

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 3 · Issue 5 · May 2026 3060-9054(Print) 3060-9062(Online)

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 3 · Issue 5 · May 2026 3060-9054(Print) 3060-9062(online)

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.:+65 62233839

E-mail:contact@nassg.org
Add.:12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



中文刊名：工程研究前沿

ISSN: 3060-9054 (纸质) 3060-9062 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Frontiers of Engineering Research

ISSN: 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)

Language: Chinese

URL: <http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《工程研究前沿》征稿函

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

Website: <http://www.nassg.org>



期刊概况：

中文刊名：工程研究前沿

ISSN: 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 3 Issue 5 May 2026
ISSN 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)

主 编

虞 斌

Bin Yu

编 委

王振波 zhenbo Wang

赵希强 Xiqiang Zhao

刘永军 Yongjun Liu

张新儒 Xinru Zhang

- 1 回淤监测数据驱动淤积规律建模及工程应用研究——以江苏滨海项目为例 / 侯加全 全地 / 李二帅
- 4 长城某汽油机曲柄连杆机构多体动力学仿真与受力特性研究 / 李英豪 董亮 梁聪 43 煤矿采煤工作面回采工艺优化与实践 / 罗冬冬
- 7 薄煤层煤矿智能化综采技术应用与效果分析 / 武铁军 46 智能化开采技术在煤矿生产中的应用初探 / 冯强
- 10 高层建筑防火安全设计优化与实践分析 / 赵玉玲 49 深水航道疏浚施工关键技术及通航安全保障措施探析 / 李光炳
- 13 煤矿通风的安全隐患和管理方法研究 / 秦华斌 52 工程地质勘察中的常见问题及解决办法 / 李国平
- 16 高温熔融金属作业安全控制关键技术研究 / 张响 55 无人机测绘技术在建筑工程测量中的应用研究 / 谢逸
- 19 建筑工程监理与项目管理融合的协同管控研究 / 黄凯迪 58 工程质量管理与风险控制的研究——以衡水市滏阳一路污水改造项目为例 / 栗佳
- 22 大型工业厂房类型项目高质量建造管理措施探讨 / 陆阳 61 浅谈党建与硫酸钾生产安全管理 / 王俊杰
- 25 安全工程危险源辨识与控制技术研究 / 陈许 64 软土地基加固处理技术对比与工程应用 / 胡乐华
- 28 路桥用工程水泥基复合材料力学特性与裂缝控制行为试验研究 / 高龙祥 67 乡村振兴背景下农村自建房优化设计研究 / 马彦伟
- 31 轨道交通机电设备预测性维护关键技术研究 / 金振纲 70 建筑结构精细化设计路径与工程成本控制策略研究 / 杨正中
- 34 环保铺排式施工中“装舱不溢流”技术创新及工程验证——江苏滨海 LNG 港池航道维护疏浚工程实践 / 张文港 张伟 秦博文 73 露天矿山爆破作业安全管理优化措施 / 王振义
- 37 城市轨道交通客运组织安全管控优化路径研究 / 吴晋妍 76 GPS 定位测量技术在建筑工程测绘中的作用与应用思考 / 黎积江
- 40 智能化综采工作面灾害风险预警体系构建分析 / 魏世凯 79 水利水电工程施工安全管理与风险防控研究 / 周亚鹏
- 82 中小型电气制造企业职业病危害因素检测与评价 / 魏世凯

- 1 Modeling of Sedimentation Law and Engineering Application Based on Backfill Monitoring Data: A Case Study of Jiangsu Binhai Project
/ Jiaquan Hou Di Quan
- 4 Multi-body Dynamics Simulation and Force Characteristics Study of Crank Connecting Rod Mechanism for a Gasoline Engine on the Great Wall
/ Yinghao Li Liang Dong Cong Liang
- 7 Application and Effect Analysis of Intelligent Comprehensive Mining Technology in Thin Coal Seam Coal Mine
/ Tiejun Wu
- 10 Optimization and Practical Analysis of Fire Safety Design in High-Rise Buildings
/ Yuling Zhao
- 13 Research on Safety Hazards and Management Methods of Coal Mine Ventilation
/ Huabin Qin
- 16 Research on Key Technologies for Safety Control in High-Temperature Molten Metal Operations
/ Xiang Zhang
- 19 Research on Collaborative Control of Construction Project Supervision and Project Management Integration
/ Kaidi Huang
- 22 Discussion on the Management Measures of High-quality Construction of Large Industrial Plant Type Project
/ Yang Lu
- 25 Research on Hazard Identification and Control Technology in Safety Engineering
/ Xu Chen
- 28 Experimental Study on Mechanical Properties and Crack Control Behavior of Cement-Based Composite Materials for Road and Bridge Engineering
/ Longxiang Gao
- 31 Research on Key Technologies for Predictive Maintenance of Rail Transit Electromechanical Equipment
/ Zhengang Jin
- 34 Technology Innovation and Engineering Verification of “No Overflow in Tank Loading” in Environmental Protection Placed Construction-Practice of Channel Maintenance and Dredging Project in Jiangsu Binhai LNG Port
/ Wengang Zhang Wei Zhang Bowen Qin
- 37 Research on Optimization Path of Safety Control and Management for Passenger Organization in Urban Rail Transit
/ Jinyan Wu
- 40 Construction and Analysis of the Intelligent Disaster Risk Warning System for Coal Mining Workface
/ Ershuai Li
- 43 Optimization and Practice of Mining Technology for Coal Mining Workfaces in Coal Mines
/ Dongdong Luo
- 46 A Preliminary Study on the Application of Intelligent Mining Technology in Coal Mine Production
/ Qiang Feng
- 49 Analysis of Key Technologies and Navigation Safety Measures for Deep Water Channel Dredging Construction
/ Guangbing Li
- 52 Common Problems and Solutions in Engineering Geological Investigation
/ Guoping Li
- 55 Application of UAV Surveying Technology in Construction Engineering Survey
/ Yi Xie
- 58 Research on Engineering Quality Management and Risk Control: A Case Study of Fuyang 1st Road Sewage Reconstruction Project in Hengshui City
/ Jia Li
- 61 Discussion on Party Building and Safety Management of Potassium Sulfate Production
/ Junjie Wang
- 64 Comparison of Soft Soil Foundation Reinforcement Treatment Technologies and Their Engineering Applications
/ Lehua Hu
- 67 Research on the Optimized Design of Rural Self-Built Houses under the Background of Rural Revitalization
/ Yanwei Ma
- 70 Research on Refined Design Approaches for Building Structures and Strategies for Controlling Project Costs
/ Zhengzhong Yang
- 73 Optimization Measures for Safety Management of Blasting Operations in Open-Pit Mines
/ Zhenyi Wang
- 76 The Role and Application of GPS Positioning Surveying

	Technology in Construction Engineering Surveying and Mapping		/ Yaping Zhou
	/ Jijiang Li	82	Detection and Evaluation of Occupational Hazard Factors in Small and Medium-sized Electrical Manufacturing Enterprises
79	Research on Safety Management and Risk Prevention in Hydropower and Water Conservancy Project Construction		/ Shikai Wei

Modeling of Sedimentation Law and Engineering Application Based on Backfill Monitoring Data: A Case Study of Jiangsu Binhai Project

Jiaquan Hou¹ Di Quan²

1. CNOOC Jiangsu Natural Gas Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu, 224500, China
2. Yancheng Maritime Safety Administration, Yancheng, Jiangsu, 224000, China

Abstract

To address the frequent siltation and high maintenance costs in the enclosed water areas of the Jiangsu Binhai LNG project's harbor pool and channel, a sedimentation pattern model was developed based on siltation monitoring data. Hydrological sediment, topographic, and construction monitoring data from 2023 to 2024 were collected. By combining statistical analysis and machine learning, the core factors influencing sedimentation were identified, and a quantitative model correlating sedimentation rate with dynamic environmental conditions and sediment characteristics was established. The maintenance dredging project of the Jiangsu Binhai LNG project's harbor pool and channel served as the application case to validate the model's reliability. The results demonstrated that the model could accurately predict sedimentation rates in different areas (average error $\leq 8.2\%$), clearly identify four zones as high-sedimentation areas (maximum sedimentation rate 5cm/d), and reveal that strong wind conditions were the dominant factor in sudden siltation. The dredging plan optimized based on the model reduced maintenance costs by 28%, providing scientific support and technical basis for siltation prevention and control in similar enclosed water areas.

Keywords

siltation monitoring; data-driven; sedimentation patterns; modeling; LNG project

回淤监测数据驱动的回淤规律建模及工程应用研究——以江苏滨海项目为例

侯加全¹ 全地²

1. 中海油江苏天然气有限责任公司, 中国·江苏 盐城 224500
2. 盐城海事局, 中国·江苏 盐城 224000

摘要

为解决江苏滨海LNG项目港池航道封闭水域回淤频发、维护成本高的困扰,基于回淤监测数据构建淤积规律模型。收集2023-2024年水文泥沙、地形地貌及施工监测数据,以统计分析和机器学习相结合的方式,定位影响淤积的核心因子,搭建淤积速率与动力环境、泥沙特性的量化对应模型。将江苏滨海LNG项目港池航道维护性疏浚工程当作应用载体,校验模型靠谱性。结果表明,该模型可精准预测不同区域淤积速率(平均误差 $\leq 8.2\%$),明确四区为高淤积区(最大淤积速率5cm/d),大风天气是突发淤积的主导因子,基于模型优化的疏浚方案使维护成本降低28%,为类似封闭水域回淤防控提供了科学依据和技术支撑。

关键词

回淤监测; 数据驱动; 淤积规律; 建模; LNG项目

1 引言

港池航道回淤是海岸工程里常遇的技术难题,尤其针对封闭水域,受水动力条件弱、泥沙交换不畅等因素制约,回淤问题凸显度更高,直接危害船舶通航安全,增加维护成本^[1]。江苏滨海LNG项目是国家能源保供重点工程,港池

航道被双防波堤环抱,属于封闭水域,建成后回淤现象频繁出现,2023年首季度最大淤积厚度到0.8m,严重阻碍26.6万方LNG船正常航行。以往研究淤积规律大多依靠经验公式,未考虑现场复杂的动力泥沙环境耦合作用,预测精度不达标。数据驱动模型从监测数据中挖掘潜在规律,能有效测算各影响因子和淤积的关联关系^[2]。本次研究对象为江苏滨海项目,基于2023-2024年实测监测数据,依托回淤监测数据构建淤积规律模型,筛选关键影响因子,调整疏浚维护方案,精准防控航道回淤,为北方同类封闭水域工程提供技术借鉴。

【作者简介】侯加全(1985-),男,中国山东青岛人,本科,工程师,从事港口航道研究。

2 工程概况与监测数据

2.1 工程概况

江苏滨海液化天然气 (LNG) 项目港池、航道维护性疏浚工程选址盐城市滨海县废黄河口以北海岸, $34^{\circ} 18' N$, $120^{\circ} 16' E$, 航道全长 4025m, 底侧宽度 320m, 边坡 1:4, 港池及航道拆为 6 个疏浚区域, 总规模 256.7 万 m^3 。工程区归为不正规半日潮, 潮平均落差 1.76m, 港池内流速只有 0.1m/s 上下, 水体交换能力差; 一区、二区的地质核心成分是淤泥, 3 区至 6 区有中密度的灰色粉砂, 泥沙来源有三类: 涨潮水体携带的悬沙、堤头局部冲刷产生的泥沙、近岸区粗化层泥沙。具体分区见图 1 所示。

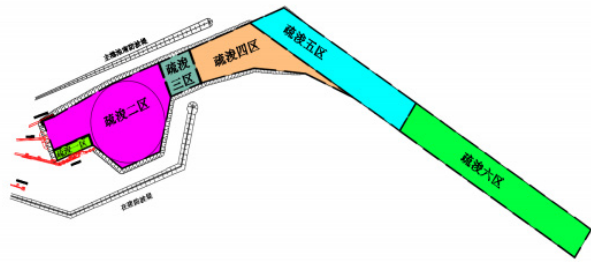


图 1 各疏浚分区图

2.2 监测数据体系

监测周期定为 2023 年 1 月 -2024 年 4 月, 建立“水文泥沙 - 地形地貌 - 施工过程”三位一体的监测数据体系: 水文泥沙监测搭建 6 个定点监测站, 监测风速风向、波高、流速流向、水体含沙量等参数, 监测间隔为 1 小时 1 次; 地形地貌监测依靠多波束测深仪每月实施 2 次水下地形扫描, 采集各分区水深变化数据。完成监测数据预处理, 剔除异常值, 构建标准化数据集, 开展淤积规律建模和分析^[3]。

3 淤积规律建模方法

3.1 建模思路

利用“数据预处理 - 关键因子识别 - 模型构建 - 验证优化”的闭环技术路径, 维持模型精准性和工程实用性。数据预处理环节, 结合 3 类监测数据的异质性特点实施差异化处理措施^[4]。水文泥沙数据集里, 用 Z-score 标准化方法消除风速、波高、含沙量等连续型指标的量纲影响, 流速流向等矢量数据经极坐标转换为标量参数; 依托高斯 - 克里格插值法, 将离散测深点补全为连续栅格数据, 完成地形地貌数据处理, 分辨率调为 $5m \times 5m$, 一并采用潮位校正模型弱化潮汐对水深测量的影响; 施工过程数据的缺失值用线性插值法填补, 用 3σ 准则识别并剔除异常数据, 产出结构化数据集。

关键因子识别阶段, 借助 Pearson 相关性分析先初步筛选和淤积速率关联较强的影响因子, 清退冗余变量; 借助主成分分析压缩筛选后的因子维度, 排除多重共线性干扰, 筛选能反映原始数据核心信息的主成分, 精简模型输入维度, 又留存关键影响信息。

模型构建阶段, 以随机森林 (RF) 算法作为核心建模手段, 该算法组合多棵决策树的预测结果, 降低单棵树的过拟合风险, 不对数据分布做严格限定, 能有效抓取动力环境和泥沙淤积的非线性耦合关系, 构建模型阶段, 按 7:3 拆分训练集和测试集, 用训练集拟合模型参数, 测试集做初步验证; 用 5 折交叉验证法调整决策树数量、最大树深度、学习率等关键超参数, 借助网格搜索遍历三类参数的组合: 决策树数量 50-200 棵、最大树深度 4-12 层、学习率 0.005-0.02, 围绕验证集上均方根误差 (RMSE) 最小化的目标, 选出最优参数组合。

验证优化阶段, 打造多级验证体系: 第一步用独立实测数据 (2024 年 3-4 月) 开展定量验证, 借助平均绝对误差 (MAE)、均方根误差 (RMSE)、决定系数 (R^2) 三个指标, 全方位评定模型预测精度; 第二步开展分区验证, 校验各疏浚分区模型预测值与实测值的偏差, 检验模型针对不同土质、不同水动力条件的适配程度; 最终依托工程实际实施定性验证, 确认模型预测的淤积热点区域与现场施工反馈的高回淤区域是否匹配^[5]。针对验证环节查出的问题, 借助提高极端天气样本权重、增加动力 - 泥沙耦合修正项等方式优化模型结构, 迭代调整参数直到模型平均误差 $\leq 8.2\%$, 符合工程应用标准, 全程建模都兼顾理论方法和工程实际, 保证模型兼具统计学层面的精度, 又能为疏浚施工提供实际可用的指引。

3.2 关键因子识别

3.2.1 相关性分析

筛选风速 (V)、有效波高 ($H_{1/3}$)、流速 (u)、水体含沙量 (S)、潮差 (Δh)、泥层厚度 (d) 6 个潜在影响因子 (表 1), 测算各因子与淤积速率, 风速、有效波高、水体含沙量与淤积速率存在显著正相关关系, 是引发淤积的核心要素。

3.2.2 主成分分析

对 6 个影响因子执行主成分分析, 筛选特征值 > 1 的主成分 (表 2), 前 2 个主成分累计方差贡献率达 86.3%, 能反映原始数据的主要内容, 第一主成分重点对应风速、有效波高、水体含沙量, 定名为“动力 - 泥沙因子”; 第二主成分核心是流速、潮差及泥层厚度, 称作“水动力因子”。

表 1 各影响因子与淤积速率的相关性分析

影响因子	风速 (V)	有效波高 ($H_{1/3}$)	流速 (u)	水体含沙量 (S)	潮差 (Δh)	泥层厚度 (d)
Pearson 相关系数	0.82**	0.78**	0.43	0.75**	0.31	0.28

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关

表2 主成分特征值与方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
1	3.85	64.2	64.2
2	1.33	22.1	86.3
3	0.47	7.8	94.1
4	0.28	4.7	98.8
5	0.09	1.5	100.0
6	0.01	0.2	100.0

3.3 模型构建

依托随机森林 (RF) 算法构建淤积速率预测模型, 该算法可抵御过拟合, 处理高维数据能力突出, 把主成分分析提取的 2 个主成分设为输入变量, 输出变量设为淤积速率, 构建模型:

$$R=f(PC_1,PC_2)=\frac{1}{K}\sum_{k=1}^K h_k(PC_1,PC_2;\theta_k)$$

其中, K 为决策树数量 (取 100), h_k 为第 k 棵决策树的预测结果, θ_k 为第 k 棵决策树的参数。模型训练过程中, 采用 5 折交叉验证优化参数, 学习率设为 0.01, 最大树深度设为 8。

3.4 模型验证

采用 2024 年 3-4 月实测数据验证模型精度, 选取平均绝对误差 (MAE)、均方根误差 (RMSE)、决定系数 (R^2) 作为评价指标:

$$MAE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n |R_i-\hat{R}_i|$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n (R_i-\hat{R}_i)^2}$$

$$R^2=1-\frac{\sum_{i=1}^n (R_i-\hat{R}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (R_i-\bar{R})^2}$$

其中, R_i 为实测淤积速率, \hat{R}_i 为模型预测值, \bar{R} 为实测值平均值, n 为样本数量 ($n=120$)。验证结果显示, 模型 MAE=0.21cm/d, RMSE=0.28cm/d, $R^2=0.89$, 平均误差 $\leq 8.2\%$, 预测精度满足工程要求。

4 淤积规律分析

4.1 时空分布规律

4.1.1 空间分布规律

凭借模型计算结果, 4 区淤积速度居首位, 均值 3.2cm/d, 最大 5cm/d; 平均数值 2.1cm/d; 一区、二区淤积速率偏小, 均值依次为 0.8cm/d、1.0cm/d; 6 区淤积速率最低, 均值为 0.6cm/d, 空间分布差异主要受地形地貌、水动力条件左右, 四区坐落港池与航道的连接水域, 受堤头挑流作用明显, 泥沙容易堆积。

4.1.2 时间变化规律

各分区淤积速率的时间变化趋势统一, 呈现冬季高、夏季低的规律, 2023 年 2 月、2024 年 3 月出现淤积峰值, 冬季受东北风影响, 最高淤积速率 5cm/d; 7-8 月淤积速率为全年最小, 平均只有 0.3cm/d, 引发突发淤积的关键因素是风速 ≥ 6 级的大风天气, 六级大风连续刮 2 天, 局部淤积量可达 10 万 m^3 。

5 工程应用效果

5.1 疏浚方案优化

按照淤积规律模型预测结果, 调整疏浚方案。分区疏浚优先级, 把 4 区、3 区设为最高优先级别, 每月开展 2 次清淤; 一区、二区、五区定为中优先级别, 每 2 个月掏挖 1 次; 6 区排低优先级别, 每 3 个月实施 1 次疏浚; 疏浚时机选择, 风速 ≥ 6 级的大风过后, 间隔 3 天实施疏浚作业, 减少重复作业; 疏浚参数调整, 四区、三区采用“环保铺排式”施工技法, 增加耙深 0.3-0.5m, 保证达到警戒水深标准。

5.2 应用效果评价

江苏滨海项目 2024 年 3-10 月采用优化方案阶段, 收获突出成效。维护成本降低, 累计疏浚总量比传统方案减 18 万 m^3 , 减少施工成本 266.4 万元, 维护成本下降 28%; 通航安全性提升, 各分区水深达标率从 85% 涨至 98%, 未出现因回淤造成的船舶通航风险; 环保效益改善, 降低疏浚船舶作业次数, 日均节油 1.8t, 每年减排 1674t 二氧化碳, 符合绿色施工准则。

6 结语

基于江苏滨海项目回淤监测数据, 建立依托随机森林算法的淤积规律模型, 把“动力-泥沙因子”和“水动力因子”作为模型的输入变量, 平均预测误差 $\leq 8.2\%$, $R^2=0.89$, 可精准计算封闭水域淤积速率。动力-泥沙耦合作用、工程结构影响, 是造成淤积的核心机制, 风速、有效波高、水体含沙量主导淤积的关键条件, 相关系数全部大于 0.75。经模型优化的疏浚方案投入工程后效果突出, 未来可扩充监测数据覆盖范围, 依托数值模拟方法优化模型结构, 优化复杂工况的预测精度; 同步研究不同工程结构形式对淤积规律的作用, 为工程设计供应更全面的技术支持。

参考文献

- [1] 王伟, 李福聪, 边海军, 等. LNG接收站取水池泥沙淤积特性数值模拟研究[J].当代化工研究, 2025, (23):46-48.
- [2] 薛庆齐. LNG接收站取水前池清淤系统方案研究[J].中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(23):130-132.
- [3] 郭雅琼, 邹国良, 马进荣. 舟山LNG取水泵站泥沙减淤清淤试验研究[J].海洋工程, 2024, 42(02):181-191.
- [4] 杜虹义, 陈樟茂, 吕慰华, 等. 大型LNG接收站取水泵池自动冲淤系统[J].化工设计, 2022, 32(06):24-28+32+1.
- [5] 曹永港, 陈宜展, 廖世智, 等. 直湾岛LNG码头工程潮流数学模型研究及泥沙淤积分析[J].水运工程, 2022, (07):15-22.

Multi-body Dynamics Simulation and Force Characteristics Study of Crank Connecting Rod Mechanism for a Gasoline Engine on the Great Wall

Yinghao Li Liang Dong Cong Liang

Great Wall Motor Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

As the core moving component of internal combustion engines, the crank-connecting rod mechanism's dynamic characteristics directly influence overall engine performance and reliability. For a specific Great Wall-brand gasoline engine model, a multi-body dynamic model of the crank-connecting rod mechanism was established. Systematic simulation analyses were conducted using actual structural parameters and operating conditions. Through developing a rigid-flexible coupling model, computational simulations were performed to analyze motion patterns, inertial forces, and contact forces in the crankshaft, connecting rod, and piston assemblies, revealing force variation trends under different rotational speeds and load conditions. Results demonstrate significant inertial force amplification effects at high rotational speeds, with critical components such as connecting rod small ends and crankpin areas experiencing elevated alternating loads. Based on simulation analysis, targeted structural optimization recommendations were proposed to provide theoretical foundations for enhancing engine durability and power performance. The research methodology demonstrates general applicability and can serve as a reference for designing similar power systems.

Keywords

crank-connecting rod mechanism; multi-body dynamics; gasoline engine; force analysis; simulation study

长城某汽油机曲柄连杆机构多体动力学仿真与受力特性研究

李英豪 董亮 梁聪

长城汽车股份有限公司, 中国·河北保定 071000

摘要

曲柄连杆机构作为内燃机核心运动部件, 其动力学特性直接影响整机性能与可靠性。针对长城某型汽油机, 构建曲柄连杆机构多体动力学模型, 结合实际结构参数与工况条件, 开展系统性仿真分析。通过建立刚柔耦合模型, 对曲轴、连杆及活塞组件的运动规律、惯性力及接触力进行计算, 进一步揭示不同转速与负载条件下的受力变化趋势。结果表明, 机构在高转速区间存在明显的惯性力放大效应, 关键部位如连杆小头及曲柄销区域承受较高交变载荷。通过对仿真结果的分析, 提出针对性结构优化建议, 为提高发动机耐久性及动力性能提供理论依据。研究方法具有一定通用性, 可为类似动力系统设计提供参考。

关键词

曲柄连杆机构; 多体动力学; 汽油机; 受力分析; 仿真研究

1 引言

随着汽车工业向高效化与轻量化方向发展, 发动机内部运动部件的动力学性能逐渐成为研究重点。曲柄连杆机构作为将活塞往复运动转化为曲轴旋转运动的关键结构, 其工作状态复杂, 受力条件多变。在高速运行条件下, 该机构不仅承受燃气压力, 还受到显著的惯性力与摩擦力共同作用, 极易引发疲劳损伤甚至失效。传统分析方法多依赖经验公式或简化模型, 难以全面反映实际运行状态。多体动力学方法

能够综合考虑系统中各构件之间的运动与力学耦合关系, 在发动机仿真领域得到广泛应用。通过建立高精度模型, 可获得更加真实的动力学响应数据。针对长城某型汽油机, 本文围绕曲柄连杆机构展开研究, 结合实际结构参数构建多体动力学模型, 分析其在不同工况下的运动及受力特性, 探索关键零部件的载荷分布规律, 为后续优化设计提供理论支撑。

2 曲柄连杆机构结构与运动特性分析

2.1 机构组成与结构特点

曲柄连杆机构作为内燃机实现能量转换的核心部件, 其结构由曲轴、连杆、活塞及相关连接件共同构成, 通过各部件间的运动耦合实现往复运动与旋转运动之间的转化。曲

【作者简介】李英豪(1984-), 男, 工程师, 硕士, 从事发动机动力学研究。

轴依托主轴承支撑于机体之上，在旋转过程中承担动力输出功能；连杆作为连接桥梁，将活塞的直线往复运动转化为曲轴的旋转运动，承担复杂交变载荷；活塞则在气缸内完成气体压缩与膨胀过程。该机构在运动形式上具有典型平面机构特征，但在实际运行中还受到空间约束、制造误差及装配偏差等因素影响，使其动力学行为更为复杂。某型汽油机在设计中采用轻量化连杆与优化曲轴配重结构，以降低惯性力与振动水平，同时选用铝合金活塞以减小往复质量，这些措施在提升效率的同时也对结构强度与稳定性提出更高要求。曲柄半径、连杆长度及活塞质量分布等参数对机构运动与受力具有直接影响，是后续分析与建模的重要基础。

2.2 运动学关系分析

曲柄连杆机构的运动规律可通过几何关系进行系统描述，其核心在于活塞位移与曲轴转角之间的非线性函数关系。由于连杆长度与曲柄半径存在比例差异，活塞运动偏离理想简谐规律，使其速度与加速度在一个工作循环内呈现周期性变化。在上止点附近，活塞运动方向迅速变化，加速度达到较大幅值，容易引发显著惯性载荷，从而对结构产生冲击影响。通过建立运动学方程，可推导出活塞位移、速度与加速度的表达形式，并进一步计算由此产生的惯性力，为动力学分析提供基础数据支持。随着转速的提高，非线性特征更加突出，速度与加速度波动幅度明显增加，使机构在高转速工况下承受更为复杂的动态载荷。这种运动学特性对结构设计材料与选择提出更高要求，需要在分析中给予充分考虑。

2.3 典型工况分析

在实际运行过程中，曲柄连杆机构需适应多种工作状态，其受力特征随工况变化呈现明显差异。通过选取具有代表性的运行工况进行分析，可以全面评估机构在不同条件下的动力学响应。在低速运行阶段，气缸内燃气压力是主要载荷来源，其变化直接决定活塞及连杆的受力状态；随着转速提升，惯性力迅速增大，并逐渐成为影响结构受力的重要因素。在高转速条件下，惯性载荷甚至可能超过燃气力，使关键部件承受更大的交变应力，对疲劳寿命产生显著影响。不同工况下载荷叠加方式的差异，为结构与优化提供重要依据。通过对典型工况的系统分析，可识别机构在极端条件下的受力水平与潜在风险，从而为结构强化与运行参数优化提供科学支撑。

3 多体动力学模型建立

3.1 建模方法与基本假设

多体动力学模型的构建以刚体系统为基本框架，在保证计算效率的前提下对关键部位进行适度柔性修正，以反映实际运行中的力学响应特征。模型中将曲轴、连杆与活塞视为理想刚体，通过铰接与滑动约束描述其相互连接关系，使系统运动能够在统一约束条件下进行求解。为降低模型复

杂度，对结构中微小间隙及润滑油流动影响进行合理简化，同时假设材料性质均匀且连接部位刚度充足，从而突出主要动力学行为。在建模过程中采用分模块方法，将不同部件与子系统分别建立并进行接口连接，不仅提高模型结构的清晰性，也有助于后续参数调整与功能扩展。该方法在保持计算稳定性的同时，能够较为准确地反映机构整体运动与受力特征，为进一步分析奠定基础。

3.2 参数输入与边界条件

模型参数的准确性直接影响仿真结果的可靠程度，因此需基于实际工程数据进行合理设定。相关参数包括各构件的质量、转动惯量及几何尺寸，这些数据通常来源于设计图纸或实验测量结果。在边界条件设置中，曲轴转速作为主要输入变量，用以驱动系统运动，而燃气压力则依据实验数据或经验公式进行描述，使气缸内载荷变化能够在模型中得到体现。通过设定不同转速与负载组合，可实现多工况仿真分析，从而全面评估机构在不同运行条件下的动力学特性。模型中还需对接触关系进行合理定义，特别是活塞与气缸壁之间的相互作用，以反映实际运行中的摩擦与约束效应。参数与边界条件的合理匹配，有助于提高仿真结果的物理真实性与工程参考价值。

3.3 仿真平台与求解方法

多体动力学仿真通常依托专业软件平台进行计算，通过数值方法求解系统运动方程，从而获得各构件的位移、速度及受力响应等关键数据。在求解过程中，时间步长的选取对结果精度具有重要影响，需要在计算效率与数值稳定性之间进行权衡。较大的时间步长可能导致关键动态特征被忽略，而过小则会显著增加计算量，因此需根据系统特性进行合理设定。通过迭代计算与结果对比，可对模型进行不断修正与优化，使其逐步逼近真实工况表现。在仿真分析完成后，还需对结果进行稳定性与一致性验证，以确保所得数据具有较高可信度。依托可靠的仿真平台与科学的求解方法，能够为动力学特性研究与结构优化提供有力支持。

4 动力学响应分析

4.1 运动规律分析

基于仿真结果可知，曲柄连杆机构中活塞的运动呈现出明显的非对称特征，其位移、速度与加速度变化均受到机构几何关系的显著影响。在上止点附近，活塞速度变化较快，停留时间相对较短，而在下止点区域，运动过程趋于平缓，表现出较长的滞留特性。这种差异主要源于连杆长度与曲柄半径之间的比例关系，使活塞运动偏离理想简谐规律。曲轴在稳定工况下角速度基本保持恒定，但连杆在旋转过程中摆角变化幅度较大，导致机构内部运动状态呈现出明显的非线性特征。连杆摆动不仅影响活塞侧向力的分布，也对连接部位的受力状态产生持续作用。通过对位移、速度及加速度曲线的综合分析，可识别关键运动阶段及极值点，为后续动力

学与强度分析提供重要依据，并为结构优化与运行参数调整提供理论支撑。

4.2 惯性力与燃气力耦合特性

在曲柄连杆机构的运行过程中，惯性力与燃气力共同构成主要外载荷来源，两者在时间与幅值上的叠加，使系统受力呈现出复杂变化特征。惯性力与转速密切相关，随转速提高呈显著增长趋势，在高速工况下逐渐成为主导载荷之一。燃气力则取决于气缸内燃烧过程，其变化具有明显周期性，并在压缩与燃烧阶段达到峰值。不同工作阶段中，两类力的主导作用存在差异，在压缩与做功阶段，燃气力占据主要地位，而在进气与排气阶段，惯性力的影响更加突出。由于两种载荷在相位与幅值上的差异，其叠加效应会在某些时刻形成较大的瞬时载荷，对机构产生冲击作用。这种耦合特性使关键部件长期处于交变受力状态，成为诱发疲劳损伤的重要原因，因此在设计与分析中需重点关注其协同影响。

4.3 关键部件受力分布

仿真分析表明，曲柄连杆机构中各关键部件的受力分布呈现明显不均特征，其中连杆小头与曲柄销区域为应力集中最为显著的部位。在一个完整工作循环内，这些部位承受拉压交替作用及附加弯曲应力，长期运行条件下易形成疲劳裂纹并逐步扩展，对结构安全构成潜在威胁。连杆大头与轴承接触区域同样承受较大载荷，其受力状态与润滑条件密切相关。曲轴主轴承在整体受力上相对平稳，但在高转速条件下，由于惯性力增强及动载波动，其受力幅值会出现明显变化，对轴承寿命产生影响。通过对关键区域受力特征的系统分析，可识别结构薄弱环节，并为材料选择、结构强化及润滑优化提供依据，从而提升整体机构的可靠性与耐久性。

5 结构优化与改进建议

5.1 连杆结构优化

连杆作为曲柄连杆机构中承受交变载荷的重要构件，其结构优化直接关系到系统的可靠性与使用寿命。在复杂工况下，连杆需同时承受拉压交替作用及弯曲应力，易产生疲劳损伤，因此在结构设计中应围绕受力路径进行合理优化。通过对截面形状进行改进，使材料在高应力区域得到有效配置，可以在不显著增加质量的前提下提升整体强度与刚度水平。结合有限元分析方法，对关键部位进行应力分布评估，有助于发现潜在薄弱区域并进行针对性强化。在材料选择方面，高强度合金钢的应用能够显著提升抗疲劳性能，配合优化的热处理工艺，可改善组织结构并增强材料韧性。质量控制同样具有重要意义，适当减轻连杆质量能够降低往复惯性力，从而减少系统振动，但需在强度与轻量化之间取得平衡。通过结构设计、材料性能与工艺优化的协同作用，连杆的综

合性能得以显著提升。

5.2 曲轴设计改进

曲轴作为动力传递的核心部件，其设计质量直接影响整机运行的平稳性与耐久性。在复杂载荷作用下，曲轴需承受弯曲与扭转载荷的共同影响，因此对其刚度与抗疲劳能力提出较高要求。通过优化曲轴几何结构与配重分布，可以有效改善旋转过程中的动平衡状态，从而降低振动与冲击对系统的不利影响。合理的配重设计不仅有助于减小离心力不平衡，还能够提升整机运转的稳定性。在材料与表面处理方面，采用高强度材料并结合表面强化技术，如渗氮处理或表面淬火，可显著提高曲轴表面的耐磨性与抗疲劳性能，延缓裂纹萌生与扩展过程。

5.3 整体系统匹配优化

曲柄连杆机构的性能表现，不仅取决于单一部件的设计水平，还与系统整体匹配关系密切相关。在动力学层面，活塞、连杆与曲轴之间的质量分布与运动协调性，会直接影响惯性力及振动特征。通过对活塞质量进行合理配置，并优化各部件之间的匹配关系，可降低不平衡力对系统的影响，从而提升运行平稳性。在润滑系统设计方面，良好的润滑条件能够减少摩擦损失与磨损程度，对延长关键部件使用寿命具有重要作用。

6 结语

本文以长城某型汽油机曲柄连杆机构为研究对象，基于多体动力学方法建立仿真模型，对其运动规律与受力特性进行了系统分析。研究表明，在高转速工况下，惯性力对机构受力影响显著，关键部位承受较大交变载荷，是潜在失效的主要来源。通过对仿真结果的深入分析，提出了连杆与曲轴的优化方向，并指出系统匹配的重要性。研究成果为发动机结构设计与性能优化提供了理论依据。未来研究可进一步引入柔性体模型与热-力耦合分析，以提高仿真精度。同时结合实验验证，可进一步提升模型可靠性。该研究方法对类似动力系统具有一定参考价值。

参考文献

- [1] 张勇,秦金龙,孟天,等.某汽油机曲柄连杆机构多体动力学仿真[J].重庆理工大学学报(自然科学),2018,32(11):1-6.
- [2] 刘先一.4105型柴油机曲柄连杆机构的多体动力学仿真分析[D].大连海事大学,2013.
- [3] 李多.直列型四缸汽油机曲轴系多体动力学仿真研究[D].东北大学,2013.
- [4] 王晓.曲柄连杆机构多体系统动力学与油膜动力润滑耦合仿真研究[J].内燃机,2010,(01):1-3.
- [5] 吴楠,廖日东,张保成,等.柴油机曲柄连杆机构多体动力学仿真分析[J].内燃机工程,2005,(05):69-73.

Application and Effect Analysis of Intelligent Comprehensive Mining Technology in Thin Coal Seam Coal Mine

Tiejun Wu

Shanxi Xiangkuang Shangliang Coal Industry Co., Ltd., Changzhi, Shanxi, 046200, China

Abstract

With the continuous advancement of intelligent coal mine construction, intelligent comprehensive mining technology has emerged as a critical pathway for safe and efficient development of thin coal seams. This study focuses on intelligent comprehensive mining technology for thin coal seam mines. Based on analyzing the extraction characteristics and technical challenges of thin coal seams, it explores the key components, application approaches, and implementation priorities of intelligent mining systems. By integrating field application outcomes, the research summarizes their role in enhancing production efficiency, strengthening safety safeguards, optimizing labor organization, and driving mine transformation. The findings demonstrate that intelligent comprehensive mining technology effectively meets the demands of thin coal seam extraction and holds significant implications for promoting high-quality development in coal mining industries.

Keywords

thin coal seam; coal mining; intelligent comprehensive mining; technology application; effect analysis; production safety

薄煤层煤矿智能化综采技术应用与效果分析

武铁军

山西襄矿上良煤业有限公司, 中国 · 山西 长治 046200

摘要

随着煤矿智能化建设持续推进, 智能化综采技术逐步成为薄煤层安全高效开发的重要路径。文章围绕薄煤层煤矿智能化综采技术展开研究, 在分析薄煤层开采特点与技术难点的基础上, 探讨智能化综采系统的关键构成、应用路径及实施重点, 并结合现场应用成效, 对其在提升生产效率、强化安全保障、优化劳动组织和推动矿井转型方面的作用进行总结。研究表明, 智能化综采技术能够较好适应薄煤层开采需求, 对推动煤矿高质量发展具有积极意义。

关键词

薄煤层; 煤矿开采; 智能化综采; 技术应用; 效果分析; 安全生产

1 引言

在我国煤炭资源开发体系中, 薄煤层储量占有一定比重, 但受煤层赋存条件和传统开采方式制约, 这类资源长期面临开发难度大、综合效益不高的问题。薄煤层工作面空间狭窄, 设备通过性与作业适应性要求较高, 常规综采模式在装备配置、工艺组织和现场管理方面容易受到限制。近年来, 煤矿智能化建设加快推进, 感知技术、自动控制技术、远程通信技术及数据分析技术不断向采煤现场延伸, 为薄煤层开采方式优化提供了新的技术支撑。智能化综采不仅改变了传统依赖人工经验的作业模式, 也推动薄煤层煤矿由机械化向少人化、精准化和协同化方向发展。基于此, 研究薄煤层煤矿智能化综采技术应用与效果, 对提升资源回收能力和矿井

安全生产水平具有较强现实价值。

2 薄煤层煤矿开采特点与智能化综采应用基础

2.1 薄煤层开采的基本特点

薄煤层通常煤层厚度较小, 开采空间受到明显限制, 作业人员活动范围窄, 采煤设备安装、运行和维护条件较一般中厚煤层更为复杂。由于采高较低, 设备外形尺寸、机身高度、截割结构和支护形式都需要进行针对性调整, 否则容易出现设备通过困难、支架支护不稳和运输不畅等问题。同时, 薄煤层回采过程中煤壁暴露范围有限, 操作观察条件较差, 现场组织与安全管理难度相对较大。若煤层赋存不稳定, 伴随倾角变化、断层发育或顶底板起伏, 还会进一步影响采煤机运行轨迹和支架跟机效果。正因如此, 薄煤层开采并非简单压缩传统综采工艺, 而是需要形成与狭小空间、高频扰动和复杂工况相适应的技术体系。

【作者简介】武铁军(1984-), 男, 中国襄垣县人, 本科, 工程师, 从事采煤工程研究。

2.2 传统薄煤层综采面临的主要问题

在传统生产模式下，薄煤层综采常受到装备适配性不足和现场控制精度不高的影响。一些矿井虽已具备机械化采煤条件，但由于设备体积相对偏大，工作面布置紧凑度不够，导致采煤机割煤、液压支架移架和刮板输送机推移之间难以保持稳定协同。作业人员在狭窄环境中进行人工干预，不仅劳动强度较大，也会拉长作业循环时间。另一方面，薄煤层工作面对顶板控制、煤壁稳定和设备状态的敏感性更强，一旦现场信息采集不及时，极易引发局部冒顶、支架受力异常和运输系统堵塞等问题。传统依靠人工经验判断的方式，在复杂条件下难以实现对全过程的精细控制，既制约了效率提升，也增加了安全管理压力^[1]。

2.3 智能化综采技术在薄煤层中的适用价值

相较于传统综采方式，智能化综采技术在薄煤层应用中具有明显针对性优势。一方面，智能感知系统可对采煤机位置、液压支架压力、刮板输送机负荷及环境参数进行实时监测，弥补作业空间受限带来的现场观察不足问题。另一方面，自动控制与远程操控技术能够减少人员直接进入危险区域的频次，缓解薄煤层人工操作不便和安全风险叠加的矛盾。通过构建数据传输、集中控制、视频监控与故障预警一体化系统，还能提升工作面协同运行水平，使采煤、支护、运输等环节更加连续顺畅。对薄煤层矿井而言，智能化综采并不只是技术升级，更是提升资源开采价值、改善作业环境和推动矿井现代化转型的重要抓手。

3 薄煤层煤矿智能化综采技术的主要构成与应用要点

3.1 薄煤层智能化采煤装备的优化配置

薄煤层智能化综采首先依赖于适配性较强的成套装备。采煤机需要在机身高度、滚筒结构、牵引控制和截割稳定性方面针对薄煤层条件进行优化，以满足低采高条件下连续截割和精准运行的要求。液压支架则要兼顾支护强度、结构紧凑性和快速移架能力，确保在有限空间内完成有效支护并保持工作面顶板稳定。刮板输送机和转载运输系统也应与采煤节奏保持一致，避免因运输能力不足形成卡阻和堆煤现象。智能化条件下，装备配置不再局限于机械参数匹配，还要求传感器接口、控制模块和通信系统具备良好兼容性。只有实现装备轻型化、低矮化和控制集成化，薄煤层智能化综采系统才能稳定运行并真正发挥技术效能。

3.2 感知监测与集中控制系统的集成应用

薄煤层工作面智能化运行的关键，在于将现场状态由“不可见”转变为“可感知、可判断、可调控”。为此，需要构建覆盖设备、环境和工况信息的综合监测系统。采煤机运行速度、截割高度、牵引位置及电机负荷等数据，应通过在线传感装置实时采集；液压支架初撑力、工作阻力、移架状态及顶板压力变化，也应实现动态监测；通风、瓦斯、温度、

粉尘等环境参数则需纳入统一平台进行联动分析。在此基础上，通过集中控制系统对采煤、支护和运输设备实施协同调度，可减少各环节之间的等待和误动作。尤其在薄煤层空间狭小、人员通行受限的条件下，集中控制能够显著提升现场指挥效率，使工作面生产逐步由分散操作向系统联动转变^[2]。

3.3 远程操控与自动化作业模式的实施重点

远程操控是薄煤层智能化综采的重要实现形式。由于作业区域低矮、粉尘较大、视线受限，人员长期近距离操作既不便，也存在一定安全隐患。通过构建地面或顺槽远程操控平台，可实现对采煤机启停、牵引调速、截割高度调节、支架跟机动作及运输设备联动运行的远程干预，从而减少井下作业人员数量。进一步发展自动化作业模式，则要求系统具备记忆截割、路径识别、支架自动跟机和设备状态自诊断能力，使综采工作面形成较高度度的自主运行能力。在实施过程中，应充分考虑薄煤层煤层起伏、地质扰动和局部异常工况对自动控制精度的影响，通过人工确认与智能判断相结合的方式，逐步提升自动化作业稳定性，避免盲目追求“全自动”而削弱实际应用效果。

4 薄煤层煤矿智能化综采技术的实际应用路径

4.1 以地质条件分析为前提优化技术方案

薄煤层智能化综采的技术应用必须充分结合地质条件进行优化，以确保技术方案的有效性和适应性。每个矿井的煤层厚度、倾角变化、顶底板岩性、断层分布和瓦斯赋存等方面存在差异，忽视这些地质特征往往会导致设备选型不当、控制参数不精准、作业模式与实际不匹配等问题。因此，在技术实施前，需依托钻探资料、地质测量成果和工作面预报信息，综合评估煤层稳定性和回采难点，明确适宜的采高范围、支架支护参数及采煤机截割控制方式。在地质条件较为复杂的区域，如煤层起伏频繁或受断层影响显著的区域，应为人工干预和动态调整预留接口和空间。只有深入细致地分析地质条件，才能确保智能化综采技术与现场实际紧密结合，从而提高技术应用的精准性和效果^[3]。

4.2 以工艺协同优化提升工作面运行效率

薄煤层智能化综采技术的实施，不仅仅是增加监测和控制装置的数量，更关键的是对工作面整体工艺的协同优化。综采过程中，采煤机割煤、支架移架、输送机推移及煤流运输各环节相互依赖，任何一个环节的滞后都会影响整体的生产推进速度。因此，采用智能化技术后，应重新梳理循环作业的组织方式，合理规划采煤机牵引速度、割煤路径、支架动作顺序和设备启停逻辑，从而减少无效的等待时间，提升作业效率。特别是在端头区、断层过渡区及运输转载交汇区等关键部位，还需要加强专项协同控制，避免局部运行不畅影响整个工作面的推进。实践证明，智能控制技术与工艺优化的同步实施，能够最大化智能化综采的效率优势，而不仅仅是设备的简单升级。

4.3 以人员转型与管理创新保障技术落地

薄煤层煤矿智能化综采技术的成功实施，不仅仅依赖于技术本身，还需要依赖于人员能力的转型和管理方式的创新。传统综采依赖于操作工人的现场经验，但智能化综采系统的运行要求操作人员具备更多的技能，包括设备监控、参数调整、故障诊断和数据分析等。因此，矿井必须加强岗位人员的培训，推动其从传统的操作型转变为技术型和监控型人才。同时，管理制度应与智能化生产相适应，将设备点检、数据巡查、异常上报和远程联控等环节纳入日常管理流程，形成规范的运行机制。在新系统投入使用初期，管理层还应注重反馈和优化，以应对可能出现的适应性问题。只有技术、人员和管理的有机结合，智能化综采技术才能在薄煤层煤矿中顺利落地并持续发挥效益。

5 薄煤层煤矿智能化综采技术的应用效果分析

5.1 生产效率和资源回收能力明显提升

从应用成效看，智能化综采技术在薄煤层中的推广，最直接的体现是生产效率的提升。通过设备协同控制和作业节奏优化，工作面割煤、移架、推溜和运输过程更加连续，循环时间明显缩短，单班进尺和日产水平得到改善。由于采煤机运行轨迹和截割参数控制更精准，薄煤层资源回收率也有所提高，减少了因人工控制粗放造成的煤炭损失。特别是在煤层厚度变化较频繁的工作面，智能化控制能够根据实时工况进行参数修正，使开采过程更平稳。对矿井而言，这种效率提升并不只是体现在短期产量增长上，更意味着薄煤层资源开发的经济可行性增强，为过去较难高效利用的资源提供了新的开发空间^[4]。

5.2 安全保障水平和作业环境持续改善

薄煤层工作面原本就存在空间狭小、观察困难和人工干预频繁等特点，智能化综采技术的应用在安全层面表现出较强优势。实时监测系统能够提前识别支架受力异常、设备运行异常、瓦斯浓度变化及运输系统堵塞风险，为隐患处置赢得时间。远程操控模式减少了作业人员进入采煤机附近和支架密集区的频次，降低了人员暴露在危险区域中的概率。与此同时，作业人员数量减少后，工作面通行条件和组织秩序也得到改善。虽然智能化系统不能替代全部安全管理工作，但其对风险感知和主动防控能力的增强是明显的。对于薄煤层矿井来说，这种由“人防为主”向“技防协同”转变

的过程，正是安全生产水平提升的重要体现。

5.3 劳动组织模式和矿井发展方式逐步优化

智能化综采技术的应用，还推动了薄煤层煤矿劳动组织结构和方式的发展方式的改变。过去薄煤层开采常常被认为劳动投入大、机械效率低、管理难度高，而在智能化条件下，岗位设置逐渐由现场分散操作转向集中监控和专业维护，作业组织更加精简。操作人员劳动强度降低后，岗位稳定性和职业吸引力也有所提高，有利于缓解煤矿一线岗位人员流失问题。更为重要的是，智能化建设提升了矿井对生产数据的利用能力，使企业能够从粗放式生产转向精细化管理。这种变化不仅改善了当前工作面的运行质量，也为矿井后续推进智能掘进、智能运输和智慧管理奠定了基础。从长远看，薄煤层智能化综采的意义已超出单一采煤技术范畴，正在成为矿井转型升级的重要组成部分^[5]。

6 结语

薄煤层煤矿智能化综采技术的推广应用，是提升薄煤层资源开发效率和保障煤矿安全生产的重要方向。面对薄煤层空间受限、设备适应性要求高、现场控制难度大等现实问题，智能感知、集中控制、远程操控和自动化作业等技术的融合，为传统开采模式优化提供了切实可行的路径。实践表明，智能化综采不仅能够提高工作面生产效率和资源回收水平，还能改善作业环境、降低劳动强度、增强风险防控能力，并推动矿井管理方式向数字化和协同化转变。今后，随着装备制造水平、通信技术和智能算法不断发展，薄煤层煤矿智能化综采技术将在适应复杂地质条件、提升控制精度和增强系统稳定性方面取得更大进展，为煤炭行业高质量发展提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 刘壮,陈胜楠,蒋延桂,等.煤矿薄煤层智能化综采工艺技术及装备改进[J].内蒙古煤炭经济,2026,(02):118-120.
- [2] 寇辉.煤矿薄煤层智能化综采工艺技术及装备改进[J].内蒙古煤炭经济,2025,(08):124-126.
- [3] 赵振宇.鑫岩煤矿薄煤层智能化综采工作面关键技术及应用[J].能源技术与管理,2024,49(02):66-69.
- [4] 张旭东.薄煤层综采工作面智能化控制技术应用探究[J].生态与资源,2024,(04):108-110.
- [5] 杨燕敏.薄煤层综采工作面智能化控制技术应用[J].江西煤炭科技,2023,(04):244-246.

Optimization and Practical Analysis of Fire Safety Design in High-Rise Buildings

Yuling Zhao

Lintao Xinghui Star Architecture Design Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 730500, China

Abstract

With the in-depth advancement of the construction industry, the number of high-rise buildings has increased year by year, effectively saving urban land. Due to their large volumes and dense populations, high-rise residential buildings face challenges in fire safety design, including high fire loads, rapid smoke spread, and difficulties in evacuation and rescue. Currently, national regulations such as the "Code for Fire Protection Design of Buildings" (GB50016-2014) provide a fundamental basis for fire protection in high-rise buildings. However, in the context of super high-rise and intelligent buildings, existing firefighting design concepts and methods are increasingly unable to meet the practical needs of fire prevention and control. This paper elucidates the characteristics of fire safety design for high-rise buildings, analyzes strategies for optimizing fire safety design, and discusses practical cases of optimization in high-rise building fire safety design.

Keywords

high-rise buildings; fire safety design; optimization strategies; engineering practice

高层建筑防火安全设计优化与实践分析

赵玉玲

临洮星汇星建筑设计有限公司, 中国·甘肃 定西 730500

摘要

在建筑行业发展进程的深入推进下, 高层建筑数量逐年增多, 有效地节约了城市用地。高层住宅建筑因体量庞大、人口密集等特点, 防火安全设计面临火灾荷载大、烟气蔓延快、疏散救援难等挑战。目前, 国家颁布的《建筑设计防火规范》(GB50016-2014) 等, 为高层建筑的火灾防护提供了基础依据, 然而, 面对超高层和智能化的高层建筑, 现有的消防设计思想与方法已经很难适应火灾防治的实际需要。本文阐述了高层建筑防火安全设计特点, 分析了高层建筑防火安全设计优化策略, 并对高层建筑防火安全设计优化实践案例进行了探讨。

关键词

高层建筑; 防火安全设计; 优化策略; 工程实践

1 引言

随着城市化进程的加快, 城镇用地日趋紧缺, 高层住宅被越来越多的应用于居住、写字楼和酒店等各行业, 逐渐成为新地标。然而, 由于其本身的特点及作用复杂性, 其防火工作面临巨大考验: 由于高楼高度, 使火场中的烟雾迅速扩散, 使得人们难以及时有效进行逃生和灭火。建筑物的功能分区多、电器设备多, 容易构成火场传播路径; 在撤离过程中的人群密集, 疏散过程中易引发人群拥挤等次生灾难。在这种情况下, 对高层建筑防火安全进行优化设计及实践研究, 有助于提高高层建筑防火安全设计的安全性。

2 高层建筑防火安全设计特点

与低层、多层建筑相比, 高层建筑的消防安全问题更突出, 其主要特点表现为建筑竖向空间较大, 竖井、电梯井等竖向空间较大, 易产生“烟囱效应”, 引起竖向火焰迅速传播; 消防分区不够科学, 易引起火灾侧向传播; 高层建筑消防安全问题突出。高层建筑内人群多, 疏散距离长、楼梯数量少, 一些老人和残疾人等群体疏散能力差, 在火灾中容易出现恐慌和拥挤, 从而导致疏散困难, 造成人员伤亡。消防安全受限, 当前国内主流的消防云梯车辆最大灭火高度在 100 m 左右, 而在超高层建筑中, 外部人员很难直接到达火场上方, 只能依靠大楼内的灭火设备进行灭火, 这对灭火系统的可靠程度提出了更高的要求。同时, 由于多栋楼是集办公、商业、酒店等多种用途于一体的多用途综合体, 其火灾荷载及人员需求等均存在显著差异, 使得消防设计更加复杂。比如, 在商场内, 火灾荷载大、人员流动大、疏散节奏

【作者简介】赵玉玲(1977-), 中国甘肃兰州人, 本科, 工程师, 从事建筑设计研究。

缓慢等,需要根据不同区进行差异化防火设计^[1]。

3 高层建筑防火安全设计优化策略

3.1 优化建筑布局和防火分隔设计

根据现有标准,考虑其使用特性及消防安全隐患,对其进行合理的防火分区,以保证各区域的建筑面积满足相关标准。一级以上的公用建筑,其防火区划的最大建筑面积不得超过1500m²,二级以上的公用建筑不得超过2000m²,而高层住宅建筑则不得超过1500m²;针对250m以上的超高层建筑,须严格执行公消〔2018〕57号文件规定的防火分区,提高防火隔离的可靠度。针对不同类型的不同用途,采取差异化的消防区划方法。另外,在防火区划时,充分考虑建筑物的形状和空间利用度,采取多种形式的防火分隔方法,如采用防火卷帘、防火隔墙等,在保证防火安全的前提下,不会对建筑物的应用造成任何影响。以南京金融城(东部)C1大厦为例,在其内部采用环形通道,而在外围间壁配置B级防火窗,从而对各区域进行合理分割和防火隔离。为解决“烟囱效应”在垂直通道中引起的火灾传播问题,采用加强竖井等竖井消防隔离方法。垂直走道与其他部分之间应设置耐火界限为1.00小时以上的防火隔板,对立面的观察窗应设置三级防火门,以保证密闭;对垂直通道实施层层封闭,各楼层均使用阻燃剂封闭,以阻止烟火通过垂直通道扩散,对垂直通道进行适当的布局,避免电缆井与楼梯间、疏散通道相邻,如一定要相邻,则要采取有效的消防隔离措施。根据防火要求,高层建筑外壁隔热材料应以A类防火隔热材料为主,禁止使用B3类易燃隔热材料;如采用B1或B2级隔热材质的建筑物,则需建立不少于30mm的防火分隔带,并沿着建筑物的外墙延伸,以保证完全遮盖保温层的高度^[2]。

3.2 对消防设施进行优化布置,提高其可靠度

根据现有的标准,对室内消火栓系统、火灾自动报警系统等防火设备进行优化配置,保证设备覆盖范围全面。在高度超过100m的高层民用建筑中,安装自动洒水及消防报警装置;在火灾荷载大的场所,如商业、办公等,配备快速反应式喷头和自动追踪定位式射流消防装置;在100m以上的高楼上,应在保证其净面积、通风系统等方面满足相关标准的前提下,设置避难层。针对各功能区的防火安全特征,采用差异化的防火设备,提高防火设备的适用性与效能。比如,在商场人员密集和火灾荷载较大的情况下,除配备基础防火卷帘、紧急照明系统等外,还需要增加一些其他的功能,及时地控制住火势,并疏散人员。居住小区人员密集、疏散速度缓慢,应对室内消防栓及紧急疏散设备进行优化,为特定群体提供便利的疏散路线;由于写字楼用电设施比较多,要注重对电力火灾的防范,安装电子消防监视装置,对电力线路和设施的工作情况进行实时监视,以便对发生的电器事故进行及时监测。在防火设备安装过程中,要对其进行严格管理,同时还要对其进行质量控制,选择合格的消防制品,

保证其在建造过程中能达到相关的技术指标,从而不会因为建筑质量问题而造成火灾^[3]。

3.3 提高人员疏散效果,对疏散设计进行优化

按照要求,一类高层公用建筑及22m以上的二类高层公用建筑,应当在其疏散楼梯间设有面积满足标准规定的前室;在疏散过程中,考虑到人流密集程度及安全间距,保证安全出口的通畅,防止发生踩踏等次生事故。250m及以上的超高层建筑,在实施公消〔2018〕57号文件中,严禁使用剪梯,并在某一段扶梯无法正常工作的情况下,预留的空间足够满足人员的需要,并允许一楼与外界相通。通过对应急疏散路径进行合理的规划,使其尽可能地缩小弯曲的空间,从而达到有效的疏散效果。在100m及100m以上的高层建筑物中,其防空洞(室)的间距不宜超过50m,而防空洞(室)的净用地(室)按照每人0.25m²的比例进行分配,250m及以上的超高层建筑可适度增加。进一步优化防烟及应急照明等设备,保证各防空洞(室)的烟雾含量及温度满足相关标准,为疏散人群提供安全的避难所。在防空洞(室)内安装疏散标识,使人们能迅速撤离。对疏散标识和紧急照明体系进行规范,在疏散楼梯的墙上和地上要有明确的疏散标识,间距不能超过20m,在疏散拐角等重要地方应该安装疏散标识。保证在突发情况下,人员可以正确识别逃生路线,在紧急情况下,必须保持至少90分钟的照明强度^[4]。

3.4 提高智能化防控水平,增强预警和处置能力

通过引入物联网和人工智能等技术,建立智能化的火灾监测预警体系,以达到实时监控和精确预警的目的。将智能感烟探测器、可燃气体探测器等设备布置在大楼重要区域,将火灾隐患的有关信息进行实时收集,并将其传送到智能监控平台上,由该系统对这些信息分析和处理,从而能对火灾危险进行及时检测和报警,并向管理者提供相应的警告。比如,无锡惠山区长安街建成的“物联网火灾报警系统”,通过114家单位、11000多个服务网点,可以对火灾进行准确的报警、迅速处理。并与视频监控相配合,对楼宇内进行实时监测,对违章用火等情况进行预警,预防火灾。将火灾自动报警系统与自动喷水灭火系统、防排烟系统、应急广播系统、应急照明系统、电梯系统等进行联动,当出现火灾时,该智慧监测平台会在出现火灾时,会自动开启应急联动方案,关闭空调系统、切断火警区域的供电,并开启自动喷水灭火系统和防排烟系统,以减少火区的气温和烟雾的含量,并开启应急广播系统和应急照明系统,进行应急指挥,并将火灾情况向消防救援机构报告,以便消防救援人员准确地掌握火灾位置等情况,提高应急处理的效率。如南京金融城东(东)1号大厦建立了完备的火灾预警、处置应急联动体系。通过引进智能装备,如消防机器人和应急疏散机器人,可以提高应急处理水平。通过对火灾区域进行灭火和人员搜救等作业,可以代替手工进行高危作业。

4 高层建筑防火安全设计优化实践案例剖析

4.1 案例概况

以南京金融城二期(东区)C1塔楼项目为例,该项目包括酒店、写字楼、商业等,是一座地标性建筑。1号楼高416.6m,属于一类高层结构,共有5层,总深度超过10m。在公消〔2018〕57号文发布之前,已经完成前期的初步设计和评估,经过加强性技术要求,对原有的建设方案进行改进。在江苏地区首个公消〔2018〕57号文件发布后,已经顺利通过消防评审会议250m及以上的高层住宅,其消防安全设计优化的实践,具有较高推广价值。工程初期的初步设计还存在一些问题。对250m及250m以上的超高层建筑,其主要结构部件的防火性能指标均低于250m及以下部位,承重柱、梁和核心筒周壁的耐火能力不足;筒体外侧无环形通道,消防隔离不满足公消〔2018〕57号文件规定;消防通道为剪式梯,人员撤离方案不能满足加固规范;避难区空间小,避难区的墙体形状没有达到消防设计的要求;没有建立健全的网络监控和预警体系,应对突发事件的能力还需要提高。

4.2 优化设计方案实施

针对工程建设中存在的问题,以提高建筑构件耐火性能,将梁柱防火极限提高到4小时,梁和核心区周边墙提高到3小时,楼层和屋面提高2.5小时,并提高管道和疏散走道等耐火性能,确保结构在发生火灾时的完整性。对消防分区进行优化,在筒体外侧设有环状通道,四周隔板内设有B级防火门窗;对扩建的前厅、防烟楼梯井及前厅的隔板等要求进行改进;为了防止火灾的扩散,将隔层封闭墙体的高度调节到1.5m。对疏散设计进行优化,将原有的剪式梯改造成3个1.6m宽的防火梯,以保证其中楼梯无法使用时,其留有足够的空间满足人员疏散需要;增加一台可分层停车的副逃生升降机,以适应超高层大楼的人员撤离与营救需要;将避难人员数从 $0.2\text{m}^2/\text{人}$ 提升至 $0.25\text{m}^2/\text{人}$,扩大避难区的空间,并在避难区中设置外墙,提高避难区域的安全水平;

通过改进安全标识和安全灯光,引进智能化的紧急逃生体系,提高人员撤离的效率。提高消防设备的配备程度,将基本的防火设备如自动喷水灭火系统、室内消火栓系统等进行充分的安装,并在商业区域等重点部位增加快速反应喷头。强化防火设备建设的质量控制,选择高质量的防火材料、标准化的施工技术;制定健全的消防设备维修管理体系,保证设备的良好运转。将物联网和人工智能等技术引入到智慧防控系统中,配置智能感烟探测器、电气火灾监控探测器等,建立基于物联网的火灾安全预警云平台,对火灾进行实时监控和精确预警。健全消防安全联动机制,使其与各类防火设备之间能进行高效连接;通过引进消防机器人和智能疏散机器人,提高应急救援水平。

5 结语

总之,高层建筑防火安全设计对维护我国的公共安全具有重要的意义,其设计水平对人民生命和社会安定具有直接影响。针对目前我国高层建筑防火安全设计中存在的防火分区不合理、疏散设计不足等问题,依据《建筑设计防火规范》(GB 50016-2014)等,从“空间布置与防火分隔”“人员疏散设计”“设计运行协调”等层面,采取有效的应对策略,并检验其可行性与有效性。研究结果显示,通过对建筑物空间布置和防火分区的科学合理设置,加强消防设备的配备和维修保养,改进人员的结构和功能,可以提高智能化防控水平。

参考文献

- [1] 胡保卫.高层建筑消防设备配线防火设计思路研究[J].中国设备工程,2025,(19):261-263.
- [2] 赛音.高层建筑防火监督检查要点及消防监督管理研究[J].中国住宅设施,2025,(02):31-33.
- [3] 朱磊.高层建筑消防设备配线防火设计思路研究[J].中国设备工程,2024,(24):243-245.
- [4] 马文敏.建筑防火技术在高层建筑设计中的应用研究[J].科技资讯,2024,22(17):201-203.

Research on Safety Hazards and Management Methods of Coal Mine Ventilation

Huabin Qin

Shanxi Xiangkuang Shangliang Coal Industry Co., Ltd., Changzhi, Shanxi, 046200, China

Abstract

With continuous increases in coal mining depth, expanding extraction ranges, and significant advancements in mechanization, underground ventilation systems face multiple challenges including roadway extension, increased resistance, intensified disaster coupling, and complex localized air usage patterns. Traditional management approaches relying on empirical adjustments and localized rectifications have become inadequate for modern mine safety requirements. This paper analyzes the primary manifestations of ventilation safety hazards in coal mines, addressing structural deficiencies, equipment malfunctions, and management shortcomings in ventilation system operations. It explores pathways to enhance ventilation safety capabilities through system optimization, hazard identification, technological upgrades, regulatory improvements, and personnel management strategies, aiming to provide actionable insights for coal mine ventilation management practices.

Keywords

coal mine ventilation; safety hazards; ventilation system; safety management

煤矿通风的安全隐患和管理方法研究

秦华斌

山西襄矿上良煤业有限公司, 中国 · 山西 长治 046200

摘要

随着煤矿开采深度持续增加、采掘范围不断扩大以及机械化程度显著提升, 井下通风系统面临巷道延伸、阻力增大、灾害耦合加剧和局部用风复杂化等多重挑战, 传统依靠经验调节和局部整改的管理方式已难以满足现代矿井安全生产需求。文章围绕煤矿通风安全隐患的主要表现展开分析, 结合通风系统运行中存在的结构性问题、设备问题和管理问题, 探讨从系统优化、隐患排查、技术升级、制度完善和人员管理等方面提升通风安全保障能力的路径, 以期对煤矿通风管理工作提供参考。

关键词

煤矿通风; 安全隐患; 通风系统; 安全管理

1 引言

煤矿井下生产环境封闭、空间复杂、灾害因素交织, 通风系统在其中发挥着极为重要的基础支撑作用。稳定有效的通风不仅能够向采掘工作面持续输送新鲜空气, 还能够及时排出瓦斯、一氧化碳、粉尘和热量, 为井下作业人员和设备运行提供基本安全条件。通风一旦出现异常, 轻则造成局部风量不足、作业环境恶化, 重则可能诱发瓦斯积聚、煤尘爆炸、火灾扩散和人员窒息等严重事故。从实践情况看, 部分矿井虽然建立了较为完整的通风系统, 但在巷道布置、设施维护、局部通风、系统调节和现场管理等方面仍存在薄弱环节, 使通风系统运行中潜藏较多安全隐患。特别是在生产接续频繁变化、采掘活动不断推进的情况下, 通风系统的动

态适应性和管理精细度显得尤为重要。基于此, 研究煤矿通风的安全隐患和管理方法, 对于提高矿井本质安全水平、保障煤矿安全稳定生产具有现实意义。

2 煤矿通风在安全生产中的基础作用及隐患形成背景

2.1 煤矿通风是矿井安全生产的生命保障系统

在煤矿生产过程中, 通风系统不仅承担送风和排风功能, 更是瓦斯治理、火灾防控、粉尘稀释、热害调节和事故应急处置的重要依托。采掘工作面在作业时会不断产生瓦斯、煤尘和机械热量, 若缺乏稳定风流进行稀释和排放, 井下环境便会迅速恶化。特别是在高瓦斯矿井和深部矿井中, 通风质量直接决定作业空间是否具备安全生产条件。可以说, 矿井通风系统不是一般性的辅助生产系统, 而是支撑整个矿井安全运行的生命保障系统。其一旦出现阻断、紊乱或失稳, 将会在短时间内放大其他灾害因素, 造成灾害叠加和

【作者简介】秦华斌(1973-), 男, 中国山西长治人, 本科, 工程师, 从事矿井通风研究。

事故升级。因此,任何关于煤矿安全生产的管理研究,都不能忽视通风系统的基础地位^[1]。

2.2 现代煤矿开采条件变化使通风隐患更加复杂

当前煤矿生产呈现出开采深度增加、采区范围扩大、工作面长度加大和机械设备功率提高等特点,这些变化使通风系统承受的压力明显上升。巷道延伸会增加通风路线长度和系统阻力,采区接续调整会改变风流组织结构,局部高温和高瓦斯区域则对风量分配和通风稳定性提出更高要求。此外,采空区范围扩大、密闭区数量增多和局部风流死角增多,也使通风隐患更具隐蔽性和动态性。过去一些能够依靠经验处理的小问题,在现代高强度开采背景下可能迅速演变为系统性风险。由此可见,煤矿通风隐患并不是孤立形成的,而是地质条件、生产组织、系统设计和管理水平共同作用的结果。

2.3 通风隐患往往具有渐变性和累积性特征

煤矿通风隐患与某些突发性事故隐患不同,很多问题并不会在形成初期立即表现为明显事故征兆,而是以风量轻微下降、局部阻力增大、设施老化失效和漏风逐渐加重等方式缓慢积累。若管理人员缺乏足够敏感性,或日常检查停留在表面,就容易忽视这些小问题的持续叠加。例如,风门关闭不严、风筒接口漏风、局部通风机位置不合理、密闭维护滞后等情况,看似影响有限,但随着时间推移和采掘条件变化,可能引发局部无风、循环风、瓦斯积聚或火区供氧增强等严重后果。因此,研究煤矿通风隐患时,必须重视其渐变性和累积性特点,不能只关注事故爆发时的直接表现,更要关注日常运行中的细小异常^[2]。

3 煤矿通风系统中常见的安全隐患分析

3.1 通风系统布置不合理引发风流紊乱隐患

煤矿通风系统安全隐患中,系统布置不合理是较为常见且影响深远的一类问题。部分矿井在采区布局调整、巷道延伸或生产接续变更后,未能同步优化通风系统,导致原有风流组织不能适应新的生产格局。有的矿井通风路线过长、分支过多,造成通风阻力显著增加;有的矿井回风和进风系统布置不够清晰,容易形成风流短路和串联通风;还有的矿井局部区域存在风流死角,导致作业地点供风不足。这些问题不仅影响通风效率,也容易使瓦斯、粉尘和热量在局部聚集。通风系统布置一旦缺乏科学性,后续即使通过增加主扇能力或局部调节,也往往只能缓解表面矛盾,难以从根本上解决风流紊乱带来的安全风险。

3.2 局部通风管理不到位导致作业地点风险上升

煤矿掘进工作面和局部作业区域对局部通风依赖程度较高,局部通风一旦管理不到位,安全问题往往更容易直接暴露。现实中,常见问题包括局部通风机安设位置不规范、风筒吊挂不平直、接口漏风严重、风筒出口距迎头距离不合理以及临时停风管理松懈等。部分工作面还存在擅自停开风

机、随意挪动风筒和局部通风设施维护不及时的问题。这些情况极易造成工作面风量不足、瓦斯积聚、炮烟排放不畅和粉尘扩散加剧。尤其在低瓦斯矿井中,局部通风问题往往是诱发瓦斯超限和事故升级的重要因素。局部通风隐患之所以反复出现,往往与现场执行力不足、责任划分不清和监管力度不够密切相关。

3.3 通风设施失修失效削弱系统整体稳定性

通风设施是保证矿井风流按既定路线运行的重要控制手段,包括风门、风窗、密闭、调节风门、反风设施和隔爆设施等。若这些设施维护不到位,通风系统整体稳定性就会受到明显削弱。部分矿井存在风门损坏后未及时修复、密闭墙漏风、调节设施失准和反风装置长期缺乏检验等现象。设施一旦带病运行,不仅影响正常通风参数,还可能在灾害情况下失去控制能力。例如,密闭漏风会给采空区或火区提供氧气,增加自然发火风险;风门关闭不严则会造成风流短路,削弱工作面有效风量;反风系统若平时缺乏维护,在灾害应急时将难以发挥作用。通风设施问题具有隐蔽性强、影响范围广的特点,是煤矿通风管理中必须高度重视的隐患来源^[3]。

4 煤矿通风安全隐患产生的深层原因

4.1 系统设计与生产变化脱节是重要成因

煤矿通风系统并不是一成不变的,必须随着采掘接续和生产布局变化不断优化调整。然而,一些矿井在实际管理中存在“重生产接续、轻系统重构”的倾向,采区布置和巷道延伸发生较大变化后,通风设计却没有及时跟进更新,导致原本合理的通风系统逐渐失去适应性。设计与生产脱节后,局部风量不足、风流绕行过长、回风系统负担过重等问题便会逐步显现。尤其在老矿井和生产条件多次调整的矿井中,这类矛盾更为突出。由此可见,通风隐患的形成并不只是现场管理问题,也与矿井整体规划和动态设计能力不足密切相关。

4.2 设备设施维护滞后削弱了通风保障能力

通风系统长期稳定运行离不开设备设施的持续维护。主通风机、局部通风机、监测装置和各类通风构筑物,都需要在运行中定期检修、校验和更新。可是在一些矿井中,设备维护存在重使用、轻保养现象,设施维修往往滞后于问题暴露之后。局部通风机性能下降、风筒破损漏风、监测传感器误差增大等情况若未被及时纠正,就会持续削弱通风保障能力。同时,部分单位在设备更新上存在资金投入不足、备件准备不充分和故障处理不及时的问题,导致小故障拖成大隐患。维护工作的滞后,使通风系统长期处于“带病运行”状态,是煤矿通风隐患久治不绝的重要原因之一^[4]。

4.3 现场管理粗放和责任落实不严加大了隐患积累

煤矿通风管理涉及设计、调度、生产、安监、通风区队和现场作业人员等多个层级,若责任链条不清晰,隐患治理就容易出现空档。一些矿井虽然有较为完整的制度,但在

落实层面仍存在检查流于形式、问题整改闭环不严、现场违章纠正不及时等问题。个别管理人员对通风问题敏感性不足，只重视明显异常，对风量变化、设施小缺陷和局部漏风等苗头性问题关注不够。与此同时，班组层面对局部通风设施的日常维护和巡查执行也可能不到位，造成问题反复出现。现场管理一旦粗放化，通风隐患便会在日常生产中持续累积，直到遇到特殊条件或突发情况时集中爆发。因此，责任落实不严实质上是在放大系统风险。

5 煤矿通风安全管理的优化方法

5.1 完善通风系统设计与动态调整机制

为了有效提升煤矿通风的安全性，科学合理的系统设计与灵活的动态调整机制至关重要。在矿井通风系统的设计阶段，应结合具体的地质条件、开采深度、采区布局和生产接续情况进行全面分析，合理制定进回风线路、采区分区和风量分配等方案。尤其是在新采区、新工作面及重大接续区域，必须提前进行通风专项设计和论证，避免在生产过程中发现问题再进行补救。而对于已运行的通风系统，建立动态评估机制显得尤为重要。随着采掘进度的推进和巷道变化，应定期修正通风参数，以确保系统与生产条件始终保持匹配，及时发现和解决风量失衡或系统阻力异常等问题。动态调整机制不仅能在系统出现问题后采取补救措施，更应主动优化通风系统结构，确保通风效果在整个生产过程中持续达到最佳状态，从而有效保障煤矿的安全生产^[5]。

5.2 强化局部通风和设施管理，提升现场控制能力

局部通风和通风设施管理是煤矿通风安全管理中的基础环节，直接关系到矿井的生产安全。针对掘进工作面和局部作业地点，必须严格规范局部通风机的安装位置、风筒敷设方式以及出口的合理距离，以确保局部供风能够满足作业需求。风筒的安装应确保平直牢固，接口必须严密密封，破损时要及时更换，避免因细节问题影响通风效果。对风门、风窗、密闭设施及调节设备，要建立专人管理和定期检查制度，发现任何损坏、漏风或设备失效时，必须迅速处理。通风设施管理不仅要保证设备齐全，更要确保其在使用中的有效性和可靠性。此外，临时停风、风机切换及局部设施调整时，要执行严格的审批制度，并制定应急处理措施，避免因操作不当引发局部风流异常或其他安全隐患。通过细致、规范的现场控制，能够为矿井的通风安全打下坚实的基础，确保作业环境始终处于安全可控状态。

5.3 加强监测预警与隐患排查，构建全过程管理体系

现代煤矿的通风安全管理必须由传统的经验型管理模式向基于数据支持的管理体系转变。为此，矿井应完善通风监测系统，实时监测主通风机的运行状态、主要巷道的风量、关键位置的瓦斯浓度以及局部通风参数，确保能够及时掌握系统运行的变化趋势。监测系统不仅仅是对设备的状态进行监控，更要与日常巡查、隐患排查和生产调度工作有机结合，形成一条从发现问题、分析原因到制定措施及复检验收的闭环管理链条。隐患排查不应仅关注显性故障，还应对风流波动、设备老化、漏风变化及局部作业异常等隐患进行提前预警。通过监测预警与人工巡查相结合，可以更早发现潜在风险，并快速采取针对性措施，有效避免事故的发生。全过程管理体系强调持续跟踪和动态控制，从而使通风管理从被动反应转向主动预防。这一体系的实施，不仅提升了煤矿的通风安全水平，也为确保矿井的长期稳定运行提供了有力保障。

6 结语

煤矿通风的安全隐患具有系统性、动态性和累积性特征，既可能源于通风系统设计不合理，也可能来自局部通风管理不严、设施维护滞后和现场责任落实不到位。随着煤矿开采条件不断复杂化，通风系统所承载的安全保障任务日益加重，传统粗放式管理模式已难以满足现代矿井安全生产需求。要真正提升煤矿通风安全水平，必须坚持系统优化与现场治理并重、设施管理与监测预警并重、制度建设与责任落实并重，从矿井整体设计、动态调整、局部控制、隐患排查和全过程管理等多个层面协同发力。只有将通风管理做细、做实、做深，才能有效减少通风安全隐患，保障矿井安全稳定运行，并为煤矿高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 董浩.煤矿通风的安全隐患和管理方法研究[J].能源与节能,2026,(03):243-245+249.
- [2] 郭盛.矿井通风安全隐患排查方法探析[J].当代化工研究,2020,(16):59-60.
- [3] 刘广峰.煤矿通风的安全隐患和管理方法研究[J].山东工业技术,2018,(17):82.
- [4] 任刚.煤矿井下通风安全隐患排查方法和管理分析[J].山东工业技术,2018,(11):89.
- [5] 王万强.煤矿通风安全隐患与管理对策探讨[J].科技资讯,2015,13(17):137-138.

Research on Key Technologies for Safety Control in High-Temperature Molten Metal Operations

Xiang Zhang

Wuhan Hengtai Hong'an Safety Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430061, China

Abstract

High-temperature molten metal operations are widely involved in metallurgical production processes such as steel and non-ferrous metal industries. The operating environment is characterized by high temperature, high energy density, and multi-process interactions, with safety risks exhibiting both complexity and suddenness. Focusing on the risk sources in smelting, transportation, and pouring processes, the physicochemical properties and hazard evolution mechanisms of molten metals are systematically analyzed, and the formation pathways of typical accidents such as splashing, explosions, and burns are examined. On this basis, key safety control technologies are integrated from the perspectives of monitoring and sensing, process control, and protective isolation to establish a multi-level coordinated prevention and control system. Meanwhile, by combining standardized operation procedures, risk classification management, and emergency response mechanisms, the integration pathway of safety management and technical measures is optimized, promoting the transformation of safety control from experience-oriented to systematic and refined approaches, and providing support for improving the intrinsic safety level of high-temperature molten metal operations.

Keywords

high-temperature molten metal; safety control technology; risk mechanism; operational safety; metallurgical safety

高温熔融金属作业安全控制关键技术研究

张响

武汉恒泰弘安安全科技有限公司, 中国·湖北 武汉 430061

摘要

高温熔融金属作业广泛存在于钢铁、有色金属等冶金生产过程中,其作业环境具有高温、高能量密度及多工序交叉等特征,安全风险呈现出复杂性与突发性并存的特点。围绕高温熔融金属在熔炼、转运与浇注等环节中的风险来源,对其物理化学特性及危险演化机理进行系统梳理,分析喷溅、爆炸及灼伤等典型事故的形成路径。在此基础上,从监测感知、过程控制及防护隔离等方面整合关键安全控制技术,构建多层级协同防控体系。同时,结合标准化作业流程、风险分级管控及应急处置机制,完善安全管理与技术融合路径,推动安全控制由经验导向向系统化、精细化转变,为提升高温熔融金属作业本质安全水平提供支撑。

关键词

高温熔融金属; 安全控制技术; 风险机理; 作业安全; 冶金安全

1 引言

冶金生产体系中,高温熔融金属作业贯穿熔炼、精炼、运输及浇注等多个关键环节,作业条件极端且工艺连续性强,一旦发生失控极易引发连锁反应并造成严重后果。随着生产规模扩大与装备大型化发展,熔融金属温度水平持续提升,能量积聚程度显著增加,作业风险由单一因素逐步向多源叠加演化,传统依赖经验的安全管理方式难以满足现实需求。复杂工况下的热应力变化、物料状态波动及设备运行不稳定等因素交织,使事故隐患具有隐蔽性与突发性特征。安

全控制已不再局限于单一技术或局部环节,而是向全过程协同与系统集成方向发展。在此背景下,围绕关键作业环节与核心风险节点,强化技术手段与管理机制的协同融合,对于构建高水平安全保障体系具有重要意义。

2 高温熔融金属作业安全风险特征与致因机理

2.1 高温熔融金属物理化学特性与危险源识别

高温熔融金属在作业过程中呈现出高温、高流动性及强辐射等显著特征,其温度通常处于 1300°C 至 1600°C 区间,热辐射强度可达 20kW/m² 以上,对人员与设备均构成持续性威胁。熔融状态下金属黏度较低,流动过程中极易受外界扰动产生飞溅现象,形成灼伤及火灾风险。同时,金属与水、湿润物料或氧化物接触时,可能引发剧烈反应并产生瞬时

【作者简介】张响(1992-),男,中国湖北麻城人,本科,工程师,从事安全管理研究。

蒸汽膨胀效应，造成爆炸事故。熔炼过程中伴随大量氧化、还原反应，产生的气体及夹杂物进一步增加不稳定性。设备结构缺陷、耐火材料损耗及密封失效均可能成为隐蔽性危险源，在高温条件下迅速演化为突发事件。作业环境中的粉尘、气体及高温辐射叠加作用，使危险源呈现出多维分布与动态变化特征，识别难度显著增加。

2.2 典型作业环节风险演化路径与事故致因分析

熔融金属作业涵盖熔炼、出钢、转运及浇注等多个关键环节，各环节之间存在强耦合关系，一旦某一环节失控，风险将沿工序链条快速传递。熔炼阶段炉内温度波动与成分不均可能引发金属液面不稳定，导致喷溅或炉体局部损伤。出钢过程中流速控制不当及挡渣系统失效，易造成金属外溢或夹杂物进入后续工序。转运环节中，钢包或铁水包受结构疲劳、衬里侵蚀及吊运冲击影响，存在倾覆或泄漏风险。浇注阶段温度梯度变化及模具含水问题可能引发爆炸性喷溅。作业人员操作偏差、设备维护不到位及现场环境管理薄弱等因素交织，使事故由局部异常逐步演变为系统性失控，形成链式反应，放大事故后果。

2.3 多因素耦合作用下的系统性安全风险特征

高温熔融金属作业安全风险并非单一因素驱动，而是在工艺参数、设备状态、环境条件及人员行为共同作用下形成复杂系统。温度波动、压力变化及物料成分差异构成物理层面的不稳定因素，设备老化、耐火材料剥落及控制系统滞后形成技术层面的潜在隐患，现场组织管理与操作规范执行情况则直接影响风险释放路径。多因素在时间与空间上的叠加，使风险呈现出突发性强、扩散速度快及影响范围广的特征。某一局部异常可能通过能量传递与工序联动迅速扩展，引发连锁反应。复杂环境下风险识别与预判难度显著提升，安全控制需要从单点防护转向系统协同，强调多维信息整合与全过程动态管控^[1]。

3 高温熔融金属作业关键安全控制技术应用

3.1 高温环境监测与熔融状态动态感知技术

高温熔融金属作业环境中，温度、压力及液位等关键参数的实时监测对安全控制具有基础性作用。通过布设耐高温传感器与红外测温装置，可对炉体及金属液温度进行连续监测，实现误差控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内的精细化管理。液位监测系统结合雷达与激光测量技术，可在高温烟尘环境下保持稳定精度，有效避免溢流风险。气体监测装置对 CO 、 SO_2 等浓度进行实时采集，为通风与防护提供依据。多源数据融合技术可对温度变化速率、液面波动幅度等指标进行综合分析，形成动态预警信号。现场监测数据通过集中控制平台实现可视化管理，使异常状态能够被及时识别与响应，从而提升整体作业安全性与控制精度。

3.2 熔融金属转运与浇注过程安全控制技术

熔融金属转运与浇注环节是事故高发阶段，对设备可

靠性与操作稳定性要求极高。转运过程中采用高强度耐热钢结构与多层耐火衬里，可将泄漏风险降低30%以上，同时配置双回路制动与限位保护装置，提升吊运系统稳定性。自动化控制技术通过对吊运路径、速度及倾角进行精确控制，使偏差控制在 2° 以内，有效避免晃动与冲击。浇注环节通过优化流道结构与控制金属流速，实现均匀流动与稳定成型，减少飞溅现象。温度控制系统通过实时调节浇注节奏，使温度波动范围控制在 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内，防止因冷却不均导致缺陷与安全隐患。全过程控制强调设备、工艺与操作的协同配合，确保转运与浇注环节处于稳定运行状态^[2]。

3.3 防喷溅、防爆炸与隔离防护关键技术

针对高温熔融金属作业中常见的喷溅与爆炸风险，需构建多层次防护技术体系。作业区域设置耐高温隔离屏障与防护围挡，可有效阻隔高温金属飞溅对人员的直接冲击，防护效率提升40%以上。针对水分引发爆炸的风险，通过严格控制原料含水率在0.5%以下，并对模具及工具进行预热处理，降低蒸汽爆炸概率。喷溅控制技术通过优化熔池搅拌强度与流动路径，减少不稳定扰动。个体防护装备采用耐高温复合材料，可承受 1000°C 以上瞬时热冲击，保障人员安全。隔离与防护技术与监测系统协同运行，使风险在萌发阶段得到抑制，从源头降低事故发生概率并减轻事故后果^[3]。

4 高温熔融金属作业安全管理与协同控制机制

4.1 作业流程标准化与岗位安全操作控制机制

高温熔融金属作业涉及多工序连续运行，作业流程标准化是保障安全稳定运行的重要基础。通过对熔炼、出钢、转运及浇注等关键环节进行系统梳理，构建覆盖全过程的标准作业流程体系，使各工序衔接更加清晰、操作界面更加明确。岗位操作控制依托标准化作业指导书，将设备启停顺序、工艺参数控制范围及异常处理方式进行细化，使操作行为具备可执行性与可追溯性。现场通过设置关键控制点，对温度、液位及运行状态实施过程监控，使偏差能够被及时发现与修正。交接班制度与操作确认机制的实施，使信息传递更加完整，有效减少人为失误。结合视频监控与现场巡检制度，对操作行为进行动态监督，强化执行刚性。流程标准化与岗位控制的深度融合，使作业过程由经验驱动向规范驱动转变，显著提升安全运行的稳定性与可控性。

4.2 风险分级管控与隐患排查治理协同机制

高温熔融金属作业环境中风险类型多样且变化频繁，构建分级管控与隐患排查治理协同机制具有重要意义。通过对温度异常、设备磨损、衬里侵蚀及气体泄漏等风险因素进行系统辨识，依据风险发生概率与后果严重程度划分等级，实现差异化管控。高等级风险纳入重点监控清单，配置专门技术措施与人员保障，确保风险处于可控范围。隐患排查通过定期检查与动态巡检相结合的方式开展，对发现的问题建立台账并实施闭环管理，整改周期控制在24小时至72小时区间

内。排查结果与风险分级信息进行联动分析,可识别潜在趋势变化并优化管控策略。多部门协同参与风险治理,使技术、设备与管理措施形成合力,推动风险控制由静态识别向动态调节转变,增强系统整体安全韧性。

4.3 应急响应与事故处置技术体系优化路径

高温熔融金属作业事故具有突发性强、扩散速度快的特点,应急响应体系的完善直接关系到事故后果控制水平。通过构建分级响应机制,将事故类型与响应等级进行对应,使不同情形下的处置路径更加清晰。现场配置高温防护装备与应急隔离设施,可在事故初期迅速形成安全屏障,减少人员暴露风险。应急预案围绕喷溅、爆炸及设备失效等典型情形进行细化,将处置步骤、职责分工及资源配置进行明确,提高执行效率。定期开展应急演练,使人员熟悉操作流程并提升协同能力。应急指挥系统通过信息汇总与快速决策支持,实现资源调配与现场指挥的高效衔接。通过持续优化响应流程与技术手段,使应急体系具备快速反应与精准处置能力,降低事故扩散程度与损失范围^[4]。

5 高温熔融金属作业安全控制技术保障与实施路径

5.1 安全技术装备配置与系统集成应用路径

高温熔融金属作业安全控制依赖于先进装备与系统集成能力的支撑。根据不同工序特点配置耐高温监测设备、自动化控制系统及防护装置,使关键参数能够实现实时采集与精准调节。高性能耐火材料与结构优化设计可提升设备运行稳定性,延长使用周期并降低失效概率。自动化控制系统通过对运行状态进行连续分析,实现对异常工况的提前识别与干预。多系统集成平台将监测、控制与报警功能进行整合,使信息传递更加高效,决策响应更加及时。设备配置与系统集成的协同应用,使作业过程形成闭环控制结构,提升整体安全水平。通过技术装备的持续优化与更新,实现安全控制由单一设备保障向系统化技术支撑转变。

5.2 人员能力提升与安全行为控制技术支撑

人员因素在高温熔融金属作业安全中具有决定性作用,能力提升与行为控制需要依托系统化技术支撑。通过建立分层培训体系,对操作技能、安全意识及应急能力进行持续强化,使人员能够适应复杂工况要求。模拟仿真技术的应用可构建接近真实的作业环境,提升人员对突发情况的应对能

力。行为监测技术结合视频识别与数据分析,对违规操作进行实时识别与预警,增强管理约束力。岗位责任体系的完善使职责边界更加清晰,减少操作模糊带来的风险。激励与约束机制相结合,促进安全行为的长期稳定。通过技术手段与管理措施的协同作用,使人员行为由被动约束向主动规范转变,形成稳定的安全操作习惯^[5]。

5.3 信息化支撑下的安全控制与动态优化机制

信息化技术为高温熔融金属作业安全控制提供了重要支撑,通过数据采集、分析与反馈形成动态优化机制。现场传感器网络对温度、压力及设备状态进行连续监测,数据传输至集中平台后实现可视化展示与趋势分析。数据模型对异常变化进行识别,可提前发出预警信号,使风险在早期阶段得到控制。历史数据的积累为规律分析提供基础,通过对事故隐患与运行状态的对比,可优化控制参数与管理策略。移动终端与远程监控系统的结合,使管理人员能够随时掌握现场情况并进行决策调整。信息化支撑下的安全控制实现了由经验判断向数据驱动的转变,使系统具备持续优化能力,在复杂环境中保持稳定与高效运行。

6 结语

高温熔融金属作业安全控制涉及工艺、设备、环境与人员等多维要素,其风险具有高能量密度与强耦合特征。围绕风险机理识别、关键技术应用及协同管理机制构建,安全控制体系逐步由分散防护向系统集成转变。通过强化监测感知、过程控制与信息化支撑,作业过程的可控性与预见性显著提升。技术手段与管理机制的深度融合,使安全保障能力在复杂工况下持续增强,为冶金生产实现稳定运行与高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 李贤.钢铁冶炼企业高温熔融金属作业安全风险预警系统的构建与应用[J].山西冶金,2025,48(11):90-92+95.
- [2] 陶明光.冶金高温熔融金属作业风险机理与安全防控技术研究[J].冶金与材料,2025,45(11):151-153.
- [3] 单俊昊.高温熔融金属作业安全管理研究[J].冶金标准化与质量,2025,63(04):7-9+27.
- [4] 张杰,陈龙平,王富春.铜冶炼中高温熔融金属作业的安全管理与事故预防研究[J].中国金属通报,2025,(04):13-15.
- [5] 吴雅菊,许开立,王若茵,徐晓虎.高温熔融金属作业安全完整性评价[J].东北大学学报(自然科学版),2021,42(04):576-581.

Research on Collaborative Control of Construction Project Supervision and Project Management Integration

Kaidi Huang

Shandong Jianzhu University Design Group Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China

Abstract

Supervision systems and project management constitute the two fundamental approaches for controlling construction project quality, safety, schedule, and investment. Amid continuous innovation in construction management models, the traditional fragmented approach of supervision and project management has become inadequate for modern project control requirements. This study examines the necessity and feasibility of integrating supervision with project management within the construction industry, analyzes existing challenges in the integration process, and proposes a collaborative control framework through four dimensions: management systems, organizational structures, control processes, and technological applications. Specific implementation strategies are developed to provide theoretical support and practical references for enhancing construction project management efficiency and ensuring project goal attainment.

Keywords

construction engineering; engineering supervision; project management; integrated development; collaborative control

建筑工程监理与项目管理融合的协同管控研究

黄凯迪

山东建筑大学设计集团有限公司, 中国·山东 济南 250100

摘要

监理制度与项目管理是建筑工程质量、安全、进度、投资管控的两大核心手段。在工程建设管理模式不断创新的背景下,传统监理与项目管理相互割裂的模式已难以适配现代项目管控需求。本文立足建筑工程领域,分析监理与项目管理融合的必要性与可行性,剖析融合过程中的现存问题,从管理体系、组织架构、管控流程、技术应用四个维度构建协同管控体系,并提出具体实施策略,为提升建筑工程管理效能、保障项目目标实现提供理论支撑与实践参考。

关键词

建筑工程; 工程监理; 项目管理; 融合发展; 协同管控

1 引言

工程监理与项目管理是我国建筑工程领域的重要管理制度,二者在项目管控中承担不同职能、发挥互补作用。工程监理以《建设工程质量管理条例》和《工程监理规范》为依据,核心职能是“三控两管一协调”(质量、进度、投资控制;合同、信息管理;组织协调)^[1],侧重施工阶段的现场质量、安全监督。项目管理则覆盖项目全周期,以计划、组织、协调、控制为核心,统筹项目全流程管理,侧重整体目标的统筹优化。

【作者简介】黄凯迪(1996-),男,中国山东临沂人,本科,助理工程师,从事建筑工程,全过程工程咨询,项目管理、监理研究。

2 建筑工程监理与项目管理融合的必要性与可行性

2.1 融合的必要性的必要性

2.1.1 破解传统管理弊端的现实需求

传统模式下,监理与项目管理分属不同主体,存在职能重叠、责任空白、沟通不畅等问题。监理侧重“事后监督”,对质量、安全问题的事前预防、事中控制不足;项目管理侧重“宏观统筹”,对现场细节管控缺位,易出现进度延误、质量隐患、投资超支等问题。推动二者融合,可实现“宏观统筹+微观管控”的有机结合,消除管理漏洞,提升管控效能。

2.1.2 适配全过程管理的行业趋势

随着全过程工程咨询、工程总承包等模式的推广,建筑工程管理向全周期、集成化转型。监理与项目管理的单一职能已无法满足全周期管控需求,二者融合可整合资源、延伸管控链条,实现从前期策划到后期运维的全流程协同管

控, 适配行业发展趋势。

2.1.3 提升项目管控效能的关键路径

监理具备现场精细化管控、质量安全监督的专业优势, 项目管理具备全周期统筹、目标优化、资源协调的核心能力^[2]。二者融合可实现优势互补, 将监理的现场管控能力融入项目全周期管理, 将项目管理的统筹思维贯穿监理工作全过程, 形成“1+1 > 2”的管控合力, 全面提升项目质量、进度、投资、安全管控水平。

2.2 融合的可行性

2.2.1 目标一致性奠定融合基础

监理与项目的核心目标高度一致, 均以保障建筑工程质量、安全、进度、投资目标实现为核心, 维护业主合法权益。目标的一致性为二者融合提供了根本基础, 确保融合过程中方向统一、利益协同。

2.2.2 职能互补性提供融合条件

监理侧重施工阶段的现场监督、微观管控, 项目管理侧重全周期统筹、宏观协调, 二者职能相互补充、不可替代。监理的专业技术能力为项目管理提供现场支撑, 项目管理的统筹规划能力为监理明确工作方向, 职能互补性为融合创造了条件。

2.2.3 政策与市场环境提供融合保障

国家住建部鼓励工程咨询企业整合监理、项目管理、造价等职能, 发展全过程工程咨询服务。市场层面, 业主方对集成化、一站式管理服务的需求日益增长, 为监理与项目管理融合提供了政策支撑与市场动力。

3 建筑工程监理与项目管理融合的现存问题

3.1 管理体系割裂, 制度标准不统一

当前监理与项目管理分属不同管理体系, 遵循不同的制度规范与行业标准。监理工作以《工程监理规范》《建设工程质量管理条例》为依据, 侧重施工阶段的合规性监督; 项目管理以《建设工程项目管理规范》为指导, 侧重全周期统筹管理。体系与标准的不统一, 导致二者在工作流程、管控要求、责任划分上存在冲突, 难以实现深度融合^[3]。

3.2 组织架构独立, 协同机制缺失

多数建筑工程项目中, 监理单位与项目管理单位相互独立, 各自搭建组织架构、配备人员、开展工作。缺乏统一的协同管理机构与沟通机制, 信息传递依赖人工对接, 效率低下; 工作交叉区域责任划分不清, 出现问题相互推诿。同时, 双方人员缺乏协同意识, 工作各自为政, 难以形成管控合力。

3.3 管控流程脱节, 工作衔接不畅

监理工作聚焦施工阶段的质量验收、安全检查、进度监督等环节; 项目管理工作覆盖前期策划、设计管控、招标采购、施工统筹、竣工验收全流程。二者管控流程缺乏有效衔接, 项目管理的前期设计优化、投资管控成果未有效传递至监理工作, 监理的现场管控数据未及时反馈至项目管理的动态调整中, 导致全周期管控链条断裂。

4 建筑工程监理与项目管理融合的协同管控体系构建

4.1 管理体系融合: 统一标准, 规范流程

以全过程工程咨询管理体系为框架, 整合监理与项目管理的制度规范, 构建“统一管理、分级负责、全程管控”的一体化管理体系^[4]。

统一制度标准: 结合《工程监理规范》《建设工程项目管理规范》, 制定融合后的管理制度、管控标准、工作流程与评价体系, 明确各岗位权责、管控要点、工作标准。

规范工作流程: 搭建“前期策划-设计管控-招标采购-施工监理-竣工验收-运维管理”全周期融合流程, 明确各阶段监理与项目管理工作内容、衔接节点、信息传递要求。

明确责任边界: 划分融合后的责任体系, 实行“总负责人统筹、专业分工负责”, 避免责任重叠与空白, 确保管控工作落地。

4.2 组织架构融合: 集成团队, 协同运作

打破传统独立架构, 构建“一体化、扁平化”的集成化组织架构。

设立协同管控核心层: 由项目总负责人统筹, 整合监理单位与项目管理单位核心人员, 组成协同管控小组, 全面负责项目整体管控、决策协调、目标统筹。

组建专业融合执行层: 按管控职能划分质量安全、进度投资、合同信息、现场协调等专业小组, 每组配备监理人员与项目管理人员, 实现专业互补、协同作业。

建立多方协同机制: 搭建“业主-融合团队-参建方”三方沟通平台, 定期召开协同会议, 实时共享信息、协调解决问题。

4.3 管控环节融合: 全周期联动, 精准管控

围绕项目全周期, 实现监理与项目管理管控环节的深度融合^[5]。

前期与设计阶段: 项目管理牵头开展策划、设计管控、投资估算, 监理人员参与设计方案审核, 从施工可行性、质量安全管控角度提出优化建议, 避免后期设计缺陷。

招标采购阶段: 项目管理负责招标策划、合同编制, 监理人员参与参建单位资质审核、技术方案评审, 保障参建单位具备相应的质量、安全管控能力。

施工阶段: 以融合团队为核心, 项目管理负责整体进度、投资、合同统筹, 监理负责现场质量、安全、进度精细化管控, 双方实时联动、动态调整。

验收与运维阶段: 协同开展竣工验收、资料归档、竣工结算, 项目管理统筹运维方案编制, 监理提供质量保修、现场运维监督支持。

4.4 技术应用融合: 数字赋能, 智慧管控

以信息化技术为支撑, 搭建一体化数字管控平台, 实现数据共享、智能联动。

统一信息平台: 整合监理与项目管理信息系统, 搭建BIM协同管控平台, 统一数据格式与接口, 实现质量、安全、

进度、投资、合同等数据的实时共享。

数字化管控应用：运用 BIM 技术开展设计碰撞检测、施工模拟、质量验收；通过大数据分析实现进度预警、投资动态监控；利用 AI 监控、物联网技术提升现场安全、质量管控智能化水平。

移动终端协同：配备移动管控终端，实现现场监理数据实时上传、项目管理指令实时下达，打破时空限制，提升协同管控效率。

5 建筑工程监理与项目管理融合的协同管控实施策略

5.1 完善制度保障，规范融合管理

政府部门与行业协会应加快制定监理与项目管理融合的配套政策，出台统一的服务标准、合同示范文本与评价体系。企业结合自身实际，制定内部融合管理制度，明确组织架构、岗位职责、工作流程、考核标准，为融合实施提供制度保障。

5.2 强化人才培养，打造复合型团队

建立“分层分类”人才培养体系：对监理人员开展项目管理、造价控制、合同管理培训，提升全周期统筹能力；对项目管理人员开展监理规范、质量安全管控、现场实操培训，提升精细化管控能力。同时，引进复合型高端人才，通过轮岗实践、案例研讨、联合办公等方式，强化团队协同意识与能力。

5.3 优化组织模式，推动深度协同

推行“一体化委托”模式，由业主委托同一主体（如全过程工程咨询企业）统筹监理与项目管理工作，从根源上解决主体割裂问题。建立“周协同例会、月进度复盘、季考核评价”机制，定期梳理协同问题、优化管控策略，强化双方协同配合。

5.4 深化技术应用，提升智慧管控能力

加大信息化技术投入，加快 BIM、大数据、AI 等技术在融合管控中的应用。搭建一体化数字管控平台，实现全周期数据共享、智能分析、动态预警。加强员工数字化技能培训，推动传统“人工管控”向“智慧管控”转型，以技术赋能提升协同管控效率。

5.5 健全考核机制，激发协同动力

构建融合管控绩效考核体系，将协同配合、目标达成、管控质量纳入考核范围。实行“团队考核+个人考核”结合，以团队协同成效为核心考核指标，建立奖惩机制，激发双方人员协同工作的积极性与主动性。

6 案例分析——某住宅小区项目监理与项目管理融合实践

6.1 项目概况

某住宅小区项目，总建筑面积 22 万 m²，包含 12 栋高层住宅及配套商业、公共设施，总投资 8.5 亿元，建设周期 30 个月。项目采用“监理+项目管理”一体化融合模式，委托同一咨询单位统筹实施。

6.2 实施举措

组织架构整合：组建一体化融合团队，设 1 名总负责人统筹全局，下设质量安全、进度投资、合同信息 3 个专业融合小组，每组配备 3 名监理人员与 2 名项目管理人员。

管控流程融合

设计阶段：项目管理人员开展设计优化与投资管控，监理人员审核施工图纸的质量安全合规性，提出优化建议 12 项，减少后期变更 25%。

施工阶段：项目管理制定进度计划与投资控制目标，监理负责现场质量验收、安全巡查、进度监督，双方每日对接、每周复盘，动态调整管控策略。

验收阶段：协同开展竣工验收、资料审核、竣工结算，确保一次性验收通过。

技术赋能协同：搭建 BIM 协同平台，整合设计、施工、监理、管理数据，实现碰撞检测、动态成本监控、进度可视化管控。

6.3 实施成效

项目较计划工期提前 1.5 个月竣工，工程质量合格率 100%，未发生安全事故，实际投资 8.3 亿元，节约投资 2.3%。融合模式有效解决了传统管理的协同难题，显著提升了管控效率与项目效益。

7 结语

监理与项目管理融合是建筑工程管理模式创新的重要方向，是破解传统管理弊端、提升全周期管控效能的关键路径。当前融合过程中仍存在管理体系割裂、组织协同不足、流程衔接不畅、人才短缺、信息化滞后等问题，需通过管理体系、组织架构、管控环节、技术应用的四维融合，构建一体化协同管控体系，并依托制度保障、人才培养、模式优化、技术赋能、考核激励等实施策略，推动监理与项目管理深度融合。

对于建筑工程助理工程师而言，应主动适应管理模式转型趋势，兼顾监理专业技能与项目管理综合能力的提升，掌握协同管控逻辑与数字化工具应用，在实践中推动监理与项目管理融合落地，助力提升建筑工程管理水平。未来，随着全过程工程咨询的全面推广与数字化技术的深化应用，监理与项目管理融合将成为行业主流模式，为建筑工程高质量发展提供坚实的管理支撑。

参考文献

- [1] 裴敏. 三控两管一协调在建筑工程监理中的应用 [J]. 工程技术研究, 2023,7 (77):189-191.
- [2] 张敏. 全过程工程咨询模式下工程项目管理效率提升路径研究 [J]. 建筑经济, 2025,46 (08):45-49.
- [3] 李俊杰. 建筑工程监理工作中的管理方法及难点探讨 [J]. 管理科学与工程, 2025,14 (03):737-742.
- [4] 郑明生. 试析建筑工程监理在施工进度控制中的作用和优化措施 [J]. 江西建材, 2024 (09):342-344.
- [5] 高鸿岗, 安虎啸. 建筑工程监理中的精细化管理研究 [J]. 城市周刊, 2025 (26):78-79.

Discussion on the Management Measures of High-quality Construction of Large Industrial Plant Type Project

Yang Lu

Xi'an Aerospace Power Test Technology Research Institute, Xi'an, Shaanxi, 710100, China

Abstract

Comprehensive technical briefings must clarify design objectives, while refined construction management and rigorous supervision throughout the project lifecycle guarantee both safety and high-quality execution. This paper analyzes construction techniques for large industrial plant projects and explores effective quality management measures, thereby enhancing overall construction outcomes and establishing optimal conditions for safe plant operations.

Keywords

large industrial plant type project; high quality; construction management

大型工业厂房类型项目高质量建造管理措施探讨

陆阳

西安航天动力试验技术研究所, 中国·陕西 西安 710100

摘要

通常情况下大型工业厂房结构复杂, 施工周期长, 对施工建造质量要求较高。因此要做好前期设计规划工作, 科学实施测量放线、预埋件施工、钢柱吊装、焊接施工等工艺技术, 做好前期技术交底工作, 明确设计意图, 实施精细化施工管理, 强化施工全过程监督管理, 保障整体工程安全性、高质量实施。文章主要对大型工业厂房类型项目施工技术进行分析, 并探究高质量建造管理措施, 从而有效提升整体工程施工效果, 为工业厂房的安全运行创建良好条件。

关键词

大型工业厂房类型项目; 高质量; 建造管理

1 引言

大型工业厂房类型项目对施工质量要求较高, 且钢结构施工速度快, 自重轻, 环保性较好, 在大型工业厂房施工中发挥了重要作用。因此在施工过程中, 需要严控测量精度和施工工艺, 优化钢结构钢柱、吊车梁等施工工序, 保障整体施工质量的提升。

2 大型工业厂房类型项目高质量施工技术

2.1 测量放线

在施工前, 需要精准核对图纸细节, 并精准放出控制线。此外还需要结合施工要求, 制作样板和样杆, 为后续下料、弯制等工作的开展提供依据。要在材料上精准画出切割、铣、刨、曲折和钻孔等位置, 同时根据配料表和样板开展套裁作业。此外还需要通过型钢矫正机对曲折钢材进行纠正^[1]。

2.2 预埋件施工技术

在大型工业厂房建设施工中, 需要做好结构预埋件施工作业。在施工前需要详细审查施工图纸, 进而精准确定预埋件位置、尺寸、位置等。此外还需要严格检查预埋件质量, 避免出现裂纹、锈蚀等问题, 进而强化预埋件的耐久性。要利用定位设备把预埋件安装到预定位置。完成安装作业后, 需要使用高强度螺栓或者焊接方式把预埋件与基础结构进行牢固连接, 此外还可以利用型钢制作固定支架, 提高预埋件和模板结构的稳固性, 使其永久性固定。在焊接加固模式中, 需要与钢筋网主钢筋同步焊接, 并严控焊接参数和工艺。在连接环节中, 需要严控连接质量和紧固力, 防止出现松动、变形问题, 避免预埋件在混凝土浇筑环节中产生位移问题^[2]。

2.3 钢结构加工技术

钢结构加工过程中, 需要参考基准线的位置规范性制作样板, 同时预留焊接空间。当钢材存在弯曲、变形问题, 需要第一时间矫正, 严控误差, 确保钢材样板偏差与控制线允许偏差值相契合。严格按照设计图纸对钢材进行规范性切割, 并提前清理钢材表面的锈迹、污渍等; 确保切割过程的连续性, 保障切割面的平整度。完成切割作业后, 需要第一

【作者简介】陆阳, 男, 中国陕西汉中, 硕士, 高级工程师, 从事工业项目建造与施工管理研究。

时间清理残渣,检查钢材尺寸,使其符合设计要求。

2.4 钢柱吊装技术

钢柱是钢结构的支撑骨架,需要对其精准安装,才能保障整体钢结构的稳固性和安全性。通常情况下使用分件吊装法进行操作,就是把钢柱吊装到预定位置并加固,然后吊装钢梁、屋面板、墙板。在具体操作中,需要提前做好钢柱安装位置定位工作,并设置明显标记,以便把所有钢柱都安装到预定位置;材料进场后需要严格检查钢柱质量,使其性能、尺寸与设计要求保持契合性;然后利用全站仪、经纬仪等测量设备在钢柱两端标注中心线和基准,以此为参考引入两条标高控制线;结合工程特点选择合适的吊装工艺和设备,以便对钢柱进行安全吊装和安装。吊装时需要结合钢柱形状确定吊点数量和位置,并采取针对性的防护措施,防止钢柱脱钩;针对弹性、刚度较好的钢柱需要设置两个吊点^[3]。在吊装过程中需要严控吊装速度和高度,对钢柱缓慢垂直起吊,要做好钢柱临时固定工作,钢柱脚与螺栓保持一定的安全距离,一旦发现较大偏差,需要及时扶正,确保孔位与螺栓匹配性,防止钢柱受到损伤。吊装完成后,要使用千斤顶、拉紧器等校正设备精准调整钢柱垂直度、水平度、相邻钢柱间距等,从而保障钢结构的稳固性和精准性。在安装环节中需要施工人员规范性佩戴安全帽、安全带等安全防护装备,并定期检查吊装设备,确保吊装作业的正常进行。完成以上工作后需要通过对称方式吊装钢梁,并对其安装位置进行精准校正和加固;利用一钩多吊的方式对墙面和屋面板进行吊装,在此环节中需要保障檩条始终保持平直状态,最后利用螺栓对钢结构进行连接固定。在安装过程中,需要利用高强度大六角头螺栓对钢结构进行连接,利用垫圈实现钢结构荷载的合理传递;检查钢结构连接接触面是否存在间隙,如果该间隙1-3毫米,需要对钢板表面进行磨面处理;如果间隙在3毫米以上,就需要填充垫板。

2.5 焊接技术

结合焊接部位优选焊接工艺和方法,如针对局部焊接需要利用二氧化碳气体保护焊进行操作。焊接人员需要持证上岗,确保焊接工作的规范性开展。在具体操作中,需要把引弧板牢固的焊接到母材上,在分层焊接环节中,第一层焊道需要封闭坡口内的垫板和母材连接处,之后一层一层的焊接,当坡口被充分填满后才能停止焊接操作^[4]。完成焊接作业后要彻底清理焊缝中的焊渣和杂物,及时修复气孔和夹渣,并做好焊接记录工作,同时对焊缝质量进行超声检查。在钢梁和钢柱连接时需要使用埋弧焊方式进行焊接,结合焊缝厚度,合理调整焊接电流、电压、焊速等参数。完成焊接作业后要及时检查型钢焊接偏差值。

2.6 螺栓连接技术

这是连接钢构件的重要方式之一,其中常见的螺栓有滑动罗双、普通螺栓、双头螺栓。其中滑动螺栓方便实施,需要选择合适的垫片位置和厚度,确保垫片没有裂纹;安装

普通螺栓需要选择强度、稳定性、抗疲劳性较强的螺栓;双头螺栓需要预埋,存在一定的施工难度^[5]。在安装螺栓前,要根据钢结构的尺寸和构件形式等,确定螺栓的规格和数量。在高强度螺栓紧固过程中包含初拧和终拧,其中初拧的扭矩不得小于终拧扭矩值的30%,终拧扭矩为60%~80%,按照公式计算高强螺栓的扭矩值,在对高强螺栓紧固过程中需要使用电动扳手来完成。

3 大型工业厂房类型项目高质量建造管理措施

3.1 做好前期准备工作

工业厂房荷载较大且工艺复杂,需要做好前期设计工作,尤其要结合工程特点和施工条件,编制完善的施工方案,优化工程进度、现场分布布局、施工方法技术等,配备充足的使用材料和人员,优化施工顺序安排,保障施工质量的有效控制。要优化大跨度钢结构、重型设备基础的承载能力,预留一定的安全系数;此外要优化施工技术适应性设计,科学规划柱网间距、管线综合排布等;引进光伏屋顶、雨水回收系统、自然通风采光技术,实现工业厂房绿色建筑^[6]。施工前,要详细检查钢结构外形、尺寸、数量、强度,使其符合设计要求,做好钢构件编号和标记工作;选择平整且坚实的场地堆放钢构件,并将其放置在垫木、支架上。做好基础验收工作,基础标高需要低于设计要求5厘米,严控基础标高误差;结合厂房定位轴线测出基础顶面,使其与柱安装中心线对应,在基础上弹出十字交叉线的中心线,画上红三角。做好技术交底工作,确保施工人员详细了解设计意图和施工要点;要完善图纸会审机制,其中审查内如表1所示。

表1 图纸会审内容

审查内容	控制标准	责任主体
地基处理方案	承载力特征值 $\geq 250\text{kPa}$	岩土工程师
防爆墙构造	抗爆压力 $\geq 0.2\text{MPa}$	结构工程师
洁净区密封性	空气泄漏率 $\leq 0.5\%$	暖通工程师

3.2 应用 BIM 技术

在钢结构施工中,为了严控整体工程建造质量,需要优化应用 BIM 技术,即建筑信息模型技术,进而深化图纸设计,创新构建加工工艺,有效提升施工图纸设计质量。通过 BIM 技术的应用,还可以严格控制构件预拼装精度,把安装偏差控制在合理范围内,保障钢结构质量。大型工业厂房结构复杂,需要使用的钢结构数量、类型较多,不同钢构件的尺寸、性能存在很大差异,需要应用到切割、焊接等工艺,在此环节中需要充分应用 BIM 技术联合三维激光扫描仪,对钢构件进行扫描处理,采集相关数据并实现逆向建模,对钢构件预拼装过程进行动态模拟,做好安装偏差检查工作,并灵活调整,减少现场安全问题的发生几率。通过 BIM 技术,能够对施工过程进行可视化管理,明确落实不同工序的负责人,标识误差控制要点,并向施工人员进行技

术交底，促进施工操作的规范性^[7]。

3.3 施工质量精细化管理

在钢结构施工中，需要结合现场情况，制定可行性的质量管理体系，明确各个施工环节的负责人，落实具体管理责任和义务，实现全过程质量管理工作的规范性开展。此外要强化细节控制，结合现场环境、气温等条件，优选施工材料，做好涂层施工作业；做好现场安全管理工作，贯彻落实安全第一、防范为主的安全生产方针；强化安全教育力度，实时完善的安全防范制度，明确现场重大风险项目，制定针对性的安全建设方案，采取可行性的安全防范措施，如表 2 所示。完善各层级安全巡查体系，及时纠正现场安全隐患；高空作业人员需要规范性佩戴安全防护工具，配备安全梯和生命线，配置专业的防火设备监护人员，强化现场安全管理效果^[8]。优化进度管理，制定科学合理的进度计划，动态管理施工进度，详细分析进度偏差原因，科学调整进度计划，保障钢结构施工的顺利进行。施工风险及应对措施详见表 2。

表 2 施工风险及应对措施

风险等级	典型风险	应对措施
一级（高风险）	大体积混凝土裂缝	预埋循环水管 + 光纤测温，降温速率 ≤ 2℃ /d
二级（中风险）	屋面防水渗漏	采用“三毡四油”工艺，雨后 100% 淋水试验
三级（低风险）	墙面平整度偏差	激光扫平仪控制，允许偏差 ≤ 3mm/2m

4 结语

综上所述，随着现代化工业水平的提升，大型工业厂房建设需求越来越多，同时对建筑施工质量提出了更高的要求。基于此，施工单位需要优化钢结构安装工艺，强化工程高质量建造管理力度，有效提升工业厂房施工质量，减少资源浪费，促进建筑行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 刘帮,刘荣旭,张训博,等. 大型工业厂房金属屋面板抗风揭施工技术 [J]. 建设监理, 2025, (10): 93-95.
- [2] 祝迎建. 大型工业厂房钢结构施工工艺与质量控制技术研究 [J]. 工程机械与维修, 2025, (07): 128-130.
- [3] 黄飞旺. 大型钢结构厂房吊装施工质量控制措施研究 [J]. 中国高新科技, 2025, (08): 127-129.
- [4] 邱少丹,杜志崇,程立,等. BIM技术在大型工业厂房招标投标阶段的应用研究 [J]. 中国设备工程, 2024, (24): 196-198.
- [5] 甘顺成. 大型工业厂房建筑钢结构施工技术问题分析 [J]. 工程建设与设计, 2023, (12): 142-144.
- [6] 张自敏. 水电站大型桥式起重机轨道运输方法对比分析 [J]. 水电站机电技术, 2018, 41 (09): 71-75.
- [7] 管仁东,孙晋龙,圣茂建. 大型工业厂房建筑钢结构施工的技术问题分析 [J]. 门窗, 2016, (09): 116.
- [8] 席世亮,赵宏训,李侃. 大型工业厂房设计实例 [J]. 工程建设与设计, 2010, (12): 14-17.

Research on Hazard Identification and Control Technology in Safety Engineering

Xu Chen

Wuhan Hengtai Hong'an Safety Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

With the continuous expansion of engineering construction scale and the increasing complexity of production systems, safety risks have shown characteristics of multi-source superposition and dynamic evolution. Traditional experience-based management approaches can no longer meet the requirements of refined safety control. Focusing on the key issues of hazard identification and risk control in the field of safety engineering, this study systematically analyzes the types and formation mechanisms of hazards, and constructs an identification technology system centered on system analysis and risk assessment. Combined with the concept of risk classification and hierarchical control, a multi-level control strategy and technical pathway are developed. By integrating engineering technical measures, management systems, and emergency response mechanisms, dynamic monitoring and precise control of hazards throughout the entire process are achieved, thereby enhancing the scientific and forward-looking nature of safety management and providing strong support for the safe operation of engineering systems.

Keywords

safety engineering; hazard identification; risk assessment; risk control; hierarchical management

安全工程危险源辨识与控制技术研究

陈许

武汉恒泰弘安安全科技有限公司，中国·湖北 武汉 430000

摘要

随着工程建设规模不断扩大与生产系统复杂程度持续提升，安全风险呈现多源叠加与动态演化特征，传统以经验为主的管理方式已难以满足精细化安全管控需求。围绕安全工程领域中危险源识别与风险控制的关键问题，系统梳理危险源的类型特征与形成机制，构建以系统分析与风险评估为核心的辨识技术体系，并结合风险分级管控理念，形成多层次控制策略与技术路径。通过整合工程技术措施、管理制度手段与应急处置机制，实现对危险源的全过程动态监控与精准控制，从而提升安全管理的科学性与前瞻性，为工程系统安全运行提供有力支撑。

关键词

安全工程；危险源辨识；风险评估；风险控制；分级管控

1 引言

在工业化与城市化进程持续推进的背景下，各类工程系统在规模、结构及运行方式上不断趋于复杂，潜在安全风险呈现出隐蔽性增强、耦合性加剧及不确定性扩大的发展趋势。生产活动中涉及的设备、工艺及环境因素相互交织，使得危险源不再局限于单一要素，而表现为多维度、多层级的风险集合体。与此同时，事故类型由传统的单点失效逐步演变为系统性失效，给安全管理带来更高要求。面对复杂安全形势，单纯依赖事后处置或局部防控已难以有效降低事故发生概率，亟需构建系统化、标准化与动态化的危险源辨识与控制体系。

【作者简介】陈许（1984-），男，中国河南平顶山人，本科，工程师，从事工业安全研究。

2 安全工程危险源辨识的理论基础与分类体系

2.1 危险源的概念界定与特征分析

危险源通常指在一定条件下可能导致人员伤亡、财产损失或环境破坏的根本因素或潜在能量载体，其本质在于系统中存在的不稳定状态与不受控能量释放的可能性。其特征表现为隐蔽性、潜伏性与动态变化性，在不同作业环境与工艺条件下呈现出差异化表现形式。危险源并非孤立存在，而是与设备状态、操作行为及外部环境相互作用，形成复杂的风险网络结构。在实际工程系统中，危险源往往伴随生产过程长期存在，并随着时间、空间及运行条件变化而不断演化，这种持续变化的特性使其识别与管理具有较高难度。因此，对危险源进行科学界定与特征分析，是实现风险精准控制的重要前提。

2.2 危险源类型划分及其识别标准

危险源可依据不同维度进行分类,从物理属性角度可分为机械性、电气性与化学性等类型,从形成方式角度可区分为固有型与衍生型,从作用结果角度可划分为人员伤害类与环境破坏类。类型划分的核心在于明确风险来源与作用路径,以便针对性制定控制措施。在识别过程中,需要结合工艺流程、设备特性与作业环境,建立相应的识别标准体系。标准内容通常涵盖能量形式、失控条件及可能后果等要素,通过对关键参数进行界定与比对,实现对危险源的系统识别。合理的分类与标准构建有助于提升辨识工作的规范性与一致性,为后续风险评估与控制提供清晰依据^[1]。

2.3 危险源形成机理与影响因素解析

危险源的形成源于系统内部能量与物质在特定条件下的不稳定组合,其产生过程与设备缺陷、操作偏差及环境变化密切相关。在工程实践中,设备老化、设计缺陷与维护不到位等因素会导致系统稳定性下降,从而增加风险发生的可能性。人员行为在危险源形成中具有重要作用,操作失误、违规作业及安全意识不足均可能触发风险事件。同时,环境条件如温度、湿度与空间布局也会对危险源产生影响,形成多因素耦合效应。这种多维度影响机制使危险源呈现出复杂性与不确定性特点,对其形成机理的深入解析,有助于揭示风险发生的本质规律,从源头上降低事故发生概率。

3 安全工程危险源辨识方法与技术路径

3.1 基于系统分析的危险源辨识方法

基于系统分析的危险源辨识方法强调从整体视角审视工程系统,通过对各子系统之间关系的梳理,识别潜在风险点。该方法以系统结构与功能分析为基础,将设备、工艺与人员行为纳入统一框架进行研究,形成多层次风险识别模型。在实施过程中,通过流程图分析、功能分解与因果关系梳理,能够清晰揭示风险传导路径及关键节点。该方法适用于结构复杂、工艺环节较多的工程项目,能够有效避免局部分析带来的偏差。通过系统化分析手段,可实现对危险源的全面识别与逻辑关联分析,为后续风险控制提供科学依据。

3.2 基于风险评估模型的辨识技术

基于风险评估模型的辨识技术通过定量与定性相结合的方式,对危险源进行系统识别与分析。该技术通常依托风险矩阵、概率模型及后果评估方法,对潜在风险进行量化描述,从而提升辨识结果的准确性。在实际应用中,通过对事故发生概率与损失程度进行综合评估,可对危险源的重要程度进行排序,明确重点控制对象。该类方法强调数据支撑与模型计算,通过历史数据与现场信息的整合,实现风险识别的科学化与标准化^[2]。借助模型分析手段,可有效降低人为判断的不确定性,提高危险源辨识的客观性与可比性。

3.3 信息化与现场监测结合的辨识路径

信息化技术的发展为危险源辨识提供了新的技术支撑,

通过传感设备与数据平台的结合,可实现对生产环境的实时监测与动态分析。现场监测系统能够持续采集设备运行状态与环境参数,并将数据上传至分析平台进行处理,从而实现风险的实时识别与预警。在该路径下,危险源不再依赖人工巡检发现,而是通过数据驱动实现自动识别与动态更新。信息化手段还能够对历史数据进行分析,识别潜在规律与异常趋势,为风险预判提供依据。通过将信息技术与现场管理深度融合,可显著提升危险源辨识的时效性与精准性,推动安全管理向智能化与精细化方向发展。

4 安全工程危险源风险评估与等级划分机制

4.1 危险源风险评价指标体系构建

风险评价指标体系是开展危险源评估工作的基础,其构建需要综合考虑事故发生概率、影响范围及后果严重程度等关键因素。在指标设计过程中,应结合工程实际情况,选取具有代表性的评价参数,以反映危险源的本质特征。指标体系通常采用多层结构形式,将总体风险分解为若干子指标,通过权重分配实现综合评价。科学合理的指标体系能够提升评估结果的准确性,使不同类型危险源具备可比性。在实际应用中,通过对指标数据进行分析与计算,可实现对风险水平的量化表达,为后续分级管理提供重要依据^[3]。

4.2 危险源风险等级划分方法研究

风险等级划分旨在根据评估结果,对危险源进行分级管理,从而实现资源的合理配置。划分方法通常以风险值为基础,将危险源划分为不同等级,并明确各等级对应的控制要求。在实施过程中,通过设定分级标准与阈值范围,可实现风险的分类管理。高风险等级需要采取更为严格的控制措施,而低风险等级则可通过常规管理手段进行控制。该方法有助于突出重点风险,提高管理效率。通过建立规范化的分级机制,可实现对危险源的差异化管理,提升安全管理的针对性与有效性。

4.3 危险源动态评估与分级管控机制

危险源的风险水平并非固定不变,而是随着生产条件与环境变化不断波动,因此需要建立动态评估与分级管控机制。该机制通过持续监测与定期评估,对危险源风险进行实时更新,并根据变化情况调整其等级。在运行过程中,通过数据采集与分析,实现对风险变化趋势的跟踪,从而及时采取相应控制措施。动态管控能够避免静态管理带来的滞后问题,使风险始终处于可控范围。结合分级管理原则,对不同等级危险源实施差异化控制策略,可有效提高安全管理的灵活性与响应能力,从而保障工程系统的稳定运行。

5 安全工程危险源控制技术体系与实施策略

5.1 工程技术控制措施及其应用路径

工程技术控制以消除或削弱危险源为核心,通过对设备结构、工艺流程及作业环境进行优化,实现风险源头治理。在实际应用中,可通过设备本质安全化设计降低故障概率,

如采用防爆、防泄漏及自动连锁装置,提高系统运行稳定性。工艺优化同样具有重要作用,通过调整生产参数与流程布局,使危险能量处于可控范围。作业环境的改造能够进一步降低风险,如通风系统优化与隔离防护措施的应用。技术控制路径强调从设计阶段到运行阶段的全过程介入,使风险在形成初期得到有效抑制,从而提升整体安全水平。

5.2 管理控制手段与制度保障机制

管理控制在危险源治理中发挥着基础性支撑作用,通过制度约束与行为规范实现对风险的持续管控。制度体系需覆盖作业许可、设备维护与安全培训等关键环节,以确保各项操作符合安全要求。人员管理是管理控制的重要内容,通过强化培训与考核,提高从业人员风险识别能力与操作规范性。监督机制的建立能够保障制度落实,通过定期检查与隐患排查,及时发现并纠正问题。信息记录与反馈机制为管理决策提供依据,使风险管理具备可追溯性与持续改进能力,从而形成稳定有效的安全管理体系。

5.3 应急控制与事故防控技术体系

应急控制是危险源管理的重要补充手段,其核心在于在风险失控情况下迅速采取措施降低损失。应急体系需涵盖预警机制、响应流程及资源配置等内容,通过建立分级响应机制,实现不同类型事故的快速处置。技术手段在应急控制中发挥关键作用,如监测报警系统可在异常发生时及时发出信号,为处置争取时间。应急设备与物资的合理配置能够提高处置效率,减少事故扩散范围。通过定期开展演练,可提升人员应对突发事件的能力,使应急措施在实际场景中能够高效实施,从而增强整体防控能力^[4]。

6 安全工程危险源辨识与控制的协同优化机制

6.1 辨识与控制一体化运行机制构建

危险源辨识与控制之间具有紧密联系,将两者融合构建一体化运行机制,有助于提升风险管理效率。在该机制中,辨识结果直接服务于控制措施制定,使风险治理更具针对性。通过建立信息共享平台,将辨识数据与控制措施进行联动,实现风险信息的实时更新与反馈。运行过程中,控制效果可反向作用于辨识体系,对识别结果进行修正与优化,从而形成闭环管理模式。一体化机制能够打破传统分散管理方式,提高各环节之间的协同程度,使安全管理更加系统化与高效化。

6.2 多主体协同参与的风险治理模式

危险源治理涉及多方主体,包括管理部门、技术人员及一线操作人员等,各主体之间的协同配合直接影响治理效

果。通过构建多主体参与机制,可实现信息共享与资源整合,使风险管理更加全面。管理层负责制度制定与资源配置,技术人员提供专业支持,一线人员则承担现场执行职责,各主体在职责分工基础上形成协同关系。沟通机制的完善能够减少信息传递偏差,提高决策效率。多主体协同模式有助于形成整体合力,使危险源治理从单一主体驱动转变为系统协同推进。

6.3 持续改进与动态优化路径设计

安全管理需要在实践中不断调整与优化,通过持续改进机制实现风险控制能力的提升。动态优化路径以数据分析为基础,对风险变化趋势进行跟踪,并据此调整管理策略。评估结果能够为改进措施提供依据,使控制手段更加精准。反馈机制在持续改进中具有重要作用,通过收集运行过程中的问题与经验,对现有体系进行修正与完善。随着技术发展与管理理念更新,优化路径也需不断更新,以适应新的安全需求。通过循环改进与动态调整,可使危险源管理始终保持高效运行状态^[5]。

7 结语

在工程系统复杂性持续提升的背景下,危险源辨识与控制已成为安全管理的核心内容。通过构建科学的辨识方法、完善的风险评估体系及多层级控制技术,可实现对风险的全过程管控与动态调节。工程技术措施与管理制度的协同应用,有效提升了风险防控的精准性与执行力。结合持续优化机制与多主体协同模式,安全管理逐步向系统化与精细化方向发展,为工程运行提供了坚实保障。

参考文献

- [1] 李达军.建筑施工现场安全管理体系构建与事故预防研究[J].建筑安全,2026,41(03):78-81+89.
- [2] 邹全乐,刘莹,陈结,张兴华,闫发志.建构主义理论导向下的安全评价虚拟仿真实验教学设计和实践[J].科技风,2026,(04):19-21.
- [3] 黄斌,刘涵,刘东海,周诗杰.基于多源证据融合和LEC法的施工安全危险源风险评价[J].水利水电技术(中英文),2025,56(S2): 23-26.
- [4] 廖文来,吴润康,张艺良,付传雄,杜承霖.水利建设工程“行政+技术”六项机制安全监督模式的创新与实践[J].水利技术监督,2025,(09):1-4+22.
- [5] 周刚.工程安全中危险源辨识与风险控制方法[A].智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一)[C].重庆市大数据和人工智能产业协会、重庆建筑编辑部、重庆市建筑协会:2025: 1845-1847.

Experimental Study on Mechanical Properties and Crack Control Behavior of Cement-Based Composite Materials for Road and Bridge Engineering

Longxiang Gao

Shanxi Nuoxin Transportation Construction Engineering Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

In order to improve the bearing stability and crack control ability of concrete components in road and bridge engineering under complex loads, temperature and humidity coupling environments, and long-term service conditions, this article conducts experimental research on cement-based composite materials for road and bridge engineering. Based on the performance requirements of road and bridge structures for compressive strength, flexural toughness, tensile ductility, and crack width control, a systematic test plan is constructed from the aspects of raw material selection, mix design, specimen preparation and maintenance, and mechanical and crack observation tests. The compressive, flexural, tensile, and deformation coordination abilities of different groups of materials are compared and analyzed. Research has shown that engineering cement-based composite materials can significantly improve their tensile deformation ability and crack dispersion control effect through fiber bridging, matrix toughening, and interface optimization, while ensuring basic strength levels. This can transform the development of cracks from a single crack mutation type to a multi crack stable expansion type. The conclusion of this study can provide technical reference for the application and promotion of high crack resistance and high durability cement-based materials in road and bridge engineering.

Keywords

engineering cement-based composite materials; road and bridge engineering; mechanical properties; crack control

路桥用工程水泥基复合材料力学特性与裂缝控制行为试验研究

高龙祥

山西诺信交通建设工程有限公司, 中国·山西太原 030000

摘要

为提升路桥工程混凝土构件在复杂荷载、温湿耦合环境及长期服役条件下的承载稳定性与裂缝控制能力, 文章围绕路桥用工程水泥基复合材料开展试验研究。结合路桥结构对抗压强度、抗折韧性、抗拉延性及裂缝宽度控制的性能需求, 从原材料选配、配合比设计、试件制备养护及力学与裂缝观测试验等方面构建系统试验方案, 并对不同组别材料的抗压、抗折、抗拉及变形协调能力进行对比分析。研究表明, 工程水泥基复合材料通过纤维桥联、基体增韧及界面优化, 可在保证基本强度水平的前提下显著改善材料的受拉变形能力与裂缝分散控制效果, 使裂缝由单缝突变型发展转变为多缝稳定扩展型发展。本研究结论可为路桥工程中高抗裂、高耐久水泥基材料的应用与推广提供技术参考。

关键词

工程水泥基复合材料; 路桥工程; 力学特性; 裂缝控制

1 引言

路桥工程长期处于车辆荷载反复作用、环境温度循环、雨水侵蚀及结构约束变形等复杂服役环境之中, 传统普通混凝土虽然具有较高的抗压承载能力, 但在抗拉性能、韧性储备及裂缝扩展控制方面仍存在明显短板。一旦桥面铺装、连接构造或局部薄弱区出现早期开裂, 裂缝便可能在荷载与环

境共同作用下持续扩展, 进而诱发渗水、钢筋腐蚀、界面剥离及耐久性下降等连锁问题。基于此, 本文按照路桥工程服役需求构建试验方案, 对工程水泥基复合材料的基本力学表现、受拉变形协调能力及路桥适应性进行系统分析, 并在此基础上提出工程应用建议。

2 路桥用工程水泥基复合材料试验方案设计

2.1 原材料组成及配合比设计

试验所采用的工程水泥基复合材料以普通硅酸盐水泥为主要胶凝材料, 同时掺入适量粉煤灰、硅灰或矿粉等矿物

【作者简介】高龙祥(1988-), 男, 中国山西吕梁人, 本科, 高级工程师, 从事道路桥梁研究。

掺合料,以改善浆体致密性、降低水化热集中释放并优化基体微观结构。细骨料宜选用级配连续、粒径稳定的石英砂或机制细砂,以保证基体均匀性与成型稳定性^[1]。为提高材料的受拉韧性与裂缝扩展控制能力,试验中引入体积分数适宜的短切纤维,纤维类型可采用聚乙烯纤维、聚丙烯纤维或聚乙烯醇纤维,并通过减水剂调节浆体流动性,以兼顾纤维分散效果与施工和易性。

在配合比设计上,本文遵循“强度满足基本承载要求、韧性服务裂缝控制、流动性服从工程施工”的总体原则,设置普通基准组与复合增强组进行对比^[2]。基准组以常规水泥基体系为主,用以反映普通材料的力学基线;复合增强组则通过调整胶凝材料组成、降低水胶比、提高浆体黏聚性并引入纤维,实现对基体脆性特征的修正。考虑到路桥工程更关注材料在实际服役中的整体表现,配合比设计并未片面追求高强,而是强调抗压、抗折、抗拉、延性及抗裂性的协调统一,使试验结果更贴近工程应用场景。

2.2 试件制备与养护方法

试件制备过程直接影响材料内部均匀性及后续测试结果的稳定性。为避免纤维团聚、浆骨分离及孔隙集中等问题,试验采取“干料预混—胶凝材料与细集料混合—加水与减水剂搅拌—纤维分散缓投”的制备顺序。拌合阶段重点控制搅拌时间、投料节奏及浆体流态,确保纤维在基体中形成相对均匀的空间分布。成型过程中采用分层装模、轻振密实与表面整平相结合的方法,以减少大孔隙和边角缺陷,防止试件在受力前即形成初始损伤^[3]。

养护阶段则围绕材料性能稳定发展进行控制。试件成型后先进行短时静置,待初凝后脱模并转入标准养护环境,在恒温恒湿条件下养护至规定龄期。对于路桥材料而言,早期收缩和表层失水是影响裂缝控制的重要因素,因此在试件养护中应避免温湿波动过大,并通过覆盖保湿等措施降低塑性阶段的失水风险。通过规范制样与稳定养护,可为后续抗压、抗折、抗拉及裂缝观测提供一致性较高的试验基础。混凝土物理力学性能试验方法已有现行标准可依,水泥胶砂强度试验亦有对应国家标准可参考。

2.3 力学性能与裂缝观测试验方法

为全面评价工程水泥基复合材料的路桥适应性,本文从抗压、抗折、抗拉及裂缝控制四个维度组织试验。抗压试验主要用于反映材料在竖向荷载和局部压应力作用下的承载能力;抗折试验用于表征材料在桥面板、铺装层及薄壁构造中抵抗弯曲开裂的能力;抗拉试验则着重反映纤维增强后材料在受拉条件下的延性、应变硬化潜力及峰后承载稳定性。针对裂缝观测,重点记录首裂荷载、裂缝起裂位置、裂缝数量、裂缝平均间距及最大裂缝宽度等指标,以揭示材料从起裂到扩展的全过程演化特征^[4]。

考虑到路桥构件在实际使用中往往并非单一受力状态,本文在结果分析中还将抗压、抗折与抗拉参数进行综合关

联,结合材料在荷载重复作用和环境变形约束下的服役特征,考察其变形协调能力与抗裂稳定性。对于收缩、徐变和耐久性相关评价,工程中通常还需要结合长期性能与耐久性试验方法标准进一步开展补充试验,现行国家标准已更新为 GB/T 50082—2024,自 2025 年 1 月 1 日起实施。

3 工程水泥基复合材料力学性能试验结果分析

3.1 抗压与抗折性能变化规律

从抗压性能表现看,工程水泥基复合材料在合理配合比设计下能够保持较高的基体承载水平,其抗压强度整体上不低于路桥常用普通水泥基材料的工程需求。与普通基准组相比,复合增强组在胶凝体系致密化和界面结构优化作用下,材料内部孔隙率有所降低,受压破坏过程中的局部应力集中得到一定缓解,因此其破坏形态由脆性劈裂型向相对缓和的压碎剥落型转变。需要指出的是,纤维掺量并非越高越好,当掺量过大时,纤维分散不良和拌合缺陷可能削弱基体连续性,反而引起抗压强度波动。因此,对路桥材料而言,抗压性能的提升更依赖于基体密实化和界面优化,而非单纯增加纤维含量^[5]。

相较于抗压强度,抗折性能更能反映该类材料的工程优势。试验中,复合增强组在受弯荷载作用下表现出更高的起裂荷载和更平缓的峰后下降过程,说明纤维桥联能够在裂缝形成后继续传递拉应力,抑制单一主裂缝迅速贯通。对于桥面铺装层、板式构件及局部受弯显著部位而言,这种抗折韧性的提升具有直接工程意义。它表明材料在弯拉复合应力场中不再表现为典型脆断,而是具备一定的裂缝稳定扩展能力,从而为控制表层剥蚀、缩短裂缝发展长度及延缓耐久性劣化创造了有利条件。

3.2 抗拉性能及变形协调能力分析

抗拉性能是评价工程水泥基复合材料裂缝控制行为的核心指标。普通混凝土在受拉状态下通常表现出起裂快、峰后陡降和裂缝集中扩展等特征,材料一旦发生首裂,剩余承载能力迅速衰减。而在纤维增强和界面调控作用下,复合材料的受拉响应出现明显改善。试验结果表明,该类材料在起裂后并未立即丧失承载,而是依靠纤维跨缝拉结和基体协同变形形成一定的裂后承载平台,部分组别甚至表现出由单缝开裂向多缝开展转化的趋势。这说明材料内部拉应力传递路径由“基体单独承载”转向“基体—纤维共同承载”,从而显著增强了构件的抗拉延性与变形容许能力。

从变形协调能力看,工程水泥基复合材料在受拉和受弯条件下均表现出更好的应变分配特征。传统脆性材料的裂缝往往集中于应力峰值区域,局部开口迅速增大,最终导致结构功能性破坏。相比之下,复合材料由于具备较高的裂缝分散能力,能够将局部集中变形转化为多个微细裂缝上的分散变形,从而降低单缝宽度并减弱局部损伤累积。这一机制对于桥头过渡段、桥面防水保护层、连续梁节点及维修加固

界面等易受约束变形影响的部位尤为重要。换言之，抗拉能力的提升并不仅体现在峰值强度层面，更体现在裂后延展性、耗能能力和服役安全储备的整体改善上。

3.3 路桥服役条件下的综合力学适应性

路桥结构的实际服役工况具有荷载反复、温度梯度显著、湿度变化频繁及局部约束复杂等特征，因此单一强度指标并不足以评价材料的工程适用性。综合试验结果可以看出，工程水泥基复合材料的优势主要体现为“强度可满足、韧性显著优于普通材料、裂缝可控且扩展速率较缓”。这种综合性能使其更适用于受拉受弯作用明显、对表面裂缝控制要求较高或需要兼顾耐久性的路桥部位，而不宜仅以其抗压指标与高强普通混凝土进行简单横向比较。

进一步分析表明，该类材料在路桥服役条件下的适应性来源于三个层面的协同作用。其一，致密化基体降低了水分迁移与微裂纹萌生概率，为结构长期稳定提供基础；其二，纤维桥联机制改善了受拉与受弯阶段的裂后承载行为，使材料具备更高的损伤容忍度；其三，裂缝分散控制降低了有害介质沿单一宽裂缝快速侵入的风险，有利于延缓钢筋锈蚀及界面劣化。因而，从路桥服役需求出发，工程水泥基复合材料更适合作为面向抗裂与耐久提升的功能型结构材料，而非仅作为替代普通混凝土的通用材料。

4 路桥工程应用建议与技术适用性分析

4.1 适用部位分析

结合试验结果与路桥结构受力特点，工程水泥基复合材料宜优先应用于对裂缝控制和变形协调能力要求较高的关键部位。首先，在桥面铺装层、防护层及薄层修复区域，该类材料能够凭借较好的抗折韧性和多缝分散特征抑制早期开裂，降低表层剥落和渗水风险。其次，在桥头搭板、伸缩装置邻近区、湿接缝、梁端连接区及构造突变部位，由于这些区域常伴随温差约束、刚度突变或车辆冲击作用，传统材料易出现集中裂缝，而复合材料更能体现其变形协调优势。再次，在既有路桥病害修补与局部加固场景中，该类材料与基层之间形成较好界面黏结后，有利于减缓新旧材料弹性模量差异引发的再开裂问题。

但从工程经济性和施工复杂度考虑，其应用也应遵循“关键部位优先、功能替代明确、性能需求导向”的原则。对于大体积主体受压构件或以承压为主且裂缝控制要求一般的部位，若采用高掺量纤维复合材料，可能导致材料成本

上升、施工组织复杂化和质量控制难度增加。因此，该材料更适宜在路桥工程中作为抗裂增强型、耐久提升型或修补加固型材料使用，通过局部精确投放实现综合效益最优。

4.2 施工与推广中的关键控制要点

工程水泥基复合材料从实验室性能到工程现场效果之间，关键在于施工实施阶段的过程控制。其一，应严格控制原材料质量稳定性，特别是水泥活性、矿物掺合料细度、纤维长度和表面性能等参数波动，避免因原材差异引起流动性、纤维分散性和强度离散性变化。其二，应根据工程部位和施工方式优化拌合工艺，控制投料顺序、搅拌转速和搅拌时间，防止纤维抱团、离析泌水及局部强度薄弱带形成。其三，在浇筑和振实阶段应尽量减少过振或漏振现象，并保证模板边角、接缝位置和薄壁区成型密实，防止因施工缺陷削弱材料本应具有抗裂优势。

5 结语

本文围绕路桥用工程水泥基复合材料的力学特性与裂缝控制行为开展研究，构建了涵盖原材料组成、配合比设计、试件制备养护及抗压、抗折、抗拉和裂缝观测试验在内的完整分析框架。研究表明，工程水泥基复合材料的核心优势并不局限于强度提升，而在于其通过基体致密化、界面优化与纤维桥联机制的协同作用，实现了抗压性能、弯拉韧性、裂后承载能力及裂缝分散控制效果的综合改善。未来可进一步结合疲劳荷载、冻融循环、氯盐侵蚀和界面长期黏结性能开展深化研究，以推动工程水泥基复合材料在路桥结构抗裂与耐久提升中的系统应用。

参考文献

- [1] 杨仲轩,吴豪杰,戴显荣,等.基于人-车-路协同的路桥过渡段软基处治效果评价方法与沉降控制标准研究[J].中国公路学报,2025,38(8):250-261.
- [2] 范淋,杨璽,祁小龙,等.SMAF增强PP/PVA混杂纤维工程水泥基复合材料拉伸性能[J].硅酸盐通报,2025,44(3):811-820.
- [3] 韩洪宇,李少秋,魏武巍,等.改性橡胶粉水泥稳定碎石抗裂性能研究[J].硅酸盐通报,2024,43(11):4254-4260.
- [4] 梁涛,钟建文,关岩鹏,等.基于离散元方法的卵砾石地层条件下水泥土搅拌桩机钻头结构参数研究[J].工程地质学报,2024,32(1):325-336.
- [5] 陈宾,黄旭华,胡杰铭,等.干湿循环作用下水泥-CCCW改性红层残积土表面裂隙及剪切特性研究[J].工程地质学报,2025,33(5):1942-1955.

Research on Key Technologies for Predictive Maintenance of Rail Transit Electromechanical Equipment

Zhengang Jin

Chongqing Rail Transit Operation Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

Abstract

The operating environment of electromechanical equipment in rail transit is highly complex, with significant load fluctuations. Its reliability and safety are directly related to the overall operational efficiency and service quality of the system. Focusing on the application requirements of predictive maintenance in rail transit electromechanical systems, this study systematically analyzes key aspects including equipment condition perception, operational data acquisition, health assessment, and maintenance decision-making. Based on the analysis of multi-source data acquisition and transmission mechanisms, fault prediction methods based on feature extraction and state modeling are explored. In combination with maintenance strategy optimization and execution control, a predictive maintenance technology system covering the entire life cycle is constructed. Meanwhile, implementation paths oriented toward engineering applications are proposed from the perspectives of information platform integration, standard system development, and operational performance evaluation. By promoting the transition of maintenance modes from post-failure repair to pre-failure prevention, the operational stability of equipment can be effectively improved, fault rates and maintenance costs can be reduced, and strong technical support can be provided for the safe and efficient operation of rail transit systems.

Keywords

rail transit electromechanical equipment; predictive maintenance; condition monitoring; fault prediction; operation and maintenance optimization

轨道交通机电设备预测性维护关键技术研究

金振纲

重庆轨道交通运营有限公司, 中国 · 重庆 401120

摘要

轨道交通机电设备运行环境复杂、负荷波动显著,其可靠性与安全性直接关系到系统整体运营效率与服务质量。围绕预测性维护在轨道交通机电系统中的应用需求,从设备状态感知、运行数据获取、健康评估及维护决策等关键环节展开系统梳理。在分析多源数据采集与传输机制的基础上,探讨基于特征提取与状态建模的故障预测方法,并结合维护策略优化与执行控制,构建覆盖全生命周期的预测性维护技术体系。同时,从信息平台集成、标准体系构建及运行评估等维度,提出面向工程应用的实施路径。通过推动维护模式由事后修复向事前预防转变,可有效提升设备运行稳定性,降低故障率与运维成本,为轨道交通系统安全高效运行提供技术支持。

关键词

轨道交通机电设备; 预测性维护; 状态监测; 故障预测; 运维优化

1 引言

城市轨道交通规模持续扩展,机电设备种类与数量不断增加,设备运行状态呈现多工况叠加与高频动态变化特征,传统依赖定期检修与故障后维修的运维模式逐渐暴露出响应滞后、资源配置粗放及维护成本偏高等问题。设备运行过程中形成的大量数据为精细化管理提供了基础条件,如何将分散的运行信息转化为可支撑决策的有效依据,成为机电系统

运维模式转型的重要方向。随着感知技术与数据处理能力的提升,围绕设备健康状态开展连续跟踪与趋势识别,为提前发现潜在隐患提供了可能路径。基于运行数据的分析结果进行维护决策,有助于优化检修周期与资源配置结构,提升运维工作的针对性与经济性。在此背景下,构建以状态感知、数据分析与决策执行为核心的预测性维护体系,对提升轨道交通机电设备运行可靠性与系统管理水平具有现实意义。

2 轨道交通机电设备预测性维护的内涵界定与系统构成

2.1 预测性维护概念界定与技术特征解析

预测性维护以设备运行状态为核心依据,通过持续采

【作者简介】金振纲(1983-),男,中国浙江东阳人,本科,高级工程师,从事轨道交通机电安装工程管理及技术研究。

集与分析运行数据,实现对潜在故障的提前识别与维护决策前移,其本质在于将维护触发机制由时间周期转向状态阈值与趋势变化。该模式依托高频数据采集与动态分析能力,形成以数据驱动为特征的运维体系,在设备全生命周期中构建连续监测、实时评估与动态干预的闭环机制。机电设备在运行过程中产生的振动、温度、电流、电压等多维信号被转化为可量化指标,结合历史运行曲线形成趋势判断依据。预测性维护强调对设备劣化过程的识别能力,通过识别异常波动幅度、变化速率及周期性特征,实现对故障演化路径的提前把控。

2.2 机电设备类型划分与关键监测对象识别

轨道交通机电系统涵盖供电、通风空调、给排水、信号控制及电扶梯等多个子系统,各类设备运行机理与故障特征差异明显,需要针对性识别关键监测对象。供电系统中牵引变压器、电缆及开关设备作为高负荷运行单元,其温升、局部放电与绝缘状态成为重点监测指标,温度波动范围控制在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内,绝缘电阻变化率需维持在5%以内。通风空调系统中风机、电机及冷却机组运行频率高,振动速度有效值一般控制在 4.5 mm/s 以下,轴承温度不超过 85°C 。电扶梯系统中的驱动链条、制动装置及滚轮部件易发生磨损,其运行电流与转速偏差成为关键判据,电流波动幅度通常控制在额定值的 $\pm 10\%$ 范围内。信号设备则以继电器状态、轨道电路电压及通信延时为核心指标,通信延迟需控制在 20 ms 以内^[1]。

3 轨道交通机电设备状态感知与数据获取关键技术

3.1 多源传感器布设与状态监测参数体系构建

多源传感器布设是实现设备状态全面感知的基础环节,不同类型传感器需结合设备运行机理进行针对性配置。振动传感器常采用压电式加速度计,测量范围覆盖 0.1 Hz 至 10 kHz ,灵敏度达到 100 mV/g ,适用于旋转设备状态识别;温度传感器多采用PT100铂电阻,测量精度可达 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$,用于监测电机绕组及轴承温升;电流传感器选用霍尔效应模块,量程覆盖 0 A 至 1000 A ,采样精度控制在1%以内。传感器布设密度依据设备重要性进行分级设置,关键设备平均每台布设3至5个监测点,一般设备布设1至2个监测点,整条线路监测点数量可达5000至10000个。参数体系构建围绕振动幅度、温度变化率、电流谐波含量及运行频率等指标展开,通过对多维数据的协同分析,实现对设备运行状态的综合刻画。监测数据更新周期可设定为 1 s 至 10 s ,数据量每日可达到数十GB规模,为后续分析提供充足基础^[2]。

3.2 设备运行数据采集与传输技术路径

数据采集系统通过边缘采集终端实现多通道数据同步获取,采集设备支持16至64路信号输入,采样精度达到16位以上,可满足高精度信号采集需求。采集终端内置缓

存模块,单节点存储容量可达32GB,可在通信中断情况下保持数据完整性。数据传输采用分层结构,现场层通过工业总线协议实现设备间通信,控制层通过以太网实现数据汇聚,平台层通过光纤或5G专网实现远程传输。5G通信速率可达到1Gbps以上,时延控制在 10 ms 以内,适用于高实时性要求场景;光纤网络传输速率稳定在10Gbps级别,适合大规模数据传输。数据传输过程中采用MQTT或OPCUA协议实现标准化通信,数据包丢失率控制在0.01%以内,确保数据完整性与实时性。通过边缘计算技术在本地完成初步数据筛选与压缩,可将数据量降低30%至50%,有效减轻中心平台处理压力。

3.3 数据质量控制与标准化处理机制

数据质量直接影响预测结果的准确性,需通过多层控制机制实现数据可靠性保障。采集阶段通过校准机制确保传感器精度,校准周期一般设定为6个月至12个月,误差控制在 $\pm 1\%$ 范围内。数据传输阶段通过校验算法检测数据完整性,采用CRC校验可将误码率控制在 10^{-6} 以下。数据处理阶段通过滤波算法去除噪声干扰,常用方法包括低通滤波与小波变换,可使信噪比提升20dB以上。异常数据识别通过阈值判定与统计分析相结合,异常点识别准确率可达到95%以上。标准化处理环节对不同来源数据进行统一编码与格式转换,采用统一时间戳对齐机制,时间同步误差控制在 1 ms 以内。数据存储采用分布式数据库架构,支持PB级数据存储能力,查询响应时间保持在毫秒级。通过构建完整的数据质量控制体系,可显著提升数据可用性与分析可靠性。

4 轨道交通机电设备故障预测与健康评估关键技术

4.1 设备故障机理建模与特征参数提取方法

设备故障机理建模基于对设备结构与运行原理的深入分析,通过建立数学模型描述故障演化过程。旋转设备故障通常表现为振动频谱中出现特征频率峰值,轴承故障特征频率可通过转速与滚动体参数计算获得,其误差控制在 $\pm 2\%$ 以内。特征提取方法通过时域、频域及时频域分析实现,时域指标包括均方根值与峰值因子,频域分析通过快速傅里叶变换提取主频信息,时频分析采用短时傅里叶变换或小波变换实现动态特征识别。特征参数维度可达到20至50个,通过降维处理将有效特征压缩至5至10个关键指标。建模过程中需结合历史运行数据进行参数拟合,样本数据规模通常不少于10000组,以保证模型稳定性与泛化能力。通过对特征参数的系统提取与建模,可实现对设备运行状态变化的精确描述。

4.2 状态评估模型构建与健康指数计算方法

状态评估模型通过对多维特征数据进行综合分析,形成反映设备健康状况的量化指标体系。健康指数通常设定在

0至1区间,数值越接近1表示设备状态越优,低于0.6时进入预警区间。模型构建采用加权融合方法,将振动、温度、电流等指标按照重要性分配权重,权重系数通过历史数据训练确定,误差控制在±5%以内。评估模型需具备实时更新能力,更新周期通常设定为1分钟至5分钟,以反映设备状态变化。数据输入量级可达到每分钟数千条记录,模型计算时间需控制在1s以内,以满足实时性要求。通过对健康指数的连续跟踪,可形成设备状态变化曲线,为维护决策提供直观依据。模型输出结果与实际故障发生情况对比,预测准确率可达到85%至92%,显著提升运维决策的科学性^[3]。

4.3 故障预测模型优化与精度提升技术

故障预测模型优化围绕提高预测准确率与稳定性展开,通过多模型融合与参数优化实现性能提升。模型训练过程中采用交叉验证方法,将数据集划分为训练集与验证集,比例通常为7:3,通过多轮迭代优化模型参数。预测模型误差通过均方误差进行评估,优化后误差可降低30%以上。模型融合技术将多种算法结果进行加权组合,可将预测准确率提升至90%以上。针对数据不平衡问题,通过过采样与欠采样方法调整数据分布,使模型对少数故障样本的识别能力提升20%以上。在线学习机制可根据实时数据不断更新模型参数,使模型适应设备运行环境变化。通过持续优化与动态调整,预测模型在不同工况下保持稳定性能,为轨道交通机电设备的可靠运行提供有力支撑。

5 轨道交通机电设备预测性维护决策与执行技术应用

5.1 维护策略生成与优化决策方法

维护策略生成依托设备健康指数、故障概率及剩余使用寿命等多维数据,通过决策模型实现维护时机与方式的动态确定。设备健康指数低于0.6且劣化速率超过0.02/天时,系统自动触发预警,结合历史故障样本库进行匹配分析,形成对应维护方案。决策模型采用多目标优化方法,将维修成本、停机损失及安全风险纳入统一评价体系,目标函数中成本权重一般设定为0.4,安全权重为0.35,可靠性权重为0.25,通过迭代计算获得最优策略。数据输入规模可达到单日10万条以上,模型计算时间控制在2s以内,确保决策实时性。策略生成结果包括维修类型、优先级排序及执行时间窗口,维护提前期可由传统的1天延伸至3至7天。通过策略优化,设备非计划停机率可降低20%至30%,维修成本降低10%以上,同时提升设备运行稳定性^[4]。

5.2 维修计划调度与资源配置技术

维修计划调度围绕多设备、多任务并行场景展开,通过建立调度模型实现人员、备件与时间资源的合理分配。调度系统将设备优先级划分为三级,高优先级设备响应时间控

制在2小时以内,中等级别控制在6小时以内,低等级别控制在24小时以内。资源配置模型结合维修人员技能等级、工时需求及设备位置进行匹配计算,每项维修任务平均配置2至4名技术人员,单次维修工时控制在2至6小时区间。备件库存通过动态管理模型进行优化,关键备件库存周转周期控制在15至30天,库存占用资金降低15%至20%。调度系统支持同时处理1000项以上任务请求,调度响应时间小于5s。通过优化调度路径,可减少人员移动距离20%以上,提升作业效率。整体调度优化后,维修任务完成率可提升至95%以上,资源利用率提高至85%左右,实现运维资源的高效配置。

5.3 维护执行过程控制与闭环管理机制

维护执行过程通过信息化系统实现全过程跟踪与控制,形成任务下达、执行反馈与结果评估的闭环管理结构。任务执行过程中通过移动终端实时记录作业数据,单次作业数据记录点不少于20项,包括设备状态、维修操作及参数变化情况。执行阶段对关键操作设置校验机制,误操作率控制在1%以内。系统对执行进度进行动态监控,任务完成时间偏差控制在±10%范围内。维修完成后通过复测验证设备状态,关键指标恢复率需达到95%以上方可判定为合格。闭环管理机制通过数据回传更新设备状态模型,实现预测结果与实际执行效果的持续修正。系统每月对执行数据进行统计分析,形成不少于50项性能指标评估结果,为后续策略优化提供依据。通过全过程控制,设备故障复发率可降低25%,维护质量显著提升^[5]。

6 结语

轨道交通机电设备预测性维护以状态感知与数据分析为核心支撑,推动运维模式由被动响应向主动干预转变。围绕感知获取、分析评估与决策执行构建的技术体系,强化了设备运行状态的可视化与可控性,使故障识别更加前移、维护资源配置更加精准。随着系统集成与管理机制持续完善,设备可靠性与运维效率将保持稳定提升,为轨道交通安全运行与成本优化提供坚实保障。

参考文献

- [1] 潘春雨.城市轨道交通车站机电设备节能控制策略及效果评估[J].汽车周刊,2026,(04):185-187.
- [2] 周宗国.城市轨道交通车站机电设备联调策略应用[J].中国设备工程,2026,(04):237-239.
- [3] 章铭.基于大数据分析的城市轨道交通电气设备运行状态监测方法[J].运输经理世界,2026,(01):13-15.
- [4] 刘恩南.新型智能通信传感技术在轨道交通机电设备中的应用与发展[J].智能建筑与智慧城市,2025,(S2):389-391.
- [5] 沈逸文.基于人工智能的轨道交通车站机电设备维修辅助系统研究[J].隧道与轨道交通,2025,(04):20-25+74.

Technology Innovation and Engineering Verification of “No Overflow in Tank Loading” in Environmental Protection Placed Construction-Practice of Channel Maintenance and Dredging Project in Jiangsu Binhai LNG Port

Wengang Zhang¹ Wei Zhang¹ Bowen Qin²

1. CCCC Guangzhou Waterway Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510220, China

2. Yancheng Maritime Safety Administration, Yancheng, Jiangsu, 224000, China

Abstract

To address the issues of fine sediment loss, low construction efficiency, and marine pollution caused by overflow in traditional rake suction dredging operations, an innovative "overflow-free loading" technology has been developed for the closed water area formed by two breakwaters surrounding the harbor basin area (dredging areas 1 and 2) of the Jiangsu Binhai LNG project. Leveraging three core technologies—optimized compartmentalized loading, automated concentration monitoring, and intelligent overflow system shutdown—this eco-friendly method employs a staged construction approach to achieve efficient dredging without overflow. Results demonstrate that the technology increases single-ship loading capacity by 1,000 m³, reduces daily fuel consumption by 2 tons, and significantly decreases water turbidity in the construction area. This breakthrough establishes an effective technical pathway for dredging in environmentally sensitive enclosed waters.

Keywords

cargo loading without overflow; environmentally friendly spreader; skimming vessel; dredging construction; LNG channel; technological innovation

环保铺排式施工中“装舱不溢流”技术创新及工程验证——江苏滨海 LNG 港池航道维护疏浚工程实践

张文港¹ 张伟¹ 秦博文²

1. 中交广州航道局有限公司, 中国·广东 广州 510220

2. 盐城海事局, 中国·江苏 盐城 224000

摘要

针对传统耙吸船疏浚施工溢流造成的细颗粒泥沙流失、施工效率不高及海域污染问题, 结合江苏滨海LNG项目港池区域(疏浚1、2区)被2座防波堤环抱形成的封闭水域特殊环境, 推出“装舱不溢流”技术创新方案。借助舱容优化分层装载、浓度监测自动控制及溢流系统智能关闭3大核心技术, 采用环保铺排式施工工艺, 做到无溢流高效清淤。结果表明, 技术能让单船次装舱量增加1000m³, 单日节油2t, 施工区域水体浑浊度大幅下降, 为环保指标高的封闭水域疏浚开辟了有效技术渠道。

关键词

装舱不溢流; 环保铺排式; 耙吸船; 疏浚施工; LNG航道; 技术创新

1 引言

保障船舶通航安全, 港池航道维护性疏浚是关键工程, 传统耙吸船采用溢流装舱工艺, 实施封闭水域施工, 溢流泥沙无法有效散开, 容易引发二次回淤, 且会减慢施工效率, 还会引发海域水体污染^[1]。传统耙吸工艺存在两大痛点, 一

是细颗粒泥沙随溢流流失, 装舱效率偏低; 二是封闭水域溢流泥沙回淤, 追加重复施工工作量。创新攻关“装舱不溢流”技术, 运用施工前抽舱预处理、施工中动态控制、溢流系统智能化改造手段, 结合环保实施全范围铺排施工, 可完成“多拉快跑”与环保达标的双重目标。

2 工程概况

2.1 工程背景

江苏滨海液化天然气(LNG)项目港池、航道维护性

【作者简介】张文港(1997-), 男, 中国湖南浏阳人, 本科, 工程师, 从事港口航道研究。

疏浚工程地处盐城市滨海县废黄河口以北海岸，地理坐标为 34° 18' N, 120° 16' E, 航道总长 4025m, 基座宽度 320m, 边坡 1:4, 港池及航道拆为 6 个疏浚区域, 总规模 256.7 万 m³, 2023 年 1 月 17 日工程开工, 主要管护 LNG 码头前沿停泊水域、回旋水域及 10 万吨级航道, 保障 26.6 万方 LNG 船顺畅通航。

2.2 工程特点

如图 1 所示, 工程 1 区、2 区主要成分是淤泥, 3 区到 6 区含铁板砂, 部分区域淤积增速达 5cm/d。该区域属于不正规半日潮, 平均潮位差 1.76m, 港池流速仅 0.1m/s 左右, 水体流转能力差。港池区域(疏浚 1、2 区)为 2 座防波堤环抱形成的封闭水域, 严禁泥沙溢流引发水体污染, 因此, 要控制施工给周边生态环境造成的影响。实测水深接近近期警戒水深(1 区 -13.44m, 2-6 区 -13.8m) 10cm 范围临界状态, 须 3 日内进场施工, 施工效率需达标高。

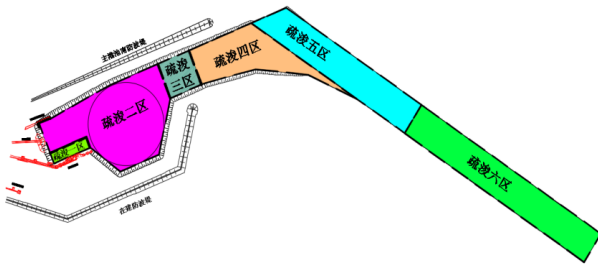


图 1 水下声纳扫测影像平面图

2.3 施工难点

传统溢流施工模式, 一区、二区溢流泥沙随退水转移至三区、四区, 日均施工船次仅为 8 次, 细颗粒泥沙流失占

比 15%, 浑水覆盖海面超 1.2 万 m², 导致需要反复清淤, 施工成本上浮 30%。因此, 传统施工技术存在封闭水域溢流污染与效率底下的问题。

3 “装舱不溢流”技术创新原理

3.1 核心技术创新

3.1.1 舱容优化与分层装载技术

施工前抽排舱内积水清空泥舱, 扩充有效舱容, 施工时调控泥泵抽取功率, 引导粗颗粒泥沙率先沉降舱底, 细颗粒悬浮于上层, 建立牢靠分层体系, 阻止细颗粒随溢流流失^[2]。

3.1.2 浓度监测与自动控制系统

为泥舱配备 4 组浓度传感器(精度 ±0.01t/m³)及液位监测系统, 实时采集泥浆浓度、装载量数据, 泥浆浓度不足 1.3t/m³ 或装载量到舱容 90%, 系统自动下调耙头吸力或调节航速, 减少泥浆注入量, 防止溢流出现。监测系统技术参数见表 1。

3.1.3 溢流系统智能关闭技术

用智能循环系统替换传统溢流口, 装舱后期关停溢流口, 用循环泵把上层带细颗粒的泥水重新送入耙吸管, 和新吸入泥浆混合后再次沉降, 细颗粒回收率提至 95% 以上^[3]。

3.2 与环保铺排式施工的协同机制

“装舱不溢流”技术和环保铺排式施工工艺协同作业, 采用直线往返式铺排方式, 依据泥层厚度设置布线密度, 40-50cm 厚按 0.5 倍船宽布设线路, 由施工区外抽舱调至溢流筒最高位置驶往施工区, 下耙挖泥装舱(动态控制防溢流), 全区域采用铺排式走线, 满舱起耙驶向抛泥区, 最后抛泥后抽舱返程, 防止漏挖及重复施工。

表 1 浓度监测与自动控制系统技术参数

设备名称	型号	测量范围	精度	响应时间	安装位置
浓度传感器	CY-300	1.0-1.8t/m ³	± 0.01t/m ³	≤ 0.5s	泥舱中部、顶部
液位传感器	YW-500	0-8m	± 0.02m	≤ 0.3s	泥舱内壁
自动控制器	ZK-800	0-380V	± 1%	≤ 1s	船舶控制室

4 工程验证过程

4.1 验证区域选择

选定工程 1 区(泊位前沿水域, 405m × 110m, 淤泥质土)、2 区(回旋水域, 77.1 万 m², 淤泥质土)选作验证区域, 1 区靠精准定位法配合“装舱不溢流”技术, 2 区运用环保铺排式配合“装舱不溢流”技术, 比对传统溢流施工和创新技术的应用效果。

4.2 施工参数确定

现场试挖敲定最优施工参数, 一区挖泥作业航速 0.5-0.6 节, 耙耕深度 14.0-14.5m, 泥浆浓度维持 1.3-1.5t/m³; 二区挖泥作业航速 0.8-1.0 节, 作业深度 13.8-14.2m, 泥浆浓度维持 1.2-1.4t/m³; 抽舱时长不少于 30min, 维持舱内余水残

留量 ≤ 5%。

4.3 验证步骤

4.3.1 技术准备

对耙吸船“浚海 6”实施系统性改造, 为“装舱不溢流”技术落地配套硬件支持。实现泥舱结构优化, 焊接防冲刷衬板到泥舱内壁, 杜绝高浓度泥浆磨耗舱体, 同步在舱底安装倾斜角度 15° 的导流板, 推动泥沙下沉分离。

4.3.2 正式验证阶段

一区、二区采用创新技术同步施工, 构建完善的全过程监测与数据记录体系。每日开工前, 技术人员做设备班前检查, 重点检查传感器精度、阀门开关状态及循环泵运行参数, 填写设备检查清单; 施工开展阶段, 专人每小时记录泥

浆浓度、液位高度、航速、泥泵功率等实时数据，借船舶动态监测系统追踪挖泥轨迹，务必按预设布线方案施工，一区采用“半个船位间距向北布线”方案，4个船次实现全覆盖，靠近泊位区铺设两条重复线路；2区按照泥层厚度调整布线密度，泥层厚度20cm采用25m船宽布线，40-50cm按12.5m间隔布线，北侧边界布两条间隔5m的重复线。水质监测事项，针对6个水质监测点，每船次施工前后各采集1组水样，靠重量法检测含沙量，用浊度仪测浑浊度，同步录入监测点坐标、水深及气象条件；水深监测事项，每日施工完成后，用单波束测深仪对4个水深监测点扫测，对比施工前后水深数值变化，核验疏浚深度达标状态。每周举办1次技术分析会，对照分析不同时段不同工况的施工数据，第一时间处理突发状况，第12天排查发现二区部分区域泥浆浓度偏低，排查发现耙头吸口堵塞，即刻调整施工流程，每日清理耙头2次，维持施工连续开展。正式验证阶段完成作业总计126船次，一区占52船次，二区船次74，归集水质监测数据252组、水深监测数据100组、生产运行数据1512条，搭建完整施工监测数据库。

4.3.3 对比分析阶段

将2023年1月1-16日传统溢流施工数据作为对照基准，围绕施工效率、环保效益、质量达标率3项指标做全方位对比分析。施工效率层面，应用创新技术后单船次装舱量从4000m³涨至5000m³，提升比例25%，日均施工船数从8次涨至10次，每日疏浚方量从3.2万m³涨到5万m³，疏浚速率从850m³/h上调至1320m³/h，靠统计学分析，两组数据差异明显，证实技术可提升施工效率。环保效益层面，传统施工模式下，一区、二区施工区域及周边水体含沙量平均值为1.0kg/m³，平均浑浊度为65NTU，用上创新技术后分别降到0.4kg/m³和20NTU，全部跌幅达60%以上，溢流泥沙流失量从传统施工的15%降到0.8%，对水质监测数据开展比对，施工区域内水体质量达到《海水水质标准》（GB3097-1997）第二类标准，环保表现远超传统技术。质量达标率层面，传统施工疏浚深度达标率达85%，88%的边坡坡度符合要求，采用创新技术后分别涨至98%和99%，结合水下地形扫测结果分析，疏浚区域平整度偏差≤0.2m，边坡坡度偏差≤3°，全都契合《水运工程质量检验标准》（JTS257-2008）要求。

5 应用效果分析

5.1 施工效率提升

5.1.1 装舱量与船次提升

创新技术投用后，单船次装舱量从4000m³涨到5000m³，提幅25%；日均施工船数从8次增至10次，每日平均疏浚方量从3.2万m³涨到5万m³，涨幅56.25%。施工效率对比见表2。

表2 施工效率对比表

施工方式	单船次装舱量 (m ³)	日均船次 (次)	日均疏浚方量 (万m ³)	疏浚速率 (m ³ /h)
传统溢流施工	8000	8	6.4	850
“装舱不溢流”技术	10000	10	10.0	1320
提升幅度	25%	25%	56.25%	55.29%

5.1.2 施工周期缩短

假设某施工阶段的一区加二区疏浚总量120万m³，采用创新技术后，施工时长可从37.5天减到24天，减少36%，可有效缩短维护疏浚任务的施工周期。

5.2 环保效益改善

5.2.1 水体污染控制

传统施工时施工区域水体含沙量为0.8-1.2kg/m³，现在降至0.3-0.5kg/m³，浑浊度从50-80NTU下调至15-25NTU，符合《海水水质标准》（GB3097-1997）第2类标准，溢流泥沙流失量几乎为0，全面解决封闭水域溢流污染问题。

5.2.2 节能减排效果

单日节油2t，按每年施工300天核算，年节油600t，减少碳排放1860t，符合绿色施工准则。

5.3 质量达标情况

传统施工疏浚深度达标率85%，现在提升到98%，边坡坡度合格占比从88%升至99%，全部符合《水运工程质量检验标准》（JTS257-2008）规定，守住LNG船舶通航安全底线。质量达标情况对比见表3。

表3 质量达标情况对比表

质量指标	传统溢流施工	“装舱不溢流”技术	达标标准
疏浚深度达标率	85%	98%	≥95%
边坡坡度合格率	88%	99%	≥98%
细颗粒回收率	85%	95%	≥90%

6 结语

“装舱不溢流”技术依托舱容优化分层装载、浓度监测自动控制及溢流系统智能关闭三项创新，有效攻克传统疏浚施工中细颗粒泥沙流失、效率低下、污染环境的症结，技术创新力度大。未来可对智能控制系统算法做进一步优化，强化技术智能水平拓展技术适用范围。

参考文献

- [1] 南金刚, 苏利刚. 智慧管理系统在LNG码头施工期的应用[J].港口航道与近海工程, 2026, 63(01):113-117.
- [2] 吴磊. 基于GA1级管道标准的LNG输气管道施工技术优化研究[J].化学工程与装备, 2025, (12):70-72.
- [3] 骆胜平, 黄子坚. 龙鼓航道香港水域LNG管道工程施工: 引航视角下的风险、应对与经验[J].珠江水运, 2024, (09):60-63.

Research on Optimization Path of Safety Control and Management for Passenger Organization in Urban Rail Transit

Jinyan Wu

Beijing Urban Rail Transit Operation and Management Co., Ltd., Beijing, 100068, China

Abstract

Ensuring the safe and stable operation of urban rail transit passenger organization is a core component for safeguarding the vital arteries of public transportation in megacities. In response to complex and ever-changing passenger flow characteristics and increasing safety pressures, this study analyzes the systemic inadequacies in existing safety management across areas such as institutional standards, daily prevention, and emergency response. It innovatively proposes constructing a full-process closed-loop optimization path centered on data-driven and intelligent collaborative approaches. By introducing dynamic risk assessment models, intelligent perception and early warning platforms, and digitalized emergency plans, the aim is to drive the transformation of safety management from post-incident response to pre-emptive prevention, providing theoretical support and practical guidance for enhancing rail transit safety resilience and achieving high-quality development.

Keywords

urban rail transit; passenger organization; safety management; optimization path

城市轨道交通客运组织安全管控优化路径研究

吴晋妍

北京市轨道交通运营管理有限公司, 中国·北京 100068

摘要

城市轨道交通客运组织安全管控是保障超大城市公共交通主动脉安全稳定运行的核心环节。面对复杂多变的客流特征与日益增长的安全压力, 研究剖析了现有安全管控在制度标准、日常预防及应急响应等方面存在的系统性不足, 创新性地提出构建以数据驱动与智能协同为核心的全流程闭环优化路径。通过引入动态风险评估模型、智能感知预警平台与数字化应急预案, 旨在推动安全管控模式从事后应对向事前预防转型, 为提升轨道交通安全韧性、实现高质量发展提供理论支持与实践指引。

关键词

城市轨道交通; 客运组织; 安全管控; 优化路径

1 引言

伴随我国大城市群城市轨道交通线路网络规模与日均客流不断攀升, 客运组织安全问题正遭受着前所未有复杂局面的压力, 传统的依靠人经验判断以及静态管理模式对于解决高峰大客流冲击, 设备系统的联动响应和突发事件的及时处置等显得力不从心, 急需进行整体化改造提升。本研究基于行业实际状况, 针对客运组织安全管理存在的主要难点开展深入剖析, 寻求把现代风险治理理念同智慧化手段有机结合的有效方法, 旨在为打造更加智慧化、精细化、柔性化的客运组织安全管理提供有力支撑, 有效维护乘客生命财产安

全和城市正常生产生活秩序。

2 城市轨道交通客运组织概述

城市轨道交通客运组织是对乘客乘车整个过程实施的安全、有序、高效的组织行为。是以满足大流量运输需求为前提, 尽最大可能保证乘客的安全、便捷、愉快的服务活动的开展。包括乘客进站、购票、安检、候车、上下车指引、疏散、信息传达等重要工序。客运组织与行车组织及设备维护密切相关, 客运组织的好坏直接影响到车站秩序状况、使用能力的发挥以及发生较大客流或者紧急情况时的处置效果。在实际生活中, 乘客流量呈现出时间空间分布极不平衡, 呈明显的上下班高峰潮汐效应; 受天气及大型活动等外部因素干扰强的特点, 客运组织不仅要具备标准化的操作流程还要拥有随机应变的能力, 在保证日常秩序的同时也要做好信

【作者简介】吴晋妍(1979-), 女, 中国浙江杭州人, 本科, 工程师, 从事城市轨道交通运输研究。

息化监测预警以及突发事件处置预案等工作,以适应不断地变化来维护城市的公共交通这条生命线的安全运营^[1]。

3 城市轨道交通客运组织安全管控现状

3.1 法律法规与标准化体系建设现状

目前我国城市轨道交通客运安全管理已经建立起了包括国家法律、行政法规、部门规章以及地方政府规章在内的完整的法律法规体系。以《中华人民共和国安全生产法》、《城市轨道交通运营管理规定》为代表的一系列法律法规确定了运营企业的主体责任以及安全管理的基本措施。在此基础上行业内已经出台了一系列相关的规章制度,如《城市轨道交通客运服务规范》等对车站人员配置、导向标识、服务程序等重点环节作了规范化的要求。这一系列的规定也为日常的安全管理工作提供了一定的依据。但是这样的体系也存在一定的问题。一方面,一些规定条文相对抽象,在面对不同的城市、不同的线路有着巨大的客流特性和设施设备的不同情况下,具体的实施方法以及适应程度还需要更进一步深入研究;另一方面随着新科技、新模式的应用速度非常快,比如智能安检、人脸识别进出站等等,对于一些现行的标准规章条例有时候并不能够做到与时俱进全覆盖,有一定的脱节现象发生,使得新科技的应用没有一个统一的、可靠的安全操作和管理基础可以借鉴,在实践中需要继续摸索总结经验。

3.2 日常运营中的预防性措施与常态化管控现状

在运行管理方面,各城市轨道交通运营公司一般都形成了以防为主常抓不懈的风险控制体系,主要是从人、设备、环境三个方面进行长期管控,在人员方面,设置了司机、车站值班员、检修工等多种重要岗位持证准入以及定期培训机制,并通过轨旁巡视、录像回放等方式检查一线人员操作行为是否符合要求,在设备方面,对安检机、闸机、电梯、屏蔽门等直接影响乘客人身安全的重要装置实行计划保养及实时观察,目的是防止由于设备原因造成的场面失控。关于环境管理,在车站广泛部署了大量的客流测控装置,通过信息化平台监测来对站厅、站台的客流密度状况做出及时警戒提示并以此实行相应的管控分流举措,这属于客运安全的一道屏障。但是现有的防范管理还有待提高,比如风险提示不够精准细致,对突发复杂性客流变动(诸如瞬间高峰人流、人员过度集中)的预判及时应对不足等问题,不同专业的设备(监控、通信、信号等)之间的信息对接以及相互间的应急联合反应机制不尽完善,尚未达到良好的协同防御效果^[2]。

3.3 应急管理 with 突发事件处置能力现状

为了应对可能出现的各种突发状况,城市轨道交通系统已经形成了一套比较完整的应急管理模式,各个运营公司都有针对火灾、大面积停电、恐怖事件、自然灾害及大客流爆满等多种情况进行的应急预案,并不定期开展各种规模的实战与桌面推演活动,以此来检验、锻炼各部门相互配合的能力。车站现场配置相应的应急器材,比如消防器材、应急

照明、广播、应急指示灯等,还设置明确的逃生指示标识;而组织机构层面一般会有专门的应急指挥部来进行信息收集、决策安排以及资源调配等工作。近年来,依托外部联动联动机制建立,应急处置的整体协调度有了提升但是应急能力的“最后一公里”问题仍然突出,一些演习重在程序再现,繁杂性和真实性有所欠缺,对于应急状态下人的心理承受能力和判断力的锻炼不够。此外,在大客流的实际冲击之下,预案中设计好的分流路线及方法往往会在现场容纳量达到饱和的情况下无法实施到位,及时撤离及准确传递信息依然是亟须完善之处。

4 城市轨道交通客运组织安全管控优化路径

4.1 针对法规标准体系滞后与实践差异的优化路径

对于目前法规标准体系过于原则化、缺乏灵活性、滞后于新技术的情况,在此问题上寻求突破的方向就是创建一个更为灵活、超前以及可实施的标准环境体系。首先要着手标准体系动态化和微细化调整,这就需要建立起持续性的标准评价与更新制度,由行业协会主导,组织高校院所、先进企业和设备供应商共同开展定期的老标准执行情况回顾,发现其中缺失环节以及相互冲突的地方。调整过程中要侧重于制定出具体的、量化的技术指标、管控程序、性能水平,而不仅仅是模糊的原则性规定,比如对“大客流”的界定,就需要根据车站空间大小、通道卡口通行能力等相关数值来分层定量的规定。另一方面,则要积极提倡并支持有条件的大中型城市或者城市群,在不低于国家标准、行业标准的基础上,出台更加适应当地网络结构特性、客流性质及实际运作特点的市级或者企业级的规定,以建立以国家层面的规定为基础底线,地方政府及企业相关规定为提升要求的差异性分级架构^[3]。

在新科技不断出现的情况下,有必要构建起标准制定的“绿色通道”以及“沙箱”。对已经有了一定程度的应用成熟度的智慧安检、无感知通行、智能化视频分析等科技产品,要及时出台相关的安全技术标准及管理办法,做到有章可循,便于推广应用;面对更为超前的研发,比如通过数字孪生进行仿真模拟客流管理和自动调度等,可以划定专门的试验线或者站点,开展安全技术创新试点项目,在一定区域内允许进行试验验证,同时要采集相关数据资料、发现新问题、总结管理规定,进而倒逼产生新标准。还要加强标准发布实施的全过程监管。建立标准化电子化的知识体系,在工作中进行情景化的解析学习,把标准的重要内容列入检查清单和考评范围之中等措施使公司的各个层级都能够理解和落实好标准的要求,切实做到使纸面上的规定变成实际的操作行为。

4.2 针对日常预防性措施精细化与协同性不足的优化路径

为了弥补平时预防性控制中风险预报不精确、系统互动少的缺陷,提升方式就要坚定不移地走“智能化”,“一

体化”，“提前化”的路子，在这之中最重要的是打造一个基于数据为核心的数据化为主的“主动式”安全管理防御系统。该系统要深度嵌入物联网、大数据、人工智能等技术，对来自票务系统、视频监控、wi-fi 探针、移动信令、智能安检机以及其他一些设备传感器的大量实时数据和历史数据进行充分汇聚融合。借助开发高级客流仿真及预报系统，系统除要能够即时监测到车站各个区域的人口密度外，还应具备根据以往的经验、天气状况以及节假日、附近举办的各类活动等多种来源的数据对未来 15 分钟~几小时内的人流量变化趋势、分布情况以及可能发生拥堵的地点做出准确预报的能力，实现由“被动应对”到“主动作为”的转变。

有了准确的预判警报之后，平日管理也将会有质的变化，系统可以自主的生成并提示最合理的客流组织方式，如调整闸机/安检通道的数量及开启方式、切换扶梯走向、下发不同级别的诱导信息到 LED 屏及乘客端 App，甚至提前做好地面巴士的疏导准备等，在此基础上跨专业的合作，让客运系统与运调、工务等系统形成智能化的一体化反应机制。一旦预知某车站的客流将会突破警戒线，就立即通知调度安排增开备用列车或者延长该站停车时间等措施。一旦监测到重要电梯故障或者通风设施出现问题就会及时报警，发送维修任务单的同时让客运系统提前进行旅客疏导的工作。跨系统的联动，跨部门的合作把原来事后处理的安全隐患变成事前预防、疏导的一种方式。

4.3 针对应急管理实战能力与极端情况应对的优化路径

为解决应急预案存在的应对极端情况时可能会失灵、演练缺乏真实的实战性等问题，改进方向应该是强化应急响应系统的“韧性”，“智慧”以及“实战”能力。最重要的是要推进应急预案由静态的文字方案转变为可以执行、能够模拟、可以优化的活生生的“数字预案”，“智能大脑”。通过三维建模及仿真实现车站整体结构、设备分布及客流状况下的数字孪生空间。把传统纸质化预案条款变成可以在这种模型内被触发、被模拟、被优化的一系列数字化应对措施流程。在真正的突发事故发生时，应急指挥中心可以马上在数字孪生体中找到事故发生点，在此基础上系统就会依据事

故等级大小及实时的流量信息，智能选择相应的处理方式并且进行相关推送，模拟多种疏散路线效果的同时，随时对主要疏散路径的通流余力进行更新计算给指挥人员以直接的数据化参考^[4]。

提高对极其复杂状况的处置水平就需要加强应急演练难度和逼真度。除了日常组织无预警的“双盲”演练之外，在运用较多模拟仿真演练的基础上还应广泛使用虚拟现实（VR）、混合现实（MR）等多种先进技术和设备，建立高拟真感的应急管理实训场所，使参与人员能够在一种近乎真实的状态下感受火灾浓烟滚滚、电力失灵伸手不见五指、大面积恐慌人群蜂拥而至等一系列极端而又很难再现的状况，以高度的精神紧张来进行现场指挥调度、汇报反馈、疏导疏散以及互助施救等各项工作的锻炼。这样的训练可以有效地磨砺员工面对信息不足、时限紧张以及恶劣的条件下所保持的心理承受能力和快速反应能力。此外，通过对演练平台采集并解析出每位参与人员的行动路线以及决定点，可以对预案过程及个人能力做到精确评价和精确训练。

5 结语

城市轨道交通客运安全管理工作的完善是一个不断发展和完善的过程，在研究基础上提出了智慧导向、环环相扣的多个方向，突出了科技助力和管理模式革新双管齐下的理念，相信在今后数字孪生、AI 等先进技术的支持下，安全管理机制会越来越准确地预警、自动判断、及时处置。只有树立系统观念，不断促进理论联系实际工作，才能更好地守住城市轨道交通安全最后一道防线，为城市发展提供强有力的资金保障。

参考文献

- [1] 王娜.城市轨道交通客运组织安全及控制管理分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)社会科学, 2025(2):033-036.
- [2] 殷洁.城市轨道交通车站客运组织管理研究[J].人民公交, 2025(14):161-163.
- [3] 贺星霞,孟 萌.城市轨道交通客运组织优化研究[J].现代交通与路桥建设, 2023, 2(8):128-130.
- [4] 李薇.基于拥堵区域识别的城市轨道交通换乘站客运组织优化[J].综合运输, 2025, 47(2):54-60.

Construction and Analysis of the Intelligent Disaster Risk Warning System for Coal Mining Workface

Ershuai Li

Shaanxi Xi Han Xinglong Coal Mine Co., Ltd., Weinan, Shaanxi, 715403, China

Abstract

The coal mining workface is a region with concentrated risks in coal mines, and it has high requirements for disaster prevention and control. With the construction of intelligent mines, the capabilities of perception, control, and data processing have improved, providing conditions for risk warning. Traditional prevention and control rely on manual inspections and experience-based judgments, which are difficult to meet the needs of unmanned production. This article focuses on the intelligent coal mining workface disaster risk warning system, analyzes the types of risks and their formation mechanisms, sorts out the key links such as perception collection, data transmission, risk identification, hierarchical warning, and linkage disposal, and explores the implementation paths of multi-source data fusion, model identification, and management collaboration. The study believes that the warning system is not simply adding monitoring equipment, but should incorporate geological information, production status, environmental parameters, equipment operation conditions, and management processes into the dynamic perception and comprehensive judgment framework, forming a “timely monitoring, accurate analysis, effective warning, and closed-loop disposal” operation mechanism, thereby improving the intrinsic safety level and intelligent control ability of the workface.

Keywords

intelligent coal mining workface; disaster warning; risk identification; multi-source perception; safety management

智能化综采工作面灾害风险预警体系构建分析

李二帅

陕西西韩兴隆煤矿有限公司, 中国·陕西 渭南 715403

摘要

综采工作面是煤矿风险集中区域, 对灾害防控要求高。随着智能化矿山建设, 感知、控制与数据处理能力提升, 为风险预警提供条件。传统防控依赖人工巡查与经验判断, 难以适应少人化生产需求。文章围绕智能化综采工作面灾害风险预警体系, 分析风险类型与形成机理, 梳理感知采集、数据传输、风险识别、分级预警及联动处置等关键环节, 探讨多源数据融合、模型判识与管理协同的实现路径。研究认为, 预警体系并非简单增加监测设备, 而应将地质信息、生产状态、环境参数、设备工况及管理流程纳入动态感知与综合研判框架, 形成“监测及时、分析准确、预警有效、处置闭环”的运行机制, 从而提升工作面本质安全水平与智能化管控能力。

关键词

智能化综采工作面; 灾害预警; 风险识别; 多源感知; 安全管控

1 引言

煤矿综采工作面空间狭长、装备密集, 灾害因素易快速影响整个回采系统。随着采深增加与开采强度提升, 灾害呈现叠加、动态与突发特征, 传统安全管理方式难以满足需求。智能化建设使灾害风险从事后发现向过程识别转变成为可能。传感监测、设备联控、视频识别等技术为预警提供了条件。但预警体系不等同于监测设备堆砌, 缺乏科学的指标设计、判识逻辑和现场响应机制, 数据再丰富也难以发挥实效。因此, 需结合生产实际, 系统分析灾害风险预警体系的

构成逻辑、关键技术与实施路径, 推动智能化综采从装备升级走向安全治理能力提升。

2 智能化综采工作面灾害风险预警体系构建的现实基础

2.1 综采工作面灾害风险的多源耦合特征

综采工作面的灾害风险并非孤立存在, 而是顶板活动、瓦斯涌出、煤尘扩散、设备温升及电气故障等多种因素相互叠加、交互作用的结果。顶板运动影响支架受载和煤壁稳定, 进而改变通风和设备运行条件; 瓦斯异常与采动卸压、裂隙发育及局部风流紊乱密切相关; 煤尘、设备故障和液压异常在高强度生产下可能被放大。在复杂地质条件下, 断层、破碎带、老空区及富水区的存在, 使灾害演化更加隐蔽。多数

【作者简介】李二帅(1994-), 中国陕西韩城人, 男, 助理工程师, 从事采矿专业研究。

事故非单一因素触发,而是顶板、瓦斯、机电、通风及管理缺陷综合作用下逐步形成。因此,风险预警需摆脱线性思维,转向多源信息联合分析,以识别因素耦合关系,提升复合型风险感知与判断能力。^[1]

2.2 智能化建设为预警体系提供技术支撑

智能综采工作面建设使大量分散、滞后或难以感知的信息能够实时采集并集中处理。支架压力、采煤机位置、刮板输送机状态、泵站压力、瓦斯浓度、风速风压、温湿度、电流电压、振动和视频监控图像等数据通过井下传感终端和通信网络持续上传。过去依赖人工观察才能发现的顶板下沉、支架阻力异常、煤流堵塞、设备过热及积尘问题,正在逐步具备在线识别条件。数据平台、边缘计算及模型分析技术的发展,为多源数据综合处理提供了基础,使预警体系从理念转向可实施技术。当前挑战在于如何有效整合、分析和应用这些信息,以实现智能化安全管理的突破。

2.3 少人化作业强化预警体系建设需求

智能综采工作面井下固定岗位减少、远程控制增强、现场作业组织精简,这降低了人员暴露风险,但也使传统依赖经验和人工巡查的安全发现机制面临调整。过去可由岗位人员直观判断的异常,如支架接顶不实、顶板掉渣、设备异响及风流变化,现需依赖系统感知和预警。若预警体系建设滞后,初期异常可能无人感知、分析或干预,增加事故隐患。因此,少人化作业要求预警体系更加精准、灵敏和稳定,成为维持安全边界的核心保障。智能化生产若缺乏完善预警体系,难以实现安全稳定运行。^[2]

3 综采工作面灾害风险预警体系的核心构成

3.1 多源感知层构建风险预警基础

预警体系的首要前提是对灾害相关信息进行全面、连续、真实采集。综采工作面多源感知层应覆盖地质环境、生产状态、设备运行和安全参数四类信息。地质信息包括断层构造、煤岩性质、顶板厚度变化和水文异常,是风险判断的基础;生产状态信息涵盖推进速度、采高变化、煤流负荷、支架动作节奏及回采工序衔接,反映作业强度与扰动水平;设备运行信息包括采煤机、电机、液压支架、运输及供电系统工况;安全参数涵盖瓦斯浓度、风速风压、温湿度、粉尘、顶板离层、微震及围岩应力等。将这些信息纳入统一感知框架,配合合理布点和稳定采集,为风险判识提供坚实数据基础。^[3]

3.2 数据传输与融合层保障预警运行质量

在多源感知基础上,预警体系的有效性取决于数据传输与融合能力。井下环境复杂,设备振动、粉尘和湿度对通信稳定性及数据完整性提出高要求。若网络不稳定、终端协议不统一或数据时序错位,后续分析易失真。数据融合层需将不同设备、频率和格式的信息统一处理,形成标准化数据集。例如,支架压力变化应与采煤机位置、推进节奏及顶板

监测数据对应分析,瓦斯异常需结合通风参数及局部设备运行情况。数据融合层不仅是信息汇总,更是感知与决策间的核心枢纽,为多源信号生成有效预警奠定基础。

3.3 风险判识与分级预警层实现精准响应

预警体系最终目标在于判断风险存在、程度及应对措施,而非单纯数据采集。风险判识层需结合灾害类型建立逻辑体系,对顶板、瓦斯、水害、机电及环境异常设定特征指标,并考虑多因素耦合。例如,支架阻力突升、顶板离层增大和煤壁片帮同时出现,提示顶板失稳风险;瓦斯浓度波动、风速下降与回风阻力变化叠加,则提示局部积聚风险上升。分级预警依据风险严重程度设置不同响应等级,使预警结果具操作性,从一般关注到紧急停机撤人逐步区分,提高响应效率,避免频繁误报削弱系统公信力,确保智能化开采安全管理的精准实施。^[4]

4 智能化综采工作面灾害风险预警的关键技术路径

4.1 多参数联合判识技术提升风险识别准确性

综采工作面灾害风险往往不是由单一参数直接决定,因此单指标阈值报警模式存在局限。多参数联合判识技术强调将不同来源的数据进行关联分析,以提高识别准确性和前瞻性。顶板风险判断不能只看支架压力,还要结合周期来压步距、顶板下沉量、工作面推进速度和现场视频监控图像;瓦斯风险识别不能只盯浓度数值,还需综合风流稳定性、抽采负压、煤体裂隙条件和上隅角状态;机电故障预警也需要把电流、电压、温度、振动和运行负荷联合起来分析。多参数联合判识的价值在于能够识别单一参数尚未越限但整体风险已开始累积的状态,使预警更加提前、更加接近真实工况。这种技术路径符合综采工作面灾害演化的实际特点,也是智能化预警优于传统报警模式的重要体现。

4.2 动态模型与趋势分析技术增强预警前移能力

综采工作面环境持续变化,灾害风险并非静态存在。若预警系统只依据固定阈值判断,就容易遗漏一些具有明显趋势性的异常。动态模型与趋势分析技术的应用,可以把风险识别由“看当前数值”扩展为“看变化过程”。例如,支架阻力虽然尚未达到极限值,但若连续多个循环内呈异常上升态势,同时顶板监测显示离层增加,就说明风险正在积累;瓦斯浓度短时间内虽未超限,但若波动频率增大并伴随风量下降,也提示系统稳定性正在变差。通过构建动态分析模型,系统可以捕捉参数变化斜率、波动幅度、周期特征及异常关联,进而对风险进行提前预估。趋势分析并不追求绝对精确预测,而是强调发现偏离正常状态的演化轨迹,为现场争取更充裕的干预时间。这一能力对少人化条件下的安全管理尤为重要。^[5]

4.3 视频识别与现场可视化技术补强传统数据不足

在综采工作面预警体系中,数值型数据虽然重要,但

一些关键风险仍需要通过图像和视频信息进行辅助判断。比如,顶板掉渣、煤壁片帮、支架歪斜、输送机堆煤、人员误入危险区域、局部烟雾异常等,单靠常规传感器并不容易完整反映。视频识别与现场可视化技术能够弥补这一短板。通过井下摄像装置、图像识别算法和可视化平台,可以实现对关键区域设备姿态、作业状态和环境变化的持续观察,并与监测数据相互印证。视频技术的意义不只是“看得见”,更在于帮助管理人员理解异常发生的场景背景,减少误判和漏判。特别是在远程集控模式下,可视化技术是地面人员掌握井下实际状况的重要手段。数值监测与视频识别相结合,将使预警体系更加完整,也更符合综采工作面复杂工况下的实际需求。

5 灾害风险预警体系落地运行的保障措施

5.1 完善预警指标体系与阈值校核机制

预警体系能否真正适用,关键在于指标设计是否符合矿井实际。不同矿井、不同煤层和不同工作面的地质条件、装备配置和生产组织差异明显,预警指标不能简单照搬通用模板。应结合历史灾害案例、现场参数变化规律和工艺特点,对顶板、瓦斯、机电、水害等风险分别建立更具针对性的指标体系,并在运行中不断校核优化。阈值设置既不能过于宽松而失去预警意义,也不能过于敏感导致频繁误报。通过长期运行数据回溯分析,对报警结果与实际风险事件进行比对修正,才能逐步形成符合现场特点的预警规则。指标体系越贴近实际工况,预警系统越容易获得一线人员信任,也越能在现场落实。

5.2 建立预警—响应—反馈闭环管理机制

预警体系建设不能停留在信息发布层面,还必须形成明确的响应和反馈流程。预警一旦触发,谁来研判、谁来核查、谁来下达处置指令、谁来跟踪结果,都需要有清晰规定。一般性预警可由班组和技术员现场复核处理,较高级别预警则应触发调度、通防、机电和安全管理等部门联动,必要时采取停机、撤人、限产等措施。处置完成后,还应把现场结果反馈回系统,用于修正模型和评估预警有效性。没有反馈环节,系统就难以持续进化;没有响应机制,预警再及时也可能流于形式。闭环管理的本质,是把技术系统与管理体系真

正连接起来,使预警结果能够转化为具体行动。

5.3 强化人员培训与制度协同保障体系稳定运行

智能化预警体系虽然依赖技术平台,但最终仍需人员理解、维护和执行。若现场人员不了解预警含义,不熟悉响应流程,系统价值就难以充分发挥。因此,必须把培训和制度建设作为重要保障内容。技术人员要掌握参数变化与风险机理之间的关系,班组人员要熟悉不同级别预警下的岗位操作要求,管理人员则要具备基于数据组织现场处置的能力。与此同时,还要把设备维护、传感器校验、网络巡检、数据备份和应急演练纳入日常制度,防止系统“建而不用”或“用而不稳”。只有技术平台、人员能力和制度执行三方面同步提升,灾害风险预警体系才能长期稳定运行。

6 结语

智能化综采工作面灾害风险预警体系构建,是煤矿安全治理由经验管理向数据驱动、由事后处置向过程预控转变的重要体现。综采工作面灾害风险具有多源、多变和耦合特征,决定了预警体系必须建立在多源感知、数据融合、动态判识和分级响应基础之上。文章分析表明,预警体系的关键不在于单纯增加监测点位,而在于构建能够反映真实工况、识别风险趋势并指导现场处置的综合运行机制。未来,在智能化矿山持续推进背景下,综采工作面预警体系还应进一步加强模型优化、视频协同、闭环管理和人员能力建设,使其从局部应用走向系统成熟。只有把技术感知、风险分析和现场治理真正贯通起来,才能不断提升综采工作面的本质安全水平,为煤矿高效、稳定、少人化生产提供坚实保障。

参考文献

- [1] 王飞.矿井综采工作面环境安全智能化监测方案研究[J].西部探矿工程,2025,37(05):72-74.
- [2] 张廷华.综采工作面沿空留巷施工安全风险类型及防控措施[J].凿岩机械气动工具,2026,52(03):189-191.
- [3] 高虎,王皓.综采工作面开拓设计前安全风险辨识评估[J].内蒙古煤炭经济,2025,(21):85-87.
- [4] 张晓波.大倾角煤层综采放顶煤工作面支架稳定性风险与优化措施[J].凿岩机械气动工具,2025,51(11):174-176.
- [5] 王振华.上社煤矿15115综采工作面通防系统安全风险研究[J].西部探矿工程,2025,37(08):191-194.

Optimization and Practice of Mining Technology for Coal Mining Workfaces in Coal Mines

Dongdong Luo

Shaanxi Xihan Xinglong Coal Mine Co., Ltd., Weinan, Shaanxi, 715400, China

Abstract

The mining process in coal faces constitutes the core component of coal mine production systems, where its organizational efficiency directly impacts raw coal output, operational safety, equipment performance, and overall mine profitability. With advancements in mechanization, automation, and intelligent technologies, traditional mining methods exhibit limited adaptability in complex geological conditions, equipment coordination, roof control, transportation integration, and safety assurance. Under high-intensity mining operations—characterized by accelerated face advancement, extended equipment runtime, and enhanced process interdependence—higher technical demands are imposed on mining processes. This paper analyzes the practical significance, influencing factors, and critical pathways for mining process optimization. Based on field production practices, it proposes improvement strategies encompassing equipment integration, process coordination, roof control mechanisms, transportation systems, workforce organization, and intelligent application technologies, providing actionable insights for enhancing safe and efficient coal face mining operations.

Keywords

coal mine; coal mining face; mining process; process optimization; safe and efficient

煤矿采煤工作面回采工艺优化与实践

罗冬冬

陕西西韩兴隆煤矿有限公司, 中国·陕西 渭南 715400

摘要

采煤工作面回采工艺是煤矿生产系统的核心环节, 其组织水平直接影响原煤产量、作业安全、设备效率及矿井综合效益。随着机械化、自动化和智能化发展, 传统回采工艺在复杂地质、设备协同、顶板控制、运输衔接和安全保障方面适应性不足。在高强度开采下, 工作面推进加快、设备连续运行时间延长、工序耦合增强, 对工艺提出更高要求。文章分析回采工艺优化的现实意义、影响因素及关键路径, 结合现场生产组织, 从设备配套、工序衔接、顶板控制、运输系统、人员组织及智能化应用等方面提出优化思路, 为提高采煤工作面安全高效回采提供参考。

关键词

煤矿; 采煤工作面; 回采工艺; 工艺优化; 安全高效

1 引言

采煤工作面是煤矿资源回收和产量形成的核心区域, 其回采工艺科学性直接影响生产系统稳定性、资源回收率、作业安全和经济效益。随着装备大型化、支护液压化、运输连续化及信息化技术应用, 工作面生产方式发生显著变化, 回采工艺逐渐成为涵盖地质适应、设备协同、支护控制、运输保障、作业组织和风险防控的系统工程。然而, 部分工作面仍存在工艺参数不匹配、设备故障影响推进、顶板控制压力大、运输衔接效率低及现场管理粗放等问题, 制约安全生产和高效回采。研究回采工艺优化与实践, 对于提升采煤效

率、改善作业条件和推动煤矿高质量发展具有重要意义。

2 采煤工作面回采工艺优化的内涵与现实基础

2.1 回采工艺优化是实现安全高效开采的重要前提

采煤工作面回采工艺不仅包括割煤、移架和推溜环节, 而是一套完整的技术体系, 需综合考虑煤层赋存条件、设备性能、顶板特征及生产组织要求。工作面回采过程中, 采煤机截割、液压支架支护、刮板输送及转载系统紧密协作, 任何环节失效都可能降低推进效率或增加安全风险。在大采高、长工作面及高强度连续开采条件下, 工艺设计合理性决定设备负荷均衡、顶板控制效果及运输顺畅性。优化回采工艺旨在使开采过程与地质条件、设备能力及现场管理水平相匹配, 通过系统调整减少无效时间、控制风险点、提升协同效率, 从而实现安全、稳定、可持续的生产组织模式, 同时

【作者简介】罗冬冬(1983-), 中国陕西旬邑人, 男, 助理工程师, 从事煤矿开采技术研究。

提升日产和月产水平。

2.2 机械化和自动化发展为工艺优化提供了条件

煤矿综采装备水平的提升为回采工艺优化提供了技术基础。采煤机、液压支架、刮板输送机、转载机和破碎机等设备性能不断增强,使工作面具备更高连续作业能力,为优化工序节拍、缩短辅助时间和推进精细化管理提供支撑。液压支架电液控制、设备状态监测、远程控制及可视化系统推广,使关键参数可实时获取,现场管理依赖数据支撑和动态调整。技术进步不仅提高生产效率,也改变了传统依赖经验和人工判断的管理模式,使回采工艺从粗放安排向精确匹配转变,为现代煤矿采煤工作面工艺优化奠定现实基础。

2.3 复杂地质条件倒逼回采工艺持续改进

煤矿开采环境差异明显,不同矿区和煤层在厚度、倾角、顶底板岩性、断层发育、瓦斯含量及水文条件上差异较大,即便使用相似综采设备,回采工艺适用性也存在差异。煤层起伏、顶板破碎及构造带频繁出现,会导致支架跟机不及时、机道维护困难、片帮冒顶风险增大及运输设备卡阻频发。复杂地质条件要求工艺从现场实际出发,针对性调整参数和组织方式,避免通用模式照搬。企业通过动态分析与现场实践不断优化方案,以提升复杂条件下开采稳定性和资源回收水平,确保生产安全与效率^[1]。

3 影响采煤工作面回采工艺效果的主要因素

3.1 地质条件对回采组织具有决定性影响

地质条件始终是影响回采工艺成效的基础因素。煤层厚度变化会直接影响采高控制和采煤机截割参数选择,煤层倾角会影响设备运行稳定性和支架防滑措施布置,顶板岩性决定支护强度和移架节奏,底板条件则关系到设备行走平稳性和输送机推移质量。若工作面遇到断层、陷落柱、夹矸或煤体破碎带,回采工艺往往需要进行针对性调整,否则极易出现采煤机跳刀、支架接顶不实、运输不畅和顶板压力集中等问题。地质条件并不是静态不变的,工作面推进过程中常常会出现局部变化,因此回采工艺不仅要在设计阶段充分论证,还要在生产过程中持续结合地质揭露情况进行修正。脱离地质条件谈工艺优化,很难真正取得理想效果。

3.2 设备配套与运行状态制约回采效率

综采工作面的高效生产建立在设备成套性和连续性基础之上。采煤机截割能力、支架支护强度、输送机运输能力和转载破碎系统负荷水平必须保持相对匹配,若某一设备能力明显滞后,就会形成制约环节。例如采煤机截割速度提高后,若支架移架速度和推溜效率跟不上,便会导致煤机等待;若刮板输送机运量不足,则可能出现堆煤和停机;若支架初撑力不足或阀组故障频繁,又会使顶板控制被动。除设备选型匹配外,设备日常维护水平同样重要。现场实践表明,部分工作面回采效率不高,并非工艺思路本身存在严重问题,而是设备检修不到位、故障预警不足和备件保障薄弱所致。

设备因素对回采工艺的影响具有持续性和放大性,需要在工艺优化中重点考虑。

3.3 现场组织管理水平影响工艺落实效果

再完善的回采工艺,最终都需要通过现场组织来实现。班组衔接是否顺畅、岗位分工是否明确、工序安排是否合理、异常情况处置是否及时,都会对工艺执行效果产生直接影响。一些工作面在技术方案上设计较为科学,但实际回采过程中依然存在割煤与移架配合不紧、端头维护滞后、辅助作业插入不合理等问题,本质上反映的是现场组织管理存在短板。尤其在高强度回采条件下,工作面每个环节都具有时间敏感性,若缺乏严格的节拍控制和岗位协同,设备优势也难以充分发挥。此外,作业人员操作水平、责任意识和应急处置能力也会影响工艺执行质量。管理水平越高,工艺优化越容易转化为实际产能和安全效益;反之,优化措施可能停留在纸面层面^[2]。

4 采煤工作面回采工艺优化的重点路径

4.1 优化设备配套与参数匹配,提升系统协同能力

回采工艺优化应从设备系统整体出发,围绕采煤、支护、运输和转载四个核心环节进行协同设计。对采煤机而言,应根据煤层厚度、煤质硬度和推进要求合理确定牵引速度、截割深度和滚筒参数,避免因盲目追求高速度造成设备过载和煤流波动。对液压支架而言,应综合顶板条件和采高控制要求优化支架型号、支护强度和移架方式,确保支护及时、接顶有效。刮板输送机及转载系统则应重点考虑运量能力、运行稳定性和与采煤机节拍的匹配关系,防止局部环节形成瓶颈。设备优化不仅是硬件配置问题,也包括工艺参数联动调整。只有让设备能力保持整体平衡,才能减少等待时间和空转时间,使回采工艺运行更顺畅。

4.2 优化工序衔接与作业节拍,减少无效作业时间

采煤工作面的生产效率不仅取决于单机性能,更取决于工序之间的衔接质量。实践中,不少工作面的低效问题并非产能不足,而是辅助环节插入频繁、工序转换不流畅和节拍控制不精确造成的。优化回采工艺,应将割煤、移架、推溜、清煤、端头维护和检修保养等工序纳入统一节拍管理,根据班次特点和设备状态合理安排作业顺序。比如在设备运行平稳阶段,应尽量减少非计划停机和临时检修对主流程的干扰;在地质条件变化区段,则应提前安排维护和超前处理,避免问题集中爆发后被动停产。对班组组织而言,工序衔接的关键在于明确岗位职责和时间节点,使每一道工序都服务于整体推进目标。通过节拍优化,可以有效压缩辅助作业时间,提升单位时间内的有效回采量^[3]。

4.3 优化顶板控制与安全措施,增强工艺稳定性

顶板管理是回采工艺优化中的关键内容,也是决定工作面安全稳定的重要基础。顶板条件较好的工作面可以通过合理加快推进节奏提升效率,而顶板破碎或来压明显的

区域,则必须把支护质量和工艺稳定性放在更突出的位置。优化顶板控制,应加强矿压观测和来压规律分析,结合支架工作阻力、顶板下沉量和煤壁片帮情况,对支护参数和移架时机进行动态调整。对于端头、过断层和周期来压区段,应提前制定专项措施,强化超前支护和特殊区域维护。与此同时,还要将瓦斯治理、防尘、防火和防机械伤害等安全措施与回采工艺同步设计,避免出现生产组织与安全控制脱节的情况。只有在安全措施可靠、顶板控制有力的前提下,工艺优化才能持续发挥作用^[4]。

5 采煤工作面回采工艺优化的实践应用

5.1 以生产组织重构提升工作面推进效率

在实际生产中,一些矿井通过对班组组织方式和作业流程进行重构,显著改善了工作面推进效率。具体做法包括将设备检修由零散插入调整为集中安排,将端头维护与回采推进同步规划,将岗位职责细化到每一工序节点,并建立班前布置、班中协调、班后总结的闭环管理机制。通过这种方式,工作面运行由原来的分散作业转向连续协同,煤机截割、支架跟机和输送机运输的节奏更加稳定,停机等待现象明显减少。生产组织优化看似属于管理层面,实际上是工艺优化的重要组成部分。因为回采工艺能否落地,并不只取决于技术方案本身,更取决于现场是否形成与之匹配的执行体系。实践证明,良好的生产组织能够把现有设备潜力更充分地释放出来,使回采效率获得直接提升。

5.2 以智能化手段增强工艺控制精度

随着智能矿山建设深入推进,一些煤矿开始将智能感知、视频监控、设备状态诊断和远程控制技术引入工作面回采系统。通过对采煤机运行参数、液压支架工作阻力、输送机负荷变化和环境指标进行实时监测,现场管理人员能够更及时地发现异常,提前进行参数调整和故障处理。电液控制支架的应用,使移架动作更精准,支护控制更加均衡,有利于保持工作面直线度和顶板稳定。部分矿井还通过建立数据分析模型,对设备故障趋势和矿压变化规律进行研判,为工艺调整提供依据。智能化技术的应用,使回采工艺优化不再完全依赖经验判断,而是逐渐向数据驱动和精准控制方向发展。虽然当前不同矿井智能化水平存在差异,但其在提高控制精度、减少人为误差和提升系统协调性方面的作用已逐步显现^[5]。

5.3 以现场反馈机制推动工艺持续改进

回采工艺优化不是一次性完成的静态工作,而是需要在生产实践中不断修正和完善的动态过程。工作面地质条件变化、设备磨损程度变化以及人员操作状态变化,都会对原有工艺方案提出新的要求。因此,建立现场反馈机制十分必要。实践中,可通过班组记录、技术分析会、故障统计和专项复盘等方式,及时总结影响回采效率和安全的关键问题,并将其反馈到工艺优化环节。例如,对频繁出现的输送机卡阻、支架跟机滞后、煤壁片帮或检修重复问题进行专项分析,找出是参数不当、组织不合理还是设备缺陷所致,再有针对性地调整方案。现场反馈机制越完善,工艺优化就越具有针对性和实效性,也更容易形成可复制、可推广的经验成果。

6 结语

煤矿采煤工作面回采工艺优化,是实现安全生产、高效开采和资源合理利用的重要抓手。面对煤层条件复杂化、设备系统大型化和生产管理精细化的发展趋势,传统依赖经验和局部调整的回采方式已难以满足现代煤矿生产要求。围绕地质适应性、设备匹配性、工序协同性、顶板控制有效性和现场管理科学性开展系统优化,能够显著提升工作面运行效率和安全稳定水平。从实践情况看,回采工艺优化并非单纯技术改造,而是技术、设备、管理和信息化协同作用的综合体现。今后,煤矿企业应更加重视现场数据积累、动态工艺修正和智能化技术应用,把工艺优化与安全保障、设备管理和生产组织深度结合起来,逐步形成适应不同矿井条件的高效回采模式,为煤矿安全高质量发展提供更加有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 白青国.煤矿综采工作面回采效率的提升路径及措施[J].黑龙江科学,2022,13(10):132-134.
- [2] 赵卫冬.中厚煤层回采工艺优化研究[J].石化技术,2019,26(09):363-364.
- [3] 张壮初.新建煤矿复杂煤层综采面回采工艺研究[J].科技创新与应用,2012,(08):40.
- [4] 侯红波.602采面断层带回采工艺及支护技术优化应用[J].江西煤炭科技,2025,(04):21-24.
- [5] 张嘉安.综采工作面过断层回采工艺及支护技术优化[J].现代矿业,2024,40(06):59-62.

A Preliminary Study on the Application of Intelligent Mining Technology in Coal Mine Production

Qiang Feng

Shaanxi Xihan Xinglong Coal Mine Co., Ltd., Weinan, Shaanxi, 715400, China

Abstract

Coal mining operations confront challenges such as complex environmental conditions, high labor intensity, and significant safety risks. With advancements in information technology and automated control systems, intelligent mining has emerged as a transformative approach—not merely replacing manual labor—but achieving systematic integration across geological sensing, equipment coordination, remote control, data analysis, and safety management to drive production toward reduced staffing, precision, and efficiency. This paper analyzes the application of intelligent mining technologies, examines their technical foundations, primary implementations, practical value, and existing challenges, while proposing improvement strategies. Research indicates that these technologies enhance mining efficiency, optimize production organization, strengthen risk mitigation, and improve working conditions; however, their widespread adoption is constrained by variations in geological conditions, system compatibility, talent availability, and management capabilities. Transitioning from pilot projects to stable implementation requires sustained efforts in technological integration, standardization, and operational mechanism optimization.

Keywords

intelligent mining; coal mine production; unmanned operations; remote control; safety management

智能化开采技术在煤矿生产中的应用初探

冯强

陕西西韩兴隆煤矿有限公司, 中国·陕西 渭南 715400

摘要

煤矿生产面临环境复杂、劳动强度大、安全风险高等问题。随着信息技术与自动控制发展,智能化开采成为转型方向,其并非简单替代人工,而是在地质感知、装备协同、远程控制、数据分析和安全管理等层面实现系统集成,推动生产向少人化、精准化、高效化发展。本文分析智能化开采技术的应用,探讨其技术基础、主要形式、现实价值及存在问题,并提出完善思路。研究表明,该技术有助于提升采掘效率、优化生产组织、强化风险防控和改善作业环境,但其推广受地质条件差异、系统兼容性、人才储备和管理水平等因素制约。实现从试点到稳定应用,还需在技术融合、标准建设与运行机制优化方面持续发力。

关键词

智能化开采; 煤矿生产; 无人化作业; 远程控制; 安全管理

1 引言

煤炭在我国能源结构中仍占重要地位,煤矿生产效率与安全水平直接影响能源保障和企业可持续发展。传统开采模式以人工操作和经验管理为主,在复杂地质和高强度作业下存在效率低、响应滞后及安全管控难度大等问题。近年来,传感技术、工业通信、智能控制、数据平台及高端装备的发展,为煤矿生产方式升级提供条件。智能化开采通过对生产全过程的数字化感知与协同控制,减少井下高危岗位人员,提高系统运行稳定性和决策科学性。分析智能化开采技术的

应用特点与发展路径,对推动煤矿安全高效生产具有重要现实意义。

2 智能化开采技术的内涵与应用基础

2.1 智能化开采: 推动煤矿生产方式升级

智能化开采不仅指设备自动运行,而是通过信息采集、自动控制、智能决策和远程协同等技术,实现煤矿生产过程可感知、可分析、可调节的综合运行模式。与传统机械化开采相比,它更强调系统协同和动态适应能力。采煤机、液压支架、刮板输送机、转载机及泵站等辅助系统,在统一平台下实现联动控制和状态共享。智能化开采的价值不仅在于动作自动化,更在于将生产现场由“人盯设备”转为“数据驱动、平台辅助决策”,减少对经验判断的依赖,提高运行精度,

【作者简介】冯强(1987-),男,中国陕西韩城人,本科,助理工程师,从事地质工程研究。

为高效组织、安全管理及少人化生产提供支撑。

2.2 信息技术赋能智能化开采落地

智能化开采推广依赖信息技术和装备技术的持续进步。井下环境复杂，对设备可靠性、通信稳定性和数据实时性要求高，过去控制与监测难以落地。随着工业以太网、5G通信、光纤传输、边缘计算和高精度传感器成熟，生产现场的数据采集和远程控制能力显著增强。采煤工作面的支架压力、设备姿态、煤流状态、瓦斯浓度、温湿度及电机运行参数可实时监测。同时，采煤机自动截割、液压支架跟机移架及运输设备联动功能已具备工程应用基础，使智能化开采从概念探索逐步进入可实施、可复制和可优化阶段。

2.3 安全与效率驱动智能化开采加速推广

煤矿井下空间封闭，作业环境高粉尘、高噪声、高湿度，并存在瓦斯、冲击地压、顶板灾害及水害等风险。传统模式下，大量人员进入采掘一线，劳动强度高且安全暴露面大。市场竞争与绿色发展要求企业降本增效、稳定产量、减少事故。智能化开采通过远程操控、岗位替代和生产协同，减少井下固定岗位人数，提升设备连续运行能力，降低人为操作误差，提升效率和安全水平。因此，越来越多矿井将智能化开采作为技术改造和管理升级的重要方向，实现生产安全和效率双提升^[1]。

3 智能化开采技术在煤矿生产中的主要应用

3.1 智能综采工作面系统的深度应用

综采工作面是煤矿智能化开采技术应用最集中的区域。采煤机记忆截割、液压支架自动跟机、运输系统联动控制、泵站压力自动调节以及工作面可视化监控等技术，已形成较为完整的系统架构。设备运行由分散控制向集中协同转变，采煤机按照预设路径完成割煤动作，支架根据顶板要求实施跟机移架，输送系统根据煤流调整运行节奏。现场人员更多承担巡检、干预和应急职能，使生产节奏更加稳定，设备配合紧密，停机和等待时间减少。对于地质条件稳定、装备水平高的矿井，智能综采工作面已展现良好应用成效，是煤矿智能化开采的重要实践标杆。

3.2 智能掘进系统提升采掘衔接效率

实现煤矿生产稳定高效，掘进系统智能化同样关键。智能掘进技术在煤巷和岩巷施工中逐步应用，包括掘进机远程控制、自动定位、断面成形控制、临时支护协同及后续运输自动运行。通过监测掘进设备姿态、截割轨迹及围岩状态，系统辅助操作人员优化施工节奏，提高断面成形质量，减少反复修整时间。锚杆钻装、皮带转运及通风除尘环节的联动控制，使掘进组织效率显著提升。智能掘进缩短单循环时间，优化工序衔接，降低人工依赖，增强掘进保障能力。虽然掘进智能化成熟度低于综采工作面，但其在生产体系中作用逐步增强，为整体开采效率提供有力支撑。

3.3 辅助系统智能联动拓展开采深度

煤矿智能化开采是系统工程，不仅包括采煤和掘进，

还延伸至辅助系统的智能联动。井下供电系统可实时监控关键设备的电压、电流及负荷，并实施分级保护与故障预警；主运输系统通过煤流、温度和皮带跑偏监测，实现联动启停和异常诊断；通风与瓦斯监测系统持续感知危险区域环境，为作业提供安全控制；排水、压风、提升及辅助运输系统向自动巡检、远程值守和集中管理发展。辅助系统智能化虽不如采煤设备直观，但对生产平稳运行具有基础性作用。系统协同性增强后，智能化开采能够覆盖生产全过程，形成真正的综合应用格局^[2]。

4 智能化开采技术应用的现实价值

4.1 有利于提升煤矿生产效率与资源利用水平

智能化开采最直接的价值体现在生产效率提升上。传统煤矿生产中，设备启停、岗位配合、故障判断和作业切换往往依赖人工指令，容易受到经验差异和现场环境影响。智能化系统通过实时采集设备与环境数据，能够优化生产节奏和运行顺序，使各环节协同更加紧密，减少空转、等待和重复操作现象。以综采工作面为例，采煤机自动割煤和支架自动跟机的实现，可使回采循环更加均衡，工作面推进速度更稳定。掘进系统在轨迹控制和工序联动方面的改进，也有助于提高单进水平和接续保障能力。与此同时，智能化开采对资源利用效率也具有积极作用。通过对截割参数、设备负载和煤流状态的优化控制，可以减少无效作业和设备能耗，提高原煤回收质量与生产组织的精细程度。这类效率提升并不完全依赖劳动强度增加，而是建立在流程优化和系统协调基础之上，因而更具持续性。

4.2 有利于减少高危岗位作业人数并改善安全条件

煤矿安全始终是行业发展的核心问题。智能化开采技术的重要意义之一，在于通过远程操控和自动运行，将部分人员从高风险作业地点转移出来，降低井下现场暴露程度。在智能综采工作面中，原本需要紧盯设备运行和频繁往返作业面的岗位，逐渐可以在地面或安全区域完成监控与操控；在智能掘进和辅助运输场景中，远程控制、自动巡检和故障预警也减少了作业人员直接进入危险区域的频次。人员数量减少并不意味着安全管理弱化，恰恰相反，智能化开采通过数据实时传输和多系统联动，使风险识别更加及时，隐患处置更加有依据。对于顶板、瓦斯、设备高温、皮带跑偏等问题，系统能够在危险扩大前发出信号，为现场干预留出时间。这种由“人到现场发现问题”向“系统提前识别异常”的转变，有助于提高煤矿安全管理的主动性和预见性^[3]。

4.3 有利于推动煤矿管理模式向精细化转型

智能化开采带来的变化不只是生产工具升级，更深层的影响在于管理方式的改变。过去煤矿管理中大量决策建立在经验总结和事后统计基础上，虽然在长期实践中形成了较成熟的方法，但面对设备大型化、系统复杂化和生产连续化趋势，单纯依赖人工经验已越来越难以满足管理需求。智能化开采系统通过构建设备运行数据库、工况监测平台和生

产分析模型,使管理者能够更清楚地掌握生产状态、设备健康和风险变化。班组组织、维修计划、材料供应和生产调度可以围绕数据进行调整,从而提高资源配置效率。与此同时,系统留痕能力增强后,生产责任划分和运行过程追溯也更加清晰,有利于推动标准化作业和规范化管理。可以说,智能化开采不仅提升了现场操作层面的自动化水平,也推动煤矿管理从粗放型向精细化、可视化和可追踪方向发展^[4]。

5 智能化开采技术推广中存在的问题与完善方向

5.1 复杂地质条件制约技术应用稳定性

煤矿地质条件差异较大,智能化开采技术的适应性并非在所有矿井都完全一致。对于地质构造简单、煤层稳定、倾角较小的矿井,自动化设备和控制模型更容易形成稳定运行逻辑;而在断层发育、煤层起伏大、顶板破碎或瓦斯条件复杂的区域,设备动作与工艺参数往往需要频繁调整,系统自动运行难度明显增加。部分智能化功能在试验阶段效果较好,但进入复杂工况后,可能出现识别精度下降、控制连续性不足或人工干预频率偏高等问题。由此可见,智能化开采不能脱离具体地质背景机械套用,而应坚持因矿施策、因面制宜。今后的完善方向,应更加注重地质信息与控制系统的深度耦合,提高模型对复杂工况的适应能力,使智能化系统在变化环境中保持较好的稳定性和可靠性。

5.2 系统集成与运维保障仍需进一步加强

智能化开采涉及采掘装备、监测终端、通信网络、控制平台和管理软件等多个层面,系统集成难度较高。在实际建设过程中,不同厂家设备间接口标准不统一、数据格式不兼容、控制逻辑分散等问题较为常见,容易造成平台整合不彻底、信息孤岛依然存在。表面上看,矿井已经部署了多种智能系统,但如果这些系统之间无法实现高效联动,其应用价值就会受到限制。此外,井下环境对设备运行和通信稳定性要求很高,若后续运维保障跟不上,传感器失准、网络波动、终端故障等问题都可能影响系统功能发挥。智能化开采不是一次性建设工程,而是一项持续优化的运行体系,需要在设备维护、软件升级、故障响应和数据治理方面形成常态机制。只有把系统集成和运维保障做实,智能化应用才能从展示性工程转变为稳定性生产能力^[5]。

5.3 人才结构与管理理念需要同步更新

技术升级最终要靠人来设计、操作和管理。当前部分煤矿在推进智能化开采过程中,存在技术装备提升快、人才培养相对滞后的现象。一方面,传统岗位工人对自动控制、数据平台和远程操作系统的理解不足,需要较长适应过程;另一方面,既熟悉煤矿工艺又掌握信息技术、自动化控制和系统运维的复合型人才仍较缺乏。若人才结构不能及时调整,智能系统即使建成,也可能因使用水平有限而难以发挥全部效能。与此同时,管理理念也需要同步转变。智能化开采强调标准作业、数据决策和全过程协同,若管理层仍沿用粗放式组织方式,把智能系统仅当作辅助展示工具,而不是核心生产支撑平台,那么技术应用就很难深入。未来煤矿应更加重视人才培养、岗位重构和管理机制创新,把技术建设与组织能力建设同步推进,形成更加适配智能化生产的运行体系。

6 结语

智能化开采技术在煤矿生产中的应用,体现了行业顺应技术进步与安全发展的需求。其推广改变了采煤、掘进和辅助系统的运行方式,对生产效率、安全保障和管理模式产生深远影响。智能综采、智能掘进、远程控制、在线监测及系统联动等技术已展现应用价值,为少人化、高效化和精细化发展提供路径。但复杂地质条件、系统兼容性、运维能力及人才结构仍影响落地效果。未来煤矿企业需在提升装备水平的同时完善标准体系、强化人才支撑、优化运行机制,实现智能化开采由局部探索向全面深化发展,更好服务于安全生产和高质量发展目标。

参考文献

- [1] 白玉明.智能机器人技术在煤矿智能化开采中的应用与挑战[J].南方金属,2026,(02):15-17.
- [2] 于东浔.智能化开采技术在深井煤矿采煤中的应用与挑战[J].新疆钢铁,2025,(04):249-251.
- [3] 白昊明.智能化技术在煤矿安全生产中的应用研究[J].煤炭新视界,2025,(02):43-45.
- [4] 李小磊.煤矿智能化技术在机械工程自动化中的应用[J].工程建设与设计,2025,(23):171-173.
- [5] 王丰.煤矿智能化开采技术现状研究及未来展望[J].内蒙古煤炭经济,2026,(03):168-170.

Analysis of Key Technologies and Navigation Safety Measures for Deep Water Channel Dredging Construction

Guangbing Li^{1,2}

1. Pingtan Hengsheng Port Construction Engineering Co., Ltd., Pingtan, Fujian, 350400, China
2. Fujian Xintianyuan Construction Engineering Co., Ltd., Fuqing, Fujian, 350300, China

Abstract

Deep water channel dredging is an important engineering link to enhance port throughput capacity, adapt to the needs of large-scale ships entering and leaving ports, and ensure the efficient operation of the water transportation system. Unlike general shallow water or local harbor dredging, deep water channel dredging is often located in high-grade navigable waters, with characteristics such as large construction depth, complex flow conditions, fast sedimentation, large scale of operation ships and machinery, and coupling between construction organization and navigation organization. Once the construction control is improper, it is easy to cause problems such as over excavation, slope instability, sedimentation rebound, ship interference, and disorderly navigation order in local waters. The technical ideas proposed in this article can provide reference for dredging construction operations in coastal port areas, deepwater entry channels, and high-grade inland waterway navigation areas.

Keywords

waterway; dredging construction; cross-sectional control; navigation safety; traffic organization

深水航道疏浚施工关键技术及通航安全保障措施探析

李光炳^{1,2}

1. 平潭恒晟港口建设工程有限公司, 中国·福建 平潭 350400
2. 福建鑫天源建设工程有限公司, 中国·福建 福清 350300

摘要

深水航道疏浚是提升港口通过能力、适应大型化船舶进出港需求、保障水运体系高效运行的重要工程环节。与一般浅水或局部港池清淤不同,深水航道疏浚往往处于高等级通航水域,具有施工水深大、流态复杂、泥沙回淤快、作业船机尺度大、施工组织与通航组织相互耦合等特征,一旦施工控制不当,容易引发超欠挖、边坡失稳、回淤反弹、船舶会遇干扰以及局部水域通航秩序紊乱等问题。本文提出的技术思路可为沿海港区、深水进港航道及高等级内河通航水域的疏浚施工作业提供参考。

关键词

水航道; 疏浚施工; 断面控制; 通航安全; 交通组织

1 引言

深水航道是港口集疏运体系和区域水运网络中的关键基础设施,其建设与维护水平直接关系到大型船舶安全进出、港口作业效率以及航运物流成本控制。根据交通运输部现行制度,航道疏浚属于航道工程建设的重要内容;在通航水域实施相关施工作业,需依法纳入通航安全管理,并根据需要核定安全作业区。现行《海港总体设计规范》亦将进港航道、锚地、导助航设施、船舶交通管理等作为总体设计的重要组成部分,表明航道工程施工与通航保障在制度和技术层面具有天然耦合关系。文章基于这一现实需求,对深水航

道疏浚施工关键技术及通航安全保障路径展开分析。

2 深水航道疏浚施工的主要技术难点

2.1 水文泥沙条件复杂背景下的成槽与稳槽控制

深水航道疏浚首先面临的是复杂水动力条件下的成槽与稳槽难题。相较于一般港池清淤,深水航道往往处于潮流、径流、波浪和船舶螺旋桨扰动共同作用区域,底床冲淤变化具有明显的时变性与空间非均匀性。当航道底质由淤泥质土、粉砂、细砂或夹层黏土共同组成时,不同土层的可挖性、悬浮扩散特征及边坡稳定性存在显著差异,若施工控制仍采用单一参数或固定工法,很容易出现局部超挖、边坡刷塌、槽底起伏和回淤不均等问题。特别是在深槽边缘或弯道过渡段,水流二次环流和船舶频繁通行会放大断面变形风险,使设计断面在短时间内发生偏移,增加复浚成本^[1]。

【作者简介】李光炳(1988-),男,中国福建三明,本科,工程师,从事港口航道研究。

2.2 船机尺度增大条件下的作业协同难度

深水航道疏浚通常需要配置大型耙吸挖泥船、绞吸挖泥船、抓斗船及配套泥驳、拖轮、测量船等多类船机设备²。此类船机在施工水域内占用空间大、回转半径长、定位调整时间较长，且疏浚、抛泥、补测、扫浅和警戒等工序往往并行展开，容易对通航船舶形成动态干扰。一旦施工计划、设备调度和通航组织衔接不紧密，就会出现作业面重叠、施工通道与通航通道交叉、泥驳待泊堵塞和警戒水域失控等现象。特别是在高等级进港航道内，大型集装箱船、散货船和危险品船舶会让距离、航速控制和通道连续性要求较高，施工船机的任何不规范移动都可能放大通航风险。

2.3 绿色施工要求下的环保与效率平衡难题

在当前绿色港航建设背景下，深水航道疏浚已不能单纯追求产量最大化，而需要兼顾悬浮泥沙扩散控制、疏浚土资源化利用、弃土区环境承载力以及施工噪声、油污和尾气排放等约束。深水疏浚作业若开挖强度过大、溢流管理不严或泥驳密集调运组织失衡，容易造成局部水体浑浊度升高、邻近水域回淤加剧，甚至影响通航识别条件和助航设施工作环境。由此可见，深水航道疏浚的难点并不只是“挖深”本身，而是如何在高强度、高标准和高约束环境下实现质量、效率、安全与环保的综合平衡³。

3 深水航道疏浚施工关键技术

3.1 高精度测量放样与动态定位控制技术

深水航道疏浚的首要前提是建立可靠的测量控制体系。施工前应结合最新水深测量成果、设计断面资料、底质分布和现状通航条件，对施工区进行分段建模，形成“平面坐标—断面高程—边坡控制线—警戒边界”四位一体的基础控制框架。在具体实施中，应以 GNSS 定位、水深测量系统、姿态传感器和施工船载控制平台为核心，对挖泥头、耙臂轨迹、船体偏移和槽底成型过程进行连续监测，确保挖深控制由传统经验型作业转向数据驱动型作业。对于弯道段、变宽段和与码头前沿水域连接段，应当适当加密断面复测频率，防止因流态突变和船流干扰导致施工边界失真。高精度测量控制的核心并不在于单次测深精度，而在于通过实时校核不断修正施工轨迹，使施工断面始终围绕设计目标保持可控偏差⁴。

3.2 装备适配与分区分层疏浚技术

不同底质条件和通航约束决定了疏浚装备不能简单套用。对于开敞水域、运距适中且底质较为均匀的深水航道，可优先采用耙吸挖泥船实施分条带、分区块作业，以提高挖运一体化效率；对于局部硬夹层、回填区或码头前沿局促水域，则宜采用绞吸或抓斗配合作业，以增强局部精挖能力。在施工组织上，应根据航道长度、设计宽度、船流高峰时段和施工设备尺度，将作业区划分为主作业区、辅助调头区、临时避让区和测量复核区，并采取“由中心向两侧、由上游向下游、由深槽向过渡段”的分区施工思路⁵。对于断面高

差较大或边坡控制要求严格的地段，应实施分层开挖，先控制槽底主断面，再修整边坡过渡区，避免一次性满断面开挖造成边坡扰动和泥沙二次回落。通过装备与工法适配，可有效降低超欠挖概率，提升断面成型质量。

3.3 边坡稳定、回淤控制与疏浚土处置技术

深水航道疏浚后的质量保持，实质上取决于边坡稳定和回淤控制水平。一方面，施工中必须根据土质类别、设计边坡比和局部流速条件，合理控制开挖坡脚位置和修坡节奏，防止边坡被过度扰动后发生缓慢失稳，导致槽底再淤积；另一方面，应将回淤控制前移至施工组织阶段，通过潮窗选择、分段闭合、及时扫浅和重点区域复浚等手段，降低施工扰动引起的再悬浮泥沙回落量。对于疏浚土运输与处置，应坚持“运输路径明确、装卸过程可控、泥量平衡清晰、处置去向合规”的原则，对可利用土方优先用于吹填、土地整理或生态修复，对不适宜再利用的疏浚土则严格按指定区域进行处置，防止抛泥线路与主通航流线交叉而增加航行干扰。在绿色施工条件下，疏浚土管理已不再是附属环节，而是影响工程连续性和通航安全的重要控制节点。

深水航道疏浚施工要实现安全、高效和有序推进，关键在于建立施工控制与通航保障同步运行的协同机制。其基本逻辑不是“先施工、后管理”，而是将施工方案、警戒布设、船舶调度、信息通报、风险预警和应急响应纳入同一控制链条。图 1 所示流程体现了这一思路。

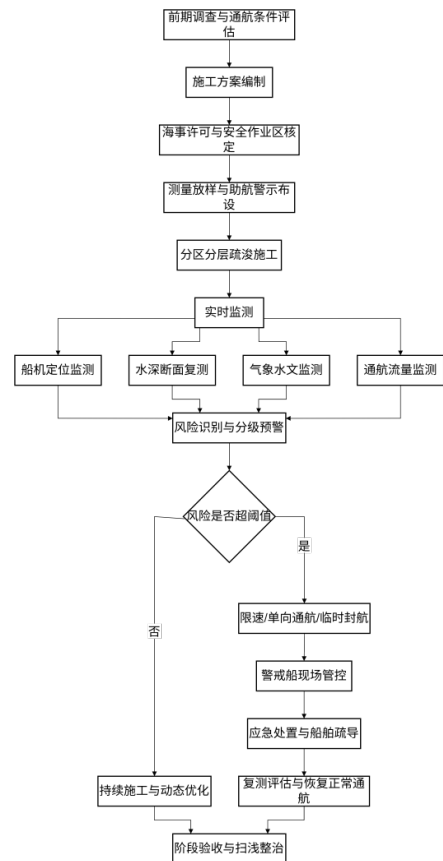


图 1 深水航道疏浚施工与通航安全协同控制流程图

在图1所示流程中，“前期调查与通航条件评估”与“施工方案编制”构成协同控制的起点，其中不仅包括传统的水深测量与地质分析，还需引入船舶交通流密度、船型结构及通航高峰时段等约束参数，使施工方案在生成阶段即具备通航适应性。随后通过“海事许可与安全作业区核定”，将施工行为纳入法定监管框架，并明确空间边界，为后续施工与通航分离提供制度基础。

4 通航安全风险识别与保障措施

4.1 基于施工活动特征的风险识别

深水航道疏浚通航风险主要来源于四个方面。一是施工船舶占据主通道后导致有效通航宽度缩减，使过往船舶会让、追越和掉头空间受限；二是挖泥船、泥驳、拖轮和测量船在同一水域交叉作业，增加动态碰撞风险；三是大风、浓雾、强流、突发回淤和夜间识别困难等环境因素会削弱船舶避碰能力；四是施工信息发布不及时、警戒措施不到位或现场指挥链条不清晰，会造成过往船舶对作业边界和通航规则理解不一致。由此，深水航道疏浚的通航风险不是单一船机风险，而是由水域压缩、信息不对称和动态组织失衡共同形成的复合风险，必须采用全过程识别方式加以控制。

4.2 通航组织、警戒控制与信息发布的措施

根据现行通航安全管理规定，在通航水域开展航道建设、疏浚等作业，需经海事管理机构许可，并可核定相应安全作业区；建设、主办或施工单位应在安全作业区设置警示标志，配备必要的安全设施或警戒船。各地海事部门发布的疏浚施工航行通告也普遍要求施工船舶在核定范围内作业，按规定显示信号，开启AIS并保持VHF频道值守；在大风、能见度不良等情况下应停止作业，及早选择安全水域停泊；航经船舶则应加强瞭望、保持安全距离并采用安全航速通过。

基于上述要求，深水航道疏浚的通航组织应坚持“时空分离、动态调整、信息前置”的原则。所谓时空分离，是指在船流高峰时段压缩施工面或暂停核心断面作业，在船流低谷时段组织强度较大的开挖和倒运作业；所谓动态调整，是指根据船流密度、通航等级和施工占道程度，灵活采取限速通行、单向放行、窗口通航和局部绕航等方式，避免施工与通航发生正面冲突；所谓信息前置，则要求在施工前、中、后全过程及时发布航行通告、动态警示和现场联系信息，使过往船舶明确施工位置、警戒边界、推荐航路和临时限制条件。对于大型船舶、危险品船和受潮汐约束明显的进出港船舶，更应实行重点报告、重点引导和重点监护机制，以提高特殊时段通航组织的精确性。

4.3 应急响应与多部门联动保障措施

深水航道疏浚施工的安全保障，最终要落实到突发事

件条件下的快速处置能力。施工期间应围绕碰撞、走锚、断缆、设备故障、泥驳失控、油污泄漏、极端天气和突发碍航物等情形建立专项应急预案，明确施工单位、海事部门、航道管理单位、港口调度机构和拖轮保障单位之间的响应分工。对于重点施工水域，可依托VTS、AIS、雷达监测和现场警戒船观察，形成“监测发现—信息上报—分级预警—现场控制—恢复评估”的闭环机制。相关政策文件亦强调推进重点水域船舶交通服务系统升级和重点船舶动态预报制度建设，以提升通航秩序动态跟踪和多部门联动治理能力。

在工程层面，应急联动的关键不只是事故发生后的处置速度，更在于施工阶段就预留足够的安全冗余。例如，施工船机布设不宜完全占满通道，应预留紧急避让水域；泥驳编组不宜过密，应保证断缆或失控情况下有调整余地；夜间作业和低能见度条件下应强化灯号、声号和频道联络管理，避免因识别失真而诱发会遇冲突。只有将应急理念嵌入平时施工组织，通航安全保障才能由被动处置转向主动预防。

5 结语

深水航道疏浚是一个典型的高风险、高协同和高精度工程活动，其管理重点既包括航道断面成型、边坡稳定、回淤控制和疏浚土处置等传统施工问题，也包括施工条件下通航秩序维护、动态风险识别和突发事件协同处置等复合性安全问题。文章分析表明，深水航道疏浚施工质量的提升，关键在于以高精度测量定位为基础，以装备适配和分区分层施工为主线，以边坡与回淤控制为重点，形成可复核、可修正、可优化的全过程施工控制体系。今后深水航道疏浚工程的技术优化方向，应进一步向数字化测量、智能化调度、精细化交通组织和绿色化施工处置延伸，通过提升施工与监管的实时协同能力，实现疏浚工程质量、航道服务能力与本质安全水平的同步提升。

参考文献

- [1] 葛新兴,王林,姜忠,等.大型耙吸式挖泥船精挖施工工艺在湄洲湾航道工程中的应用[J].水运工程,2017,(2):186-190.
- [2] 林诚鑫.黄骅港航道疏浚冰期施工技术研究[J].珠江水运,2021,(12):64-65.
- [3] 刘波.深水航道疏浚施工中环保型挖泥船的技术改进与效能分析[J].中国建筑,2025,8(35):37-39.
- [4] 陈永.港口与航道工程中深水基础施工关键技术分析与实践[J].水上安全,2026,(3):10-12.
- [5] 陈辉.复杂水文条件下航道疏浚施工监理关键技术分析[J].珠江水运,2026,(6):59-61.
- [6] 孙燕群.基于物联网与遥感技术的航道疏浚施工动态监测及质量评估研究[J].珠江水运,2026,(4):134-136.

Common Problems and Solutions in Engineering Geological Investigation

Guoping Li

Guangxi Zhuang Autonomous Region Water Resources and Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract

With the continuous advancement of engineering geological survey technologies, practical fieldwork often encounters uncontrollable challenges such as data collection issues, risk assessment difficulties, and special soil conditions. These require scientifically sound solutions to ensure survey accuracy and create optimal conditions for subsequent project implementation. This paper analyzes common survey challenges and proposes targeted solutions to facilitate smooth operations, thereby enhancing both the safety and cost-effectiveness of engineering projects.

Keywords

engineering geological survey; common problems; solutions

工程地质勘察中的常见问题及解决办法

李国平

广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院有限责任公司, 中国·广西 南宁 530000

摘要

当前, 工程地质勘察技术水平日益提升, 但是在实际勘察工作中往往会遇见一些不可控因素, 如数据采集问题、风险评估问题、特殊土体问题等, 需要采取科学合理的方法进行处理, 进而保障工程地质勘察精度, 为后续工程项目的有序开展创建良好条件。文章主要对工程地质勘察中的常见问题进行分析, 并提出针对性的解决措施, 从而保障工程地质勘察工作的顺利进行, 保障整体工程项目安全性和经济性。

关键词

工程地质勘察; 常见问题; 解决办法

1 引言

工程地质勘察是工程建设的基础性工作, 勘察结果与工程设计、施工安全、后期运营等环节息息相关, 良好的工程地质勘察工作能够保障工程项目顺利进行, 减少不必要的损失。因此需要详细识别工程地质勘察工作中常见的问题, 并优化处理办法, 完善工程地质勘察规范体系, 促进勘察行业的高速发展。

2 工程地质勘察工作的重要性

工程地质勘察是工程建筑的重要基础, 直接关系到建筑、道路、隧洞等构筑物的抗灾能力, 能够减少安全事故的出现几率, 保障工程安全。结合工程地质勘察结果, 可以优化工程项目设计, 明确地下水腐蚀性和土体承载力, 优化基础设计, 防止建筑沉降、钢筋腐蚀等长期安全隐患, 保障结

构耐久性, 有效抵御地质灾害, 为工程安全提供保障^[1]。同时还可以保证工程项目设计方案可行性, 尤其可以为工程施工提供更加精准的参数支撑, 优化场地利用方案, 保障工程设计方案的科学性与可靠性。此外还可以控制项目成本, 尤其可以通过前置风险管控, 节约工程投资与运维成本, 减少返工与变更, 规避灾害修复成本, 结合勘察结果指导施工工艺选择, 降低施工难度与耗材。其中, 工程地质勘察常见问题如表 1 所示。

3 工程地质勘察中的常见问题

3.1 数据采集问题

在工程地质勘察工作中, 数据采集准确性与整体工程项目设计的可行性息息相关。其中, 工程地质勘察工作中引起数据采集问题的原因主要有: 勘测仪器设备较为落后, 故障率较高, 在勘测过程中往往会因为设备老化或者操作不当问题, 致使采集的地质数据失真^[2]。如果数据采集操作行为不规范, 或者数据采集频率过低等, 会影响后续

【作者简介】李国平(1972-), 男, 中国广西永福人, 本科, 副高, 从事工程地质研究。

数据分析结果的代表性和准确性。勘察环境也会在一定程度上影响数据采集质量，如地形复杂导致采样点分布不均；地球内部地壳变化也会影响地质勘察结果；强电磁场干扰地下电缆信号或者山区复杂地形都有可能引起信号传输损耗，严重情况下还会引起数据采集失真。此外人员管理不

到位，缺乏系统专业培训，操作不当，致使测量误差较大；资源分配不足，如缺乏交通工具，难以达到偏远地区，影响数据覆盖率，严重降低数据采集质量。一旦出现以上问题，会在很大程度上增加地质勘察成本，甚至影响整体项目设计效果。

表 1 工程地质勘察常见问题

常见问题	解决办法	依据规范
勘察与设计脱节	勘察方案与设计需求脱节；任务书关键参数缺失	GB 55017-2021 (2.0.1 条)
岩土参数取值偏差	试验方法选择错误；数据未修正	GB 55017-2021
报告编制与审查不规范	缺失岩芯原始记录；标准更新后未复核	《勘察文件编制深度规定》(2020 版)
复杂地层勘察技术瓶颈	超深地层探测困难；岩溶区 / 采空区勘察不全面	GB 55017-2021

3.2 风险评估问题

风险评估是保障项目安全性和经济性开展的基本前提。但是如果风险评估工作不到位，会严重影响整体项目安全性和可靠性。常见的风险评估问题为：自然灾害识别不足，尤其是在前期风险评估阶段不能全面识别和判断可能存在的自然风险，导致施工过程中遇到不可遇见的地质问题^[3]。同时，风险评估中如果不能对关键参数进行明确，也会降低风险评估结果准确性，甚至影响项目施工安全性。如果风险传递分析不到位，如深基坑施工中无有监理深基坑开挖对周边地铁的影响传递模型，会致使项目施工过程中对周边环境造成不可预见的损坏，加大了项目风险，对项目方造成严重的经济损失。此外，如果风险评估流程不规范，缺乏完善的质量控制措施，没有制定明确的风险分级标准，容易导致不同单位评估的风险等级不一致，加大了项目风险。

3.3 岩土工程问题

在工程地质勘察前期往往不能充分识别项目所在地的地质条件复杂性，致使施工过程中遇到很多不可预见的地质问题；参数选取困难，如岩土体变形模量取值误差较大，不能提供最新的勘察参数，加大了项目设计变更机率，导致项目风险增加，对项目造成极大的经济损失^[4]。造成这种现象的原因主要为：岩体工程勘察方法较为落后，如参数反演方法精度较低，导致勘察结果偏差较大；此外管理不到位，缺乏规范性的岩土工程勘察流程，岩土参数责任主体不明确，致使项目不同阶段的取值差异较大，甚至引起项目设计变更问题；此外，部分项目工程施工中会遇到特殊土体，如遇到红黏土、膨胀土、软土等，需要采用特殊勘察方法进行处理；部分岩土工程地质土体液化风险严重，容易引起基础倾斜问题。

4 工程地质勘察工作的优化策略

4.1 数据采集问题解决措施

针对工程地质勘察工作中的数据采集问题，需要采取科学方法进行解决。(1) 强化勘察设备技术研发投入，尤

其要引进先进的仪器设备和勘察技术，加大该方面的研发力度，尤其要创新数据处理方法，保障数据采集精度和效率。其中，当前常见的数据采集技术有分布式光纤传感技术，能够实现实时监测，且监测精度达到 0.01MPa；此外，还可以对地质雷达技术与电阻率技术进行联合应用，进而提高地质探测深度，有效提高数据采集精度和质量^[5]。此外还需要引进无人机倾斜摄影技术，以便实现实时监测；构建数据校验机制，通过三维坐标交叉对数据误差进行验证，并确保数据误差不超过 0.5%，强化数据采集精确度。(2) 此外，还需要健全数据采集流程，并制定完善的数据质控体系。在具体工作中，需要制定完善且规范的操作手册，包含关键节点的视频教程，确保操作手册具备较高的可操作性，进而规范工作人员的数据采集行为，避免人为主观失误引起的数据误差。要构建动态评估系统，编制定期采集数据质量评分卡，争取第一时间发现数据集中的问题并采取合理措施进行解决。通过这种方式能够确保数据采集工作的规范性，保障数据质量，减少项目风险。

4.2 风险评估问题解决措施

针对风险评估问题，需要采取科学措施进行处理和解决。如在技术层面，需要引入现代化的风险评估方法和工具，以便保障风险评估准确性和效率，如引进地质统计模型，其中包含克里金插值预测沉降，可以有效提升风险评估精度；还可以对有限元分析方法进行合理应用，以便对地质变形现象进行精准模拟，为风险评估质量的提高奠定良好基础^[6]。为了强化风险评估效果，需要对贝叶斯网络进行优化应用，构建地质风险动态评估系统，并联合情景分析法，对各种地质条件、天气环境等情景下的风险进行分析，保障风险评估结果的准确性，降低项目风险，保障工程项目的顺利进行。除此之外，还需要强化风险评估管理力度，构建更加完善的风险评估流程和质量控制体系，如完善风险数据库，对历史事故案例、参数变化规律等进行全面保存和管理，进而为风险评估工作的科学开展提供数据支撑；要定期组织开展风险演练，针对不同场景进行风险处置演练，强化工作人员的风

险应对能力。

4.3 岩土工程问题解决措施

针对这种问题，需要引进静力触探自动测试系统，可以提高项目测试效果；对多元统计分析技术进行优化应用，以便对岩土工程主要地质成分进行精确分析，保障岩土工程勘察工作的高效性开展，降低项目风险^[7]。此外，还需要引进分布式光纤传感技术，以便实现实时监测；制定完善的勘察流程和质量控制体系，构建完善的参数验证机制，并定期组织开展专业联席会议，对地质、岩土、结构等参数进行详细分析，实现项目团队合作的高效进行。针对特殊土体勘察问题，需要采取针对性的勘察方法进行处理，详细了解特殊土体的分布范围和分布规律，详细掌握特殊土体的力学性质，进而优化工程设计。此外，还需要引进新型勘察技术，

如电法成像技术，可以对特殊土体的分布乏味、分布规律进行精准识别；此外还需要引进智能土工试验系统，以便对特殊土体的含水率、孔隙水压力等关键参数进行实时监测；引进三维地质建模技术，以便对特殊土体的分布和性质进行直观展示。针对特殊土体勘察标准化流程：首先需要进行风险预判，结合气象数据和地质图谱进行关联性分析，以便对特殊土体的分布范围和分布规律进行精准识别，在此基础上评估特殊土体对工程的影响；其次，需要利用多源探测技术，如电法成像与钻探技术进行验证、地质雷达与地震波进行探测、遥感影像技术与地面调查技术进行联合应用；最后需要利用原位动态测试技术，动态监测土体的变形过程，以此为依据评估特殊土体的长期稳定性^[8]。其中不同岩土的钻进工艺如表2所示。

表2 不同性质岩土的钻探工艺

地层类型	钻探工艺	技术参数
松散砂土	跟管钻进	套管直径≥127mm，转速30-50r/min
粘性土	螺旋钻进	螺距150-200mm，进尺速度≤1m/min
基岩	金刚石取芯	钻头直径91mm，压力5-8kN

5 结语

综上所述，为了提高建筑工程施工效率和质量，需要做好工程地质勘察工作，结合精准的勘察结果为工程项目设计与施工提供科学指导，促进工程项目的安全性和经济性。其中，工程地质勘察工作中常见的问题为数据采集问题、风险评估问题、特殊土体问题等，需要结合实际情况，优化地质勘察技术，完善数据采集方法，对特殊土体进行优化处理，保障勘察结果精度。

参考文献

[1] 孙多明. 建筑工程地质勘察中常见的问题及解决对策——以某造纸厂项目工程为例[J]. 造纸装备及材料, 2022, 51 (05): 222-224.
 [2] 王敬. 岩土工程水文地质勘察工作质量的提升策略探讨[J]. 工

程技术研究, 2021, 6 (05): 185-186.
 [3] 梁仕凯,边文英. 工程地质勘察中水文地质问题的危害性研究[J]. 中国科学探险, 2021, (01): 94-96.
 [4] 单飞. 施工中常见的工程地质勘察问题分析[J]. 居舍, 2021, (02): 33-34+38.
 [5] 朱明轩,郭静静. 工程地质勘察中水文地质问题研究[J]. 建筑技术开发, 2020, 47 (11): 104-106.
 [6] 王春阳. 施工中常见的工程地质勘察问题分析[J]. 科学技术创新, 2020, (04): 97-98.
 [7] 韩永强. 地质工程中的水质地质问题分析[J]. 中国金属通报, 2019, (04): 146-147.
 [8] 袁海英,康春景. 工程地质勘察中常见问题与解决措施[J]. 河南科技, 2014, (18): 216-217.

Application of UAV Surveying Technology in Construction Engineering Survey

Yi Xie

Huizhou Road and Bridge Survey and Design Institute, Huizhou, Guangdong, 516000, China

Abstract

Traditional construction surveying methods face challenges such as low efficiency, unstable accuracy, and high operational risks in complex terrains, high-altitude operations, and large-scale monitoring scenarios, making them inadequate for modern construction projects requiring digitalization, precision, and intelligent solutions. Drone surveying technology has gained widespread adoption in construction measurement due to its advantages of mobility, rapid efficiency, non-contact measurement, and 3D visualization. This paper explores the core principles and system architecture of drone surveying technology, detailing its applications across the entire construction process—from preliminary surveys and earthwork calculations to construction monitoring, deformation observation, and final acceptance inspections. Through case studies, it analyzes technical advantages and practical outcomes while proposing optimization strategies to address current challenges including environmental adaptability limitations, complex data processing, and precision control difficulties. The research aims to provide theoretical references and practical guidance for standardized and scaled application of drone surveying in construction projects, driving the digital and intelligent transformation of construction measurement practices.

Keywords

UAV surveying; construction engineering surveying; oblique photography; 3D modeling; engineering monitoring

无人机测绘技术在建筑工程测量中的应用研究

谢逸

惠州市道路桥梁勘察设计院, 中国·广东惠州 516000

摘要

传统建筑工程测量方式在复杂地形、高空作业、大面积监测等场景中存在效率低、精度不稳定、作业风险高等问题,已难以满足现代建筑工程数字化、精细化、智能化的建设需求。无人机测绘技术凭借机动灵活、快速高效、非接触式测量、三维可视化等优势,在建筑工程测量领域得到广泛应用与推广。本文以无人机测绘技术的核心原理与系统构成为基础,深入探讨其在建筑工程前期勘察、土方计算、施工监测、变形观测、竣工验收等全流程环节中的具体应用,结合实际工程案例分析技术优势与应用效果,同时针对当前应用中存在的环境适应性不足、数据处理复杂、精度控制难度大等问题提出优化策略,旨在为无人机测绘技术在建筑工程测量中的规范化、规模化应用提供理论参考与实践依据,推动建筑工程测量向数字化、智能化方向转型升级。

关键词

无人机测绘; 建筑工程测量; 倾斜摄影; 三维建模; 工程监测

1 引言

在建筑工程全生命周期中,工程测量是贯穿规划设计、施工建设、运维管理全过程的基础性、关键性工作,其数据精度、采集效率与成果可靠性,直接决定工程设计方案合理性、施工质量管控水平与项目整体效益。随着我国城镇化建设持续推进,高层建筑、超高层建筑、大型综合体、市政基础设施、山地建筑等复杂工程项目不断增多,传统测量技术如全站仪、水准仪、GNSS接收机等,在面对大区域地形测绘、高空立面测量、深基坑监测、高边坡勘察等任务时,逐渐暴

露出作业周期长、人力投入大、危险区域可达性差、数据成果单一等局限性。近年来,无人机技术、航空摄影测量技术、激光雷达技术、定位定姿技术快速融合发展,形成了高效便捷、适用性强的无人机测绘技术体系。该技术以轻型无人机为飞行平台,搭载可见光相机、倾斜摄影镜头、LiDAR设备等任务载荷,配合RTK/PPK高精度定位系统,能够快速获取测区三维空间信息,通过专业软件完成空三加密、三维建模、数据解算与成果输出,为建筑工程测量提供全新的技术路径。与传统测量方式相比,无人机测绘可大幅降低外业作业强度、提升数据采集效率、拓展测量作业范围,同时实现二维数据向三维可视化模型的转变,与BIM技术、智慧工地系统深度融合,成为推动建筑行业数字化转型的重要支撑。基于此,本文系统研究无人机测绘技术在建筑工程测量

【作者简介】谢逸(1996-),男,中国广西玉林人,本科,助理工程师,测绘工程测量。

中的应用场景、实施流程、优势特点与改进方向，全面梳理技术应用逻辑与实践要点，对提升建筑工程测量质量、推动行业技术革新具有重要的现实意义。

2 无人机测绘技术的核心构成与作业原理

2.1 无人机测绘系统组成

无人机测绘系统并非单一设备，而是由飞行平台系统、任务载荷系统、定位定姿系统、数据处理系统四大部分构成的一体化技术体系，各模块协同配合实现高精度测量。

飞行平台以多旋翼无人机为主，常用的有四旋翼、六旋翼、八旋翼机型，具备垂直起降、低空飞行、定点悬停、仿地飞行、自动避障等功能，能够适应建筑工地复杂的起降环境与地形起伏条件，稳定性强、操作简便，适合小区域、高精度、高灵活性的工程测量任务。

任务载荷是实现数据采集的核心设备，根据测量需求可分为可见光相机、倾斜摄影相机、激光雷达（LiDAR）、红外热像仪等。其中，倾斜摄影相机可同时从五个角度采集地表影像，还原地物真实三维信息，是建筑三维建模的核心设备；激光雷达设备可穿透植被与遮挡物，直接获取高精度三维点云数据，适用于地形复杂、植被茂密区域的测量工作。定位定姿系统主要由 GNSS 卫星接收机、IMU 惯性测量单元组成，采用 RTK 实时动态差分或 PPK 后处理差分技

术，实现无人机位置与姿态的高精度解算，可将平面测量精度控制在厘米级，满足建筑工程 1:500 数字化测图要求。数据处理系统以专业测绘软件为核心，包括 ContextCapture、Pix4D、Smart3D 等，可完成影像匹配、空三加密、点云生成、三维模型构建、土方量计算、地形图绘制等工作，最终输出 DOM 数字正射影像、DSM 数字表面模型、DEM 数字高程模型、三维实景模型等标准化测绘成果^[1]。

2.2 无人机测绘基本作业流程

无人机测绘在建筑工程测量中遵循标准化、流程化作业模式，确保数据成果稳定可靠，其完整作业流程如图 1 所示。

在作业前期，技术人员需对建筑工程现场进行踏勘，明确测区范围、地形条件、周边障碍物、飞行空域等信息，合理规划飞行区域与起降点；像控点采用均匀布设法，使用高精度 GNSS 接收机获取坐标，为后期数据解算提供基准；航线规划需保证航向重叠率不低于 80%，旁向重叠率不低于 70%，在建筑密集区、地形突变区适当提高重叠度，确保模型完整度。外业航飞采用全自动模式，无人机按照预设航线自主飞行、自动拍摄，减少人为操作误差；内业数据处理是保障精度的关键环节，通过空三加密解算相机位置与姿态，生成高密度点云并构建三维模型，最终与设计数据对比分析，输出满足工程需求的测量成果。



图 1 无人机测绘标准作业流程

3 无人机测绘技术在建筑工程测量中的具体应用

3.1 工程前期场地勘察与地形测绘

在建筑工程规划设计阶段，场地地形、地貌、地物、边界、坡度等数据是方案设计的核心依据。传统人工测绘需要大量人员逐点测量，在山地、陡坡、水域周边等区域作业难度大、周期长，且数据容易出现遗漏。采用无人机测绘可在短时间内完成大面积区域的影像采集，快速生成高精度数字地形图与三维实景模型，清晰呈现场地内的道路、河流、植被、既有建筑物、管线走向等信息。技术人员可直接在三维模型上量取距离、高程、面积、坡度等参数，为总平面布局、基坑

开挖范围、建筑定位、竖向设计提供精准数据支撑。与传统方式相比，无人机测绘可将数天的外业工作缩短至几小时，数据覆盖率达到 100%，有效提升前期勘察效率与设计依据可靠性。

3.2 土方工程计算与施工进度管控

土方开挖、回填、转运是建筑工程施工的核心内容，土方量精准计算直接关系到工程造价控制与施工组织安排。传统方格网法、断面法依赖人工采集地形点，受地形起伏影响大，计算结果误差较高，且无法实现动态监测。无人机测绘通过获取施工前后两期地形数据，生成 DSM 数字表面模型，利用专业软件自动计算土方挖填量、弃土量、借土量，计算

精度可达95%以上,满足工程计量要求。同时,可按照周、月、季度进行周期性航测,动态对比土方变化情况,直观展示土方施工进度,帮助管理人员及时调整施工方案,避免超挖、欠挖、土方乱堆乱放等问题,有效控制施工成本与工期。

3.3 施工放样复核与数字化现场管理

建筑施工过程中,轴线定位、标高控制、构件安装精度直接影响结构安全与施工质量。传统放样复核需要人工逐点检测,效率低且容易出现人为误差。无人机测绘可将BIM设计模型与现场三维实景模型进行精准叠加对比,快速检查建筑轴线、结构尺寸、幕墙安装、钢结构定位等是否符合设计要求,自动识别偏差位置与偏差数值。同时,无人机可对施工现场进行全景巡查,采集脚手架、临边防护、塔吊、施工用电、材料堆放等安全文明施工信息,形成可视化巡查报告,辅助管理人员实现远程、高效、全覆盖的施工现场管理,提升工程质量与安全管控水平^[2]。

3.4 基坑与高边坡变形监测

深基坑、高边坡、挡土墙等工程结构在施工过程中易发生沉降、位移、坍塌等安全事故,传统人工监测需要布设大量监测点,人员需近距离作业,存在较高安全风险,且监测频率低、数据连续性差。无人机测绘采用非接触式测量方式,无需人员进入危险区域,通过定期航测获取点云数据,对多期数据进行配准与差分分析,可精准提取结构表面的沉降量、水平位移量、倾斜率等变形参数,实现连续、动态、全域监测。当变形值超过预警阈值时,系统可自动发出预警信息,为工程抢险、支护方案优化提供及时可靠的数据支撑,最大限度降低安全事故发生概率。

4 无人机测绘在建筑工程测量中的应用优势

4.1 作业效率显著提升

无人机航测可一次性采集大面积数据,外业时间仅为传统测量的1/10,内业处理自动化程度高,大幅缩短测量周期,尤其适用于工期紧张的大型建筑工程项目。

4.2 测量精度稳定可靠

在RTK/PPK技术支撑下,无人机测绘可实现厘米级测量精度,满足建筑工程施工、验收、监测的规范要求,数据一致性与重复性高,有效减少误差累积。

4.3 作业安全性大幅提高

无人机可进入高空、陡坡、深基坑、狭小空间等人员难以到达的危险区域,实现非接触式测量,彻底避免人员高空坠落、坍塌、机械伤害等安全风险。

4.4 数据成果丰富直观

无人机测绘不仅可提供传统二维地形图,还能生成三维实景模型、点云数据、正射影像等多元化成果,直观呈现工程现场状况,便于技术人员理解与使用。

4.5 综合成本更低

无人机测绘减少了外业人员数量、作业时间与设备投入,降低了人工成本、时间成本与安全管理成本,综合投入

远低于传统测量方式,经济效益显著。

5 无人机测绘应用存在的问题及优化策略

5.1 现存主要问题

环境适应性有限:大风、降雨、浓雾等恶劣天气会影响飞行安全与成像质量;城市高楼、基坑内部等GNSS信号遮挡区域,易导致定位精度下降。

数据处理要求较高:三维建模、点云解算、精度优化等工作需要专业人员操作,软件处理耗时较长,模型轻量化难度较大。

行业标准有待完善:目前针对建筑工程测量的无人机测绘规范尚不健全,成果验收、精度评定、作业流程缺乏统一标准。

与BIM、智慧工地融合深度不足:多数项目仅将无人机成果作为参考数据,未能实现与施工管理、进度管控、安全监测系统的深度联动^[3]。

5.2 优化改进策略

提升环境适应能力:选用抗风等级高、带避障功能的无人机机型;在信号遮挡区域增加像控点密度,采用惯导辅助定位,结合地面测量数据修正误差。

强化技术人员培训:建立标准化操作流程,加强对操作人员在业数据处理、精度控制、模型优化等方面的专业培训,提高作业质量。

完善行业标准体系:结合建筑工程特点,制定无人机测绘作业规范、精度标准、成果交付要求,推动技术应用规范化、制度化。

深化数字化融合应用:加强无人机测绘与BIM、GIS、物联网、智慧工地平台的集成,实现数据互通、实时监测、智能预警,提升工程管理智能化水平。

6 结语

无人机测绘以高效、精准、安全、可视化的技术特征,重构建筑工程测量作业模式,在场地勘察、土方计量、施工监测、变形预警、竣工验收等环节发挥不可替代作用。面对智慧建造与数字中国建设要求,工程测量向空地一体化、多传感器融合、实时动态监测、全生命周期数字化方向升级。未来应持续突破定位抗遮挡、复杂环境自适应、点云智能处理、BIM深度融合等关键技术,完善标准规范与人才体系,推动无人机测绘从辅助手段升级为核心测量技术,为建筑工程高质量发展提供更强支撑。

参考文献

- [1] 张艺鹏. 无人机测绘技术在建筑工程测量中的应用[J]. 四川建材,2023,49(10):41-42+56.
- [2] 李因国. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用[J]. 信息记录材料,2025,26(06):198-200.
- [3] 王晓阳. 建筑工程测量中无人机测绘技术的应用[J]. 城市开发,2025,(06):27-29.

Research on Engineering Quality Management and Risk Control: A Case Study of Fuyang 1st Road Sewage Reconstruction Project in Hengshui City

Jia Li

Qingdao City University, Qingdao, Shandong, 266106, China

Abstract

The current economic development trend of China is relatively complex, with the national economy continuing to recover and overall stable and positive development. The development direction is gradually shifting towards higher requirements, higher quality, higher levels, and higher standards. Municipal engineering roads are an important component of urban public facilities, and their construction and management are related to the quality, efficiency, and stability of urban construction. As the main traffic arteries and channels for pedestrian and logistics flows in cities, municipal roads play a crucial role in improving the quality of urban infrastructure. Therefore, to meet the usage requirements of high-quality road sections, it is essential to adopt scientific and rigorous design as well as high-standard construction practices. To ensure construction quality, strict adherence to key construction points is necessary, thereby enhancing project construction efficiency and laying a solid foundation for achieving the urban construction and development goal of livable cities.

Keywords

engineering quality; quality control; risk control

工程质量管理与风险控制的研究——以衡水市滏阳一路污水改造项目为例

栗佳

青岛城市学院, 中国 · 山东 青岛 266106

摘要

当前中国经济发展趋势相对复杂, 国家经济持续恢复, 总体稳定向好发展, 发展方向也逐渐向高要求, 高质量, 高水平, 高标准的方向发展。市政工程道路是城市公共设施的重要组成部分, 它的建设和管理关系到城市建设的质量、效率和稳定。作为城市的交通主干线和人流物流通道, 市政道路在提高城市基础设施的质量上发挥着至关重要的作用。因此, 想要满足良好的地面路段的使用要求, 必须通过科学严谨的设计以及高规范的施工, 想要确保施工质量, 必须严格把握施工要点, 从而提升工程的施工效益, 为实现宜居城市这一城市建设与发展目标奠定良好的基础。

关键词

工程质量; 质量控制; 风险控制

1 建设工程质量概念

建设工程质量通常简称为工程质量, 是指工程项目能够满足业主的需求, 同时符合国家法律、法规、技术规范标准、设计文件以及合同规定的特性综合。作为一种独特的产品, 建设工程不仅满足了一般产品的质量特性, 如性能、寿命、可靠性、安全性和经济性等, 在满足了社会需求的使用价值和属性外, 还具有更特定的含义。这确保了工程质量的全面性, 不仅仅是满足技术标准, 更是综合考虑了各方面的要求。

针对建设工程质量的特性进行深入探讨, 首先适用性是指建设工程能够满足设计和使用要求, 包括功能性、操作性等方面的要求。耐久性则着重考虑建筑物、结构或设施的使用寿命, 以及其在使用过程中所需的维护和保养。安全性强调建设工程在设计、施工和使用过程中对人员、财产和环境的保护, 以防止事故和损失的发生。可靠性则关注工程在设计要求下的实际运行效果, 包括性能稳定性、操作可靠性等方面。

这些特性综合体现了建设工程在设计、施工和运营过程中的全面考量, 旨在确保工程质量的可控性和可持续性。通过深入理解这些特性, 可以更好地指导建设工程的规划、设计、施工和管理, 从而提升建设工程的整体质量水平。

【作者简介】栗佳(2004-), 女, 中国河北衡水人, 在读本科, 从事工程项目管理研究。

2 工程项目风险的概念

工程项目执行过程中存在多种不确定因素,可能导致人力、财产或其他经济损失。这些不确定因素的综合被称为工程项目风险,其核心特点在于固有的不确定性,不确定性表现在本身以及可能产生的后果上^[3]。

工程项目风险具有普遍性和客观性、不确定性、可预测性、可变性以及阶段性等特征。风险来源多方面,可能包括技术、组织、合同、环境等因素。不同阶段都可能面临不同类型的风险,对风险的认知和管理至关重要。

项目风险分析是确保项目成功完成的关键步骤之一。这涉及评估项目中可能发生的风险事件的概率和潜在影响,以便采取适当的风险管理措施^[4]。项目风险的期望损失值是一个常用的指标,它综合了风险发生的概率和可能的损失规模。

3 工程项目风险类型

在建筑工程中,技术风险是指由设计、施工技术等方面的因素导致的风险。例如,设计图纸存在缺陷可能会影响施工进度和工程质量,增加施工成本。此外,施工技术不达标也可能导致工程质量不稳定,增加工程风险。需要在设计和施工过程中严格把关,确保设计和施工符合相关标准和要求,以降低技术风险。

环境风险是指建筑工程所处环境可能带来的风险。例如,建筑工程施工地点的地质条件可能会影响施工进度和质量;极端天气等不可抗力因素也可能对工程造成影响。

合同风险是指建筑工程合同可能存在的风险。合同的不完善或不清晰可能会导致责任划分不明确,增加项目的风险;合同中的条款不合理也可能导致合同纠纷,影响项目进度和成本。为了降低合同风险,需要在签订合同前充分协商,明确各方的权利和义务,确保合同内容合理、清晰。

经济风险是指建筑工程所面临的经济方面的风险。例如,市场价格的波动可能会影响工程的成本和收益;宏观经济政策的调整也可能对工程造成影响。为了降低经济风险,需要在项目前期进行充分的市场调研和风险评估,制定相应的风险应对策略,减少经济风险对工程的影响。

在实际项目管理中,对于这些风险的识别、评估和应对至关重要。只有充分了解并有效管理各种风险,才能保障工程项目顺利进行,达到预期的目标和效果。

4 项目工程概况

衡水市滏阳一路污水改造项目是由衡水鼎峰建设集团有限公司作为施工单位进行建设,项目位于河北省衡水市滏阳一路(前进街-红旗大街)。

项目分为三个标段:①滏阳一路(前进街-中心街)新建南侧主管道 D800 钢筋混凝土承插管(II级)污水管道 2043m、北侧主管道 DN600 玻璃钢管(SN10)污水管

道 2061m;新建污水提升泵站 2 座;拉管 PE100 dn630 1.6MPa447m;新建检查井 100 座。②滏阳一路(吴公河-酒厂街)新建北侧主管道 D1200 钢筋混凝土承插管(II级)污水管道 517m;新建检查井共 14 座。③滏阳一路(酒厂街-红旗大街)新建北侧主管道 D800 钢筋混凝土承插管(II级)污水管道 364m;新建检查井 10 座。

5 施工方案

按照设计图纸确定管道轴线,然后放坡,算好放坡系数,用白灰撒出开挖线,机械挖槽测量每隔 10 米测设一个断面,挖至设计槽底高程以上保留 20 厘米的余量,避免超挖。土方放置沟槽一侧,方便回填。

5.1 土方开挖

在进行土方开挖的实施中,首先依据设计图纸确定管道轴线,并根据设计要求放置坡度,并计算好放坡系数。随后,使用白灰撒出开挖线,这是一个重要的步骤,以确保开挖的准确性和精度。接着,采用挖掘机作为主要的挖掘工具进行沟槽的开挖,同时人工配合机械清理沟边和沟底残土。

在开挖过程中,必须保证沟槽的槽壁平直,且开挖断面尺寸、边坡系数、土方回填高度等均按照设计文件的要求执行。放坡系数通常为 1: 0.33,这是根据实际情况和土壤特性进行综合考虑的结果。而沟槽的最大深度为 4.3 米,底口宽为 3.6 米,每侧留 0.5 米的工作面,这些尺寸的确定也是经过精确计算和综合考量的结果。

5.2 基础处理

①管底如遇淤泥或杂填土等不良土质,达不到设计要求时,必须进行地基处理。

②淤泥或杂填土深度在 1.0m 以内时,清除至原状土或稳定沙层,素土夯实,密实度达到 95% 以上,保证管底基础的承载力达到设计要求。

③淤泥或杂填土深度超过 1.0m 时,采取清淤换填法进行地基处理。

a. 排水管道施工按先深后浅,分段分布施工原则,先进行西侧管道施工。西侧雨、污水采用同槽开挖,在污水管道排设、检查井砌筑等工序按要求完成,沟槽回填至设计雨水管道高程再进行雨水管施工。在西侧雨、污管道施工完成后,东侧雨水管道开始施工。

b. 管线中线测定与中心桩设置:在管道的不同关键点,如起点、终点、平面折点和纵向折点等,测量并设置中心桩,以确保管线中线的准确定位。

c. 确定管道上口开挖线:根据相关规范和设计要求,在管道的不同位置,明确定义管道上口的开挖线,以确保开挖工作符合设计标准。

d. 随时检查管道中心线和高程桩:在沟槽开挖过程中,持续检查管道中心线和高程桩,确保它们符合设计要求,并随时进行必要的校测,以确保施工的准确性。

e. 沟槽底部宽度控制：根据施工图集的规定，准确进行沟槽底部宽度的开挖。如有需要设置排水沟，应适度增加工作面宽度，以满足设计规范。项目施工质量控制目标。

5.3 项目施工质量控制目标

确保质量等级达到“合格”的标准，需要按照河北省优质工程的质量要求有序地实施。

5.4 项目施工中存在的质量问题

5.4.1 人员素质不高

工程项目的质量控制受到人员素质不高的影响，因此需要提升对技术人员的要求，否则影响工程质量。

5.4.2 监理未尽到职责

监理人员在工程项目中担负着极为重要的责任，如果监理人员疏于管理，不重视工程施工中出现问题，会导致工程质量不合格。

5.4.3 施工质量不过关

工程项目的质量受到施工工艺和材料选择等多个方面因素的影响。一些施工单位为了降低开支，可能会选择低质量的材料或采用不规范的施工方法，结果是难以实现项目的质量目标。

6 项目施工阶段质量控制对策

(1) 保证质量和管理措施：

① 健全责任制度：我们坚持实施严格的岗位责任制，将整体质量目标分解为具体可操作的任务，逐级分派责任，确保每位员工都清晰了解自己的职责和质量标准。

② 强化工程例会制度：工程例会是及时沟通、协调、解决问题的平台。特别是外联工程例会，每次会议都是一个集思广益的过程，汇报工程进展、听取各方建议、共同研究解决方案。

(2) 质量管理体系的强化，应该确保贯彻施工全过程的质量管理，首先需要明确各个机构的职责，加强领导力，并倡导全员“质量第一”的理念。

① 制定明确的程序文件：确保质量管理的程序文件能够在施工的全过程中贯彻，明确各部门的质量职责和相互关系。这有助于培养全体参与者对标准的自觉性，并建立起强有力的质量监控网络，从而全面提升施工质量水平。

② 合理配置专职质量检查员：在工程队内部合理配置专职质量检查员，他们负责对质量的检查和监控。他们的存在可以及时发现并解决质量问题，从而减少重复工作的发生，提高工程的整体效率和质量。

③ 对职工进行教育和培训，提升其素质和质量意识，定期进行技术和文化培训，采用多种形式加强职工的业务和文化知识。

(3) 制定质量标准和规范作业行为：

在工程开工前，质量创优领导小组集中分析工程的特点和性质，特别是针对软土路基等特殊情况。制定更为严格的施工工艺标准，确保施工更加合理，标准控制更加精细，

以保证工程质量的提升。

(4) 通过实施超前样板引路的措施，确保各专业项目都能一次成活达优。具体做法是针对每个专业项目和其相关的附属工程，制定标准的模板或模板细分项以及工序，并在监理确认后组织现场参观学习。这样的做法有助于总结经验并统一施工做法和标准，从而有效降低了查重率。

(5) ① 加强测量管理：成立专门的测量队伍，配备专业工程师和技工，负责控制测量和施工测量。严格执行测量责任制，确保操作规范、观测准确、记录清晰、计算无误，从而减少了重复工作的发生。

② 需在原材料进场前严格控制：在材料采购过程中，具备精细的控制程序，必须经过检验后所有材料方可进场。同时，对业主提供的产品进行抽查检验，并及时反馈和处理问题。自行采购的物资不得未经抽验和试验就进场入库。进场后，按照标识和可追溯控制程序进行标识，以确保材料的合格性和可追溯性，从而有效减少了重复检验的次数。

(6) 通过加强管理制度，致力于在工程实施过程中全面贯彻优质目标。为此，首先确立严格的技术交底制度，以保证所有工人在开工前充分了解质量要求、施工方法和注意事项。其次，实施工序“三检”制度时，需各工班相互监督检查，共同提升工程质量水平。

7 结语

在任何工程项目中，质量管理和风险控制都扮演着至关重要的角色，尤其是针对像衡水市滏阳一路污水改造项目这样的大型基础设施项目。通过对该项目的研究，我们得出以下结论：

建立完善的综合管理与监督体系至关重要。项目管理团队应明确责任分工，建立严格的监督流程和高效的沟通机制，以确保质量得到有效控制。

选择适当的技术和工艺对工程质量具有基础性的保障。在工程施工过程中，必须确保使用的材料符合标准，并且施工过程符合规范，以确保工程质量达到预期水平。

最后，及时应对变化和突发情况对项目顺利进行至关重要。在项目实施过程中，可能会出现各种变化和突发情况，项目管理团队应能够迅速做出反应，并采取有效措施，以保证项目进度和质量不受影响。

总的来说，通过对衡水市滏阳一路污水改造项目的研究，我们得出一些有益的启示和经验，为今后类似项目的顺利实施提供参考和借鉴。

参考文献

- [1] 刘福平.探究工程质量检测在建筑工程中的作用[J].《建筑细部》,2020,(16).
- [2] 左倪军.市政给排水管道安装施工质量控制措施[J].现代工程项目管理,2022,(3).
- [3] 盛晓桐.市政工程给排水管道施工质量控制措施研究[J].国际建筑学,2022,(12).

Discussion on Party Building and Safety Management of Potassium Sulfate Production

Junjie Wang

Guotou Xinjiang Luobupo Potash Co., Ltd. Hami, Xinjiang, 839000, China

Abstract

Work safety is of utmost importance for any enterprise, concerning its sustainable development as well as the health and life safety of its employees. Party building plays a significant role in the survival and development of enterprises, serving as an important component of corporate spiritual civilization construction and exerting an irreplaceable role in promoting work safety management. This paper focuses on the aspects related to Party building and potassium sulfate production safety. It explores how to integrate Party building work with frontline safety, health, and environment (SHE) management in the production process of potassium sulfate at Ruoqubao, aiming to fully implement the all-staff safety responsibility system for frontline positions and improve the SHE management level of production enterprises.

Keywords

party building integration; safe production of potassium sulfate; safety management

浅谈党建与硫酸钾生产安全管理

王俊杰

国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司，中国·新疆哈密 839000

摘要

对于任何企业来说，安全生产都极为重要，事关企业的持续发展和员工的健康及生命安全。党建在企业生存及发展中起着重要作用，是企业精神文明建设的重要组成部分，对企业安全生产管理的推动具有不可替代的作用。本文围绕党建与硫酸钾安全生产相关方面，探讨如何在罗布泊硫酸钾生产过程中，将党建工作与生产一线安健环管理相结合，全面落实生产一线岗位员工全员安全责任制，提高生产企业的安健环管理水平。

关键词

党建融合；硫酸钾安全生产；安全管理

1 引言

工业化硫酸钾生产的方式主要为曼海姆法、芒硝法、天然硫酸钾矿石制取法三类，国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司结合罗布泊腹地的卤水特征，自主研发工艺实现硫酸钾工业化生产。其生产过程以硫酸镁亚型卤水晒制混合盐为基础，涵盖钻井采卤输卤、盐田卤水晒制、采输矿及脱卤、硫酸钾生产、物料干燥包装等多个环节，生产线绵长，安全管理难度较大。将党建工作与罗布泊硫酸钾生产安全管理深度融合，发挥党员先锋模范作用，排查消除生产现场隐患、辨识管控危险源，能够为企业发展夯实安全基础，推动企业高质量发展。

2 加强思想教育，党建引领安全管理

思想是行动的先导，人的不安全行为是事故发生的最直接因素，而安全意识不强是引发不安全行为的核心原因——部分生产现场操作工、维修人员漠视安全法律法规和管理规定，刻意违反操作及维修安全规范，根源在于思想上不重视。常规的安全知识培训、反向激励、KPI考核等方式，往往难以达到预期效果，导致安全管理陷入“紧张但乏力”的困境。党建工作作为我们党的优良传统和优势，能够有效破解这一难题。结合罗布泊硫酸钾生产的安健环管理实际，党建在提升员工安全意识方面主要采取以下举措。

一是优化基层党组织设置，实现党建与安全管理同部署。按照“支部建在车间，党建深入班组”的理念，结合硫酸钾生产特性，分工序建立基层党组织，将党小组建在生产线上。由车间主任担任支部书记，班组长担任党小组长，使车间主任、班组长既作为党建第一负责人，也作为生产现场安全生产第一负责人，形成自上而下的复式领导结构。生产

【作者简介】王俊杰（1977-），男，中国甘肃平凉人，本科，工程师，从事安全生产管理研究。

与安全工作同步布置、同步推进，确保罗布泊硫酸钾生产线“生产处处有人管，安全时时有人监督”，班组内党员发挥“政委”作用，将党建与生产安全管理扎根“生产线”，把党支部打造成重安全、创实效的坚强堡垒。

二是发挥思想教育优势，强化员工安全意识培育。基层党支部结合生产及维修作业现场实际，开展针对性安全教育培训，通过安全知识讲座、事故现场案例教学、安全警示片观看等多种形式，提升员工安全素养。专业安全技术培训帮助员工掌握安全技能、法律法规知识及应急处置方法；事故案例现场教学让员工直观感受能量意外释放对人、机、物、环造成的损害，增强现场警觉性；安全警示教育片则让员工深刻认识到事故对自身及亲人的不可逆伤害。

三是依托宣传功能，营造浓厚安全文化氛围。基层党组织充分发挥宣传优势，以“筑安为家”为主题开展系列宣传活动，推动安健环文化建设，提升企业安健环管理水平。具体举措包括：开展党建+安全观影活动、安全知识竞赛、“安全与发展”主题辩论赛；及时宣传表扬隐患排查能手、月度安全之星等安全工作突出员工，发挥榜样示范作用，引导全员关注安全、重视安全。

3 党员先行，发挥党员在安健环管理中的先锋模范作用

安健环管理是企业稳定生产的基础，需实现横向到边、纵向到底，全天候、全过程、全员参与，任何环节的遗漏或职责缺位都可能形成安全隐患。在实际工作中，安全员难以实现对所有岗位、所有员工的全方位监督，而作为企业中坚力量的党员，可充分发挥专业优势，提升安健环管理能力，带头落实全员安全责任制，引导一线员工重视安全、遵章守纪。

罗布泊硫酸钾生产线各环节均有党员分布，这些党员大多是业务骨干，在自身领域具备较强技能，为生产稳定运行提供支撑。激发党员先行作用，能够有效提升安健环管理水平，彰显党员先锋模范作用，为硫酸钾生产注入安全动力。具体举措包括五点：

一是思想先行，筑牢安全思想根基。基层支部通过车间负责人“带头学”、支委“辅导学”、党员骨干“现场学”等方式，组织党员系统学习安健环管理知识、安全法律法规及事故案例，使党员率先牢固树立安全意识，以点带面影响带动其他员工，形成“党员带头守安全、全员参与保安全”的良好氛围。

二是创新先行，提升安全管理效能。党员带头创新安健环管理模式，开发推广安全管理APP，主动请缨调试使用AI教学提升安全培训效果，在PJO作业行为观察中做好示范教学，带动本岗及相邻岗位员工掌握相关技能，既提高安全管理效率，也为落实全员安全责任制奠定基础。国投罗钾作为国家技术创新示范企业，始终坚持创新驱动，党员在

安全管理创新中主动担当，推动安全管理与智能化技术深度融合。

三是自律先行，树立安全示范标杆。党员在生产过程中以身作则，带头遵守安全法律法规及公司安全管理制度，在岗位上发挥表率作用，争做生产现场安全管理标兵，引导员工自觉规范操作行为。

四是服务先行，破解员工安全难题。一线党员在岗位、餐厅、寝室等场景，主动收集员工对安全管理的意见建议，深入了解员工思想动态及安全知识、技能薄弱点，通过班组小课、安全大讲堂、安全教育视频观看、应急桌面演练等方式，精准解决员工急难愁盼的安全问题。

五是结对共建，强化承包商安全管理。基层党支部党员按照《安全管理一对一帮扶实施方案》要求，与外委承包商签订安全帮扶结对书，对承包商实行等同管理，定期开展安全档案梳理、安全培训监督、安全意识测评、驻地安全检查，针对问题制定整改措施，党员挺在前、走在先，推动承包商安全管理水平稳步提升。

4 党建与硫酸钾生产安全管理案例分析

为进一步推动党建与硫酸钾生产安全管理深度融合，国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司硫酸钾厂印发《关于开展硫酸钾厂“筑安”工作的通知》，结合公司2024年工作部署，明确“筑安”工作的指导思想、目标、任务及保障措施，取得显著成效，为党建与安全生产融合提供了实践参考。

4.1 案例核心内容

指导思想：推进“筑安、育人、稳钾、提肥、改镁、引智”六项中心工作目标，筑牢安全发展根基，守好安全底线和红线。

工作目标：提高员工安全意识，形成全员掌握安全技术知识、关注关心安全的良好氛围。

4.2 核心任务与措施

一是融合党建引领，创建“筑安”品牌。明确党建在“筑安”品牌创建中的核心引领地位，落实全员安全生产责任制，明确各级负责人及基层党支部委员的监管责任，对未履行或不当履行安全职责者予以责任追究。将“三会一课”与安全工作深度融合，支委会制定安全工作计划和培训计划，党小组督促落实，党员大会总结汇报；设立“筑安”模范先锋岗，推行党建+安全“5·10”工作法，开展党员带头讲安全课、事故案例分析、支部互查帮扶等活动。建立党建与“筑安”品牌建设长效机制，优化支部互助方案，强化现场隐患排查、体系推进和承包商管理。

二是优化组织机构，强化队伍建设。升级安全管理模式，将单车间单人负责模式优化为“4321”联合监管模式，整合各车间、业务室安全管理人员，发挥联动互查互助作用；建立专职安全管理人员末位淘汰办法，考核奖惩分明，吸纳优秀人才，淘汰不作为人员，强化管理执行力。

三是转变员工思维，夯实管理基础。计划三年实现员工思维“三步走”转变：从逞能无畏到心生畏惧，加大“反三违”力度，建立连带责任考核；从心生畏惧到自我约束，开展实用安全培训，模拟事故场景强化认知；从自我约束到相互鼓励，完善安全奖励制度，创建安全专家库，树立安全榜样。

四是推进体系建设，细化教育培训。宣贯 NOSA 和安全标准化要求，打造全区域示范区；拟定文件学习三级目录，为员工减负，针对不同岗位制定针对性安全培训计划，确保培训落地见效。

五是赋能科技创新，强化本质安全。结合“引智”工作，完善科技兴安项目，升级防护设施电子连锁装置；优化安健环管理系统，落实无人值守、在线监测等措施；计划 3-5 年内引入智能监管机械安全员，建立流动式视频监控系统，实现重点作业全程监管，降低人力成本。

六是优化劳务管理，完善安全标准。从严管控承包商入场管理，建立劳务人员黑名单制度，优化承包商帮扶方案，加大奖惩力度；通过“减法”拆除无用管线设备、精简设施，消除安全隐患；通过“加法”完善作业标准和考核机制，规范文明生产。

七是丰富安全活动，培育安全文化。开展“我是安全讲师”、应急演练、安全讲座等活动；发挥党建带安全优势，更名安全影视宣传频道，创作“筑安”主题主题曲、MV 及系列影视资料，让员工成为影片“主角”，营造浓厚安健环文化氛围。

时间节点：2024 年 4 月 15 日前完成相关方案及安全管理规章制度修订，4 月 25 日前完成奖惩制度优化，全年持续开展安全培训和宣传活动。

保障措施：成立以厂长为组长、副厂长及厂长助理为副组长、各车间及业务室负责人为组员的“筑安”工作领导小组，安全环保监管室负责具体实施，每月汇报工作进展、通报执行情况。

4.3 案例效果

通过《关于开展硫酸钾厂“筑安”工作的通知》的全面实施，2024 年硫酸钾厂共排查隐患 1737 条，整改率 100%，查处“三违”行为 74 起，全年未发生责任安全事故，

有效提升了企业安健环管理水平，为生产安全稳定提供了有力保障。

4.4 案例启示

全员思想重视是安全管理的前提。企业安全生产不是某个人或某个群体的事，唯有在党建引领下，发挥党员先锋模范作用，引导每一位员工重视安全，才能落实全员安全责任制，保障生产稳定。

组织保障有力是安全管理的支撑。基层党支部作为安全管理的重要阵地，需充分发挥战斗堡垒作用，完善组织机构，理顺管理流程，为安全管理工作有序推进提供保障。

优良作风引领是安全管理的关键。党员带头发扬真抓实干、马上就办的“马真”精神，同时培育员工严谨细致的工作作风，能够推动安全管理措施落地见效。

纪律约束强化是安全管理的保障。安全管理需坚持奖惩分明，做到激励要快、惩戒要稳，确保全体员工在安全管理规定面前一律平等，强化自律意识，杜绝“慎独慎微”不足的问题。

该案例充分证明，党建与硫酸钾生产安全管理深度融合，能够有效破解安全管理难题，推动安全管理水平提升，为企业高质量发展注入安全动力。

5 结语

安全是生产企业生存和发展的基础，随着企业生产规模扩大、产品多样化和生产模式升级，生产活动日趋繁杂，安全生产问题愈发突出，事故对企业经营的影响巨大。国投罗钾扎根罗布泊十七载，在极端恶劣环境中建成世界最大硫酸钾生产基地，始终将安全作为发展的生命线。

实践证明，强化党建引领，推动党建与安全生产管理深度融合，是破解企业安全管理难题的有效路径。充分发挥党建引领作用，落实全员安全生产责任制，追求生产现场本质安全，防范一线安全事故，保障员工身心健康，增强员工的获得感、幸福感，推动企业在安全发展的道路上稳步前行，为国家钾肥保供战略提供坚实保障。

参考文献

- [1] 《习近平新时代中国特色社会主义思想学习纲要》
- [2] 《习近平著作选读·第二卷》
- [3] 《中华人民共和国安全生产法释义》

Comparison of Soft Soil Foundation Reinforcement Treatment Technologies and Their Engineering Applications

Lehua Hu

PowerChina Vibratory Impact Construction Engineering Co., Ltd., Beijing, 100102, China

Abstract

This study systematically examines the mechanisms and applicability of three soil stabilization technologies—drainage consolidation, CFG pile composite foundations, and chemical reinforcement—for soft foundations including saturated soft clay and silt. Evaluations were conducted based on construction timelines, load-bearing capacity, and cost comparisons. Drainage consolidation relies on superstatic pore pressure dissipation, achieving load-bearing capacity increases of approximately 20–50 kPa at a cost of 80–120 yuan per cubic meter. Composite foundations utilize soil arching effects to reconstruct load-bearing capacity within 1–3 months, with capacity elevating to 50–100 kPa at 150–200 yuan per cubic meter. Chemical reinforcement proves effective for confined spaces, requiring 1–2 weeks per construction phase to achieve 80–150 kPa load-bearing capacity at 250–350 yuan per cubic meter. Implementation of CFG piles in highway test sections demonstrated significant improvements: load-bearing capacity increased from 1,200 to 220 kPa, annual settlement decreased from 150 to 25 mm, and void ratio improved from –1.8 to 1.2, validating the efficacy of pile-soil interaction and optimized drainage pathways. These findings provide data-driven support for technology selection and combination strategies across diverse engineering scenarios.

Keywords

soft soil foundation; drainage consolidation; CFG pile composite foundation; chemical reinforcement; load-bearing and settlement control

软土地基加固处理技术对比与工程应用

胡乐华

中电建振冲建设工程股份有限公司, 中国·北京 100102

摘要

本文围绕饱和软黏土与淤泥等软土地基, 系统梳理排水固结、CFG桩复合地基与化学加固三类技术的机理与适用性, 结合工期、承载与成本对比开展评估。排水固结依赖超静孔压消散, 承载力增幅约20至50千帕, 成本约80至120元每立方米; 复合地基通过土拱效应重构承载, 周期一至三个月, 承载力抬升至50至100千帕级, 成本150至200元每立方米; 化学加固适于受限空间, 单区间工期一至两周, 承载力可达80至150千帕, 成本250至350元每立方米。高速公路试验段采用CFG桩后, 承载力由1200提升至220千帕, 年沉降由150降至25毫米, 孔隙比由–1.8降至1.2, 验证了桩土协同与排水路径缩短的有效性。结果为不同场景的技术选型与组合提供了数据支撑。

关键词

软土地基; 排水固结; CFG桩复合地基; 化学加固; 承载与沉降控制

1 引言

沿海与河口地区广泛分布高含水、高孔隙比、压缩性强的软土层, 长期荷载与施工扰动易诱发过量固结沉降、差异沉降与不排水剪切破坏, 直接制约道路、堆场与厂房基础的建造与运营安全。为降低变形与提升承载, 工程界形成以固结控制为主线的排水固结法、以承载体系重构为核心的复合地基法、以及以孔隙胶结为手段的化学加固法^[1]。然而, 不同技术在渗透条件、工期约束、邻近构筑物效应与环境合规等方面的适配性差异显著, 施工扰动、侧向变形与耐久性

等风险亦呈现多样性。本文在固结理论与桩土协同机理框架下, 对三类方法的作用机理、关键控制参数与性能边界开展对比, 结合工期、成本与承载沉降指标建立实用评价维度, 并通过高速公路软基工程应用进行验证, 旨在为软土地基处置的方案选型、施工组织与风险控制提供可复用的技术路径。

2 软土地基加固处理技术的分类与原理

软土地基指天然含水量较高、孔隙比偏大、压缩性显著而承载力与抗剪强度偏低的软黏土与泥炭质土。在市政道路路基、沿海堆场以及厂房基础工程中, 软土在长期荷载与施工扰动作用下易发生过量固结沉降与差异沉降, 还可能发展侧向变形与不排水破坏, 从而把上部结构的服役稳定性与

【作者简介】胡乐华(1984–), 男, 中国四川资阳人, 工程技术人员, 从事振冲地基处理和岩土工程研究。

施工组织安排推向不利状态。

鉴于固结控制是核心途径，排水固结法选用排水板或砂井并配合堆载或真空系统，把超静孔隙水压力迅速消散，从而提高有效应力并提升抗剪强度。基于 Terzaghi 一维固结理论，平均固结度与时间因子的关系可用下式表征：

$$U \approx 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} T_v\right)$$

其中， U 表示平均固结度，为无量纲比值； T_v 为时间因子，为无量纲参量，受固结系数、排水路径长度以及固结历时等工程条件共同控制。

从承载体系重构的角度，复合地基法把 CFG 桩或碎石桩置入软土形成桩土共同工作体，借助土拱效应与荷载分担提高桩土应力比与等效模量，并缩短排水路径以压缩固结变形。化学加固法把水泥类浆液注入孔隙促成胶结骨架，使土颗粒间形成稳定胶结结构，渗透性降低而不排水强度得到提升，适宜受限空间以及微变形控制场景，施工需围绕浆液黏度、扩散半径与注浆压力进行精细调控，以降低抬升与渗漏等次生风险。

3 软土地基加固处理技术的性能特征对比

3.1 排水固结法的性能特征

在长江三角洲沿海吹填淤泥、珠江三角洲河口淤泥质土以及辽东湾潮滩粉质黏土等饱和软土场景中，排水固结法凭借可快速消散超静孔压的机理，被广泛作为路基与堆场地基处置的优先备选。该方法对土体的渗透性与可排水路径存在明确要求，适宜孔隙比偏大、天然含水量高且无显著砂层夹杂的软黏土与淤泥，对厚层泥炭土或强有机质土则需要在前进行预处理以保证排水通畅。

在常见的排水板间距与分级堆载策略下，典型工期多落在 3-6 months，叠加真空系统可把加载期压缩，但膜封闭与管路维持会引入施工组织复杂度。承载力与抗剪强度的增长呈逐步累积特征，在达到设计固结度后，地基承载力常见提高 20-50 kPa，且地表沉降速率随时间衰减，便于在控制阈值内安排上部结构施工。从成本侧评估，材料与施工综合费用通常处于中等水平，按土体处理体积计价约为 80-120 CNY/m³，受排水板型式、排水长度以及预压方式的差异影响较为明显。

需要注意的是，该法以时间效应为核心，固结演化受固结系数、排水路径和加载制度共同制约，因此在总工期被严格压缩的项目中适配性较弱。施工扰动产生的涂抹效应会把渗透性降低并延长固结历时，软弱夹层还可能诱发侧向变形，靠近既有构筑物时宜配置加宽台阶或反压平台以分散应力。在极厚软土层或超软淤泥中，若沉降控制目标趋严，单纯排水固结难以在短期内达成，常需把真空联合堆载、砂垫层或水平排水等措施进行组合，以获得更稳健的固结速率与变形响应^[2]。

3.2 复合地基法的性能特征

复合地基法以 CFG 桩为核心构件，CFG 桩为水泥粉煤灰碎石桩，在饱和软黏土、粉质黏土与淤泥质土等多类型软土层系中展现较强适配性。该方法把桩体与桩间土形成共同受力体系，借助土拱效应与刚度重分配来提升等效模量与承载路径稳定性，契合市政路基与堆场对快速开工的工程需求。在常规成桩直径与桩距布置条件下，施工周期通常控制在 1-3 months，配置砂垫层与承载平台后即可组织上部结构施工。承载表现方面，在达到设计应力比前提下，复合地基常见把地基承载力抬升至 50-100 kPa 的等级，沉降控制由即刻变形受限与后续固结缩短两类机制共同驱动，差异变形风险由此得到收敛。经济层面受水泥掺量、骨料级配与机械化水平影响，综合成本一般维持在 150-200 CNY/m³，高于以排水固结为主的方案，但换取了更短工期与更小施工期沉降。需重点关注的是，软弱夹层连续性强或超高含水量超软土层厚度较大时，应把桩端稳定在硬壳层或相对稳定土层，同时布置桩顶加密与台阶式过渡以削减应力集中；在邻近既有结构的场景中，应把桩距与成桩顺序进行精细化调整，避免侧向挤土诱发附加变形。综合来看，该法在工期受限与沉降控制目标趋严的项目中更具稳健性，且施工可管理性强，加固效果表现稳定。

3.3 化学加固法的性能特征

化学加固法以水泥类注浆把浆液在软土孔隙中扩散并凝结，适宜把小范围深层软土在受限空间内进行快速抬升承载的处置任务。结合城市轨道交通端头井、老城区管线密集带与厂房扩建狭小作业面等需求，常在桩基间或基坑底板以下局部范围选用，单一区域加固周期多控制在 1-2 weeks。承载表现由胶结骨架形成与孔隙比压缩共同驱动，在常规水灰比与扩散半径的参数窗口内，可把等效承载力提高至 80-150 kPa 级别，并且对微变形控制更有利。费用侧由于水泥掺量高、管路与监测投入大，单位体积综合成本常见为 250-350 CNY/m³，高于排水固结与复合地基。需重点关注的是，浆液外逸与游离碱溶出会把地下水环境推向高碱性状态，伴随回浆与废浆处置不当还可能引入固废污染，因此必须把注浆压力、单孔注入量与停浆准则进行精细化管控，并设置封闭式搅拌与循环沉淀工艺。在沿海硫酸盐水环境背景下，还应把水泥品种与外加剂选型开展耐久性校核，降低后期强度回落与渗透性反弹风险。该法在地质界面破碎、含砂透水夹层或有机质含量偏高的土体中扩散稳定性较弱，易出现凝结不均与抬升效应，需要叠加帷幕注浆、分区分序注入以及孔口回灌封堵等配套措施。施工期间宜依靠压力流量曲线与注浆量时程对扩散前锋进行判读，并把钻芯取样或静力触探作为质量核查手段，以形成闭环控制^[3]。

4 软土地基加固技术的工程应用及效果评估

4.1 某高速公路软基加固工程案例

于滨海吹填淤泥在短期施工条件下表现出高含水量与

高压缩性，东部沿海一条高速公路 K12+300-K12+500 段把 CFG 桩复合地基当作核心方案来进行地基处置。该段软黏土层厚度为 5-8 m，天然地基承载力为 120 kPa，设计要求把加固后承载力提高至不低于 200 kPa。方案把桩体与砂垫层以及承载平台构成共同工作体系，目标是在压缩施工周期的同时，借助桩土协同分担与土拱效应来提升等效刚度与承载路径稳定性。针对场地地层连续性较好且软弱层底部存在相对稳定粉质黏土层的条件，成桩深度被设置为穿透软弱层并稳定在硬壳层中，桩距按等边三角形布置以获得更均匀的荷载扩散。施工组织围绕测量放线、钻机就位、钻孔、清孔、混凝土灌注、拔管以及桩顶处理依序展开，并把关键工序的过程控制作为质量主线来进行贯穿。具体而言，测量放线把桩位坐标与轴线控制桩进行复核，确保桩位偏差满足规范；钻机就位把机台水平度与钻杆垂直度进行校核，以降低成孔偏斜带来的桩身受力不均风险；钻孔阶段把孔径稳定与孔壁扰动控制作为重点，弱透水夹层出现时增设护筒以保持成孔质量；清孔环节把沉渣厚度与孔内泥浆比重进行复核，避免桩端沉渣形成软弱界面；混凝土灌注阶段把坍落度窗口以及连续浇注节奏进行控制，确保桩身密实与不离析；拔管作业把提升速度与正压维持进行联动控制，防止颈缩与断桩；桩

顶处理把凿除浮浆至坚硬层与设置承载平台进行一体化安排，并在桩间铺设砂垫层以形成荷载扩散层。基于上述流程，施工设备、材料供应与检测工序被嵌入统一时程网络中，桩体完成后再进行平台整平与复核，为后续路基结构层施工提供稳定基底^[4]。

4.2 加固效果的量化评估

鉴于本段 CFG 桩复合地基着力于抬升承载与抑制沉降，量化评估把静载试验、沉降观测以及室内土工检测进行组合。承载力用于表征地基可承受的极限应力，依据荷载沉降曲线的屈服判据进行判读；沉降观测依靠沉降板与水准测量统计年沉降速率，从固结过程角度刻画变形演化；孔隙比用于反映土体疏密与结构性，通过环刀取样配合密度含水测试进行换算。对比信息汇总于表 1，加固前承载力、年沉降量与孔隙比的组合状态指向刚度不足与固结滞后；加固后同类指标的明显收敛则表明桩土协同受力与排水路径缩短把等效模量与固结速率同步提升。需重点关注的是，承载力抬升与沉降衰减在时程上并非完全同步，运营阶段仍应把沉降速率阈值纳入分期复核，并把局部软弱夹层分布不均的风险纳入后续维护决策^[5]。

表 1 某高速公路软基加固前后性能指标对比表

指标	加固前	加固后	变化说明
承载力 (kPa)	120	220	提升 100 kPa，达到设计不低于 200 kPa 的要求
年沉降量 (mm/a)	150	25	下降 125 mm/a，长期运营沉降风险收敛
孔隙比 (-)	1.8	1.2	降低 0.6，土体结构趋于致密
综合评价	地基刚度不足，固结滞后	承载充足，沉降受控	适宜组织路基结构施工

5 结语

研究表明，排水固结以时间效应驱动有效应力增长，适合渗透性较好且可提供足够加载历时的厚层软黏土与淤泥场景，经济性优于其他方案，但需关注涂抹效应、软弱夹层侧向变形与工期压缩下的固结滞后，可通过真空与堆载联合、砂垫层与水平排水等组合提升速率与稳定性。CFG 桩复合地基在工期受限和沉降控制目标严格时更具稳健性，通过土拱效应与刚度重分配显著提升等效模量，设计中应保证桩端进入相对稳定层，实施桩顶加密与台阶过渡，并优化桩距与工序以降低邻近结构附加变形。化学加固适于受限空间与微变形控制，需严格控制浆液黏度、注浆压力与单孔注入量，配套封闭搅拌与循环沉淀以降低环境风险。高速公路工程的实证结果显示，CFG 桩将承载力提升至二百二十千帕，年沉降降至二十五毫米，印证桩土协同与排水路径缩短的有效性。建议工程实践在方案比选中综合地层分布、排水路径、

工期与环境约束，并实施全过程监测与阈值化控制，未来可结合参数反演、物联网监测与固结渗流耦合分析提升加固设计的可靠性与可预期性。

参考文献

- [1] 蒋昊楠.软土地基条件下输电线路杆塔基础施工[J].人民黄河, 2025,47(S1):168-169.
- [2] 刘振晓.建筑工程CFG桩复合地基检测技术[J].大众标准化,2025,(22):184-186.
- [3] 杨少飞,孙荣,于永堂,杨雷,张鉴.预夯法在强湿陷性黄土高填方场地增湿处理中的应用[J].工程勘察,2025,53(12):24-30.
- [4] 方仁义,周礼,王承昊,周豪,梁小龙,周帮剑.软土地区碎石桩复合地基变形特性研究[J].公路,2025,70(06):32-38.
- [5] 胡伟,曾攀煜,王辉,刘顺凯,陈秋南,PUIG DAMIANS I.黏性土地基中水平条形锚板上拔承载力计算方法研究[J].岩土力学,2025,46(06):1731-1744.

Research on the Optimized Design of Rural Self-Built Houses under the Background of Rural Revitalization

Yanwei Ma

Lintao Xinghui Star Architecture Design Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 730500, China

Abstract

In the new era of accelerating the construction of an agricultural powerhouse and comprehensively promoting the rural revitalization strategy in China, the construction of self-built houses in rural areas has become an important material carrier for improving living quality, enhancing the residential environment, and preserving the local cultural atmosphere. As the most widely distributed, most numerous, and representative type of rural residential building in China, rural self-built houses are not only shelters from the wind and rain but also symbols of farmers' sense of security, belonging, and dignity, embodying their aspirations for a better life. Based on the author's years of architectural design practice, and combined with the current construction status and commonly existing problems of farmers' self-built houses in Gansu Province, this paper systematically proposes optimization design schemes for rural self-built houses from multiple perspectives, including functional layout, green energy-saving technologies, barrier-free design, inheritance of regional landscape features, structural safety, and environmental integration. The paper analyzes and verifies these proposals with engineering practice, aiming to improve the construction quality of rural self-built houses in Gansu and to provide practical guidance and theoretical reference for the higher-quality development of rural architecture.

Keywords

rural self-built houses; architectural design; structural safety; regional features; green energy-saving

乡村振兴背景下农村自建房优化设计研究

马彦伟

临洮星汇星建筑设计有限公司, 中国·甘肃 定西 730500

摘要

在我国加快建设农业强国、全面推进乡村振兴战略的新时代背景下,农村自建房的建设已经成为提升生活品质、改善居住环境、传承乡土文化气息的重要物质载体。农村自建房作为我国分布范围最广、建设数量最多、最具代表性的乡村居住类建筑,它不仅是遮风挡雨的居所,更是广大农民安全感、归属感与尊严的象征,更是寄托着农民对美好生活的期盼。本文立足于笔者多年建筑设计实践,结合甘肃地区当前农民自建房建设现状及普遍存在的实际问题,从功能布局、绿色节能技术、无障碍设计、地域风貌传承、结构安全、环境融合等多个角度,系统性的提出农村自建房优化设计方案,并结合工程实践进行分析和论证,旨在提升甘肃地区农村自建房的建设品质,为乡村建筑能够更高质量的发展提供一些实践指引与理论参考。

关键词

农村自建房; 建筑设计; 结构安全; 地域风貌; 绿色节能

1 引言

进入 21 世纪初期,随着我国城镇化进程高质量的发展,和美乡村建设被提高到国家战略层面的高度。乡村振兴系统性的提出了要文化振兴、产业振兴、生态振兴、人才振兴,农村自建房作为农民生产和生活的核心建筑,是农村文化振兴、产业振兴、生态振兴最直观的展示载体。

近年来,随着农民的收入水平不断提高、农村居住观念的持续更新,甘肃范围内农村自建房进入改建及新建高峰

期,新建房屋的层数、面积、质量得到了显著提高。但是在快速建设的大背景之下,甘肃地区的农村自建房长期存在缺乏专业设计指导、施工队伍施工不规范、结构设计存在安全隐患、地域风貌混乱、建筑功能布局不合理、建筑节能水平低下等一系列客观问题。许多农户仅凭个人经验或者跟风、模仿城市住房样式,导致房屋的实用性、安全性都存在严重不足,建筑风貌上也杂乱无章,既浪费了建设成本,也难以满足现代化农村家庭长期居住的实际需求。

作为建筑设计专业从业人员,参与到乡村建设、服务农村现代化住房,是新时代下设计从业人员应当主动承担的责任。本文基于建筑学专业理论与笔者多年一线工程设计经验,针对甘肃地区农村自建房从规划、设计到建筑风貌进行

【作者简介】马彦伟(1990-)中国甘肃定西人,本科,工程师,从事建筑设计研究。

系统性研究,提出科学、实用、落地性强的优化设计方案,力求让农村自建房真正实现安全、经济、适用、美观的综合目标,为实现乡村振兴贡献专业力量。

2 农村自建房建设现状及存在的问题解析

2.1 建筑功能布局缺乏科学性,空间需求不协调

大量的农村自建房是业主自主设置房屋平面布局,没有经过专业设计,导致住房普遍存在建筑使用功能混乱、空间浪费严重、人员动线不合理等问题。第一是动静区间不分,厨房、卧室、客厅等空间与卫生间相互干扰,厨房油烟、活动产生的噪音影响住户居住的舒适度。第二是房间设置数量过多,盲目追求卧室的数量,最终形成单个房屋面积过小,导致房屋采光及通风不足。第三是公私空间不分,有些自建房一进门直接进到私密的起居空间,缺少公共空间的过渡,居住私密性较差。第四是缺少老龄化设计,建造时没有考虑老年人的使用需求,一层没有设置老人房,室内外进出没有设置无障碍设施,以及住房楼梯坡度过陡等。第五是生产与生活空间缺失,建筑缺少储藏杂物、存放农具以及谷物晾晒的空间,无法满足农村实际生产生活的需求^[1]。

以上这几点问题直接导致农村自建房建成后使用起来不方便,翻修改造需要成本过高,严重影响着住户的居住品质。

2.2 建筑风貌杂乱,地域文化特色不明显

在城市化的影响下,农村自建房出现了严重的“审美趋同”现象。第一是盲目模仿美式、欧式别墅,外立面设置弧形窗、罗马柱等,过多的夸张性装饰与乡村环境显得格格不入;第二是自建房屋顶形式过于单调,采用平顶或简易的彩钢坡屋顶,导致传统民居本应散发的形态美感丧失;外立面色彩的设置显得杂乱刺眼,滥用高饱和度的外墙漆,破坏了乡村的自然肌理;第三是传统建筑元素缺失明显,建筑上的木构檐口、青砖灰瓦、坡屋顶以及院落格局等乡土特征逐渐消失。随着乡村风貌的丧失,使得乡村逐渐失去了辨识度与记忆感,“千村一面”成为农村普遍现象。

2.3 节能与环保措施不足,居住舒适度偏低

农村自建房在节能、防水、防潮以及通风采光等方面的布置普遍较弱,自建房建设中外墙、屋面几乎不会增设保温层等保温隔热措施,导致住房冬冷夏热,加大了建筑能耗;门窗普遍采用普通单层玻璃,使得门窗气密性、水密性、抗风压等要求不达标,导致门窗漏风漏雨严重;建筑物防潮防水措施缺失,导致屋面、卫生间等区域易发生渗漏,底层房屋潮湿;室内外的排污与排水设置不规范,污水和雨水的直排、乱排现象十分普遍,是影响农村公共环境卫生的一个主要原因。综上所述问题不仅降低了住房的居住舒适度,也与绿色低碳、生态宜居等和美乡村发展理念不合。

2.4 配套设施与室外环境设计缺失

农村自建房往往只重视主体建筑,从而忽视了院落、

道路、停车、绿化等整体环境的营造。在农村中普遍存在着院落布局混乱、杂物乱堆乱放、缺少停车位、晾晒空间缺失、绿化景观缺失、庭院过度硬化、缺少乡土植物等现象,整体环境品质不高,无法满足现代农村生活需求,直接影响乡村人居环境的提升。随着农村现代化改造进度逐步加深加快,基础设施已经逐步完善,农村污水管网、垃圾收集处、村道照明等配套设施局部地区已建设到位,在自建房设计中,室外配套的污水排放设施需要提前规划设置,减少后期改造的成本和难度。

2.5 结构设计缺失,抗震与安全隐患突出

农村自建房多为砖混结构,施工人员多为本地工匠,缺乏结构专业知识,普遍存在以下安全问题:地基处理简单,未做地质勘察,基础埋深不足,易出现不均匀沉降;构造措施缺失,未按规范设置构造柱、圈梁、拉结筋,结构整体性差;盲目加层扩建,底层结构未考虑后期加层,随意增加层数导致荷载超标;抗震能力不足,不满足抗震设防要求,在地震高发区存在严重安全风险^[2]。结构安全是房屋的生命线,缺乏规范设计的自建房,本质上存在严重的安全隐患。

3 农村自建房优化设计的基本原则

为解决上述问题,农村自建房设计应坚持五大核心原则:

(1)安全优先原则:结构合理、构造规范、满足抗震设防要求。

(2)功能适用原则:贴合农村生活方式,做到动静分区、洁污分离、公私分区。

(3)地域文化原则:传承本土建筑语言,保持乡村风貌的协调性。

(4)绿色节能原则:采用低成本节能技术,提升舒适度,降低建筑能耗。

(5)经济可行原则:造价可控、材料易得、施工简便,适合农村建设条件。

只有坚持以上五大原则,才能设计出真正适合农民、适合乡村地区的优质住房。

4 农村自建房建筑设计优化策略与技术方法

4.1 平面功能优化:打造科学合理的生活空间

平面布局是自建房设计的核心,应充分结合农村家庭结构与生活习惯。一层设置客厅、餐厅、厨房、公共卫生间、老人卧室,满足老年人日间活动与无障碍居住需求,入户设置玄关过渡空间,提升私密性。二层以卧室、书房、卫生间为主,保证安静、私密,可设置起居室、露台,满足休闲、晾晒需求。空间尺度控制方面,客厅面积适中,卧室保证采光通风,避免过多小房间,楼梯坡度放缓、宽度加大,提升安全性。同时应设置储物间、车库或农具房,解决农村杂物存放问题。

农村老龄化程度较高,自建房必须体现对老年人的关

怀。一层朝南设置老人房，靠近卫生间，方便夜间使用；室外设置无障碍坡道，避免老人行走中绊倒；楼梯宽度、坡度优化，加装扶手；卫生间地面贴防滑地砖、预留无障碍扶手安装条件；户内动线简短流畅，减少行走距离。科学合理的布局可让农村住房的使用效率显著提升，居住体验得到明显改善。

4.2 地域风貌营造：重塑乡村建筑特色

农村自建房应回归乡土、融入自然，体现地域文化特征。屋顶设计采用双坡、四坡传统屋顶，排水顺畅、造型质朴；外立面材料使用真石漆、面砖、青砖、石材等乡土材料，避免过度装饰；色彩控制以灰色、白色、米色、浅棕等低饱和度和色调为主，和谐自然；建筑符号传承方面，简化运用檐口、线脚、窗套、栏杆等传统元素，提升辨识度。通过风貌优化，可实现“一村一貌、一户一景”，留住乡村韵味。

4.3 绿色节能设计：提升舒适度，降低能耗

结合甘肃不同地区的农村气候特点，推广低成本、高实效的节能技术。外墙采用保温砂浆或挤塑板，降低冷热传导；屋面采用双层防水+保温层，解决渗漏与保温问题；使用断桥铝+中空玻璃节能门窗，提升气密性与保温性；优化开窗面积与位置，强化自然采光通风，减少空调依赖；规范排水系统，有条件的农户自建房可设置雨水收集。绿色节能设计可让房屋冬暖夏凉，长期使用更经济、更舒适。

4.4 结构安全与抗震设计：筑牢房屋生命线

结构设计必须作为农村自建房的重中之重。合理控制层数，以两层、两层半、三层为主，不盲目加层；规范结构体系，采用砖混+圈梁+构造柱体系，提高整体性；基础设计标准化，根据地质条件选择条形基础或筏板基础，保证沉降均匀；抗震构造强化，按当地抗震烈度设置拉结筋、构造柱、过梁，提高抗震能力；材料质量控制，使用合格砖、水泥、钢筋，杜绝劣质建材。结构规范化设计，是保障农民生命财产安全的根本措施。

4.5 院落与环境一体化设计：营造舒适居住环境

农村住房的价值不仅在房子本身，更在院落环境。对停车区、活动区、种植区、晾晒区进行合理划分；种植适宜本土气候的果树、蔬菜、花草等同时具有经济性和观赏性的作物，打造低成本乡土绿化；适度硬化场地，保留透水地面，利于院落雨水管网与自然生态绿地解决室外雨水的收集及排放；合理设置杂物间、工具房等农用房，保持院落整洁。院落与建筑一体化设计，才能真正实现宜居宜业的乡村生活。

5 工程实践案例分析

本文结合笔者参与设计完成的西北地区乡村自建房实

践项目进行分析。该项目位于甘肃省临洮县某乡村，建筑面积约 275 m²，为三层框架结构，主要设计方案如下：平面布局上，一层设客厅、餐厅、厨房、老人房及、公卫，二层为主卧、次卧、起居室，三层为休闲健身区与露台，主体建筑功能清晰、动静分离；结构设计按 7 度抗震设防，设置完整圈梁与构造柱，基础采用条形基础，结构安全可靠；风貌设计采用四坡枣红色屋顶，芝麻白真石漆外墙，搭配简约分割线条，整体风格素雅大气，与乡村环境高度协调；节能设计采用外墙保温、中空玻璃窗、屋面防水保温一体化，舒适度显著提升；无障碍设计方面，一层老人房紧邻卫生间，室内楼梯平缓，室外设置无障碍坡道；宅基地内单独设置一层砖混结构农具房，院内设置小型花园，配套建设室外雨、污水管网^[1]。项目建成后，业主人住满意度极高，房屋功能使用合理、结构安全可靠、立面风貌协调，成为当地农村自建房的示范案例，也验证了本文提出设计策略的可行性与实用性。

6 结语

农村自建房是乡村振兴战略中最基础、最广泛、最贴近民生的建设内容。在新时代背景下，农村住房不再是单纯遮风挡雨的场所，更是安全健康、功能完善、风貌优美、绿色低碳的现代化宜居空间。当前全国范围内的农村自建房仍面临设计缺失、结构不安全、风貌杂乱、节能措施不足等现实问题，需要通过专业设计进行系统性的优化。

本文通过功能布局、地域风貌、绿色节能、无障碍、结构安全、环境融合六个方向，提出了完整的农村自建房优化设计策略，可以形成一套科学、实用、落地性强的设计指导思想。通过科学设计，可以有效提升甘肃地区农村住房安全性、实用性、美观性与经济性，让农民真正住上放心房、舒心房、宜居房。

展望未来，随着乡村建设的不断深入，农村自建房将逐步走向审批规范化、设计标准化、施工专业化、风貌特色化的高质量发展道路。作为建筑设计工程师，我们应持续深入乡村、服务乡村，把专业技术与乡土需求结合起来，用设计守护乡村风貌，用专业保障住房安全，为全面推进乡村振兴、建设美丽宜居的和美乡村贡献自己的专业力量。

参考文献：

- [1] 李晶,李琳,梁骁.乡村振兴背景下现代乡村建筑的传承与创新[J].城市建筑,2021,18(17):49-52.
- [2] 吴碧波,任文.乡村振兴背景下西部地区农村城镇化的困境与推进[J].区域经济评论,2022(02)128-132.
- [3] 郭军.农村自建房现状及房屋安全的思考初探[J].工程建设与设计,2022(03)22-25.

Research on Refined Design Approaches for Building Structures and Strategies for Controlling Project Costs

Zhengzhong Yang

Lintao Xinghui Star Architecture Design Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 730500, China

Abstract

The design of building structures and the control of project costs are of great significance to construction projects. There are three approaches to refined building structure design, including establishing a performance-oriented design concept, optimizing multi-disciplinary collaborative design processes, and leveraging digital technologies to innovate design methods, thereby improving design quality and efficiency. Strategies for controlling construction project costs encompass enhancing the accuracy of early-stage planning and budgeting, optimizing resource management and allocation during construction, and strengthening final settlement and post-maintenance cost management. Through these strategies, reasonable cost control can be achieved, ensuring the smooth progress of the project.

Keywords

building structure; refinement; cost control

建筑结构精细化设计路径与工程成本控制策略研究

杨正中

临洮星汇星建筑设计有限公司, 中国·甘肃 定西 730500

摘要

建筑结构设计 with 工程成本控制对建筑项目意义重大。建筑结构精细化设计有三条路径, 包括构建基于性能导向的设计理念, 优化多专业协同的设计流程, 以及借助数字化技术创新设计手段, 以此提升设计质量与效率。建筑工程成本控制策略涵盖强化前期规划与预算编制的精准度, 优化施工中资源管理与调配, 加强竣工结算及后期维护成本管控, 通过这些策略实现成本合理控制, 保障项目顺利推进。

关键词

建筑结构; 精细化; 成本控制

1 引言

随着建筑业的发展, 在当前建筑结构设计以及工程项目造价管理方面越来越重要。精细化的设计可以提高建筑物的质量、安全性和实用性等以适应不同的要求; 而科学合理地进行工程造价管理对于一个项目能否盈利、长久发展都非常重要。本文就建筑结构精细化设计方法及工程造价管理措施进行分析, 研究如何树立精细化的设计思想、改进设计的方法、采用新的设计理念从开始到结束全过程做好工程造价管理工作。

2 建筑结构精细化设计路径

2.1 基于性能导向的精细化设计理念构建

建筑结构精细化设计应以性能为目标导向而非仅仅局

限于传统的注重结构的安全性和基本的功能要求的设计理念, 在结构适用性、耐久性、经济性和与周围环境的和谐统一等方面都要进行综合考虑。适用性是指该建筑物可以满足在不同的时期、不同的状态下所提出的要求, 比如对于商场来说需要有宽敞的空间以便顾客流动同时也要方便商品搬运, 则不应该有影响到这种空间布置的构件或者位置等。对住宅建筑而言要注重居住舒适度, 布置好结构构件位置使房间整齐、明亮, 不能有奇形怪状的空间或者结构凸出于房间内部而妨碍家具布置及人们走动。

在精细化设计时应充分考虑结构所在的环境条件对材料的影响, 例如沿海地区较高的湿度以及盐分会导致钢材生锈, 在工业区内的空气中有较多的酸性气体会对混凝土有侵蚀作用。所以在不同的环境下需要选用适合的结构材料及采取相应的保护手段来保证结构的耐久性。另外, 在结构设计过程中应尽量避免出现应力集中或者积水等易于造成结构破坏的位置, 以良好的构造提高结构寿命。

经济性是在保证结构功能的基础上尽量减少工程费用

【作者简介】杨正中 (1989-), 中国甘肃兰州人, 本科, 工程师, 从事建筑结构设计研究。

以及整个寿命周期的成本,这就要求设计师在材料选取、结构形式以及构件的设计中做出合理的选择。如在材料选取时,不能盲目使用高强材料,而应根据结构受力情况及环境因素等选择较为经济适用的材料;在结构形式上,应对比各种形式在施工难易程度、用料多少、空间占用等方面的利弊后选取最优形式;在构件设计中,应通过对构件尺寸和配筋大小等进行精确计算并优化设计来防止浪费造成不必要的开支以达到节省材料的目的^[2]。

结构设计要充分考虑与周围自然环境和社会环境的关系,减少其对环境的不利影响,在生态环境比较脆弱的地方,结构设计要尽可能地少改变原有的地形地貌,采用轻型结构或者架空结构,减少对土地的使用以及对生态环境的影响;而在城市中,则要注意结构的设计要符合周围的建筑物风貌及大小,不能有过于突兀的建筑物出现,还要考虑到结构对于城市的微气候所造成的影响,合理布置以及构造来提高通风性和采光性等,使人们能够享受到良好的生活环境。

2.2 多专业协同的精细化设计流程优化

建筑结构精细化设计是一项综合性较强的工作,包含结构、建筑、设备、电气等多个专业,必须有结构、建筑、设备、电气等各个相关专业的相互配合才能完成,在项目的设计之初就需要各个专业相互协作,改变以往各个专业各自为战、缺乏交流的情况。在项目的初期规划阶段,就需要所有专业人员一起工作来确定项目的功能需求以及设计目标和要求,做到心中有数,有的放矢。比如,结构专业要与建筑专业的人员对接关于建筑物的平面布置、空间形状及外立面等问题,使结构的设计符合建筑的功能需求以及美观的要求,而建筑专业的人员也应当考虑到结构布置是否合理的问题,以免由于建筑设计不合理而导致结构施工困难或者造价过高。

在设计中要建立良好的协同设计平台以及信息共享机制,使各个专业的设计信息能够及时互相传递并进行更新。利用协同设计平台,各专业的设计人员可以及时掌握其他专业的设计情况及其设计理念,从而防止各专业之间发生矛盾或者产生问题。如设备专业进行管道及设备安装之前需与结构专业沟通以确定合适位置以及预留孔洞等事宜,以免日后造成管道穿越梁、柱等情况而对结构的安全性和施工的质量带来不良的影响;同样,电气专业在进行电缆桥架及配电箱布置前也应当与结构专业和建筑专业进行交流以便达到布置合理、整齐并且不会给其他方面带来不便的效果^[3]。

在项目施工期间,由于种种原因会出现设计变更的情况,各个专业的人员需及时沟通交流,对于变更的内容进行认真研究、分析,不能使变更给其他方面带来不良的影响。比如,如果是因为使用要求的变化而需改变建筑物的布局,则结构工程师要立即对该部分进行重新计算并设计,同时也要有相应的水管以及线路布置方案由机电工程师来完成,以达到整体项目的统一协调美观的要求。这样有利于提高工作

效率与质量,避免失误和返工,从而提升建筑设计的精细化程度。

2.3 数字化技术赋能的精细化设计手段创新

随着信息技术的发展,数字化技术对建筑结构精细化设计起到越来越大的影响,在建筑结构精细化设计过程中应用较多的是 BIM (建筑信息模型) 技术,它是数字设计手段的一种,能够把建筑物或构筑物的空间布局、尺寸大小以及各种属性等都包含在一个三维模型里面,使设计人员可以方便地查看整个建筑设计图纸,也可以进行不同的设计方案对比分析以及改进工作,从而提升设计质量及效率。如,在设计时,设计师可采用 BIM 模型对结构进行计算,模拟结构在不同工况下受力及位移情况,以便尽早发现问题并加以改正,防止后续施工产生结构安全问题;另外, BIM 还可用于各专业的协同设计以及碰撞检查。各个专业的设计人员在同一 BIM 模型内开展设计工作,借助软件内置的碰撞检测功能,自动生成各个专业之间存在的碰撞与矛盾,在事前予以处理,降低后期施工现场由于变更而导致的工作量。如在机电安装工程中,通过 BIM 模型可对管道、设备以及结构件之间是否存在冲突进行检测,及时对管道布置及设备摆放做出相应改变,有利于机电安装工程正常开展。

除了 BIM 技术以外,数字化分析软件也给建筑结构精细化设计带来很大帮助。例如有限元分析软件可以对复杂结构进行准确计算,模拟结构在各种情况下所承受载荷大小以及变形程度,便于结构设计与改进;性能化设计软件可依据建筑物用途及性能指标,在结构上进行防火、抗震、防风等方面测试,判断该建筑物在遇到意外事故后能否保持安全状态,从而有利于更好地进行结构安全设计。利用数字化技术促进精细化设计理念的应用,可以使建筑设计更加合理有效,有助于建筑物结构精细化设计及改善。

3 建筑工程成本控制策略

3.1 强化前期规划与预算编制的精准性

建筑工程项目成本管理的第一步是前期规划及预算制定,这一步骤对后续的成本管理工作起到导向作用并影响最终结果的好坏。前期规划要细致周全,包括整个项目所有内容,在项目选址上也要考虑到地块价格、周边配套状况以及未来发展空间等,如果选址不合理,则会导致以后运输费用上升、周边配套建设投资建设较大从而造成总体成本提升。

从项目定位的角度来说,必须明确市场定位及目标客户群,切忌贪大求洋而造成成本失控现象发生,比如针对一部分普通刚性需求购房者住宅项目,如果过多的资金投入奢华装修或者高端配置中,就会出现成本高昂但是售价却提不高,从而影响到整个项目收益情况;另外,在前期策划过程中也应对项目建设所需时间做出合理预测,考虑到各方面可能导致延误因素,例如天气、政策等。建设周期过长会导

致资金被长期占用并产生较大利息支出，而且由于市场变动也可能使该项目后期出售价格发生变化进而影响其经济收益。

预算编制要详尽周到、面面俱到。不仅要涵盖建筑所需的材料费、施工人员工资等直接费用，还要包含项目的管理费用、财务费用、税金等间接费用，在编制时要结合实际情况及以往的经验进行科学预测，同时也要留有一定的余地以便将来出现意外情况时有所准备，比如材料涨价或设计变更等。但是这个余地不能太大，否则就失去了预算的意义。

3.2 优化施工过程中的资源管理与调配

施工过程是建筑工程成本发生的主要时期，在此期间有效进行施工过程中资源调度及分配对成本控制具有重要意义。资源包括人力资源、物质资源以及资金等不同种类。从人力资源来看，需依据工程进度及工艺需求，科学配备施工人员数量和技术水平。过多或者过少都会造成额外开销，过多会带来人工费提高，过少又会影响施工进度，从而导致延误造成的费用上升。

在采购上，要制定合理的采购方案，与信誉良好供货商进行合作，大批量采购等手段降低材料采购费用，在此基础上还要保证材料的质量，以免因为使用低质量材料造成工程质量不合格而产生返工费用。在存储方面，应合理安排库房位置，对各类物资进行分类保管并做好防潮措施，防止物资霉变或者破损。在应用过程中，应实行限额领料制，按照工程进度情况及实际情况发放所需材料，以减少材料损耗以及滥用情况的发生。

财务管理工作要保证资金合理使用及有效监督。要按工程进展、计划编制具体用款计划，合理组织资金收付。对于付款，应按合同规定以及工程进度拨付，不得提前或超额拨付。还要加强资金监管，定期检查资金使用情况并及时处理存在问题，保障资金安全有效使用。

3.3 加强竣工结算与后期维护的成本管控

竣工结算是一道防线，加强竣工结算管理可以防止成

本失控。而在竣工结算时，应根据合同以及有关规定认真审查，仔细核实工程量、工程单价、费用计取等，保证结算额真实合理。特别是要重视对变更签证部分进行审查，在施工中变更签证是常事，但也容易造成成本虚增，在审查变更签证原因、内容及其费用时要严格把关，防止无端增加开支。同时，要与施工单位加强联系、协调，在结算中遇到问题或发生争执时，应以沟通协商为主，不可因为纠纷而使结算拖延，造成不必要的开支；在结算完成后，应及时对结算进行分析、总结，把实际发生的费用同预计发生的费用相比较，分析产生差异的原因及所在环节，吸取教训，以便今后更好地开展工作。

后期维护成本是工程造价的一个重要方面，在后期维护成本控制下可以延长建筑物寿命，节约长期成本，在设计时就应重视建筑耐久性和可维护性，采用优质、易维护的材料及设施。而在使用期间也要有良好的维护机制，经常检查建筑情况并及时修理可能出现的问题，防止问题恶化造成更大损失而需支付更多费用。

4 结语

建筑结构精细化设计与工程造价管理相互依存，对于一个建筑工程而言非常重要。以性能为目标的设计理念、合理组织各专业之间的配合工作、采用先进的数字化设计方法能够促进结构精细化设计；重视前期策划、合理调配施工资源、严格把关竣工验收及后期管理工作有助于降低工程造价。未来应不断进行研究和探索，使这两者更好的结合在一起，从而推动我国建筑业的发展进步。

参考文献

- [1] 詹益文. 建筑工程监理在混凝土结构施工质量控制中的精细化管理策略 [J]. 工程建设与设计, 2025, (20): 255-257.
- [2] 王上瑞. 基于安全与经济性的高层剪力墙结构优化分析 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (28): 159-161.
- [3] 叶智明. 超高层建筑钢结构施工质量精细化管控的研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24 (18): 103-105.

Optimization Measures for Safety Management of Blasting Operations in Open-Pit Mines

Zhenyi Wang

Hainan Provincial Geology and Mining Group Co., Ltd., Haikou, Hainan, 570216, China

Abstract

Blasting operations in open-pit mines constitute a critical yet high-risk component of mining activities. The effectiveness of safety management directly impacts worker safety, equipment integrity, and the orderly progression of mining operations. Current practices in open-pit blasting face challenges such as inadequate management systems, insufficient safety awareness among personnel, lax technical controls, and insufficient on-site supervision, which can lead to accidents including rockfall, blasting vibrations, and unexploded ordnance. This paper examines the inherent characteristics of open-pit blasting operations, identifies existing safety management deficiencies, and proposes targeted optimization measures covering institutional frameworks, personnel management, technical controls, on-site oversight, and emergency response protocols. The aim is to enhance the blasting safety management system, reduce accident incidence rates, ensure safe and efficient blasting operations, and contribute to safe production and sustainable development in the mining industry.

Keywords

open-pit mine; blasting operations; safety management; risk control; optimization measures

露天矿山爆破作业安全管理优化措施

王振义

海南省地质矿业集团有限公司, 中国·海南海口 570216

摘要

露天矿山爆破作业是矿山开采的核心环节, 具有高风险性, 其安全管理水平直接关乎作业人员生命安全、矿山设备完好及开采作业有序推进。当前露天矿山爆破作业仍存在管理制度不完善、人员安全意识薄弱、爆破技术管控不严、现场监管缺位等问题, 易引发飞石、爆破振动、盲炮等安全事故。本文结合露天矿山爆破作业特点, 剖析现存安全管理短板, 从制度体系、人员管理、技术管控、现场监管、应急处置等方面提出针对性优化措施, 旨在完善爆破安全管理体系, 降低事故发生率, 保障露天矿山爆破作业安全、高效开展, 助力矿山行业安全生产与可持续发展。

关键词

露天矿山; 爆破作业; 安全管理; 风险管控; 优化措施

1 引言

随着中国矿产资源开发力度持续加大, 露天矿山开采规模不断拓展, 爆破作业作为露天矿山破碎矿岩、推进开采进度的关键手段, 其应用范围愈发广泛。爆破作业涉及火工品管理、钻孔施工、装药起爆、安全警戒等多个流程, 环节繁杂、风险点多, 任何一个环节管控失误, 都可能引发安全事故, 不仅造成人员伤亡和财产损失, 还会对周边生态环境、地质结构造成破坏, 影响矿山企业正常生产经营。

近年来, 矿山安全监管日趋严格, 露天矿山爆破安全管理虽得到一定改善, 但部分矿山仍存在重生产、轻安全, 管理流程不规范、风险防控不到位等问题, 爆破安全事故时

有发生。基于此, 深入分析露天矿山爆破作业安全管理现存问题, 探索科学、高效、可行的优化措施, 构建全流程、全方位的安全管理体系, 对提升矿山安全管理水平、防范化解爆破安全风险、推动矿山行业高质量发展具有重要的现实意义。

2 露天矿山爆破作业安全管理现存问题

2.1 安全管理制度体系不完善

部分露天矿山企业未结合自身开采实际、爆破作业特点建立完善的安全管理制度, 现有制度存在内容笼统、针对性不强、流程不清晰等问题, 缺乏对火工品采购、储存、运输、使用、退库全流程的细化管控, 也未明确爆破各环节岗位安全职责、操作规范及考核标准。同时, 制度执行力度不足, 存在有章不循、违规操作现象, 安全管理制度流于形式, 无法发挥约束和管控作用。

【作者简介】王振义(1984-), 男, 中国海南万宁人, 本科, 工程师, 从事安全工程研究。

2.2 作业人员安全素养不足

露天矿山爆破作业人员多为一线务工人员，文化水平普遍偏低，安全意识薄弱，缺乏系统的爆破安全知识和专业操作技能培训。部分人员存在侥幸心理，不严格按照爆破操作规程作业，违规装药、擅自更改爆破参数、不规范设置警戒等行为频发；此外，企业培训流于形式，培训内容陈旧、方式单一，未针对盲炮处理、飞石防控、应急处置等关键内容开展实操培训，人员风险防范和应急处置能力严重不足。

2.3 爆破技术与参数管控不严格

爆破设计方案缺乏科学性、合理性，未结合矿岩性质、地质条件、开采进度精准优化爆破参数，孔位、孔径、孔深、装药量、起爆顺序等参数设置不符合现场实际，易导致爆破效果不佳、飞石飞溅、爆破振动过大等问题。^[1]同时，钻孔施工质量管控不严，出现孔位偏差、孔深不足、孔径不达标等情况，装药过程中未做好堵塞、防护处理，爆破器材质量把控不到位，进一步加剧爆破安全风险。

2.4 现场安全监管与风险防控缺位

爆破作业现场监管力量薄弱，安全员、爆破技术员履职不到位，无法全程跟踪管控钻孔、装药、警戒、起爆、爆后检查等全流程，对现场违规行为不能及时发现和制止。现场风险辨识不全面，未提前对爆破周边环境、地质隐患、设备状态进行排查，安全警戒范围设置不合理、警示标识缺失，爆破振动、飞石易对周边人员、设备、建筑物造成损害；爆后盲炮排查、边坡稳定性检查不及时，遗留重大安全隐患。

2.5 应急管理体系不健全

矿山企业未制定针对性的爆破安全事故应急预案，预案内容缺乏可操作性，未明确事故处置流程、救援职责、应急物资配置等内容。应急物资储备不足，缺乏专业的救援设备、防护器材，且未定期开展爆破事故应急演练，作业人员对突发事件的应急响应、现场救援流程不熟悉，一旦发生飞石伤人、盲炮爆炸、边坡坍塌等事故，无法快速、有效处置，易导致事故后果扩大。^[2]

3 露天矿山爆破作业安全管理优化措施

3.1 完善安全管理制度，压实全员安全责任

构建全流程、精细化的爆破安全管理制度体系，结合国家矿山安全法律法规、行业标准及矿山自身实际，制定《爆破作业安全操作规程》《火工品安全管理办法》《爆破现场安全监管制度》《岗位安全责任制》等专项制度，细化火工品管理、爆破设计、施工、警戒、爆后检查等各环节操作规范、安全标准及责任要求。

落实安全生产责任制，明确企业负责人、技术负责人、爆破员、安全员、保管员等各岗位安全职责，将安全责任细化到每一个环节、每一个岗位、每一名人员，签订安全责任书，形成“层层负责、人人有责、各负其责”的责任体系。同时，建立安全考核与追责机制，定期对制度执行情况、

岗位责任落实情况进行考核，对违规操作、责任缺位导致安全事故的人员严肃追责，强化制度执行力。

3.2 强化人员培训教育，提升安全专业素养

构建常态化、系统化的人员培训体系，针对爆破作业人员、管理人员、监管人员开展分层分类培训。定期开展爆破安全法律法规、操作规程、风险辨识、应急处置等理论知识培训，结合典型爆破安全事故案例开展警示教育，强化人员安全意识；重点开展钻孔施工、装药堵塞、起爆操作、盲炮处理、飞石防控等实操技能培训，提升人员专业操作水平。^[3]

严格执行持证上岗制度，爆破员、安全员、保管员等涉爆人员必须经专业培训、考核合格并取得相应资格证书后方可上岗，定期开展资格复审和再培训。同时，建立激励机制，鼓励人员主动学习安全知识、参与技能竞赛，对安全操作规范、无违规违章的人员给予奖励，营造“人人讲安全、事事为安全”的良好氛围。

3.3 优化爆破技术管控，科学防控技术风险

规范爆破设计管理，委托专业技术人员结合矿山矿岩硬度、地质结构、边坡稳定性、周边环境等条件，科学编制爆破设计方案，精准确定炮孔参数、装药量、起爆方式、微差爆破时间等参数，经技术负责人审核、审批后方可实施，严禁擅自更改爆破设计参数。

加强爆破施工全流程技术管控，施工前严格按照设计方案精准放样、钻孔，做好孔位、孔深、倾角的检查验收，确保钻孔质量达标；装药前清理炮孔内杂物、积水，严格按照装药量装药，规范做好炮孔堵塞施工，杜绝堵塞不实、长度不足等问题；优先选用数码电子雷管等安全性能高的爆破器材，做好器材质量检测，严禁使用不合格、过期爆破器材。通过优化爆破技术、严控施工质量，降低爆破振动、飞石、盲炮等安全风险。

3.4 加强现场全程监管，筑牢现场安全防线

建立爆破作业现场全程监管机制，爆破作业前，全面排查现场地质隐患、设备状态、周边障碍物及人员撤离情况，合理划定安全警戒区域，设置醒目警示标识、警戒围栏，安排专人负责警戒，严禁无关人员、设备进入警戒区。

作业过程中，安全员、技术人员全程旁站监管，严格监督作业人员按照操作规程施工，及时制止违规装药、擅自更改参数、不规范操作等行为，做好施工记录。爆破完成后，等待规定时间再进入现场，全面开展盲炮排查、边坡稳定性、爆堆安全检查，发现盲炮、边坡裂缝等隐患，立即制定方案处置，确认安全无误后，方可解除警戒、开展后续作业。^[4]同时，定期开展爆破安全专项检查，建立隐患排查台账，落实整改责任人、整改措施、整改时限，形成闭环管理。

3.5 健全应急管理体系，提升应急处置能力

科学制定爆破安全事故专项应急预案，针对飞石伤人、盲炮爆炸、爆破振动损毁建筑物、边坡坍塌等常见事故，明确应急组织机构、救援流程、人员职责、应急物资配置及现

场处置方案，确保预案贴合现场实际、具备可操作性。

完善应急物资储备，配备足量的应急救援器材、防护装备、通讯设备、消防器材等，定期检查、维护、更新，保证应急物资完好可用。定期组织开展爆破事故应急演练，通过实操演练优化应急流程、提升人员应急响应和救援能力，演练后及时总结评估，完善应急预案。一旦发生突发安全事故，立即启动应急预案，快速组织人员撤离、现场救援，最

大限度降低事故损失。

4 露天矿山爆破作业安全管理流程优化图

为直观呈现露天矿山爆破作业全流程安全管理要点，构建爆破作业全流程安全管理闭环流程，明确各环节管控内容、责任岗位及风险防控要点，实现爆破作业全程可管、可控。

管理流程相关信息表

管理流程	核心管控环节	责任岗位	关键风险防控要点
前期准备	方案设计、资质审核、现场排查	技术负责人、安全员	审核爆破方案、排查地质及周边隐患
火工品管理	采购、储存、领用、运输、退库	保管员、安全员	全程管控、台账清晰、严禁违规流转
钻孔施工	孔位放样、钻孔施工、质量验收	爆破员、技术员	严控孔位、孔深、倾角，达标后方可装药
装药起爆	装药、堵塞、警戒、起爆	爆破员、安全员	规范装药堵塞、严控警戒、按规程起爆
爆后处置	隐患排查、盲炮处理、边坡检查	安全员、技术员	及时排查隐患、规范处置盲炮、确认现场安全
闭环管理	记录归档、隐患整改、总结优化	管理人员、安全员	完善施工记录、整改隐患、优化管理方案

5 结语

露天矿山爆破作业安全管理是一项系统性、长期性的工作，关乎矿山安全生产全局，容不得丝毫松懈。矿山企业必须牢固树立“安全第一、预防为主、综合治理”的理念，正视爆破作业安全管理现存问题，从制度完善、人员素养、技术管控、现场监管、应急处置等多方面发力，构建全流程、全方位、闭环式的安全管理体系。

通过落实精细化管理措施，强化风险防控，规范作业流程，提升人员安全意识和专业技能，切实防范化解爆破作业各类安全风险，杜绝安全事故发生。同时，紧跟矿山安全管理智能化、信息化发展趋势，积极引入先进的爆破安全监测、

现场监管技术，持续优化安全管理模式，不断提升露天矿山爆破作业安全管理水平，为矿山企业安全生产、可持续发展提供坚实的安全保障。

参考文献

- [1] 张嘉程.露天非煤矿山安全生产管理水平评价与优化策略研究[D].内蒙古科技大学,2025.
- [2] 付强.高原高寒露天矿山爆破工程安全风险评估与防控措施研究[D].重庆交通大学,2024.
- [3] 周梦婷.露天矿山双重预防机制建设及其管理系统研发[D].武汉大学,2022.
- [4] 曲光泽.露天矿山爆破技术对矿山安全的影响[J].冶金管理,2023,(11):52-54.

The Role and Application of GPS Positioning Surveying Technology in Construction Engineering Surveying and Mapping

Jijiang Li

Huizhou Road and Bridge Survey and Design Institute, Huizhou, Guangdong, 516000, China

Abstract

In the field of construction engineering surveying, GPS positioning technology has gradually replaced traditional surveying methods as a core technical support for modern construction projects, owing to its advantages of high precision, efficiency, and all-weather operation. This paper analyzes the working principles and technical characteristics of GPS technology based on practical needs in construction engineering surveying, elaborates its specific applications in engineering control surveying, topographic mapping, construction layout, and deformation monitoring, and explores issues and optimization paths in its application. The study demonstrates that GPS technology can effectively enhance surveying accuracy and operational efficiency, reduce labor costs, provide reliable data support for the entire lifecycle of construction projects, and drive the digital and intelligent transformation of the construction surveying industry.

Keywords

GPS positioning measurement; construction engineering; engineering surveying; deformation monitoring

GPS 定位测量技术在建筑工程测绘中的作用与应用思考

黎积江

惠州市道路桥梁勘察设计院, 中国 · 广东 惠州 516000

摘要

在建筑工程测绘领域, GPS 定位测量技术凭借高精度、高效率、全天候作业等优势, 逐步替代传统测绘方式, 成为现代工程建设的核心技术支持。本文结合建筑工程测绘的实际需求, 分析 GPS 技术的工作原理与技术特点, 阐述其在工程控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测等环节的具体应用, 探讨技术应用中的问题与优化路径。研究表明, GPS 技术可有效提升测绘精度与作业效率, 降低人工成本, 为建筑工程全生命周期提供可靠数据保障, 推动建筑测绘行业向数字化、智能化转型。

关键词

GPS 定位测量; 建筑工程; 工程测绘; 变形监测

1 引言

随着我国建筑工程行业向规模化、复杂化、智能化方向发展, 传统测绘技术受地形、气候、通视条件限制, 存在作业效率低、精度不足、人力成本高等问题, 难以满足现代建筑工程对测绘数据精准性、时效性的要求。GPS (全球定位系统) 定位测量技术作为卫星导航技术的核心应用, 凭借全球覆盖、实时定位、高精度测量等特性, 广泛应用于建筑工程测绘的各个阶段, 从前期勘察、中期施工到后期运维, 均发挥着不可替代的作用。本文以 GPS 定位测量技术为研究对象, 结合建筑工程测绘的工作特点, 系统分析其技术优

势与应用场景, 结合实际案例探讨应用要点与优化策略, 为建筑工程测绘工作的高效开展提供理论参考与实践指导, 助力建筑工程行业高质量发展。

2 GPS 定位测量技术概述

2.1 工作原理

GPS 定位测量技术通过接收多颗卫星发射的无线电信号, 利用空间距离后方交会原理, 确定地面待测点的三维坐标 (经度、纬度、高程)。系统由空间卫星星座、地面监控系统、用户接收设备三部分组成, 卫星持续发射定位信号, 地面接收机捕获并解析信号, 通过解算卫星与接收机之间的距离, 实现精准定位。在建筑工程测绘中, 常用静态 GPS 测量与 RTK (实时动态差分) GPS 测量两种模式: 静态测量适用于高精度控制测量, 通过长时间观测解算坐标, 精度

【作者简介】黎积江 (1998-), 男, 中国广西横州人, 本科, 助理工程师, 从事测绘工程测量研究。

可达毫米级；RTK 测量可实现实时厘米级定位，适用于施工放样、地形测绘等动态作业场景，大幅提升作业效率^[1]。

2.2 技术特点

1. 高精度定位：静态 GPS 测量平面精度可达 $\pm (0.1-0.5)$ mm/km，高程精度可达 $\pm (0.2-1.0)$ mm/km，满足建筑工程高精度测绘需求；

2. 全天候作业：不受昼夜、雨雪、云雾等气候条件影响，可实现 24 小时连续测绘，突破传统测绘的时间限制；

3. 作业范围广：无需通视条件，不受地形地貌限制，适用于山地、水域、复杂城区等各类建筑工程场地；

4. 效率高、成本低：单人即可操作接收机，减少人力投入，数据自动采集与解算，缩短作业周期，降低工程测绘成本；

5. 数字化输出：测绘数据可直接与 CAD、BIM 等工程软件对接，实现数据共享与数字化应用，适配建筑工程信息化发展需求。

3 GPS 定位测量技术在建筑工程测绘中的核心作用

3.1 提升测绘精度，保障工程质量

建筑工程的施工质量与测绘精度直接相关，传统全站仪、水准仪等设备受人操作、通视条件影响，易产生误差，导致施工放样偏差、结构尺寸不符等问题。GPS 技术通过卫星信号定位，减少人工干预误差，精准获取控制点坐标、地形数据、施工点位，为工程设计、施工提供可靠数据支撑，从源头规避因测绘误差引发的工程质量问题。

3.2 提高作业效率，缩短工程周期

传统建筑工程测绘需大量人力进行跑点、观测、记录，复杂地形下作业难度大、周期长。GPS 接收机便携易操作，RTK 技术可实时输出定位数据，单人单日可完成传统测绘团队数日的工作量，尤其在大型建筑工程、市政工程、轨道交通工程中，大幅压缩测绘工期，为整体工程进度提速。

3.3 拓展测绘场景，适配复杂工程

现代建筑工程涵盖高层建筑、大型综合体、桥梁隧道、水利工程等多种类型，部分工程位于山地、水域、密集城区等复杂区域，传统测绘难以开展。GPS 技术无需通视、不受地形限制，可完成复杂场地的控制测量、地形测绘、变形监测，填补传统测绘的应用空白，满足各类复杂建筑工程的测绘需求。

3.4 支撑工程全生命周期管理

GPS 测绘数据可贯穿建筑工程勘察、设计、施工、运维全流程：前期为工程选址、地形分析提供基础数据；中期为施工放样、进度管控提供实时定位；后期为建筑沉降、位移变形监测提供动态数据，实现工程全生命周期的数字化管控，提升工程管理水平。

4 GPS 定位测量技术在建筑工程测绘中的具体应用

4.1 工程控制测量

工程控制测量是建筑工程测绘的基础，分为平面控制测量与高程控制测量，为后续测绘、施工提供基准坐标。传统控制测量需逐级布设导线网、水准网，作业繁琐、误差累积大。

GPS 静态测量可一次性完成首级、次级控制网布设，无需通视，控制点布设灵活，通过多台接收机同步观测，解算得到高精度控制坐标。在大型建筑工程中，GPS 控制网可覆盖整个施工场地，精度均匀、无误差累积，为施工放样、变形监测提供统一基准，是现代建筑工程控制测量的首选技术^[2]。

4.2 地形测绘与土方量计算

建筑工程前期需进行场地地形测绘，获取地形地貌、高程数据，为场地平整、基坑开挖、设计规划提供依据。传统地形测绘采用全站仪碎部测量，效率低、数据采集不全面。RTK-GPS 技术可快速采集地形碎部点坐标与高程，配合移动终端实时绘制地形图，数据采集密度高、速度快；结合无人机航拍技术，可实现大面积地形的数字化测绘，生成高精度 DEM（数字高程模型）。基于 GPS 测绘数据，可精准计算场地土方量，为土方开挖、回填提供数据支撑，减少土方浪费，降低工程成本。

4.3 施工放样与现场定位

施工放样是将设计图纸中的建筑轴线、基础点位、构件位置等精准标注于施工现场，是建筑施工的关键环节。传统放样采用全站仪、经纬仪，需反复架设仪器、瞄准棱镜，效率低且易受场地遮挡影响。RTK-GPS 技术可实时获取待测点位的三维坐标，直接与设计坐标对比，快速完成基础放样、轴线放样、构件定位等工作，放样精度可达厘米级，单人即可完成操作，尤其适用于高层建筑、大型厂房、市政道路等工程的现场放样，大幅提升施工效率。

4.4 建筑变形监测

高层建筑、大型桥梁、基坑工程等在施工与运维阶段易产生沉降、位移、倾斜等变形，需长期监测以保障结构安全。传统变形监测采用水准仪、全站仪，观测周期长、数据连续性差。GPS 技术可实现 24 小时连续自动化监测，实时采集建筑关键点的三维坐标变化，通过数据解算分析变形速率、变形趋势，及时预警安全隐患。在基坑开挖、高层建筑施工中，GPS 变形监测可动态反映土体沉降、结构位移，为施工方案调整、安全管控提供数据支撑，保障工程施工安全^[3]。

4.5 BIM 技术融合应用

BIM（建筑信息模型）是现代建筑工程信息化管理的核心，GPS 测绘数据作为 BIM 模型的基础数据源，可实现精准建模与数据联动。通过 GPS 获取的场地地形、建筑点位、构件坐标等数据，直接导入 BIM 软件，构建高精度工程模型，

实现设计、施工、运维的数字化协同，提升建筑工程全生命周期管理效率。

5 GPS 定位测量技术应用

GPS 定位测量技术应用图表分析详见表 1 所示。

表 1 GPS 与传统测绘技术在建筑工程中的应用对比

对比维度	GPS 定位测量技术	传统测绘技术（全站仪/水准仪）
定位精度	静态：毫米级；RTK：厘米级	平面： $\pm(2-5)$ mm； 高程： $\pm(3-6)$ mm
作业条件	无需通视，全天候、全地形	需通视，受气候、地形限制大
作业效率	单人操作，单日完成大面积测绘	多人协作，作业周期长
人力成本	低（1-2人即可）	高（需3-5人团队）
数据应用	数字化输出，对接BIM/CAD	人工记录，数据处理繁琐
适用场景	复杂地形、大型工程、动态监测	简单场地、小型工程

由上表可知，GPS 技术在精度、效率、适用性等方面均显著优于传统测绘技术，更适配现代建筑工程的测绘需求。

6 GPS 定位测量技术应用中的问题与优化思考

6.1 应用存在的问题

1. 高程精度不足：GPS 高程测量受大气折射、卫星轨道误差影响，高程精度低于平面精度，在对高程要求极高的建筑工程中，需结合水准测量修正；

2. 信号遮挡干扰：在密集城区、高层建筑群、隧道内部等区域，卫星信号易被遮挡，导致定位中断、精度下降；

3. 人员技术要求高：GPS 数据解算、设备操作、误差分析需专业技术人员，部分施工单位人员专业能力不足，影响技术应用效果；

4. 多路径效应影响：地面反射物（建筑物、水面、金

属构件）易产生信号多路径效应，导致定位误差。

6.2 优化应用策略

1. 技术融合提升精度：将 GPS 与水准测量、全站仪、惯性导航技术结合，取长补短，提升高程测量精度；在信号遮挡区域，采用基站补点、北斗/GPS 双模定位技术，增强信号稳定性；

2. 优化设备与作业方案：选用高灵敏度 GPS 接收机，合理布设基准站，避开信号遮挡区域；针对复杂工程，制定专项测绘方案，减少多路径效应影响；

3. 加强人员专业培训：开展 GPS 操作、数据解算、误差分析等专业培训，提升测绘人员技术水平，规范作业流程^[4]；

4. 推动智能化升级：结合物联网、大数据技术，实现 GPS 测绘数据自动化采集、传输、分析，构建智能化测绘监测系统，提升技术应用效率

7 结论

GPS 定位测量技术凭借高精度、高效率、全天候、全地形等优势，已成为建筑工程测绘领域的核心技术，在工程控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测等环节发挥着关键作用，有效提升了建筑工程测绘的精度与效率，保障了工程质量与安全，推动了建筑测绘行业的数字化、智能化转型。尽管 GPS 技术在高程精度、信号遮挡等方面存在一定局限，但通过技术融合、方案优化、人员培训等措施，可有效解决应用问题。未来，随着北斗卫星导航系统、5G、BIM 等技术的深度融合，GPS 定位测量技术将在建筑工程测绘中实现更广泛、更智能的应用，为我国建筑工程行业高质量发展提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 张正禄. 工程测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2020.
- [2] 刘大杰. GPS测量原理及应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2019.
- [3] 王解先. 建筑工程变形监测技术与应用[J]. 工程勘察, 2021, 49(05): 67-72.
- [4] 李青岳. 现代测绘技术在建筑工程中的应用研究[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(12): 156-158.

Research on Safety Management and Risk Prevention in Hydropower and Water Conservancy Project Construction

Yaping Zhou

Yunmeng County Water Conservancy and Hydropower Engineering Company, Xiaogan, Hubei, 432500, China

Abstract

The construction of water conservancy and hydropower projects is characterized by a long construction period, complex environment, diverse operation types, dense processes, and high safety risks. The safety management level of such projects directly affects the project quality, construction efficiency, and personnel safety. With the continuous advancement of large-scale water conservancy hubs, high dams, and water diversion and transfer projects, the traditional management approach relying on experience-based judgment and post-event handling has become inadequate to meet the requirements of modern engineering construction. This article focuses on construction safety management and risk prevention, based on actual engineering conditions, systematically analyzes the main sources of risks, and conducts research from aspects such as the improvement of the safety management system, identification of key risks, strengthening of process control, and application of technical prevention measures. The study shows that the safety management of water conservancy and hydropower projects should not merely remain at the passive constraint level of the system; instead, a full-process risk prevention mechanism covering organization, technology, personnel, equipment, and environment should be established to continuously enhance the intrinsic safety level of construction and the comprehensive management efficiency.

Keywords

hydropower and water conservancy projects; construction safety; safety management; process control; hazard elimination

水利水电工程施工安全管理与风险防控研究

周亚鹏

云梦县水利水电工程公司, 中国·湖北 孝感 432500

摘要

水利水电工程建设周期长、环境复杂、作业类型多、工序密集、安全风险高,其安全管理水平直接影响工程质量、建设效益与人员安全。随着大型水利枢纽、高坝及引调水工程持续推进,传统依赖经验判断和事后处理的管理方式已难以满足现代工程建设需求。文章围绕施工安全管理与风险防控,结合工程实际,系统分析主要风险来源,并从安全管理体系完善、重点风险识别、过程控制强化及技术防控手段应用等方面开展研究。研究表明,水利水电工程安全管理不应仅停留在制度层面的被动约束,而应构建覆盖组织、技术、人员、设备和环境的全过程风险防控机制,以持续提升施工本质安全水平与管理综合效能。

关键词

水利水电工程; 施工安全; 安全管理; 过程控制; 隐患治理

1 引言

水利水电工程是防洪减灾、水资源调配、清洁能源开发及区域发展的重要基础设施,具有建设规模大、施工条件复杂、多专业交叉的特点,对施工安全管理要求极高。工程常涉及高边坡开挖、深基坑支护、围堰导流、地下洞室、高空及爆破作业等高风险工序,安全控制不到位易诱发坍塌、透水、机械伤害、火灾等事故。复杂地质与多变水文环境下,施工风险呈现不确定性和耦合性。当前部分项目仍存在风险识别不深入、安全责任落实不细、现场管控不严、应急准备

不足等问题。因此,亟需系统研究水利水电工程施工安全管理与风险防控策略,全面提升工程安全保障能力与精细化管理水平。

2 水利水电工程施工安全管理的基本特征与现实要求

2.1 水利水电工程施工环境的复杂性

水利水电工程大多分布于河谷、山区、峡谷和地质条件复杂区域,施工现场往往受到地形起伏、地质构造、水文变化和气候环境的多重影响,施工环境天然具有较强的不稳定性。与一般建筑工程相比,水利水电工程不仅要面对常规土建施工风险,还要应对突水、滑坡、塌方、洪水、泥石流和高温严寒等自然因素带来的安全威胁。部分工程施工区域

【作者简介】周亚鹏(1979-),男,中国湖北云梦人,本科,工程师,从事设计施工研究。

狭长、交通条件受限，材料运输、设备进场和应急救援难度较大，也增加了现场安全管理的复杂程度。尤其在汛期施工和地下洞室施工过程中，环境因素对安全状态的影响往往具有突发性和放大效应，若缺乏前瞻性管理，易使局部隐患演变为系统性风险。因此，水利水电工程施工安全管理必须建立在对复杂环境充分认识的基础上，形成动态监测与及时响应并重的管理机制。

2.2 施工工序交叉密集带来的风险叠加特征

水利水电工程涵盖主体建筑、导流工程、金属及机电安装、边坡防护等多个专业环节，各工序时序关联强、空间交叉密集。坝基开挖、混凝土浇筑、洞挖支护、设备吊装等作业常同步开展，现场人员、机械、物料高度集中，施工组织不当极易滋生交叉作业风险。不少安全隐患并非单一工序导致，而是多环节耦合引发。如高边坡与下方运输并行易造成落石伤人；洞室开挖与通风衔接不当易引发有害气体中毒；围堰与导流转换失误可能造成涌水毁物。水利水电施工安全具有叠加性、连锁性特征，管理上必须强化工序协同与作业区域联动管控。

2.3 现代工程建设对安全管理提出的新要求

随着水利水电工程规模不断扩大，施工技术持续升级，项目管理模式也由粗放式向精细化、信息化和标准化转变。现代工程建设对施工安全管理提出了更高要求，不仅要求减少事故发生，更强调通过制度建设和技术手段降低风险发生概率，提升本质安全水平。安全管理不再是施工附属环节，而应成为项目策划、施工组织、技术交底、资源配置和质量管控的重要组成部分。与此同时，工程建设日益重视全过程风险管理理念，强调在施工前识别风险、在施工中控制风险、在异常情况下快速处置风险。面对新的建设要求，项目安全管理必须由以往偏重经验判断和事后整改的模式，逐步转向风险预控、隐患闭环和动态决策相结合的综合治理模式。

3 水利水电工程施工中的主要安全风险分析

3.1 高边坡、深基坑与地下洞室施工风险

在水利水电工程中，高边坡开挖、深基坑支护和地下洞室施工是最典型的高风险作业之一。高边坡施工受岩体结构面、风化程度、降雨渗流和爆破扰动影响较大，若支护滞后或监测不足，容易发生局部坍塌和边坡失稳。深基坑施工则面临支护结构变形、地下水渗入、基底隆起和周边土体失稳等安全隐患，尤其在地层复杂和降雨频繁条件下，风险更为突出。地下洞室施工风险表现得更为集中，主要包括塌方、突水、涌泥、瓦斯聚集、通风不良和爆破伤害等。一旦围岩类别判断失误或支护参数设置不合理，极易危及人员和设备安全。此类风险的共同特点在于隐蔽性强、突发性高、处置难度大，因此必须依靠超前地质预报、监测量测和及时支护等手段进行全过程控制。

3.2 围堰导流与水文变化引发的施工风险

水利水电工程建设离不开导流体系和围堰工程，施工期间水流控制状态直接关系到整体施工安全。围堰失稳、导流能力不足、泄水建筑物运行异常以及突发洪水过程，均可能对施工现场造成严重威胁。特别是在汛期或突发强降雨条件下，上游来水量短时增加，若导流洞、导流明渠或泄水设施能力预估不足，就可能引发漫堰、冲刷、浸泡和设备淹没等险情。此外，围堰本身受填筑质量、渗流控制、迎水面防护和基础处理情况影响较大，若施工质量不过关或运行监测不到位，也可能在持续高水位作用下发生渗漏、变形甚至溃决。水文风险不同于一般施工风险，其影响范围更广、蔓延速度更快、后果更严重，因此在安全管理中必须把导流安全和防洪度汛工作放在突出位置。

3.3 机械设备、临时用电与高空作业风险

水利水电施工现场大型机械设备繁多，塔机、缆机、钻爆及运输等设备长期连续作业、频繁移位，极易引发机械伤害与故障事故。设备基础不牢、检修滞后、操作违规或超负荷运行，易造成吊装失控、构件坠落甚至设备倾覆。施工现场临时用电布线复杂、环境潮湿，配电不规范、漏电保护失效及违章操作，易诱发触电和电气火灾。闸墩、塔架、坝体施工中高空作业频繁，若脚手架防护缺失、安全绳未佩戴、交叉作业协调不当，易导致高处坠落与物体打击。这类风险与人、环境、设备紧密耦合，凸显现场精细化管控的重要性。

4 水利水电工程施工安全管理中存在的主要问题

4.1 风险识别与预控机制不够完善

部分水利水电工程项目在安全管理中仍然存在“重整改、轻预防”的倾向，对风险识别工作重视不足。施工前虽然开展了安全技术交底和专项方案编制，但风险分析常停留在一般性描述层面，缺乏对关键部位、关键时段和关键工序的针对性研判。对于地质条件变化、气象水文异常和现场组织调整带来的新增风险，往往缺少及时更新的预控措施。还有一些项目把风险辨识等同于列清单，未能形成风险分级、责任落实和动态跟踪相结合的管理机制，导致风险预控流于形式。风险识别不充分，直接导致后续安全管理缺乏重点，现场防控容易出现盲区，难以真正发挥预防事故的作用。

4.2 现场安全管理执行力度存在差异

工程实践中，水利水电项目安全制度常存在纸面完善、现场落地不足的问题。部分项目制度体系齐全，但班组层级执行缺位，安全交底粗略、日常巡查偏少、违章整改滞后，制度要求难以落到实处。施工高峰与抢工阶段，管理人员重进度、轻安全，易出现设备带病作业、支护滞后、防护缺失及人员违章等隐患。外协队伍与临时人员流动性大、安全教育不足，进一步放大管理执行偏差。现场执行力薄弱并非单

一环节问题,而是方案审批、交底培训、巡检验收全流程均存在短板,最终弱化安全管理体系的整体运行效能。

4.3 应急准备与信息化支撑相对薄弱

水利水电工程一旦发生塌方、透水、洪水漫涌、设备失控等险情,往往需要迅速组织抢险和人员撤离。现实中,部分项目虽然编制了应急预案,但预案内容较为笼统,针对性不强,与现场设备配置、道路条件和人员组织衔接不够,真正发生突发情况时,容易出现响应迟缓和处置混乱。应急演练开展不足也是普遍问题,作业人员对撤离路线、通讯方式和应急职责掌握不清,影响处置效率。与此同时,部分项目在安全监测、视频巡查、定位预警和数据分析等信息化手段方面应用不足,安全状态更多依赖人工经验判断,难以及时发现风险演变趋势。应急准备和信息化支撑薄弱,使得项目在应对复杂风险时缺乏快速感知和精准应对能力。

5 水利水电工程施工安全管理与风险防控的优化策略

5.1 建立全过程风险分级管控体系

提升水利水电工程施工安全水平,关键在于建立覆盖项目全周期的风险分级管控体系。项目开工前,应结合工程类型、地质条件、水文资料、施工组织方案和周边环境,对主要风险源进行系统辨识,明确高风险部位、重点工序和特殊时段,并按照风险等级配置相应管控措施。在施工过程中,应根据现场条件变化、工序转换和季节变化动态更新风险清单,使风险管理保持连续性和针对性。对于高风险作业,应实行专项方案论证、专家评审、现场旁站和重点监测等强化措施,确保风险始终处于可控范围。风险分级管控的核心,在于将有限管理资源投入最关键环节,使安全管理真正做到有重点、有层次、有闭环。

5.2 强化关键施工环节的技术防控与现场管控

技术防控是水利水电工程安全管理的重要基础。针对高边坡、深基坑和地下洞室施工,应加强超前地质预报、支护参数优化和监测量测分析,做到开挖与支护紧密衔接,避免大范围暴露和长时间失稳。针对围堰导流和防洪度汛,应强化水文预报、洪水演算和应急排导能力核验,确保导流体系满足安全要求。针对大型设备作业和临时用电,应完善设备准入、安装验收、日常保养和带班巡检制度,防止设备故障演化为事故。高空作业、爆破作业和有限空间作业等特殊工种,应严格执行作业许可制度和专人监护制度。只有把技

术措施与现场执行紧密结合,安全防控才能真正落到实处。

5.3 完善安全责任体系与智慧化管理手段

施工安全管理成效最终取决于责任是否明晰、监督是否有效。项目建设单位、施工单位、监理单位和分包队伍应形成权责清晰的安全责任链条,将安全职责分解到岗位、班组和作业环节,避免出现责任悬空和管理真空。项目负责人要把安全管理纳入施工组织和资源配置的核心内容,不能将安全工作简单交由专职安全员承担。与此同时,应积极引入信息化和智慧化管理手段,通过视频监控、人员定位、设备状态采集、边坡监测、洞室有害气体监测和气象水文预警等系统,提高对现场风险的感知能力。依托信息化平台实现隐患上报、整改闭环和预警推送,有助于提高安全管理的及时性和精准性。责任体系与技术支撑协同发力,能够有效提升工程施工的整体安全保障水平。

6 结语

水利水电工程施工安全管理是一项系统性、动态性和专业性极强的工作,其管理水平直接关系工程建设顺利推进与人员生命财产安全。由于工程环境复杂、工序交叉频繁、自然因素影响显著,施工安全风险往往具有突发性、耦合性和扩散性,必须以全过程风险防控理念统筹推进。文章围绕水利水电工程施工安全管理的基本特征、主要风险、现实问题和优化策略进行了分析,认为提升安全管理成效的关键,在于健全风险分级管控体系,强化关键环节技术防控,压实各方责任,并借助信息化手段提高动态监测与快速响应能力。未来,随着工程建设模式持续升级,水利水电施工安全管理应进一步向标准化、精细化和智慧化方向发展,为重大水利工程高质量建设提供更加坚实的安全保障。

参考文献

- [1] 邱峰.风险管理技术在水利水电工程施工安全管理中的应用研究[J].水上安全,2025,(22):148-150.
- [2] 颜田田,李春波,颜峰.水利工程施工中消防风险防控与安全管理优化研究[J].消防界(电子版),2025,11(19):4-6.
- [3] 苏艺伟.水利水电工程施工风险及防范对策研究[J].居舍,2020,(16):191-192.
- [4] 张壮.水利水电工程施工安全管理对策探讨[J].散装水泥,2024,(04):138-140.
- [5] 周菊英.对水利水电工程施工安全管理的探讨[J].工程建设与设计,2018,(19):295-297.

Detection and Evaluation of Occupational Hazard Factors in Small and Medium-sized Electrical Manufacturing Enterprises

Shikai Wei

Shanxi Zhongcheng Anxin Safety Technology Co., Ltd., Changzhi, Shanxi, 046000, China

Abstract

Small and medium-sized electrical manufacturing enterprises often face complex production processes characterized by challenging work environments, inadequate occupational hazard control measures, and insufficient detection and evaluation systems. Based on the specific characteristics of these manufacturing operations, this study identifies key occupational hazards associated with critical processes such as stamping, welding, paint coating, and assembly. It addresses current challenges in hazard detection, risk assessment, and management within these enterprises, proposes targeted occupational health improvement strategies tailored to the operational features of electrical products, and aims to standardize hazard evaluation practices. These efforts seek to address existing occupational health deficiencies, reduce occupational disease risks for frontline workers, and provide actionable hygiene management solutions for electrical production processes.

Keywords

small and medium-sized electrical manufacturing enterprises; testing; risk assessment; occupational protection

中小型电气制造企业职业病危害因素检测与评价

魏世凯

山西众诚安信安全科技有限公司，中国·山西 长治 046000

摘要

中小型电气制造企业生产工序复杂，存在岗位作业环境复杂、职业病危害控制薄弱以及检测评价不完善等情况。本文基于中小型电气制造生产特点，研究并分析了冲压、焊接、浸漆及组装等主要工艺流程中可能存在的主要职业病危害因素，针对当前中小电气企业在职业病危害因素检测、风险评价及管理方面存在的问题进行阐述，结合具体电气产品作业特征，提出针对性的职业卫生改进策略，以此促进和规范中小企业职业病危害因素的检测评价工作，弥补相关企业的职业卫生缺陷问题，降低一线员工罹患职业病风险，为电气产品的生产过程提供可借鉴的职业卫生管控对策。

关键词

中小型电气制造企业；检测；风险评价；职业防护

1 引言

电气制造业是装备制造业的基础性产业，其中中小型电气制造企业占绝对主体地位，主要从事电气设备、电气元器件的加工、组装、喷涂及调试等作业。中小电气企业相比大型企业的生产规模小，工艺布置紧凑，机械化自动化水平低，从业人员流动性大，职业卫生投入少等特征，作业现场存在长期噪声、粉尘、化学毒物和振动等多种职业病危害因素。多数企业重生产轻防护，对职业病危害检测走过场，风险评价不深入，防治措施流于形式等问题，一线作业者的

职业健康问题突出。做好职业病危害因素检测和评价工作，准确识别岗位存在的风险，发现防控薄弱环节，是中小电气制造企业切实履行安全生产主体责任、保障从业人员身心健康、依法生产经营的重要举措。

2 中小型电气制造企业职业病危害因素概述

2.1 主要危害因素及产生岗位

根据电气制造中小企业的常规生产工艺，作业场所的职业病危害因素主要集中在物理性、化学性和粉尘类，并主要集中在生产的主要岗位上，具有多处同时存在、长年接触以及混合存在的特点^[1]。在物理因素中噪声、振动和高温最为常见，这是电气制造业中最广泛存在的职业病危害因素，各企业在不同的冲压、切割、打磨及风机调试等岗位均普遍存在噪声，由于机械设备的长期高速运行、金属件之间相互

【作者简介】魏世凯（1988-），男，本科，工程师，从事职业卫生检测、职业卫生评价、职业卫生工程、职业卫生管理等研究。

撞击摩擦造成了高强度的噪声环境；在冲床操作和使用切割设备过程中伴随着强烈的机械性振动并传入人体肢体，长期工作易导致肢体疲劳。在夏季，车间内通风不足且设备散热量较大，容易造成工作地点产生闷热现象引起作业人员出现中暑、疲惫等现象。

化学危害因素主要来源于表面处理过程，浸漆、喷漆、清洗和绝缘灌注为高危区域。常用的绝缘漆、稀释剂、清洗剂、固化剂等化工辅助材料不断地排放苯及苯系物、挥发性有机化合物（VOC）等各种有毒有害气体^[2]。作业者吸入后，对人的呼吸道和神经系统会造成一定伤害。个别企业焊接使用的焊材、助焊剂，在作业中产生焊接烟尘及少量有害气体，从而产生叠加效应的化学性职业病危害。

粉尘的危害主要在金属加工、打磨工位，工件切割，边角打磨、除锈抛光等手工操作或半自动作业时会产生大量的金属粉末，打磨扬尘。该粉尘微细粒子悬浮时间长，沉降速度慢，容易被长期吸入造成人呼吸系统的慢性损伤，在车间属较隐蔽的职业病危害源之一。

2.2 检测与评价的主要作用

开展职业病危害因素检测与评价是中小电气企业开展职业健康工作最基础、最重要的环节，和大型企业统一化管理不同，中小企业对于职业病危害因素的检测评价更加注重因地制宜、排查整治、有效应用。而系统的职业病危害因素检测能准确查找各工种危害因素的具体种类、具体范围和持续时间，确保没有遗漏任何岗位职业病危害风险因素情况。科学的危害因素评价能对一般性风险、重点性风险岗位进行明确区分，便于对企业资源防护的合理配置，防止出现盲目投资等情况。此外，完整的职业病危害因素检测与评价资料是每个企业正规生产经营的重要条件，可有效地避免安全生产问题的发生，从根源上杜绝职业病现象，稳定企业的用工状况。

3 中小型电气制造企业职业病危害检测与评价存在问题

3.1 检测工作不规范、不全面

多数中小型电气企业没有常规的检测制度和程序，存在应付性、片面性现象。一是监测点不全。只选择车间关键岗位进行检测，忽视了非固定作业点位如仓库的辅料存放区、边角磨等零星作业区以及检修区的监测，但恰恰该类部位存在持续性和间歇性的危害因素，造成了检测的盲区。二是检测次数不够，多数企业仅在一年一度的合规性审查时做一次性检测而已。不能针对不同季节生产量变化、生产工艺改变以及设备更新等时机做特殊性检测。三是聘请非专业机构进行检测，其检测方法离生产车间实际甚远，检测作业者的呼吸带采样不符合要求，检测数据严重失真。无法准确反映岗位存在的有害因素的大小及危害风险的高低程度。

3.2 风险评价不深，针对性不足

目前对中小企业进行的职业病危害风险评价流于形式、

模板化现象严重，缺乏指导性。很多报告都是套用通用模板，未结合企业生产工艺、岗位作业时间、员工操作习惯等开展有针对性的职业病危害风险评价工作，仅仅罗列危害因素，并且没有考虑各岗位风险等级不同、叠加影响以及长期累计等因素。另外，在风险评价工作中只考虑了静态的风险，未关注动态的风险^[3]。设备陈旧、工艺改变、辅料变化引发的新的职业病危害未及时进行补充评价。仅仅评价是否超标，未分析原因及岗位存在的漏洞，使得结果和现场实际防控脱离，失去其指导整改的重要作用。

3.3 检测评价和防控管理脱节

评价结果的目的在于隐患整改、控制风险，多数中小型电气企业存在重检测轻整改无落实的断层。企业在完成评价之后将评价报告束之高阁仅用于应付检查而没有针对评价的结果提出岗位整改措施，对相关作业环境、防护措施等未做针对性地改善。对企业中被检测出超标值的相关岗位，未及时进行设备的降噪设施、通风除尘系统及废气收集设施的整改，并没有相应调整和改善其作业排班制度以及优化其相关操作流程。另外，评价结果并没有应用到职工的培训、职业体检、配备岗位所需相关的防护措施等日常管理工作中去，导致这些岗位上仍然存在相关危险因素和有害因素，从而使企业所做的检测评价工作成为摆设毫无意义，造成“年年检测、年年如此”的恶性循环。

3.4 人员素质偏低，制度不健全

中小型电气企业一般没有设立职业卫生管理员，由安全全员兼职，对职业病检测、评价和防控缺乏系统的知识。管理人员不能准确识别岗位危害因素，不熟悉检测评价标准规范，难以审核检测报告并实施整改措施。同时，企业一线从业人员职业健康意识淡薄，存在侥幸心理，在工作中未佩戴好劳动防护用品、简化工作程序，增加职业暴露危险。另外，企业职业健康管理不完善，缺乏相应的检测、评价、治理、复查制度和管理机制等各项工作无从下手，较为松散。

4 优化中小型电气制造企业职业病危害检测与评价的对策

4.1 规范检测流程，实施动态全覆盖监测

公司应构建常态的、全方位职业病危害因素检测体系，杜绝漏检、走形式。一是全面剖析生产流程各环节，以岗位为单位划分点位并细化具体监测内容，将固定式作业岗位及散落区域（辅料库区）、设备维护区全部纳入检测范围内，精准针对各个场所的危害因素进行检测；二是对检测次数及特殊情况下开展监测，实施年度一般情况下的常规监测及生产高峰期间的专项补测，并且针对生产工艺变化或设备改动时、使用新工艺新辅料投入使用等特殊情况及及时跟进补充监测，做到动态监测，同时选择资质齐全的专业从事电气行业职业卫生技术服务机构，在严格按照行业要求下实施呼吸带采样，多点位采样，保证真实准确的数据体现岗位实际危害现状。

4.2 完善风险评价，开展个体化分级评定

抛弃模式化评价，针对中小型企业实际进行精细化、个性化风险评价。要结合企业生产工艺和岗位作业时间及人员操作方法、危害接触机会等因素重点对噪声、粉尘及化学毒物的单一危害和综合危害进行科学评估，准确性高、中、低风险岗位，并对冲压、浸漆、打磨等累积性强的职业性高风险岗位，具体深入地分析其危害诱因和风险点。动态评价，根据企业实际情况定期重新评估每个岗位的危险等级；对企业发生工艺、设备和物品变化后的岗位及时更新其危险等级，实行一岗位一风险一档案制，使评价结果真正与现场控制相结合。

4.3 闭环运行，落实整改结果

检测评价整改复测，闭环管理评改一致。以检测评价报告为依托，建立企业职业危害整改台账。对超标点位、存在问题、责任部门、整改时限及具体措施等进行登记造册。在噪声超标场所通过增加设备减震垫和罩，车间空间区域布置调整，实现高噪声作业与低噪声作业区分开^[4]。对于存在粉尘化学毒物岗位，加强通风除尘、废气收集处理设施的建设，杜绝职业危害因素集聚。复查整改到位情况，并开展复测，消除隐患。将检测评价结果应用于实际工作，依据作业岗位风险等级配备相应的防护用品、改善生产劳动班制、缩短从事该岗位时间等手段从硬件和管理上消除潜在的职业风险。

4.4 加强队伍建设，构建长效机制

配备专职或兼职职业卫生管理人员，参加有关职业卫生检测、评价及隐患防控等方面的专项培训，提高职业卫生管理水平，确保能掌控检测过程、审查评价结果和处理隐患。

开展对一线员工的职业卫生培训，介绍岗位危害因素、防护方法以及职业病预防等知识，规范员工行为，使之能自觉佩戴相关的防护用品。健全相关的职业健康管理制，细化诸如检测与评价、整改隐患以及防护管理和体检监控等工作的流程，建立职工职业健康档案，实现对职业病危害的从检测到评价到控制在内的全方位的职业化管理。

5 结语

中小型电气制造企业危害因素种类繁多、涉及岗位面广、职业病防护难度大，因此对作业场所职业危害因素的检测及评价是预防职业病的根本。目前中小企业在危害因素检测不规范、评价流于形式以及整改措施执行和职业卫生管理不到位等问题比较严重，直接威胁到员工的职业健康安全。为了改变过去只重生产、忽视劳动防护的思想，以科学的检测、评价工作为基础进行有针对性地采取防控措施、形成闭环式管理模式以及提升人员能力素质为抓手，消除岗位职业危害因素源头，确保职工身心健康和安全高效生产作业，在中小电气生产企业实现职业卫生管理的规范和精细化管理奠定了基础。

参考文献

- [1] 刘畅. 智能PLC控制系统在中小型电气自动化工程中的应用研究[J]. 仪器仪表用户, 2026, 33 (01): 67-69.
- [2] 黄玉标. 中小型排涝泵站电气系统优化设计研究[J]. 内蒙古水利, 2022, (09): 28-30.
- [3] 林钊. 中小型化工厂的电气节能设计方案[J]. 工程建设与设计, 2021, (19): 54-56.
- [4] 钟健航. 中小型变电站中电气主接线的设计方案及其可行性分析[J]. 机电工程技术, 2020, 49 (07): 85-87.