

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

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

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 3 · Issue 3 · March 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 3 March 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 | 变电站主变绝缘状态多维度在线监测综合评估与诊断方法
/ 杜伟伟 于德 | / 张丽坤 |
| 4 | 绿色建材在轨道交通车站装饰装修工程中的选用策略
/ 谭幸芸 皇兴 | 28 R290 汽车空调安全与性能综述
/ 刘杰 赵兰萍 |
| 7 | 市政给排水管网智慧化运维管理模式探析
/ 孟繁艺 | 31 大数据技术在电力安全风险评估中的应用
/ 杜永利 |
| 10 | 博物馆文物库房基础安全管理规范与实施要点
/ 王冠琦 | 34 煤矿供电系统防雷接地技术优化
/ 李利娥 |
| 13 | 智能型城镇化基础设施提升工程规划与优化研究
/ 邵俊杰 | 37 混凝土施工裂缝问题与质量控制方法研究
/ 陆阳 |
| 16 | 山区高烈度地震区公路桥梁抗震设计与隔震体系优化研究
/ 文祺琦 | 40 取排水口维护疏浚专项施工技术探讨
/ 杨培 |
| 19 | 生态环境保护大背景下水工环地质勘查工作要点探讨
/ 任天宇 | 43 EPC 住宅工程项目中工程造价管理对策研究
/ 江照树 |
| 22 | 智慧勘察视角下无人机技术在地方涉铁工程现场踏勘中的创新应用
/ 朱泗奇 | 46 斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工研究
/ 李磊 |
| 25 | 工程测量中的三维 GIS 信息系统技术要点探讨 | 49 关于矿山地质测量中数字化测绘运用
/ 曲贞康 曲浩 曲永顺 |
| | | 52 轨道交通车站机电系统装配式安装施工技术探讨
/ 曾国富 熊浩江 |

- 1 Comprehensive Evaluation and Diagnosis Method of Multi-dimensional Online Monitoring of Main Transformer Insulation State in Substation
/ Weiwei Du De Yu
- 4 Selection Strategy of Green Building Materials in Decoration and Renovation Engineering of Rail Transit Station
/ Xingyun Tan Xing Huang
- 7 Analysis of Intelligent Operation and Maintenance Management Models for Municipal Water Supply and Drainage Networks
/ Fanyi Meng
- 10 The Basic Safety Management Standard and Implementation Points of the Museum's Cultural Relics Warehouse
/ Guanqi Wang
- 13 Study on Planning and Optimization of Intelligent Urbanization Infrastructure Enhancement Project by
/ Junjie Shao
- 16 Research on Seismic Design and Seismic Isolation System Optimization of Highway Bridges in High-Intensity Earthquake Zones in Mountainous Areas
/ Qiqi Wen
- 19 Discussion on Key Points of Hydrogeological Exploration under the Background of Ecological Environment Protection
/ Tianyu Ren
- 22 Innovative Application of UAV Technology in Local Railway Engineering Site Survey from the Perspective of Intelligent Survey
/ Siqi Zhu
- 25 Discussion on Key Technologies of 3D GIS Information System in Engineering Surveying
/ Likun Zhang
- 28 Safety and Performance Review of R290 Automotive Air Conditioner
/ Jie Liu Lanping Zhao
- 31 Application of Big Data Technology in Power Safety Risk Assessment
/ Yongli Du
- 34 Optimization of lightning protection and grounding technology for coal mine power supply system
/ Li'e Li
- 37 Research on Crack Problem and Quality Control Method of Concrete Construction
/ Yang Lu
- 40 Discussion on Special Construction Technology of Maintenance and Dredging of Drainage and Water Intake
/ Pei Yang
- 43 Research on the Management Countermeasures of Engineering Cost in EPC Housing Engineering Project
/ Zhaoshu Jiang
- 46 Research on the Construction of Reinforced Existing Railway Subgrade by Diagonal Cement Soil Pile Method
/ Lei Li
- 49 Application of Digital Mapping in Geological Survey of Mine
/ Zhenkang Qu Hao Qu Yongshun Qu
- 52 Discussion on the Prefabricated Installation Construction Technology of Electromechanical System of Railway Station
/ Guofu Zeng Haojiang Xiong

Comprehensive Evaluation and Diagnosis Method of Multi-dimensional Online Monitoring of Main Transformer Insulation State in Substation

Weiwei Du De Yu

State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Chengde Power Supply Company, Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract

In the context of smart grid development, the main transformer in substations serves as a core component of power systems, where its insulation status directly impacts grid safety and stability. Traditional insulation testing methods, relying on offline tests and periodic maintenance, suffer from low timeliness and high costs. Recent advancements in IoT and sensor technologies have enabled the widespread adoption of multi-dimensional online monitoring systems, which can collect real-time electrical, chemical, and mechanical parameters to provide massive data for insulation assessment. However, existing methods predominantly focus on single-parameter analysis, lacking multi-source data integration and comprehensive diagnostic capabilities, making it challenging to achieve early fault detection and precise localization. To address this, this paper investigates integrated assessment and diagnostic methods for main transformer insulation, systematically outlining multi-dimensional monitoring technologies, data fusion preprocessing approaches, comprehensive insulation status evaluation methods, and fault diagnosis with decision support systems, offering valuable references for related research.

Keywords

Insulation status of main transformer in substation; Multi-dimensional online monitoring; Comprehensive evaluation; Diagnostic methods

变电站主变绝缘状态多维度在线监测综合评估与诊断方法

杜伟伟 于德

国网冀北电力有限公司承德供电公司, 中国·河北承德 067000

摘要

智能电网发展背景下, 变电站主变压器作为电力系统核心设备, 其绝缘状态关乎电网安全稳定运行。传统绝缘检测采用离线试验与周期性维护模式, 存在时效性差、成本高的问题。近年物联网与传感技术支撑的多维度在线监测系统普及, 能实时采集电气、化学、机械等特征参数, 为绝缘评估提供海量数据, 但现有方法多聚焦单一指标分析, 缺乏多源数据融合与综合诊断能力, 难以实现故障早期预警和精准定位。为此, 本文研究主变绝缘综合评估与诊断方法, 依次阐述多维度监测技术、数据融合预处理方法、绝缘状态综合评估方法及故障诊断与决策支持方法, 为相关研究提供参考。

关键词

变电站主变绝缘状态; 多维度在线监测; 综合评估; 诊断方法

1 引言

变电站主变压器是电力传输的枢纽设备, 其绝缘故障占设备总故障的 60% 以上, 可能导致大面积停电甚至电网崩溃。传统绝缘检测依赖定期停电试验, 不仅影响供电可靠性, 且难以发现早期潜伏性缺陷。随着传感器技术与物联网的发展, 在线监测技术可实时获取设备运行状态, 但现有研究多集中于单一参数 (如局部放电或溶解气体) 分析, 忽视了多物理场耦合作用对绝缘劣化的影响。此外, 异构数据融合不足、诊断逻辑依赖人工经验等问题, 限制了在线监测系

统的智能化水平。本文针对上述问题, 提出一种多维度在线监测数据融合与综合诊断方法, 旨在实现主变绝缘状态的精准评估与故障的早期预警, 为智能运维提供技术支撑。

2 主变绝缘状态多维度监测技术

2.1 电气特征量监测

电气参数是反映绝缘系统电性能变化、诊断故障的核心依据。其中, 局部放电 (PD) 在线监测可捕捉绝缘劣化早期征兆: 超声波法通过油箱壁传感器检测 20-200kHz 机械振动信号, 抗电磁干扰强但灵敏度受限, 多用于定位放电区域; 特高频法 (UHF) 接收 300MHz-3GHz 高频电磁波, 灵敏度高且定位精准, 广泛用于 GIS 及大型变压器监测, 但需克服信号衰减与噪声干扰^[1]。介质损耗因数 ($\tan \delta$)

【作者简介】杜伟伟 (1988—), 女, 中国河南南阳人, 本科, 副高级工程师, 从事超高压输变电设备运行维护研究。

与电容值监测可量化绝缘能量损耗及结构变化—— $\tan \delta$ 增大反映受潮或老化，电容异常可能由绕组变形或绝缘破损导致，在线监测通过高压电容分压器实现工频/低频实时跟踪。此外，泄漏电流监测通过穿心式传感器捕捉瞬态脉冲，可有效识别绝缘受潮或污秽，为绝缘状态评估提供多维数据支撑。

2.2 化学特征量监测

化学特征量监测通过捕捉绝缘材料劣化的直接表现，为评估绝缘寿命与故障类型提供关键依据。溶解气体分析（DGA）在线监测利用气相色谱或光声光谱技术，实时检测变压器油分解产生的 H_2 、 CO 、 C_2H_2 等特征气体（检测限达 ppm 级），其中 H_2 与 CH_4 反映低温过热， C_2H_2 指示电晕放电或高温过热， CO/CO_2 则揭示固体绝缘老化。微水含量监测通过库仑法（电解水测电流）或高分子薄膜传感器，连续跟踪油中水分（通常 < 35 ppm），防止因水分超标导致介质损耗显著增大。糠醛含量监测作为绝缘纸老化的特异性指标，通过高效液相色谱定期检测油样中糠醛浓度（注意值 0.1 mg/L），其与纸板聚合度的负相关性为评估剩余寿命提供量化依据。

2.3 机械与物理特征量监测

机械与物理特征量监测通过追踪振动、温度及油压等参数，可间接评估绝缘系统完整性。变压器运行时，绕组在电磁力作用下产生振动，其频谱变化能揭示结构异常：若出现 2 倍频、3 倍频等非工频分量，表明绕组可能变形；振动能量集中于 100Hz 以下低频段，则可能为铁芯松动所致，监测系统通过油箱壁布置的加速度传感器，结合小波变换或经验模态分解提取故障特征。绕组热点温度是决定变压器负载能力与寿命的关键参数，光纤测温技术利用荧光或拉曼散射原理直接测量最热点温度，具有抗电磁干扰、响应快等优势，测温范围 $-40^{\circ}C \sim +300^{\circ}C$ ，精度达 $\pm 1^{\circ}C$ 。此外，油压异常可能由内部故障或冷却系统堵塞引发，油位下降则可能因漏油或呼吸器故障导致，系统通过压力变送器与液位传感器实时监测，结合阈值报警与趋势分析，预防绝缘油劣化及设备损坏。

2.4 声纹和红外测温监测

绝缘状态与变压器运行中的声纹特征、温度分布紧密相关，声纹和红外测温监测能为其评估提供关键信息。声纹监测方面，变压器运行中内部作用力产生不同声音信号，高灵敏度声学传感器布置在油箱表面采集声音，经预处理和先进算法处理，提取频率、幅值等特征参数。不同故障有特定声纹，如局部放电有高频脉冲声，建立对应关系数据库比分析，可判断绝缘故障类型与程度，实现早期预警。红外测温监测中，变压器运行产生热量，绝缘故障会致局部过热、温度分布异常。红外测温设备可无接触测温生成热像图，分析能发现热点，判断故障，结合历史数据趋势分析可预测故障发展，保障变压器安全运行。

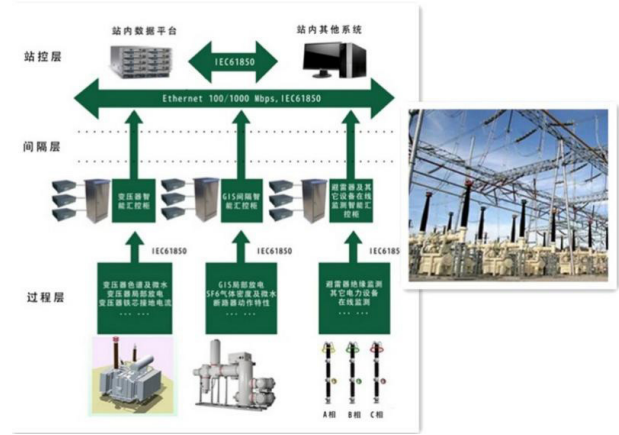


图 1 变电站智能监测系统图

3 多维度监测数据融合与预处理

在设备状态监测与故障诊断领域，多维度监测数据融合与预处理是后续分析和诊断得以高质量开展的关键前提，下面从三方面展开论述。其一，数据来源与类型分析。设备监测会收集电气、化学、机械等异构数据，它们来自不同传感器，采集时空有差异，需用时间戳同步和空间坐标映射进行时空对齐，为融合分析奠定基础。同时，不同数据对采样频率和同步性要求不同，电气信号变化快需高频采样，化学数据变化慢采样频率低，机械数据依情况确定，融合时要通过插值或降采样实现同步^[2]。其二，数据清洗与异常值处理。数据可能缺失，可用插值、均值替代或回归模型填补；数据还有噪声，小波变换和滑动平均法可有效去噪。其三，数据标准化与归一化。多维度数据差异大，Min - Max 标准化可将其变换到指定区间，熵权法能客观确定权重，提高分析准确性与可靠性。

4 主变绝缘状态综合评估方法

4.1 评估指标体系构建

主变绝缘状态评估指标体系构建至关重要。指标选取遵循代表性、独立性与可量化性原则，代表性如局部放电特征量反映绝缘早期劣化；独立性要求合理筛选关联指标，避免信息重复；可量化性如振动信号参数可精确测量，为评估提供量化依据。同时，构建分层指标体系利于系统全面评估，分健康状态层与特征参量层。健康状态层是顶层宏观描述，涵盖不同等级；特征参量层为底层，细分为电气、化学、机械物理、环境与运行工况等子类，各子类指标从不同角度反映绝缘状态，共同支撑健康状态层评估。

4.2 综合评估方法

主变绝缘综合评估方法多样。改进层次分析法先建层次结构模型，确定各层次指标相对重要性构建判断矩阵，经一致性检验调整后计算指标权重，为评价提供基础。模糊综合评价法针对主变绝缘受多因素影响、存在大量不确定性信

息的情况,利用模糊数学理论,先确定评价因素集与评语集,再通过隶属度函数构建模糊关系矩阵,结合改进层次分析法确定的权重进行模糊合成运算,有效处理模糊性与不确定性。灰色关联分析法可分析多参数关联的复杂系统中各特征参量间的关联性,挖掘内在联系,提供全面信息。证据理论(D-S理论)能融合多源异构数据,充分发挥不同数据源优势,提高评估的准确性与可靠性,共同助力主变绝缘状态精准评估。

4.3 状态分级标准

为直观呈现主变绝缘状态,将其划分为良好、注意、异常、严重四个等级。良好意味着绝缘性能佳,无明显劣化,可正常运作;注意是绝缘有轻微异常,需加强监测;异常表明劣化加剧,可能影响安全运行,要及时检修;严重则是绝缘严重受损,随时可能故障,需立即停运检修。而绝缘状态分级阈值的设定,要综合考量行业标准与历史数据统计。行业标准具权威性与指导性,历史数据统计能结合设备自身特点,分析特征参量分布规律确定个性化阈值,二者结合使阈值设定更科学合理,提升状态分级与评估的准确性。

5 绝缘故障诊断与决策支持

5.1 故障特征模式识别

绝缘故障诊断中,故障特征模式识别常用基于规则的专家系统,像国际广泛应用的 IEC 60599 三比值法,它通过计算油中不同气体组分比值,依特定编码规则和故障对应关系判断变压器绝缘故障类型。但传统方法编码组合有限,复杂故障难准确判断,故需改进,如增加编码组合、引入更多气体特征参数,结合专家经验与实际案例优化编码规则。此外,构建典型故障案例库也很关键,以局部放电为例,收集相关试验数据和故障案例,提取特征参数绘制模式图谱,分类存储形成案例库,诊断时比对实时信号与图谱,依相似度判断故障类型,为诊断提供直观准确依据。

5.2 故障诊断流程

在绝缘故障诊断流程里,先开展单维度异常预警与多维度关联验证。要对电气、化学、机械物理以及环境与运行工况等众多监测维度进行监测,一旦某维度参数超正常范围,系统便发出单维度异常预警信号^[1]。但此信号可能误判,所以需多维度关联验证,通过分析不同维度参数关联性,判断多个异常是否源于同一故障,如局部放电异常且油中乙炔含量升高,可初步判断电弧放电故障。完成多维度关联验证

后,要定位故障类型,常见有绕组故障、绝缘老化、受潮等。绕组故障可通过电气参数和振动信号判断;绝缘老化可依据化学和电气参数变化识别;受潮故障可测量绝缘电阻、吸收比并结合环境湿度判断。综合多维度数据与故障特征识别结果,能准确确定故障类型,为维修决策提供依据。

5.3 维修决策支持

确定故障类型后,需开展维修决策支持工作。首先是风险评估与剩余寿命预测,风险评估要考量故障严重程度、发生概率及对设备运行的影响等因素,借助分析历史与实时监测数据建立评估模型,对不同故障风险量化评估。剩余寿命预测采用趋势分析法,分析绝缘性能参数随时间的变化趋势来建立预测模型,比如依据油中溶解气体产气速率和含量增长趋势,结合变压器运行年限与检修情况,预测绝缘系统剩余寿命,为维修决策提供科学依据。接着根据评估与预测结果制定检修策略,风险高、剩余寿命短的故障立即检修^[4];风险适中、剩余寿命长的安排计划检修;风险低、剩余寿命长的监测运行。同时制定策略时,还要综合考虑设备运行重要性、检修成本、停电损失等因素,确保变压器安全可靠运行。

6 结语

本文针对变电站主变绝缘状态监测与诊断难题,提出一套多维度在线监测综合评估与诊断方法。该方法通过阐述电气、化学等多维度监测技术,全面感知主变绝缘状态;利用多维度数据融合与预处理,提升数据质量与分析效率;基于构建的评估指标体系和综合评估方法,精准分级评估绝缘状态;借助故障特征模式识别与诊断流程,实现故障早期预警与精准定位;结合风险评估与剩余寿命预测,为维修决策提供科学依据。展望未来,随着物联网、大数据和人工智能技术发展,主变绝缘监测诊断将更智能自动,可探索深度学习算法应用,加强跨领域合作,推动智能电网高质量发展。

参考文献

- [1] 彭潇,胡泽民.主变10kV侧绝缘损坏造成跳闸的分析与处理[J].农村电气化,2025,(12):41-44.
- [2] 邓雄耀.变电站保护监控系统架构多维度评估研究[D].华北电力大学(北京),2024.
- [3] 李培,李颖,郭良峰,等.一起110 kV变电站主变压器绝缘故障分析[J].山东电力高等专科学校学报,2023,26(06):34-37.
- [4] 金佳杰.电力变压器多维度检测与状态评估技术研究及应用[D].杭州电子科技大学,2021.

Selection Strategy of Green Building Materials in Decoration and Renovation Engineering of Rail Transit Station

Xingyun Tan Xing Huang

Sinohydro Bureau 7 CO., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

Abstract

As urban rail transit enters a phase of intensive construction and renovation, station decoration materials must not only meet wear-resistant, slip-resistant, and easy-to-clean requirements but also address challenges like limited underground ventilation and air quality/safety pressures caused by high passenger flow. Therefore, material selection should integrate combustion performance, pollutant emissions, maintainability, and resource attributes into a unified evaluation framework, aligning with standardized green product certification systems. Practice demonstrates that green building materials cannot be assessed by a single environmental metric; instead, a verifiable indicator set should be established based on green product evaluation standards and on-site acceptance methods. This paper proposes selection strategies and control points for green building materials, focusing on common station decoration interfaces, to provide a basis for design, procurement, and delivery inspection.

Keywords

Green building materials; Rail transit station; Decoration and renovation project; Selection; Value; Strategy

绿色建材在轨道交通车站装饰装修工程中的选用策略

谭幸芸 皇兴

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川·成都, 610213

摘要

城市轨道交通进入密集建设与更新改造并行阶段后, 车站装饰装修材料除耐磨、防滑与易清洁外, 还要应对地下空间通风受限与高客流造成的空气与安全压力。因此选型需把燃烧性能、污染物释放、可维护性与资源属性放在同一评价框架, 并与统一的绿色产品认证体系衔接。实践表明, 绿色建材不能只看单一环保指标, 而应依据绿色产品评价标准与现场验收方法形成可核查的指标组合。本文结合车站常见装修界面, 提出绿色建材选用策略与控制要点, 为设计、采购与交付检测提供依据。

关键词

绿色建材; 轨道交通车站; 装饰装修工程; 选用; 价值; 策略

1 引言

地铁与城际车站的装修工程往往穿插在土建收尾、机电安装与系统联调之间, 工期压缩与界面复杂使材料替换、返工和污染投诉更易发生。近年来多地发布绿色轨道交通评价要求, 强调从源头选用绿色、环保、安全的装饰装修材料并开展室内环境检测^[1]。在实际项目中, 绿色建材的落地难点集中在认证识别、批次一致性、施工配套和交付验收四个环节, 需要把选材逻辑写进清单并固化为可执行工序。

2 轨道交通车站装饰装修工程概述

轨道交通车站装饰装修工程是指在车站主体结构、机

电系统与消防设计条件确定后, 围绕站厅、站台、出入口通道、卫生间及设备区等空间的界面成型, 完成墙、顶、地、隔断、门窗、栏杆、包柱、吊顶检修口、标识导向基层及附属构件等部位的基层与面层施工, 并同步处理防火分隔、排烟口与风口收边、变形缝、管线穿越封堵、门洞加固和洞口包边等细部做法。其施工对象具有人流密集、运营时段长、地下环境封闭与维护频次高的特征, 材料除满足强度、耐磨、防滑与耐污染外, 还必须满足燃烧性能分级与室内环境污染控制要求。

3 轨道交通车站装饰装修工程中选用绿色建材的价值

在车站装修中选用绿色建材的直接价值首先体现在室内环境风险的前移控制。车站多为地下空间, 通风组织受限且客流连续, 若涂料、胶黏剂、人造板等释放甲醛和TVOC, 后期即使加强通风也难以在短期内消除, 因此以满

【作者简介】谭幸芸(1992—), 女, 中国四川广安人, 本科, 工程师, 从事市政及城市轨道交通项目施工及施工管理研究。

足绿色产品评价标准的低释放产品作为准入,可与《民用建筑工程室内环境污染控制标准》对材料控制和交付检测形成衔接。其次,绿色建材通常要求对有害物质限量、资源属性等给出可追溯证明,配合统一的绿色产品认证与标识管理要求,有利于在招采阶段通过证书、检测报告与批次核对筛除“同名不同质”材料,降低返工和投诉概率。最后,车站公共区强调耐磨耐污与易清洁,采用高耐磨地材、耐擦洗涂层和耐腐蚀金属饰面等绿色产品体系,可把频繁更换带来的停运维护、垃圾清运与二次污染压缩到可控范围。

4 绿色建材在轨道交通车站装饰装修工程中的选用策略

4.1 以绿色认证与限量指标建立材料准入清单

为把绿色建材选用从口头要求转为可核验的工程条件,轨道交通车站装修宜以绿色认证与限量指标编制材料准入清单并固化验收路径。第一,按涂料、胶黏剂、防水、板材、陶瓷与卫生洁具等分列证据包,要求供方提供绿色产品认证或绿色建材分级认证证书及对应评价标准条目,并把证书编号、有效期、适用范围写入清单,现场以证书原件核对结合公开信息抽查完成筛查,同时对涂料、胶黏剂等执行现行有害物质限量标准的版本与用途复核,避免以废止版本或跨用途报告充当依据^[2]。第二,以燃烧性能作为门槛,墙面、顶棚、地面、隔断与绝热材料按 GB50222 并对应 GB8624 标注最低等级,清单明确需提交型式检验报告、检测机构资质与进场抽检频次,并核对报告覆盖的厚度、密度、基材与背衬构造,构造变化即按新产品送检。第三,合同条款锁定批次一致性与替代规则,写明同一站厅大面材料优先同窑批或同生产批号一次备齐,分批供应须给出色差 ΔE 控制范围、复检与封样比对流程,并规定包装标识、运输防潮与堆放条件,防止补货引入性能波动。第四,进场验收按证书核验、规格外观复核、随机抽检三步执行,胶涂类核对生产日期、储存温度与开封使用时限,板材类核对封边与背封防潮处理,石材类按 GB6566 核对放射性类别,优先 A 类 ($I_{\text{Ra}} \leq 1.0$ 、 $I_{\text{r}} \leq 1.3$),随机取样两份一检一封存;对批量胶涂类可按每 50 桶抽 1 桶送检并留样不少于 90d,同时全程建立入库台账逐项记录批号、检验编号与使用区段。

4.2 按防火分区与人流条件匹配墙顶地绿色材料体系

轨道交通车站公共区绿色建材选用应以防火分区边界与人流磨损强度为主线,把墙、顶、地的燃烧性能、耐久与低排放指标在同一体系内闭合。第一,站厅、站台及疏散通道的顶棚与墙面宜按消防审查口径优先采用 A 级不燃体系,并将板材、龙骨、挂件及嵌缝料作为同一不燃组合控制,节点处限制覆膜与背胶面积,板缝采用不燃嵌缝并在检修口、风口周边设置金属收边,避免火灾时滴落与脱落扩大烟气流负荷。第二,地面材料应按客流分级配置耐磨与可修复单元,闸机口、换乘通道等高磨损带宜选用可单块更换的陶

瓷砖或石材,并把找平砂浆、界面剂与填缝剂纳入绿色产品体系,优先选用符合绿色产品评价要求的装饰装修用预拌砂浆与低气味配套料,施工中采用分仓控制与二次勾缝复检,避免黑缝、空鼓与起砂。第三,湿滑与易污染区不宜以大面积弹性地材代替防滑处理,可按地面防滑技术规程要求匹配 Ad、AW 等等级并在坡道、楼梯踏步增设防滑条与端部收口,墙面在站台边缘、扶梯口等冲撞区宜采用耐擦洗无机涂层或耐污覆面板,配套可拆卸护角与踢脚,收口处预留可更换宽度,并将闸机侧墙下口约 1.2m 范围按耐冲击面层配置,使检修仅更换受损带材而不扩大拆除面。第四,吸声层与吊顶内衬材料应在满足燃烧性能分级前提下选用低纤维脱落、低粉化产品,胶黏剂与密封材料按面积核算用量并统一体系,优先选用符合绿色产品评价标准中有害物质限量要求的涂料、密封与相关辅材,灯具与风口周边采用耐热型收边与固定件减少老化脱落^[3]。

4.3 湿区与设备房采用无机耐久材料并控制防潮界面

轨道交通车站湿区与设备房的绿色选材应把可长期受潮、可反复清洗、可检修追溯作为同一套防潮界面控制来落实。第一,卫生间隔墙、吊顶与检修口基层宜选无石棉纤维水泥板或硅酸钙板等无机板,厚度按构造一般取 6-12mm,板材切边、螺钉孔与开口边框用水泥基封边料封闭,并配耐碱网格带压入找平层,轻钢龙骨及连接件优先选热镀锌或不锈材料且端头补刷防腐封闭层,地面泛水高度范围内取消纸面石膏与木质衬板,避免返潮后粉化、霉斑与异味滞留。第二,墙地面饰面优先采用吸水率低、耐酸碱清洗的瓷砖或致密石材体系,粘结与填缝宜选水泥基或无溶剂型材料,现场以称量方式控制加水比与稠度,铺贴时粘结浆宜满刮并控制空鼓率,砖缝宽度一般控制在 2-4mm 并用低收缩填缝料压实,地漏与墙根周边预留 3-5mm 弹性缝并嵌耐霉密封胶,阴阳角、地漏周边、管根及套管外壁先做附加层再做大面防水,并在面层收口处采用同体系密封胶连续封闭,铺贴完成后至少 24h 内不进行冲洗和浸水试验,以免早期失水导致空鼓与渗水通道。第三,泵房、污水提升间等需耐油污或耐腐蚀时,可选低气味环氧或聚氨酯地坪与耐化学涂层,但材料进场前应核对有害物质限量与固化温湿度条件,墙面涂料按 GB18582-2020 选用对应限值产品。涉及人造板制品时至少满足 E1 级 0.124mg/m³ 控制线,样板段需实测表干、实干、附着力与防滑指标,确认表面硬度与防滑系数满足走行及清洗要求后再大面积铺设。第四,防潮界面以构造闭合为主线,地面找坡、地漏标高与排水坡向先验收,墙面防水上翻不低于 300mm,门槛石与踢脚背面做同体系防水并采用可拆卸压条收口,穿墙套管周边先用无收缩砂浆分层封堵再做柔性附加层,预留二次补强带与检修口,便于运营期定位渗漏点而不大拆。

4.4 主材与辅材成套选用并控制现场湿作业用量

轨道交通车站装饰装修要把绿色建材落到可追溯的材

料体系与可计量的湿作业控制上,主材确定后应同步固化辅材选型与用量边界。第一,项目部在确定地砖、石材、涂料、壁纸或弹性地材等主材后,应在同一体系内同步锁定界面剂、找平砂浆、瓷砖胶、嵌缝料与密封胶,要求供货方提供相容性、耐水性与耐碱性说明及批次检验单,并以批号建立进场台账和样板留存,现场不得以通用胶替代专用底涂,也不得擅自添加稀释剂或外加剂,对墙地交接、卫生间门口、金属线条收口等应先做1:1样板,完成拉拔或剥离检查后再批量展开,同时对材料储存温湿度与开封使用期限做现场标识。第二,湿作业材料宜优先选用预拌干混、水性低气味产品,通过工艺减少用量而不是靠增加厚度补缺陷,基层必须先做找平与顺直验收,腻子宜薄刮多遍,单遍厚度控制约1.0~1.5mm,累计厚度宜控制在3mm内,必要时用修补砂浆局部找补后再批刮,瓷砖薄贴应控制粘结层厚度并使用齿形刮板,搅拌用水按计量桶定量,记录每锅拌合量与可操作时间,超过可使用时间的材料不得二次加水回用,并以领料单核对每日实际用量与损耗。第三,涂料、防水与地坪类湿作业应实行分区分仓施工,限定每道涂布量并按面积核算材料消耗,干燥间隔以实干判定为准并留出裕度,封闭吊顶或封闭房间前完成通风与含湿复核,站内封闭空间禁止连续集中喷涂,宜分时段施工并设置临时隔离与回风封控,作业时段宜控制在5~35℃的可施工温区并避免基层结露^[4]。第四,密封与收口材料应按部位变形能力与水工况选型,伸缩缝、门窗框周边与金属线条拼缝优先选用中性低气味密封胶并配套底涂与背衬棒,槽缝宽深比与背衬压缩量按样板固化,打胶前必须清洁干燥且不得残留粉尘,施胶后按规定养护并及时清理残胶与包装物。

4.5 以样板段和交付检测把控绿色建材的最终效果

绿色建材能否在轨道交通车站装修中形成可交付的低排放空间,关键在于用样板段锁定做法并以交付检测闭环验证。第一,项目应在站厅或站台选择一处典型区段做样板,材料使用拟批量供货的同批次产品,节点覆盖墙顶地交接、风口灯具周边、踢脚护角、门套与玻璃隔断收边、变形缝盖板等,并在联合验收时量化色差、2m靠尺平整度、空鼓率与耐污清洁剂适配性,同时在样板内预留可拆换构造,验证检修与更换路径不破坏基层。第二,样板确认后应把关键工

艺参数写入分项工法卡并挂牌执行,基层含水率宜控制在8%以内,找平层强度与养护龄期按设计与产品说明固化,胶粘剂与填缝剂按称量配比拌和并记录批次,涂饰与密封材料的涂布量、开放时间、打磨除尘与覆盖保护方式一并固化,任何替代材料或工序调整必须先在复样板复核并留存签认^[5]。第三,分区成活后实行封闭保护与通风养护,地面完成区禁止泥水湿作业进入并设置可更换保护层,墙面及吊顶收口处设置防撞护条,胶类与涂料类材料按温湿度设定散味期,并在值班室、检修间等小空间加密换气与复测,避免交叉施工导致再污染与气味滞留。第四,交付前按GB50325-2020完成资料核查与室内环境检测,检测项目覆盖氡、甲醛、氨、苯系物及TVOC等,检测前按规程封闭并保持新风工况一致,点位除公共区外应单列值班室、设备用房,对管理用房颗粒物可参照PM2.5年均不高于35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 且PM10年均不高于70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的要求布点复核,报告需附原始记录与材料绿色认证文件。

5 结语

轨道交通车站装修选用绿色建材,应以防火安全与室内环境控制为底线,把绿色产品评价标准、认证标识、批次一致性与现场验收方法串成一套可执行流程。实践中通过分区选型、主辅材成套约束、样板段固化工艺与交付检测复核,可在不增加过多施工复杂度的前提下稳定材料性能与空间品质。后续项目应持续完善供方交付与备品备件管理,使绿色选材在运营维护阶段保持一致与可追溯。

参考文献

- [1] 孙建坤.绿色建筑材料在铁路站房装修工程中的应用——以常益长铁路常德站站房节能设计为例[J].上海建材, 2025(5):27-29.
- [2] 林俊杰,孙晓芹,闫丹丹.绿色建筑理念下建筑材料选择与工程造价管理研究[J].建筑与装饰, 2025(6):34-36.
- [3] 唐金武.轨道交通公共空间装饰装修的可持续发展技术探析[J].工程建设与设计, 2025(10).
- [4] 苟明中.城市轨道交通绿色建造发展面临的挑战及对策研究[J].现代城市轨道交通, 2025(2):1-5.
- [5] 王健.中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案"六大行动"解读之六:全面绿色转型行动(上)[J].城市轨道交通, 2023(1):36-40.

Analysis of Intelligent Operation and Maintenance Management Models for Municipal Water Supply and Drainage Networks

Fanyi Meng

Yunnan Design Institute Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650100, China

Abstract

Municipal water supply and drainage pipeline network is an important infrastructure for urban operation, and its operational safety and service efficiency are directly related to urban public safety, ecological environment quality, and residents' quality of life. With the continuous expansion of urban scale and the increasing complexity of pipeline systems, the traditional operation and maintenance management mode mainly relying on manual inspection and passive repair has gradually exposed obvious limitations in risk warning, operational efficiency, and resource allocation. The concept of intelligent operation and maintenance provides a realistic path for the transformation from experience driven to data-driven operation and management of municipal water supply and drainage networks by introducing technologies such as the Internet of Things, big data, geographic information systems, and artificial intelligence. This article analyzes the implementation effect of intelligent operation and maintenance mode based on engineering practice, in order to provide theoretical reference and practical guidance for improving the operation and management level of municipal water supply and drainage pipeline network.

Keywords

Municipal water supply and drainage; Pipeline network operation and maintenance; Intelligent management; Information technology platform; Risk control

市政给排水管网智慧化运维管理模式探析

孟繁艺

云南省设计院集团有限公司, 中国·云南 昆明 650100

摘要

市政给排水管网是城市运行的重要基础设施,其运行安全与服务效能直接关系到城市公共安全、生态环境质量及居民生活品质。随着城市规模持续扩展与管网系统日趋复杂,传统以人工巡查和被动抢修为主的运维管理模式在风险预警、运行效率与资源配置等方面逐渐暴露出明显局限。智慧化运维理念通过引入物联网、大数据、地理信息系统及人工智能等技术手段,为市政给排水管网运行管理提供了由经验驱动向数据驱动转型的现实路径。本文结合工程实践对智慧化运维模式的实施效果进行分析,以期对市政给排水管网运维管理水平提升提供理论参考与实践借鉴。

关键词

市政给排水; 管网运维; 智慧化管理; 信息化平台; 风险控制

1 引言

市政给排水管网作为城市基础设施体系的重要组成部分

【基金项目】云南省设计院集团有限公司科技研发项目名称“基于水力模型的污水管网入渗流精细排查技术研究”(项目编号: NS2023036); 云南省住房和城乡建设厅建设领域科学技术计划项目“基于水力模型的污水管网入渗流精细排查技术研究”(项目编号: K00000109)。

【作者简介】孟繁艺(1992—),男,硕士,工程师,从事市政给水、市政排水、水污染治理研究。

分,承担着供水保障、污水收集与雨洪调蓄等多重功能,是维系城市正常运转的“生命线工程”。随着城市化进程不断加快,管网系统呈现出管线里程长、管材类型多、埋设环境复杂及运行工况差异显著等特征,运维管理难度持续加大。尤其是在老城区,早期建设的给排水管网普遍存在资料缺失、结构老化与运行状态不明等问题,给日常管理和应急处置带来较大挑战。

2 市政给排水管网运维管理的特点与挑战

2.1 管网系统结构复杂性对运维管理的影响

市政给排水管网具有明显的系统性和隐蔽性特征,其管线通常分布于城市道路、建筑物及地下综合空间之中,埋深不一、走向复杂,且管材类型和接口形式多样。在长期运

行过程中,管网系统受土体变形、地下水位变化、交通荷载及腐蚀作用等多种因素影响,结构性能呈现出明显的时变特征。这种复杂性决定了运维管理难以通过单一手段实现全面掌控,需要在空间信息、结构状态与运行工况之间建立系统化的认知框架。而给排水管网的运行状态具有显著的动态性^[1-2]。供水管网随用水负荷变化产生压力波动,污水和雨水管网则受降雨、排水调度等因素影响,其水力条件变化频繁。传统静态管理方式难以及时反映这些动态变化,导致隐患识别滞后,增加了运行风险。

2.2 传统运维管理模式的现实局限

在传统管理模式,市政给排水管网运维主要依赖人工巡检和故障报修,管理工作呈现出明显的被动性和碎片化特征。一方面,人工巡检受人员经验、巡查频率和现场条件限制,难以对全管网运行状态形成连续、系统的掌握;另一方面,运维数据多以纸质记录或分散电子表格形式存在,缺乏统一标准和共享机制,信息利用效率较低^[3]。传统模式在决策层面高度依赖经验判断,缺乏对历史数据的系统分析与规律挖掘,维修计划和更新改造往往基于单点问题或突发事件展开,难以实现资源配置的整体优化。这种管理方式在管网规模持续扩大的背景下,容易导致运维成本上升而管理效果并未同步提升。

3 市政给排水管网运维管理的特点与挑战

3.1 市政给排水管网运维管理的系统性与复杂性特征

市政给排水管网作为典型的城市地下基础设施系统,其运维管理具有显著的系统性、隐蔽性与长期性特征。从空间结构上看,给排水管网通常沿城市道路、建筑红线及地下综合管廊布设,管线走向复杂、埋设深度差异较大,且与燃气、电力、通信等多类地下管线交织共存,客观上增加了运行监测和维护作业的难度。从时间维度看,给排水管网具有服役周期长、性能衰减缓慢但累积效应明显的特征,其结构安全与运行状态往往呈现出“渐进劣化—局部失效—突发事件”的演化路径,风险具有较强的隐蔽性和不确定性。在运行工况方面,供水管网受用水负荷波动、水压调控及管材老化等因素影响,易出现漏损、爆管等问题;排水管网则受降雨过程、污水水量变化及沉积物淤积影响,其运行状态具有明显的时变性和空间差异性。这种多因素耦合作用使得管网运行状态难以通过单一指标进行准确表征,运维管理需要在结构状态、水力特性和环境条件等多个维度之间进行综合研判。因此,市政给排水管网运维管理本质上是一项跨专业、多要素耦合的系统工程,对管理模式的整体性和精细化水平提出了较高要求^[4-5]。

3.2 传统运维管理模式面临的现实挑战

受历史条件和管理理念影响,当前市政给排水管网运维管理仍以人工巡查、经验判断和事后维修为主要手段,这种传统模式在管网规模较小、运行环境相对简单的条件下尚可维持基本运行,但在城市快速扩张和系统复杂性持续提升

的背景下,其局限性日益凸显。首先,人工巡检受人员配置、巡查频率和现场条件制约,难以实现对管网运行状态的连续掌握,隐蔽性缺陷和早期异常往往难以及时发现,风险识别具有明显滞后性。其次,运维过程中形成的大量运行数据和维修记录分散在不同部门和系统中,数据标准不统一、共享机制不完善,难以支撑系统化分析和科学决策。在决策层面,传统运维管理高度依赖管理人员的经验积累,维修计划和更新改造往往基于单点问题或突发事件展开,缺乏对管网整体运行规律和风险演化趋势的量化分析,容易导致资源配置效率偏低。同时,在突发事件处置过程中,信息传递链条较长、协同机制不足,影响应急响应的及时性和处置效果。上述问题在一定程度上制约了市政给排水管网运行安全水平的提升,也成为推动运维管理模式向智慧化转型的重要现实动因。

4 市政给排水管网智慧化运维管理模式构建

4.1 智慧化运维管理模式的总体思路

市政给排水管网智慧化运维管理模式的构建,应以提升系统运行安全性与管理精细化水平为核心目标,在充分尊重管网工程属性和运维实际的基础上,实现技术手段与管理机制的协同融合。从总体思路上看,该模式不应局限于单一信息系统建设,而应围绕管网全生命周期运行管理需求,构建覆盖“状态感知—分析研判—决策执行—反馈优化”的闭环管理体系。通过对管网资产、运行工况与运维行为的系统整合,使运维管理由传统的被动响应模式转向以风险预控和主动干预为特征的智慧化模式。在管理逻辑上,智慧化运维强调以数据作为核心生产要素,将分散于不同环节的运行信息进行统一汇聚和关联分析,从而实现了对管网运行状态的整体认知。通过将结构属性、空间位置、水力参数与历史运维记录等信息纳入统一管理框架,可为运维决策提供多维度支撑,避免传统管理中“见点不见面”的局限。同时,该模式注重管理流程的标准化与透明化,通过信息平台将巡检、维修、应急处置等业务活动纳入统一调度体系,提高运维管理的可控性和执行效率。

4.2 智慧化运维管理的运行机制与实施路径

在运行机制层面,市政给排水管网智慧化运维管理模式以多源数据感知为基础,通过动态监测实现对管网运行状态的持续获取。依托传感设备和信息采集手段,实时掌握关键节点的压力、流量、水位等运行参数,并结合地理信息系统实现运行数据与空间信息的关联表达。在此基础上,通过数据分析与模型计算,对运行异常和潜在风险进行识别和评估,为运维决策提供科学依据。在实施路径上,智慧化运维管理需要循序推进、分阶段实施。初期应重点完善管网基础数据和资产信息,夯实数字化管理基础;中期通过引入监测设备和分析工具,逐步实现运行状态的可视化和异常预警;后期则在数据积累和经验反馈的基础上,推动运维决策的智能化和协同化。在这一过程中,管理制度与技术平台需同步

优化,通过明确职责分工、规范业务流程和强化数据应用能力,确保智慧化运维模式能够稳定运行并持续发挥效能。

如图所示,市政给排水管网智慧化运维管理通过构建以数据感知、分析研判和反馈优化为核心的闭环运行机制,实现运维管理由被动响应向主动预控的转变。市政给排水

管网智慧化运维管理模式的构建,是技术进步与管理变革共同作用的结果。只有在充分结合工程实际和管理需求的前提下,形成技术可行、机制顺畅、运行高效的运维管理体系,才能真正实现市政给排水管网运行管理水平的整体提升。

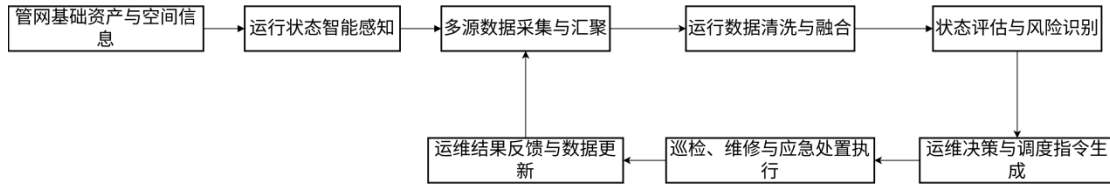


图1 市政给排水管网智慧化运维管理模式流程图

5 市政给排水管网智慧化运维的关键技术支撑

5.1 多源数据感知与管网运行信息融合

在市政给排水管网智慧化运维管理模式中,多源数据感知是实现精细化管理和动态控制的技术基础。相较于传统依赖人工巡查和单一运行参数的管理方式,智慧化运维通过在管网关键节点和敏感区域布设监测设施,实现对运行状态的连续获取和动态更新。这类感知数据不仅包括压力、流量、水位等反映水力运行特征的实时参数,还涵盖管材类型、敷设年代、维修记录及周边环境条件等结构性与属性信息,从而构成对管网系统的多维度描述。在实际运行过程中,不同来源的数据在时间尺度、空间精度和数据格式上存在明显差异,若缺乏有效整合,难以支撑高层次分析与决策。因此,智慧化运维管理强调对多源异构数据的融合处理,通过统一的数据标准和关联规则,将实时监测数据与历史档案数据、空间信息数据进行整合,构建完整的管网运行信息体系。借助信息融合技术,可实现运行状态与结构属性的同步呈现,使管理人员能够从系统整体层面把握管网运行特征,为隐患识别和风险研判奠定数据基础。

5.2 数据驱动下的运维决策与风险预警机制

在数据感知和信息融合的基础上,智慧化运维管理进一步通过数据分析与模型计算,实现运维决策方式的转变。通过对历史运行数据的统计分析和趋势识别,可揭示管网漏损、淤积和结构劣化等问题的演化规律,为运维策略制定提供定量依据。相较于传统依赖经验判断的方式,这种数据驱动的决策机制在准确性和可追溯性方面具有明显优势,有助于提升运维管理的科学性和稳定性。风险预警机制是智慧化运维管理的重要组成部分,其核心在于通过设定合理的运行阈值和判别规则,对异常状态进行自动识别和分级响应。当监测数据出现超限或异常变化趋势时,系统可及时触发预警信息,并结合空间位置和影响范围,对潜在风险进行综合评估。这种前置化的风险识别机制,使运维管理由事后处置转向事前防控,有效降低突发事件发生概率。

在实际应用中,数据驱动的运维决策与风险预警机制需依托多维度模型工具实现精准落地。例如,针对管网漏损问题,

可构建基于水力模型与机器学习的漏损预测模型:先利用管网拓扑结构、压力监测数据、历史漏点记录等多源信息训练模型,使模型能够识别压力波动、流量异常等与漏损相关的特征模式;当实时监测到某管段流量偏离水力模型预测值超过设定阈值时,系统自动标记该区域为漏损高风险区,并推送包含疑似漏点位置、漏损程度预估、影响用户范围的决策建议,指导运维人员优先开展精准排查。对于管网淤积风险,可结合流量监测数据、管道材质与使用年限、历史清淤记录等,建立淤积程度评估模型,通过分析流速变化趋势、管道摩阻系数异常等指标,预测淤积发展阶段——若模型判定某管段淤积度接近影响排水能力的临界值,系统会自动生成清淤工单,明确作业时间窗口与所需设备,并同步关联该管段周边的排水需求数据,确保清淤作业不影响高峰期排水。

6 结语

市政给排水管网智慧化运维管理是应对城市管网系统复杂化和运行风险增大的必然选择。通过构建以数据感知、智能分析和协同处置为核心的运维管理模式,可有效提升管网运行的可控性和安全性。本文从理论和实践两个层面对智慧化运维管理模式进行了系统分析,认为其在提升风险预警能力、优化资源配置和推动管理模式转型方面具有显著优势。未来,应进一步加强技术与管理制度深度融合,完善数据标准体系和运维机制,为市政给排水管网高质量运行提供持续支撑。

参考文献

- [1] 高巍,张侃.圆形工作井倒挂井壁施工工艺优化与质量控制研究[J].工程技术研究,2025,10(14):23-25.
- [2] 吴岗,付艳斌,赵鹏.复杂环境中高地下水水位区深基坑倒挂井壁逆作法技术[J].建筑结构,2023,53(S2):2531-2535.
- [3] 荆森.倒挂井壁法在顶管工作井中的应用[J].陕西水利,2024,(11):141-143+146.
- [4] 高巍,张超.竖井倒挂井壁施工对其周边土体及管线影响规律研究[J].工程机械与维修,2025,(07):107-109.
- [5] 张凡孟,王志进,朱庆波.混凝土倒挂井在深厚淤泥质土中的应用[J].中国市政工程,2022,(02):52-55+108.

The Basic Safety Management Standard and Implementation Points of the Museum's Cultural Relics Warehouse

Guanqi Wang

Henan Museum, Zhengzhou, Henan, 730050, China

Abstract

As the core facility for museum operations, cultural relic storage rooms play a pivotal role in artifact preservation and cultural heritage transmission. Their fundamental safety management directly impacts the longevity of cultural relics and the continuity of cultural traditions, constituting a core mission for museums. This study examines the unique characteristics of museum storage rooms, elucidates the essence and value of foundational safety management, and identifies key challenges in implementing current safety protocols. By focusing on four critical dimensions—environmental safety, security measures, artifact conservation, and institutional development—the research establishes standardized safety management guidelines and actionable implementation strategies. The comprehensive approach aims to build a full-process safety control system, develop targeted optimization plans, and provide practical references and theoretical guidance for museums to standardize storage room safety management, mitigate risks, safeguard cultural relics, and preserve China's outstanding traditional culture.

Keywords

Museum; Cultural relics storage; Basic safety management; Safety regulations; Cultural relics protection; Security prevention and control

博物馆文物库房基础安全管理规范与实施要点

王冠琦

河南博物院，中国·河南 郑州 730050

摘要

文物库房是博物馆开展文物收藏、保管和保护工作的核心场地，基础安全管理直接关联文物存续和文化遗产，是博物馆履行职能的核心任务。本文立足博物馆文物库房多样、特殊的属性，解析文物库房基础安全管理的核心内涵和核心价值，排查当前安全管理规范落地实施中的突出问题，围绕环境安全、安防防控、文物管护、制度建设四个层面，敲定基础安全管理规范和实操实施要点，打造全流程安全管控体系，制定靶向优化方案，为博物馆规范文物库房基础安全管理、防范安全风险、保障文物安全、传承中华优秀传统文化提供实践参照和理论指引。

关键词

博物馆；文物库房；基础安全管理；安全规范；文物保护；安防防控

1 引言

文物是承载历史记忆、接续文化根脉的宝贵遗产，博物馆文物库房为文物保存核心载体，基础安全管理是文物保护工作的头等大事。和普通仓储比，文物库房要顾及文物材质脆弱易受损的特质，应对环境、人为、自然等多样安全风险，现在一些博物馆存在安全管理规范有漏洞、落实不彻底等问题，文物安全风险凸显。全面梳理文物库房基础安全管理规范与实施要点，为筑牢文物安全防线、守护文化遗产发挥重要现实价值。

2 博物馆文物库房基础安全管理核心内涵与核心价值

博物馆文物库房基础安全管理，覆盖文物保存所有环节，依照文物保护法律法规和行业标准，搭建全覆盖、多层面的安全管控体系，化解各类安全风险，保障文物实体安全和完整的管控工作。核心覆盖环境管控、安防防控、文物管护、制度执行四个维度，核心为兼顾“防护”与“保护”，需防范人为破坏、盗窃、火灾等显性风险，还应预防温湿度失衡、虫害霉变等隐性损害，契合不同材质文物的多样化保存需求^[1]。

文物库房基础安全管理的核心意义，核心为守护文化遗产、执行博物馆公益职能。从文化传承角度，合规安全管理能有效拉长文物保存时长，防止文物因安全隐患出现损坏、遗失，让历史文化遗产永久留存，为学术研究、文化传

【作者简介】王冠琦（1981—），男，中国河南郑州人，本科，馆员，从事博物馆安全防范研究。

播供给实物载体；从行业发展角度，搭建好健全的安全管理体系，是博物馆规范运营的核心基础，是强化博物馆履职本领、筑牢行业信任根基的关键支撑。和普通仓储安全管理比，文物库房安全管理特殊性更突出，要同步兼顾科学性和精细化，要依照通用安全管理原则，结合文物特性制定差异化管控措施，统筹推进安全防控和文物保护。

3 博物馆文物库房基础安全管理现状及突出问题

3.1 安全管理规范不健全，适配性不足

部分博物馆未结合自有文物库房规模、文物材质特点，直接沿用通用仓储安全管理规范，没有针对性地专项管理细则，难以契合不同材质文物的差异化安全要求。例如，未给书画、纺织品这类易受潮易霉变文物制定专项防潮防霉规范，未制定针对金属文物的防锈蚀安全标准，造成安全管理无章可循。部分规范更新滞后，未契合最新文物保护法律法规和行业标准，跟不上文物库房安全管理新形势、新需求，难以应对新型安全风险^[2]。

3.2 环境安全管控不到位，隐性损害突出

环境因素是引发文物损伤的主要隐蔽风险，现在部分博物馆文物库房缺少科学的环境管控体系，温湿度、光照、空气质量等核心指标管控未达标。例如，未装设精准的温湿度调控设备，或设备运维管理疏漏，引发库房温湿度剧烈波动，诱发书画发霉、陶瓷开裂、金属生锈；未采用有效避光防紫外线防护措施，长时间光照造成文物褪色、老化；未按要求管控库房空气指标，灰尘、有害气体超标，加深文物破损。

3.3 安防防控体系不完善，风险防范能力薄弱

安防防控是文物库房基础安全管理的关键环节，部分博物馆安防设施配备不足、技术水准偏低。例如，中小型博物馆未设置全覆盖的视频监控系统，监控未覆盖的点位多，缺失智能预警功能，无法及时发现盗窃、人为破坏等行为；门禁管控有疏漏，人员出入库房未做规范登记、核查，非相关人员可自由进入；防火防盗防破坏设施老旧，未按期检修更换，起不到有效防控作用。安防防控和文物管护衔接脱节，没有跨主体协同处置机制，无法快速处置突发安全事件。

3.4 文物管护流程不规范，人为风险突出

文物入库、出库、整理、修复等全流程管护操作不规范，易发生人为损坏、遗失等安全隐患，部分博物馆文物入库前未做全面安全检测和登记。文物信息缺失、标识模糊，没法做到精准管护；文物出库、借阅未严格落实审批流程，缺少规范的交接手续，文物易遗失、损坏；在文物整理修复阶段，施工人员操作不达标，未采用有效防护措施，造成文物损坏^[3]。

4 博物馆文物库房基础安全管理核心规范

4.1 环境安全管理规范

核心为创建稳定、适宜的文物保存环境，避免环境

因素造成文物损坏。需按文物材质差异设定温湿度管控标准，书画、纺织品库房温湿度须控制在18-22℃，相对湿度50%—60%，适度放宽陶瓷、金属文物库房温湿度要求，防止温湿度单日波动过大。光照管控要严控紫外线照射，库房禁止自然光直射，采用无紫外线光源，光照强度≤50lx，存放珍贵书画、丝织品的库房，光照强度≤30lx。管控空气质量需定期检测库房内二氧化硫、氮氧化物等有害气体含量，符合行业标准，同步开展防尘处置，按期清扫库房，阻挡灰尘附着文物，需出台环境监测规范，按期记录环境指标，守住环境安全可控底线。

4.2 安防防控管理规范

关键是建成“人防+物防+技防”三位一体安防体系，排查人为破坏、盗窃、火灾等显性风险。人防规范要求配齐足量专业安保人员，执行24小时值班值守机制，明确值守岗位权责，定时实施安防巡检，重点检查库房门窗、安防设施、文物存放等环节的安全漏洞。物防相关规范规定，库房要采用可防火、防盗、防破坏的专用建材，门窗配装防盗锁、防护栏，做好库房地面、墙面的防潮、防火处理，配齐足量防火、灭火器材，器材要定期检修更换，技防规范要求配备全覆盖的视频监控系统、智能门禁系统、入侵报警系统，监控录像留存时长不低于90天，门禁系统采用分级授权管理模式，安保值班室联动入侵报警系统，保障突发情况即刻处理。

4.3 文物管护操作规范

核心是规范文物入库、出库、存放、整理、修复等全流程操作，防范人为损毁、丢失风险，文物入库前要做全面检测、登记，详实记录文物名称、材质、规格、完好状况等信息，粘贴唯一标识，多方核查确认后入库；文物存储要按材质、规格、保存要求分类存放，采用专用存储设备，杜绝混放、挤压、碰撞，珍贵文物单独存放、重点管理。文物出库、借阅必须严格走审批流程，敲定出库用途、借阅期限，办好全套交接程序，实现文物溯源管理^[4]。

4.4 安全管理制度规范

关键是搭建好健全的长期管理框架，落实安全管理规范执行。应建立安全生产责任制，划定各级管理人员、安保人员、管护人员的岗位职责，把安全管理责任落实到具体个人；制定安全隐患排查整治制度，定期实施全面核查，造册隐患记录，明确整改责任人、对应整改措施、具体整改期限，落实隐患闭环管理；搭建应急处置机制，处置火灾、盗窃、文物受损、环境异常等突发情形，制定专项应急应对方案，明确处置步骤、责任分工，按期组织应急演练；搭建培训考核体系，按期组织文物保护、安全管理、操作规范专项培训，实施常规性考核，强化人员专业能力和履职水准。

5 博物馆文物库房基础安全管理实施要点及优化策略

5.1 细化环境安全管控实施要点，防范隐性风险

一是精准搭配环境调控设备，参照库房规模、文物材

质属性,配置温湿度调控仪、除湿机、加湿器、空气净化器等设备,设立设备日常运维长效机制,按期检修调试,维持设备稳定运行,精准把控环境参数。二是构建环境动态监测机制,选用智能监测设备,实时获取温湿度、光照、空气质量等指标,实时传输数据到管理平台,指标超出标准自动报警,迅速落实调控措施。三是筑牢专项环境防线,面向潮湿地区库房,增设防潮层、配置除湿设备,按时对库房进行通风;聚焦干燥地区库房,做好保湿管控工作,阻拦文物干裂;针对易发霉、易遭虫蛀文物,采取物理防蛀防霉手段,禁止使用有害化学药剂。

5.2 强化安防防控体系实施要点,提升防控能力

一是调整安防设施布局,结合库房安全风险等级,更新技防设施,引入智能安防系统,把视频监控、入侵报警、门禁管理联动起来管控,清除监控死角;定时对安防设施检修、校准,保障设施性能达标。二是规整人防值守和巡查,敲定巡查路线、巡查频次、巡查要点,实施巡查台账制度,杜绝漏查、巡查敷衍;抓实安保人员专业培训,增强安防巡查、应急处置实力。三是优化安防联动机制,深化库房安保和博物馆整体安防的协同联动,按期组织安防演练,强化盗窃、火灾等突发状况的联合处置能力,保障突发情况快速应对、有效处理。

5.3 规范文物管护全流程实施要点,防范人为风险

一是打造文物精准管护体系,补全文物信息台账,靠信息化技术实现文物信息全程可查,按时开展文物盘查,统计文物数量,核验完好状态,保证文物账目与实物一致。二是规范存放管控,按照文物材质、规格、保存要求,选用匹配的存放柜、存放架,珍贵文物由独立保险柜存放,设置存放标识,杜绝混放、错放;按期核查文物存放状态,及时变更存放形式,规避挤压、碰撞、受潮等隐患。三是严格执行入库、出库审批与交接程序,明确各环节核查职责,杜绝违规入库、出库操作,保障文物交接合规、可追踪;规范文物整理修复动作,禁止非专业人员进行修复作业,操作各环节全程留痕,保障操作台规^[9]。

5.4 完善制度体系实施要点,强化执行力度

一是细化专项管理条款,结合博物馆实际状况,优化安全管理细则,新增差异化文物保护规范,保障制度适配好用;及时修订管理制度,符合最新文物保护法律法规和行业标准,契合安全管理新形势、新诉求。二是夯实安全管理责任,界定各级人员岗位职责,签署安全管理责任书,把安全

管理成效和岗位绩效绑定,构建“人人有责、层层落实”的管理体系。三是抓实制度执行督查,构建长期监督机制,按期检查制度落实情况,对违规操作、敷衍履职等行为追责到底,不让制度走样落空;搭建制度执行复盘机制,按期梳理管理经验,调整制度与实施步骤。

5.5 强化人才支撑,提升管理专业化水平

一是组建复合型人才队伍,扩充人才引进规模,重点招录同时具备文物保护、安全管理、信息化技术能力的复合型人才;与高校、科研机构合作,开展定点培养,派送专业人才,补充管理梯队。二是落实常态化专项培训,结合管理规范及实施要点,定期开展文物保护知识、安全管理技能、操作规范、应急处置相关培训,邀约行业专家现场授课,增强管理人员专业能力和责任意识。三是优化人才考核激励机制,搭建量化考核标准,把专业能力、履职情况、安全管理成效纳入考核,给表现优秀的人员发放奖励,培训整改未达标人员,推动人才精进专业能力,提升工作进取心。

6 结语

做好博物馆文物库房基础安全管理,是守护文化遗产、履行博物馆公益职能的关键手段,规范执行和高效落地直接关系到文物安全和文化遗产。本文解读文物库房基础安全管理的核心内容与意义,点明当前管理存在的规范有漏洞、管控不到位、人才紧缺等问题,敲定环境安全、安防防控、文物管护、制度建设四大维度的核心规范。通过细化环境管控、强化安防联动、规范管护流程、完善制度体系、强化人才支撑等实施要点及优化策略推进,才能切实推进安全管理规范落实,做细做实管理工作。研究成果可为博物馆文物库房基础安全管理实操提供参考,配合加固文物安全防护墙,助力文物保护事业高质量发展。

参考文献

- [1] 刘佳.解析当前博物馆文物安全管理风险问题及完善措施[J].艺术品鉴,2021,(27):135-136.
- [2] 赵毅.文物库房管理工作关键点分析——以重庆特园民主党派历史陈列馆为例[J].文物鉴定与鉴赏,2021,(16):155-157.
- [3] 王新夏.博物馆文物库房管理工作的思路分析[J].艺术品鉴,2021,(23):141-142.
- [4] 李文星.博物馆文物库房管理实践与探究[J].炎黄地理,2021,(05):44-46.
- [5] 张宇.论博物馆文物修复室和藏品库房的消防管理[J].智能建筑,2020,(12):10-13.

Study on Planning and Optimization of Intelligent Urbanization Infrastructure Enhancement Project by

Junjie Shao

Anhui Yunling Jian'an Technology Co., Ltd., Xuancheng, Anhui, 245300, China

Abstract

After intelligent urbanization enters the stage of improving existing infrastructure quality, the infrastructure enhancement project no longer focuses on expansion but rather on the needs of population concentration, industrial transformation, and risk prevention and control. It involves group renovation and supplementation of water supply and drainage, gas heating, road transportation, public service facilities, and disaster prevention systems, forming implementable engineering packages by area. The study combines tasks such as underground pipeline renovation, flood control and drainage, and public service deficiencies addressed in China's urban renewal initiatives and new urbanization implementation documents. Drawing on experience in project site visits, capacity calculations, and scheme comparisons, it proposes key points for planning organization and optimization.

Keywords

Smart urbanization; Infrastructure upgrading project; Planning; Optimization; Research

智能型城镇化基础设施提升工程规划与优化研究

邵俊杰

安徽云岭建安科技有限公司, 中国·安徽 宣城 245300

摘要

智能型城镇化进入存量提质阶段后, 基础设施提升工程不再以扩张为主, 而是围绕人口集聚、产业转型和风险控制需求, 对供水排水、燃气供热、道路交通、公共服务配套与防灾系统开展成组改造与增补, 并以片区为单元形成可实施工程包。研究结合中国城市更新行动、新型城镇化实施文件提出的地下管网改造、防洪排涝、公共服务补短板等任务, 吸收项目踏勘、容量核算与方案比选经验, 提出规划组织与优化要点。

关键词

智能型城镇化; 基础设施提升工程; 规划; 优化; 研究

1 引言

中国城镇化从增量建设转向存量更新后, 老化管网、内涝易发、交通微循环不畅与公共服务不均衡等问题集中暴露, 单项维修难以形成整体改进。智能型城镇化强调以人的日常使用体验为尺度, 把基础设施作为承载产业与生活的底盘, 通过工程化手段实现安全、便捷与可持续供给。同时智能型城镇化基础设施提升工程是助推区域均衡发展、加快新型城镇化进程、实现经济高质量发展的重要抓手, 对于打破市场割裂、深化分工协作、促进资源要素空间流动及优化配置具有重要作用^[1]。有鉴于此, 本文在梳理相关政策与研究的基础上, 聚焦提升工程的规划组织和优化方法, 给出可在

地方落地的做法。

2 智能型城镇化基础设施提升工程规划

2.1 片区问题清单与容量边界

智能型城镇化基础设施中片区尺度的基础设施提升规划应先把问题清单与容量边界落到可复核的底账上。第一, 规划人员以道路分段、管网分区、设施点位三张底图组织普查, 收集竣工图与运维台账后到现场逐井逐段核对, 针对渗漏、塌陷、低洼点与瓶颈口径优先布置 10% 抽样试开挖或开孔探查, 记录管材、覆土、接口状态与周边荷载; 对疑似漏损段实施试压或闭水段试验, 按影响范围与抢修难度给出 A、B、C 三级标识, 并用坐标标注处置建议, 形成可直接转化为工程量清单的缺陷库。第二, 规划人员按常住人口、产业用地与建设强度变化核算供水、污水、雨水与交通容量, 供水以典型日均值叠加 1.2 至 1.4 弹性系数并复核末端服务压力, 污水按最高日最高时系数校核并计入 10% 至 15% 地下水入渗, 雨水同时采用常遇暴雨与校核暴雨两套汇水面积

【作者简介】邵俊杰 (1985—), 男, 中国安徽宣城人, 本科, 工程师, 从事建筑工程类Bim技术与装配式建筑的结合与发展 (实现智能化建筑体系的发展规划), 关于智能型城镇化建设的发展规划研究。

与径流系数,交通以早晚高峰小时流量与路口饱和度复核,计算表中列明取值来源、口径与允许偏差,并区分可通过清淤修复释放的余量与必须扩容的硬缺口。第三,规划人员把红线、蓝线、燃气保护范围、既有管廊及应急通道宽度叠加到同一控制图层,明确不可占压区、需保通区与可迁改区的边界,提前给出临时保通便道宽度、过街管线顶管或开挖窗口,以及夜间施工噪声与扬尘控制条件,作为任务书的刚性约束。第四,规划人员按系统关联拆分工程包,优先选择能同步消除倒坡积水与污水溢流的关键节点,将道路开挖、管线迁改、井室改造与恢复结构层纳入同一包内,明确分期边界、导改路网与小区出入口保障做法,并逐包列出征拆完成、迁改批复、材料到场与交通许可等前置条件^[2]。

2.2 分级网络与标准断面

智能型城镇化基础设施提升工程规划阶段应先把道路与市政管线按功能分级并固化标准断面,使后续分期建设在同一坐标与容量边界内推进。第一,道路网络以交通调查、流量资料和事故多发点复核为依据,先划分快速路、主干路、次干路、支路的服务对象与通行控制方式,再给出可落地的最小断面组合,例如主干路宜预留双向4至6车道的拓宽条件,非机动车有效宽度不小于2.5m,人行道宜按1.5m通行带加0.5m设施带核算,交叉口同步校核渠化长度与左转储车长度,储车段宜按80至120m控制并与公交港湾、消防转弯半径一并复核。第二,给水、排水与燃气按源头到末端建立干支层级,规划图上需明确干线口径、支线服务边界和末端消能或排放去向,雨污系统在汇水分区内先定分流或截流路线,再按片区峰值负荷选择管径与坡度,干管宜留10%至20%余量并预留阀门井、检查井检修作业面,管线交叉处提前标注净距与可施工的翻越方案,避免后期频繁改线。第三,以居住组团和公共服务设施核算服务半径,生活圈宜按15分钟慢行可达组织步行与骑行主通道,尺度可按800至1000m校核边界,并把学校、卫生站、养老、垃圾转运等设施优先落在次干路或支路节点,路径尽量不跨越封闭快速路、铁路或大河等阻隔要素,同时在高风险路口设置过街节点与慢行绕行线,保证连续到达。第四,道路与河道两侧划定设施走廊并写明横穿、合建与迁改原则,规划阶段锁定管线集中敷设的适用路段,明确保留廊道宽度、覆土控制和跨越结构条件,遇到管线密集区可提出综合管廊或集中沟槽的分段实施范围,并对分期接口、预留管位和临时导改路权作出图示化约束。

2.3 投资分档与实施时序

为使智能型城镇化基础设施提升规划可直接落入年度实施清单,需把投资分档与施工时序在方案阶段同步固化。第一,建立风险优先的分档规则,首档锁定燃气管龄超过20年且泄漏报修频次高于2次/公里·年的路段、年最大积水深度超过0.30米的内涝片区、桥涵裂缝宽度大于0.20毫

米或冲刷空鼓的构造物,以及供水主管夜间最小压力低于0.18MPa且服务人口集中的薄弱段,并以管龄、事故记录、淹没范围与供水半径形成触发阈值,次档项目明确最低保底投入比例与停缓条件,防止长期只做零散维修。第二,把提升工程与城市更新、老旧小区改造、道路大修、河道整治按走廊对齐,先完成干线走向与断面红线复核,再按先地下后地上、先干线后支线的逻辑排出工序链,对雨污分流改造区优先与道路基层同步实施,招标前完成给水、排水、燃气、电力等综合管线平衡和接口责任界面,确保同一道路一年内不重复开挖。第三,在方案中列明施工窗口与交通组织边界,学校与医院周边优先安排寒暑假或夜间短窗,商业区采用半幅导行与分段封闭,明确围挡长度、临时便道宽度与公交改线节点,同时把夜间噪声限值、照明布置、洒水频次和渣土外运路线写入图纸条件,并将占掘审批顺序与交警协同时间纳入节点计划^[3]。第四,对征收、迁改与临时用地做前期测算,提前识别通信、电力杆线、燃气调压站等卡点,形成可替代的线路或断面备选并明确触发启用条件,关键材料如球墨铸铁管、阀门和伸缩节按采购周期分解到月,结合到货节奏组织分区穿插施工,保证进场后连续作业面不断。

3 智能型城镇化基础设施提升工程优化

3.1 老旧管网更新与排水通道校正

在城市更新背景下,老旧管网更新与排水通道校正应以风险区段为主线,按现状核实、分段切换、分流整治与快速恢复四步闭合推进。第一,开工前由项目负责人组织探测与点位复核,对疑似漏损、沉陷及材质不明段布置试坑和20至30m样段,复测管径、接口、覆土与荷载类型,并在交叉口核对净距、管底标高与既有基础范围,必要时通过局部加深或抬升避让重载区,同时预留防护套管位置,确保后续开挖不反复改线。第二,供水与燃气更新采用分段切换,先在邻近道路或绿化带敷设临时旁通,分区关闭阀门后完成试压与冲洗并留存记录,再切换运行,切换窗口以2至4小时为宜,现场配置应急供水车与临时供气点,随后对原管实施更换、内衬修复或局部加固,切口两端设置隔离与泄放点,恢复后做分段复压和接口复检,避免渗漏引发二次开挖^[4]。第三,排水系统以错接混接逐支管排查为抓手,采用分区封堵与逐井放水观察,优先纠正污水入雨、雨水入污两类通病,对低洼汇水区补齐溢流通道或设置小型调蓄池,并对泵站出水口顺坡改线,确保雨季从汇水口到外排口的路径连续且无倒坡,分流完成后复核污水厂和提升泵站的接纳余量,必要时同步整治入河排口与护岸。第四,施工组织与路面恢复同步,沟槽开挖后当日分层回填压实,管侧与管顶采用细粒料分层夯实,管顶以上0.5m范围控制硬块粒径,含水率控制在最佳值±2%,井周沿井室中心对称补夯且回填宽度不小于0.4m,同时设置临时排水与沉降观测点,分段铺装时为

道路结构层修复预留厚度,减少沉降带。

3.2 道路断面微调与节点疏解

以既有路网条件为约束,道路断面微调与节点疏解应把空间再分配做成可核验的施工清单。第一,针对拥堵与事故叠加路段,项目组应复核车道功能与路侧带构成,清退占用人行道的台阶、摊点和私设隔离桩,再以路缘石内移、压缩过宽机非分隔与非必要绿化带方式回收横断面,恢复连续通行面,并同步校核雨水口、检查井与路缘石标高,避免改造后形成积水点。人行道按一般最小宽度2.0m、常用值3.0m控制连续通行,在改线处补齐盲道衔接与无障碍坡道并消除高差。第二,交叉口以渠化先行、相位匹配为原则,利用早晚高峰15分钟流量核算转向比例与排队长度,明确进口道分配与导流岛位置,增设右转专用道或提前导向段,掉头口与人行横道保持可观察净距并设置导向标线,行人采用二次过街安全岛组织,学校与医院出入口设置护行等待区并控制路侧临停范围。第三,公交与慢行在站点半径内成套整改,主干路宜采用港湾式停靠,浅港湾减速段12至15m、加速段20至25m,拓展车道宽度宜取3.5m且不小于3.0m,站台通道宽度不小于2.0m,同步完善过街、遮雨与候车边界。慢行路径应连续穿越桥下与隧道口,非机动车道按不小于2.5m组织,停车分区划线并限位,严控侵入视距三角区。第四,停车与装卸采用分时加近端集中的组合,商业街区划设短时卸货位与落客带并明确夜间装卸窗口,居住区以消防通道禁停边界和临时落客区组织停靠,配合路内泊位总量控制与收费周转管理,并与公交站和交叉口保持必要缓冲距离,减少占道停放对视距与通行的干扰。

3.3 防涝体系与韧性空间耦合

为实现极端降雨下积水可预判、可排出、可绕行,防涝体系需与片区韧性空间在同一汇水单元内联动闭合。第一,在易涝片区按0.2~1.0km²划分汇水单元,复核路拱与纵坡并量化边沟断面过水能力,优先整改反坡、断坡和路缘石缺口不足,雨水口宜落在最低点且顶面标高较路面低10~20mm,主干路雨水口间距可按25~50m控制,交叉口与下凹区加密并按1.5~2.0安全系数附加数量,同步校核并算开孔率与支管坡度,必要时增设截水沟或侧向导水槽,避免

长距离漫流并降低路面积水深度。第二,在公园绿地、操场和停车场布设可临时蓄滞的下凹空间,常态按活动承载确定下凹深度0.15~0.30m,并以每公顷300~500m³的蓄滞量校核可用容积,配置透水铺装、植草沟与雨水花园,溢流口高程与市政雨水干管起点标高联算,形成小雨就地渗排与大雨溢流外排的两级通道;对渗透系数偏低地块采用30~50cm级配砂砾换填或掺砂改良,并预留检修口、沉砂井与冲洗通道,保证日常不积泥。第三,外排通道与河道整治同步,清理阻水构筑物并整修岸坡跌坎,闸涵进出水断面按设计暴雨重现期复核,泵站按扬程、格栅通水能力及管路损失重新核算,出水口设置止回与防倒灌设施并与高潮位校核,使中心城区退水时间控制在1~3h范围内。第四,应急通行纳入细部构造,重要道路预留可拆式挡水设施与临时排水槽固定点,桥下通道与地道口设置快速封闭点位、绕行导向与高程警示,片区配置应急取水点、抽排接口、物资堆放场地及到达路线清单,保证抢险车辆可在30min内进入作业面并完成首轮排涝布置^[5]。

4 结语

智能型城镇化基础设施提升工程的难点不在概念包装,而在于把复杂的存量问题拆解为可计算、可分期、可施工的方案组合。本文从片区边界、成网结构和实施时序提出规划要点,并从管网、道路与防涝三个方向给出优化方法。下一步研究宜进一步细化不同城市规模与地貌条件下的参数取值与方案适配规则,以提高工程落地的一致性与可复制性。

参考文献

- [1] 郭树华,王紫嫣,梁甜,等.新型基础设施建设投入效率研究[J].工业技术经济,2023,42(6):142-149.
- [2] 匡云南.新型城镇化下绿色基础设施规划研究[J].International Architecture,2024,6(2).DOI:10.37155/2661-4669-0602-11.
- [3] 李雪,袁春燕,刘樑.资源型城市乡村振兴与新型城镇化协调发展提升路径研究[J].河南工业大学学报(社会科学版),2025(4).
- [4] 李政.新型城镇化背景下城市基建工程技术创新研究[J].城市开发,2025(20):37-39.
- [5] 路轩,张亮.城市化进程中的基础设施升级与优化[J].新型城镇化,2024(5).

Research on Seismic Design and Seismic Isolation System Optimization of Highway Bridges in High-Intensity Earthquake Zones in Mountainous Areas

Qiqi Wen

Chongqing Luwei Civil Engineering Design Co., Ltd., Chongqing, 400060, China

Abstract

In mountainous regions with high seismic intensity, the significant terrain undulation, complex geological conditions, and pronounced spatial non-uniformity of ground motion pose more severe safety challenges for highway bridges under seismic action. Traditional seismic design methods, which primarily focus on enhancing component strength and ductility, often encounter issues such as unclear stress paths, concentrated seismic energy release, and difficult-to-control structural damage in complex mountainous bridge structures. Seismic isolation technology, by introducing flexible and energy-dissipating units into the structural system, effectively isolates and dissipates seismic energy, serving as a crucial technical approach to improving bridge seismic performance. This paper proposes targeted optimization strategies from aspects such as isolation device selection, structural overall coordination, parameter configuration, and detailed construction, aiming to provide theoretical foundations and technical references for the safe design and engineering practice of highway bridges in high-intensity seismic mountainous areas.

Keywords

Mountain bridges; High intensity earthquake zone; Seismic design; Isolation system; Structural optimization

山区高烈度地震区公路桥梁抗震设计与隔震体系优化研究

文祺琦

重庆路威土木工程设计有限公司, 中国 · 重庆 400060

摘要

山区高烈度地震区由于地形起伏大、地质条件复杂、地震动空间非一致性显著,公路桥梁在地震作用下面临更为严峻的安全挑战。传统以构件强度和延性提升为核心的抗震设计方法,在复杂山区桥梁结构中往往存在受力路径不清晰、地震能量集中释放以及结构损伤难以控制等问题。隔震技术通过在结构体系中引入柔性耗能单元,实现地震能量的有效隔离与耗散,已成为提升桥梁抗震性能的重要技术途径。本文从隔震装置选型、结构整体协同、参数配置及构造细化等方面提出针对性优化策略,以期对山区高烈度地震区公路桥梁的安全设计与工程实践提供理论依据和技术参考。

关键词

山区桥梁; 高烈度地震区; 抗震设计; 隔震体系; 结构优化

1 引言

随着我国西部山区交通基础设施建设的持续推进,大量公路桥梁不可避免地分布于高烈度地震区。这类桥梁通常跨越深切河谷、陡峭山坡或活动断裂带,结构形式复杂、桥墩高度差异大、地基条件不均匀,在强震作用下极易产生不利的动力响应。历次强震灾害表明,山区桥梁一旦发生严重破坏,不仅修复难度大、恢复周期长,还可能对区域交通与应急救援体系造成长期影响。因此,针对山区高烈度地震区桥梁开展系统性的抗震设计与技术优化研究,具有显著的工

程实践意义。

2 山区高烈度地震区公路桥梁的抗震特点与设计挑战

2.1 山区桥梁地震作用特征及其对结构响应的影响

山区高烈度地震区受复杂地形地貌与地质构造条件的共同作用,其地震动特征相较于平原地区表现出显著差异^[1-2]。一方面,峡谷、陡坡及不规则地形容易引发地震波的反射、折射与能量聚集效应,使桥位处地震动峰值加速度及反应谱特性产生放大,尤其在中长周期范围内更为明显;另一方面,山区桥梁沿线路径较长,不同桥墩所处场地条件差异显著,地震动输入在幅值、频谱及相位上呈现出明显的空间非一致性特征。这种非一致地震作用易在桥梁结构中

【作者简介】文祺琦(1982—),男,中国江苏常熟人,本科,副高级工程师,从事桥梁设计研究。

诱发附加内力和扭转效应，显著放大结构动力响应的不确定性。

从结构特征看，山区公路桥梁多采用高墩、大跨或连续体系形式，桥墩高度差大、结构柔性显著，上部结构质量分布不均，在强震作用下易产生较大的位移需求与惯性力放大效应。当结构自振周期与场地地震动主导周期接近时，易发生动力放大现象，导致桥墩底部弯矩需求急剧增加，塑性损伤集中出现。此外，山区桥梁基础条件复杂，部分桥墩位于坡积层、断裂破碎带或软弱夹层之上，地震作用下地基—结构相互作用效应明显，进一步加剧结构受力与变形的不均匀性。这些因素共同决定了山区高烈度地震区桥梁抗震问题具有多源耦合、响应复杂和破坏模式不确定等突出特点。

2.2 传统抗震设计思路在山区桥梁中的适用性不足

现行桥梁抗震设计多以构件延性耗能和承载力储备为核心，通过“强柱弱梁”“延性设计”等理念，允许结构在强震作用下进入受控的塑性工作状态。然而在山区高烈度地震区，这种以构件承担主要地震能量的设计思路面临明显局限。一方面，高墩桥梁在地震作用下塑性需求大，若塑性变形集中于桥墩底部或支座区域，极易导致关键构件发生严重损伤甚至失效，结构整体安全性难以保障；另一方面，山区桥梁施工与运维条件受限，震后修复周期长、成本高，传统“允许破坏”的抗震目标难以满足现代公路交通对功能保持和快速恢复的要求。传统抗震设计往往假定地震输入一致，难以有效应对山区桥梁普遍存在的地震动空间非一致性问题，容易低估结构实际受力水平^[3-4]。在高烈度地震条件下，这种设计偏差可能导致抗震安全储备不足，增加落梁、支座失效等灾害性破坏风险。因此，单纯依赖提高构件强度和延性的抗震设计方法，已难以适应山区高烈度地震区公路桥梁对整体安全性、韧性与可恢复性的综合要求，有必要从体系层面引入隔震、减震等新型抗震技术，对传统设计思路进行补充与优化。

3 隔震技术在山区公路桥梁中的作用机理与体系构成

3.1 隔震体系对山区桥梁动力响应特性的调控机理

隔震技术的核心在于通过在桥梁上、下部结构之间设置具有柔性及耗能能力的隔震层，从体系层面重构结构对地震作用的响应方式。相较于传统抗震设计依赖构件进入塑性阶段耗散地震能量，隔震体系通过延长结构自振周期、降低等效刚度，使结构远离地震动能量集中的频段，从而显著削弱地震输入效应。这种“周期迁移”效应在高烈度地震区尤为关键，可有效降低桥梁结构的加速度响应和内力需求。对于山区公路桥梁而言，高墩、大跨和不均匀质量分布使结构动力特性复杂，传统设计中地震能量往往集中作用于桥墩底部和支座部位，导致局部损伤快速累积。隔震体系引入后，地震作用主要在隔震层中以位移形式释放，上部结构与桥墩

的惯性力水平显著降低，结构受力由“强震内力控制”转变为“位移控制”。这种转变不仅有助于降低关键构件的损伤程度，也使结构整体响应更加可控^[5]。

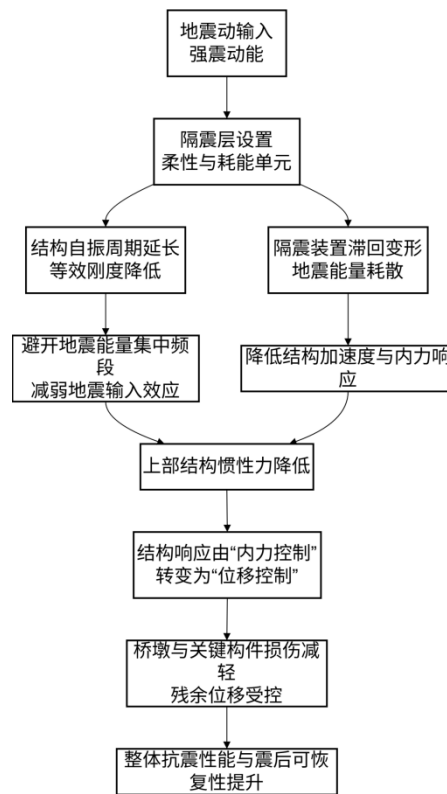


图1 山区公路桥梁隔震体系构成形式示意图

同时，隔震体系通常具有一定的耗能能力，能够通过滞回变形将地震能量转化为热能消耗掉，从而进一步削弱地震反应。在山区桥梁中，这种耗能机制对抑制高墩结构的往复振动尤为有效，可减少残余位移的产生，提高桥梁在强震后的可恢复性。因此，从动力学角度看，隔震技术通过“周期调节—能量耗散—响应重分配”的综合作用机制，为山区高烈度地震区桥梁提供了一种更为安全、合理的抗震响应控制路径。综上所述，隔震技术通过周期调节、能量耗散与结构响应重分配等多重机制，对山区公路桥梁的地震响应特性产生系统性调控，其作用路径如图1所示。

3.2 山区桥梁隔震体系的构成形式及适用特征

在公路桥梁工程中，隔震体系通常由隔震装置、限位与防落梁构造以及必要的附属连接构件共同构成，其中隔震装置是体系发挥作用的关键功能单元。常见桥梁隔震装置包括铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座和摩擦摆支座等，其在满足竖向承载与正常使用性能要求的同时，能够在水平向提供较大的柔度和耗能能力。不同类型隔震装置在力学性能和工作机理上存在差异，其适用性需结合山区桥梁的结构特征与地震环境进行综合分析。

对于高墩连续梁桥或大跨结构，桥梁自振周期较长，地震位移需求显著，宜选用位移适应能力强、耗能稳定性好

的隔震装置,以避免在强震作用下发生隔震失效。同时,由于山区桥梁桥墩高度差异较大,隔震体系在不同桥墩处的受力和变形水平往往不均衡,设计中需重点关注隔震装置在不均匀位移条件下的协同工作性能,防止因局部超限导致体系整体功能削弱。隔震体系的有效运行离不开限位与防落梁构造的合理配置。在山区高烈度地震区,应在充分发挥隔震装置减震作用的前提下,通过设置多级限位措施控制极端地震下的结构位移,防止上部结构脱落或发生不可恢复的结构破坏。这种“隔震—限位”协同构成的抗震体系,有助于在保证正常地震作用下隔震效果的同时,提高桥梁在超设计地震条件下的安全冗余。

总体来看,山区公路桥梁隔震体系并非单一技术措施的简单叠加,而是需要结合桥梁结构形式、地震动特征及运行环境进行系统构建。只有在充分理解隔震机理和体系构成特征的基础上,才能为后续隔震参数优化与工程应用奠定可靠基础。

4 山区高烈度地震区公路桥梁隔震体系的优化设计方法

4.1 隔震参数配置与结构响应控制的协同优化

在山区高烈度地震区公路桥梁中,隔震体系的设计目标不仅在于降低结构地震响应水平,更在于实现地震作用下结构受力与变形的整体可控。因此,隔震参数的合理配置是隔震体系优化设计的核心内容。隔震参数主要包括隔震装置的等效刚度、阻尼比及允许位移能力,其取值直接影响桥梁在地震作用下的加速度响应、内力分布及隔震层位移需求。

从动力响应角度看,适当降低隔震层等效刚度可有效延长结构自振周期,使桥梁动力特性避开地震动能集中的频段,从而显著削弱地震输入效应。然而,在山区桥梁中,桥墩高度差异较大、结构柔性分布不均,若隔震刚度配置不合理,容易导致部分桥墩隔震位移过大,甚至出现隔震装置超限工作的问题。因此,隔震参数配置应在满足整体周期调节效果的同时,兼顾不同桥墩处的位移协调性,避免隔震层受力与变形的明显不均。阻尼参数的设置同样对隔震效果具有重要影响。通过提高隔震体系的等效阻尼比,可在一定程度上抑制隔震位移峰值,降低结构残余变形,对提高桥梁震后可恢复性具有积极作用。但过高的阻尼水平可能削弱隔震体系的周期延长效果,使部分地震能量重新传递至上部结构,导致加速度响应回升。因此,在山区高烈度地震区,应通过多工况动力分析,对隔震刚度与阻尼参数进行协同优化,在结构内力控制与位移需求之间取得合理平衡。

允许位移能力作为隔震装置的关键性能指标,需与山区桥梁的地震位移需求精准匹配。山区高烈度地震区的地震动往往具有峰值加速度高、持时较长且包含丰富高频成分的特点,这会导致隔震层在地震作用下产生较大的累积位移。若隔震装置的允许位移能力不足,可能引发装置的塑性破坏

甚至失效,丧失隔震功能;但若允许位移能力过大,不仅会增加装置的制造成本,还可能因隔震层空间需求增大而与山区桥梁的下部结构布置(如桥墩间距、基础形式)产生冲突。

4.2 面向山区桥梁特征的隔震体系整体优化策略

隔震体系在山区公路桥梁中的有效应用,离不开与桥梁整体结构体系的协同优化设计。不同于平原地区桥梁,山区桥梁往往存在高墩、长联及复杂基础条件等特征,隔震设计若仅关注隔震装置本身,容易忽视结构整体受力路径的变化,影响隔震效果的充分发挥。因此,在隔震体系优化过程中,应从结构整体角度出发,对上部结构、下部结构及隔震层进行统筹考虑。在上部结构设计方面,应通过合理控制结构刚度与质量分布,降低不必要的动力放大效应,使隔震体系能够在地震作用下充分发挥作用。对于下部结构,特别是高墩桥梁,应在满足隔震体系需求的前提下,适当保留一定延性能力,以应对超设计地震或隔震装置性能退化等不利工况。这种“隔震为主、延性兜底”的设计思路,有助于提高桥梁抗震体系的安全冗余。

隔震体系的优化设计还应充分考虑山区桥梁的施工与运维条件。山区桥梁往往交通不便、养护条件受限,隔震装置的可检测性与可更换性尤为重要。在构造设计中,应通过预留合理操作空间、优化连接细节,提高隔震装置的耐久性与可维护性,避免因后期维护困难而影响隔震体系的长期服役性能。通过上述多层次的优化设计,隔震体系不仅能够降低强震作用下有效降低桥梁结构响应,还能够在全寿命周期内保持稳定可靠的抗震性能。

5 结语

山区高烈度地震区公路桥梁在地震作用下面临着更为复杂和严峻的安全挑战,传统以构件延性耗能为主的抗震设计方法已难以满足现代桥梁对安全性与韧性的双重要求。通过引入隔震技术,从体系层面改变桥梁结构的抗震受力机制,是提升山区桥梁抗震性能的有效途径。本文在系统分析山区桥梁地震作用特征与抗震设计难点的基础上,阐明了隔震体系在降低地震输入、优化结构响应方面的作用机理,并提出了面向山区高烈度地震区的隔震体系优化设计思路。

参考文献

- [1] 罗绍任. 公路桥梁地震土压力中地震角分析[J]. 工程建设与设计, 2025, (17): 84-87. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2025.09.025.
- [2] 陈壮壮. 基于反应谱设计的公路桥梁抗震性能研究[J]. 城市道桥与防洪, 2025, (08): 154-158. DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyf.240487.
- [3] 胡维. 人工智能在公路桥梁抗震设计中的运用[J]. 汽车周刊, 2025, (09): 20-21+41.
- [4] 周钱山. 公路桥梁抗震设计关键技术研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(11): 73-76. DOI: 10.26929/j.cnki.issn.2097-1672.2025.11.019.
- [5] 刘善晴. 公路桥梁设计及其抗震优化分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (35): 154-156. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202435050.

Discussion on Key Points of Hydrogeological Exploration under the Background of Ecological Environment Protection

Tianyu Ren

The 519 Brigade of North China Geological Exploration Bureau, Baoding, Hebei 071051, China

Abstract

Against the backdrop of China's comprehensive advancement in ecological civilization construction and the continuous strengthening of rigid constraints on ecological and environmental protection, hydrogeological and environmental geological exploration, as a foundational task for water resource development, engineering construction, territorial space utilization, and ecological protection and restoration, is undergoing profound transformation from traditional engineering orientation to ecological priority. Based on the core logic of coordinated development between ecological and environmental protection and geological exploration, this paper systematically outlines the three core requirements of ecological orientation, ecological compatibility, and ecological practicality that ecological and environmental protection imposes on hydrogeological and environmental geological exploration. It extracts key points of ecological work throughout the entire process of exploration (pre-exploration, mid-exploration, and post-exploration) and proposes efficiency improvement measures from three dimensions: technical standards, personnel competence, and regulatory mechanisms. The aim is to provide theoretical references and practical guidance for fully integrating ecological and environmental protection concepts into hydrogeological and environmental geological exploration, achieving an organic unity of green exploration and high-quality exploration.

Keywords

Ecological environment protection; Hydrogeological exploration; Green exploration; Ecological compatibility

生态环境保护大背景下水工环地质勘查工作要点探讨

任天宇

华北地质勘查局五一九大队, 中国·河北保定 071000

摘要

在中国生态文明建设全面推进、生态环境保护刚性约束持续强化的时代背景下, 水工环地质勘查作为水资源开发、工程建设、国土空间利用与生态保护修复的基础性工作, 正面临由传统工程导向向生态优先转型的深刻变革。本文立足生态环境保护与地质勘查协同发展的核心逻辑, 系统梳理生态环境保护对水工环地质勘查提出的生态导向、生态兼容与生态实用三大核心要求, 围绕勘查前期、中期、后期全流程提炼生态化工作要点, 并从技术标准、人员素养、监管机制三个维度提出效能提升保障措施, 旨在为水工环地质勘查工作全面融入生态环保理念、实现绿色勘查与高质量勘查有机统一提供理论参考与实践指引。

关键词

生态环境保护; 水工环地质勘查; 绿色勘查; 生态兼容

1 引言

生态文明建设是关系中华民族永续发展的根本大计, 生态环境保护已成为贯穿经济社会发展全过程的硬性要求与行动准则。水工环地质勘查涵盖水文地质、工程地质与环境地质三大核心领域, 直接服务于水利工程、城乡建设、资源开发、灾害防治、生态修复等关键领域, 其工作质量与生态影响直接关系区域生态安全、工程安全与民生安全。随着《绿色勘查指南》《地质灾害防治条例》《生态环境监测条

例》等政策法规陆续落地, 地质勘查行业必须摒弃重开发、轻保护的思路, 将生态环境保护前置嵌入勘查立项、方案设计、现场实施、成果应用全链条。

2 生态环境保护对水工环地质勘查的核心要求

2.1 勘查工作的生态导向性要求

生态导向性是新时代水工环地质勘查的价值底色, 要求勘查工作从源头确立生态优先、保护前置的基本原则^[1]。传统勘查以工程地质条件、资源储量、施工可行性为主要目标, 生态保护多作为附加环节; 生态导向下的勘查则将生态系统完整性、环境敏感性、资源可持续性作为首要考量, 把生态红线、永久基本农田、自然保护地、饮用水水源保护区

【作者简介】任天宇(1998—), 男, 中国河北张家口人, 硕士, 助理工程师, 从事生态环境调查与修复研究。

等关键区域作为勘查禁区或严控区。勘查单位需在立项阶段开展生态本底调查,明确区域生态功能定位、主要生态问题与保护目标,将生态约束条件转化为勘查方案的刚性指标,确保勘查路线、工作手段、作业范围不突破生态安全底线。这种导向性要求实现由“工程需要什么就勘查什么”向“生态允许什么才开展什么”的转变,使地质勘查真正成为生态保护的前哨站,而非生态扰动的起点。

2.2 勘查过程的生态兼容性要求

生态兼容性强调勘查作业与生态环境的和谐共生,最大限度降低勘查活动对自然系统的扰动与破坏。水工环地质勘查涉及钻探、槽探、坑探、取样、监测等多项野外作业,不可避免会对地表、地下水、土壤与生物群落产生影响,生态兼容性要求通过技术优化、流程管控、现场防护实现扰动最小化、影响可控化、恢复高效化。具体表现为勘查设备选型优先采用低噪、低能耗、小型化装备,施工方式优先选择非开挖、少扰动、可循环技术,废弃物实现分类收集、无害化处理与资源化利用,施工结束后及时开展场地平整、土壤回填与植被恢复。同时,勘查活动需避让动植物繁殖期、迁徙期与敏感水文周期,避免破坏区域生态节律,确保勘查过程与生态系统结构、功能、演化规律相适配,实现地质工作与生态环境的双向兼容^[2]。

2.3 勘查成果的生态实用性要求

勘查成果的生态实用性决定生态保护措施的科学性与可操作性,要求勘查报告不仅满足工程设计需求,更能为生态风险防控、环境治理修复、国土空间优化提供精准数据支撑。传统勘查成果多聚焦地质参数、岩土性质、水文条件等工程指标,生态实用性要求增加生态地质专题分析,系统阐明勘查区地下水生态功能、土壤环境质量、地质灾害风险、生态脆弱性等等级,明确人类工程活动可能引发的水土流失、地下水污染、地面沉降、植被退化等潜在问题。成果表达需兼顾专业性与通俗性,为生态环境部门、建设单位、施工方提供可直接应用的生态保护建议、风险预警方案与修复技术路径,推动勘查成果从“技术资料”向“生态治理依据”转化,真正发挥地质工作在生态保护中的基础支撑作用。

3 生态环保导向下水工环地质勘查核心工作要点

3.1 前期勘查:生态敏感区排查与规划优化

前期勘查是水工环地质勘查整个流程里最先开展的环节,也是生态保护工作里很关键的第一道关口,精准地完成生态敏感区域排查,科学地优化勘查规划以及设计工作,能够从源头避免勘查活动对生态环境带来的扰动还有破坏风险,为后续勘查工作绿色且有序地开展打下很牢固的基础^[3]。勘查单位在开展前期各项工作时,要全面梳理并且收集区域当中相关的基础资料,重点包括生态保护规划、国土空间规划、生态红线划定方案、各类自然保护地详细清单,还有饮

用水水源保护区具体范围等内容,保证资料很全面,很准确,也很有时效性。在这样的基础之上,结合卫星遥感解译,无人机航拍巡查,还有现场实地踏勘这三种方式,全方位多角度排查区域内生态敏感点位,建立包含敏感点位置、类型、保护等级、生态脆弱性等信息的多层级生态敏感点数据库,清晰划分禁止勘查区,限制勘查区与可勘查区的具体边界,严格杜绝在禁止勘查区内开展任何勘查作业,对于限制勘查区,要专门开展生态影响预评估工作,全面论证勘查工作开展必要性生态可行性。通过优化勘查点位布局,调整线距与勘查密度,最大程度减少不必要的作业范围,降低对敏感区域生态环境的扰动,还有,要把生态保护要求全面融入勘查设计方案,明确细化生态防护具体措施,突发生态污染应急处置预案,还有施工之后的生态恢复责任,方案要经过生态环境主管部门审核和行业专家评审通过之后,才可以启动后续勘查作业。通过前期精准规划与严格把关,实现勘查工作与生态空间管控的无缝衔接,很好地避免因规划失误造成不可逆地生态破坏。

3.2 中期实施:绿色勘查技术应用与污染防控

中期现场实施是水工环地质勘查的核心阶段,也是生态保护工作很关键的发力点。主动推广绿色勘查技术,强化全过程污染防控,是最大程度降低勘查活动对生态环境扰动的核心手段,更是实现绿色勘查的重要路径^[4]。在绿色勘查技术运用方面,勘查单位要放弃传统扰动大,污染高地勘查模式,优先选用地质雷达,高密度电法,遥感解译,分布式光纤监测等非原位,低扰动勘查技术,依靠精准探测得到地质相关数据,明显减少大范围地表开挖,槽探等相关作业,从源头减轻对地表植被,土壤结构的破坏,在钻探作业开展时,使用便携可移动地泥浆循环系统,做到泥浆的回收再利用和无渗漏情况,很好地防止泥浆泄漏污染地下水和周边土壤,冲洗液优先挑选植物胶等无毒,可降解材质,替换掉传统化学冲洗液,从根本上避免化学药剂对周边生态环境的污染,在污染防控工作中,搭建源头减量,过程控制,末端治理地全流程污染管控体系,对勘查过程中产生的废油,废液,废岩芯还有工作人员生活垃圾进行分类收集,密闭转运,统一送到规定地点进行集中无害化处置,严禁随便倾倒,填埋或者直接排放,施工通行道路优先使用区域内已有道路,防止新建道路带来植被损坏,临时占地采取表土剥离,集中堆放,分层回填的技术手段,最大程度保留原有土壤肥力,为之后生态恢复打下扎实基础。

3.3 后期成果:生态化分析与应用转化

后期成果编制与应用是生态环保导向勘查的落脚点,强化生态化分析、推动成果高效转化,能够延伸地质工作的生态价值。勘查单位应在常规地质分析基础上,增加生态地质评价专题,重点分析地下水与生态植被的耦合关系、工程建设对区域水文循环的影响、地质灾害与生态退化的联动机制,提出差异化生态保护与修复建议。成果报告需明确生态

风险等级、防控重点、监测指标与长效管理要求，为项目环评、水保方案、土地复垦方案提供基础数据。同时，建立勘查成果共享机制，推动地质数据与生态环境、自然资源、水利住建等部门数据互联互通，支撑国土空间用途管制、生态修复工程布局与资源可持续利用。通过成果生态化转化，使水工环地质勘查从单一技术服务，升级为生态保护与高质量发展的综合性支撑平台。

4 强化水工环地质勘查生态环保效能的保障 措施

4.1 完善勘查技术标准与生态规范

健全的技术标准与生态规范是绿色勘查的制度基石，能够为勘查工作提供明确遵循与刚性约束^[5]。行业主管部门应加快修订水工环地质勘查技术规程，将生态保护要求嵌入勘查方法、质量控制、成果验收全流程，制定生态敏感区勘查、绿色钻探、污染防控、生态恢复等专项技术指南，明确不同生态区域、不同勘查类型的生态保护指标与操作细则。同时，建立标准动态更新机制，结合新技术、新工艺、新政策及时完善规范内容，推动绿色勘查由自愿倡导转为强制要求。此外，加强与生态环境部门协同，实现勘查标准与环保法规、生态规划有效衔接，形成覆盖全面、权责清晰、操作性强的生态勘查标准体系，为行业绿色转型提供制度保障。

4.2 提升勘查人员生态环保专业素养

勘查人员是绿色勘查的直接执行者，其专业素养与环保意识直接决定生态保护措施的落实效果。地勘单位应构建常态化培训体系，开展生态环保法律法规、绿色勘查技术、生态敏感区防护、污染应急处置等专题培训，提升勘查人员生态识别能力、风险防控能力与绿色作业能力。将生态环保绩效纳入人员考核评价体系，建立奖惩机制，强化“生态保护人人有责”的责任意识。同时，加强跨学科人才培养，推动地质、环境、水利、生态等专业融合，打造既精通地质勘查技术、又熟悉生态环保要求的复合型人才队伍。通过人才能力升级，为生态环保导向的水工环地质勘查提供坚实人力支撑。

4.3 建立勘查与生态保护协同监管机制

协同监管是保障生态环保措施落地的关键手段，能够

形成多方联动、全程覆盖的监管格局。自然资源、生态环境、水利、林草等部门应建立联合监管机制，实现勘查项目审批、现场检查、成果验收、生态恢复全流程协同监管，避免监管真空与重复检查。运用卫星遥感、无人机巡查、在线监测等数字化手段，提升监管精准度与效率，实现对勘查作业生态影响的实时跟踪与动态预警。强化责任追究，对未落实生态保护要求、造成生态破坏的勘查单位与责任人，依法依规予以处罚，并纳入信用惩戒体系。同时，畅通公众监督渠道，鼓励社会力量参与勘查生态影响监督，形成政府监管、行业自律、社会监督的三位一体监管模式，确保水工环地质勘查始终在生态环保框架内规范运行。

5 结语

生态环境保护大背景下，水工环地质勘查的转型发展既是政策要求，也是行业高质量发展的必然选择。从生态导向确立、生态兼容实施到生态成果转化，勘查工作必须始终坚守生态优先、保护优先的底线思维，将绿色理念贯穿全流程、各环节。通过前期精准规划规避生态风险、中期绿色作业降低环境扰动、后期成果转化支撑生态治理，配合技术标准完善、人员素养提升与协同监管强化，能够全面提升水工环地质勘查的生态环保效能。未来，随着生态文明建设持续深入，地质勘查行业应持续推动技术创新、管理创新与模式创新，不断强化生态地质调查与服务能力，让地质工作更好地服务于生态保护修复、资源可持续利用与国家生态安全，为建设人与自然和谐共生的现代化提供坚实地质保障。

参考文献

- [1] 李志超.生态环境保护大背景下水工环地质勘查工作要点[J].新疆有色金属,2024,47(05):38-40.
- [2] 朱昶.探索生态环境保护大背景下水工环地质勘查要点[J].新疆有色金属,2023,46(05):74-75.
- [3] 孔帅.基于生态环境保护的水工环地质勘查工作[J].世界有色金属,2021,(15):140-141.
- [4] 陈思颖,张亮.探索生态环境保护大背景下的水工环地质勘查要点[J].低碳世界,2021,11(05):85-86.
- [5] 李明慧,孙晓明.生态环境保护大背景下水工环地质勘查要点[J].中国金属通报,2020,(12):139-140.

Innovative Application of UAV Technology in Local Railway Engineering Site Survey from the Perspective of Intelligent Survey

Siqi Zhu

Chengdu Chengtie Engineering Project Management Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610081, China

Abstract

As the critical link between railway networks and local transportation infrastructure, the design quality and safety management of regional railway-related projects fundamentally depend on the accuracy and comprehensiveness of on-site surveys. Traditional manual survey methods, constrained by the enclosed nature of railway-related sites, complex terrain, and multi-disciplinary coordination barriers, often face challenges such as low efficiency, coverage gaps, weak data traceability, and insufficient participation from station and segment management. Against the backdrop of digital transformation in transportation infrastructure and the development of smart survey systems, this paper focuses on the core pain points of on-site surveys during the design phase of regional railway-related projects. From the perspective of smart survey, it systematically explores the innovative application framework, practical approaches, and effectiveness of drone live-streaming technology in railway-related engineering surveys, providing practical references for upgrading smart survey practices in similar projects.

Keywords

Intelligent survey; UAV technology; Local railway-related projects; On-site investigation

智慧勘察视角下无人机技术在地方涉铁工程现场踏勘中的创新应用

朱泗奇

成都成铁工程项目管理有限公司，中国·四川成都 610081

摘要

地方涉铁工程作为铁路路网与地方交通基础设施衔接的核心载体，其设计质量与安全管控的核心源头在于现场踏勘环节的精准性与全面性。传统人工踏勘模式受限于地方涉铁场景的封闭性、地形复杂性、多专业协同壁垒等因素，普遍存在效率低下、覆盖盲区、数据追溯性弱、站段参与度不足等痛点。在交通基础设施数字化转型与智慧勘察体系建设的行业背景下，本文聚焦地方涉铁工程设计阶段现场踏勘的核心痛点，从智慧勘察的核心视角出发，系统研究无人机直播技术在涉铁工程踏勘中的创新应用体系、实践路径与应用成效，为同类工程的智慧勘察升级提供实践参考。

关键词

智慧勘察；无人机技术；地方涉铁工程；现场踏勘

1 引言

随着交通强国建设纲要的深入实施，铁路工程建设领域正加速向数字化、智能化、智慧化转型，智慧勘察作为工程建设全链条数字化的首要环节，已成为行业发展的必然趋势。智慧勘察的核心内涵，是依托现代信息技术实现勘察过程的全域感知、实时协同、数据闭环、智能决策，彻底打破传统勘察模式的时空限制与技术壁垒。无人机技术凭借其高空全域感知、灵活机动作业、实时数据传输、远距离精准观

测等技术优势，成为智慧勘察体系建设中不可或缺的核心技术支撑。

2 地方涉铁工程传统现场踏勘的不足之处

2.1 作业效率低下，人力与时间成本高

传统踏勘需协调业主、设计、设备管理站段等多方人员现场集中参与，人员召集、跨区域流动耗时较长，单次踏勘往往需要耗费大量时间与人力成本，比较复杂的项目，易出现重复踏勘的问题。加之铁路封闭管理要求下的人网审批流程复杂，参建各方参与深度不足，直接影响踏勘工作的专业深度与判断精度。

【作者简介】朱泗奇（199—），男，中国四川眉山人，硕士，工程师，从事工程技术与管理研究。

2.2 空间覆盖存在盲区，观测精度难以保障

地方涉铁工程现场大量存在铁路封闭区域、桥梁上部结构、高陡边坡、复杂地形等人员难以抵近或存在安全风险的区域，人工踏勘无法实现有效观测，极易形成调查盲区。同时，人工采集的影像资料普遍存在视角偏移、覆盖不全、细节缺失等问题，难以完整还原铁路设施与拟建工程的空间位置关系，为后续设计遗漏埋下隐患。

2.3 多方协同壁垒突出，站段专业参与度不够

地方涉铁工程踏勘需要多专业、多单位的协同配合，但传统模式下，受日常运维任务制约，站段技术科专业人员难以全程参与现场踏勘，多以车间或工区代表参加，导致专业指导意见欠缺。同时，部分站段对地方涉铁工程权责认知存在偏差，主观认为踏勘的核心责任在于建设与设计单位，参与积极性不高，最终导致踏勘结果无法全面覆盖各专业的安全管控要求^[1]。

3 智慧勘察视角下无人机踏勘技术的应用体系构建

3.1 “硬件+平台”一体化技术架构体系

该体系以无人机设备为感知终端，以高清直播传输为数据链路，以线上会议平台为协同载体，以信息化管理平台为数据底座，形成了完整的技术闭环。硬件层面，搭载高清变焦镜头的工业级无人机，可实现远距离精准拍摄、全域动态观测，满足地方涉铁场景的高清影像采集需求；传输层面，依托稳定的无线传输技术，可实现无人机拍摄画面的实时、低延迟传输；协同层面，通过钉钉等线上会议平台，将实时画面与多方语音交互相融合，实现跨单位、跨专业的实时会商。

3.2 全流程标准化作业流程体系

结合地方涉铁工程踏勘的核心要求，制定标准化的无人机直播踏勘作业流程，实现了踏勘工作的规范化管控，核心分为五大环节：

一是前期准备环节，成铁工管公司项目主管工程师提前发布踏勘通知，预约线上会议并同步参会信息；设计单位提前确认空域放飞条件与气候状况，提前完成无人机、直播设备、线上会议平台的调试，准备以卫星图片为底图的项目示意图，完成相关报备工作。

二是项目交底环节，由成铁工管公司项目主管工程师主持线上会议；设计单位以卫星示意图为基础，对项目总体情况、交叉点里程、结构形式、施工方式、对铁路设施设备的影响及迁改、防护方案进行全面交底，让所有参会人员全面掌握项目核心情况。

三是现场直播踏勘环节，在完成项目交底后，现场操作人员在铁路安保区外完成无人机放飞，按照“全貌总体介绍—沿线走向观测—局部专项拍摄—重点细节特写”的思

路，完成项目现场的全维度拍摄；设计人员同步结合直播画面进行讲解，通过鼠标指针精准标注讲解位置，确保讲解内容与画面同步。（见图1）



图1 现场360°拍摄，实现视频会议直播

四是多方协同会商环节，各参会单位结合直播画面依次提出专业意见，明确需要重点拍摄确认的事项，无人机同步完成重点区域的针对性拍摄，设计单位现场完成答疑，铁路设备管理单位同步提出铁路设施设备迁改、防护方案的专业建议，实现踏勘与会商的同步完成。

五是现场记录环节，全程完成线上会议录屏与无人机现场视频录制，同步拍摄项目全景照片、关键点位特写照片，为后续成果整理留存完整的原始素材^[2]。

3.3 地方涉铁场景专属安全管控体系

针对铁路营业线施工的安全管控要求，结合《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，制定涉铁场景无人机飞行的专属安全管控体系，核心包括：人员资质方面，要求无人机操作人员必须通过专业技能培训，熟练掌握飞行操作与应急处置流程，每架无人机配置1名操作员与1名专职安全员；飞行管控方面，无人机起飞与降落点必须设置在铁路安保区范围外，飞行过程中与铁路设施设备保持5m以上安全距离，严禁在铁路正上方悬停，列车通过时必须及时飞离铁路安保区投影范围；现场盯控方面，无人机放飞前需向属地站段报备，飞行过程中需专职安全员全程盯控，并与相关站段人员保持联系。

3.4 标准化成果输出与数字化管理体系

为匹配智慧勘察的数据闭环管理要求，明确无人机直播踏勘的标准化成果输出要求，设计单位需在踏勘完成后15个工作日内完成成果整理与提交，核心包括四大类成果：线上会议全程录屏文件、项目交叉位置空中360°全景照片、3-5分钟标准化项目现场视频、影响范围生成项目三维模型（见图2）。所有成果文件均作为设计现场调查附件与图纸同步报审、归档，依托信息化管理平台实现电子化存储、快速检索、便捷调阅与全流程追溯，彻底打破了传统踏勘的数据孤岛问题，实现了勘察数据的全生命周期共享应用^[3]。



图2 项目三维模型

4 无人机直播踏勘模式的核心创新点

4.1 感知维度创新

实现了从平面人工踏勘到全域三维立体感知的升级。通过无人机高空视角与变焦镜头的结合，突破了人眼观测的空间限制，实现了对项目区域地形地貌、既有铁路构筑物、周边环境的多维动态观测，既能够通过全景拍摄掌握项目整体情况，也能够通过远距离变焦完成关键设施细节的精准捕捉，彻底解决了传统踏勘的覆盖盲区问题。同时，通过高清影像与三维模型的同步生成，实现了现场空间关系的数字化还原，为智慧勘察的三维可视化设计提供了核心基础数据。

4.2 协同模式创新

实现了从线下单点踏勘到线上多方实时协同的升级。依托“无人机直播+线上会议”的模式，打破了踏勘工作的时空限制，原本需要多方各级人员赶赴现场的踏勘工作，如遇工作冲突，各参建单位及站段的专业技术人员均可通过线上平台全程参与，实现了跨地区、多专业的实时协同。该模式既大幅降低了多方协同的时间与人力成本，也让各专业技术人员能够全程深度参与踏勘过程，实时反馈专业意见，彻底解决了传统踏勘模式下站段参与度不足、专业意见缺位的核心问题。

4.3 数据管理创新

实现了从离散化记录到全流程数字化闭环管理的升级。无人机直播踏勘模式实现了踏勘过程的全流程录制、成果的标准化输出、数据的系统化归档，所有踏勘数据均实现电子化存储，既能够便捷地完成历史数据回溯与信息共享，也能够为设计方案调整、工程变更、施工图审查、竣工验收等后续环节提供完整的数据支撑。该模式彻底解决了传统踏勘数据离散化、可追溯性弱的问题，实现了勘察数据从采集、存储、应用到追溯的全流程数字化闭环，是智慧勘察数据体系建设的核心实践^[4]。

5 应用成效与综合价值分析

5.1 实现源头管控，筑牢工程安全根基

通过无人机直播踏勘模式的应用，设计现场调查的全

面性与精准性得到了本质提升，设计单位能够在项目初期全面掌握现场情况，精准识别潜在风险并及时优化设计方案，从源头规避了因现场调查不充分导致的设计缺陷。从2024年至今，所有应用该模式的地方涉铁工程，均未发生因设计现场调查不充分而导致的变更设计或安全事故，铁路设施设备的安全性及施工质量得到了全面保障。

5.2 实现降本增效，提升项目实施效率

无人机直播踏勘模式大幅压缩了现场踏勘的人员投入与时间成本，单次踏勘的现场人员从传统的多层级人员缩减至主要人员参与，既避免了多方人员跨区域流动产生的交通、差旅成本，也兼顾了各单位人员的工作；同时，将复杂项目踏勘的工作周期从2-3天压缩至一天以内，踏勘效率提升50%以上。

5.3 实现协同升级，提升工程系统化管理水平

该模式的应用，彻底打破了传统踏勘模式的多方协同壁垒，参建单位、站段技术人员的参与程度与深度得到了显著提升，跨专业、跨单位的协同效率大幅提高，实现了多方责任的同步压实。同时，依托数字化的数据管理体系，实现了踏勘数据的高效共享与追溯，为工程设计、施工、验收、运维全流程提供了完整的数据支撑，推动了地方涉铁工程全生命周期的数字化、系统化管理^[5]。

6 结语

在铁路工程建设智慧化转型的行业背景下，无人机直播踏勘技术的创新应用，彻底破解了地方涉铁工程传统人工踏勘模式的核心痛点，全面契合了智慧勘察全域感知、实时协同、数据闭环、智能管控的核心发展要求。本文构建的应用体系，实现了该技术在地方涉铁工程场景的标准化、规范化、可复制应用，在实践中实现了工程安全质量、实施效率、管理水平、行业发展的全方位提升，为地方涉铁工程智慧勘察体系建设提供了坚实的实践支撑。

参考文献

- [1] 王元楚,陈媛,龚波,等. 无人机遥感技术在航道整治建筑物踏勘中的应用[J].中国水运,2025,(18):89-91.
- [2] 李莉莉,王学兵,木合塔尔·马合木提,等. 无人机技术在项目前期工作中的应用[J].中国电力企业管理,2024,(24):46-47.
- [3] 邱焕翔,翟虎,王冀鹏,等. 基于无人机航摄的地质踏勘及风险评估[J].科学技术与工程,2024,24(18):7905-7912.
- [4] Zhao X ,Qin D ,Wang Z . Effectiveness evaluation on UAV reconnaissance based on AHP grey-fuzzy comprehensive evaluation model[J].Journal of Physics: Conference Series,2025,3069(1):012008-012008.DOI:10.1088/1742-6596/3069/1/012008.
- [5] Stodola P ,Nohel J ,Horák L . Dynamic reconnaissance operations with UAV swarms: adapting to environmental changes[J].Scientific Reports,2025,15(1):15092-15092.

Discussion on Key Technologies of 3D GIS Information System in Engineering Surveying

Likun Zhang

519 Brigade of North China Geological Exploration Bureau, Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

Three-dimensional GIS technology has been widely adopted in engineering surveying, effectively addressing the limitations of traditional measurement methods. As an intuitive, practical, and real-time solution, it significantly enhances the accuracy of technical surveying outcomes. This paper examines real-world engineering surveying scenarios, systematically analyzing core technical aspects such as data acquisition and 3D modeling. It clarifies implementation details and collaborative workflows across each phase, aiming to improve surveying precision and efficiency, drive technological advancements, and provide reliable technical support for diverse construction projects. These efforts ultimately contribute to the high-quality development of the surveying and mapping geographic information industry.

Keywords

Engineering survey; 3D GIS information system; Technical points

工程测量中的三维 GIS 信息系统技术要点探讨

张丽坤

华北地质勘查局五一九大队, 中国·河北 保定 071000

摘要

三维GIS技术在工程测量中得到了广泛的应用,对于传统的测量方式下产生的工作不足现象可以起到有效的弥补措施,是一种直观、实用且实时的技术测量解决方案手段,对于技术测量的成果准确率可以起到有效的作用。本文聚焦工程测量实际场景,对数据采集、三维建模等核心技术要点进行梳理,明确各环节的实施细节与协同逻辑,目的是提升工程测量的精准度和高效性,推动工程测量技术的迭代升级,为各类工程建设提供可靠的测绘技术保障,助力测绘地理信息产业的高质量发展。

关键词

工程测量; 三维GIS信息系统; 技术要点

1 引言

中国工程建设领域不断蓬勃发展,交通、水利、建筑等重大工程项目有序开展,这对工程测量的精准度、高效性以及智能化水平提出了更为严格的要求。传统测量技术存在数据整合能力不足、可视化程度不高的局限,无法满足复杂场景下的测绘需求。国家大力推进实景三维中国建设,明确了测绘技术向数字化转型的发展方向,三维GIS信息系统凭借其强大的空间数据处理和可视化能力,在工程测量中得到广泛应用,它的应用不仅能够解决传统测量的难题,还能推动工程测绘向精细化、智能化发展,对于保障工程质量、提升建设效率具有重要的现实意义。

2 三维GIS信息系统与工程测量的融合逻辑

三维GIS信息系统凭借其强大的空间数据处理能力,能够精准承接工程测量所需的各类地理信息数据,并且可实现数据的可视化呈现与高效整合,这一特性恰好契合工程测量对数据精准度、完整性以及直观性的核心需求。工程测量作为工程建设的基础环节,其获取的地形、地貌、地质等核心数据,又是三维GIS信息系统构建三维空间模型、开展空间分析的核心支撑,二者存在天然的互补性与关联性。这种融合并非简单的技术叠加,而是形成了数据互通、功能互补的有机整体,工程测量为三维GIS信息系统提供真实可靠的数据源,三维GIS信息系统则为工程测量数据的高效利用、深度挖掘提供技术载体,二者协同发力,共同推动工程测量工作向数字化、精细化方向推进。

【作者简介】张丽坤(1998—),男,中国河北张家口人,硕士,助理工程师,从事地理信息系统与卫星遥感研究。

3 三维 GIS 信息系统在工程测量中的典型应用场景

3.1 建筑物测量中的应用

建筑物测量涵盖建筑主体尺寸、结构布局以及周边环境等多方面的测绘内容，三维 GIS 信息系统能够精准捕捉建筑物的各项空间参数，并且将这些参数转化为可视化的三维模型，清晰呈现建筑物的整体形态与细节特征。在实际测绘过程中，该系统可精准还原建筑物的层高、墙体厚度、门窗位置等核心信息，还能同步关联建筑物周边的地形地貌数据，让测绘人员直观掌握建筑物与周边环境的空间关系，有效规避传统测量中易出现的偏差问题，大幅提升建筑物测量的精准度与直观性，适配各类建筑工程的测绘需求。

3.2 地下管线测量中的应用

地下管线作为城市基础设施的重要组成部分，其分布隐蔽、种类繁多且埋深不一，给传统测量工作带来不小的难度^[1]。三维 GIS 信息系统可通过多源数据整合，精准定位地下管线的走向、埋深、管径以及材质等关键信息，并且构建出完整的地下管线三维模型，将原本隐蔽的地下管线清晰呈现在可视化界面中。测绘人员借助该系统，能够快速掌握地下管线的空间分布规律，精准识别管线之间的交叉、重叠关系，有效避免管线测量过程中出现的遗漏或误判，为地下管线的测绘工作提供便捷且精准的技术支撑。

3.3 土地资源管理与工程规划中的应用

在土地资源管理及工程规划环节，三维 GIS 信息系统凭借高效整合能力，将区域内土地利用现状、地形地貌、地质条件等各类测绘数据纳入其中，再借助三维可视化技术，把土地资源的分布特征与利用情况进行直观呈现。由于该系统在工程规划时能清晰展示规划区域各类空间信息，相关人员得以精准判断土地资源适宜性，对工程选址与布局作出合理规划，让土地资源管理和工程规划工作更具贴合实际工程需求的科学性与针对性。

3.4 复杂工程测量中的应用

复杂工程常伴有复杂地形地貌、庞大工程体量和多样施工环境，传统测量技术难以满足其高精度、全方位的测绘需求^[2]。三维 GIS 信息系统所具备的强大空间数据处理与整合能力，使其能够应对复杂工程中的各类测绘难题，不仅能精准捕捉复杂地形、大型构筑物的空间参数，还能构建贴合实际场景的三维模型。不管是山区、河谷等复杂地形的测绘，还是大型桥梁、隧道等构筑物的测量，该系统都可以将各类空间信息精准呈现，助力测绘人员全面掌握工程现场实际情况，对复杂工程测量的各类需求实现有效适配。

4 工程测量中三维 GIS 信息系统的核心技术要点

4.1 数据采集技术要点

数据采集是三维 GIS 信息系统应用于工程测量的基础

环节，数据采集作为基础环节，核心在于达成多源数据的协同采集与精准匹配，同时兼顾采集的精准度和全面性^[3]。开展采集工作之前，要根据工程测量的具体情境，明确采集范围、精度规范和数据类别，预先对采集区域进行实地考察，仔细排查地形遮挡、信号干扰等可能对采集效果造成影响的因素，同时完成采集设备的调试与校准，让设备参数和采集要求充分契合，避免因设备误差导致采集数据失实。采集过程中，优先采用多设备联合采集模式，综合运用无人机航空测量、激光雷达扫描以及地面实地测量等多种手段，其中无人机航空测量主要负责大面积地形、地貌数据的快速采集任务，操作人员要设定合理的飞行路线和飞行高度，确保影像数据的重叠程度和清晰程度；激光雷达扫描则着重于细节数据采集，能够精准获取建筑物、构筑物的轮廓、纹理以及细微高差信息；地面实地测量针对关键点位进行补充采集，测绘人员使用高精度测量仪器对坐标、高程等核心参数进行多次验证，防止出现遗漏或偏差。采集过程中，及时记录数据采集的时间、地点以及设备运行参数，采集工作完成后，对各类数据资源进行分类整理，明确不同数据资源的格式、精度和用途，为后续数据处理和建模工作奠定稳固基础，使采集的数据能够真实、全面地反映工程测量现场的实际状况。

4.2 三维建模技术要点

三维建模作为把采集到的工程测量数据转化成可视化三维空间模型的关键环节，其流程旨在达成数据和实体场景的精确对应，在兼顾模型精度与真实性的同时，突破传统建模单一化、表面化的局限，让模型切实契合工程实际需求。建模前期对于采集的多源数据需进行深度整合，操作人员把无人机航测影像、激光雷达点云数据以及地面实测数据导入专业建模软件，借助坐标系统一、数据格式转换等操作，实现各类数据的无缝对接，同时对数据开展去噪、平滑处理，剔除冗余数据与异常点，降低数据误差给建模效果带来的影响。建模过程中运用分层建模与分区建模相结合的方式，先以激光雷达点云数据为核心，结合地形高程数据，构建工程测量区域的地形基础模型，精准还原地形的起伏变化、坡度、坡向等特征，再逐步叠加建筑物、地下管线、道路等人工构筑物模型。构筑物建模需聚焦细节刻画，比如建筑物建模需精准还原墙体、门窗、屋面等构件的尺寸、材质以及空间位置，采用纹理映射技术将现场采集的影像纹理精准贴合至模型表面，提升模型的真实感，地下管线建模则需结合管线的走向、埋深等数据，构建三维立体管网网络，清晰呈现管线的连接关系与空间分布，为后续工程应用提供可靠的可视化载体。

4.3 空间分析技术要点

空间分析是三维 GIS 信息系统发挥工程测量支撑作用的核心功能，其核心是立足工程测量的实际需求，通过多维度空间运算，挖掘数据背后的空间关联与规律，为工程决策提供精准依据，突破传统空间分析片面、滞后的局限性。在

开展空间分析工作之前,要先明确分析目标和分析场景,结合工程测量里工程选址、施工监测、风险评估等具体环节,确定分析的核心指标和运算逻辑,同时对三维模型和基础数据进行预处理,保障数据的完整性和精准性,为空间分析提供可靠的支撑。在分析过程中,采用多种类型空间分析方法协同运用的方式,一方面进行空间叠加分析,操作人员把工程测量区域内的地形、地质、建筑物、管线等多类空间数据开展叠加运算,让不同要素之间的空间位置关系和相互影响清晰地呈现出来,例如分析建筑物与地下管线的距离,以此判断是否存在安全隐患;另一方面进行网络分析,针对地下管线、交通线路等线性要素,对其连通性、通行效率以及瓶颈位置进行分析,为工程布局的优化提供参考。

4.4 数据存储与管理技术要点

数据存储与管理是保障三维 GIS 信息系统稳定运行、实现数据高效利用的关键环节,其核心是兼顾数据的安全性、完整性与可访问性,构建科学、高效的存储管理体系,解决传统数据管理分散、利用率低、易丢失的问题。数据存储环节需结合工程测量数据的特点,采用分布式存储与本地存储相结合的模式,针对海量的无人机影像、激光雷达点云等大型数据,采用分布式存储技术,将数据分散存储在多个节点,既提升数据存储的容量与稳定性,又便于数据的快速读取与传输,避免单一存储节点故障导致数据丢失;针对核心的实测数据、模型数据等关键数据,采用本地加密存储,设置多层安全防护,防止数据泄露、丢失或损坏,毕竟这些数据是工程测量的核心支撑^[4]。存储过程中需对数据进行分类归档,操作人员按照数据类型、采集时间、应用场景等标准进行分级管理,为每类数据建立详细的元数据信息,明确数据的来源、精度、格式以及用途,便于数据的快速检索与调用。

4.5 可视化与动态监测技术要点

在工程测量领域,三维 GIS 信息系统实现高效应用的重要支撑是可视化与动态监测技术^[5]。该技术以实现数据的直观呈现和工程现场的实时管控为核心,打破传统监测存在的滞后性与局限性,进而提升工程测量的智能化水平,让工程测绘工作变得更高效、更便捷。可视化呈现环节要依据工程测量的应用需求,由操作人员构建多维度、交互式的可视化界面,把三维模型、测量数据、分析结果等内容进行整合

后呈现出来,同时采用分层显示、多视角切换等功能,使相关人员可以自由查看工程区域的整体场景和细节特征^[6]。可视化呈现需注重实用性与直观性,通过采用贴合工程实际的色彩搭配和纹理渲染,清晰区分不同类型的工程要素,以便人员能够快速识别和理解,防止因视觉混乱对工作效率产生影响。动态监测环节需要结合工程施工进度和测量需求,由操作人员在三维模型中设置关键监测点位,并部署高精度监测设备,实时采集监测点位的坐标、高程、位移等核心参数,再通过数据传输模块将监测数据实时上传至系统平台。系统会自动对监测数据进行实时分析和对比,设定合理的预警阈值,当监测数据超出阈值时,就会自动发出预警信号,方便相关人员快速定位问题、排查隐患,从而为工程施工管控、质量验收以及后期维护提供精准、全面的监测数据支撑,保障工程测量工作的连续性和有效性。

5 结语

基于三维 GIS 的信息系统给工程测量领域带来强大的转型推动作用,其中核心技术得到了合理利用,有效地解决了很多传统测量中存在的限制问题,显著提高了工程测绘准确性和效益,在测绘技术和数字技术深度结合的大背景下三维 GIS 信息系统的协同发展模式将会逐渐形成,并进一步扩展到更多应用场景以提高技术效能,今后系统向更加智能化、更加精确化和更加高效的转化,继续为各类型工程的建设提供优质测绘支持,帮助中国测绘与地理信息产业获得更高层次发展。

参考文献

- [1] 李序安.工程测量中的三维GIS技术分析[J].信息系统工程,2023,(07):39-42.
- [2] 吴松.GIS技术和数字化测绘技术在工程测量中的运用[J].中国高科技,2023,(11):37-39.
- [3] 张小芳.倾斜摄影测量与GIS技术在工程测量中的应用思考[J].房地产世界,2023,(01):160-162.
- [4] 潘承秋.工程测量中的三维GIS技术分析[J].中国设备工程,2021,(11):220-221.
- [5] 赵强.基于3D GIS和北斗高精定位的无人机铁路智能巡检技术研究与应用[J].数字通信世界,2024,(07):167-169.
- [6] 汪磊,崔永伟.浅谈工程测量中的三维GIS技术要点[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(21):165-167.

Safety and Performance Review of R290 Automotive Air Conditioner

Jie Liu^{1,2} Lanping Zhao¹

1. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai, 200092, China
2. Shanghai yinlun thermal exchange system Ltd., Shanghai, 200020, China

Abstract

Based on double carbon goal and Montreal Protocol, R290 is the new refrigerant as low GWP and good heating performance on low temperature. In order to further study the application characteristic of R290 in automobile air conditioning, summary existing technical achievements of safety and performance in this paper. The results show that: for safety, the characteristic is inflammable and poisonous; for safety protection, reduce leakage, enhance flame retardant measures and localize R290 device on energy bin with secondary loop; for performance, improve vehicle thermal management and ex-changers capacity to make up the loss by secondary loop are the main methods.

Keywords

R290; Automotive air conditioner; Safety; Performance; Secondary loop

R290 汽车空调安全与性能综述

刘杰^{1,2} 赵兰萍¹

1. 同济大学机械与能源工程学院, 中国·上海 100084
2. 上海银轮热交换系统有限公司, 中国·上海 200020

摘要

基于我国“双碳”目标和《〈蒙特利尔议定书〉基加利修正案》，R290因其低GWP特性和良好的低温制热能力，作为新能源汽车空调环保型制冷剂替代方案，为进一步研究R290在汽车空调中的应用特性，本文从安全性、安全防护、性能表现三大方面进行总结。结果表明：安全性主要体现在易燃、有毒；安全防护主要体现在，减少泄漏量，加强阻燃措施，使用二次回路将R290机组放在舱外提升系统安全性；在性能方面，提升热管理综合控制和提升零部件换热能力，弥补二次换热带来的损失为主要提升手段。

关键词

R290; 汽车空调; 安全; 性能; 二次回路

1 引言

随着我国“碳达峰、碳中和”目标的提出，新能源汽车得到快速发展，为解决低温环境空调能耗高，续航里程短等问题，热泵系统以及整车热管理余热回收和智能化、精细化控制方式^[1]得到重点推广。同时，基于《〈蒙特利尔议定书〉基加利修正案》，目前广泛应用的R134a需要迫切向低GWP工质转换，CO₂、R290、R1234yf等环保制冷剂受到行业青睐，其中，R290即丙烷，ODP=0，GWP=3，成本低廉，低温制热能力突出，目前主要用于中央空调、热泵空调、家用空调和其他小型制冷设备。

【作者简介】刘杰（1989—），男，中国山西吕梁人，在读硕士，工程师，从事能源动力研究。

2 R290 汽车空调安全性

R290安全隐患是点燃和爆炸，与空气混合形成爆炸性混合物，遇热源和明火有燃烧爆炸危险。

2.1 制冷剂燃烧特性研究

R290燃烧下限越高，燃烧上下限差值越小，最低点燃能越大，燃烧速度越低，可燃性越小^[2]。

赵洋等^[3]总结了国内外学者对R290房间空调器在安全性和性能方面的研究成果，为汽车空调提升安全性提供了借鉴意义。

葛昕等^[4]研究R290热泵系统不同泄漏温度、体积流量下的燃烧特性，表低温下更难点燃，在高泄漏体积流量和温度下会发生喷射火焰的吹灭现象。

Feng等^[5]研究R290的燃烧和爆炸特性，表明靠近火焰底部的特定气流扰动会增强燃烧强度。

2.2 毒性

R290 无色无味，微毒，10% 以下的浓度，只引起轻度头晕；接触高浓度时可出现麻醉状态、意识丧失，极高浓度时可致窒息^[3]。

3 R290 汽车空调安全防护

针对 R290 汽车空调的安全防护，可参考家用空调目前采用的方法，降低可燃制冷剂泄漏量、阻燃以及防爆物质使用^[3]。

3.1 泄漏

减少泄漏量目前主要手段分为两部分：

3.1.1 提升系统结构强度，减少可燃制冷剂泄漏量。

汽车空调使用 R290 系统的危险性表现在实际运行过程中和售后维修过程中。

1) 实际运行过程中，Zhang 等^[6]研究了 R290 可燃制冷剂在车辆制冷系统内的泄漏情况，进行了优化，减少了乘员舱内发生燃烧爆炸危险。

2) 维修过程中的注意事项与使用液化天然气作燃料相同，防护措施成熟，危险相对更可控。

3.1.2 减少制冷剂充注量，从而减少制冷剂泄漏量

市场上汽车空调生产商构建基于载冷剂液体循环二次回路系统，降低系统充注量，并且回路在发动机舱中，有效规避制冷剂安全风险，并实现系统集成化、小型化的优势^[1]。

3.2 阻燃措施

目前从防止制冷剂泄漏浓度超标和规定元器件选用两方面提升阻燃效果。

1) 针对泄漏浓度，利用浓度检测仪监测汽车空调系统中燃烧危险源处 R290 浓度。

2) 针对元器件包括电动压缩机、电子膨胀阀、电磁阀、开关、风机等^[7]，采用防爆无火花型，且在产生火花的部位设置防护罩。

另外，由于 R290 气体密度比空气大，浓度检测仪应紧贴部件下方布置，电器元件在上方布置。

4 R290 性能表现

4.1 R290 与其他潜在制冷剂参数对比

R290 制冷剂各个方面的表现如图 1 和表 1。

	R134a	R410A	CO ₂	R1234yf (HFO)	R290 (HC)
GWP	1430	2080	1	4	<10
低温制热能力	运行温度 > -5 °C	-20 °C	-30 °C	运行温度 > -5 °C	
运行效率					泵-换热器损失
可燃性					强可燃 (A3)
制冷剂价格				极高	
系统成本			跨临界高压		引入二次回路

图 1 R290 与其他替代制冷剂综合对比

表 1 R290 与其他替代制冷剂物性表^[8]

参数	R1234yf	CO ₂	R290
分子式	CF ₃ CF=CH ₂	CO ₂	C ₃ H ₈
沸点 (1atm)/°C	-29.45	-78.4	-42.2
临界温度 /°C	94.7	31.1	96.7
临界压力 /Mpa	3.382	7.38	4.25
GWP	4	1	3
安全等级	A2L	A1	A3
大气寿命 / 年	0.03	> 50	0.041

4.2 R290 二次回路性能研究总结

对于 R290 系统，采用二次回路系统必然会带来性能衰减，业界从两相流分析、换热器优化、系统架构设计等角度提出优化方案，如表 2。

表 2 R290 汽车空调性能研究总结

文献	结论
黄广燕 ^[9]	搭载带水环路的 R290 热泵系统实验台，发现在环境温度 45°C、车内温度 27°C 时，系统制冷量衰减 300~500 W，在环境温度 -20 °C、车内温度 20°C 时，制热量衰减 200~400 W。
Liu,CC 等 ^[10]	室外环境温度对 R290 热泵系统制热量有很大的影响，但对系统 COP 的影响不大；室内环境温度对系统制热能力和 COP 的影响则相反
季志远等 ^[11]	试验验证 R290 热泵系统耦合二次回路系统和补气增焓技术，在 -20° C 工况下，系统的制热量和 COP 分别上升 25.0% 和 15.3%，若同时使用余热回收，可以满足车体热负荷需求。比典型的 R290 系统制热量高 33.3~37.4%
Longo,GA 等 ^[12]	对比 R404A、R290、R1270 在板式换热器中的沸腾传热系数和压降，R290、R1270 沸腾传热系数与 R404A 相近，但是压降偏高。
梅娜 ^[13]	提出改进的灰狼算 (MGWO_SVR)，搭建 R290 热管理系统智能控制策略模型。
陈怡吉 ^[14]	基于 AMESim 建立电动汽车空调仿真模型，表明 R290 制热性能更优且大于 R134a，系统 COP 随压缩机转速升高先上升后下降。
Li,WY 等 ^[15]	通过试验验证废热回收对于二次回路防结霜的效果，结果表明在 -20°C 到 0°C 时，除霜效果稳定可靠。
Li,G 等 ^[16]	实验验证二次回路 R290 充注量比 R134a 减少 60%，在典型 35°C 工况时，高速条件下 COP 提升 8%，怠速工况下 COP 降低 15%

另外，徐琳娇^[17]和徐言生等^[18]，实验证明润滑油对系统性能的影响，低含油量对系统制冷量和制冷系数有积极作用，而且有利于减少充注量。

5 结语

本文针对 R290 汽车空调系统进行综述研究，得出结论：R290 以其低 GWP 值、良好低温制热特性、价格低廉等优势成为最有潜力的替换制冷剂。

基于 R290 的安全特性，目前采用基于载冷剂的二次回路设计，将系统布置在乘客舱外，同时在有泄漏风险区域布

置传感器，并选用无火花型电器设备。

提升零部件换热性能和整车热管理能力，弥补二次回路能量损失，减少 R290 使用量成为物理隔断和防护的主要手段，达到更优的安全等级。

参考文献

- [1] 邹慧明, 唐坐航, 杨天阳等. 电动汽车热管理技术研究进展[J]. 制冷学报. 2022,43(03): 15-27.
- [2] 金昕祥, 徐冉, 李改莲等. HFO-1234yf在空调系统中应用研究进展[J]. 低温与超导. 2014, 42(05): 63-69.
- [3] 赵洋, 杨双, 蔡宁. R290房间空调器安全与性能研究综述[J]. 制冷技术. 2023, 43(01): 81-86.
- [4] 葛昕, 韩南奎, 胡莎莎等. 电动汽车热泵系统中易燃制冷剂R290的燃烧特性[J]. 广州化学, 2020,45(02): 16-21.
- [5] Feng B, Yang Z, Lv Z, et al. Effect of gas disturbance on combustion characteristics of flammable refrigerants near LFLs[J]. Journal of Hazardous Materials, 2019, 368(119): 21-32.
- [6] Zhang, Y; Liu, C; Wang, T Y, et al. Leakage analysis and concentration distribution of flammable refrigerant R290 in the automobile air conditioner system[J]. International Journal of Refrigeration. 2020,110: 286–294.
- [7] 王真真, 李康, 方奕栋等. R290汽车空调系统安全要求分析[J]. 实验室科学, 2020,23(01):25-29.
- [8] 张凯, 欧阳洪生, 张董鑫等. 电动汽车热泵空调冷媒研究进展[J]. 浙江化工. 2021,52(07):6-12.
- [9] 黄广燕, 邹慧明, 唐明生等. R290电动汽车热泵空调性能实验研究[J]. 制冷学报. 2020,41(06):40-46.
- [10] Liu, C C; Zhang, Y; Pan, L Y. Performance evaluation of propane heat pump system for electric vehicle in cold climate[J]. International Journal of Refrigeration, 2018(95):51-60.
- [11] 季志远, 王海民, 王传伟等. 用补气的二次回路热泵系统在低温下的实验研究[C]. 2022中国汽车工程学会汽车空气动力学分会学术年会会议文集-热管理分会场. 中国上海, 2022-10-20: 54-66.
- [12] Longo, G A; Mancin, S; Righetti, G; et al. HFC404A vaporisation inside a Braze Plate Heat Exchanger (BPHE): Comparison with the possible long-term low GWP substitutes HC290 (Propane) and HC1270 (Propylene)[J]. Applied Thermal Engineering, 2016(108): 1401-1408.
- [13] 梅娜. 新能源汽车热管理系统智能控制技术研发[D]. 山东省, 山东大学, 2022.
- [14] 陈怡吉. 电动汽车不同工质类型热泵空调系统的制热性能[J]. 北京汽车. 2023(04):10-14.
- [15] Li, W Y; Liu, Y S; Liu, R; et al. Performance evaluation of secondary loop low-temperature heat pump system for frost prevention in electric vehicles[J]. Applied Thermal Engineering, 2021(182): 115615.
- [16] Li, G; Eisele, M; Lee, H; et al. Experimental investigation of energy and exergy performance of secondary loop automotive air-conditioning systems using low-GWP (global warming potential) refrigerants[J]. Energy, 2014(68): 819-831.
- [17] 徐琳娇. R290替代R22的空调用旋转压缩机几个关键技术分析[C]. 上海市制冷学会2017年学术年会论文集. 上海: 上海市制冷学会, 2017.
- [18] 徐言生, 郭宏, 吴治将, 等. 润滑油对R290空调系统性能影响的实验研究[J]. 制冷, 2017, 36(4): 1-6.

Application of Big Data Technology in Power Safety Risk Assessment

Yongli Du

China Power Construction Group Hebei Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050021, China

Abstract

With the continuous advancement of internet technology and the sustained growth of electricity demand, power systems have become increasingly complex, posing greater challenges to power safety. The presence of various hazardous factors poses significant threats to power safety, further complicating its management. Consequently, effectively identifying and assessing risk factors, as well as controlling these risks, has become an urgent priority for the power industry. In recent years, big data technology has provided new directions for power system safety management. This paper explores the application of big data technology in power safety risk assessment, analyzing three key aspects: power safety risk factors, the significance of big data-based risk assessment, and big data-driven risk management strategies.

Keywords

Power system; Big data technology; Risk assessment; Power safety

大数据技术在电力安全风险评估中的应用

杜永利

中国电建集团河北工程有限公司, 中国·河北 石家庄 050021

摘要

随着互联网技术不断更新, 以及电力需求的持续增长, 电力系统的复杂程度也越来越高, 电力安全面临的困境也越来越多。尤其是各种危险因素的存在, 对电力安全造成极大威胁, 导致电力安全管理的难度进一步加大。因此, 有效识别及评估风险因素, 对各种风险进行管控, 已是电力行业迫切需要解决的课题。近年来, 大数据技术为电力系统的安全管理提供了新的方向。为此, 本文探讨大数据技术在电力安全风险评估中的应用, 从电力安全风险因素、基于大数据技术的电力安全风险评估的意义、大数据驱动的电力安全风险策略三个方面展开分析。

关键词

电力系统; 大数据技术; 风险评估, 电力安全

1 引言

现代化信息技术的发展, 加剧了公众对电力需求的提升, 在当前的时代趋势下, 互联网的各领域的持续深入, 也让电力系统的安全面临比以往更多困难与风险。对于电力公司来说, 风险预防始终是电力安全生产的重要原则, 而电力安全事故的发生常常具有偶然性与突发性。为有效确保电力安全, 避免各种安全事故的发生, 就需要电力公司持续做好电力安全管理工作, 严格进行安全风险评估, 从而做好预防与应对工作。大数据技术为电力安全的持续改进提供了很多可能, 可以通过合理利用大数据技术, 实现电力安全风险的全面防控, 维持电力系统的良好运行, 从而维护好公众生活安全与社会经济。

【作者简介】杜永利 (1972—), 男, 中国河北石家庄人, 本科, 高级工程师, 从事安全生产管理和安全技术。

2 电力安全风险因素

2.1 设备故障风险

电力生产中设备故障情况的发生会是最为常见的电力安全风险类型, 设备故障的发生会导致电力系统无法维持有序运行, 其系统的稳定性也会直接受到影响。随着电力系统容量持续增加和技术改革的不断深化, 电力系统涉及的设备比过去更加复杂, 而这些设备如果出现故障, 无疑会对电力系统的正常运作造成影响, 不管是供电故障, 还是人身安全威胁, 无疑都是不可估量的损失。而设备故障情况的发生, 经常受到多方面因素的干扰, 不论是产品本身, 还是安装维护, 一旦出现问题, 都会引起设备故障。而且电力设备在长期的运行过程中, 环境、磨损等, 也会增加设备的故障风险。想要有效规避这类风险, 就必须对电力系统进行全面评估, 及时开展故障排查、设备维护等工作, 强化故障管理与优化内容。

2.2 操作失误风险

电力安全管理工作中，操作失误经常会引发安全事故。这类风险往往是人为因素引起，多数情况是工作人员操作失误造成，这种情况一般发生在电力系统调度、设备维护等过程中，因操作流程错位、专业能力不足或沟通不到位等因素，导致设备发生损坏、停电或电力系统不稳定等情况发生。一旦工作人员操作失误，将会对电力系统的安全供应产生直接影响，而且这种不良影响会快速发生扩散，从而引发公共安全与社会经济问题^[1]。为有效减少操作失误带来的风险，则需要通过完善的监控系统，让操作人员及时获取各环节的信息，从而减少因误判引发的决策错误等情况。同时，还需要构建严格质量管理标准，确保各环节的工作人员都能够规范操作行为。

2.3 自然灾害风险

电力设施在运行过程中，很容易受到自然灾害的影响，如地震、台风等，都会对电力设备造成极大破坏，影响电力的正常供应。针对这方面的风险，需要通过更多有效的办法去进行评估和防范。

2.4 其他风险因素

除上述风险因素外，法律法规、网络安全、经济变化等都会对电力系统的安全性造成威胁，这其中威胁最突出的当属网络安全。黑客攻击、数据泄露等，都会导致电力系统的网络出现瘫痪，从而影响电力系统的安全运行，以及正常供电。

3 基于大数据技术的电力安全风险评估的意义

3.1 促进电力安全生产

互联网背景下，电力系统的运行能够通过大数据技术进行实时监测，包括设备的实时状态、历史记录以及环境等各个维度的信息，通过对这些信息进行深度分析，从而掌握设备状态，识别电流异常波动等问题。这种模式不需要按照过去被动的“事后排查”思路进行解决，而是可以通过大数据技术提前识别电力系统的运行风险，利用风险预测模型去判断风险的发生情况，从而将风险事件的发生关口进行前移或规避，进而确保电力系统安全运行。

3.2 实现电力安全风险的精准识别与智能决策

云计算、大数据技术在电力系统的应用，在很大程度上提升了电力工作的安全系数。有了大数据技术，工作人员可以对既往发生的风险事件进行总结，在此基础上建立相应的风险评估模式，从而基于多个维度展开风险评估，这样可以对电力系统存在的高风险因素进行精准识别，便于工作人员了解电力安全的薄弱方面。此外，在大数据支持下，可以快速得到风险控制方案，便于操作人员在检查维护时能够动态调整工作内容，实现资源的合理配置，并防止由于错误判断造成安全事故，确保电力工作在数据的驱动下，实现智能层面的决策。

3.3 构建电力安全管理的协同化与智慧化生态

目前电力系统的运行实现了互联互通，而这一成果的达成得益于大数据技术。电力企业通过构建云平台，将配电、发电、输电等一系列流程的数据进行共享，并实现协同处理，极大促进了安全管理的跨部门协作效率。当管理人员通过云平台发现某处的设备出现异常提示时，那么系统将自动进行各个环节的联动处理，从而及时调整设备的各项参数，减少多处故障情况的发生，进而降低风险概率。

4 大数据驱动的电力安全风险管理体系

4.1 建立风险控制体系

电力安全风险管理体系的关键，在于建立大数据驱动的全面风险控制体系，该体系通过集中处理电力系统的大量数据信息，获取威胁电力安全的潜在因素，并对这些风险因素进行准确评估，从而做到对风险因素的提前防范。这种风险控制体系的创建首先必须通过数据平台进行统一管理，确保各种数据能够被统一管理，从而充分保证各项数据的有效性^[2]。同时，还需要通过大数据技术进一步评估数据，以此实现风险因素的识别。其次，需要通过专门的工具将获取到的威胁电力安全的因素进行准确评估与分析，预测可能带来的后果，从而针对风险控制提出有效的决策立足点。同时，需要根据评估情况，作出相应的风险控制方案，而该方案需要涉及到管理、应急响应等一系列流程，从而尽可能降低风险事件的发生概率，以及有效控制其带来的损失。最后，还需要构建风险监测机制，针对新的风险点确保及时识别，基于风险控制的具有需要，对该控制体系作出针对性的优化，以确保相关措施在实施过程中切实有效。

4.2 搭建监控与预警系统

电力安全风险管理体系需要基于大数据技术，做好监控与预警系统的创建工作，充分运用先进的数据处理技术，对电力系统进行全面控制，实时了解其中的信息参数，及时发现潜在的风险因素。通过这种监控预警系统，工作人员可以实时获取各环节的设备运行状态，并对获得的实时信息进行集中分析，以此得到风险评估数据，从而判定电力安全情况。此外，该系统必须具备良好的反应效果，能够准确快速地反映电力安全信息，并具备进一步的开发空间，从而确保该系统能够有效应用于电力系统的工作中，使其能够与外部环境相适应，以及满足技术变化的各项条件。这种系统的功能具有综合性，能够极大地提升电力工作效率，减少电力安全的威胁因素，有效降低经济损失，减少对社会的不良影响，是电力安全的重要支撑。

4.3 构建智能化决策支持系统

智能化决策系统的创建，目的在于为决策环节提供精准与高效的判断依据，以适应电力系统在运作过程中存在的各种难处理事件以及隐患。智能化决策系统集齐了各项先进的大数据技术，通过智能化的形态对大量的电力数据进行

即时处理与分析,包括电力系统的历史故障、运行数据等,通过大数据技术完成数据的量化与评估,从而将其运用在电力系统的运行与维护过程中,使其为这些环节的决策提供依据。智能化决策支持系统可以从各个维度对数据做出高度的评价,进行风险评估,并提出相应的应对策略等。在深度学习的算法加持下,该系统可以对电力系统中的数据类型与规律进行自动学习,在这一过程中能够将潜在的问题进行识别。而该系统可以通过预测模型判断可能发生的安全事故,从而将预测到的结果告知给运维人员,进而提前做好风险预防措施。该系统还可以根据大数据分析结论,为工作人员提供相应的优化措施与风险控制办法,并针对应急事件提供响应措施,从而便于决策者在制定决策时出现错误判断^[3]。

4.4 建设风险管理与应急响应一体化系统

风险管理与应急响应一体化系统是将大数据技术与管理工作进行有效融合,是确保电力安全的有效举措,该系统不但能够实现风险因素的实时筛查,还能以最快速度对各种紧急情况作出响应。该系统以大数据与人工智能技术为基础,对风险管理的各个环节进行整合,同时将响应的流程进行集中化控制,从而极大提升了电力系统的预警功能,使其在应对突发事件时能够更快作出反应。在这种一体化的系统中,需要将风险管理与应急响应流程紧密连接,让二者处在共同的体系中,在这个体系中,风险管理不是单独的预防机制,而是与应急响应进行联动持续反馈过程^[4]。该系统通过对数据的分析与评估,从而将各处的风险因素进行准确识别啊,并在这一基础上,自动制定出一系列的应对措施。在这样的系统中,一旦出现安全危险因素,就可以快速启动相应的应急环节,尽可能避免事故造成严重后果。这种一体化的系统能够实现跨领域以及跨部门的合作,工作人员能够在统一的信息平台上进行信息与资源的共同使用,从而极大保证了风险事件发生时,能够在最短的时间内得到有效处理,有效减少公众生活与社会经济的损失。此外,可以部署分布式故障录波装置,确保在主站宕机时仍能保存最后 300ms 关键操作数据。分布式故障录波装置能够实时记录电力系统在故障发生前后的关键操作数据,即使主站出现宕机等故障,这些重要数据也能得到妥善保存,有助于电力企业快速定位故障原因,总结经验教训,完善应急响应机制^[5]。

4.5 人员能力提升方案

依托大数据技术开发构建虚拟现实培训系统,将各类事故的处置场景进行模拟。虚拟现实培训系统可以为工作人

员提供接近真实场景的事故现场,使其在这种逼真的虚拟环境中进行练习,掌握各种事故的处理方法与流程。该系统的建立能够有效帮助电力工作者提升操作技能,使其充分具备应对突发事件的综合能力。此外,还需要建立“红蓝对抗”人才梯队,不但要积极培养具备专业能力的电力工作者,还需要确保这些工作者能够掌握数据分析能力,以确保在工作过程中能够有效判断风险因素,维护好电力系统的安全。

“红蓝对抗”模式通过模拟网络攻击与防御的实战场景,各个不同专业的人员在该场景中进行博弈与学习,这种方式可以确保工作人员充分掌握电力系统的运用规则,还能认识到大数据在其中的作用,从而有效掌握数据安全技术,以便在工作过程中及时发现风险因素,切实有效地维护电力系统的安全^[6]。

5 结语

电力安全风险评估过程中,需要以发展的眼光看问题,立足于提升事故预防与应对能力,不断加强电力系统基础设施建设,强化对各个流程风险因素的排查,做好相应的风险控制工作,并不断加强对风险的预警控制。在电力安全风险评估工作中,要积极依托大数据技术,推动各个流程的标准化与规范化运行,确保各个流程的工作能够实现高效推进。依托大数据技术开展风险评估与管理的过程中,应树立全员安全意识,确保全体电力工作者在安全氛围浓厚的环境中开展工作。这样才能构建出真正有效的电力安全风险评估体系,才能保证电力系统的安全稳定运行,从而持续提升电力系统的安全水平。

参考文献

- [1] 司徒立恒,卢紫薇.大数据技术在电力企业质量管理中的具体运用与实施策略探讨[J].企业改革与管理,2025,1(21):40-42.
- [2] 李璐.基于大数据技术的电力安全管理风险与控制要点[J].张江科技评论,2025,3(06):66-68.
- [3] 海琴,龚文军,马成林.大数据技术在电力系统信息安全防护中的应用[J].自动化应用,2023,64(04):158-160.
- [4] 高利平,张颖.基于大数据分析的电梯安全风险监测与评估系统的开发与应用[J].中国电梯,2025(7):63-65.
- [5] 佳 崔.新技术在电力工程的安全风险管控中的应用[J].水电科技,2024,7(8):79.DOI:10.33142/hst.v7i8.13165.
- [6] 唐尧,陈宇凡,陈玉峰.基于大数据分析的输配电网网络安全风险评估与管理[J].电气技术与经济,2025(1):226-228.

Optimization of lightning protection and grounding technology for coal mine power supply system

Li'e Li

Shaanxi Zhongneng Coalfield Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

The power supply system in coal mines serves as the “lifeline” of mining operations, providing stable electricity for critical underground equipment such as mining, ventilation, and drainage. Its operational reliability directly impacts production safety, efficiency, and personnel safety. Coal mining environments are inherently challenging, with most mining areas located in open terrain. Underground spaces are confined, damp, and dusty, often containing flammable and explosive gases. Power lines must traverse complex terrains and endure prolonged exposure to harsh natural conditions. Lightning, a powerful natural discharge phenomenon, can invade the power system through direct strikes or induced currents, damaging electrical equipment and causing power outages. In severe cases, it may ignite gas or coal dust, potentially triggering major safety accidents.

Keywords

Coal mine power supply system; Lightning protection grounding; Grounding resistance; Technical optimization; Surge protector

煤矿供电系统防雷接地技术优化

李利娥

陕西中能煤田有限公司, 中国·陕西 榆林 719000

摘要

煤矿供电系统是煤矿生产的“生命线”，承担着为井下采掘、通风、排水等核心设备提供稳定电力的职责，其运行可靠性直接关系到生产安全、效率及人员人身安全。煤矿生产环境特殊，多数矿区地处开阔地带，井下空间密闭、潮湿多尘且存在易燃易爆气体，供电线路需跨越复杂地形，长期承受恶劣自然环境侵蚀。雷电作为强烈自然放电现象，会通过直击、感应等方式侵入供电系统，损坏电气设备、引发供电中断，严重时还会引燃瓦斯煤尘，诱发重特大安全事故。

关键词

煤矿供电系统；防雷接地；接地电阻；技术优化；浪涌保护器

1 引言

接地系统是防雷保护的核心，与防雷装置协同将雷电电流导入大地，降低过电压冲击并保障设备安全电位。随着煤矿智能化升级，大量耐压低、抗干扰弱的电子设备广泛应用，对防雷接地可靠性提出更高要求。但部分矿区沿用传统技术，存在接地电阻超标、装置配置不合理、接地体腐蚀、维护不到位等问题，防护效能不足，给供电安全埋下重大隐患。

2 煤矿供电系统防雷接地现状及存在的问题

2.1 煤矿供电系统结构及防雷接地核心需求

煤矿供电系统由地面变电所、井下中央变电所、采区变电所及各类配电线路、用电设备组成，形成“地面-井下”

一体化网络。地面变电所作为枢纽，负责电能接收、变换与分配；井下中央变电所转换电压后，通过采区变电所分配至各用电设备；配电线路涵盖架空线与电缆线，是电能传输核心载体。

防雷接地核心需求体现在两方面：一方面是防雷保护，抵御各类雷电灾害，防止设备损坏与供电中断；另一方面是接地保护，将设备金属部分接地，降低外壳对地电压，防止触电并为继电保护提供可靠信号。此外，瓦斯抽放站等易燃易爆区域，防雷接地需满足防火防爆要求；井下潮湿腐蚀环境，需保证接地系统长期导电良好，符合接地电阻标准。

2.2 防雷接地现状

目前，煤矿防雷接地主要采用“直击雷防护+感应雷防护+接地网”模式：地面建筑物安装避雷针、避雷带；架空线路架设避雷线、安装避雷器；井下通过电缆屏蔽层接地、主辅接地极连接实现防护；接地网采用扁钢、圆钢与垂直接地极组合敷设。

部分大型矿区已引入智能化监测设备，实现动态监测

【作者简介】李利娥（1985—），中国陕西榆林人，工程师，从事煤矿机电研究。

与故障预警，但多数矿区仍停留在传统水平，尤其是中小型矿区受资金技术限制，设计、施工、维护存在诸多不足，难以适应智能化生产与复杂雷电环境需求。

2.3 存在的主要问题

2.3.1 防雷装置配置不合理，防护存在盲区

部分煤矿防雷装置设计未结合矿区雷电规律、地形设备特点，存在防护盲区。例如，瓦斯抽放站采用独立避雷针，引雷时产生的电弧高温易引燃瓦斯，且部分避雷针与排气筒距离过近，隐患突出；架空线路避雷线间距过大、高度不足，终端分支处未装避雷器，雷电波易侵入变电所；井下电缆屏蔽层接地不规范，接头处屏蔽层断裂，无法抑制感应雷过电压。

此外，智能化电子设备未配置专用浪涌保护器（SPD）或型号不匹配，雷电感应产生的浪涌电流无法有效泄放，易导致设备死机、烧毁，影响生产连续性。

2.3.2 接地系统设计不完善，接地电阻超标

接地电阻是核心指标，不同设备有明确标准，但多数矿区存在超标问题：第一点是接地网设计未结合土壤电阻率，高电阻率区域仍采用传统扁钢接地网，未采取降阻措施；第二点是接地体选用普通钢材，在潮湿腐蚀环境中易老化，截面减小、导电下降，加剧电阻超标；第三点是施工不规范，水平接地体埋深不足、垂直接地极插入不够，焊接质量差，接地网导电性能不佳、电阻不稳定。

2.3.3 接地体腐蚀老化严重，使用寿命短

井下环境潮湿多尘，含有大量腐蚀性气体，地面接地体长期埋地受土壤因素影响，易发生电化学与物理腐蚀。部分矿区未采用耐腐蚀材料，普通接地体使用3-5年即严重腐蚀甚至断裂；镀锌钢材在井下强腐蚀环境中，镀锌层快速脱落，防腐失效。同时，接地体维护不到位，未定期除锈防腐、更换损坏部件，导致接地系统性能持续下降^[1]。

3 煤矿供电系统防雷接地技术优化原则

防雷接地技术优化需结合煤矿生产特殊性与供电需求，遵循“安全性优先、可靠性适配、经济性合理、适用性贴合、系统性统筹”原则，确保防护有效、运行稳定，兼顾施工可行性与成本控制。

3.1 安全性优先原则

将安全性放在首位，充分考虑雷电灾害危害，尤其是易燃易爆区域，避免采用易引发电弧高温的防护方式，防止安全事故；确保设备外壳对地电压在安全范围，保障人员安全与系统防护效能。

3.2 可靠性适配原则

优化系统需与供电运行模式、设备配置适配，抵御雷电与环境影响。智能化设备配置专用SPD，井下接地系统选用耐腐蚀材料，防雷装置结合雷电规律配置，确保防护无盲区。

3.3 经济性合理原则

兼顾技术与经济性，避免盲目追求高端方案。结合矿区实际选择高性价比材料设备，优先采用成熟低成本措施；中小型矿区可分阶段改造，优先解决突出问题，降低投资与维护成本。

3.4 适用性贴合原则

因地制宜制定优化方案，高土壤电阻率矿区重点采取降阻措施，高瓦斯矿区用防雷构架替代独立避雷针，架空线路多的矿区优化避雷线与避雷器配置，适配不同矿区特点^[2]。

4 煤矿供电系统防雷接地技术具体优化措施

4.1 直击雷防护技术优化

直击雷防护核心是避免雷电直接击中设备与建筑物，结合不同区域特点采取针对性措施，消除盲区、提升效能。

4.1.1 地面建筑物直击雷防护优化

普通建筑物优化避雷针、避雷带配置：根据建筑高度体型确定避雷针位置高度，确保防护全覆盖；避雷带采用镀锌钢材沿屋顶敷设，与避雷针可靠连接形成防护网，引下线间距控制在20-30米，与接地网有效连接。

易燃易爆场所摒弃独立避雷针，采用防雷构架+上层避雷网，设置侧向防绕击避雷线；接地装置外引至站外安全区域，避免电弧引燃易燃易爆物质。矿井口、抽风口设置8-12米高避雷针，引下线选用耐腐蚀材料，确保接地电阻达标。

4.1.2 地面架空线路直击雷防护优化

35kV及以上高压线路全线架设双避雷线，合理确定高度间距，确保屏蔽导线；10kV及以下线路根据雷电频率，在主干线、终端等关键部位架设避雷线或安装金属氧化物避雷器，其参数与线路电压匹配，接地电阻控制在10Ω以内，定期检查更换。同时优化线路路径，避开雷电频发区域，加强巡检修复破损部件。

4.2 感应雷防护技术优化

4.2.1 电源线路感应雷防护优化

煤矿电源线路多采用TT制，需选用定制SPD适配系统特性。地面与井下变电所配电装置均安装对应等级SPD，高压侧装金属氧化物避雷器，低压侧装低压SPD，形成多级防护。SPD安装于进线端及靠近用电设备处，接地端与接地网可靠连接，电阻达标。同时优化布线，避免线路过长弯曲，高压与低压线路分开敷设，间距不小于1米。

4.2.2 信号线路感应雷防护优化

信号线路选用适配的信号SPD，安装于进出线端，参数与信号频率强度匹配，避免影响传输质量，接地端可靠接地。采用屏蔽电缆传输，屏蔽层两端接地电阻控制在1Ω以内；信号与电源线路分开敷设，设备安装于屏蔽罩内，提升抗干扰能力。

4.2.3 电缆线路感应雷防护优化

井下电缆防护重点：一是优化屏蔽层接地，确保两端及接头处连接良好；二是电缆沟内敷设接地扁钢，将支架、

屏蔽层与之连接形成等电位体；三是电缆进线端安装避雷器与SPD，抑制雷电波侵入。定期检查修复电缆及接头，更换老化腐蚀部件，避开强腐蚀区域或采取防腐措施^[3]。

4.3 接地系统技术优化

接地系统优化重点是降低电阻、提升耐腐蚀性能、完善设计，确保长期稳定运行。

4.3.1 接地网设计优化

结合土壤电阻率设计：低电阻率区域采用水平与垂直接地极组合接地网，水平接地体埋深不小于0.8米；高电阻率区域换填降阻材料；极高电阻率区域采用深井接地，确保电阻达标。构建“主接地极+局部接地极”联合网，主接地极采用耐腐蚀钢板设于井底水仓，局部接地极设于关键区域，定期检测更换，两者可靠连接形成统一接地网。优化接地网布置，确保焊接质量，避免碰撞损坏。

4.3.2 接地体材料优化

摒弃普通钢材，地面选用镀锌钢、铜包钢等耐腐蚀材料，使用寿命可达10-15年；井下选用不锈钢等适配潮湿腐蚀环境的材料；易燃易爆区域选用铜质接地体，降低安全隐患。合理确定截面尺寸，表面涂抹防腐涂层，定期除锈防腐、更换损坏部件，确保导电稳定。

4.3.3 降阻措施优化

采用多种降阻措施结合：安装电解离子接地极，定期补充离子确保效果；采用多极接地增加接地面积；利用自然接地体与人工接地网连接，降低成本。定期检测电阻，根据结果调整措施，土壤干燥区域可浇水保湿辅助降阻。

4.4 等电位连接优化

将地面变电所、井下硐室等区域所有金属设备、构架、电缆屏蔽层等通过接地导体可靠连接，形成等电位体，消除雷击时电位差；易燃易爆区域重点做好金属管道、设备接地；电源与信号线路金属保护管与设备、接地网连接，提升抗感应雷能力。确保连接可靠，定期检查修复连接部位^[4]。

4.5 智能化监测与维护管理优化

4.5.1 智能化监测系统优化

构建“无线传感网络+边缘计算”监测系统，在关键部位安装传感节点，实时采集接地电阻、设备绝缘等参数，传输至监控中心分析预警。引入先进检测设备，采用光纤或4G/5G传输数据，建立共享机制，实现与供电系统监控数据一体化管理。

4.5.2 维护管理体系优化

建立完善维护体系，明确专人负责，制定定期检查检测制度，建立维护档案，实现全生命周期管理。加强员工培训，建立应急处置机制，定期开展演练。加强与专业机构合作，引进先进技术设备，加大防雷安全宣传，提升全员安全意识。

5 工程应用案例

5.1 工程概况

某高瓦斯矿区设计产能120万吨/年，井田面积18平

方公里，地处山区，年平均雷电日45天，采用三级供电模式，配备2台12500kVA主变压器，供电线路含35kV架空线8km、10kV架空线15km、井下电缆30km^[5]。

该矿区原有防雷接地系统隐患突出：瓦斯抽放站用独立避雷针，接地电阻普遍超标（地面15Ω、井下8Ω），接地体腐蚀断裂，防雷装置配置不合理，监测维护落后，每年因雷电引发供电中断不少于3次，损失较大。

5.2 优化方案实施

结合矿区实际，按本文优化原则与措施，开展6个月全面改造，核心内容包括：

（1）直击雷防护：拆除瓦斯抽放站独立避雷针，采用防雷构架+避雷网，接地外引50米；优化建筑物与线路防雷装置配置，矿井口设置10米高避雷针。

（2）感应雷防护：各变电所安装定制SPD，信号线路配置适配SPD，优化电缆屏蔽层接地与进线端防护。

（3）接地系统：构建联合接地网，地面变电所换填降阻材料、安装电解离子接地极，井下采用耐腐蚀主辅接地极，更换腐蚀接地体，优化焊接与埋深。

（4）等电位连接：将各区域金属构件可靠连接，形成等电位体。

5.3 优化效果验证

优化后跟踪监测1年，效果显著：（1）接地电阻达标，地面降至4Ω、井下≤1Ω、易燃易爆区域≤10Ω；

（2）雷电灾害发生率降至0，无供电中断事故，易燃易爆区域隐患消除；（3）供电设备故障率下降85%以上，电子设备运行稳定；（4）维护管理效率提升60%，维护成本降低。实践证明，优化方案可行有效，具有良好应用推广价值。

6 结语

当前煤矿防雷接地存在装置配置不合理、电阻超标、接地体腐蚀、维护不健全、规范执行不到位等问题，隐患突出；优化需遵循五项原则，从直击雷、感应雷、接地系统、等电位连接、监测维护五方面全面推进；针对性优化措施可有效提升防护效能；工程案例验证了优化方案的可行性与有效性，能满足煤矿安全生产需求。

参考文献

- [1] 贺立强.煤矿供电系统防越级跳闸与漏电保护方法研究[J].煤炭新视界,2025,(02):259-261.
- [2] 刘亮亮.煤矿供电系统防越级跳闸保护系统开发实践研究[J].西部探矿工程,2025,37(09):66-68.
- [3] 辛磊.煤矿供电系统变压器低压侧防雷优化设计研究[J].能源与节能,2025,(08):73-75.
- [4] 许祥赞.煤矿供电系统防越级跳闸系统设计[J].凿岩机械气动工具,2025,51(04):14-16.
- [5] 史昱龙.煤矿供电系统防越级跳闸的设计与研究[J].能源与节能,2024,(08):51-53+275.

Research on Crack Problem and Quality Control Method of Concrete Construction

Yang Lu

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

Abstract

Concrete cracks pose a persistent challenge in construction. Despite technological advancements, internal defects frequently occur, compromising both quality and safety. Therefore, construction contractors must prioritize concrete crack prevention and analyze their mechanisms. Effective crack control requires comprehensive lifecycle management—from foundation deformation analysis during design to construction details and post-construction maintenance. Any oversight in these phases may lead to cracks. This study examines concrete construction crack types, investigates their causes, and proposes practical quality control measures for industry professionals.

Keywords

Concrete; Construction cracks; Quality control methods

混凝土施工裂缝问题与质量控制方法研究

陆阳

西安航天动力试验技术研究所, 中国·陕西 西安 710100

摘要

混凝土裂缝是施工过程中不可忽视的难题, 尽管技术不断发展, 但内部问题时有发生, 影响工程质量与安全。因此, 在建筑工程项目中, 施工单位需要重视混凝土裂缝问题, 分析其产生的机理。混凝土结构裂缝控制需要贯穿工程全生命周期管理, 从勘察阶段的地基变形分析到施工过程的每一个细节, 再到后期的维护管理, 每一个环节的疏漏都可能导致裂缝的产生。在本文的研究工作中, 主要分析混凝土施工裂缝的类型, 探究其成因, 提出几种有效的质量控制措施, 以供相关人员参考。

关键词

混凝土; 施工裂缝; 质量控制方法

1 引言

混凝土施工质量直接决定工程结构的安全性、耐久性和使用功能, 裂缝是混凝土施工中最常见的质量缺陷之一, 不仅会影响结构外观, 还会削弱构件承载力, 降低抗渗性能, 甚至引发安全隐患。因此在施工中需要优化材料选择和方案设计, 加强施工过程的质量控制工作, 可以排除隐患, 避免裂缝的出现, 提高结构的安全性和稳定性, 延长建筑物的使用寿命。

2 混凝土施工裂缝类型

2.1 根据形态分类

混凝土施工裂缝有多种类型, 根据形态, 可以划分为表面裂缝、深层裂缝和贯穿裂缝。表面裂缝仅存在于混凝土表面, 深度不超过 5mm, 宽度小于 0.3mm, 对结构承载力

无直接影响, 会影响外观质量, 如果长期暴露在空气中, 水分和有害物质可能会通过裂缝渗入内部腐蚀钢筋, 降低结构的耐久性。深层裂缝深度已经超过 5mm, 可达构件截面的 1/3~1/2, 宽度在 0.3~0.5mm 之间, 会削弱构件的抗折性能和刚度, 如果裂缝贯穿钢筋保护层, 会导致钢筋锈蚀, 影响结构的承载力。贯穿裂缝指的是贯穿整个构件截面宽度大于 0.5mm, 会破坏结构的整体性和承载力, 导致出现漏水渗漏等问题, 严重可能会引发结构倒塌, 属于危险性裂缝, 必须及时处理^[1] 不同宽度表面裂缝对混凝土耐久性的影响数据详见表 1。

表 1 不同宽度表面裂缝对混凝土耐久性的影响数据

表面裂缝宽度 (mm)	钢筋锈蚀起始时间 (年)	混凝土耐久性下降幅度 (%)
< 0.1	> 15	< 5
0.1-0.2	8-15	5-15
0.2-0.3	3-8	15-30

【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。

2.2 根据裂缝因素分类

根据裂缝产生的具体原因,可以将其分为塑性收缩裂缝、温度裂缝和沉降裂缝等。塑性收缩裂缝通常发生在混凝土浇筑后的早期阶段,此时混凝土并没有完全硬化,但是表面水分的蒸发过快,导致表面收缩,而内部尚未收缩,从而形成了裂缝。温度裂缝指的是混凝土在硬化的过程中内外温差过大,导致表面和内部的膨胀不一致,从而产生裂缝^[2]。沉降裂缝指的是混凝土在浇筑以后,由于地基不均匀沉降或者结构自重引起的变形,导致混凝土内部的应力分布不均,从而产生裂缝。

3 混凝土施工裂缝的成因

3.1 材料因素

混凝土的原材料质量是影响裂缝产生的主要因素之一。混凝土的原材料包括水泥、骨料、外加剂和掺合料。其中水泥是混凝土的核心胶凝材料,其品种和用量会直接影响混凝土的水化热、收缩性能和强度发展。在大体积混凝土施工中,如果水泥用量过大,可能会导致内部温度急剧升高,内外温差过大引发温度裂缝。如果用量过多,还会增加混凝土的干燥收缩量,提高混凝土裂缝产生的概率。骨料占混凝土体积的70%~80%,如果骨料级配不良,细骨料过多,粗骨料级配间断,导致混凝土空隙率增大,需要增加水泥用量才能保证和易性,进而增加了收缩量^[3]。骨料的含水率波动过大,会导致混凝土配合比失真,影响混凝土的强度和收缩性能引发裂缝。外加剂和掺合料是改善混凝土性能的重要材料,但如果使用不当也会引发裂缝,例如减水剂用量过多,会延长混凝土的初凝时间,增加塑性收缩的风险,掺合料的质量不佳,会降低混凝土的早期强度,增加收缩量。此外,混凝土配合比设计不合理,如果水胶比过大,会导致混凝土的密实度降低,抗拉强度下降,干燥收缩量增大,容易产生裂缝。砂率过高或者过低会影响混凝土的和易性与强度,过高会增加收缩量,过低会导致混凝土流动性差。形成内部孔隙,引发裂缝。

3.2 设计因素

建筑工程项目设计环节的管控力度不足,也会埋下一定隐患,引发混凝土裂缝。结构设计不合理,可能会导致建筑物在使用过程中出现各种问题,例如承载力不足、变形过大、稳定性差等,从而影响接触物的安全性^[4]。配筋不足或者不当,可能会导致结构在受力过程中出现裂缝,局部破坏甚至是整体倒塌。

3.3 施工因素

施工过程中涉及诸多关键因素,引发混凝土裂缝的出现。首先是混凝土浇筑与振捣工艺不当。混凝土浇筑环速度过快,分层厚度过大,会导致混凝土内部的气泡无法及时排出,形成孔隙,降低密实度和抗拉强度。而在振捣环节,振捣棒的布置不合理,导致振捣不足或者漏振时混凝土的密

实度不够,内部存在疏松区域,容易产生裂缝。振捣过度会导致骨料下沉,水泥浆上浮,形成分层离析现象,表面层水泥浆过厚,收缩量增大,引发表面裂缝。

模板工程环节存在质量缺陷,也会引发混凝土裂缝。模板刚度不足,支撑体系不牢固,在混凝土自重和施工荷载下产生变形沉降,导致混凝土构件受力不均引发裂缝。模板拼接不严,密封不良,导致混凝土浇筑时漏浆,形成蜂窝麻面,削弱构件截面强度,进而引发裂缝。模板拆除过早,导致混凝土强度未达到设计标准,无法承载自身重量和施工荷载,会产生荷载裂缝。

养护环节,混凝土养护不足,也是产生裂缝的主要原因之一。并没有及时覆盖保温材料,表面的水分蒸发过快,会导致塑性收缩和干燥收缩加剧,产生表面裂缝和深层裂缝。养护时间不足,混凝土抗拉强度较低,无法抵抗收缩应力和荷载作用引发裂缝。

4 混凝土施工裂缝的质量控制方法

4.1 优化材料选择

为了有效应对混凝土施工中裂缝问题,施工单位要采取适当的质量控制措施,在前期阶段要优化材料的选择,从源头入手进行合理把控。首先要严格把控水泥质量,根据工程类型以及施工环境,合理选择水泥品种。普通混凝土可选用普通硅酸盐水泥,大体积混凝土应优先选用矿渣硅酸盐水泥。在满足混凝土强度和和易性的前提下,尽量减少水泥用量,降低水化热和收缩量。优化骨料质量和级配,粗骨料优先选择连续级配的碎石或卵石。细骨料选用中砂,确保骨料的强度和耐久性符合要求。严格控制骨料的含泥量,进场以后及时清洗,去除杂质,合理调配骨料级配,减少骨料的空隙率,降低水泥用量。外加剂要选择质量合格,性能稳定的外加剂,例如高效减水剂、缓凝剂等,控制掺量使用,避免过量添加。大体积混凝土可选用膨胀剂,补偿混凝土收缩。掺合料优先选用优质粉煤灰、矿渣粉。一般粉煤灰掺量不超过水泥用量的30%,矿渣粉则不超过50%。其次,优化混凝土配合比设计。在具体的工程项目中,需要通过试验确定混凝土的最优配合比,严格控制水胶比,普通混凝土水胶比不应大于0.6,高强度混凝土水胶比不应大于0.45。同时还要合理确定砂率,一般砂率控制在35%~45%确保混凝土的和易性和强度关键材料与配合比参数详见表2。

4.2 优化方案设计

在工程项目的结构设计中,需要加强对方案的细致审查和调整,确保整个结构更加科学合理。组织专家会审,加强对图纸的审核。通过对各个部分的受力分析和材料选择的优化,力求在满足功能需求的同时,最大限度地提高结构的稳定性和耐久性^[5]。同时还需要考虑到地震、风灾等一些外部因素,以确保结构在极端条件下的安全性能。优化结构基础,还要注重结构的经济性和施工可行性,对比不同设计方

案的成本效益,选出性价比最优的方案。通过优化设计方案,减少后续变更,可提高施工的安全性和稳定性,避免出现施工裂缝。此外还可以引进先进的监测与评估技术。在施工和

后续使用的过程中,开展结构健康监测和应力应变测试等。收集和分析结构的状态、数据,必要时进行适当修复,避免裂缝的产生和影响。

表 2 关键材料与配合比参数

控制项目	推荐指标 / 范围	依据 / 标准	备注
水泥用量	280~400kg/m ³	GB50666-2011	大体积混凝土宜≤ 350kg/m ³ ,采用中低热水泥;
水胶比 (W/B)	0.40~0.55 (根据耐久性要求调整)	JGJ 55-2011	冻融环境≤ 0.45,氯盐环境宜≤ 0.40
砂率	38%~45%	根据骨料级配和泵送要求调整	细砂取低值,粗砂取高值
坍落度	根据浇筑部位确定基础垫层: 30~50mm 梁板: 70~90mm 柱墙: 100~140mm 泵送混凝土: 120~180mm	GB/T50080-2016	高温施工时每升高 10℃,坍落度损失增加 20~30mm

4.3 加强施工控制

混凝土施工的过程中,开展质量控制工作,可以提高施工质量,减少裂缝的产生概率。优化浇筑方法的选择,根据工程的具体需求和现场条件综合考虑,选择最适合的浇筑方法,例如,滑模浇筑或者泵送浇筑等,确保混凝土的均匀性和密实度。浇筑的过程中要加强质量控制工作,合理控制好浇筑的速度和分层厚度,一般分层厚度不宜超过 500mm,速度不宜过快,避免混凝土堆积和离析。在振捣施工中,采用插入式振捣器进行振捣,振捣时遵循快插慢拔、分层振捣的原则。要振捣至表面出现浮浆不再沉落和无气泡排出。一般每点振捣时间为 20 秒到 30 秒,避免振荡不足或者过度。每次浇筑间隔时间不宜超过混凝土的初凝时间,如果超过初凝时间,则应按施工缝处理,在旧混凝土表面凿毛,清理干净以后,铺设一层同配合比的水泥砂浆,再进行新混凝土浇筑,确保新旧混凝土黏结牢固^[6]。加强模板工程的质量管控工作,模板工程设计需要符合刚度、强度和稳定性的要求,在施工时确保支撑牢固,避免沉降和变形。拼接处要采用密封胶密封,防止漏浆。模板表面需要清理干净,以后涂刷均匀的隔离剂,减弱混凝土与模板的粘结力,便于拆除。要严格控制模板拆除时间,根据混凝土强度发展情况确定。跨度大于 8 米时,要达到设计强度的 100% 可拆除,梁柱等承重构件需要达到设计强度的 75% 以上才可拆除模板支撑体系。

做好混凝土养护工作,在混凝土浇筑完成以后,应在初凝前及时覆盖保温材料,例如塑料薄膜、土工布等,防止

表面水分蒸发过快。对于板类构件,可采用塑料薄膜覆盖。对于梁、柱等构件,可采用保温被包裹,外部覆盖塑料薄膜。养护时间应当根据水泥的品种,混凝土强度等级和施工环境来确定。如果采用的是硅酸盐水泥,养护时间不应少于 7 天,如果是外加剂、膨胀剂或大体积混凝土,养护时间不应少于 14 天。

5 结语

综上所述,混凝土施工中受到多种因素影响,容易引发裂缝,因此,施工单位需要优化材料选择,加强方案设计,做好施工过程中的控制工作,排除各类影响因素,降低裂缝的发生概率,提高结构的安全性和稳定性。

参考文献

- [1] 黄国财. 混凝土施工裂缝问题与质量控制措施研究[J]. 装饰装修天地,2023(16):181-183.
- [2] 于杉. 混凝土施工质量控制中的关键技术分析[C]//2025工程技术与材料应用学术交流会议论文集. 2025:1-3.
- [3] 王遵建. 混凝土施工裂缝预防技术[J]. 建筑技术开发,2021,48(9): 63-64.
- [4] 王建,张妍妍. 建筑工程混凝土施工裂缝控制技术[J]. 模型世界, 2024(21):119-121.
- [5] 杨树浩. 建筑工程混凝土施工裂缝控制技术[J]. 广东建材,2024, 40(4):131-134.
- [6] 赵兵. 公路桥梁混凝土施工裂缝控制对策[J]. 建材与装饰,2025, 21(24):127-129.

Discussion on Special Construction Technology of Maintenance and Dredging of Drainage and Water Intake

Pei Yang

CNOOC Jiangsu Natural Gas Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu, 224500, China

Abstract

As critical channels in harbor drainage systems, intake and discharge outlets face unique challenges in maintenance dredging due to extremely shallow water conditions, constraints from adjacent structures, and the tendency of fine sediment to re-deposit. These factors make construction organization and quality control significantly more complex than conventional channel dredging. This paper analyzes the construction procedures and control points for outlet maintenance dredging, considering the shallow water depth, narrow working areas, limited tidal windows, and dynamic backfilling processes in these regions. It also explores key technical aspects, including the deployment of shallow-draft work platforms and continuous operation coordination, secondary backfilling control under high-intervention dredging conditions, and anti-collision and erosion prevention measures for adjacent breakwaters and existing structures. The study aims to provide effective support for the stable implementation of maintenance dredging while ensuring project timelines, cost efficiency, and safety standards.

Keywords

Maintenance of intake and discharge outlets; Dredging construction; Construction technology

取排水口维护疏浚专项施工技术探讨

杨培

中海油江苏天然气有限责任公司, 中国·江苏盐城 224500

摘要

取排水口作为港池取排水系统的关键通道, 其维护性疏浚直接受极浅水作业条件、邻近结构物约束及细颗粒泥沙易再沉积等因素影响, 施工组织与质量控制难度明显高于一般航道疏浚。本文结合取排水口区域水深浅、作业面狭窄、潮汐窗口受限及回淤动态性强等特点, 对取排水口维护疏浚的施工步骤与控制点进行分析, 并围绕浅吃水作业平台进场与连续作业组织、高扰动清淤条件下二次回淤控制、临近防波堤及既有构筑物的防碰撞与防冲刷措施等关键环节开展技术探讨, 旨在能有效支撑维护疏浚在工期、成本与安全条件下的稳定实施。

关键词

取排水口维护; 疏浚施工; 施工技术

1 引言

港池取排水口长期处于潮流、回流与波浪共同作用环境中, 细颗粒泥沙易在口门与结构物背涌区聚集, 淤积会引起进出水断面缩减、局部水深不足及水力条件恶化, 进而影响系统运行与构筑物安全。所以施工技术不仅需要满足清淤效率要求, 更需在进场方式、定位控制、工艺选择、回淤治理与结构物保护之间实现协同匹配。

2 工程概述

本工程为江苏 LNG2025-2026 年港池航道维护性疏浚工程。本工程取排水口位置已布置取排水头, 根据业主聘用

的第三方测量单位 2025 年 10 月 28 日测图, 取水头区域平均水深约 5.2m (淤积 2.3m), 排水头区域平均水深约 1.2m (淤积约 2.8m)。排水口区暂估疏浚量约 5400 m³, 取水口区约 4600 m³ (均为维护性疏浚, 最终以浚前、浚后测量复核为准)。在疏浚期时根据业主要求, 合理采用施工船舶与工艺开展疏浚施工, 确保取排水头结构安全及船舶施工安全。

3 取排水口维护疏浚的施工步骤与控制点

3.1 移动平台定制与下水拼装

为保证取排水口维护疏浚作业在受限水域内具备稳定的作业面与可靠的设备布置, 需要对移动平台的定制参数与下水拼装过程实施前置化控制。平台宜按无动力小型平板驳思路由船厂模块化定制, 设计阶段应明确总载荷与重心控制值, 优先采用型钢主梁与防滑甲板组合, 设置四角吊点、

【作者简介】杨培 (1972—), 男, 中国四川南充人, 本科, 工程师, 从事液化天然气储运工程研究。

系泊耳板与设备基础预埋件，并在泵组与发电机组位置布置减振垫座与围挡，保证运输与拼装工况下不发生位移。泥浆泵宜布置在浮筒独立小平台上，浮筒应进行气密性与浮力复核，连接采用抱箍加防脱链方式，并在两侧配置可调配重或压载水袋，确保横倾满足作业允许值^[1]。平台分段运输到码头后应先完成焊缝外观与关键尺寸复核，再进行螺栓连接扭矩复验与甲板临边防护安装，吊装下水前应核起对起重机工况、吊索夹角与导向绳布置，采用两点或四点平衡起吊缓慢入水，入水后立即开展吃水、横纵倾与系泊稳定性检查，并完成设备二次固定与试运转确认。

3.2 三角锚固定位与潮汐补偿

为确保取排水口维护疏浚过程中平台在狭窄作业窗内保持方位稳定并具备抗流抗风能力，三角锚固定位与潮汐补偿应按照先定位后受力、先稳态后精调的顺序实施。施工前由现场负责人结合测深成果与通航条件确定三处锚位，锚位宜避开护坡抛石、管线保护区及回旋水域，并在平台上划分锚缆走向与受力点，检查锚链、卸扣、绞车制动和导缆器磨损情况，确保额定安全系数满足连续作业要求。平台拖带至外侧较深水域后，辅助船先抛设两只艏锚并控制夹角接近120度，抛锚时应采用缓速送缆与逐段刹车方式，使锚爪充分入底并完成初次试拉，试拉合格后保留一定余缆形成缓冲弧度。随后拖带平台沿预定航迹缓慢进入作业区，前锚由辅助船带缆到位后下放，平台作业人员分次收缆，按照先艏缆后艉缆、交替对称的原则逐级加力，直至平台纵横向位移控制在允许范围内。作业期间应设置专岗按潮位变化每30至60分钟复核吃水与缆绳张力，涨潮时适量放缆防止过载，落潮时同步收缆避免缆绳拖底缠绕，并在流速增大或阵风来临前提前调整余缆与制动状态，保证平台姿态稳定^[2]。

3.3 高压冲吸清淤与枪头高程控制

为在取排水口局部受限水域实现可控清淤并避免超控扰动结构基础，高压冲吸清淤与枪头高程控制应围绕标高基准、姿态稳定与浓度匹配进行全过程约束。开工前施工班组应依据设计疏浚标高与当班潮位，复核冲吸枪头至水面定位点的有效长度，按软管标识分段配管并设置限位卡箍，使枪头自然垂挂时保持在目标疏浚面以上2至3m的安全余量，同时检查软管弯折半径、接头密封与钢丝绳防脱装置，防止负压吸扁与接口渗漏。作业时先启动泥浆泵低速引水并排尽管内空气，待吸入口流态连续后再逐级开启高压泵，压力提升应按小步幅递增并保持枪头垂直，枪头下放采用绞车点动方式，结合缆长刻度与现场水深复测控制下放量，使枪头在距底0.3至0.5m范围内形成切削冲刷带，避免触底刮碰与卷入抛石。冲刷推进应采取小范围扇形扫掠，单点停留时间以泥浆浓度与吸入稳定性为准，出现吸口堵塞或浓度骤降时应先减压再抬枪复位，严禁带压硬拖。

3.4 过程测量与平台步进移动

过程测量与平台步进移动应按固定频次复核、达标即

转位的节奏组织实施以保证取排水口维护疏浚在短作业窗内实现达标交付并控制复淤偏差。作业期间测量人员每间隔1小时采用测深杆或便携测深仪在作业扇区布设若干控制点，点位应覆盖中心、边缘及搭接带，并同步记录当时潮位换算至统一基准面后判定是否达到设计水深，出现局部欠挖时应立即回补处理并缩小扫掠范围以避免反复扰动。确认达标后，平台移动前应先降载停泵并将冲吸软管回收至安全位置，随后由平台人员按先松前缆后收后缆的顺序分级调整锚缆，使平台保持受控漂移，辅助作业船采用低速旁推方式提供侧向修正，严禁一次性大幅放缆导致平台甩尾。

3.5 耙吸船接应与外运处置

耙吸船应提前在作业区外侧安全水域待命，选择背风背流位置并保持与施工平台的安全间距，交通船负责带缆引导靠近并设置必要的警戒船位，避免与通航船舶交叉干扰。接管前班组应检查排泥管端部法兰、卡箍和垫圈完好性，确认泥舱进舱口封板已打开且导流装置到位，利用耙吸船吊机吊起管端时应加设溜绳控制摆动，接入后由专人分段复核紧固并对管线进行浮力与支撑调整，防止折弯、脱扣及磨损。接收阶段应根据泥舱液位与泵送流态调节进舱节奏，出现堵管或回压升高时应先减量再冲洗，严禁带压拆管。取排水口段完成后，耙吸船应按批准航线驶往指定海上抛泥区，进区前核对坐标与水深并设置航行警戒，抛泥时按规定开启舱门分次排放并控制船速，抛毕后关闭舱门检查密封并清洗甲板与管口残泥。

4 取排水口维护疏浚的关键技术难点与对策

4.1 极浅水区进场与连续作业难题

在本次工程中，排水口区域常态水深接近或小于常规施工装备最低安全吃水，导致船机进场首先受限于潮位与载荷双重约束，任何装载偏差都可能触发搁浅与拖带救援。该区紧邻防波堤且转向半径不足，船舶在小水域内易出现横移受限与回旋空间不足，叠加近岸回流与不规则涌浪时，船体姿态与设备作业面难以稳定保持。受潮汐影响，日内可用作业时段短且分散，设备频繁进出与移位使有效产能被组织性损耗吞噬，同时在涨落潮过程中水深变化快，缆绳受力、锚泊稳定与人员上下平台的安全条件持续波动。既有取排水头、抛石护体与防波堤构件分布密集，浅水区任何偏航或漂移均可能造成碰撞、刮擦或吸泥口误入块石区引发堵管与停机。

为了有效解决上述难题，现场应采用浅吃水、可快速拆装的专用作业平台替代传统船机，平台宜采用浮筒分载结构并设置可调压载舱，施工前按潮位曲线与设备重量复核吃水控制在0.5–0.8m范围内，同时将高压泵、动力单元与管路分区布置，降低单点荷载并避免纵倾过大。进场路线应在施工前完成探摸复测与临时航道整理，采用小型拖带艇或绞车牵引方式分潮次推进，平台到位后采用“短锚链多点定位”

或桩脚辅助稳固，并在靠防波堤侧设置防撞护舷与限位缆，控制平台与结构物的最小安全间距^[1]。连续作业组织应以“潮窗前置准备、潮窗内高强度作业、潮窗外保压待机”为原则，泥浆管线采用快速接头与柔性过渡段，配套设置浅水专用吸头与防堵格栅，减少因块石与杂物引起的停机。

4.2 二次回淤导致的“边清边淤”

在工程实践中，高压冲刷与抽吸类工艺在作业面形成强烈水动力扰动，底床表层细粒淤泥被卷起后迅速进入水体并随近岸缓流与防波堤背涌在局部循环，悬沙浓度在短期内升高并在低流速区回落沉积，导致已清出的槽底再次抬高且回淤呈现间歇性突发特征。取排水口口门附近水流受结构物影响存在偏流与回旋，沉降物更易在吸口前缘、护体边界与槽线转折处形成薄层覆盖，使局部水深首先失效并诱发后续清淤偏离设计断面。回淤速率受潮汐、风浪与上游来沙共同驱动，方量难以在施工前精确核定，现场往往出现验收后短期内水深复降的情况，迫使船机重复进场并打乱班组、弃土外运与设备保养节奏，进而造成台班、燃油与弃土周转费用连锁增加，同时重复作业加重底床扰动，形成回淤与再清淤的循环。

控制策略应以抑制悬沙产生与缩短裸露时间为主线，先在开工前划分小区段、短作业面并明确由内向外或顺主流方向的推进顺序，避免大面积同时扰动导致悬沙叠加。工艺上应通过现场试挖确定冲刷压力、喷嘴角度与吸头离底间隙的组合，常态采用低压稳吸、少量分次的方式削减泥面翻卷，靠近护体与构筑物时改用贴底轻冲配合慢速抽吸，并设置临时导流土坎或柔性围隔，将扰动泥水限制在作业面内以减少回流带沙。组织上应实行清淤与成型同步交替，完成一个区段后立即进行断面修整与清底复核，优先处理口门与流速低洼点，减少形成“沉降陷阱”的几何条件。

4.3 临近结构物碰撞与基础冲刷风险

取水口靠近港池主体结构且排水口贴近防波堤，作业水域横向净距小，船机转向、横移与掉头空间不足，使定位误差直接转化为碰撞概率，尤其在风压、潮流与回流叠加时，平台易出现侧向漂移与艏艉摆动，导致船体外伸构件、管线与吸头对结构物形成瞬时挤压或擦碰。结构物邻近区水流受堤体反射与导流影响，局部流速梯度大，冲吸作业形成

的喷射水流与回流水流叠加，可能诱发护底抛石松动、基床细料被抽吸带走或形成淘刷坑，进而造成基础局部失稳风险。取水口区域还可能存在施工船与运输船交叉通行，航迹干扰使船舶避让动作增加，靠近结构物时任何非计划变速、急转或临时抛锚都可能引起船位突变，同时在低能见度或夜间作业条件下，距离判断误差放大，操作容错率进一步降低。

对此，现场应采用分级隔离与刚性限位相结合的防碰撞体系，先在作业外围布设警戒浮标与航道分隔标志，明确禁入线与单向通行规则，并在施工前与港口调度确认交叉作业时段与避让优先级，减少通航干扰导致的临时机动。靠近结构物一侧应设置连续缓冲设施，可选用浮式护舷串、轮胎护舷墙或临时簇桩形成实体隔离带，并在关键转角与狭窄段增设限位缆与导向缆，限制船体最大横移量。船舶本体应在贴岸侧加挂多点橡胶护舷与耐磨碰垫，对易外伸部位设置防擦条，管线采用软连接与安全余量布置，避免受挤压拉断。防冲刷方面应划定结构物邻近禁区与缓冲施工带，靠近护底区域采用低能量抽吸与分层薄挖工法，严格控制吸头离底高度与停留时间，必要时先铺设级配碎石或袋装砂形成临时护底，施工后立即复测槽底与护底边线并对疑似淘刷点进行补抛石或回填整平。

5 结语

结合本工程取排水口区水深差异显著、排水口潮窗碎片化明显、冲吸扰动易诱发回淤以及临近防波堤和主体结构防碰撞要求高等特点，通过定制浅吃水移动平台并采用三角锚固稳定定位，配合高压冲吸与泥浆抽排转运的工艺闭环，同时以网格化测深、RTK精定位和潮位动态控制形成全过程可量化的质量与安全管控链条，能够在保证抛石护体与取排水头不受冲刷扰动的前提下提高施工可达性与作业连续性。

参考文献

- [1] 黄福.河道疏浚工程施工技术和质量控制探析[J].中国科技期刊数据库 工业A, 2024(002)
- [2] 梁健玲.港口航道疏浚工程施工的技术难点研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.
- [3] 徐海峰.浅析提高港口航道施工技术的意义及疏浚工程施工[J].工程建设(维泽科技), 2023, 6(10):154-156.

Research on the Management Countermeasures of Engineering Cost in EPC Housing Engineering Project

Zhaoshu Jiang

Green Square Engineering Consulting Co., Ltd., Zhejiang Branch, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

The EPC (Engineering, Procurement, and Construction) model has become a prevalent approach in residential construction due to its integrated advantages. By managing design, procurement, and construction as a unified process, contractors can enhance efficiency and ensure project quality. However, this model also introduces multiple challenges, including increased cost pressures, complexities in cost management, and potential cost overruns. To address these issues, stakeholders should focus on critical phases—design, procurement, and construction—to clarify cost management priorities, improve efficiency, and ultimately deliver greater economic benefits for contractors.

Keywords

Residential engineering; EPC model; Project cost management; Implementation strategies

EPC 住宅工程项目中工程造价管理对策研究

江照树

青矩工程顾问有限公司浙江分公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

EPC工程总承包模式以一体化集成优势成为了现阶段住宅工程建设期间的常用模式, 承包单位可通过设计、采购、施工一体化管理提高管理效率, 保障工程建设质量。但也正因为EPC工程总承包模式使得承包单位在建设期间所需要考量的问题较多, 成本压力较大, 工程造价管理难度较高, 很容易会出现成本浪费。在这样的背景下相关单位可紧抓设计阶段、采购阶段、施工阶段等相应关键阶段明确工程造价管理要点, 提高工程造价管理效能, 帮助承包单位获得更高的经济效益。

关键词

住宅工程; EPC模式; 工程造价管理; 落实对策

1 引言

经济社会的迅速发展、城市化的加剧使得现阶段社会对于住宅工程的需求变得越来越高, 住宅工程建设规模越来越大, 工程管理难度日益攀升, 而EPC工程总承包模式的应用则可以更好的保障住宅工程建设的管理效果, 提升工程建设品质。相较于传统的分散发包模式, EPC模式对总承包企业的统筹能力、成本控制能力和资源整合能力提出了更高的要求。如何进行造价管理也成为了承包单位十分关注的焦点问题。相关单位可从如下几点着手, 抓住关键阶段, 明确不同阶段造价管控要点, 提高造价管理能力。

2 设计阶段

设计阶段是EPC住宅工程造价管控的基础阶段也是核心阶段, 对项目总造价的影响是相对较大的EPC模式下,

设计、采购、施工深度交叉, 加强设计阶段的造价管控不仅会影响住宅工程的功能与安全, 同时也会大大降低施工成本, 避免成本浪费。这就需要总承包企业加强与各部门各单位的沟通和交流, 在此基础之上抓住如下几个关键要点进行造价管控。首先可通过推行限额设计的方式, 根据施工合同确定预期成本, 制定工程的整体限额, 然后确定不同子项目的限额。通过市场调查以及设计分析对设计图纸分解, 对标建筑结构、给排水、电气、暖通、装饰装修等不同专业, 明确不同子项目的限额即造价上限。这可以为设计工作的开展提供明确的标准。通过限额设计, 在压缩成本的同时保障住宅工程结构安全、居住品质和使用功能^[1]。

其次, 可根据价值工程原理对设计方案进行比对分析, 尤其需引起关注和重视的, 则是紧扣住宅结构体系、围护结构、管线综合、公共区域装修等相关内容进行比对分析。从功能匹配度、造价合理性、施工便捷性进行对比, 并适当简化不必要的造型和构造。为确保限额设计能够有效落地, 承包单位可在设计过程中确定不同分类的控制对象, 并根据建

【作者简介】江照树(1987—), 男, 中国浙江杭州人, 本科, 工程师, 从事工程造价研究。

设合同量化控制指标，具体如表1所示，进一步保障设计的
 适切性、针对性和有效性。

表1 EPC住宅项目设计阶段的专业分类及控制对象

专业分类	控制对象	常规控制范围
建筑专业	标准层层高	2.9m—3.0m
结构专业	住宅钢筋用量	≤ 55kg/ m ²
结构专业	混凝土用量	≤ 0.35m ³ / m ²
安装专业	给排水工程造价	≤ 85 元/ m ²
安装专业	电气工程造价	≤ 90 元/ m ²
装饰专业	公共区域装修	≤ 350 元/ m ²

3 采购阶段

EPC住宅项目中设备和材料的采购成本往往占施工总成本的60%以上。因此想要更好的降低总体成本，做好采购环节的成本管控是十分必要的，造价管理工作人员需要加强与采购部门的沟通和交流。根据施工图纸、工程量清单和施工进度计划与采购部门一同拟定采购清单，明确在不同阶段需要采购的材料，并建立材料采购表，明确材料的类别、所需数量、质量性能要求以及预算单价等等，如表2所示。避免在采购的过程中出现盲目采购的问题，同时也避免因采购时间不恰当出现重复采购、库存积压、资金占用等相应情况，或因采购不及时致使工程被迫停工所带来的间接成本损失^[2]。

表2 采购记录表

材料名称	所需数量	性能要求	采购时间	采购方式

在此之后则需要优化采购方式。采购人员需要通过市场调研明确不同供应商的商业性与供货能力、所递交的货物报价及货物质量，购买质优价廉的材料。必要的情况下可通过多方比价采购制度的建立向三家以上合格供应商同时询价，综合考量价格、质量、交货期、售后服务、履约能力等多方面因素确定合作单位。而在确定合作单位以后需及时与合作单位建立采购合同，将采购标准及信息清晰地展现在合同条款上，为后续各类问题的解决提供明确的文件支撑。与此同时还需要规范采购行为，可借助区块链技术等相关现代化技术来做好过程依据的留存，便于造价部门的跟踪核算。对于施工建设过程中的大宗材料可以让采购部门通过批量采购的方式提升议价权，降低采购单价。同时还可通过建立优质供应商库，与质量稳、价格合理、信誉好的供应商实行长期合作，在稳定供货渠道的同时也避免市场价格波动过大所带来的造价风险。

最后需要加强采购合同和进场验收管控，及时将合同归档，并且在材料运送至现场以后进行验收，分析材料的数量、质量是否达到标准要求，同时在材料正式进场应用之前还需要进行材料二次检验，避免因材料质量问题致使返工或工程施工难度加大带来的成本浪费^[3]。

4 施工阶段

施工阶段是EPC住宅项目造价落地的主要阶段。因住宅工程建设规模较大，所涉及到的子项目较多，因此在施工建设的过程中造价难度也相对较高，具有周期长、现场复杂、人员多、工序交叉频繁等相应特点，很容易会出现造价偏差，可从如下几点着手加强施工过程中的造价管控。首先，需在正式施工之前结合施工设计图纸、施工合同以及承包单位的项目书明确住宅工程建设的盈利目标，确定成本管控目标。在此之后根据施工设计图纸做好施工工序划分，并深入一线了解施工现场的实际情况，与施工技术部门、财务部门、采购部门等相关部门工作人员进行沟通和交流，共同确定不同子项目的成本造价，建立成本管控目标，将总目标成本逐级分解至各分项工程。但是需要注意的则是在成本管控目标确立的过程中应预留出一定的弹性空间。这是因为住宅工程在施工建设的过程中受市场环境、施工环境、作业人员的素养能力等多重因素的影响，很有可能会出现成本波动，难以保障成本管理计划能够有效落实，顺利落地，而预留出一定的成本波动空间则可以避免成本管控方案反复调整所带来的工作压力。在确定项目成本控制目标以后需要做好组织结构调整，完善责任机制，落实责任人，将成本控制效果与绩效考核挂钩，对标到具体的工作岗位和具体的工作人员，提高相关部门工作人员的成本意识，同时也通过成本管控与绩效考核奖惩机制联动的方式实现全员参与。在施工建设的过程中，需通过定期比对实际成本和目标成本分析人工费、材料费、机械费、措施项目费等相应支出是否超过了前期确定的成本管控计划。若出现超耗超支的情况应及时与负责人进行沟通和交流，找到原因并分析相应的解决对策，对资源配置方案做出优化，及时纠偏。

在此之后则需要加强工程变更和现场签证管理，这也是施工阶段造价出现较大波动的主要原因。在工程变更与现场签证管理上需坚持先审批后施工、先测算后签证的原则，任何可能会对工程造价产生较大影响的变更都需要提出单位递交书面申请，明确原因、变更内容、工程量变化，由造价人员、技术人员、监理人员以及业主单位和总承包单位共同审核，分析其费用增减及变更的可行性以及变更理由的正当性。经多方确认以后才可以进行变更，严禁未经审批擅自施工、事后补签或虚假签证的相应情况的出现，以此来保证签证的真实性、合理性和规范性。同时也需要加强进度款支付管理，即在施工建设期间造价部门应严格按照合同标准和合同要求做好完成工程量的核算工作和进度款申报材料的审核工作，计量已经完成的工程，避免出现超付、重复支付等相应问题，以此来保障资金使用的合理性、安全性。

最后在施工期间也需要加强材料管控，尤其是材料使用管理，这对于工程造价成本也会产生较大的影响。在材料使用管理上可根据前期设计图纸和采购计划明确不同子项目工程可以使用的材料体量，并将材料使用清单发送至相关

负责人手中。负责人应当严格按照材料使用清单来领取材料，避免随意支取材料造成的材料浪费。在该环节可借助 BIM 技术更精准的测算不同子项目施工中所需要应用到的材料，利用二维码技术、物联网技术、人脸识别技术加强材料进库出库的支取管理，避免材料浪费的情况出现。

5 完善风险管控体系

为了进一步规避造价风险，减少成本浪费和资源浪费，建立完善的风险管控体系是十分必要的。承包单位须在各个环节提高风险意识，在设计环节明确在施工建设过程中可能存在的成本风险问题，例如市场价格波动、设计不合理、材料浪费等等。通过风险摸排明确不同风险所带来的影响、损失，根据风险的构成原因确定不同风险的规避策略及应急预案。通过完善规章制度、优化合同编制等多种方式来更好的规避风险。

而在施工建设期间则需要借助信息化技术来提高风险监测管理能力。例如可借助信息技术提高数据共享互通能力，加强与各单位的沟通和交流，动态监测不同子项目开展过程中所消耗的成本，并通过对比预期成本管控计划及时的发现成本超出预期计划的问题，动态监控偏差，提高管理效率和准确性。尤其是设计数据、工程量清单、采购价格、施工成本、合同条款、变更签证、进度付款等相应信息，必须通过信息技术来进行数据共享打破信息孤岛，为造价人员的

造价管控提供更多的参考和借鉴。同时可借助 BIM 技术实现工程量自动计算，造价实时测算，设计变更联动调整，减少人工算量误差。若发现实际成本超出预期成本则可以借助大数据技术对历史项目造价数据、材料价格趋势、变更原因、成本偏差规律进行深入分析，明确超出预期成本的原因，并对接专家系统寻找相应的解决对策和处理方案，启动应急预案，帮助相关工作人员快速的处理超支问题，并调整接下来的成本管控重点和管控计划，提高成本管控效能。

6 结语

EPC 住宅工程项目造价管理工作的有效落实可以更好的保障承包单位的经济效益，需通过源头管控、过程严控、协同联动的方式提高造价管理效能，紧抓设计阶段、采购阶段、施工阶段、风险管控等相应关键要点对造价管理手段及侧重点作出有效优化，提高造价管理能力和管理水平，减少不必要的成本浪费和资源损耗，在保障工程施工质量的同时提升工程施工的经济效益。

参考文献

- [1] 李娜. 工程造价在EPC住宅工程项目中的动态管理控制分析 [J]. 居舍, 2025, (14): 153-156.
- [2] 何洁璐. 工程造价在EPC住宅工程项目中的动态管理控制分析 [J]. 居舍, 2024, (35): 174-177+180.
- [3] 杨杰. 住宅建筑工程造价动态管理研究——以某住宅建筑工程项目为例 [J]. 房地产世界, 2024, (15): 131-133.

Research on the Construction of Reinforced Existing Railway Subgrade by Diagonal Cement Soil Pile Method

Lei Li

China Railway Taiyuan Group Co., Ltd. Shuozhou Track Maintenance Section, Shuozhou, Shanxi, 036002, China

Abstract

Existing railway subgrades often exhibit uneven settlement development, shear deformation in weak zones of slopes, and reduced bed stiffness under the combined effects of long-term train dynamic loads, seasonal moisture variations, and localized damages. In engineering practice, conventional excavation and replacement or large-scale widening treatments are difficult to implement due to time constraints and safety control requirements for existing lines. The oblique cement-soil pile method utilizes the operable surface of slopes to insert cement-soil consolidated masses at a certain inclination angle into the subgrade, forming an “oblique reinforcement skeleton” that matches the stress diffusion path of the subgrade, thereby improving the overall deformation characteristics of the subgrade without track removal or minimal disturbance. This paper combines common working conditions for China’s existing line reinforcement and literature reports to summarize the key principles and parameter understanding of the oblique cement-soil pile method, and proposes practical construction control measures. The key aspects of this method lie in pile geometry control, the coupling quality of slurry and soil, and construction disturbance constraints.

Keywords

Oblique cement-soil pile method; Reinforcement; Existing railway; Subgrade construction; Value; Key points; Research

斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工研究

李磊

中国铁路太原局集团有限公司朔州工务段, 中国·山西 朔州 036002

摘要

既有铁路路基在长期列车动荷载、季节性含水变化与局部病害叠加作用下, 常出现沉降发展不均、边坡软弱带剪切变形与基床刚度衰减等问题。工程上若受限于封锁时间与既有线安全控制, 常规开挖换填或大范围加宽处理难以实施。斜向水泥土桩法利用边坡可作业面, 将水泥土固结体以一定倾角插入路基体内, 形成可与路基应力扩散路径匹配的“斜向加固骨架”, 在不拆轨或少扰动条件下改善路基整体变形特性。本文结合中国既有线加固的常见工况与文献报道, 梳理斜向水泥土桩法的机理要点与参数认识, 并提出可落地的施工控制做法。该方法的关键在于成桩几何控制、浆液与土体耦合质量以及施工扰动约束。

关键词

斜向水泥土桩法; 加固; 既有铁路; 路基施工; 价值; 要点; 研究

1 引言

随着铁路运输需求的增加, 对安全性和稳定性提出了更高的要求, 其中包括铁路路基。但不少铁路路基因使用时间长, 受自然环境影响, 出现了不同程度的老化、破损现象。斜向水泥土桩被视为运行条件下加固既有路基的有效手段之一, 但工程上仍存在“倾角怎么取、桩长怎么落、桩间距如何兼顾加固与扰动”的经验化倾向。已有研究对斜向水泥土桩的设计计算与加固效果开展了探索, 同时也指出其参数体系需要与既有路基的病害类型和受力特征相匹配^[1]。本文

立足施工可控性, 强调把关键指标前置到可测、可验、可纠偏的工序中。

2 斜向水泥土桩法加固既有铁路路基的价值

既有线加固的首要矛盾往往是“要加固, 但不能大扰动”。斜向水泥土桩的价值首先体现在作业面选择上, 施工人员可利用边坡或路堤侧向空间布孔成桩, 减少对轨道结构与基床表层的直接拆除需求, 从组织方式上更适配短封锁或天窗点施工的节奏。其次, 它对典型病害的针对性更强。既有路堤的软弱带常沿边坡或路肩附近发展, 斜向桩的穿越路径更容易切入潜在滑动面或剪切集中区, 使加固体与原路基形成“交叉约束”, 从而对不均匀沉降、侧向位移和边坡局部隆起具有更直接的抑制作用。再次, 斜向水泥土固结体

【作者简介】李磊（1990—），男，中国山西神池人，本科，初级，从事铁道工程研究。

通过应力扩散降低动应力幅值的思路,在运营荷载条件下具有现实意义,工程界也因此将其视为运行条件下较可靠的加固选项之一。最后,该方法对施工资源的适配性较好,单管旋喷等装备在铁路整治工程中较易组织,材料以水泥浆为主,便于按地层含水与强度目标调整配比与注浆量,使加固效果能通过现场取芯、强度检验与变形观测形成闭环证据。

3 斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工要点

3.1 孔位放样与倾角成孔的几何控制

斜向水泥土桩在既有铁路路基加固中要把坐标与孔向前置为可检的几何量,才能保证桩体按设计交叉进入加固带。第一,测量放样以线路中线、路肩线与坡脚控制点组成闭合控制网,孔位用全站仪放样并在坡面设双控制桩与标识,记录中写明允许偏差、复核路线与复测时间点,平面偏差宜控制在 $\pm 50\text{mm}$ 量级,遇坡面折线先定投影点再反算孔位,并校核孔位至轨枕端、边沟等固定物的距离,班组按复核点开孔,孔口周边清坡找平后再定位,禁止皮尺沿坡量距布点。第二,钻机就位后先校核机身水平度,再校核钻架俯仰角和方位角,倾角一般不宜大于 15° ,钻架上设读数基准与复核点,每班开钻前复测一次,先以 0.5 至 1.0m 短进尺试钻稳定孔向,首段偏转超过设计倾角 0.5° 或孔口位移超过 10mm 应退钻重调,并复核支腿沉降与垫板压缩量^[2]。第三,成孔按每 1m 记录孔深、进尺、返浆状态与停钻原因,遇卵石夹层或硬透镜层跳钻时降速减压并分段复正,必要时换短钻具或加装稳定器,孔口设置 0.8 至 1.2m 导向套管锁定孔向并控塌孔,随孔用探杆抽查孔径与孔壁完整性,出现回弹偏斜应停钻清孔后再续钻,严禁偏孔后强推。第四,终孔以设计桩长与穿越范围双控制,核对孔深并复测孔口方位角,用导向杆复核孔轴延伸是否进入目标带,交叉长度宜达到 1 至 2m 的有效搭接区,孔深不足或孔向偏离应在相邻位置补孔补桩并登记偏差原因,补孔间距与原桩距同级,禁止以加大注浆量替代几何缺陷。

3.2 浆液配制与旋喷参数的成桩质量形成

为使既有铁路路基斜向水泥土桩在可喷入、可拌合、可固结的链条上连续成型,浆液配制与旋喷参数必须在同一控制逻辑内闭合。第一,拌浆应以设计水灰比为主控,高压旋喷浆液水灰比宜控制在 $0.8\sim 1.2$ 区间并按水泥批次微调,外加剂按质量分数计量投料,拌和时间不少于 $2\sim 3\text{min}$ 后再入储浆桶,储浆桶需低速循环搅拌并控制静置时间,一般不宜超过 30min ,现场以流动度与初凝时间双指标复核,流动度偏低先调整减水剂或分散剂而不是加水,泵送压力波动时优先排查滤网、回浆阀与搅拌沉淀,避免稀释导致桩体强度离散。第二,旋喷作业把喷射压力、浆液流量、提升与转速作为四联量联动,压力按 20MPa 起控并随土层密度修正,浆液流量宜保持连续稳定且不低于 $30\text{L}/\text{min}$,提升速度可在 $8\sim 12\text{cm}/\text{min}$ 或 $10\sim 20\text{cm}/\text{min}$ 范围内通过试桩锁定,遇粉砂

或夹砂层应降低提升并适度提高转速,使单位长度浆量与切削能量保持稳定,严禁为追进度单独提速造成断面缩颈或局部过喷。第三,斜向成桩时回浆通道受重力偏移更明显,班组应以返浆量和含砂作为孔内状态指示,返浆量小于注入量约 20% 可视常态,若突然不返浆或含砂陡增,应立即停喷检查喷嘴磨损、管路漏失、接头松动及孔内塌缩,并在处理后从有效段向下搭接,续喷上下搭接长度不小于 0.3m ,复喷前先在原位旋喷 $1\sim 3\text{min}$ 再提升,防止形成弱夹层。第四,搭接区的实体连续性不靠桩距合格自动获得,施工组织应把相邻桩的入土角度、桩位偏差与参数曲线统一到同一作业窗内,搭接区适当降低提升速度并保持转速与流量不变,必要时在交叉区短暂停留复喷数秒以补足侧向扩散量,同时控制相邻桩间隔不宜过长以免造成桩体强度上升后难以再切入。

3.3 分排成桩顺序与邻桩扰动的过程控制

既有线斜向水泥土桩加固施工中,分排成桩顺序的目的不是追求产量,而是把孔压、回浆与坡体位移约束在可控区间内。第一,班组宜以线路中心线为基准先布置外侧控制排,再向内侧逐排推进,并遵循先深后浅的分层成桩逻辑,在软弱边坡段优先形成下部斜向撑脚,待水泥土初凝并具备侧向约束后再做上部排,以减少路肩侧先行成桩引起的孔壁扰动与坡面松弛,工程师可结合常用桩径 $0.5\sim 0.6\text{m}$ 、纵向桩距 $1.0\sim 2.5\text{m}$ 、竖向排距 $1.5\sim 2.5\text{m}$ 及 $0\sim 15^\circ$ 倾角的布置范围,校核每排桩体交叉搭接关系,确保外侧先形成连续约束带。第二,同一排内宜采用跳打与分段推进相结合的节奏,通常按隔 $1\sim 2$ 孔施工、回跳补孔的顺序组织,单日推进长度以不造成连续相邻孔高强度扰动为限,相邻孔位宜预留孔压消散间歇,遇到饱和软土可将紧邻孔间隔控制在 30min 以上或跨循环后再作业^[3]。施工参数上,钻进、提升与搅拌转速应与喷浆量同步,喷浆宜分两次成桩并在设计深度复搅 1 遍,避免因邻孔回浆通道串通而出现桩径收缩、偏斜或局部冒浆,若中断施工,施工人员应记录停机深度并及时复打,复打重叠长度不小于 1m 。第三,过程巡视应覆盖坡面隆起、裂缝、孔口冒浆范围与道床侧沉降点位,技术人员应按监测断面把位移、孔号、喷浆量与时间轴对应记录,一旦出现裂缝沿坡向扩展或鼓胀伴随回浆量突增,现场负责人应先停邻近孔并将下一循环的跳打间距加大,同时通过降低瞬时浆量、分段喷射与回浆导排等方式削峰,待回浆稳定且变形速率回落后再续作。第四,病害段与过渡段交界处应先做交界外侧过渡孔,按外疏内密形成 $1\sim 2$ 排刚度渐变带,必要时在首排设置加密孔位并控制桩体交叉长度 $1\sim 2\text{m}$,使加固段刚度变化被逐步消化,避免将变形集中推移至未加固区。

3.4 路基内水与回浆通道的封控处理

在既有铁路路基斜向水泥土桩旋喷加固中,含水路基的渗流与回浆外溢往往先于强度问题暴露,必须把水路识别与封控组织成可操作的工序链,并兼顾行车封锁时间约束。第一,施工前技术人员应沿边沟、涵洞、盲沟与既有渗水点

布设探孔和试喷段,结合钻进返砂、孔内水位恢复速度与冒浆位置判定松散夹层或砂夹层通道,并把通道位置在桩位图上标注为风险孔;试喷宜以设计浆压的70%至80%起喷,记录单位延米耗浆量与孔口回浆率,当耗浆异常偏大且孔口回浆不足时,应提前在坡脚或排水沟侧设置封堵孔,采用水泥浆或速凝水泥砂浆点灌形成临时堵水楔,避免正式成桩时浆液被抽走。第二,正式喷射阶段班组应设置孔口返水、坡脚涌浆、排水沟浑浊三类观察点并专人实时记录,一旦出现远距离出浆或沟水持续浑浊,应立即判定通道串流,操作手宜采取分段喷射与短暂停喷交替,先在通道近场以较小提升速度0.3至0.5米每分钟形成封门段,再恢复到常规速度;浆压可按设备能力稳定在约20MPa范围内并避免频繁波动,以减小沿水路的脉动冲刷。第三,孔口与坡面应采用围堰、接浆槽与沉淀桶成套布置,回浆按收集一沉淀一回填或外运闭合处理,坡面流淌处应立即撒铺干砂或碎石吸附并清除,严禁让回浆长距离润湿表层填土导致软化塌陷;同一作业面应限定设备行走路线并在轮迹处铺设钢板或道木,防止软化区反复碾压诱发孔位偏移。第四,地下水位高或雨季区段应先做临时排水体系,坡顶截水沟、坡脚导排沟与集水井应在开孔前连通,孔口设置可拆封护套管并在每孔结束后用低水灰比浆液回灌至孔口以下0.5米再封口,封口材料初凝前不得二次扰动;对相邻孔宜控制施工间隔不宜超过24小时,减少已成桩段被新孔渗流贯通而形成新的水路^[4]。

3.5 取芯检验与局部补强的实体闭环

既有铁路路基斜向水泥土桩加固要把检验与补强做成闭环,现场应先把取芯证据、施工参数和缺陷处置路径同时设计到工序里。第一,取芯布点宜按断面分层分排次抽取,在路肩至路基半高范围内的斜桩群中兼顾外侧、交叉搭接段与土层突变段,且同一断面至少覆盖2个排次和2个深度区间,避免只抽施工条件最稳的孔位。钻芯可参照水泥土桩常用做法在桩顶设计高程以下按每1m取1段芯样并记录取芯率,同时在桩径0.5至0.6m的斜桩上标记芯样方位,芯样取出后应封袋编号、端面磨平并按规定龄期做无侧限试验。第二,强度判读不得脱离过程记录,技术人员应把芯样无侧限强度与单位延米浆量、提升转速、提升速度和停喷复搅次

数做同表对照,水灰比宜控制在0.55至0.65区间并核查计量误差,若强度偏低但浆量不低,应优先排查拌浆浓度波动、料浆沉淀、喷嘴磨损引起的雾化变差或提升过快造成的条带状未拌匀,并通过同孔复搅或邻孔对比验证,不宜简单追加水泥掺量^[5]。第三,对桩径不足、搭接不连续、芯样空洞或夹泥,应先以芯样缺陷深度为中心向上下各延伸0.5m划定处置段,再按缺陷边界外扩0.2至0.3m布置补孔,采用补桩或局部加密桩形成包络,补孔角度与原斜桩一致并控制孔距不大于原设计桩距的0.7倍,注浆以分段稳压和复搅为主,严禁在缺陷中心长时间高压顶浆造成串通通道扩大。第四,补强后复检应按原布点逻辑加密到处置段上下各1m,并把原芯样编号、补孔坐标、复检强度、浆量及喷射参数作为成对数据归档到断面资料,沉降观测点一旦出现异常即可按断面追溯到对应排次与补强孔,实现实体证据闭合。

4 结语

斜向水泥土桩法在既有铁路路基加固中更像一套“可在运营约束下落地的实体改造手段”,其效果不应仅依赖经验加密,而应依赖几何控制、喷射拌合参数与水通道封控的系统协同。施工人员把孔向与孔深控制到位,把浆液与喷射参数稳定到位,再把取芯检验与补强措施落实到位,才能在既有线小扰动条件下形成连续、均匀且可验证的加固带。相关研究对其设计计算与工程应用已有总结,也为参数取值与效果评估提供了参考边界。

参考文献

- [1] 郭发蔚.斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工技术研究[J].2024(31):123-125.
- [2] 吕平.斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工技术探索[J].河南建材,2018(3):2.
- [3] 陈洪利.斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工技术研究[J].建筑工程技术与设计,2018,000(013):646.
- [4] 陈俊宏.既有铁路工程中线加固及地基处理技术分析[J].中国房地产业,2023(6).
- [5] 杭红星,陈尚勇,吴成杰.新线引入既有客运专线车站软土地基加固技术[J].铁道建筑,2024,64(1):105-110.

Application of Digital Mapping in Geological Survey of Mine

Zhenkang Qu Hao Qu Yongshun Qu

Zhengzhou Coal Industry (Group) Zhengxin Coal Industry Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 452370, China

Abstract

In mining operations, geological surveys provide critical real-time support for advancing mining faces, tunneling, and slope stabilization. Traditional manual mapping methods often lag behind in complex terrains, repetitive measurements, and result updates, while accumulating errors. By integrating total station, GNSS-RTK, and digital mapping techniques into a streamlined workflow, field personnel can rapidly synchronize control points, topographic features, and geological boundaries within a unified coordinate system. This paper examines common geological scenarios in mining, highlighting the practical value and key considerations of digital surveying. The concluding remarks underscore its pivotal role in safety management and resource accounting.

Keywords

Mine geology; Surveying; Digital mapping; Application; Value; Key points

关于矿山地质测量中数字化测绘运用

曲贞康 曲浩 曲永顺

郑州煤炭工业(集团)郑新煤业有限公司, 中国·河南 郑州 452370

摘要

矿山生产中, 采场推进、巷道掘进与边坡治理离不开地质测量的及时支撑。传统手工成图在复杂地形、重复测量与成果更新上容易滞后并叠加误差。现场人员将全站仪、GNSS-RTK与数字化成图等方法串成一套作业链, 可把控制点、地形地物与地质界线在同一坐标框架内快速更新。本文结合矿山地质常见工况, 归纳数字化测绘的应用价值与关键要点。最后两句指出其对安全管控与资源核算的支撑作用。

关键词

矿山地质; 测量; 数字化测绘; 运用; 价值; 要点

1 引言

我国矿山多处在地山丘陵与高寒风沙区, 采场、排土场和运输道路形态变化快, 地质构造与岩性分带又常呈强非均质。测量人员既要保证坐标基准统一, 又要在短周期内完成多批次复测与成果交付。数字化测绘把外业采集、内业成图与成果复核衔接起来, 使地形、采剥界线与地质要素能随生产进度同步更新。本文从矿山地质测量的业务特点出发, 提出可直接用于现场组织的技术要点与质量控制方法。

2 矿山地质测量概述

矿山地质测量是指测量人员在统一坐标与高程基准下, 对矿区地形地貌、工程设施及与成矿有关的地质要素进行获取、表达与复测的工作体系。现场工作通常围绕采场边界、台阶参数、巷道与钻孔位置、断层节理展布、岩层产状、矿体出露界线及排土场形态等对象展开, 目的在于为采掘设

计、资源储量核算、边坡与围岩稳定判断以及生态修复提供可量化的空间依据。矿山作业环境粉尘大、遮挡多、通行条件差, 且形态随采剥推进持续变化, 因此测量不仅要求精度, 还强调成果更新频率、图件一致性与可追溯的原始记录。矿区往往同时存在露天与井下作业面, 测量成果需要在同一基准内实现上下贯通。

3 矿山地质测量中数字化测绘运用价值

在矿山地质测量中引入数字化测绘, 首先解决的是复杂地形与快速变化带来的“测得出、画得准、交得快”问题。露天采场台阶、排土场堆体和运输道坡脚常在一周内发生明显位移, 数字化外业采集配合稳定的控制点体系, 能够把新增地形以同一坐标直接入图, 减少手工展点、描线与反复量算造成的误差叠加。其次, 数字化成果更利于储量与采剥量核算。通过对采场边界线、底板标高、台阶面与地质界线的规范采集, 可以较稳定地形成断面与面积数据, 便于按月或按旬开展方量计算、损失贫化对比和生产对账, 相关案例研究也强调了 RTK 与数字化成图结合后的核算效率提升。再次, 数字化测绘有助于安全管控的前移。采场边坡、排土场

【作者简介】曲贞康(1978—), 男, 中国河南唐河人, 本科, 工程师, 从事矿山地质测量方向的研究。

坡面与井下巷道断面在数字化成果中呈现更完整的几何关系，配合重复测量形成的差异量，可更早发现超挖欠挖、台阶坡角偏离、排水沟失效及局部变形等问题，并为现场整改提供可定位的控制依据。与此同时，监管测量与验收需要的边界线、占地范围与工程量也更易从同一套成果中提取，减少多头测量。

4 矿山地质测量中数字化测绘运用要点

4.1 控制基准与控制网稳固

数字化测绘在矿山地质测量中的首要前提，是以稳定的平面与高程控制基准支撑采场与井下贯通的全流程测量。第一，测量负责人应结合矿区边界、采剥分区与道路布置，优先选取基岩稳固或回填沉降影响小的地段设置首级控制点，点位应避免爆破震动带、排土堆压区与洪水冲刷线，并保证长期通视与可架站空间，标石宜采用混凝土墩配钢质中心标，墩体埋设应控制基础深度并做好周边排水，墩顶设置防撞护圈与点号牌，同时建立点位保护范围与现场交接制度，满足控制网长期使用的埋设与保护要求。第二，外业组应把复测纳入生产计划，依据采场推进速度与爆破频次分区确定周期，推进快或震动强的区域按周抽检，其他区域按月或季复核，复测宜沿原观测路线复站并使用同一检核模型，复测内容应同时覆盖坐标、标高与边长变化，并通过相邻点间距离复核与闭合差检核识别异常，发现点位位移、墩体松动或视线遮挡时，应先在稳定区域加密点，再按迁建流程更新点号与关系，避免偏差在成图与放样中累积。第三，在深采或高陡边坡等通视受限区域，作业组可采用短边导线、支导线或交会方式把控制传递到作业面，传递过程中应控制边长与夹角条件并兼顾边坡安全距离，传递设计应设置闭合或附合检核，并开展方向检核与高程往返观测，作业人员应写明观测时段、气象、能见度与视线障碍等条件，遇到雨雾、强风或热扰动时应择时补测，并把原始记录、计算表、检核结果与点位草图一并归档，保证控制延伸链条可追溯。第四，控制成果交付前，内业人员应统一坐标系、投影参数与高程基准，按同基准对不同班组与不同时期成果进行核对，并将与地方坐标、高程的联系参数、复测日期、精度指标与保护要求写入成果说明，同时同步更新点之记、点位照片与现地草图，确保露天与井下成果贯通使用。

4.2 外业采集流程与要素编码

为把矿山地质测量的外业成果一次性满足设计与复核需求，采集流程与要素编码应按作业单元细化固化。第一，班组出工前由负责人对采场与地质两类要素做清单化拆解，并把精度要求写到每类要素，采场必含台阶边线、坡顶坡脚、平台外缘、道路中心线、排水沟与涵洞口，地质必含界点、产状点、断层迹线控制点、露头描述点；当日若有爆破修坡或临时排土，应把新增边界列为加测项，现场先用控制点把作业面框定，再向细部推进。第二，外业观测实行点位

命名与属性同步入册，点号按区段号加要素类码加流水号编排，同一边线按行进方向连续编号并保持点序一致；记录表需写明点义、取点方法、仪器类型、测站条件、照片号与草图索引，断层点应注明破碎带宽度与擦痕指向，产状点应标注测量部位与代表层位，遇改线或新增设施应标注起止点与原因。第三，在遮挡、粉尘或卫星条件差的区段，作业人员采用全站仪与 RTK 互补，并设置两类独立检核手段，例如用边长与方位角复核、交会与极坐标互证；关键台阶端点、道路转折点与界线拐点安排重复观测取平均，高程用三角高程与短程水准比对，必要时加测后视以校核竖直角。第四，收工前负责人在现场完成粗检与交接，核对控制网闭合差与高程往返差，抽查重复点差、台阶线连贯性与边线折点缺测，发现跳点、断线或属性空缺即刻返测；当日测量日志记录天气、班组、仪器编号、基准点名称、检核结果与异常处置，并将补测点单独标注为复测来源，确保数据连续可追。交接时记录员应复核点号与要素码对应关系，避免同名异义或同义异码。

4.3 采场与边坡的数字化表达

矿山采场推进中，采场边界与边坡几何的数字化表达应以可复测、可追溯为组织主线。第一，测量人员应按台阶单元分层采集结构线，现场先判定坡顶线、坡脚线、平台外缘线、道路边线与转折控制点的所属关系，再按由外到内、由高到低的顺序落点，避免跨台阶串采；同一结构线采集前，人员应核查控制点与测站是否稳固，并用相邻点互检线向一致性，每个点位应记录台阶编号、帮别、设计或实测标高区间、线型类别与采集时间，并在同一采期保持点号规则一致，采集后应抽取代表点复测差值以做现场检核。第二，对高陡边坡、塌陷区及不规则折面，作业组应采用密点与断面组合控制，点距随曲率与岩体破碎程度动态调整，转角、卸荷裂隙、危岩带及坡脚突变处应加密取点，同时在坡面选择稳定位置布设若干固定剖面线与基准点，剖面宜覆盖坡顶至坡脚全高程，断面端点应落在稳定平台或道路边线外侧，必要时在坡脚外设保护点以便长期保持，并在雨季前补测排水沟、截水沟起止高程与关键节点，以核对排水纵坡与汇水走向。第三，阶段性复测结束后，内业人员应在同一平面与高程基准下进行新旧边线对比，重点核算推进方向位移量、超挖欠挖段长度、平台宽度变化、坡脚外移及道路边线偏移，对比结果应形成差异清单并标注异常区段的桩号或转折点号，当差异超出常态时，人员应回查原始观测记录，核对点号属性与结构线归属，必要时组织现场复测并补齐缺失点。第四，涉及采剥界线、排土场轮廓或占地边界验收时，测量组应同步测定界桩、界标或自然界址的坐标与高程，注明界线依据的图纸编号或设计版本，并在稳定区布设可长期保存的控制点与检查点，成果中应标注界桩距道路中线、平台转角等显著物的量测关系，提供坐标高程表、点位描述与导线草图，使外部核查可按点号直接落到实地。

4.4 井下贯通与断面测量数字化

井下贯通与断面测量的数字化作业，应以可复测控制体系为主线，把贯通与净空误差纳入同一套检核流程。第一，测量组以井口高等级点为起算，按巷道分区布设井下导线，点位优先选稳定围岩或可靠支护构件，采用双标志或护桩便于重复照准；观测实行规定测回，并做前后视角度与边长互检，发现弯折、通视短或设备遮挡时及时加设转点与短边，必要时用短边联测把导线贯穿至工作面；作业时同步记录仪器高、棱镜高与气温气压，交接班复测首末点，确保同点同高一。第二，断面测量按里程定距布设标准断面，同时在交岔口、变坡、异形支护等关键段加密；每个断面点位覆盖拱顶、两帮控制点与底板高程点，底板高程用水准或三角高程复核，并在记录中同步标注支护型式、喷浆厚度、钢拱架内缘线与欠挖超挖位置；断面点到中线的偏距采用同一量测基准，复测时沿用同一里程桩号与点位编码，减少人为换点带来的误差。第三，贯通前负责人组织两侧导线分别闭合并核验方位，必要时设置独立测段对贯通方向与高程差进行复算；贯通放样以中线和腰线双控制，掘进过程中按里程复测中腰线并及时改正，贯通后立即测定实际中线与设计线的横向、纵向和高程偏差，形成签认记录，并据偏差方向调整后延伸导线的起算方位与高程传递。第四，成果转图前内业人员先统一井上井下坐标转换参数、点号沿用规则与高程基准，计算书中写明各测段闭合差、改正分配与检核结论；对不同日期的断面成果注明里程、测时与支护状态变化，并保留原始观测手簿、仪器检校记录与计算底稿，抽检时可按点号追溯观测回次与改正来源；贯通偏差与净空超限情况按工程分段汇总成台账，便于后续延伸测量时对照复核全程。

4.5 成果校核与资料归档

矿山地质测量的数字化成果交付与复核，应把校核链条和档案链条一并设计到作业流程中。第一，内业成图前先做两级校核，外业负责人以测站草图、点之记和观测摘要逐点核对点号、属性与地物取舍，再由未参与外业的校核员做几何与逻辑检查，重点核查线环闭合、同名点重号、边线穿插断裂及高程注记错配，并对坐标系、高程基准、比例尺、

图廓范围与文字注记逐项复核，发现基准混用时必须回到控制点成果与起算点进行整体复算。第二，关键部位实施抽样复测，采场台阶拐点、道路转点、排水沟起止点、井下中线点按测段长度或点位重要度分层抽检，复测采用同等级方法复测同一控制条件，计算平面与高程差值并形成差值表，同时统计最大差、均值与超限比例，超限时先追溯测站记录、检校状态、观测时段与通视条件，再决定返工补测或重算，不得只在图面做平移拼接。第三，成果交付实行清单化，随图提交控制点成果表、外业日志、复测记录、检查表、图件版本号与坐标参数说明，图面标注测量日期、范围、方法与精度等级，涉及界线验收时另列现场可复核的检查点坐标与到达路线，交接时由使用、生产两方签字确认，避免口头变更造成引用不一致。第四，资料归档按年度和分项工程成套整理，原始记录、计算书、成果表、检查表、变更说明及交接签字同步归入纸质卷与电子文件夹，目录采用同一编号规则并保留修订痕迹，目录中注明项目名称、测区、比例尺、起止日期与责任人。控制点观测手簿、联测示意图及坐标高程成果按期限或永久保存，实行移交清单与签收，后续复测或审计可直接调阅原始依据。

5 结语

矿山地质测量的对象多、变化快，数字化测绘把控制基准、外业采集、成图表达与校核归档连成闭环，能够在不增加无效工序的前提下提升成果更新效率与可追溯性。测量人员在推进应用时，应把控制网维护、要素编码、复测对比与资料归档作为日常制度固化，避免把数字化简单理解为更换仪器。最后两句强调，规范的数字化流程可为安全生产与资源核算提供持续可靠的空间依据。

参考文献

- [1] 向峰.矿山地质测绘中数字化测量手段的运用探究[J].新潮电子, 2025(4):157-159.
- [2] 王文州.矿山地质测量中数字化测绘运用及技术分析[J].内蒙古煤炭经济, 2025(4):175-177.
- [3] 张新慧.矿山地质工程测量中新型数字化测绘技术的实践[J].中国科技期刊数据库 工业A, 2024(003):000.

Discussion on the Prefabricated Installation Construction Technology of Electromechanical System of Railway Station

Guofu Zeng Haojiang Xiong

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

Abstract

The prefabricated installation of electromechanical systems in rail transit stations adopts a “factory prefabrication, on-site assembly” approach. This methodology replaces traditional on-site cutting and welding of pipelines (water, ventilation, and electrical), support structures, equipment foundations, and maintenance access routes with standardized modular processing, integrated delivery, and precision assembly tailored to station configurations and sections. Under tight construction timelines, confined spaces, and complex interdependencies, construction teams must establish verifiable checkpoints for pre-embedded components, dimensional accuracy, lifting operations, connection sealing, and quality acceptance. Material allocation, tooling, and workforce deployment are optimized through a “section, zone, and layer” rhythmic scheduling system to minimize rework and product damage.

Keywords

Rail transit; Station; Electromechanical system; Prefabricated; Installation construction technology

轨道交通车站机电系统装配式安装施工技术探讨

曾国富 熊浩江

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川·成都 610213

摘要

轨道交通车站机电系统装配式安装以“工厂预制、现场装配”为组织主线,把风水电等管线、支吊架、设备基础与检修通道等从传统现场切割焊接,转为按站型与区段标准化分段加工、成套配送、定位拼装。施工技术人员在站内狭小空间、交叉工序密集与工期受限条件下,需要把预留预埋、构件精度、吊装就位、连接密封和质量验收固化为可检查的工序点,并把材料、工装与劳动力按“段、区、层”进行节拍化配置,以减少二次返工与成品破坏。

关键词

轨道交通; 车站; 机电系统; 装配式; 安装施工技术

1 引言

近年来,中国地铁与市域(郊)铁路车站建设规模大、站内管线密集,常见问题集中在空间冲突、工序穿插与现场焊切带来的质量波动。装配式安装把加工环节前移到工厂,通过分段预制、成套运输与快速拼装,降低现场作业面占用和返工概率。本文结合车站机电专业特点与一线装配经验,围绕可落地的施工技术要点展开讨论。并重点控制接口与协调工序^[1]。

2 轨道交通车站机电系统概述

在中国地铁与市域铁路车站中,机电系统通常指为车站运营、乘客疏散与设备安全提供“电能、环境与功能保障”

的成套设施组合,主要覆盖供电与动力照明、环境控制通风空调及排烟、给排水与排水提升、消防报警与灭火联动、屏蔽门及门机、自动扶梯和电梯、车站公共区与设备区的管线支吊架及检修通道等。该系统与土建结构高度耦合,很多安装条件依赖主体预留孔洞、预埋件与设备基础,装配式车站更强调在设计阶段把预留预埋做细做实,尽量避免现场二次打孔穿凿,以减少对结构与成品的破坏并提升安装效率。车站空间呈“长条形、多夹层、断面受限”的特点,站台层、站厅层与设备夹层内管线密度高,专业之间通常沿梁底、侧墙与吊顶空间并行布置,施工组织需要以区段和层位划分作业面,确保机电安装与装修、土建收口互不干扰。同时,车站多设置风亭、冷却塔或水泵房等附属用房,机房设备集中、接口多,任何标高偏差都会传导到管线净空与检修距离。现场安装施工人员应把“净高、净宽、检修口和防火分区贯通”作为机电系统布置与验收的基本边界。

【作者简介】曾国富(1992—),男,中国四川都江堰人,本科,工程师,从事市政及城市轨道交通工程施工管理研究。

3 轨道交通车站机电系统装配式安装施工技术探讨

3.1 预制策划与部品清单固化

装配式安装要在开工前把预制边界、接口做法与部品清单固化到可直接下单、可直接验收的尺度。第一，技术负责人以站厅、站台、设备区分层为单元，结合区段运输路径逐条梳理风管、给排水、消防、桥架与综合支吊架的预制范围，明确可拆分与不可拆分界面，直线与重复段优先预制，穿越伸缩缝、设备接管与异形转弯处保留现场调整口，避免为预制而过度分段并把接口数量控制到每10m不宜超过1处。第二，加工前组织实测复核，梁底标高、墙面偏差、洞口中心、预埋件外露量与机房基础尺寸按不少于10%点位抽检，将偏差值回写到加工尺寸控制表，法兰面、桥架拼接孔与支架孔位预留5~10mm可调余量，并同步核对保温后外径与净空，确保阀门检修空间不被压缩。第三，按通道宽度、转弯半径与吊装能力限定单件长度与重量，风管段直控制在4~6m，组合管排单件重量宜不大于1.5t，端口预留不少于80mm扳手净距，吊点位置在加工图中标注并预设临时加固，密封面做成标准坡口或压条便于现场一次成型。第四，部品清单应固化编号、规格材质、数量、安装区段、检验批与随箱附件，出厂前按批次复核外观、尺寸、孔距与防腐层厚度，统一包装清单与防潮封存，现场按编号分区堆放并实行领用签收，螺栓连接件统一等级、垫片材质与紧固力矩并配套扭矩扳手^[2]。

3.2 预留预埋与测量放线协同

轨道交通车站机电系统中装配式安装施工要想一次装配到位，土建阶段的预留预埋必须与测量放线形成同一套可追溯控制链。第一，安装施工人员应在结构钢筋绑扎完成后、模板封闭前组织联合复核，按站厅、站台、设备夹层分区建立孔洞、套管、预埋钢板、吊点清单，并把梁底吊点、管井穿板、风道洞口列为必检项。套管宜按管径外加20~30mm预留，穿楼板套管外露高度统一控制，预埋钢板应校核锚筋长度与焊缝成形，防止浇筑振捣引起漂移，并同步排查与主筋及保护层的冲突。现场可采用定位胎具或样板控制中心线，常用预埋件中心偏差宜控制在±5mm以内，洞口边线偏差宜控制在±10mm以内，复核结果形成交接记录并与构件编号绑定。第二，放线应以车站控制网为母线，在每个作业面设置不少于2处可长期保留的标高基点与轴线点，点位间距宜控制在20~30m，并对基点设置保护围挡。机电班组放样支吊架排距、设备中心线与检修口位置时，应采用同一水准仪和钢尺复核标高，关键部位执行两次独立测设与闭合校验，避免累计偏差影响净空，同一层标高复核差值宜控制在±3mm以内。第三，对装配式综合支吊架、桥架预制段等固定点，安装前应按批次抽检锚栓与螺母，完成螺杆拧入深度检查、试装与拉拔试验，抽检比例可按10%且不少于5件执行，合格后再批量展开。第四，发现偏位或缺失时，

应先复核影响范围并按审批方案处理，优先采用化学锚栓、加设钢梁或二次埋件等可追溯做法，施工后再次测设净空与标高差，并将试验与复测数据随交接资料归档。

3.3 综合装配式支吊架快速组架

车站机电装配式安装中，综合装配式支吊架需要在有限净空内实现承载、可调与装配节拍的统一。第一，技术工程师应按管线自重与充水、保温后的线荷载复核横担规格与间距，风管可按截面尺寸与板厚校核挠度控制值，常规区段将主吊点控制在1.5~2.0m，并对桥架分支、阀门集中或设备接驳点加密到1.2~1.5m，临轨走道段应依据管线综合设计要求考虑区间风压冲击，并在端部增设防坠链与限位卡^[3]。第二，放样定位应以梁底中线与侧墙控制线为基准，先弹主干线再排支线，采用排距编号把预埋槽道或后置锚栓位置一次定准，孔位偏差应受控，钻孔深度、清孔方式与固化时间按产品说明书和专项方案执行，禁止随意移孔或切割主筋。第三，组架顺序宜先立柱后横担再挂件，班组在地面完成单元预组架并统一配套抱箍、托臂、隔振垫与管卡衬垫，整体提升就位后先点固再复核标高、坡向与检修距离，桥架转弯、风阀与水泵房管组处应预留安装余量，避免坡度管被二次顶托。第四，连接件紧固应使用扭矩扳手分两次预紧并做防松标识，关键节点采用双螺母或防松垫片，滑槽与可调吊杆预留10~20mm调节行程以适应吊顶收口偏差，穿越防火分区处预留支架外包与封堵空间且不得遮挡检修口。第五，构件进场应按区段清单核对型号、孔距与镀锌层完好度，对切口与外露螺纹及时补涂防腐并分箱配件，安装完成后按抽检比例复测横担水平度、吊杆垂直度与净空余量，形成可追溯的质量记录，并在吊顶封闭前对关键节点进行复紧复验。

3.4 管线分段预制与接口密封控制

装配式机电管线要实现一次成活，现场应把预制分段、接口密封与试验闭环前置到深化放样和首件样板。第一，风管按系统与层位拆分为可吊装单元，宜用法兰或卡箍连接，预制时同步开设吊点孔并完成加固，进场复核法兰平整度与对角线差，矩形法兰对角线差宜≤3mm，密封垫连续铺设，螺栓按对角顺序分两轮均匀紧固，吊装后抽检接口漏风并登记接口编号。第二，给排水与冷凝水按同材同制式分段预制，预制台架先弹坡向基准线再组对，排水坡度常取1%或按设计控制，跨伸缩缝处设置补偿段并留拆装位，沟槽或法兰连接前清洁密封面并更换变形胶圈，安装后复核支吊架间距与倒坡点并及时纠偏。第三，喷淋预制口加保护帽和封板，组对控制同轴度并保持接口洁净，按分区阀门划分试压段，设计工作压力≤1.0MPa时强度试验压力为1.5倍且≥1.4MPa，稳压30min压力降≤0.05MPa，严密性试验按设计工作压力稳压24h无渗漏，合格后再分段冲洗并回写图纸。第四，保温与防结露在试压试漏合格后实施，法兰与阀门处用可拆卸保温盒并留检修口，搭接缝错缝封严，冷桥点用补口料封堵。第五，电缆桥架按统一弯头半径与孔距分

段预制,跨伸缩缝设滑动连接并预留位移量,接地跨接线随段安装,抽检导通电阻与紧固力矩,连接板两侧垫片齐全并做防松处理,转弯处保证电缆最小弯曲半径满足设计^[4]。同一系统宜按走向由干管到支管顺序拼装,避免返拆污染密封面。并同步复核标高。

3.5 机房设备与模块化管组就位

为降低轨道交通车站机房狭小空间内的二次返工量,应采用设备先定位、管组后合拢的装配式施工路径。第一,设备进场前工程师应复核基础标高、地脚螺栓偏位与二次灌浆面处理,基础允许偏差宜控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内,螺栓中心偏差宜不大于 3mm ,并在就位线处预留 $10\sim 15\text{mm}$ 找平余量,避免就位后再凿毛修补破坏精度。第二,风机、水泵、换热器及冷水机组应按吊装分区顺序入位,吊点与索具按重心校核并设置溜绳控摆,落位后用成对斜垫铁或可调底座找平找正,水平度控制在 $0.2/1000$ 以内,联轴器对中完成后再安装软接与减振器,同步调整限位间隙,防止试运时窜动拉裂。第三,阀组、过滤器、旁通及仪表接管宜在场外按系统编号预装成模块,模块长度宜控制在 $2\sim 4\text{m}$,连接形式优先采用法兰或沟槽冷连接并配套成品支吊架,模块出厂前应抽检螺栓扭矩与密封垫片材质,整体搬入后按墙地定位线固定并复核标高,法兰对接错口宜控制在 1mm 以内,安装施工人员需校核检修侧净距不小于 600mm ,阀门手柄与过滤器抽芯方向不得被墙体遮挡。第四,穿墙穿楼板部位应配套预制套管与防水翼环,模块对接完成后先分段做静压与泄漏检查,再进行冲洗、排气和补水,试压点位应避开设备本体,泄水口应引至地漏或临排管,避免机房积水致电气受潮。第五,机房移交前应统一校对铭牌朝向、阀门开闭方向、介质流向箭头与管段编号,电机接线盒与检修口保持可达,关键设备周边预留不少于 800mm 搬运通道,并在门洞处复测净宽净高及可拆墙体位置,确保大修时可整体吊入吊出。

3.6 工序交接与成品保护验收

为将轨道交通车站机电系统装配式安装施工一次成优落到实处,现场宜将交接验收与成品保护按站厅到站台分区固化。第一,样板先行宜选典型区段 $20\sim 30\text{m}$,包含支吊架、风管、桥架、给排水及设备基础,首件复核应对净空、检修距离和预留孔洞逐项量测,支吊架标高偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$

内,确认后把构造节点、紧固顺序和允许偏差写入作业指导书并带班扩展。第二,专业交接以清单化为主,交接表应绑定轴线与编号,记录螺栓规格与紧固状态,法兰连接抽检扭矩按 10% 执行且不少于3点,风管法兰孔距宜不大于 150mm ,管道坡度用水平尺复核并在接口处留存编号记录^[5]。第三,装修穿插前成品保护要分层设防,梁底管线、风口、喷头及阀门端口应加装硬质防护板与封口盖,保温外护层破损处当班修补并用色带标识禁踩区,材料堆放与脚手架落点应避开检修口周边 0.5m 范围。第四,防火封堵与穿越构造应在吊顶封闭前完成自检与旁站,核对堵料型号、厚度和标识牌,穿墙套管两侧封堵应平整密实并预留可检查边界,检修口位置与编号同步校核并与图纸一致。第五,送电与试运交接应先做绝缘电阻和接地连续性抽检,低压回路绝缘电阻宜不低于 $0.5\text{M}\Omega$,桥架跨接与端子紧固逐柜复核,风机泵试运应记录振动、噪声与基础螺栓复紧复测值,结果归入交接档案并与设备编号对应。

4 结语

轨道交通车站机电系统装配式安装并不是简单把现场作业搬到工厂,而是要求安装施工人员把预制策划、预留预埋、支吊架骨架、接口密封、机房就位与交接验收串成连续工序。现场只要坚持按区段节拍组织、按清单验收构件、按样板控制偏差,并把成品保护与防火封堵前置,就能在常见站型条件下实现质量稳定与工期可控,这便于后续运维检修。

参考文献

- [1] 张虎.轨道交通装配式车站施工技术与管理[J].安家,2024(8):0019-0021.
- [2] 闫儒.轨道交通装配式车站施工技术研究[J].装饰装修天地,2023(17).
- [3] 周雪松.地铁站建设中的叠合装配式建造施工技术要点[J].城市建设理论研究(电子版),2025(15):133-135.
- [4] 张建霞,雷雨,王豪,等.轨道交通"一站式机房"预制装配式施工技术[J].安装,2024(6):53-56.
- [5] 李记军,季凯.装配式地下车站关键节点施工质量控制技术[J].城市轨道交通研究,2024,27(S2):152-155.