

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 2 · Issue 4 · April 2025 3060-9054(Print) 3060-9062(Online)

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 2 · Issue 4 · April 2025 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	Serial Title: Frontiers of Engineering Research
ISSN：3060-9054（纸质）3060-9062（网络）	ISSN: 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)
出版语言：华文	Language: Chinese
期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn	URL: http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn
出版社名称：新加坡南洋科学院	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 2 Issue 4 April 2025
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	信息化技术在工程监理管理中的应用效果及优化路径 / 白万春	31	钢筋混凝土系杆拱桥新增吊杆施工控制研究 / 陶剑 张龙华
4	船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化 / 金艳	34	智慧工地技术在工程建设项目现场管理中的应用 / 肖亮
7	桥梁工程施工中悬臂挂篮技术的应用流程及注意事项 / 陈军 谷显睿	37	绿色施工背景下建筑固体废弃物资源化利用策略 / 邱永林
10	高性能固废处治材料在道路工程中的应用浅析 / 庞帅	40	湖南柏坊铜矿柚子塘矿区矿床成因及成矿模式 / 刘腾 陆雨癸 吴取红
13	机电设备电气安装调试常见故障及应对措施研究 / 邵毕成 许光耀	43	烷基苯导热油闪点异常下降机理与系统对策研究 / 宗明林 李富亮
16	洛氏硬度计在金属硬度检测中的稳定性探讨 / 吴莹杰	46	老旧校园地下管网泄漏风险评估及优化改造技术研究 / 郑庆祥
19	地面建设工程施工组织与进度控制优化路径研究 / 郑冰	49	旁孔地震透射波检测方法在既有桩基础有效桩长检测中的应用 / 张荣
22	双轮驱动下高职建筑设计专业软件类课程改革——以《建筑数字化辅助设计》为例 / 王林琳 高露	52	城乡供水一体化智慧工程施工管理研究 / 谭诗献
25	BIM 技术在垫江县城市博览中心工程的创新应用 / 王伟	55	铁路物流现代化智能化发展途径研究 / 金雨田
28	基于小波包分解和 GA-SVM 的风机主轴轴承健康状态判别 / 张涵 陈荣波 张睿哲 张凯华	58	EPC 总承包模式下电力工程施工成本控制难点与应对策略分析 / 纪雪丰

- | | | | |
|----|--|----|---|
| 1 | The application effect and optimization path of information Technology in engineering supervision management
/ Wanchun Bai | 31 | Study on construction control of new suspension rod in reinforced concrete system arch bridge
/ Jian Tao Longhua Zhang |
| 4 | Optimization of piping layout and heat exchange efficiency for central cooling machinery in ships
/ Yan Jin | 34 | Application of intelligent construction site technology in project site management
/ Liang Xiao |
| 7 | Application process and precautions of cantilever basket technology in bridge construction
/ Jun Chen Haorui Guo | 37 | Strategies for recycling construction solid waste under the background of green construction
/ Yonglin Qiu |
| 10 | A Preliminary Analysis of the Application of High Performance Solid Waste Treatment Materials in Road Engineering
/ Shuai Pang | 40 | The ore genesis and metallogenic model of Youzitang deposit in Baifang Copper Mine, Hunan Province
/ Teng Liu Yugui Lu Quhong Wu |
| 13 | Study on common faults and countermeasures in electrical installation and debugging of mechanical and electrical equipment
/ Bicheng Shao Guangyao Xu | 43 | Study on the Mechanism of Abnormal Flash Point Decrease in Alkylbenzene Thermal Oil and Systematic Countermeasures
/ Minglin Zong Fuliang Li |
| 16 | Study on the stability of Rockwell hardness tester in metal hardness testing
/ Yingjie Wu | 46 | Study on risk assessment and optimization of underground pipe network leakage in old campus
/ Qingxiang Zheng |
| 19 | Research on the Optimization Path of Construction Organization and Schedule Control for Ground Construction
/ Bing Zheng | 49 | Application of side-hole seismic transmission wave detection method in effective pile length detection of existing pile foundations
/ Rong Zhang |
| 22 | Reform of software courses in higher vocational architecture design major under the dual wheel drive—Taking “Digital Aided Design of Buildings” as an Example
/ LinlinWang Lu Gao | 52 | Research on construction management of intelligent engineering for urban-rural water supply integration
/ Shixian Tan |
| 25 | The innovative application of BIM technology in Dianjiang County City Expo Center project
/ Wei Wang | 55 | Study on the Development Approaches of Railway Logistics Modernization and Intelligentization
/ Yutian Jin |
| 28 | Health Status Identification of Wind Turbine Main Shaft Bearing Based on Wavelet Packet Decomposition and GA-SVM
/ Han Zhang Rongbo Chen Ruizhe Zhang | 58 | Analysis of Difficulties and Countermeasures in Cost Control of Power Engineering Construction under EPC General Contracting Mode
/ Xuefeng Ji |

The application effect and optimization path of information Technology in engineering supervision management

Wanchun Bai

Gansu Provincial Construction Supervision Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730000, China

Abstract

This paper focuses on the practice of information technology in engineering supervision management, and deeply explores its application effects and optimization directions. Research shows that the application of technologies such as big data, the Internet of Things, BIM, and cloud computing has achieved remarkable results in enhancing the efficiency of supervision work, strengthening the supervision of project quality, improving progress control, optimizing cost management, and promoting scientific decision-making. For instance, the information processing time has been reduced by approximately 40%, and the rate of quality problem discovery has increased by about 30%. However, in current applications, there exist problems such as information security risks, difficulties in system integration, insufficient personnel quality, high application costs, and incomplete standards and norms. In response to these issues, this paper proposes optimization paths such as strengthening safety protection, optimizing system integration, enhancing personnel quality, controlling application costs, and improving standard norms, providing references for promoting the informatization development of engineering supervision management.

Keywords

Information technology; Engineering supervision; Application practice

信息化技术在工程监理管理中的应用效果及优化路径

白万春

甘肃省建设监理有限责任公司, 中国 · 甘肃 兰州 730000

摘 要

本文聚焦信息化技术在工程监理管理中的实践, 深入探究其应用成效与优化方向。研究表明, 大数据、物联网、BIM、云计算等技术的应用, 在提升监理工作效率、强化工程质量监管、增强进度把控、优化成本管理及促进科学决策等方面成效显著, 如信息处理时间缩短约40%、质量问题发现率提高约30%。然而, 当前应用中存在信息安全风险、系统集成困难、人员素养不足、应用成本高及标准规范不完善等问题。针对这些问题, 本文提出加强安全防护、优化系统集成、提升人员素养、控制应用成本、完善标准规范等优化路径, 为推动工程监理管理的信息化发展提供参考。

关键词

信息化技术; 工程监理; 应用实践

1 引言

在建筑工程领域, 工程监理管理对于保障工程质量、控制工程进度和成本起着至关重要的作用。传统的工程监理管理模式主要依赖人工操作和经验判断, 存在信息传递不及时、管理效率低下、决策缺乏科学依据等问题。随着信息技术的迅猛发展, 大数据、物联网、BIM 等信息化技术逐渐应用于工程监理管理中, 为其带来了新的发展机遇。这些信息化技术能够实现工程信息的实时采集、传输和处理, 提高监理管理的效率和精度, 为监理决策提供科学的数据支持, 有效提升工程监理管理的水平。基于此, 本文将对信息化技

术在工程监理管理中的应用效果及优化路径展开研究。

2 信息化技术在工程监理管理中的应用效果

2.1 提升监理工作效率

信息化技术实现了工程信息的自动化采集和传输, 减少了人工记录和传递信息的时间和工作量。同时, 信息化管理系统具备自动化流程审批功能, 如监理通知单的发送、整改报告的审核等流程可在系统中快速完成, 大大提高了工作效率。据相关统计, 采用信息化技术后, 工程监理工作中信息收集和处理的的时间可缩短约 40%, 流程审批时间可缩短约 50%。

2.2 提高工程质量监管水平

通过信息化技术, 可对工程质量进行全方位、实时的监测和管理。以 BIM 技术为例, 其三维可视化模型能够清

【作者简介】白万春(1992-), 男, 中国甘肃兰州人, 本科, 工程师, 从事建筑工程管理、施工监理研究。

晰展示工程各部位的设计要求和施工细节, 监理人员可通过模型对比实际施工情况, 及时发现质量偏差。大数据技术可对大量质量检测数据进行分析, 挖掘质量问题的潜在因素, 为质量改进提供依据。如在混凝土浇筑工程中, 通过分析搅拌时间、浇筑温度、振捣时间等数据与混凝土强度的关系, 优化施工工艺, 提高混凝土质量。相关工程案例表明, 应用信息化技术后, 工程质量问题的发现率提高了约 30%, 工程质量一次验收合格率提升了约 10%。某桥梁工程应用信息化技术后, 混凝土强度达标率从原来的 85% 提升至 95%, 质量监管水平明显提高。

2.3 增强工程进度把控能力

信息化技术为工程进度管理提供了强大的工具和手段。利用 BIM 技术的施工进度模拟功能, 可提前制定合理的施工计划, 并在施工过程中通过实际进度与计划进度的实时对比, 及时发现进度偏差^[1]。监理人员可根据偏差情况, 利用大数据分析找出影响进度的关键因素, 如人员不足、材料供应不及时等, 进而采取针对性措施进行调整。例如, 在某大型建筑项目中, 通过应用信息化技术, 工程进度偏差率控制在 5% 以内, 相比传统管理模式, 进度偏差率降低了约 10%。该项目原本计划 18 个月完成, 实际提前了 1 个月竣工, 充分体现了信息化技术在进度把控方面的优势。

2.4 优化工程成本管理

信息化技术有助于实现工程成本的精细化管理。在工程建设过程中, 通过物联网技术对材料的使用情况进行实时监控, 避免材料浪费; 利用大数据技术分析历史工程成本数据, 结合当前工程实际情况, 制定合理的成本预算。在施工过程中, 根据实际进度和成本支出情况, 通过信息化管理系统进行成本动态控制, 及时发现成本超支风险并采取措施加以控制。如在某市政道路工程中, 应用信息化技术后, 工程成本节约了约 8%。该工程原预算为 1.2 亿元, 实际成本为 1.1 亿元左右, 节约了大量资金。

2.5 促进监理决策的科学性

信息化技术能够为监理决策提供丰富、准确的数据支持。大数据分析可挖掘工程数据中的潜在规律和趋势, 帮助监理人员预测工程可能出现的问题, 提前制定应对策略。例如, 通过分析历史工程数据, 预测不同季节、不同施工条件下工程质量和安全事故的发生概率, 提前加强监管^[2]。同时, 信息化管理系统中的可视化工具, 如图表、图形等, 能够直观展示工程各项指标的状态, 使监理人员更清晰地了解工程情况, 从而做出更科学的决策。在某水利工程中, 监理人员通过信息化系统提供的数据和可视化图表, 及时调整了施工方案, 避免了因洪水季节来临可能造成的工程延误和损失。

3 信息化技术在工程监理管理应用中存在的问题

3.1 信息安全问题

随着信息化技术在工程监理管理中的广泛应用, 信息安全面临严峻挑战。工程数据包含大量的商业机密和重要信

息, 如工程设计图纸、成本预算等。网络攻击、病毒感染、数据泄露等安全事件可能导致工程数据丢失或被篡改, 给工程建设带来严重损失。例如, 2024 年某建筑工程项目因遭受网络攻击, 导致部分施工进度数据丢失, 工程进度受到严重影响, 不仅延误了工期, 还造成了一定的经济损失。此外, 部分监理单位对信息安全重视不足, 缺乏完善的信息安全管理制度和技术防护措施, 如未定期进行数据备份、未安装有效的防火墙等, 也是信息安全问题频发的原因之一。

3.2 系统集成难度大

工程监理管理涉及多个参与方和多种信息化系统, 如建设单位的项目管理系统、施工单位的施工管理系统、监理单位的监理管理系统等。不同系统之间的数据格式、接口标准等存在差异, 导致系统集成难度较大。系统集成不畅会影响信息的共享和协同工作效率, 形成信息孤岛。例如, 在某工程中, 由于监理单位的质量管理系统与施工单位的质量检测系统无法有效集成, 监理人员无法及时获取施工单位的质量检测数据, 影响了质量监管工作的开展, 导致部分质量问题未能及时发现和处理。另外, 各系统的开发技术和平台不同, 也增加了系统集成的难度, 需要投入大量的时间和精力进行适配和调试。

3.3 监理人员信息化素养有待提高

部分监理人员对信息化技术的认识和掌握程度不足, 缺乏相关的信息化知识和技能培训。在实际工作中, 无法熟练运用信息化工具和系统进行监理工作, 导致信息化技术的应用效果大打折扣。例如, 一些监理人员对 BIM 技术的操作不熟悉, 无法充分利用其功能进行工程质量和进度管理, 使得 BIM 技术的优势无法得到充分发挥。此外, 部分监理人员对信息化技术存在抵触情绪, 认为其增加了工作负担, 习惯于传统的工作方式, 影响了信息化技术在工程监理管理中的推广应用。同时, 随着信息化技术的不断更新换代, 监理人员的知识和技能未能及时更新, 也无法适应新的信息化管理要求。

3.4 信息化技术应用成本高

引入和应用信息化技术需要投入大量的资金, 包括硬件设备采购、软件系统开发或购买、人员培训等方面的费用。对于一些小型监理单位而言, 较高的信息化应用成本可能超出其承受能力, 限制了信息化技术的普及。例如, 购买一套功能完善的工程监理信息化管理系统可能需要数十万元, 加上硬件设备和人员培训费用, 总成本较高。此外, 信息化系统的后期维护和升级也需要持续投入资金, 进一步增加了应用成本。一些小型监理单位由于资金有限, 只能选择功能简单的信息化系统, 无法满足复杂工程监理管理的需求。

3.5 信息化标准规范不完善

目前, 工程监理信息化领域缺乏统一、完善的标准规范。不同地区、不同企业在信息化建设过程中, 数据格式、接口标准、业务流程等方面存在差异, 导致信息共享和协同

工作困难。例如，在工程资料的电子化归档中，由于缺乏统一的标准规范，不同监理单位的电子资料格式和内容要求不一致，给工程竣工验收和资料管理带来不便，增加了工作难度和成本。信息化标准规范的不完善，也影响了信息化技术在工程监理管理中的深入应用和推广，使得各单位的信息化建设各自为政，无法形成合力。

4 信息化技术在工程监理管理中的优化路径

4.1 加强信息安全防护

监理单位应高度重视信息安全问题，建立完善的信息安全管理制度。明确信息安全责任，对工程数据的访问、使用、存储等环节进行严格管理，制定详细的操作规范和流程。加强技术防护措施，采用防火墙、加密技术、入侵检测系统等保障工程数据的安全，定期对信息系统进行安全评估和漏洞修复，及时防范和应对安全风险。例如，定期组织信息安全讲座和演练，让监理人员掌握应对网络攻击、数据泄露等安全事件的方法和技巧。

4.2 优化系统集成

建立统一的数据标准和接口规范，促进不同信息化系统之间的互联互通。在工程建设项目开始前，各参与方应共同协商确定数据格式、接口标准等，确保系统集成的顺利进行。采用系统集成平台或中间件技术，实现不同系统之间的数据共享和业务协同。例如，通过建立数据共享平台，建设单位、施工单位和监理单位可在平台上实时共享工程数据，协同开展监理工作。加强对系统集成过程的管理和监督，确保集成后的系统稳定运行，定期对系统进行维护和升级，及时解决系统集成过程中出现的问题。

4.3 提升监理人员信息化素养

监理单位应加强对监理人员的信息化培训，制定系统的培训计划。培训内容包括信息化技术基础知识、常用信息化工具和系统的操作方法、信息化在工程监理管理中的应用案例等^[1]。通过定期组织培训课程、在线学习、实践操作等方式，提高监理人员的信息化技能水平。同时，建立激励机制，鼓励监理人员积极学习和应用信息化技术，对在信息化应用方面表现突出的人员给予奖励，提高监理人员应用信息化技术的积极性和主动性。此外，监理单位可与高校、信息化企业合作，引进专业的信息化人才，为监理人员提供技术指导和支撑。

4.4 合理控制信息化应用成本

监理单位应根据自身实际情况，制定合理的信息化建

设规划。在硬件设备采购和软件系统选型时，充分考虑性价比，选择适合本单位业务需求的产品，避免盲目追求高端设备和系统。可以采用租赁软件服务（SaaS）等方式，降低一次性软件采购成本，同时减少后期维护和升级的费用。在人员培训方面，合理安排培训时间和方式，提高培训效果，避免不必要的培训费用支出。此外，通过提高信息化技术的应用效率，降低工程成本，实现信息化应用成本的有效控制。例如，通过信息化技术提高工程质量和进度管理水平，减少工程返工和延误带来的成本增加。

4.5 完善信息化标准规范

政府相关部门和行业协会应加强对工程监理信息化标准规范的制定和完善工作。组织专家团队，结合工程监理行业的实际需求和信息化技术发展趋势，制定统一的数据标准、接口标准、业务流程标准等。在标准规范的制定过程中，充分征求各方面的意见和建议，确保标准规范的科学性和实用性。加强对信息化标准规范的宣传和推广，引导监理单位和工程建设参与方按照标准规范进行信息化建设和应用，促进工程监理信息化的规范化发展。同时，建立标准规范的更新机制，根据信息化技术的发展和工程监理行业的需求，及时对标准规范进行修订和完善。

5 结语

信息化技术为工程监理管理带来了全方位的革新，其在效率提升、质量保障、进度控制、成本优化和决策支持等方面的积极作用已得到实践验证。但同时，信息安全、系统协同、人员能力等方面的挑战也不容忽视，这些问题若不妥善解决，将制约信息化技术优势的充分发挥。未来，监理单位需积极落实各项优化措施，结合自身实际情况推进信息化建设；政府与行业协会应加快完善标准规范，为行业信息化发展搭建良好框架。随着技术的持续进步，相信通过各方协同努力，信息化技术将在工程监理管理中发挥更大价值，推动整个行业迈向更高效、更精准、更科学的发展阶段，为建筑工程质量与效益的提升提供坚实保障。

参考文献

- [1] 陈文佳.信息化和数字化技术在施工现场安全监督管理中的应用[J].建设监理,2025(4):70-73.
- [2] 凌石林.建筑工程进度管理中的信息化技术应用效果分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(11):117-120.
- [3] 韩振华.信息化技术在建筑工程造价管理中的应用分析[J].智能建筑与工程机械,2024,6(4):79-82.

Optimization of piping layout and heat exchange efficiency for central cooling machinery in ships

Yan Jin

Shanghai CosCo Shipping Heavy Industries Co., Ltd., Shanghai, 201913, China

Abstract

This article focuses on the research of pipeline layout and heat exchange efficiency optimization of ship central cooling machinery. Detailed analysis of the characteristics of three common pipeline layout forms: series, parallel, and mixed, and exploration of the effects of pipeline resistance, uneven fluid distribution, pipeline direction and layout on heat exchange efficiency. Propose optimization strategies such as rational planning of pipeline routing, optimization of pipeline connection methods, and adoption of advanced fluid distribution technology, aiming to provide theoretical basis and practical guidance for improving the performance of ship central cooling systems and ensuring safe and stable operation of ships.

Keywords

ships; Central cooling system; Pipeline layout; Heat exchange efficiency; Optimization

船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化

金艳

上海中远海运重工有限公司, 中国 · 上海 201913

摘 要

本文聚焦船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化展开研究。详细剖析串联、并联及混合三种常见管路布局形式的特点, 探讨管道阻力、流体分配不均、管路走向与布置等因素对热交换效率的影响。提出合理规划管路走向、优化管道连接方式、采用先进流体分配技术等优化策略, 旨在为提升船舶中央冷却系统性能、保障船舶安全稳定运行提供理论依据与实践指导。

关键词

船舶; 中央冷却系统; 管路布局; 热交换效率; 优化

1 引言

船舶中央冷却系统作为保障船舶动力装置及其他设备正常运行的关键系统, 其性能直接关系到船舶的安全、稳定与经济性。在中央冷却系统中, 机械管路布局不仅影响系统的安装、维护便利性, 更对热交换效率起着决定性作用。高效的热交换效率能够确保设备在适宜的温度范围内运行, 减少设备磨损, 延长设备使用寿命, 同时降低能耗, 提高船舶的整体性能^[1]。随着船舶技术的不断发展, 对中央冷却系统热交换效率的要求也日益提高, 因此, 深入研究船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化具有重要的现实意义。

2 船舶中央冷却机械管路布局分析

2.1 串联布局

串联布局是船舶中央冷却机械管路较为常见的一种布

局形式。在这种布局中, 各个设备的管路依次连接, 形成一个串联的回路。串联布局的优点是管路连接相对简单, 易于理解和安装。然而, 其缺点也较为明显, 由于所有设备依次连接, 一旦其中某一个设备出现故障, 可能会影响整个系统的正常运行^[2]。而且, 在串联布局中, 流体在管路中的流动阻力较大, 会导致系统的能耗增加, 同时也会影响热交换效率, 因为随着流体在管路中不断流动, 其温度逐渐升高, 与被冷却介质之间的温差逐渐减小, 不利于充分的热交换。

2.2 并联布局

并联布局是将各个设备的管路并行连接, 使流体能够同时分流进入不同的设备进行热交换。并联布局的优势在于, 当其中某一个设备出现问题时, 不会对其他设备的正常运行产生太大影响, 系统的可靠性较高。同时, 由于流体能够同时进入多个设备, 能够有效降低流体在管路中的流速, 减少管道阻力, 有利于提高热交换效率。但是, 并联布局也存在一些不足之处, 如管路连接相对复杂, 需要更多的阀门和管件来控制流体的分配, 增加了系统的成本和安装难度^[3]。而且, 如果流体分配不均匀, 可能会导致部分设备热交换效

【作者简介】金艳(1981-), 男, 中国上海人, 本科, 工程师, 从事船舶与海洋工程方面。

率低下。

2.3 混合布局

混合布局则是综合了串联布局和并联布局的特点，将部分设备采用串联连接，部分设备采用并联连接。这种布局形式能够根据船舶中央冷却系统的具体需求和设备特点，灵活地组合管路连接方式，以达到最佳的运行效果。例如，对于一些对冷却要求较高且相互关联紧密的设备，可以采用串联布局，确保冷却的连续性和稳定性；而对于一些独立运行且对冷却效果要求相对较均匀的设备，则采用并联布局。混合布局虽然能够兼顾串联和并联布局的优点，但也带来了管路设计和控制的复杂性增加的问题，需要更加精确的设计和调试，以确保各个设备都能在最佳状态下运行，实现高效的热交换^[4]。

3 管路布局对热交换效率的影响因素

3.1 管道阻力

3.1.1 摩擦阻力

在船舶中央冷却机械管路中，流体在管道内流动时，由于流体与管道内壁之间的相互作用，会产生摩擦阻力。这种摩擦阻力与管道的内壁粗糙度、管道长度以及流体的流速等因素密切相关。当管道内壁粗糙度较大时，流体与内壁的摩擦力增大，导致摩擦阻力增加。例如，一些使用时间较长的管道，内壁可能会出现腐蚀、结垢等现象，使得内壁粗糙度增大，从而增加了流体的摩擦阻力。管道长度越长，流体在管道内流动的距离越远，与内壁接触的时间和面积也越大，摩擦阻力也就相应增大。此外，流体流速越高，其与管道内壁的相对运动速度越快，摩擦阻力也会随之增大。摩擦阻力的存在会导致流体在管路中的压力损失增加，为了维持流体的正常流动，就需要消耗更多的能量，这不仅增加了系统的能耗，还会影响热交换效率。因为在热交换过程中，流体的压力和流速对热交换效果有重要影响，如果压力损失过大，流速降低，会导致流体在热交换器内的停留时间过长或过短，都不利于充分的热交换。

3.1.2 局部阻力

除了摩擦阻力外，管道中的局部阻力也是影响流体流动和热交换效率的重要因素。局部阻力主要是由于管道中的弯头、阀门、三通等管件以及管道截面的突然变化等引起的。当流体流经这些部位时，其流动状态会发生急剧变化，形成漩涡、紊流等现象，从而导致能量损失，产生局部阻力。例如，在管道的弯头处，流体需要改变流动方向，会在弯头内侧形成漩涡，使得流体的能量消耗增加。阀门的开启和关闭程度也会对局部阻力产生影响，当阀门开度较小时，流体通过阀门的通道变窄，流速增加，局部阻力显著增大^[5]。局部阻力的存在同样会导致系统的压力损失增加，影响流体的正常流动和分配，进而对热交换效率产生负面影响。在设计船舶中央冷却机械管路布局时，应尽量减少不必要的管件，合理选

择管件的类型和规格，优化管道的连接方式，以降低局部阻力，提高系统的热交换效率。

3.2 流体分配不均

在船舶中央冷却系统中，当采用并联或混合布局时，流体的均匀分配对于热交换效率至关重要。然而，实际运行中往往会出现流体分配不均的情况。这可能是由于管路布局不合理，各支路的管道长度、直径、弯头数量等存在差异，导致各支路的阻力不同。例如，某一支路的管道较长且弯头较多，其阻力就会相对较大，流体在流经该支路时的流量就会小于其他阻力较小的支路。此外，系统中阀门的调节不当也可能引起流体分配不均。如果阀门没有调整到合适的开度，会使得某些支路的阻力发生变化，从而影响流体的分配。流体分配不均会导致部分热交换器内的流体流量不足，无法充分发挥其热交换能力，而另一些热交换器则可能出现流体流量过大，热交换时间过短，同样无法实现高效的热交换。这不仅降低了整个系统的热交换效率，还可能导致设备的局部过热或过冷，影响设备的正常运行和使用寿命。

3.3 管路走向与布置

管路走向与布置对船舶中央冷却系统的热交换效率也有着不可忽视的影响。不合理的管路走向可能会导致流体在管路中出现“死区”，即流体无法正常流动或流速极低的区域。例如，管路中存在过多的弯曲或迂回，使得流体在流动过程中容易形成死角，这些死角处的流体无法及时与其他部分的流体进行混合和热交换，导致热量积聚，影响整体热交换效率。此外，管路的布置高度也会对流体的流动产生影响。如果管路存在较大的高差，可能会导致流体在重力作用下出现分层现象，影响流体的均匀分布和热交换效果。在船舶的不同工况下，如航行、停泊、转弯等，管路的走向和布置还需要考虑船舶的运动状态对流体流动的影响。例如，在船舶转弯时，管路中的流体可能会受到离心力的作用，导致流体分布发生变化，如果管路走向和布置没有充分考虑这些因素，就可能影响热交换效率。

4 船舶中央冷却机械管路布局优化策略

4.1 合理规划管路走向

在规划船舶中央冷却机械管路走向时，应遵循简洁、流畅的原则，尽量减少不必要的弯曲和迂回。首先，要根据船舶的结构和设备布局，确定最佳的管路路径，使流体能够以最短的距离和最小的阻力在系统内循环流动。例如，在布置从中央冷却器到各个发热设备的管路时，应避免管路穿越过多的舱室或障碍物，直接连接到设备的进口和出口。其次，要充分考虑船舶在不同工况下的运动状态，合理设计管路的倾斜度和支撑方式，防止流体在管路中出现积聚或分层现象。对于一些较长的管路，可以适当设置一些坡度，以便在系统运行或停止时，流体能够顺利排出，避免残留。同时，在船舶转弯、颠簸等情况下，管路的走向应确保流体的稳定

性,避免因船舶运动导致流体流动异常。通过合理规划管路走向,可以有效降低管道阻力,提高流体的流动效率,进而提升热交换效率。

4.2 优化管道连接方式

4.2.1 选择合适的管件

管件作为连接管道的重要部件,其类型和质量对管道连接的可靠性和流体流动性能有着重要影响。在船舶中央冷却机械管路中,应根据实际需求选择合适的管件。对于弯头,应优先选用曲率半径较大的弯头,这样可以减少流体在转弯处的阻力和能量损失。例如,与直角弯头相比,大曲率半径的弯头能够使流体更平稳地改变流动方向,降低局部阻力。对于三通管件,应选择分流均匀、阻力小的类型,以确保流体在分支处能够均匀分配到各个支路。此外,管件的材质也需要与管道材质相匹配,保证连接的密封性和耐腐蚀性。例如,在海水管路中,应选用耐腐蚀性能好的管件,防止因海水腐蚀导致管件损坏,影响系统正常运行。

4.2.2 确保连接密封性

管道连接的密封性是保证船舶中央冷却系统正常运行的关键。如果连接部位出现泄漏,不仅会导致流体损失,影响系统的压力和流量,还可能引发安全问题。为了确保连接密封性,在安装管道时,应严格按照操作规程进行施工。对于法兰连接,要确保法兰面平整、清洁,密封垫片的材质和规格符合要求,并正确安装。在拧紧螺栓时,应按照规定扭矩值对称拧紧,保证法兰连接的均匀受力。对于焊接连接,要保证焊接工艺的质量,焊接人员应具备相应的资质和经验,确保焊缝牢固、无气孔、无裂纹等缺陷。此外,在系统安装完成后,需要进行严格的密封性测试,如压力测试、气密性测试等,及时发现并修复泄漏点,确保管道连接的密封性,为提高热交换效率提供保障。

4.3 采用先进的流体分配技术

4.3.1 流量平衡阀的应用

流量平衡阀是一种能够根据系统需求自动调节流体流量的设备,在船舶中央冷却系统中应用流量平衡阀可以有效解决流体分配不均的问题。流量平衡阀通过感应管路中的流量和压力变化,自动调整阀门的开度,使各个支路的流体流量达到设定的平衡状态。例如,在一个并联的中央冷却器系统中,当某一支路的阻力发生变化导致流量减小时,流量平衡阀能够自动检测到这一变化,并增大该支路阀门的开度,增加流体流量,从而使各个中央冷却器内的流体流量保持相对均衡。这样可以确保每个热交换器都能在最佳的流量条件下工作,充分发挥其热交换能力,提高整个系统的热交换效率。同时,流量平衡阀还可以根据船舶不同工况下的冷却需

求,动态调整流体分配,实现系统的优化运行。

4.3.2 智能控制系统的引入

随着科技的不断发展,智能控制系统在船舶领域的应用越来越广泛。在船舶中央冷却机械管路布局优化中,引入智能控制系统能够实现对流体分配的精确控制和实时监测。智能控制系统可以通过安装在管路中的各种传感器,如温度传感器、压力传感器、流量传感器等,实时采集系统运行参数,并将这些数据传输到控制中心。控制中心的计算机根据预设的算法和程序,对采集到的数据进行处理,然后发出指令控制各个阀门和泵的运行状态,实现对流体分配的智能调节。例如,当系统检测到某一发热设备的温度升高时,智能控制系统可以自动增加该设备所在支路的流体流量,提高冷却效果。同时,智能控制系统还可以对系统的运行状态进行预测和预警,及时发现潜在的故障隐患,保障系统的稳定运行,进一步提高热交换效率。

5 结语

船舶中央冷却机械管路布局对热交换效率有着多方面的影响。串联、并联和混合布局各有优劣,在实际应用中需根据船舶的具体情况和需求进行合理选择。管道阻力、流体分配不均以及管路走向与布置等因素严重制约着热交换效率,是优化过程中需要重点关注和解决的问题。通过合理规划管路走向、优化管道连接方式以及采用先进的流体分配技术等策略,能够有效降低管道阻力,实现流体的均匀分配,改善管路走向与布置的合理性,从而显著提高船舶中央冷却系统的热交换效率。这不仅有助于保障船舶动力装置及其他设备的正常运行,减少设备磨损,延长设备使用寿命,还能降低能耗,提高船舶的经济性和整体性能。未来,随着船舶技术的不断发展和对节能减排要求的日益提高,进一步深入研究船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化,探索更加高效、智能的优化方法和技术,将具有广阔的应用前景和重要的现实意义。

参考文献

- [1] 李茂永. 船舶中央冷却系统节能技术研究[J]. 船舶物资与市场, 2024, 32 (07): 120-122.
- [2] 孟磊. 船舶冷却水系统的可视化仿真及其应用研究[D]. 大连海事大学, 2020.
- [3] 龙珍. 基于机器学习的船舶冷却系统状态预测与评估研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2024.
- [4] 王斌, 吴昌脉, 刘媛慧. 船舶中央冷却系统淡水侧水力计算分析[J]. 舰船科学技术, 2023, 45 (24): 74-79.
- [5] 赵豫. 船舶动力辅助系统协同能效管理[D]. 江苏科技大学, 2023.

Application process and precautions of cantilever basket technology in bridge construction

Jun Chen Haorui Guo

Wuhan Datong Engineering Construction Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430050, China

Abstract

Cantilever basket construction technology is a widely adopted high-altitude segment pouring method in bridge engineering, particularly suitable for complex construction scenarios where scaffolding setup is impractical, such as deep-water areas, valleys, and elevated road sections. This technique is especially prevalent in large-span continuous beam bridges and cable-stayed bridges due to its minimal reliance on temporary supports, flexible segment advancement, and high precision in structural alignment control. The core process of basket construction involves multiple interconnected procedures including equipment assembly and preloading, steel reinforcement binding, layered concrete pouring, prestress tensioning, and basket advancement. These processes are tightly

Keywords

Bridge Engineering Construction; Cantilever Hanging Basket Technology; Application Process; Precautions

桥梁工程施工中悬臂挂篮技术的应用流程及注意事项

陈军 谷颢睿

武汉大通工程建设有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430050

摘 要

悬臂挂篮施工技术是桥梁工程里应用颇为广泛的一种高空节段浇筑施工方式,适用于像深水区域、深谷地带、高架路段等那些不方便搭设支架的复杂施工情形。该技术因其施工过程中对临时支撑依赖小,节段推进灵活,结构线形控制精度高,在大跨度连续梁桥和斜拉桥中尤为常见。挂篮施工的核心流程涉及了设备拼装与预压、钢筋绑扎、混凝土分层浇筑、预应力张拉、挂篮前移等诸多环节,这些工序紧密相连,没有缝隙,对于技术水平以及组织协调都有着较高的要求。只有借助规范地执行施工步骤,强化过程监测以及安全预防,挂篮技术的优势才可在复杂桥梁项目当中充分呈现出来。

关键词

桥梁工程施工; 悬臂挂篮技术; 应用流程; 注意事项

1 引言

随着我国交通基础设施建设持续朝着高原山区、深水跨江以及城市高架等复杂环境延伸,传统支架法已难以契合现场空间以及施工效率的需求。悬臂挂篮技术依靠其整体结构简洁、施工阶段易于控制、节段施工精度较高等特性。在现代桥梁工程里得到了广泛的认可,相较于其他施工方式,挂篮施工更注重节段控制以及施工资源的动态协调,同时也对作业团队的技术素养、过程执行能力设定了更高的标准。在结构验收、线形控制、施工节点处理以及极端天气应对这些方面,稍有不慎便有可能导致局部失稳或者施工延误。

2 桥梁工程施工中悬臂挂篮技术的应用流程

在桥梁工程施工环节,悬臂挂篮技术有着严格的应用

流程,相关工作人员应明确具体要求,分析悬臂挂篮技术的应用要点,确保桥梁工程施工的整体质量达标,满足项目长远发展的需要。

2.1 挂篮设备拼装调试预压验收

桥梁工程施工阶段的程序较多,特别是在悬臂挂篮技术应用阶段,涉及到挂篮设备的拼装及调试等,需要明确具体的要点,分析拼装与调试细节,扎实开展预压验收工作。挂篮本体结构有一定复杂性,它是由主梁、腹板支撑系统、走行系统、前后锚固装置以及底模系统等多个部分共同构成的,这些部件在完成场外加工之后,需要运输至桥面或者桥头进行拼装作业^[1]。在此过程中要严格依据设计图纸展开编号运输以及原地拼装工作,在拼装过程里,操作人员需要反复核查连接节点的焊缝质量以及构造尺寸,针对螺栓预紧力、接头档位、反力点分布等关键位置展开连贯审查,务必保证不出现错装、漏装以及对不齐等低级问题。当设备拼装完成之后,要开展系统调试工作,其中囊括荷载分布检测、走行轨道滑移协调性以及底模卸载动作等方面。完成基础调

【作者简介】陈军(1983-),男,中国湖北武汉人,本科,工程师,从事路桥施工监理研究。

试之后,挂篮要进行预压试验,依照混凝土施工最大荷载来模拟加载试压,一般采用砂袋法控制荷载分次加压,借助挠度测量以及应力观测综合判定结构工作性能是否合格。

2.2 悬臂浇筑节段钢筋绑扎施工

相关工作开展阶段,钢筋绑扎施工有着细微之处,相关人员必须要详细分析悬臂浇筑阶段的钢筋情况,扎实开展绑扎工作,避免因绑扎不当而影响到整体的质量。节段施工一般采用对称作业模式,挂篮在左右两侧同时开展浇筑工作,由根部朝着合龙段逐步推进。钢筋绑扎环节对于精度把控有着较高要求,要符合图纸规定的钢筋位置以及保护层厚度,又要保证筋材加工、摆放以及预埋件安装合理且有序。现场作业团队需要依据节段布置图,确定钢筋定位点号,采用分层、分区域的方式逐段检查绑扎质量,像腹板基础构造、锚固段加强区、穿束孔套管区等关键节点应当重点标注出来,组织专项检查^[2]。底模板安装完成后,还需要再次进行钢筋防错位复检,以此避免施工振捣过程中出现钢筋滑移、夹层等质量问题。各桥段所适配的吊篮侧模和底模系统,同样要保证模板拼缝严密且支撑受力连续,防止因焊缝部位松动或者滑模压力不均而形成胀模现象,影响外观质量以及结构稳定性能。

2.3 混凝土分层浇筑养护控制

在挂篮施工存在条件限制的情况下,混凝土一般会分两层进行浇筑,其中第一层是底板以及腹板的下部区域,第二层则是腹板上段和顶板部分,每层之间一定要控制好接茬时间的间距,保证砼施工缝处于可振捣的状态。在浇筑过程中,应当使用插入式振捣器沿着钢筋网朝着两个方向推进,在底部和边角位置加设平板振动器,以此保证砼的密实程度。对于高温以及低温环境下的桥梁混凝土养护工作,同样需要配备系统的控温以及喷淋措施,提前预埋养护管或者加设钢筋并覆盖保温层,降低内部温差以及早龄期开裂的风险。养护的时长需要契合设计龄期不少于7天,在高温或者暴雨天气时需要根据实际情况适当延长。挂篮体系在浇筑之后的观测数据要回传至项目技术组,这些数据包含竖向挠度、变形监测点、侧模位移等信息,能为后续的前移以及钢束张拉校正提供支持。

2.4 挂篮前移锚固体系转换作业

混凝土浇筑是结构成型的关键步骤,对质量波动十分敏感,施工时要遵循“分层浇筑、连续成型”的基本准则,同时结合温控、养护等要求一同落实。在挂篮施工受限的情况下,混凝土一般分两层浇筑,第一层是底板及腹板下部,第二层是腹板上段及顶板部分,每层之间要把控接茬时间间隔,让砼施工缝保持可振状态。浇筑过程中,要用插入式振捣器沿钢筋网双向推进,底部与边角增设平板振动器,以此保证砼密实度。对于高温、低温环境下的桥梁混凝土养护,也要配备系统控温与喷淋措施,提前预埋养护管或者加设钢筋覆盖保温层,降低内部温差和早龄期开裂风险。养护时长

应契合设计龄期不少于7天,高温或暴雨天要视情况适当延长。挂篮体系浇筑后的观测数据需回传至项目技术组,涉及竖向挠度、变形监测点、侧模位移等信息,为后续前移及钢束张拉校正提供支持。

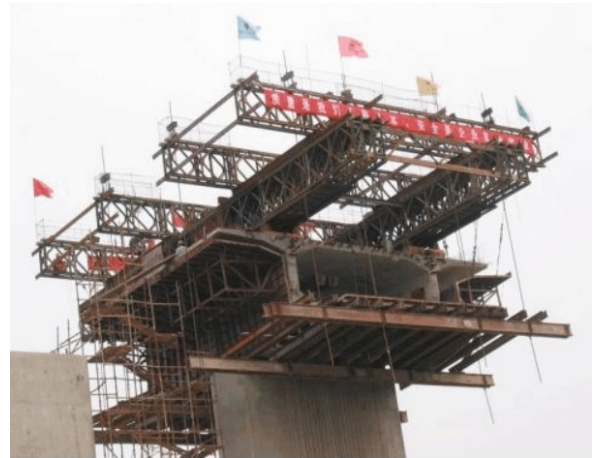


图1 桥梁悬臂挂篮施工

3 桥梁工程施工中悬臂挂篮技术应用的注意事项

在桥梁工程施工阶段,应明确悬臂挂篮技术的注意事项,如科学检验结构的安全性能,实时监测并纠正施工线形偏差等,保证桥梁工程悬臂挂篮施工的整体质量。

3.1 挂篮结构安全性能检验把控

挂篮作为一种临时承载系统,它直接承担梁段现浇过程里的所有荷载,同时还需承受前后锚固转换、振捣冲击以及混凝土温度应力所产生的附加载荷,要是结构局部强度不符合标准,或者连接节点存在虚焊、松动等问题,就很容易引发结构失稳等严重风险。在挂篮拼装完成并投入使用之前,一定要组织有资质的检测单位,对结构构件、主梁拼装、销轴连接、液压部件等展开全面的检查验收。检测内容涉及材质强度复核、焊缝质量探伤、支撑结构刚度检测、螺栓预紧力测量等,每一项数据都要形成记录并归入技术档案^[3]。在施工过程中,挂篮的使用状态也需要定期进行动态巡查,一旦发现脱焊、异响、型钢位移、支撑构件变形等情况,就应立刻停止作业,查明原因,未经消息复验不得继续使用。前移作业前,特别要对走行轨道、滑轮组件、油缸系统进行全面维护,避免前移过程中出现偏翻、结构突然受力冲击等致使整体不稳定的状况。

3.2 施工线形偏差实时监测纠偏

在工程项目施工阶段,需要结合具体位置展开分析,同时还要考虑悬臂挂篮技术的特殊之处,寻找合理化管理举措,让悬臂挂篮技术的应用效果达到最佳,满足桥梁工程的实际需求。每节段施工依靠挂篮一次次前移来完成,其定位精度以及节段控制累积误差较容易致使线形偏差出现积压情况。要实行全过程的实时监测机制,从根部节段开始,依

照每个新段施工节律展开墩顶坐标、翼缘高程、纵向轴线、腹板位置等要素的精确测量工作。监测手段可结合全站仪测量、光电基准对点法、激光检测或者无人机三维建模技术,并且及时把数据与设计线形进行比对分析,一旦察觉到局部出现偏差趋势就应提前制定调整策略,在下一节段进行预补偿校正操作^[4]。偏差更应当在小范围的时候就加以控制,而不是在尾段集中修正,防止造成内部应力重分布或者结构不协调,影响长久稳定性。要是属于气温骤降、风荷突变、混凝土早龄期收缩等不可控因素的影响,应及时借助加设临时支撑、调整张拉策略或者改造挂篮安装方式等手段进行微调处理,而不能任由偏差持续扩大。

3.3 预应力施工关键时间节点掌控

工程项目施工阶段有着严格的施工标准,需要利用科学化管理方案,让桥梁工程的建设水平进一步提升。挂篮悬臂施工中每个节段的张拉、固结、转压和挂篮前移均需要明确的时间节点进行协同控制,任何环节延误或提前都可能打破节段间的受力平衡。首先,要严格掌握混凝土达到设计龄期及强度要求后的张拉时间。在未达到有效强度等级前强行张拉,会因为混凝土尚未形成完整结构而引发开裂或蠕变加重;反之若张拉时间延后,则预应力筋中的应力损失增加,结构残余预应力难以达到设计要求。因此,配合现场试验强度检测结果判定张拉启动时机尤为重要^[5]。其次,预应力张拉的顺序应按照设计要求稳步推进,主张拉位置、张拉阶段数及对应锚固方式每一步都应精准执行。张拉完成后应在规定时间窗内进行压浆作业,避免套管内气泡、自由水影响浆液饱和度,同时控制温度、湿度对压浆扩散产生的影响。通过这样的方式,可以排除一系列干扰因素,也能保障项目的质量达到要求。

3.4 特殊天气施工安全保障措施

对于施工单位来讲,不能仅仅依靠当天的经验来做出判断,而是要建立专门的天气应急响应机制,把气象变化提前纳入到施工计划当中进行统一管理。在高温炎热、冬季低温、雷雨突然降临以及大风天气的时候,更应该提前准备好分级应急措施^[6]。高温期间要留意混凝土的温控以及养护降

温措施,防止早期出现干裂以及因高温致使胶结材料提前水化;冬季要配备暖棚、加热器材或者缓凝剂来维持砼的温度,避免施工缝遭受冻害;遇到雷电天气应当马上停止高空作业,保证塔吊、电器系统断电绝缘处理到位;大风天气对挂篮前移过程的风险特别大,严禁在风速超过规范标准的时候开展关键操作,应该昼夜观察风况变化,并且把风速计作为标准监测设备长期配置使用。现场所有人员都需要清楚掌握天气施工条件标准以及危险临界线,一旦气象数据预警达到本项目停工等级标准,就要实行操作中断并启动预警响应机制,保证挂篮施工全周期安全稳定没有任何死角。

4 结语

总结来看,悬臂挂篮技术用于桥梁工程施工,可有效契合复杂环境下结构浇筑的要求,达成高空作业时安全、高效以及精度控制三者同样关键的目标。只有在组织管理、现场执行和技术控制这几方面形成紧密协作,保证“操作规范、监测到位、预防有效”,挂篮施工才能切实服务于桥梁结构精准成型以及工程进度可控制推进,为达成安全优质的桥梁施工目标给予有力保障。

参考文献

- [1] 赵彪. 基于悬臂挂篮法的大跨度连续梁桥施工关键技术研究[J]. 工程建设与设计, 2025, (05): 172-174.
- [2] 胡哲, 蒋兴法, 曹硕. 大跨度变截面连续箱梁悬臂挂篮施工转支架现浇关键设计及结构验算[J]. 工程技术研究, 2024, 9 (06): 9-11.
- [3] 王镜越. 悬臂挂篮施工过程中数字化精准监测及反力架高效预压施工技术的研究及应用[J]. 运输经理世界, 2023, (14): 98-102.
- [4] 王荣霞, 梁栋, 方芳, 陈向上. 大跨连续梁桥施工及其力学仿真虚拟实验设计与应用[J]. 科教文汇, 2022, (16): 58-60.
- [5] 李芝树, 刘福江, 周岩, 马克诚, 王建军. 基于AHP法的预应力连续梁桥悬臂挂篮施工安全风险研究[J]. 建筑安全, 2022, 37 (04): 35-40.
- [6] 马克诚, 吴小燕, 王建军, 刘福江. 大跨度预应力连续梁桥悬臂挂篮施工现场监测技术研究[J]. 建设科技, 2022, (06): 80-83.

A Preliminary Analysis of the Application of High Performance Solid Waste Treatment Materials in Road Engineering

Shuai Pang

Shanxi Provincial Transportation Planning Survey and Design Institute Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

This article explores the current application status and development prospects of high-performance solid waste treatment materials in road engineering. With the acceleration of urbanization and the continuous promotion of infrastructure construction, the amount of solid waste generated has increased sharply. How to effectively handle and utilize these solid wastes has become an urgent problem to be solved. This article analyzes the classification and characteristics of high-performance solid waste treatment materials, with a focus on their application technologies in road base, subgrade, and pavement. The feasibility and effectiveness of these materials are verified through practical case analysis. Research has shown that high-performance solid waste treatment materials can not only effectively solve the problem of solid waste disposal, but also improve the quality and durability of road engineering, with significant economic and environmental benefits. Finally, this article looks forward to the future development direction and challenges faced in this field.

Keywords

high-performance solid waste treatment materials; Road engineering; Solid waste utilization; environmental protection; Sustainable development

高性能固废处治材料在道路工程中的应用浅析

庞帅

山西省交通规划勘察设计院有限公司, 中国·山西 太原 030000

摘 要

本文探讨了高性能固废处治材料在道路工程中的应用现状和发展前景。随着城市化进程的加快和基础设施建设的不断推进, 固体废弃物的产生量急剧增加, 如何有效处理和利用这些固废成为亟待解决的问题。本文分析了高性能固废处治材料的分类与特性, 重点研究了其在道路基层、路基和路面中的应用技术, 并通过实际案例分析验证了其可行性和效果。研究表明, 高性能固废处治材料不仅能有效解决固废处置问题, 还能提高道路工程的质量和耐久性, 具有显著的经济效益和环境效益。最后, 本文展望了该领域未来的发展方向和面临的挑战。

关键词

高性能固废处治材料; 道路工程; 固废利用; 环境保护; 可持续发展

1 引言

随着我国城市化进程的快速推进和基础设施建设的蓬勃发展, 固体废弃物的产生量呈现爆发式增长。据统计, 我国每年产生的建筑垃圾超过 20 亿吨, 工业固废产生量更是高达 30 多亿吨。这些固废若得不到妥善处理, 不仅占用大量土地资源, 还会对环境造成严重污染。与此同时, 道路工程建设需要消耗大量天然原材料, 导致资源日益枯竭。如何将固废转化为高性能的道路工程材料, 实现“变废为宝”, 已成为当前研究的热点问题^[1]。

高性能固废处治材料是指通过物理、化学或生物方法对固体废弃物进行处理, 使其具备优良的工程性能, 能够满

足道路工程建设要求的材料。这类材料不仅能够有效解决固废处置难题, 还能减少对自然资源的开采, 降低工程造价, 具有显著的经济效益和环境效益。本文将从材料分类、应用技术、案例分析等方面, 系统探讨高性能固废处治材料在道路工程中的应用现状和发展前景。

2 高性能固废处治材料的来源、分类及特性

高性能固废材料是指以工业固废、建筑垃圾、城市废弃物等为主要原料, 通过物理、化学或生物技术手段处理, 制备出的具有优异力学性能、耐久性 or 特殊功能(如吸附、催化、隔热等)的材料。这类材料是实现资源循环利用和低碳发展的重要途径, 广泛应用于建筑、交通、环保等领域。

2.1 高性能固废处治材料的来源:

工业固废: 粉煤灰、矿渣、钢渣、赤泥、煤矸石、尾矿等; 建筑垃圾: 废弃混凝土、砖瓦、玻璃、陶瓷等; 城市固废: 焚烧飞灰、污泥、废旧塑料、橡胶等; 农业固废: 稻壳灰、

【作者简介】庞帅(1985-), 女, 中国山西太原人, 硕士, 工程师, 从事道路桥梁设计研究。

秸秆、果壳等。

2.2 高性能固废处治材料的分类

高性能固废处治材料可根据来源和处理方式分为三大类：建筑垃圾再生材料、工业固废改性材料和特殊固废复合材料。建筑垃圾再生材料主要包括再生骨料、再生混凝土和再生沥青混合料等，这些材料通过对拆除建筑物的混凝土、砖瓦等废弃物进行破碎、筛分和强化处理而获得。工业固废改性材料则包括矿渣、粉煤灰、钢渣等工业副产品经过活化处理后形成的胶凝材料或填料。特殊固废复合材料是指将一些具有特殊性质的固废，如废弃橡胶、塑料等，与其他材料复合制备的新型道路工程材料。

2.3 高性能固废处治材料的特性

这些高性能固废处治材料具有以下显著特性：首先，它们具有良好的力学性能，经过适当处理后，其强度、刚度和稳定性可达到甚至超过传统材料的标准要求。其次，这些材料具有优异的耐久性，能够抵抗冻融循环、化学腐蚀等环境因素的破坏。再次，它们往往具备一些特殊功能，如温度敏感性低、抗裂性能好等。最重要的是，使用这些材料可以显著降低道路工程的碳排放和能源消耗，实现绿色建造。研究表明，使用30%的再生骨料替代天然骨料，可减少约15%的二氧化碳排放量^[2]。

3 高性能固废处治材料在道路工程中的应用技术

3.1 高性能固废材料处治的关键技术要点

3.1.1 预处理技术

固废材料的预处理技术是将其转化为高性能材料的关键环节，旨在通过物理、化学或生物方法对原始固废进行分选、纯化、活化或改性，以满足后续加工或应用的性能要求。主要有以下几种：

①破碎与筛分：通过颚式破碎机、反击式破碎机等设备将建筑垃圾、工业固废处理成不同粒径的骨料，满足道路工程级配要求。②活化改性：由于原始固废材料活性低（如粉煤灰28d活性指数仅65-75%），物理力学性能不达标（如再生骨料压碎值>30%），耐久性缺陷（抗冻性、抗渗性差），所以要对固废材料进行活化改性。主要方式有以下几种：物理活化：机械研磨（如钢渣超细粉磨）提高活性；化学活化：采用碱激发剂（如NaOH、水玻璃）激发粉煤灰、矿渣的胶凝性；热活化：煅烧黏土类固废（如废弃砖瓦）提升火山灰活性。

3.1.2 配合比设计

高性能固废材料的配合比设计需兼顾力学性能、耐久性、经济性和环保性，其核心在于通过科学方法优化固废掺量、胶凝体系、骨料级配及外加剂组合。

①性能优先：满足强度（抗压/抗折）、耐久性（抗冻、抗渗）等工程要求。②固废最大化：在保证性能前提下，提高固废替代率（如矿渣替代水泥≥50%）。③协同效应：利用不同固废的互补性（如粉煤灰的活性+钢渣的微膨胀性）。④低碳低成本：减少高能耗组分（如水泥熟料），降低胶凝材料用量^[3]。

除了传统的采用响应面法、正交试验等方法确定最佳配比。还可以依靠数字技术辅助，进行BIM参数化设计，建立材料数据库，通过200组以上的历史配比数据，实现性能预测，准确率高达85%。通过一系列系统的配比确定方法，可使固废材料在满足工程性能要求的前提下，实现资源化利用率最大化（可达70-90%），同时降低工程成本15%-30%。

4 施工工艺控制

高性能固废材料（如再生骨料、工业废渣基胶凝材料等）在道路、建筑等工程中的应用需严格控制施工工艺，以确保其力学性能、耐久性和环境安全性。以下是关键施工工艺控制要点：

4.1 原材料预处理控制

①固废分类与筛选：按来源（建筑垃圾、工业废渣等）和成分（金属、有机物、惰性材料）分类，剔除杂质。②破碎与分级：采用颚式破碎机、冲击式破碎机等设备控制粒径（如再生骨料宜为0-31.5mm），级配需符合规范（如《GB/T 25177-2010》）。③有害物质处理：通过磁选（去除金属）、风选（轻物质）或化学稳定化（重金属固化）降低污染风险。

4.2 配合比设计优化

①活性激发：针对矿渣、粉煤灰等废渣，添加碱性激发剂（NaOH、水玻璃）或硫酸盐激发剂（石膏），优化胶凝体系。②粒径匹配：采用“间断级配”或“骨架密实结构”设计，如再生骨料替代率≤30%时需补充天然骨料填充空隙。耐久性调整：掺入防水剂（硅烷）或防冻剂（引气剂）提升环境适应性。

4.3 混合料拌和工艺

①搅拌顺序：先干拌固废骨料与胶凝材料30s，再加水湿拌60s以上（双卧轴搅拌机效果更佳）。②均匀性控制：变异系数≤5%（通过筛分试验验证），避免离析。③水灰比动态调整：考虑固废吸水率（如再生骨料吸水率4-10%），实时监测坍落度（建议120-160mm）。

4.4 摊铺与压实控制

分层摊铺：每层厚度≤200mm（振动压路机）或150mm（平板夯），松铺系数1.2-1.3。

压实工艺：

初压：静压1遍（速度1.5-2km/h）；复压：振动压路机3-4遍（频率30-45Hz，振幅0.4-0.8mm）。

终压：轮胎压路机2遍消除轮迹；密实度检测：灌砂法或核子密度仪检测，压实度≥95%（高速公路基层要求）。

4.5 养护与质量控制

①保湿养护：覆盖土工布+洒水养护7天（湿度≥90%），避免收缩裂缝。②强度发展监测：3d强度≥设计值50%，28d强度达标（如路基填料CBR≥8%）。③环保检测：浸出液重金属含量符合《GB 5085.3-2007》标准^[4]。

4.6 特殊工况应对

雨季施工：缩短摊铺段长度（≤50m），备防雨棚。低温环境

添加早强剂 ($\text{CaCl}_2 \leq 2\%$)，养护温度 $\geq 5^\circ\text{C}$ (覆盖保温膜)。通过上述工艺控制，可确保固废材料达到设计强度 (如基层 7d 无侧限抗压强度 $\geq 3\text{MPa}$) 且浸出毒性达标，实现经济与环保双赢。施工中需结合现场试验段数据动态调整参数。

5 道路工程中的应用浅析

在道路基层施工中，高性能固废处治材料主要用作稳定土或无机结合料稳定基层的材料。建筑垃圾再生骨料可以替代部分或全部天然骨料，与水泥、石灰等结合料拌和形成强度高、水稳定性好的基层材料。工业固废如钢渣、矿渣等经过磨细活化后，可作为矿物掺合料部分替代水泥，不仅能降低成本，还能提高基层的后期强度和耐久性。施工时需特别注意材料的均匀性和压实度控制，确保基层质量。

在路基填筑方面，高性能固废处治材料展现出广阔的应用前景。建筑垃圾再生材料、工业废渣等经过适当处理后，可作为路基填料使用。这些材料具有较好的压实性能和承载能力，能够有效减少路基沉降。特别是一些轻质固废材料，如泡沫玻璃再生料，可用于软土路基的处理，减轻路基自重，防止不均匀沉降。应用时需根据材料特性合理确定填筑厚度和压实工艺，必要时可添加少量水泥或石灰进行稳定化处理。

在路面工程中，高性能固废处治材料的应用形式更为

多样。再生沥青混合料技术已经相对成熟，可将废旧沥青路面材料经过破碎、筛分后，与新集料和沥青重新拌和使用。研究表明，适当比例的再生沥青混合料不仅性能满足要求，还具有更好的抗裂性和耐久性。此外，一些特殊固废如废弃轮胎橡胶粉可用于制备改性沥青，提高路面的抗老化性能和降噪效果。工业固废如粉煤灰、硅灰等可作为矿物填料加入沥青混合料中，改善其高温稳定性和水稳定性。

6 高性能固废材料在道路工程中应用价值

高性能固废材料在道路工程中有一定的资源循环利用价值，我国每年产生建筑垃圾超 20 亿吨，利用率不足 30%，工业固废年产量超 30 亿吨，综合利用率约 55%，但是道路工程可消纳 70% 以上的适宜固废材料。另外在经济成本方面，与传统材料相比，固废材料可降低工程造价 15%-40%，减少运输成本 20-50%，节省土地资源 (每公里道路可减少取土占地 3-5 亩)。另外在环境方面的效益也很显著，可减少碳排放 30-60%，降低天然骨料开采量 40-80%，避免固废填埋造成的土壤污染。

7 应用技术与固废利用率的对比效益

见表 1。

项目类型	应用技术	固废利用率	效益说明
高速公路基层	水泥稳定建筑垃圾再生骨料	40%	节约成本 25%，无沉降病害
城市主干道路面	30%RAP 热再生沥青混合料	30%	裂缝率降低 50%
软土路基	泡沫玻璃再生料 + 水泥固化	100%	工后沉降 $< 5\text{cm}$ (3 年监测)

8 实际案例分析

某城市环线快速路改造工程中，采用了建筑垃圾再生骨料作为基层材料。工程将拆除旧建筑的混凝土废弃物经过破碎、筛分和强化处理后，替代 30% 的天然骨料，与水泥拌和形成稳定基层。经过两年运营监测，该路段基层状况良好，未出现明显病害，弯沉值保持在设计允许范围内^[9]。与使用全天然骨料相比，节约材料成本约 15%，减少碳排放约 20%。

在某高速公路扩建项目中，采用了钢渣作为路基填料。将钢铁厂产生的转炉钢渣经过陈化、破碎和筛分处理后，用于填筑路基。工程实践表明，钢渣路基的压实度和承载能力均满足规范要求，且具有较好的排水性能。与传统土石方填料相比，钢渣路基节约了约 25% 的工程造价，同时解决了钢厂固废处置难题。

某城市主干道采用了 30% 掺量的再生沥青混合料进行路面铺装。将旧路面铣刨料经过精细处理后，与新集料和沥青重新拌和，铺筑了 5 厘米厚的上面层。经过三年交通荷载作用，路面平整度保持良好，裂缝率低于同期建设的传统沥青路面。该工程不仅降低了 30% 的材料成本，还减少了约 40% 的废旧路面材料处置量。

9 结语

高性能固废处治材料在道路工程中的应用已经取得了

显著成效，不仅解决了固废处置难题，还降低了工程成本，减少了资源消耗和环境污染。随着处理技术的不断进步和标准体系的完善，这类材料的应用比例将进一步提高。

未来研究应重点关注以下几个方面：开发更高效的固废活化处理技术，提高材料性能；建立完善的质量评价体系和标准规范；研究不同固废材料的协同利用技术；探索固废材料在特殊环境条件下的应用性能。同时，也需要解决固废材料来源不稳定、性能波动大等挑战，推动其大规模工程应用。

参考文献

- [1] 张明远, 李红梅. 建筑垃圾再生骨料在道路基层中的应用研究[J]. 公路交通科技, 2020, 37(5): 45-52.
- [2] Wang, L., Chen, S.S. Utilization of steel slag as aggregates for stone chip paving blocks[J]. Construction and Building Materials, 2021, 283: 122-135.
- [3] 陈志刚, 王丽华. 固废基道路工程材料的研究进展与应用前景[J]. 材料导报, 2022, 36(3): 78-85.
- [4] Liu, Y., Zhang, H. Performance evaluation of recycled asphalt mixtures incorporating various percentages of RAP materials[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 298: 126-138.
- [5] 国家发展和改革委员会. 大宗固体废弃物综合利用指导意见[Z]. 2021-05.

Study on common faults and countermeasures in electrical installation and debugging of mechanical and electrical equipment

Bicheng Shao Guangyao Xu

China Metallurgical Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430075, China

Abstract

With the advancement of science, electromechanical equipment has seen continuous expansion in scale, while debugging requirements have become increasingly stringent. Traditional installation and commissioning methods are no longer sufficient to meet evolving needs, necessitating ongoing improvements in electromechanical equipment installation technologies. Only through comprehensive understanding of equipment operation, structural design, and functional impacts can we drive innovation. By leveraging the expertise and ingenuity of professionals, we can refine installation techniques to ensure reliable post-installation performance. Therefore, analyzing common electrical faults during equipment installation and commissioning processes is essential for developing effective troubleshooting strategies.

Keywords

mechanical and electrical equipment; installation and debugging; technical upgrading

机电设备电气安装调试常见故障及应对措施研究

邵毕成 许光耀

中国十五冶金建设集团有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430075

摘 要

随着科学的发展, 机电设备规模也不断扩大, 调试技术的要求也越来越高, 传统的安装调试方案已经难以满足需要, 就逐渐要求我们要不断改进完善机电设备安装技术, 只有充分了解和把握了机电设备的运行情况, 构造以及它所产生的种种作用, 才能不断改革创新, 用专业和技术人员的知识与智慧不断改进安装技术, 保障机电设备安装后的正常运行。所以机电设备电气安装调试环节, 就需要对其常见故障进行分析, 并且制定解决对策。

关键词

机电设备; 安装调试; 技术升级

1 引言

机电设备作为机械电气设备的统称, 本身较为复杂。随着工业的发展, 现阶段机电设备的结构逐渐复杂, 技术要求也越来越高, 设备电气安装环节就经常出现一些故障, 影响安装的质量。此背景下, 就要求机电设备电气安装调试需要, 对故障的成因、类型、危害等进行分析, 了解故障对安装调试的影响, 并在此基础上制定针对性的解决策略。文章结合机电设备, 对其安装调试流程进行分析, 阐述电气安装调试中常见的故障, 在此基础上通过实时监督、BIM 技术以及人员技术培训等方法, 对这些故障进行针对性的处理, 以保证机电设备电气安装的顺利开展, 推动工业化的发展。

2 机电设备电气设备安装调试概述

机电设备是指通过机械和电气系统相结合, 实现特定功能的设备。它通常包括机械部分和电气部分, 广泛应用于工业生产、建筑、交通、能源等领域。机电设备的典型特点是结合了机械运动和电力控制两大技术, 因此在设计、安装、调试和维护时, 既要考虑机械性能, 也要重视电气控制的稳定性与安全性。实际来看, 现阶段的机电设备电气安装调试主要包括电气设备安装、设备接线、电气元器件检查、调试工作、测试与验收以及安全措施等。经过充分的调试, 电气设备能够稳定运行并投入正式使用, 保证系统的可靠性与安全性^[1]。然而实际作业环节, 机电设备电气设备安装调试涉及到的内容较多, 就经常出现一些故障, 需要相关人员结合这些难点, 制定切实可行的解决对策。

【作者简介】邵毕成(1994-), 男, 中国湖北鄂州人, 本科, 工程师, 从事施工管道、钢结构、设备安装等研究。

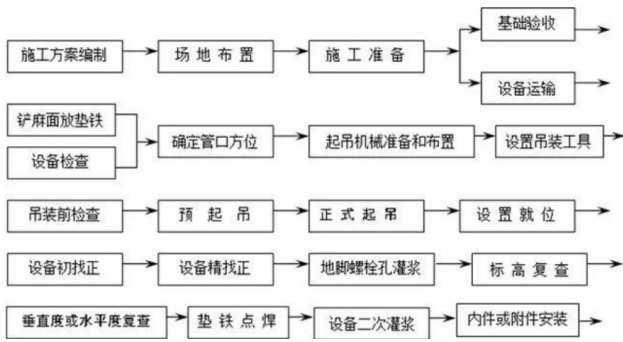


图 1 机电设备安装流程

3 机电设备电气安装调试常见故障

机电设备电气安装调试环节，鉴于机电设备规模越来越大，电气安装调试环节的故障类型也逐渐复杂，一定程度上制约调试工作的开展。此背景下，就需要相关人员结合机电设备电气安装调试的整个流程，对其常见故障进行分析。

3.1 接线问题

接线作为常见的电气安装调试故障，直接影响机电安装质量，作业环节，就需要相关人员进行分析。现阶段的接线问题主要包括两个方面，一是接线错误，机电设备电力线路数量与类型较多，接线环节很容易由于设计图纸错误、安装人员不熟悉电气原理或不仔细检查等原因，出现接线顺序错误、正负极反接以及线路连接不牢固等问题。一旦出现这些问题，就会导致设备电器元件短路以及烧毁等问题，影响设备的正常启动，需要相关人员加强重视。二是接触不良问题，机电安装环节，经常由于施工人员的技术问题导致接线不牢固，也可能由于线路的质量问题导致电气连接不畅，影响电流的稳定性。一旦出现这种问题，就会导致电气设备运转不稳定，可能产生火灾风险以及电气故障。

3.2 电器元件故障问题

电器元件作为机电设备的重要组成，安装调试环节也经常出现故障。首先是保护装置失灵问题，断路器、熔断器等保护装置作为线路保护装置，容易因为意外损坏、安装不当或者老化等原因，出现装置失灵、设备过载以及断电不及时等问题。一旦出现这种情况，就会对机电设备造成很大影响，严重者还会造成火灾。其次是继电器或者接触器的故障，继电器的线圈损坏、磨损以及电接点污染都会导致继电器和接触器出现故障，导致设备无法正常运行。这样就无法实现控制信号，设备不能正常启停。

3.3 电气控制系统问题

电气控制系统作为机电设备的重要组成，直接控制机电安装的质量，但是随着机电设备复杂程度的增加，电气控制系统也逐渐复杂，就经常出现控制系统的问题。一方面是 PLC 编程错误，如果程序设计错误或输入输出接线不匹配，程序逻辑不清、操作失误或软件故障，就可能导致设备无法按预定程序运行，影响生产效率。另一方面，变频器调节电

动机转速时，也可能由于变频器设置不当、电路元件故障等原因，导致电动机无法正常调节速度或停止工作，进而导致生产线停工。

3.4 电力供应问题

机电设备需要电力系统的支持，电力的稳定就直接影响机电设备安装调试的稳定性。实际安装调试环节，电源电压不稳定是常见的故障，可能由于电源设备故障、电力公司供应不稳定等原因，导致设备损坏或运行效率降低。严重时还可能导致设备无法正常启动，甚至造成电气元件的损毁。此外还存在接地问题，如果出现接地线接触不良或者接地电阻过大，就可能导致漏电或触电事故。

3.5 机械系统故障

机电设备安装调试环节，机械系统也是重要组成，容易出现故障。一方面，存在机械卡阻、零部件磨损或电动机损坏等问题，可能导致设备无法启动或正常运转。另一方面，电动机在启动或运行过程中，如果负载超过设计值，可能会出现过载现象，就会导致电动机烧毁或损坏，影响设备的正常运行。

3.6 存在电气干扰

机电设备安装环节，如果布线不规范、无屏蔽保护或者设备过于接近，就会导致电器之间的干扰。电气设备之间的电磁干扰会影响信号的传输和控制，导致设备故障，甚至造成系统崩溃。

3.7 环境因素

外界环境也会影响机电安装，造成一些故障。比如，如果安装场所潮湿或过于干燥，环境的湿度变化会影响电气元件的绝缘性能，导致设备出现短路、漏电等问题，进而造成运行不稳定，增加维修成本。

4 机电设备电气安装调试常见故障的应对措施

在机电设备电气安装调试过程中，需要对上述常见故障进行处理，常见的方法主要包括以下几种。

4.1 接线错误的治理

接线故障是现阶段机电安装调试的常见故障类型，主要呈现出设备无法正常启动、运转或存在异常噪声以及异常振动等状态，严重制约工作的开展。此背景下，就需要相关人员结合实际，设计针对性地解决方案。首先，安装调试人员需要对设计图纸进行分析，结合图纸的设计标准，对实际线路的接线进行核对，确保实际接线与图纸设计一致，规避理论与实践存在的差异。其次，为了保证接线的质量，确保其功能正常发挥，机电设备安装调试人员还需要结合绝缘电阻测试仪等工具检查接线的完整性，针对接线环节可能出现的接线不牢固、线路破损等状况进行分析，及时发现线路中的安全隐患，在此基础上立即停机断电，对线路中的安全隐患进行排查，修正可能存在的故障。这样才能够保证接线环节的规范。

4.2 接触不良故障的治理

机电设备安装调试环节，接触不良也是常见的故障类型。一般而言，接触不良一般由于连接部位不牢固或者接头受到污染等原因导致，进而造成设备启动不畅，并且伴随间歇性的故障，严重影响设备功能的发挥。针对其的治理，需要从多个方面入手。首先，要对接头和插头进行检查，检查所有连接部位是否紧固，确保接触良好。接头不牢是导致接触不良的挂件性因素，工作人员必须要对各个接头进行检查，确保接头牢固。其次，针对接头污染问题，需要清除接头、插头中的氧化物和污垢，以防止接触不良。接线环境会对接头产生影响，需要工作人员及时处理可能出现的氧化、污染等问题。然后，如果发现老化或损坏的电缆，就需要相关人员根据损坏的类型以及规格，合理更换，保证设备的质量。

4.3 电气元件故障处理

电气元件的故障也是影响机电设备安装的关键，会造成保护装置无法动作，电气元件损坏等状况，严重制约设备功能的发挥。工作人员治理环节，需要通过以下手段进行设计。首先，针对损坏的电气元件，需要按照规格进行更换，保证设备的功能。其次，机电设备对于电气元件的需求存在差异，安装之前，工作人员还需要对电器元件的规格进行确定，保证电气元件的参数满足机电设备的需要，避免标准差异导致的设备质量问题。此外，针对电气元件，还需要开展负载测试，对安装后的电气元件进行严格的荷载测试，收集其最大荷载，为后续使用限定最大值，保证设备正常工作。

4.4 PLC 程序或控制系统故障治理

PLC 可编程逻辑控制器作为系统的控制工具，一旦出现故障就会导致设备无法按预定程序启动或运行，控制系统无法响应等状况。所以其安装质量直接影响整个机电设备的功能，也需要对其故障进行解决。首先，工作人员需要重新检查 PLC 控制程序，确认编程逻辑和输入输出接线的正确性。为确保 PLC 可编程逻辑控制器能够正确控制系统，工作人员就需要结合输入以及输出接线，确保其和编程逻辑适配。其次，需要结合可编程逻辑控制器的调试工具，对输出信号进行检查，确保信息符合标准。此外，针对调试环节存在的逻辑错误，安装调试人员则需要根据需要进行修改，然后重新下载到 PLC 中，保证程序的规范性。

4.5 电压不稳定问题的解决

机电设备电气安装调试环节，电压的不稳定是导致故障的又一关键因素，可能导致设备启动困难，电机无法正常运行，控制系统无法稳定工作等问题，也需要安装调试人员合理解决。首先，工作人员需要对电源进行检查，使用万用表对电源电压等进行测量，分析电压参数，确保其在允许的

范围内。其次，针对电压波动较大的机电设备，工作人员需要合理设计安装电压稳定器，确保设备获得稳定的电源。此外，还需要重视外部电源的稳定性，针对由供电公司导致的电压不稳定状况，工作人员需要及时沟通企业，对电压进行稳定。

4.6 电气干扰问题的解决

机电设备安装调试环节，电气干扰也是常见的故障，会导致设备在运行环节出现失误，可能导致信号执行不稳定以及信号丢失等。治理环节，工作人员对于信号线路，应使用屏蔽电缆，以减少外界电磁干扰。其次，还需要尽量避免高功率电缆与信号电缆平行布线，避免干扰^[2]。此外，应对电源及信号进行滤波，减少电磁干扰对设备控制系统的影响。

4.7 环境因素的控制

外部环境影响也会对机电设备电气安装调试产生影响，作业环节，外部的高温、高湿以及污染较重等状况的出现都会导致设备运行不稳定，甚至导致设备损坏。治理环节，工作人员需要合理选择施工环境，通过降低湿度、提高通风、增加空调等方法，确保设备在适宜的环境中运行，避免外界环境的影响。其次，对于特殊环境下的设备，应选择防尘、防水、防腐蚀等级较高的设备，通过设备自身的强大功能，减少外界环境的影响^[3]。此外还需要定期对设备进行维护，工作人员应定期对设备进行检查，清洁灰尘，检查电气元件是否受潮，保持良好的运行环境。

5 结语

综上所述，现今，电力设备变得越来越繁杂，工程也朝着大规模化方向发展，导致电力安装调试运营进程中吊装、装配、检测技术的标准不断提升，这就需要逐步创新现今的作业技术与设备。所以，在实际安装和调试的过程中，需要通过科学合理的措施，在提升电气设备调试工作整体效率和质量的同时，确保电气设备后期能够正常地运行，最终保障电气设备安装工程的健康发展。工作人员一定要探索科学合理的解决方法，从而避免可能出现的种种问题。而且要注重质量问题，在安装过程中时刻提醒操作工人注意，在技术与操作上精益求精，不断改革创新，与时俱进。

参考文献

- [1] 李庆山,李玉婷. 机电设备电气安装调试运行中的常见故障及应对措施[J]. 电子测试, 2021, (04): 109-110.
- [2] 蒋爱萍. 机电设备电气安装调试运行中的常见故障及应对措施[J]. 住宅与房地产, 2020, (18): 200.
- [3] 龙明海. 机电设备电气安装调试运行中的常见故障及应对措施分析[J]. 农家参谋, 2020, (15): 97.

Study on the stability of Rockwell hardness tester in metal hardness testing

Yingjie Wu

Xuchang Product Quality Inspection and Testing Center, Xuchang, Henan, 461000, China

Abstract

As a crucial tool for metal hardness measurement, the Rockwell hardness tester is widely used in industrial production and scientific research due to its convenience, speed, and broad applicability. However, hardness values obtained during experimental testing are influenced by various uncertain factors such as sample surface condition, thickness, support stiffness, indenter type, and test force application. These factors exhibit complex interrelationships under different material conditions, processing states, and experimental environments, directly affecting the repeatability and accuracy of test results. This paper analyzes key factors influencing the stability of Rockwell hardness testing based on its working principles and applications, and proposes effective strategies to enhance testing stability for reference.

Keywords

Rockwell hardness tester; metal hardness testing; stability; influencing factors; countermeasures

洛氏硬度计在金属硬度检测中的稳定性探讨

吴莹杰

许昌市产品质量检验检测与研究中心, 中国 · 河南 许昌 461000

摘 要

作为金属硬度测量的重要工具, 洛氏硬度计以其方便快捷的优点以及适用范围广的特点被广泛应用于工业生产以及科学研究当中。但是在实验环节检测所得的硬度值会受到许多不确定的因素影响, 如试样表层状态、厚度、支撑刚度、压头类型和试验力加载等。在不同材料、加工状况以及试验条件下, 以上各种因素之间存在错综复杂的相互关系, 直接影响测试结果的可重复性与准确度。为此, 下文将基于洛氏硬度计的工作原理与应用, 分析影响洛氏硬度检测稳定性的主要因素, 并提出提高检测稳定性的有效应对策略, 以供参考。

关键词

洛氏硬度计; 金属硬度检测; 稳定性; 影响因素; 对策

1 引言

硬度是表征金属材料力学性能的一个重要指标, 可以用来评定材料的耐腐蚀性、强度以及可加工性。使用洛氏硬度计的测量性能优点包括方便易用、测量速度快、读数直接等, 因此被广泛应用到了冶金、机械制造及质量检测等领域。但是在长时间使用与多批次检测后, 其数值偏差、重复性不足等稳定性问题逐步凸显, 影响到金属硬度检测的实际效果, 所以探索提高洛氏硬度计在金属硬度检测的稳定性策略迫在眉睫。

2 洛氏硬度计的工作原理与应用概述

洛氏硬度计主要是以压痕深度法为基础, 在试样表面

利用压头形成永久性压痕, 将其中的深度差详细记录后转化为硬度值。在具体操作环节, 首先在规定时间内给定初试验力将表面氧化层和机械间隙对测量的影响消除, 随后施加总试验力完成压入, 最终将附加荷载撤销, 只维持初始试验力, 在此试验过程中得到的压痕深度就是测量值, 测试值减去初始试验力对应的压痕深度差即为硬度值。通常情况下使用的压头是 120° 金刚石圆锥或是不同直径的硬质钢球, 具体需要根据试样的强度大小及材质进行确定^[1]。相较于布氏硬度计, 维氏硬度计而言, 由于不需要借助于光学系统, 洛氏硬度检测可以直接读取结果, 可以较好地满足批量生产线的检测要求。

3 影响洛氏硬度检测稳定性的主要因素

3.1 试样表面状态的影响

试样的表面状态是洛氏硬度试验稳定的基础, 它的平整度、粗糙度以及硬化层的分布都会直接影响试验结果的稳

【作者简介】吴莹杰(1977-), 女, 中国河南许昌人, 本科, 工程师, 从事力值、硬度、转速、质量研究。

定性。如果试样表面有划痕、氧化皮和加工残留等缺陷,那么试样表面与压头之间存在微小不平,这样会导致压痕深度值与理论值不符。对于热处理、喷涂类零件而言,表面存在着较厚的硬化层,在加载过程中易使压头穿过硬化层压入基体,出现硬度值忽高忽低的现象;另外,如果表面过于粗糙,将使压头受力点集中,从而使压痕偏离正常的深度位置,导致测试的重复性、稳定性偏差^[2]。

3.2 试样厚度与支撑刚度的影响

洛氏硬度计试验时试样厚度及试样背面的支撑刚度也是影响试验时压痕是否能稳定形成的因素之一。如果试样厚度不够,在加载的过程中容易发生弹性变形,产生局部翘曲或者下陷,这样压痕深度就会偏大,所以导致硬度值偏低。另外像薄板类以及小零件,如果没有选择合适的衬垫或者是没有进行良好的固定措施,在受力时就会达不到足够的刚性支撑,此时硬度值就会比较分散。此外,试样的几何尺寸和装夹方式决定了整个试验过程中力的传递路径以及试样的变形模式,如果装夹不牢固或夹具不合适,那么压头试验力就不能完全被试样接收,从而使硬度值不稳定。

3.3 压头性能与磨损状况的影响

压头是进行洛氏硬度测试的部件,压头的几何形状和表面质量好坏直接关系到试验结果的可靠性和准确性。如果试样的几何尺寸发生偏差,将会对受力接触面产生影响,对压痕深度造成影响;并且长期使用的金刚石圆锥压头易在其尖端以及棱角部分出现微裂纹或者产生磨损现象,通常肉眼无法直接察觉,而一旦加载就会导致加载受力的分布不均匀,使得硬度值发生随机性的变化。与此同时钢球压头在多次使用后的表面硬化层磨损也会影响被测样品的承载能力。所以为了保证测试的复现性需要时刻保持压头状态良好,并且要对其的状态进行定期的检测。

3.4 试验力加载与保持的稳定性

试验力加载方法、加载速度和保持时间是影响压痕形成以及检测结果一致性的主要因素。硬度测试中如果加载过快,会产生瞬时冲击,使得压头进入试样的瞬间压力过大,导致压痕过深而出现硬度偏小的情况;如果加载速度过慢,则材料会因加载速度缓慢产生的延时加载力而产生较大的塑性变形,且加大了加载时间的影响程度。除此之外,保持时间过短,就会在压痕没有彻底稳定的情况下读取数值,从而出现硬度数值分散的情况;如果保持时间过长,材料将产生蠕变导致硬度值偏小。尤其是对于半自动,或者比较陈旧的硬度计来说,加载机构不够精确,力值波动以及保持时间不易控制,很容易造成硬度测试结果不稳定。所以,试验力控制系统的好坏将直接影响硬度测量的可靠性。

3.5 操作人员的技能水平对测量结果的影响。

操作人员若缺乏系统培训或经验不足,易在试样制备、加载过程、读数判断等环节引入人为误差。例如,试样表面未充分抛光或存在油污、氧化层,将导致压痕不规则,影响

测量精度;加载速度过快或保载时间不足,则可能使压痕深度偏小,测得硬度值偏高。规范性操作是确保测试结果可靠的前提。操作人员需严格按照规程执行:校准设备、选择合适标尺、确保试样平稳放置、控制加载速率与保载时间。此外,压痕间距及边缘距离若不符合标准要求,易受材料加工硬化或边界效应干扰,造成数据失真。操作人员若忽视环境温度湿度控制或设备日常维护,亦可能引入系统偏差。经验丰富的操作人员能够敏锐识别异常压痕,及时排查设备故障或试样问题,提升测试重复性与再现性。相反,非规范操作如频繁更换压头、手动施加冲击载荷、读数时视角偏差等,均会显著降低数据一致性。因此,定期开展人员培训、实施操作考核、建立标准化作业流程,是保障硬度测试质量的关键措施。

4 提高洛氏硬度计在金属硬度检测稳定性的策略

4.1 优化试样表面处理工艺

为了保证洛氏硬度计的再现性和准确性,试样的表面准备工艺必须做到制度化、标准化。一是利用精密机械方法去除表面加工余量和显见的加工刀痕,并对切削形成的应力区做适当去除应力处理,防止出现局部硬化的现象或发生有危害性的微观裂纹;二是严格控制表面粗糙度,利用多级抛光法,逐级减小其微观粗糙度,使压头能均匀压入金属基体,并保持测量时压痕形状的一致性;对于经过热处理或表面强化的金属材料而言,还应当注意均匀程度和厚度的稳定性,在特殊情况下还可以对其进行微观测量和光学检测,以判断硬化的局部硬度分布是否均匀一致^[3];三是对表面进行全面彻底的清洁,用适合的有机溶剂或超声清洗,清除掉加工剩下的油脂、氧化物和微粒等杂质,避免它们压入压头造成局部硬化的产生。处理完的试样切勿暴露过长时间在空气中,这样易使试样生成氧化膜和吸附一些杂质等污染物质,不利下一步的操作,如特殊材料也可结合使用化学腐蚀和微抛光的方法来提高表面的微观平滑度,并确保被测工件表面的本身实体结构不受损伤。四是根据实际情况在工艺流程中设定加工速度、抛光颗粒度、清洗剂类别以及处理时间等相关工艺参数,并建立完善的检测可追溯的操作标准。

4.2 增强试样厚度与支撑刚度控制措施

在洛氏硬度试验过程中,试样的厚度以及背面支撑刚度都会影响到压痕的形成稳定,为了保障试验结果的准确性需要做好相关的控制工作。第一,对于一些比较薄的试样或者是较小的微型零件、局部加工件来说,我们可以用一些适配性的衬垫或者加大底板的方式让试样在整个加载过程中受力可以尽量做到平均,这样才不会造成弹性形变或者产生局部翘曲等问题。其中所使用的衬垫需要选用硬而且变形小的材料,并且要求底面平整方便力传入,从而达到减小压痕偏差的目的。第二,根据试样的几何尺寸、形状和材质性能

的不同设计出合理的装夹方法,在保证装夹方式对试样能起到牢固夹持作用的基础上,避免出现夹持不够导致的压痕不均匀或者是压痕出现测量波动的现象。对于一些几何形状比较复杂的试样来讲,可以通过合理地调节夹具的压力分布或者是使用可调支撑件等办法使得试样的加载方向达到最理想的刚度状态。第三,合理处理试样底面与夹具支撑面的接触条件,采取精密平整或微调支撑面位置来对接触不均匀局部间隙进行消除,保证力能够顺利地进行传递。而对于一些重要件或者是精密测量的时候还可以借助于有限元进行模拟分析,以得到不同的厚度以及支撑方式的应力分布和变形情况数据^[4]。

4.3 压头性能维护与磨损控制措施

由于压头是洛氏硬度测量时最重要的受力元件,所以压头的几何精度和表面粗糙度等都将直接影响洛氏硬度测试数据一致。首先,对于金刚石圆锥压头和钢球压头应建立一套完善的使用寿命管理体系。对于长期用于检测高硬度材料的压头要定期对其进行微观检查,采取显微观察、轮廓测量或三维扫描等方式来检测压头尖端角度是否发生了偏移,棱角是否完整,表面是否存在划伤或者轻微磨损及是否存在裂纹等缺陷,以作后期维护或更换压头的参考。其次,针对不同的使用条件来确定合理的更换周期。比如在硬质合金件的高频率测量中可以适当缩短压头的更换周期,以有效降低洛氏硬度测量的误差,避免因压头磨损带来的随机性硬度值波动。同时检测时要尽量避免将压头接触到硬杂质或者尖锐的异物上,以减少压头表面被划伤以及被污染的概率。再者,建立压头校准与性能验证的流程,利用标准硬度块定期校准,比较测量值和理论值的差异,判断压头的承载能力以及压头几何形状是否有改变;针对钢球压头,可以用表面回火处理或硬化处理的方法延长使用寿命,保持钢球压头表面硬化层稳定性以及保持钢球压头几何尺寸稳定。通过进行上述的维护、监控与校准工作可以对压头的磨损以及性能的变化进行有效的控制,保证压头的长期使用具有较高的精度与重复性,为洛氏硬度试验的测定提供良好的试验条件。

4.4 试验力加载与保持的控制策略

测试过程中试样上的试验力加载的平稳性以及保持时间的精确度是决定压痕形成的均匀性是否良好的两大因素。

首先,试验的加载速率必须按照国家标准,合理使用电子或者机械减速装置控制加载速率,不得因瞬时加载而出现冲击压入的现象。对于半自动或老式硬度计,可通过调整及维护弹簧、油压系统或是电机驱动装置来调整其加载力曲线的平滑性,避免在加载过程出现波动或者超调的情况。其次,根据试验材料的塑性和蠕变的特点来设置保持时间,并且必须保证压痕在全试验力作用下处于相对稳定状态以后才能够读取数据。在此过程中,可以利用数字化力控系统实现实时监控压头的负载以及位移的变化,微调控制保持时间,防止有效避免了由于时间不够造成的压痕不稳定或者时间太长所引起的蠕变效应。对高硬度、高弹性的试样在程序上可考虑加入分阶段加载和缓停的过程,从而消除瞬时变形对硬度值的影响。最后,制定系统的校准及维护制度,对其加载机构、力传感器、控制单元等要进行周期性的检定,通过对力觉传感器精度、执行机构的磨损程度、控制系统的响应特性等进行综合评定后及时调整加载参数,保证力值波动在允许范围内。

5 结语

分析研究了洛氏硬度测量中影响测量稳定的因素,得知试样的制备处理、试样支撑条件、压头的状态和加载方式等均会对测量的结果产生影响。通过对试样表面作标准化处理、提高试样支撑刚度、维护好压头性能、严格控制试验力对以上各个环节进行优化改善,可以使测量的结果降低波动,提高数据的一致性。这对试验室检测的操作具有很好的技术参考意义,并且能作为工业上材料硬度检测评定精度的基础保障,从而更好地推进金属硬度测试方法的科学化和规范化发展进程。

参考文献

- [1] 周丽萍.浅析洛氏硬度测量不确定度的评定方法[J].梅山科技, 2024(3):37-38.
- [2] 陈洋卓,徐玲林,李泽贤,等.全自动布氏,洛氏,维氏硬度计设计[J].实验室研究与探索, 2023, 42(3):63-66.
- [3] 钟金德.紫铜管洛氏硬度测量不确定度的评定[J].理化检验(物理分册), 2025(4).
- [4] 马超超,王建军,马响,等.气浮技术在标准洛氏硬度计智能化改造中的应用[J].计量与测试技术, 2024, 51(1):69-72.

Research on the Optimization Path of Construction Organization and Schedule Control for Ground Construction

Bing Zheng

Jilin Mengxi Engineering Management Co., Ltd., Jilin, Jilin, 132000, Cina

Abstract

Given the complex structures, multiple processes, and diverse stakeholders involved in ground construction projects, these engineering endeavors demand enhanced construction organization and progress control. The effectiveness of organizational frameworks and efficient scheduling mechanisms directly impacts project objectives. This paper analyzes five critical dimensions: construction organization system development, schedule planning formulation, on-site management implementation, integration of information technology, and multi-stakeholder collaboration mechanisms. By identifying current bottlenecks in progress control, we propose adaptable optimization strategies with high operational feasibility. These solutions aim to improve overall construction efficiency, reduce unplanned time consumption, and strengthen inter-organizational coordination capabilities. The study provides practical references and theoretical foundations for related engineering projects, ultimately driving improvements in construction management standards.

Keywords

Ground construction projects; Construction organization; Progress control; Information technology management; Collaboration mechanisms

地面建设工程施工组织与进度控制优化路径研究

郑冰

吉林梦溪工程管理有限公司, 中国 · 吉林 吉林 132000

摘 要

地面建设工程因其结构复杂、环节众多、参与方多样,对施工组织与进度控制提出了更高要求。合理的组织体系与高效的进度管控机制直接关系到工程目标的实现。本文从施工组织体系的构建、进度计划的编制、现场管理的执行、信息化手段的融合以及多主体协同机制五方面展开分析,梳理当前地面建设工程中存在的进度控制瓶颈,提出适配性强、执行性高的优化路径,旨在提升整体施工效率、压缩非计划时间消耗、增强组织间协调能力,为相关工程项目提供实践参考和理论支撑,推动建设管理水平进一步提升。

关键词

地面建设工程; 施工组织; 进度控制; 信息化管理; 协同机制

1 引言

地面建设工程是建筑行业的重要组成部分,涵盖厂房、办公楼、基础设施等各类大中型项目,具有工序密集、施工周期长、外部变量多的典型特征。在实际工程中,施工组织缺乏系统性、工期计划不够科学、协同管理效能低下等问题,严重制约了项目的顺利推进。随着建设项目规模扩大及施工复杂度提升,传统的组织模式与进度控制手段已难以应对多源要素耦合背景下的施工挑战。本文立足于项目全过程管理视角,系统梳理影响施工组织与进度执行的关键因素,探讨多技术融合、多主体协作下的优化路径,为地面建设工程管

理模式提供改进思路与操作依据。

2 地面建设工程施工组织体系的构建与优化路径

2.1 施工组织模式的类型选择与适应性分析

地面建设工程施工组织模式的选择直接影响施工过程的协调性与实施效率。常见的组织类型包括职能型、项目型与矩阵型结构,不同类型在组织沟通、任务划分、资源调度等方面存在明显差异。在项目规模较大、交叉工序频繁的工程中,矩阵式结构能够实现专业间的协调优化,提高资源利用效率。组织模式应结合项目的体量、工序逻辑、施工周期等实际情况进行科学配置,使组织结构与施工计划保持高度适配,从而实现施工环节的高效衔接与任务落实,确保工程顺利推进与进度目标的达成。

【作者简介】郑冰（1990-），男，中国辽宁沈阳人，本科，工程师，从事地面建设和油气储运研究。

2.2 组织结构层级与职能分工的精细化配置方式

科学合理的组织层级划分与职能界定是保障施工计划高效执行的核心基础。地面建设工程涉及多工种、多阶段的协同作业，组织层级需明确指挥体系，区分项目管理层、执行层与作业层的职责边界，减少上下级之间的信息传递误差。各职能岗位需根据工序划分及施工阶段特点进行配置，在任务量与管理跨度之间寻求平衡。通过优化组织关系网，消除部门间的信息壁垒，提高指令传达的准确性与响应效率，为施工现场的资源调动与进度调整提供稳定支撑，提升整体组织执行力。

2.3 多专业协同下的组织资源整合与流程再造策略

地面建设工程项目往往集成土建、结构、安装、装饰等多个专业领域，协同管理需求高。在施工组织中通过建立跨专业的协作机制，可推动任务流与信息流的同步运行。资源整合应打破专业壁垒，实现劳动力、设备、技术人员等资源的统一调配，减少因专业分割导致的重复作业与资源闲置。流程设计上可采用并行作业、穿插施工与工序优化的策略，压缩非增值时间，提升组织运行效率。多专业协同组织架构的构建依赖于清晰的信息对接界面和职责分配体系，实现资源的最优配置与作业过程的高效联动^[1]。

3 地面建设工程进度计划的编制机制与控制流程

3.1 工期目标设定的合理性与阶段计划划分依据

进度控制的前提在于科学设定工期目标，并据此编制分阶段的实施计划。地面建设工程应基于工程量、施工条件、资源供给周期与施工环境等多重因素，合理预估总体工期。阶段计划的划分需匹配关键节点、施工流程顺序以及资源配置能力，使各阶段具有明确的里程碑与考核标准。合理的工期目标不仅是进度管控的参照系，也能有效分解总体任务，促进工作重心前移，减少临时变更与盲目调整。在保证质量与安全的前提下，通过细化目标与过程控制实现项目整体进度的有序推进。

3.2 关键路径法与节点控制法在地面工程中的应用要点

关键路径法作为工程进度控制的重要工具，能够明确限制工期的关键工序链条，有助于聚焦资源配置与节点把控。地面建设工程施工环节繁复，关键路径的准确识别对于把握整体节奏具有指导意义。结合节点控制法设定重要时间点，能够对进度进行阶段性检测与干预。在具体应用中，关键路径应根据施工方案变化进行动态更新，避免因路径偏移导致工期误判。通过将两种方法结合实施，在强化时间节点管理的同时，提升对关键工序的监控力度，为项目管理者提供实时的进度预警与调度依据。

3.3 计划执行的动态跟踪与进度偏差修正策略设计

施工进度计划的实施过程中不可避免地受到天气、材

料供应、技术问题等外部干扰，动态跟踪成为控制偏差的关键。通过建立数据驱动的进度跟踪机制，实时收集实际完成情况与原计划的对比数据，识别偏差发生的阶段与原因。在偏差控制策略设计中，应预设多种调整手段，如增派资源、优化工序衔接、调整作业顺序等，提升应变能力。进度修正必须以阶段性成果为基准，结合现场反馈与管理意图进行科学决策。有效的动态控制体系能够及时发现问题、快速反应，为工程进度稳步推进提供保障。

4 地面建设工程现场管理对施工效率的影响分析

4.1 施工现场作业面布置与空间组织的效率导向优化

施工现场的空间利用率直接影响作业效率与资源流转速度。地面建设工程应依据施工工序安排，科学布置作业面，确保关键通道、堆料区、机械停放区合理分布，减少因空间冲突引发的作业干扰。作业面布局需兼顾施工顺序与作业密度，通过空间分区实现同步施工与交叉作业的动态转换。合理配置垂直运输设备与临时设施位置，有助于提高物料传输效率与人员通行便捷性。布置优化应根据项目阶段不断调整，使现场空间在各时段都能支撑高效、有序的施工活动，提升整体施工节拍的连续性^[2]。

4.2 劳动力、材料、设备的现场调配与节奏控制机制

施工资源的调配效率对进度执行能力构成直接影响。地面建设工程中需建立动态资源配置台账，根据作业计划调整劳动力进出场时间、岗位配置与班组轮换节奏。材料供应应按区域、时间与批次精确计划，避免现场堆积与运输频繁影响作业通道通畅。设备调度需与作业面需求同步规划，确保施工高峰期机械配置充足、低峰期资源不被闲置。各类资源调配的关键在于信息联通与计划管控的同步执行，形成以进度需求为导向的资源响应机制，避免资源瓶颈对施工节奏造成冲击。

4.3 突发事件响应对施工组织与进度系统的调节能力

突发事件对施工进度影响具有不可预测性与破坏性，考验项目组织的应变与恢复能力。在地面建设工程中，常见的突发事件包括恶劣天气、设备故障、安全事故等，需在施工组织体系中预设应急响应机制。现场管理应强化风险预判与资源冗余配置，缩短从事件发生到反应处置的时间差。进度系统需具备调整能力，能在局部节点延误时通过资源调剂、作业重排等方式修复进度计划。良好的应急联动机制与清晰的职责划分是保障施工不被突发事件长期干扰的核心，有助于提升组织系统的韧性与持续施工能力。

5 地面建设工程信息化手段对组织与进度协同的支撑作用

5.1 BIM 技术在施工组织仿真与进度预测中的集成应用

BIM 技术通过构建可视化的三维数字模型，实现对施

工过程各阶段的精准模拟与时间维度叠加,使得施工组织方案的制定更加科学高效。在组织仿真环节中,BIM平台可对结构施工顺序、施工设备布置及临时设施设置进行直观演示,帮助管理团队评估不同组织方式下的资源匹配度与作业冲突风险。进度预测方面,BIM技术能够嵌入施工计划数据,生成四维进度模拟图,动态展现各节点计划与实际完成情况之间的偏离情况,并提供数据支持以修正调整策略,增强对关键路径与节点控制的精细化管理能力,推动施工组织与工期目标协同运行^[3]。

5.2 项目管理信息系统对进度节点数据的实时跟踪功能

项目管理信息系统作为施工管理数字化的重要平台,通过模块化设计实现对进度节点的全过程数据采集、动态更新与实时反馈。在地面建设工程中,该系统可将施工计划分解为多级任务节点,每个节点嵌入责任主体、时间节点与验收标准,并实现任务状态的在线更新。系统可自动生成进度偏差预警、资源使用报表及执行绩效对比分析,辅助项目管理者及时识别关键节点的执行风险。平台的数据可视化功能也有助于直观呈现各阶段进展情况,提高决策反应效率,使进度控制从静态计划转向动态管理,为施工组织提供精准化操作依据。

5.3 数字化平台对跨参与方进度协同与沟通效率的提升路径

地面建设工程涉及设计、施工、监理、供应等多个参与方,其进度协同依赖信息传递的高效性与同步性。数字化平台以数据共享与任务联动为核心,打破传统单向沟通模式,实现施工信息、技术文件、进度节点、变更指令的集中发布与反馈。各参与方可通过权限分级方式获取项目实时状态,掌握各自任务进展与协作要求,减少因信息滞后造成的重复作业与协调障碍。平台还支持多终端远程接入与操作,使异地项目团队在决策响应、问题协调及节点落实中保持高频互动与透明化管理,显著提升进度协同的执行效率与组织的系统集成能力。

6 地面建设工程多主体协同推进进度控制的机制构建

6.1 施工单位与监理单位在工期管控中的职责联动机制

施工单位与监理单位在地面建设工程中承担着实施与监督的双重角色,其联动机制直接影响工期计划的可控性与执行力。联动机制应以合同约定和实施细则为基础,明确双方在进度编制、计划审核、现场推进与问题处理中的职责边界与协作流程。在具体执行中,施工单位需主动报送节点计划与调整申请,监理单位根据实际工况与技术标准进行核查并反馈优化建议,形成闭环管理路径。双方在关键节点验收、资源配置协调及进度偏差响应中应设立联合例会机制,确保

信息互通、问题共商、措施同步实施,推动工期控制目标在执行层面实现刚性落地。

6.2 业主方与总承包方之间的计划沟通与目标对齐路径

业主方作为项目推进的核心决策者,其与总承包方之间的进度目标一致性直接决定工程计划执行的稳定性。在计划沟通方面,应建立基于目标分解的协同编制流程,确保总承包方施工计划与业主总体目标在节点设定、资源投入与风险容差等方面形成统一预期。项目执行过程中,双方可通过信息平台共享进度数据与现场情况,实现计划落实情况的实时校验与双向调整。对于重大变更或进度瓶颈,双方应设立联合调度机制,协调资金、设计、审批等外部影响因素,强化问题协同解决效率,避免责任模糊与执行延误,构建互信共赢的进度控制合作模式。

6.3 合同约束与激励机制在多方进度协同中的执行保障

合同机制在地面建设工程进度管理中发挥着规制行为与激励效率的双重作用。通过明确合同中各方的工期责任、考核节点、违约责任与奖惩条款,可为进度协同提供制度保障。在执行层面,应结合实际工期目标设定分阶段的验收标准与时间约束,确保每一责任方在组织落实上具有紧迫感。为提升协同积极性,合同中可引入节点提前奖、进度质量联动激励、协同配合积分机制等条款,增强各方在推进过程中的主动性与配合度^[4]。合同条款应具备可量化、可追踪与可执行的特征,使其既成为项目进度运行的行为约束,又是推动多方协同落地的核心驱动力。

7 结语

地面建设工程施工组织与进度控制的系统优化,不仅关系到工程项目的时间管理水平,更直接影响资源配置效率与项目整体质量。通过科学构建施工组织体系、精准制定进度计划、强化现场管理措施,并融合信息化手段与多主体协同机制,可有效提升施工执行力与进度稳定性。在复杂工程环境下,唯有不断推动组织模式创新与技术管理融合,建立全过程、全要素、全参与方的协同控制体系,才能实现对地面建设工程全过程的有序掌控,为建设目标的如期实现提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 马波,李冬,马红,王童.油气田地面建设工程施工技术现状及展望[J].现代盐化工,2024,51(04):83-84.
- [2] 刘雅儒.油气田地面建设工程施工技术现状及展望[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(13):196-198.
- [3] 程相禹.油田地面建设工程施工的质量监督管理探讨[J].全面腐蚀控制,2022,36(03):71-73.
- [4] 唐振楠.油田地面工程施工中防腐技术的运用研究[J].全面腐蚀控制,2022,36(02):98-99.

Reform of software courses in higher vocational architecture design major under the dual wheel drive—Taking “Digital Aided Design of Buildings” as an Example

LinlinWang Lu Gao

Chongqing Construction Engineering Vocational College, Chongqing, 400000, China

Abstract

This study takes the vocational college course “Digital Auxiliary Design of Architecture” as the carrier, integrates the concepts of modern apprenticeship system and golden course construction, and explores the path of teaching reform for software courses. By establishing a “school enterprise dual subject collaboration” mechanism, four real enterprise projects are integrated throughout the entire teaching process, and a dual line fusion innovation model of “mainline projects+auxiliary line advancement” is implemented. The reform covers curriculum system reconstruction, project-based teaching content design, dual mentor situational teaching, and multi-dimensional dynamic evaluation system, effectively solving pain points such as the disconnect between traditional teaching and enterprise practice, and the singularity of ability cultivation. The implementation effect of the reform has shown a significant improvement in students’ learning outcomes, with significantly enhanced curriculum sophistication, innovation, and challenge, providing a scalable paradigm for similar courses.

Keywords

modern apprenticeship system; Golden Course Construction; Digital design of buildings; curriculum reform

双轮驱动下高职建筑设计专业软件类课程改革——以《建筑数字化辅助设计》为例

王林琳 高露

重庆建筑工程职业学院, 中国 · 重庆 400000

摘 要

本研究以高职《建筑数字化辅助设计》课程为载体, 融合现代学徒制与金课建设理念, 探索软件类课程教学改革路径。通过构建“校企双主体协同”机制, 以四大真实企业项目贯穿教学全流程, 实施“主线项目+辅线进阶”的双线融合创新模式。改革覆盖课程体系重构、项目化教学内容设计、双导师情境化教学及多维动态评价体系, 有效解决了传统教学与企业实践脱节、能力培养单一化等痛点。改革实施效果表明, 学生学习效果显著提升, 课程高阶性、创新性与挑战度显著增强, 为同类课程提供了可推广的范式。

关键词

现代学徒制; 金课建设; 建筑数字化设计; 课程改革

1 引言

1.1 研究背景与意义

当前, 国家大力推进职业教育改革, 《国家职业教育改革实施方案》明确提出深化产教融合、全面推广现代学徒制的战略部署。与此同时, 教育部“金课”建设要求聚焦高阶性、创新性、挑战度, 推动课程教学从知识传授向能力培养转型。另外, 建筑行业数字化转型加速, 企业对掌握数字化工具的复合型人才需求激增。然而, 高职院校软件类课程

构建与教学存在显著痛点, 人才培养与行业需求存在错位矛盾, 亟待改革^[1]。

1.2 研究对象界定

本研究聚焦高职建筑设计专业的软件类课程, 以《建筑数字化辅助设计》为改革载体。该课程具备技能综合性, 整合 SketchUp 与 Mars 双软件, 同时作为专业核心课程, 具备专业教学的代表性, 是高职建筑设计软件课程改革的理想试验田。

1.3 研究目标与思路

本研究的研究目标为探索构建“现代学徒制+金课标准”双轮驱动的课程改革路径, 提升学生复杂项目解决能力与职业适应性, 梳理改革路径, 总结改革经验。本文首先阐

【作者简介】王林琳(1992-), 女, 中国辽宁大连人, 硕士, 讲师, 从事建筑设计、城乡规划、城市更新研究。

述研究概况及现代学徒制与金课建设的理论基础，并分析课程现状与改革需求，核心章节设计“双轮驱动”改革路径和实施保障，进而讨论改革成效与不足，为同类课程提供范式参考。

2 理论基础与背景分析

2.1 现代学徒制的内涵与核心要素

现代学徒制作为产教融合的核心载体，其本质是通过制度化的校企协同，重构技术技能人才的培养路径。该模式以学校、企业“双主体”协同育人为根基^[2]，以学生学习和学徒工的“双身份”角色转换为纽带，以“双导师”联合指导为保障，最终通过“工学交替”的实施路径，将岗位任务转化为学习项目，使学生在真实工作场景中形成职业能力。

2.2 “金课”建设的内涵与标准解读

教育部倡导的“金课”建设，为职业教育课程改革提供了质量标尺。其核心标准“两性一度”具有深刻内涵：高阶性强调知识、能力、素养的融合升级，要求学生能综合运用多学科知识解决复杂工程问题；创新性要求课程内容对接技术前沿，教学方式突破传统范式；挑战度则通过设置适度超出现有能力的任务目标，激发学生突破认知边界的潜能。

2.3 现代学徒制与“金课”建设的契合点分析

深入分析可见，现代学徒制与金课建设存在天然的基因耦合性。在目标层面，二者共同聚焦高素质应用型人才培养；在过程层面，均强调实践性、互动性与挑战性；在评价层面，均以能力产出为导向。更关键的是，现代学徒制为金课建设提供了落地支撑：企业真实项目天然具备高阶性特质，因其需调动跨学科知识解决技术和艺术的复合难题；校企共建课程资源的模式本身即是创新性体现；而商业项目的质量要求，则构成最直接的挑战度来源。这种互补关系，为软件类课程改革提供了理论自洽的双驱动框架。

2.4 高职建筑设计软件类课程特点与改革需求

聚焦《建筑数字化辅助设计》等高职建筑设计软件类课程，课程具备工具迭代快速、实践依赖性强、能力复合度高等特征，然而传统教学模式存在显著短板。首先是教学碎片化，教师孤立讲解简单命令，并未融入完整 workflow；其次是能力培养单一化，导致学生无法应对需要复合且灵活应用软件的实际项目；任务虚构化则使作业脱离真实项目标准。

对《建筑数字化辅助设计》这类实践性课程而言，现代学徒制和金课建设的核心价值在于破解教学困境。整合原本的碎片化教学，利用商业项目片段构建实战化学习情境，将企业建模规范、渲染标准等行业真实技术标准内化为教学标准，依托完整 workflow，综合培养学生能力^[3]。

3 课程教学改革路径设计

3.1 课程体系重构：基于岗位能力的模块化设计

课程改革的核心在于重构课程体系。校企通过分析建

筑设计助理岗位的典型任务，提炼建筑设计行业企业所需的职业能力，结合竞赛及职业资格证书等的标准和技能要求，共同修订课程标准，围绕岗位核心能力明确课程的知识、能力、素质三维教学目标，确保内容与企业需求无缝对接。课程共设置四个学习模块，使学习者在学习过程中掌握 SketchUp 和 Mars 两个软件的基本功能命令、使用方法、应用场景，设计方案效果表现的基本流程及方法，相关建筑设计标准及规范等知识；能综合运用软件创建建筑模型，进行多种形式的建筑方案表达与表现；同时树立职业道德和职业精神。

3.2 教学内容创新：真实项目驱动的四阶递进

课程内容设计彻底打破传统软件命令罗列模式，采用“四阶项目贯穿、能力分层递进”的模块化架构，从实际案例中遴选非涉密项目，转化为教学实训载体，增强学习的真实感和挑战性，帮助学习者建立项目思维、工程思维。课程选取适老化小型别墅、绿色公共建筑、幼儿园建筑、乡村振兴规划设计四个企业真实项目，形成四个模块。各项目强化特定知识和技能，层层递进，且互为实训练习材料，实现资源利用效率的最大化。项目主题作为思政教育落脚点，结合丰富的思政要素，多角度全方位培养学生的青年责任感、使命感，提升职业精神。

3.3 教学模式变革：双线融合的学徒式课堂

创新实施“双线”教学法，核心线严格遵循企业工作流程，例如在小型别墅适老化改造项目中，按“方案解读→建模准备→结构创建→细部创建→深化呈现”五步推进，企业导师现场解读商业项目设计成果要求，指导模型创建流程。辅线则嵌入软件技巧拓展训练，例如在乡村振兴旅游规划设计项目中，学生完成主线漫游动画创建的学习后，可通过辅线学习任务，掌握变焦视频、穿云效果、实体漫游轨等进阶技巧，并选择性的融入个人作业或竞赛作品中。课堂组织采用情境化角色扮演，学生担任“数字化设计助理”，按企业分组制承接任务。教师作为“项目总监”发布节点指令。

3.4 评价机制改革：多维动态考核体系

构建“三主体五维度过程性”评价模型，学校教师评价学生的知识掌握、方法运用，企业导师评价学生的实践技能、职业素养、工作规范，学生自评与互评考察个人团队协作及项目贡献度。评价内容分为五个维度：知识理解、技能操作、成果质量、过程表现、职业素养。评价方式注重过程化，通过课堂观察、项目里程碑检查、阶段性汇报、在线平台学习数据等，全程跟踪学生学习过程与成长。终结性评价以综合性项目成果和答辩为主。

3.5 师资队伍转型：校企双导师协同

建立“双导师协同”机制，学校教师与企业导师分工明确，前者主导理论框架构建，聚焦方法论指导与思政融合，后者负责项目标准制定与成果验收，侧重工作流程，传授实战经验，同时深度参与成果评价。校企双导师开展定期教研、

联合备课,动态更新教学案例库,执行协同授课,采取灵活的线上线下结合模式进行互动答疑。企业导师定期直接参与课堂教学关键环节或通过远程系统参与课堂实时指导。

4 改革实施的关键保障

4.1 校企深度合作机制保障

课程改革的核心支撑在于构建制度化、可持续的校企合作生态。学校努力与当地企业建立合作关系,签订校企合作协,共建产业学院。协议明确划分权责边界,要求企业在项目资源、人力资源、协作平台等资源方面贡献力量。校方则承担理论课程教学、实训基地管理等职责。为保障协作效能,成立校企联合教研室,由企业技术总监与专业负责人共同牵头,按季度召开协调会,分析行业发展趋势、学生能力培养目标。

4.2 “双导师”队伍的选拔、培训、激励、考核

针对双导师建设实施“选拔-培训-激励-考核”全流程管理。设置严格准入机制,企业导师需满足项目参与和教学能力的双重条件,通过试讲考核后颁发聘书。制定双向能力提升方案并实施,学校教师需要每学年赴企业实践1个月,参与实际项目,企业导师则参与教育教学类专项培训,学习科学的教学模式及教学方法。增设创新激励机制,企业导师按课时获得补贴,学校教师的企业实践纳入职称评审“双师型”指标。实施严格考核制度,针对企业教师与学校教师进行年度考核,根据考核结果优化调整师资队伍。

4.3 教学资源与平台建设

搭建“一库一平台”教学支持系统,项目案例库收录真实企业项目,每个项目配备任务书、项目图纸、企业模型、参考成果等配套资源。智慧职教在线平台,收录教学微课、操作视频、文本习题等在线学习资源,并依托在线系统管理评价过程。

5 改革效果与反思

5.1 人才培养成效提升

课程改革初步实施后,学生软件操作效能提升,原小型别墅模型创建任务从16课时压缩至12课时,Mars效果图制作速度和水平明显提高。另外,学生解决复杂问题的能力显著提高,面对复杂项目,能够依托掌握的工作流程,梳理思路逐步完成。同时,学生职业素养普遍提升,职业认同感增强。

5.2 课程“金课”属性初现

课程改革后展现“金课”潜质。以乡村振兴规划设计项目为例,项目综合性强,难度较高,属于高阶项目,项目要求学生统筹SketchUp模型优化拆分、Mars效果渲染与动画制作等多个流程,任务复杂程度超过传统作业,另外规定

了项目完成时间,挑战度进一步上升。项目需要学生深度思考,发挥创新创造能力,充分调动技术、美学、规划等复合知识。

5.3 存在的不足与未来展望

课程改革取得阶段性成果,但仍存在不足,主要包括三个方面,首先是项目资源的扩充与更新速度有限,真实项目资源转化成课程教学资源需要经过一系列处理,现有资源转化效率有待提升,扩展合作企业数量,建立项目资源转化标准流程有助于实现项目库的快速扩容。其次是智慧评价的应用,目前学习评价主要仍依赖主观评价,通过在线智慧平台抓取建模轨迹、方案修改频次等数据,自动生成技能缺陷诊断报告等智能评价方式是未来的优化方向。最后是新技能适配,AI技术正影响行业发展,“基础技能+AI协同”的双轨能力构建成为专业课程教学的新命题,依托现代学徒制提供的真实项目场景和“金课”建设要求的创新性标准共同实现课程优化和更新,为后续改革深化设计奠定逻辑基础。

6 结语

现代学徒制与“金课”建设的协同驱动,为高职建筑设计软件类课程改革提供了理论支撑与实践路径。《建筑数字化辅助设计》课程的改革实践构建了“岗位能力轴心+项目化载体+双线并行+动态评价”的改革钻石模型。岗位能力轴心是以建筑设计助理的典型工作任务为核心,重构课程体系;项目化载体是以真实企业项目贯穿教学,实现能力递进;双线并行是同时开展工作流主线技能培养和软件拓展技巧进阶,达成全方位培养;动态评价机制是由校企双导师主导,进行“三主体五维度”过程性评价。

实践证明,该模式有效破解了传统教学碎片化、能力培养单一化等痛点,课程高阶性、创新性、挑战度显现。本改革对高职软件类课程提供可复制的范式,改革成果可迁移至建筑装饰、园林设计等专业群。未来需重点突破企业资源库扩容、智慧评价工具开发、AI能力培养等挑战,持续深化产教融合内涵。建筑数字化人才培养对服务国家智能建造战略具有关键支撑作用,改革培养的“精操作、懂流程、能协同”人才,将成为推动设计智能化的核心力量。

参考文献

- [1] 李荣胜.乡村振兴背景下职业教育产教融合发展路径研究[J].中国高等教育,2022,(07):59-61.
- [2] 张冉,张冬梅.我国现代学徒制课程标准的基本结构和实施要点[J].工业技术与职业教育,2021,19(02):90-92.DOI:10.16825/j.cnki.cn13-1400/tb.2021.02.026.
- [3] 罗娅晴.基于现代学徒制的高职课程改革研究[D].湖南:湖南师范大学,2019.

The innovative application of BIM technology in Dianjiang County City Expo Center project

Wei Wang

China Gezhouba Group Three Gorges Construction Engineering Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443000, China

Abstract

With the continuous advancement of informatization in China's construction sector, BIM (Building Information Modeling) technology has become increasingly prevalent. The Dianjiang County Urban Expo Center project adopts a "BIM + Smart Construction Site" framework, leveraging next-generation technologies including 5G, BIM, IoT, cloud computing, and blockchain to achieve digital integration throughout its construction process. This approach implements digital technology applications and economic management systems. By integrating BIM with innovative techniques such as electromechanical systems, interior decoration, curtain wall engineering, and steel structure construction, the project effectively addresses challenges including complex architectural facade designs and diverse roof configurations.

Keywords

BIM technology; smart construction site; simulated construction; BIM virtual model leading the way; innovative application

BIM 技术在垫江县城市博览中心工程的创新应用

王伟

中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司, 中国·湖北 宜昌市 443000

摘 要

随着我国工程建设信息化的不断发展,我国工程建设领域越来越普遍地采用 BIM(建筑信息模型)技术。垫江县城市博览中心项目以“BIM+智慧工地”为核心框架,全面运用新一代信息技术,如 5G、BIM、物联网、云计算、区块链等,在建造整个过程中实现数字化集成,实施数字技术、经济管理。通过 BIM 技术与机电、装饰、幕墙、钢结构等创新技术应用,解决建筑外立面造型复杂,屋面形式多样等相关问题。

关键词

BIM 技术; 智慧工地; 模拟施工; BIM 虚拟样板引路; 创新应用

1 引言

垫江县城市博览中心位于垫江县东部新区,总建筑面积 49848.17 m²。本项目包含三个功能场馆:展览馆、体育馆、游泳馆,其中展览馆是多层公共建筑,建筑面积 18238.34m²,; 体育馆为中型体育馆(3543 座),建筑面积 20245.05 m²; 游泳馆为小型体育馆(960 座),建筑面积 16043.08 m²。城市博览中心项目是当地的大型文化、体育设施和新地标,是新区规划设计的“点睛之笔”,工程实施前政府就提出了以“鲁班奖”为目标的创优要求,政府及建设单位成立了以县领导为组长的创优工作小组。本工程建筑外立面造型复杂,结构形式趋于多样化,包含异型钢筋混凝土框架结构、钢结构、大跨度网架屋面、异型幕墙、铝镁锰合金屋面、大空间体系等新工艺新技术;涉及钢结构、体

育工艺、幕墙、金属屋面、机电工程、展陈方案等多项深化设计,机电设备系统复杂。

2 BIM 技术的基本概念及应用

BIM 技术以建设过程中的数据信息为基础,以多种数据为基础,利用计算机技术构建仿真模型,让人们通过可视化的状态了解建筑的实际情况,便于建筑工人管理,对建筑工程中出现的及早发现,对建设过程进行更高效的管理^[1]。在建筑工程项目中,需要众多的组织结构参与,而应用 BIM 技术可以通过虚拟模型将建筑过程进行分析、构造和设计,使各个组织群体处于同一平台上,从而有效地促进建筑建设效益的提高。

垫江县城市博览中心项目以“BIM+ 智慧工地”为核心框架,全面运用 5G、BIM、物联网、云计算、区块链等新一代信息技术,实现建造全过程的数字化集成,打造智慧建造管理平台。通过 BIM 技术与机电、装饰、幕墙、钢结构等创新技术应用,解决建筑外立面造型复杂,屋面形式多样

【作者简介】王伟(1986-),男,中国安徽淮南人,本科,工程师,从事建筑工程研究。

等相关问题。

3 BIM 技术应用创新点

3.1 BIM+ 智慧工地管理平台技术

通过搭建 BIM+ 智慧工地管理平台,将本项目所使用的生产、技术、质量、安全、劳务等各管理系统的生产数据进行实时汇总分析^[2]。同时,利用物联网技术,将施工现场的视频监控、塔机监测、吊钩盲区可视化、违章提醒、环境监测等硬件设备采集到的数据接入到平台中,进行预警报警、汇总分析、评价等,为项目管理提供科学依据,提升项目管理效率,助推项目数字化转型。

3.1.1 人员管理

项目通过人脸识别系统及智能摄像头进行人员管理,实现实名制考勤管理、安全帽未戴预警、劳务人员工资管理。

3.1.2 设备管理

现场对塔式起重机以图形的方式,对起重量、起重力矩、起升高度、变幅、回转角度、运行行程、倍率等运行状态的实时智能监测,当任一状态出现异常或超标时进行声光报警和提示。

3.1.3 环境管理

现场设立循环洗车池、塔吊喷淋、扬尘检测等开展扬尘治理工作,对现场扬尘数据、噪音数据等信息进行展示,保持工程各阶段的环境清洁和节能环保,积极营造无尘施工环境。

3.1.4 安全管理

施工现场实时采集重点部位视频和塔吊数据传输至在线监控系统平台,从源头有效预防违章行为和安全隐患的发生,提高安全管理效果。

3.1.5 质量管理

施工进度实现信息化质量验收管理、工地现场材料送检、工地现场二维码物联网技术的采集、工地现场的主要材料进出的信息化管理、对采用钢筋装配式供应企业的检验、对料场材料加工区仓库设置视频监控。

3.2 基于 BIM 的钢结构深化设计及物联网应用技术

3.2.1 钢结构深化设计

钢结构深化设计与 BIM 相结合,从传统的“放样出图”向施工全过程延伸,实现了模型信息化共享^[3]。物联网技术应用于钢结构建设过程中,将施工数据的采集、传送、存储、分析、使用等各个环节得到改善,使人员、材料、机器、产品与施工管理、决策建立更加密切的关系,并能将信息与 BIM 模型进一步联系起来,使施工效率得到提高,产品质量得到改善。

建立了 Tekla Structures 模型,通过 Tekla Structures 可自动生成模型中构件的初步零件图、构件图和施工布置图;然后对图纸中的尺寸标注、焊缝标记、构件方向定位和图纸排版等进行修改和调整,力求使图纸的精确、简洁、清晰、

美观得到深化。由于模型中存储了所有的信息,并且与模型有密切的关联,为了避免材料浪费, Tekla Structures 可以根据模型对材料的使用进行精细化的控制,自动生成工程量清单和报表。

3.2.2 物联网技术应用

物联网技术的应用使得材料的进场、构件的加工、检验入库、物流运输以及现场收货等环节实现了信息化管理,这样可以实时监测构件的状态信息,确保构件加工过程的可追溯性。避免了信息传递不及时和数据统计错误等常见问题的发生。

通过对全周期大数据的分析, BIM 平台以条形码为桥梁,对物联网系统进行全面连接,并对物联网信息进行无缝跟踪和接受,辅助项目管理,促进企业经营管理的数字化管理水平。

3.3 BIM+ 幕墙深化设计技术

结合主体结构模型建立幕墙三维线模,对幕墙表皮分格线和主体结构进行复核,经 Rhino 软件建立模型,在复核无差别的基础上进行深化设计^[4]。深化单元体幕墙分面及施工仿真分析,出具深化施工图纸,抽取三维空间坐标定位点,确保加工工厂加工精度,降低加工误差带来的损耗和工期浪费。

3.4 BIM 综合应用技术

3.4.1 基于 BIM 管线技术

以 BIM 为基础的管线一体化技术将建筑、结构、机电等专业模型进行整合,进行深化设计,然后根据建筑专业的要求及净高要求,将综合模型导入到有关软件中,对管线进行碰撞检查,根据碰撞报告结果对管道进行调整,规避建筑物结构,从而达到建筑结构专业化、结构化、建筑一体化、结构化的目的。机电类本专业的碰撞检测是通过深化设计和设计优化,在工程开始施工前发现问题,使问题在施工前得到解决的基础上,根据“机电管线排布方案”建模,对设备和管线进行全面布置和调整。

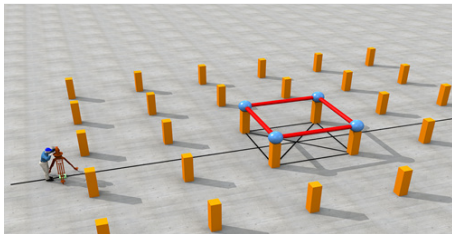
3.4.2 可视化交底

该技术代替了传统的平面图和纸质版交底,常规交底手段对现场技术人员和施工操作人员的识图水平要求较高,容易出错,采用三维立体交底方式,可以直观可视地展现各施工工序的设计意图,通过细节造型、节点位置的放大三维模型和施工仿真动画。能有效地让工人更直观地知道各细部造型节点处的做法,更直观地预测施工中可能存在的各种潜在问题,突破了二维时代的局限,使工程进展更加顺利,降低了错误率,加快了施工速度和质量。

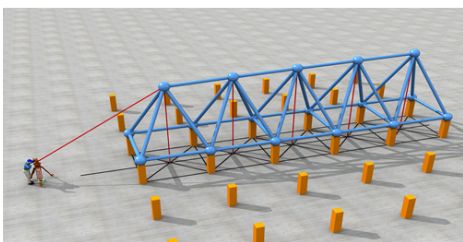
3.4.3 基于实时施工模型的 4D 模拟

利用 BIM 实时构建模型,在整个构建阶段扩展 4D 模拟的应用。实时施工模型通过监测工程现场实际施工进度、向 BIM 模型更新数据信息等手段,收集工程进度相关数据,确保模型与工程信息的一致性。施工现场已完成的构筑物作

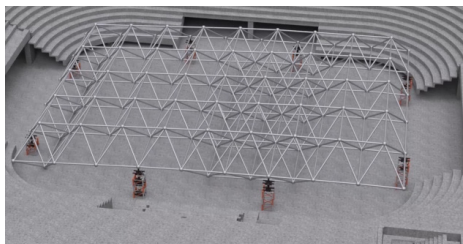
为约束条件,在实施施工模型的基础上进行 4D 仿真,与工程当前的实际状态更为接近,从而使 4D 仿真更加精确,更具指导性。四维仿真基于实时施工模型,在施工阶段对四维仿真的应用进行了丰富和推广,四维仿真的作用得到了进一步发挥,带来了巨大的工程效益。



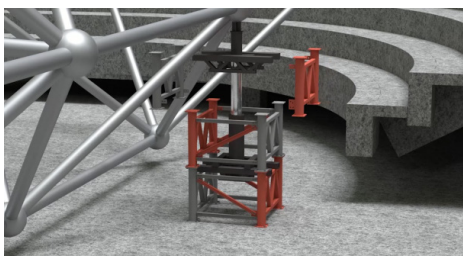
附图 1 模拟放线定位



附图 2 模拟拼装控制



附图 3 模拟顶升过程



附图 4 模拟顶升架加高过程

4 关键技术和创新点

BIM+ 智慧工地管理平台技术。通过搭建 BIM+ 智慧工地管理平台,将本项目所使用的生产、技术、质量、安全、劳务等各管理系统的生产数据进行实时汇总分析。同时,利用物联网技术,将施工现场的视频监控、塔机监测、吊钩盲区可视化、违章提醒、环境监测等硬件设备采集到的数据接入到平台中,进行预警报警、汇总分析、评价等,为项目管理提供科学依据,提升项目管理效率,助推项目管理数字化转型。

钢结构深化设计和基于 BIM 的物联网应用技术。钢结构深化设计与 BIM 相结合,从传统的“放样出图”向施工全过程延伸,实现了模型信息化共享。应用物联网技术应用于钢结构建设过程中,将施工数据的采集、传送、存储、分析、使用等各个环节得到改善,使人员、材料、机器、产品与施工管理、决策建立更加密切的关系,并能将信息与 BIM 模型进一步联系起来,使施工效率得到提高,产品质量得到改善。

BIM + 幕墙加深设计工艺。建立了幕墙三维线模,将幕墙表皮的分格线与主体结构相结合,对无误后通过犀牛软件建立模型进行设计深化,并对幕墙表皮分格线与主体结构进行了复核。对单元体幕墙分面进行深化施工模拟分析,出具了深化施工图纸,提取了 3D 空间坐标定位点,确保了加工厂的加工精度,减少了由于加工误差而造成的损失,也减少了工期上的浪费。

BIM 综合应用技术。以 BIM 模型可视化技术为基础进行交底,以直观、精确的交底内容为依托,对重点部位进行施工指导措施的模拟、分析,使工作效率大大提高,并对设计方案和施工方案进行了了解,从而提高了方案的可行性。降低错误率,加快建设速度和质量。

5 结语

本技术在垫江县城市博览中心项目成功应用,实现了“人机料法环”全要素,进度、成本、质量、安全全方位的精细化管控。施工期间未发生安全、质量事故,环保方面同样受控、保证了工程顺利实施,有效节约项目成本约 793.65 万元。得到了得到了业主和监理等单位的一致好评,荣获重庆市第五届建设工程 BIM 大赛二等奖,重庆市第六届建设工程 BIM 大赛一等奖,重庆市首批三星级智慧工地、重庆市“三峡杯”优质结构工程等奖项,中新网、湖北广电等媒体进行了专题报道。垫江县城市博览中心的建成,将为整个东部新区的文化体验建设,起到助推作用,也为垫江注入了更多的人口吸附能力、产业承载能力,以及未来可持续发展的动力。

运用 BIM 技术强化管理内核,优化管控流程,创优精准策划,冲击高端奖项,技术研发稳步开展,智慧工地扎实推进,聚焦深化设计,做实技术服务,拓展培训模式,加强信息化建设。对推动项目建设向数字化、智能化发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 王旭东,刘涛,陈晓润,等. 内倾斜大跨度空间异形曲面玻璃幕墙施工技术[J]. 山西建筑, 2025, 51 (07): 80-85.
- [2] 王超. 党员理想信念教育制度化建设研究[J]. 江南论坛, 2024, (02): 80-83.
- [3] 孙世琦,肖拿云,秦强,等. 高校基层党支部长效工作机制建设及作用发挥研究[J]. 时代报告, 2023, (04): 19-21.
- [4] 于洪霜. 高校基层党建工作与“立德树人”深度融合的探析[J]. 世纪桥, 2023, (04): 75-77.

Health Status Identification of Wind Turbine Main Shaft Bearing Based on Wavelet Packet Decomposition and GA-SVM

Han Zhang Rongbo Chen Ruizhe Zhang Kaihua Zhang

1. Energy Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot, Inner Mongolia, 010098, China

2. China Renewable Energy Engineering Institute, Beijing, 100120, China

3. PowerChina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha, Hunan, 410014, China

4. PowerChina Hubei Electric Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430040, China

Abstract

As one of the core components of wind turbines, the main shaft bearing's operating status directly impacts the overall performance and reliability of the unit. Wind turbines operate in complex and variable environments for extended periods, with the main shaft bearing being a high-fault-prone area, and its maintenance and replacement costs being extremely high. Therefore, accurate identification of the health status of wind turbine main shaft bearings is particularly important. This paper systematically reviews the research status on health status identification of wind turbine main shaft bearings and constructs a health status identification model based on wavelet packet decomposition and genetic algorithm-support vector machine. First, fault features are extracted using wavelet packet decomposition; second, support vector machine is employed for classification and feature extraction; finally, genetic algorithm is introduced to optimize the parameters of the support vector machine. The experimental data is sourced from a public wind turbine fault diagnosis dataset, with the model achieving a test accuracy of 93.73%, indicating high accuracy and reliability. This provides strong technical support for fault prediction and maintenance of wind turbines.

Keywords

Wind turbine main shaft bearing; Health status identification; Wavelet packet decomposition; Support vector machine; Genetic algorithm

基于小波包分解和 GA-SVM 的风机主轴轴承健康状态判别

张涵¹ 陈荣波² 张睿哲³ 张凯华⁴

1. 内蒙古自治区能源技术中心, 中国·内蒙古 呼和浩特 010098

2. 水电水利规划设计总院, 中国·北京 100120

3. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 中国·湖南 长沙 410014

4. 湖北省电力规划设计研究院有限公司, 中国·湖北 武汉 430040

摘 要

风力发电机主轴轴承作为风力发电机的核心部件之一, 其运行状态直接关系到机组的整体性能与可靠性。风电机组长期处于复杂多变的工作环境中, 主轴轴承作为故障高发部位, 且其维修和更换成本极高, 因此对风机主轴轴承的健康状态进行准确判别尤其重要。本文系统梳理了风机主轴轴承健康状态判别的研究现状, 构建基于小波包分解法和遗传算法-支持向量机的健康状态判别模型。首先基于小波包分解法提取故障特征, 其次采用支持向量机对故障特征进行分类与提取, 最后引入遗传算法对支持向量机参数进行优化。实验数据来源于公开的风机故障诊断数据集, 模型测试准确率为93.73%, 表明该模型具有较高的准确性和可靠性, 为风电机组的故障预测与维护提供了有力的技术支持。

关键词

风机主轴轴承; 健康状态判别; 小波包分解; 支持向量机; 遗传算法

1 引言

在国家推动“碳达峰、碳中和”的政策背景下, 风能作为绿色清洁能源受到人们的日益重视^[1]。风力发电机组作

为风能利用的核心设备, 其运行状态直接关系到风电场的经济效益和能源供应的稳定性。然而, 风力发电机组多建在山区、高海拔、近远海等环境恶劣地域, 受环境、天气及气候变化的影响, 风机零件极易损坏。尤其是主轴轴承作为传动系统的关键部件, 承受着高载荷、高转速以及恶劣环境的多重挑战, 成为故障高发部位。主轴轴承一旦发生故障, 不仅会导致机组停机, 造成巨大的经济损失, 还可能引发严重的安全事故。因此, 对风机主轴轴承的健康状态进行准确判别,

【作者简介】张涵(1990–), 男, 中国内蒙古赤峰人, 硕士, 工程师, 主要从事新能源和氢能规划、行业政策研究和项目评审工作研究。

实现故障的早期预警和及时维护,具有重要的工程意义和实际价值^[2]。

2 研究现状

近年来,随着人工智能技术的快速发展,基于数据驱动的故障诊断方法逐渐成为研究热点。在信号处理的方面,学者们主要通过时频分析、小波变换、经验模态分解等技术对振动信号进行处理,提取故障特征。周承武提出了一种基于自适应奇异值分解与变分模态分解相结合的复合信号处理算法,实现了轴承故障的精准诊断^[3]。赵洪山等人采用连续变分模式分解自适应提取轴承健康数据的多维特征,并结合 Informer 模型进行故障预测^[4]。

在人工智能的方面,支持向量机、随机森林等算法被广泛应用于轴承故障诊断。例如,李学军等人开发了一种轻量化空时信息融合模型的智能诊断新框架,通过双向时序信息特征融合策略,充分提取故障数据中的细粒度特征^[5]。尚宇航提出了一种基于自注意力机制模型的寿命预测方法,结合多尺度卷积神经网络和门控神经网络,增强了模型对空间特征信息以及时序退化信息的提取能力^[6]。

综上所述,现有研究在风机主轴轴承故障诊断和健康状态判别方面取得了显著进展,但仍存在一些不足。传统信号处理方法在复杂工况下的鲁棒性不足,常规机器学习方法在模型参数优化和计算复杂度方面存在局限性。针对这些问题,本文提出了一种基于小波包分解法和支持向量机的健康状态判别方法,并结合遗传算法对模型参数进行优化,旨在提高故障诊断的准确性和可靠性,为风机主轴轴承的健康状态判别提供一种高效、可靠的技术手段。

3 基于小波包的轴承故障特征提取

3.1 算法概述

小波分析法的窗口固定形状可变,且是频率窗口和时间窗口均可变的时频域分析方法。在低频部有较低的时间分辨率和较高的频率分辨率,在高频部有较高的频率分辨率和较高的时间分辨率^[12]。

小波包进行信号分析的步骤如下:

输入振动信号为 V , 对该信号进行 m 层分解, 得到相应的高频和低频信号, 最后可得到 2^m 个子频带。 (i, j) 为第 i 层的第 j 个节点 ($i = 1, 2, \dots, m; j = 0, 1, 2, \dots, 2^m - 1$), 设 $x_{i,j}$ 为第 (i, j) 节点的小波包分解系数。

对第 m 层的小波系数 $x_{m,j}$ 进行重构, 得到重构信号 $S_{m,j}$, 原始信号为重构后子频带信号相加总和。方法为

$$S = S_{m,0} + S_{m,1} + S_{m,2} + \dots + S_{m,2^m-1} \quad (1)$$

设第 i 层各频带信号的能量计算方法为公式 (2) 所示。

其中, n 为采样个数。

$$E_i = \int |s_i|^2 dt = \sum_{j=1}^n |x_{i,j}|^2 \quad (2)$$

在求得全部频段的能量后应用式 (3), 完成能量归一

化处理。

$$\bar{E}_i = E_i / \sum_{i=1}^8 E_i \quad (3)$$

3.2 小波包轴承故障特征提取

由文献 [7] 可知 db10 小波基函数与冲击性信号最为接近, 更适合用于机械振动信号的故障诊断。本文应用 db10 小波进行 3 层分解。

在小波包分解第三层节点系数重构后提取第三层各节点能量, 在整个寿命周期内进行多次采样, 提取小波包分解第三层节点能量得数据, 所得节点能量数据即为轴承故障特征数据。

4 GA-SVM 算法建模

4.1 SVM 的基本原理

SVM 属于机器学习算法, 在小样本分析问题上具有明显的优势, 在机械零件剩余寿命预测研究中也较频繁使用^[13]。受到国内外学者的广泛关注, 并常常被应用到各种机械故障诊断模型中。

因为轴承的故障分类回归模型的输入输出满足非线性关系故而按照非线性变换, 把输入变量映入了一个高维空间, 在这一高维空间中求取最优分类超平面, 将低维空间非线性分类问题转化为高维空间非线性分类问题^[14]。如图 3.1-1 所示为支持向量机分类原理示意图。

4.2 遗传算法优化 SVM 模型

在用 SVM 模型做分类时需要调节相关的参数才能得到理想的分类准确率。SVM 模型需要调节惩罚因子 c 和核函数参数 g , 才能得到更高算法分类的精度。

本文采用遗传算法优化 SVM 模型, 使得参数寻优过程不必搜索参数空间内所有参数点就能找到全局最优解。遗传算法优化 SVM 模型的流程如下:

通过选择编码策略, 解空间中的解表示为遗传空间的基因型字符串结构数据, 并且这些字符串结构数据的不同组合可构成不同的代码; 给适应度函数下定义, 并将交叉验证的准确率用作遗传算法的适应度数值; 根据遗传策略的选择, 其中即包括群体大小选择, 又包括确定交叉概率、突变概率等参数的选择; 随机初始化生成群体; 计算组中单个位串编码的适应度数值; 根据遗传方式, 以选择、交叉和变异算子被用于下一代群体, 最终确定最优解;

为了确定某组性能是否满足某个索引, 或者已完成计划中的迭代次数, 满足则输出结果并结束, 不满足则反馈步骤。

5 算法仿真分析

实例数据来源为公开的风机故障诊断数据集, 采样次数为 984 次, 每次采样间隔 10 分钟, 采样频率为 20 千赫兹, 单样本长度为 20480。其中, 60% 数据作为训练集, 40% 数

据作为测试集。本算法基于 Python 语言进行建模。

5.1 定义健康状态

分析采样数据的原始加速度信号，在整个生命周期内画出轴承振动加速度的波形如图 4.1-1 所示，为全寿命数据在整个寿命周期内的振动曲线。该曲线可以很好的反应轴承在一次全寿命实验各健康状态的振动状态。在该图形中横坐标表示轴承的工作时间（分钟），纵坐标表示振动的幅值（ m/s^2 ）。

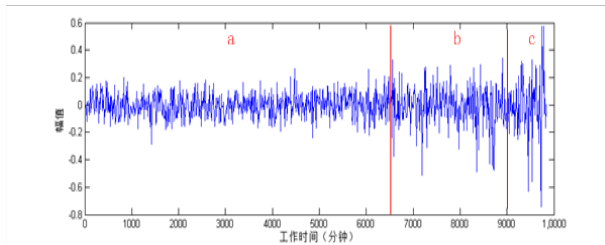


图 4.1-1 轴承全寿命振动曲线

如图 4.1-1 所示，从第 0 到第 6500 分钟信号平稳、波动较小，在这一段时间内轴承可以正常使用，本文称其为平稳运行阶段。从第 6500 分钟开始信号的波动变大且波形呈现上挑的趋势，该阶段轴承开始有故障产生，并且故障开始加剧，这一阶段称为初始故障阶段。在第 9000 分钟开始到最后波形上挑现象严重，且波动剧烈，故而称之为剧烈故障阶段。为了简化表示，把三个状态分别定为：状态 a、状态 b、状态 c，如图 4.1-1 所示。

5.2 寻优及验证模型参数

本节使用 RBF 核函数，并应用遗传算法对参数进行寻优，选取 c 和 g 的初始值都为 $[-10,10]$ ，参数寻优的过程如图 4.2-1 所示。种群终止代数 50 代，最优种群数量 20 参数，寻优的结果为惩罚因子 $c = 50.3778$ ，RBF 核函数参数 $g = 1.9119$ ，交叉验证的正确率为 97.15%。

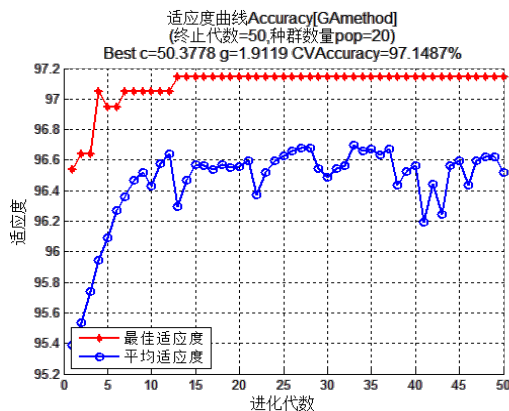


图 4.2-1 遗传算法参数优化

5.3 模型测试结果

测试集共有 401 个样本点，预测准确的样本为 373 个，

模型准确率为 93.73%，如图 4.3-1 所示。预测的错误的样本主要集中在相邻两类别的分界点，在各类别内的样本点预测较为准确。本文提出的模型对风机主轴承健康状态判别的精度较高，验证了算法可行性。

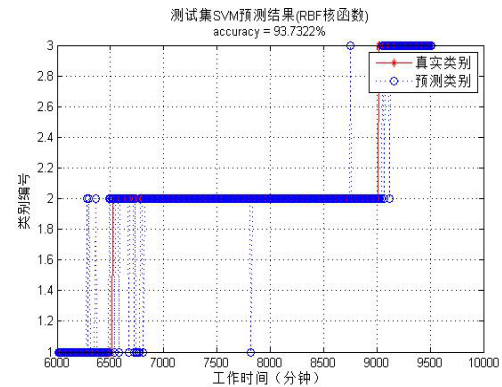


图 4.3-1 健康状态判别结果

6 结语

针对传统信号处理方法在复杂工况下的鲁棒性不足和常规机器学习方法在模型参数优化和计算复杂度方面存在局限性，本文提出基于小波包分解法和遗传算法 - 支持向量机的风机主轴承健康状态判别，同时具备复杂工况的强鲁棒性和算法的可解释性。首先，模型基于小波包分解法提取故障特征，其次，模型采用支持向量机对故障特征进行分类与提取，最后引入遗传算法对支持向量机参数进行优化。实验数据来源于公开的风机故障诊断数据集，模型测试准确率为 93.73%，表明该模型具有较高的准确性和可靠性，为风电机组的故障预测与维护提供了有力的技术支持。

参考文献

- [1] 黄雨涵,丁涛,李雨婷,等.碳中和背景下能源低碳化技术综述及对新型电力系统发展的启示[J].中国电机工程学报,2021,41(S1):28-51
- [2] 周鸿雁,于国帅,朱鹏成.关于风力发电机组主轴承故障诊断与运维策略分析[J].中国设备工程,2025,(15):153-155.
- [3] 周承武.基于自动化技术的风力发电机组轴承震动监测研究[J].电气技术与经济,2024,(12):191-194..
- [4] 赵洪山,林诗雨,孙妍妍,杨伟新,张扬帆.考虑多时间尺度信息的风力发电机滚动轴承故障预测[J].中国电机工程学报,2024,44(22):8908-8920.
- [5] 李学军,刘治新,杨同光,韩清凯,蒋玲莉.一种可解释性空时模型的风力发电机轴承智能诊断新框架[J].仪器仪表学报,2025,46(02):51-69.
- [6] 尚宇航.基于数据驱动的风电机组主轴承健康状态监测研究[D].长安大学, 2024.
- [7] 刘谨言,买买提热依木·阿布力孜,项志成,等.基于改进的灰狼优化算法与SVM风机轴承故障诊断[J].机械传动,2023,47(09):160-169.

Study on construction control of new suspension rod in reinforced concrete system arch bridge

Jian Tao Longhua Zhang

Hangzhou Luda Highway Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311112, China

Abstract

To effectively control crack defects in partial suspension rods of reinforced concrete tied-arch bridges and address concerns about their serviceability, this study analyzes the mechanical behavior of bridge structures. By implementing an active reinforcement method—specifically increasing the number of suspension rods in the original load-bearing structure—we aim to optimize internal force distribution and significantly enhance overall structural strength and stiffness. Drawing from the author's hands-on experience in recent maintenance and reinforcement projects for reinforced concrete tied-arch bridges, this paper proposes practical construction techniques and recommendations for controlling new suspension rod installation processes in fine-rod arch bridges, providing valuable references for industry professionals.

Keywords

reinforced concrete; arch bridge; new suspension rod; construction control

钢筋混凝土系杆拱桥新增吊杆施工控制研究

陶剑 张龙华

杭州路达公路工程总公司, 中国 · 浙江 杭州 311112

摘 要

为了有效控制钢筋混凝土系杆拱桥中部分吊杆出现的裂缝病害, 消除人们对吊杆拱桥正常使用状态的疑虑, 我们从桥梁结构力学行为分析的角度出发, 通过采用其主动加固法, 即在原桥受力结构中增加吊杆的数量, 以此来进一步调整和优化桥梁结构的内力分布, 进而显著提升桥梁结构的整体强度与刚度。本文基于作者在近几年来参与钢筋混凝土系杆拱桥维护加固施工的相关工作经验, 对钢筋混凝土细杆拱桥中新增吊杆施工控制过程中的施工关键技术提出一些想法与建议, 供同行参考。

关键词

钢筋混凝土; 拱桥; 吊杆新增; 施工控制

1 引言

所谓新增吊杆法, 即是在保持原有吊杆体系完整稳定的前提下, 经过科学设计和精心布置增加新吊杆构件。新增吊杆经张拉和严格施工, 能分担部分荷载, 减轻原吊杆外部荷载, 提升其应力储备和承载能力。该方法核心是新、旧吊杆协同工作, 构建稳固均衡的整体受力体系。采用此加固法, 可减少对原结构的破坏影响, 降低吊杆处拱背应力集中, 确保全桥受力平衡均匀, 提高桥梁安全性和延长使用寿命, 在不大幅改动原结构的基础上提升承载能力、保障结构安全。

增设吊杆法优势如下: 通过简单直接的技术手段, 能

显著提升桥梁承载能力、改善整体受力状况。该手段针对性加固桥梁关键部位, 优化受力分布, 减少应力集中, 延长桥梁寿命, 在实际应用中受青睐。

施工工艺简便, 操作流程简化、步骤清晰, 降低施工难度。对桥梁自重影响小, 不增加负担, 保证桥梁稳定性和安全性。加固施工期间不影响原桥梁通行能力, 避免交通拥堵, 提升安全系数。

加固施工在构造设计上几乎不影响桥梁美观。新增吊杆上下端采用特殊锚固构造, 预应力可传至系梁及拱肋, 无需锚固在结构本体上, 保持桥梁外观完整美观。

综合考虑增设吊杆法的优势及实际应用表现, 本桥决定采用主动加固方法, 即新增吊杆法进行加固, 以达最佳加固效果, 确保桥梁长期安全稳定, 也便于未来维护保养。

2 基本思路

增设吊杆法总体思路是依事先规划的加固设计方案和

【基金项目】杭州市交通运输学会科技项目计划(项目编号: Hzt202402)。

【作者简介】陶剑(1981-), 男, 中国浙江台州人, 本科, 工程师, 从事土木工程研究。

思路,施工时遵循以下流程操作:先搭建加固平台,确保其稳定安全;接着制作上锚箱和下吊板,保证质量规格符合设计;再精确测量新增吊杆孔位,控制误差;之后进行拱肋钻孔,把控孔洞尺寸位置;随后焊接上锚箱并安装吊板;复核新增吊杆长度;安装吊杆及保护罩;进行吊杆张拉和锚固;对锚头和吊杆防腐处理,延长其寿命;同时改造桥面结构,增强桥梁性能和承载能力。施工中遇特殊情况,将根据实际灵活调整步骤或采取应对策略,确保施工顺利和工程质量。通过工艺优化,力求各工艺精准衔接,确保加固工程高质量完成。

3 新增吊杆施工控制要点

3.1 临时结构搭建

根据钢筋混凝土系杆拱桥的施工特点,加固时所需搭设的临时结构,主要包含桥上拱肋脚手架施工平台及桥下系杆挂篮施工平台。

3.1.1 桥上拱肋脚手架施工平台

搭建桥上拱肋脚手架操作平台时,施工人员应在拱肋两侧各搭两排支架,竖向的间距为 1 米,可以即保证操作空间需要,同时确保其结构的稳定性;竖杆纵向步距 1 米,满足作业需求且确保结构稳定。此外,为提高稳定性与安全性,在支架底部应设扫地杆,长度为 30 厘米左右,一方面可以避免支架与地面直接接触,即减少磨损,还能有效支撑结构。横向和纵向水平杆间距 1.5 米,施工时应保证各杆件之间连紧密接,同时仔细检查其结构的整体稳定性。同时,需要特别设计支架上端与拱肋之间的连接,确保支架与拱肋之间能紧密结合,以提高结构的整体稳定性。施工中,还需在拱肋上缘新增吊杆点位处搭建操作平台,用于钻孔、张拉等工序,其设计与搭建也需满足施工安全与稳定要求。

3.1.2 桥下系杆挂篮施工平台

以便于在系杆上新增的吊杆下端吊板进行快速安装作业,同时保证安装质量及工作效率,并能保证对整体系杆进行后续的防腐处理,施工过程中需将新增吊杆区域的隔离带盖板进行拆除。通过悬挂脚手钢管,构建悬空吊架,并在吊架的纵、横杆上架设刚性挂架,以搭建操作平台。该平台与系杆底部应保持 80cm 的距离,并在平台两侧设置安全护栏,确保施工人员在桥下作业时的安全性。

3.2 新增吊杆定位

新增吊杆孔位的测定是一项关键的技术工作,它涉及到吊杆安装的精确性和桥梁结构的稳定性。为了确保吊杆的安装位置准确无误,我们采用了先进的技术手段和严谨的测量方法。首先,在拱肋的预定钻孔位置上,我们会粘贴上反光片,这些反光片能够有效地反射全站仪发射的信号,从而提高测量的精确度。接着,利用全站仪这一高精度的测量仪器,我们对拱肋上的钻孔点位进行精确的测量和放样。全站仪能够提供高精度的三维坐标数据,这对于确保吊杆位置的

准确性至关重要。

在完成拱肋钻孔点位的测量和放样之后,我们还需要确定新增吊杆对应的系杆位置。这是通过在拱肋钻孔的中心处悬挂垂线来实现,垂线的垂直性能够帮助我们确定吊杆的垂直方向。这样的操作不仅能够确保吊杆的垂直度,还能够减少在后期吊杆张拉过程中可能出现的预应力损失。预应力损失可能会影响吊杆的承载能力和桥梁的整体结构安全,因此,通过精确的孔位测定和吊杆定位,我们能保证吊杆在张拉后能够达到设计的张拉控制值,从而确保桥梁的安全性和耐久性。

为了确保定位的准确性,我们应在整个测量和定位过程中,严格遵守操作规程,对每一步操作都要进行严密的校验和复核。同时,为了防止测量误差的累积,我们还需在每个测量环节都采用多次等精度测量,并取其各测量值的算术平均值,这样可以最大限度地减少测量误差,提高定位的精度。此外,我们还应特别注意测量环境的影响,如温度、湿度、风力等因素都可能对测量结果产生影响,因此,我们在进行测量时,尽量选择环境相对稳定的时段,以减少外界因素的干扰。

3.3 新增吊杆体系安装

3.3.1 上锚箱及下吊板制作

上锚箱和下吊板这两个关键部件的各个板件,是根据实际测量得到的现场尺寸进行精确放样的。这一步骤确保了每个板件的尺寸能够与实际需求相匹配,从而保证整个结构的稳定性和安全性。在工厂内部,这些放样后的板件会进行下料切割,这一过程需要精密的数控机床来完成,以确保切割的精度和效率。切割完成后,上锚箱的各个板件会被焊接在一起,并在焊接过程中进行编号,以便于后续的组装和安装工作。同时,下吊板的螺栓孔也会被钻设出来,这些螺栓孔的位置和大小都是经过精确计算的,以确保吊板能够牢固地安装在预定位置。此外,为了进一步提高结构的稳定性,还会在适当的位置锚固焊接卡板,这些卡板能够有效地分散和承受来自各个方向的力,从而保证整个结构的稳定性和安全性。

3.3.2 拱肋钻孔及上锚箱焊接、吊板安装

采用钻杆直径 40mm 的台钻进行钻孔,并确保钻孔垂直,在焊接上锚箱之前,应将锚箱部位的拱肋旧涂料去除,采用水平尺确保所焊接的锚箱上表面水平,下吊板在吊杆张拉之前进行位置调整。

3.4 新增吊杆张拉控制

安装新增吊杆.在确定新增吊杆长度时,必须依据对实际拱轴线进行的复测结果,以及上锚箱垫板至下吊板锚固处的实际长度进行精确计算,并充分考虑锚固与张拉所需的具体长度。在操作过程中,应使用吊车将吊杆一端提起,确保另一端垂直穿过拱肋的钻孔,并同步将其穿入保护性钢套管内。在下吊板安装完成后,需将钢套管与拱肋下缘进行牢固

焊接,以确保结构的稳定性和安全性。

张拉控制,通过工艺优化,吊杆的张拉与锚固过程中设置两台 ZB4-500 型液压千斤顶,并严格遵循设计预定的张拉顺序实施对称张拉。为进一步提升操作的可靠性,施工时要特别注意吊杆上端为张拉端,下端为锚固端。鉴于在拱肋操作平台上进行千斤顶移位的实际困难,现场可借助两台吊车进行千斤顶的张拉移位操作。当张拉力达到设计控制标准后,维持稳压状态 2 分钟,随即进行锚固操作。为有效预防后期锚头松动问题,张拉作业终结后,在上下端锚固螺母外部各应增设一个防松螺母,并确保螺杆的丝头长度满足安全技术规范的要求。

在张拉作业的整个过程中,必须始终保持高度警惕,密切观察和监控吊杆以及拱肋的变形状况。一旦发现任何异常现象,例如变形超限、声响异常或其他不寻常迹象,应立即采取紧急措施,停止张拉操作,并及时进行详细的原因排查和分析。务必确保吊杆在张拉过程中受力均匀,防止因局部应力集中过大而引发的结构性损伤,从而保障整个工程的安全性和稳定性。

新增吊杆安装完成后,应对其进行全面的检查,包括吊杆的长度、位置、张拉力以及防腐处理等,确保所有参数均符合设计要求。同时,记录好相关数据,为后续的施工控制和桥梁维护提供参考。

3.5 新增吊杆及原拱肋、原吊杆防腐处理

锚头及吊杆防腐,为了确保锚头和锚具的长期稳定性和耐久性,需要对上端和下端的锚头锚具进行细致的防腐处理。具体操作包括:首先,均匀涂抹一层高质量的防腐油脂于锚头锚具的表面,以有效隔绝空气和水分的侵蚀;其次,针对锚头保护罩以及吊杆保护管,需进行更为全面的防护措施,即在这些构件的内部灌注防腐性能优异的聚氨酯材料,从而形成一个密封的保护层,进一步防止外界环境因素对内部金属构件的腐蚀,确保整个结构的长期安全使用。

拱肋钻孔处理,在加固过程中,对拱肋进行钻孔操作不可避免地破坏了拱肋钢管部分的完整结构,导致孔壁周边区域出现了应力集中现象。尽管这种轻微的应力集中在短期内对拱肋的整体受力性能不会产生显著的影响,但在施工过程中,为了确保结构的安全性和稳定性,施工团队还是采取了在上锚箱内注入粘钢胶的措施,对孔壁上缘进行了有效的稳固处理。此外,考虑到孔壁周边若直接接触到自然环境,可能会因外界因素的侵蚀而引发耐久性问题,因此在加固施工中,特别采取了将吊杆套管与拱肋下缘进行焊接的工艺,

并在上锚罩及吊杆套管内部注入防腐聚氨酯材料,以实现孔壁周边区域的严密封堵,从而有效防止自然环境对结构的潜在侵蚀,确保加固效果的长期稳定性和结构的耐久性。

拱肋、系杆和风撑、吊杆护管防腐处理:原桥的拱肋、系杆、风撑以及吊杆护管等构件,其现有的防腐层在长期的自然环境侵蚀下,部分区域已经出现了明显的脱落现象,导致其防腐效果大打折扣,无法有效抵御外界腐蚀因素的侵害。为了确保桥梁结构的长期稳定性和安全性,在新增吊杆张拉作业顺利完成之后,立即对这些构件进行了全面的重新防腐处理。在防腐施工过程中,首先采用专业的打磨工具,将原有的防腐层彻底清除干净,确保基材表面平整、无残留。随后,按照严格的施工工艺要求,先均匀涂刷一层底漆,以增强防腐层与基材的附着力,再依次涂覆多层面漆,每一层漆膜都需经过充分的干燥和固化,以确保防腐层的整体质量和耐久性,最终达到预期的防腐效果。

在重新防腐处理过程中,还特别关注了构件的细节部位,如焊缝、边角等易腐蚀区域,对这些区域进行了额外的加强处理,如增加防腐涂层的厚度或采用更为高效的防腐材料,以进一步提升其耐腐蚀性能。同时,为了确保防腐处理的质量,施工团队还定期对防腐层进行质量检测和评估,及时发现并解决潜在的防腐问题,从而确保桥梁结构的长期安全稳定。

4 结语

新增吊杆法的基本原理是通过主动加固措施,能够有效延长桥梁的使用寿命,减少因频繁维修带来的经济损失和社会影响。同时,该方法的选择也充分考虑了环保和可持续发展的要求,力求在加固过程中减少对环境的影响,实现经济效益与环境效益的双赢。

实践证明,新增吊杆法成功实施,离不开对桥梁结构的深入理解和精细施工,即在施工控制过程中的每一个环节都需要严格把控,确保施工质量。同时,对新增吊杆施工过程的动态监测也至关重要,这有助于及时发现并处理潜在的问题,确保桥梁的施工质量与安全保障。

参考文献

- [1] 张雷.钢筋混凝土系杆拱桥套箍层养护加固技术研究[J].交通建设与管理,2023(6):127-129.
- [2] 赵叶林.预应力混凝土连续梁荷载试验分析及加固研究[J].交通建设与管理,2024(3):122-124.
- [3] 林婵华.加强公路桥梁养护与维修加固的措施研究[J].时代汽车,2024(23):184-186.

Application of intelligent construction site technology in project site management

Liang Xiao

Chongqing Beibei Economic Development Zone Innovation and Entrepreneurship Center, Chongqing, 400700, China

Abstract

With the rapid advancement of information technology, the traditional construction industry is undergoing profound transformation towards digitalization and intelligentization. As a crucial platform for digital transformation in construction, smart construction sites integrate advanced technologies such as IoT, big data, AI, and BIM, combined with modern equipment like plastering machines and tile-laying robots, achieving precise, efficient, and intelligent on-site project management. This paper elaborates on the connotation and core technological framework of smart construction sites, analyzes their specific applications in engineering site safety management, quality control, progress management, cost control, and personnel/equipment management, while discussing existing challenges and issues in current smart construction technology implementation. Based on these findings, corresponding optimization strategies are proposed to provide reference for promoting the deep application of smart construction technologies in engineering projects.

Keywords

smart construction site; engineering construction; project management; BIM

智慧工地技术在工程建设项目现场管理中的应用

肖亮

重庆北碚经开区创新创业中心, 中国 · 重庆 400700

摘 要

随着信息技术的飞速发展, 传统建筑行业正经历着向数字化、智能化转型的深刻变革。智慧工地作为建筑行业数字化转型的重要载体, 通过整合物联网、大数据、人工智能、BIM等先进技术, 结合抹灰机器、贴砖机器等现代技术, 实现了工程建设项目现场管理的精准化、高效化和智能化。本文阐述了智慧工地的内涵及核心技术体系, 分析了智慧工地技术在工程现场安全管理、质量管理、进度管理、成本管理及人员设备管理等方面的具体应用, 并探讨了当前智慧工地技术应用中存在的问题与挑战, 基于此提出了相应的优化路径, 旨在为推动智慧工地技术在工程建设项目中的深度应用提供参考。

关键词

智慧工地; 工程建设; 项目管理; BIM

1 引言

工程建设项目现场管理具有涉及范围广、参与方多、环境复杂、风险高等特点, 传统的管理模式主要依赖人工巡查、纸质记录和经验判断, 存在效率低下、信息滞后、协同困难等问题, 难以满足现代化工程建设的需求。随着相关政策的出台, 明确提出要加快推进建筑业数字化转型, 智慧工地作为转型的关键抓手, 应运而生。智慧工地通过构建“感知、分析、服务、智慧、监管”的一体化管理体系, 实现了对工程现场全要素、全流程的实时监控与智能决策, 对于提升工程管理水平、降低安全风险、保障工程质量、提高建设效率具有重要意义。基于此, 本文将对智慧工地技术在工程

建设项目现场管理中的应用展开相关研究。

2 智慧工地的内涵及核心技术体系

2.1 智慧工地的内涵

智慧工地是指在工程建设项目施工现场, 综合运用物联网、大数据、云计算、人工智能、BIM、移动互联网等新一代信息技术, 结合抹灰机器、贴砖机器等现代技术对施工现场的人员、机械、物料、环境、质量、安全、进度等要素进行全面感知、实时传输、智能分析和联动控制, 从而实现施工现场管理的可视化、精细化、智能化和协同化^[1]。其核心目标是通过技术赋能, 解决传统工地管理中的痛点问题, 提升工程建设的整体效益。

2.2 核心技术体系

物联网技术是智慧工地的基础, 通过各类传感器实现对施工现场各类要素的全面感知和数据采集, 包括抹灰机

【作者简介】肖亮(1988-), 男, 中国四川绵阳人, 本科, 高级工程师, 从事项目管理、工程建设研究。

器、贴砖机器等设备的运行数据。大数据与云计算技术则为这些海量数据提供了处理支撑,施工现场产生的人员考勤数据、设备运行数据、质量验收数据、安全隐患数据等,需要通过大数据技术进行存储、清洗、分析和挖掘,而云计算技术则提供了强大的算力支持,通过云端平台实现数据的集中管理和共享,支持多终端访问和协同工作,为项目各参与方提供数据支持和决策依据。人工智能技术在智慧工地中主要用于数据的智能分析与处理,实现对异常情况的自动识别和预警。例如,通过计算机视觉技术对施工现场视频监控画面进行实时分析,可自动识别未佩戴安全帽、高空抛物、违规作业等安全隐患;通过机器学习算法对进度数据进行分析,可预测进度偏差并提出调整建议。BIM 技术作为一种基于数字化的三维模型信息集成技术,涵盖了工程项目全生命周期的信息,在智慧工地中可与现场采集的实时数据进行融合,实现施工过程的可视化模拟、碰撞检测、进度模拟、质量追溯等功能,为现场管理提供直观的可视化管理平台。

3 智慧工地技术在工程现场管理中的具体应用

3.1 安全管理

安全管理是工程现场管理的重中之重,智慧工地技术通过全方位的感知与智能预警,显著提升了安全管理水平^[2]。在人员安全管理方面,通过为施工人员配备具有定位功能的智能安全帽或 RFID 卡,结合施工现场的定位基站,可实时追踪人员的位置信息,实现人员考勤管理、区域准入控制和紧急情况下的精准搜救。当人员进入危险区域时,系统可自动发出声光报警,提醒人员撤离并通知管理人员,同时,通过人脸识别技术,可防止非授权人员进入施工现场,保障现场安全。设备安全管理则聚焦于塔吊、施工电梯、脚手架等大型设备,通过安装传感器实时采集其运行参数,并将数据传输至云端平台,系统对数据进行实时分析,当设备运行参数超出安全阈值时,自动发出预警信息,避免设备超载、失稳等安全事故的发生。此外,通过设备维护保养管理系统,可记录设备的维护记录、保养周期,自动提醒管理人员进行设备维护,确保设备处于良好运行状态。环境与危险源监测同样是安全管理的重要环节,在施工现场布置扬尘、噪音、PM2.5、温湿度等环境传感器,实时监测环境参数,当数据超标时,自动联动雾炮机、喷淋系统等设备进行降尘降噪处理,并将数据上传至监管平台,满足环保要求。同时,通过视频监控与 AI 识别技术,对深基坑、高支模、临边洞口等重大危险源进行实时监控,自动识别违规操作和安全隐患,及时通知管理人员进行处理,将安全风险降到最低。

3.2 质量管理

智慧工地技术通过对施工过程的全流程监控和数据追溯,有效保障了工程质量。在质量数据采集与追溯上,利用移动终端结合二维码或 RFID 技术,施工人员可在现场实时记录各分项工程的质量验收数据,并上传至云端平台,形成

电子档案,管理人员可随时查看质量数据,实现质量验收的无纸化和可追溯性,同时,通过 BIM 模型与现场质量数据的关联,可在模型中直观显示各部位的质量状态,便于质量问题的定位与整改。施工过程质量监控借助视频监控和 AI 图像识别技术,对关键工序的施工过程进行实时监控,例如混凝土浇筑过程中的振捣情况、钢筋绑扎的规范性等,自动识别不符合规范的施工行为,及时发出预警,避免质量隐患,此外,利用无人机巡检技术,可对大型建筑外立面、屋面等人工难以到达的部位进行质量检查,提高检查效率和覆盖面。材料质量管理通过在建筑材料上粘贴 RFID 标签,记录材料的生产厂家、生产日期、规格型号、检验报告等信息,在材料进场时通过 RFID 读卡器进行快速核验,防止不合格材料进入施工现场,同时,通过材料跟踪管理系统,可实时掌握材料的库存数量、使用部位和消耗情况,确保材料的合理使用和质量可控。

3.3 进度管理

智慧工地技术通过进度计划与现场实际进度的实时对比和动态调整,有效保障了工程进度。BIM 与进度计划的融合是重要手段,将 BIM 模型与施工进度计划进行关联,构建 4D 进度模拟模型,直观展示各工序的施工时间和空间布置,结合抹灰机器、贴砖机器等设备的作业数据,通过现场数据采集,实时更新实际进度信息,并与计划进度进行对比分析,当出现进度偏差时,系统自动发出预警,帮助管理人员及时采取措施调整进度计划。进度数据实时采集与分析依赖物联网技术,采集施工现场的人员出勤、设备运行、材料进场等数据,通过大数据分析技术计算出实际施工进度,并与计划进度进行偏差分析。协同管理与进度优化基于云端协同平台,项目各参与方可共享进度信息,实时沟通进度问题,协同解决影响进度的因素,通过大数据分析历史类似项目的进度数据,可为当前项目的进度优化提供参考,制定更合理的进度计划。

3.4 成本管理

智慧工地技术通过对人、材、机等成本要素的精细化管理,实现了成本的有效控制。人员成本管理中,通过人员定位与考勤系统,准确记录施工人员的出勤时间和工作时长,结合劳务合同信息,自动计算劳务费用,避免人工统计造成的误差和虚报,同时,通过分析人员的工作效率和投入产出比,优化人员配置,降低人工成本。材料成本管理利用材料物联网管理系统,实时监控材料的采购、运输、入库、出库、消耗等环节,实现材料成本的全过程跟踪,通过分析材料的消耗数据,找出材料浪费的原因,制定节约措施;通过库存预警功能,避免材料积压或缺货,降低库存成本。通过 BIM 模型与材料用量的关联,可精确计算各部位的材料用量,实现材料的精准采购和控制。设备成本管理则通过设备物联网管理系统,记录塔吊、抹灰机器、贴砖机器等设备的租赁费用、燃油消耗、维护保养费用等数据,分析设备的

使用效率和成本效益,通过合理安排设备的使用计划,提高设备利用率,减少设备闲置时间;通过预测设备的故障和维护需求,降低设备的维修成本。

3.5 人员与设备管理

智慧工地技术实现了对施工人员的全生命周期管理^[3],包括人员信息登记、资质审核、培训记录、考勤管理、绩效评估等,通过人脸识别或RFID技术进行人员考勤,确保考勤数据的准确性;通过在线培训平台,为施工人员提供安全知识、操作技能等培训,包括抹灰机器、贴砖机器等设备的规范操作,并记录培训成绩,提高人员素质,同时,通过人员数据分析,可掌握各工种人员的数量、技能水平和流动情况,为人员调配提供依据。设备管理除了涵盖设备安全管理外,还实现了设备的全流程管理,包括设备信息登记、租赁管理、调度管理、维护保养、报废处理等,通过设备定位系统,可实时掌握设备的位置和使用状态,实现设备的高效调度;通过维护保养计划的自动提醒和记录,确保设备按时维护,延长设备使用寿命;通过设备数据分析,评估设备的性价比,为设备采购和租赁提供决策支持。

4 智慧工地技术应用中存在的问题挑战与优化路径

4.1 问题挑战

当前智慧工地技术应用面临多重挑战。技术标准不统一是首要问题,不同厂商设备与系统兼容性差,例如抹灰机器、贴砖机器等设备的数据格式和接口不统一,难以实现有效共享与集成,形成信息孤岛,影响协同应用效果。前期投入成本较高制约了中小企业应用,智慧工地建设需大量资金用于传感器、监控设备、软件平台及网络设施的采购安装,还需专业人员维护运营,资金与技术实力较弱的中小企业难以承担,导致其应用普及率低。数据安全风险不容忽视,智慧工地涉及海量敏感数据,在采集、传输、存储和分析中存在泄露、篡改、滥用风险,缺乏完善保障体系可能导致企业商业秘密与人员隐私受侵犯。专业人才缺乏拉低技术应用水平,行业急需懂建筑工程与信息技术的复合型人才,尤其是熟悉抹灰机器、贴砖机器等现代设备与智慧系统协同的人才,但目前这类人才稀缺,多数管理人员对技术理解和应用能力不足,致使系统功能无法充分发挥。施工环境复杂影响技术稳定性,施工现场恶劣环境对设备稳定性、可靠性要求高,部分设备易故障,导致数据采集中断或不准确,干扰系

统正常运行。

4.2 优化路径

完善智慧工地技术应用需多维度优化。政府应加快制定统一技术标准与数据接口规范,统一数据格式和技术要求,提升不同系统设备兼容性,同时搭建统一数据共享平台,打破信息孤岛,实现各方信息实时共享与协同。政策层面需加大支持,通过财政补贴、税收优惠等鼓励企业投入,重点扶持中小企业,并推动技术产业化、规模化应用,借助市场竞争降低设备与服务成本,提升性价比。数据安全上,要健全管理制度,采用加密、访问控制、防火墙等技术保障数据全流程安全,明确数据权属,规范采集使用行为,保护隐私与商业秘密。人才培养需强化校企合作,开设相关课程培育懂建筑与信息技术的复合型人才,加强抹灰机器、贴砖机器等现代设备操作与智慧系统应用的融合培训,同时企业加强现有人员培训,提升技术应用能力。技术方案应针对施工现场特点,研发耐恶劣环境的传感器与设备,增强抗干扰性和稳定性,完善系统冗余设计与故障预警,保障数据采集持续准确。

5 结语

智慧工地技术作为工程建设项目现场管理的创新模式,通过整合物联网、大数据、人工智能、BIM等与抹灰机器、贴砖机器等设备进行结合的现代技术,在安全管理、质量管理、进度管理、成本管理及人员设备管理等方面展现出了显著的应用价值,有效解决了传统管理模式中的诸多痛点问题。然而,当前智慧工地技术应用仍面临技术标准不统一、投入成本高、数据安全风险、专业人才缺乏等问题与挑战。通过完善技术标准、加大政策支持、加强数据安全保障、培养复合型人才和优化技术方案等措施,可推动智慧工地技术的进一步发展和应用。未来,随着技术的不断创新,智慧工地将向更高智能化、数字孪生化、5G与边缘计算融合、绿色与智慧协同的方向发展,为建筑行业的数字化转型和高质量发展提供强大动力。

参考文献

- [1] 杨连武.BIM+智慧工地在水利工程建设中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(3):178-181.
- [2] 康军飞.智慧工地理念下电力工程建设的智能化管理路径研究[J].新潮电子,2025(12):97-99.
- [3] 邱广东,王瑞瑶.智慧工地系统架构及在工程建设安全管理中的应用[J].建筑与装饰,2024(11):58-60.

Strategies for recycling construction solid waste under the background of green construction

Yonglin Qiu

Xiamen Tongzheng Construction Co., Ltd., Xiamen, Fujian, 361000, China

Abstract

This study conducts an in-depth investigation into the resource utilization of construction solid waste under green construction frameworks. Through meticulous analysis of current practices, it delineates the evolving trends in eco-friendly construction methodologies, examines the environmental impacts of construction waste, and identifies persistent challenges. The paper systematically addresses emerging requirements, technical bottlenecks, and innovation barriers associated with green construction practices. Proposing actionable strategies across four dimensions—technological innovation, policy refinement, market optimization, and public engagement—the research aims to provide practical solutions for tackling construction waste management challenges. These findings contribute to advancing sustainable development in the construction sector while supporting China's "Dual Carbon" goals and ecological civilization initiatives.

Keywords

green construction; solid waste; resource utilization

绿色施工背景下建筑固体废弃物资源化利用策略

邱永林

厦门通正建设有限公司, 中国 · 福建 厦门 361000

摘 要

本文聚焦于绿色施工背景下建筑固体废弃物资源化利用这一主题展开深入研究。对当前的状况进行细致剖析, 详细说明绿色施工的发展趋向、建筑固废所造成的危害, 明确存在的挑战, 覆盖绿色施工带来的新要求、技术方面的瓶颈以及创新过程中面临的困境, 最后从技术创新、政策完善、市场优化以及公众参与这四个层面提出相应策略。目的在于为解决建筑固废处理难题、推动建筑行业朝着绿色可持续方向发展提供有可行性的途径, 为“双碳”目标以及生态文明建设贡献力量。

关键词

绿色施工; 固体废物; 资源化利用

1 引言

随着“双碳”目标的逐步推进以及环保政策的不断收紧, 绿色施工已然成为建筑行业迈向高质量发展的必然走向, 其对于资源节约以及环境友好方面的要求正呈现出日益提高的态势, 粗放式的处置方式会占用大量土地, 对环境造成污染, 还会导致资源的浪费, 使得“资源短缺”与“废物围城”之间的矛盾变得日益凸显。基于此, 建筑固体废弃物的资源化利用成了符合绿色施工理念的关键举措, 但在当前的实践过程中, 依然面临着诸多方面的妨碍, 急需进行系统的分析并且提出相应的解决办法, 以此来实现建筑行业生态效益与经济效益的协同发展。

2 绿色施工与建筑固体废弃物现状剖析

2.1 绿色施工理念及发展态势

绿色施工理念把“可持续发展”当作核心内容, 着重在建筑的整个生命周期里达成资源节约、环境友好以及生态保护这几方面的协同, 它不是简单的技术相加, 而是包含设计优化、施工管控、资源循环等整个链条的系统性工程, 要最大程度减少能耗、水耗以及污染物排放, 保障施工人员健康与工程质量。近年来, 随着“双碳”目标的推进以及环保政策的收紧, 绿色施工从“自愿践行”转变为“强制要求”, 发展态势较为迅猛, 一方面, BIM 技术、装配式建筑、超低能耗建材等新技术被广泛应用, 促使施工模式得到升级, 另一方面, 很多地方把绿色施工评价纳入工程招投标体系, 头部建筑企业纷纷构建绿色施工标准体系, 行业正从“被动合规”朝着“主动创新”转型, 绿色化成为建筑行业高质量发展的核心竞争力^[1]。

【作者简介】邱永林（1987-），男，中国福建龙岩人，本科，工程师，从事房屋防渗漏研究。

2.2 建筑固体废弃物产生与危害

建筑固体废弃物主要来源于建筑工程的拆除、新建以及修缮这些环节，其中包括废混凝土、废砖石、废钢材、ALC 墙板材料等，其危害呈现出多维度的特点：一方面会占用土地资源，大量的固废没有经过处理就直接进行填埋，侵占了耕地与林地，并且破坏了土壤结构，另一方面会污染环境，像废涂料、废塑料等有害物质会渗透到土壤和地下水中，同时粉尘随着风扩散还会加剧大气污染，存在安全隐患，随意堆放的固废容易引发滑坡、坍塌等情况，在城市周边区域，还会对交通以及居民生活产生影响。此外，粗放式的处置模式造成了砂石、钢材等资源的浪费，这与资源循环利用的发展要求严重不相符。



图 1 建筑固体废弃物

3 绿色施工背景下建筑固体废弃物资源化利用的挑战与问题

3.1 绿色施工对资源化利用的新要求

绿色施工所有的“全周期低碳化、全过程精细化”特性，为建筑固体废弃物资源化利用设定了更高的标准。在施工源头，需实现固废的分类收集，像对废混凝土、废木材以及废弃保温材料等进行精准分流，防止混放致使再生利用率降低，这需要施工方投入额外的人力与设备，增加管理成本^[2]。另外，绿色施工对于再生建材的质量以及环保性有着严格要求，再生骨料要契合强度、吸水率等指标，再生建材需依靠低碳排放认证，并且要适配装配式施工、BIM 技术应用等新型施工模式，传统资源化处理产出的低附加值再生产品难以符合需求，促使资源化利用朝着“精准化、高值化”方向转变。

3.2 面临的技术瓶颈与创新困境

当下建筑固体废弃物资源化利用存在较为突出的技术短板，对于预处理环节而言，高效的智能化分拣技术匮乏，针对混杂的废金属、废塑料等轻质物料进行分拣时效率较低，人工分拣成本高而且容易出现遗漏情况，在再生利用环节，废混凝土再生骨料强度提升技术存在欠缺，所生产的再生骨料容易出现微裂缝，使得再生混凝土耐久性欠佳，难以应用于承重结构^[3]。此外，固废中难降解的高分子材料比如废弃防水卷材、有毒有害杂质像废涂料残渣的处理技术尚不成熟，容易引发二次污染。技术创新面临“产学研脱节”这一困境，高校与科研机构实验室的技术难以转化为实际生产能力，企业由于研发投入大且回报周期长，缺乏技术创新的动力。

表 1 核心问题

技术环节	核心问题	关键表现
预处理	智能化分拣技术不足	轻质物料（废金属、塑料等）分拣效率低；人工分拣成本高、易遗漏
再生利用	1. 再生骨料强度提升技术欠缺 2. 难降解 / 有害物处理技术不成熟	1. 再生骨料有微裂缝，再生混凝土耐久性差，难用于承重结构 2. 废弃防水卷材、废涂料残渣等处理易致二次污染
技术创新	“产学研脱节”	实验室技术难转化为产能；企业研发投入大、回报慢，缺创新动力

4 绿色施工背景下建筑固体废弃物资源化利用策略

4.1 技术创新驱动策略

运用“全链条技术升级”来突破资源化利用方面的瓶颈，在源头减量阶段，推行 BIM 技术与装配式施工相融合，借助精准预制减少现场浇筑产生的废料，采用预制混凝土构件可让施工固废产生量降低超过 30%。在分类收集阶段，开展智能化分拣设备的研发工作，运用红外光谱识别技术达成废金属、废塑料以及建筑垃圾的自动分离，把分拣效率提高到 90% 以上。在再生利用阶段，着重攻克再生骨料性能优

化技术，借助“机械研磨 + 纳米硅烷改性”工艺，处理再生骨料微裂缝问题，让再生混凝土强度提高 20%，以契合承重结构的要求。针对难降解废弃物，研发高温裂解技术，把废弃防水卷材转变为燃料油，实现固废“变废为宝”，构建“产学研用”协同创新平台，由政府引领联动建筑企业、高校和科研机构，设立专项研发基金，加快实验室技术向实际产能的转化，比如建立再生建材联合实验室，推动新型再生保温材料实现产业化应用^[4]。

4.2 政策法规完善与保障措施

构建一套包含刚性约束以及柔性激励的政策体系，其中先完善相关法规标准，出台全国统一的《建筑固体废弃物

分类标准》以及《再生建材质量认证规范》，以此明确施工企业在固废分类收集方面的责任，规定建筑工程投标文件要包含固废资源化利用方案，对于未达标的项目不予验收，把固废资源化利用率纳入建筑企业信用评级范畴，使其与招投标资格直接关联，对利用率低于 60% 的企业实施行业通报。强化激励政策，给予再生建材生产企业增值税即征即退的优惠，对于使用再生建材占比超过 30% 的建设项目，减免 5% 的城市基础设施配套费，设立专项补贴资金，用以支持企业购置智能化分拣设备以及再生利用生产线，单个项目补贴最高可达到设备投资额的 30%，建立跨部门监管机制，由住建、环保、城管等多个部门联合开展常态化巡查，严厉打击固废非法倾倒行为，对违规企业处以罚款并进行曝光，营造出“不敢乱排、主动利用”的监管氛围。

4.3 市场机制优化与产业协同发展

借助“全产业链协同”来激发资源化利用市场的活力。在供需对接方面，搭建“再生建材供需信息平台”，将施工企业的固废产出信息以及再生建材生产企业的供应信息加以整合，实现“点对点”的精准匹配，以此降低运输成本，促使政府工程优先采购再生建材，明确在保障性住房、市政道路等项目里，再生建材的使用占比不少于 25%，形成示范效应。在产业融合方面，构建“建筑施工—固废处理—再生建材—建筑应用”的闭环产业链，鼓励大型建筑企业设立全资固废处理子公司，像中国建筑集团旗下的环保公司那样，实现施工固废的内部消化与资源化利用，引导再生建材企业与建材电商平台展开合作，拓宽线上销售渠道，提高再生产品的市场渗透率。在融资支持方面，创新金融服务模式，推出“再生资源专项贷”，为资源化利用企业提供低于市场利率 10%-15% 的优惠贷款，支持企业借助绿色债券、资产证券化等途径进行融资，解决资金短缺的难题，培育第三方服务机构，提供固废资源化利用方案设计、检测认证等专业服务，推动产业朝着标准化、规范化的方向发展。

4.4 提升公众意识与参与度的举措

借助“多维宣传+多元参与”来构建全民参与的格局。在宣传引导方面，打造立体化的宣传矩阵，借助住建部门官网、短视频平台以及社区宣传栏等诸多渠道，发布《建筑固废资源化利用科普手册》，制作“再生建材如何打造绿色家

园”系列短视频，曝光固废随意堆放所造成的环境危害案例，以此让公众可直观地了解资源化利用的价值，在中小学开展“绿色建筑进校园”活动，凭借手工课利用再生骨料制作模型，培养青少年的环保意识。在公众参与层面，设立“固废处置监督热线”与线上举报平台，鼓励居民对建筑施工中的固废乱排行为进行举报，对于查实的举报给予话费或者购物卡奖励，推动社区与周边建筑工地开展合作，开展“再生建材体验日”活动，组织居民参观再生建材生产车间，现场观摩再生地砖、再生步道砖的铺设过程，提高居民对再生产品的信任度。引导行业协会、公益组织开展“绿色施工倡议”活动，联合建筑企业、物业企业发布《社区固废分类公约》，推动建筑固废从“工地源头”到“社区末端”的全流程协同治理，形成“政府引导、企业主导、公众参与”的共治模式。

5 结语

建筑固体废弃物资源化利用在绿色施工背景下是实现建筑行业可持续发展的关键举措，这与资源节约以及环境治理密切相关，还对产业结构升级以及“双碳”目标的实现有着关键影响，虽说当下在技术、政策、市场等多个方面面临着挑战，但借助技术创新驱动、完善政策保障、优化市场机制、提升公众参与度等一系列综合策略，可有效地解决这些难题。未来，各方共同努力，建筑固废资源化利用会逐渐朝着规范化、规模化的方向发展，为构建资源节约型、环境友好型社会筑牢坚实基础，促使建筑行业迈向更高质量的绿色发展全新阶段。

参考文献

- [1] 张林. 绿色施工背景下建筑废弃物资源化利用路径与经济效益分析[C]// 广西网络安全和信息化联合会. 2025年第五届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会议论文集. 河北筑显建筑工程有限公司, 2025: 175-176.
- [2] 赵黎. 建筑施工环境影响评估与可持续发展[C]// 中国智慧工程研究会. 2024工程技术与施工管理交流会议论文集(上). 杭州宝联建筑工程有限公司, 2024: 313-314.
- [3] 王晓峰. 建筑施工中的生态环境污染防治策略研究[J]. 环境科学与管理, 2021, 46 (07): 153-157.
- [4] 杜斌. 建筑可持续发展中的绿色施工技术分析[J]. 住宅与房地产, 2020, (33): 163-164.

The ore genesis and metallogenic model of Youzitang deposit in Baifang Copper Mine, Hunan Province

Teng Liu Yugui Lu Quhong Wu

ShuiKouShanAn Nonferrous Metals Co., Ltd., Hengyang, Hunan, 421200, China

Abstract

The copper ore body in the Youzitang mining area of Baifang copper mine is only produced in the copper-bearing light layer sandwiched in the third member of the Cretaceous Daijiaping Formation. The predecessors divided its genesis into sandstone-type copper deposits. After years of production practice, it has been revealed that the deposit is controlled by strata, lithology and structure, and the contact metasomatism characteristics are obvious. In this paper, the metallogenic geological background, geological characteristics and ore-controlling factors of the pomelo pond copper mine are systematically summarized, and the metallogenic model of the pomelo pond copper mine is established. The comprehensive analysis shows that the general situation bed belongs to the basin source.

Keywords

geological characteristics of the deposit ; ore-controlling factors ; ore genesis ; Baifang Copper Mine

湖南柏坊铜矿柚子塘矿区矿床成因及成矿模式

刘腾 陆雨癸 吴取红

水口山有色金属有限责任公司, 中国 · 湖南 衡阳 421200

摘 要

柏坊铜矿柚子塘矿区铜矿体仅产于白垩系戴家坪组第三段所夹的含铜浅色层中。前人将其成因划分为砂岩型铜矿, 经过多年生产实践揭露, 该矿床受地层、岩性及构造控制, 矿体在浅色层的顶、底部富集, 接触交代特征明显。本文通过系统总结柚子塘铜矿的成矿地质背景、地质特征及控矿因素, 建立了柚子塘铜矿成矿模式, 综合分析认为概况床属于盆地源中低温热液循环交代成因。

关键词

矿床地质特征; 控矿因素; 矿床成因; 柏坊铜矿

1 引言

铜是我国重要的战略资源, 对经济和社会的发展有着重要的意义, 但我国铜资源短缺, 主要有斑岩型铜矿、矽卡岩型铜矿、层状型铜矿、海相火山沉积岩型铜矿及铜镍硫化物型铜矿^[1-3], 加强对铜矿的成矿理论认识、成矿规律研究及找矿模型应用, 在开展铜矿找矿中具有重要意义。

湖南柏坊铜矿矿化类型多样, 矿体形态各异, 成因复杂^[4-5]。前人研究表明, 铜鼓塘铜矿为次生淋滤型铜矿, 而柚子塘铜矿为沉积砂岩型铜矿^[4-8]。经过多年的开采, 伴随坑探工程揭露, 实践表明, 柚子塘矿区铜矿明显受地层、岩性及构造控制, 接触交代特征明显, 而非传统认为的砂岩型成因。本次研究系统总结了柚子塘铜矿的成矿地质背景、地质特征及控矿因素, 建立柚子塘铜矿成矿模型, 为开展柚子

塘铜矿边深部找矿提供了理论依据。

2 区域地质背景

柏坊铜矿地处衡阳中生代陆相红层盆地南缘, 株洲 - 江永北东向深断裂与羊角塘 - 水口山东西向构造带交汇部位, 属多个构造叠加复合部位^[4-8] (图 1)。区域地层出露较全, 主要有泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系等, 区域构造受平江 - 衡阳华夏系拗陷带影响, 形成了一系列复杂褶皱和断裂构造, 褶皱自西至东主要有柏坊向斜、李家湾背斜、斗岭向斜、大渔湾背斜等; 区域断裂纵横交错, 主要有北东 - 北北东向、近南北向及北西向 3 组。区域内岩浆活动强烈, 主要侵位于印支晚期和燕山早期, 多形成中酸性花岗岩体, 主要有塔山岩体、水口山花岗岩闪长岩体等。区域内成矿条件良好, 形成了一系列金属和非金属矿产, 主要矿种为钨、锡、铅、锌、铜、银、金、硼、重晶石、煤、高岭土矿等。

【作者简介】刘腾 (1990-), 男, 中国河北衡水人, 硕士, 工程师, 从事矿产普查与勘探研究。

3 矿区地质特征

3.1 柏坊铜矿地质概况

柏坊铜矿矿区出露地层较为简单，广泛出露晚古生代石炭纪、二叠纪及中生代白垩纪的地层，其它地层缺失，矿区主要赋矿层位为石炭系壶天群灰岩和白垩系红色碎屑岩系浅色砂岩层；区内构造主要为褶皱、断层、不整合面和岩溶构造，不同构造体系的叠加复合，呈多期次活动的特点^[7]，控制着区内矿体的形态、分布及赋存；区内岩浆岩不发育，仅在矿区南部出露有呈串珠状展布的小岩体，岩性为花岗闪长斑岩。

3.2 柚子塘矿区地质特征

柚子塘矿区位于柏坊矿区北西部，地层较单一，主要出露地层为白垩系上统戴家坪组第三段和第四段，其中铜矿体仅产于第三段所夹的含铜浅色层中；区内构造较简单，主要为褶皱、断层，矿区位于憩山岭背斜西翼，断裂构造有近EW向的F₂₀₁、NE向的F₂₀₂、F₂₀₃均显正断层特征，矿区三面被断层所切，并抬升形成了地垒式的构造格局。

柚子塘矿区矿体多呈似层状、透镜状产出，NE-SW向展布，划分为Ⅰ～Ⅶ七个矿体，其中以Ⅳ、Ⅱ号矿体规模最大，矿体特征见表1。

矿石中主要铜矿物为辉铜矿为主，次为斑铜矿、黄铜矿。脉石矿物以石英粉砂及石英砂居多，其次为粘土矿物和方解石，还含少量白云母、长石。矿石结构主要为他形粒状结构，

共生分离结构，铜矿物呈胶结物形式充填于碎屑矿物间。矿石构造为浸染状、斑点状、顺层条带状构造，铜矿物呈细小星点和斑点状浸染分布。

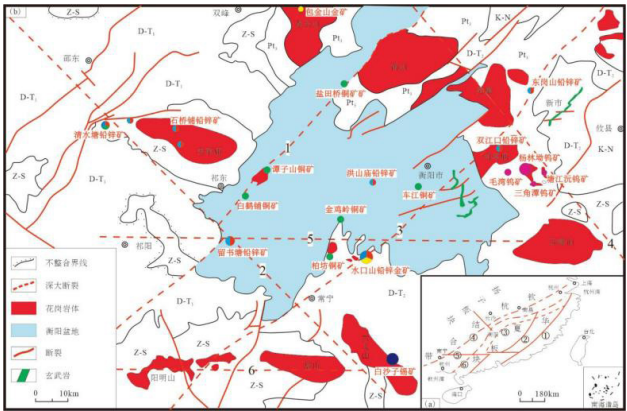


图 1 华南构造简图及衡阳盆地地质图

矿体围岩为紫红色钙泥质粉砂岩及浅灰色含钙粉砂岩。岩石由石英粉砂、粘土质及方解石微粒等组成，结构较紧密，节理不发育，稳定性较好。紫红色围岩与矿层分界明显，为突变关系；浅色层围岩与矿体分界不明显，为渐变关系。区内围岩蚀变类型简单，分布范围也不大，主要为退色化、孔雀石化、蓝铜矿化、白云石化、石膏化等。

表 1 柚子塘矿段矿体矿体形态、产状及规模特征一览表

矿体 编号	分布 (m)		形态	产状 (°)			规模 (m)		
	分布标高	埋藏深度		走向	倾向	倾角	长	宽	厚
I	-37 ~ +42	40 ~ 65	似层状	10	280	2	175	50	0.71 ~ 1.11
II	-15 ~ +8	80 ~ 100	透镜状	30	200	10 ~ 20	145	40 ~ 125	1.00 ~ 9.62
III	-10 ~ +30	65 ~ 100	似层状	340	250	0 ~ 10	30	100 ~ 160	0.20 ~ 1.45
IV	-35 ~ +5	100 ~ 165	似层状、透镜状	10	280	0 ~ 15	330	40 ~ 190	0.80 ~ 5.91
V	-40 ~ -45	130	透镜状	0	270	10	50	40	1.48
VI	-10 ~ -50	110 ~ 150	透镜状	0	270	10 ~ 15	155	40 ~ 85	0.77 ~ 5.68
VII	-40 ~ -70	125 ~ 175	透镜状	50	320	10 ~ 15	160	40 ~ 100	0.97 ~ 8.74

4 矿床地质特征与控矿因素

柚子塘矿区矿体多呈似层状、透镜状产出于F₁断裂构造旁侧，铜矿体主要赋存于白垩系地层层间滑动形成的硬板状褪色细粒长石石英砂岩层（浅色层）中，且仅在断层一盘发育；辉铜矿在靠近围岩一侧较为富集，并在浅色层尖灭端处厚度大、品位高。含矿层与围岩无明显接触界面，整体顺层产出但不完全受地层控制，局部具穿层现象；但含矿层与围岩具明显粒度、颜色水平分带特征，由矿体向围岩粒度由粗变细，颜色由灰白色至红褐色，辉铜矿呈线状充填于沿受层间滑动形成低角度羽列线状节理裂隙中。

柚子塘矿区矿床受地层层位、岩性及断层构造控制，矿体仅发育于紫红色层中所夹的褪色细粒长石石英砂岩层

中，含铜浅色层一般顺层产出，有穿层现象，并具有尖灭、再现、分枝、复合的特点。矿体主要在浅色层的顶、底部富集，且通常含矿连续性底部好于顶部；而当厚大的浅色层往边部变薄时，往往可形成富铜矿体。

5 矿床成因与成矿模式

柚子塘矿区位于衡阳白垩系红盆边缘，憩山岭背斜西翼，矿体受地层层位、岩性及断层构造控制：早期白垩系干热、强氧化环境下，盆地周边源蚀区富铜地质体遭受风化剥蚀，碎屑物质被地表水搬运至盆地中沉积成岩，中生界构造运动引起一系列的断裂构造，白垩系地层内的岩性转换界面（软弱部位）发生层间滑动，在断裂带附近形成一系列模板

状地质体;通过盆地内热水循环,不断萃取盆地内的铜质(盆地内地层富铜),形成富含铜的低温流体,并沿断裂构造界面运移,由于板状地质体的岩性为细粒长石石英砂岩,岩石孔隙、裂隙比较发育,导致矿液运移过程中萃取了其中的 Fe^{3+} 使岩石褪色化,并在围岩为有利遮挡层时富集成矿。综上所述,柚子塘矿区属于盆地源中低温热液循环交代成因。

石孔隙、裂隙比较发育,导致矿液运移过程中萃取了其中的 Fe^{3+} 使岩石褪色化,并在围岩为有利遮挡层时富集成矿。综上所述,柚子塘矿区属于盆地源中低温热液循环交代成因。



图2 含矿层与围岩分带特征

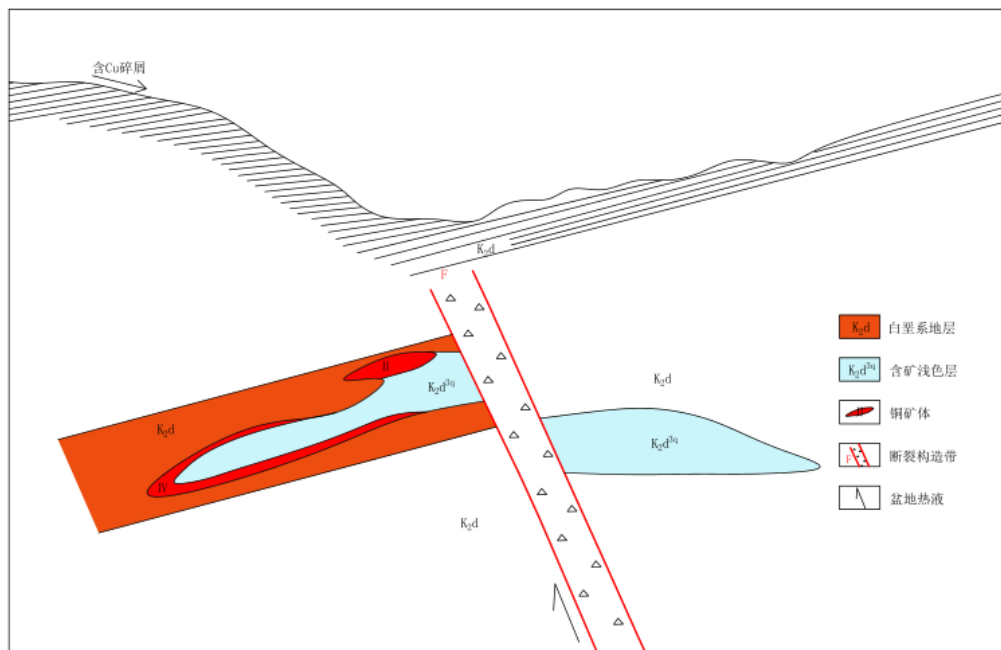


图3 柏坊铜矿柚子塘矿区矿床成矿模式图

6 结语

通过综合分析柏坊铜矿柚子塘矿区成矿地质背景、地质特征及控矿因素,总结铜矿体的空间定位机制与定位规律,建立柚子塘矿区找矿模型;柚子塘铜矿床呈北东向带状分布,平面上铜矿物则富集在浅色层往西部尖灭的地带,在 F_{201} 以南西部边界一带,仍具有一定的找矿空间。

参考文献

- [1] 应立娟,陈毓川,王登红,等.中国铜矿成矿规律概要[J].地质学报,2014,88(12):2216-2225.
- [2] 崔灵敏.中国典型铜矿床成因类型及地质特征研究[J].有色金属文摘,2015,30(6):44-47.
- [3] 王成.中国铜矿成矿类型、成矿规律及找矿方法思考[J].矿产资源,2020:38-40.
- [4] 邓湘伟,戴雪灵,黄满湘.柏坊铜矿成矿规律及成矿模式探讨[J].华南地质与矿产,2008(4):22-25.
- [5] 公凡影,李永胜,甄世民,等.湖南柏坊铜矿矿床地质特征及矿床成因初探[J].矿物学报,2013(S2):152-153.
- [6] 柳智,黄满湘,马德成,等.湖南衡阳柏坊铜矿矿体地质特征及矿床成因探讨[J].南方金属,2011(5):16-25.
- [7] 吴思,张晓文,杨立志.湖南衡阳柏坊铜矿控矿因素与找矿方向分析[J].西部资源,2017(3):9-12.
- [8] 冯雨周,邵拥军,葛超,等.湖南衡阳柏坊铜矿床地质特征及成因分析[J].南方金属,2017,(2):29-31.

Study on the Mechanism of Abnormal Flash Point Decrease in Alkylbenzene Thermal Oil and Systematic Countermeasures

Minglin Zong Fuliang Li*

Shandong North Zite Special Oil Co., Ltd., Zibo, Shandong, 255304, China

Abstract

The abnormal decrease in the closed-cup flash point of alkylbenzene thermal oils in industrial heating systems is a typical safety hazard. This study reveals that the underlying cause is the accumulation of low-boiling-point components generated by thermal cracking within the system. Primary contributing factors include the installation of an expansion tank at an excessive height, leading to the formation of a low-temperature “dead oil zone,” and insufficient venting during the oil-boiling stage. To eliminate the dead oil zone, it is proposed to connect the high-temperature auxiliary circulation line to the top of the expansion tank and, when necessary, introduce a nitrogen purging system. Engineering applications demonstrate that these measures can effectively restore and stabilize the flash point value. Additionally, emphasis should be placed on the efficient recovery and treatment of volatile organic compounds in vented gases, along with strict implementation of fire prevention measures during operation. This provides important theoretical and practical foundations for the safe and long-term operation of the system. The research further explores systematic inducements and comprehensive strategies for flash point anomalies, offering crucial insights into enhancing the operational reliability of industrial thermal oil systems.

Keywords

Alkylbenzene thermal oil; Closed-cup flash point; Expansion tank; System optimization; Nitrogen purging; Safety protection

烷基苯导热油闪点异常下降机理与系统对策研究

宗明林 李富亮*

山东北方淄特特种油股份有限公司, 中国·山东 淄博 255304

摘 要

工业加热系统中烷基苯导热油闭口闪点异常下降是典型安全隐患。本研究揭示其本质为热裂解产生的低沸点组分在系统内富集, 主要诱因包括膨胀罐安装过高形成低温“死油区”, 以及煮油阶段排气不充分。提出将高温辅助循环管线接入膨胀罐顶部以消除死油区, 并在必要时引入氮气吹扫系统。工程应用表明, 该对策可有效恢复并稳定闪点值。同时需重视排气中挥发性有机物的有效回收处理, 并在操作中严格采取防火措施, 为系统安全长效运行提供重要理论与实践依据。本研究进一步探讨了闪点异常的系统性诱因与综合治理策略, 对提高工业热载体系统运行可靠性具有指导意义。

关键词

烷基苯导热油; 闭口闪点; 膨胀罐; 系统优化; 氮气吹扫; 安全防护

1 引言

导热油(专业术语是有机热载体)加热系统因其运行稳定、控温精确等优势, 在人造板、碳素、石油化工等工业领域得到广泛应用。烷基苯型导热油(国标牌号 L-QB300)凭借其优异的热稳定性和低温流动性, 成为中低温应用场景的首选热传导介质[1]。然而, 实际运行中发现, 系统投运数年后常出现导热油闭口闪点异常快速下降的现象, 常远

超 GB/T 24747-2023《有机热载体安全技术条件》中规定的 100℃安全阈值, 且其他指标(如运动粘度、酸值和残炭)仍保持相对正常。该类“单一指标异常”现象表明, 闪点下降并非油品整体老化所致, 而与特定系统因素密切相关^[2]。传统分析多聚焦于运行过程中形成的“死油区”效应, 而本研究进一步揭示, 系统初次投运时的“煮油”质量亦是关键诱因, 其与《锅炉安全技术规程》(TSG 11-2020)的执行情况直接相关^[3,4]。本研究旨在深入剖析闪点下降的机理, 并提出系统化的工程解决策略, 为同类工业系统提供可推广的故障诊断与性能恢复方案。

2 闪点劣化机理与影响因素分析

2.1 闪点下降的本质特征

闪点是评价液体挥发性和火灾危险性的关键安全参数,

【作者简介】宗明林(1984-), 男, 中国山东滕州人, 从事导热油的应用研究

【通讯作者】李富亮(1975-), 男, 中国山东聊城人, 硕士, 正高级工程师。

其数值取决于油品中最易挥发组分的含量 [1]。导热油在高温运行中会发生热裂解反应，持续生成低沸物（主要包括短链烷烃和轻质芳烃），这些物质的不断积累是导致闪点降低的直接原因 [2]。对烷基苯型导热油而言，其热裂解通常产生苯、甲苯、二甲苯等低沸点组分，这些物质的闪点显著低于基础油，因此即便是少量积累，也会引起整体闪点明显下降。值得注意的是，闪点的变化不仅反映了油品的安全状态，也是系统运行健康状况的重要指示指标。

2.2 异常现象的技术解读

当系统出现“闪点急剧下降，运动粘度仅轻微降低，酸值与残炭基本不变，5%低沸物馏出温度未显著前移”的异常情况时，其内在技术逻辑并非系统内生成了过量低沸物，而是因系统结构或操作缺陷，导致已生成的有限低沸物无法被有效排出，从而在主循环回路中不断浓缩、富集 [3]。该现象为问题诊断提供了明确方向：需从系统的排气能力入手探究根源，而非仅归因于油品的热稳定性。此外，此类异常也提示系统可能存在局部过热或流动停滞的区域，加剧了油品的热裂解与分解产物积聚。

2.3 膨胀罐的“死油区”效应

传统设计中，膨胀罐（也称高位槽）常被安装在系统最高点以上不低于 1.5 米处，其低温环境（通常低于 70℃）初衷是作为低沸物与水分的冷凝捕集器，使挥发性物质冷凝后暂存并定期排出 [4]。然而，当安装高度过高时，将引发多重问题：一是静压差过大，阻碍主系统中产生的油气混合物顺利上升进入膨胀罐；二是高位槽更易受环境温度影响，冬季时油温过低、粘度剧增、流动性显著恶化；三是上述因素共同作用，易在膨胀罐底部形成低温、高粘、几乎不参与循环的“死油区” [5]。冷凝后的低沸物被困于该区域，无法通过常规方式返回主系统或排出，最终造成低沸物在系统内形成“只进不出”的单向富集，持续引发闪点下降。此外，高位膨胀罐也增加了系统静压，可能对泵和密封系统提出更高要求。

2.4 煮油阶段排气不充分的关键影响

《锅炉安全技术规程》（TSG 11-2020）第 3.4.2(5) 条明确规定：“膨胀罐应当装设排放蒸汽和气体物质的排气管”，其直径与高度须满足安全泄放要求 [3]。然而实践发现，部分系统存在高位槽放空管未安装、管径过细（如低于 DN20）、安装高度不足（未高出地面或操作平台 2 米以上）等设计与施工缺陷。这类先天性不足导致系统在初次投运的关键“煮油”阶段（脱水、脱轻过程）中，产生的大量水蒸气与初始热裂解低沸物无法有效排出 [4]。它们在系统停泵或冷却后重新冷凝，并回流至储油槽或主循环管路，混入主油中，为后续运行中闪点的快速下降埋下隐患。因此，煮油操作不仅是系统启动的必要步骤，更是确保长期安全运行的基础。

3 系统性解决方案与工程对策

3.1 系统诊断与排查方法

首先须对加热系统进行全面检测：一是检查膨胀罐，核实其安装高度、保温状态及实际运行温度（尤其关注冬季工况）；二是严格依据《锅规》[3]，查验放空管的规范性与有效性，包括是否存在、管径是否足够、高度是否达标；三是实施定期取样分析，重点识别是否呈现“闪点显著下降、粘度略降、其他指标基本正常”的特征模式，以此作为判断此类问题的重要依据 [1,2]。此外，还应考察系统运行记录，包括温度变化趋势、补油频率及量等，综合判断系统状态。

3.2 高温辅助循环管线技术

该对策的核心思路是“加热膨胀罐，活化死油区”。具体方法为：从系统主循环泵出口或换热器出口、锅炉出口回油管道等高温区段（温度通常高于 200℃）分流一小股热油（流量约占系统总流量的 1%-3%），将其并联接入原辅助排气管线，并确保从膨胀罐顶部注入（禁止从侧部或底部引入），引入管管径不应大于主膨胀管（推荐采用 DN25 或 DN32）[4]。此举可利用系统自身高温油液持续加热膨胀罐，使槽内油温升高至 80-230℃的理想区间，从而显著降低粘度、打破“死油区”的滞流状态，促使积聚的低沸物重新汽化，并通过规范安装的放空管顺利排出系统 [5]。该方案改造简便、成本较低且无需外接动力，特别适用于已建系统的技改。操作时应遵循分段升温原则：首先在 120-130℃维持 24 小时，随后升至 150-160℃运行 48 小时，最后在 180-230℃下持续运行 48-72 小时，以确保彻底排气。同时应监控膨胀罐温度，避免过热导致油品加速老化。

3.3 氮气吹扫系统的选择性应用

氮气吹扫技术借鉴自对排气要求极高的石化行业，可作为备选或补充方案。其主要适用于如下情境：当膨胀罐温度经辅助循环已有效提升，但仍因先天设计缺陷（如放空管路径过长、阻力过大或存在 U 型弯等）导致排气不畅时，可引入连续、微量的惰性氮气（流量需精确控制，通常为几升/分钟）作为载气，强制吹扫积聚于系统高点的不凝性气体和低沸物蒸气 [2]。排气中产生的挥发性有机物应通过冷凝回收装置进行收集处理，实现资源化利用，避免直接排放造成环境污染。该方案不仅辅助增强脱气效果，还能在膨胀罐内形成微正压氮气覆盖，有效隔绝氧气，延缓油品氧化，兼具延长油品使用寿命的作用 [3]。值得注意的是，该技术并非首选通用方案，而是针对传统放空管排气效率不足的强化手段，适用于对系统可靠性及油品寿命有极高要求的特殊场合。

3.4 在线减压蒸馏技术的应用局限

除上述方法外，现实操作中也有采用在线接入简易减压蒸馏设施以脱除低沸物并提升闪点的工艺。该技术可在生产现场完成处理，一定程度上避免了油品更换带来的成本与

停产损失。然而,该工艺在实际应用中存在明显局限:一是安全施工要求高,操作单位须具备危险废物回收处置相应资质;二是脱出的低沸物属于危险化学品,不能随意排放,必须合规收集并交由有资质的单位处理;三是处理周期相对较长,且工程造价较高。因此,该技术一般适用于具备相应资质与处理能力的大型企业,或作为系统闪点严重下降且其他方法效果有限时的最终处理手段,并不推荐作为常规维护措施广泛采用。

3.5 规范安装与预防性设计

所有解决对策的基础,是确保系统初设与安装严格遵从《锅规》^[1]等法规标准。对于新建或大规模改造系统,须在设计阶段彻底杜绝隐患:规范安装膨胀罐放空管,确保其管径(通常不小于DN40)、高度及路径满足安全排气要求;合理确定膨胀罐安装高度,在满足系统静压需求的前提下避免过高^[4]。推荐采用“规范安装+高温辅助循环”组合策略,从源头上消除“死油区”和氧气侵入风险,实现系统本质安全^[5]。此外,应在设计中考虑系统可扩展性与维护便捷性,如预留辅助循环接口和检测点。

3.6 安全操作规范与防护措施

系统排气吹扫作业需严格防火,特别是膨胀罐排气时。应确保排气口远离火源并加装阻火器;操作区配备消防器材,人员经专业培训,使用防爆工具。建议设置可燃气体检测报警装置,并定期组织安全演练。

4 应用案例与效果验证

国内某大型人造板企业一台25吨导热油炉系统,采用烷基苯型导热油,运行4年后闪点从新油的178℃异常降至75℃,其他指标尚在正常使用标准范围内,触发严重预警^[2]。经现场诊断,发现膨胀罐安装于15米高的屋顶,远超合理高度,且放空管管径偏小、存在积水弯,构成典型“死油区”与排气瓶颈。改造措施包括:第一,按规范更换并正确安装放空管,并在排气出口增设冷凝回收装置,对排出的低沸物进行收集处理;第二,采用高温辅助循环方案,增设一条DN25无缝碳钢辅助循环管线并安装阀门,从主循环高温段引出,并联接入膨胀罐顶部^[4]。在实施过程中,严格执行安全操作规程,在膨胀罐周边设置防火隔离区,配备专用灭火设施,确保操作安全。改造后严格执行分段升温工艺:依次在120-130℃运行24小时、150-160℃运行48小时、200-210℃运行72小时^[5]。实施效果显著:闪点在升温开始24小时内即回升至115℃,连续运行一个月后稳定于132℃,

一个季度后维持在135℃以上。该系统迄今已安全稳定运行超过两年,未再出现闪点异常下降情况,成功避免约90吨导热油的更换成本及相应停产损失,经济效益与安全性能显著提升^[3]。这一案例表明,系统优化与规范操作相结合,可有效恢复并长期维持导热油性能。

5 结语

本研究通过系统分析与工程实践,得出以下结论:烷基苯导热油闪点异常下降属于多因素耦合的系统性问题,根本原因在于热裂解产生的低沸点组分在系统内异常累积^[1];富集诱因主要包括两方面:高位膨胀罐因安装过高形成低温“死油区”,阻碍低沸物排出;系统初次煮油阶段因排气管路设计不规范,导致挥发物排气不充分,遗留初始隐患^[2,3];解决策略需系统化实施:首先确保放空管等基础配置严格符合《锅炉安全技术规程》(TSG 11-2020)要求;优先采用“高温辅助循环管线”技术以经济高效地消除“死油区”;仅当排气仍不畅通时,才考虑将氮气吹扫作为补充强化方案;对于在线减压蒸馏工艺,应认识到其适用范围有限,需具备相应资质且处理成本较高,一般作为特定情况下的备选方案^[4];在实施各项措施时,必须重视排放物的回收处理和安全防护工作,特别是膨胀罐排气时的防火防爆措施;有机热载体系统的设计、安装与验收必须严格遵循技术规程,推行“规范安装+预防性设计(如预设辅助循环接口)”理念,是实现系统长周期本质安全运行的必然趋势^[5]。

未来研究可进一步探讨不同系统配置(如管径、标高与流量)条件下低沸物生成与排出的动力学模型,并对氮气吹扫工艺参数进行精确优化,同时需要深入研究排气中挥发性有机物的回收处理技术以及系统安全防护的最佳实践,从而为系统优化设计与平稳运行提供更精准的理论依据与数据支持。此外,随着新材料与智能控制技术的发展,开发新型耐高温导热油及智能监控系统也将是重要方向。

参考文献

- [1] GB/T 24747-2023, 有机热载体安全技术条件[S].
- [2] 王国强, 张建峰. 有机热载体热稳定性与系统设计关系的研究[J]. 化工机械, 2019, 46(4): 12-16.
- [3] TSG 11-2020, 锅炉安全技术规程[S].
- [4] 赵明. 人造板热压机导热油系统常见故障分析及处理[J]. 中国人造板, 2021, 28(3): 23-26.
- [5] 孙德鹏. 导热油系统高位槽温度控制对油品寿命的影响[J]. 节能, 2022, 41(2): 67-70.

Study on risk assessment and optimization of underground pipe network leakage in old campus

Qingxiang Zheng

Qufu Normal University, Zoucheng, Shandong, 273165, China

Abstract

With urbanization and aging campus infrastructure, leakage issues in underground pipeline systems have become increasingly prominent, severely impacting campus operations and safety management. This study systematically examines structural characteristics and degradation mechanisms of aging campus pipelines, identifies key risk factors for leaks, and develops a multi-parameter coupled leakage risk assessment model. Through field investigations and empirical data, risk zoning and classification are implemented for typical campus pipelines. The research proposes optimized technical solutions including trenchless pipeline repair, intelligent monitoring, and precision renovation, with engineering case studies validating the feasibility and cost-effectiveness of these approaches. Results demonstrate that a multidimensional, full-process risk assessment and optimization system significantly enhances operational safety and service life of aging pipeline networks, providing theoretical foundations and technical support for campus underground infrastructure upgrades.

Keywords

aging campus; underground pipeline network; leakage risk assessment; trenchless repair; intelligent detection; renovation technology

老旧校园地下管网泄漏风险评估及优化改造技术研究

郑庆祥

曲阜师范大学, 中国 · 山东 邹城 273165

摘 要

随着城市化进程推进和校园建设年限增长, 老旧校园地下管网系统的泄漏问题日益突出, 严重影响校园正常运行与安全管理。本文系统梳理老旧校园地下管网的结构特征与常见劣化机制, 分析泄漏风险的主要影响因素, 构建基于多参数耦合的泄漏风险评估模型。结合现场调查与实际数据, 对典型校园地下管网进行风险分区与等级划分。针对现有问题, 提出管网非开挖修复、智能检测与精细化改造等优化技术路径, 并通过工程案例验证技术方案的适用性和经济性。研究结果显示, 多维度、全过程的风险评估与优化改造体系能够显著提升老旧管网系统的运行安全性和使用寿命, 为校园地下基础设施改造提供理论依据和技术支撑。

关键词

老旧校园; 地下管网; 泄漏风险评估; 非开挖修复; 智能检测; 改造技术

1 引言

在我国城市化和高等教育扩张的背景下, 大批建成于 20 世纪的校园基础设施面临老化、功能退化和运维压力加剧等挑战。地下管网作为校园供水、排水、供热和电气等多类系统的“生命线”, 其安全运行直接关系到校园师生活动的顺利开展和后勤管理的高效保障。长期运行过程中, 由于材料老化、接口变形、外力损伤和地质变化等多种因素叠加, 老旧地下管网极易发生渗漏、破裂和功能障碍, 带来水资源浪费、地面塌陷、环境污染及安全隐患。

传统管网维护手段多依赖人工巡检与“事后抢修”,

难以及时、精准发现隐蔽泄漏, 导致维修滞后、治理成本高昂, 甚至引发局部大面积失水和运行中断。随着智能检测技术和非开挖修复技术的发展, 地下管网运维理念逐步从“被动应急”向“主动预防”和“系统优化”转变。科学、系统地开展老旧校园地下管网泄漏风险评估与技术改造, 成为提升基础设施健康水平和管理现代化的核心课题。

本文围绕老旧校园地下管网系统, 分析其泄漏风险成因与演化机理, 构建多参数风险评估模型, 提出基于智能检测和非开挖修复的系统改造技术路线。通过典型案例验证研究方法的适用性和经济性, 为我国校园地下基础设施改造与管理提供可行性理论和技术支撑。

【作者简介】郑庆祥 (1973-), 男, 中国山东邹城人, 本科, 工程师, 从事建筑工程研究。

2 老旧校园地下管网泄漏风险成因与系统特征

2.1 管网结构老化与功能退化的影响

老旧校园地下管网多建于数十年前，管道所用材料随服役年限的增长出现力学性能衰减、耐腐蚀性下降等问题。长期高压输水和反复水力冲刷下，管壁逐渐变薄，局部出现点蚀、穿孔甚至断裂。部分管段因基础沉降、地质变形等因素导致接口错位和密封失效，形成隐蔽的渗漏通道。近年来，随着校园用水高峰期流量负荷增加，部分管道常处于超负荷运行状态，材料疲劳损伤和功能退化愈发严重。结构老化与功能衰减的交互作用，使管网泄漏隐患不断积累，为突发性大规模泄漏事件的发生埋下隐患。这种“慢病式”演化导致的管网失效，是校园基础设施维护和风险管控的难点与重点。

2.2 环境变化与外部扰动的致灾作用

校园地下管网埋设环境复杂，受地质条件、气候变化和人为活动等多重因素影响。市政道路施工、周边新建建筑基础施工及大规模景观绿化等工程，会对管道本体产生直接扰动或改变原有土体应力状态，诱发管道局部变形和裂隙扩展，显著提升泄漏风险。同时，地下水位的周期性波动、土壤胀缩和地面沉降等地质过程，易导致管网埋深和管道受力状况动态变化，增加泄漏点出现的不确定性。极端气候，特别是冬季严寒与地面冻胀效应，会加快老化管道的劣化速度，出现季节性渗漏高发的现象。上述环境与外部扰动的综合影响，极大增加了老旧管网的运维难度和泄漏灾害的不确定性。

2.3 运维管理与监测手段的局限性

老旧校园地下管网长期依赖人工巡检和定期试压等传统管理手段。受限于人员配置和技术条件，许多隐蔽性较强的早期泄漏难以及时发现，导致小规模渗漏演变为严重失水事故。现有运维体系自动化、信息化水平低，缺乏对管网运行状态的实时监控和早期预警能力，管理过程中对高风险管段和节点的识别依赖经验判断，资源投入难以精准匹配风险分布。此外，运维数据采集不连续、管理档案不完整，导致风险分级与科学决策困难，维修工作存在“被动响应、头痛医头”的弊端。这些管理和技术短板成为影响老旧校园地下管网安全高效运行与科学改造的瓶颈问题。

3 老旧校园地下管网泄漏风险评估模型构建

3.1 多参数耦合的风险评估理论基础

地下管网泄漏风险具有成因复杂、影响因素多样、致灾过程隐蔽等特点。传统风险评价方法往往侧重单一参数或经验判断，难以准确反映老旧校园地下管网的多源致灾机理。多参数耦合风险评估理论强调将管材类型、服役年限、埋设深度、接口状况、运行压力、周边环境以及历史维修等多维度数据进行集成，采用层次分析法、灰色关联分析与模

糊综合评价等方法，构建覆盖结构、环境、运行与管理全链条的风险评估模型。模型通过对各影响参数赋予科学权重并实现归一化处理，使得不同管段泄漏风险能够实现定量分级和空间分布辨识。

3.2 现场数据采集与风险分区方法

在风险评估实施过程中，全面、精准的数据采集是模型有效运行的前提。以典型老旧校园为对象，采用结构检测、非开挖摄像、漏水监听、地质雷达扫描等多种现代技术手段，系统获取管道的几何尺寸、埋深、裂损类型与分布、周边环境扰动、历史渗漏等核心参数。通过 GIS 空间叠加分析，将各类风险参数映射至校园空间布局，实现参数的地理化集成。结合风险评估模型，对不同管段进行风险等级划分，明确高危、次高危和一般风险区的空间位置与分布特征。这一分区方法为校园地下管网的改造工程制定差异化、分层次的技术决策提供了科学依据和数据支撑。

3.3 模型验证与典型案例分析

为验证多参数耦合风险评估模型的科学性与实用性，选取校园内历史泄漏高发区作为重点对象，结合实际泄漏案例与长期监测数据开展回归检验。模型输出的高风险区与实际泄漏事件空间分布高度吻合，识别率和分级精度明显优于传统方法。模型应用过程中，能够根据实时采集和管网运行变化，动态修正各参数权重，提高风险评估的灵活性与适应性。以此为基础，结合典型案例剖析，进一步分析模型分区结果与实际治理成效的关联性，有效指导了管网改造技术路径与资源优化配置，为老旧校园地下管网系统的高质量治理和科学升级提供了坚实决策基础。

4 老旧校园地下管网智能检测与非开挖修复技术

4.1 智能检测技术体系的构建

针对老旧校园地下管网隐蔽性强、结构复杂、缺乏完整原始资料等问题，单一的人工巡检与传统监测手段已难以胜任全生命周期健康管理需求。为此，构建以多元智能检测手段为核心的技术体系成为地下管网风险治理的关键。当前，声波检测能够实现对管道壁裂纹、孔洞等缺陷的无损识别，地质雷达对地下管道埋深、变形及周围环境异常具有高灵敏度，漏水监听设备可精准定位微小渗漏点，而内窥镜机器人则适合于管道内部的全方位可视化巡检。通过多种手段协同，显著提升了泄漏隐患识别的全面性和准确性。数据采集后，借助大数据平台与人工智能算法，可对历史运行数据和实时检测数据进行深度挖掘，建立泄漏异常识别和趋势预测模型，支持早期泄漏定位与风险预警。信息化管理平台将空间数据、运行状态与故障历史一体化管理，赋能管网系统的在线监测、自动报警和智能运维，为校园管网改造与全生命周期风险治理提供坚实的数据基础和决策支撑。

4.2 非开挖修复与局部加固技术

面对老旧管网埋设深、地表扰动大、空间环境受限等特点,大面积开挖修复不仅成本高昂,而且对校园环境、教学秩序影响极大。非开挖修复技术为地下管网高效、低扰动改造提供了理想解决方案。内衬法可通过新型管材在原有管道内部形成新的密封层,阻断渗漏通道;原位固化修复(CIPP)技术适用于结构性破损管段的整体加固与耐久性提升;局部树脂加固和喷涂衬里针对小范围损伤,实现快速修复和强化防护;管道拉管(pipe bursting)可替换严重损坏管段,极大提升整体承载力。这些非开挖技术具备施工周期短、对地表环境影响小、经济性突出的优势,适应老旧校园复杂管网的升级改造需求。其应用不仅有效提升了管网的耐久性和运行安全,也为全校日常运行和基础设施现代化升级提供了重要技术支撑。

4.3 工程实践与技术应用成效

在某典型高校老旧管网系统中,采用“智能检测+非开挖修复”集成技术,分阶段对供水、排水及热力等多类地下管网进行系统性治理。工程实践过程中,通过声波、雷达、内窥镜等多手段协同检测,实现了泄漏隐患的全覆盖和精准定位,大幅提升了早期异常发现率。结合风险分区与优先治理原则,对高危和损伤严重区段优先实施非开挖修复,缩短了维修周期,有效减少了对师生活动和校园秩序的干扰。项目实施后,管网修复效率提升30%以上,系统运行寿命平均延长15~20年,年均维修费用和事故发生率分别下降40%和60%以上。该集成方案不仅提升了老旧管网的可靠性、智能化和经济效益,也为高校基础设施健康管理 with 绿色可持续发展树立了典型示范,对全国同类工程具有重要的技术推广和应用价值。

5 地下管网改造优化与全生命周期管理策略

5.1 差异化改造与分级治理路径

针对老旧校园地下管网泄漏风险的空间分布和危害等级,实施差异化改造与分级治理是提升系统整体安全性与改造效益的关键。基于多参数风险评估结果,高危区优先采用管材更换、全段结构加固和非开挖修复等高强度综合治理措施,同时部署智能监测与实时预警系统,实现对重点隐患管段的动态掌控。次高危区聚焦于接口密封、局部管道修复以及环境整治,通过精准干预和资源合理配置,提高其局部抗风险能力和运行稳定性。一般风险区则以周期性维护、常规巡检为主,动态跟踪系统健康状态,确保管网全域处于可控运行状态。三类风险区的差异化治理实现了技术、资金和管理资源的科学分配,兼顾改造成效与成本控制,为校园给排水系统的长期稳定和安全运行奠定坚实基础。

5.2 全生命周期数字化管理平台建设

随着信息技术的发展,建设基于BIM和GIS一体化的地下管网数字化管理平台已成为现代校园基础设施管理的重要方向。平台集成管网结构参数、运行数据、历史检测和维修记录,形成系统化、可视化的全生命周期管理体系。通过风险预警、资源调度、自动化巡检和故障追溯等功能,极大提升了管理的科学性、响应速度和智能化水平。平台还能够对历史数据进行智能分析,实现管网健康状态的实时评价、潜在风险的动态识别和预警,支持精准决策和管理优化。

5.3 可持续发展与管理机制创新

实现老旧校园地下管网改造的可持续发展,需要技术创新与管理体制改革的双轮驱动。在技术路径上,积极推广绿色节能管材和智能调度系统,降低能耗和环境负担,提升系统运行的环境友好性和资源利用效率。管理机制上,注重风险评估、在线监测、应急响应与日常养护的全链条完善,形成校内多部门协同、社会资本参与的长效管理格局。通过政策激励与机制创新,吸引多元主体共同参与改造与运营,推动地下管网治理由“重建轻管”向“管建并重”“智能协同”“可持续运营”转型。上述措施将进一步保障校园地下管网的安全稳定与高效运行,为高校基础设施的绿色转型和智慧校园建设奠定坚实基础。

6 结语

老旧校园地下管网的泄漏风险评估与优化改造是提升校园基础设施安全与现代化水平的关键。多参数耦合风险模型和智能检测、非开挖修复等技术的集成应用,极大提升了隐患识别与治理效率。差异化改造、全生命周期管理和可持续发展战略,为校园管网系统的安全稳定运行和健康升级提供了系统性解决路径。未来,伴随数字化与智能化手段的不断创新,老旧校园地下管网改造必将走向更高水平,为高校绿色、智慧和安全校园建设提供有力支撑。

参考文献

- [1] 夏松林,陈慧,王德美,等.基于BIM的校园地下管网运维管理平台开发[J].烟台大学学报(自然科学与工程版),2021,34(04):499-504.
- [2] 黄陈,周雪峰.BIM技术在高校地下管网运维管理中的应用研究[J].常州信息职业技术学院学报,2018,17(04):27-29.
- [3] 郭兴根,刘帅,赵威.市政地下管网运维大数据预处理技术的研究与应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(28):211-213.
- [4] 王志明.南山“百校焕新”让老校园蝶变迎新[N].深圳特区报,2024-09-02(A01).
- [5] 黄振根,武勇,范砚婷,等.老旧校园绿地集水区优化对雨水排放与LID设施功能的影响——以石家庄铁道大学为例[J].中国园林,2024,40(06):84-90.

Application of side-hole seismic transmission wave detection method in effective pile length detection of existing pile foundations

Rong Zhang

Guangzhou Huantou Nansha Environmental Protection Energy Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, China 510300

Abstract

This paper focuses on the application of the borehole seismic transmission wave detection method in effectively detecting the pile length of existing pile foundations. First, it provides an overview of pile foundation detection methods, followed by a detailed introduction to the borehole seismic transmission wave method, covering key points such as load-bearing capacity detection, testing hole arrangement, and test pipe embedding, while indicating that this method can identify low-velocity defects. Through the analysis of practical application cases, it is found that performing detection and analysis using borehole seismic transmission waves requires prior understanding of the stratification of foundation soils and wave velocities. Signal analysis from on-site engineered pile testing shows that this method can not only determine the effective pile length of the pile to be tested but also assess pile integrity, accurately identifying the location, length, and severity of low-velocity defect segments, providing an effective technological means for quality detection in construction engineering pile foundation works.

Keywords

Borehole seismic transmission wave method; load-bearing capacity detection; testing hole arrangement; test pipe embedding; low-velocity defects.

旁孔地震透射波检测方法在既有桩基础有效桩长检测中的应用

张荣

广州环投南沙环保能源有限公司, 中国·广东 广州 510300

摘 要

本文聚焦旁孔地震透射波检测方法在既有桩基础有效桩长检测中的应用。首先概述桩基检测方法,接着详细介绍旁孔地震透射波法,涵盖承载力检测、测试孔布置、测试管埋设等要点,并指出该方法可识别低速缺陷。通过实际应用案例分析,发现进行旁孔地震透射波的检测分析需预先掌握地基土分层状况与波速。现场工程桩测试信号分析显示,该方法不仅能确定待检桩有效桩长,还可评价桩身完整性,精准给出桩身低速缺陷段的位置、长度及严重程度,为建筑工程桩基础施工质量检测提供了有效的技术手段。

关键词

旁孔地震透射波法;承载力检测;测试孔布置;测试管埋设;低速缺陷

1 桩基检测方法概述

桩基的主要功能是进行上部结构的荷载的传递,为此桩身要有足够的刚度、强度和稳定性,同时桩侧和桩底的岩土体也要能够提供足够的承载能力。桩基的质量检测同时包含承载力和完整性两方面的内容。桩身承载力检测包括单桩竖向抗压承载力、竖向抗拔承载力和水平承载力检测,桩身承载力检测主要通过静载试验完成,其中单桩竖向抗压承载

力还可以采用高应变法进行检测。桩身完整性检测主要通过低应变法、高应变法动测以及声波透射法和钻芯法等

桩基工程质量的好坏,关系着所支撑的建(构)筑物的安全。目前的各种桩基质量检测方法,因桩身信息识别困难,对既有工程桩的检测能力有限,对桩身质量缺陷一般较难以给出定量性的判断。在此背景下,旁孔地震透射波法作为一种相对成熟的方法,已由住房和城乡建设部发布了现行标准规范《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7-2017),并在建筑检测行业内有大量的成功应用,检测结果可信度高。

【作者简介】张荣(1971-),中国广东梅州人,本科,工程师,从事电力工程管理研究。

2 旁孔地震透射波法检测方法介绍

旁孔地震透射波法,通过专用的检测仪及对应的采集传感器、数据分析软件形成一整套检测系统,可进行桩的旁孔地震透射波和地基波速的下孔法测试分析。通过检测仪收集声波传感器接收敲打桩身时发出的地震波信号,储存在数据盘内,通过后台分析软件系统进行分析桩身质量缺陷,此方法稳定、检测方便,具有良好的技术效果和可靠性。

2.1 基本原理

旁孔地震透射波法在与桩头相连的混凝土结构实体(承台、上部结构)激震,所激发的应力波传至桩顶,并沿着桩身向下传播并透射于桩侧岩土中,利用桩侧钻孔接收透射波,分析其运动学特征和动力学特征,判断是否有桩基础、检测桩长及桩身缺陷,评价桩身完整性。其工作原理如图1所示。运动学特征和动力学特征包括波速特征、波幅特征等。透射波沿着桩身向下传播过程中,在桩身缺陷和桩底出现反射,也会透射到桩侧岩土中。当建筑物采用浅基础时,桩下无桩,在承台、上部结构激震,所激发的透射波传至浅基础底面,透射于岩土层中,利用旁侧钻孔接收透射波,分析其运动学特征和动力学特征,可测定基础底面埋深。

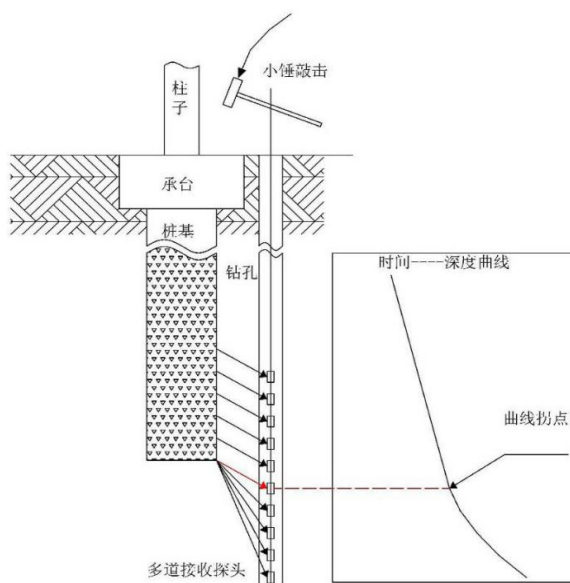


图1. 旁孔地震透射波法工作原理示意图

2.2 测试孔布置

图1中所示,检测的测试孔宜设置在距基桩外侧边缘不大于1.0m的土中,并且测试孔中心线应平行于桩身中心线,即测试孔与受检桩之间的水平距离沿桩的纵向保持不变;测试孔宜采用液压操纵的钻机打设,并配置适宜的水泵、扶正稳定器的钻具,钻头外径宜不小于100mm;测试孔深度宜达到受检桩设计桩底标高以下5m,垂直度偏差不应大于0.5%。

2.3 测试管埋设

测试管内径应大于井中检波器外径;测试管应有足够

的刚度,宜采用内径不小于50mm的专用测斜管;测试管导槽方向应对准受检桩的桩身轴线,下端封闭,上端加盖,管内无异物,测试管连接处应光滑过渡,管口高出地面(或水面)不宜小于500mm;测试管与孔壁之间应回填密实;测试前管内应注满清水;当测试孔深度大于30m时,应进行垂直度测量,测量误差不应大于0.01°;每个测试孔在成孔过程中,应按常规的勘察要求,进行初见水位测量、岩性分层描述,下入测试管前测量稳定水位,形成工程地质柱状图,并且要求岩芯装箱拍照。

2.4 现场检测:

传感器应放至测试管底部,从下往上测试;应在桩顶或承台面激发信号;测点间距不应大于500mm,桩底部位宜适当加密,间距不宜大于200mm;在全孔采样中应每10个记录点观察一次各道波列,如发现初至时间后延点,测点距应适当加密。

2.5 影响旁孔地震透射波的地质因素

运用旁孔地震透射波检测桩端深度及桩身完整性时,所依据的主要是基桩旁孔内首至透射波传导时间和深度关系(以下简称“时深关系”)的变化。桩身中存在的低速缺陷段及断裂、扩颈、缩径、扩底等桩身材料及截面尺寸的变化,会影响旁孔内首至透射波的传播路径与传导时间,继而导致旁孔透射波的时深关系图中出现转折变化。除此之外,天然土层的孔隙率饱和度、频率、渗透系数及含气量等因素会对透射波在其中的传播速度产生影响,反应在物理力学性质不同的土层内透射波的首至时间将有相对增加或减小的变化。因此,待检桩的旁孔内首至透射波时深关系,不仅与桩身的材料参数和截面尺寸有关,还与桩侧及桩端以下土体的分层性质有关。因此,在运用旁孔地震透射波对深度地基中的桩进行质量检测时,有必要预先了解地基土的分层情况及波在其中的传播速度,为辨识引起旁孔内首至波时深关系变化的主要因素提供判据,从而可提高桩长和桩身完整性检测分析结果的可靠性。

2.6 检测数据分析与判定

依据现场所收集的各类信息,需要检测受检桩的桩底埋深 H_p ,按规范《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7-2017)中的公式进行判定:

$$H_p = \begin{cases} H_g & (D_x < 1m) \\ H_g - \frac{D_x \cdot V_c}{\sqrt{V_m^2 - V_c^2}} & (D_x > 1m) \end{cases}$$

式中:

H_g ——首波到达时间—深度曲线拐点对应的深度(m);

D_x ——桩顶在桩端平面投影位置与测试孔之间的水平距离(m);

V_m ——桩身混凝土的纵波波速(m/s);

V_c ——桩端土的平均纵波波速 (m/s), 宜根据现场土层波速测试结果确定。

3 旁孔地震透射波法的实际应用案例

以下举例一个项目中, 采用旁孔地震透射波法抽检该项目管桩, 检测工程桩桩长的实例应用。该项目位于广州市南沙区的某厂区, 已投产多年, 南沙区为深厚软土地质, 地下淤泥层厚度平均达到 37 米, 淤泥层要固结硬化时间较长。厂内有一个正在使用中的油罐罐体, 其基础为圆形桩承台基础, 基础直径 22m, 厚度 1m, 混凝土强度等级为 C40。桩基为桩径 $\Phi 600$, 壁厚 130, 桩身混凝土强度设计等级为 C80 的高强预应力混凝土管桩, 桩端持力层为强风化花岗岩, 设计桩长 40m, 施工记录工程桩有效桩长为 39.7 米。

在生产运行中该基础出现下沉开裂现象, 经检查发现在基础一侧有一块表面已发生裂纹, 经现场拆除罐体外围护板后, 发现罐底与基础表面已发生分离, 间隙有 100-120mm。为保证安全运行, 有必要对基础进行永久性的加固处理, 为给基础加固设计提供有效桩长的资料, 建设单位委托有关检测单位采用旁孔地震透射波法对此桩基础进行既有建筑桩基础的有效桩长进行检测, 判定该桩的有效长度是否达到桩端持力层要求。

检测过程通过对该桩透射波原始记录的首至波初至时间计算, 分析判定透射波首至波初至时间的拐点埋深, 再分别比较此埋深以上桩身段和以下土层段的透射波速度; 测量桩 - 孔测试水平距离与竖向距离; 按依据《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7-2017), 结合钻孔所揭露的地质条件, 推算该工程桩有效桩长, 为判定工程桩的施工质量提供了有利证据。

下面以受检桩 (编号 18-58#) 的检测波形 (图 2 单孔地震透射波法波列图) 进行简述。通过对该桩地震原始记录的直达波初至时间计算, 地震直达波初至时间拐点位于埋

深 42.4m, 以上桩身段视速度 4554m/s, 以下土层段视速度 1689m/s。桩 - 孔测试水平距离 0.20m, 桩孔测试竖向距离 0.80m, 按平移法进行桩底深度校正, 通过软件分析推算出该管桩长度为 41.3m。

18-58#管桩 (YK-8 孔):

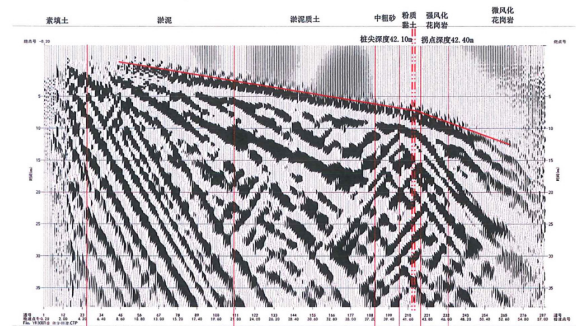


图 2. 单孔地震透射波法波列图

4 结语

旁孔地震透射波的检测分析需要预先了解地基土的分层状况及其波速, 现场工程桩的测试信号分析结果表明, 旁孔地震透射波不仅能够用于确定待检桩的有效桩长, 也可用于桩身完整性评价, 能够给出桩身低速缺陷段的位置、长度及缺陷的严重程度, 为建设工程桩基础施工质量检测提供有效的检测手段。

参考文献

- [1] 胡明鉴, 郭强, 汪劲伟. PSPT旁孔透射法在桩基无损检测中的试验研究 [J]. 岩土力学, 2023, 44(S1):1-10.
- [2] 赵志峰, 魏迎奇, 蔡红. 地震波跨孔透射法检测既有桩基桩长的关键技术分析[J]. 水利水电技术, 2021, (51):180-186.
- [3] 刘伟, 陈国兴, 朱升冬. 基于旁孔透射波法的既有桥梁桩基长度检测研究[J]. 地震工程与工程振动, 2021, (41):198-206.

Research on construction management of intelligent engineering for urban-rural water supply integration

Shixian Tan

Lichuan Yishui Water Development Co., Ltd., Lichuan, Hubei, China 445400

Abstract

With rapid socioeconomic development, heightened environmental awareness, and continuous technological advancements, integrated smart water supply systems are playing an increasingly vital role in optimizing resource allocation, enhancing service quality, and addressing urban-rural disparities. China's current water infrastructure still faces challenges including outdated rural facilities, high pipeline leakage rates, fragmented management frameworks, and insufficient data coordination. The deep integration of smart technologies provides effective solutions for comprehensive control throughout construction and operation phases. This study focuses on core aspects of engineering management, exploring strategies for building digital platforms, innovating management systems, improving investment mechanisms, facilitating data sharing, and strengthening operational oversight. By analyzing practical implementation patterns, it forecasts future trends to support quality enhancement and efficiency improvement in water supply projects, ultimately driving high-quality development in the sector.

Keywords

urban and rural water supply integration; smart engineering; construction management

城乡供水一体化智慧工程施工管理研究

谭诗献

利川夷水水务发展有限公司, 中国 · 湖北 利川 445400

摘 要

随着社会经济的快速发展、生态环境保护意识的增强以及智慧技术的迭代升级, 城乡供水一体化智慧工程项目在保障水资源合理利用、提高供水服务质量、破解城乡供水发展失衡问题中发挥着愈发关键的作用。当前我国城乡供水领域仍面临农村设施落后、管网漏损率高、管理体系分割、数据协同不足等现实难题, 而智慧技术的深度融入为施工与运营全流程管控提供了有效路径。城乡供水一体化旨在通过整合城乡供水系统, 依托信息化手段实现水资源的统一规划、建设和管理, 打破城乡二元结构, 确保城乡居民享受同等质量的供水服务。本文聚焦工程施工管理核心环节, 全面探讨信息化平台构建、管理体系创新、投资机制完善、数据共享衔接、运营监管强化等发展策略, 并结合实践逻辑对未来发展趋势进行展望, 为提升工程实施质量与效率、推动供水事业高质量发展提供支撑。

关键词

城乡供水一体化; 智慧工程; 施工管理

1 引言

饮水安全问题十分重要, 直接关系到人们的身体健康和生命安全, 是民生保障的底线所在; 而水资源作为社会稳定与经济发展的基础性战略资源, 其配置效率与利用质量直接影响区域发展的可持续性。当前我国城乡供水领域存在显著差异: 农村地区多依赖小型水厂供水, 部分水厂原水质量不佳、制水技术落后, 且供水管网配套不足, 导致供水水质与压力难以保障; 城市供水系统虽相对完善, 却未能与农村形成资源联动。因此, 高质量建设城乡供水一体化十分有必要。

城乡供水一体化建设是指将城市和农村的供水管网进行整合、延伸和升级, 以“大水源、大水厂、大管网”方式实现城乡供水资源的共享和优化配置。具体而言, 其会关闭小型落后农村水厂并改造为加压泵站, 解决输水压力不足问题, 同时扩大水源设施规模、升级水厂工艺。这种供水方式能从根本上改善农村地区供水条件, 提高农村居民生活质量, 更能打破城乡供水分割格局, 促进城乡统筹协调发展, 为智慧水务建设奠定基础, 全面推动社会经济的可持续和高质量发展。

2 城乡供水一体化内容

城乡供水一体化建设运营涉及供水基础设施整合、管网升级、供水设备更新换代、引入智能化管理系统以及共享利用水资源等多个关键环节。这一举措旨在消除传统城市供

【作者简介】谭诗献(1983-), 男, 土家族, 中国湖北恩施人, 本科, 工程师, 从事工程管理研究。

水与农村供水之间的差异，确保整个区域内居民都能享受到同等的供水服务。根据调研，当前我国城乡供水一体化建设主要是在城市、农村原有供水设施的基础上进行改造和升级。这一建设过程大致分为以下3个阶段。调整服务范围和水厂规模。关闭原水质量不佳或制水技术落后的小型农村水厂，并将其改造成中途加压泵站，以解决因供水管道过长导致的供水压力不足问题，并在泵站的集水井或清水池进水管上增设二次加氯设施，确保下游供水水质的稳定。同时，扩大主要水源的取水和输水设施规模，新建或扩建水厂，以提升供水能力和提高水质^[1]。优化性能。提升供水质量和服务水平，对水厂工艺进行优化升级，以确保管网末梢水满足饮用水水质标准，根据用户水量和水压需求，调整泵站的性能和调度策略。此外，为控制水量漏损，需对管网进行改造，实施分区计量和分区设压，并安装智能水表等先进设备，实现数据的实时传输和监控。建立长效运营管理机制。推动智慧水务的发展，通过建立供水大数据平台，实现供水系统的实时调查更新和运行调度。这有助于提高供水系统的运营效率和管理水平，确保供水服务的持续稳定和安全可靠^[1]。

3 城乡供水一体化工程发展策略

3.1 开发信息化技术系统管理平台

在信息化技术系统管理平台构建中，应认识和理解其具体内涵，以便在实践中给予科学应用。信息化技术系统管理平台的开发需要从多方面考虑。首先，掌握需求与系统设计。明确供水工程施工管理的具体需求，包括项目规划、设计、施工、质量控制、进度管理等方面的需求。与利益相关者进行沟通，了解他们的期望和需求。根据需求分析结果，设计信息化技术系统管理平台整体架构和功能模块，确定系统的数据流程、用户界面和交互方式，确保系统能够满足实际管理需求。其次，注重技术选型与开发^[2]。根据系统设计需求选择适合的信息化技术和软件工具，例如计算机辅助设计（CAD）软件、建筑信息模型（BIM）工具、项目管理软件等，确保选用的技术和工具能够支持系统功能需求。同时，根据系统设计和技术选型进行系统开发工作，包括数据库设计、程序编写、界面设计等，在开发过程中应注重代码质量、系统性能和安全性。最后，系统部署与改进。在实际的供水工程施工管理中部署并进行培训和推广，确保用户能够熟练使用系统，并享受到信息化技术带来的便利和效益，并根据用户反馈和实际使用情况，持续改进和升级系统，适应不断变化的管理需求和技术发展^[2]。

3.2 创新管理体系

城乡供水一体化管理体制的创新是实现城乡供水一体化目标的重要保障，更是破解传统管理模式与一体化发展适配性不足问题的核心路径。传统的供水管理体制存在显著弊端：城乡分割导致城市与农村供水在规划、建设、标准上各自为战，农村地区常因管理资源不足出现设施维护滞后、水

质管控薄弱等问题；部门壁垒则使得水利、住建等相关职能部门协调不畅，易出现管网衔接断层、数据共享受阻等情况，严重制约一体化推进效能，难以适应全域统筹的发展需要。

因此，需要打破传统的管理体制束缚，建立统一、协调、高效的城乡供水管理体制。具体而言，应建立跨部门的城乡供水一体化管理机构，整合原分属各部门的供水规划、水质监管、设施运维等职能，明确其在水源统筹、管网布局、智慧系统建设等方面的权责，实现城乡供水事务“统一决策、统一调度”。应引入市场竞争机制，通过特许经营、项目合作等方式鼓励供水企业参与，尤其支持具备智慧管理能力的企业投入建设，以竞争倒逼服务质量升级与运营效率提升。还应加强供水行业的监管和评估，建立“日常监测+定期考核”机制，将水质达标率、管网漏损控制等指标纳入评估，结果与企业运营资格挂钩，确保供水服务符合标准要求。

3.3 加大投资力度

在完善相关设施方面，应当增加资金投入。首先，政府可以增加对城乡供水一体化设施建设的资金投入，通过政策引导、社会资本引入等方式，吸引更多资金投入设施建设^[3]。其次，重视技术水平的提高，加大技术研发和引进的投资力度，提高城乡供水一体化设施建设的技术水平，推动设施建设的升级和改造。再次，逐步完善管理体系，建立健全的水资源管理体系，加强水质监测和供水调度，确保城乡供水一体化设施的稳定运行和供水安全。最后，加强农村地区基础设施建设，增加对农村地区基础设施的资金投入，改善农村地区的道路、电力、通信等条件，为城乡供水一体化设施在农村地区的建设提供更好条件。

3.4 以数据共享衔接各专业管理

施工企业实现内部各专业、各职能的高效协作核心是形成经营到生产、项目方案到交付以及项目成本管控三条线的端到端贯通，其实现的关键是各环节的数据共享。传统管理模式，经营、生产、成本等部门常因数据标准不一、传递滞后形成“信息孤岛”，如投标阶段的客户需求数据无法精准同步至施工环节，易导致方案与实际需求脱节；成本核算依赖人工汇总数据，往往滞后于施工进度，难以实现动态管控，而数据共享正是打破这一壁垒的核心抓手。

应用客户主数据衔接商机投标与履约回款过程，其中涵盖用户用水规模、水质要求、缴费周期等核心信息，从投标阶段的需求研判到施工中的方案调整，再到竣工后的履约回款，实现经营到生产的全流程数据贯通；以项目主数据为主线，整合 BIM 模型参数、施工工艺标准、进度节点计划等关键数据，拉通方案到计划、进度到产值、施工到验收、需求到报耗、辨识到治理的全链条，实现项目方案到交付的无缝衔接；依托财务主数据，包含企业定额标准、合同金额、支付节点等信息，以业财融合为基础，打通项目预算、计划、合同、结算、核算、付款、分析全过程，实现项目成本管控的贯通。

以成本管控为例,在计划阶段,以企业定额为基础拟定施工图预算和施工预算,兼顾施工预算与招标采购衔接,结合智慧水表、管网监测终端等设备采购需求细化预算子目,并按单位工程和施工期间进行施工预算分解;在控制阶段,将施工预算与过程合同结算控制衔接,通过数据中台实时同步材料进场量、消耗量与结算数据,对照施工图预算与施工预算差异,依托统一招标采购平台管控各单位、各期间的管材、设备等材料费用;在分析阶段,综合实际产值、计划成本、损耗遗失、结算价格、企业定额等多种数据,统一业务与财务核算口径,通过业财数据转化生成成本偏差报告,明确损耗超标、工期延误等影响因素,形成项目成本的闭环管控。

3.5 运营与监管

城乡供水一体化运营与监管是确保智慧供水系统高效运行和供水服务质量的核心支撑,其效能直接关系到城乡居民的用水体验与水资源利用效率。相较于传统供水模式,智慧化背景下的运营与监管更强调数据驱动与全流程协同,传统“粗放式运营、阶段性监管”的模式已难以适配一体化系统的复杂需求[5]。

在运营方面,应建立科学的运营管理机制,结合智慧技术实现精准化运维,确保供水系统按照规定的标准和要求稳定运行[5]。具体而言,需基于供水大数据平台制定差异化运营计划与操作规程:针对城市核心区管网密集、用水量大的特点,重点强化压力动态调节与泄漏智能预警;针对农村区域管网分散、运维半径大的情况,建立“片区网格化+移动运维”模式,配备智能巡检终端实现故障快速定位。同时,加强供水设施的智慧化维护,通过设备运行数据预判老化趋势,对水厂滤池、中途泵站等关键设施实施预防性维护,降低突发故障概率。此外,还应加强供水服务的优化和创新,搭建线上服务平台整合缴费、报修、咨询等功能,通过用户用水数据画像精准匹配需求,如针对老旧小区提供水质上门检测服务,提升供水服务的质量和效率。

在监管方面,应建立“政府主导、第三方评估、公众监督”

的多元监管体系,对供水企业进行全维度严格监管和评估。政府监管部门依托智慧监测平台实时调取水质、水压、漏损率等核心数据,替代传统人工抽查,实现“动态预警、精准执法”;引入第三方专业机构每季度开展运营质量评估,重点核查智慧系统运维有效性与服务规范落实情况;畅通公众监督渠道,通过APP公示水质检测结果与故障处理进度,将用户满意度纳入企业考核核心指标,考核结果与特许经营资格、补贴发放直接挂钩,倒逼企业规范服务。

4 结语

在乡村振兴战略背景下,城乡供水一体化建设是“民生为本”理念的关键实践,更是夯实乡村现代化根基、提高农村居民生活质量的核心支撑。作为破解城乡供水二元结构的重要举措,其绝非简单的设施延伸,而是对城市和农村供水系统进行统一规划、建设和管理的系统性工程,需依托智慧化施工管理与全流程管控,实现水源统筹、水厂升级、管网联通的协同联动。这一建设过程不仅旨在打破资源分割壁垒,实现城乡水资源的共享和优化配置,更能通过水质在线监测、智能运维等技术应用,从根源上提高农村地区的供水保障水平。同时,它推动城乡公共服务向均等化迈进,让农村居民享受到与城市同质的供水服务,进而为乡村产业发展、生态宜居建设注入动力,最终深刻助力城乡协调发展,为乡村振兴战略的落地见效筑牢民生基石。

参考文献

- [1] 罗惠云,张宁.城乡供水一体化工程技术要点及案例分析[J].中国给水排水,2020,36(22):72-76.
- [2] 许峰.县域城乡供水一体化建设的思路[J].住宅与房地产,2020,(21):268.
- [3] 钟佳蕊.城乡供水一体化发展战略模式探讨[J].住宅与房地产,2020,(12):253.
- [4] 张海蓉,黄锋,张海峰.农村饮水城乡供水一体化思路探讨[J].治淮,2020,(03):66-68.
- [5] 黄晓芬.城乡供水一体化建设与管理思考[J].现代经济信息,2020,(05):5-6.

Study on the Development Approaches of Railway Logistics Modernization and Intelligentization

Yutian Jin

Hunan Institute of Technology, Baotou, Inner Mongolia, 014000, China

Abstract

Against the strategic backdrop of China's national railway advancing the transformation of freight transportation to modern logistics, this paper systematically studies the practical paths for the intelligent development of railway end-to-end logistics in the context of supply chain development. The research sorts out the basic advantages of the current railway logistics system; in response to market changes characterized by stable demand for traditional bulk cargo transportation and rapid growth in "white goods" (high-value, diversified small-batch goods) transportation, the paper proposes a transformation plan with intelligent technology as the core driving force. By introducing cutting-edge technologies such as the Internet of Things (IoT), big data analytics, and artificial intelligence (AI), a railway intelligent logistics platform is built to realize the optimal allocation of transportation resources and full-process visualized management and control. The research particularly emphasizes technological breakthroughs in key links such as end-to-end logistics, intelligent collaboration of multimodal transportation, and efficient connection of the "truck-to-rail" shift, and discusses policy support and market demand.

Keywords

Logistics System; Transportation Resources; Optimal Allocation

铁路物流现代化智能化发展途径研究

金雨田

湖南工学院, 中国·内蒙古 包头 014000

摘 要

本文基于国家铁路推进货运向现代物流转型的战略背景, 系统研究了供应链发展下铁路全程物流向智能化发展的现实路径。研究梳理了当前铁路物流体系的基础优势, 面对传统大宗货物运输需求稳定, 而白货运输快速增长的市场变化, 文章提出了以智能化技术为核心驱动力的转型方案, 通过引入物联网、大数据分析和人工智能等前沿技术, 构建铁路智能物流平台, 实现运输资源的优化配置和全流程可视化管控。研究特别强调全程物流、多式联运智能化协同、“公转铁”高效衔接等关键环节的技术突破, 并探讨了政策支持与市场需求。

关键词

物流体系; 运输资源; 优化配置

1 引言

当前我国经济结构调整推动物流行业向现代化、智能化转型。习近平总书记指出物流效率对实体经济发展具有战略意义, 历次中央经济会议提出降低全社会物流成本的指导意见, 这些指导意见和国家各项政策的陆续出台, 为铁路货运向物流公司转型提供强有力地支持。铁路货运系统拥有 11 万公里路网、百万辆货车及完备物流基地, 具备转型基础条件。市场方面, 大宗货物运输需求稳定而白货运输快速增长, 《国铁集团“十四五”规划》发展目标中提出: 2025 年, 全路货物发送量完成 40 亿吨, 较 2020 年增加 4.2 亿吨、

增长 11.7%, 其中, 集装箱发送量 8.0 亿吨、占货物发送量比重达到 20%, 较 2020 年增加 3.4 亿吨、提高 7.2 个百分点, 集装箱铁水联运量实现年均 15% 的增长, 中欧班列开行数量较 2020 年增加 0.31 万列、增长 25%。这些变化既带来挑战也创造机遇, 要求铁路通过现代化、智能化手段提升货物运输服务质量和运营效率, 构建起较为全面的现代物流体系, 实现铁路货运的智能化升级。

2 铁路物流发展的规模优势与挑战

2.1 路网规模结构持续优化后, 发展环境建设成为重点

截至 2024 年底, 全国铁路营业里程达 16.2 万公里 (其中高铁 5.3 万公里), 普速铁路网覆盖全国 99% 的县级行政区。铁路货运专用线、港口集疏运铁路 (如“公转铁”重

【作者简介】金雨田 (2003-), 女, 本科, 从事物流管理研究。

点项目的港口专用线)加速建设,2024年全国铁路专用线2.1万条,较2020年增长35%,有效衔接了港口、产业园区等物流节点。挑战来源于发展环境持续优化,运输需求持续增长,与铁路物流基础设施的运输能力不均衡难以满足需求。铁路网络在东部发达地区密度高,如长三角每万平方公里铁路里程380公里,但在中西部偏远地区(如西藏、新疆)仍不足,加快西煤东运、疆煤外运通道扩能以及建设多式联运枢纽是应对这一挑战的关键策略。区域与城乡覆盖不均衡农村地区铁路货运站点覆盖率仅65%(公路达98%),制约了农产品上行与工业品下行的双向流通。通过实施均衡发展,可以有效提升铁路物流的运输能力和效率,降低物流成本,促进区域经济的协调发展,为铁路智能化发展奠定坚实的基础。

2.2 大宗物资与干线运输主力地位稳固,需打通断点匹配末端配送能力

铁路物流凭借低能耗、大运量、长距离稳定性的核心优势,在现代物流体系中占据战略地位,同时在新兴领域加速拓展。目前,铁路承担了全国70%以上的煤炭、矿石、粮食等大宗货物运输,2024年铁路货运量达50.6亿吨(同比增长4.2%),其中煤炭运量占比达52%。800公里中长距离运输优势明显,铁路能耗仅为公路的1/3、航空的1/20,符合“双碳”目标下的绿色物流需求,但与公路、水运、航空的衔接仍存在“断点”,造成多式联运衔接不畅、运到时限延长等多项问题接踵而来;铁路货场或与第三方物流的合作深度不足,普遍缺乏自有配送车队,导致发到铁路站经常二次短驳,平均短驳成本占比达15%-20%。

2.3 政策支持运输流通体系强化,铁路物流企业要专注体制机制完善

国家《“十四五”现代物流发展规划》《“十四五”铁路发展规划》明确将铁路物流作为多式联运核心载体,提出“到2025年铁路货运量占全社会货运量比重提升至12%”;地方政府通过补贴、税收优惠等推动“公转铁”项目,如河北省给予政策支持2024年铁路货运量同比增长9.8%。目前国铁主导的多式联运枢纽加速布局,中欧班列(成渝)枢纽、西安国际陆港、宁波舟山港铁路无水港等示范项目落地,实现了“一次报关、一次查验、全程贯通”;2024年全国港口铁路集疏运量占比提升至8.5%,但与发达国家(如美国30%、德国25%)仍有差距。尽管铁路物流基础扎实、优势显著,但其转型过程中仍面临体制灵活性不足、服务链条不完整、协同效率偏低等问题,制约其与现代物流企业需求的深度匹配,如面对大宗商品交易对运输市场价格影响反应不够敏感调整周期较长,和资本运作模式单一等问题,难以适配智能化发展对动态调整、多元投入的需求;同时,存在响应速度、客户需求适配性上存在差距,如对于中小制造企业的“小批量、多批次”运输需求,铁路物流仍保持整车

运输,难以提供灵活的拼箱、分拨服务。

2.4 铁路运输智慧化升级初见成效,物流智能化发展任重道远

铁路部门推动“数字铁路”建设,智能调度系统(如CTC/TDCS)覆盖率超95%,铁路货运生产作业与管控平台加速推广,货票电子化率达100%,实现了物流全流程可视化;部分枢纽试点“无人仓+AGV分拣”(如郑州圃田铁路物流园),装卸效率提升30%;5G+北斗定位技术在货车追踪中应用,定位精度达米级,货损率下降至0.1%以下。面对第四次工业革命,铁路物流智能化发展迫在眉睫,需要尽快打破由于行业壁垒、管理差异及技术标准不统一产生的数据孤岛,要通过技术赋能,消除铁路系统内部数据割裂,跨领域数据衔接不畅,数据价值难以释放等问题,通过统一数据标准、建立共享机制,构建物流全链条的协同效率与可持续性,构建智能化信息体系、规范价格机制、优化成本收入结构、强化运力支撑等策略,既能解决当前实践中的痛点,释放数据的价值,又能提升铁路运输的效率与服务质量,带动整个物流体系的智能化升级,为铁路为现代物流体系建设提供坚实支撑。

3 铁路货运向现代物流企业转型的路径分析

3.1 营销服务功能拓展

一是面对铁路物流总包模式的快速发展,可以整合资源提升物流品牌效应,定制化班列满足企业特定需求,从“站到站”到“门到门”服务升级,要覆盖大宗物资、冷链、汽车等高附加值品类,从而提升全程效率,降低企业成本,整合资源保障运力,加速货物流通,实现从运输向供应链服务转型。二是国际供应链整合是依托国际铁路通道拓展市场,创新国际运输模式提高效率,加强国际物流节点合作。三是中欧班列要从已覆盖的欧洲36国进一步扩展,进一步提升中亚铁路跨境货运量。四是完善铁路主导的“铁路+金融”模式,为更多企业提供“运费贷”为供应链融资,助力产业链稳定。

3.2 组织架构改革

在国铁物流事业部成立的基础上,完善资源整合与市场化经营有助于打破区域壁垒,实现集约化管理,引入市场化机制,激活经营活力,以长三角为例,将7家货运中心整合为5家省级铁路物流中心(如上海、南京等),对标现代物流企业机制,实行“资源统一配置、市场统一开发”,推动铁路货运业务从坐商转向行商。人才战略转型,引入市场化人才激励机制,培养复合型物流人才,设立国铁物流数字化培训中心,引进数据分析、供应链管理人才,推动员工从运输操作向综合物流服务转型。国铁集团加大与高校联合办学,开设铁路方向的“物流管理”专业班,培养熟悉铁路技术与具有现代物流知识的复合型人才,加大本科以上的物流人才的引进力度,提升人才储备。

3.3 技术赋能升级

提升智能装备在铁路货运中的广泛应用,提高作业效率与质量,降低人力成本和安全风险。推广 50 英尺大容积集装箱、顶开门粮食箱等专用箱,提升载货量;物流园引进智能龙门吊,可减少人工干预,货物损坏率和操作失误率可大幅降低,装卸效率可提升 40%,安全性显著提高。数字孪生技术通过构建与物流实体相对应的虚拟模型,实现对铁路货运系统的实时监测、模拟和优化。加快搭建场站货运生产作业与管控平台,通过大数据预测仓储需求,可提高库存周转率。

4 铁路物流智能化发展途径与展望

4.1 数字化与智能化驱动

将物联网与 AI 融合,可以提高运输效率,优化调度管理,强化安全保障。基于人工智能的预测性维护通过评估列车及其基础设施的实时数据来预测和压缩货物运到时限,减少自然灾害、设备故障和维修对运输的影响,保证列车准点运行。铁路货运公司通过物联网传感器实时监控货物状态(温湿度、位置),结合 AI 预测运输风险,避免运输超时和货损,有效提升仓储利用率。

4.2 构建“智慧服务平台”

依托“95306”服务平台实施数字化改造运营,建设成为智慧服务平台,整合物流资源,提升服务功能,创新多种运输模式,提高营销、服务、运营管理水平;国铁加快培育快运物流平台,以铁路快运班列网络为支撑,集成订单处理、全程追踪、金融支付等功能,实现多式联运“一单制”,减少中间环节,有效衔接铁公联运,吸引社会运力和司机入驻,推进集配业务社会化、价格市场化,降低了全社会全程物流成本。

4.3 多式联运与供应链智能化整合

在外运通道扩能以及多式联运枢纽提质建设基础上,打通不同运输方式间物流信息共享,实现订单、运单、舱单信息自动传递,如铁路货运系统(如 TMIS)与公路物流平台(如满帮、运满满)、港口 EDI 系统接口,达到协同高效。发挥铁水联运作为多式联运的重要形式,建立发货端计划申报到装车、到港口垛位和船期的自动匹配,从而使信息交流在提升运输效率、降低物流成本等方面发挥着关键作用,为铁路大宗货物运输带来了新的发展机遇,使全链条服务能力提升,有利于铁路货运在运输效率、成本控制、市场拓展和服务质量等方面取得成效。

4.4 建设铁路供应链智能化服务新模式

构建全流程自动化的一体化供应链网络,基于物联网

的智能配送设备实时采集货运数据,引入自动驾驶送货车、AGV、智能分拣机器人及无人机末端配送系统,能有效突破“最后一公里”配送瓶颈。开发智能运费分期、电子仓单质押等智慧金融产品,形成数字化信用评估模型,有助于缓解中小企业现金流压力,通过强化铁路在智能多式联运中的枢纽地位,推动智慧物流与数字金融的深度融合,实现现代供应链提供更稳定、高效、普惠的智能化服务方案。

5 结语

铁路物流公司向现代化、智能化演进,不仅是运输质量的升级,更是从“动脉血管”到“神经中枢”的角色蜕变。通过未来“机制+技术+智能”的驱动,铁路物流总包模式、数字平台生态、全球网络布局三大支点,铁路将重塑为供应链的组织者与赋能者。2025 年铁路货运量增速 3.6%,且高附加值货物占比提升至 35%,印证了现代化、智能化物流方向的优势。

参考文献

- [1] 特约撰稿人.铁路新质生产力跃升在于加快现代物流体系建设.《物流时代周刊》.2024.4
- [2] 赵煜.构建适应新时代物流需求的铁路货运集中办理体系.2024.7
- [3] 国铁集团货运部.2025年货运工作要点.北京:2025
- [4] 瓷矿物流科技有限公司.基于现代物流理念发展铁路物流研究.《中国储运》2024年第8期
- [5] 潘文献.基于多式联运发展的铁路物流基地功能布局优化研究.《铁路物流》2022年第9期
- [6] 王婧依托网络货运平台开展公铁联运合规问题研究.《铁路物流》2024年第9期
- [7] 《中国铁路物流网络结构演变及其优化研究》:发表于《大理大学学报》2024年第12期,作者是上海理工大学管理学院,研究内容涉及中国铁路物流网络结构的演变及优化。
- [8] 中国铁路现代物流研究综述》:发表于《长安大学学报(社科版)》2019年第2期,作者是刘启钢、孙文桥,该文梳理了铁路物流相关研究成果,分析了铁路现代物流体系的构成要素等。
- [9] 《整合铁路资源 发展铁路物流》:刊登在《铁道物资科学管理》2005年第3期,作者是中南大学交通运输工程学院,文章对铁路资源整合与物流发展进行了研究。
- [10] 铁路物流基地市场化投融资模式及应用研究》:刊登在《铁道货运》2023年第4期,作者是张法铭,该文对铁路物流基地市场化投融资模式及应用进行了研究。

Analysis of Difficulties and Countermeasures in Cost Control of Power Engineering Construction under EPC General Contracting Mode

Xuefeng Ji

Nantong Haimen Lianzhong Industrial Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226100, China

Abstract

With the development of the economy and the growth of energy demand, the EPC general contracting model is widely used in power engineering, and cost control is the core. This article uses case analysis, literature research, and interview methods to analyze the difficulties and strategies of construction cost control throughout the entire process: in the bidding stage, big data, BIM technology, and reasonable pricing mechanisms are used to address the risks of inaccurate estimates and low price winning bids; The design phase involves optimizing the plan, implementing quota design, and collaborating to solve significant impact and connection issues; During the procurement phase, we rely on price monitoring and system improvement to address price fluctuations and management issues; During the construction phase, strengthen progress quality management and refine management to address related issues. The case verification strategy is effective, and in the future, new technologies can be explored, risk assessment and contract management can be improved to enhance the level.

Keywords

power engineering; Construction cost control; Difficulties in cost control; Response strategy

EPC 总承包模式下电力工程施工成本控制难点与应对策略分析

纪雪丰

南通海门联众实业有限公司, 中国 · 江苏 南通 226100

摘 要

随着经济发展与能源需求增长, EPC 总承包模式在电力工程中广泛应用, 成本控制是核心。本文用案例分析法、文献研究法和访谈法, 从全过程分析其施工成本控制难点与策略: 投标阶段以大数据、BIM 技术及合理报价机制应对估算不准与低价中标风险; 设计阶段通过优化方案、推行限额设计及协同解决方案影响大与衔接问题; 采购阶段靠价格监控与体系完善应对价格波动及管理问题; 施工阶段以强化进度质量管理与精细化管理解决相关问题。案例验证策略有效, 未来可探索新技术、完善风险评估与合同管理以提升水平。

关键词

电力工程; 施工成本控制; 成本控制难点; 应对策略

1 引言

随着经济发展和能源需求增长, 电力工程建设地位凸显, EPC 总承包模式因整合设计、采购、施工等环节, 提升了项目效率与质量, 得到广泛应用。成本控制是核心, 贯穿项目全阶段, 影响经济效益与企业竞争力, 但实际中受多种因素影响面临诸多挑战, 研究其难点与策略意义重大。研究方法与创新点: 采用案例分析法、文献研究法、访谈法, 通过分析案例、查阅资料、访谈业内人士开展研究。创新点

在于从项目全过程分析成本控制, 结合多种研究方法, 并提出引入大数据、人工智能及基于 BIM 技术的协同管理平台等创新性策略。

2 EPC 总承包模式下电力工程施工成本控制难点分析

投标阶段成本控制难点: 成本估算准确性受电力工程项目复杂性和不确定性影响, 一方面因项目信息不全面, 如云南某山区风电项目投标时对复杂地质条件了解不足导致实际施工成本大增 200 万元, 且业主招标文件表述模糊; 另一方面计价依据不完善, 新型设备材料价格无统一标准、部分地区计价定额更新不及时, 同时企业面临低价中标压力,

【作者简介】纪雪丰 (1979-), 男, 中国江苏海门人, 本科, 助理工程师, 从事电力工程施工管理研究。

如某 220kV 变电站 EPC 项目中 A 企业低价中标后,因采购低质设备材料有质量隐患和后期维护成本增加 150 万元,削减工序和管理环节造成工期延误并支付违约金 80 万元,还可能引发资金紧张、项目亏损等^[1]。

设计阶段成本控制难点:作为关键环节,设计方案因设计人员缺经济意识、方案论证不足及变更频繁等易致成本增加,如内蒙古某电力工程因设计对现场地形了解不准引发变更使基础施工成本上升 12%,且设计与施工衔接常存问题,设计人员缺施工经验致设计难实施,施工人员对设计意图理解有偏差且随意改方案,加上变更信息传达不及时,会影响进度、增成本,还可能引发质量问题和返工。

采购阶段成本控制难点:存在设备与材料价格波动风险,受市场供求关系、原材料价格变动及国际政治经济形势影响,如新能源工程发展时光伏组件涨价 30%、钢铁过剩时降价 15%、铜价波动影响电缆价格等;同时有采购流程与供应商管理问题,流程不规范体现在计划不合理等,供应商管理不善表现为选择不当等,可能引发质量、供货问题,影响进度和成本。

3.4 施工阶段成本控制难点:施工进度与质量影响显著,进度延误可能由多种原因导致,会增加直接和间接成本,质量问题需返工且加强控制也增成本;施工现场管理不善,如秩序混乱等影响效率、增隐患和成本,资源配置不合理致效率低、成本增,浪费现象严重也推高成本。

3 EPC 总承包模式下电力工程施工成本控制应对策略

3.1 投标阶段成本控制策略

精准的成本估算方法与工具运用:投标阶段提高成本估算准确性,需运用先进方法与工具。大数据分析技术可收集分析历史项目的成本构成、材料价格、人工费用等数据,为当前项目提供参考,通过分析类似项目掌握不同地区、规模的成本分布规律,预测成本范围,减少误差。**BIM 技术**能构建三维模型,整合设计、施工信息,精确计算工程量,如在变电站设计中准确核算建筑结构、电气设备等工程量,避免计算偏差,还能模拟不同设计方案的成本变化,助力优选降本。此外,专业成本估算软件可结合项目参数快速生成报告,其内置的成本数据库和计价规则能随市场价格波动更新,提升估算时效与准确性^[2]。

合理的投标报价决策机制:建立科学的投标报价决策机制是关键。企业应成立由项目经理、造价工程师、技术专家等组成的决策小组,多角度分析决策。决策中需全面考虑项目直接与间接成本,确保报价覆盖支出;考量市场因素,合理确定利润空间,竞争激烈时可适当降利润,但避免过度压低影响项目实施。同时要分析竞争对手,制定针对性方案,并建立风险评估机制,全面评估各类风险,在报价中合理计入风险费用,降低成本失控风险。

3.2 设计阶段成本控制策略

优化设计方案与推行限额设计:优化设计方案是控制

成本的重要手段,需组织多专业团队从技术可行性、经济合理性、施工便利性等方面比选方案,通过价值工程分析,在满足功能的前提下降低成本,如输电线路设计选成本最低且达需求的路径。推行限额设计效果显著,要求按批准的投资估算控初步设计,依初步设计总概算控施工图设计,将投资额和工程量分解到各专业及单位工程,严控设计变更。某电力工程 EPC 项目中,总承包商与设计单位签限额设计责任书,设计单位通过优化参数、合理选用设备材料等,将各专业成本控制在限额内,实现总投资有效控制。同时,需建立考核机制激励设计方控成本。

加强设计与施工的协同合作:建立协同机制可解决衔接问题,项目前期设计人员深入现场调研,施工人员参与设计讨论提建议。设计中用信息化技术建协同平台,实现实时沟通与信息共享,借助 BIM 技术模拟施工,提前发现问题减少变更。建立设计变更管理流程,变更需经多方评估影响,确保必要合理,且及时传达变更信息,保证施工按变更后设计进行。

3.3 采购阶段成本控制策略

建立价格监控与风险应对机制:加强设备与材料市场价格监控是采购阶段成本控制的重要环节。企业需建立市场价格监测体系,通过与供应商保持密切联系、关注行业资讯、利用价格监测软件等,及时掌握价格动态。同时设立价格预警机制,当价格波动超 5% 幅度时发出预警,提醒采购人员采取措施。应对价格波动风险,可采取多种方式。签订固定价格合同,明确设备与材料价格,锁定采购成本,不受市场价格变化影响。对于铜、铝等价格波动大的重要原材料,可通过套期保值在期货市场做反向交易对冲风险。还能与供应商协商建立价格调整机制,按市场变化在一定范围内调整采购价格,兼顾双方利益^[3]。

完善采购流程与供应商管理体系:优化采购流程是降本提质的关键。企业要制定详细采购计划,依项目进度和需求合理安排采购时间与数量,避免库存积压或缺货。根据项目特点和市场情况,合理选择公开招标、邀请招标、竞争性谈判等采购方式,确保采购公平公正,获取最优价格和服务。加强供应商管理意义重大,需建立完善评估体系,从信誉、产品质量、供货能力、价格、售后等方面评估,选择优质供应商。与优质供应商签订长期合作协议,明确权利义务,包括价格优惠 3% ~ 5%、供货时间、质量保证等,通过长期合作获得更优采购条件。加强与供应商沟通协作,及时了解其生产和供货情况,共同解决问题,同时建立激励机制,奖励优秀供应商以提升其服务和效率。

3.4 施工阶段成本控制策略

强化施工进度与质量管理:制定合理施工进度计划是按时完工和控本的基础,需考虑项目规模、复杂程度等因素,用关键路径法、计划评审技术等科学方法编制,借助甘特图、网络图可视化计划,明确工序节点与顺序,合理安排资源。施工中要监控与调整进度,建立跟踪机制,定期对比实际与

计划进度,发现偏差及时分析原因,通过增人员、调工序等措施调整,避免进度延误引发额外成本。加强质量管理可减少成本增加,需建立完善体系,明确目标与责任,加强过程检验监督。施工前培训人员提升质量意识与技能,施工中按规范操作,严控关键工序质量,完工后及时验收。发现质量问题及时整改,建立追溯机制,追究责任防再发。

精细化施工现场管理与资源优化配置:引入精细化理念,加强人、材、机管理能降本。人员管理上,合理配置并科学分工,培训考核提升积极性与责任心。材料管理需建立严格制度,监控使用过程,采用限额领料,定期盘点解决问题。

4 案例分析

4.1 案例项目背景与概况

本案例为某 220kV 变电站 EPC 总承包项目,位于江苏盐城,旨在满足当地电力需求、提高供电可靠性。项目含新建 220kV 变电站及配套输电线路,变电站内有多种配电装置、主变压器等主体工程及附属设施,输电线路长 15 公里,途经农田和河流等复杂地形。项目由中国能建某公司采用 EPC 模式负责全过程管理,业主与之签订总价 1.2 亿元的总价合同,要求在 18 个月内完工验收。总承包商承担大部分风险,拥有整合协调权以推进项目、控制成本。

4.2 成本控制难点在案例中的体现

投标阶段,因地质资料不详难以预估基础施工成本,且当地建材价格波动大导致材料成本估算误差达 120 万元,在激烈竞争下,总承包商压低报价,中标后实际成本超预期 80 万元,设备采购受预算限制,可能影响质量及后期维护。设计阶段,设计过度追求技术先进,选用高端设备材料使设备采购成本比同类项目高 8%,方案论证不足,变电站布置未考虑地形增加土方量及成本 50 万元,同时设计与施工衔接差,部分工艺难实施,基础设计未考虑高地下水位引发涌水,需变更方案,增加成本 30 万元和工期延误 20 天。采购阶段,项目实施中钢材、铜等原材料涨价,电缆采购成本增 60 万元,部分供应商供货延迟,加急采购又增成本 25 万元,且采购计划不合理出现材料积压或短缺,供应商选择不当导致材料质量有问题需退换货,影响进度和成本。施工阶段,施工组织不当致进度延误,工期延长 1.5 个月,人工及设备租赁成本分别增 45 万元和 30 万元,质量控制不到位使部分环节返工增加成本 20 万元,施工现场管理乱,存在材料浪费、丢失,能源浪费,设备闲置等问题,导致成本上升。

4.3 应对策略的实施与效果评估

针对各阶段难点,总承包商采取了系列措施:投标阶

段组建专业团队,结合历史数据和市场信息,用大数据和 BIM 技术估算成本,成立决策小组制定报价策略,分析对手后以差异化方案中标;设计阶段组织多专业团队比选方案,通过价值工程分析优化设计,将部分进口设备换为国产优质设备降采购成本 85 万元,推行限额设计并严控变更,建协同平台促进设计与施工沟通;采购阶段建价格监控与风险应对机制,完善采购流程,建供应商评估体系并签长期协议,设激励机制提效率;施工阶段用关键路径法等制定进度计划并加强监控,建质量管理体系,引入精细化管理提高资源利用率。实施效果显著,项目实际成本比预算降 6.5%,设备采购和施工成本各降 85 万元和 75 万元,项目按时完工,避免因工期延误导致的违约金支付和成本增加,工程质量达标且一次性通过验收,减少后期维护成本约 60 万元。但也存在不足,部分采购人员责任心不足致采购计划执行有偏差,风险应对措施对突发情况不够灵活,某关键设备供应商因不可抗力因素无法按时供货时,没有及时找到替代供应商,导致施工进度受到一定影响,各阶段成本控制协同性差,设计阶段的成本控制措施没有充分考虑到采购和施工阶段的实际情况,导致部分设计优化方案在采购和施工阶段难以实施。

针对这些不足之处,建议在今后的项目中进一步加强管理,提高应对策略的执行力度,完善风险应对措施,加强各阶段成本控制的协同性,以实现更好的成本控制效果。

5 结语

本文剖析了 EPC 总承包模式下电力工程施工各阶段成本控制难点及应对策略:投标阶段运用大数据、BIM 技术等提高估算准确性,降低低价中标风险;设计阶段优化方案、推行限额设计,加强设计与施工协同;采购阶段建立价格监控机制,完善流程与供应商管理;施工阶段强化进度质量管理,精细化现场管理,且相关案例验证了这些策略的有效性。未来研究可探索人工智能、区块链等技术应用,完善风险评估体系,优化合同管理,结合多学科知识并借鉴国际经验,以提升成本控制水平。

参考文献

- [1] 仰玉伟.光伏电站EPC总承包在工程造价的研究[J].商业观察,2023,9(19):57-60.DOI:10.3969/j.issn.2096-0808.2023.19.011.
- [2] 霍波.EPC总承包模式下的成本管理研究——以萨拉齐电厂项目为例[D].福建省:厦门大学,2022.DOI:10.27424/d.cnki.gxmdu.2022.001372.
- [3] 伍为为.四川省A风电EPC总承包项目业主风险管理研究[D].四川省:西南财经大学,2019.DOI:10.27412/d.cnki.gxncu.2019.002578.