算法原理简述如下。

（1）随机森林（RF）算法。RF是基于Bagging（Bootstrap Aggregating）框架的并行集成方法[19]。通过对训练样本进行有放回的随机采样（Bootstrap采样）构建多棵决策树，在节点分裂时随机选取部分特征参与最优划分搜索，最终对所有决策树的预测

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

结果取平均值作为输出。RF 通过引入样本随机性和特征随机性，有效降低了不同树之间的相关性，增强了模型的泛化能力和抗过拟合能力。

（2）XGBoost 算法。XGBoost 是一种基于梯度提升框架的串行集成方法[20]。其核心思想是通过多轮迭代逐步构建一系列弱学习器（决策树），每一轮新树拟合前序模型的残差，最终将所有树的预测结果累加作为输出。XGBoost 在目标函数中引入了一阶和二阶梯度信息，并增加了 L1/L2 正则化项以控制模型复杂度，有效抑制过拟合。此外，XGBoost 支持列抽样（column subsampling）和行抽样（row subsampling），进一步提升了模型的泛化性能。

（3）LightGBM 算法。LightGBM 同样基于梯度提升框架，但在树构建策略上进行了创新[12]。不同于 XGBoost 采用的 Level-wise（按层生长）策略，LightGBM 采用 Leaf-wise（按叶子生长）策略，每次选择分裂增益最大的叶子节点进行分裂，在保持预测精度的同时显著提升了训练效率。此外，LightGBM 引入了基于直方图的分裂点查找算法和 Exclusive Feature Bundling（EFB）技术，有效降低了内存消耗和计算复杂度，适合大规模数据集的快速训练。

（三）贝叶斯超参数优化

集成学习模型的预测性能在很大程度上依赖于超参数的设置。本文采用贝叶斯优化（Bayesian Optimization）对三种算法的超参数进行自适应寻优[21,22]。贝叶斯优化通过概率代理模型（通常采用高斯过程）在超参数空间中拟合目标函数的未知映射关系，并利用采集函数（Expected Improvement，EI）在探索未知区域和利用已知最优区域之间取得平衡，从而以较少的评估次数快速逼近全局最优解。相比网格搜索和随机搜索，贝叶斯优化能够在有限评估预算下更高效地找到最优超参数组合。本文基于 Optuna 框架实现贝叶斯优化，以5折交叉验证的 R^2 作为优化目标，各算法经过200次迭代寻优确定最优超参数。贝叶斯优化流程如图2所示。

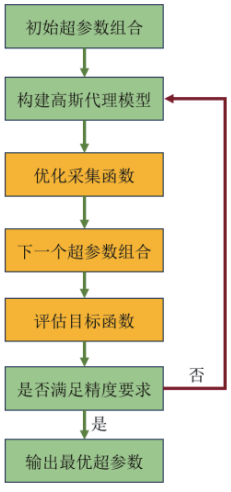


图2 贝叶斯优化流程

（四）模型训练框架

本文采用统一的模型训练框架，以保证不同算法之间的可比性。具体步骤如下：（1）数据清洗与预处理，构建标准化后的输入特征矩阵与输出目标向量；（2）划分训练集与测试集（80%、20%），采用分层随机划分确保训练集和测试集的样本分布一致性；（3）基于训练集进行5折交叉验证，利用贝叶斯优化确定各算法的最优超参数；（4）使用最优超参数在完整训练集上训练最终模型，在独立测试集上评估泛化性能；（5）进行20次不同随机种子的重复划分试验，统计各评价指标的均值与标准差，评估模型对样本划分的敏感程度；（6）基于 SHAP 方法对最优模型进行可解释性分析，揭示各输入特征对预测结果的影响规律和交互效应。

（五）评价指标

为全面客观地评价各模型的预测性能，本文选取以下三个常用指标[23]：

（1）决定系数（Coefficient of Determination，R^2）。R^2 衡量模型对目标变量方差的解释能力，取值范围为 $(-\infty, 1]$，越接近1说明模型拟合效果越好。计算公式为：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}$$

（2）平均绝对误差（Mean Absolute Error，MAE）。MAE 反映预测值与真实值之间绝对误差的平均水平，对异常值不敏感，能稳健反映模型的典型误差。计算公式为：

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N}|\hat{y}_i - y_i|}{N}$$

（3）均方根误差（Root Mean Square Error，RMSE）。RMSE 对较大误差赋予更高权重，能够灵敏地暴露可能导致严重安全风险的预测失准样本。计算公式为：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1}(\hat{y}_i - y_i)^2}$$

式中：$\hat{y}_i$ 为预测值；yi 为实际值；为预测平均值。

二、结果

（一）最优超参数

通过贝叶斯优化，三种算法获得的最优超参数如表2所示。RF 模型的最优参数组合为：决策树数量 n_estimators=2000，最大深度 max_depth=40，最大特征比例 max_features ≈ 0.727，最小分裂样本数 min_samples_split=2，叶节点最小样本数 min_samples_leaf=1，不采用自助采样 bootstrap=False。该配置下5折交叉验证最优 R^2=0.9513。

XGBoost 模型的最优参数为：最大深度 max_depth=3，学习率 learning_rate ≈ 0.04448，迭代次数 n_estimators=3886，子采样比例 subsample ≈ 0.8021，列采样比例 colsample_bytree= 1.0，正则化参数 γ=5.0，叶节点最小权重 min_child_weight=1.0。对应交叉验证最优 R^2=0.9674。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

LightGBM 模型的最优参数为：学习率 learning_rate=0.2，迭代次数 n_estimators=3490，最大深度 max_depth=2，叶节点数 num_leaves=128，叶节点最小样本数 min_child_samples=3，子采样比例 subsample=0.7，列采样比例 colsample_bytree ≈ 0.9183。对应交叉验证最优 R^2 =0.9496。

超参数	RF	XGBoost	LightGBM
n_estimators	2000	3886	3490
max_depth	40	3	2
learning_rate	—	0.04448	0.2
subsample	—	0.8021	0.7
colsample_bytree	—	1.0	0.9183
max_features	0.727	—	—
min_samples_split	2	—	—
min_samples_leaf	1	—	—
min_child_weight	—	1.0	—
γ	—	5.0	—
num_leaves	—	—	128
min_child_samples	—	—	3
bootstrap	False	—	—

表2 贝叶斯优化后各算法最优超参数

（二）各模型预测结果

1.RF 模型

RF 模型在独立测试集上的评价指标为：R^2=0.852，MAE=513.74kN，RMSE=835.08kN。从实际值与预测值对比分析可知，多数样本点分布在参考线 y = x 附近，总体拟合效果较好，但在高承载力区间（N_u>8000kN）存在少数偏离较大的样本点，导致 RMSE 显著高于 MAE。

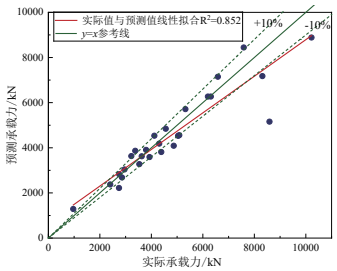


图3 RF 模型实际值与预测值对比

进行20次随机重复划分稳定性检验，统计结果为：R^2 均值0.9110，标准差0.1220；MAE 均值390.24kN，标准差87.95kN；RMSE 均值566.02kN，标准差194.34kN。RF 模型从平均意义上具有较好的总体预测能力，但 R^2 的波动范围较宽，反映出在样本量有限的情况下，不同随机划分会导致较明显的性能波动。

特征重要性分析表明，钢管直径 D 的重要性最高（重要性系数约0.46），其次为混凝土强度 f_{cu}（约0.26）和钢材强度 f_y（约0.16），角钢参数的整体贡献相对较低。该排序与轴压承载力机理一致：D 直接控制截面面积和钢管约束效应，f_{cu} 决定核心混凝土承载力，f_y 影响钢管和角钢的强度贡献。

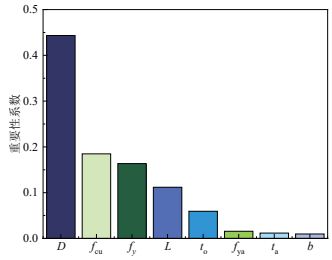


图4 RF 模型特征重要性排序

2.XGBoost 模型

XGBoost 模型在独立测试集上的评价指标为：R^2 =0.9003，MAE=399.35kN，RMSE=659.52kN。与 RF 模型相比，XGBoost 的散点图中样本点更紧密地分布在 y=x 参考线附近，整体离散性更小，特别是在中高承载力区间的预测精度有显著提升。图5为 XGBoost 模型的实际值与预测值对比图。

20次随机重复划分统计结果为：R^2 均值0.9284，标准差0.0941；MAE 均值322.61kN，标准差85.36kN；RMSE 均值502.87kN，标准差193.90kN。与 RF 相比，XGBoost 的平均精度更高且波动幅度更小，说明其整体泛化鲁棒性更强。

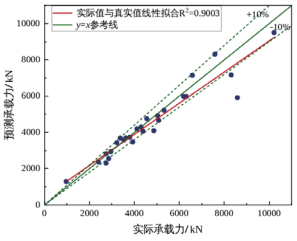


图5 XGBoost 模型实际值与预测值对比

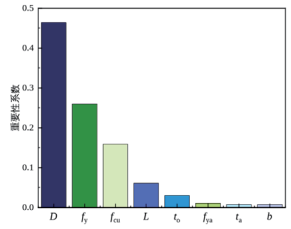


图6 XGBoost 模型特征重要性排序

图6为 XGBoost 模型的特征重要性排序图。结果显示，D 的重要性最高，f_y 次之，f_{cu} 位列第三，三者合计贡献超过80%。构件长度 L 表现为次要影响因子，而角钢参数（f_{ya}、b、t_a）贡献较小，说明在外钢管和混凝土主导承载的机制下，角钢主要起局部增强作用。

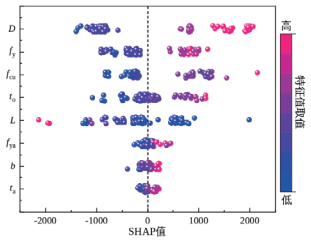


图7 XGBoost 模型 SHAP 可解释性分析

图7为 SHAP 可解释性分析结果。从图中可以观察到：D 的 SHAP 值随直径增大由负转正并显著增大，表明更大的钢管直径稳定地提高预测承载力；f_y 增大整体提升 SHAP 值，且在高 f_{cu} 条件下边际增益更明显，体现钢－混凝土组合构件中材料性能的耦合增强效应；f_{cu} 呈现清晰的正向趋势，低强混凝土区间 SHAP 多为负值，高强区间转为显著正值。角钢参数的 SHAP 值主要分布在零值附近，呈对称分布，表明其对承载力的影响较为有限且与钢管参数存在交互作用。

3.LightGBM 模型

LightGBM 模型在独立测试集上的评价指标为：R^2=0.8751，

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

MAE=446.75kN，RMSE=738.17kN。大部分样本点较接近 y=x 参考线，但在高承载力区仍存在一定偏离，特别是在 N_u>7000kN 的区间，预测偏差相对较大。

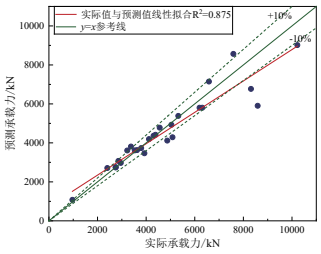


图8 LGBM 模型实际值与预测值对比

20次随机重复划分统计结果为：R^2 均值0.9134，标准差0.0728；MAE 均值393.58kN，标准差82.40kN；RMSE 均值597.69kN，标准差142.56kN。LGBM 相较 RF 模型对随机划分的敏感性更低、稳定性更好（R^2标准差仅为0.0728，三者中最小），但其均值精度略低于 XGBoost。

LightGBM 的特征重要性排序与 XGBoost 基本一致，D 仍为首要控制因素，其次为 f_{cu} 与 f_y。但 LightGBM 对角钢参数的权重分配略高于 XGBoost，说明其在特征选择策略上的差异可能导致对次要因素的不同侧重。

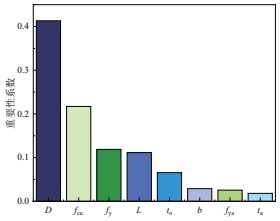


图9 LGBM 模型特征重要性排序

（三）三种模型性能对比

三种集成学习模型20次随机重复试验评价指标对比如表3所示。

评价指标	RF	XGBoost	LightGBM
R^2	0.9110	0.9284	0.9134
MAE/kN	390.24	322.61	393.58
RMSE/kN	566.02	502.87	597.69
R^2标准差	0.1220	0.0941	0.0728
MAE 标准差 /kN	87.95	85.36	82.40
RMSE 标准差 /kN	194.34	193.90	142.56

表3 三种模型20次重复试验评价指标对比

从表3可以得出以下结论：

（1）在拟合优度方面，XGBoost 模型的 R^2 均值最高（0.9284），较 RF（0.9110）提升约1.9%，较 LightGBM（0.9134）提升约1.6%。三种模型的 R^2 均超过0.91，说明集成学习算法整体适用于内置角钢 CFST 抗压承载力预测任务。

（2）在误差指标方面，XGBoost 的 MAE（322.61kN）和 RMSE（502.87kN）均为三者最低，相比 RF 分别降低17.3% 和11.2%，相比 LightGBM 分别降低18.0% 和15.9%。XGBoost 在保持较高拟合优度的同时，对偏差较大的样本具有更强的控制能力。

（3）在稳定性方面，LightGBM 的 R^2 标准差最小（0.0728），表现出最佳的运行稳定性；XGBoost 次之（0.0941）；RF 的波动最大（0.1220）。然而 LightGBM 的均值精度略低于 XGBoost，说明其在追求稳定性的同时牺牲了一部分预测精度。

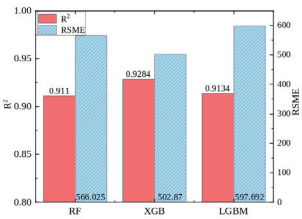


图10 三种模型评价指标对比

图10为三种模型评价指标对比图。从图中可以直观看出，XGBoost 在 R^2、MAE 和 RMSE 三个指标上均占据优势地位。

三、讨论

（一）模型性能差异分析

三种集成学习算法在抗压承载力预测任务中表现出不同的性能特征，其原因可从算法机理和数据特征两个角度进行分析。从算法机理角度看，RF 作为 Bagging 框架的代表，通过并行构建多棵决策树并取平均的方式降低方差，但其对所有树赋予相同权重，难以突出对预测贡献更大的子模型。XGBoost 作为 Boosting 框架的代表，通过串行迭代逐步修正前序模型的错误，对难预测样本赋予更高权重，从而更有效地捕捉复杂非线性关系。本研究中 XGBoost 表现最优，可能原因在于内置角钢 CFST 构件的承载力受多参数耦合影响，不同样本的预测难度差异较大，XGBoost 的梯度提升机制更适应这种数据特征。LightGBM 的 Leaf-wise 策略虽然训练效率更高，但可能导致对训练数据的过拟合倾向，特别是在样本量有限的情况下，其分裂策略的激进性可能限制了泛化性能。

（二）特征重要性机理分析

三种模型的特征重要性排序总体一致：D>fy>fcu>L>to>fya>ta>b，该排序与内置角钢 CFST 构件的轴压承载力机理高度吻合。钢管直径 D 作为首要影响因素，直接决定了截面面积、钢管约束效应和构件抗弯刚度。SHAP 分析显示，当 D>350mm 时，SHAP 值急剧上升至 +1000以上，且与钢材屈服强度 f_y 存在强交互作用，说明大直径构件在高材料强度条件下能够实现承载力的显著提升。

钢材屈服强度 f_y 和混凝土抗压强度 f_{cu} 分别位列第二和第三。值得注意的是，f_y 和 f_{cu} 之间存在显著的协同增强效应：当 f_{cu} 处于高水平时，f_y 的边际增益更明显。这一发现与钢管混凝土的约束增强机理一致，高强度混凝土在钢管约束下能够发挥更高的承载潜力，而高强度钢材则提供了更强的约束能力和材料强度贡献。

角钢参数的整体贡献相对较低，但这并不意味着角钢对承载力无影响。SHAP 分析表明，角钢参数的作用呈现局部修正特征：在钢管参数和混凝土强度确定的前提下，合理的角钢配置能够进一步提升承载力约5%~15%。这一结论与既有试验研究的观测结果相符[5,6]。

（三）模型局限性与改进方向

本文研究存在以下局限性：（1）数据库样本量有限，对于部

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

分参数组合的覆盖不够充分，可能影响模型在极端参数条件下的预测可靠性；（2）输入特征未考虑角钢布置方式、缀条间距等构造细节参数，这些参数可能对承载力产生不可忽视的影响；（3）本文仅针对轴压承载力进行预测，尚未拓展至偏压、受弯等复杂受力状态。后续研究可从以下方向改进：（1）持续扩充试验数据库，纳入更多文献数据和数值模拟结果，提升模型的泛化能力；（2）引入角钢构造细节参数，建立更精细化的预测模型；（3）探索物理约束与数据驱动融合建模策略，将经典力学机理嵌入机器学习框架，提升模型在分布外样本上的预测可靠性；（4）将预测模型拓展至偏压、受弯及压弯复合受力状态，构建多工况综合预测体系。

四、结论

本文基于集成学习算法建立了内置角钢 CFST 构件抗压承载力预测模型，通过对 RF、XGBoost 和 LightGBM 三种算法的系统比较和深入分析，得出以下主要结论：

（1）建立了包含133组试验样本的内置角钢 CFST 抗压承载力数据库，输入特征涵盖钢管几何参数、材料强度参数及角钢构造参数，样本覆盖了较宽的工程取值区间。经 Z-score 标准化预处理和80%、20% 随机划分后，能够满足机器学习回归建模的数据需求。

（2）分别采用 RF、XGBoost 和 LightGBM 三种集成学习算法建立了抗压承载力预测模型，通过贝叶斯优化实现了超参数自适应寻优。20次随机重复试验结果表明，XGBoost 模型综合性能最优，平均 R^2 达0.9284，MAE 为322.61kN，RMSE 为502.87kN，在精度和稳定性之间取得了较好平衡，推荐作为内置角钢 CFST 构件抗压承载力预测的首选数据驱动模型。

（3）SHAP 可解释性分析表明，钢管直径 D、钢材屈服强度 f_y 和混凝土强度 f_{cu} 是抗压承载力的关键影响参数，三者之间存在显著的协同增强效应；角钢参数对承载力呈局部修正作用，在钢管主控参数确定的前提下可进一步提升承载力约5%~15%。

（4）三种模型均存在一定的局限性，后续研究可通过扩充数据库规模、引入构造细节参数以及探索物理 - 数据融合建模策略进一步提升模型的预测精度和泛化能力。

致　谢

感谢指导老师浙大城市学院工程学院王军以及各位数据库来源作者在文献查阅和数据整理过程中提供的支持和帮助。

参考文献

[1] 韩林海 . 钢管混凝土结构理论与实践 [M]. 北京：科学出版社，2007.

[2] 韩林海，杨有福 . 现代钢管混凝土结构技术 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2007.

[3] 王军 . 内配格构式角钢圆钢管混凝土力学性能研究及应用 [D]: [博士学位论文]. 杭州：浙江大学，2018.

[4] 陈哲，王军，俞培祥，等 . 内配格构式角钢圆钢管混凝土梁受弯承载力试验及计算 [J]. 钢结构，2019，34(2)：41-45.

[5] 何益斌，张铁成，肖阿林，等 . 极限平衡法分析钢骨 - 钢管混凝土短柱承载力的简化方法 [J]. 铁道科学与工程学报，2006，3(5)：46-49.

[6] 史艳莉，王文达，王亚伟 . 内配型钢方钢管混凝土轴压短柱力学性能及参数分析 [J]. 工程力学，2014，31(1)：201-206.

[7] 王清湘，赵大洲，关萍 . 轴心受压钢骨 - 钢管高强混凝土组合柱力学性能的研究 [J]. 东南大学学报 (自然科学版)，2002，32(5)：710-714.

[8] 陈宝春，韦建刚 . 钢管混凝土拱桥研究现状与展望 [J]. 建筑结构学报，2020，41(8)：1-15.

[9] Tran V L, Thai D K, Kim S E. Application of ANN in Predicting ACC of SCFST Column[J]. Composite Structures, 2019, 228: 111332.

[10] Breiman L. Random Forests[J]. Machine Learning, 2001, 45(1): 5-32.

[11] Chen T, Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System[C]//Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2016: 785-794.

[12] Ke G, Meng Q, Finley T, et al. LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree[C]//Advances in Neural Information Processing Systems. Long Beach: Curran Associates, 2017: 3146-3154.

[13] 陈曦泽，贾俊峰，白玉磊，等 . 基于 XGBoost-SHAP 的钢管混凝土柱轴向承载力预测模型 [J]. 浙江大学学报 (工学版)，2023，57(6)：1061-1070.

[14] Cai J M, Pan J L, Wu Y F. Mechanical Behavior of Steel-Reinforced Concrete Filled Steel Tubular (SRCFST) Columns under Uniaxial Compressive Loading[J]. Thin-Walled Structures, 2015, 97: 1-10.

[15] Xu F, Chen J, Jing W L. Experimental Investigation of Thin-Walled Concrete Filled Steel Tube Columns with Reinforced Lattice Angle[J]. Thin-Walled Structures, 2014, 84: 59-67.

[16] 徐菲 . 薄壁圆钢管混凝土构件与节点力学性能研究 [D]: [博士学位论文]. 杭州：浙江大学，2016.

[17] 侯新宇 . 格构式钢骨 - 钢管混凝土构件轴压性能及承载力计算方法研究 [D]: [硕士学位论文]. 西安：西安建筑科技大学，2020.

[18] Yang Z M, Chen J, Wang F Y, et al. Seismic Performance of Circular Concrete-Filled Steel Tube Columns Reinforced with Inner Latticed Steel Angles[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2023, 201: 107735.

[19] Breiman L. Bagging Predictors[J]. Machine Learning, 1996, 24(2): 123-140.

[20] Friedman J H. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine[J]. Annals of Statistics, 2001, 29(5): 1189-1232.

[21] Snoek J, Larochelle H, Adams R P. Practical Bayesian Optimization of Machine Learning Algorithms[C]//Advances in Neural Information Processing Systems 25. Lake Tahoe: Curran Associates, 2012: 2951-2959.

[22] Shahriari B, Swersky K, Wang Z Y, et al. Taking the Human out of the Loop: A Review of Bayesian Optimization[J]. Proceedings of the IEEE, 2016, 104(1): 148-175.

[23] Hyndman R J, Koehler A B. Another Look at Measures of Forecast Accuracy[J]. International Journal of Forecasting, 2006, 22(4): 679-688.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

BIM 技术在水库除险加固工程施工管理中的应用研究

张宇[1]，王松叶[1]，陆春荣[2]，臧亮[1]
1. 新沂市乡镇供水有限公司，江苏 徐州 221400
2. 新沂市帝方水利工程有限公司，江苏 徐州 221400
DOI:10.61369/ETQM.2026090039

摘　　要： 除险加固工程是修复水库病害、恢复工程功能、延长水利设施使用寿命的重要手段，相比新建水库工程，它的施工范围小、新旧结构衔接难、施工干扰因素多，对施工过程的精准化管理、工序统筹、风险防控有更高的要求。传统的水库除险加固施工管理大多依靠二维图纸、人工统筹的方式，存在着信息传递滞后、空间布局预判不够、工序衔接混乱、协同管理效率低下的诸多问题，不能满足现代化水利工程施工控制的要求。BIM 技术是建筑工程数字化转型的主要技术，可以将工程信息进行集成化存储、可视化呈现、全周期动态控制，可以很好地适应水库除险加固工程复杂的施工环境。

关 键 词： 除险加固；施工；BIM 技术

Research on the Application of BIM Technology in Construction Management of Reservoir Risk Removal and Reinforcement Projects

Zhang Yu[1], Wang Songye[1], Lu Chunrong[2], Zang Liang[1]
1. Xinyi Township Water Supply Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu 221400
2. Xinyi Difang Water Conservancy Engineering Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu 221400

Abstract: Risk elimination and reinforcement engineering is an important means of repairing reservoir diseases, restoring engineering functions, and extending the service life of water conservancy facilities. Compared with new reservoir engineering, its construction scope is smaller, the connection between new and old structures is difficult, and there are more construction interference factors. It has higher requirements for precise management, process coordination, and risk prevention in the construction process. The traditional construction management of reservoir hazard removal and reinforcement mostly relies on two-dimensional drawings and manual coordination, which has many problems such as lagging information transmission, insufficient spatial layout prediction, chaotic process connection, and low efficiency of collaborative management, and cannot meet the requirements of modern water conservancy engineering construction control. BIM technology is the main technology for the digital transformation of construction engineering, which can integrate and store engineering information, visually present it, and dynamically control it throughout the entire cycle. It can adapt well to the complex construction environment of reservoir reinforcement projects.

Keywords: risk elimination and reinforcement; construction; BIM technology

引言

水库除险加固工程属于水利基础设施运维保障的重要部分，施工场景繁杂，工序交叉频繁，管控标准高，传统的施工管理模式不能满足精细化、规范化工程建设的要求。BIM 技术依靠三维可视化、协同化、模拟化的主要特点，可以重新塑造水库除险加固工程施工体系，贯穿施工全过程实现管理升级。本文以水库除险加固工程施工管理场景为研究对象，对 BIM 技术应用的原则和内涵进行系统的阐述，从多个方面研究 BIM 技术的应用路径，根据水利工程施工逻辑建立适应性强的 BIM 施工管理体系，为提高水库除险加固工程施工质量、改善施工流程、加强管理效能提供理论支持和实践参考，促进水利除险加固工程施工管理的数字化、智能化转型。

一、BIM 技术在水库除险加固工程施工管理中的应用原则

（一）精准适配性原则

精准适配性原则是 BIM 技术赋能水库除险加固工程施工管理的基本原则，主要依据水库除险加固工程特有的施工特点，对 BIM 技术进行有针对性的应用，避免出现技术套用、同质化、形式化的现象。水库除险加固工程不同于常规水利新建工程，其主要施工内容是针对原有的工程病害进行修复、结构补强和设施更新，施工过程中要兼顾原有水库结构的安全性和加固改造的合规

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

性，每一个施工环节都要符合既有工程的结构参数、地质条件、运行状态[1]。应用 BIM 技术开展施工管理工作时，不能采用通用化的工程建模和管理方式，要根据项目实际情况，准确获取水库原有的结构信息、病害分布特点、加固施工工艺标准等重要数据，建立一个完全符合项目需要的数字化模型。用模型精确还原坝体、溢洪道、输水建筑物等主要结构原来的形态，按照除险、补强、防渗等不同的施工工序要求来匹配 BIM 模型的创建、模拟、分析等功能，使 BIM 模型的创建、模拟、分析功能完全服务于水库除险加固施工管控的核心目标，保证技术应用与工程实际需求高度契合，充分发挥数字化技术的管控价值。

（二）全程协同性原则

全过程协同性原则贯穿于 BIM 技术在水库除险加固工程施工管理中的全过程，是解决传统工程管理信息孤岛、各方面的脱节问题的主要标准。水库除险加固工程施工参与主体众多，包含建设单位、施工单位、设计单位、监理单位和水利质量监督部门等，各个主体各自承担着不同的任务，即方案设计、现场施工、质量监督、工程统筹等，施工工序包含土方开挖、结构加固、防渗处理、设备安装等诸多交叉环节，信息传递的及时性和准确性直接影响到施工管理的效果。依靠 BIM 技术创建一体化数字化协同管理平台，可以冲破各个参与主体、各个施工环节之间的信息壁垒，把工程模型、施工方案、工序安排、管控标准等主要信息整合到数字化系统里。各方主体可以借助平台及时获取工程信息、同步施工进度、反馈现场问题、共同调整施工方案，从而达成施工前期筹备、中期现场控制、后期验收归档等各个环节的协同作业，较好地避免了由于信息不对称而造成的工序冲突、施工偏差、整改滞后等问题，进而全面提高水库除险加固工程施工管理的协同效率。

二、BIM 技术在水库除险加固工程施工管理中的应用内涵

（一）施工信息数字化集成内涵

施工信息数字化集成是 BIM 技术应用到水库除险加固工程施工管理的主要内容，彻底改变传统工程信息纸质化、碎片化、分散化的存储和管理模式。水库除险加固工程所涉及的工程信息量大、种类多，既有原有的水库结构图纸、地质勘察数据、历年运行监测信息，又有加固工程的施工设计方案、工艺参数、质量标准、进度计划等新的工程资料，传统管理模式下各种信息分散存储、查找困难、更新迟缓，容易造成信息丢失、数据错误等状况。BIM 技术把工程几何信息、工艺信息、质量信息、进度信息、安全信息等各方面的数据整合成一个参数化、可视化的工程信息数据库，用三维数字化模型作为主要的载体[2]。在施工管理全过程里，所有的工程信息都可以和对应的模型构件建立关联关系，从而达成信息与实体工程一一对应的效果，管理人员可以借助模型来快速调取、更新并核查各种施工信息，使水库除险加固工程的施工管理由原来的依靠经验、纸张进行管理转变成以数据为基础、精准化的数字化管理，给后续施工模拟、质量控制、进度改善赋予有力的数据支撑。

（二）施工过程可视化管控内涵

施工过程可视化管控是 BIM 技术相比于传统管理模式最大的优势内涵，可以很好地解决水库除险加固工程隐蔽工序多、现场管控难、施工预判不准的管理痛点。水库除险加固大量施工内容集中在地下、坝体内部等隐蔽区域，坝基防渗处理、内部裂缝修补、地下管线改造等工序不能用肉眼直接观察到，传统的施工管理很难提前预知施工风险、精确控制施工细节，很容易造成施工不规范、加固不到位等质量隐患。BIM 技术可以依靠工程实际参数创建出高精度的三维可视化模型，可以很好地体现水库原有的结构形态以及加固施工的整体布局，而且可以清楚地看到各个施工工序所处的空间位置以及相互之间的衔接状况。管理人员通过可视化模型可以全方位地对施工全过程进行观察，及时发现工序冲突、空间干涉等问题，掌握隐蔽工程各方面的施工情况，还可以通过模型与实际施工情况的对比，对水库除险加固施工全过程、全区域的施工状况进行可视化监管，大大提高施工管控的准确性、直观性。

（三）施工方案动态化优化内涵

施工方案动态化优化属于 BIM 技术改善水库除险加固施工管理科学性的关键内容，符合除险加固工程施工工况多变、方案调整频繁的工程特性。水库除险加固工程现场环境复杂，施工过程中经常会出现原结构病害程度超过预期、地质条件和勘察数据不符、现场施工空间受限等突发状况，传统的固定化施工方案很难适应动态变化的施工现场，如果强行按原来的方案施工，容易造成质量问题、进度滞后和安全问题[3]。BIM 技术具有很强的施工模拟和动态优化能力，可以将现场实际情况纳入施工模拟之中，对原来的施工方案做三维动态模拟，推演各个工序的施工过程、施工速度和资源配置情况。通过模拟结果准确找到方案中不合理的地方，针对性地优化工序排布、施工工艺、资源配置等，根据现场施工动态变化及时调整模型参数和施工方案，使施工方案始终保持适应水库除险加固工程现场施工的需求。

三、BIM 技术在水库除险加固工程施工管理中的应用

（一）在施工前期筹备管理中的应用

施工前期筹备是保证水库除险加固工程顺利开展的基础性工作，对后续施工管理起着决定性的作用，BIM 技术可以从模型建立、方案审核、交底控制等各方面全方位地改善前期筹备工作。在工程筹备阶段，技术人员可以将水库原始勘察资料、竣工图纸、病害检测报告和加固设计方案进行整合，创建高精度 BIM 三维参数化模型，对整个水库坝体、溢洪道、输水洞、启闭设备等所有的构筑物结构形态及空间关系进行全方位的呈现，并且准确地显示出了原有的工程病害位置、破损程度以及加固施工的范围。依靠搭建好的数字化模型，可以对施工设计方案进行全面的核验，发现设计图纸中存在空间冲突、工序矛盾、设计疏漏等各方面的问题，提前完成设计优化和方案整改工作，防止施工过程中出现设计变更、返工整改等情况。同时可以利用 BIM 可视化模

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

型进行可视化技术交底，摒弃传统的文字交底、二维图纸交底的模糊性、局限性，使施工人员直观、清楚地掌握各个部位的加固工艺、施工标准、操作要点。

（二）在施工过程动态管控中的应用

施工过程动态管控属于水库除险加固工程管理的关键部分，BIM 技术可以对施工进度、施工质量、施工安全实施全方位的动态管控，破解传统现场管理的滞后性以及片面性[4]。进度控制上可以将 BIM 三维模型和施工进度计划相联系，建立4D 可视化施工进度模型，对各个阶段、各个工序的施工推进情况进行动态模拟，及时发现实际施工进度与计划进度之间的差异，一旦出现进度滞后问题，可以迅速找到滞后的原因，通过改善工序衔接、调配资源、调节施工节奏等方法及时纠正偏差，保证工程按时完成。质量控制依靠 BIM 模型的参数化特点，把各个工序的施工质量标准、工艺参数输入到模型中，施工时对照模型参数对现场施工质量进行检查，重点对坝体加固、防渗施工、结构修补等关键工序的施工质量进行控制，及时发现并纠正施工不规范、加固质量不合格的问题，实现质量控制的精细化。在安全控制上，利用 BIM 模型对施工现场的空间布置、施工路线、高危作业区进行模拟，提前发现边坡施工、高空作业、深基坑施工等环节的安全隐患，提前设置安全防护设施和危险区，实时监控施工过程中存在的安全隐患。

（三）在施工竣工归档管理中的应用

传统的水库除险加固工程竣工归档主要依靠纸质资料，该种模式在实际应用中暴露出诸多不足之处，其中最为明显的是资料整理工作繁杂费时，需要投入大量的人力物力进行分类、装订、编号等操作，大量的纸质图纸、报告、记录等存储于物理空间之中，管理成本高企，而且当需要查询或者调取某一时期的历史资料时，往往效率低下，不能迅速准确地检索到所需信息，纸张在长期保存的过程中容易受到潮气、虫蛀、磨损以及丢失等损害，从而造成珍贵工程记录的损坏风险增大[5]。更重要的就是静态的纸质载体不能动态、立体地完整地再现工程施工全过程中的各种细节信息和时空联系。依靠 BIM 技术开展竣工归档管理，就可从根本上改变这个流程。该技术可以将施工全过程产生的全部数字化信息整合成一个闭环，即施工全过程信息闭环。除了最终优化定版的施工方案外，还有施工过程中的各种工序参数的调整、现场质量检查和验收记录、全周期安全风险控制数据、根据实际进展情况调整的进度资料、所有的工程变更洽商信息等。将所有的结构化和非结构化的施工信息用属性关联、模型挂接的方式，统一集成到三维的 BIM 竣工模型里，形成一个逻辑清晰、信息互联的一体化数字化竣工档案库。由此产生的 BIM 竣工模型，其主要价值就是可以以数字化的方式，完整、真实、准确地反映水库除险加固工程竣工后最终的三维形态、几何尺寸、材料属性和隐蔽工程构造，并且可以保存与之有关的所有施工信息。相比于传统的纸质档案，数字化档案在存储的安全性方面得到了很大的提高，可以采取多重备份和权限管理的方式来避免丢失或者被篡改的情况发生，查阅的便捷程度也达到了前所未有的高度，能够进行关键词检索、三维可视化定位以及信息的快速调取，而且在信息完整性和关联性方面还具备了无法比拟的优势，形成了一个可以追溯、可以分析的“数字孪生”资产。

四、结束语

BIM 技术以数字化集成、可视化控制、动态化优化为特点，很好地适应了水库除险加固工程施工场景复杂、工序多、精度高、管控精度高的工程特点，将其应用于施工管理全过程，可以有效地革新传统施工管理模式，规范施工准备、现场管理、竣工验收等各个环节的管理流程，解决传统管理中信息孤岛、管理滞后、精度不够等问题。通过对 BIM 技术在水库除险加固工程施工管理中主要的应用原则和内涵进行梳理，对 BIM 技术在前期准备、过程控制、竣工归档这三个主要场景下的具体应用路径进行细化，并且创建起一套完整的 BIM 数字化施工管理体系。

参考文献

[1] 何聪 . 水库除险加固工程施工管理关键要点与质量监督策略研究 [J]. 水上安全 ,2025,(20):139-141.

[2] 乔守江 . 燃灯寺水库除险加固工程施工管理要点分析 [J]. 工程与建设 ,2025,39(4):951-953.

[3] 王仕春 . 解析水库除险加固工程施工管理中的注意事项 [J]. 水上安全 ,2024,(22):160-162.

[4] 秦博 . 三角山水库除险加固工程施工风险管理措施研究 [J]. 工程技术研究 ,2024,9(19):153-155.

[5] 李中朋 . 小型水库除险加固工程施工管理存在的问题及对策研究 [J]. 水上安全 ,2024,(8):137-139.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

嵌入式 C 语言软件的代码优化与设备运行稳定性提升技术研究

俞光日
天津七一二通信广播股份有限公司，天津 300462
DOI:10.61369/ETQM.2026090040

摘　　要： 本文针对嵌入式 C 语言软件的代码优化与设备运行稳定性提升技术进行了系统性研究，从代码编译层级优化、代码逻辑与语法优化、内存资源优化和运行效率与功耗优化四个维度，详细阐述了嵌入式 C 语言的精细化优化技术。从软硬件协同稳定性优化、异常容错与故障自愈技术、中断与任务调度稳定性优化、数据运行与通信稳定性保障以及极端工况稳定性适配技术五个方面，分析了提升嵌入式设备运行稳定性的关键技术。通过理论分析与技术验证相结合的方式，提出了多种实用优化方案，为嵌入式系统开发提供了可靠的技术参考，有助于提升嵌入式系统的整体性能和长期运行稳定性。

关 键 词： 嵌入式 C 语言；代码优化；稳定性提升；内存管理

Research on Code Optimization and Device Stability Improvement Techniques for Embedded C Language Software

Yu Guangri
Tianjin 712 Communication and Broadcasting Co., Ltd., Tianjin 300462

Abstract: This article systematically studies the code optimization and device stability improvement techniques for embedded C language software. It elaborates on the refined optimization techniques of embedded C language from four dimensions: code compilation level optimization, code logic and syntax optimization, memory resource optimization, and running efficiency and power consumption optimization. The key technologies for improving the operational stability of embedded devices were analyzed from five aspects: software and hardware collaborative stability optimization, abnormal fault tolerance and self-healing technology, interrupt and task scheduling stability optimization, data operation and communication stability guarantee, and extreme working condition stability adaptation technology. By combining theoretical analysis with technical verification, multiple practical optimization solutions have been proposed, providing reliable technical references for embedded system development and helping to improve the overall performance and long-term stability of embedded systems.

Keywords: embedded C language; code optimization; stability improvement; memory management

引言

嵌入式系统作为计算机技术的一种应用形式，已广泛应用于工业自动化、消费电子、医疗设备、智能交通等领域。随着物联网和人工智能技术的快速发展，嵌入式系统的规模和复杂性不断增加，对其性能、功耗和可靠性的要求也越来越高。然而，嵌入式系统通常面临资源受限（如有限的 ROM/RAM）、实时性要求严格、硬件耦合紧密等挑战，这使得代码优化和稳定性保障成为嵌入式开发的核心议题。本文基于多年嵌入式项目实战经验，系统梳理了嵌入式 C 语言代码优化和稳定性提升的关键技术。所有方法均经过 ARM Cortex-M 系列、AVR、MSP430等主流 MCU 平台验证，聚焦工程可实现性，旨在为嵌入式开发者提供一套系统、实用、高效的优化方案。

一、嵌入式 C 语言代码精细化优化技术研究

（一）代码编译层级优化

在对嵌入式系统进行研究与设计的过程中，需要通过变量的使用对其进行有效的分析，以此实现对系统的完整架构，进而提升 C 代码的优化质量[1]。编译层级优化是嵌入式 C 语言代码优化的核心基础，可在不改动业务逻辑的前提下，精简机器指令、缩减代码体积、提升运行效率，适配嵌入式硬件资源受限的特点[2]。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

Keil、GCC、IAR 等主流嵌入式编译器，均配备多级适配不同场景的优化策略。基础优化安全性极高，主要清理冗余指令、无效代码与空循环，剔除未调用函数、未使用变量和无效逻辑分支，仅缩减存储占用，不改变程序运行逻辑，适用于所有嵌入式项目[3]。中级优化主打提升执行效率，通过常量折叠、指令重排、循环展开、小型函数内联等方式，消除函数堆栈调用开销、减少循环判断指令，简化执行流程。高级优化面向全局代码，通过冗余跳转删除、全局变量优化、适配指令流水线等实现效率最大化，但存在逻辑偏移的风险，需结合硬件调试配置。此外，需匹配 MCU 指令集、主频、缓存等硬件参数调整编译选项，精准适配硬件，保障代码高效、稳定运行。

（二）代码逻辑与语法优化

代码逻辑与语法不规范是嵌入式程序异常的主要人为诱因，开展精细化逻辑语法优化，能够从源头规避隐性故障，增强代码健壮性[4]。语法规范上，应统一编码标准，消除隐式类型转换、未初始化变量、指针越界、数组下标超限等基础问题；严控全局变量使用，过多全局变量会加剧代码耦合，易出现变量被篡改、逻辑紊乱等情况，优先选用局部、静态变量，保障变量访问安全。逻辑优化方面，简化复杂逻辑，削减多层 if—else 嵌套、冗余 switch 分支与无效循环判断，采用扁平化结构提升可读性与运行效率。循环中将固定运算移出循环体，不在循环内执行耗时运算、函数及硬件操作，设置超时退出机制，防范死循环、溢出与程序阻塞。函数遵循单一职责原则，控制代码规模，做好入参合法性校验。及时清除冗余、废弃及调试残留代码，降低版本迭代过程中的故障隐患。

（三）内存资源优化技术

嵌入式设备内存资源有限，内存操作不当极易造成设备死机、程序跑飞与数据异常，内存资源优化是提升系统稳定性的关键[5]。优化内存分配方式，尽量摒弃随意动态内存分配的开发习惯，优先采用静态内存分配，在编译阶段完成内存固定分配，规避运行时频繁 malloc/free 带来的内存碎片、分配失败及内存泄漏问题。确需使用动态内存的复杂场景，要统一内存分配接口，增设分配与释放校验机制，保证内存及时释放，防止泄漏。针对大量布尔型状态标志位场景，可利用 struct 位域特性对多个状态标志位进行捆绑存储，将多个标志位压缩至同一个字节内，避免每一个状态标志单独占用完整字节，有效降低 RAM 内存开销。对于只读的全局或静态常量，使用 const 关键字进行修饰，将常量数据存放至 Flash 存储空间，减少对宝贵 RAM 资源的占用。规范指针操作，防范野指针、空指针访问，指针使用前做好初始化和非空校验，指针偏移控制在合法内存范围，禁止指针跨类型强制转换[6]。合理设置数组长度，减少内存浪费，严格校验数组下标，防止数组越界破坏有效数据。做好堆栈管理，依据任务需求合理配置栈大小，不在函数内定义超大局部变量，防止栈溢出，监控堆栈使用率并优化代码降低占用。统一内存数据存储格式，规避数据对齐异常导致的读取错误，提升内存读写可靠性。

（四）运行效率与功耗优化

嵌入式设备多采用电池或工业低压供电，运行效率与功耗直接决定设备续航及长期运行稳定性，效率低、功耗高易造成发热、电压波动，诱发各类故障[7]。运行效率优化重在削减无效硬件占用与指令耗时，精简硬件操作流程，规避频繁硬件初始化、端口切换、重复采集等冗余操作；对于代码体量较小、调用频繁的函数，可使用 static inline 关键字实现函数内联，消除函数调用带来的堆栈压栈、跳转返回开销，缩短指令执行周期，进一步提升代码执行效率；精简高频核心代码，缩短指令周期，提升响应速度。多任务系统需优化任务时序，合理分配运行周期，低优先级任务采用轮询延时执行，防止抢占资源，保障高优先级实时任务运行。功耗优化遵循按需运行、闲置降耗，闲置时关闭闲置外设、时钟与通信模块，进入休眠；依据业务动态调节芯片主频，优化数据传输，减少无效收发校验；非实时业务拉长扫描周期，降低 CPU 无效运算，实现效率与功耗动态平衡，缓解设备发热老化，提升整体稳定性[8]。

二、嵌入式设备运行稳定性提升关键技术

（一）软硬件协同稳定性优化

嵌入式设备运行稳定性不只取决于软件代码，软硬件协同适配失衡是隐性故障的重要诱因，软硬件协同优化是提升设备稳定性的关键[9]。硬件侧需参照芯片与外设手册规范驱动开发，严格遵循硬件时序编写代码，保证软件指令与硬件时序匹配，防止时序错位造成响应异常、数据失真，串口、SPI、I2C 等外设要对齐波特率、时钟、延时等参数，规避通信故障。软件侧要结合硬件特性适配，依据硬件容错能力设置参数阈值，防止超量程指令损伤硬件；针对 ADC、时钟偏移等硬件固有误差，依靠滤波、校准算法做补偿修正。搭建软硬件状态联动，软件实时监控硬件，遇过载、过热、通信故障及时启动保护、复位外设，遏制故障蔓延。同时优化初始化逻辑，采用分层、延时初始化，增设初始化校验，失败则重试告警，从协同角度减少适配类故障。

（二）异常容错与故障自愈技术

嵌入式设备多部署于无人值守场景，难以人工实时干预，异常容错与故障自愈是保障设备长期稳定运行的关键[10]。异常容错面向数据、运算、硬件、通信等运行异常，通过代码层异常校验，预判拦截数据超限、参数非法、通信超时等风险，规避程序崩溃。依托软件看门狗监测程序状态，程序卡死、跑飞时自动软复位，防止设备瘫痪；针对瞬时干扰，设置重试机制，过滤假性故障，提升抗干扰能力。故障自愈实施分级处置：轻微故障通过刷新数据、重启任务修复；中度故障执行模块复位、重配资源；重度故障触发系统软重启恢复运行。配套故障记录，留存故障类型、时间及运行参数，支撑问题迭代优化，实现故障闭环治理。

（三）中断与任务调度稳定性优化

中断与任务调度是嵌入式系统核心逻辑，调度紊乱、中断处理不当易造成系统崩溃、任务超时与数据错乱。中断优化需恪守短中断、快响应、无阻塞，禁止在中断服务程序中执行动态内存分配，以及调用 printf 等调试打印类接口；中断服务程序访问的共享变量需要使用 volatile 关键字进行修饰，防止编译器做不当优

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

化造成数据异常。中断服务程序只做状态读取、标记赋值等轻量操作，将复杂运算与业务逻辑移出，防止中断耗时过久引发阻塞与嵌套溢出。按实时需求分级配置中断优先级，管控中断嵌套层数；临界代码段增加中断开关保护，规避中断打断造成的数据异常。RTOS 任务调度层面，合理配置任务优先级、周期与堆栈，防范优先级倒置、死锁及资源竞争。借助优先级继承处理优先级倒置，通过信号量、互斥锁、消息队列实现资源隔离。优化任务时序，规避高低频任务冲突，剔除无效空转任务，降低资源开销，保障多任务稳定高效调度。

（四）数据运行与通信稳定性保障

数据是嵌入式设备业务运行的核心载体，数据运算错误、存储异常、通信丢失会直接造成设备功能失效，需从运算、存储、通信三方面构建稳定性保障体系。

数据运行上，合理选型整型、浮点数据类型，规避溢出与精度丢失，增设运算超限判断；引入数据滤波算法，对传感器原始数据做去噪校准，保证运算准确。存储层面，结合 Flash、EEPROM 介质特性规范读写逻辑，减少高频读写损耗；核心数据实行双备份，通过 CRC 校验防范数据错乱篡改；配置断电检测与延时存储，防止断电引发数据保存不完整。通信方面，面向串口、CAN、以太网、LoRa 等场景，落实超时重传、帧过滤、断线重连机制，规范协议帧格式；启用超时检测，优化收发缓冲区，避免缓冲区溢出，保障数据收发完整可靠，减少通信卡顿、指令失效等故障。

（五）极端工况稳定性适配技术

嵌入式设备多用于工业户外、车载、井下等复杂场景，面临高低温、电压波动、电磁干扰、长期连续运行等极端工况，工况适配能力直接决定设备稳定性。

高低温上，依托代码优化适配硬件温度特性，低温增设硬件预热延时与数据等待机制，规避硬件响应延迟引发程序故障；高温实时监测温度，超标后执行降频、减负及告警保护，防止高温过载。电源方面，实时检测电压，电压低于阈值时完成数据保存并进入待机保护，防范断电造成数据丢失，采用软件滤波算法削弱电压波动带来的影响。电磁干扰场景下，优化代码逻辑减少高频操作，配合端口抗干扰配置、数据校验与多次采样，滤除干扰带来的假性异常。针对长期运行老化问题，优化内存调度，定期清理碎片、释放闲置资源，检测并自动修复轻微异常，缓解硬件老化损耗，全面提升设备工况适配与长效运行能力。

三、结束语

嵌入式 C 语言代码优化与设备运行稳定性提升是一个系统工程，需要从编译层级、逻辑语法、内存管理、运行效率等多个维度进行精细化优化，同时结合软硬件协同、异常容错、中断调度、数据通信和极端工况适配等关键技术，全面提升嵌入式系统的可靠性和稳定性。本文提出的技术方案均经过实际项目验证，能够在显著提升系统性能的同时，有效降低故障率，延长设备使用寿命。随着嵌入式系统向智能化、网络化方向发展，代码优化和稳定性保障技术将面临新的挑战。通过持续的技术创新和工程实践，嵌入式系统必将在更广泛的领域发挥重要作用，为万物互联的智能世界提供坚实的技术基础。

参考文献

[1] 薛亚，朱娅晶 . 嵌入式 C 语言系统开发代码优化研究 [J]. 电脑知识与技术 ,2020,16(29):227-228.

[2] 孟涛 . C 语言在嵌入式系统开发中的代码优化 [J]. 福建电脑 ,2008(3):181-182. DOI:10.3969/j.issn.1673-2782.2008.03.112.

[3] 陈波，石旭刚，史故臣 . 嵌入式 C 语言在系统开发中的代码优化 [J]. 计算机时代 ,2008(11):55-57. DOI:10.3969/j.issn.1006-8228.2008.11.023.

[4] 陈瑞 . 嵌入式 C 语言代码优化的研究 [J]. 科技信息 ,2009(13):54-55. DOI:10.3969/j.issn.1001-9960.2009.13.034.

[5] 周小丽，李俊峰 . 嵌入式系统编程中的代码优化 [J]. 山东电子 ,2004(2):60-62. DOI:10.3969/j.issn.1672-9528.2004.02.038.

[6] 周小丽，李俊峰 . 嵌入式系统编程中的代码优化 [J]. 电脑开发与应用 ,2004,17(1):4-6. DOI:10.3969/j.issn.1003-5850.2004.01.008.

[7] 韩芝萍 . 浅谈 C 代码优化与运用 [J]. 农业网络信息 ,2009(2):130-131. DOI:10.3969/j.issn.1672-6251.2009.02.042.

[8] 徐玉莲 . 基于嵌入式系统的 C 语言编程软件设计研究 [J]. 微型电脑应用 ,2019,35(10):113-114131.

[9] 曹悦，王红敏，张健雨 . 嵌入式软件的代码优化技术研究 [J/OL]. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术 ,2024,(11):229-232[2026-08-26].http://qikan.cqvip.com/Qikan/Article/Detail?id=1000004231345.

[10] 明芳 . 嵌入式系统程序代码优化方法 [J]. 计算机与数字工程 ,2006,34(10):189-192.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

构网型逆变器电应力分析及其主动限流控制

李星彤[1*]，杨昊[2]，王红斌[3]，王志宽[1]，赵凯[3]
1. 中国电力建设工程咨询有限公司，北京 100120
2. 中国能源建设股份有限公司，北京 100022
3. 北京电力设备总厂有限公司，北京 102401
DOI:10.61369/ETQM.2026090041

摘　　要： 构网型逆变器在电网故障期间需提供电压和频率支撑。暂态电流冲击和直流母线过电压会对功率器件造成显著的电应力。现有依赖虚拟阻抗或模式切换的限流方法存在局限性。本文以虚拟同步发电机控制的构网型逆变器为研究对象，提出一种基于电流矢量幅值限制的主动限流控制策略。该策略通过调节电压外环输出的 d 轴和 q 轴电流参考值，在保持相位信息的同时直接减轻器件的电流应力。仿真结果表明，该策略可将故障电流峰值从约 1.45 标幺值降至约 1.14 标幺值，并将直流母线电压波动限制在5.1% 以内。该方案是一种简洁、无需额外硬件的工程优化方法，有助于改善电网支撑性能。

关 键 词： 构网型逆变器；虚拟同步发电机；暂态电应力；主动限流；暂态分析

Electrical Stress Analysis and Active Current Limiting Control of Grid Inverter

Li Xingtong[1*], Yang Hao[2], Wang Hongbin[3], Wang Zhikuan[1], Zhao Kai[3]
1. China Power Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing 100120
2. China Energy Construction Corporation Limited, Beijing 100022
3. Beijing Power Equipment General Plant Co., Ltd., Beijing 102401

Abstract: Grid-forming inverters are obliged to provide voltage and frequency support during grid faults. Transient current surges and DC-link over voltage impose significant stress on power devices. Current-limiting approaches, such as those relying on virtual impedance or mode-switching, exhibit limitations. This paper centers on virtual synchronous generator virtual synchronous generator controlled grid-forming inverters and proposes an active current-limiting control strategy based on current vector amplitude limitation. By modulating the d-axis and q-axis current references at the output of the outer-voltage loop, it directly alleviates the current stress on devices while maintaining phase information. Simulation results demonstrate that this strategy can reduce the fault-current peak from approximately 1.45 per unit to around 1.14 per unit and restrict the DC-link voltage fluctuation within 5.1%. It represents a straightforward, hardware-independent enhancement in engineering, contributing to improved grid-support performance.

Keywords: grid-forming inverter; virtual synchronous generator; transient electrical stress; active current limiting; transient analysis

引言

随着可再生能源发电渗透率的持续提高，现代电力系统呈现典型的“双高”特征，即高可再生能源渗透率与高比例电力电子设备接入。该趋势大幅降低了系统的固有惯性与阻尼能力，给电网频率和电压稳定性带来显著风险[1]。构网型逆变器能够自主构建电网电压与频率，并模拟同步发电机的惯量支撑及无功电压调节行为，因而成为以新能源为主体的新型电力系统中维持稳定的核心装备。

当发生三相电压跌落等严重电网扰动时，构网型逆变器会瞬时注入大幅值的暂态电流[2]。该电流尖峰使 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）等功率器件承受远超额定值的峰值电流，易触发过流保护并导致结温急剧升高，加速器件老化甚至造成永久性损坏。同时，瞬时功率不平衡还会引发电容过充，造成直流母线电压剧烈振荡，增加电容击穿风险[3]。上述累积性电热应力已成为制约构网型控制技术大规模工程推广的关键瓶颈。

针对构网型逆变器的故障穿越问题，现有研究主要沿三个方向展开：一是集中于弱电网下的振荡抑制与惯量支撑，但对器件级暂态

基金项目：中国能源建设股份有限公司重大科技项目（CEEC2025-KJZX-05）。
作者简介：李星彤（1999-），男，中国吉林吉林人，满族，硕士，工程师，从事电力电子技术行业。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

电应力关注不足[4]；二是采用虚拟阻抗或构网 / 跟网模式切换等手段进行限流，但虚拟阻抗会削弱暂态电压支撑能力，而模式切换则逻辑复杂且易引发二次冲击[5]；三是初步开展了故障应力评估，但缺乏对电流尖峰及直流电压波动机制的定量刻画，亦缺少针对性的抑制策略[6]。

为此，本文以 VSG（虚拟同步发电机）控制的构网型逆变器为研究对象，定量推导电网电压跌落下的暂态电热应力产生机理，并提出一种基于电流矢量幅值限制的主动限流控制策略。该策略通过等比例调节 dq 轴电流参考值，在保持并网点相位信息的同时抑制逆变器输出电流幅值，主动限流控制方法为实际工程提供了一种无需额外硬件、计算量小且易于实现的改进控制方法。

一、暂态电应力产生原理

（一）故障电流冲击原理

故障深度 λ 如公式（1）：

$$\lambda = \frac{U_{g,N} - U_g}{U_{g,N}}, \quad 0 \le \lambda \le 1 \tag{1}$$

式中：$U_{g,N}$ 为电网额定电压幅值，U_g 为逆变器输出电压幅值。

当 PCC 点（公共连接点）发生三相金属性短路时，电网电压跌落，而 VSG 内电势在第一个工频周期内几乎保持不变。

忽略线路电阻，设 L_{eq} 为系统输出总等效电感，瞬时故障电流满足公式（2）：

$$L_{eq}\frac{di}{dt} = E - U_g \tag{2}$$

在一个基波周期内，有功环带宽远低于电流环，因此 E 近似恒定，电流呈现指数变化规律，如公式（3）所示：

$$i(t) = \frac{E - U_g}{Z}\cos(\omega t + \theta) + \frac{U_g}{Z}\cos\theta \times e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{3}$$

式中：Z 为系统总阻抗，τ 为系统时间常数。

第一项为稳态基波分量，第二项为取决于故障初相角的衰减直流偏置。在最恶劣的过零故障条件下，直流偏置等于基波幅值，导致最大峰值电流如公式（4）：

$$I_{peak} = \frac{E + U_g}{Z} \tag{4}$$

带入公式5整理，可得峰值电流与 λ 的关系如公式（5）：

$$I_{peak} = \frac{E + (1-\lambda)U_{g,N}}{Z} \tag{5}$$

可见，PCC 点电压跌落加深、逆变器为支撑电压提高内电势，都会显著抬升峰值电流，加剧功率开关管承受电应力。

（二）直流母线电压偏移机理

直流母线电压波动源于交流输出与直流输入之间的瞬时功率不平衡，可由电容能量守恒公式（6）描述：

$$\frac{1}{2}C_{dc}\frac{d}{dt}(U_{dc}^2) = P_{dc} - P_{out} \tag{6}$$

式中：为 C_{dc} 直流母线电容，U_{dc} 为瞬时直流母线电压。

电网电压跌落导致交流功率突然减小，而直流侧功率无法瞬时平衡，造成电容过充电和电压升高如公式（7）：

$$\Delta U_{dc} = \frac{1}{C_{dc}U_{dc}}\int (P_{dc} - P_{ac})\,dt \tag{7}$$

式中：为 P_{dc} 直流输入功率，P_{ac} 为交流输出功率。

分析以上公式，直流母线电压波动由以下两个原因引起：1）虚拟转动惯量大，引起交直流之间功率长时间不平衡；2）短路状态下，电流环 PI 控制器达到幅值，调制比达到上限，逆变器失去调节能力。

功率不平衡的持续时间由故障清除时间和控制器饱和恢复速度共同决定。

二、主动限流控制策略

为抑制上述暂态电应力，本文提出一种基于电流矢量幅值钳位控制策略。电压外环输出的 dq 轴电流参考构成合成电流矢量，其幅值定义如公式（8）：

$$I_{mag} = \sqrt{i_{dref}^2 + i_{qref}^2} \tag{8}$$

式中：I_{ref} 为参考幅值，i_{dref} ，i_{qref} 为原始 dq 轴电流参考值。

主动限流控制策略预设电流限幅阈值 $I_{\lim}$ ，若变流器输出适量幅值超过 $I_{\lim}$ ，则进行等比例缩放，同时保留原始相位；若未超过，则直接采用未经修改的原输出值，公式（9）以 d 轴电流参考值为例，q 轴电流计算公式可参照公式（9）：

$$\begin{cases} i_{dref} = \dfrac{I_{\lim}}{\sqrt{(i_{dref}^*)^2 + (i_{qref}^*)^2}} \times i_{dref} & I_{ref} \ge I_{\lim} \\ i_{dref} = i_{dref} & I_{ref} < I_{\lim} \end{cases} \tag{9}$$

式中：i_{dref}^* 为 d 轴逆变器计算参考值。

经主动限流控制策略缩放后，电流矢量相位保持不变，VSG 仍按原始功率因数输出有功 / 无功功率，避免了原工程简单硬截断引起的相位偏移和二次暂态。主动限流控制策略如图2所示。

限幅阈值的设计准则需兼顾半导体 SOA（安全工作区）和电网支撑裕度，下式以 IGBT 为例，如公式（10）：

$$I_{\lim} = \min\left\{I_{IGBT,\max},\ k_{safe} \cdot I_n\right\} \tag{10}$$

式中：$I_{IGBT,\max}$ 为 IGBT 允许重复峰值电流，I_n 为逆变器额定输出电流，k_{safe} 为为暂态电网支撑预留的安全裕度。

三、仿真验证

（一）仿真系统参数

在 MATLAB/Simulink 中搭建一台500 kVA 三相两电平 VSG 构网型逆变器模型进行性能验证。逆变器通过 LC 滤波器和升压变压器接入11 kV 配电网。关键系统参数见表1。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

表1　系统仿真参数

Table 1　System simulation parameters

参数 / 单位	数值
直流母线额定电压 /V	1100
额定容量 /kVA	500
额定电压 /V	415
额定频率 /Hz	50
电网电压 /kV	11
系统短路比	2.5
电网负载	0.5+j0.3pu
限流参数	1.2pu

总仿真时间设为4 s，在 t=3.0 s 时，于图3中 K 点触发三相金属性短路故障。设置三种对比测试工况：

工况1：传统虚拟阻抗限流；工况2：所提矢量比例主动限流策略。

主电路拓扑图如图3所示：

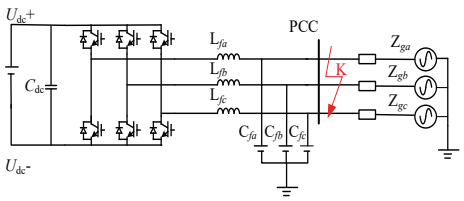


图3　主电路拓扑图

Fig. 3 Main Circuit Topology

图3为典型构网型逆变器拓扑图，图中 L_{fa} 为 a 相滤波电感；C_{fa} 为 a 相滤波电容；Z_{ga} 为 a 相电网阻抗。

（二）仿真波形及分析

图4为传统虚拟阻抗限流方法的仿真波形。故障电流峰值被抑制至1.44 pu，较无限流情况降低33.6%。直流母线电压最大偏差为额定值的5.8%。在故障投入和清除时刻均出现明显的电流尖峰，且暂态过程中输出电压幅值略有衰减。

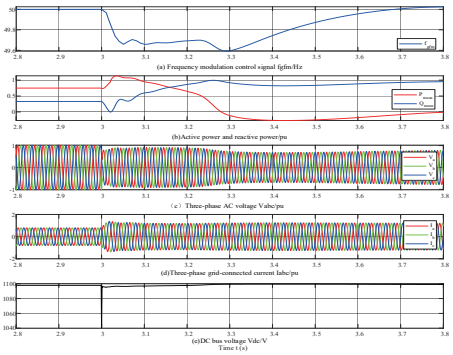


图4　虚拟阻抗策略波形图

Fig. 4 Simulation waveforms of virtual-impedance current-limiting strategy

图5展示了所提主动限流控制获得的波形。全周期故障电流幅值被稳定限制在1.14 pu，较工况1降低21.1%，较虚拟阻抗方案降低16.8%。直流母线电压波动控制在额定值的5.1% 以内。无功功率和频率输出曲线保持平滑变化，整个故障期间无明显畸变。

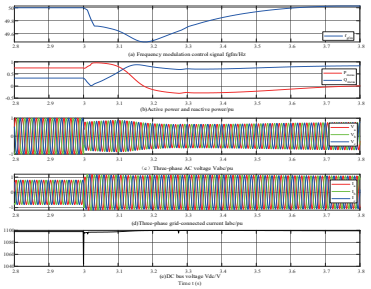


图5　虚拟阻抗策略波形图

Fig. 5 Simulation waveforms of the proposed active current-limiting strategy

图6为两种限流策略在电流阈值从1.1 pu 变化至1.3 pu 时的峰值电流值。在每个相同的限流系数下，所提方案的故障电流峰值均低于虚拟阻抗方法。

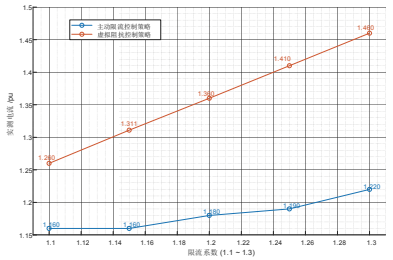


图6　不同限流系数下电流峰值对比图

Fig. 6 Comparison of current peak values under different current-limiting coefficients.

表2为三种控制工况的核心性能指标分析，包括峰值电流、直流母线波动范围、振荡持续时间和电压支撑性能。

表2　控制策略对比表

Table 2　Comparison of control strategies

性能指标 / 单位	虚拟阻抗策略	主动限流策略
并网电流峰值 /pu	1.44	1.14
直流母线电压	跌落5.8%	跌落5.1%
暂态持续时间	中	短
电压支撑能力	有效支撑但略有弱化	有效支撑

仿真结果验证了第2章推导的应力产生机理。在三相金属性短路故障期间，VSG 控制器提升内电势以维持电网电压，使逆变器电动势和 PCC 电压之间形成较大压差，叠加衰减直流磁链引起的电流分量，无约束系统产生的故障峰值电流振荡峰值高达2.17 pu。同时，交流输出功率与直流输入功率的瞬时不匹配导致直流母线电容过充电，引发剧烈电压振荡。虚拟惯量能量交换、PI 闭环调节器饱和以及功率不平衡时间延长这三个耦合因素共同加剧了功率半导体器件电应力和直流电容的电热负荷。

与广泛采用的虚拟阻抗限流相比，所提主动限流控制策略在构网型逆变器工程应用方面具有两个突出的实用优势：第一，在相同的限流阈值下，所提方案在不牺牲暂态电压相位和频率调节性能的前提下实现了更优的峰值电流抑制。相比之下，虚拟阻抗在故障期间引入额外压降，对电网电压支撑能力略有削弱。第二，主动限流控制策略无需额外硬件，仅需对原始 dq 轴电流参考进行等比例缩放，无需辅助阻抗计算或模式切换逻辑，有效降低了逆变器嵌入式控制芯片的计算负担。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

四、结论及展望

本文以 VSG 控制的构网型逆变器为研究对象，围绕三相金属性短路故障下的暂态电应力问题，完成了故障电流冲击及直流母线电压偏移机理的定量推导，并提出了一种基于电流矢量幅值限制的主动限流控制策略。主要取得以下结论性成果：

（1）理论推导表明，电网电压跌落越深或 VSG 为支撑电压而抬升内电势时，故障电流峰值显著增大；虚拟惯量能量交换与 PI 控制器饱和共同作用，会加剧直流母线电压的暂态抬升，对功率器件和直流电容构成电热累积损伤风险。

（2）所提主动限流策略通过等比例缩放 dq 轴电流参考值，在保持电流矢量相位不变的前提下将故障电流限制在预设阈值以内。与传统虚拟阻抗方案相比，该策略将故障电流峰值从 1.44 pu 进一步降至 1.14 pu，并将直流母线电压波动控制在 5.1% 以内，且控制结构简洁、无需额外硬件，便于嵌入式工程实施。

参考文献

[1] 詹长江，吴恒，王雄飞，等 . 构网型变流器稳定性研究综述 [J]. 中国电机工程学报 ,2023,43(6):2339-2359.

Zhan Changjiang, Wu heng, Wang Xiongfei, et al. An Overview of Stability Studies of Grid-forming Voltage Source Converters[J]. Proceedings of the CSEE, 2023, 43(6):2339-2359.

[2] 厉璇，刘永慧，赵月杭，等 . 基于电压源等效的构网型储能变流器幅值饱和限流模式暂态稳定性分析 [J]. 高电压技术 ,2026,52(5):2172-2184.

Li Xuan, Liu Yonghui, Zhao Yuehang, et al. Voltage-source-model-based Transient Stability Analysis of Grid-forming Convertersin Current Saturation Limiting Mode[J], High Voltage Engineering, 2026, 52(5): 2172-2184.

[3] 吴西奇，王晗，黄鹭鹭，等 . 构网型变流器内环构造方法及暂态特性分析 [J/OL]. 中国电机工程学报 ,1-15[2026-08-14].

[4] 赵博元，陈磊，闵勇，等 . 跟网与下垂构网变流器混联带负荷系统稳定域与稳定形态 [J]. 电力系统自动化 ,2026,50(6):16-34.

Zhao Boyuan, Chen Lei, Min Yong, et al. Stability Region and Stability State of Load -carrying Hybrid System with Grid-following Converter and Grid-forming Converter with Droop Controller[J], Automation of Electric Power Systems, 2026, 50(6): 16-34.

[5]Z. Wang et al.. Transient Synchronization Stability of Grid-Tied Multi-VSCs System Considering Nonlinear Damping and Transient Interactions[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2024, 39(12):16775-16791.

[6]A. H. Okilly, C. Kim and J. Baek. Experimental Implementation of a 3-Level TNPC-IGBT Inverter for Uniform Stress Distribution and THD Mitigation: MPC-Driven Switching Optimization, LCL Filter Integration, and Real-Time Stress Monitoring[J]. IEEE Access, 2025, 13:152762-152781.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

箱式－气动－垃圾被服三位一体医院自动化物流系统应用实践探析

郭亮[1]，庞玉洁[2]，于洋[1]，吴雪川[2]，宁智林[2]
1. 中国建筑一局（集团）有限公司，北京 100000
2. 中建一局集团第五建筑有限公司，北京 100000
DOI:10.61369/ETQM.2026090042

摘　　要： 以三甲医院应用实例验证系统的应用效果与深化设计，明确箱式－气动－垃圾被服自动物流系统三大子系统的站点数量、线路布置等设计参数。针对深化设计中遇到的物流井道深度不足、除尘除臭过滤室气密性不足、水平线穿越防火分区及检修门留置等关键问题，提出针对性解决措施。
关 键 词： 自动化物流系统；医院院内物流；深化设计

Practical Application and Analysis of a Three-in-One Hospital Automated Logistics System Combining Containerized, Pneumatic, and Garbage Collection Garment Solutions

Guo Liang[1], Pang Yujie[2], Yu Yang[1], Wu Xuechuan[2], Ning Zhilin[2]
1.China Construction First Building (Group) Corporation Limited. Beijing 100000
2.China Construction First Building (Group) The Fifth Construction Co.,Ltd.,Beijing 100000

Abstract: The application effect and deepening design of the system are verified through the application example of a tertiary hospital, and the design parameters such as the number of stations and route layout of the three subsystems of the box type pneumatic garbage clothing automatic logistics system are clarified. Targeted solutions are proposed to address key issues encountered in the deepening design, such as insufficient depth of logistics shafts, inadequate airtightness of dust removal and deodorization filter rooms, horizontal line crossing of fire compartments, and retention of maintenance doors.
Keywords: automated logistics system; hospital logistics; deepening design

前言

箱式－气动－垃圾被服一体化物流系统，是医院内部的现代化智慧物流体系，可以为医院内部的普通物资、急件与污物运输全流程提供自动化闭环支持，以满足医院内部物流的多场景运输服务需求[1]。箱式－气动－垃圾被服一体化物流系统主要包含三大子系统。其中，箱式物流系统的基本组成部分有智能运输箱、传输轨道、升降设备与站点终端，主要负责医疗器械、输液耗材、病历文件与药品等常规大型医用物资的稳定批量传输，以满足常态化物资补给需求。气动物流系统主要由智能传输瓶、密封传输管道、气压调控装置、收发终端等组成，为小型试剂、急救药品、检验标本、化验单等急件物资点对点高速传输提供支持。垃圾被服物流系统包含负压收集设备、分类投放终端、密闭管网和污物存储站等，专门为医疗废弃物、生活垃圾与脏污被服等自动化密闭式转运回收提供物流服务。

一、一体化物流系统的应用要点

（一）箱式系统常规物资传输

在物资配送前，总务科室、耗材库和药房等工作人员应该根据医院各病区的实际物资需求清单，分类整理和封装待运输的物资，完成规整后将物资直接投入智能运输箱内，并关紧箱门。操作站点的终端设备将自动录入物资类型、目标科室和配送优先级等关键信息，自动完成最佳运输轨道和时段匹配，尽量避开高峰时段的拥堵路径。运输中，借助中央调度模块，能够对运输箱的具体位置及其运行状态展开实时监控，自动调节运输路线。待将物资运送到目标科室站点后，由科室工作人员按照清单核对物资信息和数量，经确认无误解锁取件，系统终端将自动完成物资签收登记。

（二）气动系统急件物资传输

运输前，手术室、临床科室和检验科等站点工作人员要先将物资投入专用的密封传输瓶，按照物资属性合理选择防护模式。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

封装后，工作人员需要将物资紧急等级和接收科室密码输入气动终端，由气动终端根据实际情况合理选择传输模式。传输中，气压调控装置能够保障管道内部气压的动态平衡，使传输瓶保持高速匀速运行[2]。当传输瓶到达接收科室时，系统会立即发出自动提醒，接收科室在接到提醒后，应及时取出终端的传输瓶，详细核对物资信息，做好登记存档。

（三）垃圾被服系统污物转运

运输前，检验科、手术室和各病区等工作人员要精准分类污物，分别置于对应的专用密封包装袋内。分类后，工作人员应通过刷卡解锁相应的投放口终端。投放后，各投放口会自动将投放盖板闭合。在操作终端选择对应的污物类型，系统会自动为其匹配专属的负压传输轨道，并将负压抽吸模式自动启动[3]。在转运全过程中，管网将始终维持负压密闭状态。当污物到达收集站点后，设备会自动完成污物的分区存储和分级收纳，工作人员只需要根据医疗废物处置规范定期集中清运站内的污物即可。

（四）三位一体系统协同联动

依托智能化中央调度模块，三大物流系统可错峰联动，实现一体化流转。工作人员按照物资属性、洁污类别及时效要求匹配对应系统：大中型洁净物资走箱式系统批量配送，检验标本等急件由气动物流高速输送，污衣污物通过垃圾被服系统密闭转运。利用中央终端设置分时调度，早高峰运行箱式系统补给物资，日间优先处理门急诊急件，夜间集中清运污物，避免设备过载与线路冲突。

二、一体化物流系统的应用实践

（一）案例介绍

基于以上的一体化物流系统的应用方案，为验证其应用效果，选取某三甲医院综合院区加以验证。该院区共设置1200张开放床位、32个临床科室和18个医技科室，门诊接待人次日均可达3000余人，住院患者日均1100人左右。由于院内的物资流转量较大，洁污转运频次较高，难以采取人工运输模式满足实际需求。因此将该一体化物流系统合理引入，在全院设置46个箱式物流站点、38个气动物流站点和92个垃圾被服投放口，能覆盖整个医院区域。

（二）应用效果

表1为该系统应用前后的核心运营指标对比及优化情况。

表1- 该系统应用前后的核心运营指标对比及优化情况

序号	指标	应用前	应用后	优化幅度
1	常规物资单次配送时长（min）	25-35	8-12	66.67%
2	急件传输平均时长（s）	600-900	20-30	96.70%
3	院内物流交叉感染率（‰）	0.32	0.05	84.40%
4	病区物流清运闭环时长（h）	4-6	1-2	70.00%
5	物资运输差错率（%）	1.25	0.18	85.60%
6	物流人工日均投入量（人）	18	6	66.67%

除以上数据优化之外，该系统也实现了洁污物的全面分流传输，从而使物资和污物混运问题得到了彻底解决，并使医院的整体物流运营模式达到了精细化管理水平。

三、河北医科大学第三医院新湘江院区项目物流系统深化设计

（一）项目概况

河北医科大学第三医院新湘江院区项目为国家紧急医学救援基地（一期）与中西医协同“旗舰”医院（二期）的统筹建设项目，建筑体量大、功能分区复杂，院内物资流转量大、洁污转运频次高，物流需求兼具批量性、时效性与洁污分流要求。

（二）深化设计

结合上述应用实例的验证成果，本项目采用“箱式－气动－垃圾被服”三位一体医院自动化物流系统方案。结合上述应用实例的验证成果，本项目采用“箱式－气动－垃圾被服”三位一体医院自动化物流系统方案。在深化设计阶段，分别对一期国家紧急医学救援基地、二期中西医协同“旗舰”医院两大建设板块开展系统配置规划：箱式物流系统一期设置33个站点、10台垂直分拣机，二期配置15个站点、2台垂直分拣机，项目整体合计48个站点、12台垂直分拣机，系统主水平线布置在隔震层与二层位置，一、二期相连接的水平线设置于三层，全部水平线总长度约824m；气动物流系统一期布设36个站点，传输管道长度约1500m，二期设置16个站点，传输管道约400m，全项目累计52个站点，管道总长约1900m，系统机房布置在地下一层；垃圾被服系统一期分别设置33个垃圾投放口与33个被服投放口，垃圾水平管道长322m、污衣水平管道长326m，二期设置25个垃圾投放口、16个被服投放口，垃圾水平管道250m、污衣水平管道246m，项目整体共计58个垃圾投放口、49个被服投放口，该子系统的主水平管线布置于地下一层。本项目物流系统深化设计的主要设计参数如上。

（三）深化设计中的关键问题与解决措施

1. 深化设计中发现，部分井道原设计深度无法满足水平线伸出段所需的安装空间与支撑高度，导致水平线与垂直分拣机难以顺畅衔接。对此，采取钢结构加深物流井的措施，加大井道深度以满足水平线伸出段的安装与支撑要求，同时复核加深后对主体结构、管井及周边专业管线的影响，确保水平输送与垂直输送的无缝衔接。

2. 原设计采用加气混凝土砌块作为过滤室围护结构，因加气混凝土孔隙率大、表面多孔，难以满足系统负压工况下的气密性要求，易造成负压损失与异味外泄。对此，采用小型混凝土砌块对除尘除臭过滤室进行加固改造，砌筑时保证砂浆饱满、墙体抹灰压光并采取必要的密闭处理措施，使过滤室整体气密性满足系统设计要求，保障系统的除尘除臭效果。

3. 箱式物流水平传输线在楼内延伸过程中需穿越防火分区，穿越处需在防火墙上开洞，若处理不当将破坏防火分区的完整性，火灾时火势与烟气可能沿洞口蔓延。对此，在水平线穿越防

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

火分区的洞口处设置防火卷帘，平时防火卷帘开启或保持半开启状态以满足传输线正常运行，火灾时防火卷帘联动自动降落封闭洞口，恢复防火分区的分隔功能，确保防火分区功能有效。

4. 结合主体结构特点的检修门创新留置。本项目主体结构具有隔震层、复杂管井等结构特点，传统线路设计按固定间距留置检修门的方式，难以兼顾检修便利性与结构安全。对此，结合项目主体结构特点，在传统线路设计的基础上对检修门的留置进行了创新调整，根据结构梁柱位置、管井分布及水平线、管网走向等实际情况，合理调整检修门的位置与数量，既保证水平传输线、管网日常检修维护的便利性，又避免了对主体结构的过度削弱，实现了检修功能与结构安全的统一。

四、应用局限与优化建议

一是整体系统的适配性较为有限，在改造区域和老旧科室难以成功布设管线，无法全面覆盖边角科室，物流运输也存在少量盲区，对此可结合本项目深化设计经验，通过优化线路选型、合理预留井道与管井条件、加强各专业协同配合等手段，进一步提升系统适配性。二是整体系统的运维成本比较高，配件在长期运行模式下都容易产生损耗，需要较高更换成本，且日常运维消杀工作流程繁琐，同样需要投入较高成本，对此可依托智能调度与数据监测模块，建立预防性维护机制，优化运维与消杀流程，合理降低长期运维成本。

结束语：综上所述，通过该系统三个子系统之间的协同联动，能够使医院院内传统的物流运输风险高、效率低、洁污混运以及人工浪费等问题得以有效解决，进一步提高院内物资的规范化、精细化和安全化运输水平。

参考文献

[1] 张正明，周林才，王浩，等 . 医院高层建筑箱式物流自动化系统输送效率的研究与提高 [J]. 物流技术与应用，2023(2):135-141.

[2] 李颂 . 某三甲医院智能物流传输系统在应用中的创新改进 [J]. 数字化用户，2024(32):41-42.

[3] 李颂，巴志强 . 基于手供一体化模式的医院物流自动化调度平台 [J]. 自动化技术与应用，2023,42(2):105-108,146.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

关于 BIM 技术在市政路桥施工中的关键应用

钟剑文
广东昊荣建设工程有限公司，广东 佛山 528244

DOI:10.61369/ETQM.2026090016

摘　　要： 建筑信息模型（BIM）技术以三维数字化模型为核心，为市政路桥施工提供可视化、协同化管理。2023年国内 BIM 软件市场规模 133.23亿元，预计 2029年达 1142.39亿元。结合工程特点，分析其在碰撞检测（某桥梁化解2270处）、4D 进度、5D 造价（某地铁成本偏差≤ 1.2%）、质量安全监控及运维中的应用，探讨标准不统一、人才缺口等障碍，展望 BIM 与 GIS、IoT 及数字孪生的融合方向，强调其对施工管理的重构价值。

关 键 词： BIM 技术；市政路桥；碰撞检测

Key Applications of BIM Technology in Municipal Road and Bridge Construction

Zhong Jianwen
Guangdong Haorong Construction Engineering Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528244

Abstract: Building Information Modeling (BIM) technology, with three-dimensional digital models as its core, provides visual and collaborative management for municipal road and bridge construction. The domestic BIM software market is expected to reach 13.323 billion yuan in 2023 and 114.239 billion yuan in 2029. Based on the characteristics of the project, analyze its application in collision detection (at 2270 points resolved on a bridge), 4D progress, 5D cost (with a subway cost deviation of ≤ 1.2%), quality and safety monitoring, and operation and maintenance. Explore obstacles such as inconsistent standards and talent gaps, and look forward to the integration direction of BIM with GIS, IoT, and digital twins, emphasizing its value in reconstructing construction management.

Keywords: BIM technology; municipal roads and bridges; collision detection

引言

市政路桥工程具有专业交叉多、管线密集等特点，传统二维管理模式易导致返工与超支。BIM 技术通过三维数字模型实现全生命周期信息集成，显著提升施工精细化水平。2023年中国 BIM 软件市场规模133.23亿元，预计2029年达1142.39亿元。“十四五”规划推广 BIM，新造价标准推动5D 管控落地。大型市政项目 BIM 应用率超60%，但中小项目不足20%，存在较大落差。BIM 与 CIM 融合正成为城市基础设施管理的新趋势。

一、BIM 技术概述及其在市政路桥中的适用性

（一）BIM 核心技术特征

BIM 的核心价值在于信息的集成与传递。三维模型不仅是可视化展示工具，更是承载构件几何尺寸、材料属性、造价信息和施工逻辑的数据库。BIM 模型的参数化特性使得某一构件的修改能够自动联动关联构件的调整，减少了设计变更带来的连锁错误。例如，调整桥梁墩柱高度时，关联的盖梁、支座和梁体尺寸自动更新，避免了人工逐一修改的遗漏。协同性是 BIM 的另一核心特征，多专业在同一模型平台上工作，消除了信息孤岛，实现了实时沟通和冲突前置解决。模拟性则允许在施工前对复杂工序进行虚拟演练，提前识别风险点和优化施工方案。

（二）市政路桥工程的 BIM 应用适配性

市政路桥工程与一般房建项目有显著差异：线路长、标段多，涉及道路、桥梁、排水、照明、绿化、交通工程等多个专业；地下管线与地上结构的空间关系复杂，迁改协调难度大；施工受交通导行和城市环境影响显著，工期约束严格。这些特点恰好与 BIM 的可视化、协同化和模拟能力高度契合。与此同时，市政路桥工程的公共属性决定了其施工过程必须兼顾对周边环境和居民生活的影响，交通导行、噪音控制和扬尘治理等约束条件增加了施工组织的复杂度，BIM 的可模拟性在这些环节同样具有应用价值。BIM 模型可以将道路纵断面、桥梁结构、地下管线和地上设施整合在同一三维空间中，直观呈现各专业之间的空间关系；4D 模拟可以检验交通导行方案的合理性，优化施工组织；5D

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

管控可以实现对长线路多标段的造价精细管理。某市政交通工程BIM-CIM融合应用案例中，基于Cesium三维引擎构建的多源数据融合平台，实现了项目区位分析、路网分析和交通组织模拟，展示了BIM在城市级市政工程中的扩展应用潜力[1]。

二、BIM在市政路桥施工中的关键应用

（一）碰撞检测与管线综合

市政路桥施工区域地下管线密集，给水、排水、燃气、电力、通信等管线交错重叠，传统二维设计中碰撞问题难以在图纸审查阶段发现，往往在施工时才暴露，导致返工和工期延误。BIM碰撞检测通过将各专业模型集成后自动识别空间冲突，按照硬碰撞（物理交叉）和软碰撞（运维空间不足）分类输出报告，指导设计优化。某综合体项目通过BIM管线综合深化，提前检测并化解碰撞问题2270处；结合BIM+AR技术，施工人员扫码即可获取预留预埋的精准定位指引，将预留偏差控制在毫米级，有效杜绝了后期开凿对主体结构的破坏。在市政道路工程中，碰撞检测还需考虑管线与路基、桥梁基础的冲突，以及不同施工阶段管线迁改的时序协调，这对BIM模型的精度和更新及时性提出了更高要求。此外，综合支吊架的一体化设计也是管线综合优化的重要环节，通过分层布置实现空间集约利用，为后期运维提供清晰的管线脉络。

（二）施工进度4D模拟与管理

4D模拟是在三维BIM模型基础上加载时间维度，将施工进度计划与模型构件关联，动态展示施工过程。市政路桥工程线路长、标段多，各标段施工工序相互制约，传统甘特图难以直观反映工序间的空间逻辑关系。4D模拟可以可视化呈现各时间节点上的施工状态，识别关键路径上的资源冲突和工序搭接问题，优化施工组织设计。北京世界园艺博览会地下综合管廊工程采用基于BIM的进度管理系统，将进度信息与模型集成，实现了各专业施工的精细化协同，提高了沟通效率。在桥梁施工中，4D模拟能够对预制梁架设、支架搭拆等关键工序进行虚拟演练，预判吊装空间与既有交通的冲突，降低安全风险。某预应力混凝土组合箱梁桥梁项目，引入BIM技术对施工进度和重点难点工艺进行全真模拟，确保了工程质量、安全与进度的全面可控，同时通过虚拟施工优化了物资和设备调度方案，减少了资源闲置[2]。

（三）5D造价管控与工程量精准计算

5D造价管控是在4D基础上叠加造价维度，实现造价数据与进度的动态关联。2024年住建部新发布的BIM造价标准完善了5D管控体系，明确了模型精度、算量规则和数据接口的技术规范。据某项目应用数据，BIM算量将工程量计算时间缩短了70%；某地铁项目通过5D管控将成本偏差控制在1.2%以内；构件级造价关联使得某项目钢材用量节省8%。在设计变更方面，BIM支持变更造价即时测算，变更影响评估时间从3天缩短至2小时，成功避免了可能增加200万元成本的设计变更。进度款审核效率提升80%，某项目实现了7天内完成进度款支付。竣工结算方面，数字化标准将结算周期从90天缩短至30天，有效减少了结算争议。

（四）质量与安全监控

BIM技术在质量安全管控中的应用包括三个方面。一是施工方案模拟，对深基坑支护、高支模、大型构件吊装等危大工程进行三维可视化交底，使作业人员直观理解施工步骤和安全要点。二是质量验点管理，将质量检查标准嵌入BIM模型，通过移动端现场采集质量数据并与模型关联，实现质量问题的追溯和闭环管理。某桥梁工程引入BIM对施工重点和难点工艺进行全真模拟，确保了工程质量、安全和进度的全面可控。三是安全隐患排查，利用BIM模型识别临边洞口、交叉作业面等危险源，生成安全风险分布图，指导安全防护设施的精准布设。在市政道路改造工程中，由于施工区域与通行道路交叉，利用BIM模拟施工围挡布置和交通导行方案，可以有效减少施工对城市交通的影响，降低交通事故风险。

（五）运维管理的信息传递

市政路桥工程的使用寿命通常为50至100年，运维阶段的信息缺失是普遍问题。BIM模型作为信息载体，将施工过程中形成的设计变更、材料参数、设备信息和隐蔽工程记录传递至运维阶段，为设施的日常巡检、维修决策和应急响应提供数据支撑。综合管廊工程中，BIM模型与GIS系统结合，可以实现对管廊内部管线状态和外部环境的实时监控，辅助运维人员快速定位故障点。桥梁工程的BIM运维应用则侧重于结构健康监测数据的集成，将传感器采集的应力、变形和裂缝数据与模型构件关联，实现结构安全状态的动态评估和预警，改变了传统定期检测的被动模式[3]。

三、应用中的现实障碍

（一）模型标准与数据交互

目前国内BIM模型缺乏统一的数据标准，不同软件平台之间的模型互操作性差。市政路桥项目涉及道路、桥梁、排水、照明等多个专业，各专业往往采用不同的BIM软件建模，模型整合时的数据丢失和格式转换问题突出。IFC标准虽然提供了开放的数据交换格式，但对市政路桥特有构件（如挡土墙、声屏障、交通标志）的支持尚不完善，制约了全专业协同建模的推进。项目各参与方往往采用不同版本的BIM软件，模型整合时的坐标系不统一、构件命名不一致等问题频发，增加了数据对接的工作量和出错概率。

（二）人才与成本约束

BIM技术的有效应用需要既懂工程专业又掌握BIM工具的复合型人才，而当前行业人才储备严重不足。2024年BIM相关培训和认证人数年增长120%，但人才供给仍远低于市场需求。中小型施工企业受限于资金和技术积累，BIM应用往往停留在模型展示层面，未能深入到施工管理和造价控制的业务流程中。BIM软件授权费用、硬件配置要求和培训投入的综合成本，是中小企业推广BIM的主要门槛。据行业估算，一个中型市政项目BIM应用的增量成本约占项目总投资的0.3%至0.5%，若应用深度不足则难以

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

收回投入，这也是部分企业观望不前的原因之一[4]。

（三）技术融合深度不足

当前 BIM 在市政路桥施工中的应用仍以碰撞检测和可视化交底为主，与进度、造价、质量、安全等业务系统的数据联动不够紧密。4D 和5D 应用尚处于试点阶段，多数项目未能在施工过程中持续更新模型，导致 BIM 模型与现场实际脱节，削弱了管理决策的支撑作用。BIM 与物联网、智能传感的融合也处于起步期，实时数据的采集和反馈机制尚未形成闭环。多数项目的 BIM 应用停留在施工准备阶段，施工过程中模型的动态维护和更新不足，使得 BIM 的管理价值随着施工推进逐步衰减。

四、发展趋势与展望

（一）BIM 与 GIS 及 CIM 的融合

市政路桥工程具有显著的地理空间属性，BIM 模型的工程级精度与 GIS 的地域级覆盖天然互补。BIM+GIS 融合可以实现工程模型在地理坐标系中的精确定位，支持线路选线、环境影响评估和交通组织分析等宏观决策。CIM 则是在 BIM+GIS 基础上进一步整合城市级数据，构建城市信息模型，为市政基础设施的规划、建设和运维提供一体化平台。某市政交通工程已探索 BIM-CIM 融合应用，基于 Cesium 引擎和3D Tile 规范构建三维场景，实现了多源数据融合和项目级应用，为后续城市级 CIM 平台的建设积累了实践经验。从长远看，BIM-CIM 融合将推动市政基础设施管理从项目级走向城市级，实现多项目、多系统的统筹调度[5]。

（二）BIM+IoT 与数字孪生

物联网技术的发展使得施工现场的实时数据采集成为可能，温度传感器、应变计、GPS 定位设备和视频监控等物联网终端产生的数据可以与 BIM 模型构件关联，构建物理工程与数字模型的实时映射。数字孪生在此基础上进一步实现双向交互，不仅物理工程的状态反馈到数字模型，数字模型的优化指令也可以传递到施工控制系统，形成“感知 - 分析 - 决策 - 执行”的闭环。当前数字孪生在市政路桥领域的应用尚处于探索阶段，但其在桥梁结构健康监测、道路养护决策优化和综合管廊智能运维等场景中已展现出明确的应用前景。在桥梁工程中，数字孪生可以将结构健康监测数据与 BIM 模型联动，实现裂缝扩展趋势预测和维修时机优化；在道路工程中，结合车流量监测数据优化路面养护策略。数字孪生的落地还需要解决数据实时性、模型轻量化和边缘计算等技术问题，但随着5G 通信和边缘计算设施的完善，这些瓶颈有望逐步突破。

（三）国产化与标准化

BIM 软件的国产化替代正在加速推进，鲁班 BIM 等国产平台已覆盖设计、算量、造价、施工和管理全链条，支持 BIM+GIS+IoT 融合应用。国家标准层面，2024 年新发布的 BIM 造价标准为 5D 管控提供了规范依据，未来还需在模型交付标准、数据交换协议和行业分类编码等方面持续完善，形成覆盖市政路桥全专业的 BIM 标准体系。只有标准统一、数据互通，BIM 的价值才能从单点应用走向全链条协同。同时，需要建立模型交付的验收机制，将 BIM 模型质量纳入项目竣工验收内容，确保模型信息的完整性和准确性，避免“建模不运维”的资源浪费。

结束语：BIM 技术推动市政路桥施工从二维转向三维、从割裂转向协同。碰撞检测减少返工，4D 进度优化组织，5D 造价精准控制，质量安全提升管理精细化，运维数据支撑全生命周期。但标准不统一、人才缺口、技术融合不足制约规模化应用。未来 BIM 与 GIS、IoT、数字孪生深度融合将推动向智能化演进，国产软件成熟与标准完善提供保障。BIM 是管理重构，需技术、人才、制度协同推进。

参考文献

[1] 吴晓青，陈巍 . 关于 BIM 技术在市政路桥施工中的应用 [J]. 中国住宅设施，2025(3):239-241.

[2] 周芹仲 . 探究 BIM 技术在市政路桥施工中的应用 [J]. 建筑与装饰，2024(18):88-90.

[3] 张松韬 . BIM 技术在市政路桥施工中的应用研究 [J]. 石油化工建设，2023,45(1):106-108.

[4] 蒋威 . BIM 技术在市政路桥施工中的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市，2025(10):97-99.

[5] 熊小伟 . 市政路桥施工中 BIM 技术的应用分析 [J]. 模型世界，2023(33):172-174.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

道路空洞，疏松病害体检测技术研究

殷焕东
北京京能地质工程有限公司，北京 102399
DOI:10.61369/ETQM.2026090025

摘　　要： 针对道路地下空洞与疏松病害体，分析其成因类型及物性特征，物理模拟揭示电磁波和弹性波场响应规律，明确检测分辨能力与有效探测深度的理论约束及参数优选。探地雷达法优化频率选择与抗干扰布设，辅以高密度电法、面波法进行适用性比测，形成多方法协同检测流程并现场验证。数据经背景压制、异常增强与偏移归位处理，实现病害体形态重构与空间定位，进行尺度定量估算，进而融合多维信息划分疏松程度等级，最终完成道路风险定性评价。

关 键 词： 道路空洞；疏松病害；多法协同；风险分级

Research on Detection Technology for Underground Caverns and Loose Deterioration Bodies in Roads

Yin Huandong
Beijing Jingneng Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102399

Abstract: This paper analyzes the causes and physical characteristics of underground caverns and loose deterioration bodies in roads. Through physical simulation, the response laws of electromagnetic waves and elastic waves are revealed. The theoretical constraints on detection resolution and effective detection depth, as well as parameter optimization, are clarified. The ground-penetrating radar method optimizes frequency selection and anti-interference layout. It is supplemented by high-density electrical methods and surface wave methods for applicability comparison tests, forming a multi-method collaborative detection process and field verification. The data undergo background suppression, anomaly enhancement, and offset repositioning processing to achieve the reconstruction of the disease body morphology and spatial positioning. Quantitative estimation of scale is conducted, and then multi-dimensional information is integrated to classify the degree of looseness. Finally, a qualitative evaluation of road risk is completed.

Keywords: road caverns; loose deterioration; multi-method collaboration; risk classification

引言

城市道路地下空洞与疏松病害体是引发路面塌陷的主要隐患，其隐蔽性强、成因复杂，传统调查手段难以有效识别。针对病害体的物性特征及电磁波、弹性波响应机理，需明确检测分辨能力与有效探测深度的理论约束。本文从成因类型与结构演化入手，通过物理模拟揭示波场响应规律，优化探地雷达参数，并辅以高密度电法、面波法开展协同检测。在此基础上，进行信号处理与多维信息融合，实现病害体形态重构、空间定位及疏松程度分级，最终完成道路风险定性评价。

一、道路空洞与疏松病害体的物性特征及检测机理

（一）城市道路地下空洞与疏松体的主要成因类型及结构演化特征

城市道路地下空洞与疏松体的成因主要为渗漏潜蚀、施工缺陷和振动失稳。渗漏潜蚀由管线渗漏或降水入渗反复冲蚀细粒土形成空洞；施工缺陷因回填压实不足产生不均匀沉降，形成疏松带；振动失稳发生于饱和粉细砂路基，交通振动导致土体疏松。结构演化上，病害体从局部密实度减弱开始，孔隙率增大，弹性波速下降，呈现疏松特征；潜蚀加剧使细粒流失、空穴扩展贯通，形成顶板悬空的空洞，产生显著波阻抗差异面[1]。空洞顶板在荷载和水位波动下渐薄并塌陷，规模随时间扩大。上述成因及演化阶段决定了病害体物性差异，是检测参数选择与数据解译的基础。

（二）病害体在电磁波场与弹性波场中的响应规律及物理模拟

病害体在电磁波与弹性波场中的响应差异源于介质物性改变。电磁波探测时，空洞内空气或积水与周围土体介电常数突

作者简介：殷焕东（1990-），男，汉族，辽宁省大连市庄河市人，本科，道路桥梁高级工程师，主要从事岩土工程勘察工作。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

变，产生强振幅反射及弧形绕射；疏松体因孔隙增大、含水饱和度变化，介电常数降低，表现为同相轴杂乱、振幅衰减加快及主频下移。弹性波场中，疏松区域模量减小、密度降低，纵波、横波出现低速异常，面波频散曲线向低频偏移；空洞则阻断波传播，产生绕射、散射，走时图像呈低速包络。借助物理模拟，通过控制含水率、孔隙度及空洞规模，标定波形特征与病害参数对应规律，为解译提供依据[2]。

（三）检测分辨能力与有效探测深度的理论约束及参数优选原则

检测分辨能力和有效探测深度主要受波动频率、介质衰减以及环境噪声等因素制约。对于探地雷达这种设备而言，中心频率的提高是有利于去缩小垂向分辨的尺度并且增强对小尺寸异常的识别情况的，但是高频电磁波在含水、含黏粒的地层当中衰减会急剧加快，穿透深度也会随之锐减，所以必须要在分辨能力和探测深度之间去做出一个折中处理。通常是把目标体深度的三分之一到二分之一波长当作频率初选的参考依据。弹性波方法是遵循类似的波长和分辨率的关系的，浅层疏松检测是要求震源主频比较高的，而深层空洞搜索需要兼顾低频穿透的优势。参数优选还需要考虑道间距、采样率以及叠加次数这些内容，空间采样不足会造成高频信号假频混叠的情况，从而致使横向分辨出现恶化现象；采样率过低的话波形细节就会丢失，不利于薄层或者微小空穴的识别[3]。总之，现场参数的确定应该依据预估病害深度、围土电性以及弹性属性，遵循由粗到精、深浅兼顾的原则，先进行快速普查然后再进行局部加密复测，目的是在给定的探测深度范围之内最大限度地提高分辨能力。

二、面向空洞疏松体的综合检测方法与现场试验

（一）探地雷达法的工作频率选择、抗干扰布设与数据采集优化

探地雷达法在道路空洞和疏松体检测方面的效果，首先是取决于天线中心频率的合理选择情况。兼顾探测深度和分辨能力的要求，浅层高分辨探测适宜选取400兆赫至900兆赫的频率，而埋深大于2至3米的空洞搜索则应该降低到100兆赫至200兆赫的范围，以免高频信号快速衰减导致深部信息丢失。城市道路环境当中的抗干扰布设同样是非常重要的，测线适宜避开路面金属构筑物、密集钢筋网以及架空高压线缆等强反射源，天线必须和路面紧密贴合并保持匀速行进，必要的时候采用屏蔽天线和硬件滤波来压制环境电磁噪声。在数据采集优化方面，道间距应该满足空间采样定理以防止假频，时间窗宽需要按照最大探测深度和介质电磁波速预估设定，叠加拿道数根据信噪比需求适当增加，并且对重点可疑区段加密双向复测，这样就可以获取信噪比高、连续性好并且波形保真的原始雷达剖面，为后续精细处理和病害判识提供可靠的基础数据[4]。

（二）高密度电法、面波法等辅助手段的适用性分析与效果比测

高密度电法和面波法作为探地雷达的重要辅助手段，其适用性各有特点且需要通过比测验证。高密度电法依靠地下介质电阻率的差异来识别异常情况，对于含水疏松区域或者充水空腔反应比较灵敏，不过由于电极接地困难以及城市路面高阻屏蔽，其分辨率和信噪比常受限制，更加适合用于绿化带或者裸露土质区域的详细调查。面波法利用瑞雷波的频散特性来对浅层横波速度结构进行反演，对于疏松所引起的刚度衰减比较敏感，能够弥补雷达在含水地层穿透不足的缺点，但是它的横向分辨能力比较低，很难识别小规模的空洞。在同一个已知病害路段开展雷达、高密度电法以及面波的综合比测，结果显示雷达对空洞几何形态的刻画最为清晰，高密度电法则对富水疏松带的低阻异常反应非常显著，面波的剪切波速剖面能够有效地界定疏松范围，这三种方法联合起来有助于降低单一方法的多解性[5]。

（三）多方法协同检测流程制定及不同工况下的对比验证

多种方法协同检测流程的制定，以分级筛查、优势互补为基本思路。 第一阶段采用探地雷达沿着车道进行快速扫描，凭借它的高横向分辨率来发现疑似疏松与空洞的异常区段；第二阶段针对雷达所圈定的异常，根据实际情况引入高密度电法或者面波法来开展补充探测工作，前者重点在于判别含水疏松带的低阻分布情况，后者通过横波速度剖面来确认介质强度衰减范围；第三阶段针对存在争议的区段实施加密复测以及钻探验证工作，并且结合钻孔取芯或者动力触探的结果，对物探异常的真伪以及地质属性进行最终标定[6]。为了检验该流程的适用性，选取沥青路面、水泥路面以及绿化带等不同工况来开展对比验证工作，结果表明，在沥青路面条件下雷达的效率和精度都比较好，水泥路面因为钢筋网屏蔽需要降低频率并且加大叠加次数，绿化带可以充分发挥电法与面波的优势，协同流程明显提高了病害检出率并且降低了虚警概率，为后续的精细解译奠定了可靠的基础。

三、检测数据精细解译与病害体综合判识

（一）检测信号的背景压制、异常增强与偏移归位处理技术

检测信号的精细处理是提高病害体辨识度的关键所在，主要围绕背景压制、异常增强以及偏移归位这三个环节来展开。背景压制的目的是剔除直达波、天线耦合波以及路面层间多次反射等水平相干噪声，通常采用均值对消、时空域带通滤波或者小波分解重构的方法，让深部弱异常从强背景干扰中分离出来。异常增强则针对疏松体所引起的振幅弱变化以及频谱下移特征，通过增益恢复、反褶积压缩子波以及瞬时振幅、瞬时相位等属性提取的方式，凸显波形的细微畸变以及低频阴影。偏移归位处理基于电磁波传播速度模型，将绕射波能量收敛到真实位置，消除空洞顶底板弧形绕射所造成的虚假界面，让空洞边界清晰地归位。这三者依次递进，背景压制之后有效信号凸显出来，异常增强使微弱病灶能够被看见，偏移归位则重构真实空间分布，为后续的形态反演以及尺度估算提供条件[7]。

（二）空洞与疏松体的形态重构、空间定位及尺度定量估算

在背景压制处理和偏移成像处理之后，对空洞及疏松体开展形态重构、空间定位和尺度估算。 形态重构依托三维偏移数据体

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

进行，使绕射波收敛、反射界面归位，能够相对准确地刻画空洞的顶底轮廓及横向展布，疏松体异常边界也随之得到增强。 空间定位通过多测线交点和测网平差进行，从而确定病害体的平面坐标及顶面埋深。 尺度定量估算依据双程走时及精细提取的波速参数求取垂向厚度，横向范围则利用振幅横向衰减到半幅点或偏移剖面上异常形态的梯度突变进行圈定。对于疏松体而言，它的疏松程度能够通过弹性波速比、电磁波吸收系数等参数的相对变化来进行半定量评估，并且借助电阻率层析成像或者面波速度剖面来加以约束，这样就可以提高估算结果的确定性[8]。

（三）多维信息融合的疏松程度分级与道路风险定性评价方法

在完成形态重构操作以及尺度估算操作的基础之上，多维信息融合操作综合探地雷达电磁波吸收系数、高密度电阻率异常幅度和面波相速度降低率等参数，开展归一化处理操作。在融合过程当中，依据各个参数对介质疏松程度的敏感差异来赋予权重，其中雷达吸收系数对充水疏松体反映比较灵敏，面波速度对整体骨架软化指示性比较强，电阻率变化则和孔隙比增加密切相关。在分级的时候，轻微疏松仅仅是个别参数小幅度偏离背景，中等疏松各项参数同步弱化，严重疏松则呈现出波速急剧下降、吸收急剧增加以及电阻率大幅度下降的组合特征，依据这些情况将疏松程度划分为三级[9]。道路风险定性评价操作以疏松等级为基础，进一步纳入病害体平面展布范围、顶面埋深、是否位于行车轮迹带以及附近管线渗漏隐患等因素，采用风险矩阵法将路面沉陷塌陷风险定性区分为低风险、中等风险和高风险三级。这种多信息融合判识操作降低了单参数多解性带来的误判风险，让评价结论更加贴近工程实际紧迫程度，为处置优先级的确定提供依据，为城市道路地下隐患的精细化风险评估提供了技术支撑[10]。

结论：综上所述，本研究围绕城市道路地下空洞以及疏松病害体的检测问题，系统地分析了它们的主要成因类型以及物性特征，明确了电磁波和弹性波在病害体中的响应规律，并且提出了检测分辨能力以及有效探测深度的理论约束和参数优选原则。现场试验表明，以探地雷达为主、高密度电法与面波法为辅的多方法协同检测流程，能够适应不同工况并且提高探测可靠性。在数据精细解译方面，通过背景压制、偏移归位以及多维信息融合，实现了病害体的形态重构、空间定位以及疏松程度分级，并且在这个基础之上构建了综合考虑多因素的道路风险定性评价方法，能够为城市道路地下隐患的排查以及处置提供技术依据。

参考文献

[1] 黄方水 . 双频探地雷达道路病害检测模拟与应用研究 [J]. 地质与勘探 ,2022,58(3):45-50.

[2] 刘晨阳 . 路基浅层病害雷达正演及智能识别研究 [J]. 铁道工程学报 ,2023,40(2):52-58.

[3] 段彬 , 贺文文 , 郑兴 , 刘志永 . 探地雷达在城市道路空洞检测中的应用 [J]. 市政技术 ,2022,42(5):67-72.

[4] 张浩浩 . 路基病害探地雷达信号识别技术研究 [J]. 中国矿业大学学报 ,2023,52(4):89-94.

[5] 陈昌彦 , 肖敏 , 贾辉 , 苏兆峰 , 张辉 . 城市道路地下病害成因及基于综合探测的工程分类探讨 [J]. 测绘通报 ,2022,69(7):101-106.

[6] 高西洋 . 城市道路路基病害分类与形成机理及影响分析 [J]. 山西建筑 ,2023,49(11):55-60.

[7] 彭湘桂 . 探地雷达在北京市道路下方病害检测中的研究 [J]. 现代地质 ,2024,38(1):112-118.

[8] 张子伦 . 城市道路路基病害地质雷达三维图像特征分析与智能判识方法研究 [J]. 公路交通科技 ,2022,39(2):45-52.

[9] 熊思宇 . 面向道路病害检测的探地雷达信号处理方法研究 [J]. 桂林电子科技大学学报 ,2023,42(4):67-74.

[10] 杨天春 , 王齐仁 , 张升 . 探地雷达探测道路空洞的数值模拟与现场试验研究 [J]. 地球物理学进展 ,2023,38(4):120-132.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

公路工程施工中的防水路面基层施工技术关键点研究

朱风龙
德州市公路项目建设服务中心，山东 德州 253011
DOI:10.61369/ETQM.2026090033

摘　　要： 当前一些公路工程的防水路面存在基层问题，出现问题的原因为公路工程防水路面基层施工技术不够完善。社会经济不断发展，人们的生活水平不断提高，严格要求公路行车的舒适度和安全性，因此本文分析了公路工程施工中的防水路面基层施工技术关键点，通过合理选择防水材料和施工工艺参数，并做好质量检测工作，保障防水路面基层施工质量，对实际施工发挥参考作用，提高整体公路工程的施工水平。

关 键 词： 公路工程；防水路面；基础施工技术；关键点

Research on Key Points of Waterproof Pavement Base Construction Technology in Highway Engineering Construction

Zhu Fenglong
Dezhou Highway Project Construction Service Center , Dezhou, Shandong 253011

Abstract: At present, there are some problems in the waterproof pavement of some highway projects, and the reason for the problems is that the construction technology of the waterproof pavement of highway projects is not perfect enough. With the continuous development of social economy and the continuous improvement of people's living standards, the comfort and safety of highway driving are strictly required. Therefore, this paper analyzes the key points of waterproof pavement base construction technology in highway engineering construction, and ensures the construction quality of waterproof pavement base through reasonable selection of waterproof materials and construction process parameters and quality inspection, which will play a reference role in actual construction and improve the construction level of overall highway engineering.

Keywords: highway engineering; waterproof pavement; foundation construction technology; key point

当前公路工程建设中面临着各种挑战，因为交通流量不断增加，再加上重载车辆越来越多，提高了公路路面承受的压力，严格要求防水路面基层的稳定性。此外自然因素会破坏公路路面，尤其在多雨和寒冷地区，自然环境的影响不容忽视，保障防水路面路基质量，有利于延长公路使用寿命，并节省后期维护投资。在这一背景下，研究公路工程施工中的防水路面基层施工技术关键点具有重要的意义，可以解决当前工程施工中的问题，保障整体工程施工质量。

一、防水路面基层施工技术重要性分析

（一）有利于提高防水层和路基面的粘合力

建设公路工程的过程中， 利用防水路面基层施工技术，有利于紧密结合防水层面和路面层。在实际施工中，施工人员选用粗糙度较高的路基路面施工，有利于完善公路建设性能[1]。但是在实际施工中也存在不足之处，选用粗糙度较高的路面提高黏合力，严格要求施工人员技术水平。如果材料缺乏粗糙特点，不利于保障施工效果。在实际施工中，要求施工人员具备技术使用意识，完善防水性能。

（二）有利于优化路面防水效果

在路面施工中，施工单位选用的主材料通常为混凝土。混凝土性能良好，在实际应用中会达到固化状态，提高裂缝问题发生率。而利用防水路面基层施工技术，有利于规避上述问题。在实际施工中，施工单位利用打毛处理方式，清晰地呈现裂缝走线沟壑形态，为后续裂缝填补工作的开展提供参考，落实具体的防水措施，优化整体路面的防水性能。利用防水路面面层施工技术，可以控制裂缝发展速度，保障公路使用性能，提高行车的安全性。

二、防水路面基层施工工艺关键点

（一）基础处理要点

基层处理效果关系到防水路面基层施工质量。基层负责承载

朱风龙（1997.01-），男，汉族，山东省德州市人，职务：科员，学位：工学硕士，从事公路项目建设管理工作。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

防水层，因此要优化基层的强度和刚度。在基坑处理中，首先要彻底清理基层表面，全面清除表面的污渍和油污等杂物，紧密粘结防水层和基层[2]。此外要控制基层的平整度，如果基层表面存在凹陷部位，将会集中防水层的应力。提高基坑开裂问题发生率。因此施工单位要及时填补基层凹陷部位，控制基坑的平整度在5mm范围内，保证防水层的均匀性。

基层的湿润度关系到防水层粘结效果，如果基层过于干燥，将会吸收防水材料的水分，快速固化涂层，不利于保障成膜效果。如果基层过于湿润，在防水层和基层之间将会产生水汽隔离层，弱化粘结效果。因此在施工之前要湿润处理基层结构，但是不能出现积水问题。此外要保障基层的强度和刚度，如果缺乏强度，很容易引发开裂问题，最终破坏了防水层。因此在处理基层中，施工单位要结合实际情况合理选择机械压实措施和化学加固措施，提高基层的承载力，协同发挥防水层和基层的作用。

在防水路面基层施工中可以利用抛丸施工技术，在技术应用中流程图如下图1所示。在实际施工中，首先开展预清理工作，工作人员对路面的杂物全面清理，避免出现漏丸和漏抛等问题[3]。其次开展调试工作，施工人员要全面检查螺栓和按钮等部位，保证丸口高度、锚栓和地面间距符合施工要求。

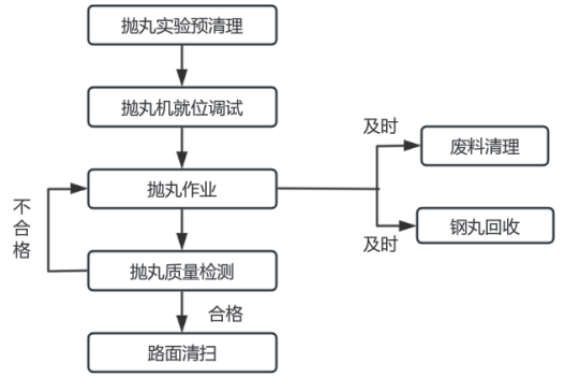


图1抛丸施工流程图

再次开展抛丸作业，施工人员开展设备试运行，并开展试抛工作，对骨料外露率和表面粗糙度等数据精准核对，提高抛丸施工质量。最后开展抛丸质检工作，施工单位要合理调控抛丸速度，建立专业的质检小组，全面监测抛丸作业流程，提高整体质检水平。抛丸质量检测项目如下表1。

表1 抛丸工艺质量检测项目

检查项目	规定标准	检测方法 / 频次
去除深度偏差	1~3 mm	标尺 / 全程
骨料外露率	≥ 20%	目测 / 全程
粗糙度	粗糙均匀	手感 / 全程
浮浆 / 杂物	无附着物	目测 / 全程

（二）铣刨施工技术

1. 在施工之前施工单位要全面检查设备状态，检查内容包括刀头和铣刨鼓以及喷嘴等部位，在调试工作中试用仪器设备，同时采取纠偏措施，优化设备使用性能[4]。铣刨设备检测项目和对应频次如表2所示。

表2 铣刨设备检测项目与对应频次

检查项目	日常检查（1次 /1月）	定期检查（1次 /1项目）
外观	√	
铣刨深度与转速	√	
制动性能	√	
安全防护性能	√	
铣刨装置		√
操纵杆、传输带、液压等		√
显示板与线路等		√
传感器收发信号功能		√
刀头紧固度等		√

2. 铣刨施工的重点包括切边和铣刨。在切边中，施工单位要沿着直线操作切割机，保证坑槽和槽壁之间保持垂直关系。在铣刨施工中，施工单位要结合行业规范，加强控制铣刨速度和铣刨深度等，结合工程钢锯条情况控制铣刨速度和深度。

3. 结束铣刨作业之后，施工单位要及时清运铣刨废料，结合实际施工情况选用液压镐等设备修整边角部位，优化后续施工条件。

（三）拉毛施工技术

1. 技术交底和抽样调查。结合工程实际情况选用拉毛施工设备，施工单位在施工之前要组织技术交底工作，保证所有的施工人员掌握施工方案要点，保证施工操作的规范性[5]。此外要抽样调查施工材料的质量，顺利开展施工。

2. 在施工过程中，对拉毛机的速度合理控制，结合工程实际情况控制推进速度在20m/min左右，此外在实际施工中要统一槽深和槽宽。

3. 在养生和复核阶段，施工单位要全面收集核心参数，保证各项指标符合行业标准，提高拉毛施工质量。

（四）防水层施工关键技术

防水层关键技术包括防水卷材铺贴和防水涂料涂刷等，涉及的影响因素包括施工温度和湿度以及涂刷次数等。铺贴防水卷材中，要保证基面的平整度和干燥性，同时要对卷材搭接宽度合理控制，并要明确处理搭接部位[6]。针对卷材纵向搭接宽度，施工单位要控制其大于100mm，并保证横向搭接宽度超过150mm，注意利用专用胶粘剂密封处理搭接部位，避免渗入水分。此外要控制铺贴施工温度在5℃~35℃范围内，否则不利于粘结卷材，引发卷材变形问题。

涂刷防水涂料中要注意控制涂刷遍数和厚度以及湿度等。施工单位要结合设计要求确定涂刷遍数，通常要大于两遍，每次涂刷方向要维持垂直关系，并保证涂刷的均匀性，规避漏刷等问题。在施工中利用湿膜厚度计实时监测涂刷厚度，确定符合设计要求。此外要关注施工湿度的影响，如果湿度过高，将会引发涂层气泡问题，通常要控制湿度不超过85%，在雨后等情况下不能开展涂刷施工。在收头部位要多遍涂刷，优化整体封闭效果，并选用专业密封材料，在涂层中合理设置胎体，并做好涂布工作，提高胎体的平整性，规避起泡等问题，牢固地粘结涂料。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

将整个基面区完全包覆防水层，采用碎石封层车喷布改性沥青材料，喷射量为1.2±0.2 kg/m2，然后再铺一层预拌碎石次啊聊，控制其厚度4.75-9.50mm，这样就形成了一个保护层。对于预拌碎石材料，在预拌中合理添加改性沥青，并将其石油比控制在0.5% 以内[7]。搅拌时，应将温度控制在150~180℃之间。均匀地洒布预拌碎石之后，施工单位要操作压路机碾压。

施工单位要结合具体工况合理选择防水卷材和涂料，在低温环境中，选择的防水卷材要具备低温柔性，在高温多雨区域，施工单位要突出防水涂料的耐水性和耐热性。此外施工人员的专业性和设备性能也会影响防水层的施工质量，因此施工单位要做好人员培训工作，并定期维护施工设备。

铺好防水层之后，不能通行任何车辆和作业人员，并有效保护防水层，规避受潮和落灰问题。如果没有采取保护措施，不能开展任何作业措施，也不能在其上方堆放任何杂物，避免破坏防水层。

（五）特殊部位处理工艺

在防水面层基层施工中，阴阳角和施工缝以及管道根部等部位施工难度较大，施工单位要采取合适的防水处理工艺，优化整体防水效果。阴阳角部位结构复杂，很容易集中应力，提高了裂缝问题发生率[8]。在阴阳角处理中，化工单位要做好圆弧过渡，保证半径大于50mm，避免集中过多的应力。随后设置防水卷材附加层，进一步提高该部位的防水性。

在施工缝防水处理中，施工单位要紧密粘结新旧混凝土，首先设置止水带，在浇筑新混凝土之前，施工单位要凿毛处理旧混凝土，紧密粘结新旧混凝土。施工单位要加强处理施工缝部位的防水层，一方面要设置防水卷材附加层，另一方面要增加防水涂料涂刷次数，避免向内部渗入水分。管道根部的防水处理中，施工单位要结合管道材质和直径等完善设计工作。在管道根部设置防水卷材附加层，同时利用密封膏密封处理卷材和管道之间的缝隙。因为特殊部位的防水处理效果直接关系到防水系统的完整性，因此在实际施工中，施工单位要重点监控特殊部位，结合设计要求施工，保障整体施工操作的规范性，充分发挥防水作用[9]。

（六）质量验收

1. 当清洁工作结束后，进行第一次涂料喷涂，将涂料渗入各个毛细孔，使整个粘结性能达到最佳。2. 当第一次喷涂结束，当表面变得干燥时，进行下一次喷涂，等待干燥再次进行第三次喷涂，循环这一工序就可以将整个施工任务完成。3. 确保喷涂均匀，避免了漏喷和其他问题。4. 在喷涂过程中，施工单位组织专人对喷涂次数进行严格的控制，将防水涂料的厚度控制在0.5-0.7mm 以内。5. 在喷涂过程中，应注意防止扬尘，护栏处加装隔板，起到遮蔽的效果。6. 喷涂工作完成后，工地必须封锁道路，避免破坏完工的部分。7. 确保底层平整、干燥，防止出现杂物、松散等现象。8. 对防水层进行控制，使其平整度达到 ±0.2 mm 的偏差。9. 防水层施工完毕后，应确保其稳固、平整，防止渗漏、剥落。10. 对于抛瓦研磨剂，施工单位应做好下列质量控制工作：一是确保抛丸磨料的清洁，无杂质，满足施工规范要求。其次保证磨料外观不能存在裂纹等质量问题，并保证磨料的均匀性。最后在实际施工中要妥善保管所有的物资，避免干扰正常使用效果。11. 完成防水层基层施工之后，施工单位要检查其平整度，同时要清理结构缝中的杂物，并均匀地填充密封材料，优化密封防水效果。

三、质量控制策略

（一）选用现代化检测技术

在防水路面基层施工中，施工单位要发挥现代化检测技术的优势。一方面施工单位要建立创新意识，在实际施工的全流程中融合现代化检测技术，优化控制防水施工质量。另外，在施工过程中，要将液压检测法、电子检测法等多种方法结合起来，配合使用防水探测器等仪器，辅助施工单位能够有效地进行防水监测，从而保证整个工程的质量。

（二）完善施工督查机制

控制防水路面基层施工质量，施工单位要完善施工督查机制。一方面施工单位要建立专业的督查部门，合理划分工作目标和责任，有利于提高督查有效性[10]。另一方面督查人员加强检查机械设备，合理增加巡查数量，并对督查内容合理细化，在源头督查防水路面基层和施工质量，为质量控制工作奠定基础。

四、结束语

在建设公路工程的过程中，防水路面基层施工效果发挥重要的作用，因此施工单位要加强分析防水路面基层施工技术关键点，制定科学的施工方案，严格控制原材料质量，选用合适的施工技术，优化公路的防水性能，提高公路使用的舒适度和安全性。在今后发展过程中，相关技术人员要加强研究人工智能和大数据技术的应用，在防水路面基层施工中拓展智能化施工技术的应用范围，例如应用实时监测技术和数据分析方法等，提高质量管理体系的科学性，精准控制整体施工过程。

参考文献

[1] 徐泰钤 . 道路施工中防水路基路面施工技术的应用 [J]. 中华建设 ,2026, (2):183-185.
[2] 周昱彤 . 透水路面高性能改性乳化沥青防水粘结层的应用效果 [J]. 粘接 ,2025,52(12):23-26+31.
[3] 宋心琳 . 防水抗裂层在高温多雨地区沥青路面中的应用 [J]. 交通世界 ,2025,(32):90-92.
[4] 鲁晨 . 公路桥梁施工中防水路基路面的施工技术研究 [J]. 运输经理世界 ,2025, (28):87-89.
[5] 杜承燕 . 公路桥梁施工中防水路基路面的施工技术应用探讨 [J]. 中国科技纵横 ,2025,(10):94-96.
[6] 王明瑞 . 公路特大桥路面顶层防水用砂粒式沥青混凝土配合比设计与性能验证 [J]. 建筑机械 ,2024, (10):266-270.
[7] 张扬 . 防水抗裂层在高速公路沥青路面中的应用 [J]. 交通世界 ,2024, (22):69-71.
[8] 胡智彬 . 公路工程施工中的防水路面基层施工技术探析 [J]. 工程技术研究 ,2024,9 (6):58-60.
[9] 刁宠基 . 公路桥梁施工中防水路基路面的施工技术研究 [J]. 运输经理世界 ,2024,(8):101-103.
[10] 韩均祎 . 道路桥梁施工中防水路面施工技术要点分析 [J]. 运输经理世界 ,2023,(21):114-116.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

智慧养护背景下公路预算管理优化路径

刘欢
内蒙古交通集团蒙通养护有限责任公司，内蒙古 呼和浩特 010000
DOI:10.61369/ETQM.2026090034

摘　　要： 智慧养护模式下公路养护作业逻辑发生显著变化，资金支出呈现小额高频、前置灵活、跨周期持续三类特征。当前公路预算管理存在编制类目适配性不足、执行管控灵活性欠缺、考核导向与长期效益脱节等问题，根源在于传统预算管理逻辑未匹配智慧养护作业特征。调整编制逻辑、优化执行管控规则、完善考核导向是适配智慧养护作业需求、提升资金使用效益的核心方向。

关 键 词： 智慧养护；公路养护预算管理；预算编制；预算执行；预算考核

Optimization Path of Highway Budget Management under the Background of Intelligent Maintenance

Liu Huan
Inner Mongolia Transportation Group Mengtong Maintenance Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia 010000

Abstract: Under the intelligent maintenance mode, the logic of highway maintenance operations has undergone significant changes, and the expenditure of funds presents three characteristics: small amount, high frequency, flexible front-end, and continuous cross cycle. The current highway budget management has problems such as insufficient adaptability of preparation categories, lack of flexibility in execution and control, and a disconnect between assessment orientation and long-term benefits. The root cause lies in the traditional budget management logic not matching the characteristics of intelligent maintenance operations. Adjusting the organization logic, optimizing the execution control rules, and improving the assessment orientation are the core directions for adapting to the needs of smart maintenance operations and enhancing the efficiency of fund utilization.

Keywords: intelligent maintenance; highway maintenance budget management; budget preparation; budget execution; budget assessment

引言

公路养护体系向数字化、智能化转型是交通基础设施运维领域的核心发展方向。智慧养护模式通过常态化自动巡检、前置病害处置、跨周期预防性养护大幅提升养护效能，其资金支出逻辑与传统养护模式存在本质差异，对预算管理的适配性提出了全新要求。当前传统公路预算管理体系与智慧养护作业特征的适配偏差逐步凸显，在编制、执行、考核各环节均存在供需错配问题，既阻碍智慧养护模式的落地推广，也拉低了养护资金的整体使用效益。针对这一现实问题开展适配性研究，明晰偏差成因并提出针对性优化路径，可为公路养护预算管理体系迭代提供参考，也能为智慧养护模式的规模化应用提供稳定的资金保障支撑。

一、智慧养护背景下公路预算管理的适配特征

智慧养护的推进工作不断深入，正在从根本层面重塑传统公路运维的作业模式，这一变革还直接催生了资金支出逻辑的深刻转型。为保障养护工作的高效以及顺畅推进，现代预算管理体系必须精准契合这些全新的作业特性，来实现从“粗放式拨款”向“精细化滴灌”的跨越。在智慧巡检模式下，资金需求由“集中大额”向“小额高频、数据驱动”转变[1-2]。传统公路巡查高度依赖人工，资金支出多体现为固定的人员薪酬以及阶段性的大额设备采购。而在智慧巡检模式下，搭载 AI 算法的智能摄像头、无人机集群以及物联网感知设备被当作常态化巡查的主力军来使用。这要求开展预算安排的工作必须适应高频次、碎片化的作业节奏[3-5]。

一方面，资金需常态化覆盖自动化设备的日常运维、云端算力消耗以及海量数据的清洗与分析处理工作；另一方面，随着系统对路面裂缝、坑槽等病害识别精度的提升，支出节奏与日常巡检频次高度契合，促使开展预算管理的工作从“年度集中审批”向“动态按需拨付”演进，来保障数据流的实时性与连续性。在病害处置环节，资金支出逻辑由“灾后被动修复”向“前置精准干预”倾斜。传统养护往往遵循“坏了再修”的惯性，资金大量

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

沉淀于突发性的大额灾后修复以及结构性大修中。智慧养护则借助数字孪生与大数据预测，能够提前识别潜在病害风险，把隐患化解于未然。这种“防患于未然”的作业特性，使得资金支出不再集中于事后抢险，而是更多地向小范围、高精度的前置处置倾斜。这不仅要求预算资金具备极高的灵活性，以便在最佳干预窗口期马上响应，更推动了养护支出结构的优化——借助精准滴灌式的早期干预，极大程度上降低全寿命周期内的总体维修成本，来实现资金使用效益的最大化。在预防性养护环节，资金规划由“短期项目制”向“跨年度长周期统筹”升级。预防性养护方案的制定工作不再依赖单一时点的检测，而是建立在长期监测数据以及演化规律分析的基础之上[6]。这意味着养护作业具有显著的跨年度、持续性特征。

因此，开展预算安排的工作必须打破传统的“一年一结”思维，建立起适配长周期作业节奏的跨年度资金规划机制。借助建立滚动项目库与中长期预算框架，把养护支出与公路服役寿命目标深度绑定，既能避免因资金断档导致的“小病拖成大病”，又能防止过度养护造成的资源浪费，真正落实“零缺陷养护”的长期主义理念。智慧养护不仅是技术的革新，更是管理理念与资源配置方式的全面升级[7]。只有建立起与“小额高频、前置干预、跨期统筹”相匹配的现代预算管理机制，才能为智慧公路的长效健康运行提供坚实的财力保障。

二、智慧养护背景下公路预算管理的适配偏差识别

（一）预算编制维度的适配偏差

预算编制是预算管理全流程的起始环节，编制逻辑的适配性会直接影响后续资金供给与养护实际需求的匹配程度。现有公路预算编制普遍以过往年度的养护支出数据为核心参照，编制逻辑多沿用传统养护模式下的支出类目，没有单独为智慧养护配套的新增支出设置专项核算条目。这类编制方式很难覆盖智慧养护场景下小额高频的设备运维、数据处理，以及周期性的技术迭代等新增支出需求，容易出现实际支出远超编制额度，或是部分专项预算没有对应支出类目可列支的情况。产生这类偏差的核心诱因是传统预算编制的类目设置没有随智慧养护的作业特征调整，编制人员对智慧养护的实际支出规律缺少足够了解，也没有建立适配长周期预防性养护的跨年度核算机制。智慧养护场景下预算管理偏差识别逻辑可参照图1[8]。

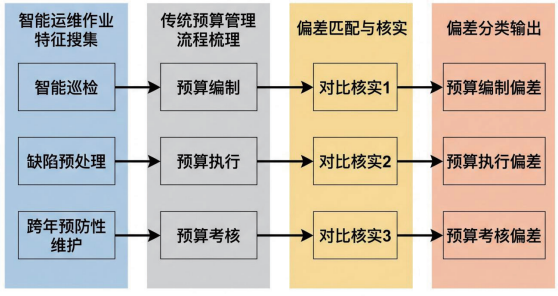


图1 智慧养护场景下预算管理偏差识别逻辑流程图

（二）预算执行维度的适配偏差

预算执行是养护资金落地使用的核心环节，执行管控规则的适配程度直接影响资金供给与作业需求的匹配效率。首先，现有预算执行普遍采用固定节点核验的管控模式，按季度、年度对资金使用情况开展核对审批，资金拨付需要提前提交对应申请走完多层级流程，多数情况下申请周期要长达一周甚至更久，很难适配智慧养护作业随实时巡检结果动态调整的支出需求，很多临时调整的作业计划对应的资金申请无法在短时间内完成审批。其次，这类固化的执行管控逻辑，也不能适配智慧养护识别到临时潜在病害后的前置处置资金调用需求，往往需要等到固定核验节点才能提交申请拨付资金，很容易错过小病害的最佳处置时机，反而会引发后续更大额的养护支出。最后，这类执行层面的适配偏差，会导致智慧养护场景下小额高频的设备运维、数据处理类支出无法按时核销，合理的临时作业资金需求得不到及时供给，既会拉低整体养护资金的使用效率，也会对智慧养护作业的正常开展造成不必要的阻碍。

（三）预算考核维度的适配偏差

预算考核是对预算全周期执行效果开展核验的终端环节，考核指标的设置方向会直接引导养护单位的资金使用倾向。当前的公路养护预算考核，多将资金节约率作为核心考核指标，考核过程仅比对实际支出总额与预算编制额度的差值，核算资金结余比例作为考核评级的核心依据，不会关联智慧养护作业带来的病害发生率下降、公路使用寿命延长等长期隐性效益。这类考核导向下，养护单位会倾向于压缩智慧养护相关的前置性投入，刻意减少设备运维、数据处理类的常规支出，以此拉高资金节约率获得更好的考核结果，反而会打乱智慧养护常态化作业的部署节奏。现有考核体系没有设置对应智慧养护专项投入的单独核算规则，无法对智慧养护投入产生的长期价值进行合理评定，长此以往会降低养护单位推广智慧养护模式的意愿，也不利于预算资金向养护效能更高的智慧作业环节倾斜[9]。部分单位为了符合考核要求，甚至会刻意缩减预防性养护的跨年度资金投入，将支出集中到传统养护的显性项目上，进一步消解了智慧养护模式的应用优势，也拉低了整体养护资金的长期使用效益。

三、智慧养护背景下公路预算管理的优化路径

（一）优化编制逻辑，匹配智慧养护全周期支出需求

预算编制逻辑的调整，是匹配智慧养护新型支出特征的首要工作。 先调整现有预算编制的类目架构，在原有传统养护支出类目的基础上，新增智慧养护专项核算板块，将预防性养护、设备运维、技术迭代、数据处理类的专属支出全部纳入对应板块，覆盖智慧养护场景下的全部新增支出需求，避免出现无对应类目可列支的情况。编制人员梳理智慧养护各环节的常规支出项，对应设置清晰的核算条目，明确不同条目的适用范围，让小额高频的零散支出也能找到对应的列支渠道。 再引入零基预算的编制方法，不再直接以过往年度的养护支出数据为核心参照制定额度，而是以当年智慧养护的实际作业规划为核算基础，逐项核定不同

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

作业环节的资金需求，降低基数法编制带来的额度与实际需求偏差过大的问题。编制人员结合智慧巡检的频次、病害处置的预判规模、预防性养护的年度推进计划核算对应资金，让最终确定的编制额度更贴合实际作业需要[10]。 最后拆解作业节点匹配编制周期，结合智慧养护各环节的作业节奏拆分预算编制的核算节点，针对跨年度的预防性养护作业设置跨年度核算机制，不用完全局限于自然年度的编制周期，适配长周期养护作业的持续性资金需求，减少资金闲置或者供给不足的情况。编制人员同步建立不同年度预算额度的统筹调配规则，让跨年度作业的资金拨付更顺畅，不会出现年度切换导致的资金断档问题。

（二）强化执行管控，降低智慧养护非必要预算耗损

预算执行管控规则的灵活度，会直接影响智慧养护作业的响应速度与资金使用效率。首先调整固定节点的核验模式，区分不同养护作业场景的资金审批权限，小额常规类的设备运维、数据处理支出可以简化多层级的审批流程，大幅缩短资金拨付周期，匹配高频零散支出的使用节奏，减少常规作业的资金核销阻碍。其次设置临时病害处置的专项备用金调用通道，巡检识别到潜在病害后可以直接申请对应额度的资金开展前置处置，不用等待固定核验节点提交申请，避免错过小病害的最佳处置时机，降低后续产生大额修复支出的可能。最后梳理全作业环节的资金使用核验节点，对应不同作业阶段的推进进度设置分级核验标准，动态调整各环节的资金拨付额度，减少不必要的资金沉淀或者超支情况，各场景的管控节点对应规则可参照表1[11]。

表1 智慧养护预算执行动态管控节点对应表

作业场景	审批主体	核验要求	额度范围
常规巡检运维	作业实施部门	随用随审，月度统一核销	单次支出5万元以下
临时潜在病害处置	养护管理部门	处置完成后3个工作日核验	单次支出20万元以下
跨年度预防性养护	预算与养护管理联合部门	按作业季度分步核验	按年度作业规划核定总额度

（三）完善考核机制，锚定智慧养护预算投入效能

预算考核的导向作用直接关系到智慧养护相关投入的优先级，是撬动养护资金效能释放的核心环节。其一，调整原有考核的核心指标构成，替换原有的资金节约率单一考核导向，将病害处置效率、道路使用寿命延长值这类和智慧养护直接相关的效益指标纳入核心考核体系，权重设置上可以向这类长期效益指标倾斜，引导养护单位合理安排智慧养护相关的前置性投入，不用为了追求短期资金结余压缩必要的常规运维支出。其二，设置智慧养护专项投入的单独核算考核路径，针对设备运维、数据处理、预防性养护这类专属支出，不再套用传统养护的支出考核规则，单独核算对应的投入产出关联，不会因为智慧养护的新增支出拉低整体考核评级，也能避免养护单位为了拉高整体资金结余率，刻意压缩必要的智慧养护常规支出，打乱常态化作业的部署节奏[12]。其三，建立跨年度的考核联动机制，针对跨周期开展的预防性养护作业，不用局限在自然年度内核算投入产出效益，将考核周期匹配养护作业的实际周期，相关投入的效能核验可以拉长到三到五年的跨度开展，减少养护单位的短期投入顾虑，也能更客观地评定智慧养护投入产生的长期价值，引导预算资金持续向养护效能更高的智慧作业环节倾斜，逐步放大智慧养护模式的应用优势。

四、结语

智慧养护背景下公路预算管理的适配性调整是覆盖全流程的系统性工作，需要从编制、执行、考核多个维度同步优化，匹配智慧养护各环节的作业特征与资金需求。相关调整既要破解当前预算管理存在的类目错配、审批滞后、导向偏差等现实问题，也要兼顾长期发展需要，为智慧养护模式的持续迭代预留适配空间。后续可结合不同区域公路养护的实际运营情况，对相关优化路径做进一步细化调整，逐步形成可复制可推广的适配性管理方案，充分释放智慧养护模式的效能，提升公路养护资金的长期使用效益。

参考文献

[1] 欧淑珍 . 基于大数据分析的高速特大桥施工成本控制与预算管理优化研究 [J]. 张江科技评论 ,2024,(12):90-92.

[2] 李军 . 浅析全面预算管理在高速公路投资建设项目中的问题与对策 [J]. 经济师 ,2026,(2):105-106.

[3] 邢维 . 高速公路施工项目全面预算管理的智能优化策略 [J]. 现代营销 ,2025,(33):109-111.DOI:10.19921/j.cnki.1009-2994.2025-33-0109-037.

[4] 陈俊凯 . 建筑施工企业全面预算管理的优化策略——以 Q 集团为例 [J]. 上海企业 ,2025,(07):157-159.

[5] 李文星 . 高速公路养护工程计量规则标准化与预算精细化管理路径探析 [C]// 江西省汽车工程学会 . 第二届工程技术与新能源经济学术研讨会论文集 .2026:472-474.DOI:10.26914/c.cnkihy.2026.001004.

[6] 李理 . 高速公路企业加强全面预算管理的优化路径探讨 [J]. 企业改革与管理 ,2023,(10):152-154.DOI:10.13768/j.cnki.cn11-3793/f.2023.0567.

[7] 刘磊 . 工程预算在公路工程造价控制中的运用分析 [J]. 现代工程科技 ,2026,5(13):165-168.DOI:10.26929/j.cnki.issn.2097-1672.2026.13.042.

[8] 王巧平 . 公路工程造价信息化管理与预算精准化控制研究 [J]. 中国招标 ,2026,(6):190-192.

[9] 郭官玲 . 以业财融合为核心，推进公路施工企业项目预算精细化管理 [J]. 当代企业世界 ,2026,(3):110-112.

[10] 黄璇 . 信息化背景下高速公路运营企业预算管理风险研究 [J]. 中国管理信息化 ,2026,29(4):103-105.

[11] 徐瑛 . 探究全面预算管理在高速公路企业中的应用 [J]. 市场瞭望 ,2026,(3):190-192.

[12] 张捷 . 高速公路行业全面预算控制的战略升级 [J]. 消费与品牌传播 ,2025,(27):111-114.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

双重预防机制视角下的建筑工程施工质量与安全管理策略研究

梁兴周
佛山市三水区第一建筑集团有限公司，广东 佛山 528000
DOI:10.61369/ETQM.2026090003

摘　　要： 双重预防机制由风险分级管控与隐患排查治理构成，形成“事前预防—事中发现—及时纠正”的闭环管理链条。针对建筑施工中风险辨识不全面、分级标准不统一、隐患治理闭环不严、参建单位责任协同不足等难点，提出构建风险动态辨识机制、完善分级管控责任体系、强化隐患排查治理闭环、建设信息化支撑平台、压实参建单位责任等一体化实施路径，以提升建筑工程施工质量与安全管理水平。

关 键 词： 双重预防机制；建筑工程；施工质量；安全管理

Research on Construction Quality and Safety Management Strategies from the Perspective of Dual Prevention Mechanism in Building Engineering

Liang Xingzhou
Foshan Sanshui District First Construction Group Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract: The dual prevention mechanism consists of risk grading control and hidden danger investigation and governance, forming a closed-loop management chain of "prevention in advance - discovery in the process - timely correction". In response to the difficulties of incomplete risk identification, inconsistent grading standards, lax closed loop management of hidden dangers, and insufficient coordination of responsibilities among participating units in construction, it is proposed to establish a dynamic risk identification mechanism, improve the graded control responsibility system, strengthen the closed loop of hidden danger investigation and management, build an informationized support platform, and consolidate the responsibilities of participating units in an integrated implementation path to enhance the construction quality and safety management level of building projects.

Keywords: dual prevention mechanism; architectural engineering; construction quality; safety management

引言

建筑工程施工质量与安全管理面临风险复杂、隐患多发等严峻挑战。双重预防机制以风险分级管控和隐患排查治理为核心，构建事前预防与事中纠正的闭环体系，为提升质量安全水平提供了系统化思路。然而，当前建筑施工中风险辨识不全面、分级标准不统一、隐患治理闭环不严、参建单位责任协同不足等问题突出，制约机制落地成效。基于双重预防机制视角，探索适合建筑工程特点的一体化实施路径，对推动质量安全管理向事前预防转型具有现实意义。

一、双重预防机制理论框架

（一）风险分级管控

风险分级管控是双重预防机制的第一道防线，核心在于“辨识—评估—分级—管控”闭环。在建筑施工领域，风险源主要包括：作业活动风险（高处作业、有限空间作业、动火作业等）、设备设施风险（塔吊、施工电梯、吊篮、脚手架等）、环境因素风险（深基坑、高边坡、临时用电等）、管理缺陷风险（培训不足、交底缺失、方案审批不严等）。通过风险矩阵法或 LEC 评价法，综合考虑事故发生可能性、暴露频繁程度、后果严重程度，将风险划分为重大、较大、一般、低四个等级，分别用红、橙、黄、蓝四色标识，实施分级管控。

珠海市住建局在政策解读中明确，要结合“分类指导、分级管控”要求，实施风险分级管控与隐患治理有机结合的双重预防机制，针对性列明8项检查主要内容和6项执法惩戒措施，为建筑施工风险分级管控提供了可操作的执法指引。

（二）隐患排查治理

隐患排查治理是双重预防机制的第二道防线，是风险管控措施失效后的补救屏障。隐患排查分为日常检查、专项检查、季节性检查、节假日检查等形式，排查内容涵盖施工现场安全管理、

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

脚手架工程、基坑工程、模板工程、起重吊装、高处作业、施工用电等分项。发现隐患后，按照“登记—整改—验收—销号”流程闭环治理，重大隐患实行挂牌督办、限期整改、跟踪验收。陵城区政府印发的双重预防机制建设实施方案对建筑施工工地提出具体要求：施工人员安全帽、安全绳佩戴到位，塔吊、脚手架、模板支撑牢固可靠，夏季落实防暑降温措施，校舍工程重点排查楼梯护栏、围墙护坡等易发滑坡塌陷部位[1]。

（三）双重预防机制的内在逻辑

风险分级管控与隐患排查治理并非孤立运作，而是相互衔接、层层递进的关系。风险分级管控侧重事前预防，通过系统辨识风险源、科学评估风险等级、落实分级管控措施，将风险控制在可接受水平；隐患排查治理侧重事中发现，通过常态化排查及时捕捉风险管控措施的失效信号，迅速整改消除隐患，防止风险演化为事故。两者形成“事前预防—事中发现—及时纠正”的闭环管理链条，缺一不可。若风险分级管控不到位，隐患排查将疲于应付、治标不治本；若隐患排查治理不闭环，风险管控失效信号无法及时捕捉，事故隐患可能累积爆发[2]。

二、建筑施工质量安全现状分析

（一）事故类型与分布特征

从近年建筑施工安全事故统计看，事故类型集中分布在“四大伤害”：高处坠落占比最高，约占事故总数的50%以上，主要发生在脚手架作业、临边洞口作业、吊篮作业等场景；物体打击约占15%-20%，多因材料堆放不稳、工具坠落、塔吊吊物散落所致；坍塌事故约占10%-15%，涉及基坑坍塌、脚手架坍塌、模板支撑失稳等；机械伤害约占5%-10%，集中在起重机械、混凝土机械、钢筋加工机械等设备操作环节。昆明市住建局发布的2025年5月全市房屋建筑和市政基础设施工程在建工程安全生产概况显示，在建工程规模持续扩大，监管任务繁重，对双重预防机制落地提出更高要求。

（二）质量安全监管实践

南通市住建局2024年四季度主城区房屋建筑工程质量通报显示，在监建筑工程项目135项，建筑面积848.34万㎡，监督机构通过日常巡查、专项检查、随机抽查等方式，对参建单位质量责任落实情况进行监督检查。通报指出部分项目存在质量责任落实不到位、材料进场验收不规范、隐蔽工程验收走过场等问题，反映出质量管控体系仍有薄弱环节。广西住建厅桂建发〔2024〕4号文件强调建设单位工程质量安全首要责任，要求建设单位对工程质量安全承担首要责任，不得以任何理由压缩合理工期、降低工程质量安全标准，为双重预防机制落实提供了责任主体保障[3]。

三、双重预防机制实施难点

（一）风险辨识不全面

当前建筑施工风险辨识多停留在常规工序层面，对非常规作业、交叉作业、变更施工等场景的风险辨识不足。部分项目风险辨识清单照搬模板，未结合工程实际进行动态更新，导致风险源遗漏。例如，百色靖西市吊篮坠落事故中，外墙涂料作业风险辨识可能被简化处理，未充分考虑吊篮设备检验、作业人员培训、安全防护措施等风险点，最终酿成悲剧。

（二）分级标准不统一

风险分级评价方法多样，LEC法、矩阵法、作业条件危险性评价法等并行使用，不同地区、不同企业分级标准不统一，影响风险信息共享和监管协同。同一风险源在不同项目可能被评定为不同等级，管控措施力度参差不齐。缺乏行业统一的风险分级指引，导致双重预防机制落地效果差异明显。

（三）隐患治理闭环不严

隐患排查发现的问题，整改责任主体不明确、整改时限不具体、验收销号走过场的现象时有发生。部分项目隐患排查记录完整但整改落实打折扣，形成“查而不改、改而不验、验而不销”的虚假闭环。信息化手段应用不足，隐患排查治理数据分散在纸质台账、Excel表格、微信群等渠道，难以实现全流程追溯和统计分析[4]。

（四）参建单位责任协同不足

双重预防机制的有效运行需要建设、施工、监理三方协同配合。实践中，建设单位往往将质量安全责任完全推给施工单位，自身首要责任落实不到位；施工单位安全投入不足、培训缺失、交底走过场；监理单位监督执法力度不够，发现问题不敢较真碰硬。三方责任边界不清、协同机制缺失，制约双重预防机制整体效能。

四、一体化实施路径

（一）构建风险动态辨识机制

建立“分部分项工程—作业活动—工序步骤”三级风险辨识体系，结合施工组织设计、专项施工方案、作业指导书等文件，系统梳理各阶段风险源。针对深基坑、高支模、塔吊安拆、脚手架等危大工程，组织专家论证专项方案，辨识非常规作业风险。建立风险源动态更新机制，施工条件变化、工艺调整、设备更换时及时重新辨识，确保风险清单与工程实际同步。

（二）完善分级管控责任体系

制定统一的风险分级评价指引，可以为行业提供明确的操作依据。LEC法和矩阵法各自适合什么场景、参数取值遵循什么标准，这些内容都应在指引中加以规定。这样不同项目得出的风险分级结果才能相互比较和对照。

分级管控责任清单需要明确划分各级风险的管控主体。重大风险由企业主要负责人包保负责，较大风险由项目负责人直接管控，一般风险归部门负责人管理，低风险交给班组长处理。这种层层压实的责任结构，有助于每一级风险都有具体的人来盯防。风险告知制度也应当落实到位。施工现场的显眼位置可以张贴风险四色图，采用不同颜色标示各级风险区域。作业人员上岗前，管理人员需要向他们详细说明本岗位存在的风险和相应的管控措施，确保每个工人都清楚自己面对什么风险、该如何防范。此

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

外，责任清单不是固定不变的。项目条件变化时，管理人员应及时调整风险等级和责任归属。风险四色图也要根据施工进度动态更新，让现场警示信息始终与实际情况保持一致。定期组织责任落实情况检查，将考核结果与绩效挂钩，可以进一步推动分级管控责任体系从纸面走向行动。通过以上措施，风险分级管控才能形成从评估、定级、落实到反馈的完整链条[5]。

（三）强化隐患排查治理闭环

工程质量控制中，隐患排查与治理需要形成完整的闭环流程。具体做法是从发现隐患开始，依次完成登记、整改、验收、销号四个环节，每一步都明确谁负责、多长时间完成、达到什么标准才算合格。对于重大隐患，管理人员应挂牌督办，在没有整改到位之前，相关作业不能继续开展。只有经过验收确认合格，才能销号并恢复施工。每个隐患都要单独建立档案，记录从发现到关闭的全部信息，做到全程可追溯。项目方还应定期对隐患数据进行统计和分析，找出哪些类型的隐患反复出现、哪些问题长期难以根除。通过这些分析，反过来检查风险管控措施失效的原因，进而调整和完善风险分级管控体系。这样一套闭环管理机制，有助于将质量安全风险控制在萌芽状态，避免小问题演变成大事故。在实际操作中，项目方可以结合信息化平台，实现隐患的实时上报、自动提醒和状态跟踪，进一步提高闭环管理的效率和透明度。

（四）建设信息化支撑平台

建设建筑施工领域的双重预防信息管理系统，可以为质量安全管控提供有力支撑。该系统汇集风险辨识、分级评价、管控措施、隐患排查、整改销号等多个功能模块，实现数据的集中管理、流程的在线流转以及信息的实时共享。现场人员借助移动终端开展隐患排查工作，可以拍照上传隐患照片，标注具体位置，即时向相关人员推送整改通知，这种方式显著提升了排查效率。大数据分析技术能够对积累的风险隐患数据进行深入挖掘，从中识别出规律性和趋势性的问题。这些分析结果为管理决策提供可靠的数据支持，帮助管理人员更准确地把握风险演变特征。信息平台还支持隐患从发现到关闭的全过程跟踪，每个环节的操作记录自动保存，方便后续核查与责任追溯。系统可以与智能穿戴设备、视频监控等硬件联动，自动采集现场环境参数和设备运行状态，进一步丰富数据来源。通过不断优化平台算法和界面，项目各方可以更高效地协同工作，将双重预防机制从文件要求转化为日常操作工具。

（五）压实参建单位责任

在建筑工程项目中，各参建单位需要承担起相应的质量安全管理职责。建设单位应当履行质量安全的首要责任，不能违规发包、分解发包工程，也不能随意压缩合同工期或降低质量安全标准。安全文明施工费需要按时足额拨付到位，同时建设单位还要组织协调施工、监理等各方力量，共同推动双重预防工作机制的有效运行。施工单位则要承担主体责任，主动建立完善的安全管理体系，配备足够的安全管理人员，保障安全投入资金及时到位。安全培训与技术交底工作应当认真开展，风险分级管控、隐患排查治理的各项措施也要落到实处。监理单位依据法律法规履行监督职责，需要对专项施工方案进行审查，对施工现场进行巡视检查。一旦发现隐患，监理人员应当及时下达整改通知；遇到重大隐患时，需要立即报告建设单位以及相关主管部门。监理单位要有敢于较真碰硬的决心，严格依照标准执行监督。

此外，各方责任并非彼此孤立，而是相互衔接、互为支撑。建设单位为施工和监理创造必要的条件，施工单位将具体措施落实到每个班组和岗位，监理单位则发挥独立第三方的监督作用。只有三方各司其职、协同配合，才能形成完整的责任链条。定期开展责任落实情况考核，将考核结果与信用评价、招标投标挂钩，有助于进一步压实各方责任意识，从源头提升工程质量安全水平。

结束语：双重预防机制为建筑工程施工质量与安全管理提供了从被动应对向主动防控转变的有效路径。通过风险分级管控与隐患排查治理的有机衔接，构建事前预防、事中发现、及时纠正的闭环体系，能够系统提升施工现场的风险控制能力。针对当前实施中的难点，需强化风险动态辨识、统一分级标准、严抓隐患闭环、压实三方责任，并借助信息化手段实现全过程可溯。双重预防机制的真正落地，有赖于各参建单位的协同推进与持续改进，从而筑牢建筑工程质量安全防线。

参考文献

[1] 叶海朋 . 建筑工程施工质量与安全管理策略研究 [C]//2025工程技术与材料应用学术交流会论文集 . 2025:1-3.

[2] 陈勋 . 建筑工程质量安全管理策略及效果评估研究 [J]. 中国建筑金属结构 ,2025,24(24):163-165.

[3] 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.

[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] 鄢滔 . 建筑工程施工质量安全协同管理优化策略 [J]. 砖瓦世界 ,2026(4):187-189.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

结构检测在房屋安全性鉴定中的重要作用分析

温权峰
广东保顺检测鉴定有限公司，广东 广州 510730
DOI:10.61369/ETQM.2026090004

摘　　要： 房屋结构检测为安全性鉴定提供关键数据支撑。检测内容涵盖材料性能、构件尺寸、变形位移及隐蔽损伤。常用方法包括回弹法、钻芯法、超声检测、钢筋探测及红外热成像等。检测数据用于确定结构可靠性等级、指导加固改造方案、发现内部蜂窝与钢筋锈蚀等潜在风险。同时可评估抗震性能和剩余使用年限，保障二手房交易安全。检测机构资质与报告质量直接影响鉴定结论的可信度。实际案例表明，精准检测能够发现肉眼不可见隐患，避免结构事故，是房屋安全管理的重要技术基础。

关 键 词： 房屋结构检测；安全性鉴定；无损检测

Analysis of the Important Role of Structural Inspection in Building Safety Appraisal

Wen Quanfeng
Guangdong Baoshun Testing and Appraisal Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510730

Abstract: Building structure inspection provides key data support for safety appraisal. The testing content covers material properties, component dimensions, deformation displacement, and concealed damage. Common methods include rebound method, core drilling method, ultrasonic testing, steel bar detection, and infrared thermal imaging. The detection data is used to determine the reliability level of the structure, guide reinforcement and renovation plans, and identify potential risks such as internal honeycomb and steel corrosion. At the same time, it can evaluate the seismic performance and remaining service life, ensuring the safety of second-hand housing transactions. The qualifications of testing institutions and the quality of reports directly affect the credibility of appraisal conclusions. Practical cases have shown that precise detection can detect hidden dangers that are not visible to the naked eye, avoid structural accidents, and is an important technical foundation for building safety management.

Keywords: house structure detection; safety assessment; non-destructive testing

引言

房屋在长期使用中会面临材料老化、荷载变化及环境侵蚀等问题。结构安全隐患往往隐藏在构件内部或表面之下，仅凭外观检查难以发现。结构检测借助多种技术手段，获取材料强度、钢筋配置、变形参数及隐蔽缺陷等关键数据。这些数据为安全性鉴定提供定量依据，支撑加固方案设计，评估抗震性能和剩余使用寿命。准确可靠的检测结果，能够预防突发性结构事故，保障房屋安全使用，也在房屋交易、改造决策中发挥重要作用。

一、结构检测的主要内容与技术方法

（一）结构检测的主要内容

房屋结构检测是一项系统工程，涉及多个层面和技术环节。根据现行国家规范要求，结构检测的主要内容包括以下几个方面：

1) 资料收集与初步调查。获取房屋的设计图纸、施工记录、材料证明及历次维修记录等原始资料，了解房屋的使用历史、改造情况、受灾经历及周围环境变化，为后续检测方案的制定提供依据。这一环节往往被忽视，但实际上充分的历史资料可以大幅提高检测的针对性和效率。

2）外观检查与损伤调查。对房屋外墙、屋顶、梁柱、墙体等部位进行细致观察，记录裂缝分布、变形情况、混凝土剥落、钢筋锈蚀等损伤现象。对于承重构件，裂缝的位置、宽度、发展趋势是判断结构安全状态的重要依据。

3）结构尺寸测量与测绘。复核房屋的实际结构尺寸与设计图纸的一致性，包括梁、板、柱、墙体的截面尺寸与布置位置，验证是否存在施工偏差或擅自改造。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

4）材料性能检测。对混凝土强度、钢筋配置与锈蚀程度、砌体强度等关键材料参数进行检测。这是判断结构当前承载能力是否满足设计要求的核心数据来源。

5）变形与位移测量。测量房屋的沉降差、整体倾斜度、主要构件挠度等变形参数，评估结构在长期荷载作用下的稳定性和变形发展趋势。

6）结构承载力验算分析。基于现场检测数据，运用结构力学原理和专业分析软件，对房屋在恒载、活载、风荷载及地震作用下的承载能力进行复核验算，确定结构是否满足安全性要求。

（二）主要检测技术方法

结构检测方法总体上可分为破损检测与非破损检测（无损检测）两大类。无损检测在不破坏结构的前提下获取内部信息，是当前行业发展的主流方向，主要包括以下技术手段：

回弹法与超声回弹综合法：回弹法通过测量混凝土表面硬度推算其抗压强度，操作简便、成本较低，是目前国内最常用的混凝土强度检测方法。超声回弹综合法则将超声波速与回弹值联合使用，可以有效消除单一指标的测量误差，检测精度明显优于单独使用回弹法[1]。

钻芯法：通过在结构构件上钻取混凝土芯样进行抗压试验，是最直观、最可靠的混凝土强度检测方法，但会对结构造成局部破损，通常作为回弹法的校核手段使用。

钢筋探测与锈蚀检测：利用电磁感应原理探测钢筋位置、保护层厚度及钢筋数量；通过电位法或电阻率法评估钢筋锈蚀程度，为判断结构耐久性提供依据。

红外热成像技术：利用红外热像仪捕捉建筑表面温度分布差异，可有效发现外墙空鼓、保温层缺陷、隐蔽裂缝等肉眼难以直接观测的问题，检测效率高且覆盖面积大。

裂缝测量技术：使用裂缝宽度仪、裂缝显微镜等专用仪器精确测量裂缝的宽度、深度、长度及发展趋势，为判断裂缝对结构安全的影响程度提供定量数据。

变形测量技术：采用全站仪、水准仪等精密仪器测量房屋的垂直度、沉降差及水平位移，数据精度可达毫米级，是评估结构整体稳定性的关键指标。

二、结构检测在安全性鉴定各环节中的关键作用

（一）为安全性评级提供定量依据

房屋安全性鉴定结论的得出，依赖于对结构现状的科学评估与定量分析。依据《民用建筑可靠性鉴定标准》（GB 50292）及《工业建筑可靠性鉴定标准》（GB 50144），建筑物的可靠性等级分为 A、B、C、D 四级，每一等级的判定均有明确的量化指标要求。例如，混凝土构件的承载力是否满足设计值的85% 以上、裂缝宽度是否超过规范限值、变形指标是否在允许范围内，这些评判标准均需以实测数据为支撑。结构检测通过现场实测获取的材料强度、钢筋配置、裂缝参数等量化数据，是将房屋现状与评级标准进行比对的唯一客观依据。没有翔实检测数据的鉴定结论，如同无本之木，难以经受专业审查和时间检验。

（二）支撑结构加固与改造方案设计

房屋经过鉴定出现安全风险后，相关人员需要实施加固或改造工作。结构检验数据为加固设计提供重要依据。没有准确的检验数据，加固方案缺乏可靠起点。

加固方案有多种类型。比如扩大截面方法、包裹钢材方法、碳纤维补强方法以及调整受力路线方式。每一种方案选取时，设计人员都要依靠对现有结构承载能力欠缺状况的准确判断。同时还需了解部件损坏分布情况。还要掌握材料性能减弱程度。这些信息都来自前期的结构检测[2]。

有一项实际工程表明，某处房屋的混凝土强度检验数值较低。设计单位根据这个情况调整了加固方案中的截面扩大尺寸。这种做法防止了按照原来方案加固以后依然达不到承载能力要求的那种风险。由此可见，检验数据的精准程度直接影响加固工作的合理程度。

数据过高会带来加固不足的隐患，结构后期可能继续变形或开裂。数据过低则会引起不必要的经济浪费，比如过度增加材料用量或扩大施工范围。因此检测工作必须保证数据真实可靠。

检验数据还影响后续多个环节。例如材料选用上，数据反映混凝土实际标号较低时，施工方需选用更高等级粘结材料。施工工艺选择上，若发现钢材锈蚀严重，应优先采用焊接少的加固方法，减少现场动火风险。经济性评估上，精准数据能帮助控制总造价，避免盲目提高安全储备。

不同构件的检测侧重点也有所不同。对于承重梁，重点关注受弯区域的裂缝宽度和钢筋锈蚀程度。对于承重柱，重点关注垂直度偏差和混凝土密实度。对于墙体，重点关注倾斜率和水平缝错位。这些分项数据汇总后，加固方案才能做到有的放矢。

总体来看，检测数据就是加固改造工作的基础。没有好数据，就没有好方案。现场采集、实验室分析、设计应用这三个环节需要紧密衔接，才能保证房屋后期使用安全可靠。

（三）发现隐蔽缺陷与潜在风险

建筑结构的某些损坏与不足藏在构件内部或表面覆盖层下方，单靠肉眼很难察觉。例如混凝土内部的蜂窝、空穴，钢筋外混凝土层偏薄造成的藏于内部的生锈，房屋底部基础出现的不同部位下沉差异等。这些问题都需要借助专门设备和合理的检验手段，才能准确发现其存在。

2021年湖南某小区的车库内，梁与柱连接位置的钢筋腐蚀较为严重。这种腐蚀位于混凝土覆盖层内部，起初没有暴露出来。如果只靠眼看手摸，施工人员很难发现这一隐患。后续依靠钢筋电势测量与超声波探测技术，检测人员找到隐藏问题的具体位置，最终防止了结构出事故。这一过程显示，结构检验工作对于发现隐藏问题、预防突发性结构破坏具有独特价值。除了上述案例，实际检测中还常遇到预制板拼缝处的开裂、预埋管道周边的混凝土疏松、砌体墙内白蚁蛀蚀等隐蔽情况。这些隐患早期不影响外观，但随时间推移会逐步恶化。通过定期检测和精准定位，施工方可以在问题扩大之前采取修复措施，从而保障房屋的长期安全使用。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（四）评估房屋抗震性能与使用寿命

我国是多地震国家，房屋抗震性能评估是安全性鉴定的重要内容。抗震鉴定需综合考虑房屋的结构体系、构件配筋、连接构造以及材料退化等因素。以砌体结构为例，构造柱与圈梁的设置是保障抗震性能的关键构造措施，但历次改造或装修中构造柱被凿除、圈梁被打断的情况时有发生。通过现场检测核实构造措施的现状，并与设计要求及现行抗震规范进行对比，可以对房屋的抗震能力做出合理评估。此外，材料老化导致的性能退化（如混凝土碳化、钢筋应力腐蚀等）会显著降低结构的耐久性极限，基于材料检测数据的耐久性分析，可以预估房屋的剩余使用寿命，为业主制定合理的维修更新计划提供依据[3]。

（五）规范市场行为与保障交易安全

在二手房交易、旧厂房转让、历史建筑保护利用等场景中，结构检测报告已成为重要的技术凭证。房屋完损状况检测和安全性鉴定报告能够客观呈现房屋的技术状态，为买卖双方提供透明的决策依据，有效避免因信息不对称导致的纠纷。近年来，部分金融机构在发放房屋抵押贷款时，也开始要求提供结构安全性鉴定报告作为风险评估的参考。可以认为，结构检测与安全性鉴定在规范房地产交易行为、保障交易各方合法权益方面，发挥着日益重要的技术支撑作用[4]。

（六）检测机构资质与报告质量保障

结构检测报告的质量直接取决于检测机构的资质水平和技术能力。根据行业调研数据，近三年国内新增房屋结构检测相关服务机构超过2000家，其中近四成机构不具备完整的检测资质，存在采样流程不规范、数据误差超出允许范围、鉴定结论不符合地方规范要求等问题。此类机构出具的报告，不仅无法通过建设行政主管部门的审批，更可能掩盖真实的安全隐患，对人民群众生命财产安全构成严重威胁。因此，委托方在选择检测机构时，应重点核查其是否具备相应的检测资质、是否建立了完整的质量管控体系、是否熟悉当地抗震及安全规范要求。具备ISO9001质量管理体系认证和省级以上建设行政主管部门核发的检测资质的机构，其检测流程的规范性、报告数据的可靠性更有保障。选用不具备资质的低价检测服务，看似节省了费用，实则埋下了安全与法律的双重风险[5]。

三、典型案例分析

某地一栋建于1998年的七层钢筋混凝土框架结构住宅楼，因业主拟在楼面新增大型生产设备，委托检测机构对该房屋二至七层混凝土楼板进行承载力检测鉴定。检测工作包括：结构布置与构件截面尺寸现场测绘、混凝土抗压强度超声回弹综合法检测、钢筋实际配置与保护层厚度雷达扫描检测，以及楼板承载力验算分析。检测结果显示，部分楼板混凝土实测强度低于设计强度约15%，且局部区域钢筋保护层偏薄，存在一定的耐久性隐患。据此，检测机构向业主提供了分区鉴定结论与处理建议：承载力不满足新增荷载要求的区域需采取加固处理后方可使用，承载力满足要求的区域可正常投入使用但建议定期观测裂缝发展。这一案例充分体现了检测数据在安全性鉴定中的核心地位：没有混凝土强度和配筋检测数据，就无法做出承载力是否满足要求的判断；没有定量化的验算结果，加固建议便缺乏说服力，处理决策也无从谈起。

另一典型案例发生在湖南某小区地下车库。该车库框架梁柱节点区域混凝土表面未见明显异常，但在常规检测中发现部分节点区域钢筋电位异常偏低，进一步开展超声探伤后发现节点区域混凝土内部存在较严重的钢筋锈蚀膨胀现象，锈蚀产物已导致混凝土保护层局部开裂。该隐患如未被发现，在持续荷载和氯离子侵蚀作用下，节点承载力将进一步退化，可能引发脆性破坏。通过及时的结构检测与后续加固处理，成功避免了结构事故的发生。此案例再次印证：结构检测的核心价值不在于验证外观完好的部分，而在于发现肉眼不可见的潜在风险，是将安全隐患消除在萌芽状态的关键技术手段。

结束语：结构检测为房屋安全性鉴定提供关键支撑。材料性能测试、隐蔽缺陷探查、变形测量及承载力验算，为结构评级提供客观依据。精准检测可发现混凝土空洞、钢筋锈蚀等风险，指导加固改造，评估抗震性能与剩余寿命。检测报告服务于房屋交易、抵押贷款等市场行为。机构资质与报告质量至关重要。未来需加强技术标准化与智能化，确保房屋结构安全，保障生命财产。

参考文献

[1] 陈希伟 . 房屋安全检测鉴定对房屋的重要作用 [J]. 城镇建设 ,2020(10):358.

[2] 朱红霞 . 房屋安全性鉴定中结构检测的重要作用 [J]. 建筑工程技术与设计 ,2021(18):2948.

[3] 刘学臣 . 房屋建筑安全管理和房屋安全鉴定的分析 [J]. 建筑工程技术与设计 ,2020(32):2483.

[4] 郭庆 , 王迎港 . 房屋安全性鉴定中结构检测的应用 [J]. 中国建筑装饰装修 ,2025(14):148-150.

[5] 周建河 . 浅谈房屋结构安全性检测鉴定与加固技术 [J]. 中国住宅设施 ,2024(9):67-69.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

气象观测质量管理体系在基层台站运行中的问题与改进策略——基于2026年安庆市汛前交叉内审的实证分析

张友明[1]，周朋[2]，陈子贤[1]
1. 安徽省太湖县气象局，安徽 太湖 246400
2. 安徽省安庆市气象局，安徽 安庆 246400
DOI:10.61369/ETQM.2026090005

摘　　要： 气象观测质量管理体系自2019年全面推行以来，已成为保障我国气象观测业务标准化运行的核心制度安排。然而，在基层台站的实际运行中，体系要求与业务实践之间仍存在不同程度的脱节。本文以2026年安庆市气象局汛前交叉内审为实证基础，通过对桐城、潜山、宿松、太湖、望江、岳西、怀宁七个县（市）级气象台站及市局观测站、雷达站及业务科等单位的现场检查，系统梳理了基层台站在设备运维、体系文件执行、安全管理、库房管理等方面的共性问题，累计发现问题60余项。基于PDCA循环理论，从策划、实施、检查、改进四个维度分析了问题成因，提出了构建”参数核查清单”机制、建立交叉内审常态化制度、推进库房管理量化考核等系统性改进策略。研究表明，基层台站质量管理体系运行的有效性提升，关键在于弥合”制度设计”与”操作落地”之间的”最后一公里”鸿沟。

关 键 词： 气象观测；质量管理体系；内部审核；PDCA循环；基层台站

Problems and Improvement Strategies for the Operation of Meteorological Observation Quality Management System at Grassroots Stations——An Empirical Analysis Based on the Pre-flood Cross Internal Audit in Anqing City, 2026

Zhang Youming[1], Zhou Peng[2], Chen Zixian[1]
1.Taihu Meteorological Bureau, Taihu, Anhui 246400
2. Anqing Meteorological Bureau, Anqing, Anhui 246400

Abstract: Since the full implementation of the Meteorological Observation Quality Management System in 2019, it has become a core institutional arrangement to ensure the standardized operation of meteorological observation services in China. Nevertheless, there are varying degrees of disconnection between system requirements and practical operations at grassroots meteorological stations. Based on the pre-flood cross internal audit conducted by Anqing Meteorological Bureau in 2026, this paper carried out on-site inspections covering seven county-level meteorological stations including Tongcheng, Qianshan, Susong, Taihu, Wangjiang, Yuexi and Huaining, as well as the observation station, radar station and business department of the municipal bureau. It systematically sorted out more than 60 common problems existing in equipment operation and maintenance, implementation of system documents, safety management and warehouse management. From the four dimensions of planning, implementation, inspection and improvement based on the PDCA cycle theory, this paper analyzes the causes of the problems, and puts forward systematic improvement strategies such as establishing a parameter verification list mechanism, normalizing the cross internal audit system and implementing quantitative assessment for warehouse management. The research indicates that the key to improving the operation effectiveness of the quality management system at grassroots stations is to bridge the “last mile” gap between institutional design and practical implementation.

Keywords: meteorological observation; quality management system; internal audit; PDCA cycle; grassroots meteorological stations

作者简介：张友明（1977-），男，汉族，高级工程师，安徽霍邱人，本科，研究方向：大气探测。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

气象观测是气象业务的基石。2019年以来，中国气象局参照 ISO 9001:2015标准全面推行质量管理体系，推动了气象观测业务向标准化、规范化方向发展。然而县级基层台站因人员编制紧张、业务繁重、技术更新频繁等因素，体系要求与业务实践之间常出现脱节。内部审核是体系“检查”环节的核心手段。2026年3月至4月，安庆市气象局创新采用”交叉内审”模式，组织对全市七个县（市）气象局及市局本部相关单位开展汛前综合检查及质量管理体系专项内审。本文基于此次内审的一手实证数据，系统分析基层台站质量管理体系运行中的共性问题，运用 PDCA 循环理论剖析深层原因，并提出针对性改进策略。

一、研究设计与方法

（一）研究背景及对象

安庆市拥有国家基准气候站1个、国家基本气象观测站7个及市观测站、雷达站等单位。2026年3月，安庆市气象局开展汛前综合检查及专项内审，采用”交叉内审”模式——从各县（市）局互派业务骨干担任内审员，以”第三方视角”对各兄弟台站进行独立审核。旨在打破”本站自查难发现自身问题”的困境。

（二）研究方法

1. 文件审查：调阅各台站质量管理体系文件、综合观测日志、天元平台维护记录、防雷检测报告、仪器检定证书等，评估文件完整性与执行一致性。

2. 现场核查：按照《2026年市县气象局汛前检查表》六大模块（文件管理、质量目标与改进、风险管理、基础设施与运行、数据采集、网络安全及装备供应）逐项核查，重点关注操作层面的规范执行情况。

3. 人员访谈：与台站负责人、观测业务人员、设备维护人员进行面对面交流，了解其在日常工作中对体系要求的理解程度、执行困难及改进建议，获取政策文本之外的”现场知识”。

4. 数据验证：通过 ISOS 平台、MDOS 平台、天元平台、天衡等多源数据交叉比对，验证业务运行的合规性与数据质量的实际水平。

（三）数据来源

本研究的数据主要来源于2026年安庆市汛前交叉内审的一手检查记录，包括业务内审问题清单汇总、现场检查照片及整改材料。

二、结果与分析

（一）问题总体分布

本次交叉内审共发现各类问题60余项，按类别分布如表1所示。

问题类别	数量	占比	涉及台站数
设备运维与规范	18	29.5%	5
记录与日志规范	12	19.7%	4
安全管理	10	16.4%	4
体系文件管理	8	13.1%	4
库房管理	7	11.5%	4
应急保障能力	5	8.2%	2
能力建设与指导	2	3.3%	2

表1 问题类别分布统计

从表1可以看出，设备运维类问题占比最高（29.5%），其次是记录规范类（19.7%）和安全管理类（16.4%），三类合计占问题总量的65.6%，是基层台站最为突出的薄弱环节。从涉及台站数来看，设备运维、记录规范、安全管理和体系文件管理四类问题均出现在4个以上台站，表现出明显的普遍性特征。

（二）典型问题分析

1. 设备运维中的”惯性偏差”

现场检查发现，操作人员长期形成不规范习惯且未被察觉。以市局观测站为例，草温传感器安装高度实测为11 cm，而规范要求是6 cm，偏差近一倍；称重雨量传感器防风圈缺失2颗螺丝，而日常巡检记录中均标注”正常”。问题根源是”以老带新”过程中代际传递的操作偏差，而交叉内审引入的”第三方视角”恰好打破了这一认知盲区——外站内审员能够以”第一次走进这个站”的眼光审视每一个操作细节，从而发现本站人员习以为常的偏差。

2. 体系文件执行的”最后一公里”缺口

2025年安徽省气象局完成体系文件全面修订后，各台站的贯标执行情况参差不齐。部分台站虽已完成纸质文件的更新替换，但对应的软件参数配置、标识标牌更换、归档流程调整等”最后一公里”环节未能同步到位。典型案例如桐城局 ISOS 软件中降水现象综合判识参数未按新规修改，直接导致观测数据判识出现系统性偏差；宿松局观测场标牌仍沿用旧站名，岳西局防雷检测报告未按新分类归档。这些问题的本质是”文件修订”与”操作落地”之间的衔接断裂。从台站一线人员的视角来看，他们收到了新文件、替换了旧手册，但缺少一份”文件更新后你需要同步调整什么”的对照清单，使得贯标工作止于纸面。

3. 安全管理的”细节漏洞”叠加

安全类问题多为细节问题：安庆观测站机房仅配置1具 CO_2 灭火器，不满足机房消防冗余配置要求；雨量器未做防雷接地处理；怀宁局风向风速线缆未穿管保护；多个台站观测场线缆裸露敷设等。单独看每项问题的影响似乎有限，但基层台站一线业务人员仅3—5人，在汛期极端天气场景下，任何一处”细节漏洞”都可能成为业务中断的诱因。

4. 库房管理的系统性短板

库房管理问题在全部被审核台站中均有涉及，表现出明显的系统性特征：无温湿度监控装置、备件无防尘措施、无出入库记录、新旧备件混放、备件传感器超出检定有效期。原因是基层台站人员不足，库房管理长期被列为”低优先级事项”，缺乏量化约束指标。究其根源，并非台站人员”不愿管”，而是”没有时间管”且”不知道管到什么程度算合格”。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（三）基于 PDCA 循环的根因分析

PDCA 循环（Plan-Do-Check-Act）是 ISO 9001质量管理体系的核心方法论 [7-8]。运用 PDCA 框架对上述问题进行系统分析，可以发现深层原因：

策划（Plan）层面：质量目标分解存在”上大下小”的问题。市级层面的质量目标设定合理，但未能有效分解为台站层面可量化、可追踪的操作性指标。例如，”数据可用率≥85%”的目标到了台站层面，未进一步转化为”周维护单填写完整率”、”异常数据2小时内处理率”等过程性指标，导致目标停留在纸面而无法指导日常操作。

实施（Do）层面：标准操作的执行力存在”惯性偏差”，尤其是新规范发布后操作参数的同步更新滞后。培训记录显示，2025年开展的12次在岗培训中，与质量管理体系直接相关的仅占25%[9]。培训内容与体系要求的关联度不足，导致”知”与”行”脱节——人员知道体系文件修订了，但不知道自己的操作参数需要同步调整。

检查（Check）层面：自查机制的有效性不足。本站自查往往流于形式，填写记录时”做一套记一套”，缺乏”第三方视角”的有效制衡，反映出检查环节的权威性和约束力有待加强。

改进（Act）层面：纠正措施的系统性不足。整改往往止于”个案处理”层面——哪个问题暴露了就解决哪个，缺乏举一反三的机制。整改措施与问题原因的对应关系不够清晰，存在”治标不治本”的现象：螺丝缺失就补螺丝，而未深究日常巡检为何未能覆盖该部位。

三、改进策略

（一）构建”参数核查清单”机制，弥合”最后一公里”缺口

每次体系文件修订后，由市级业务管理部门梳理需要同步更新的软件参数项、标识标牌、电子文档等，形成标准化清单统一下发；各台站逐项确认并留存记录；将”参数同步更新”纳入体系修订的必备环节和内审必查项目，从制度层面堵住执行末端的缺口。

（二）建立交叉内审常态化制度，引入”第三方视角”

本次实践表明，交叉内审在发现”惯性偏差”类问题方面具有显著优势——”外人”往往能看到”自家人”习以为常的问题。建议将交叉内审从”年度活动”拓展为”汛前+年终全面审核”的常态化制度：汛前由相邻台站之间开展轻型互查，重点聚焦设备运行状态；年终开展一次覆盖全要素的全面交叉内审。建立市级内审员人才库，通过定期培训和资格认证稳定内审力量储备。

（三）推进库房管理量化考核

针对库房管理，建议将”温湿度监控装置安装率”、”备件检定记录完备率”、”出入库台账建账率”、”盘存记录更新率”、”备件分类存放达标率”等指标纳入年度考核体系，以量化手段推动库房管理从”粗放式”向”精细化”转变，制定基层台站库房管理标准化操作指南，降低对人经验的依赖。

（四）建立”内审成果转化”闭环机制

建议建立”问题发现—根因分析—措施制定—效果验证—标准固化”闭环，对每项问题通过完善制度、优化流程、加强培训等手段实现根本改进。将典型问题汇编成案例库，在全市共享，使一个台站的问题成为全体台站的共同警示。

四、结论

本文通过对2026年安庆市七个县（市）气象台站及市局本部相关单位当前业务检查和专项内审过程中60余项问题的系统梳理与深入分析，揭示了基层台站质量管理体系运行中的问题主要集中在设备运维（29.5%）、记录规范（19.7%）和安全管理（16.4%）三个领域。最突出的“惯性偏差”和“最后一公里”缺口，并非人员不作为，而是 PDCA 四环节均存在执行力衰减，特别是“检查”环节缺乏有效的“第三方视角”制衡、“改进”环节缺乏系统性的举一反三机制。

针对上述问题，本文提出的“参数核查清单”机制、交叉内审常态化制度、库房管理量化考核以及“内审成果转化”闭环等改进策略，其共性在于不依赖增加人员编制或大幅增加资源投入，而是通过制度设计和流程优化来提升现有资源效率。

本研究局限性在于仅基于安庆市样本，后续可进一步拓展跨地市、跨省份的比较研究，也可引入量化分析模型对质量管理体系运行有效性进行更精确的测度。

参考文献

[1] 刘锐，李亮，高灿中，等．质量管理体系在市县两级气象部门的应用 [J]. 中国标准化，2023(3)：197-204.

[2] 戎宇亮，张嘉婷，顾浩，等．上海气象综合观测质量管理体系改进初探 [J]. 中国标准化，2021(17)：186-192.

[3] 苏庆红，韦菊，潘田凤，等．浅谈 PDCA 在地面气象观测站数据业务质量管理中的应用 [J]. 长江技术经济，2021，5(7)：196-198.

[4] 潘田凤，苏庆红，韦菊．PDCA 循环在气象观测质量改进中的应用 [J]. 气象研究与应用，2020，41(6)：137-139.

[5] 荣裕良等．上海气象综合观测质量管理体系改进初探 [J]. 中国标准化，2021(17)：186-192.

[6] 王毛翠，等．ISO 9001标准在气象观测领域的应用实践 [J]. 气象科技，2022，50(7)：156-158.

[7] 国务院．气象高质量发展纲要 (2022-2035)[Z]. 2022.

[8] 中国气象局．气象观测质量管理体系质量手册 (2023版)[Z]. 2023.

[9] GB/T 19001—2016/ISO 9001:2015 质量管理体系 要求 [S].

[10] 安徽省气象局．气象观测质量管理体系内部审核工作规范 [Z]. 2024.

[11] 安庆市气象局．安庆市气象局汛前业务内审问题清单汇总（2026年）[Z]. 2026.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

建筑工程安全施工管理要点及优化措施分析

何俊涛
中山市江南建筑工程有限公司，广东 中山 528400
DOI:10.61369/ETQM.2026090006

摘　　要： 建筑工程安全施工管理关系事故防范与人员安全。基于现行法规与技术框架，分析责任制、安全培训、高处防护、大型设备、临时用电及应急等管理要点。针对责任制衰减、培训实效差、防护标准化不足、监管手段落后等问题，提出深化责任精细化、构建分级培训体系、推进防护标准化、加强智慧监管及强化日常应急等措施，提升施工现场安全管理水平。

关 键 词： 建筑工程；安全施工要点；优化措施

Analysis of Key Points and Optimization Measures for Safety Construction Management in Construction Projects

He Juntao
Zhongshan Jiangnan Construction Engineering Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract: Safety construction management in construction projects is related to accident prevention and personnel safety. Based on current regulations and technical frameworks, analyze key management points such as responsibility system, safety training, high-altitude protection, large equipment, temporary electricity use, and emergency response. In response to issues such as the decline of the responsibility system, poor training effectiveness, insufficient standardization of protection, and outdated regulatory measures, measures have been proposed to deepen the refinement of responsibilities, establish a graded training system, promote standardization of protection, strengthen intelligent supervision, and enhance daily emergency response, in order to improve the level of safety management at construction sites.

Keywords: construction engineering; key points for safe construction; optimization measures

引言

建筑工程施工环境复杂、作业风险高，安全生产形势依然严峻。高处坠落、坍塌等事故频发，暴露出安全管理在责任落实、培训实效、现场防护等方面存在不足。尽管现行法规与技术框架日趋完善，智慧工地等信息化手段逐步应用，但实际执行中仍存在层层衰减、标准化程度不高等问题。因此，系统梳理安全施工管理要点，分析现存短板，并提出针对性的优化路径，对提升施工现场事故防控能力、保障作业人员生命安全具有重要的现实意义。

一、相关工作

相关工作中，国内学者围绕建筑施工安全管理做了许多细致探讨。制度层面，《建设工程安全生产管理条例》与《建筑施工安全检查标准》共同搭建起我国建筑施工安全的基本法规与技术框架。已有研究指出，安全管理制度能否有效执行直接关系事故遏制效果，健全安全生产责任制则是做好安全管理的前提。技术层面，智慧工地融合物联网、移动互联网、建筑信息模型等信息手段，实现对现场人员、材料、机械的实时监控与动态预警。采用视频监控、塔吊防碰撞等信息化系统的项目，其隐患发现及时率和整改闭合率明显优于传统模式。管理实践层面，安全管理的重点集中在责任分解落实、危险源辨识控制、防护设施标准化、大型设备全过程管理及应急救援体系建设等方面。现有成果为后续工作提供了扎实基础，但在责任落实精细化、培训实效评估、现场防护标准化等方面仍有待系统深化[1]。

二、建筑工程安全施工管理要点

（一）安全生产责任制的建立与落实

安全生产责任制度在施工企业安全管理中处于根本位置。项目经理作为现场安全的第一责任人，需掌握必要的安全知识与管理能力，并牵头建立从上至下的安全管理组织。各岗位责任要明

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

确贯通，形成全员覆盖的责任网络。总包单位应与分包单位签订安全管理协议，划清彼此的安全边界与考核要求。各施工班组同步签署责任书，把安全指标分解到每道工序与每个岗位。定期检查责任落实状况，建立追究机制，对失职行为依法依规处理。

（二）安全教育培训

安全教育培训是从业人员提升安全意识与操作技能的关键途径。新进场工人需完成公司、项目、班组三级教育，考核合格方可上岗。特种作业人员必须持有效操作证，并定期复训。培训应注重实效，多采用案例分析与实操演练等方式。

（三）高处作业防护

建筑施工事故中，高空坠落比例最高，达到48.13%，是现场主要危险源。楼梯口、通道口、预留洞口、阳台口、基坑边缘等部位需安装不低于1.2米的防护栏或安全立网，必要时加盖硬质盖板。超过2米的脚手架要设置挡脚板和安全平网，作业层满铺脚手板。高处作业人员需正确佩戴安全带并定期检查完好性，发现破损立即更换。施工升降机进出口需设置不低于1.8米的防护门，并安装联锁装置，防止人员坠落[2]。

（四）大型机械设备管理

塔吊、施工升降机、桩机等大型机械设备属于施工现场的重大危险源头，一旦出事容易导致严重伤亡。设备进场前需严格验收，核对产品合格证、制造许可证和安装资质，不合格设备不得使用。塔吊的安装拆卸须由具备资质的专业队伍承担，编制专项方案并经企业技术负责人和总监审批。使用中需定期检验力矩限制器、高度限位器、幅度限位器、回转限制器等安全装置。施工升降机要安装安全钩和防坠器，每月做一次坠落试验。桩机作业时检查钢丝绳磨损、断丝及锈蚀情况。所有大型设备需建立运行维修台账，记录日常检查与保养。

（五）临时用电安全

施工现场临时用电须严格按照《施工现场临时用电安全技术规范》（JGJ46-2005）的要求执行。项目须编制临时用电专项方案，经审批后实施。配电系统须采用 TN-S 系统（保护接零系统），实行“三级配电两级保护”，即总配电箱、分配电箱、开关箱三级配电，以及总漏电保护和开关箱末级漏电保护两级保护。

配电箱和开关箱须设置隔离开关和漏电保护装置，漏电保护器的额定漏电动作电流须与用电设备相匹配（手持电动工具不大于30mA，施工电梯等潮湿环境不大于15mA，动作时间均不大于0.1s）。电工须持证上岗，每日对配电系统进行巡检并填写巡检记录。严禁出现私拉乱接、一闸多机、使用铜丝代替保险丝等违规行为。

（六）应急救援与消防管理

施工单位须根据工程特点和周边环境，编制高处坠落、坍塌、触电、火灾、机械伤害等专项应急预案，明确应急组织机构、响应程序、救援措施和善后处置等内容。各项目须建立义务消防队伍，配备与工程规模和危险程度相匹配的消防器材和应急物资，包括但不限于灭火器、消防沙、消防水带等，并指定专人管理，定期检验有效期和功能状态。

施工现场须设置应急疏散通道并保持畅通，夜间配备应急照明和警示灯，危险区域设置明显警示标识。施工单位须定期组织应急演练，演练内容应涵盖火灾扑救、人员疏散、伤员急救等科目，确保一旦发生事故能够快速响应、有效处置，最大限度降低人员伤亡和财产损失[3]。

三、建筑施工安全事故类型分析

根据住建部发布的历年房屋市政工程生产安全事故统计数据，建筑施工主要事故类型中，高处坠落占比最高，达到48.13%，多发生在脚手架、楼层临边和预留洞口；物体打击占比约12%，常见于交叉作业区和材料堆放区；坍塌事故占比约10%，主要发生在深基坑、模板支撑和脚手架部位；机械伤害占比约8%，涉及塔吊、桩机、钢筋加工机械；车辆伤害占比约6%，出现在场内运输车辆通道；触电事故占比约5%，集中于临时用电线路和配电箱区域；其余类型事故合计占比约10.87%，包括火灾、中毒、起重伤害等。

四、当前存在的主要问题

（一）责任制落实存在层层衰减现象

部分施工企业虽然建立了安全生产责任制度，但在执行层面存在明显不足。安全检查和隐患排查记录显示，一些项目存在有章不循、有规不守的问题，安全责任书签订流于形式，部分班组长和作业人员对自身安全责任认识不清，总认为安全管理是安全员的事，与自己无关。部分分包单位安全管理能力薄弱，安全投入不足，安全管理人员配备不达标，总包单位对其日常监管难度较大，存在“以包代管”现象。

此外，部分项目的安全责任考核机制不健全，安全绩效与薪酬待遇挂钩不紧密，对违章指挥、违章作业的处罚力度不够，对安全责任落实好的单位和个人的正向激励不足，难以调动全员参与安全管理的积极性。

（二）安全培训实效性有待提高

部分企业的安全培训存在走过场现象，培训内容与现场实际脱节，培训形式单一，以集中授课和观看视频为主，缺乏互动和实操环节。新进场工人虽然完成了三级安全教育并签署了培训记录，但部分人员对安全操作规程的实际掌握程度参差不齐，安全意识淡薄的问题仍然突出。特种作业人员的复训有时也存在时间缩水、内容简化的现象[4]。

更为关键的是，安全培训效果缺乏系统性的评估机制，培训结束后缺乏跟踪验证，培训的长期效果难以持续，部分工人随着工作时间的延长，安全意识出现松懈和退化。

（三）现场防护标准化程度不够

四口（楼梯口、通道口、预留洞口、阳台口）和五临边（基坑边缘、楼层边缘、屋面边缘、卸料平台边缘、楼梯边缘）的防护措施不到位，是现场安全检查中发现的常见问题。部分安全网搭设不规范，网眼过大或张挂不紧；防护栏杆搭设高度不足或横杆间距过大；预留洞口盖板固定不牢靠，存在挪移风险。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

安全防护设施的日常维护和定期检查不够及时，破损的安全网、变形的防护栏杆等隐患未能及时发现和修复。部分项目部对安全文明施工措施费的使用不够规范，存在截留或挪用现象，导致安全防护设施的配置数量和质量不达标。

（四）安全监管手段相对落后

部分项目部专职安全管理人员配置不足，安全监管力量薄弱。按照相关规定，施工现场须按规定配备专职安全管理人员，但实践中部分项目存在安全员配置数量不达标或安全员专业素质不高的问题。日常安全巡查频次偏低，隐患排查覆盖面有限，部分隐蔽性较强的安全隐患未能及时发现。

安全监管手段仍以人工巡检为主，信息化监管手段应用不足，隐患排查和整改信息主要依赖纸质记录，传递效率低、追溯性差。智慧工地建设虽有一定推进，但在中小型项目中推广应用程度仍然有限。

五、优化措施

（一）深化安全生产责任制的精细化执行

施工企业需要完善安全责任清单与权力清单，清晰界定企业负责人、项目经理、职能部门及施工班组的职责范围，做到权责分明。把安全责任指标细化为可量化、可考核的具体任务，并与时间节点挂钩。健全安全绩效考核机制，将考核结果与薪酬、晋升直接关联并公开通报。对责任落实不到位者严肃追责，同时对长期安全无事故的单位与个人给予表彰奖励，形成正向激励氛围[5]。

（二）构建分级分类的安全培训体系

根据不同岗位、工种和作业环境，制定差异化的安全培训方案。对管理人员侧重于安全管理法律法规、安全风险辨识与评估、安全监管技能等内容；对一线作业人员侧重于岗位安全操作规程、个体防护用品正确使用、事故应急处置等内容。

培训方式上，鼓励采用案例分析、现场实操演练、班前安全技术交底等互动式培训方式，提高培训的针对性和实效性。对特种作业人员须严格实行持证上岗和定期复训制度，复训内容应包含新颁布的安全法规、新材料和新技术带来的新风险等。建立培训效果评估机制，通过理论考核和现场行为观察相结合的方式验证培训成效，并将评估结果纳入员工安全档案。

（三）推进安全防护措施标准化建设

制定和完善施工现场安全防护标准图集，对四口五临边的防护做法、防护设施的材料规格和搭设要求作出统一规定，形成可操作、可复制的标准化做法，便于各项目统一执行和监理单位检查验收。

加强防护设施的验收管理，搭设完成后须经专职安全员对照标准图集逐项验收，验收合格签字后方可投入使用。建立防护设施日常检查和维修制度，规定每日检查频次和检查内容，发现破损须立即报告并组织修复或更换。保障安全文明施工措施费的足额投入，专款专用，确保现场安全防护设施的配置数量和质量满足规范要求。

（四）加强信息化智慧监管能力建设

智慧工地建设可以借助视频监控、塔吊防碰撞、升降机运行监控以及卸料平台超载报警等技术手段，实时监测施工现场的重点部位与关键工序，出现异常时及时预警。有条件的项目还可利用 BIM 技术开展施工全过程安全风险分析，在三维模型中提前识别风险点并制定防范措施。同时，建立隐患排查治理信息系统，实现从发现隐患到整改验收的全流程信息化闭环管理，提升整改效率与可追溯性。

（五）强化日常安全监管与应急保障体系

各管理层级需明确安全监管频次，落实日巡查、周检查和月度综合检查三级制度。针对深基坑开挖、高支模施工、塔吊装拆等危险性较大的分部分项工程，施工方要安排专人全程旁站监督。建立隐患排查治理信息平台，形成发现、整改到验收的闭环流程，做到一处隐患对应一次销号。加大安全投入，将安全文明施工措施费足额列入工程概算并专款专用，确保现场防护设施、个人防护用品、消防器材和应急物资到位。完善应急管理体系，定期组织演练，加强项目与属地消防、医疗机构的联动，提升应急救援协同效率。

结束语：建筑工程安全施工管理是系统性工程，涉及责任体系、教育培训、现场防护、设备管理等多个环节。通过深化安全生产责任制精细化执行、构建分级分类培训体系、推进防护标准化建设、加强信息化智慧监管能力及强化日常监管与应急保障，能够有效弥补当前管理短板。落实上述措施，有助于减少高处坠落、物体打击等常见事故，提升施工现场整体安全水平，真正实现从被动应对向主动防控的转变，为建筑行业高质量发展提供坚实的安全保障。

参考文献

[1] 姚轶钏 . 建筑工程施工安全管理策略研究 [C]//2026 工程技术与材料应用经验交流会论文集 . 2026:1-3.

[2] 屈立 . 建筑工程施工安全管理现状与对策 [J]. 模型世界 ,2026(2):153-155.

[3] 徐发强 . 建筑工程施工安全管理的重要性与实践 [C]//2024 智慧施工与规划设计学术交流会论文集 . 2024:1-4.

[4] 王闯 . 建筑工程施工安全管理问题与改进策略探讨 [C]// 工程建设技术发展交流会——从数字化到智慧化论文集 . 2025:1-3.

[5] 王珏玉 . 建筑工程施工安全管理策略探讨 [J]. 建筑与装饰 ,2025(12):75-77.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

建筑工程管理质量控制要素研究——关键因素及优化措施探讨

洪东昕
珠海城帆建设有限公司，广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ETQM.2026090007

摘　　要： 建筑工程质量受人员、材料、机械、方法、环境五大要素影响。目前培训流于形式、检验缩水导致追溯难、设备重使用轻维保、方案与现场脱节、环境被动应对。优化措施包括：构建分层技能认证与持续教育体系，推行材料全流程信息化管控，实施设备精度管理与预知性维护，以可执行为导向推进工法标准化，建立分级预警与主动防控机制。系统管控五大要素，可有效破解质量顽疾。

关 键 词： 建筑工程；质量控制要素；4M1E；关键因素

Research on Quality Control Elements of Construction Project Management: Key Factors and Optimization Measures Exploration

Hong Dongxin
Zhuhai Chengfan Construction Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract: The quality of construction projects is influenced by five major factors: personnel, materials, machinery, methods, and environment. At present, training is merely a formality, inspection shrinkage leads to difficulty in tracing, equipment is heavily used with less emphasis on maintenance, the plan is disconnected from the site, and the environment is passively responded to. Optimization measures include: establishing a hierarchical skills certification and continuing education system, promoting information technology control throughout the entire material process, implementing equipment accuracy management and predictive maintenance, promoting standardized construction methods with executable guidance, and establishing a graded warning and proactive prevention and control mechanism. The five elements of system control can effectively solve quality problems.

Keywords: construction engineering; quality control elements; 4M1E; key factor

引言

建筑工程质量受人员、材料、机械、方法、环境（4M1E）五大要素影响。当前存在人员培训流于形式、材料检验折扣、机械重使用轻维保、施工方案脱节、环境风险被动应对等问题，导致质量波动大、通病频发。基于要素分析，可从人员技能认证、材料全流程追溯、设备预知性维护、工法标准化、环境分级预警入手，推动质量控制从粗放式向精细化转变。

一、质量控制五大要素的关键问题

（一）人员要素：资质有形无实，培训流于形式

人是4M1E中唯一具有主观能动性的要素，也是质量控制的根本主体。从资质管理看，建筑行业实行经营资质管理和从业人员持证上岗制度，制度框架是有的，但执行效果参差不齐——项目经理“挂证”现象虽经多年整治有所收敛，但技术负责人和安全员等关键岗位人员到岗率不足的问题仍然存在，人证不符的情况在中小型项目中尤为突出。从培训看，安全教育和质量培训在很多项目中就是签个到、拍个照、存个档，真正有效的培训和考核少之又少。2024年从业人员5962万人、同比减少12.26%，但劳动生产率提高15.15%——人少了、人均产出高了，说明行业正在加速机械化替代，但一线工人的技能结构并没有同步升级，老龄工人干不动新技术、年轻工人缺乏传统手艺，两头都不够用。质量意识的缺失更是深层问题——很多工人认为“差不多就行”“以前也是这么干的”，缺乏对规范标准的敬畏。

（二）材料要素：进场检验打折扣，追溯链条断裂

材料是工程质量的物质基础，占工程造价的60%—70%。材料质量不合格，工程质量不可能合格——这是常识，但常识常常被突破。从监督抽检数据看，某市2024年三季度砂料抽检合格

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

率94.2%，意味着将近6%的砂料不合格却进了工地；水泥合格率93.3%，同样存在不合格品流入施工现场的情况。问题出在几个环节：一是进场检验缩水，按规定砂料应以同一产地、同一规格分批验收，每批不超过400立方米或600吨，但实际操作中赶工期时常常加大批量减少检验频次；二是见证取样走形式，监理人员不在场的情况下施工方自行取样送检，样品的代表性无法保证；三是检测报告与实际使用脱节，检测还在进行材料已经开始使用，等检测结果显示不合格时已经浇筑到结构里了。

更深层的问题是追溯链条的断裂——住建部令第57号《建设工程质量检测管理办法》自2023年3月1日起施行，要求非建设单位委托的检测机构出具的检测报告不得作为工程质量验收资料，并推行样品二维码或芯片唯一性标识管理。但2024年多地“双随机、一公开”抽查结果显示，部分检测机构仍存在样品标识管理不规范、检测数据未及时上传监管平台、不合格检测报告未及时上报等问题。检测报告是材料质量追溯的关键凭证，凭证出了问题，追溯就无从谈起。

（三）机械要素：重使用轻维保，配置凭经验

施工设备与检测仪器的状态直接影响工程质量。施工机具的稳定性和作业精度决定每一道工序的完成效果，检测设备的准确性与可靠性则为质量判定提供依据。以施工机具为例，混凝土振捣器的振动频率和振幅、钢筋弯曲机的弯心直径、抹灰机的平整度控制能力，这些技术参数一旦偏离标准要求，对应的工序就会产生质量缺陷。然而，许多项目的设备管理停留在“能够运转就行”的层次。振捣器频率下降后仍然继续使用，弯心直径出现磨损也不更新替换，设备精度长期无人校验。这种管理方式埋下大量质量隐患[1]。

检测设备的状况同样不容乐观。有关抽查通报指出，部分检测机构的设备检定与校准证书已经过期，却没有停止使用；设备所处的环境条件不符合规范要求；维护保养制度存在明显漏洞。检测设备不准，检测结果自然不可靠，质量控制就失去判断基准。此外，设备选型常常依赖管理人员的主观经验，缺少基于工程特点的定量分析。有些项目为了节约成本而选用性能偏低的设备，有些项目则盲目追求高配置，造成资源浪费。设备进场之后，使用人员往往只关注操作，忽视日常清洁、润滑和紧固等保养工作。遇到故障时，项目方通常采取事后维修的方式，而非提前排查和预防。这种“重使用、轻维保”的做法加剧了设备老化，缩短了使用寿命，也提高了突发故障导致停工的风险。要实现质量的精细化管理，项目方需要建立设备全寿命周期的管理制度，从选型、进场、使用、保养到报废形成闭环，逐步从被动维修转向预知性维护。

（四）方法要素：方案“两张皮”，工法更新慢

方法要素涵盖施工方案、工艺流程、操作规程和质量控制措施，是连接设计意图和工程实体的技术路径。这个要素的问题集中在两个层面：一是施工方案与现场执行“两张皮”——方案编制照搬通用模板，缺乏针对具体项目条件的细化，方案审批走流程但内容与实际脱节；到了现场，方案就变成了“应付检查的文件”，实际施工按经验操作，工艺参数、工序顺序和质量控制点与方案规定不符。特别是危大工程的专项施工方案，住建部2024年发布的重大事故隐患判定标准已将“未按专项方案施工”列为重大隐患，但这个问题的根源是方案本身的可执行性差，不结合现场实际的方案写了也白写[2]。

二是工法更新缓慢，新技术新工艺推广不足。BIM技术在设计阶段的应用已有一定普及，但在施工阶段做4D进度模拟、5D成本管控的深度应用还很少；装配式建筑虽然在政策推动下有所增长，但占新建建筑面积的比例仍然偏低；铝模体系比木模板成型质量好、周转次数多，但前期投入高导致推广受阻。2024年房屋建筑施工面积136.83亿平方米、竣工面积34.37亿平方米，同比下降10.62%和12.63%，施工量在减少但体量仍然巨大，传统工法的效率瓶颈和质量波动问题在缩减的市场中更加突出。

（五）环境要素：被动应对多，主动防控少

环境要素包括技术环境（地质、水文、气象）、作业环境（施工面大小、防护设施、通风照明）、管理环境（合同关系、组织体制、管理制度）和周边环境（地下管线、邻近建筑）四个维度。当前最突出的问题是“被动应对多、主动防控少”——极端天气来了才停工，居民投诉了才整改，管线挖断了才停下手来处理，没有一个系统性的环境风险识别和预警机制。以气候环境影响为例，高温天气混凝土坍落度损失加快、初凝时间缩短，如果浇筑方案不做针对性调整，容易出现冷缝；寒潮期间混凝土内外温差过大，若保温养护措施不到位，裂缝几乎不可避免。这些问题在施工组织设计中本应有预案，但很多项目的气候应对措施就是一句话“遇恶劣天气停工”，至于什么算恶劣、停工后怎么恢复、停工期间半成品怎么保护，都没写。

二、基于要素分析的优化措施

（一）人员要素：构建分层技能认证与持续教育体系

人员管理的核心是用制度把“差不多”变成“必须达标”。第一，落实关键岗位人员到岗核查制度，项目经理、技术负责人、质量员、安全员等关键岗位实行人脸识别考勤，与项目监管平台联网，到岗率不达标的纳入企业信用评价。第二，建立分层技能认证体系——管理层侧重项目管理和技术决策能力认证，操作层侧重工种技能等级认证（初级、中级、高级），不同等级对应不同的作业范围和薪酬标准，用薪酬杠杆引导工人主动提升技能。第三，培训必须考核、考核必须挂钩——培训后进行实操考核，考核结果与岗位任职和绩效工资挂钩，杜绝“签个到就算培训”的形式主义。第四，针对行业老龄化问题，鼓励企业与职业院校合作开展“订单式”培养，提前储备年轻技术工人[3]。

（二）材料要素：推行全流程信息化管控

材料管控的信息化要覆盖从采购到使用的全流程。采购环节，在合格供应商名录基础上建立供应商动态评价机制，将材料质量合格率、交货及时性和售后服务纳入评价指标，连续两个批次不合格的供应商自动清出名录。进场检验环节，严格执行见证取样和送检制度，取样过程录像存档，检测报告未出具之前该批次材料冻结使用。储存环节，按材料特性分类存放、标识清晰，

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

水泥入库防潮、钢筋离地垫高覆盖、外加剂标注有效期先进先出。使用环节，实行限额领料制度，班组按定额领用、节约有奖超耗受罚。追溯环节，落实住建部令第57号要求，推行材料样品二维码或芯片唯一性标识，实现从进场到使用的全过程可追溯——哪个批次的材料用在了哪个部位，一键可查。

（三）机械要素：实施设备精度管理与预知性维护

施工机具的精度管理和检测设备的计量管理必须同等重视。施工机具方面，对影响工序质量的关键设备——振捣器、钢筋加工设备、测量仪器等——建立精度校验台账，每季度校验一次，精度不达标的设备维修或更换后才允许使用。大型设备安装物联网传感器，实时采集运行参数，建立设备健康管理档案，从“坏了再修”转向“预知性维护”，在设备性能下降但尚未故障时就安排保养。检测设备方面，严格执行检定和校准制度，检定证书到期前一个月自动提醒，超期未检的设备系统自动锁定、禁止使用；检定和校准结果录入信息化系统，与检测报告关联，确保每份检测报告背后的设备状态可查可证。

（四）方法要素：以可执行为导向推进工法标准化

施工方案的编制必须以“可执行”为第一原则。方案编制前由技术负责人带队勘察现场，充分了解地质条件、周边环境、施工限制等实际情况，方案中的工艺参数、工序顺序和质量控制点必须针对项目特点细化，不能留“按规范执行”这种万能条款。方案审批实行分级审批制，危大工程的专项方案必须组织专家论证。方案执行的关键控制点纳入质量验收流程——每道关键工序完成后由技术负责人和监理验收签认，验收时对照方案的控制要点逐项核查，方案执行情况与验收深度绑定[4]。

工法升级方面，三个方向值得重点推进：一是 BIM 技术的施工阶段深度应用——4D 进度模拟优化工序衔接、5D 成本管控实现动态算量、竣工模型数字化交付为运维提供数据支撑；二是装配式建筑从政策驱动转向市场驱动，重点解决连接节点质量和现场灌浆作业的可控性问题；三是铝模体系在住宅项目中推广，虽然前期投入高于木模板，但300次以上的周转次数和稳定的混凝土成型质量使其全生命周期成本远低于木模板。

（五）环境要素：建立分级预警与主动防控机制

环境风险的防控要从“事后应对”转向“事前预警”。技术环境方面，在施工组织设计中编制气候风险专项预案——明确高温、寒潮、暴雨、大风等不同等级预警下的施工调整措施和停工标准，高温天气调整浇筑时间避开午间高温、寒潮期间落实保温养护措施、暴雨前后排查基坑和脚手架。管理环境方面，开工前完成合同风险评审和周边环境影响评估，主动与周边社区沟通施工计划和可能的影响，建立投诉快速响应机制。周边环境方面，施工前必须调取城市地下管线综合资料并现场核实，无法确定的位置采用人工探挖确认，严禁盲目机械开挖。将环境风险按严重程度和发生概率分为红、橙、黄三级，红色风险（如深基坑、临近地铁）每日巡查并实时监测数据上传，橙色风险（如临近管线、高层临边）每周巡查，黄色风险（如常规气象影响）按预警响应。分级管理把有限的精力用在最需要关注的地方[5]。

结束语：建筑工程质量控制须回归要素本源。人员、材料、机械、方法、环境五大要素缺一不可。资质不实、检验缩水、维保缺位、方案脱节、被动应对，任一失控危及整体质量。优化措施围绕人机料法环发力：技能认证与信息化追溯夯实人员与材料根基，预知性维护与可执行工法补强机械与方法短板，分级预警提升环境防控能力。唯有将要素管控落到实处，形成常态化闭环管理，工程质量才能实现从被动整改到主动预防的转变。

参考文献

[1] 闫书铭 . 建筑工程管理质量控制要素研究 [J]. 智能建筑与工程机械 ,2024,6(5):60-62.

[2] 黄国玮 . 建筑工程管理质量控制要素研究 [J]. 工程技术创新与发展 ,2026,4(2).

[3] 范杰 . 建筑工程管理质量控制要素研究 [J]. 现代交通与路桥建设 ,2025,4(23).

[4] 吕海涛 . 建筑工程管理的质量控制要素研究 [J]. 建筑工程技术与设计 ,2021(16):1478.

[5] 马楠 . 建筑工程管理中质量控制的关键要素 [J]. 建筑设计与研究 ,2025,6(5).

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

建筑工程管理中的质量控制核心要素及系统性影响探讨

林焕钦
广东申菱环境系统股份有限公司，广东 佛山 528000
DOI:10.61369/ETQM.2026090008

摘　　要： 质量控制是建筑工程管理核心，关系结构安全与投资效益。2024年全国建筑业总产值32.65万亿元，但施工与竣工面积分别下降10.62%和12.63%，行业转向品质提升。从人员、材料、工艺、管理和环境五个维度识别控制要素，分析关联机制与影响路径，结合金华、南通、汕尾等地监督抽检数据，揭示质量缺陷规律，提出全过程管控与系统优化策略，为质量管理提供参考。

关 键 词： 建筑工程；质量控制；核心要素

Discussion on the Core Elements and Systematic Impact of Quality Control in Construction Project Management

Lin Huanqin
Guangdong Shenling Environmental Systems Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract: Quality control is the core of construction project management, which is related to structural safety and investment efficiency. In 2024, the total output value of the national construction industry will be 32.65 trillion yuan, but the construction and completion areas will decrease by 10.62% and 12.63% respectively, and the industry will shift towards improving quality. Identify control elements from five dimensions: personnel, materials, processes, management, and environment, analyze the correlation mechanism and impact path, and combine supervision and sampling data from Jinhua, Nantong, Shanwei, and other places to reveal the laws of quality defects, propose full process control and system optimization strategies, and provide reference for quality management.

Keywords: construction engineering; quality control; core elements

引言

22024年建筑业总产值32.7万亿元，但新签合同额下降5.29%，施工面积下降10.62%，行业从规模扩张转向品质提升。工程质量方面，主体结构安全基本可控，但功能性材料质量波动较大。南通市抽检显示，混凝土强度合格率96.3%，钢筋保护层96.6%，而防水材料仅66.7%、保温材料仅50%；汕尾市挤塑板和砌块合格率均为50%。金华市全年发现质量隐患6.4万余项。渗漏、开裂等质量通病仍普遍存在。

一、质量控制核心要素识别

（一）人员要素

人员是质量控制的主体，也是质量缺陷的首要来源。施工操作人员的技能水平直接决定工序质量——钢筋绑扎间距偏差、混凝土振捣不密实、砌筑灰缝不饱满等常见缺陷，本质上是操作不规范的问题。管理人员的质量意识和专业能力同样关键，项目技术负责人对规范条文的理解偏差、质检员对隐蔽工程验收的把关不严，都会导致质量问题被放行甚至被掩盖。当前建筑业一线工人流动性大、技能培训不足的问题仍然突出，部分项目劳务分包层层转包，操作人员未经岗前培训即上岗作业，是质量波动的重要根源。某市2024年专项检查发现，在被抽查的13个项目中，涉及建筑、结构、电气等多个专业共25个违反强制性条文的问题，其中结构专业计算模型中混凝土强度等级与施工图不一致等问题尤为典型，反映出设计人员和审查机构的专业把控也存在薄弱环节。

（二）材料要素

材料是工程质量的物质基础，材料不合格则工程质量无从谈起。从前述抽检数据看，钢筋原材、水泥、混凝土构件等主体结构材料合格率较高（南通二季度钢筋原材、水泥、粉煤灰抽检全

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

部合格），但功能性材料质量参差不齐——防水卷材、保温板、加气混凝土砌块等合格率普遍偏低。挤塑板合格率仅50%意味着每两批就有一批不达标，这些材料直接用于建筑外墙保温，不合格品投入使用将导致节能指标达不到设计要求，增加运营期能耗。材料质量控制的关键在于进场验收和复检两个环节，实际施工中“先用后检”或“以送检代替批量检验”的现象并不鲜见，特别是工期紧张时，材料未经检验即投入使用的情况时有发生。南通市2024年二季度14家检测机构共签发检测报告49306份，其中不合格报告673份，不合格率1.4%，虽然总体不高，但合格率偏低的材料集中在防水、保温等功能性材料上，这些材料的缺陷在竣工验收时往往不易发现，而在使用期逐步暴露。

（三）工艺要素

施工工艺是将设计意图转化为工程实体的过程，工艺是否合理、执行是否到位直接决定工程品质。混凝土浇筑时的分层厚度和振捣方式、钢筋连接的接头位置和错开比例、防水卷材的搭接宽度和收头处理等，均有明确的规范要求，但现场施工中为了抢工期而简化工艺步骤的情况屡见不鲜。例如，大体积混凝土未按规范设置测温点和养护制度导致温度裂缝；后浇带未按设计要求保留足够时间即提前封闭引起结构隐患；外墙保温板粘贴面积不足造成空鼓脱落。工艺质量问题的本质是“知行脱节”——规范要求明确，但执行打折扣。

造成工艺执行偏差的原因较为复杂。一方面，一线作业人员多为劳务工人，流动性大，技术交底流于形式，不少人只凭经验干活，并不清楚规范的具体要求。另一方面，现场管理人员对工艺细节把关不严，巡查频次不足或发现问题后未要求彻底整改，久而久之形成“差不多就行”的隐性规则。工期压力也是重要诱因，当施工计划滞后时，压缩工艺步骤成为最直接的赶工手段，例如缩短混凝土振捣时间、减少防水附加层、取消必要的养护等。这些看似微小的省略，往往留下渗漏、开裂等长期质量隐患，且维修难度大、成本高。工艺标准化的推行，如制作工艺样板间、实行可视化交底、采用辅助工具控制工序尺寸等，可有效缩小规范要求与实际操作之间的差距，从根本上提升工艺执行质量[1]。

（四）管理要素

管理是连接人员、材料和工艺的纽带，是质量控制的中枢。当前建筑工程质量管理存在三个突出问题：一是监理履职不到位，部分监理人员专业能力不足或受制于建设单位，对质量违规行为的制止力度不够；二是质量验收流于形式，隐蔽工程验收“先覆盖后验收”、检验批验收“批量签字”的现象较为普遍；三是信息化手段应用不足，质量记录仍以纸质为主，数据难以追溯和分析。金华市2024年推行举牌验收制度，要求关键工序施工前后拍照留痕，正是针对验收走过场问题采取的制度性措施。

（五）环境要素

施工环境对质量的影响常被低估。高温季节混凝土坍落度损失快，若运输和浇筑间隔时间过长将影响和易性和密实度；低温季节混凝土养护温度不足导致早期强度上不来，严重时产生冻害；雨季施工对土方回填含水量和防水层粘结质量影响显著。环境要素的管控难点在于其不确定性——极端天气难以精确预判，但应对措施必须提前到位。施工现场应根据季节特点编制专项质量保障方案，如夏季混凝土浇筑选择早晚低温时段并加缓凝剂，冬季采用蓄热法或电热毯养护，雨季对露天堆放材料进行覆盖防护、对已完成的防水层及时保护。忽视环境因素往往导致质量缺陷在后期集中爆发[2]。

二、核心要素间的关联机制与系统性影响

（一）要素间的链式传导效应

质量控制五要素并非孤立发挥作用，而是相互关联、层层传导。一条典型的传导路径是：人员技能不足→工艺执行偏差→实体质量缺陷。以卫生间渗漏为例：防水工对阴阳角附加层施工要点不掌握（人员要素）→阴阳角未做圆弧处理、附加层粘贴不密实（工艺要素）→蓄水试验发现渗漏（实体缺陷）。另一条路径是：管理松懈→材料失控→质量隐患。例如，质检员对进场防水卷材未严格核验合格证和复试报告（管理要素）→不合格卷材混入现场（材料要素）→防水层耐久性不足，使用一两年后出现开裂渗漏（使用期缺陷）。

（二）系统性影响的表现形式

单个要素的质量缺陷通过链式传导和耦合放大，产生远超单一工序范围的系统性影响。结构安全层面，混凝土强度不足和钢筋保护层偏薄的叠加效应会显著降低构件承载力，南通抽检发现4个构件混凝土回弹推定值不满足设计要求、1个构件钢筋保护层厚度不满足要求，虽然比例不高，但若这些构件恰好位于关键受力部位，后果将十分严重。使用功能层面，外墙保温和防水材料的批次不合格率偏高，导致建筑节能性能和防水性能系统性下降——这不是某个房间的个别问题，而是整栋建筑的功能短板。社会信任层面，质量投诉和维权纠纷消耗大量行政和司法资源，据不完全统计，各地住建部门受理的房屋质量投诉中，渗漏和开裂问题占比超过60%，金华市2024年出台住宅工程质量常见问题防治导则，正是为了从制度层面减少渗漏、开裂等群众反映强烈的质量通病[3]。

（三）全寿命周期视角的系统性评估

质量控制的核心要素不仅影响施工期质量，更对建筑全寿命周期的性能和成本产生深远影响。施工期的材料缺陷和工艺偏差在竣工时可能尚未显现，但在使用期逐步暴露：保温材料不合格导致节能衰减，每年多出的供暖制冷费用持续累积；防水层施工不规范导致渗漏反复维修，单次维修费用虽不高但频次叠加后远超一次性合格施工的增量成本；混凝土耐久性不足引起碳化和钢筋锈蚀，缩短结构设计使用年限。因此，质量控制不能仅以竣工验收为终点，而应从全寿命周期视角评估各核心要素对工程长期性能的系统性影响，将质量投入视为降低全寿命周期成本的预防性投资。

三、基于系统优化的质量提升策略

（一）强化人员培训与考核

建立分级分类的技能培训体系，对特种作业人员实行持证上

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

岗和年度复审，对普通工序操作人员实施岗前实操考核。具体而言，电工、焊工、起重工等特种工种必须持有有效证件方可上岗，每年进行实操复核，不合格者暂停作业资格。普通工种如钢筋工、木工、混凝土工等，在首次进场时须通过关键工序的模拟操作考核，例如绑扎梁柱节点箍筋或支设模板对拉螺栓，考核合格后方可进入作业面。推行质量责任追溯制，将关键工序的操作人员信息与质量记录绑定，可借助二维码或电子档案录入每道工序的班组负责人及操作人姓名，做到质量问题可追溯到人，倒逼作业人员严肃对待每个施工步骤。

同时提升管理人员的专业能力，定期组织规范标准学习和质量案例分析，尤其加强新发布标准的宣贯培训。可以每月举办一次质量大讲堂，选取近期行业内发生的典型质量事故进行复盘，剖析工艺执行偏差与管理疏漏之间的关联。组织项目经理、技术负责人到优质工程现场观摩学习，对照自身项目查找不足。2024年制造业产品质量合格率已达到93.93%，建筑业应参照工业领域的质量管理成熟度，建立行业质量人员胜任力模型和认证体系，例如设置助理质量工程师、质量工程师、高级质量工程师等层级，通过理论考试与现场实践评估相结合的方式认定资格，从而系统性提升质量队伍的整体水平[4]。

（二）完善材料全过程管控

严格落实进场材料“先检后用”制度，禁止未经复检或复检不合格的材料投入使用。具体操作中，应当执行见证取样送检程序，监理单位在场确认并贴封条后送有资质的检测机构，确保样品真实可靠。对合格率偏低的功能性材料（防水卷材、保温板、加气混凝土砌块等）加大抽检频次，实行进场批次全覆盖检验，发现一批次不合格则同批次全部退回，并函告生产厂家整改。推广预拌混凝土企业原材料信息公开制度，金华市2024年的试行做法值得借鉴：由混凝土企业主动公开砂石、水泥等原材料供应商和检测信息，接受社会监督，从源头把控混凝土质量。同时利用二维码和区块链技术实现材料从出厂到使用的全程追溯，材料进场时扫码即可查看生产时间、强度等级、运输轨迹等数据，一旦出现质量问题可快速锁定批次和责任环节。

（三）推进工艺标准化与信息化

编制关键工序标准化施工指导书，明确每道工序的操作要点、质量标准和检查方法，减少工艺执行的人为偏差。推广举牌验收、影像留存等制度，确保隐蔽工程验收的真实性和可追溯性。引入BIM模型进行施工模拟和碰撞检查，在施工前发现设计冲突和工艺问题。利用物联网传感器实时监测混凝土养护温湿度、大体积混凝土内部温度等关键参数，实现工艺质量的在线监控和预警。对于装配式建筑，应制定专门的连接节点施工工艺标准，套筒灌浆的密实度检测应作为强制性检查项目[5]。

（四）构建系统化质量管理体系

建立覆盖建设、勘察、设计、施工、监理五方责任主体的质量责任体系，明确各方在不同阶段的质量职责和考核标准。推行工程质量保险制度，通过保险机构的风险评估和过程监督形成第三方质量约束。2024年国家市场监管总局推动质量融资增信政策，为超过2万家企业提供了约2000亿元授信，将质量信用与金融支持挂钩的思路同样适用于建筑业。构建工程质量大数据平台，汇集监督抽检、检测报告、投诉处理等数据，通过数据分析识别质量薄弱环节和高风险项目，实现精准监管。将质量控制从被动的事后整改转向主动的事前预防，是系统性提升工程质量的根本路径。

结束语：人员、材料、工艺、管理、环境五要素作用，要素短板会拉低整体质量水平。主体结构安全基本可控，但功能性质量短板突出，汕尾、南通等地防水、保温材料合格率低至50%至66.7%，工艺执行打折扣和管理松懈是深层原因。解决之道是系统优化：强化人员培训，实施材料全过程管控，推进工艺标准化与信息化，落实五方主体责任。施工期每增1%质量投入，可减少运营期5%至8%维修费用。立足全寿命周期，才能实现从“建得起“到“用得好“的品质跃升。

参考文献

[1] 周奕 . 建筑工程管理的质量控制要素探究 [J]. 建筑与装饰 ,2020(5):83-84.

[2] 郑俊华 . 建筑工程管理的质量控制要素探究 [J]. 河南建材 ,2020(2):54-55.

[3] 孔亚运 . 建筑工程管理质量控制要素探讨 [J]. 建材与装饰 ,2021,17(23):161-162.

[4] 史占雷 . 建筑工程管理的质量控制要素探究 [J]. 建材发展导向（上）,2020,18(6):95.

[5] 马楠 . 建筑工程管理中质量控制的关键要素 [J]. 建筑设计与研究 ,2025,6(5).

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

预应力混凝土空心方桩沉桩施工工艺及质量控制研究

罗佳瑞
中冶南方城市建设工程技术有限公司，湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ETQM.2026090011

摘　　要： 预应力混凝土空心方桩兼具承载力高与用料节省的优点，在软土及粉土层地基中应用广泛。结合某工程边长为400毫米的预应力混凝土空心方桩施工实践，系统阐述场地准备、测量放线、引孔、吊装插桩、压桩控制、焊接接桩、送桩及混凝土填芯等关键工艺。针对沉桩困难、桩体破损、桩位偏移等常见质量问题，分析成因并提出防治对策，建立从进场验收到过程控制的质量保证体系，为同类桩基工程提供参考。

关 键 词： 预应力混凝土空心方桩；沉桩施工工艺；质量控制

Research on Construction Technology and Quality Control of Prestressed Concrete Hollow Square Pile Sinking

Luo Jiarui
WISDRI ENGINEERING AND RESEARCH INCORPORATION LIMTED, Wuhan, Hubei 430000

Abstract: Prestressed concrete hollow square piles have the advantages of high bearing capacity and material saving, and are widely used in soft soil and silt foundation. Based on the construction practice of a prestressed concrete hollow square pile with a side length of 400 millimeters in a certain project, this article systematically elaborates on key processes such as site preparation, measurement and setting out, drilling, lifting and inserting piles, pile pressure control, welding and connecting piles, pile delivery, and concrete core filling. Analyze the causes and propose prevention and control measures for common quality problems such as pile sinking difficulties, pile damage, and pile displacement. Establish a quality assurance system from site acceptance to process control, and provide reference for similar pile foundation projects.

Keywords: prestressed concrete hollow square pile; pile sinking construction technology; quality control

引言

预应力混凝土空心方桩作为一种新型桩基材料，具有承载力高、施工速度快、造价经济等优势，在建筑工程中应用日益广泛。但在复杂地质条件下，沉桩施工面临桩身易损、垂直度控制困难、接桩质量不稳定等问题。某工程持力层及上层存在厚度较大且密实度较高的粉土层，沉桩困难风险突出，需采取引孔措施。结合该工程实践，系统梳理方桩沉桩施工工艺与控制要点，总结常见质量问题应对措施，对于提高桩基施工质量具有实际指导意义。

一、项目概述

（一）工程背景

该工程位于软土及粉土层分布区域，场地内持力层及持力层以上存在厚度较大、密实度较高的粉土层。这种地质条件下，预制桩打入或穿透粉土层时容易出现沉桩困难情况，须采取引孔措施。工程设计采用边长为400毫米的预应力混凝土空心方桩（PHS桩），桩身强度要求较高，对施工工艺及质量控制提出严格标准。

（二）工程地质特点

场地地质条件呈现三个显著特征。第一，粉土层厚度大且密实度高，若不预先引孔，沉桩阻力过大，可能导致桩身破损或无法达到设计标高。第二，场地内存在局部暗浜及浅层障碍物，影响桩位定位及垂直度控制。第三，地下水位较高，施工过程中需注意排水及桩孔防护。这些地质特点决定了沉桩工艺必须结合引孔、压桩及接桩等多道工序协同进行。

（三）施工要求与难点

该工程对施工质量提出较高要求。桩身垂直度偏差不得超过0.5%，桩位偏差须符合《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202规定。沉桩以桩端标高控制为主，最终压桩力作为参考。主要施工难点包括：引孔与压桩的连续性控制，接桩质量保障，以及大面积施工中的挤土效应管理。同时，场地平整度及承

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

载力须满足桩机行走要求，局部软弱区域需要回填砂石处理。

二、沉桩施工工艺要点

（一）工艺流程与场地准备

沉桩施工遵循以下工艺流程：人员设备进场－定位放线－桩机就位－引孔－吊桩－对位插桩－压桩－对桩接桩－压桩－成桩－转移桩机。施工前须完成场地平整及临时道路修筑。场内修建6米宽硬化道路，原状土夯实后铺设25厘米厚C25混凝土，满足运桩车辆通行。局部通行困难区域采用钢板铺设临时便道。压桩区域须做到三通一平，对承载力不足的场地区域回填砂石，确保钻机及桩机正常行走作业。

（二）测量放线与桩位控制

根据建设方提供的坐标控制点及高程水准点布设现场控制点。控制点测设后须经复核验收，合格后方可移交施工。控制点位置远离压桩区域，并采取固定保护措施。压桩过程中经常对控制点进行复核，利用全站仪及GPS反复校核，测量出桩的中心点，撒放灰线标记。场地较大时，定位中心点插彩旗，便于桩机移动定位。工程桩放线完成后，请监理单位验收复核。压桩过程中，记录人员对每个桩位进行再次复核，确保定位准确。

（三）方桩进场验收与堆放运输

方桩进场由专职人员配合监理实测验收。外观检查粘皮麻面（累计面积不大于总外表面积0.5%，深度不超5毫米）、合缝漏浆（深度不超10毫米，每处长度不超300毫米）、局部磕碰（深度不超10毫米，每处面积不超50平方厘米，需修补）。桩端混凝土及钢筋墩头不高出端板平面。桩长允许偏差+0.7%L、−0.5%L，端部倾斜不超0.5%D，边长偏差 ±1毫米，保护层厚度+10至0毫米。每批桩提供质保书并标识。问题桩经检测后书面报告相关单位。堆放场地坚实平整，采取防滚防滑措施。边长400毫米方桩堆放不超8层。装卸轻起轻放，严禁抛掷碰撞。运输支点距桩端0.21L，垫木在同一平面且上下对齐。进桩数量按打桩进度安排，避免二次翻倒[1]。

（四）引孔施工技术

针对粉土层厚度大、密实度高的地质条件，采取引孔措施降低沉桩阻力。孔位放线须精确，反复校核各桩位点。钻机钻杆垂直度控制在0.5%以内，确保引孔垂直度偏差小于0.5%。引孔作业和压桩作业应连续进行，间歇时间不得超过4小时。沉桩速率也须控制，以免沉桩过快导致桩尖阻力超高而降低引孔效果。引孔机施钻过程中，根据桩顶标高和工程地质资料准确控制引孔深度，不得超钻穿透桩端持力层。观察取土土壤状况和色泽，分辨土质并测量引孔深度是否达到要求。施工完成的引孔应用木板遮盖，防止人员或物体坠落[2]。

（五）吊装插桩与对中调直

桩就位前，施工员和班组须进行桩位复查，凡误差大于10毫米应重新检测矫正。确认无误后桩机对位就中，同时根据场地标高及桩顶标高要求明确打桩深度及送桩长度并做好记录。起吊时拴好吊装用钢丝绳及索具，索具捆绑住桩上部，启动桩机采用单点吊法起吊方桩。就位对中时，以桩位为中心挖出与桩同形的浅孔，便于成桩插入孔内就位。方桩放入桩机夹桩箱内扶正就位后，将桩插入土中0.5至1.0米。桩身稳定后调正，使桩身、桩帽、桩位的中心线重合。调直时用两台经纬仪呈直角设置在距离桩基15至20米处，观测桩身垂直度，使插入地面时桩身垂直度偏差不大于0.5%。

三、压桩与接桩关键技术

（一）压桩过程控制

首节桩下插时垂直度偏差不大于0.5%，且最大值不大于50毫米。每根桩宜一次连续压到位，接桩及送桩期间不宜停歇，避免桩端在接近设计持力层时接桩。压桩前在桩身标记以米为单位的标高标记，或采用压桩自动记录仪及时记录桩身入土深度及该深度时的压力值。预应力混凝土桩一般不宜截桩，施工前应核对设计桩顶标高，若设计桩顶标高高于现状地面，应提前联系设计调整桩长。若确需截桩，应有确保截桩后桩基质量的措施，宜采用锯桩机进行截桩。对于表层为软土的作业场地，设计桩顶标高应尽量低于现状地面，以免施工作业对已经完成施工的桩体造成影响。

终压标准综合考虑设计要求、沉桩工艺试验情况、桩端进入持力层情况及压桩动阻力等因素，并结合静载荷试验确定。采用压桩力和桩端标高双重控制，以桩端标高控制为主，最终压桩力作为参考。稳压压桩力不得小于终压力，稳定压桩时间宜为5至10秒。满足以下任一条件即可终止沉桩：桩未达到设计标高但压桩力已达到桩身极限承载力；桩已达到设计标高。桩身允许抱压压力须满足桩身强度要求，送桩时施压力可比桩身允许抱压力大10%。

沉桩过程中遇到压力表读数突变、桩身突然倾斜、混凝土桩顶破碎和主筋外露、贯入度剧变、桩身突然发生位移或有严重回弹、大风大雨大雷天气、无法压入土层等情况，应立即停止沉桩并及时与设计单位联系处理[3]。

（二）桩身垂直度动态控制

施工中持续监控垂直度。用桩机上的线锤校正桩机挺杆垂直度，并架设两台经纬仪正交观测。经纬仪设置在距桩机15至25米处成90°方向，观测桩身垂直度，保证偏差不超过0.5%。出现偏差时不得强行扳桩纠偏，以防桩身开裂。最下节方桩入土50至80厘米时停止压桩，调整垂直度后方可继续压桩，不允许一次送到位。夜间施工时购置大功率照明灯保证观测条件。

（三）接桩工艺要求

由于高强度粉土层的存在，在压桩施工时，容易出现压桩力过大的情况。针对此情况，该工程采用焊接接桩工艺，以避免桩头被压爆的情况。外露的接桩钢零件增加2毫米厚度和焊缝厚度的腐蚀裕量，并涂刷防腐蚀耐磨涂层500微米。接桩宜在桩尖穿过较硬土层后进行。接桩时上下段桩的中心线偏差不宜大于5毫米，节点弯曲矢高不得大于桩段的0.1%。接桩前清除接头处泥土及锈迹，确保焊接质量。焊接完成后须经隐蔽工程验收，合格后方可

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

继续压桩。合理选择桩的搭配，避免在砂质粉土、砂土等硬土层中接桩，尽量缩短接桩时间，使桩快速连续压入。

（四）送桩与桩孔处理

当最后一节桩施压后不能达到设计标高时，需进行送桩施工。为利于送桩，最后一节桩施压后露出地面高度控制在0.3至0.5米。送桩器采用优质厚壁钢材制成的方筒形，器身弯曲度小于1/1000。送桩器上下两端面平整且与送桩器中心轴线垂直。送桩器直径与方桩匹配，下端设置深度300毫米的套筒，内径比桩外径大20毫米。送桩器下端面设置排气孔，使桩内腔与外界相通。送桩时在送桩器上按照从上至下顺序标明长度，由桩机卷扬吊钩采用单点吊法将其喂入桩帽。送桩完成后及时将遗留孔洞回填密实，防止人员或物体坠入。送桩时考虑桩身回弹，可在原设计桩顶标高基础上超送2至3毫米[4]。

（五）混凝土填芯施工

根据《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008规定，桩端入遇水易软化的强风化岩、全风化岩和非饱和土的预应力混凝土空心桩，沉桩后应对桩端以上2米左右范围内采取有效的防渗措施。按照图纸设计要求，该工程PHS空心方桩采用比基础高一等级的微膨胀混凝土填芯3.5米。填芯施工前清理桩内壁杂物，浇筑时分层振捣密实，确保填芯混凝土与桩内壁紧密结合，形成有效防渗屏障。

四、质量控制与常见问题防治

（一）质量检测与验收

方桩按单位工程或检验批抽检。监理和施工单位逐条检查到场方桩的规格型号，抽检尺寸偏差及外观数量不少于桩节总数的2%。发现一节不合格则加倍抽检，再不合格则该检验批禁用。端板几何尺寸抽检不少于2%，厚度或电焊坡口不合格的桩不得使用。施工后检测单桩承载力与完整性：静载试验不少于总桩数1%且至少3根，低应变检测不少于总数20%且至少10根，每个承台至少抽检1根。

（二）沉桩困难的对策

沉桩困难的主要原因包括压桩设备选型不合理、中途停歇时间过长、设备故障或停电、忽略浅层障碍物及硬夹层、桩距过密形成封闭桩、桩身强度不足、桩就位倾斜过大、接头质量不好等。相应对策：配备合适压桩设备，保证足够压入能力；一根桩连续压入，严禁中途停歇；进场前对设备进行大修保养；详细分析地质资料，清除浅层障碍物，配足压重；制定合理压桩顺序，严禁形成封闭桩；严把制桩各环节质量关；桩就位倾斜过大时拔出桩，清除障碍物后重新插入；合理选择桩的搭配，避免在硬土层中接桩。

（三）桩体破损与偏移防治

桩体破损原因包括制桩质量差、支点或吊点不准、吊索过短、桩头强度弱、送桩杆不同心、压入力过大、桩尖强度低或障碍物冲撞。防治措施：桩身强度达七成方可起吊脱模，达十成才可施工。运桩支点正确，水平吊运用两点吊且吊点距桩端0.21倍桩长。使用同径送桩杆，保证压头、送桩杆、桩体同轴。桩头设钢帽，桩尖设钢靴。桩偏移倾斜因压桩机未调平、立柱不垂直、插入精度差、邻孔影响、障碍物、送桩杆不同轴或接桩不良。应对方法：用顶升油缸调平机大身，压桩前调垂直立柱。桩插入对中误差小于十毫米，及时回填送桩孔，提前清除障碍物，确保送桩杆与压头及桩同轴，提升接桩质量使上下节同轴[5]。

（四）质量保证体系运行

施工全过程建立由项目经理领导、技术负责人为主抓的质量管理机构，制定严格规章制度并贯穿到施工前及施工过程中。严格执行监理工程师决定，遵守工程质量检查签认制度，实行自检、互检、交接检制度，须检查的工序经签认后方可转入下道工序。技术交底以审定图纸、技术文件、施工规范、施工组织设计为依据，内容包括施工工艺、质量标准、技术要领、措施和操作要点，交底人和接受人签字确认。合理确定最佳施工流水路线，采用先长桩后短桩、先中心后外围或对称的施工顺序及区域跳打原则，根据施工实际情况调整打桩速率以减少挤土效应。

结束语：预应力混凝土空心方桩沉桩施工涉及场地准备、测量放线、引孔、吊装插桩、压桩控制、焊接接桩、送桩及混凝土填芯等多道工序，各环节紧密衔接。针对粉土层厚度大、密实度高的地质条件，引孔措施可有效降低沉桩阻力。施工中常见沉桩困难、桩体破损、桩位偏移等问题，需从设备选型、垂直度控制、接桩质量等方面加以防治。建立覆盖进场验收与过程控制的质量保证体系，能够显著提升沉桩质量，为类似地基条件下的桩基工程提供可行参考。

参考文献

[1] 邱振贵，冼景成．预应力混凝土空心方桩堆放层数判定条件的探讨[J]．广东建材，2023,39(1):34-36.

[2] 屈宝剑．房建工程项目预应力混凝土空心方桩施工技术要点探析[J]．中国房地产业，2025(9):202-205.

[3] 姚晨星．预应力混凝土空心方桩在工程中的应用和质量控制要点[J]．新材料·新装饰，2021,3(14):91-92.

[4] 王学超．预应力混凝土空心方桩在项目中的应用[J]．建筑，2014(5):60-61.

[5] 程正友．预应力混凝土空心方桩应用及施工技术分析[J]．工程建设与设计，2014(8):139-141.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

建筑施工现场文明施工管理的关键问题及改进对策研究

罗兴章
广东申菱环境系统股份有限公司，广东佛山 528000
DOI:10.61369/ETQM.2026090012

摘　　要： 建筑施工现场文明施工管理直接影响工程质量、安全及城市形象。文章针对围挡设置不规范、材料堆放混乱、扬尘噪声污染超标、生活设施简陋及标牌管理缺失等关键问题，分析其成因，提出完善管理制度、落实管理责任、强化技术措施、加强监督检查及开展教育培训等改进对策。通过标准化、精细化、智能化管理，提升文明施工水平，减少投诉纠纷，推动建筑行业绿色可持续发展。

关 键 词： 建筑工程；施工现场；文明施工

Research on Key Issues and Improvement Countermeasures of Civilized Construction Management on Construction Sites

Luo Xingzhang
Guangdong Shenling Environmental Systems Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract: Civilized construction management on construction sites directly affects project quality, safety, and urban image. The article analyzes the causes of key issues such as non-standard enclosure settings, disorderly material stacking, excessive dust and noise pollution, rudimentary living facilities, and lack of sign management. It proposes improvement measures such as improving management systems, implementing management responsibilities, strengthening technical measures, enhancing supervision and inspection, and conducting education and training. Through standardization, refinement, and intelligent management, we aim to enhance the level of civilized construction, reduce complaints and disputes, and promote the green and sustainable development of the construction industry.

Keywords: construction engineering; construction site; civilized construction

引言

文明施工是建筑工程的基本要求，也是城市文明的重要窗口。随着公众环保意识增强，工地扬尘、噪声、泥浆外溢等问题引发投诉纠纷。2025年6月上海虹口区某工地因夜间施工、泥浆外溢被立案处罚，反映出管理薄弱环节。《建筑施工安全检查标准》已将文明施工纳入评分体系，但实际执行中存在标准落实不到位、制度不健全、责任不明确、监督不严格等问题。系统梳理文明施工管理内容，识别关键问题并提出改进对策，可为现场管理提供参考。

一、文明施工管理的核心内容与评价标准

（一）现场围挡与封闭管理

围挡是施工现场与外界的物理隔离，是文明施工的第一道防线。JGJ59-2011规定：市区主要路段工地围挡高度不低于2.5m，一般路段不低于1.8m；围挡材料应坚固、稳定、整洁、美观，沿工地四周连续设置无缺口；围挡外立面应设置公益广告，展示企业形象和文明施工理念。封闭管理要求施工现场进出口设置大门，门头设置企业标志，设立门卫室和门卫制度，施工人员佩戴工作卡凭卡出入。

（二）施工现场场容场貌

场容场貌是施工现场的“门面”，直接影响第一印象和文明施工评分。主要要求包括：地面硬化处理，主要道路采用混凝土硬化，裸露地面绿化或覆盖防尘网；道路畅通，设置排水设施，防止泥浆污水外流，工地无积水；材料堆放按总平面布置图定位，分类堆放整齐，悬挂标识牌注明名称、规格、品种、产地；建筑垃圾定点堆放、及时清运，严禁凌空抛撒；施工标牌齐全规范，大门处设置“五牌一图”（工程概况牌、管理人员名单及监督电话牌、消防保卫牌、安全生产牌、文明施工牌、施工现场平面图）。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（三）环境保护措施

环境保护是文明施工的核心内容，涉及扬尘控制、噪声控制、水体保护、废弃物处理等方面。扬尘控制：土方作业采用湿法作业，裸露土方覆盖防尘网，道路定期洒水降尘，物料运输车辆密闭覆盖，出场车辆冲洗保洁；噪声控制：选用低噪声设备，合理安排施工时间，夜间(22时至次日6时)禁止高噪声作业，特殊情况需办理夜间施工许可；水体保护：设置沉淀池处理施工废水，严禁泥浆污水直排；废弃物处理：建筑垃圾分类收集、定点堆放、及时清运，危险废弃物按规范处置[1]。

（四）生活设施与卫生管理

生活设施关系作业人员身心健康，是文明施工的重要组成部分。主要要求：施工作业区与办公生活区明显划分，在建工程不得兼作宿舍；宿舍采用活动板房，每间居住不超过15人，单人单铺留有通道，配备消暑防蚊措施；食堂办理卫生许可证，配备冰箱消毒柜，设置纱门纱窗纱罩；厕所采用水冲式，定期清扫消毒；设置淋浴室、开水房、晾衣架等生活设施；建立卫生责任制，定期检查生活区环境卫生。

（五）文明施工评分标准

各地住建部门制定了文明施工评分标准，将文明施工纳入安全文明工地评审体系。评分内容一般包括：封闭管理(围挡、大门、门卫)、场容场貌(硬化、绿化、排水、材料堆放)、办公生活设施(宿舍、食堂、厕所)、卫生管理(清扫、垃圾处理)、爱民便民及消防治安等。评分结果与安全生产许可证、企业信用评价、工程评优评先挂钩，形成激励约束机制[2]。

二、文明施工管理的关键问题

（一）围挡设置不规范

部分工地围挡高度不达标、材料不坚固、设置不连续。市区主要路段围挡高度低于2.5m，一般路段低于1.8m。围挡材料采用彩条布、竹篱笆等简易材料，稳定性差。围挡存在缺口、破损，建筑材料倚靠围挡堆放。围挡外立面未设置公益广告或广告陈旧破损。

从深层原因看，围挡问题与成本控制直接相关。 定型化围挡单次投入约为每延米300元至500元，简易围挡仅需100元左右，部分中小施工企业为压缩开支选择低价方案。围挡维护责任不明确，破损后无人及时修缮。围挡基础不牢固，遇大风易倾倒，造成安全事故。某市2024年抽查120个工地，围挡不达标31个，占比超过四分之一。其中高度不足占半数以上，破损未修复占三成，未设广告占两成。

（二）材料堆放混乱

材料堆放是文明施工的薄弱环节。未按总平面布置图定位堆放，随意占用道路通道，影响交通和消防安全。材料未分类堆放，钢筋、模板、钢管混杂。材料堆放不整齐，标识牌缺失或内容不完整。钢筋等直接堆放地面未架空，受潮锈蚀。建筑垃圾随处堆放、未及时清运，工完场不清现象普遍。

材料堆放混乱的管理根源在于计划性不足。 施工进度紧张时，材料进场后直接堆放在最近的空地上，无人按图定位。多个班组同时作业时各自占用区域，缺乏统一协调。某住宅项目统计显示，因材料堆放混乱导致的二次搬运费占材料总成本的3%至5%。 材料标识缺失还会导致错用材料，造成质量隐患。建筑垃圾未及时清运堆积如山，堵塞消防通道。部分工地虽有要求但流于形式，检查前突击整理，检查后恢复原状[3]。

（三）扬尘噪声污染超标

扬尘和噪声是投诉最频繁的问题。扬尘方面：土方开挖、物料运输、道路清扫等环节控制措施不到位，裸露土方覆盖不严，洒水降尘频次不足，出场车辆未冲洗带泥上路。噪声方面：高噪声设备夜间作业，施工时间安排不合理，噪声监测设备缺失，降噪措施效果不佳。

扬尘噪声污染的技术性原因包括： 雾炮机配置不足，大型基坑需多台设备但工地仅配一台应付检查；冲洗设施沉淀池清理不及时，喷嘴堵塞；噪声监测设备多为手持式，无法连续记录。生态环境部门2024年数据显示，建筑扬尘占城市PM10来源约25%，工地噪声投诉占环境噪声投诉总量三分之一以上。 夜间施工许可审批把关不严，部分工地以连续浇筑为由申请夜间施工，实际进行其他高噪声作业，加剧扰民矛盾。

（四）生活设施简陋

部分工地生活设施标准低、管理差。宿舍拥挤，每间居住超过15人，通道狭窄存在安全隐患。在建工程兼作宿舍，作业区与生活区未划分。食堂卫生条件差，未办理卫生许可证，防鼠防蝇设施缺失。厕所数量不足、清扫不及时。未配备淋浴室、开水房等基本设施。

生活设施简陋直接影响工人身心健康和工作积极性。 夏季宿舍无空调风扇，工人睡眠不足，工作效率降低，安全风险上升。食堂不达标易引发食物中毒，一旦发生将停工受罚。调查显示，生活设施满意度高的工地，工人流失率比设施简陋工地低三成以上。 部分企业认为生活设施不直接产生效益，优先投入“面子工程”而忽略“里子工程”。工期紧张时临时增人，生活区容量不足，工人在未竣工建筑内打地铺，既违规又存在消防隐患[4]。

（五）标牌管理缺失

标牌是文明施工的“名片”，但问题较多。“五牌一图”设置不齐全，内容不规范、更新不及时。安全警示标牌数量不足、位置不当。材料标识牌缺失或内容错误。企业标志、宣传标语陈旧破损。

标牌管理的深层问题在于标准化程度低。 部分标牌为项目部自行打印，字体颜色不统一，甚至手写涂改。管理人员变更后告示牌未更新，误导访客。据某公司内部检查记录，半数以上项目存在标牌内容未及时更新。安全警示标牌方面，基坑临边未设“当心坠落”，用电设备未设“当心触电”，起重区未设“禁止入内”，警示功能形同虚设。企业标识褪色破损未更换，给访客留下管理粗放印象。

三、改进对策

（一）完善管理制度

建立健全文明施工管理制度体系。制定文明施工专项方案，

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

明确各项标准要求，报监理审批后实施。编制文明施工管理手册，细化操作规程、检查标准、考核办法。建立扬尘控制专项方案和噪声控制专项方案。将文明施工纳入施工组织设计，统筹资源配置和费用预算。

在制度落地上，需进一步细化操作要求。 专项方案应附现场平面布置图，标明围挡、堆场、垃圾点、洗车槽等设施位置和尺寸。管理手册应图文并茂，配标准化做法图集。明确费用预算红线，文明施工费用不低于工程总价的1.5%，其中扬尘控制和围挡各占三成以上。 建立文明施工例会制度，每周召开专题会议通报检查结果、分析原因、部署整改。将文明施工要求纳入分包合同，明确分包责任和违约条款。建立应急响应预案，针对重污染预警、居民投诉等突发情况明确处置程序[5]。

（二）落实管理责任

明确责任分工。项目经理为第一责任人，负责方案审批、资源配置、检查考核。专职安全员负责日常管理、监督巡查、问题整改。材料员负责材料堆放、标识牌、工完场清。工长负责区域场容、扬尘噪声控制。后勤管理员负责生活设施、卫生、垃圾清运。建立责任考核制度，与个人绩效挂钩。

责任落实的关键在于细化、量化和公开。 制定《文明施工责任区划分表》，将现场划分为网格，指定责任人，边界图上标注。各责任区设公示牌，注明责任人、联系方式、检查标准。建立文明施工责任保证金制度，达标返还，不达标扣罚用于整改。某企业实施该制度后，文明施工达标率从75% 提升至93%。 分包单位缴纳履约保证金，总包定期考核，不达标扣费整改。班组长对作业区负直接责任，工完场清不合格则拒绝验收工序。

（三）强化技术措施

围挡标准化：采用定型化构件，高度材质统一，设企业标志和公益广告，定期维护。材料堆放规范化：按图定位划线，分类堆放整齐，悬挂定型化标识牌，钢筋架空存放，建筑垃圾定点及时清运。扬尘控制技术化：裸露土方全覆盖，道路硬化或绿化，配备洒水车、雾炮机定时作业，出场车辆冲洗保洁，扬尘监测设备实时监控。噪声控制科学化：选用低噪声设备，设置隔声屏障，合理安排时间，噪声监测设备实时预警。

技术措施升级方向是智能化和自动化。 扬尘噪声在线监测系统实时采集数据，超标自动触发喷淋和报警。某工地安装智能喷淋后，扬尘超标时长减少60% 以上。 车辆自动冲洗平台搭配红外感应器，自动启动冲洗。塔吊大臂安装喷淋装置，高空降尘效果更佳。推广货架式堆场，扫码获取材料信息。建筑垃圾管道输送至封闭式垃圾站。钢筋加工棚设隔声罩，输送泵设隔声屏障。

（四）加强监督检查

建立检查机制。日常巡查：专职安全员每日巡查围挡、堆场、道路、生活设施，发现问题及时整改。周检查：项目经理每周组织专项检查，对照评分标准逐项评分，限期整改。月考核：企业每月考核评价，结果与项目绩效挂钩。专项检查：住建部门、安监站不定期检查，对不达标项目责令整改、通报、处罚。建立问题台账和整改闭环机制。

监督体系完善还需引入第三方和公众参与。 聘请第三方机构飞行检查，出具独立评估报告。在围挡公示投诉电话和二维码，居民扫码拍照上传问题，项目部限时回复处理。某区推行“工地开放日”，每月邀请居民代表参观，投诉率下降40%。 建立红黑榜制度，每月发布，红榜表扬，黑榜通报并约谈负责人。检查记录使用移动终端实时上传，整改前后照片对比留痕。检查结果与安全文明工地评审挂钩。

（五）开展教育培训

提升全员文明施工意识。管理人员培训：组织学习文明施工标准规范、管理制度、检查评分标准，提升管理能力；作业人员教育：入场三级教育纳入文明施工内容，班组班前会强调工完场清、材料归位；专题培训：针对扬尘控制、噪声控制、垃圾分类等开展专题培训，普及技术措施；观摩交流：组织参观文明工地示范项目，学习先进经验做法；宣传引导：利用宣传栏、标语牌、微信群等载体宣传文明施工理念，营造良好氛围。

结束语：文明施工是建筑工程管理的基础环节，直接关系企业形象、工人权益与城市环境质量。围挡设置、材料堆放、扬尘噪声控制、生活设施及标牌管理等方面仍存在突出问题，亟需系统改进。通过完善制度体系、压实各级责任、推广智能技术、强化监督考核及全员教育培训，可有效提升现场文明施工水平。标准化、精细化、智能化的管理路径，有助于减少投诉纠纷，改善作业环境，实现工程建设与环境保护、社会和谐的有机统一。

参考文献

[1] 黄晓容 . 探析建筑施工现场文明施工管理 [J]. 建材与装饰 ,2025,21(35):121-123.

[2] 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.

[3] 胡绵潮 . 建筑施工现场文明施工管理的研究 [J]. 建材发展导向 ,2023,21(22):161-163.

[4] 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.

[5] 张树荣 . 基于建筑施工现场文明施工管理的研究 [J]. 建材与装饰 ,2020(2):168-169.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

探讨建筑幕墙施工质量控制中存在的问题及解决措施

张彪
广东宏科建设股份有限公司，广东 广州 510250

DOI:10.61369/ETQM.2026090014

摘　　要： 建筑幕墙施工具有材料多样、工艺复杂、构造繁琐等特点，质量控制涉及埋件、横梁、立柱、面板及防火保温防雷等多个环节。当前施工中存在埋件处理不到位、安装误差超标、面板平整度差、防火防雷措施缺陷等问题，主要源于市场管理不规范、企业管控能力弱及施工团队经验不足。应从设计方案优化、材料进场把关、主体结构复核、关键工序标准执行及施工顺序合理安排等方面加强控制，确保幕墙系统的安全性与外观质量。

关 键 词： 建筑幕墙；施工质量；控制措施

Exploring the Problems and Solutions in Quality Control of Building Curtain Wall Construction

Zhang Biao
Guangdong Hongke Construction Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510250

Abstract: The construction of building curtain walls is characterized by diverse materials, complex processes, and intricate structures. Quality control involves multiple aspects such as embedded parts, beams, columns, panels, and fire insulation and lightning protection. There are problems in the current construction, such as inadequate handling of embedded parts, excessive installation errors, poor panel flatness, and defects in fire and lightning protection measures, mainly due to non-standard market management, weak enterprise control capabilities, and insufficient experience of the construction team. We should strengthen control from the aspects of optimizing the design scheme, checking the entry of materials, reviewing the main structure, implementing key process standards, and arranging the construction sequence reasonably to ensure the safety and appearance quality of the curtain wall system.

Keywords: building curtain wall; construction quality; control measures

引言

建筑幕墙作为重要外围护结构，兼具装饰与功能，其施工质量直接关系到建筑外观、安全及耐久。随着幕墙形式多样、构造复杂，施工质量控制面临更高要求。实际工程中，埋件处理不当、龙骨安装偏差、面板平整度不足、防火防雷措施缺陷时有发生，制约幕墙质量提升。深入分析这些质量问题成因，从设计协调、材料把关、工序验收及施工管理等方面采取针对性措施，对保障幕墙工程安全可靠、美观耐久具有重要意义。

一、建筑幕墙的施工特点

建筑幕墙的施工特点体现在多个方面。建筑物的外部造型大多依赖幕墙来呈现，因此幕墙在设计阶段就需符合各类使用功能方面的需求。

幕墙结构需要承担风荷载、地震荷载以及水平方向的主要作用力，同时重力荷载也由幕墙承受，所以幕墙必须具备足够的坚固性与整体刚性。常见幕墙采用金属框架搭配玻璃的形式，有时也会选用隐框、明框或半隐框等不同样式。

幕墙所用材料类型较多，加工与组装工艺相对复杂。由于幕墙种类多样，不同形状、颜色以及安装部位都需要分别开展设计工作并安排相应的施工方案，这就对施工技术提出了较高要求，只有依靠先进的工艺才能保障最终成果的质量。

此外，幕墙的整体构造较为烦琐，施工工艺标准严格，这一点也成为工程建设中的难点环节。为了兼顾工程品质与推进速度，幕墙的安装作业通常需要提早启动，以便为后续工序留出充足时间。

幕墙既影响建筑外观效果，又关系结构安全性能，因此施工过程中必须注重每一处细节，从材料进场到框架拼装再到面板固定，每一道工序都需精细操作。只有充分认识这些施工特点，才能合理组织人力与设备，减少返工与浪费，最终使幕墙系统既美观又可靠。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

二、建筑幕墙施工质量控制中存在的问题

（一）施工过程中埋件的处理工作不到位

建筑幕墙施工时，埋件环节容易处理不到位。埋件分为预埋件与后补埋件两类。预埋件出厂时，可能存在镀锌层偏薄、锚筋焊接强度不足或锚固长度不够等问题。在梁柱节点等钢筋密集区域，锚筋易与主体钢筋冲突，导致无法安装。安装阶段可能遇到埋件遗失、偏移或错位。固定不牢时，浇筑混凝土也容易移位。有些项目因幕墙招标滞后，未能同步安装预埋件，后期只能采用膨胀螺栓或化学螺栓后补处理。后补埋件常存在边距不足或承载力不够的问题，削弱幕墙整体稳定性，需要施工方提前加强控制[1]。

（二）横梁与立柱安装环节的常见缺陷

横梁与立柱构成幕墙的主要受力骨架，其安装质量影响后续面板的平整度。铝材、钢材等构件在加工、运输或安装期间易出现划伤或擦伤，严重时会破坏表面涂层与外观。

实际施工时，横梁和立柱的安装误差有时超出允许范围，如标高偏差、轴线偏移或左右错位，难以满足验收标准。钢龙骨的焊缝高度、工艺形式及等级也可能不符合设计要求。在不同金属直接接触的部位，未按要求添加防腐垫片，就无法达到防腐与降噪效果。

安装阶段发现的问题必须及时处理，合格后方可进入下道工序。忽视这些细节会导致面板不平整、结构受力不均，甚至埋下安全隐患。施工方应加强过程检查，确保每一处连接牢固可靠。

（三）面板安装环节的常见问题

安装面板之前，施工人员未仔细检查玻璃表面是否存在质量损伤，也未核对玻璃尺寸偏差是否在允许范围之内，这样会导致面板完成安装后无法满足外观要求。

面板安装结束之后，整体平整度误差若偏大，会使幕墙观感效果不佳。进行面板打胶时，操作人员未按规范要求刮胶，胶缝不够饱满，而且打胶阶段容易污染面板表面。面板破损之后未及时更换，或者节点做法不合理，导致更换作业难度加大且安全风险较高。

（四）幕墙施工中防火、保温及防雷措施的缺陷

幕墙与主体结构之间需要设置有效的隔火层。部分幕墙背后还需添加保温层来满足节能要求。保温材料和防火材料应符合相关防火及节能标准，使用之前须按要求送检。

防火与保温材料应封堵密实。实际施工中可能出现少钉、固定不牢或与基材粘结不牢的情况。所有房间隔墙位置必须放置防火棉，防止房间之间窜火窜烟。

立柱与连接件的防雷系统需要配备跨越线。引下线应与主体防雷结构连通，形成电气通路。建筑物角部的幕墙边立柱也要设置防雷线。施工中容易出现避雷钢筋焊接长度不足、立柱竖向避雷连接点的涂层未打磨、铜导线与立柱连接不牢固等问题[2]。

（五）幕墙的外观质量不佳

幕墙施工质量直接体现于外观效果。墙面整体平整度、立面垂直度、阴阳角棱线直线度若超出标准要求，视觉效果会变差。幕墙饰面密封胶缝质量差的问题较多，比如胶缝宽窄不一、整条胶缝直线度超差、密封胶缝表面不够光滑且不饱满、胶缝边缘残留余胶并污染面板。幕墙饰面板材存在明显色差，钢化玻璃变形量过大，装饰条垂直度不达标。幕墙饰面还可能出现受污染、凹坑、刮痕、变色、变形等质量缺陷。

三、建筑幕墙施工质量管理问题产生的原因

（一）建筑幕墙装饰市场管理欠缺规范

我国建筑幕墙装饰市场管理存在不均衡状况，部分地区及企业的管理缺乏条理与规范。不同区域执行标准不一，某些地方工程监管部门管理松散，对工程督查出现疏漏，比如对施工企业资质、施工合同以及施工方案的审查不到位，这给施工企业留下可乘之机，对幕墙施工质量非常不利。法律规定建筑装饰工程必须遵守招标投标制度，然而实际实施过程中，招投标未能保证公平公正。许多项目业主方不依照现有市场机制让各投标单位公平竞争，为降低投入费用，业主方与施工企业私下达成协议。有些施工企业施工能力有限，甚至缺少相应资质，在复杂或庞大的幕墙施工过程中，很难保证施工质量。由于施工企业管理系统不够完善，对施工团队的管理不到位，导致分包转包现象屡见不鲜，职权不明、任务不清、遇事找不到负责人的情况多次发生，这些因素影响了工程质量，装饰效果也无法得到有效保障[3]。

（二）施工企业管控能力偏弱

建筑幕墙施工期间时常出现一些突发或临时的工作任务。施工企业缺乏管理与监督，紧急状况出现时缺少专业技术人员，导致处理延误，进而造成负面影响与经济损耗。许多幕墙施工团队资质较浅、经验不足，生产条件与施工水平存在较大局限。技术人员专业能力不够，综合素质不高，质量监督体系不完善，项目监管制度也不健全。这些因素使得许多施工细节与流程草率了事，材料选择与应用方面缺少有效审查，施工过程中的质量把控不够严格，从而大大增加了质量问题的发生几率。

（三）施工团队的专业度和经验值不足

许多建筑幕墙施工团队缺少相关资质，专业能力不强，施工经验也不足。幕墙装饰在我国兴起时间不长，部分施工队伍甚至没有真正接触过幕墙施工，仅凭传统施工经验和对幕墙的粗浅了解就承接任务，导致施工质量难以得到有效保障。施工队伍中，多数人员缺乏专业施工技能，整体素质偏低，培训不足，经验不够，因此无法保质保量完成幕墙施工任务。少数施工队伍虽有资质证书，但我国对建筑幕墙资质的审批涉及多方，标准存在差异，资质相同的队伍在实际经验和施工水平上可能差别很大，优质施工质量很难保证[4]。

四、提高建筑幕墙施工质量控制措施

（一）从计划源头进行管控

幕墙节点设计应采用三维可调方案，以便在施工阶段消化主体结构偏差与施工误差。幕墙结构需具备防水、防火、防雷、抗

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

震等性能。设计过程中应加强设计方与现场施工人员的沟通，确保幕墙施工的便利性、安全性与可行性。

在设计说明及现场技术交底环节，设计方需清晰列出幕墙材料性能参数及安装误差控制要求，便于施工阶段对照把关，严格按图纸施工。面板更换所需的节点应采用可拆卸构造，满足玻璃或石材的更换需求，同时保障更换作业的安全性。设计人员主动结合现场实际情况调整方案细节，可减少后期返工，为幕墙工程质量打下良好基础。

（二）对出厂的幕墙材料把好关

加强原材料的出厂环节管控，管理人员需严格依照合同核对材料品牌，防止出现偷换品牌的情况。重点关注龙骨、面板、密封胶等关键材料。龙骨的防腐层厚度必须达到设计标准，玻璃的各项参数应与图纸一致，其中玻璃合片所用的密封胶品牌也需与施工时使用的密封胶保持一致。

加工厂内部的尺寸误差必须得到严格控制，争取将各类偏差在出厂前就消除掉。材料运抵施工现场之后，还要落实进场检验与送检工作。任何不符合要求或未经检验合格的材料，一律不得进入施工场地。

此外，应建立完整的材料进场台账，记录每批材料的品牌、规格、数量及检验结果，方便后续追溯。对于检验中发现的不合格品，要立即标记并清退出场，同时向供货方反馈问题原因。只有从出厂到入场层层把关，才能杜绝劣质材料混入幕墙施工环节，为后续安装作业打下可靠基础。对于密封胶、螺栓等辅材，同样需要查验其合格证明与有效期，防止因辅材质量问题影响整体幕墙的耐久性与安全性。通过严控材料源头，可以大幅减少施工过程中的质量隐患[5]。

（三）幕墙加工和施工之前对主体施工条件进行复核

在启动幕墙安装工作之前，施工方应依据幕墙施工图纸对既有建筑主体结构的实际状况进行复核。根据复核获得的数据，预先在计算机或模拟环境中进行幕墙的虚拟安装。如果发现某些部位不符合施工要求，就要先行处理结构问题或调整设计方案，确认无误后再开展实体安装作业。尤其对于斜面、曲面这类异形幕墙的主体结构，由于施工难度较大，主体结构容易出现较大偏差，这种偏差有可能超出幕墙设计所能调节的范围。若不及时复核并采取措施消化这些偏差，后期可能无法顺利完成幕墙安装。复核过程中，需要重点检查已建建筑的结构尺寸误差、外表面平整度以及结构垂直度等指标，还应关注预埋件的位置是否准确、预留孔洞是否满足安装需求，确保各项条件都与设计预期相符。通过提前复核与模拟安装，可以有效避免因主体结构偏差而引发的返工或安装困难，为后续幕墙施工创造可靠的基础条件。

（四）在幕墙施工的关键环节严格恪守有关质量标准的要求

转接件安装、幕墙立柱安装、幕墙横梁安装以及面板安装，这四个步骤属于幕墙施工的重要环节。在每个环节进行质量检查时，作业人员需要严格执行相关质量规范的要求。一旦发现任何不符合规定的地方，就要及时整改，保证上一道工序检验合格之后，才能进入下一道工序，绝不能把偏差一层层叠加起来。

以横梁和立柱的安装为例，施工期间的重点在于查看横梁安装的水平度以及立柱安装的垂直度。同时要核对幕墙分格的尺寸标准是否满足设计图纸与规范要求。还需检查横梁与立柱的连接部位是否牢固可靠，能否承受使用过程中的受力需求。只有把每个环节的质量控制到位，才能避免因局部问题影响整体幕墙系统的稳定性与安全性。通过分步验收和严格把关，可以有效减少返工次数，提高施工效率，确保最终成品的观感效果与结构性能都达到预期目标。

（五）合理安排施工顺序并加强工序验收

施工前应合理规划分区与分段顺序。先安排塔楼施工，裙楼及出入口等人员密集区域放在最后，这样能避免交叉作业，防止幕墙完工后遭到人为破坏。每道工序施工时需做好阶段性清洁，减轻竣工时的清洗难度。龙骨、面板、装饰条的安装顺序应结合吊篮或脚手架等施工措施来安排，以保证安装过程顺畅且精度达标。从材料检查、加工制作到现场安装，各环节都须遵守国家现行标准与设计要求。埋件安装、转接件安装、骨架安装及面板安装等阶段，施工单位先自检，再报监理验收，合格后方可进入下一道工序。尤其要加强对保温、防火、防雷部位的检验工作。

五、结束语

建筑幕墙质量控制贯穿设计、材料、加工、安装及验收全过程。针对埋件、龙骨、面板、防火防雷等关键环节，需从源头加强设计与材料把关，落实结构复核与工序验收。依据现行标准，在各工序中执行、检查、整改到位，才能消除质量缺陷，提升幕墙安全性与耐久性。同时，规范市场秩序、增强企业管控、提高人员专业水平，也是保障工程质量的重要基础。全过程精细化管理方能实现外观与结构的协调统一。

参考文献

[1] 王波 . 建筑幕墙施工质量控制的相关问题 [J]. 建材发展导向 ,2024,21(2):55-58.

[2] 张桂旺 , 郭宁 , 王金鑫 , 等 . 建筑幕墙工程施工的质量控制 [J]. 建筑技术开发 ,2023,50(9):120-122.

[3] 刘军 . 建筑幕墙施工质量控制中存在的问题及解决措施 [J]. 新材料新装饰 ,2020,2(24):77,79.

[4] 金光明 . 建筑幕墙施工质量控制浅析 [J]. 装饰装修天地 ,2020(3):277.

[5] 赵东升 . 探究建筑幕墙施工质量控制 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2024(5):79-81.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

房屋建筑工程质量监督管理措施探究

Ts. Dr. Kam Kenn Jhun, 梁健良
泰莱大学，来西亚 吉隆坡 47500
DOI:10.61369/ETQM.2026090019

摘　　要： 随着房屋建筑工程规模不断扩大，工程质量监督管理的重要性日益凸显。围绕房屋建筑工程质量监督管理展开分析，结合当前管理实践，概括制度落实不到位、责任意识薄弱、材料设备把控不严及过程监管形式化等主要问题，并从健全制度体系、压实参建责任、严格材料设备管理、加强施工全过程监督及提升监督人员专业素养等方面提出改进措施。研究表明，完善制度机制、强化责任落实和提升监督能力，是保障房屋建筑工程质量、推动建筑行业规范发展的重要路径。

关 键 词： 房屋建筑工程；质量监督；监督管理

Exploration of Quality Supervision and Management Measures for Building Construction Projects

Ts. Dr. Kam Kenn Jhun, Liang Jianliang
Taylor's University, Kuala Lumpur, Malaysia 47500

Abstract: With the continuous expansion of the scale of housing construction projects, the importance of engineering quality supervision and management is becoming increasingly prominent. Analyzing the quality supervision and management of housing construction projects, combined with current management practices, this article summarizes the main problems such as inadequate implementation of systems, weak sense of responsibility, lax control of materials and equipment, and formalized process supervision. Improvement measures are proposed from the aspects of improving the institutional system, consolidating participation responsibilities, strictly managing materials and equipment, strengthening supervision throughout the construction process, and enhancing the professional competence of supervisory personnel. Research has shown that improving institutional mechanisms, strengthening responsibility implementation, and enhancing supervision capabilities are important paths to ensure the quality of housing construction projects and promote the standardized development of the construction industry.

Keywords: building construction engineering; quality supervision; supervision and management

引言

随着城市建设持续推进，房屋建筑工程数量不断增加，工程类型日趋复杂，质量监督管理面临更高要求。虽然现阶段质量监督体系不断完善，但在实际工作中仍存在制度执行不严、责任落实不到位、材料设备管理薄弱以及施工过程监管流于形式等问题，影响工程质量管理成效。基于此，有必要对房屋建筑工程质量监督管理中存在的问题进行系统分析，并结合工程建设实际，提出切实可行的改进措施，以进一步提升质量监督管理水平，保障房屋建筑工程安全、稳定和高质量发展。

一、房屋建筑工程质量的内涵

房屋建筑工程质量，是指房屋建筑在勘察、设计施工验收以及使用整个过程中，满足国家有关法律法规、技术标准、设计文件以及合同要求的综合程度。它核心在于建筑物是否具备安全性适用性耐久性以及经济性，能否为使用者提供稳定、舒适并且可靠的使用环境。工程质量不仅会体现在主体结构是否牢固、施工工艺是否规范这些方面，还会涵盖建筑材料是否合格和、设备安装是否达标以及功能布局是否合理等多个方面。房屋建筑工程质量具备系统性、全过程性以及综合性特性，会贯穿于项目建设各个环节当中。良好工程质量既关系到人民群众生命财产安全，同时还会影响建筑行业健康发展以及社会公共利益，所以必须高度

作者简介：Ts. Dr. Kam Kenn Jhun 拥有建筑技术学士学位、建筑技术硕士学位以及建筑质量与评估专业博士学位。他是英国皇家特许测量师学会（RICS）特许测量师，马来西亚技术专家委员会（MBOT）注册专业技术师，同时为马来西亚工程师局（BEM）注册工程技术师。投身教育行业前，他拥有 5 年建筑行业从业经历，在马来西亚完成过多项高层建筑项目。他具备 13 年高校学术工作经验，曾在现任院校担任副院长等管理职务。主讲课程大多为建筑相关方向，包括建筑技术、建筑设备、研究方法论以及学位论文指导。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

重视并加强全过程质量管理工作。

二、当前房屋建筑工程质量监督管理中存在的主要问题

（一）质量监督管理制度落实不到位

当前部分房屋建筑工程尽管已经建立起较为完整质量监督管理制度，但是在实际执行过程当中仍然存在落实不严以及标准不统一等问题，有些单位仅仅把工作停留在文件层面，缺乏有效监督以及检查工作，这样就会导致制度与施工现场相脱节，难以真正发挥出约束以及保障工程质量作用。

（二）参建各方质量责任意识薄弱

在部分房屋建筑工程当中，建设单位施工单位以及监理单位对于质量管理重要性认识不足，存在着重工期轻质量问题，个别岗位人员责任心不强，没有严格去履行自身职责，一旦出现质量问题就会相互推诿，进而造成隐患无法及时整改，影响到工程整体建设质量。

（三）施工材料和设备质量把控不严

建筑材料以及施工设备都是影响工程质量的重要因素。不过在一些项目当中，材料采购、进场验收以及设备使用管理工作都不够严格。个别单位为了节约成本，会选用不合格材料或是老旧设备，检测以及维护工作也没有做到位。这样就容易让施工质量下降，并且还会增加后续使用过程中的安全风险。

三、加强房屋建筑工程质量监督管理的具体措施

（一）健全工程质量监督管理制度体系

1. 完善法律法规与配套制度

完善法律法规以及配套制度，是开展房屋建筑工程质量监督管理工作的重要前提，当前，鉴于建筑规模的扩大、施工技术的更新以及工程管理模式的不断变化，原有的部分制度已难以完全适应现实需求，所以，应当结合行业发展实际，进一步健全工程质量监督管理方面的法律法规，明确建设单位、施工单位、监理单位以及相关责任主体的职责分工，构建责任清晰、程序规范、追责有据的制度体系，同时，还需要建立与之相配套的实施细则、操作办法以及责任追究制度，让监督管理工作有章可循、有据可依，通过持续完善法律法规和配套制度，能够为工程质量监督工作提供坚实的制度保障，推动管理工作朝着规范化、法治化方向发展。

2. 细化质量监管标准和流程

对质量监管的标准以及流程进行细化处理，是提高工程质量监督管理实效的重要举措。在实际开展的工作当中，如果监管标准过于笼统、流程不够清晰明确，就容易造成监督行为随意化、检查结果不统一的情况。所以，应当基于房屋建筑工程的特性，对施工准备、材料验收、工序控制、隐蔽工程检查、分项分部验收以及竣工验收等环节开展细化工作，明确每一阶段所涉及的监管内容、检查重点以及责任要求。特别是对于主体结构、防水工程、装饰装修及设备安装等关键部位，需要制定出可操作、可量化的监管标准，以此增强现场监督的针对性以及准确性。同时，还要对问题发现、整改通知、复查验收等工作流程进行规范，形成闭环管理机制，从而保证质量问题能够及时发现、及时整改、及时落实。

（二）强化参建各方质量责任落实

1. 压实施工单位主体责任

施工单位作为房屋建筑工程实体质量形成的直接实施者，其所落实主体责任的情况会直接关系到工程整体质量水平，所以，必须进一步开展施工单位质量主体责任的压实工作，督促其建立并完善内部质量管理体系，完善岗位责任制度、技术交底制度、质量检查制度以及问题整改制度进行完善，施工单位需要严格依照设计文件、施工规范以及技术标准来组织开展施工工作，加强对关键工序、重点部位以及隐蔽工程的全过程控制，杜绝偷工减料、违规操作等行为的出现，同时，还需要加强施工人员专业培训以及质量意识教育，提高一线作业人员规范施工的能力，只有把施工单位的主体责任真正落实到位，才能够从源头上提升工程质量管理水平。

2. 落实建设单位首要责任

建设单位在房屋建筑工程当中处于组织、协调以及统筹的核心地位，对于工程质量负有首要的责任，在实际开展的管理工作当中，建设单位应当树立质量优先的理念，不能仅仅地追求工期以及成本控制，从而忽视工程质量，要严格依照法律规定履行基本建设程序，科学地确定建设周期，合理地安排资金投入，不可以随意压缩工期或者降低标准，同时，建设单位应当加强对设计、施工、监理等参建单位的选择与管理工作，确保这些单位具备相应资质以及履约能力，并且督促各方严格落实质量责任，对于施工过程当中所发现的质量问题，建设单位应当立即组织协调整改，推动责任落实到位，这样就能发挥其在工程质量管理方面的主导作用。

（三）严格把控建筑材料与设备质量

1. 规范采购渠道

建筑材料以及施工设备是房屋建筑工程质量形成的重要基础，其所采购的质量会直接对后续的施工效果产生影响，所以，需要从源头上对采购渠道进行规范，开展科学、透明、可追溯的采购管理工作，施工单位以及建设单位应当优先选用资质齐全、信誉良好、产品质量稳定的供应商，严格审核其生产许可、质量证明、检测报告以及市场信用情况，避免通过非正规渠道去采购低价劣质材料，对于钢筋、水泥、防水材料、门窗构件以及机电设备等关键物资，更要实行重点管理和定点采购制度，保证来源可靠、性能达标，同时，还要完善采购合同管理，明确质量标准、验收要求和违约责任，从制度方面防止不合格材料和设备流入施工现场。

2. 严格进场验收与抽检

材料以及设备进入施工现场之后，必须严格开展进场验收以及抽检制度的落实工作，这是保障工程质量的重要关口，对于所有进场的材料，应当按照规定对产品合格证、检测报告、出厂证明以及规格型号进行核查，确保其与设计要求以及施工标准保持一致，对于钢筋、水泥、砂石、防水卷材、保温材料以及电气设备等关键的材料和设备，应当按照要求开展见证取样以及复检工作，坚决杜绝“未检先用”的现象，在验收过程当中，如果发现资料不全、质量存疑或者外观损坏等问题，就应当马上停止使用并且及时处理退场事宜，借助严格把好进场验收以及抽检关，能够有效阻断不合格产

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

品进入施工环节，为后续的施工质量提供坚实的保障[1]。

（四）加强施工全过程质量监督

1. 强化重点部位和关键工序监管

房屋建筑工程的施工环节较为复杂，重点部位以及关键工序会直接关系到建筑物的安全性与耐久性，所以必须加大对其的监管力度，对于基础施工、主体结构、防水工程、混凝土浇筑、钢筋绑扎、模板安装以及设备安装等关键环节，需要明确监管的重点内容，并且严格依照设计要求以及施工规范去开展检查工作，监管人员要深入施工现场当中，及时掌握施工的动态情况，重点核查施工工艺、操作流程以及质量控制措施是否落实到位，对于容易出现质量通病的部位，更应该提前做好预防工作、进行重点盯控，借助强化对重点部位以及关键工序的质量监管工作，能够有效减少质量缺陷以及安全隐患，保障工程实体质量稳定可靠[2]。

2. 落实旁站、巡查和专项检查制度

旁站、巡查以及专项检查是开展施工全过程质量监督工作的重要手段，这对于提高监督管理工作的针对性以及实效性而言，具有重要意义，对于混凝土浇筑、钢结构安装、防水施工、隐蔽工程封闭等关键工序，需要严格落实旁站制度，从而确保施工全过程处于可控状态，在日常管理方面，要坚持开展巡查制度，定期对施工现场质量行为、工序执行情况以及技术措施落实情况进行检查，及时发现并纠正问题[3]。同时，还应当针对季节性施工、质量通病多发环节以及重点分部分项工程开展专项检查，以此增强监督工作的深度和广度，借助多层次、常态化的监督方式，能够有效提升施工质量管理水平，防止质量问题出现积累和扩大的情况[4]。

3. 加强隐蔽工程验收管理

隐蔽工程所具备的特性为施工完成之后难以进行直接观察、问题发现存在滞后性，所以必须严格地开展验收管理工作，对于钢筋工程、防水层、管线预埋、基础处理等隐蔽工程内容，应当在覆盖、封闭之前组织开展专项验收工作，从而确保其施工质量符合设计要求以及技术标准，建设单位、施工单位、监理单位以及相关技术人员需要共同参与，重点对施工记录、检测资料以及现场实体质量进行核查，做到资料齐全、程序规范、结论明确，对于不符合要求的隐蔽工程，必须在整改合格之后才可以进入下一道工序，借助严格执行隐蔽工程验收制度，能够有效防止质量缺陷被掩盖，提升工程整体质量的控制水平[5]。

（五）提升质量监督人员专业素养

1. 加强业务培训

质量监督人员所具备的专业能力会直接对监督管理工作的质量以及效果产生影响，所以必须持续开展业务培训工作，相关部门以及单位应当基于房屋建筑工程的发展需求，围绕施工技术标准、质量验收规范、法律法规、监督程序以及典型案例等方面的内容，定期组织开展系统化的培训，以此帮助监督人员及时掌握新政策、新标准以及新技术，同时，还应当结合工程实践开展现场教学、案例分析以及经验交流等活动，增强培训的针对性以及实用性，尤其是在面对绿色建筑、装配式建筑以及智慧工地等新型建设模式时，监督人员更需要不断更新自身的知识结构，提高专业判断能力，通过持续加强业务培训，能够有效提升质量监督队伍的综合素质以及履职水平[6]。

2. 提高执法与监管能力

在开展工程质量监督工作的过程中，仅仅具备专业知识是不够的，监督人员还应当具备较强的执法意识以及监管能力，在实际的工作当中，部分监督人员存在着发现问题不够深入、处理问题不够果断、执法程序不够规范等方面的情况，这对监督效果造成了影响，所以，应当加强对监督人员在执法程序、法律适用、证据收集以及现场处置能力等方面的培养，从而确保他们能够依照法律法规来开展质量监督工作，针对施工现场所存在的质量违法违规行为，需要做到及时发现、准确判定、有效处置，并且严格落实整改以及复查要求[7]。同时，还需要增强监督人员的沟通协调以及风险预判能力，提升他们的综合监管水平，借助提高执法与监管能力，能够切实增强质量监督工作的权威性以及执行力[8]。

3. 建立考核激励机制

构建科学合理的考核激励机制，是提升质量监督人员工作积极性以及责任意识的重要保障，相关部门需要结合工程质量监督岗位的特性，构建以履职成效、问题发现率、整改落实情况、业务能力以及工作纪律为核心的考核体系，从而对监督人员的日常工作开展客观评价，针对工作认真、表现突出、监督成效显著的人员，应当给予表彰奖励、职级晋升或者培训发展机会，以此激发其工作积极性，而对于责任心不强、履职不到位、监督流于形式的人员，就需要马上进行通报、约谈或者责任追究，形成奖优罚劣的鲜明导向[9]。通过完善考核激励机制，能够进一步增强监督队伍的责任感、主动性以及整体执行力[10]。

四、结束语

综上所述，房屋建筑工程质量监督管理是一项系统性、全过程的工作，涉及制度建设、责任落实、材料设备控制、施工过程监管以及监督队伍建设等多个方面。当前质量监督管理虽已取得一定成效，但仍存在不少薄弱环节，需要通过完善法律制度、细化监管标准、强化各方责任、严格过程控制和提升监督人员专业能力等措施加以改进。

参考文献

[1] 武英 . 房屋建筑工程质量管理与监督措施分析 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2026(6):37-39.

[2] 罗勇 . 房屋建筑及市政基础设施工程的质量监督管理探讨 [J]. 工程建设与设计 ,2026(1):245-247.

[3] 钱杨 . 房屋建筑工程石材施工质量安全监督研究 [J]. 石材 ,2026(3):19-21.

[4] 敖克金 . 质量监督管理在房屋建筑工程中的作用分析 [J]. 建材发展导向 ,2026,24(3):16-18.

[5] 桂芳潜 . 房屋建筑屋面施工质量监督要点分析 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2026(6):148-150.

[6] 张秋池 . 房屋建筑附属室外工程质量监督要点分析 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2026(1):82-84.

[7] 侯健 . 房屋建筑工程质量监督管理措施分析 [J]. 建材与装饰 ,2026,22(4):61-63.

[8] 乔瑞飞 . 房屋建筑工程竣工验收阶段的质量监督分析 [J]. 建材发展导向 ,2025,23(10):10-12.

[9] 刘声进 . 房屋建筑工程质量监督中的常见问题及对策 [J]. 城市开发 ,2025(6):96-98.

[10] 李建霖 . 房屋建筑和市政基础设施工程质量监督管理探究 [J]. 中国住宅设施 ,2025(1):163-165.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

分析工程监理中如何加强安全监理

杜诚
广州市恒茂建设监理有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2026090023

摘　　要： 以达志新材料科技有限公司生产车间项目为对象，针对高处作业、高支模、临时用电等多类风险，采用风险清单识别、专项施工方案审查、安全技术交底及全过程闭环管控等方法，建立“风险识别—方案审查—过程管控—隐患整改—资料闭环”的全流程监理模式。实践表明，该方法体系有效消除了施工安全隐患，项目顺利通过竣工验收，实现了安全监管从被动应对向主动预防的转变，显著提升了施工现场安全管控水平。

关 键 词： 建筑工程；工程监理；安全监理要点；安全风险管控；施工现场管理；危大工程管控

How to Strengthen Safety Supervision in Engineering Supervision Analysis

Du Cheng
Guangzhou Hengmao Construction Supervision Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: Taking the production workshop project of Dazhi New Material Technology Co., Ltd. as the object, a full process supervision mode of "risk identification scheme review process control hidden danger rectification data loop" is established to address various risks such as high-altitude operations, high formwork, temporary electricity use, etc., using methods such as risk list identification, special construction scheme review, safety technical disclosure, and full process closed-loop control. Practice has shown that this method system effectively eliminates construction safety hazards, and the project has passed the completion acceptance smoothly, achieving the transformation of safety supervision from passive response to active prevention, and significantly improving the level of safety control on construction sites.

Keywords: construction engineering; engineering supervision; key points of safety supervision; security risk management and control; construction site management; control of hazardous engineering projects

引言

建筑工程施工安全是核心要求，安全监理成效直接关系工程质量与公共安全。当前建筑行业普遍采用分包模式，安全管理缺位、人员素养不足突出，安全监理面临诸多挑战。文章以达志新材料科技有限公司生产车间项目为例，工程涉及高处作业、临时用电、高支模等多类风险，施工准备阶段存在安全监管盲区。通过风险清单识别、专项方案审查、安全技术交底等全过程管控措施，有效解决了施工环节的安全隐患，为强化现场安全管控提供了实践参考。

一、工程安全监理责任法理系列研究

建筑工程施工安全是工程建设的核心要求。安全监理是保障施工安全的关键环节，其履职成效直接影响工程质量与公共安全。当前建筑行业普遍采用分包模式，由此带来安全管理漏洞、人员素养不足等问题，使安全监理工作面临现实挑战。本文从安全监理的法理责任出发，分析现存问题，明确核心价值，探讨各阶段的安全监理要点，以期强化现场安全管控，推动行业安全发展。

（一）明确监理的刑事风险与责任边界

《中华人民共和国刑法》第137条规定的工程重大安全事故罪，是监理单位及人员需重点关注的刑事风险。该罪的成立不以一般质量瑕疵为条件，而是因违反国家规定降低工程质量标准，并因此引发重大安全事故。就监理单位而言，构成本罪主要有两种情形。一种是主动要求施工单位降低标准。另一种是未切实履行监理职责，对明显的质量安全隐患不指出、不制止、不报告，导致事故后果扩大。

从实际监理工作来看，监理人员需要先弄清楚自己的责任边界和履职标准。一方面，绝不能明着或暗着让施工单位去违反工程建设强制性标准。另一方面，一旦发现安全隐患，就必须走完书面告知、责令整改、上报建设单位或监督机构这一套完整的程序。在司法实践中，判断监理要不要负刑事责任，关键就看监理有没有尽到合理的注意义务，以及是否真的采取了有效的履职行为。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

监理机构应确立以下责任边界意识：

第一，书面记录是证明履职的关键依据。监理通知单、整改回复单、会议纪要等书面文件是证明监理已履行监督职责的核心证据，口头提醒不能免责。

第二，明确监督职责与直接管理职责的区分。监理职责在于监督施工单位落实其安全主体责任，而非替代施工单位进行现场管理。只要监理已按规范要求发出整改指令并跟踪落实，即便施工单位后续整改不彻底，监理的刑事风险仍相对可控。

三是及时上报这个环节，能把监理责任的延伸给阻断掉；当施工单位拒不整改或者整改不到位，并且隐患有可能危及公共安全的时候，监理就应当马上向建设单位和建设行政主管部门提交一份书面报告；这样一来，监理责任就不会再继续往下延伸了。

第四，不得默许或纵容违规行为。在工期、成本等压力下，监理若默许施工单位降低安全标准，或对明显违规行为不予纠正，则极有可能被认定为间接故意或严重失职，从而触发刑事追责。

（二）依据建设工程质量管理条例

第36条明确，工程监理单位应当依据法律法规、有关技术标准、设计文件及建设工程合同，代表建设单位对工程施工质量实施监理，并承担相应的工程质量监理责任。第37条则规定，项目监管部门应选派具备相应资格的总监理工程师与专业监理工程师常驻施工现场；建筑材料、建筑构配件和设备未经监理工程师签字，不得在工程中使用或安装，施工单位也不得进入下一道工序施工；同时，未经总监理工程师签字，建设单位不得拨付工程款，亦不得组织竣工验收。第38条进一步要求，监理工程师须按照工程监理规范，采取旁站、巡视、平行检验等方式，对建设工程实施监理。

二、安全监理工作存在的问题

（一）安全管理工作不到位

建筑工程总承包管理常采用分包模式下的监理方式。施工队伍众多，各单位缺少相互配合与交流，引发许多安全事件。部分企业为获取更多经济利益，将项目转交或分包给缺少相应资格的组织或个人，总包单位也没有履行安全管理职责。建筑工程自身存在诸多可变因素，提升了施工过程的危险程度。一些建设单位的管理团队专业能力不强，难以高效执行安全监管任务。同时，市场压力较大以及技术快速迭代，也使部分施工单位轻视安全作业的重要性。尽管某些单位有表面达标的安全生产计划，但这些计划主要目的仅应付监督管理，缺少实际指导意义和操作性，因此施工现场安全事件频繁出现[1]。

业主采取总承包或设计总承包模式推进项目，部分总承包单位自身缺少安全生产条件，为施工环节留下安全隐患。施工阶段对监理单位的监督不够，对其整改意见重视不足，造成质量与安全问题无法及时处理，最终带来较大经济损失。

（二）施工人员的专业素养亟待提高

施工人员对项目建设来说是个关键力量，不过部分单位雇佣的一线作业人员（尤其是农民工）技能底子比较弱，干活经验也不算多；再加上工人换得比较勤，技术经验就不太容易往下传，用人单位也没有提供成套的入职培训或者日常教育，导致这部分人员不清楚基本的安全操作流程，施工现场也就出现了不少隐患和质量问题，从而影响了工程建设的整体水平。

建筑行业技术标准持续更新，管理模式也日趋复杂。工程监理人员在职业素质方面同样面临较大挑战。部分监理人员对相关法律法规理解不深，专业知识结构滞后。面对新材料、新工艺、新技术，缺乏足够判别能力，难以在关键环节发挥监督与指导作用。还有的监理人员责任意识不强，未能及时发现或纠正施工中的违规行为，这使质量安全风险进一步上升。

施工人员的技能素养与监理人员的专业能力，目前都跟工程建设高质量发展的要求有差距。因此，提升从业人员整体素质，强化培训与考核机制，成为保障工程安全与质量的重要前提[2]。

三、安全监理在整个施工监理过程中的重要作用

在工程建设整个过程中，安全监理被赋予了一些基本职能，比如保障施工安全以及防范质量风险；同时它也能把建设单位、施工单位还有设计单位给串起来，成为一个重要纽带，并且它的那种作用，是会贯穿到项目实施中的各个环节里面的。

部分施工企业片面追求经济效益，常在施工中简化程序、降低标准或规避监管。这些行为埋下质量与安全隐患，损害业主权益，也可能威胁社会公共利益。将安全监管融入施工全过程及监理各环节，动态监控并纠正施工活动，是确保程序规范、行为可控的关键。

相关技术标准与政策法规不断完善，安全监理工作有了更明确的制度依据。发现违法违规行为时，可第一时间启动管控程序，遏制建设活动中的无序现象，为项目安全顺利推进提供保障。

在现行建设工程监理体系中，安全监理工作通常以业主委托为基础，围绕“三控、三管、一协调”的职责架构展开，其中安全管理与合同管理、信息管理相互交织，共同服务于工程质量与安全目标的实现。面对当前建筑市场中业主方过度压缩工期、片面追求投资效益，与承包方在成本控制与安全投入之间存在的结构性矛盾，法规与合同条款的严格落地成为平衡双方诉求、化解利益冲突的重要途径。

通过构建常态化的沟通机制，如专题会议、定期检查会、技术研讨会等形式，监理方能够与承包商就施工中暴露出的安全隐患与质量问题展开深入交流，及时明确责任、推动整改，避免问题积压与风险升级。可以说，安全监理正是通过全过程介入、多维度协调和精细化管控，将安全管理从被动应对转变为主动预防，真正发挥出在工程质量保障与施工风险控制中的核心支撑作用[3]。

四、施工监理全过程安全监理要点

（一）遵从有关法律法规和规章实施监管

在工程监理的具体实施过程当中，把相关法律法规以及各种规章要求给遵守好，这是开展任何监管工作的一个基本前提；监

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

理工程师需要根据工程实际，把风险等级偏高的那些子项目挑出来，然后列入到重点监管清单里面，这个清单可以作为后续管理的基础依据，也能用来指导建设单位围绕清单内容把相关工作一步步推进下去；至于业主方，则要结合施工过程中识别出来的潜在危险因素以及它们的风险等级去做一个综合评估，然后判断该不该采取相应的安全管理或控制措施，这样才能保证风险管控有针对性、也有效果[4]。

评估结果先被相关各方给达成一致，再走完上报程序，然后监理工程师就依据确认好的清单内容，去科学地制定出一套监理计划以及实施细则，这些计划和细则得是可操作的；这样一来，监管工作就能做到有东西可以依据、过程能被把控住、责任也能追得回来。

以达志新材料科技有限公司生产车间项目为例，该工程为框架结构，地上8层、地下1层，建筑面积15334.5㎡，涉及高处作业、交叉施工、设备安装等多类风险。监理团队在开工前即依据《建设工程安全生产管理条例》及地方规定，识别出脚手架搭设、临边洞口防护、施工用电、塔吊安拆等关键风险点，形成风险清单并报送建设单位确认。在此基础上，编制了针对性的安全监理细则，明确每日巡查重点、旁站部位及验收程序，确保监管工作有的放矢。同时，对深基坑、高支模、起重吊装等危大工程实行专项审查、全程旁站及验收销项管理，进一步强化关键环节的风险控制。

（二）精心选择监管合作单位

在工程检验任务较为繁多的情况下，通常会将检验管理部门外包，以期提升工作流程的运行效率。然而，此种模式往往伴随着效率不高、成本偏大等问题，外包单位若缺乏规范管理，甚至可能埋下安全隐患，进而对工程质量造成影响。因此，在选择合作单位的过程中，各相关部门需严格落实筛选与评选工作，通过对企业发展战略的分析，明确双方的合作关系、职责权限及各自的责任范围，确保合作基础清晰、权责对等。

在确定监管合作单位时，应重点考量其资质条件和绩效表现，包括过往项目经验、技术能力、信誉记录等，以保障监管工作的系统性和有效性。

在上述项目实践中，监理单位在进场前对总包单位的安全生产许可证、项目负责人安全考核合格证、特种作业人员持证情况等进行了严格核查，并对其过往同类项目业绩进行实地调研，确认其具备相应的安全管理能力。同时，监理方与建设单位明确各自安全责任边界，建立每周安全例会制度，确保合作顺畅、责任清晰。

（三）增强施工准备阶段安全监管

在施工准备阶段强化安全监管，是保障工程建设顺利推进的重要基础。针对工程实施过程中可能涉及的采用新技术、新材料、新工艺以及特殊结构的关键施工部位、薄弱环节、连接节点或子工程，应在施工前期即结合实际情况，预先制定相应的安全防范措施，并形成具有可操作性的技术建议，做到风险早识别、措施早落实。进入具体施工阶段后，须严格遵循国家及行业相关规范要求，应对重点部位的设计意图与技术要点予以充分交底，施工则需按规定程序做好现场记录，强化对作业技术安全手段及施工计划的审核把关，确保每一环节均符合规范标准。对于专项施工方案，还需进一步核验其计算方法是否合理、数据来源是否可靠、安全目标是否明确，确保方案的科学性与严谨性[5]。

在达志新材料生产车间项目中，施工准备阶段监理重点审查了以下内容：一是基坑支护与土方开挖专项方案，核验了边坡稳定性计算及监测措施；二是高支模专项方案，对搭设参数、验算过程及拆除顺序进行了复核；三是施工现场临时用电方案，明确了三级配电两级保护的具体布置。此外，监理方组织召开了安全技术交底会，要求对地下室防水、高层作业面等关键部位进行专项说明，施工单位现场记录并签字确认。通过上述前置管控，该项目最终顺利通过竣工验收。

结束语：工程安全监理必须以法规为底线、以现场为核心、以闭环为保障，这是基本要求也是共识。达志新材料生产车间项目实践表明，建立“风险识别—方案审查—过程管控—隐患整改—资料闭环”的全流程监理模式，可有效提升现场安全管控水平。未来可将成熟经验固化为企业标准与监理模板，推动安全监理工作标准化、规范化，为建筑工程安全生产提供有力支撑。

参考文献

[1] 刘小媛 . 论建筑工程安全监理 [J]. 建筑・建材・装饰 2022(7):34-36.

[2] 徐盛革 . 探究如何加强建筑工程监理工作水平 [J]. 城镇建设 2020(9):219.

[3] 金红华 . 监理如何在工程施工过程中进行安全控制 [J]. 砖瓦世界 2020(4):61.

[4] 王鹏鸣 . 浅谈建筑工程如何履行安全监理责任 [J]. 建筑与装饰 2021(12):47,49.

[5] 查柱 . 探讨如何加强建筑监理体系建设确保建筑工程质量 [J]. 环球市场 2020(6):314.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

建筑工程质量管理风险防范研究
——基于全过程风险识别与动态控制视角

张海荣
佛山市三水伟柏投资管理有限公司，广东 佛山 528000
DOI:10.61369/ETQM.2026090024

摘　　要： 建筑工程质量风险具有隐蔽性、累积性、关联性与滞后性特征，主要源于人员、材料、工艺、管理与环境五类因素。构建覆盖决策设计、施工准备、施工实施及竣工验收与运维全过程的质量风险识别体系，并基于 PDCA 循环建立动态质量控制机制，借助智慧监控平台实现实时预警与闭环整改。工程案例表明，该方法可显著降低质量问题发生率、缩短整改周期，为提升工程质量管理水平提供有效路径。

关 键 词： 建筑工程；质量管理；风险识别；动态控制；PDCA；全过程管理

Research on Risk Prevention in Construction Quality Management: Based on the Perspective of Whole Process Risk Identification and Dynamic Control

Zhang Hairong
Foshan Sanshui Weibo Investment Management Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract: Quality risks in construction projects have characteristics of concealment, accumulation, correlation, and lag, mainly originating from five factors: personnel, materials, processes, management, and environment. Build a quality risk identification system that covers the entire process of decision-making design, construction preparation, construction implementation, completion acceptance, and operation and maintenance. Establish a dynamic quality control mechanism based on the PDCA cycle, and use a smart monitoring platform to achieve real-time warning and closed-loop rectification. Engineering cases have shown that this method can significantly reduce the incidence of quality problems, shorten the rectification cycle, and provide an effective path for improving the level of engineering quality management.

Keywords: construction engineering; quality assurance; risk identification; dynamic control; PDCA; whole process management

引言

建筑工程质量管理中，风险因素贯穿决策、设计、施工及运维全过程，具有隐蔽性、累积性与滞后性等特征。传统质量管理往往侧重事后检验，难以有效防范系统性质量缺陷。基于全过程风险识别与动态控制视角，建立涵盖人员、材料、工艺、管理及环境五类风险的识别体系，结合 PDCA 循环与智慧监控平台，实现质量风险的实时预警与闭环整改，对提升工程质量水平具有重要意义。

一、建筑工程质量风险的内涵与分类

（一）质量风险的定义与特征

在建筑工程领域，质量风险并非一个抽象概念。它是指在工程建设全过程中，因人员、材料、工艺、管理、环境等因素的不确定性，导致工程实体质量不满足设计要求、规范标准或合同约定，从而造成经济损失、工期延误甚至安全事故的可能性。换个说法：质量风险就是“可能出问题的地方”以及“出问题后会有什么后果”的组合。

质量风险有四个典型特征，理解这些特征有助于找准管控方向。隐蔽性——质量隐患往往在施工阶段不易被直接察觉，比如钢筋保护层厚度不足、混凝土内部空洞等，需要依靠检测手段或在使用过程中才暴露。累积性——多个微小偏差叠加后可能引发严重的质量问题，比如每层轴线偏差5毫米，到第十层就偏了5厘米。关联性——某一环节的质量缺陷会波及其他分部分项工程，比如基础不均匀沉降会导致上部结构开裂。滞后性——部分质量问题的后果在工程竣工后一段时间才显现，比如防水工程的渗漏往往在使用一年后才集中爆发。

（二）质量风险的主要分类及实证数据

从风险来源角度，建筑工程质量风险可分为五类，每类都有

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

具体的表现形式和统计数据支撑。人员风险：项目负责人质量意识薄弱、关键岗位人员配备不足、特种作业人员无证上岗、劳务队伍技能水平参差不齐。据对某大型建筑企业集团2021-2023年质量事故的复盘分析，人员因素在质量事故原因中占比高达52.3%，是最主要的风险源。材料风险：主要材料质量不达标、材料进场检验把关不严、材料储存保管不当导致性能下降。2023年全国各地住建部门通报的材料质量不合格案例中，钢筋重量偏差不合格占37.2%，混凝土强度不足占28.5%，防水材料不合格占15.8%。

工艺风险：施工方案编制不严谨、新技术新工艺应用缺乏充分论证、工序衔接不合理。以装配式混凝土结构施工为例，2023年某省装配式建筑质量专项检查中，灌浆套筒连接质量不合格率高达18.4%，主要原因是施工方案对灌浆工艺的控制要求不明确。管理风险：质量管理制度不健全、质量责任制未落实、质量检查记录不完整。环境风险：极端天气影响施工工艺效果、地质条件复杂导致基础施工质量难以控制[1]。

GB/T 50430-2017《工程建设施工企业质量管理规范》将质量风险按严重程度划分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险四个等级。在实际工作中，施工企业应根据工程特点和自身管理能力，建立差异化的风险分级管控清单，确保重点风险得到有效控制。

二、全过程质量风险识别体系构建

（一）决策与设计阶段的风险识别

决策与设计阶段是质量风险控制的源头，也是最容易被人忽视的阶段。很多项目开工后发现的问题，追根溯源都能找到设计阶段的隐患。此阶段的主要风险包括：可行性研究深度不足，对地质条件、周边环境、技术可行性的论证不充分；设计方案存在缺陷，如结构计算错误、节点构造不合理、材料选型不当；设计文件质量不高，图纸错漏碰缺问题较多。对某省住房和城乡建设厅2023年归档的326个建设项目资料的抽样分析，因设计原因导致的质量缺陷占全部质量问题的34.7%，超过三分之一，说明设计阶段的风险识别至关重要[2]。

针对设计阶段风险，应重点做好四项工作：一是对可行性研究报告进行第三方复核，重点审查地质勘察报告的真实性和代表性，避免“纸上勘察”；二是在设计过程中引入限额设计和价值工程方法，优化设计方案，避免片面追求美观而增加施工难度；三是组织施工图审查，重点审查强制性条文的执行情况、结构安全度的保障程度、新材料新工艺的适用性；四是推行设计交底制度，确保施工单位充分理解设计意图，减少因理解偏差导致的质量问题。

（二）施工准备阶段的风险识别

施工准备阶段是质量风险管控的关键窗口期，这个阶段做得好不好，直接决定后续施工能否顺利展开。此阶段的主要风险包括：项目部质量管理人员配置不足，质量员、试验员、资料员等关键岗位人员不到位；施工组织设计和专项施工方案编制质量不高，针对性、可操作性不强；材料设备采购把关不严，供应商资质审查流于形式。调研数据显示，施工准备阶段质量管理体系的完备程度与后续质量问题的发生率呈显著负相关：准备充分的项目的质量问题发生率比准备不足的项目低38.5%。这意味着，把准备阶段的工作做扎实，就等于预先消除了近四成的质量风险[3]。

（三）施工实施阶段的风险识别

施工实施阶段是质量风险最集中、最复杂的阶段，也是质量管理的“主战场”。按照分部分项工程划分，各阶段的主要风险如下。地基与基础工程：桩基施工质量不稳定，桩端持力层判断不准确，桩身完整性缺陷。2023年某省桩基检测数据显示，Ⅲ类桩和Ⅳ类桩占比约为6.8%，意味着每15根桩中就有1根存在质量缺陷。钢筋工程：钢筋品种规格不符合设计要求，钢筋连接质量不达标，钢筋保护层厚度偏差过大。某质量检测机构对2023年竣工的86个项目的钢筋保护层厚度进行随机抽检，平均合格率仅为76.3%，远低于规范要求的90% 合格率标准。

混凝土工程：配合比控制不严格，浇筑过程中擅自加水，养护不到位导致强度不足或开裂。2023年全国混凝土强度实体检测结果统计显示，强度不足样本占比约为3.2%，主要发生在冬季施工和远距离运输场景下。防水工程：防水材料质量不合格，细部构造处理不当，防水层施工完成后成品保护不到位。据中国建筑防水协会统计，2023年房屋渗漏投诉占房屋质量投诉总量的45.7%，是房屋质量问题的“头号杀手”。装饰装修工程：材料环保指标不达标，施工工艺不规范，细部处理粗糙。

施工实施阶段的风险识别应依托工序管理展开。每道工序开工前，技术负责人应向施工班组进行技术交底，明确质量标准和检查要点；工序完成后，实行“三检制”（自检、互检、专检），确保上道工序不合格不进入下道工序。对于关键工序和隐蔽工程，应通知监理单位和建设单位进行联合验收，并形成书面验收记录。

（四）竣工验收与运维阶段的风险识别

竣工验收阶段的主要风险包括：验收程序不规范，存在“未经验收即交付使用”的违法行为；验收人员专业能力不足，对质量缺陷的识别能力有限；验收资料不真实、不完整，影响质量追溯。运维阶段的主要风险包括：工程质量保修制度落实不到位，保修期内出现质量问题得不到及时维修；缺乏质量跟踪评价机制，难以发现使用阶段的渐进性质量缺陷。某市住建委2023年对已完成保修期项目的回访显示，有23.5% 的项目在保修期结束后的一年内出现了新的质量问题，主要集中在屋面防水、外墙保温、给排水管道等部位[4]。

三、基于 PDCA 循环的动态质量控制机制

（一）PDCA 循环在质量管理中的应用逻辑

PDCA 循环即计划（Plan）—执行（Do）—检查（Check）—处理（Act）四个阶段的持续循环，是 ISO 9001:2015质量管理体系的核心方法论。在建筑工程质量管理中，计划阶段对应质量目标确定、质量计划编制、质量风险识别；执行阶段对应技术交

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

底、工序实施、过程检查；检查阶段对应质量检验、质量评定、质量问题发现；处理阶段对应质量整改、经验总结、制度完善。通过 PDCA 循环的不断迭代，质量管理水平实现持续提升。需要强调的是，PDCA 不是一次性的闭环，而是螺旋上升的过程——每次循环的“处理”阶段输出的经验和教训，会成为下一个循环“计划”阶段的输入。

（二）动态质量监控平台建设

动态质量控制的关键在于实时获取质量数据并及时响应。近年来，BIM 技术、物联网技术、移动终端技术在质量管理中的应用，为构建动态质量监控平台提供了技术支撑。以某大型施工集团开发的“智慧质监平台”为例，该平台通过移动端 APP 实现质量检查数据的实时上传，系统自动生成质量趋势分析图表，对超标的检验指标自动预警。该平台在18个在建项目中应用后，质量问题的平均整改周期从5.2天缩短至2.1天，整改完成率从82% 提升至96.4%，效果显著。

动态监控平台的核心功能应包括：质量检查计划管理、质量数据采集与上传、质量问题台账管理、整改通知与闭环跟踪、质量统计分析与报表输出。平台应与 BIM 模型集成，实现质量问题的可视化定位，便于管理人员直观了解质量缺陷的分布情况和整改状态。更重要的是，平台应支持质量数据的历史对比和趋势分析，帮助项目团队提前识别质量风险的高发区域和高发时段[5]。

（三）质量风险预警机制

质量风险预警是动态控制的重要组成部分，其核心是“在问题发生之前发现问题”。预警机制的建立应基于历史质量数据和专家经验，确定各项质量指标的预警阈值。例如，当钢筋保护层厚度合格率低于90% 时，系统自动发出预警，提示项目质量管理人员重点检查钢筋加工和安装工艺；当混凝土强度离散系数超过0.15时，提示检查混凝土配合比执行情况。预警信息应通过移动端 APP、短信、即时通讯工具等多渠道推送，确保相关人员及时响应。需要特别说明的是，预警阈值不是固定不变的，应根据项目特点、季节变化、施工进展进行动态调整。

四、工程案例应用分析

为验证全过程质量风险识别与动态控制方法的有效性，文章选取某省会城市商业综合体项目进行案例分析。该项目总建筑面积15.2万平方米，地下2层，地上28层，合同工期24个月，是一座集商业、办公、酒店于一体的大型城市综合体。该项目在施工准备阶段即引入全过程质量风险识别方法，建立了涵盖5大类68项风险的质量风险识别清单，并将风险管控要求嵌入智慧质监平台。

施工实施过程中，平台共记录质量检查数据12580条，发现并整改质量问题386项，问题整改闭环率为97.2%。从问题类型分布来看，钢筋工程占31.6%，混凝土工程占28.2%，防水工程占15.8%，其他占24.4%。项目竣工后，各分部分项工程质量评定优良率达到92.5%，未发生重大质量事故，获得了省优工程奖。对比该施工企业同期建设的其他类似项目（未系统应用全过程风险识别与动态控制方法），该项目的质量问题发生率降低了41.3%，整改周期缩短了58.7%，质量成本控制效果显著。

该项目的主要经验可以归纳为三条。第一，质量风险识别清单由企业技术中心统一编制，各项目结合自身特点进行补充，确保风险识别的系统性和针对性。第二，动态监控平台与企业 ERP 系统对接，质量数据与进度数据、成本数据联动分析，提升了管理决策的科学性。比如，当某一分部分项工程的成本偏差超过5% 时，系统会自动提示检查是否存在偷工减料导致的质量风险。第三，实行质量风险抵押金制度，将质量绩效与项目管理人员收入直接挂钩，有效强化了全员质量意识。

结束语：建筑工程质量风险贯穿决策、设计、施工至运维全过程，其隐蔽性、累积性与滞后性决定了静态事后管理难以奏效。基于全过程风险识别与动态控制视角，构建涵盖五类风险的全过程识别体系，依托 PDCA 循环与智慧监控平台实现质量风险的实时预警与闭环整改，是提升质量管理水平的有效路径。工程实践表明，该方法可显著降低质量问题发生率、缩短整改周期。推动质量管理从被动响应转向主动预防，为建筑工程高质量发展提供坚实保障。

参考文献

[1] 周克飞 . 建筑工程质量管理风险防范研究 [J]. 四川水利 ,2021,42(3):124-128.

[2] 陈凯 . 建筑工程质量管理风险防范分析 [J]. 中国建筑金属结构 ,2022(10):74-75,78.

[3] 李希磊 . 建筑工程项目施工管理风险及防范策略研究 [J]. 建筑与装饰 ,2023(7):105-107.

[4] 陈旭光 . 建筑工程质量管理风险防范 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2022(18):19-22.

[5] 杨立洲 . 建筑工程项目施工管理风险及风险防范策略 [J]. 建材与装饰 ,2025,21(7):91-93.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

建筑工程施工安全管理存在的问题及应对措施分析

朱明恺
广州塔旅游文化发展股份有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2026090026

摘　　要： 2025年生产安全事故19884起、死亡18261人，同比下降8.7%和7%，建筑业伤亡率仅次于矿山。高处坠落、物体打击等五种事故占总数80%以上。分析安全管理存在监管漏洞、企业责任落实不到位、安全投入不足、人员素质参差、现场管理薄弱等问题。从完善监管、强化企业责任、加大投入、加强培训、强化现场管理等方面提出对策，为行业安全形势持续好转提供参考。

关 键 词： 建筑工程；施工安全；安全管理

Analysis of Problems and Countermeasures in Construction Safety Management of Building Engineering

Zhu Mingkai
Guangzhou Tower Tourism Culture Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: In 2025, there were 19884 production safety accidents and 18261 deaths, a year-on-year decrease of 8.7% and 7%, respectively. The casualty rate in the construction industry is second only to that in mines. Five types of accidents, including falling from heights and object strikes, account for over 80% of the total. There are regulatory loopholes, inadequate implementation of corporate responsibilities, insufficient security investment, uneven personnel quality, and weak on-site management in the analysis of security management. Propose countermeasures from improving supervision, strengthening corporate responsibility, increasing investment, enhancing training, and strengthening on-site management to provide reference for the continuous improvement of the industry's safety situation.

Keywords: construction engineering; construction safety; safety management

引言

2024年建筑业总产值32.65万亿元，占GDP比重6.7%，从业人员超5900万。2025年生产安全事故19884起、死亡18261人，同比下降8.7%和7%，但伤亡率仅次于矿山，高处坠落等事故占比居高不下。国家虽完善了法律法规，但事故仍时有发生，暴露出监管漏洞、责任落实不到位等问题。深入研究施工安全管理问题与对策，对保障从业人员安全、促进建筑业高质量发展、维护社会稳定具有重要意义。

一、建筑工程施工安全管理现状

（一）安全生产法规体系逐步健全

我国已建立起较为完善的建筑安全生产法规体系和技术标准体系，《安全生产法》《建筑法》《建设工程安全生产管理条例》《生产安全事故报告和调查处理条例》等法律法规构成了安全生产管理的法律基础。住房和城乡建设部发布的《建筑施工安全检查标准》（JGJ59）、《建筑施工高处作业安全技术规范》（JGJ80）、《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》（JGJ130）等技术标准，为施工现场安全管理提供了技术依据。建筑企业安全生产许可证制度的实施，对建筑市场准入进行了有效控制，从源头上规范了企业的安全生产条件。安全生产责任保险制度的推行，为事故受害者提供了经济补偿保障。

（二）安全监管手段不断创新

近年来，建筑行业安全监管手段持续创新，信息化、智能化水平显著提升。施工现场作业人员实名制管理全面推行，实现了作业人员底数清、基本情况清、出勤记录清、工资发放记录清、进出项目时间清“五清”目标，有效遏制了恶意讨薪和人员管理混乱问题。

在线视频监控系统在施工现场广泛应用，实现了对施工过程的实时监控和远程管理。监管部门通过网络平台随时查看现场情况，发现违章行为可及时截图或录像留存证据，并通知项目部整改。部分系统还具备行为分析功能，能够自动识别未戴安全帽、吸烟等违规行为并抓拍报警，大幅提升了监管效率。

 | Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

智慧工地建设加快推进，通过物联网、大数据、人工智能等技术手段，对施工现场的人员、设备、环境进行智能化管理。例如，塔吊安装传感器实时监测载重与倾角，环境监测设备自动检测扬尘与噪音并联动喷淋系统。这些技术实现了安全隐患的自动识别和预警，提升了安全监管的精准性和有效性。

（三）事故总量呈下降趋势

从统计数据看，建筑行业安全生产事故总量呈下降趋势。2024年全国建材行业共发生生产安全事故280起、死亡284人，与2023年相比，事故起数减少21起、死亡人数减少18人，同比分别下降7.0%和6.0%，事故起数和死亡人数实现双下降。2025年全国生产安全事故起数和死亡人数同比分别下降9.4%和7.7%，“十四五”时期应急管理主要指标圆满完成，安全生产形势总体稳定向好。但从事故类型分析，高处坠落、物体打击、机械伤害、触电、坍塌五种事故类型占比仍高达80%以上，其中高处坠落事故占比最高，反映出施工现场临边洞口防护、脚手架搭设、个人防护用品使用等方面仍存在薄弱环节，安全管理工作仍需持续加强。

二、建筑工程施工安全管理存在的主要问题

（一）政府监管体系存在漏洞

一些建设行政主管部门对安全生产文件精神落实不到位，执法意识不强，履行职责不力，监管失控状况仍然较为严重。对应依法纳入监管的项目未实施有效监管，存在监管盲区，给了相关单位规避监管的可乘之机，导致事故隐患大量存在。监管力量不足，基层安全监管人员配备与庞大的建筑市场规模不匹配，一个监管人员往往需要负责数十个在建项目，日常巡查和专项检查难以全覆盖，监管工作疲于应付。部分监管人员专业能力不足，对新技术、新工艺、新设备的安全风险认识不够，对深基坑、高支模、起重机械等危险性较大的分部分项工程监管缺乏专业判断能力。监管执法存在“宽松软”现象，对违法违规行为的处罚力度不够，以罚代管、一罚了之的情况普遍存在，未能形成有效震慑[1]。

（二）企业主体责任落实不到位

部分建筑施工企业存在“重经营、轻安全”“重进度、轻防护”的思想，安全生产责任制流于形式，没有真正落实到每个岗位、每个环节，安全生产“一票否决”制度执行不严格。安全管理人员配备不足，一些企业为降低成本，压缩安全管理岗位编制，专职安全员数量达不到规定要求，一个安全员负责多个项目的情况普遍存在。安全投入严重不足，安全防护设施配置不到位，个人防护用品质量低劣，施工现场安全文明施工水平低，存在“舍不得投入、亡羊补牢”的侥幸心理。部分企业安全生产规章制度不健全，或者虽然有制度但执行不严格，没有进行责任分解，安全检查和隐患排查走过场，对发现的问题整改不彻底，同类隐患反复出现。项目经理责任制赋予项目经理过大权限，企业对项目的质量、安全、进度、资金无从监管，出现“富了和尚穷了庙”的现象，企业整体安全管控能力弱化。

（三）从业人员安全素质参差不齐

建筑行业从业人员以农民工为主，整体文化程度偏低，初中及以下文化程度占比超过60%，安全意识淡薄，自我保护能力不足，“要我安全”而非“我要安全”的被动安全观念普遍存在。部分施工人员未经安全教育培训即上岗作业，对基本的安全技术规范和安全操作规程不了解，“三违”现象（违章指挥、违章作业、违反劳动纪律）时有发生，冒险作业、野蛮施工行为屡禁不止。特种作业人员持证上岗制度执行不严格，存在无证上岗、持假证上岗、证书过期未复审、人证不符等问题，起重机械司机、架子工、电工等关键岗位人员技能水平参差不齐。安全教育培训流于形式，培训内容与实际工作脱节，培训时间不足、培训效果难以保证，“走过场”“签字了事”现象普遍。作业人员流动性大，“打一枪换一个地方”，新员工频繁入职，安全教育培训难以覆盖和持续[2]。

（四）施工现场安全管理薄弱

专项施工方案编制不规范，部分项目没有编制危险性较大的分部分项工程专项施工方案，或者方案内容简单、缺乏针对性，与施工组织设计混为一谈，超过一定规模的危大工程未组织专家论证，方案审批流于形式。安全技术交底不到位，交底内容不具体、不全面，没有针对具体作业环境和工序特点进行交底，作业人员不清楚安全风险和防范措施，交底记录代签现象普遍。脚手架搭设不规范，连墙件设置不足、剪刀撑缺失、基础不平不实、脚手板未满铺等问题普遍存在，模板支撑体系立杆间距过大、扫地杆和水平杆缺失、自由端高度超标等隐患大量存在。“三宝四口五临边”防护措施不到位，安全网设置不严密、临边防护栏杆缺失、洞口盖板不牢固、电梯井口防护不严等隐患大量存在。施工用电不规范，配电箱设置不符合“三级配电、两级保护”要求、漏电保护器失灵或参数不匹配、电缆线私拉乱接、用电设备未做保护接零等问题突出。大型起重机械、特种设备使用管理不规范，设备维护保养不到位，安拆作业未按方案施工，操作人员违规操作，群塔作业防碰撞措施不到位。

三、建筑工程施工安全管理应对措施

（一）完善安全监管机制，提升监管效能

强化政府监管责任，建立健全安全生产责任体系，将安全生产纳入政府绩效考核内容，实行安全生产党政同责、“一岗双责”、齐抓共管、失职追责。充实基层监管力量，增加安全监管人员编制，配备必要的执法装备和检测仪器，提高监管人员待遇，稳定监管队伍。创新监管方式方法，推行“双随机、一公开”监管模式，加大日常巡查和专项检查力度，实现监管全覆盖，对危险性较大的分部分项工程实施重点监管。加强部门联动协作，建立建设、应急、市场监管、人力资源社会保障等部门的联合执法机制，形成监管合力，开展建筑施工安全专项整治行动。严格执法处罚，对违法违规行为“零容忍”，依法实施停产整顿、暂扣证照、罚款、限制招投标资格等处罚措施，提高违法成本，对发生生产安全事故的企业和责任人实施联合惩戒。完善信用评价体

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

系，将企业安全生产行为纳入信用记录，实施守信激励和失信惩戒，让失信企业“一处违法、处处受限”[3]。

（二）强化企业主体责任，健全安全管理体系

建立健全安全生产责任制，明确企业主要负责人、项目负责人、专职安全员的安全职责，层层签订安全生产责任书，将责任落实到每个岗位、每个人，建立安全生产责任追溯机制。足额配备安全管理人员，按照工程规模和施工特点配备足够的专职安全员，大型项目应配备安全总监，确保安全管理工作有人抓、有人管。保证安全投入，按照工程造价的一定比例提取安全生产费用，专款专用，确保安全设施、个人防护用品、安全教育培训、隐患排查治理、应急救援等投入到位，建立安全投入台账，接受监管部门监督。完善安全管理制度，建立健全安全检查、隐患排查、教育培训、技术交底、应急救援、事故报告等制度，并严格执行，实现安全管理标准化、规范化。推行安全生产标准化，按照《施工企业安全生产评价标准》开展标准化建设，开展安全文明工地创建活动，发挥示范引领作用，提升安全管理整体水平。

（三）加强安全教育培训，提升人员素质

严格落实三级安全教育制度，新入场工人必须经过公司、项目、班组三级安全教育，累计培训时间不少于24学时，考核合格后方可上岗，未经培训或考核不合格的一律不得上岗作业。强化特种作业人员管理，严格执行持证上岗制度，建立特种作业人员台账，定期检查证书有效性，严禁无证上岗、持假证上岗、证书过期上岗，对特种作业人员开展继续教育培训。开展经常性安全教育培训，利用班前会、安全例会、事故警示教育、安全知识竞赛等形式，持续提升作业人员安全意识，做到“警钟长鸣”。创新培训方式方法，采用多媒体教学、VR体验式培训、现场实操演练、事故案例教学等方式，增强培训效果，让作业人员身临其境感受事故危害。建立安全培训档案，记录每位从业人员的培训情况，实现培训可追溯，对培训效果进行评估考核。推行师傅带徒弟制度，新员工必须在经验丰富的师傅带领下作业，签订师徒协议，明确双方责任，徒弟熟练掌握安全操作技能后方可独立作业[4]。

（四）强化现场安全管理，消除事故隐患

规范专项施工方案管理，对危险性较大的分部分项工程必须编制专项施工方案，内容要有针对性、可操作性，超过一定规模的还要组织专家论证，严格按照方案施工，不得擅自修改，确需修改的应重新审批。加强安全技术交底，分部分项工程施工前必须进行详细的安全技术交底，针对具体作业环境、工序特点、危险因素进行交底，确保作业人员了解安全风险和防范措施，交底应由技术人员向作业人员直接交底，双方签字确认。强化脚手架、模板支撑、基坑支护、起重机械等危险性较大工程的安全管理，严格执行验收制度，搭设完成后必须经检查验收合格后方可使用，使用过程中定期检查维护。落实“三宝四口五临边”防护措施，规范设置安全网、防护栏杆、洞口盖板、安全带等防护设施，确保防护到位、牢固可靠。规范施工用电管理，严格执行“三级配电、两级保护”“一机一闸一漏一箱”要求，定期检查漏电保护器灵敏度，确保用电安全。加强大型机械设备管理，严格执行安拆告知、检验检测、使用登记等制度，定期进行维护保养，确保设备安全运行[5]。

结束语：建筑工程施工安全管理关系从业人员生命安全与行业健康发展。结合2024-2025年数据，分析现状存在监管漏洞、企业责任落实不到位、安全投入不足、人员素质参差、现场管理薄弱等问题。从完善监管、强化企业责任、加大投入、加强培训、强化现场管理等方面提出应对措施。各参建单位应坚持安全第一、预防为主、综合治理，正确处理安全与进度、效益的关系，坚决遏制重特大事故，为建筑业高质量发展提供安全保障。

参考文献

[1] 宋苏丰 . 建筑工程施工安全管理存在的问题及应对措施分析 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2024(7):64-66.

[2] 谈宇杰 . 建筑工程施工安全管理存在的问题及应对措施分析 [J]. 工程技术研究 ,2022,7(23):146-148.

[3] 梁晓龙 , 曾海龙 . 建筑工程施工安全管理存在的问题及应对措施分析 [J]. 中国公共安全 ,2023(11):136-138.

[4] 马振国 . 建筑工程施工安全管理存在的问题及应对措施分析 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2023(24):19-21.

[5] 王波 . 建筑工程施工安全管理存在的问题与应对策略 [J]. 砖瓦世界 ,2025(18):142-144.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

建筑工程技术质量管理问题及对策

张哲
天津工业化建筑有限公司，天津 301700
DOI:10.61369/ETQM.2026090028

摘　　要： 建筑工程技术与质量管理直接决定工程项目安全性能、使用寿命及建设综合效益，当前建筑行业快速发展背景下，项目多参建主体协同复杂、施工工序交叉繁多，工程质量管控各类问题愈发突出。本文结合建筑工程实际施工管理现状，从技术管理、现场质量管控、人员组织、制度监管四个维度梳理现存痛点，剖析主观意识、客观施工条件、行业技术水平三方面深层诱因。研究指出项目前期技术交底流于形式、危大工程方案管控薄弱、原材料验收不严、从业人员专业能力不足、质量体系运行虚化、智慧监管应用滞后等问题，易引发结构缺陷、渗漏沉降、质量通病及安全隐患。据此针对性提出强化施工技术源头管控、全流程严守工序质量关卡、健全人员责任体系与终身追责制度、完善多方联动监管模式、推广 BIM 与信息化智慧建造技术等优化对策，构建事前预防、事中管控、事后闭环追溯的全周期质量管理机制，规范施工全过程技术行为，压实参建各方质量责任，有效治理工程质量通病，提升建筑工程精细化管理水平，保障建筑工程实体质量与长期安全稳定运行。

关 键 词： 建筑工程；施工技术；质量管理；管控对策

Problems and Countermeasures in Quality Management of Construction Engineering Technology

Zhang Zhe
Tianjin Industrial Construction Co., Ltd., Tianjin 301700

Abstract: Construction engineering technology and quality management directly determine the safety performance, service life, and comprehensive construction benefits of engineering projects. Against the backdrop of rapid development in the construction industry, various problems in engineering quality control have become increasingly prominent due to the complex coordination of multiple participating entities and the numerous overlapping construction processes. This article combines the actual construction management status of construction projects, and sorts out the existing pain points from four dimensions: technical management, on-site quality control, personnel organization, and institutional supervision. It analyzes the deep-seated causes from three aspects: subjective consciousness, objective construction conditions, and industry technical level. Research has pointed out that the technical disclosure in the early stage of the project is superficial, the control of hazardous engineering schemes is weak, the acceptance of raw materials is not strict, the professional ability of practitioners is insufficient, the quality system operation is virtual, and the application of intelligent supervision is lagging behind, which can easily lead to structural defects, leakage settlement, common quality problems, and safety hazards. Based on this, targeted optimization measures are proposed to strengthen the source control of construction technology, strictly adhere to process quality checkpoints throughout the entire process, improve personnel responsibility system and lifelong accountability system, perfect multi-party linkage supervision mode, promote BIM and information-based intelligent construction technology, etc., establish a full cycle quality management mechanism of pre prevention, in-process control, and post closed-loop traceability, standardize the technical behavior of the entire construction process, consolidate the quality responsibilities of all parties involved in the construction, effectively address common engineering quality problems, enhance the level of refined management of construction projects, and ensure the physical quality and long-term safe and stable operation of construction projects.

Keywords: construction engineering; construction technology; quality assurance; control measures

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

引言

建筑工程作为国民经济基础性行业，工程建设质量不仅关系建筑使用安全、使用寿命与民生福祉，更深刻影响行业健康可持续发展。随着城市化建设不断推进，建筑项目体量持续增大、施工工艺日趋复杂、多专业交叉作业愈发频繁，对施工技术规范化、质量全过程精细化管理提出更高要求。在实际工程项目建设中，图纸管理不严谨、工序管控不到位、人员素养参差不齐、制度体系不完善、监管效能不足等问题普遍存在，各类质量缺陷、安全隐患频发，严重制约工程建设品质。因此深入剖析建筑工程技术质量管理现存短板，深挖问题形成根源，制定科学可行、落地性强的管控优化策略，健全全流程闭环质量管控体系，运用数字化智能技术赋能现场管理，压实各方主体质量责任，对规范施工建设秩序、减少质量通病、防范安全风险、提升建筑工程整体建设质量具有重要现实意义。

一、建筑工程技术质量管理存在的问题

（一）技术管理层面的问题

建筑工程质量管理是一项系统工程，涉及建设单位、设计单位、施工单位、监理单位等多方主体。为确保工程质量，首要任务是构建完善的质量管理体系，明确各参建方的职责权限[1]。项目施工前期管理存在明显短板，图纸会审、各级技术交底工作走过场、流于表面，未能全面梳理排查图纸错漏、冲突及不合理问题，隐患前置管控失效[2]。施工专项方案编制敷衍粗糙，内容照搬套用、现场针对性与指导性不足，危大工程专项方案未按要求开展可行性、安全性论证，技术管控源头管控薄弱。新工艺、新技术、新材料现场应用管控不规范，核心技术参数管控不严、标准把握不准，分部分项工序衔接交底浅显笼统、内容不细致[3]。施工现场工程技术变更随意性较强，变更审批流程不规范、手续不闭环，相关影像、台账资料归档留存残缺不全。技术复核校验不严，隐蔽工程验收把关不严、核查不到位，关键工序、高危工序全过程技术管控缺位，全过程技术管理闭环缺失，直接引发施工尺寸偏差、工序错乱、实体质量通病及各类质量安全隐患。

（二）质量管控层面的问题

项目施工全流程动态管控存在诸多薄弱环节，全过程质量管控体系不够健全。事前风险研判不够精准，源头隐患前置防控力度不足，风险预判、超前防范措施不到位，无法从源头有效防范化解各类工程质量安全隐患[4]。施工常态化巡查管控不到位，现场日常巡检频次不足，质量巡查督查浮于表面、排查核查不细致、不深入，现场全过程动态管控实效不足，难以及时发现隐蔽性、苗头性质量问题[5]。事后隐患问题闭环管理不严不实，整改跟踪督办不到位、复查销号不严格，同类质量隐患反复出现、屡改屡犯。原材料质量管控存在明显漏洞，建材进场验收、见证取样、复试检测流程不规范，准入审核把关不严，管控流程宽松松散，造成不合格建材违规进场使用，直接埋下工程质量隐患。钢筋绑扎、混凝土浇筑、防水防渗施工等关键核心工序管控薄弱，工程常见质量通病常态化整治成效不明显，分部分项工程验收尺度偏松、验收核验走过场，实质性质量核验缺位。隐蔽工程验收程序不规范、流程管控不严，验收影像、台账资料归档不完整、不规范，工程质量全周期溯源追溯体系不完善[6]。同时施工现场成品保护措施不完善、管控不到位。各类管理漏洞相互叠加，极易诱发主体结构开裂、屋面厨卫渗漏、地基基础不均匀沉降等突出质量病害，大幅降低工程实体质量，严重威胁建筑结构安全与长期使用功能。

（三）组织与人员层面的问题

项目质量管理体系架构不完善，组织机构不够健全，各岗位权责边界划分模糊不清，普遍存在一岗多人、岗位职责交叉重叠、管理权责混乱等问题，质量管控体系难以高效运转[7]。现场施工管理人员综合专业素养不足，质量管控意识薄弱，施工全过程重进度、轻质量，片面追求工期节点，忽视工程实体质量管控要求。一线作业人员技术水平差异较大，劳务队伍人员流动性频繁，岗前技术交底、质量安全教育培训不到位、不全面，现场不按施工规范作业、野蛮施工、违章违规操作问题屡禁不止[8]。质量检查员、现场技术管理人员履职尽责不到位，施工全过程旁站监督、常态化巡回检查流于形式、管控宽松，全过程质量管控闭环失效，各项质量管控责任难以精准压实到个人，工程质量管控存在较多隐患。

（四）体系与监管层面的问题

当前企业质量管理制度体系建设不够健全，质量管理体系落地运行流于形式、实效不足，工程建设全流程标准化、规范化管控机制不完善，全过程质量闭环管理存在诸多薄弱环节[9]。企业内部常态化质量自查自纠不到位，质量隐患排查、跟踪整改、销号闭环机制不健全，日常质量主动管控意识不强、管控力度不足。绩效考核导向不够科学合理，考核权重过度倾斜施工进度与项目成本管控，工程质量相关考核指标占比较低、刚性约束不足，难以倒逼全员树立质量优先意识，无法有效压实各岗位质量管控责任[10]。行业外部质量监管效能有待提升，监理单位履职尽责不够到位，关键工序旁站监督、平行检验、巡检核查等常态化监管措施执行松散，全过程现场监督管控不严，外部约束与风险震慑作用不足。与此同时，项目质量信息化、智能化监管建设滞后，数字化智慧管控手段应用匮乏，建设、施工、监理多方主体协同联动不畅，质量数据共享不及时、信息互通不顺畅。各类不规范施工行为、隐蔽性质量风险难以快速识别、精准研判、超前预警，问题整改无法形成高效闭环，多重因素叠加之下，整体工程质量全过程管控质效偏低，工程实体质量安全难以得到长效稳固保障。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

二、提升建筑工程技术质量管理的对策

（一）强化技术管理基础，提升技术保障能力

严格执行图纸会审、分级技术交底管理制度，全面细化各类专项施工方案编制、审核及专家论证工作，紧密结合项目现场实际工况持续优化施工工艺流程，提升施工科学性与可行性。从严规范工程技术变更全流程管控，严守变更审批权限与流转程序，同步健全全过程技术资料归集整理，做到技术档案完整规范、闭环可溯。聚焦工程关键重难点工序及危险性较大分部分项工程，强化全过程技术管控力度，认真落实技术复核校验、样板先行引路制度，以标准化施工严控工序质量。大力推广节能环保新型建材、绿色文明施工及智慧智能建造技术，严格遵照流程开展新技术、新工艺落地应用，不断夯实施工现场技术保障基础，健全源头防控管控体系，从技术层面提前预判、有效防范各类质量安全风险，全面筑牢工程建设质量技术防线。

（二）严控施工全过程，把好质量核心关卡

全面构建事前预防、事中严控、事后复盘验收相结合的工程全周期质量管理体系，压紧压实各环节质量管控责任。严把原材料入场关口，严格执行进场核验、规范取样、见证送检全流程管理，坚决杜绝不合格建材流入施工现场，从源头筑牢工程质量防线。聚焦混凝土浇筑、钢筋施工、防水作业、墙面抹灰等核心关键工序，细化施工工艺标准，常态化开展质量通病专项整治，持续纠治各类不规范施工行为。严格落实隐蔽工程、分部分项工程分级验收制度，强化现场旁站监理、常态化巡回巡查，全过程紧盯施工关键节点。完善质量隐患排查、问题整改、复核销号闭环管理机制，强化工序衔接与成品全过程防护，健全施工全过程质量档案台账，实现工程质量全程可控、全程留痕、全程可追溯，全面提升工程实体质量与精细化管理水平。

（三）加强队伍建设，落实质量责任制

持续健全工程项目质量管理组织体系，进一步明晰各岗位职责边界，细化分级管控流程，层层压实工程质量终身责任，构建权责清晰、闭环管控、逐级落实的质量管控格局。常态化组织项目管理人员、专业技术人员及现场一线作业人员开展质量专项培训、安全警示教育与实操技能提升学习，全面强化全员质量管控意识、安全防范意识与专业作业能力。规范劳务用工与分包管理流程，稳固优质施工班组队伍，严格执行从业人员持证上岗、岗前核验制度，从源头规范现场作业行为。健全质量导向绩效考核机制，把工程实体质量、工序管控成效与薪酬分配、评优奖惩深度绑定，坚决纠治重施工进度、轻工程质量的片面倾向，倒逼各岗位主动履职尽责，全方位夯实项目全过程质量管理基础，持续提升工程整体建造品质。

（四）完善管理体系，创新监管手段

持续健全建筑企业标准化质量管理体系，进一步细化完善各项管理制度、施工技术规程与工程验收标准，压实全流程质量管控责任。构建施工单位自主自检、监理常态化巡检、行业专项督查相结合的多方协同联动监管模式，层层压实管控责任，实现全过程闭环质量管理。积极推广 BIM 信息化建模、施工现场智能监测、全过程视频溯源管控、数字化工程档案归集管理等智慧建造技术，以数字化赋能工程管理，持续提升工程建设精细化、智能化监管效能。不断完善工程质量奖惩考核与终身追责问责机制，严格规范监理单位履职尽责，常态化开展工程质量安全隐患排查整治与动态闭环整改。多措并举补齐管理短板、压实各方责任，着力构建长效规范、运转高效、全程可控的建筑工程质量常态化管控长效机制，全面筑牢建筑工程质量安全底线。

三、结束语

建筑工程技术质量管理是贯穿项目全生命周期的系统性核心工作，直接关乎工程安全使用、建筑使用寿命与行业高质量发展。当前建筑工程项目在技术管控、现场质量验收、人员管理、制度监管等方面仍存在诸多薄弱环节，受思想意识、市场环境、施工条件、技术水平多重因素影响，质量隐患依然较为突出。想要从根本上提升工程建设品质，就必须严把施工技术源头关口，规范图纸会审、方案论证、技术交底全流程工作，强化原材料与关键工序全过程管控，不断提升从业人员专业素养与责任意识，健全权责清晰、层层落实的质量终身责任制。同时持续完善质量管理体系，加强多方主体协同监管，积极运用 BIM、信息化智能监测等现代化建造技术，构建事前预防、事中严控、事后闭环追溯的长效管理机制。只有全方位补齐技术与管理短板，常态化整治工程质量通病，压实各参建单位质量主体责任，才能持续规范现场施工行为，有效规避各类质量安全风险，全面提升建筑工程精细化施工与质量管理水平，助力建筑行业安全、有序、高质量稳步发展。

参考文献

[1] 卞丛森，贾德方，张耀文 . 浅谈建筑工程技术管理需注意的几个问题 [J]. 漫科学（下旬刊），2025(4):112-114.

[2] 杨文 . 建筑工程施工质量标准化管理中的问题及解决对策 [J]. 中国标准化 ,2025(22):201-203.

[3] 王在晨 . 建筑工程 BIM 技术在施工质量管理中的创新应用 [J]. 价值工程 ,2025,44(23):80-82.

[4] 李伟，于龙波，武瑞菲，陈红娟 . 建筑工程质量管理中 BIM 技术的应用 [J]. 门窗 ,2025(23):205-207.

[5] 尹寿波 . 建筑工程质量管理存在的问题及对策分析 [J]. 陶瓷 ,2025(10):202-204.

[6] 王萌萌 . 建筑工程混凝土浇筑技术及质量管理措施 [J]. 四川建材 ,2025,51(1):143-145.

[7] 刘永强 .BIM 技术在装配式建筑工程中的应用及质量管理 [J]. 砖瓦 ,2025(4):115-117.

[8] 涂安邦 . 信息化技术在建筑工程质量监督管理中的应用 [J]. 城市开发 ,2025(18):13-15.

[9] 董杰 . 建筑工程中混凝土质量管理与施工技术优化分析 [J]. 新潮电子 ,2025(6):106-108.

[10] 张贝 .BIM 技术在装配式建筑工程质量管理中的应用 [J]. 产品可靠性报告 ,2025(7):84-85.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

铁路 TFDS 动态检测故障判别质量优化方法与改进路径研究

王岫平
国能铁路装备公司准格尔维修分公司，内蒙古 鄂尔多斯 010300

DOI:10.61369/ETQM.2026090030

摘　　要： TFDS 动态检测是铁路货车安全运行的重要保障，故障判别质量直接对行车安全产生影响。本文立足于一线检车岗位实践，对制约判别质量的核心因素展开分析，这些因素包含人员技能差异、不良作业习惯、视觉疲劳干扰培训协作不足。从夯实业务基础、固化标准流程、调节身心状态、强化人机协同、完善实战培训、严格执行风险自控、加强岗位联动以及开展案例复盘等方面，提出优化方法与持续改进路径，目的是降低漏判和误判的比率，提升动态检测作业质量。

关 键 词： 动态检测；判别质量；作业规范；闭环管控

Research on Optimization Methods and Improvement Paths for Fault Discrimination Quality in Railway TFDS Dynamic Inspection

Wang Xiuping
Guoneng Railway Equipment Co., Ltd., Zhunge'er Vehicle Maintenance Branch, Ordos , Inner Mongolia 010300

Abstract: TFDS dynamic inspection is an important guarantee for the safe operation of railway freight cars, and the quality of fault discrimination directly affects the safety of train operation. Based on the practical experience of the on-site inspection position, this paper analyzes the core factors that restrict the quality of discrimination. These factors include differences in personnel skills, bad working habits, visual fatigue, interference from training and collaboration deficiencies. From aspects such as consolidating business foundation, solidifying standard procedures, adjusting physical and mental states, strengthening human-machine collaboration, improving practical training, strictly implementing risk self-control, strengthening position collaboration, and conducting case review, this paper proposes optimization methods and continuous improvement paths. The aim is to reduce the rate of missed and incorrect judgments and improve the quality of dynamic inspection operations.

Keywords: dynamic inspection; discrimination quality; work specifications; closed-loop management

引言

TFDS 动态图像检测系统是实现铁路货车运行安全管控的关键设施，动态检车员的故障判别质量直接决定车辆隐患能不能被及时排除。当前，受人员技能差异、不良作业习惯、视觉疲劳、培训实效不足及岗位协作不顺畅等因素影响，漏判、误判问题仍然存在。本文立足于一线检车实践，对制约判别质量的核心因素进行分析，从夯实业务基础、规范作业流程、优化身心状态、完善培训考核、强化风险自控以及加强岗位联动等方面，提出优化方法和改进路径，目的是提升动态检测作业的质量，保障铁路货运安全且畅通。

一、制约 TFDS 动态检测故障判别质量的核心因素

（一）作业人员技能差异与不良作业习惯

动态检车岗位的作业人员，他们的业务能力呈现出参差不齐的状况，对于货车的构造以及新型车辆那些异形的配件，他们在掌握程度方面存在着明显的差距。部分人员在面对侧架细微裂纹、弹簧轻微折损、紧固件微松动等隐蔽故障时，辨识能力较弱，很容易把正常的部件错误地判断成故障，或者因为秉持经验主义而脱离了现行的标准，从而造成了漏判的情况。与此同时，不良的作业习惯普遍地存在着，没有严格地去遵循标准化的检视路线，跳图、漏看部位等这样的现象时常会发生[1]。在车流高峰时段，部分人员片面追求检车速度，简化检查步骤，对边角及遮挡位置仅粗略查看，未放大核验疑点，导致原本能够发现的故障被遗漏掉了，直接就形成了检查的盲区，给车辆运行的安全埋下了

作者简介：王岫平（1976-），男，汉族，陕西省神木市人，学历：本科，职称：货车动态检车员，研究方向：货车五 T 系统（TFDS 货车轨旁图像动态检测系统应用与检测）。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

隐患。

（二）视觉疲劳与身心状态对判别精度的干扰

动态检车作业属于高强度视觉劳动，每个班次连续数小时注视电子屏幕，眼部神经长时间处于紧张状态，视力的敏感度逐渐地降低，注意力很难稳定地维持住。在夜班时段，人体的生理机能处于疲惫期，再加上车流不均衡所带来的作业节奏的起伏，进一步加剧了精神的消耗。 在疲劳状态下，作业人员对于侧架的细微裂纹、弹簧的折损、紧固件的微松动等隐蔽故障的敏感度明显下降，反应速度变得迟缓，判断力被削弱，故障判别准确率也随之降低[2]。 同时，当班期间，如果存在思想松懈、情绪波动等身心状态不稳定的情形，很容易出现注意力分散、标准执行走样等方面的问题。视觉疲劳和身心状态相互提升叠加起来，成为了引发漏判、误判的重要的诱因，直接制约着判别质量稳定。

（三）培训实效不足及岗位协作衔接不畅

班组日常业务培训偏重条文学习，实景故障图像辨识、限时判故等实操训练占比较低，培训的内容和现场作业的实际结合得不够紧密，导致人员在面对隐蔽故障的时候判别能力提升得比较缓慢。出现漏判、误判之后，往往只是停留在问题的表面，没有深入地去分析个人看图的习惯、标准掌握的程度以及操作方法上的根源，同类的差错反复地发生。与此同时，动态检车岗位和现场检修岗位之间的协作衔接存在着明显的短板，故障信息传递的时候车型车号标注得不清楚、故障位置描述得很模糊，现场人员复核起来很困难，处置的效率受到了制约。岗位之间缺乏有效的信息反馈的闭环，线上判定的隐患不能够及时在线下得到准确的核实与消除，直接影响到故障闭环管控的质量[3]。

二、提升故障判别质量的关键优化方法

（一）夯实业务基础与固化标准作业流程

提高故障判别质量，首先要求作业人员切实掌握业务基础。在日常的工作当中，应该主动地去加强对于《铁路货车运用维修规程》以及动态检测作业标准方面的学习，要牢牢记住各类车型配件的正常形态以及故障判定的界限。与此同时，需反复研读典型故障图像，对比正常与异常状态的细节差异，总结裂纹、折断、磨耗等故障的共同特征，持续不断地缩小判别方面的误差[4]。在技能提升的基础之上，必须要统一去执行标准化的检视流程，固定转向架、制动、钩缓、底架等部位的看图的轨迹，按照先整体然后局部、先关键然后次要的顺序一项一项地进行检查，杜绝跳图、漏检以及粗略查看等行为。当发现图像出现异常的时候，应该放大多个角度去进行确认，排除污渍、阴影的干扰之后再作出结论。从接车一直到交班的每一个环节都不要简化工序，用标准的作业来堵住安全方面的漏洞[5]。

（二）科学调节身心状态及强化人机协同作业

针对视觉疲劳及身心状态对判别精度的干扰，班组应合理优化排班方式，避免作业人员超时长地连续在岗，均衡各个班次车流的压力。个人需要养成健康的作业习惯，利用列车通过的间隙短暂地放松眼部、调整精神状态，不管是白班还是夜班，或者车流繁忙与否，始终要保持同样严谨的态度，不要以疲惫作为理由降低检查的标准。平衡作业的速度和精度，做到忙但是不混乱、快但是不漏掉。与此同时，应该主动地去适应智能检测作业的模式，熟练地掌握终端各项操作的功能，快速地筛选系统自动推送的预警信息，精准地去区分真实的故障和污渍、反光造成的虚假报警。遇到图像模糊、部件遮挡或者画面缺失等无法判定的情形，按照规定做好标记并且上报，不要主观地去臆断然后强行得出结论。每个班次上岗之前检查设备运行的状态，发现图像异常、网络卡顿等问题及时报修，保障系统稳定地运行，为人机协同精准地研判提供基础的支撑[6]。

（三）完善班组实战化培训与考核机制

班组培训应该改变单一的理论授课模式，增加故障图像辨识、限时判故、易错题库考核等实战化练兵的比重，让培训内容贴近现场作业的实际情况。定期召开故障分析研判会，针对班组内出现的漏判、误判案例，集体剖析个人看图习惯、标准掌握程度及操作方法上的根源，分享规避的经验，防止同类差错反复地发生。督促员工建立个人的错题笔记，梳理自身高频失误的故障类型，定期回顾巩固，逐步消除判别方面的盲区。班组内部常态化地开展经验交流，由技术骨干传授隐蔽故障识别的技巧，带动全体人员业务能力均衡地提升。同时完善配套的考核机制，把实战练兵的成绩、故障判别准确率纳入岗位评价，形成以考促进学习、以学习促进工作的良性循环，从根本上提高整体作业的水平[7]。

三、实现持续改进的实践路径

（一）严格岗位安全风险自控与互控

动态检车人员必须牢固树立“安全第一、预防为主”的思想，要把对风险进行自我控制的行为贯穿在整个作业的全部过程之中。在上岗之前要主动地去评估自身的身体和心理状态，在当班的期间要坚守住自己的岗位，坚决杜绝出现玩手机、进行闲谈、分散注意力走神等这些行为，要把精力集中起来去开展对图像进行检测的工作。要重点地去强化对走行部、制动装置等属于高危的部件进行排查，对于疑似存在故障的情况要严格地去核查、不轻易地放过。同时落实岗位互控机制，同班组人员相互监督作业标准执行情况，当发现其他人员存在疲劳进行作业、简化作业流程、漏看作业部位等问题的时候要及时地提醒并纠正。班组长应该加强在现场进行巡查的工作，对于关键的时段、重点的人员要实施重点的盯控，当发现有安全方面的苗头的时候要立即叫停并进行整改。通过把自我控制和相互控制有机地结合起来，要把安全方面的责任分解到每一个作业的环节，形成每一个人都有责任、相互促进的防控方面的格局，切实地降低因为人为出现失误而引发的行车安全方面的风险[8]。

（二）加强跨岗位联劳协作与闭环管控

动态检车岗位与调度、现场检车、车辆检修之间的协作效率，直接影响故障处置的及时性与准确性。在上报故障的时候，必须要清晰地标注出车型车号、故障具体的位置、故障的类型以

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

及危险的等级，要确保信息是直观并且准确的，以便于现场的人员能够快速地定位并进行复核。在接到故障信息之后，调度应该及时地协调现场检车的人员登车去核查，检修部门要同步做好处置的准备，形成发现、上报、核查、处置、录入这样完整的链条。在故障处置完毕之后，动态检车员应该主动地核对反馈的结果，确认处置是否到位，避免因为信息中断而造成隐患残留。在日常的工作当中，可以通过建立联劳协作会议的机制，定期地去梳理信息传递当中存在的模糊表述、责任交叉等问题，统一故障描述的规范和复核的标准，逐步地提升岗位之间沟通的默契程度[9]。通过强化跨岗位的联动，让线上检测发现的隐患能够在第一时间在线下精准地消除，切实地发挥出动态检测的安全防护方面的作用。

（三）常态化案例复盘与个人技能提升

班组应定期组织典型故障案例复盘工作，选取近期发生的漏判、误判的实例，从图像的特征、判别依据、操作环节等方面一项一项地去剖析，明确问题的根源并且形成防范的要点，避免同类的差错重复出现。在个人的层面需要建立错题的笔记，系统地去梳理自身高频出现失误的故障类型，对照标准的图像反复地进行比对，强化薄弱环节的识别能力。利用工余的时间，主动地去研读典型故障的图集与事故的通报，把案例当中的隐蔽特征和日常看图的实践结合起来，逐步地丰富故障识别的经验。班组的内部可以设立技能提升的档案，记录每一名人员的案例学习的进展和考核的成绩，定期地开展一对一的帮教工作，由技术骨干针对薄弱的人员进行重点的辅导[10]。通过把案例复盘和个人技能提升有机地结合起来，推动从被动地纠错向主动地预防转变，让每一起案例都能够转化为业务能力增长的阶梯，持续地提高全体人员故障判别方面的水平。

结论：综上所述，TFDS 动态检测故障判别质量受到人员技能、作业习惯、身心状态、培训协作等多种因素的制约。通过把业务基础夯实、将标准流程固化、科学地对身心进行调节、对人机协同予以强化、将实战培训完善、对风险自控严格执行、加强岗位之间的联动以及常态化地进行案例复盘，能够系统地降低漏判和误判的比率。实践证明，上述方法以及路径能够对作业行为进行规范，提升判别精准度，筑牢铁路货车运行安全的防线。动态检车人员应该持续对标找差，把优化措施融入到日常工作中，切实保障铁路货运安全且畅通。

参考文献

[1] 王朝兵，王劲博，张龙，刘家阳，胡俊锋 . 铁路客车轮对轴承故障诊断实验系统的研制与应用 [J]. 实验室研究与探索 ,2024,3(4):113-116.

[2] 侯月彬 . 铁路信号设备故障诊断与维护优化研究 [J]. 今日制造与升级 ,2022,1(1):12-15.

[3] 张宇立 . 铁路内燃机车操纵与运行故障检测诊断技术研究 [J]. 内燃机与配件 ,2022,1(2):23-26.

[4] 部雪荣 . 铁路货车轮对在线综合检测系统的研究 [J]. 机车车辆工艺 ,2022,1(3):34-37.

[5] 芦建斌 . 铁路光传送网故障定位与检测技术 [J]. 大众标准化 ,2023,2(1):45-48.

[6] 徐征，蒋廷泽，晋科，赵轶，张学诚 . 铁路信号电缆高阻故障频域检测的阻抗匹配优化方法 [J]. 重庆大学学报 ,2023,2(2):56-59.

[7] 张浩，武鹏，伍田昊睿，许加龙，王克强 . 高速铁路无线闭塞中心智能运维诊断系统研究及应用 [J]. 中国铁路 ,2023,2(3):67-70.

[8] 张琦 .DZD 系列铁路信号点灯单元报警系统常见故障诊断 [J]. 机电信息 ,2024,3(1):78-81.

[9] 卞建鹏，郝嘉星，闾程 . 基于 CB-Caps 与 YOLOv8的铁路接触网绝缘子故障识别 [J]. 电瓷避雷器 ,2024,3(2):89-92.

[10] 房宏志，高善兵，付长泰，周广钦，尹继承 . 基于贝叶斯网络的铁路货车空气制动故障智能诊断方法研究与应用 [J]. 高速铁路新材料 ,2024,3(3):101-104.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

房屋建筑工程质量管理现状及对策分析

姚思政
广东飞腾工程咨询有限公司，广东 广州 510000
DOI:10.61369/ETQM.2026090036

摘　　要： 房建质量管理存在不少短板。监管力度不足，各方责任观念淡薄。建材管理存在漏洞，施工工艺落实不到位。行业准入门槛偏低。防水、结构、装饰分项常出现质量通病，拉低工程整体品质。优化方案需完善监管机制，落实各方责任。全程管控建材，细化施工标准，收紧准入要求。利用 BIM 与信息化完成验收溯源，实现动态管控。制度搭配新技术，可有效提高管理能力。

关 键 词： 房屋建筑；工程质量管理；质量通病；对策分析；质量监督

Analysis of the Current Situation and Countermeasures of Quality Management in Building Construction Projects

Yao Sizheng
Guangdong Feiteng Engineering Consulting Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: There are many shortcomings in the quality management of building construction. Insufficient supervision and weak sense of responsibility among all parties. There are loopholes in building materials management and inadequate implementation of construction techniques. The industry entry threshold is relatively low. Waterproof, structural, and decorative sub items often have common quality problems, which lower the overall quality of the project. The optimization plan needs to improve the regulatory mechanism and implement the responsibilities of all parties. Fully control building materials, refine construction standards, and tighten access requirements. Using BIM and information technology to complete acceptance traceability and achieve dynamic control. The combination of systems and new technologies can effectively improve management capabilities.

Keywords: building construction; engineering quality management; common quality issues; countermeasure analysis; quality supervision

引言

房屋建筑质量关系民众生命财产安全、居住舒适度，同时影响建筑行业长效发展。近年来城镇化推进、建筑体量扩张，工程整体质量稳步上涨。但质量通病多发、主体责任悬空、建材管控疏漏问题依旧突出，阻碍质量提质升级。要找准管理薄弱环节，探寻务实的改进办法。依托体制、责任、建材、工艺、准入五大角度剖析，能够明晰问题本源。也为补齐质量管理体系提供实操参考。

一、质量管理存在的主要问题

（一）管理体制不完善，监督效能有待提升

我国现行的建设工程质量管理体制是在旧体制基础上逐步改革完善形成的，客观上仍带有一定的计划经济体制烙印，政企不分、政出多门的状况在部分地区和领域依然存在。现行的工程质量监督体系在层级设置上存在职责边界不够清晰的问题，中央与地方、不同主管部门之间的责任分工有时不够明确，容易出现监督真空或重复监督并存的现象。部分地方的质量监督机构编制偏紧，监督力量配置不足，难以对辖区内的在建工程实现全覆盖、高频次的监督检查。有资料显示，部分地区的工程质量监督人员人均监督面积已超出合理负荷，影响了监督检查的深度和实效。此外，部分地方政府过度强调经济发展，对工程建设领域的违法违规行为执法不力，地方保护主义和部门保护主义在一定程度上削弱了质量监督的权威性和公正性。

（二）参建各方质量意识淡薄

部分施工企业的质量管理体系流于形式，质量管理制度文本健全但执行落实不到位，质量检查记录存在代签、补签等不规范行为。个别施工企业片面追求经济效益，在投标阶段以低价中标后，为弥补利润损失而偷工减料、以次充好，将不合格的建筑材料或构配件使用到工程实体中。施工技术人员的法律意识和质量意识薄弱是另一个突出问题，违反工程建设强制性标准、不按施工图施工、不按正确施工顺序作业等违规行为时有发生。建设单位的质量首要责任落实不到位，部分建设单位在施工过程中随意

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

变更设计功能、压缩合理工期、压低工程价款，给施工单位的质量管理造成被动局面。监理单位在市场恶性竞争的压力下，监理取费水平普遍偏低，导致高素质监理人才流失严重，部分监理人员对现场质量问题的识别和处置能力不足，监理作用未能充分发挥。

（三）建筑材料质量控制不严

建筑材料是工程实体的物质基础，材料质量的优劣直接决定工程质量的最终表现。从行业实践来看，建筑材料质量控制的主要问题集中在以下方面：一是部分进场材料未按要求进行复检即投入使用，一些施工企业为节省检测费用或加快施工进度，存在侥幸心理，跳过材料复检程序直接用于工程实体；二是部分供应商提供的材料质量证明文件与实际材料不符，存在伪造出厂合格证和质量检测报告的行为；三是新型建筑材料和应用技术的技术标准和施工工艺尚未成熟稳定，施工单位对其性能特点和质量控制要点掌握不足，容易出现应用不当导致的工程质量问题；四是施工现场的材料存储和保管条件不符合要求，防水、防潮、防锈措施不到位，造成部分材料在使用前已发生性能退化。在房屋建筑工程中，常见的因材料质量问题引发的质量缺陷包括：水压不足导致供水不畅、电线截面偏小引发过载发热、门窗密封性差造成漏风漏雨、保温隔热性能不达标等[1]。

（四）施工工艺执行不规范，质量通病反复发生

施工工艺是保证工程质量的核心要素，工艺执行不到位是引发质量通病的直接原因。在地基与基础工程方面，部分项目为减少土方开挖量，不采取基坑支护措施而直接进行直壁开挖，导致基坑边坡失稳坍塌；基坑暴晒时间过长、排水措施不当等问题也较为常见，因地基不均匀沉降引发的墙体开裂和管道堵塞现象屡见不鲜。在主体结构工程方面，模板工程中木模板周转次数过多导致拼接不严、变形过大；梁板模板支撑间距过大或刚度不足引发梁底下挠；脱模时间过早或模板清理不净造成粘模和蜂窝麻面；钢筋工程中梁侧模拼装不严导致梁棱角漏筋和夹渣。在建筑防水工程方面，屋面渗漏、卫生间和厨房防水失效是困扰行业的顽疾，卫生间给水管暗敷部位的渗漏问题尤其突出。在建筑装饰装修工程方面，水泥地面空鼓、墙体开裂和起皮起砂、门窗缝隙大关不严、下水道排水不畅、厕浴间地面倒坡积水等常见质量缺陷，在大量项目中反复出现。

（五）市场准入把关不严

市场准入制度是保障工程质量的重要关口，但当前建筑市场的准入把关存在明显漏洞。部分地区存在施工企业资质挂靠和借证卖照的现象，具有相应资质等级的企业实际上并不具备与其资质相匹配的管理能力、技术力量和装备水平，形成「高资质低能力」的不正常局面。无施工许可证擅自开工、超越资质规定范围承包、私下交易逃避市场管理等违规行为在部分地区依然存在。部分项目的项目经理和技术负责人存在挂名不到岗或到岗不履职的问题，关键岗位人员的变更较为随意，工程质量管理的连续性和专业性难以保障。劳务分包市场中，大量农民工缺乏系统的技术培训，操作技能参差不齐，部分新入职施工人员对施工规范和质量标准的理解不深，在施工操作中容易出现偏差。这些市场准入方面的问题，从源头上削弱了工程质量管控的基础能力[2]。

二、改进对策

（一）完善工程质量管理体制机制

提升房屋建筑工程质量管理水平，首先要在体制机制层面进行优化重构。各级住房城乡建设主管部门应进一步厘清工程质量监督的职责边界，明确中央与地方、不同层级监督机构之间的责任分工，形成上下联动、协同高效的质量监督工作格局。加快推进工程质量保险制度，将保险的风险防控机制引入质量管理过程，通过保险公司的第三方风险评估和过程管控弥补政府监督的局限性。借鉴南通市等地区的实践经验，持续推进工程质量监督信息平台建设，利用信息化手段实现对在建工程质量的动态监管和风险预警，提高监督效率和精准度。建立工程质量投诉处理机制，畅通住户和公众的质量投诉渠道，将社会监督作为政府监督的有效补充。对于发生重大质量事故的项目，必须依法追究相关责任单位和责任人的法律责任，形成强有力的震慑效应。

（二）强化参建各方质量责任落实

参建各方质量责任的落实是工程质量管理的根本保障。建设单位作为工程建设的组织者和管理者，应切实承担起质量首要责任，严格履行基本建设程序，不得以任何理由压缩合理工期或降低合理工程价款，为施工单位的质量管理创造必要条件。施工单位应健全质量管理体系，完善质量管理制度，确保质量管理体系的有效运行，重点加强项目部的质量管控能力建设，配齐配强专职质量管理人员，严格执行「三检制」（自检、互检、交接检）和隐蔽工程验收制度。监理单位应按照合同约定切实履行监理职责，确保监理人员到岗履职，对关键工序和重要节点实施旁站监理，对进场材料和构配件的质量证明文件进行严格核查。行业主管部门应加强对参建各方质量行为和工程实体的「“双随机、一公开”」监督检查，对发现的质量违规行为依法严肃查处，并将检查结果纳入企业信用档案，与企业的资质管理和招投标活动挂钩[3]。

（三）严格建筑材料质量管控

建筑材料质量控制应贯穿采购、进场、存储和使用的全过程。在采购环节，施工单位应建立合格供应商名录，优先选用质量稳定、信誉良好的材料供应商，严禁采购和使用国家明令淘汰的建筑材料。进入施工现场的材料和构配件必须按批次进行质量验收，核查质量证明文件的真实性，并按规范要求的比例进行见证取样送检，检测合格后方可投入使用。涉及结构安全和重要使用功能的进场材料，必须在法定检测机构进行型式检验或专项检测，不得以任何理由跳过检测程序。施工现场应按材料性能和存储要求设置专用的材料库房或堆场，做好防水、防潮、防火、防锈蚀等措施，确保材料在存储期间性能不发生劣化。对于新型建筑材料，施工单位应在使用前充分了解其技术性能和施工工艺要求，必要时进行工艺试验和样板引路，确认质量可靠后方可大面积推广应用。

（四）规范施工工艺，强化质量通病治理

规范施工工艺是治理质量通病的核心路径。施工单位应严格

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

按照经审查合格的施工图进行施工，不得擅自变更设计内容和施工做法，因工程需要确需变更的应按规定程序办理设计变更手续。关键工序和重要部位的施工必须编制专项施工方案，经审批后严格执行，地基与基础工程、深基坑工程、高大模板工程等危险性较大的分部分项工程应组织专家论证。防水工程是质量通病治理的重点领域，屋面防水、地下室防水、厕浴间防水等部位应严格按规范要求进行多道设防，防水层施工完成后必须进行蓄水或淋水试验，确认无渗漏后方可进行下一道工序。混凝土结构工程应严格控制混凝土配合比、坍落度和浇筑质量，模板支撑体系应经过专项设计计算，脱模强度应满足规范要求。推广样板引路制度，在大面积施工前先完成工序样板和质量样板的制作，经各方验收确认工艺要点后再全面展开施工。建筑门窗工程应重点控制框体安装精度和密封胶施工质量，确保门窗的气密性和水密性满足设计要求[4]。

（五）提升市场准入门槛和人员素质

严格市场准入是保障工程质量的前端控制手段。行业主管部门应进一步完善建筑业企业资质管理制度，建立资质动态核查机制，对企业取得资质后的实际能力条件进行定期抽查，对不再具备相应资质条件的企业依法予以降级或撤销资质。加大对挂靠、借证卖照、超越资质范围承包等违法违规行为的查处力度，对情节严重的依法清出建筑市场。完善项目经理和技术负责人的执业资格管理和到岗履职考核制度，利用实名制考勤和生物识别等技术手段强化对关键岗位人员到岗情况的监管，对长期不到岗或履职不到位的予以严肃处理。大力推进建筑工人职业技能培训体系建设，将技能培训与职业技能鉴定相结合，提高一线操作工人的技术素质和质量意识。鼓励大型施工企业建立企业技能实训基地，开展师徒帮带和岗位练兵活动，逐步提升劳务队伍的整体技术水平。

三、BIM 与信息化技术在质量管理中的应用

建筑信息模型（BIM）技术和建筑工程信息化管理为质量管理效能的提升提供了新的技术路径。在施工图设计阶段，利用 BIM 模型对建筑、结构、设备各专业进行碰撞检测，可提前识别管线与结构之间的空间冲突，避免施工阶段因设计变更造成的返工和质量隐患。在施工阶段，基于 BIM 模型的进度管理和质量管理模块可实现施工过程的精细化管理，关键工序的质量验收节点与模型关联，质量问题可实现在线记录、跟踪和闭环处理。在竣工验收阶段，BIM 模型可作为工程竣工资料的重要组成部分，集成设计变更、施工记录、材料检测报告等全部工程档案信息，为运营维护阶段的工程质量追溯提供数据支撑。全国工程质量安全监管信息平台的推广应用，为实现全国工程质量监管数据的互联互通和共享共用创造了条件，监管部门可利用大数据分析技术识别不同区域、不同类型工程的质量风险分布规律，实施差异化的重点监管，提高质量监督的针对性和有效性[5]。

结束语：建筑项目质量管控牵扯多个参与方，覆盖全部施工阶段。管理机制、主体职责、建材把控、施工工序、入行标准均存在缺陷，各类施工弊病未能完全消除。优化工作要完善管控规章，强化各方职责与落地能力。BIM 数字化工具支撑质量管控，方便全流程追踪管理。管理制度搭配新型技术同步落地，让质量管控从事后整改转为事前预防。各单位履行自身职责，从严把控各环节，稳固质量保障基础，促进行业稳步发展，满足民众安稳居住的需求。

参考文献

[1] 乔绍财 . 浅谈房屋建筑工程施工质量管理现状及优化对策 [J]. 建材与装饰 ,2023,19(15):78-80.

[2] 薛雅馨 . 分析房屋建筑工程的施工质量管理中存在的问题及对策 [J]. 建筑・建材・装饰 ,2023(1):55-57.

[3] 郑溪 , 王志峰 , 康小燕 , 等 . 房屋建筑施工质量管理现状及对策探讨 [J]. 中国建筑装饰装修 ,2024(9):165-167.

[4] 胡石 . 房屋建筑施工质量监督管理现状及提升对策探究 [J]. 中国住宅设施 ,2022(1):79-81.

[5] 廖超 , 廖爽 . 研究房屋建筑工程施工管理与质量控制 [J]. 砖瓦世界 ,2024(19):223-225.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

外墙真石漆质量控制措施浅谈

刘铭，郑大勇，王洵，李智
中国一冶集团有限公司，湖北 武汉 430081

DOI:10.61369/ETQM.2026090037

摘　　要： 外墙真石是一种兼具仿石装饰效果与环保耐久性能的新型建筑外墙涂料，凭借质感逼真、性价比高、自重轻、安全性强等优势已成为我国建筑外墙装饰的主流材料之一。本文将结合外墙真石漆应用现状，现阶段材料品质问题、后期质量通病，结合施工现场实践经验，拆解外墙真石漆标准化施工流程。以求对相关从业人员提供一定的参考。

关 键 词： 外墙真石漆；质量控制

A Brief Discussion on Quality Control Measures for Exterior Wall Genuine Stone Paint

Liu Ming, Zheng Dayong, Wang Xun, Li Zhi
China First Metallurgical Group Co.,Ltd., Wuhan, Hubei 430081

Abstract: Exterior wall real stone is a new type of building exterior wall coating that combines the effect of imitation stone decoration with environmental durability. With its advantages of realistic texture, high cost-effectiveness, light weight, and strong safety, it has become one of the mainstream materials for building exterior wall decoration in China. This article will combine the current application status of exterior wall real stone paint, material quality issues at the current stage, common quality problems in the later stage, and practical experience on the construction site to dismantle the standardized construction process of exterior wall real stone paint. In order to provide some reference for relevant practitioners.

Keywords: exterior wall real stone paint; quality control

引言

随着我国城镇化建设的快速推进，外墙装饰材料也在不断推陈出新。外墙装饰施工逐步放弃传统瓷砖、石材、乳胶漆等材料，向着轻量、环保、美观、耐久等方向升级。

相比于外墙真石漆，天然石材存在自重过大、造价高昂、易脱落伤人、资源消耗量大等诸多弊端，而普通外墙乳胶漆质感单一、耐候性差。相对而言外墙真石漆具备自重轻、安全性高、绿色环保、造价适中、适配性强等优势，完美契合现代建筑外墙装饰的发展需求。

目前真石漆已广泛应用于高层住宅、体育场馆、学校、医院、老旧小区翻新等建筑工程中。但仍存在施工工艺不规范、质量管控不完善、真石漆原材料质量参差不齐等问题，导致出现起皮、开裂、发花、褪色等质量缺陷，严重影响建筑外立面美观度与耐久性。因此规范现场施工工艺，加强全过程质量管控，对提高外墙施工品质有着重要意义。

一、真石漆材料

外墙真石漆是以天然砂石、高分子合成乳液、添加剂为主原料配制而成，固化后可呈现出花岗岩、大理石的装饰效果。在国家绿色建筑政策引导与行业标准不断完善的背景下，真石漆行业正在告别低价竞争模式，向着品质、环保、标准化方向转型。目前真石漆原料中纯丙、硅丙乳液成为主流原料，产品耐候性、耐久性好。

为了保证真石漆涂层的整体性和装饰效果，真石漆施工从工艺上主要分为封闭底漆、真石漆中层和罩面涂料。

真石漆的中层为外墙质量主要决定因素，目前主流方案为天然彩砂和丙烯酸树脂乳液体系，其主要材料包含：彩砂，选用天然石英砂或大理石碎粒（粒径0.1-3mm），硬度达莫氏6级以上，耐候性优于染色砂。房建常用的乳液主要采用纯丙乳液（耐紫外线）或硅丙乳液（透气性更优）。

外墙真石漆耐候、防水、附着力主要由粘接乳液决定，粘结乳液主要包含四种类别：

（1）纯丙烯酸乳液，性价比高（约25-45元/kg），但耐污性较弱适用于普通住宅；户外外墙首选，耐紫外线、抗老化、耐雨水冲刷，质保8－15年；

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（2）苯丙乳液，成本相对低，但是耐候差，易粉化、老化发黄，主要用于临时工程，部分内墙；

（3）硅丙乳液，成本相对高，通常价格为50-80元/kg，疏水抗污、自清洁，高端楼盘、别墅专用；

（4）氟碳改性，有超耐候的特点，能达到20年不褪色，但是施工难度大，适用于海滨，酸雨地区。

二、施工工艺

（一）施工工艺流程

外墙真石漆施工需精细化操作、严格管控，避免出现泛白、空鼓脱落、色差等问题，确保施工质量达到设计要求。

施工第一步进行基层处理，清理墙面浮灰、混凝土颗粒，确保基面洁净平整。待基层清理完成后，批刮找平腻子，调整外墙平整度，为后续施工做好准备。随后喷涂封闭底漆，提升界面附着力，为真石漆施工提供可靠基底。

接着开展分色处理，弹设分色线并粘贴分色胶带，保证色彩分界线清晰顺直。分色完成后喷涂真石漆，先喷涂基础色，再喷涂点缀色，完工后撕除分色胶带，使涂层边界整洁美观。

最后喷涂罩面漆，优化饰面外观并保护内部涂层。

（二）基层要求

外墙基层平整度应满足国家相关标准，采用2m靠尺检测，误差控制在±4mm范围内。施工前检查墙体结构稳固性，排查墙面起砂、裂缝、疏松、鼓胀等缺陷。同时检测墙体含水率与酸碱度，墙体表层下2cm处含水率≤10%、pH值≤9。墙体潮湿时需充分干燥，抹灰完成后养护周期不少于28d。酸碱度超标可采用草酸中和处理。墙面表面应当清理干净，去除浮灰、泥土、砂浆结块、泛碱、脱模剂、油污等各类杂质。

墙面不符合要求的应该进行修补，阳角方正达不到要求的，采用2米靠尺进行修补，大阳角垂直度采用上下拉线维修，保证顺直。阴角采用弹线的方法进行修补。对起鼓的部位，敲掉后用同质材料进行修补，并加网布搭接。对于偏差较小得不平整部位用腻子修补墙面坑洼处，对于偏差较大的部位，应用相同质材料修补，加网搭接。

（三）腻子找平施工

根据墙体基面实际平整度，采用刮板开展砂浆批刮找平作业，施工采用横竖交叉同步批刮的方式，统一墙面找平效果，修正基面高低偏差。

墙面找平完成后，需要进行质量检查，使用靠尺对阴阳角进行横竖全方位检测，排查垂直度、平直度偏差，对不合格部位弹墨线标记。再用腻子对偏差位置精细修刮找平，确保满足验收要求。

待腻子层达到合适干燥状态后，及时进行砂磨作业，避免腻子完全干透硬化后大幅增加打磨难度，造成人力、物料浪费。打磨需全面细致，彻底处理墙面粗糙凸起、接痕、凹凸不平等瑕疵，保证基面平整细腻，杜绝基层缺陷影响真石漆面层的平整度和整体装饰质感。

腻子施工完成后需及时洒水养护，每次养护需充分润湿整个腻子面层，保障腻子层充分水化固化，有效提升面层密实度、强度与耐水性，预防后期开裂、起粉、脱层等质量问题，为真石漆施工筑牢坚实稳定的基层。

（四）涂刷抗碱封固底漆

封闭底漆可结合装饰效果及灰缝配色需求选用适配颜色，施工时严禁在高温暴晒、阴雨、高湿、5℃以下低温及大风等恶劣环境作业，同时不可与其他涂料混合使用，避免改变底漆原有性能。底漆采用滚涂工艺施工，全程保持用力均匀、速度平稳，滚涂次数一致，确保漆膜厚薄均匀、覆盖完整。需待底漆完全干固后，方可开展后续工序，完工后的腻子基面应被底漆全面覆盖，无漏刷、接茬、接痕及发花等缺陷。

底漆施工完成后，按照设计要求进行墙面弹线分格作业，分格遵循自上而下、整体统一的原则施工，保证墙体四周灰缝处于同一水平线。分格胶带粘贴先贴直线、后贴横线，严控竖向灰缝平行垂直、横向灰缝平整顺直，确保整体分格规整美观、线条标准统一。

（五）喷涂真石漆

开展真石漆喷涂作业前，需充分搅拌涂料并装入专用喷枪。喷涂作业遵循自上而下、由左至右的施工次序，杜绝漏喷现象；施工采取先快速薄喷打底，再匀速平稳复喷成型的方式。施工配套专用真石漆喷枪，喷涂气压设定为4 ~ 7kg/cm²，现场环境温度需高于10℃，成型涂层厚度控制在1.5 ~ 2mm，喷嘴与墙体基面间距维持400 ~ 800mm。涂料分两道喷涂施工，两道工序间隔2小时，待涂层充分干燥24h后方可开展打磨工序。多喷枪同步作业时，需统一喷嘴规格，优先采用先横向、后竖向的十字交叉喷涂工艺，相邻喷幅搭接宽度设置为5cm，保障面层砂粒分布均匀。

喷涂真石漆必须等抗碱底漆干透后才能进行。搅拌真石漆时应尽量不加水。风力超过四级时应该停止真石漆喷涂施工。为防止墙面发花，喷枪开关起始时避开墙面，喷涂速度应该均匀，相邻喷幅搭接1/3宽度。多种颜色真石漆不能混在一起喷涂，要分开逐道施工。

墙面质感和喷嘴大小、喷枪距离相关：φ6 ~ φ8喷嘴、拉大枪距，砂点更大，立体感更强；φ3 ~ φ6喷嘴、缩小枪距，砂点细小，墙面更加平整。

涂刷防水保护膜之前，用400 ~ 600目砂纸轻轻打磨干透的真石漆表面，清理浮砂和尖锐砂粒，既提升外观效果，也便于保护膜附着。打磨力度不能过大，不然容易破坏涂层，造成真石漆脱落。

（六）喷涂罩光面漆

要在天然真石漆完全干透后才能进行喷涂罩光面漆防水保护膜施工。选用下壶喷枪，压力4 ~ 7kg/平方厘米。施工温度不低于10℃，喷涂两遍，间隔2h，完全干燥需7d。

三、质量控制

施工结束后要做好质量检查验收工作，查看涂层粘结情况与

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

喷涂均匀度，不能出现漏喷、流挂等缺陷。严格落实基层处理、批刮腻子、底漆与真石漆喷涂各道工序。成型后的真石漆需纹理自然、质感细腻，分色线条整齐，符合设计装饰要求。施工完成后整体墙面色彩应均匀、没有色差，不存在明显流痕、喷涂痕迹，面层观感应良好。墙面横竖分区拼接位置要处理到位，没有开裂、空鼓、线条模糊等质量问题。

下面对施工过程中常见的质量问题进行一个总结：

（1）阴阳角裂缝：阴阳角是两面墙体交接处，真石漆干燥时会受到双向拉力继而开裂。出现裂缝可薄喷一层修补，间隔半小时再复喷，直到裂缝盖住。新喷涂阴阳角不能一次喷厚，采用薄喷多遍，表层干透再补喷，喷枪拉远、移动加快，不要直对阴阳角，分别喷涂两侧墙面，用漆雾覆盖交接位置。

（2）平面裂缝：多由温差骤降引起，涂层表面先干、内部不干进而开裂。可换小口径喷枪，薄喷多层，适当拉大喷枪距离，控制各层干燥速度。

（3）成膜开裂：喷涂厚薄不均、单次喷厚过大容易出现该问题。先优化喷涂手法，问题严重时联系材料厂家调整配方重新试配。

（5）产生白霜：雨天过后墙体至少干燥3天才能施工，防止墙体碱分析出产生白霜，造成涂层脱落。

（7）为保证真石漆粘接牢固度施工过程中，不允许随意往真石漆里加水稀释。

（8）为避免界面不清晰、交叉污染，不需要喷涂的部位，需要用挡板、纸张遮挡保护。

四、结束语

建筑外墙真石漆施工的质量管控，直接决定外墙保温防水性能和外观效果。基层处理是保证涂装质量的首要环节，批刮找平腻子直接影响墙面平整度，底漆喷涂关系到后续涂层粘结牢固程度与整体稳定性，而规范、均匀地喷涂真石漆，最终决定外墙装饰效果和使用寿命。合理安排施工工序、择优选用材料、强化全过程管理，能够有效减少空鼓、开裂等问题，提升整体施工质量。

本文总结的各项质量控制办法，在现场施工中、具有一定的参考价值。笔者相信，今后随着施工工艺、涂料材料不断升级，机械化施工的推广，外墙真石漆施工质量还有较大提升空间，将持续提高建筑外立面功能效果。

参考文献

[1] 高超 . 外墙仿石材真石漆涂料在厂房建筑施工中的应用 [J]. 建筑与预算，2024(8):67-69.

[2] 姜旭 . 真石漆在工业建筑外墙施工中的应用 [J]. 江西建材，2024(6):271-273.

[3] 张健，王福强 . 抗发花真石漆的制备及性能研究 [J]. 涂层与防护，2023,44(11):61-65.

[4] 汪叶婷 . 外墙真石漆施工中色彩调配与均匀性控制的技术要点 [J]. 中国建筑装饰装修，2025(8):112-114.

[5] 郑亚东，贾雨，王春明，等 . 建筑工程外墙真石漆施工技术研究 [J]. 中国建筑装饰装修，2023(10):153-155.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

常用计量单位名称和符号的不规范用法实例

段长生[1]，王文英[1]，陈宝亮[2]，吴珊珊[1]，吴迪[1]
1. 黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司，黑龙江 哈尔滨 150046
2. 黑龙江省市场监督管理审核查验中心，黑龙江 哈尔滨 150036
DOI:10.61369/ETQM.2026090043

摘　　要： 计量单位是衡量物理量大小的统一标尺。如果计量单位使用不规范，对同一对象进行测量就会出现多种不同的测量结果，无法进行比较。因此应规范使用国家法定计量单位。本文列出了几种常用计量单位使用不规范的实例，包括相对湿度计量单位，露点温度计量单位，量纲为一的量计量单位，平面角计量单位，使用 SI 词头的计量单位及其他使用不规范的计量单位。通过实例，为广大科技工作者提供参考，保证规范正确使用计量单位。
关 键 词： 计量单位；相对湿度计量单位；露点温度计量单位；量纲为一的量计量单位；平面角计量单位；使用SI词头的计量单位

Examples of Non-standard Usage of Commonly Used Metrological Unit Names and Symbols

Duan Changsheng[1], Wang Wenying[1], Chen Baoliang[2], Wu Shanshan[1], Wu Di[1]
1.Heilongjiang Hua'an Jingyi Metrology Technology Institute Co. Ltd., Harbin, Heilongjiang 150046
2.Heilongjiang Provincial Market Supervision and Administration Audit Inspection Center, Harbin, Heilongjiang 150036

Abstract: Metrological units serve as a unified scale for measuring the magnitude of physical quantities. If metrological units are used non-standardly, multiple different measurement results will arise when measuring the same object, making comparison impossible. Therefore, it is essential to use national legally defined metrological units in a standardized manner. This paper lists several cases of non-standard usage of commonly used metrological units, including units for relative humidity, units for dew point temperature, units for quantities with a dimensionality of one, units for plane angles, units using SI prefixes, and other units that are used incorrectly.Through these examples, it provides reference for a broad range of scientific and technological workers to ensure the proper and standardized use of metrological units.
Keywords: relative humidity metrological unit; dew point temperature metrological unit; quantities of dimension one metrological unit; plane angle metrological unit; metrological units using SI prefixes

引言

法定计量单位是国家法律、法规规定使用的计量单位[1]。国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位，为国家法定计量单位[2]。国家实行法定计量单位制度，法定计量单位的名称、符号按照国务院关于在我国统一实行法定计量单位的有关规定执行[3]。

提升改革创新能力，消除国际贸易壁垒，需要规范使用法定计量单位。法定计量单位为科技创新提供准确可靠的测量基础，保证实验数据具有统一性和可比性，推动新技术研发。为了保证国际贸易顺利进行，世界各国的计量单位均以国际单位制为基础，只有这样才能保证在数据交流时量值准确和统一，才能更有力的促进科学技术、文化艺术，经济贸易的合作。我国在1985年颁布实施中国人民共和国计量法，它是实施计量监督管理的最高准则，其中第三条要求国家实行法定计量单位制度。接下来国家又发布了3项与法定计量单位有关的计量行政法规，《国务院关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，《全面推行我国法定计量单位的意见》和《关于改革全国土地面积计量单位的通知》，可见，国家推行法定计量单位的决心，作为科技工作者，我们应从自身做起，在工作中规范使用国家法定计量单位。

从1985年计量法实施以来，国家颁布了多项计量行政法规和国家强制标准，要求规范使用法定计量单位，在全国范围内取得了立竿见影的效果，但还是存在一些不规范使用的情况。以下列举了一些实例与广大科技工作者探讨。

作者简介：段长生，正高级工程师，硕士学位，主要研究方向为化学计量和热学计量。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

一、相对湿度计量单位

相对湿度是湿气中水蒸气的摩尔分数与相同温度和压力条件下饱和水蒸气的摩尔分数之比，或者湿气中水蒸气的分压值与相同温度下饱和水蒸气压的比值[4]。

相对湿度这个量以两个同类量的比定义，为量纲为一的量。但很多场合，都用 %RH 作为其单位符号，其中 RH 是 Relative Humidity 的首字母缩写，不应和 % 组合在一起作为相对湿度的计量单位。GB 3100-1993中6.1.3中规定单位符号上不得附加任何其他标记或符号，GB 3101-1993中3.2.1中规定在单位符号上附加表示量的特性和测量过程信息的标志是不正确的。正确表示方式为：例如，相对湿度：60%。另外，使用 % 表达测量范围时，应注意数值和百分号不应拆开表述，例如相对湿度测量范围：40% ~ 80%，不可表述为40 ~ 80% 或 (40 ~ 80)%[5]。

二、露点温度计量单位

露点温度是在等压的条件下将气体冷却，当气体中的水蒸气冷凝成水并达到相平衡状态时的气体温度即为气体的露点温度[6]。露点温度是一个表示温度的量，但很多场合，都用℃ DP 作为其单位符号，其中 DP 是 dew-point 的首字母大写缩写，不应和℃组合在一起作为露点温度的计量单位。正确表示方式为：例如，露点温度：-10℃。露点温度的测量范围应表述为 (-70 ~ 20)℃ 或 -70℃ ~ 20℃。

三、量纲为一的量计量单位

任何量纲为一的量的 SI 一贯单位都是一，符号是1。在表示量值时，它们一般并不明确写出。对于某些量，单位1是否用专门名称和符号，取决于具体情况。单位一不能用符号1与词头结合，以构成其十进倍数或分数单位，而是用10的幂表示。

可以用百分符号 % 代替数字0.01[7]。但是有些场合用 %(m/m) 或 %(V/V) 代替数字0.01是不规范的。GB 3101-1993中2.3.3注2中规定，由于百分数是纯数字，质量百分数或体积百分数这种表达方式是无意义的。另外也不能在计量单位的符号上附加其他信息，正确的表示方法是：质量分数：0.67或质量分数：67%，体积分数：0.75或体积分数：75%。质量分数和体积分数也可以用 0.5g/g 和4.2mL/m^3表示。另外，使用 % 表达测量范围时，应注意数值和百分号不应拆开表述[5]，例如酒精水溶液的体积分数范围：10% ~ 50%，不可表述为10 ~ 50% 或 (10 ~ 50)%。

用符号‰代替数字0.001是不规范的。GB 3101-1993中2.3.3注1中规定，应避免用‰。‰可以用10^{-3}，mg/g，mL/L，mmol/mol 来表示，正确的表示方法是：蔗糖水溶液的浓度为10 mg/g，氮气中二氧化碳的浓度是5mL/L，氨基酸混合溶液中苏氨酸的浓度是1.00mmol/mol。

用 ppm，pphm 和 ppb 这类符号表示量纲为一的量的计量单位是不规范的。其中，ppm 是 parts per million 的首字母缩写，表示的是10^{-6}；pphm 是 parts per hundred million 的首字母缩写，表示的是10^{-8}；ppb 是 parts per billion 的首字母缩写，表示的是10^{-9}（美、法等）或10^{-12}（英、德等）[8]。ppm、pphm、ppb 均为英文的缩写，并不是计量单位的符号，也不是数学符号。GB 3101-1993中2.3.3中规定，不能使用 ppm，pphm 和 ppb 这类缩写。正确表示方式为：例如，样品中 Cd 的含量为8μg/g，空气中苯气体的含量为50μmol/mol，重油重硫的含量为1000μg/kg。

四、平面角计量单位

平面角法定计量单位是弧度，符号是 rad，也可以用度，[角] 分，[角] 秒来作为平面角的计量单位，符号分别为°，′，″。在这里需要注意区分：° 和℃，前者是平面角的计量单位，后者是温度的计量单位；′ 和 min，前者是平面角的计量单位，后者是时间的计量单位；″ 和 s，前者是平面角的计量单位，后者是时间的计量单位。这3组计量单位在很多场合存在误用的情况，例如，表达时间时，用3′ 32″来表示是错误的，正确表示方式为：212s；表达温度时，用25.5° 来表示是错误的，正确表示方式为：25.5℃。

度，[角] 分，[角] 秒不是 SI 单位，是非十进制单位，他们不能用 SI 词头组合成倍数单位[9]。例如，某工件的角度是50°，不可表述为0.05m°。度，[角] 分，[角] 秒的单位符号，在组合单位中应采用 (°)、(′)、(″) 的形式。例如，不用°/s 而用 (°)/s[10]。使用度，[角] 分，[角] 秒这三个计量单位的表达量值时应注意，GB 3101-1993中3.4规定数值和单位符号之间不留空隙，例如三角形一个角的角度是45°，不可表述为45 °。另外，使用度，[角] 分，[角] 秒这三个计量单位的表达测量范围时，应注意数值和计量单位不应拆开表述[5]，例如万能角度尺的测量范围：10° ~ 45°，不可表述为10 ~ 45° 或 (10 ~ 45)°。

五、使用 SI 词头的计量单位

SI 词头符号与紧接的单个单位符号构成一个新的（十进倍数或分数）单位符号，例如，GB 3101-1993中3.2.3规定质量的基本单位名称千克中含有词头“千”，质量的十进倍数和分数单位由词头加在“克”字之前构成，如毫克的单位符号是 mg，不可表述为 μkg；SI 词头中要特别注意的是“微”，符号是“μ”，其是希腊字母，而非英文字母 u。例如，微米，其单位符号为 μm，不可表述为 um；微西，其单位符号为 μS，不可表述为 uS；微升，其单位符号为 μL，不可表述为 uL，另外，需注意体积的单位“升”的符号，应为“L”，“l”为备用符号，首选使用“L”[10]。还应注意的是“千”，符号是“k”，其是小写英文字母，而非大写英文字母。例如，千米，其单位符号为 km，不可表述为 Km；千瓦，其单位符号为 kW，不可表述为 KW；千帕，其单位符号为 kPa，不可表述为 KPa。

GB 3100-1993中4.5规定摄氏温度单位摄氏度与时间单位日、时、分不得与 SI 词头构成倍数单位。例如，某种物质的冰点

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

为 -0.4℃，不可表述为 -400m℃；时间单位日、时、分不是 SI 单位，是非十进制单位，因此不能与 SI 词头组合使用。例如，某实验的保温时间为100h，不可表述为0.1mh。

六、其它使用不规范的计量单位

应注意计量单位符号大小写，如频率计量单位符号 Hz，不应表述为 HZ；压力的计量单位符号 Pa，不应表述为 pa，时间的计量单位符号 s，不应表述为 S；电压的计量单位符号 mV，不应表述为 mv。应注意国家法定计量单位符号与国际通用符号的区别，如公顷的国际通用符号 ha[10]，国家法定计量单位符号 hm^2。应注意完整表述计量单位，波动度是与时间有关的量，因此报告波动度时其计量单位中应包含时间的计量单位，如温度波动度 2℃ /10min，相对湿度的波动度5%/h。应注意表示量值时计量单位的表述，如表示质量时，应表述为 m/kg，不应表述为 m,kg 或 m(kg)；当计量单位是组合单位时，如 mol/L，应表述为 c/(mol/L)，不应表述为 c/mol/L。应注意摄氏温度单位符号的表述，应表述为一个整体℃，不应表述为° 和 C 的组合。应注意华氏温度℉，不是法定计量单位，不应出现在正式的文献报告中，如需要使用，应注明其与法定计量单位的换算关系。应注意 pH 是量的符号，不是计量单位的符号，应表述为 pH=4.00，不应表述为 4.00pH。应注意转速单位符号的表述，应表述为 r/min，不应表述为 rpm。

综上所述，不规范使用法定计量单位的情况还是比较多的，作者将日常工作中遇到的计量单位使用不规范的实例总结出来，希望能够帮助科技工作者规范使用国家法定计量单位。计量单位看似只是文字符号的细节，实则关乎测量结果的有效性。不规范的计量单位、错误的符号格式，容易引发数据误读、试验失误，甚至埋下工程安全隐患。因此科技工作者需要提高规范使用计量单位的意识，严格按照要求使用法定计量单位。在产品标准、技术规范、技术证书报告、学术论文、技术协议等文件 (包括其中的图表) 中，对各种参数的要求或测量结果的表达方式中规范使用计量单位，计量单位的使用需符合国际标准和国家标准的有关规定。

参考文献

[1]JJF 1001-2011 通用计量术语及定义 3.14.

[2] 中华人民共和国计量法 第三条 .

[3] 中华人民共和国计量法实施细则第二条 .

[4]JJF 1012-2007 湿度与水分计量名词术语及定义 2.14.

[5]GB/T 7713.2-2022 学术论文编写规则 5.3.9b).

[6]JJF 1012-2007 湿度与水分计量名词术语及定义 2.17.

[7]GB 3101-1993 有关量、单位和符号的一般原则 2.3.3.

[8] 单位名称和符号常见错误用法，山东冶金，2025,47 (02)：.49.

[9] 计量技术基础，原子能出版社，国防科工委科技与质量司，111 页 .

[10]GB 3100-1993 国际单位制及其应用表 5.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.