

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 1 · Issue 6 · November 2024 3060-9054(Print) 3060-9062(Online)

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 1 · Issue 6 · November 2024 3060-9054(Print) 3060-9062(online)

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

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



中文刊名：工程研究前沿

ISSN：3060-9054（纸质） 3060-9062（网络）

出版语言：华文

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Frontiers of Engineering Research

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

Language: Chinese

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

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《工程研究前沿》征稿函

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。

Database Inclusion



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



工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 1 Issue 6 November 2024
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	智能化技术在煤矿井下供电系统中的应用 / 龚勋 赵勇	28	长输天然气管道高后果区风险识别与管控策略研究 / 吴刚 艾蒙 杨忠路
4	海洋平台模块化建设与装配技术研究 / 王一博	31	自动化测量机器人在现代工程测量中的应用与前景 / 罗光
7	抽水蓄能电站人员安全管理策略及其有效性分析 / 雷海 孔繁臣 韩四宝	34	系杆拱桥刚性吊杆病害及综合处置 / 张红雷
10	交通工程技术在高速公路安全管理中的应用 / 刘晋东	37	大坝基础液压铣削搅拌水泥土防渗墙设计与施工技术 研究 / 刘彦昌
13	建筑消防设施系统检测技术探析 / 陈加敏	40	绿色建材全生命周期环境效益评估与实证分析 / 王启玲
16	建筑测绘成果在建筑施工管理中的应用价值 / 刘海军	43	中小企业突发环境事件应急预案“形式化”问题破解 / 朱郁葱 王梦梦 施正凯 胡旭峰
19	海洋石油平台管道安装技术及优化研究 / 宋鹏飞	46	建筑施工过程中资源优化配置对成本与进度协同影响的 量化分析 / 甄彩琴
22	水利工程常见问题及防控技术研究 / 龚彪	49	预防性养护方法在运营公路隧道管理中的应用措施 / 王强
25	东胜气田压裂砂堵原因分析及对策 / 陈鹏		

1	Application of Intelligent Technology in Coal Mine Underground Power Supply System / Xun Gong Yong Zhao		high-consequence areas of long-distance Natural gas Pipeline / Gang Wu Meng Ai Zhonglu Yang
4	Research on Modular Construction and Assembly Technology of Marine Platforms / Yibo Wang	31	Application and Prospect of Automated Measurement Robot in Modern Engineering Survey / Guang Luo
7	Personnel safety management strategy and effectiveness analysis of pumped storage power station / Hai Lei Fanchen Kong Sibao Han	34	Disease and comprehensive disposal of rigid boom of tie-rod arch bridge / Honglei Zhang
10	The Application of Traffic Engineering Technology in Highway Safety Management / Jindong Liu	37	Research on Design and Construction Technology of Hydraulic Milling Mixing Cement Soil Impermeable Wall for Dam Foundation / Yanchang Liu
13	Analysis on the detection technology of building fire-fighting facilities system / Jiamin Chen	40	Environmental benefit assessment and empirical analysis of the whole life cycle of green building materials / Qiling Wang
16	Application value of building surveying and mapping results in building construction management / Haijun Liu	43	The problem of “formalization” of emergency plans for environmental emergencies in small and medium-sized enterprises has been solved / Yucong Zhu Mengmeng Wang Zhengkai Shi Xufeng Hu
19	Research on Pipeline Installation Technology and Optimization of Offshore Oil Platforms / Pengfei Song		
22	Research on leakage problem and prevention and control technology / Biao Gong	46	Quantitative analysis of the impact of optimal allocation of resources on cost and schedule coordination in the construction process / Caiqin Zhen
25	Cause analysis and countermeasures of fracturing sand plugging in Jin58 Well area of Dongsheng gas field / Peng Chen	49	Application measures of preventive maintenance method in operating highway tunnel management / Qiang Wang
28	Research on risk identification and Control strategy in		

Application of Intelligent Technology in Coal Mine Underground Power Supply System

Xun Gong Yong Zhao

Tiefa Coal Industry Group Construction Engineering Co., Ltd. Mining Construction Engineering Branch, Diaobingshan, Liaoning, 112700, China

Abstract

With the rapid development of intelligent technology, the underground power supply system in coal mines, as a core component of mine safety production, is facing increasingly high requirements. The introduction of intelligent technology can not only effectively improve the reliability, flexibility, and safety of underground power supply systems in coal mines, but also reduce human operation risks to a certain extent and improve energy utilization efficiency. This article delves into the application of intelligent technology in the underground power supply system of coal mines, with a focus on analyzing technological innovations in intelligent control, remote monitoring, fault diagnosis, and intelligent protection. By reviewing the current status of technological development and combining it with the actual needs of underground power supply systems in coal mines, the application prospects and challenges of intelligent technology in improving the intelligence level of power supply systems are proposed.

Keywords

intelligent technology; Underground coal mine; Power supply system; application

智能化技术在煤矿井下供电系统中的应用

龚勋 赵勇

铁法煤业集团建设工程有限责任公司矿山建设工程分公司, 中国·辽宁 调兵山 112700

摘要

随着智能化技术的快速发展, 煤矿井下供电系统作为矿山安全生产的核心组成部分, 面临着越来越高的要求。智能化技术的引入, 不仅可以有效提高煤矿井下供电系统的可靠性、灵活性和安全性, 还能在一定程度上降低人为操作风险, 提高能源利用效率。本文深入探讨了智能化技术在煤矿井下供电系统中的应用, 重点分析了智能化控制、远程监测、故障诊断及智能化保护等方面的技术创新。通过对当前技术发展现状的梳理, 结合煤矿井下供电系统的实际需求, 提出了智能化技术在提升供电系统智能化水平方面的应用前景与挑战。

关键词

智能化技术; 煤矿井下; 供电系统; 应用

1 引言

煤矿井下供电系统是煤矿生产过程中不可或缺的重要组成部分。井下供电系统的稳定运行直接关系到矿井的生产效率与矿工的生命安全。传统的煤矿井下供电系统在面对多变的矿井环境及复杂的电力负荷需求时, 存在着一定的安全隐患和运行不稳定性。而随着信息技术、自动化技术及大数据等智能化技术的蓬勃发展, 将其应用于煤矿井下供电系统中, 有望大幅提高系统的智能化水平、运行效率及安全性。本文旨在探讨智能化技术在煤矿井下供电系统中的具体应用, 并分析其带来的技术创新与挑战。

2 煤矿井下供电系统的现状与挑战

煤矿井下供电系统通常包括变电站、配电装置、供电线路、自动化保护装置等组件, 供电系统的稳定性和安全性对煤矿的生产至关重要。然而, 传统的供电系统存在诸多问题。首先, 由于煤矿井下环境复杂, 供电线路容易遭遇短路、断电、过载等问题, 导致生产停滞。其次, 由于井下人员分散, 供电系统的监控与管理多依赖人工操作, 难以实时掌握系统的运行状态, 导致系统故障未能得到及时处理。再者, 煤矿井下供电系统面临着极高的电力负荷需求, 且负荷波动较大, 容易引发设备的损耗与故障。因此如今在实践中工程师需采用智能化技术来优化现有供电系统, 提高其运行效率与安全性。^[1]

【作者简介】龚勋（1982-），男，中国河南泌阳人，本科，工程师，从事电气工程研究。

3 智能化技术在煤矿井下供电系统中的应用

3.1 智能化控制系统

智能化控制系统是煤矿井下供电系统的核心组成部分如表 1。传统煤矿井下供电系统通常依赖人工设定与手动调整，存在一定的滞后性、操作误差及响应时间长等问题。而智能化控制系统通过引入先进的自动化控制技术，能够实时感知井下环境及电力负荷的变化，从而根据实时需求智能调节供电参数，优化系统运行。智能化控制系统的核心技术包括基于物联网（IoT）的传感器网络、自动化控制算法、大数据分析和人工智能（AI）技术。例如，智能化负荷预测

模型能够利用大数据分析对未来负荷进行预测，通过对历史负荷数据的深度学习，预测煤矿井下电力需求的波动趋势，进而实现智能调度和负荷平衡，避免出现电力过载或设备闲置的现象。这种动态调节机制能够有效提升电力资源的使用效率，减少电力浪费。而智能化控制系统还可通过集成自动化设备和智能算法，实现供电系统的故障预警与自动切换。当系统检测到电压异常、电流超载或设备故障时，能够自动启动备用电源或进行负荷调整，确保供电系统的稳定性和连续性。通过自适应控制，智能系统能够对供电系统进行实时调整，从而最大限度减少人为操作失误和系统运行中的安全隐患。

表 1 智能化控制系统的工作原理示意图

功能模块	描述	技术支持
传感器网络	实时监测电流、电压、温度等关键参数	物联网（IoT）技术
数据采集与处理	收集并处理采集到的数据，分析负荷趋势	大数据分析、云计算平台
负荷预测模型	基于历史数据预测未来负荷需求	机器学习、深度学习
自动调节机制	根据实时需求调整供电参数，防止过载或设备闲置	自适应控制、人工智能（AI）技术
故障预警与响应	监测系统状态，检测并预警故障发生，自动启用备用电源	自动化控制、智能保护系统

3.2 远程监测与数据采集

煤矿井下供电系统的设备数量庞大、分布广泛，且作业环境复杂，人工巡检不仅效率低下，而且容易受到环境限制，难以及时发现潜在的故障或异常。而远程监测技术通过结合传感器、无线通信技术、云计算和大数据平台，实现了对煤矿井下供电系统各项参数的实时监控，极大提升了系统运行管理的效率和可靠性。远程监测系统通常由分布式传感器网络、通信模块、数据采集终端和云计算平台等组成。在供电系统的关键节点，如变电站、配电箱、电缆、开关设备等处安装多种传感器，实时采集电流、电压、温度、湿度、振动等数据。这些数据通过无线通信模块传输至地面监控中心，形成实时的数据流。通过大数据分析平台，监控人员可以直观地查看煤矿井下供电系统的运行状态，包括设备运行参数、负荷波动、环境变化等。基于云计算技术，监控中心能够进行数据的实时存储、处理和分析。数据分析平台通过历史数据的对比分析，可以识别出电气设备的运行趋势，发现潜在的故障隐患。同时智能化系统还具备预测分析功能，通过对设备运行数据的建模与分析，能够提前识别出设备可能发生故障的趋势，进行主动维护，避免突发性故障对系统的影响。

3.3 故障诊断与智能保护

煤矿井下供电系统的故障诊断和智能保护是确保系统稳定运行的重要技术手段。传统的故障诊断依赖人工经验和定期检查，往往存在响应慢、精确度低等缺陷。随着智能化技术的引入，尤其是人工智能（AI）和机器学习算法的发展，智能化故障诊断技术能够自动识别、定位并分析供电系统中的故障，极大提高了故障诊断的效率与准确性。智能化故障诊断系统通过采集并分析供电系统的实时数据，利用机器学

习算法识别出故障模式。如通过对电流、电压波动、设备运行状态等数据的分析，智能系统能够准确判断是由于电压不稳、设备老化、接触不良等原因导致的故障^[1]。基于人工智能的深度学习算法，系统能够不断从大量历史故障数据中学习，提升故障诊断的准确性与预测能力。一旦故障被检测到，智能保护装置能够迅速反应，通过自动切断电源、启用备用电源、调整负荷等手段，保护系统免受进一步损害。智能保护装置采用高精度的电流、电压保护算法，能够在过载、短路、接地等故障情况下，快速切断电路或触发保护机制，从而避免事故的扩大，保障煤矿井下供电系统的安全运行。与传统保护装置相比，智能保护装置的响应速度大大提高，能够在毫秒级别内做出反应，大幅度降低设备损坏的风险。

3.4 能效优化与节能管理

随着煤矿生产规模的扩大及能源消耗的增加，如何提高煤矿井下供电系统的能效成为亟待解决的问题。智能化技术通过优化负荷分配、调节设备运行模式、监测能耗数据等手段，有效提升了煤矿井下供电系统的能源利用效率，降低了能源浪费。智能化能效优化系统利用大数据分析技术，实时监测煤矿井下的电力负荷、设备运行状态和能源消耗情况。通过对电力负荷的实时监测与数据分析，智能系统能够识别出用电高峰与低谷，并根据负荷情况合理调配电力资源。而在负荷较高时，则能够自动调度备用电源或通过调节负荷分配确保供电系统的稳定性^[2]。智能化系统还可通过调节设备的运行模式，降低能耗。通过对能耗数据的采集与分析，智能系统能够生成详细的能效报告，帮助煤矿企业评估能源使用效率，发现能效瓶颈，从而采取更有效的节能措施。如今随着科技发展在一些煤矿企业中，智能化节能管理系统已成功实现了能效提升。^[2]

4 智能化技术的挑战与发展前景

4.1 技术难度与实施成本

煤矿井下环境复杂且危险,实施智能化技术面临着较大的技术难度。煤矿井下的工作环境常常湿度大、温差悬殊、气体浓度高,且工作面狭小,这些因素极大地增加了传感器、控制设备、通信设备等智能化硬件的安装、维护及运维的难度。特别是在高温、高湿、高粉尘等恶劣条件下,许多智能化设备的寿命和稳定性面临严峻考验。而智能化技术的应用需要大量的硬件设施(如传感器、智能电表、控制器、摄像头等)和软件平台(如数据分析平台、控制系统、云计算平台等)。这些硬件和软件的建设需要大量的资金投入,而对于一些资金不足的小型矿企来说,如何平衡技术投入与经济回报,成为亟待解决的问题。智能化设备和系统的购置、安装及后期维护成本较高,尤其是在矿井建设初期,企业可能面临着资金压力,难以立即实现智能化升级。还有在实践中智能化技术的应用还需要进行系统集成和调试,确保各个环节的兼容性与协同运行。这也对技术人员提出了较高的要求,增加了系统实施的复杂度。因此如何降低技术实施成本,提高投资回报率,成为推动智能化技术广泛应用的关键因素。

4.2 数据安全和隐私保护

智能化技术的核心在于数据驱动,煤矿井下供电系统通过大量的传感器和监控设备采集实时数据,涉及设备状态、故障信息、生产作业数据等关键信息。虽然这些数据对提高系统的稳定性、预测故障和优化资源配置具有重要作用,但也面临着数据安全和隐私保护的巨大挑战。煤矿井下供电系统的传输网络涉及多个层级的数据交换,数据传输过程中容易受到外部黑客攻击或内部分析错误的影响。若没有有效的加密措施和安全机制,可能导致敏感数据泄露,甚至引发网络攻击,破坏供电系统的安全稳定运行。与此同时,系统中产生的大量数据可能涉及企业的运营机密或人员隐私,如何保证数据传输和存储的安全性,防止数据泄露、篡改或丢失,是智能化系统应用中的一项重要课题。目前虽然已经有一些行业标准和框架开始涉及数据安全,但在煤矿行业,数据安全防护技术尚未得到广泛普及,部分企业在

数据保护方面的投入仍显不足。

4.3 标准化与兼容性问题

智能化技术的应用面临的另一个重要挑战是设备和系统之间的标准化问题。目前,煤矿井下供电系统涉及的设备种类繁多,市场上有不同厂商提供的设备和技术方案,且各个设备的技术参数、接口协议、通信标准等常常存在差异。由于缺乏统一的行业标准,导致这些设备之间的兼容性问题较为突出,难以实现设备与设备、系统与系统的有效对接和协同工作。在实际应用中,煤矿企业可能会面临多种智能化设备的“孤岛”现象,无法形成统一的数据共享平台和控制系统,从而影响整个供电系统的效率和稳定性^[1]。如一些传感器和执行器可能只支持特定厂商的通信协议,而其他厂商的设备无法直接接入,导致系统集成时出现障碍。此外,由于不同厂商在技术和协议上的差异,也可能导致系统的稳定性和安全性问题,增加了后期的运维成本。为了确保煤矿井下供电系统的智能化设备能够实现高效协同,行业标准化工作显得尤为重要。通过建立统一的技术标准,制定兼容性测试规范,推动设备的互联互通,能够有效降低系统的复杂度,提升智能化系统的稳定性和可维护性。^[3]

5 结语

智能化技术在煤矿井下供电系统中的应用,代表了煤矿行业向现代化、智能化转型的趋势。通过智能化控制、远程监测、故障诊断与能效优化等技术手段,煤矿井下供电系统的安全性、稳定性和能源利用效率都得到了显著提升。然而在智能化技术的应用过程中,仍然存在诸如技术实施难度、数据安全、设备兼容性等挑战。未来随着技术的不断发展和标准化的推进,智能化技术有望在煤矿井下供电系统中发挥更大的作用,推动煤矿行业的高效、安全与可持续发展。

参考文献

- [1]许广楠.煤矿综采工作面机电智能化控制技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(23):151-153.
- [2]张浩.煤矿智能化工作面采煤机-支架协同跟机控制技术探讨[J].煤,2024,33(12):81-83+99.
- [3]陈慧妍.新时期煤矿安全监控系统技术及智能化发展趋势[J].内蒙古煤炭经济,2024,(22):175-177.

Research on Modular Construction and Assembly Technology of Marine Platforms

Yibo Wang

Qingdao Wuchuan McDermott Marine Engineering Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266520, China

Abstract

With the continuous growth of global energy demand, as the core facility for ocean resource development, the construction technology and efficiency of ocean platforms directly affect the economy and sustainability of the energy industry. The traditional construction method of offshore platforms often faces longer construction periods, higher costs, and greater safety risks. Modular construction and assembly technology, as an innovative construction mode, greatly improves construction efficiency, reduces costs, and enhances platform quality and safety by pre manufacturing and assembling modules on land. This article systematically studies the basic principles, implementation processes, key technologies, and applications of modular construction and assembly technology for offshore platforms in practical projects. Summarized the advantages and challenges of modular construction in offshore platforms, and proposed the direction of future technological development.

Keywords

ocean platform; Modular construction; Assembly technology; Cost control; construction cycle

海洋平台模块化建设与装配技术研究

王一博

青岛武船麦克德莫特海洋工程有限公司，中国·山东 青岛 266520

摘要

随着全球能源需求的持续增长，海洋平台作为海洋资源开发的核心设施，其建设技术与效率直接影响能源行业的经济性与可持续性。传统的海洋平台建设方式往往面临着较长的建设周期、较高的成本和较大的安全风险，而模块化建设与装配技术作为一种创新的施工模式，通过在陆地上预先制造与装配模块，大幅提高了建设效率、降低了成本并提升了平台的质量与安全性。本文系统研究了海洋平台模块化建设与装配技术的基本原理、实施流程、关键技术及其在实际项目中的应用。总结了模块化建设在海洋平台中的优势与挑战，并提出了未来技术发展的方向。

关键词

海洋平台；模块化建设；装配技术；成本控制；建设周期

1 引言

海洋平台作为海洋资源开发的核心设施，其建设效率、周期、成本和安全性是关键的问题。传统海洋平台建设方式依赖于大量海上作业，不仅建设周期较长，而且成本高昂，且容易受到恶劣海洋环境的影响。随着工程技术的发展，模块化建设与装配技术逐渐得到应用，成为海洋平台建设的新趋势。模块化建设将平台设计拆分为多个标准化模块，在工厂内完成预制并进行质量检测，减少了现场作业的复杂性和风险，大幅提高了建设效率和安全性。本文旨在探讨海洋平台模块化建设与装配技术的原理、优势、实施过程、关键技术及其应用实践。

2 海洋平台建设的传统方式与挑战

2.1 传统建设的挑战分析

传统海洋平台建设方式通常分为多个阶段，包括设计、施工、安装和调试等。在这一过程中，平台的部分组件，如钻井平台、支撑结构等，通常在海上进行组装和安装^[1]。该方式依赖于海上重型吊装设备（如浮式起重船、浮动平台等）进行重型设备或模块的吊装，同时需要多次通过海上运输将物资、组件和设备运输到海上作业地点。但由于海洋环境的复杂性，海上作业常常面临恶劣的海上施工环境，如强风、巨浪、潮汐等自然因素的影响，这不仅增加了施工的难度，也延长了建设周期，且容易导致施工事故和安全隐患。

传统海洋平台建设方式面临着诸多挑战，第一是建设周期长通常需要 3 到 5 年才能完成，且受到天气、海况等不可控因素的影响，施工进度难以有效控制，往往延误项目的完工时间。第二点高成本也是传统建设方式的一大问题。

【作者简介】王一博（1992-），男，中国山东青岛人，本科，工程师，从事海洋工程研究。

由于海上施工需要使用大量海上重型吊装设备、运输船舶以及高强度的海上作业人员，这些都大幅增加了项目的整体费用。最后就是安全风险高也是需要应对的挑战之一，海上施工环境的复杂性和恶劣性，如强风、巨浪、潮汐等自然因素，使得施工过程面临较大的安全隐患，施工人员和设备的安全保障极具挑战。

2.2 传统方式与模块化建设对比

在海洋平台的建设过程中，传统建设方式和模块化建设方式各有优缺点。传统方式通常依赖于现场施工，经过多个阶段的施工、运输、吊装和调试，受到天气、海况等外部因素的影响，导致项目周期和成本较高，且施工过程中的安全隐患较多。而模块化建设则通过在工厂内完成大部分工作，采用标准化、预制化的模块单元进行运输和装配，显著提高了施工效率，缩短了建设周期，并且降低了施工现场的复杂性和风险。为了更加直观地比较这两种建设方式的优劣，以下表格对比了传统建设方式与模块化建设方式的几个关键指标：

表 1 传统建设与模块化建设的对比

建设周期	36—48 个月	25—30 个月
建设成本	高	低
安全性	较低	较高
质量控制	良好	优秀

从表 1 中可知，模块化建设较传统建设在缩短周期、降低成本、提升安全性上优势显著。通过模块化建设，既能减少现场施工时间，又能降低外部环境对施工进度与成本的影响，进而在保障质量和安全的条件下，提高项目整体效益。

3 海洋平台模块化建设的优势分析

3.1 海洋平台模块化建设的概念

模块化建设是一种将大型工程项目分解成若干标准化、预制化模块单元的建设方法。每个模块单元在工厂内完成大部分施工工作，涵盖设计、制造、装配等过程，经过预先设计的模块化设计，模块的尺寸、结构、接口等标准化，便于后期生产与组装。这种方式使得项目的施工阶段可以在相对封闭、可控的工厂环境中进行，通过预制化生产在工厂内完成零部件或模块的生产，从而提高了施工效率和质量控制的精确度^[2]。与传统的现场施工相比，快速装配是模块化建设的核心优势之一，通过将预制完成的模块单元通过标准化的安装方法进行现场装配，大幅缩短了项目的建设周期。模块化建设不仅能减少现场施工的时间，还能有效降低施工过程中的不确定性。由于大部分工作在工厂内完成，能够保证模块的质量与精度，且工厂环境较为安全和可控，施工的安全性得到提升。每个模块单元在设计阶段就考虑了运输和装配的便捷性，使得现场的安装过程更加高效。在海洋平台建设中，模块化建设方式特别适用于解决传统方式中低成本、长周期和安全隐患等问题，提升了整体项目的执行效率和管理水平。

3.2 模块化建设的优势

模块化建设将多数作业转至工厂内完成，缩短了建设周期。在工厂里，模块可在受控条件下高效设计、制造与组装，减少现场施工复杂性与不确定性，压缩了施工时间。在实践中标准化和批量化生产的应用让每个模块生产过程高度一致，有助于降低施工不确定性与风险，进而降低成本。与传统现场施工相比，模块化建设减少现场作业工作量与高风险环节，避免运输和安装延误及额外开支。因多数工作在工厂完成，施工中外部不确定性与恶劣环境得到有效控制，提升了安全性，大幅减少海上作业风险，保障施工人员安全。其标准化生产流程使每个模块在工厂内严格检验与控制，确保质量符合设计要求，且能在现场快速安装拼接，提高质量控制效果。所以模块化建设既加速海洋平台建设进度，又通过降低成本、提升安全性与质量控制，为项目提供全面保障。

3.3 公式与定量分析

模块化建设通过减少现场施工时间和降低施工不确定性，在实际应用中能够显著缩短项目周期并降低建设成本。通过以下公式可以定量评估模块化建设对项目周期和成本的影响：

$$T_{\text{modular}} = T_{\text{traditional}} \times (1 - \Delta T)$$

$$C_{\text{modular}} = C_{\text{traditional}} \times (1 - \Delta C)$$

其中 T_{modular} 是模块化建设的周期， $T_{\text{traditional}}$ 是传统建设的周期， ΔT 是模块化建设相较于传统建设所节省的时间比例； C_{modular} 是模块化建设的成本， $C_{\text{traditional}}$ 是传统建设的成本， ΔC 是模块化建设相较于传统建设的成本节约比例。从这些定量分析可以看出，模块化建设不仅能显著缩短建设周期，还能有效降低项目成本。这些优势使得模块化建设在海洋平台等大型工程项目中，成为一种越来越受青睐的施工方式。通过提高施工效率和质量控制，模块化建设有效地减少了现场施工的复杂性，优化了资源配置，为项目的顺利完成提供了坚实保障。

4 海洋平台模块化设计原则与流程

海洋平台模块化设计是模块化建设的核心，它通过将复杂的海洋平台结构分解为若干标准化模块单元，以优化整体建设过程，减少施工时间与成本，并提高平台的可靠性与安全性。模块化设计的关键原则包括标准化设计、功能独立性、可更换性和模块互换性，以确保模块化建设的高效性、灵活性以及长期的可维护性。这些设计原则的实现不仅提升了项目的生产效率，还为后期的运行管理和技术升级提供了强有力的保障。

4.1 标准化与功能独立性设计

标准化设计是模块化建设成功的基石。它要求所有模块单元在尺寸、结构、接口等方面遵循统一的技术规范，从而使得模块化建设具备高度的可预制性和可装配性。通过标准化设计，每个模块可以在预制工厂内进行批量生产，确保

产品的一致性与高质量，这不仅大幅度提高了生产效率，还降低了安装时的复杂度^[3]。举例来说，国际海事组织（IMO）提出的海洋平台标准（ISO 13731）就规范了平台模块的接口、尺寸、强度等技术要求，为模块化设计提供了清晰的技术指引。此外，标准化设计减少了现场对模块进行重新设计或调整的需求，有效地缩短了建设周期。根据相关研究，采用标准化设计的海洋平台项目通常能缩短 15% 至 20% 的生产周期，并减少 10% 至 12% 的资源浪费，显著提高了项目的整体经济效益。

功能独立性是指每个模块能够独立完成其特定功能，并且不依赖其他模块的正常运行。这一设计原则对提高平台整体的稳定性和可靠性至关重要，尤其是在海洋环境这种复杂且具有高风险的工作条件下。通过功能独立性设计，平台的各个功能模块如钻井平台、生活设施、能源供应模块等都能独立运作，最小化了模块之间的依赖关系，从而提高了系统的容错能力。举例来说电力供应模块可以独立于其他模块工作，这意味着即使某些模块发生故障，平台的其他部分仍能稳定运行。且功能独立性设计还提升了系统的维护性，因为出现故障时工程师只需对故障模块进行维修或更换，而不影响其他功能模块的正常工作。这种设计理念显著提升了

海洋平台在恶劣环境中的可靠性，确保了其长期安全稳定的运营。

4.2 模块化设计流程

模块化设计的实施需要依赖严格的科学流程，确保模块的设计、生产和安装能够高效且精确地完成。设计流程通常包括需求分析、模块划分、3D 建模与仿真分析、设计验证与优化等关键步骤如图 1。第一，在需求分析阶段，设计团队首先会对海洋平台的功能需求、海洋环境条件以及未来技术发展趋势进行全面评估，以确保设计方案能够满足长期运营的需求。第二，设计团队根据分析结果将平台分解为若干功能独立的模块，每个模块负责完成特定任务，如钻井、生活区、能源供应等。在此基础上，3D 建模与仿真分析技术被广泛应用，以模拟平台在实际使用中的性能表现，验证模块的结构强度、安装可行性以及系统兼容性。通过仿真分析，设计团队可以在实际施工前识别潜在问题并进行优化，以确保平台模块在实际部署中的稳定性和安全性。第三，在设计验证与优化阶段，进行一系列计算和实验验证，确保模块完全符合设计要求，并能够在实际海洋环境中稳定运行。通过这一流程，设计团队能够有效提高设计效率，减少设计错误和工程风险，从而确保模块化建设顺利实施。

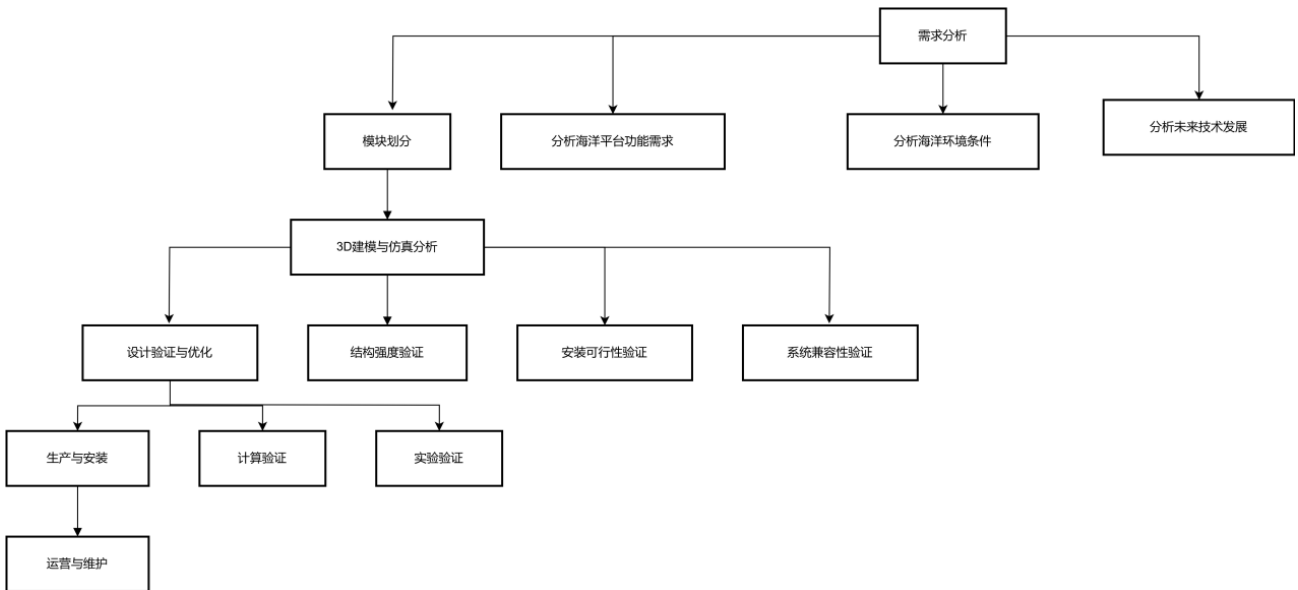


图 1 模块化设计

5 结论

本文通过对海洋平台模块化建设与装配技术的研究，表明模块化建设方式在缩短建设周期、降低成本和提高安全性方面具有显著优势。随着智能化技术的进步，模块化建设将在海洋平台建设中占据越来越重要的地位。但模块化建设也面临着模块运输、海上安装等技术挑战，未来应通过技术创新进一步优化模块化建设模式，推动其在海洋平台建设中的广泛应用。

参考文献

- [1] 宋恩稼.海洋平台建造中电缆敷设安装措施[J].大众标准化, 2024,(22):18-20.
- [2] 张晓峰.海洋平台结构标准体系的构建与完善[J].大众标准化, 2024,(20):1-3.
- [3] 陈俊,王天奕,倪艺萍,等.圆形港池造波机试验平台建设与海洋浮标水动力模型试验方案探讨[C]//中国海洋学会海洋工程分会.第二十一届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下).珠江水利委员会珠江水利科学研究院,2024:8.

Personnel safety management strategy and effectiveness analysis of pumped storage power station

Hai Lei Fanchen Kong Sibao Han

Institute of Product Quality Standards, Ministry of Water Resources, Hangzhou, Zhejiang, 310012, China

Abstract

In recent years, an increasing number of new energy sources have been widely applied in power production and have achieved outstanding results. Hydroelectric power generation, as a very important development measure, has also attracted widespread attention from people. Especially the construction of pumped storage power stations has brought new vitality and energy to hydropower generation. Based on this, it is necessary to adjust the working methods and depth of pumped storage power stations. However, in the daily operation of pumped storage power stations, there may still be serious safety issues due to various reasons, which require the general attention of the staff and the development of scientific safety management strategies to reduce the impact caused by such problems. Based on this, this article conducts in-depth analysis on the safety management strategies and compulsory education analysis of personnel in pumped storage power stations, hoping to provide assistance in further improving the operational efficiency of the pumping system power station.

Keywords

pumped storage power station; Personnel; security management; effectiveness

抽水蓄能电站人员安全管理策略及其有效性分析

雷海 孔繁臣 韩四宝

水利部产品质量标准研究所, 中国·浙江 杭州 310012

摘 要

近些年来, 越来越多的新能源被广泛地应用于电力生产工作中且取得突出成效。其中水力发电作为其中非常重要的一项发展措施, 也引起了人们的普遍重视。特别是抽水蓄能电站的建设, 更为水力发电带来新的生机与活力。基于这一点, 便需对抽水蓄能电站的工作方法与深度调整。但在抽水蓄能电站日常运作的过程中, 还有可能会因为各类原因存在着严重的安全问题, 需引起工作人员的普遍重视, 并通过制定科学的安全管理策略, 减少因此类问题的存在而带来的影响。基于此, 本文通过对抽水蓄能电站人员安全管理策略及义务教育分析方面的内容展开深入分析, 希望可以为进一步提高抽取系统电站的运行效率带来帮助。

关键词

抽水蓄能电站; 人员; 安全管理; 有效性

1 引言

抽水系统电站是现代电力系统中非常重要的组成部分之一。其承载着调峰、填谷、调频、调相及紧急事故备用等各项任务, 对电力系统的稳定运行具有积极意义。然而, 抽水蓄能电站在运行的过程中, 往往会涉及较为复杂的施工与运行流程。涉及众多的人员、设备以及环境因素, 因此人员安全管理工作就显得十分重要。通过深入探讨抽水系统电站的人员安全管理策略, 并分析其有效性。可以在一定程度上为推动抽水性能建设的高效运营提供有力支持, 同时也可以为更好地实现电力系统的高效运营带来积极意义, 而这也

成为电力系统在运行的过程中需要完成的一项任务, 同时也是推动民众安全用电的重要措施之一。

2 抽水蓄能电站人员安全管理策略

抽水系统电站在运行的过程中, 因其复杂性的影响, 还有可能会出现较为严重的安全问题, 导致其运行效率大打折扣。甚至可能会使得抽水蓄能电站在运行的过程中面临极大的挑战, 进而影响到民众的安全。因此, 需要对抽水蓄能电站的安全管理策略, 采取高度重视的态度, 并借助多元化的措施, 以全面提高其运行质量, 为进一步推动抽水蓄能电站运行提供有力支持。具体而言, 抽水蓄能电站人员安全管理策略主要体现在以下几个方面。

2.1 建立完善的安全管理制度

制度化建设是抽取系统电站人员安全管理策略中不可

【作者简介】雷海（1970-），男，中国河南郑州人，本科，高级工程师，从事水利水电工程建设管理研究。

或缺的重要组成部分之一。在开展日常工作的过程中,应通过制定较为完善的规章制度,为施工人员与文务人员提供较为明确的行为规范。抽水蓄能电站应建立起较为完善的安全管理制度和体系,其中包括现场安全操作规程、风险预警以及应对措施,应急预案等方面的内容。这些制度应当涵盖施工、运行、维护的各个环节,确保每个工作人员都能够明确自身的责任与义务。在施工的过程中,工作人员应当进行详细的安全评估,对随着可能会出现风险进行识别分析。依据评估结果制定较为详细的安全规章制度。在施工时,也应实时监测施工进度,并依据现场的状况对安全措施进行及时调整,以确保个人潜在风险能够在短时间内处理在很大程度上为推动抽水蓄能电站有效运营提供坚实的基础。在这一过程中,抽水蓄能电站的工作人员都应当明确了解到日常工作的相关制度,并对其予以贯彻落实。而对于工作中出现的一些失误要及时进行处理,将相关工作人员进行追责,将此次出现事故的情况进行记录,并在后期的会议中展开分析,以便于日后避免出现问题,影响到抽水蓄能电站运营。通过制度化建设的方式,使得抽水蓄能电站的运营效率得到进一步提高,便可以在很大程度上为全面实现抽水蓄能电站的高效运行奠定坚实的基础。

2.2 定期组织安全培训工作

安全管理离不开安全培训工作,在抽水系统电站运营的过程中,工作人员需要具备较强的安全意识,并进一步提高安全管理工作的总体质量,同时也可使其在面对突发事件时具有较好的应对能力。因此,抽水蓄能电站应严格根据不同岗位的实际特点为工作人员制定具有针对性的培训方案,保证每个工作人员都能够掌握与之相匹配的安全知识与技能,为进一步推动安全管理工作的顺利开展带来积极意义,在进行培训时应保证其具有时效性,并将施工与运行过程中所涉及的新设备,新技能进行集中讲解,并通过安全演练的方式以提高工作人员的实操能力。通过定期的培训不仅可以使得员工的安全意识得到进一步增强,同时还能够使得员工积极面对因突发事件的存在而带来的影响,为全面实现抽水系统电站日常运行效率得以逐步提高的目标带来积极意义。因此,在未来开展抽水蓄能电站人员安全管理工作的过程中,便需要定期组织安全培训,以促使安全事故得到进一步遏制,同时也可以为更好地推动抽水蓄能电站的有效运营带来积极意义。

2.3 为员工营造安全文化氛围

安全文化是影响安全管理效果的一项重要因素,抽水蓄能电站应当严格通过宣传、安全标语、案例分析等各种方式积极强化安全第一的相关理念,使得安全能够逐渐成为工作人员的自觉行为。如通过设立安全先进个人评选机制的方式,对安全工作中表现突出的员工应予以表彰,以激发工作人员的安全责任感,同时也可通过组织开展安全知识竞赛、安全技能比拼等诸多活动,为员工营造积极向上的安全文化

氛围,使得员工能够充分参与到安全管理工作中来。在这一过程中,抽水蓄能电站应通过多元化的方式,将安全文化普及到每一个员工的心中。如通过定期组织开展安全文化宣传讲座,对抽水蓄能电站安全管理所产生的重要作用向员工进行简单说明,使得员工能够更好地运用自己掌握的安全管理知识,以提高自身的管理效能,同时也可以为全面推动抽水蓄能电站的有效运行奠定坚实的基础,借助于营造良好的安全文化氛围,使得员工在日常工作中能够充分贯彻落实安全管理理念,并减少出现安全风险的概率,则可以使得抽水系统电源的整体运行效果达到较高的水准,并以此为基础为进一步减少抽水蓄能电站运行时所面临的各类问题。

2.4 实行安全风险管理体系

安全风险管控体系的构建,对抽水蓄能电站的高效运行具有十分重要的作用。如大数据分析在现场监控,可以对施工现场运行过程中所出现的安全风险进行实时预测预警。在这一过程中,工作人员应当设立明确的安全标识,如警示牌,出入口指示等,并引导工作人员遵守相关安全规定,使得工作人员能够严格依照抽蓄新电站既定的管理体系来开展风险管控工作。同时,抽水蓄能电站应配置必要的安全防护设备,由安全帽,护目镜,防护服等确保所有进入抽水蓄能电站运行区域中的工作人员都能够得到有效防护。而对于在日常工作中可能会识别出的安全风险,也应及时制定应对措施,并明确责任人及整改期限。借助于安全管控体系的实施实践,对安全风险进行控制与预防,便可以在很大程度上使得抽水系统电站的安全管理工作可以按部就班地开展,进而减少抽水系统电站出现安全风险的概率^[1]。

2.5 积极落实安全生产责任制

抽水蓄能电站应通过建立安全生产责任制的方式,使安全人员能够落实到具体岗位和个人的身上。从主要负责人到一线员工,都应根据实际工作岗位性质承担与其相对应的安全生产责任。通过建立相对完善的安全生产责任书制度,以明确各级人员的安全目标,并实现安全目标应采取的安全措施。安全生产责任书应层层鉴定,以确保每个工作人员都能够充分了解自己的安全职责与目标,同时要致力于加强对安全生产责任制的考核与监督力度,进而确保各项安全措施均能够得到有效执行。在这一过程中,抽水蓄能电站的工作人员应当秉持公正的态度,针对在日常发电工作中可能会出现的问题要及时进行整改,避免出现徇私舞弊的问题,进而影响到抽水系统电站的日常预警。而各类安全措施的执行力度也应当严格依照既定标准开展,不可有所懈怠,以全面提高抽水蓄能电站的整体运行效率。

2.6 应用智能安全管控系统

安全智能管控技术的应用是数字化、智能化技术发展下的产物。其可以全面提高安全管理工作水平,如借助于UWB定位技术的电力人员定位管控系统,便可以实现对人员进行实时定位以及功能目标。具体而言,通过视频监控技

术可以实时观察到作业现场的实际情况,及时发现并处理潜在安全隐患,同时也可运用三维可视化技术建立完善的抽水蓄能电站的全场实时三维地图,将人员定位,视频监控等各类安全管理业务数据接入到三维地图上,并通过地图总览现场的各项业务这一方式,以逐步提高抽水蓄能电站的工作效率,为其稳定运行与生产发展注入了新的生机与活力,在很大程度上实现了抽水蓄能电站运行效率得以全面提高的目标。

3 抽水蓄能电站人员安全管理策略的有效性分析

3.1 提升工作人员的安全意识

抽水蓄能电站人员安全策略实施对于全面提升工作人员的安全意识而言,具有非常有效的作用。通过定期开展安全培训。与安全文化建设工作,抽水蓄能电站的工作人员便具有较强的安全意识。员工的规章制度也将会形成更为深刻的理解,对于潜在安全风险具有较高的警觉性,提升安全意识,以促使员工在施工与运行维护的过程中,能够严格地遵守相关的规章制度,减少出现违章操作行为的问题。为规避安全事故发生的风险,进而不断提升抽水蓄能电站运行效率的目标带来了切实有效的帮助。由此可见,抽水蓄能电站人员安全管理对于全面提升工作人员的安全意识具有积极意义,故需引起工作人员的普遍重视。

3.2 增强工作人员应对突发事件的能力

安全培训与应急预案的实施与演练,取得抽水系统电站的工作人员在应对突发事件时能够及时进行处理。并采取有效的应对措施,以减少因事故的发生所带来的损失与影响。而安全智能管控系统的应用,也为突发事件的有效解决提供了技术层面的支持。通过实时监控预警系统,及时发现并处理现场危险隐患,防止事故出现扩大的问题,为进一步提高抽水蓄能电站的运行效率带来切实有效的帮助。由此可见,通过实施抽水蓄能电站人员安全管理策略,以增强工作人员应对突发事件的能力,可以在很大程度上为进一步推动抽水蓄能电站的运行效果带来极大的帮助,同时也可以使得民众的用电安全得到保障,进而避免因抽水蓄能电站出现问题而影响电能供应^[2]。

3.3 保障施工安全与生产稳定

抽水蓄能电站人员安全策略的实施,对于保障施工安全与生产的稳定性具有十分重要的作用。通过建立起相对完

善的安全管理制度,并致力于构建安全风险管控体系,落实安全生产责任制等各类措施,抽水系统电量能够从根本上实现对施工过程与运行过程的全面监控与管理,使学生可以及时地处理潜在的安全隐患所带来的风险,还可以从根本上保证施工质量与生产效益的全面提升。除此之外,智能安全管控系统的应用也为全面提高抽水蓄能建设的运营效率与稳定性带来了极大的意义,为进一步推动电网的安全稳定运行提供了有力支持。通过构建较为完善的安全管理体系,使得抽水蓄能电站的工作人员在开展日常工作的过程中,能够依照相关的规章制度展开操作,进而极大地减少抽水蓄能电站在后续运行的过程中可能会出现的问题。

3.4 促进企业的可持续发展

电力企业的发展也与抽水蓄能电站的人员安全管理措施具有密切的关联。借助于人员安全管理策略,以推动电力企业的安全生产,并为推动电力行业的可持续发展带来的积极意义,员工的安全意识与应对突发能力的全面提升,可以有效降低电力企业在开展日常工作的过程中可能会面临安全风险与经济损失。同时,智能安全管控系统的应用,也使得企业在日益激烈的竞争中占据着优势地位,使得抽水蓄能电站在开展日常工作的过程中,能够有效规避因风险问题的出现而带来的问题,为进一步实现企业的长期稳定发展奠定坚实的基础。因此,开展抽水蓄能电站的人员安全管理工作,可以为推动企业的快速发展带来积极意义^[3]。

4 结语

总的说来,在抽水蓄能电站开展日常工作的过程中,需要从制度、培训、文化、管理、技术等多个方面考虑人员安全管理策略。只有确保安全管理策略的有效实施与完善,才能够为抽水蓄能电站的施工安全与生产稳定运行带来切实有效的作用,同时也可以为电力企业的长远发展奠定坚实的基础。因此,抽水蓄能电站在未来日常运行的过程中,便需要加强人员安全管理策略的执行力度。

参考文献

- [1] 万成.抽水蓄能电站基建期安全管理中的人为因素分析[J].水上安全,2024(23):154-156.
- [2] 姜宗波.基于风险管理的抽水蓄能电站水库安全策略研究[J].水上安全,2024(2):97-99.
- [3] 张帆,金伟,刘庆,卢辉.抽水蓄能电站建设安全评价及其对策研究[J].武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2024,46(4):547-550.

The Application of Traffic Engineering Technology in Highway Safety Management

Jindong Liu

Ningyang County Transportation Bureau, Tai'an, Shandong, 271400, China

Abstract

As an important part of modern transportation, its safety management has always been a key issue in the field of transportation. Traffic engineering technology, through advanced technical means, such as intelligent transportation system, information management and safety facilities optimization, provides a new idea and methods for highway safety management. This paper analyzes the application status of traffic engineering technology in expressway safety management, discusses its role in accident prevention, intelligent monitoring, emergency response, and puts forward the direction and suggestions for future development. The research shows that the application of traffic engineering technology can significantly improve the safety of expressways, reduce the occurrence of accidents, and provide a strong guarantee for the efficient operation of expressways.

Keywords

traffic engineering technology; highway; safety management; accident prevention; intelligent monitoring

交通工程技术在高速公路安全管理中的应用

刘晋东

宁阳县交通运输局, 中国 · 山东 泰安 271400

摘 要

高速公路作为现代交通运输的重要组成部分, 其安全管理一直是交通领域的关键问题。交通工程技术通过先进的技术手段, 如智能交通系统、信息化管理和安全设施优化, 为高速公路安全管理提供了新的思路和方法。本文分析了交通工程技术在高速公路安全管理中的应用现状, 探讨了其在事故预防、智能监测、应急响应等方面的作用, 并提出了未来发展的方向和建议。研究表明, 交通工程技术的应用能够显著提升高速公路的安全性, 减少事故的发生, 为高速公路的高效运行提供有力保障。

关键词

交通工程技术; 高速公路; 安全管理; 事故预防; 智能监测

1 引言

在经济快速发展, 交通需求持续增长的背景下, 高速公路建设里程也越来越长。但是高速公路具有车速快, 大流量等特点, 同时带来很多安全隐患。交通工程技术是现代交通管理中的一种重要方法, 它通过运用智能化和信息化技术为高速公路的安全管理提供一种全新的解决途径。文章将对交通工程技术应用于高速公路安全管理的现状、优势以及今后的发展方向进行论述, 希望能够对促进高速公路安全性的提高有所帮助。

2 交通工程技术在高速公路安全管理中的应用价值

现代交通体系下, 高速公路是交通基础设施的重要组

成部分, 高速公路安全管理非常关键。交通工程技术的广泛应用给高速公路安全管理提供显著价值, 多维度确保高速公路安全高效运营。

运用交通工程技术可以有效地减少交通事故的发生, 通过优化道路线形和交通标志标线这些基础工程技术, 给驾驶员更加明确和准确的行驶指引。比如对高速公路弯道半径和坡度进行合理设计以保证车辆运行稳定; 对交通标志位置、大小、色彩等进行科学设置, 使得交通标志在各种天气、光照等情况下均能够为司机清楚辨认, 降低了由于司机误判而造成交通事故的发生率。数据显示, 在对交通标志和标线进行优化的路段中, 交通事故的发生率已经减少了大约 20%。

交通工程技术有利于提升高速公路通行效率, 在智能交通系统 (ITS) 里, 交通流量监测与控制系统具备实时采集和解析交通流量信息的能力, 并能通过动态调节信号灯的时间配置、交通诱导信息的发布等途径对交通流进行合理配置以避免拥堵。当某段交通发生拥堵时, 该系统能够及时疏

【作者简介】刘晋东 (1979-), 男, 中国山东泰安人, 本科, 工程师, 从事交通工程研究。

导汽车绕行，使得汽车在高速公路中运行更平稳，缩短汽车在公路中滞留时间，提高公路资源利用率^[1]。另外，运用交通工程技术也可以提升高速公路管理效率与服务水平。通过运用大数据和人工智能技术，高速公路管理部门能够深度分析交通流量、事故数据等来预测交通需求及事故的发展趋势，从而为科学管理决策奠定基础。同时采用智能客服系统和电子收费系统，给司乘人员带来更方便和更有效的服务，改善了用户体验。

3 交通工程技术在高速公路安全管理中的应用方法

3.1 智能交通系统（ITS）的实际运用

智能交通系统（ITS）是交通工程技术在高速公路安全管理中的重要应用领域，通过集成先进的信息技术、通信技术、控制技术等实现高速公路交通智能化管理。

对于交通流量的监控和控制，ITS 采用环形线圈检测器和视频检测器对高速公路各路段交通流量、车速和占有率进行实时数据采集，该系统通过数据分析可以准确地判断交通状况，并在检测到交通拥堵或者意外的情况下自动调节信号灯配时，分流和控制车辆^[2]。以高速公路互通立交为例，针对不同走向交通流量对匝道信号灯开度进行动态调节，以避免匝道上车辆通行拥挤，增加互通立交通行能力。

交通引导系统构成了 ITS 的核心部分，利用可变信息标志（VMS）和车载导航系统等工具，可以实时地将交通状况，例如道路的拥堵、事故发生的地点、正在施工的路段等信息，迅速地传递给驾驶员。驾驶员可依据这些信息合理地规划行驶路线、避让拥堵路段、选择最优路径。交通诱导系统可以有效地引导节假日及其他出行高峰期车辆分散开来，以减轻高速公路交通压力。

ITS 的核心应用之一便是智能收费系统，电子不停车收费系统（ETC）利用微波通信技术，使得车辆能够在无需停车的前提下完成收费交易，从而极大地提升了收费效率，缩短了汽车在收费站排队等候时间，减少了尾气排放。同时，ETC 系统可以记录，并分析车辆行驶轨迹、收费信息等，为高速公路管理部门提供数据支撑。

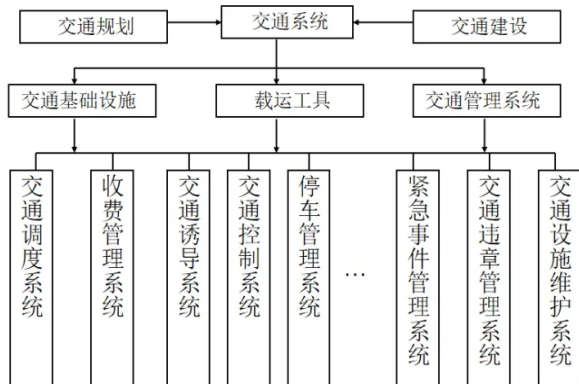


图 1 智能交通系统

3.2 开发事故预防技术

事故预防技术在不断地发展，这是交通工程技术确保高速公路安全、多方面减少事故概率的重要途径。车辆主动安全技术对于事故预防至关重要，防抱死制动系统（ABS）和电子稳定控制系统（ESC）等先进技术已逐渐成为现代交通工具的标准配置，ABS 可以防止汽车制动过程中车轮抱死、维持汽车转向能力、避免制动失控而发生事故；ESC 通过自动调整车辆的动力和制动系统，以避免车辆在行驶过程中出现侧滑、甩尾等危险情况。除此之外，像车辆碰撞预警系统（FCW）和自动紧急制动系统（AEB）这样的创新技术也在持续地发展和应用中。FCW 利用雷达、摄像头和其他传感器对汽车前方交通状况进行实时监控，并在发现潜在碰撞后及时报警；AEB 系统会在驾驶员没有及时实施制动措施的情况下，自动激活车辆的制动系统，以减轻或避免碰撞事故的严重性^[3]。

对道路安全设施进行革新，也是事故预防中一个不可忽视的方面，道路标线使用反光性能较好的物质，可以在夜晚或者恶劣天气情况下给司机更加明确的行驶指引。改进防眩设施，例如设计新型防眩板，以有效降低对向车辆灯光对司机造成的眩光，增加夜间驾驶安全。另外，在高速公路的危险路段，例如弯道、陡坡、长下坡等，都设置了避险车道、减速带、警示标志等，为车辆提供紧急避险的条件，提醒驾驶员谨慎驾驶。

恶劣天气下安全保障技术亦有明显进步，该道路结冰监测预警系统利用传感器对道路表面的温度、湿度以及其他参数进行实时监测，并在发现道路可能出现结冰的情况下及时地向管理部门以及驾驶员提供预警信息。同时，该自动融雪除冰设备可根据道路状况自动开始融雪除冰工作，确保道路安全顺畅。大雾天气下，智能雾天诱导系统将雾灯及反光标识设置于公路两旁，给司机明确的行驶指导，降低视线不良造成的意外。

3.3 应用于交通工程设施

交通工程设施为高速公路安全管理提供了依据，对其进行合理的规划与运用可以有效地促进高速公路安全性与通行效率的提高。交通标志、标线等交通工程设施最为基础，对司机具有清晰的行驶指示、安全警示等作用。交通标志按作用可以分为警告标志、禁令标志、指示标志以及指路标志。在高速公路出入口、互通立交和危险路段等重要位置合理地设置各种交通标志，以保证驾驶员事先能获得准确信息并作出正确驾驶决策。如在高速公路出口前方，设立预告标志、出口指示标志等，指引车辆预先变道并安全离开高速公路。

为了规范车辆的行驶路径，交通标线采用了线条、箭头和文字等多种方式。车道分界线，边缘线，导向箭头及其他标线清晰显示车辆运行区域及运行方向，避免车辆任意变道、压线运行等不规范现象。同时在高速公路收费站、服务区及其他区域设置减速标线、停车标线等设施，确保车辆在上述区域内安全通行、有序停车。防护设施对确保高速公路

行车安全起着至关重要的作用，波形梁护栏、混凝土护栏和其他道路护栏能在汽车碰撞过程中有效地吸收碰撞能量，以避免汽车冲出路面并保护驾乘人员安全。高速公路桥梁、隧道和高路堤地段，防护设施设置显得格外重要。

照明设施是关系到夜晚行车安全的重要设施。高速公

路隧道、互通立交和服务区范围内，应布置足够照明设施以确保司机视野开阔。使用 LED 灯等节能高效照明灯具既可改善照明效果又可减少能源消耗。同时合理地进行照明布局设计，以避免眩光给驾驶员造成影响，增加夜间驾驶舒适性与安全性。

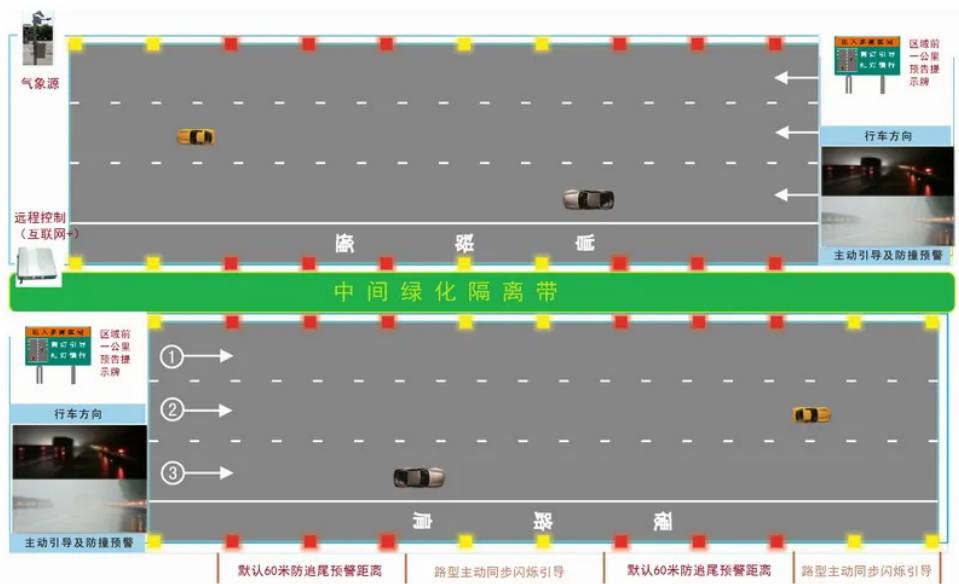


图 2 事故预防系统

3.4 运用大数据和人工智能技术

大数据及人工智能技术应用给高速公路安全管理提供了新思路、新手段，促进了智能化管理。交通流量预测中，大数据技术是通过在高速公路历史交通流量资料、实时交通资料、气象资料、节假日资料等多来源资料进行采集与分析，采用数据挖掘与机器学习算法相结合的方法构建交通流量预测模型。这些模型可以精确地预测出不同时段和路段交通流量的变化趋势，从而为高速公路管理部门合理地制定交通管制措施和安排警力提供了科学依据。比如，节假日行车高峰期到来之前，要通过预测交通流量、提前部署警力、强化重点路段交通疏导等措施来避免拥堵。

事故分析和预测，是大数据和人工智能技术又一重要应用领域。在深度分析高速公路历史事故数据基础上，发掘出了事故时间、地点、天气情况、车辆类型、司机行为及其他影响因素。采用人工智能算法建立了事故预测模型，对事故可能性及风险等级进行了预先预测。管理部门可依据预测结果在高风险路段、时段实施重点监测与预防，并有针对性地采取安全措施以减少事故发生。

智能监控与预警系统采用大数据及人工智能技术实现高速公路交通状态实时监测及异常状态及时报警。通过视频监控和传感器等装置对高速公路交通信息进行实时获取，并运用图像识别和数据分析对交通拥堵、事故和车辆违规等异

常进行自动识别。系统在出现异常情况后会报警，及时向管理部门及驾驶员传达有关情况，从而及时采取相应的对策。另外，大数据及人工智能技术在高速公路运营管理及服务优化中也得到了运用。通过分析司乘人员出行数据、消费数据等来了解使用者的需求及行为习惯，从而为个性化服务奠定基础。

4 结语

将交通工程技术运用到高速公路安全管理当中，有着十分重要的意义。交通工程技术可以显著提高高速公路安全性与运行效率，包括智能监测、事故预防以及交通安全设施优化等。但该技术在推广应用过程中仍然面临着成本、数据安全以及协同管理方面的挑战。今后，要进一步加大技术研发力度，促进跨部门协作，健全标准体系，使高速公路安全管理更加智能化、高效化，给广大人民群众提供一个更加安全方便的交通环境。

参考文献

[1] 徐海强.襄宜高速公路全方位安全管理体系构建路径研究[J].交通世界,2024(30):18-20.
[2] 赵月.高速公路安全管理工作存在的风险及应对措施[J].四川建材,2024,50(08):216-217+220.
[3] 张克.高速公路运营企业安全管理标准化对策研究[J].劳动保护,2024(07):74-76.

Analysis on the detection technology of building fire-fighting facilities system

Jiamin Chen

Shanghai Junce Testing Technology Service Co.,Ltd., Shanghai, 201999, China

Abstract

In recent years, fire accidents in China are on the rise, especially with the development of urbanization, building fire safety has attracted wide attention. And building fire control facilities as an important part of fire safety, its stability is the basis to ensure the accident rescue ability, therefore, regularly detect building fire control facilities, especially for large commercial facilities or high-rise buildings, due to the large population density, if the lack of effective fire control system, will pose a serious threat to personal property safety. In this context, this paper mainly discusses the detection technology of building fire fighting facilities, and puts forward a number of theoretical support and practical guidance, aiming to maintain urban fire safety and promote the formation of building fire safety system.

Keywords

building fire protection system; facility detection; technology analysis; research

建筑消防设施系统检测技术探析

陈加敏

上海钧测检测技术服务有限公司, 中国 · 上海 201999

摘 要

近年来,我国火灾事故呈上升趋势,尤其是伴随城市化发展,建筑消防安全引起广泛关注。而建筑消防设施作为火灾安全的重要组成部分,其稳定性是确保事故救援能力的基础,因此,定期对建筑消防设施进行检测至关重要,特别是面向大型商业设施或高层建筑,由于人口密度较大,如果缺乏有效的消防系统,将对人身财产安全造成严重威胁。在此背景下,本文主要就建筑消防设施的检测技术进行探讨,并提出若干理论支持与实践指导,旨在维护城市消防安全,推动建筑消防安全体系的形成。

关键词

建筑消防系统;设施检测;技术探析;研究

1 建筑消防设施检测技术

1.1 灭火系统检测技术

在火灾早期阶段,自动喷水灭火系统发挥至关重要作用。因此,对其进行功能检测必不可少,旨在确保火灾发生时每个组件都能及时做出正确响应。这一过程涉及多个环节,以下进行详细说明:首先,检测自动喷头流量是第一步。测试过程可以采用高精度流量计进行,确保出水量在设计压力下符合国家标准。对于喷头型号、规格的优化,可以采用高精度、灵敏度的流量计测量流经喷头的水流量。通过对比标准流量与实际流量偏差调整喷头。也就是说,如果偏差超过设计规范,则需要重新更换喷头型号、调整规格。其次,检验喷洒角度是重要一环,这一步骤涉及角度测量仪的

应用。具体而言,模拟不同压力环境,以测试各种压力对喷洒角度造成的影响,进而采用排除法,确保在不同环境下喷头依然保持设计功能。此外,在检测系统管网压力过程中,压力记录仪、压力表为重要工具,旨在精确测量管网的动、静态压力。顾名思义,动态测量指的是模拟系统运行状态压力变化,确保压力均匀分布且管道完好无泄漏^[1]。静态压力测试则是检测待机状态下压力是否与设计要求相符。一旦发现管道漏水或压力异常,应及时启动管道维修计划,为灭火系统稳定运行提供可靠保障。

灭火系统检测包括气体检测环节。以下进行详细说明:首先,测试气体释放时间是第一步。通常手动控制或遥控器控制气体释放。在此过程中,应采用专用时间记录仪或计时器详尽记录灭火气体从启动到释放所需时间,最大程度确保气体释放时限在系统设计最大时间值范围。一旦超出设计阈值,可能存在灭火剂释放装置隐患与系统故障,需技术人员做进一步检查。其次,评估灭火成效能够反映灭火效果是否

【作者简介】陈加敏(1991-),女,中国安徽马鞍山人,硕士,助理工程师,从事建筑消防设施系统检测技术研究。

与设计要求一致。综上所述,释放气体后,区域内的烟雾浓度、温度会产生一定变化,这时可以通过这些变化判断灭火效果。例如,可以采用烟雾浓度探测仪、温度传感器实时监测区域内的环境变化,通过气体释放前与释放后的烟雾、温度变化来评价各项指标是否与设计要求相符^[2]。一旦检测烟雾浓度、温度高于设计标准,说明灭火效果不理想,需要技术人员对灭火剂类型、气体分布均匀性、气体释放量等因素做进一步调整。最后,灭火剂对密封性提出更高要求。在检测过程中,需要定期对储存环境、密封状况进行详细检查,避免灭火剂受潮导致失效。

1.2 火灾自动报警系统检测技术

一旦发生险情,火灾自动报警系统能够及时联系控制中心,因此确保信号传输稳定至关重要。一旦检测出线路故障,将对报警系统的准确性、时效性造成负面影响。基于此,实施电气测试势在必行,旨在提高线路可靠性。对线路电压降、阻抗、电阻进行测量时,可采用电缆测试仪器判断传输信号是否稳定。这一举措有助于防止线路接触不良、开路、短路等现象。尤其是距离较长、使用期限较久的线路,应实施逐段检查策略,并通过 TDR(时间域反射仪)定位线路老化、断裂等故障点。其次,线路测试包括详细检查接口端口,防止接头腐蚀或松动问题。当然,一旦检测出线路故障,须立即更换合格的接插件,规避接触不良带来的报警信号延误、信号衰减等问题,确保线路电气性能最大化。

测试报警装置功能的重要一环包括验证火灾报警系统响应能力。测试内容涵盖校准声光报警器的持续时间、闪光频率与音响强度等,旨在确保应急情况下报警装置的光信号明显、信号声音持续且响亮。除此之外,为了确保报警信号与设定响应标准相符,可以采用火灾源仿真模拟方法,通过启动探测器并检测报警器的响应时间,判断报警信号发出的灵敏程度^[3]。另外,火灾自动报警系统涉及多个方面,包含报警器、火灾探测器、排烟系统、电梯控制系统和喷水灭火系统等协调工作,因此对其进行联动测试必不可少,确保探测器触发后,所有消防设施都能够成功启动。当然,基于联动测试涉及科目、种类较多,因此模拟必须覆盖不同类型火灾源,确保不同系统的工作效率与反应速度状态最佳。例如,联动测试电梯控制和自动喷淋系统时,必须观察电梯是否根据火灾类型、等级自动停运;喷淋系统喷洒的水雾是否按照规定时间。确保建筑消防设施系统高效运行。

1.3 应急照明与疏散指示系统检测技术

在建筑消防系统中,应急照明设备占据重要地位。例如,在停电或火灾现场,应急照明设施能够提供紧急疏散照明,为人员撤离带来积极影响。以下对应急照明系统的检测要点进行详细说明:首先,电池续航能力作为评估的重要指标,可以采用连续放电测试进行,这一步骤需要确保备用电池处于完成充电状态。接下来,构建一个断电情况下使用场景,并进行电池模拟。例如,通过标准负载设备对电池进行放电,

观察电量波动在不同放电阶段的表现,同时跟踪电力持续时间轨迹。根据相关规定,突发事件发生后,要求应急照明系统至少维持供电 1~3h。另外,检查电池健康状况与充电周期必不可少,旨在避免续航不足等情况发生,确保应急情况下安全启用。检测内容包括测试充电效率、电池容量、内阻等,需要借助专用设备提升结果准确性,使电池性能、使用期限趋于稳定^[4]。

此外,疏散指示标志的重要性不言而喻,在应急事故情况下,清晰的标志能够指引人员快速撤离。在检测过程中,全面评估其可视性是关键。基于此,可以引入摄像设备、专业照度计等,模拟不同场景,如停电、火灾等环境,以测量标志在不同照明条件下的可辨识度并逐渐调整。就拿出口标志辨认来说,可以从不同视距、观察角度记录标志在这些条件下的清晰度与识别时间,并采用优化措施,确保人们在撤离过程中快速辨认出口标志,安全疏散。当然,标志指示路径必须经过严格测试且引导无误。另外,检测疏散指示标志的防水性、耐高温性能势在必行。具体操作步骤为:将标志浸入水池或高温箱进行测试,确保其在湿气重、高温环境下依然保持良好性能。

2 现代科技在消防设施检测中的应用

2.1 物联网技术

物联网技术的显著优势是可以动态采集数据、实时监控建筑内各类环境参数,这一过程依靠的是物联网传感器布置,旨在为消防安全管理工作奠定基础。以下对具体操作步骤进行详细说明:首先,在监测区域的关键位置安装各种类型传感器。包括水压传感器、烟雾传感器、温度传感器等,关键位置涵盖供水管道、消防水池、电梯井、楼梯间等,这些都是火灾敏感区域。顾名思义,温度传感器的功能是实时监测温度变化,一旦检测阈值到达预警边缘,就会触发警告;而在火灾初期,烟雾浓度则由烟雾传感器迅速识别并向系统传递;消防水系统的水压波动则依靠水压传感器检测。这些传感器的数据采集和传输都是建立在 LPWAN 技术(低功耗广域网络),常见的有 NB-IoT、LoRa、Wi-Fi 等,它们具有稳定的传输路径且覆盖范围较广,同时对电池寿命的消耗极低。由此可见,通过部署这些传感器,可以实现远程监控所有消防设备的运行效率与健康状态,使火灾预警的应急响应能力得到进一步提升。

为了更高效、灵活地管理消防设施,推动移动设备访问、远程监控功能的实现至关重要。首先,基于云计算构建一个控制平台至关重要,旨在将各类传感数据集约管理并储存。具体而言,后台服务器作为汇集所有传感器数据的载体,在消防部门与物业管理员想要查看建筑消防设施的实时状态时,可以通过专门开发的移动应用不受时间、地域的限制随时访问。当然,为了确保数据传输安全性,可以采用加密网络连接,如密钥、口令等。另外,管理人员还可以通过报警

信息追溯消防设施故障与传感器数据异常，这种远程检查大幅提升了火灾应急系统处理能力。更进一步，建筑消防设施的趋势分析和历史运行数据也可以通过可视化技术在云平台上展示，旨在帮助管理人员制定预防性维护计划。

2.2 大数据技术

众所周知，优化建筑消防设施系统的安全管理工作需要大量数据支撑。因此确保监测数据精准度至关重要。以下进行详细说明：首先，数据准确性与处理效率可以通过异常检测算法、数据清洗实现。也就是说，数据在传输过程中，硬件故障、环境变化均会影响数据精度、完整性，如产生噪声、生成不准确数据等。在此背景下，数据清洗有助于确保数据有效性。这一步骤涉及人工智能算法、机器学习应用，它们会自动筛选、清理传递过程产生的错误信息、异常数据。然后，将预设规则嵌入这些算法，能够实现数据标签化与分类，从而过滤掉不符合预期的噪声。举个例子，异常检测常采用 K-means 算法，此种聚类分析有助于洞察正常运行模式下数据偏离的值，这是因为它能够对数据进行无监督学习，从而结合偏差识别潜在故障源。就拿压力设备传感数据异常来说，波动值会立即被系统标记出来，并自动生成故障警报。此过程不需要人工干预，且大数据技术具备较强的数据分析能力、处理效率，为缩短故障发现和处理时间打下坚实基础。

另外，在消防管理系统中，有效的决策能够降低火灾事故发生率。而大数据技术在决策支持方面亦展现出显著优势。具体而言，在消防系统中嵌入回归模型和时间序列分析，能够预测消防设备的运行期限，从而标记即将出现故障的设备。就拿自动喷淋系统来说，通过传感数据分析可以预测长期趋势，从而识别长时间存在异常的设备，结合回归模型便

可预测该设备可能发生故障的时间。基于此，管理人员通过提前规划部件更换时间、维修计划，防止突发设备故障造成的安全问题。举个例子，如果检测到传感器数据长期处于异常，那么系统就会根据结果追溯到设备并自动调整维护周期，包括提前更换零部件等，为确保消防设施系统稳定运行提供保障。

3 结语

综上所述，在现代建筑消防设施系统的检测过程中，技术的不断发展显著提高了系统的有效性与可靠性。通过自动喷水灭火系统、气体灭火系统以及火灾自动报警系统的精确检测，可以确保在火灾发生时，各类设施能够迅速响应并发挥作用。同时，随着物联网技术的引入，数据的实时传输与处理提升了消防安全管理的精确度与响应速度。通过不断优化检测技术和管理方法，不仅能提高建筑的消防安全水平，还能为城市的消防管理提供强有力的技术支持。未来，随着科技的进步，建筑消防设施的检测技术将更加智能化、自动化，助力全面提升建筑火灾防控能力，为人民生命财产安全提供保障。

参考文献

- [1] 刘振洋.高层建筑火灾防控中自动消防设施的应用探析[J].中国设备工程, 2024(1):234-236.
- [2] 臧海胆.高层住宅建筑套内消防设施监督管理探析[C]//中国消防协会学术工作委员会消防科技论文集(2023)——消防监督管理, 2023.
- [3] 杨奇伟.建筑电气设计中消防配电的设计要点探析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2023.
- [4] 姚莹.建筑防火监督及消防设施配置的策略探析[J].消防界(电子版), 2023, 9(8):84-86.

Application value of building surveying and mapping results in building construction management

Haijun Liu

Fugou County Construction Industry Development and Real Estate Transaction Service Center, Zhoukou, Henan, 461300, China

Abstract

In this paper, the application of building surveying and mapping results in construction management value and how to realize the related strategy is discussed, after analyzing the type of building surveying and mapping results, content and its technology development, highlights the surveying and mapping results in improving construction accuracy and efficiency, optimize the construction scheme and cost control, guarantee construction safety and quality, promote the role of project information management, etc. The building surveying and mapping results give accurate data support to the construction management, which greatly improves the scientific nature and efficiency of the construction management. Combined with the actual development situation, this paper puts forward the application strategy of building surveying and mapping results in construction management, in order to provide theoretical basis and practical guidance for the construction industry to achieve fine and information management.

Keywords

surveying and mapping results; building construction; application value; strategy analysis

建筑测绘成果在建筑施工管理中的应用价值

刘海军

扶沟县建筑业发展和房地产交易服务中心, 中国 · 河南 周口 461300

摘 要

本文对建筑测绘成果在建筑施工管理中的应用价值以及怎样实现相关策略展开了探讨, 经过剖析建筑测绘成果的类型、内容还有其技术发展情况, 着重说明了测绘成果在提高施工精度跟效率、优化施工方案以及成本控制、保障施工安全、促进项目信息化管理等方面所起的作用。建筑测绘成果给施工管理给予了精准的数据支撑, 很大程度提升了施工管理的科学性与效率。结合实际发展情况, 本文提出了建筑测绘成果在施工管理中的应用策略, 以期建筑行业达成精细化、信息化管理提供了理论依据和实践指导。

关键词

测绘成果; 建筑施工; 应用价值; 策略分析

1 引言

建筑测绘得出的成果是建筑施工管理方面重要的基础, 它的精准程度以及全面程度直接对施工质量以及效率造成影响。随着测绘技术快速地发展, 建筑测绘成果在施工管理中的应用价值越来越明显地显现出来, 但当下施工管理之中仍然有着测绘数据利用不够充分、技术跟施工相互脱节等问题, 对施工管理朝着科学化以及精细化方向发展形成了制约。

2 建筑测绘成果概述

2.1 测绘成果的类型与内容

建筑测绘成果是指在建筑领域内, 通过各种测绘技术

手段获得的有关建筑物、构筑物以及相关地理环境的数据和信息。测绘成果的类型与内容如表 1 所示。

2.2 测绘技术的发展与应用

当代测绘学科在技术迭代中实现了从工具革新到方法论的质变突破, 其技术体系呈现出多维融合的发展态势。定位导航领域衍生的全球定位系统 (GPS) 已突破传统测量局限, 其厘米级三维坐标解算能力支撑着城市地籍测绘, 在大型基建工程的动态监测中发挥关键作用^[1]。遥感技术 (如图 1 所示) 的空间分辨率与光谱解析度持续提升, 高分卫星与无人机航摄的协同作业模式, 使得大区域地表覆盖监测效率较十年前提升近二十倍, 激光雷达 (LiDAR) 通过相位式与脉冲式混合扫描技术, 可获取亚毫米级精度的地物表面点云数据, 这种非接触式测量手段在历史建筑数字化保护中成效较大。地理信息系统 (GIS) 已发展为集时空大数据管理、

【作者简介】刘海军 (1975-), 男, 本科, 工程师, 从事测绘研究。

表 1 测绘成果的类型与内容

资料类型	主要内容	应用场景
平面图	呈现建筑平面布局，标注墙体、柱子、门窗位置与尺寸	用于设计初期规划，指导施工基础布局
立面图	展示建筑外观，明确各立面形状、门窗位置及装饰细节	助力方案展示，指导外立面施工
剖面图	呈现建筑横截面或纵截面的内部结构，如楼层高度、梁柱布局	辅助结构分析，指导施工操作
三维模型	借助 CAD 构建三维数字模型，直观展示建筑空间形态	方便设计方案可视化，便于设计调整
地形图	反映建筑所在区域地形地貌，标注高程、坡度、水系	辅助建筑选址，规划基础设施
施工图	含结构图、给排水图、电气图，指导施工	施工过程中供工人精准施工
测量数据	含建筑坐标、高程、角度、距离等原始测量值	用于建筑定位、施工及质量检测
分析报告	分析建筑结构安全、使用功能、环境影响	为设计审核、项目验收提供决策依据

空间建模与决策支持于一体的智能平台，其在智慧城市运营中的渗透率超过 78%，数字摄影测量结合计算机视觉算法，通过多视影像密集匹配技术，可自动生成具备拓扑结构的三维实景模型。建筑信息模型（BIM）技术通过参数化建模与多专业协同机制，将设计阶段的数字孪生体延伸至项目全生命周期，这种技术融合趋势使测绘数据流转效率不断提升。

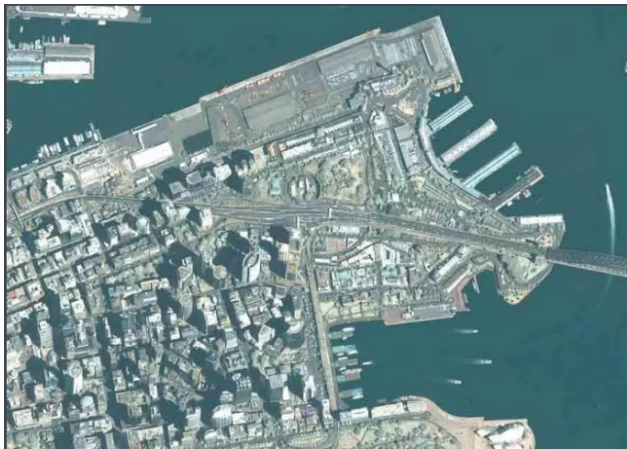


图 1 遥感技术

3 建筑测绘成果在施工管理中的应用价值

3.1 提高施工精度与效率

建筑测绘数据的高精度采集为工程实施奠定了可靠的技术基础，在实际建设过程中，测量所得的建筑坐标、高程等空间参数为作业团队提供了关键定位依据，使混凝土基础、钢结构框架等关键构件的安装误差得到有效控制。在基础开挖阶段，依托精确的测量成果指导土方作业，能从根本上规避因轴线偏移引发的质量隐患^[2]。基于三维点云模型等数字化成果开展的施工模拟，可优化塔吊运行轨迹与材料堆场布局，缩短工序衔接中的空置周期，这种数据驱动的管理方式不仅提升资源使用效率，更保证整体建设进度符合预期目标。

3.2 优化施工方案与成本控制

依托高精度建筑测绘数据，施工企业可系统掌握作业区域的地质条件、环境特征及既有构筑物的技术参数。基于这些信息，可对施工组织设计进行动态调整，以复杂地貌区

域为例，通过分析测绘系统提供的等高线分布与高差数据，重新规划机械行进路径，使土方工程总量缩减 15%~20%，降低工程开支。对于既有建筑物的结构测绘成果，施工方可精准匹配装配式施工或逆作法等工艺，在提升施工效率的同时将结构扰动幅度控制在 3mm 以内，有效降低后期修缮费用，这种精细化的方案调整保证了工程验收标准，达成了全周期成本管控目标。

3.3 保障施工安全与质量

建筑测绘技术在工程建设全周期中发挥着核心支撑功能，项目启动初期，借助三维扫描与地理信息系统对既有建筑物及周边地下空间进行全面勘测，可精准识别高危作业区域的潜在风险，如邻近建筑结构位移量、地下管网隐蔽工程分布等关键参数，为制定科学防护方案提供数据支撑。进入施工阶段后基于激光测距仪与 BIM 模型的动态监测系统可实时校验构件安装偏差，保证钢梁预埋深度、混凝土浇筑轴线等关键指标严格符合设计规范，工程验收环节通过建立数字化竣工模型，结合多源监测数据进行质量追溯分析，有效实现质量缺陷的早发现、早干预机制，构建起覆盖项目全生命周期的安全质量管控体系。

3.4 促进项目信息化管理

建筑测绘数据构成了工程项目信息化管理的核心数据基础，通过将地理空间数据与三维建筑模型集成至统一管理平台，管理人员可对施工全过程进行动态跟踪和实时管控。基于可视化界面，项目团队可直观掌握各施工节点进度与质量细节，有效识别潜在风险并快速制定应对策略。数字化模型为跨部门协同作业提供了统一标准，提升设计、监理等参建方之间的信息交互效率，这种数据驱动的管理模式实现了工程建设的精细化管理，从整体上优化了项目管理效能^[3]。

4 建筑测绘成果在施工管理中的应用策略

4.1 测绘数据的采集与处理

在项目前期准备阶段，工程团队通过集成多源测绘技术构建精准场地模型，高精度全站仪可获取毫米级精度的角度与距离参数，精确标定建筑物基础轮廓线，结合 GNSS 卫星定位系统建立场区控制网，实现厘米级平面坐标与高程基准传递。针对丘陵、沟壑等复杂地貌区域，采用五镜头无

人机实施低空倾斜摄影,通过多视影像匹配算法高效构建三维点云模型,同步生成分辨率优于5cm的数字地表模型(DSM),原始数据经南方CASS专业版进行空间拓扑检查,运用标准差阈值法剔除粗差数据,结合克里金插值算法修复局部异常点。经处理后的多源数据通过BIM平台进行融合,输出具有空间拓扑关系的等高线图集、土方量算矩阵及三维地质剖面,为施工部署提供关键参数的决策支持,提升场地平整与基础施工的精准度。

4.2 测绘成果与施工计划的整合

测绘数据成果在施工方案编制中具有不可替代的支撑作用,基于高精度地形测绘获取的高程变化特征及坡度参数,工程团队可优化施工便道的线形设计,规避大规模土方开挖与回填作业,有效控制施工强度及经济成本。针对现场平面布置环节,结合场地边界测绘成果及周边环境参数,可系统规划物料储运区的最佳定位,既满足施工作业半径需求又兼顾运输通道的通行效能。同步规划专用设备停放区域,保证机械进出动线合理且满足安全操作空间。在工期控制维度依托建筑物三维坐标数据及结构特征参数,解析各楼层构件的空间尺寸与技术标准,科学编排基础开挖、主体施工、装饰工程等工序的衔接节奏,对于异形结构节点。预留充足作业周期并制定专项施工工法,实现工程品质与进度管控的双重保障。

4.3 测绘成果在施工过程中的实时应用

施工过程中,作业人员通过随身携带的平板或手机等移动终端,运行专业测绘应用系统实现动态调阅测绘资料,针对基础工程实施阶段,采用全站仪与智能移动设备联动的工作模式,结合实时测绘数据对基坑开挖边界线及标高进行动态调整,保证实际开挖面精准匹配设计参数。在主体结构施工质量控制方面,依托激光测距装置与移动端三维测绘模型,实时监测墙体垂直状态,当实测偏移量超出规范限值时即刻实施纠偏作业。项目团队创新性运用BIM技术平台,将三维测绘数据与施工进度动态绑定,通过虚实模型的比对分析,管理人员可精准识别各区域施工进度差异,对潜在风

险进行预判。例如在发现某作业面进度滞后时,系统可自动触发资源调度机制,实现质量管控与工期管理的协同优化。

4.4 测绘成果在施工后期的评估与反馈

在工程竣工验收阶段,测绘成果的精准性直接影响项目质量评估的有效性,采用全站仪对建筑主体关键指标进行复测,重点核查结构高度、轴网尺寸等核心参数。通过与前期基准数据的对比分析,精确验证施工精度是否符合规范要求。针对建筑物定位坐标,运用GNSS技术实施高精度校核,保证实际落位与规划方案完全匹配,同时开展施工全周期测绘数据应用效能分析,着重考察异形结构定位、复杂节点放样等关键环节的数据支撑效果,评估结论同步形成专项评估报告,向设计部门提供空间参数优化建议,为施工团队输送过程管控改进方案,利用双向反馈机制实现测绘技术流程与工程管理模式协同优化,促进项目管理体系迭代升级。

5 结语

综上所述,建筑测绘成果对于施工管理有着极大的应用价值,其精确的数据支撑以及多维度的技术融合能给施工管理提供科学的依据。本文通过优化测绘数据的采集跟处理、整合测绘成果和施工计划、达成施工过程中的实时应用以及强化施工后期的评估与反馈,使施工管理的精细化、信息化水平得到明显提升。随着测绘技术发展,建筑测绘成果在施工管理中的应用会愈发广泛,建筑行业要加强测绘技术与施工管理的融合,推动施工管理模式创新升级,给工程建设的高质量发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 李志华,楼亨庞,刘勤,等. 三维激光扫描技术在异形建筑表面积测绘中的应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22 (06): 97-100.
- [2] 葛鹏. GPS技术在建筑测绘领域中的应用研究[J]. 工程与建设, 2024, 38 (03): 532-533+569.
- [3] 陈端祥. 历史建筑测绘建档中多技术融合和应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47 (03): 195-198.
- [4] 刘坤,裴勇军,郑晓俊. 建筑工程竣工“多测合一”成果复核的实践与思考[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46 (09): 183-185+189.

Research on Pipeline Installation Technology and Optimization of Offshore Oil Platforms

Pengfei Song

Qingdao Wuchuan McDermott Marine Engineering Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266324, China

Abstract

Pipeline installation on offshore oil platforms is a crucial step in offshore oil and gas extraction. With the advancement of deepwater development, pipeline installation is facing many challenges in terms of marine environment, equipment, and technology. This article provides an overview of common pipeline installation techniques for offshore oil platforms, including sliding installation, lifting installation, and immersed tube laying, and analyzes their respective advantages, disadvantages, and applicable ranges. By exploring the technical challenges during pipeline installation, optimization solutions such as automated welding, intelligent monitoring, and optimized scheduling have been proposed to improve installation efficiency and safety. Research has shown that the introduction of new technologies can effectively solve the problems that exist during the installation process and provide a development direction for future pipeline installation.

Keywords

offshore oil platform; Pipeline installation; Deep water environment; Automation technology

海洋石油平台管道安装技术及优化研究

宋鹏飞

青岛武船麦克德莫特海洋工程有限公司，中国·山东 青岛 266324

摘 要

海洋石油平台管道安装是海洋油气开采中的关键环节。随着深水开发的推进，管道安装面临着海洋环境、设备及技术方面的诸多挑战。本文综述了常见的海洋石油平台管道安装技术，包括滑移式安装、吊装式安装和沉管铺设等，分析了各自的优缺点及适用范围。通过对管道安装过程中的技术难题进行探讨，提出了优化方案，如自动化焊接、智能监控和优化调度等，以提高安装效率与安全性。通过研究表明新技术的引入能够有效解决安装过程中存在的问题，并为未来的管道安装提供了发展方向。

关键词

海洋石油平台；管道安装；深水环境；自动化技术

1 引言

随着全球石油资源的逐渐枯竭，海洋石油的开发逐步成为油气行业的重要方向。海洋平台管道系统负责将油气从平台传输到陆地，其安装质量和效率直接影响到平台的安全性、生产效率和成本。海洋环境的特殊性，尤其是深水区域，给管道安装带来了极大的挑战。本文旨在分析海洋石油平台管道安装的技术现状，探讨深水环境中的主要问题，并提出优化方案，以提高安装效率和安全性。

2 海洋石油平台管道安装技术概述

海洋石油平台管道安装技术随着海洋油气开采的不断深入而持续发展和完善。海洋环境的复杂性要求管道安装技

术不仅要具备高效性和稳定性，还必须能够应对波浪、海流等各种自然条件的挑战。不同的环境条件（如水深、海底地质和海洋气候）对安装技术提出了不同的需求，因此海洋石油平台管道的安装方法不断演化如图 1。目前常见的技术包括滑移式安装、吊装式安装和沉管铺设，每种方法具有其特定的适用范围和技术特点。

2.1 滑移式安装

滑移式安装技术是一种简单且经济的管道安装方式，广泛应用于浅水或中等水深的海域。其基本原理是将管道固定在滑道或滑轨上，通过支撑结构将管道逐段滑移至目标位置。由于该技术的施工设备相对简单且成本较低，因此在水深较浅的海域和管道较短的工程中尤为常见。该技术的优点在于施工简便、设备要求较低，且能够在平稳的海况下快速完成管道铺设。但在水深较大的海域，滑移式安装技术的应用受到限制。随着水深的增加，海流、波浪等动态因素对管

【作者简介】宋鹏飞（1990-），男，中国山东胶州人，本科，工程师，从事海洋工程研究。

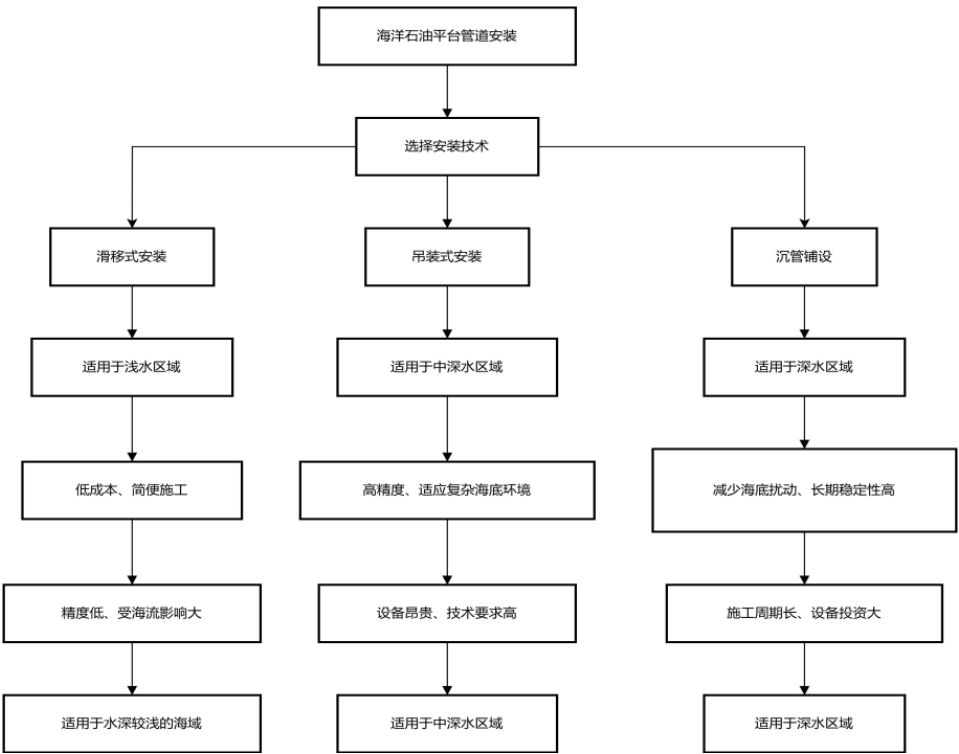


图 1 管道安装技术流程

道的安装精度产生较大影响，可能导致管道位置偏移，降低安装精度。因此，滑移式安装技术主要适用于水深较浅的环境，对于复杂的海底地形和深水环境的适应性较差^[1]。

2.2 吊装式安装

吊装式安装技术常用于中深水区域，特别适合长距离管道的铺设。该技术通过浮吊、起重船等大型设备将管道吊至预定海域，并缓慢放置于海底。吊装式安装在中深水环境中的应用较为广泛，能够提供较高的安装精度，特别适合在海底地质较复杂的区域进行操作。其主要优点是能够应对复杂海底环境，施工精度较高，适合长距离管道的精确安装。但吊装式安装所需设备较为昂贵，且对施工环境要求较高。强烈的海流、波浪等自然因素可能会影响安装进度和质量，因此在操作时需要较高的技术支持。尽管如此在实践中深水油气田开发和复杂海洋环境中，吊装式安装技术仍是实现高效、精确管道铺设的常用方法。

2.3 沉管铺设

沉管铺设技术是专门应用于深水环境的管道安装方法，特别适用于 1000 米以上的深水区域。该技术的基本原理是将预制好的管道在海面或浮动平台上预装好，通过沉放的方法

将管道准确地放置到海底。沉管铺设技术适应性强，能够应对深水区域的复杂海底地质，常用于长距离管道的铺设。沉管铺设的优点在于可以减少对海底环境的扰动，保证管道的长期稳定性和安全性，并且适用于复杂的海底地质和深水环境。然而，沉管铺设的施工周期较长，且对设备的要求较高，需要使用专门的沉管设备，设备投资较大。尽管沉管铺设技术具有较强的适应性和稳定性，但其较长的施工周期和较高的设备成本使得该技术主要应用于深水区域，而在浅水和中水区域则较少使用。以下表 1 对比了各种管道安装技术的几个关键指标。

据表 1 可以看出，海洋石油平台管道安装技术不断进化以应对不同的海洋环境和油气资源开采需求。滑移式安装适用于水深较浅的海域，具有低成本、施工速度快等优点，但在深水环境中精度较低；吊装式安装在中深水区应用广泛，适用于复杂地质，提供高精度安装，但需要较高的设备和技术支持；而沉管铺设则是深水区域的首选技术，具有较强的适应性和长期稳定性，尽管施工周期长且设备投资较大^[2]。随着技术的持续创新，未来这些安装方法将进一步提升作业效率和稳定性。

表 1 各种管道安装技术对比表

技术名称	适用水深	优点	缺点	应用场景
滑移式安装	浅水（50~200 米）	成本低、施工简便、施工速度快	精度低、受海流影响大	水深较浅、管道较短的工程
吊装式安装	中深水（300~1500 米）	高精度、适应复杂海底环境、长距离管道精确铺设	设备高昂、技术要求高、施工周期长	中深水区域，长距离管道铺设
沉管铺设	深水（> 1000 米）	适应深水、减少海底扰动、长期稳定性高	设备要求高、施工周期长、成本较高	深水区域，复杂海底地质，长距离管道铺设

3 海洋石油平台管道安装的技术分析

3.1 深水环境中的技术难题

随着海洋油气开采逐渐向更深的水域扩展,深水环境中的管道安装面临的技术挑战也愈加严峻。深水区通常指水深超过 500 米的海域,水压、温度、海流和波浪等因素对管道安装技术提出了更高的要求。在这种环境中,水压随着水深的增加逐渐增大,管道在海底的承受压力也随之增大,这可能导致管道变形或损坏。海底的低温则可能影响管道的材质,尤其是管道连接点的密封性和强度。因此,管道材料必须具备较高的耐压性、抗腐蚀性和低温适应性,以确保管道在深水环境中的稳定性和长期使用寿命。深水区域的海流和波浪对管道的铺设精度产生了显著影响。强烈的海流和浪涌不仅会导致管道在安装过程中位置偏移,甚至可能引发物理损坏。尤其在恶劣天气条件下,海流的变化可能迫使施工暂停或延迟。为了应对这些挑战,管道安装过程中需要采取一系列技术措施,例如增强管道加固设计、采用先进的自动化定位系统以及精密的安装设备,以确保安装过程中的精度和稳定性。

3.2 管道的安全性问题

海底管道作为海洋石油平台与陆地之间的关键连接通道,其安全性直接关系到油气传输的稳定性。然而,由于海洋环境中的多种自然因素,管道在长期运行过程中面临着腐蚀、磨损、沉降、地震等风险。海水腐蚀是管道面临的最大威胁之一,海水中的盐分和化学物质可加速管道金属表面的腐蚀,导致管道强度下降,甚至发生泄漏。为延长管道使用寿命,常采取防腐涂层、阴极保护等技术措施,同时管道材料必须具备较强的抗腐蚀性,常采用不锈钢、合金钢等耐腐蚀性强的材质。海流和海底地质的变化对管道的稳定性也构成了挑战。在管道敷设过程中,海流的冲击和海底地质的摩擦可能导致管道的稳定性受到影响,尤其是在转弯和复杂地形处,过大的摩擦和拉力可能引起管道的结构损坏或泄漏^[3]。

4 自动化管道安装技术与优化算法在海洋施工中的应用

4.1 自动化管道安装技术

自动化管道安装技术在管道焊接方面的应用,显著提高了施工质量与效率。在传统的管道焊接过程中,人工操作容易受到作业人员技能、环境变化等因素的影响,导致焊接质量不稳定。为了解决这一问题,自动化焊接技术通过高精度机械设备(如自动焊接机器人、焊接自动化系统)进行焊接作业,不仅提高了焊接精度,还确保了每一焊缝的一致性与可靠性,减少了人为误差。在海洋环境中,作业条件通常恶劣,强烈的风浪和波动使得人工操作极为困难。自动化技术的引入有效地解决了这一问题。采用机器人技术和计算机

控制系统,自动化设备可以在海上平台或浮动作业单位上进行作业,从而确保管道安装精度的同时,避免了因人为因素造成的施工延误或质量问题。而传感器技术的发展使得智能监控系统得以在管道安装过程中广泛应用,这些智能监控系统通过布置传感器阵列(如温度、压力、加速度传感器),实时监控管道状态、焊接过程、海洋环境等参数。通过传感器采集的数据,施工人员可以在第一时间发现潜在的施工问题,如焊接缺陷、管道受力不均等,从而进行及时的调整和修正。这种实时监控技术能够有效降低施工过程中由于环境因素或设备故障带来的风险,提高施工精度与安全性。

4.2 优化算法的应用

管道安装项目通常涉及多个作业环节和资源调配,传统的人工调度方式难以应对复杂的施工条件和环境因素。为此现代优化算法在管道安装中的应用成为提高施工效率、降低成本和减少风险的关键。优化调度技术通过先进的数学模型与算法,如遗传算法(GA)、粒子群优化算法(PSO)和模拟退火算法(SA)等,对施工流程和资源配置进行优化。通过这些优化算法,可以在多个备选方案中选择出最合适的施工方案,最大程度地提升施工效率并最小化施工成本。如在深水管道的安装过程中,海流、天气等外部因素对施工进度和施工质量的影响极大,优化算法能够根据实时的气象、海流数据,动态调整施工计划和人员调度,避免在不利条件下进行施工操作,降低环境变化对施工进度的影响。具体而言,优化算法可以帮助分析和预测作业过程中可能出现的变化,如管道铺设时的海流变化、焊接时的材料温度波动等,通过合理安排施工步骤和人员调度,避免在极端天气或强海流条件下作业。这不仅有效缩短了施工周期,也避免了因外部环境变化而导致的施工延误。此外,优化算法还能够平衡各项施工任务之间的资源分配,确保设备的高效使用,避免因资源浪费或调度不当而造成的额外成本。

5 结论

海洋石油平台管道安装技术是一个复杂的系统工程,受到环境、设备和技术等多重因素的影响。通过对现有技术分析与优化,可以有效提高管道安装的效率和安全性。随着智能化和自动化技术的发展,未来的管道安装将更加高效、精确和安全。

参考文献

- [1] 陶艳文,纪志远,朱武.海洋石油平台井口区的配管设计[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(01):108-110.
- [2] 马志刚,王玉伟,邵艳红,等.论海洋石油平台管道穿舱选型设计的隐藏需求[J].石油和化工设备,2024,27(11):168-170.
- [3] 于子健.海洋石油在役海底管道安全事故分析及对策研究[J].石化技术,2024,31(10):315-317.

Research on leakage problem and prevention and control technology

Biao Gong

Leye County Water Resources Bureau, Baise, Guangxi, 533000, China

Abstract

Water conservancy project is an important part of national infrastructure construction, and leakage problem, as the most common disease type, has become an important hidden danger threatening engineering safety; structural leakage caused by construction defects and material aging, foundation leakage caused by geological conditions, and crack leakage caused by external load are the most common types of leakage. This paper discusses the adverse effects of leakage on engineering structure durability, foundation soil stability and water resources utilization efficiency, mainly expounds the application of polymer anti-seepage material, grouting and seepage control technology innovation and intelligent monitoring and early warning system based on optical fiber sensing research progress, puts forward new optimization direction for engineering seepage control ability.

Keywords

water conservancy project; leakage problem; seepage control measures

水利工程常见问题及防控技术研究

龚彪

乐业县水利局, 中国 · 广西 百色 533000

摘 要

水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分, 而渗漏问题作为其最普遍的危害类型, 已成为威胁工程安全的重要隐患; 施工缺陷与材料老化引起的结构渗漏、地质条件导致的基础渗漏、外部荷载造成的裂缝渗漏是最常见的渗漏类型。本文系统探讨了渗漏对工程结构耐久性、地基土体稳定性和水资源利用效率的不利影响, 重点阐述了高分子防渗材料的应用、灌浆防渗技术的创新以及基于光纤传感的智能化监测预警系统研究进展, 为工程防渗能力提出了新的优化方向。

关键词

水利工程; 渗漏问题; 渗控措施

1 引言

随着社会经济快速发展, 中国水利工程建设规模不断扩大, 工程安全运行面临着严峻挑战。渗漏作为水利工程最普遍的危害类型, 不仅影响工程功能发挥, 更可能诱发严重的安全事故。统计数据显示, 近年来因渗漏引发的水利工程事故呈上升趋势, 已成为威胁工程安全的重要隐患。本文在深入分析水利工程渗漏成因的基础上, 系统探讨渗漏对工程结构和运行安全的危害, 重点阐述新型防渗材料、灌浆技术和监测预警等关键技术的创新发展, 以期为提高水利工程防渗能力、保障工程安全运行提供理论指导和技术支持。

2 水利工程常见的渗漏问题分析

2.1 施工缺陷与材料老化引起的结构渗漏

水利工程建设过程中的施工质量控制与材料选用直接

影响工程整体性能。施工管理不到位、技术工艺不规范等因素导致工程结构存在众多隐蔽的施工缺陷, 主要包括混凝土密实度不足、冷缝处理不当、止水施工不严密等。这些施工缺陷为渗漏埋下隐患, 在水利工程投入使用后, 持续的渗流水压力作用使缺陷不断扩大, 最终造成结构开裂渗漏。水工建筑材料在长期服役过程中发生的老化退化问题更加严重, 如混凝土碳化深度不断增加、钢筋锈蚀程度持续加重、结构裂缝逐步扩展、混凝土强度显著降低等。材料性能劣化导致原本致密的结构逐渐疏松多孔, 成为渗漏事故的高发区域。大坝坝体、溢洪道面板、输水隧洞衬砌等关键部位出现的结构渗漏, 直接危及工程安全稳定运行。施工缺陷与材料老化的双重作用, 使得水利工程结构渗漏问题日益突出, 成为工程维护的重大难题。结构渗漏不仅降低了工程使用性能, 还可能引发连锁反应, 导致工程功能丧失, 严重制约工程效益的发挥^[1]。

2.2 地质条件与施工工艺导致的基础渗漏

水利工程基础所处的地质环境存在诸多不利因素, 岩

【作者简介】龚彪 (1993-), 男, 中国广西百色人, 本科, 助理工程师, 从事水利工程研究。

溶发育、构造破碎带分布广泛等复杂地质条件,给基础防渗带来极大挑战。渗透性强的砂砾层、裂隙发育的岩体为渗流提供了天然通道,在上部建筑物自重及外荷载作用下,基础渗漏问题逐步显现。基础渗漏还表现为局部渗漏量过大、渗流通道持续扩展、渗透压力持续升高等现象。岩溶塌陷、管涌等渗透破坏现象更为严重,直接威胁着枢纽工程的整体稳定性。地质条件的复杂性增加了基础防渗设计与施工难度,如砂砾石地基防渗墙施工中常见槽壁坍塌、接头渗漏等问题;溶洞发育区进行帷幕灌浆时则面临着灌浆效果差、封闭不完全等难题。地基岩土体的非均质性导致渗流路径复杂多变,渗漏问题难以准确预测和有效控制。基础渗漏还可能导致地基承载力下降、地表沉降加剧、边坡稳定性降低等次生灾害,造成的工程事故频发,已成为制约水利工程安全运行的重要因素。

2.3 外部荷载与温度变化造成的裂缝渗漏

水利工程在运行过程中不可避免地受到各种复杂外部荷载的影响,包括地震、爆破、不均匀沉降等。当作用于结构的荷载超过自身承载能力时,极易引发裂缝的产生与扩展。裂缝贯穿结构后,在持续的渗流水压力作用下不断发展,最终形成严重的渗漏通道。自然环境中的昼夜温差与季节性温度波动导致混凝土内外温度梯度显著,温度应力的反复作用引起表面和内部裂缝的产生。大体积混凝土结构、高边坡支护结构等构筑物对温度裂缝特别敏感,一旦出现贯通性裂缝,将直接威胁工程安全。外部荷载引起的结构变形还可能导致止水带断裂、接缝开裂等问题,进一步加剧渗漏。混凝土坝、堆石坝、边坡防护等建筑物的裂缝渗漏已成为安全运行的主要风险因素。复杂的荷载条件和温度变化使得裂缝发展规律难以掌控,大幅增加了渗漏防治难度,严重影响工程运行安全和使用寿命^[2]。

3 渗漏对水利工程的危害

3.1 渗漏引发的工程结构耐久性降低分析

长期渗漏是导致水利工程结构性能退化的主要诱因。渗流水对混凝土的化学侵蚀作用会引起水化产物分解、骨料溶蚀等一系列破坏,使混凝土强度降低、孔隙率增大,最终导致结构耐久性大幅下降。对于钢筋混凝土结构,渗漏水还会加速钢筋锈蚀进程,锈胀引起保护层开裂、剥落,严重削弱结构的整体性和承载能力。同时,渗漏引发的湿润环境亦为混凝土碱集料反应、冻融侵蚀等劣化机理提供了条件。在渗漏—劣化的恶性循环作用下,建筑结构承受各种不利因素侵袭的能力逐渐丧失,最终导致工程使用寿命难以保证。因此,揭示渗漏引发结构耐久性降低的内在机制,对指导工程结构的优化设计与长效维护具有重要意义。

3.2 渗透冲刷造成的地基土体破坏机理

渗流水对建筑结构的影响不仅限于直接的消极作用,更在于其渗透作用对地基土体的潜在破坏。当渗透水动力超

过土颗粒的抗冲刷能力时,细颗粒土壤会被水流携带并迁移,导致土体孔隙率显著增大,密实度和强度随之大幅降低;而当渗透坡降突破土体的临界值时,将诱发流土、管涌等一系列严重的渗透破坏现象,进一步削弱地基土体的承载能力。地基土体强度的丧失,直接威胁到上部结构的稳定性,导致不均匀沉降、倾斜等病害频发,严重威胁工程的整体安全。特别是在地基存在溶洞、采空区等不良地质条件的情况下,渗透冲刷造成的破坏尤为显著;渗流水的长期冲刷不仅会使溶洞范围不断扩大,还会导致采空区顶板失稳坍塌,进而引发地基的整体失效。因此,深入揭示渗透冲刷引起地基土体破坏的演化机理,对于科学指导水利工程基础防渗设计与加固处理,确保工程长期安全稳定运行具有深远意义^[3]。

3.3 渗漏导致的水资源浪费与经济损失

渗漏问题所造成的水资源浪费现象不容忽视,它已成为制约水资源高效利用的关键因素之一。据统计,中国每年因水利工程渗漏而损失的水量惊人,高达数百亿立方米,这无疑进一步加剧了中国水资源供需紧张的矛盾。渠道、水库等重要的输配水建筑物存在的大量漏损问题,不仅直接影响了灌区农田的灌溉保证率,给农业生产带来了严重的负面影响;而且城市供水管网的跑冒滴漏现象也时常发生,可能引发区域性的供水短缺,严重威胁到居民的正常生活用水。水资源的无谓浪费,同时也意味着巨大的经济损失:一方面,渗漏问题导致水利工程的实际供水能力难以达到设计标准,大大降低了工程的投资效益;另一方面,渗漏所造成的损害又需要投入大量的人力物力进行修复加固,使得工程的维护成本居高不下。因此,加强渗漏控制不仅关系到水利工程效益的充分发挥,更关乎水资源的高效利用和可持续发展;水利工程渗漏防控已成为当前推动水利事业高质量发展的关键议题。

4 水利工程中的渗控措施技术

4.1 新型防渗材料在工程结构中的应用

材料科学技术的快速发展为水利工程防渗领域带来革新性突破,新型防渗材料不断涌现,为解决结构渗漏问题开辟新途径。高分子防渗材料凭借优异的柔韧性、耐久性和自愈合能力,在工程应用中展现出独特价值。通过在聚合物基体中添加纳米粘土、纤维、橡胶等功能性填料,显著提升了材料的抗渗性能和抗老化性能。首先,这类新型防渗材料可应用于混凝土表面涂层施工,构建防渗屏障;其次,在结构接缝密封处理中发挥重要作用,增强整体性能;最后,在大体积灌浆工程中展现特殊优势,提高防渗效果。智能响应型防渗材料的研发成果丰硕,形状记忆聚合物、自修复混凝土等新型材料能对裂缝、孔洞等渗漏隐患做出主动响应,通过可逆相变或化学反应实现自主修复。在极端气候条件下,防渗材料的耐候性和适应性得到充分验证,表现出优异的抗老化性能。新型防渗材料在工程实践中表现出极强的适应性,

既可用于新建工程设计阶段的防渗布置,也可应用于既有工程病害的修复加固,推动水利工程防渗技术不断革新。防渗材料在极端气候、复杂地质等恶劣环境中的长期服役性能评价成为研究重点,通过材料性能优化、结构设计创新和环境适应性研究,实现防渗系统的全面提升^[4]。

4.2 灌浆防渗技术在地基加固中的创新

灌浆防渗作为水利工程基础加固的关键技术,面临着日益严峻的工程地质挑战。传统水泥基灌浆材料应用广泛但存在耐久性差、易老化等固有缺陷,难以完全适应现代工程建设需求。一方面,新型灌浆材料体系不断完善,超细水泥基灌浆材料凭借颗粒细、比表面积大、渗透性强等特点,能有效填充细小裂隙,提升灌浆效果;化学灌浆材料如聚氨酯、环氧树脂与水泥基材料复配使用,既增强凝固体强度又提升抗冲刷性能;生物灌浆技术通过微生物诱导碳酸钙沉淀,同时改善土体抗渗能力和力学性能。另一方面,灌浆工艺创新持续突破,振动灌浆技术有效减小灌浆盲区,真空灌浆工艺提高灌浆密实度,电动化学灌浆方法增强渗透效果。针对岩溶发育区、砂卵石层等特殊地质条件,新型灌浆材料展现出优异的适应性,成功解决传统灌浆难以应对的工程难题。在深部软土地基处理中,创新灌浆工艺的应用显著提高了加固效果,为类似工程积累宝贵经验。灌浆新材料与新工艺深度融合,不断拓展防渗加固技术的应用领域,为破解地质条件复杂的工程防渗难题提供有力支撑。通过加强灌浆防渗机理研究,完善技术规范标准体系,加快创新成果转化应用,实现灌浆防渗技术的持续发展与突破^[5]。

4.3 渗漏监测预警系统的智能化研究

渗控固然重要,而渗漏的实时监测预警更是水利工程安全运行的重要保障。传统人工巡检与定期监测模式难以全面掌控工程渗漏状态,亟需建立智能化的监测预警体系。近年来,光纤传感、物联网等先进技术的引入,为实现渗漏的实时动态监测提供了新手段。通过在关键部位布设光纤传感器阵列,可连续获取渗流水压力、流量等渗漏特征参数。结合大数据分析平台,海量监测数据的传输、存储、处理逐步实现自动化。监测信息的可视化综合展示,为工程管理人员直观研判渗漏险情提供了数据支撑。此外,基于多源异构数

据融合的渗漏智能诊断、预警模型也成为研究热点。借助人工智能算法,实现渗漏数据的特征提取、模式识别与趋势预测,为渗漏风险的超前研判、处置决策提供科学依据。未来,随着新一代信息技术的不断突破,渗漏监测预警系统必将向全方位感知、全过程分析、全时段预警的智慧化方向发展。同时,如何在复杂工况下保障监测数据的准确性、可靠性,提高监测设备的稳定性、耐久性,降低监测系统的建设、运维成本,也是今后研究需着重攻克现实难题。只有监测手段与分析模型的持续创新,才能为水利工程渗控体系建设提供有力的技术支撑^[6]。

5 结语

水利工程渗漏防控事关工程安全运行和水资源高效利用,随着工程规模扩大和服役年限增长,渗漏问题日益凸显。材料劣化、地质条件和外部荷载等多重因素导致渗漏问题复杂多样。新型防渗材料的研发应用、灌浆技术的持续创新和监测预警系统的智能升级,为防渗技术体系发展注入新动力。加强材料性能优化、工艺创新和监测手段研发,深化渗漏机理研究,完善标准规范体系,建立全过程质量控制,推进新技术工程化应用。在工程建设理念、技术手段和管理模式等方面协同发力,必将有效提升水利工程防渗能力,确保工程长期安全运行。

参考文献

- [1] 邓建君,郭园园.水利工程常见渗漏问题及渗控措施技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(27):202-204.
- [2] 杨秀海,吕天成.水利工程常见渗漏问题及渗控措施技术分析[J].西部探矿工程,2024,36(02):6-9.
- [3] 王凤香.水利渠道渗漏的维护及防控措施研究[J].大众标准化,2022,(14):19-21.
- [4] 刘若华.水利工程常见渗漏原因及防渗技术探讨[J].地下水,2021,43(01):216-217.
- [5] 张翔.水利工程施工中防渗技术要点研究[J].住宅与房地产,2019,(34):161.
- [6] 郑璐.水利工程质量检测常见问题及预控措施探析[J].现代物业(中旬刊),2018,(02):53.

Cause analysis and countermeasures of fracturing sand plugging in Jin58 Well area of Dongsheng gas field

Peng Chen

Research Institute of Engineering Technology, SINOPEC North China Oil and Gas Company, Zhengzhou, Henan, 450007, China

Abstract

The reservoir gas wells in Dongsheng gas field require hydraulic fracturing to obtain production, but due to engineering and geological reasons, the fracturing process can easily cause sand plug during construction, affecting the production of the compressed gas wells and increasing operating costs. In response to the problem of sand plug during the fracturing process, the characteristics of the fracturing sand plug curve were analyzed. The influence of factors such as formation, fracturing fluid, proppant, construction command, and design on sand plug during fracturing construction was analyzed. The causes of sand plugging were identified, and effective solutions were found for the causes. So as to minimize the occurrence of sand plugging, effectively improve the quality of work and improve construction efficiency.

Keywords

Dongsheng Gas Field; Hydraulic fracturing; Sand plug; Analysis; Countermeasure

东胜气田压裂砂堵原因分析及对策

陈鹏

中国石化华北油气分公司石油工程技术研究院, 中国 · 河南 郑州 450007

摘 要

东胜气田储层气井需要通过水力压裂才能获得产量,但压裂过程中由于工程和地质方面的原因,容易引起施工砂堵,影响压后气井产量,增加作业成本。针对压裂过程中砂堵问题,对压裂砂堵曲线特征进行了分析,分析压裂施工中地层、压裂液、支撑剂、施工指挥、设计等因素对压裂施工砂堵的影响,找出造成砂堵现象出现的原因,针对出现的原因找到有效的解决措施。从而尽量降低砂堵现象发生,有效提高作业质量和提高施工效率。

关键词

东胜气田; 水力压裂; 砂堵; 分析; 对策

1 概况

东胜气田位于泊尔江海子断裂以南,储层致密且非均质性强^[1]。近年来通过水力压裂技术取得了较好的气井产量。但是,压裂施工过程中,砂堵也是一种经常发生的现象,会造成压裂液等物质材料严重的浪费,从而提高施工成本^[2-3],还会造成相关管线和设备的损坏及井下事故^[4-5]。砂堵后压裂液长期停留在储层中,对于储层也会造成损坏,影响到压裂的效果^[6]。但随着压裂规模和砂量的提升,砂堵率也逐渐升高,砂堵后一般需要采用连续油管冲砂,处理时长平均为4.5 d,这不仅延长了施工周期,而且耽误了气井产能快速释放^[7]。目前砂堵研究主要从理论、压裂液及现场管控进行分析总结,对施工曲线发生砂堵的特征分析偏少,本文通过施

工曲线的特征分析,找出砂堵发生的原因,总结归纳砂堵时压裂曲线的特点和类别,提出符合实际的防控措施,为施工过程中及时做出正确决策和压裂设计优化提供参考^[8]。

2 砂堵原因分析

在压裂施工过程中,砂堵现象指的是因为裂缝的产生造成的脱砂或者支撑剂等引起的压裂施工压力上升,造成压裂被迫停止的现象。压裂过程中的砂堵现象主要分为两种:脱砂和桥堵。砂堵的原因主要分为地质因素和工程因素^[9-10],其中地质因素包括砂体厚度较薄且泥岩发育、储层弹性模量高导致窄缝、天然裂缝发育、泥质含量高、砂体歼灭等,工程因素包括设计中前置液比例低、砂比高,压裂液性能差、支撑剂杂质多压裂车排量不稳、混砂车供液不畅等。砂堵主要表现为近井地带脱砂和裂缝端部脱砂^[11]。

压裂施工中砂堵往往是多个因素共同作用造成的,为了使问题更加明确,根据初步分析的结果将压裂施工井砂堵

【作者简介】陈鹏(1983-),男,中国河南西平人,硕士,助理研究员,从事油气藏增产与测试技术研究。

的主因分为以下几类：地层条件、压裂设计、压裂液性能、现场施工管控等因素。

2.1 地层条件

东胜气田储层物性较好，渗透性较高，孔径大，可能导致压裂液大量滤失，从而缝宽不足，压裂砂聚集在缝口附近导致砂堵；锦 58 井区已开发近 10 年，目前老井长时间开采使地层压力下降，压裂时压裂液容易大量滤失进地层，导致压裂过程中泵压持续较低，为防止压窜邻井，无法提高施工排量，易在井筒中脱砂导致砂堵。

2.2 压裂设计

压裂设计针对不同的地层应该有一定的针对性，压裂施工主要为造缝加砂，压裂设计中前置液比例过小可能导致造缝不足，后期压裂砂进入时空间不足引起砂堵；如果压裂设计中支撑剂粒径选择过大，而压裂造缝缝宽过窄，支撑剂进入裂缝后容易引起堵塞，堵砂；另外，过高的砂比、压裂规模过大也是引起砂堵的原因。

2.3 压裂液性能

压裂液是压裂施工中最重要的材料，除了传递压力还要将支撑剂携带进入裂缝，如果压裂液性能不达标，将大幅增加施工风险。压裂液的稳定性和抗剪能力直接反映在剪切和高温度的条件下运砂的能力，压裂液在其中流动时，容易促使井筒附近的一些支撑剂在裂缝中产生沉降，产生摩擦性和阻力。压裂液性能变差时，悬砂能力变差，会导致压裂砂在水平段沉淀，当沉淀量足够多时，则会引起砂堵。

2.4 现场施工管控

在施工过程中，由于人为失误破胶剂加量过多导致压裂液黏性下降，压裂液携砂能力变低，可能造成砂堵；在施工过程中，由于某些原因，设备可能出现故障，如压裂泵车

刺漏、混砂车无法供液等导致运送压裂液能力不足，施工排量受限，施工排量偏低，无法提升排量进行施工，可能引起砂堵。加砂不平稳、砂子中有杂物、支撑剂浓度不稳定，井下工具损坏等因素也会导致砂堵。

从前期施工井的砂堵主要因素来看，压裂液性能>地层条件>现场施工管控>压裂设计。具体实例如图 1：

曲线特征：本段施工地层破裂后初始油压 40MPa 左右，在 14% 砂比阶段油压开始缓慢上升，表现为缝宽不足特征，30% 砂比压力突降表现为高滤失特征。

原因分析：携砂液初期压力持续上涨，说明地层摩阻不断增大，可能是前置液阶段造缝缝宽不足所致，在砂比 25% 阶段压力快速下降，可能是由于缝高失控所致，造成液体滤失加剧，在 30% 砂比进入地层后压力出现突升，此时裂缝内脱砂现象已经比较严重，最终造成砂堵。

本井砂堵主要原因：地层因素、设计前置液比例偏小具体实例如图 2。

曲线特征：本段施工地层破裂后初始油压 40MPa 左右，在 21% 砂比前油压缓慢下降，施工正常，之后突然升高，表现为缝口脱砂特征。

原因分析：该井位于乌兰吉林断裂带附近，天然裂缝较发育；盒 1-2 层砂厚约 11m，结合邻井导眼段测井图，纵向上遮挡效果较差，第十二段整体物性较好；整体施工压力整体呈持续下降趋势，降幅达 10MPa 左右，说明压裂液滤失比较严重，砂子逐渐封堵天然裂缝造成了后续压力逐渐升高，但此时提高砂比，也加剧了砂子的堆积，造成砂堵。

本井砂堵的主要原因：天然裂缝发育导致液体滤失增大，现场调整不及时，具体实例如图 3。

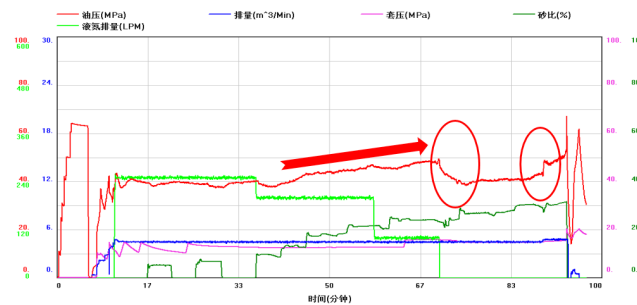


图 1 J1 井旗 4 段施工曲线

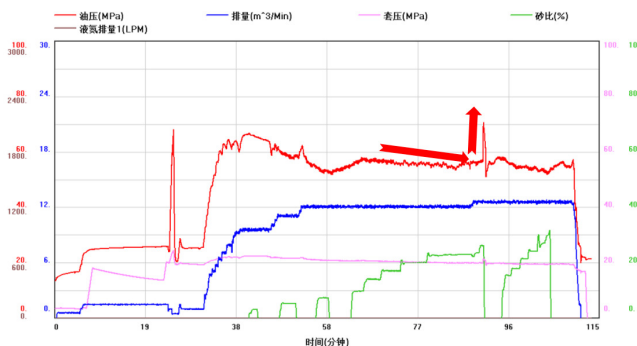


图 2 J2 井第十二段施工曲线

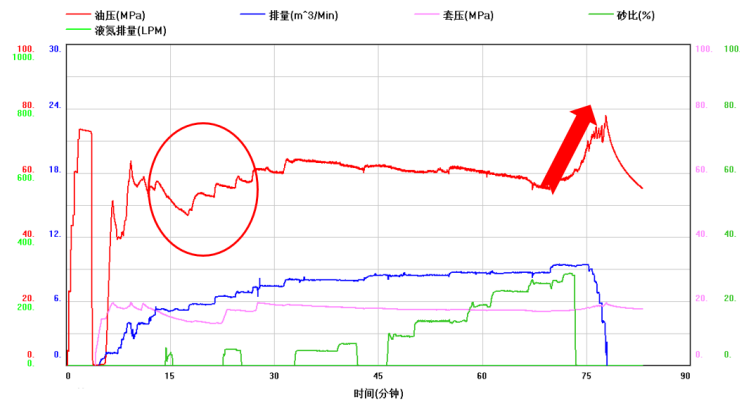


图3 J3井第一段施工曲线

曲线特征：本段施工地层破裂后初始油压 58MPa 左右，地层压力较高，无法快提设计排量，施工过程中压力呈缓慢下降趋势，24% 砂比压力下下降较快表现为高滤失特征。

原因分析：该段前置液阶段地层破裂压力较高，地层破裂后压力下降明显，之后阶梯提排量造缝，但未能提高至设计排量，液体摩阻偏高，造缝效果不佳，在携砂液阶段高砂比（24%）下压力下降较快，滤失加剧可能导致缝内脱砂，造成砂堵。

本井砂堵的主要原因：压裂液性能差。

3 压裂施工砂堵对策

压裂施工砂堵对策主要从工程设计方面和现场管控方面进行优化。

3.1 工程设计方面

压裂液性能方面：为保证压裂液性能，对于天然裂缝发育的区块，压裂液瓜胶粉比进一步提高到 0.5%，压裂液基液粘度达到 60mPs 以上；

前置液比例方面：优化施工设计，混合水体积压裂（特别是天然裂缝比较发育的区块）提高前置液比例至 50% 左右，保证造缝效果；

支撑剂方面：对于储层比较致密，裂缝扩展困难的区块，支撑剂的粒径需要进一步优化为 70/140 目 +40/70 目 +30/50 目组合支撑剂，并适当增大小粒径比例，采用小粒径支撑剂段塞填充天然裂缝。

3.2 现场管控方面

压裂液性能方面：应该保证现场配液用水的水质符合要求矿化度小于 800ppm 的要求，同时保障压裂液罐清洁无杂质，避免因液罐内残存杂质影响压裂液性能；

添加剂方面：现场破胶剂、交联剂的加量应进一步加强管控，胶囊破胶剂应严格按照 0.02%~0.04% 比例加入，过硫酸铵破胶剂在主加砂阶段按照 0.015%~0.045% 比例加入，禁止提高比例，交联剂的加入以达到最佳交联效果为目标；设备方面：压裂队应保证压裂设备运行正常，满足设计要求排量，以及供液连续性；支撑剂方面：使用的支撑剂应保证无大块

杂质，避免支撑剂中杂质进入泵腔，影响压裂车运行。

4 结论

①分析了东胜气田压裂砂堵的原因，主要有工程设计和现场管控两方面因素，主要表现为地层泥质含量高，施工压力高达不到设计排量，地层裂缝发育或靠近断裂带、液体滤失量大，压裂液性能不达标，携砂性能差，易形成砂堵。

②针对砂堵原因，结合施工井储层性质和特点，在压裂过程中提高前置液比例、采取多段塞降滤失和打磨裂缝及炮眼、采用小粒径组合支撑剂、控制好压裂液携砂性能等措施，并加强压裂现场施工质量监管，从而保证了压裂施工成功，完成设计加砂量。

参考文献

- [1] 杨帆.东胜气田盒 2+3 段储层特征及中高产气层识别[J].石油化工应用, 2017, 36(5): 97-101.
- [2] 张慎.压裂砂堵问题分析及对策研究[J].化工管理, 2016.(1): 56.
- [3] 江鹏川.降低水力压裂施工过程中砂堵风险的措施[J].工业、生产, 2024.(1): 15-17.
- [4] 陈实等.压裂井砂堵原因分析及对策探讨[J].科学管理, 2019.(1): 290-300.
- [5] 于源等.压裂过程中砂堵处理方法的实践[J].技术装备, 2021.(2): 14-19.
- [6] 伊坤.压裂井砂堵原因分析及对策[J].化学工程与装备, 2022.(2): 80-81.
- [7] 张永春等.致密裂缝性油藏水平井压裂砂堵原因分析及对策[J].油气藏评价与开发, 2014, 4(6): 39-42.
- [8] 祁生金等.致密砂岩气藏压裂砂堵原因分析及对策[J].石油化工应用, 2023.42(10): 14-19.
- [9] 郭兴等.延长气田W区域本溪组砂堵分析[J].非常规油气, 2020.7(4): 97-105.
- [10] 翟恒立.非常规压裂施工砂堵原因分析及对策[J].勘探开发, 2015.(2): 130,165.
- [11] 李振鹏.老新区块压裂施工砂堵成因研究[J].江汉石油职工大学学报, 2023.36(6): 39-41.

Research on risk identification and Control strategy in high-consequence areas of long-distance Natural gas Pipeline

Gang Wu Meng Ai Zhonglu Yang

National Pipeline Network Group, Beijing Natural Gas Pipeline Co., Ltd. Shanxi Branch, Yangquan, Shanxi, 045100, China

Abstract

With the continuous growth of energy demand in China, the role of long-term natural gas pipeline in energy supply is becoming more and more important. However, the long-term natural gas pipeline may encounter many risks in the process of operation, especially in the high-consequence area, and its potential safety risks can not be ignored. This paper mainly studies the risk identification and control strategy of high consequence area of long distance natural gas pipeline. Through the definition and characteristics analysis of the high-consequence area, combined with the actual cases, the paper discusses the risk assessment method, and the corresponding control measures are put forward. The research shows that, based on the modern risk management theory, taking systematic risk identification, assessment and control measures can effectively reduce the safety risks in high-consequence areas and ensure the safe and stable operation of natural gas pipeline. This paper provides theoretical basis and practical guidance for the safety management of high consequence area of long natural gas pipeline.

Keywords

long-term natural gas pipeline; high-consequence area; risk identification; control strategy; safety management

长输天然气管道高后果区风险识别与管控策略研究

吴刚 艾蒙 杨忠路

国家管网集团北京天然气管道有限公司山西输油气分公司, 中国·山西 阳泉 045100

摘 要

随着我国能源需求的不断增长, 长输天然气管道在能源供应中的作用愈加重要。然而, 长输天然气管道在运行过程中可能遭遇多种风险, 尤其是在高后果区, 其潜在的安全隐患更是不可忽视。本文主要研究了长输天然气管道高后果区的风险识别与管控策略。通过对高后果区的定义与特点分析, 结合实际案例, 探讨了风险评估方法, 并提出了相应的管控措施。研究表明, 基于现代风险管理理论, 采取系统化的风险识别、评估和管控措施, 可以有效降低高后果区的安全风险, 确保天然气管道的安全稳定运行。本文为长输天然气管道高后果区的安全管理提供了理论依据和实践指导。

关键词

长输天然气管道; 高后果区; 风险识别; 管控策略; 安全管理

1 引言

长输天然气管道高后果区的风险识别与管控, 涉及多个方面的研究内容, 包括管道路径选定、区域风险评估、事故后果模拟、安全管控措施等。当前, 国内外在管道风险管理方面已有一定的研究, 但针对高后果区的特有风险识别与管控策略尚缺乏深入的探讨。本文通过对长输天然气管道高后果区的风险识别与管控策略的系统研究, 旨在提出有效的解决方案, 以降低管道事故的发生概率和减少事故的影响。

2 长输天然气管道高后果区的定义与特点

2.1 高后果区的定义

高后果区是指那些一旦发生事故, 可能对人身安全、

环境保护、公共财产以及社会稳定等方面造成严重后果的区域。在长输天然气管道的安全管理中, 高后果区指的是管道经过或附近的区域, 若发生泄漏、爆炸等事故, 其影响范围大, 后果严重, 且事故发生的概率较高。

高后果区的划分依据通常包括以下几个因素: 人口密度、重要设施分布、环境敏感性、社会经济影响等。通常, 管道周边居民区、工业区、交通枢纽等区域, 因其潜在的高风险与高损失, 常被划分为高后果区。

2.2 高后果区的特点

高后果区的风险管理难度较大, 主要表现在以下几个方面:

人口密度高: 高后果区通常位于人口密集的城市或周边区域, 事故一旦发生, 可能对大量人员造成直接伤害或影响。

关键设施集中: 高后果区内可能分布着大量的关键基

【作者简介】吴刚(1976-), 男, 中国河北辛集人, 工程师, 从事管道保护研究。

基础设施，如电力站、医院、交通枢纽等，一旦发生泄漏或火灾等事故，不仅会造成财产损失，还可能影响社会的正常运转。

环境敏感性强：部分高后果区位于自然保护区、生态敏感区或水源保护区，事故发生后，可能导致生态环境破坏，造成无法修复的长远损失。

事故后果的级联效应：高后果区的事故不仅会造成直接伤害，还可能通过级联效应引发更广泛的社会影响，如交通中断、电力停供等。

2.3 高后果区的风险评估要素

高后果区的风险评估需要综合考虑以下几个要素：

事故发生的概率：主要通过历史事故数据、管道技术状况、运营环境等因素，评估事故发生的可能性。

事故后果的严重性：根据事故类型、泄漏量、火灾爆炸的威胁范围等，评估事故发生后可能造成的损失与影响。

管道的地理与环境特征：高后果区的地理环境、气候条件等对事故的发生及其影响有着重要作用，需重点分析其对管道安全的潜在威胁。

3 长输天然气管道高后果区的风险识别方法

3.1 风险识别的基本方法

在对长输天然气管道进行风险识别时，通常采用定性与定量相结合的方法。定性分析帮助识别潜在的风险源，定量分析则通过概率与后果评估，量化风险的大小与可能性。两者结合，可以为管道安全管理提供更为全面和深入的风险识别与管控方案。

定性分析法：定性分析法主要通过专家评估法、故障树分析法（FTA）、事件树分析法（ETA）等方法对管道风险进行系统化评估，识别潜在的风险源和风险情景。专家评估法依赖于多名专家的知识 and 经验，对管道可能发生的风险进行定性判断，并提出相应的管控措施。

专家评估法：专家评估法通过邀请管道领域的专家，根据过往的事故数据、管道设备的技术参数以及运行环境进行综合评估，识别潜在的安全隐患。专家评估法能够基于主观经验和直觉，快速判断管道所处环境中的潜在风险。

故障树分析法（FTA）：故障树分析法通过将系统中的各个潜在故障事件拆解成更小的部分，以树形结构的方式对其进行层层分析，识别系统内的关键故障源，明确发生重大事故的具体原因。FTA 适用于分析复杂系统的结构性失效，通过识别单点故障和系统级别的风险，帮助找到根本原因。

事件树分析法（ETA）：事件树分析法用于分析事故发生后可能的后续发展，基于初始事件，评估一系列后续事件的发生概率及其后果。通过 ETA，可以全面分析一旦事故发生后可能导致的多重结果及其影响，有助于为管道事故的应急响应做出准备。

定量分析法：定量分析方法主要通过对事故发生概率

和后果进行数学建模，评估风险的大小。定量分析能够为高后果区的风险管理提供量化依据，帮助决策者采取更具针对性的安全措施。常用的定量分析方法包括风险矩阵法、蒙特卡洛模拟等。

风险矩阵法：风险矩阵法是一种通过对事件的发生概率与后果严重性进行评分，形成一个矩阵，以此对不同的风险进行排序的方法。矩阵法通过将风险事件分级，帮助管理者识别高风险区域和关键设施，进而集中资源进行管控。

蒙特卡洛模拟：蒙特卡洛模拟是一种通过大量随机抽样，评估系统在不同情境下可能产生结果的统计方法。它能够通过模拟不同风险情景的发生频率及后果分布，预测潜在风险的大小。蒙特卡洛模拟为高后果区的风险评估提供了一个多维度的模拟过程，可以预测事故发生的概率和后果范围，从而为管控措施的制定提供数据支持。

3.2 长输天然气管道高后果区风险识别的具体步骤

长输天然气管道高后果区的风险识别需要经过严格的分析与评估过程，确保全面识别潜在的风险源。具体步骤包括：确定高后果区范围、风险源识别与评估、事故后果分析，以及最终的风险评估和管控策略制定。

确定高后果区范围：确定高后果区的范围是风险识别的第一步。根据管道的路径、周围环境和设施分布等因素，明确哪些区域应被划定为高后果区。通常，管道周围的 1 公里至 5 公里范围内的区域，需要重点评估其安全风险。对这些区域进行精确划分，不仅有助于识别潜在的高风险地带，也为后续的管控策略实施提供了依据。

因素考虑：在划定高后果区时，主要考虑人口密度、设施分布、重要资源、生态环境等因素。若管道途经繁华的城市区域、高度工业化地区或是环境敏感区域，这些区域将被视为高后果区，需要重点监控。

风险等级划分：通过对不同区域的风险进行评估，可以将高后果区按危险程度划分为不同等级。较为危险的区域将需要更加严格的风险管控措施和应急预案。

风险源识别与评估：识别并评估高后果区内所有潜在风险源，是确保管道安全的关键步骤。潜在风险源包括管道的材质、输送气体的压力、管道的老化程度以及周围环境的影响等因素。

管道本身的风险源：管道材质的选择和制造质量直接影响管道的安全性。老化或损坏的管道容易导致泄漏等事故的发生，因此，对管道材质和老化程度的评估至关重要。

输送气体的风险：天然气作为易燃易爆的物质，其输送过程中产生的高压和高温是风险源之一。高压管道容易在事故发生时引发爆炸或火灾等灾难性后果。

外部环境因素：包括地质条件、天气因素、人为破坏等。极端天气（如暴雨、冰冻等）可能影响管道的结构，而人为因素（如非法开挖、施工等）也可能成为潜在的风险源。

事故后果分析：对可能发生的泄漏、爆炸、火灾等事

故进行后果分析,是评估高后果区风险的重要步骤。事故后果分析通过模拟不同类型事故发生后的连锁反应,评估可能造成的人员伤亡、财产损失和环境污染等。

后果分析方法:常用的后果分析方法包括爆炸模拟、火灾模拟、毒气泄漏模拟等,通过计算不同类型事故可能造成的伤害范围、爆炸波及范围、火灾蔓延速度等,评估事故发生后的影响程度。

影响范围评估:事故发生后,管道周边区域的影响范围需通过数学模型进行模拟。例如,泄漏气体的扩散、爆炸波的传播速度、火灾蔓延的路径等,这些都需要进行详细的后果模拟,以确保后续管控措施的有效性。

风险评估与管控策略的制定:根据识别出的风险源及其后果,结合定量与定性分析结果,制定相应的管控策略。这些策略包括但不限于管道监控、应急响应、修复和保养等。

管控策略制定:管控策略应涵盖风险预防、监测、应急响应等方面。具体策略包括加强管道检测频次、更新老化管道、部署实时监控系統、定期进行安全演练等。

管控措施实施:结合评估结果,建立起严格的风险管理体系,定期评估管道的运行状态,对高后果区进行重点监控,确保管道的安全稳定运行。

4 长输天然气管道高后果区的管控策略

4.1 管控策略的基本原则

高后果区的风险管理应坚持以下基本原则:

预防为主,防治结合:风险管理工作应强调事故的预防,制定完善的管道检测、监控及维修制度,防止事故的发生。同时,应结合应急预案,确保在事故发生时能够及时有效地应对,最大限度地减少事故的影响。

多层次管控,分级管理:高后果区的管控应采取多层次、分级管理的方式,结合区域特点,合理划分风险管理区域,确保每个区域的风险管控措施得当。不同等级的高后果区应采取不同的管控策略与应急预案。

动态监控,持续改进:管道的风险管控工作应是一个动态的过程,需要通过持续监控和定期评估,不断改进和完善风险管控措施。通过实时监控管道状态,及时发现隐患,并根据新情况调整管控策略。

4.2 管控策略的实施路径

建立全面的风险评估体系:通过建立长期、全面的风

险评估体系,定期对管道线路、设备状态以及高后果区内的风险源进行评估,及时发现潜在的风险点,确保管控措施的有效实施。

加强管道监控与检测技术的应用:采用现代化监控技术,如智能传感器、卫星遥感技术、无人机巡检等手段,进行管道的实时监测和检测,确保及时发现管道的异常状态,及时采取修复措施。

完善应急预案与事故响应机制:针对高后果区的特殊性,制定科学、有效的应急预案,并定期进行演练。通过演练,评估应急响应的有效性,并确保事故发生时能够快速、有效地进行应急处置。

4.3 高后果区安全管控案例分析

通过分析某长输天然气管道在高后果区的实际管控案例,结合管控措施的实施效果,评估管控策略的可行性和实际效果,从中提取经验,指导其他地区的管控工作。通过这一案例的分析,可以看到,在高后果区实施多层次的安全管控措施和严格的应急响应机制,能够有效降低事故发生的风险,减少事故发生后的损失。

5 结语

随着长输天然气管道的不断发展,特别是在高后果区的风险管理方面,如何有效识别和管控潜在风险,是保障管道安全运行的重要课题。本文通过对长输天然气管道高后果区风险识别与管控策略的研究,提出了一系列有效的措施,为管道安全管理提供了理论依据与实践指导。在未来的研究和实践中,需进一步完善风险评估方法和管控技术,推动长输天然气管道在更高安全标准下的运行,为社会提供更加安全、可靠的能源保障。

参考文献

- [1] 唐君言,孙学良,袁芳,等.国土空间规划中油气管线管控策略研究[C]//中国城市规划学会,合肥市人民政府.美丽中国,共建共治共享——2024中国城市规划年会论文集(02城市安全与防灾规划)。中国城市规划设计研究院;中规院(北京)规划设计有限公司;2024:8.
- [2] 艾力群,江玉友,门立国,等.管输行业甲烷排放现状与管控对策[J].油气田环境保护,2022,32(04):14-19.
- [3] 李伟,李新屋,王俊贺,等.航空煤油管道安全管理浅析[J].石化技术,2021,28(07):203-204.

Application and Prospect of Automated Measurement Robot in Modern Engineering Survey

Guang Luo

Jiuhua Dixin Space (Tianjin) Technology Co., Ltd., Tianjin, 300180, China

Abstract

This paper discusses the application and development prospect of automated measurement robot in the field of modern engineering survey. With the continuous progress of science and technology, the automatic surveying robot has become an important tool in the field of engineering surveying. This project aims to explore the core concept of automated measurement robots, and to focus on their related technologies, such as sensors, control systems, and data processing algorithms. Subsequently, its application status in construction engineering, civil engineering and industrial manufacturing is analyzed in detail. Through case studies, the advantages and effects of the automated measuring robot in practical engineering are demonstrated. Finally, we deeply analyze the challenges facing this technology, and predict the future development trends, which provides an important reference for relevant research and applications.

Keywords

automatic measuring robot; engineering measurement; sensor technology; intelligent control; precision improvement; efficiency optimization

自动化测量机器人在现代工程测量中的应用与前景

罗光

九华地信空间（天津）科技有限责任公司，，中国·天津 300180

摘 要

本文探讨了自动化测量机器人在现代工程测量领域的应用及其发展前景。随着科技的不断进步,自动化测量机器人已成为工程测量领域的重要工具。本项目旨在探讨自动化测量机器人的核心理念,并着重介绍其相关技术,如传感器、控制系统以及数据处理算法等。随后,详细分析了其在建筑工程、土木工程和工业制造等领域的应用现状。通过案例研究,展示了自动化测量机器人在实际工程中的优势和效果。最终,我们深入分析了这项技术所面临的挑战,并预测了未来的发展趋势,为相关研究和应用提供了重要的借鉴。

关键词

自动化测量机器人;工程测量;传感器技术;智能控制;精度提升;效率优化

1 引言

随着现代工程项目的规模不断扩大和复杂程度日益增加,传统测量方法已难以满足高精度、高效率的测量需求。随着自动化测量机器人技术的发展,它以其出色的精度、高效率和自动化水平,已经成为工程测量领域不可或缺的一部分。自动化测量机器人的发展历程可追溯到 20 世纪 80 年代,当时主要应用于工业制造领域。随着技术的不断进步,其应用范围逐渐扩展到建筑工程、土木工程等多个领域。近年来,随着传感器技术、人工智能、物联网、机器人等新技术的快速发展,自动化测量机器人正朝着更加智能化、网络化的方向发展,正逐步成为工程测量领域的重要工具。

【作者简介】罗光（1987-），男，中国河北保定人，本科，工程师，从事测绘工程研究。

本文旨在全面探讨自动化测量机器人在现代工程测量中的应用现状和发展前景。通过分析其技术原理、应用领域和实际案例,深入探讨该技术对工程测量领域的影响和潜在价值。同时,本文也将关注自动化测量机器人面临的挑战和未来发展方向,为相关研究和应用提供参考和启示。

2 自动化测量机器人的基本原理与关键技术

自动化测量机器人是一种集成了多种先进技术的智能化测量设备,其核心在于高精度的传感器系统、智能化的控制系统和高效的数据处理算法。

（1）传感器系统是自动化测量机器人的“感官”，通常包括激光测距仪、视觉传感器、全站仪、惯性测量单元等,用于采集各种测量数据。通过使用这种先进的传感技术,我们可以快速定位、观察、跟踪并记录目标物体的特征,从而更好地进行数字化分析。

(2) 控制系统是自动化测量机器人的“大脑”，负责协调各个部件的工作，实现自主导航、目标识别和测量操作。现代自动化测量机器人多采用基于人工智能的控制算法，如机器视觉、深度学习等，以提高其自主决策能力和适应性。

(3) 数据处理算法则是自动化测量机器人的“思维”，通过对采集到的海量数据进行实时处理和分析，提取有用的测量信息，并生成精确的测量结果。这些算法通常包括数据滤波、数据拟合、误差补偿、三维重建等，确保测量结果的准确性和可靠性。

3 自动化测量机器人在工程测量中的应用领域

(1) 自动化测量机器人在建筑工程领域的应用主要体现在建筑施工监测和建筑物变形监测两个方面。在建筑施工过程中，自动化测量机器人可以实时监测建筑物的几何参数，确保施工质量。例如，在高层建筑施工中，自动化测量机器人可以精确测量建筑物的外墙平整度、垂直度和水平度，及时发现并纠正偏差。在建筑物变形监测方面，自动化测量机器人能够长期、连续地监测建筑物的变形情况，为结构安全评估提供重要数据。

(2) 自动化测量机器人在土木工程领域，自动化测量机器人广泛应用于桥梁监测和隧道施工监测。桥梁作为重要的交通基础设施，其结构安全至关重要。自动化测量机器人可以实时监测桥梁的变形、裂缝、振动等参数，为桥梁的健康状况评估提供可靠依据。在隧道施工中，自动化测量机器人可以精确测量隧道的断面形状和位置，指导施工机械进行精确开挖，提高施工效率和安全性。

(3) 自动化测量机器人在工业制造领域，自动化测量机器人主要应用于大型设备安装和精密零件检测。在大型设备安装过程中，自动化测量机器人可以精确测量设备的位置和姿态，指导安装人员进行精确调整，提高安装精度和效率。在精密零件检测方面，自动化测量机器人可以实现非接触式、高精度的三维测量，确保产品质量。例如，在航空航天领域，自动化测量机器人可以用于飞机发动机叶片等关键部件的尺寸和形状检测，确保其符合严格的航空标准。在航天器的装配过程中，自动化测量机器人可以实时检测各个部件的装配精度，确保整体装配质量。

4 自动化测量机器人在工程测量中的优势与挑战

自动化测量机器人在工程测量中展现出显著优势，主要体现在测量精度、效率 and 安全性三个方面。

4.1 高精度性

自动化测量机器人能够实现亚毫米级的测量精度，远高于传统人工测量因人工干预造成的人为误差。

(1) 自动化测量机器人配备了先进的传感器，如激光测距仪、视觉传感器等，能够精确捕捉目标位置和形状，减少人为误差。

(2) 机器人采用刚性材料和精密加工，确保在测量过程中机械结构稳定，避免因振动或变形影响精度。

(3) 通过高精度伺服电机和编码器，机器人能够实现微小且精确的运动，确保测量点的准确定位。

(4) 机器人具备温度补偿、防震等功能，能够适应不同环境，减少外部因素对测量的干扰。

(5) 机器人内置复杂的算法，如滤波、数据拟合和误差补偿，能够有效处理测量数据，提升结果精度。

(6) 自动化测量减少了人为干预，避免了操作误差，同时能够快速、重复执行测量任务，确保结果一致。

(7) 机器人具备实时校准功能，能够在测量过程中自动调整，确保长期使用中的精度稳定。

(8) 机器人配备高分辨率反馈系统，能够实时监测和调整位置与姿态，确保测量精度。

(9) 通过融合多传感器数据，机器人能够更全面地获取目标信息，提升测量精度和可靠性。

综上，自动化测量机器人通过高精度传感器、稳定机械结构、先进算法和自动化操作等技术，实现了高精度测量。

4.2 效率性

自动化测量机器人可以 24 小时不间断工作，长期使用可减少人力成本；通过高精度伺服电机和编码器，机器人能够快速、准确地移动到测量点，缩短了测量时间；通过集成多个传感器，能够同时执行多个测量任务获取多种类型的数据；能够在测量过程中实时处理和分析数据，减少了后期数据处理的时间；能够以完全相同的方式重复执行测量任务，确保每次测量的高效性和一致性，减少了人工重复劳动；模块化设计使得机器人能够快速部署和配置，使得维护和校准更加简便；操作人员可以通过远程监控和控制，在不同地点同时管理多个机器人。综上所述，自动化测量机器人通过自动化操作、高速运动控制、智能路径规划、快速数据处理等技术显著提高了测量效率。例如，在大型基础设施监测中，自动化测量机器人可以在短时间内完成大量测量任务，而传统方法可能需要数天甚至数周时间。

4.3 安全性

(1) 机器人配备紧急停止按钮，在发生意外时能够立即停止操作，防止事故发生。

(2) 机器人内置多种安全传感器（如红外传感器、超声波传感器等），能够实时检测周围环境，避免碰撞和意外。

(3) 机器人能够规划安全路径，避免进入危险区域或与人员、设备发生碰撞。

(4) 操作人员可以通过远程监控系统实时查看机器人的状态和周围环境，及时发现和处理潜在危险。

(5) 机器人具备自动诊断功能，能够检测和报告潜在故障，防止因设备故障导致的安全事故。

(6) 机器人能够监测环境变化（如温度、湿度、光照等），并根据环境条件调整操作，避免因环境因素导致的安全问题。

(7) 机器人通过加密传输数据,防止数据被篡改或窃取,确保测量数据的安全性。

(8) 操作人员经过专业培训,能够正确使用和维护机器人,减少人为操作失误导致的安全风险。制定严格的操作规范和安全流程,确保机器人在安全的环境和条件下运行。

(9) 自动化测量机器人可以在危险或人类难以到达的环境中工作,如高空、深坑、有限空间或辐射区域,工作人员只是需要通过电脑程序进行机器人的远程控制,避免了由于人为的失误或者其他因素出现安全事故,大大提高了测量工作的安全性。

自动化测量机器人在实际应用中 also 面临一些挑战。

(1) 环境适应性。复杂的工程环境,如强光、雨雪、大雾、粉尘等,可能影响传感器的正常工作,降低测量精度。在复杂地形或存在大量障碍物的环境中,机器人的路径规划和避障能力面临挑战。

(2) 数据处理复杂性。自动化测量机器人产生的海量数据需要高效的处理和分析算法,这对计算资源提出了更高要求。

(3) 系统集成与兼容性。在实际应用中,机器人需要与多种其他系统和设备集成,这对系统的兼容性和接口设计提出了挑战。不同厂商的设备和系统可能采用不同的标准和协议,增加了集成的复杂性。

(4) 高精度自动化测量机器人的研发、制造和维护成本较高,企业需要考虑投资回报率。可能会限制其在一些中小型工程中的推广应用。

(5) 技术更新与迭代。自动化测量技术发展迅速,企业需要不断更新和迭代技术,以保持竞争力。高技术的更新速度可能导致技术人才短缺,增加了企业的培训和管理难度。

5 自动化测量机器人在工程测量中的实际案例分析

为了更直观地展示自动化测量机器人在工程测量中的应用效果,本研究选取了三个典型案例进行分析。第一个案例是某超高层建筑的施工监测。在该项目中,自动化测量机器人被用于实时监测建筑物的垂直度和水平度。通过与传统人工测量方法的对比,发现自动化测量机器人不仅将测量时间缩短了 70%,还将测量精度提高了 50%。此外,自动化测量机器人还能够及时发现施工偏差,为施工质量控制提供了有力支持。

第二个案例是某大型跨海大桥的健康监测。自动化测量机器人被部署在桥梁的关键位置,用于长期监测桥梁的变

形和振动。通过连续一年的监测数据,工程师们成功识别出桥梁的微小变形趋势,为桥梁的维护决策提供了重要依据。与传统监测方法相比,自动化测量机器人不仅降低了人工成本,还提高了数据采集的频率和精度。

第三个案例是某飞机制造厂的精密零件检测。自动化测量机器人被用于检测飞机发动机叶片的几何精度。通过与传统三坐标测量机的对比,发现自动化测量机器人不仅将检测时间缩短了 60%,还将检测精度提高了 30%。通过引入先进的自动化技术,我们可以让测量机器人完成所有的检查工作,从而显著地提升工作效率。

这些案例充分展示了自动化测量机器人在提高测量精度、效率 and 安全性方面的优势,同时也验证了其在不同工程领域的适用性。未来随着技术进步,其应用将更加广泛和智能化。

6 结语

自动化测量机器人作为现代工程测量领域的重要技术,正在深刻改变传统的测量方式。本研究通过分析自动化测量机器人的技术原理、工程测量方面的应用领域和实际案例,得出以下结论:

首先,自动化测量机器人凭借其高精度、高效率和高自动化程度,在建筑工程、土木工程和工业制造等领域展现出巨大优势。它不仅能够显著提高测量精度和效率,还能够降低人工成本和提高安全性。

其次,自动化测量机器人在实际应用中已经取得了显著成效。通过多个实际案例的分析,我们发现自动化测量机器人能够有效解决传统测量方法面临的诸多挑战,为工程质量控制和安全管理提供了有力支持。

然而,自动化测量机器人的广泛应用仍面临一些挑战,如环境适应性、数据处理复杂性和成本等问题。未来,随着传感器技术、人工智能和机器人技术的进一步发展,这些问题有望得到逐步解决。

展望未来,自动化测量机器人将朝着更高精度、更强适应性和更智能化方向发展。我们期待这项技术能够在更多工程领域得到应用,为工程测量带来革命性的变革,推动整个工程行业向更高效、更精确、更安全的方向发展。

参考文献

- [1] 王卫东. 浅析机械设计制造及其自动化的特点与优势及发展趋势[J]. 内燃机与配件, 2017, (16): 112
- [2] 谭庆涛. 浅析建设工程竣工规划条件核实测量方法与质量控制[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, 443(17): 139-141.
- [3] 刘雪梅, 覃婷婷, 张文娜. 基于“双创”背景的工程测量技术专业创新创业课程体系构建[J]. 学园, 2024, 17(19): 89-91.

Disease and comprehensive disposal of rigid boom of tie-rod arch bridge

Honglei Zhang

Jiangsu Wutong Engineering Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210006, China

Abstract

The tie-rod arch bridge, with its beautiful structure, low building height and good economy, has been widely used in the field of domestic bridge construction. However, in recent years, a series of worrying structural safety accidents have occurred in the pole arch bridge in China. After further analysis, it is found that the direct cause of these accidents is mainly anchor head failure or steel strand fracture. The root cause of the problem is the common quality problems in the construction process and the lack of necessary maintenance measures during the operation period. To solve these problems, after the finite element calculation and analysis and multiple scheme comparison, the final decision is to replace the permanent boom, directly to improve the safety of the bridge, and maintain the upper and lower anchor heads to enhance the durability. This scheme can provide a valuable reference for similar projects.

Keywords

rigid boom; rust; fracture; permanent boom; prevention and reinforcement

系杆拱桥刚性吊杆病害及综合处置

张红雷

江苏吾通工程科技有限公司, 中国 · 江苏 南京 210006

摘 要

系杆拱桥凭借其结构美观、建筑高度低以及良好的经济性等突出特点, 在国内桥梁建设领域得到了广泛应用。然而, 近年来国内系杆拱桥却接连出现一系列令人忧心的结构安全事故。深入剖析后发现, 这些事故的直接原因主要为锚头失效或者钢绞线断裂。究其根源, 问题在于施工过程中存在的质量通病以及运营期缺乏必要的养护措施。为解决这些问题, 经过有限元计算分析以及多方案比选, 最终决定采取全桥增设永久吊杆的预防加固措施; 对于部分病害严重的吊杆, 则直接进行更换, 以此提高桥梁的安全度; 并对上下锚头进行维护处理, 以增强耐久性。该方案可为类似工程提供宝贵的参考借鉴。

关键词

刚性吊杆; 锈蚀; 断裂; 永久吊杆; 预防加固

1 引言

系杆拱桥以结构美观、建筑高度低、经济性较好等特点在国内广泛应用。然而, 近年来因吊杆锈蚀断裂等原因, 国内拱桥相继出现桥梁倒塌安全事故。其中, 2001 年四川宜宾小南门大桥桥面系坍塌^[1], 该桥主跨为 240 米的提篮式钢筋混凝土中承式拱桥, 4 对 8 根吊杆在下锚头区以上横梁顶面附近脆性断裂, 致使北端长约 10 米、南端长 20 余米的桥面预制板坍塌; 2011 年新疆库尔勒孔雀河大桥桥面坍塌, 主跨 150 米中承式钢管拱桥第二根吊杆在下锚头区以上横梁顶面附近脆性断裂; 2011 年江苏滨海县通榆河大桥主跨 60 米预应力系杆拱桥全桥垮塌, 停在桥面上的两辆重型货车坠

入河中; 2011 年福建武夷山公馆 301 米中承式钢架拱桥垮塌, 一辆旅游大巴坠桥造成 1 死 22 伤, 原因系吊杆在下锚头区以上横梁顶面附近脆性断裂; 2019 年台湾南方澳跨海大桥 8 号吊杆断裂造成 20 多人受伤; 2021 年浙江绍兴某下承式拱桥吊杆断裂, 导致桥面局部坍塌; 2022 年重庆鹅公岩轨道大桥仅仅运营 3 年吊杆就发生断裂。

刚性吊杆作为系杆拱桥的重要承重构件, 其安全性和耐久性直接影响桥梁的正常使用和寿命。然而, 早期桥梁吊杆设计存在先天不足, 锚头进水导致钢绞线锈蚀, 疲劳应力作用下可能发生断裂或强度破坏。由于吊杆构造的特殊性, 隐蔽区域难以检测, 钢绞线和锚头成为检测盲区, 增加了桥梁的安全隐患。

随着时间推移, 吊杆的腐蚀、疲劳等问题日益突出。钢绞线在长期使用中可能因腐蚀、疲劳等因素降低承载力, 而锚头作为连接吊杆与桥梁主体的关键部位, 其性能直接影响桥梁的安全性。如果锚头出现松动、锈蚀等问题, 将

【作者简介】张红雷 (1981-), 男, 中国江苏启东人, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁检测和健康监测、桥梁维修加固设计研究。

严重影响吊杆的受力状态,进而危及桥梁的正常使用和正常运行^[2-4]。

为切实解决刚性吊杆的安全隐患问题,必须采取一系列行之有效的措施。其一,大力加强对刚性吊杆检测技术的研究,致力于开发更为先进、高效的检测手段,从而能够精准地检测出钢绞线和锚头处存在的潜在问题。此外,在桥梁养护过程中,采取安全可靠的加固措施至关重要,例如更换吊杆或增设永久吊杆等,这是预防此类结构垮塌的关键所在^[5-8]。

本文将深入探讨系杆拱桥刚性吊杆的病害及安全隐患,并提出综合处置措施。

2 工程概况

某高速公路桥梁,左右幅布置,主桥上部结构采用71.6 m单跨预应力混凝土系杆拱桥,为刚性系杆刚性拱,计算跨径 $L=70$ m,拱轴线为二次抛物线,矢跨比为1/5,拱肋采用钢筋混凝土等截面“I”字型截面;系杆采用预应力混凝土等截面箱形;全桥设13对吊杆,吊杆采用直径 $D=375$ mm的无缝钢管,内穿15.2钢绞线,配相应的夹片锚和挤压锚;风撑为一字型钢管混凝土结构。

在检查过程中,发现吊杆下锚头有渗水情况,油脂乳化且变质,钢绞线呈现浮锈状态;多处钢绞线于挤压锚处存在内缩现象。此外,吊杆中上部压浆不密实,普遍存在钢绞线锈蚀的问题。

3 综合处置

经管理单位与专家论证后,一致认定应采取相应措施以确保桥梁的安全运营:

其一,增设永久吊杆。在原吊杆四周增设吊杆,以此

作为当前运营状态下的安全保障,并且在后期更换吊杆时可充当临时兜吊系统。

其二,更换吊杆。选取病害较为严重的左幅内侧8#、9#吊杆以及左幅外侧11#吊杆这三根吊杆进行更换,并对原吊杆进行打开检测,以评估吊杆的使用状况。

其三,上下锚头维护处理。凿开上下锚头的封锚混凝土,采用无缝钢管与吊杆钢束锚垫板进行焊接,作为锚头防护罩,并在内部填充锚头防腐油脂。

增设吊杆的材料可选用高强度钢绞线成品吊杆或精轧螺纹钢。考虑到增设吊杆在更换吊杆时需要进行二次张拉,而高强度钢绞线成品吊杆二次张拉较为困难,因此推荐采用精轧螺纹钢吊杆。增设的永久吊杆采用四根精轧螺纹钢。对精轧螺纹钢锚固位置及布置形式进行三个方案的优缺点比较后,最终选定方案一。

在进行吊杆选型及锚固布置时,必须考虑吊杆更换、正常运营以及个别原吊杆断裂这三种工况下增设的吊杆系统的安全性。

3.1 三种工况分析

①更换吊杆工况:依据增设吊杆替换原成桥吊杆内力的准则,成桥工况下最大单根吊杆力约为452kN。

②正常运营工况:原吊杆正常工作,增设吊杆仅施加25kN的初紧力,在运营状态下最大吊杆力为69kN。

③个别原吊杆突然断裂工况:原吊杆断裂退出工作,原吊杆力转移至增设吊杆及相邻吊杆,此时增设吊杆最大吊杆力为216kN。

由此可见,增设吊杆的设计吊杆力在更换吊杆工况下最为不利,为452kN。

表1 方案比选

Tab. 1 Comparison of schemes

方案	锚固位置及方式	优点	缺点
方案一	上吊点采用型钢支撑梁锚固,下吊点与系杆外贴钢板锚栓锚固	锚固措施可靠,不压缩桥下净空,造价较低	/
方案二	上下吊点均采用型钢支撑梁锚固	对原结构影响较小,施工简单,锚固措施可靠,造价低	压缩桥下净空,对通航有影响
方案三	在拱肋和系杆中心位置钻孔,精轧螺纹钢穿过钻孔,上吊点锚固在拱肋顶面,下吊点锚固在系杆底面	吊杆数量少,对桥面视野影响较小,造价较高	钻孔位置在系梁的空心段,增设吊杆下吊点锚固可实施性较差

3.2 增设吊杆系统设计计算方面

①增设吊杆强度验算:吊杆采用PSB930 Φ 40精轧螺纹钢,单根吊杆极限强度为1168kN,经计算安全系数为2.6,满足要求。

②支承钢梁强度验算:在设计控制吊杆力452kN作用下,支撑梁的最大正应力为25.1MPa,小于270MPa;最大剪应力为62.0MPa,小于110MPa。在正应力与剪应力共同作用时,也满足要求。

③吊杆下吊点锚固验算:建立吊杆下吊点局部有限元

模型,以分析下吊点型钢及锚栓的受力安全性。在吊杆力的作用下,下吊点型钢的最大应力约为174.2MPa,此应力值符合Q345钢材的强度要求。依据《混凝土结构加固设计规范》(GB50367-2013)以及《混凝土结构后锚固技术规程》(JGJ145-2013),分别对锚栓钢材拉剪复合受力承载力以及基材混凝土拉剪复合受力承载力进行验算,结果显示两者均满足规范要求。

4 吊杆更换设计

目前,国内常用的吊杆方案主要有三种:一是平行钢

丝+上下刚拉杆组合体系；二是平行钢丝+冷铸墩头锚成品索体系；三是钢绞线整束挤压拉索体系。原刚性吊杆预埋的内侧钢管尺寸为 $\Phi 102\text{mm}$ ，若采用方案二和方案三，需要对锚头进行扩孔，在扩孔过程中取出锚垫板及组合构件，这将会对拱肋和系梁造成较大损伤。而且该部位对局部承压要求极高，损伤处的恢复难度较大。因此，最终选用方案一，即平行钢丝+上下刚拉杆组合吊杆。此方案中，吊杆在拱肋及系梁内的部分为刚拉杆，中间索体采用平行钢丝+冷铸墩头锚成品索，刚拉杆与索体之间通过接头连接，接头连接拉杆外螺纹和平行钢丝锚具的外螺纹。

原吊杆钢绞线的破断力为 2604kN ，新更换的吊杆拉索规格为 $55\phi 7$ ，钢丝强度为 1670MPa ，破断力为 3535kN ，其拉索技术要求满足 GB/T18365-2001 中的相关规定。

5 吊杆外观和性能检测

左幅外侧 11# 吊杆病害最为典型，下面分上锚头、拱肋导管内、吊杆中间段、系梁导管内和下锚头五个部位进行描述。

1) 上锚头情况：锚环表面干燥，存在锈蚀，外露钢绞线不齐整，存在明显高差。

2) 拱肋导管内情况：拱肋导管内未压浆。导管内钢绞线表面干燥，钢绞线表面锈蚀严重，未发现明显锈坑。

3) 吊杆中间段情况：距系梁顶面 $0\sim 4.1\text{m}$ 区间压浆密实， 4.1m 到拱肋底面未压浆；1 根钢绞线在距系梁顶面 5.9m 处，断裂 4 丝，缩颈 3 丝；未压浆钢绞线表面干燥，钢绞线锈蚀严重，存在明显锈坑。

4) 系梁导管内情况：系梁钢导管内压浆密实；钢绞线表面混凝土包裹，未发现明显锈迹。

5) 下锚头情况：下锚头表面黄油包裹，表面无明显锈迹；锚垫板表面干燥，存在明显锈迹。钢绞线多束内缩，内缩最大值 11.3mm ，远大于《公路桥涵施工技术规范》(JTG T F50-2011) 要求的挤压后的锚固头的钢绞线外端应露出挤压套筒 $2\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 。

6) 进一步对吊杆钢绞线锈蚀、力学性能、上锚头锚固性能试验测量。

1#、4# 和 5# 钢绞线锈蚀严重，在明显锈坑位置取 3 个试件，测量其表面 6 根钢丝直径变化，经计算得出锈蚀钢丝断面损失率最大值为 21.69% 。

依据《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370-2015 第 6.1.1 节规定，预应力钢材用锚具效率系数应大于 0.95。对吊杆上锚头的 6 束钢绞线夹片锚具进行整体锚固性能试验后发现，锈蚀后的锚具效率系数离散性较大，其中有 3 个锚具效率系数大于 0.95，而另外 3 个锚具效率系数分别为 0.87、0.59 和 0.50。出现锚具效率系数低的原因在于钢绞

线从夹片锚中完全滑出。

综上所述，左幅外侧 11# 吊杆的病害可总结为：中上段完全无砂浆包裹，一根钢束断裂，钢绞线严重生锈并出现锈坑，致使截面被削弱；锈蚀的夹片锚具效率系数显著下降。依据《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/TH21-2011) 表 6.3.3-7，左幅外侧 11# 吊杆处于标度 4 的较差状态，即部分吊杆钢丝锈蚀或损坏较严重，个别有断裂现象。由此可见，该桥梁存在极为严重的安全隐患。

6 结语

系杆拱桥的刚性吊杆安全隐患问题举足轻重，不容小觑。当前，刚性吊杆饱受压浆不密实、钢绞线锈蚀以及锚固性能降低等多种病害困扰，安全隐患极为严峻。

其一，若刚性吊杆存在未压浆的施工缺陷，将会致使吊杆刚度与承载能力减弱，进而加速钢绞线锈蚀，导致截面受损甚至断裂。

其二，锈蚀后的夹片锚具效率系数明显下降，会对吊杆的锚固性能带来不良影响，降低桥梁的安全程度。

其三，对于运营多年的拱桥，应加大检测频率，做好吊杆维护工作。采用增设永久吊杆进行预防性加固，一方面能够降低安全隐患，另一方面在更换吊杆时可充当兜吊系统。

本文详尽地描述了未压浆吊杆的病害情况，评估了吊杆技术状况。通过全桥增设永久吊杆、更换病害严重的吊杆以及对上下锚头进行维护等综合处置措施，有效地提升了系杆拱桥的安全度，为类似工程提供了极为宝贵的参考借鉴。

参考文献

- [1] 张晓昕,朱贺,刘遥路,李冬生.基于监测数据的拱桥吊杆疲劳寿命评估方法及其应用[J].防灾减灾工程学报,2010,30(S1):314-317.
- [2] 李承昌,刘以谦.吊杆钢丝锈蚀分布规律及检测试验[J].公路交通科技(应用技术版),2010,64(04):9-11+14.
- [3] 李鑫,李斯涵,位东升,等.中承式拱桥吊杆专项检测及可靠性分析[J].建材技术与应用,2022,(05):40-44.
- [4] 吴万忠.柔性吊杆拱桥吊杆锚头病害特征及检测指标[J].城市道桥与防洪,2016,208(08):264-267+298+25-26.
- [5] 江越胜,邹玲,王勇.增设吊杆主动加固混凝土系杆拱桥[J].公路,2013,(09):141-144.
- [6] 陈建兵,熊秉贤,李夏元,包光明.钢管混凝土拱桥新增吊杆加固设计[J].世界桥梁,2016,183(05):83-88.
- [7] 窦勇芝.中承式钢管混凝土桁架拱桥新增吊杆加固技术[J].施工技术,2014,43(10):69-72.
- [8] 勾红叶,李凯强,滕凌,等.中承式钢管混凝土拱桥新增吊杆法加固技术研究[J].中外公路,2017,37(01):79-84.

Research on Design and Construction Technology of Hydraulic Milling Mixing Cement Soil Impermeable Wall for Dam Foundation

Yanchang Liu

Xinjiang Changji Fanghui Hydropower Design Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

In response to the current situation of anti-seepage in the foundation of the Xinier Reservoir dam, a comparative analysis was conducted through on-site curtain grouting and hydraulic milling mixing cement soil anti-seepage wall tests. Combined with technical and economic evaluation, the hydraulic milling mixing cement soil anti-seepage wall was selected as the anti-seepage reinforcement solution for the dam foundation. We have studied key technologies such as the layout of the anti-seepage wall axis, depth and thickness design, cement soil ratio and connection design, and proposed construction technical measures such as construction preparation, drilling parameters, wall forming process, and quality control. The research results can provide technical references for the anti-seepage treatment of similar dam foundations. This article takes the Xinier Reservoir as an example and studies the design and construction key technologies of hydraulic milling and mixing cement soil anti-seepage walls through field experiments and comparisons, in order to provide reference for similar projects.

Keywords

dam foundation; Hydraulic milling mixing; Cement soil impermeable wall; Design; construction technique.

大坝基础液压铣削搅拌水泥土防渗墙设计与施工技术研究

刘彦昌

新疆昌吉方汇水电设计有限公司, 中国·新疆 昌吉 831100

摘要

针对希尼尔水库大坝基础防渗现状问题,通过现场帷幕灌浆与液压铣削搅拌水泥土防渗墙试验对比分析,结合技术经济评价,优选液压铣削搅拌水泥土防渗墙作为大坝基础防渗加固处理方案。研究了防渗墙轴线布置、深度厚度设计、水泥土配比及连接设计等关键技术,提出了施工准备、钻探参数、成墙工艺、质量控制等施工技术措施。研究成果可为类似工程大坝基础防渗处理提供技术参考。本文以希尼尔水库为例,通过现场试验对比,研究了液压铣削搅拌水泥土防渗墙的设计及施工关键技术,以期为类似工程提供借鉴。

关键词

大坝基础; 液压铣削搅拌; 水泥土防渗墙; 设计; 施工技术

1 引言

大坝基础渗漏是危害大坝安全的重要因素之一,加强对既有大坝基础防渗处理与加固至关重要。帷幕灌浆是传统的大坝基础防渗加固措施,但对于部分地层破碎或渗透性较强的坝基,灌浆防渗效果往往难以保证。液压铣削搅拌水泥土防渗墙具有可靠的防渗性能,有望成为复杂坝基防渗处理的新选择。

2 希尼尔水库大坝防渗处理方案比选研究

2.1 工程概况与现状问题分析

希尼尔水库位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治

州尉犁县境内,是一座以灌溉为主的中型平原水库。水库总库容 9800 万 m^3 。大坝为均质土坝,最大坝高 20m,坝顶长 7650m,坝顶宽 6m。

水库运行期间,大坝多处出现渗漏,下游坝坡局部滑塌,坝基渗漏严重。勘察表明,坝址区上部覆盖第四系松散沙砾石层,下伏白垩系泥岩、砂岩、砾岩,岩体破碎,富水性中等,构造发育,透水性强。坝基防渗设计标准偏低,整体防渗效果不佳,迫切需要进行加固处理^[1]。

2.2 防渗设计参数与标准确定

根据勘察成果,确定防渗墙体设计渗透系数不大于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$,抗压强度不低于 1MPa。结合工程等别,按 50 年设计使用年限考虑防渗体耐久性。防渗底高程按 5Lu 线控制。

为优选防渗加固方案,在坝体 2+436~2+466 桩号段分

【作者简介】刘彦昌(1980-),男,中国新疆昌吉人,本科,副高级工程师,从事水利水电工程研究。

别开展了帷幕灌浆及液压铣削搅拌水泥土防渗墙两种方案的现场试验。

2.3 帷幕灌浆与液压铣削搅拌水泥土防渗墙试验对比

2.3.1 帷幕灌浆试验

在上下游各布设一排共 49 个灌浆孔，孔距 1.5m，采用纯水泥浆由稀到浓分级灌注。试验过程中普遍存在“吃水不吃浆”现象，单位注浆量偏低，变浆困难。灌浆后开挖检查发现，浆液体内分布少，部分岩芯无浆液扩散迹象，防渗效果不明显。2 个检查孔透水率均超出设计值，表明该地层不适宜采用帷幕灌浆防渗（图 1）。

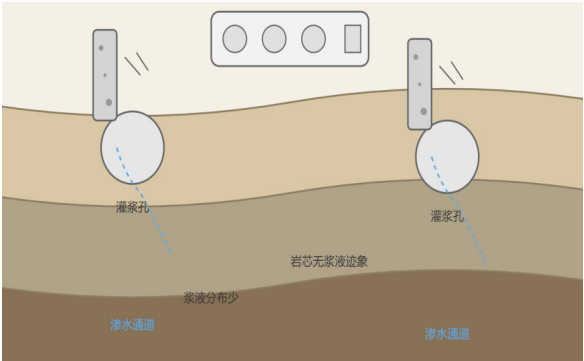


图 1 帷幕灌浆试验开挖检查

2.3.2 液压铣削搅拌水泥土防渗墙试验

试验段防渗墙厚 0.7m，幅宽 2.8m，搭接 0.2m。采用普通硅酸盐水泥，水泥强度不低于 42.5R，水灰比 1：1，单位水泥掺量分别为 13%、15% 和 18%，对比试验防渗及强度性能。经 14d 龄期试验，水泥掺量 15% 时，防渗墙渗透系数为 $7.17\sim7.91\times10^{-7}\text{cm/s}$ ，28d 无侧限抗压强度达 1.56~2.07MPa，各项指标均满足设计要求。开挖及钻孔取芯检查表明（图 2），墙体连续完整，水泥土拌和均匀，固结良好，防渗效果可靠。

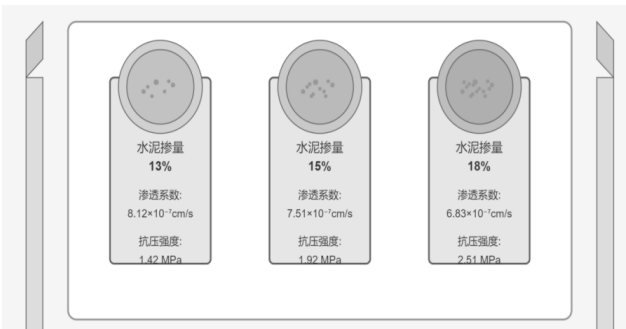


图 2 液压铣削搅拌水泥土防渗墙试验钻孔取芯

2.4 防渗方案综合评价与优化选择

两种防渗方案试验结果对比见表 1。可以看出，液压铣削搅拌水泥土防渗墙的防渗及强度指标均优于帷幕灌浆，施工效率更高，造价略高但性价比更佳，综合效益明显。

最终确定采用液压铣削搅拌水泥土防渗墙作为希尼尔水库大坝基础防渗加固的最优方案。

表 1 帷幕灌浆与液压铣削搅拌水泥土防渗墙试验结果对比

项目	帷幕灌浆	液压铣削搅拌水泥土防渗墙
渗透系数	$>1\times10^{-5}\text{cm/s}$	$7.17\sim7.91\times10^{-7}\text{cm/s}$
强度	未测	1.56~2.07MPa
施工效率	慢	快
造价	略低	略高
防渗效果	较差	良好
综合评价	不推荐	推荐

3 液压铣削搅拌水泥土防渗墙设计关键技术

3.1 防渗墙轴线布置与深度确定

防渗墙轴线宜布置在坝体上游侧迎水面坡脚附近，与坝轴线平行。液压铣削搅拌水泥土防渗墙顶高程以前坝脚现状阻滑墙顶高程以下 1m 控制，并与大坝防渗体形成良好的迎水面连接。

通过地质勘探、压水试验等综合分析确定防渗墙深度。对于砂砾石覆盖层，应全段防渗至基岩面以下；对于基岩段，应根据 5Lu 透水率和透水层厚度等因素，结合上下游渗压分布合理确定。本次对坝体桩号 0+000~7+100 段坝基防渗处理采用液压铣削搅拌水泥土防渗墙方案，坝基防渗深度按 5lu 线及结合泥岩层控制。

3.2 防渗墙厚度与宽度设计计算

综合考虑防渗要求、地层条件、施工工艺等因素确定防渗墙的厚度，一般取 0.5~1.0m。墙体单幅宽度根据成墙设备参数选择，并满足搭接要求。可按下式计算防渗墙的最小有效厚度：

$$T = \eta \cdot \frac{H}{J}$$

其中：

- T 是防渗墙的最小有效厚度；
- H 是墙体两侧的最大水头差；
- η 是安全系数，取值范围为 1.1 到 1.4，设计取值 1.25；
- J 是允许渗透比降，依据《深层搅拌法技术规范》

（DL/T5425—2009）第 5.3.6 条水泥土防渗墙允许渗透比降不宜小于 50 的要求，以及根据液压铣削搅拌水泥土防渗墙类似已建工程经验，液压铣削搅拌水泥土防渗墙渗透破坏允许渗透比降取 60。

考虑施工、抗震及采用造墙机械设备（铣轮最小宽度 0.7m）等因素和类似工程经验，确定墙体厚度为 0.7m。

3.3 水泥土配比优化与强度控制标准

水泥土拌合料的主要性能指标包括抗压强度、抗渗性能和耐久性等。通过室内配比及现场试验优化确定各项参数：水泥品种及掺量：宜选用强度等级不低于 42.5 的普通硅酸盐水泥。参考类似工程经验，水泥掺量宜为 12%~18%。水泥用量越大，水泥土强度越高，但经济性降低。水灰比：水灰比是影响水泥土性能的关键因素。试验表明当水灰比为 0.8~1.0 时，水泥土的各项性能综合较优。外加剂：

必要时可掺入减水剂或引气剂改善水泥土的工作性能,但掺量应通过试验确定。水泥土强度:参照规范并结合工程实际确定水泥土的抗压强度标准值,一般28d无侧限抗压强度宜大于1MPa。

3.4 防渗墙体与坝体防渗系统连接设计

防渗墙体与坝体防渗面板、铺盖等防渗体必须实现可靠连接,形成完整的迎水面防渗系统。液压铣削搅拌水泥土防渗墙轴线布置于上游坝坡坝脚现状阻滑墙上游2.5m处,防渗轴线平行于阻滑墙布置,清除前坡脚覆盖层至原阻滑墙顶以下1.0m,液压铣削搅拌水泥土防渗墙顶现浇厚0.7m,高0.6m C25F200W6素砼防渗墙,坝体土工膜平铺粘接锚固在现浇C25F200W6素砼防渗墙顶,与坝体防渗体形成封闭防渗体系。

3.5 耐久性与抗渗性能设计考量

通过合理的设计与施工控制措施,确保液压铣削搅拌水泥土防渗墙体在设计年限内的耐久性与抗渗性能。主要包括:墙体厚度与水泥用量应满足抗渗及耐久性要求;强化施工过程质量控制,确保墙体的均匀性、密实度及连续性;合理选用水泥品种,必要时掺加抗硫酸盐类外加剂提高耐久性;防渗墙顶宜设置混凝土压顶保护层,提高顶部耐久性。

4 液压铣削搅拌水泥土防渗墙施工技术与质量控制

4.1 施工准备与场地布置

针对坝基地形与地质条件,合理布置施工场地。主要考虑:场地应平整坚实,地表障碍物清除;坝面防渗结构应提前完成;供水、供电等施工条件满足要求;布置排架等辅助设施,施工道路应满足大型设备运输要求。

4.2 先导孔钻探与防渗参数确定

采用液压反循环钻机,沿防渗墙轴线布置先导孔,孔距30~50m。钻探过程中应编录地层岩性、渗透性状及其变化规律,测定地下水位。结合钻探揭露情况、取芯及压水试验分析资料,复核或及时调整防渗墙深度等参数^[1]。

4.3 液压铣削搅拌防渗墙成墙工艺流程

采用双轮铣工法施工,工艺流程为:测量放样→导向槽开挖→槽段长度划分→铣头就位→铣削下沉→水泥浆注入搅拌→铣头提升复搅→成墙→质量检验。采用导向槽法施工,导向槽截面尺寸应满足铣头回转及成墙需要。导向槽应分段开挖,槽壁应支护牢固。防渗墙分幅成槽,现场划分槽段长度,一般为2.5~3.0m。成墙时,相邻槽段间应留有搭接,搭接长度不小于0.2m。铣削施工应连续进行,铣头下沉与提升速度严格控制,确保墙体成槽及搅拌均匀。搅拌铣头提升至设计高程后,应在导向槽内做2~3个提升复搅,以确保顶部水泥土拌和均匀。

4.4 铣削与搅拌参数控制技术

铣头动力应满足土层破碎及岩层铣削的需要,铣削扭矩应大于100kN·m,铣削速度宜为500~800mm/min,搅拌速度应大于35r/min。水泥浆应根据设计配比严格控制,并

采用计量泵连续泵送,泵送压力应保持在0.5~1.5MPa。注浆量应与铣削速度匹配,确保单位土体中掺入水泥量满足设计要求。铣头应设多级喷浆口,浆液应自下而上分层注入,确保水泥浆液在土体中充分分散并均匀搅拌。同时通过铣头内置搅拌器使水泥浆与土体在铣削过程中充分混合,防止离析。施工过程中应连续监测各工艺参数,发现异常及时调整。搅拌时间和搅拌次数应根据现场土层条件通过试验确定^[4]。

4.5 墙体质量检测与评价方法

防渗墙体质量检测方法主要包括成槽质量检查、钻芯取样、压水试验及物探法等。成槽质量检查:通过测量槽段长度、宽度及垂直度,检查槽段搭接情况,判断铣头就位及导向是否准确。钻芯取样:成墙28d后,在墙体中钻取岩芯,测定芯样的完整性、一轴抗压强度及渗透系数,评价水泥土的防渗及力学性能。芯样数量应满足设计及规范要求。压水试验:在防渗墙轴线上钻压水试验孔,采用单倍压力试验,评价防渗墙体渗透性能。物探法检测:采用高密度电阻率法或高频雷达法,探测墙体的完整性及均匀性,并与钻芯取样结果相互验证。对检测数据进行分析评价,当发现局部缺陷或不合格时,应及时采取补强措施。

4.6 特殊地层与复杂工况施工措施

当铣削施工遇到硬岩、孤石或构筑物等异常情况时,应采取以下措施:当铣遇硬岩层,导致铣进速度明显下降或铣头震动时,应提高水泵压力,必要时减小铣削速度。当铣进受阻时应提升铣头避开硬岩层。当铣遇较大孤石影响铣削时,可采取补充钻孔胶结注浆或重锤破碎等措施铣除孤石后再行铣削。当铣遇坝基废弃排水构筑物时,应结合其材料性质、埋深等情况,采取提升铣削、补充钻孔处理等措施,并注意观测铣进状态,确保施工安全。另外,在饱和砂层等易发生坍孔的地层中施工时,应严格控制铣削速度,增大护壁泥浆黏稠度及泵送量,并视土层状况采用套管跟进等辅助措施。

5 结语

液压铣削搅拌水泥土防渗墙具有连续性好、防渗效果可靠、适应地层条件广等优点,是一种行之有效的大坝坝基防渗加固新技术。通过优化设计参数、规范施工工艺、加强质量控制,可确保其发挥良好的防渗及加固效果。本文以希尼尔水库为例,系统研究了液压铣削搅拌水泥土防渗墙的关键设计及施工技术,可为其他类似工程提供一定的技术参考。

参考文献

- [1] 乔时延,王龙,肖伟华.铣削搅拌水泥土防渗墙的均匀性检查分析[J].水利建设与管理,2021,41(11):32-36.
- [2] 黄川萍.深层搅拌水泥土防渗墙技术在某水库除险加固工程中的应用[J].人民珠江,2010,31(3):12-15.
- [3] 卢康林.液压铣削水泥土防渗墙在希尼尔水库除险加固中的应用[J].水利科技与经济,2020,26(3):72-75.
- [4] 孟宪龙.水泥土铣削搅拌墙施工技术在月亮湾水库工程中的应用[J].水利建设与管理,2019,39(7):50-54.

Environmental benefit assessment and empirical analysis of the whole life cycle of green building materials

Qiling Wang

Jinan Engineering Vocational and Technical College, Jinan, Shandong, 250020, China

Abstract

In the context of the increasingly severe global ecological and environmental problems, sustainable development has become the core pursuit of all walks of life. As an important pillar of economic development, the construction industry is also a big source of resource consumption and environmental pollution. Traditional building materials are exposed in the whole process of production, use and waste. This paper aims to explore the environmental benefits of green the whole life cycle of building materials, by constructing scientific evaluation system, combined with the actual case of empirical analysis, quantitative green building materials in raw materials acquisition, production and processing, transportation, use, and the waste treatment at various stages of the positive impact on the environment, for the construction industry to promote green building materials, realize sustainable development to provide strong theoretical and practical basis.

Keywords

green building materials; full life cycle; environmental benefit assessment; empirical analysis

绿色建材全生命周期环境效益评估与实证分析

王启玲

济南工程职业技术学院, 中国 · 山东 济南 250020

摘 要

在全球生态环境问题日益严峻的大背景下, 可持续发展已成为各行各业的核心追求。建筑行业作为经济发展的重要支柱, 却也是资源消耗和环境污染的大户。传统建筑材料在其生产、使用及废弃的全流程中, 暴露出诸多问题。本文旨在深入探讨绿色建材全生命周期的环境效益, 通过构建科学的评估体系, 结合实际案例进行实证分析, 量化绿色建材在原材料获取、生产加工、运输、使用及废弃处理等各阶段对环境的积极影响, 为建筑行业推广绿色建材、实现可持续发展提供有力的理论与实践依据。

关键词

绿色建材; 全生命周期; 环境效益评估; 实证分析

1 引言

建筑行业作为资源消耗和环境污染的重点领域, 其可持续发展备受关注。绿色建材的出现为建筑行业的绿色转型提供了关键支撑。绿色建材是指在全生命周期内减少对天然资源消耗和环境影响, 具有节能、减排、安全、便利和可循环特征的建材产品。对绿色建材全生命周期的环境效益进行准确评估, 有助于了解其环保价值, 推动建筑行业朝着更加绿色、低碳的方向发展。

2 绿色建材全生命周期阶段划分

2.1 原材料获取阶段

此阶段是绿色建材全生命周期的起点, 涉及对各类基

础材料的开采与收集。以常见的绿色混凝土为例, 其原材料除了传统的水泥、骨料, 还大量采用工业废渣, 如粉煤灰、矿渣等。传统水泥生产依赖石灰石等天然资源, 大规模开采不仅破坏山体植被, 引发水土流失, 还会改变当地生态系统平衡。而绿色建材积极利用工业废弃物, 既减少对天然资源的依赖, 又解决了工业废渣的处置难题, 降低了对环境的破坏。但即便如此, 在获取其他原材料, 如骨料时, 仍需关注开采过程对土地和水资源的影响, 合理规划开采区域与方式, 最大程度减轻生态扰动^[1]。

2.2 生产加工阶段

生产加工环节是绿色建材成型的关键过程, 也是能源消耗与污染物排放的集中阶段。在绿色钢材生产中, 采用先进的电炉炼钢技术, 相较于传统转炉炼钢, 可大幅降低能源消耗与二氧化碳排放。同时, 在生产工艺优化上, 许多绿色建材企业通过改进配方、调整生产流程, 提高原材料利用

【作者简介】王启玲(1985-), 女, 中国山东兰陵人, 本科, 副教授, 从事绿色建材、智能建造研究。

率,减少废料产生。但部分生产过程仍会产生废气、废水与废渣。例如,陶瓷类绿色建材生产中,窑炉燃烧排放的二氧化硫、氮氧化物等废气,以及生产废水含有的重金属离子,若未经有效处理直接排放,将对大气和水体环境造成污染。因此,该阶段需配备先进的污染治理设施,确保生产过程符合环保标准^[2]。

2.3 运输阶段

运输阶段虽不涉及建材的实质生产,但运输距离、运输工具及运输量等因素,对能源消耗与碳排放影响显著。假设将绿色保温材料从生产地运往全国各地建筑工地,若采用公路长途运输,重型卡车的燃油消耗量大,碳排放随之增加。而合理规划运输路线,采用铁路、水路等更为低碳的运输方式,可有效降低能耗与排放。此外,优化包装设计,采用轻量化、可回收包装材料,既能减少运输过程中的重量负荷,降低能源消耗,又能在包装废弃后便于回收利用,减少废弃物对环境的压力。

2.4 使用阶段

在建筑的整个使用周期中,绿色建材发挥其节能、环保性能。以节能门窗为例,采用断桥铝型材与双层中空玻璃,能有效阻挡热量传导,降低建筑供暖与制冷能耗。据测算,使用此类绿色门窗的建筑,在冬夏季节可节省20%-30%的能源消耗,相应减少因发电产生的污染物排放。同时,一些具有净化空气功能的绿色涂料,能分解室内甲醛、苯等有害气体,改善室内空气质量,对居住者健康与室内微环境生态产生积极影响^[3]。

2.5 废弃处理阶段

当建筑达到使用寿命,绿色建材进入废弃处理阶段。绿色建材的可循环利用优势在此阶段凸显。如废弃的混凝土可通过破碎、筛分等工艺,制成再生骨料用于生产新的混凝土制品。金属类绿色建材可回炉重熔,实现资源的循环利用,减少对新矿石的开采需求。对于无法直接回收利用的部分,也需遵循环保原则进行无害化处理,避免废弃物中的有害物质渗入土壤、污染水体,确保在全生命周期的末端,将对环境的负面影响降至最低^[4]。

3 绿色建材全生命周期环境效益评估指标选取

3.1 资源消耗指标

在原材料获取阶段,单位产品的原材料消耗量是核心指标。例如,生产绿色玻璃时,统计制造单位面积玻璃所耗费的石英砂、纯碱、长石等原材料的具体重量。同时,关注不可再生资源在原材料中的占比,像生产传统陶瓷洁具大量使用高岭土这类不可再生矿产,而绿色陶瓷若能提高工业尾矿、废玻璃等可再生原料的使用比例,该指标数值就会降低,反映出对不可再生资源依赖度的下降;在生产加工阶段,能源消耗指标至关重要。以绿色塑料建材生产为例,核算生产单位重量塑料制品所消耗的电能、热能总量。若采用先进的

节能生产设备与工艺,单位产品的能源消耗会显著降低,不仅体现生产过程的高效性,也反映出对能源资源的节约。此外,原材料利用率也是重要考量,即实际转化为产品的原材料质量占投入原材料总质量的百分比,高利用率意味着更少的原材料浪费。

3.2 污染物排放指标

在生产加工阶段的污染物排放指标涵盖废气、废水和废渣排放。废气方面,关注二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等的排放量;废水指标包括化学需氧量(COD)、氨氮等污染物浓度及排放量;废渣则统计单位产品产生的废渣量及其成分。运输阶段主要考虑碳排放,根据运输距离和运输工具的能耗参数,计算每吨公里的二氧化碳排放量。使用阶段,对于外墙保温材料,评估其减少建筑供暖、制冷能耗从而间接减少的污染物排放量。废弃处理阶段,评估废弃物的回收利用率,即回收再利用的废弃物量占废弃物总量的比例。

3.3 生态影响指标

在原材料获取阶段,评估对土地资源的影响,包括因开采活动导致的土地塌陷面积、植被破坏范围等。在绿色石材开采中,若采用先进的开采技术,减少对周边土地与植被的破坏,能降低生态系统受损程度;在生产加工和运输阶段,考虑噪声污染对周边生态环境的影响,如绿色建材工厂和运输车辆产生的噪声,可能干扰野生动物栖息与繁殖。采用隔音设备、优化运输时间等措施,可降低噪声对生态的干扰。此外,评估生产加工过程中产生的废水、废气对周边水体、土壤生态的潜在危害,如绿色涂料生产排放的废气若含有挥发性有机化合物,可能影响周边植物生长;在使用阶段,部分绿色建材具有改善生态环境的功能,如具有空气净化功能的绿色壁纸,能降低室内有害气体浓度,对室内微生态环境产生积极影响,可通过检测室内空气质量指标的改善程度衡量;在废弃处理阶段,评估废弃物填埋或焚烧对土壤和水体生态的长期影响,如废弃建材中的重金属是否会渗入土壤、污染地下水。若能对废弃物进行妥善的无害化处理与资源回收,可减少对生态环境的潜在威胁。

4 绿色建材全生命周期环境效益实证分析

4.1 案例选取与数据收集

选取某绿色混凝土和传统混凝土进行对比分析,该绿色混凝土采用大量的工业废渣(如粉煤灰、矿渣)作为替代原料,生产过程中优化了工艺,降低能耗。数据收集涵盖原材料获取、生产加工、运输、使用及废弃处理各阶段。在原材料获取阶段,统计绿色混凝土和传统混凝土生产所需的水泥、骨料等原材料用量及来源。生产加工阶段,收集工厂的能源消耗数据、污染物排放监测数据。运输阶段,记录运输距离、运输工具类型及能耗参数。使用阶段,通过对使用两种混凝土建造的建筑进行能耗监测,获取供暖、制冷能耗数据。废弃处理阶段,调查当地混凝土废弃物的回收处理情况

及相关数据。

4.2 各阶段环境效益分析

4.2.1 原材料获取阶段

传统混凝土生产主要依赖水泥、天然砂石等原材料，对自然资源开采量大。而绿色混凝土由于大量使用工业废渣，减少了对天然骨料的需求，降低了对矿山开采的依赖。例如，每生产1立方米绿色混凝土，可减少天然砂石用量约150千克，同时消耗粉煤灰约120千克、矿渣80千克，有效节约了自然资源，减少了因开采造成的土地破坏和生态影响。

4.2.2 生产加工阶段

从能源消耗来看，在传统混凝土生产过程中，水泥煅烧是主要能耗环节。绿色混凝土生产通过优化工艺，利用工业废渣的潜在活性，降低了水泥用量，从而减少能源消耗。经测算，生产1立方米绿色混凝土的能耗比传统混凝土降低约20%，相应地，二氧化碳排放量减少约100千克。在污染物排放方面，绿色混凝土由于水泥用量减少，生产过程中二氧化硫、氮氧化物等废气排放量降低约30%，废水和废渣排放量也有所减少。

4.2.3 运输阶段

假设两种混凝土的运输距离相同，均为50公里。传统混凝土密度较大，运输单位体积所需的运力更多。绿色混凝土因采用轻质骨料和工业废渣，密度相对较低。经计算，运输1立方米绿色混凝土的碳排放比传统混凝土减少约5千克，主要原因是运输车辆的燃油消耗降低。

4.2.4 使用阶段

在建筑使用阶段，绿色混凝土由于其良好的保温隔热性能，可有效降低建筑的供暖和制冷能耗。对使用两种混凝土建造的相同面积、相同功能的建筑进行为期一年的能耗监测，结果显示，使用绿色混凝土的建筑年供暖、制冷能耗比使用传统混凝土的建筑降低约15%。以一个建筑面积为1000平方米的建筑为例，使用绿色混凝土每年可节约电能约15000度，减少因发电产生的二氧化碳排放量约12吨。

4.2.5 废弃处理阶段

传统混凝土废弃后，大多采用填埋方式处理，占用大量土地资源且难以降解。绿色混凝土由于含有可回收利用

的工业废渣，其废弃物回收利用率较高。在当地的混凝土废弃物回收处理厂，绿色混凝土废弃物的回收利用率可达30%，而传统混凝土仅为10%。回收的绿色混凝土废弃物可用于生产再生骨料，重新应用于建筑材料生产，实现资源的循环利用，减少对新资源的需求和废弃物填埋对环境的影响。

4.3 全生命周期环境效益综合评估

对各阶段环境效益指标的量化分析，采用加权平均法对绿色混凝土和传统混凝土的全生命周期环境效益进行综合评估。资源消耗、污染物排放和生态影响指标的权重分别设定为0.4、0.4和0.2。经计算，绿色混凝土的全生命周期环境效益综合得分明显高于传统混凝土，表明绿色混凝土在全生命周期内具有显著的环境优势。具体而言，绿色混凝土在资源节约、污染物减排和生态保护方面表现突出，为建筑行业的可持续发展做出了积极贡献。

5 结论

绿色建材在全生命周期内展现出显著的环境效益，通过对资源消耗、污染物排放和生态影响等多方面指标的评估及实证分析，充分证明了其在建筑行业可持续发展中的重要作用。尽管目前绿色建材推广面临成本、认知和标准等挑战，但通过政府政策支持、加强宣传教育以及完善标准认证体系等措施，有望克服这些障碍，推动绿色建材在建筑行业的广泛应用。未来，随着技术的不断进步和市场的逐步成熟，绿色建材将在降低建筑行业环境影响、实现资源高效利用和生态环境保护方面发挥更大的作用，助力建筑行业实现绿色低碳转型，为全球可持续发展目标的达成贡献力量。

参考文献

- [1] 谢斌,胡青莲.基于全生命周期考量的绿色智能建材在商业建筑中的应用[J].上海建材,2023(4):8-12,23.
- [2] 伍舒君,钟奕,梁欢,等.基于全生命周期的建材减碳途径[J].河南建材,2024(7):11-14.
- [3] 王旭鹏.基于全生命周期成本的绿色建筑设计优化研究[J].建筑与预算,2023(11):44-46.
- [4] 彭卓,郭春梅,汪磊磊,等.绿色建筑全生命周期CO₂排放敏感性与减碳潜力研究[J].天津城建大学学报,2021,27(6):436-441.

The problem of “formalization” of emergency plans for environmental emergencies in small and medium-sized enterprises has been solved

Yucong Zhu¹ Mengmeng Wang² Zhengkai Shi³ Xufeng Hu⁴

1. Hangzhou Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310011, China

2. Zhejiang Aiwenge Environmental Protection Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

3. Wuhan Zhonglian Heda Environmental Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

4. Zhejiang Dekong Environmental Protection Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang, 215400, China

Abstract

With the increase in sudden environmental incidents, companies are facing growing pressure in environmental risk management. Currently, the frequent occurrence of such events makes environmental risk management even more critical for businesses. This paper analyzes the “formalization” issue in emergency response plans for small and medium-sized enterprises (SMEs), explores its main manifestations, and proposes effective solutions. These include enhancing corporate primary responsibility awareness, optimizing the emergency plan formulation mechanism, strengthening emergency drills and dynamic optimization, and improving external supervision and incentive mechanisms. By implementing these measures, companies can ultimately enhance their emergency management capabilities, ensure the effectiveness and operability of their emergency plans, and achieve efficient response and management of sudden environmental incidents.

Keywords

small and medium-sized enterprises; emergency plan for environmental emergencies; “formal” problems; solutions

中小企业突发环境事件应急预案“形式化”问题破解

朱郁葱¹ 王梦梦² 施正凯³ 胡旭峰⁴

1. 杭州环保科技有限公司, 中国·浙江 杭州 310011

2. 浙江爱闻格环保科技有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

3. 武汉众联合达环境技术有限公司, 中国·湖北 武汉 430000

4. 浙江德控环保科技有限公司, 中国·浙江 杭州 215400

摘要

随着突发环境事件的增多, 企业面临着越来越大的环境风险管理压力。当前, 突发环境事件的频发, 使得企业的环境风险管理变得更加重要。本文分析了中小企业突发环境事件应急预案的“形式化”问题, 探讨其主要表现, 并提出了有效的破解路径, 包括增强企业主体责任意识、优化应急预案编制机制、强化应急演练与动态优化、完善外部监管与激励机制, 通过这些路径的实施, 最终就能提升企业应急管理能力, 确保应急预案的有效性和可操作性, 实现突发环境事件的高效应对与管理。

关键词

中小企业; 突发环境事件应急预案; “形式化”问题; 破解路径

1 引言

突发环境事件的频发, 许多中小企业的应急预案往往仅停留在文件层面, 缺乏实用性和针对性, 未能在实际事件中发挥应有作用, 这种“形式化”的应急预案影响了企业应对突发事件的能力, 还可能带来更大的环境安全隐患。因此,

文章将研究如何破解这一问题, 旨在提升应急预案的质量和可操作性, 助力中小企业的环境管理工作。

2 企业突发环境事件应急预案的功能作用

突发环境事件应急预案是企业面对环境污染事故或生态危机时的重要防线, 承担着风险预警、快速响应、事故控制及生态恢复等多重功能。其核心作用在于提前识别潜在的环境风险, 并制定科学合理的应急措施, 能够在事故发生时迅速、有效地应对, 最大限度减少环境污染和经济损失,

【作者简介】朱郁葱(1990-), 女, 中国河南驻马店人, 硕士, 工程师, 从事环境保护研究。

确保企业生产的可持续性 & 社会责任的履行^[1]。

应急预案有助于企业建立系统化的环境安全管理体系，通过明确突发环境事件的分级响应、预警机制及应急流程，提升环境安全管理的规范性和可操作性。它能够有效提高企业应对突发环境事件的能力，确保在事故发生时各部门协同作战，快速开展污染物控制、人员疏散及环境修复等应急行动。科学完善的应急预案，还能强化企业的环境合规管理，减少因突发事故导致的法律责任和监管处罚，同时提升企业社会形象，增强公众和政府对企业环境管理能力的信任。因此，应急预案的制定与实施，不仅是企业自身可持续发展的必然要求，也是履行社会责任、推动绿色低碳发展的重要举措。

3 中小企业突发环境事件应急预案“形式化”问题分析

突发环境事件应急预案“形式化”问题，主要指企业在应急预案的编制、实施及监管过程中，未能真正发挥其应有的预警、指引与实操作用，而仅停留在应付检查的层面，缺乏针对性和可操作性。这一问题的存在，致使企业在环境突发事件发生时，难以迅速、有效地应对，甚至加剧环境污染的影响。具体主要表现在下列方面：其一，内容雷同，缺乏针对性。许多中小企业的应急预案存在高度雷同的现象，直接套用行业模板或其他企业的预案内容，未能结合自身生产工艺、环境风险因素及地理特征进行调整。千篇一律的编制方式，使得应急预案无法有效应对企业自身的环境突发事件，降低了其实用价值。其二，预案缺乏实操性，未能真正指导应急响应。应急预案的编制流于形式，缺乏专业指导，许多预案仅停留在理论层面，缺乏详细、可执行的应急处置方案。部分预案未明确突发事件发生后的具体处置流程、应急物资储备要求及人员分工，导致企业在事故发生时束手无策，难以按预案快速响应。其三，缺乏定期更新与演练，停留在文件层面。许多中小企业的应急预案一旦编制完成，便长期束之高阁，未能根据企业生产活动的变化、环境法规的更新及突发事件的实际经验进行调整。企业缺乏应急演练机制，员工对预案内容不熟悉，导致即便有预案，实际操作中也难以发挥作用。其四，监管流于形式，应付检查。部分企业仅在环保监管部门检查时，才临时补充、整理应急预案，并未真正将其纳入企业日常管理之中。由于部分监管部门在检查过程中未能严格核查预案的科学性和执行情况，使得企业对预案编制的态度流于敷衍^[2]。

4 应急预案“形式化”问题的破解路径

4.1 增强企业主体责任意识

破解中小企业突发环境事件应急预案“形式化”问题的首要任务，是强化企业主体责任意识，使企业从“被动应付”转向“主动作为”，真正认识到环境应急管理的重要性。企业作为环境保护的责任主体，应当承担环境安全管理的直

接责任，并将其融入日常运营之中。具体实施策略包括：第一，加强环保法规培训，提高企业环境安全意识。部分中小企业管理者及员工的环境安全意识较为薄弱，对突发环境事件的严重性和应急预案的重要性认识不足。因此，应开展系统的环保法规培训，提高企业各层级人员的环境安全意识，使其充分认识到环境风险的法律责任及经济损失。环保监管部门联合行业协会，应定期组织企业管理人员参与环保法律法规培训，使其深入了解《环境保护法》《突发环境事件应急管理办法》等相关法律法规，以及企业在环境应急管理中的法律责任。企业内部也应开展环保知识普及，采取培训、宣传手册、案例分析等方式，使员工掌握环境风险防控和突发事件应急处理的基本技能。企业应结合自身行业特点，重点培训生产管理人员和一线操作人员，使其了解生产过程中的环境风险点，增强预警意识，避免突发事件的发生。第二，建立企业内部环境安全管理体系。企业需建立完善的环境安全管理体系，将环境应急管理责任落实到具体岗位，确保应急预案真正执行。企业应成立专门的环境安全管理小组，明确企业负责人、环保专员、各生产部门的职责，确保环境安全责任层层落实。针对突发环境事件，设立“首要责任人”制度，明确事故发生后各部门的响应程序和责任分工，使应急预案的实施更加高效。还需建立严格的责任追究机制，对于因环境安全管理不当或应急预案执行不力导致事故扩大的情况，追究相关责任人的责任。对于在环境安全管理中表现突出的部门和个人，可给予奖励，形成激励机制。通过奖惩结合，推动企业内部形成“人人重视环境安全、层层落实责任”的良性管理模式。

4.2 优化应急预案编制机制

第一，结合企业生产特点，制定针对性、实用性强的应急预案。中小企业的生产模式、规模以及面临的环境风险各不相同。因此，在编制应急预案时，应当根据企业的具体生产特点进行量体裁衣，避免“一刀切”的做法。企业需要深入分析自身的环境风险因素，识别可能发生的突发环境事件类型，风险因素一般包括但不限于废水、废气排放超标、生产事故引发的污染物泄漏等^[3]。根据实际风险，企业需制定专门针对某一类风险的应急预案，例如污染物泄漏事故的处理预案，或是在突发火灾时的应急响应措施。企业还应考虑到生产线的特殊性。例如，某些企业有特定的生产工艺流程，涉及危险化学品的存储和使用，在这种情况下，应急预案不仅要涵盖基本的火灾、爆炸等常规事故，还应专门针对化学品泄漏、设备故障引发的次生污染等问题，制定详细的应对措施，这样才能真正为企业应急管理工作提供切实可行的指导。第二，引入专家指导，提升预案的科学性和可操作性。在编制预案过程中，借助环境科学、工程技术等领域的专业人士的知识，能够为企业提供更精细化的应急管理方案。专家可以帮助企业深入分析潜在的环境风险，评估突发事件带来的后果，进而制定更加符合科学规律的应

急措施。许多中小企业由于缺乏专业人员，在编制预案时忽视了操作细节，使得预案在实际应用时流于纸面，无法迅速有效地应对突发事件。专家的参与，则可以确保每一项应急措施都有明确的执行步骤，并且能够在现场操作中得到有效落实。

4.3 强化应急演练与动态优化

应急预案的有效性，不仅依赖于其内容的科学性和针对性，还需通过定期的演练和动态优化，确保在突发环境事件发生时，企业能够迅速、有效地采取行动，提升应急响应能力。具体要关注：第一，定期组织实战演练，提高应急处置能力。应急预案的最终目的，是为了在突发环境事件发生时，能够迅速反应、有效应对。为了验证和提升应急预案的实际效用，企业必须定期组织实战演练。演练能够检验预案的可操作性，还能提高员工的应急反应能力，确保在面对突发事件时，能够迅速且准确地执行预案中的各项措施。定期的实战演练应覆盖不同类型的突发环境事件，包括污染物泄漏、设备故障引发的环境事故、自然灾害等。每次演练前，企业应明确演练的目标，提前准备好相关的应急物资、设备和人员，并设定具体的情景模拟。演练过程中，所有相关人员应按预案中的操作步骤进行配合，模拟发生事件后的处理流程。通过演练，就可以发现预案中存在的漏洞和不足，还可以帮助员工熟悉应急流程，提升其应急反应速度。对于演练结果还应进行评估和总结。演练结束后，企业应组织相关人员进行回顾，分析演练中出现的问题和不足，及时调整应急响应策略和措施，这种反馈机制能够帮助企业不断提升应急处置能力，确保预案在实际情况中更加有效。第二，建立动态调整机制，确保预案与企业实际情况匹配。环境风险和企业生产经营条件会随时间变化而变化，因此，应急预案必须具备动态调整机制，确保预案始终与企业的实际情况相匹配。企业应定期对生产环境、技术设备和管理流程进行评估，识别潜在的环境风险，并根据这些风险的变化调整应急预案。除了内部因素的变化，外部环境的变化，如法律法规的更新、行业标准的调整等，也会影响企业的应急管理要求。企业应关注相关政策法规的变化，确保应急预案符合最新的法律要求。还应与外部监管机构保持密切联系，了解行业中的最佳实践和最新动态，及时将这些信息纳入到预案的更新和优化中。动态调整机制的建立，要求企业具备灵活性和前瞻性，能够在环境、技术、法规等多重因素变化的背景下，快速响应并调整应急预案。定期评审和修订应急预案，是企业具备实际应对能力的重要保证。

4.4 完善外部监管与激励机制

完善外部监管与激励机制也要重视，需要激励企业提

高应急预案的质量，确保具备可操作性，从而提升企业的整体应急管理水平。具体包括：第一，建立奖惩制度，制定高质量应急预案。对于企业来说，应急预案不仅仅是应对突发事件的工具，也反映了企业的社会责任感和管理水平。因此，政府和监管部门应通过有效的奖惩机制，引导企业积极参与应急管理，提高预案的质量和实效性。政府可以设立专项奖励基金，对那些在预案编制、演练、实施等方面表现优秀的企业，给予资金支持或政策优惠。对于应急预案制定符合高标准的企业，可以在环保检查中给予优先审批，或在相关资质认证中提供便利。对于那些应急预案流于形式、没有实际效用的企业，应加大监管力度，实施严格的惩罚措施。企业如果未按规定时间进行应急预案的定期更新，或者未按要求进行实战演练，可对其进行罚款、限制环保项目审批等处罚。政府还可以设立信用记录，定期公布未能履行应急管理责任的企业名单，督促企业从制度层面上改进。第二，推动行业协会和第三方机构参与，提供专业化支持。行业协会作为行业内的重要组织，可以发挥桥梁作用，推动行业内的最佳实践和技术标准的传播。通过组织行业内的培训、研讨会和经验交流，可以帮助企业了解应急管理的新动态、新方法，提升其应急预案的质量。行业协会应定期发布应急预案的编制指南，提供样本模板，帮助企业快速、准确地完成预案制定。行业协会还可以推动企业间的相互学习与协作，帮助中小企业借鉴同行的成功经验，提高自身的应急管理能力。第三方机构，如环境咨询公司、应急管理服务公司等，拥有更丰富的行业经验和专业技术，能够根据企业的具体情况，提供定制化的顾问服务。

5 结语

综上所述，中小企业突发环境事件应急预案的“形式化”问题，源于多方面的因素，如企业责任意识淡薄、预案编制缺乏专业性以及外部监管不力。破解这一问题，需要企业、政府以及行业协会等多方共同努力。增强责任意识、优化应急预案编制、加强演练与动态优化，以及完善外部监管机制，中小企业就能够更好地应对突发环境事件，保障生产与环境安全。

参考文献

- [1] 付贺鹏, 赵小进, 董立鹏. 企业突发环境事件应急管理工作问题浅析[J]. 化工安全与环境, 2023, 36(11): 81-83.
- [2] 严源. 企业突发环境事件隐患排查和治理工作探讨[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(06): 107-109.
- [3] 黎洁霞. 突发环境事件应急法治中主体参与机制研究[D]. 西南政法大学, 2022.

Quantitative analysis of the impact of optimal allocation of resources on cost and schedule coordination in the construction process

Caiqin Zhen

Xinjiang Beixin Civil Engineering Construction Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

This study focuses on the impact of optimized resource allocation on cost and schedule coordination in construction. Firstly, explain the theoretical basis, construct a quantitative analysis model, select indicators such as resource utilization rate, and construct and verify a multiple linear regression model through correlation and regression analysis. Through case studies of commercial complexes and residential projects, this study analyzes measures for optimizing resource allocation and their synergistic effects. It is found that these measures can improve resource utilization and balance, reduce costs, and shorten project timelines, but may vary depending on the scale of the project. Simultaneously analyze internal and external influencing factors and provide response strategies. The study has clarified the quantitative relationship between resource optimization and cost/schedule indicators. Although there are limitations in the sample and model, it can provide a basis for enterprise decision-making. In the future, further research can be conducted from expanding data and improving models.

Keywords

construction; Cost and schedule coordination; Quantitative analysis

建筑施工过程中资源优化配置对成本与进度协同影响的量化分析

甄彩琴

新疆北新土木建设工程有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要

本研究聚焦建筑施工中资源优化配置对成本与进度协同的影响。先阐述理论基础, 构建量化分析模型, 选取资源利用率等指标, 经相关性和回归分析构建并验证多元线性回归模型。通过商业综合体与住宅项目案例, 分析资源优化配置措施及协同效果, 发现能提升资源利用与均衡度, 降本、缩工期, 但因项目规模不同有差异。同时剖析内外部影响因素, 给出应对策略。研究明确了资源优化与成本、进度指标的定量关系, 虽存在样本与模型局限, 但可为企业决策提供依据, 未来可从拓展数据、完善模型等方面深入研究。

关键词

建筑施工; 成本与进度协同; 量化分析

1 引言

在城市化快速推进的当下, 建筑行业虽地位重要, 却面临激烈竞争。建筑企业为实现可持续发展, 提升竞争力刻不容缓。项目成本与进度协同管理, 对企业效益与声誉影响深远, 而资源优化配置在此过程中发挥着关键作用, 合理调配人力、物力、财力可显著降本增效。然而, 现有成本与进度协同管理研究, 在资源优化配置量化分析方面存在不足。本研究通过文献研究、案例分析及定量定性结合法, 构建多

目标量化模型, 开展多案例对比, 充分考虑实际因素, 旨在完善理论体系, 为企业提供决策依据, 助力其选定最优资源配置方案, 同时为行业监管政策制定提供参考。

2 相关理论基础

建筑施工资源分为人力、物资、资金三类。人力资源有主观能动性、个体差异和流动性, 配置需贴合项目特性。物资资源的质量、数量及供应时间影响工程质量与进度, 采购、运输和存储需精细规划。资金资源具时间价值与流动性, 其筹集、分配左右项目成本与运转。资源优化配置方法中, 资源计划分三步: 依施工技术确定资源类型, 按机具配置人力、结合工效等确定机具与材料数量, 通过资源倒用顺序或

【作者简介】甄彩琴(1998-), 女, 中国甘肃张掖人, 助理工程师, 从事建筑施工管理研究。

负荷分析确定配置顺序。常用方法有线性规划,可精确求解但对数据要求高;启发式算法如遗传、粒子群算法,能快速得近似解,适用于复杂问题。成本管理方面,施工成本含直接成本(直接工程费、措施费)与间接成本(企业管理费、规费)。全面预算管理、价值工程分析、挣值管理(EVM)等用于成本控制与评估。进度管理中,进度计划编制常用甘特图(适用于简单项目)和网络计划技术(适用于复杂项目),通过组织、技术等措施实现进度控制与动态管理。成本与进度相互影响,资源投入影响二者,且与质量紧密关联。协同管理模型如赢得值法、灰色关联分析,可评估绩效、揭示影响因素。

3 资源优化配置对成本与进度影响的量化分析模型构建

量化指标选取上,资源优化配置指标包括资源利用率、资源均衡度、资源成本比率。成本指标有总成本、单位成本、成本偏差。进度指标含实际工期、进度偏差、进度绩效指数(SPI)。模型构建时,先进行相关性分析,如皮尔逊相关系数显示资源利用率与成本偏差呈显著负相关,斯皮尔曼等级相关系数表明资源均衡度与进度偏差负相关。接着通过回归分析构建多元线性回归模型,以总成本、实际工期为因变量,资源利用率等为自变量,用最小二乘法估计参数。模型建立后,通过收集多项目资源、成本、进度数据,经清洗、标准化处理,采用交叉验证和独立样本验证,以均方误差(MSE)、决定系数(R²)、平均绝对误差(MAE)等指标进行评估,确保模型的准确性与可靠性。

4 案例分析

4.1 案例项目概况

案例一项目概况:案例一为某大型商业综合体项目,地处城市核心商圈,地理优势显著,立志打造综合性商业地标。项目总占地12万平方米,总建面60万平方米,其中商业建面30万平、办公15万平、酒店5万平、配套设施10万平。规划上,设有高端购物中心,汇聚国际知名品牌,涵盖时尚服饰、珠宝美妆等品类;特色餐饮街区,提供多元美食;大型娱乐中心,配备影院、KTV及儿童游乐设施;甲级写字楼,吸引企业入驻,提供优质办公环境;五星级酒店,为商务人士与游客提供住宿、会议服务。建设目标明确,需在3年内完成主体工程,第4年开业运营,开业前5年年均营业额达10亿元以上。为达成目标,项目建设中重视资源合理配置与高效利用,运用先进施工技术与管理理念,严格把控项目质量、进度及成本,致力于成为城市商业新名片。

案例二项目概况:某位于城市新区的住宅建筑工程项目,周边配套完善、交通便利。项目占地8万平方米,总建筑面积20万平方米,规划建设10栋高层住宅,共1500套住房。户型面积从80平方米的两居室到150平方米的四居室,能满足不同家庭居住需求。建筑风格简约现代,着重居

住舒适性与景观融合。小区内规划有中央景观花园,种植多种花草树木,营造宜人居住环境;还配备儿童游乐区、健身步道、老年活动中心等休闲健身设施,满足居民日常休闲需求,地下停车场也为居民停车提供充足车位。项目计划建设周期2.5年,旨在为居民打造高品质居住空间,提升城市新区居住品质。施工中,项目团队高度重视资源优化配置,合理调配人力、物力、财力,严格控制成本,全力确保项目按时交付,实现良好经济效益。

4.2 资源优化配置措施实施

案例一资源优化配置:人力方面,组建多专业高素质团队。依施工进度与技术要求,精准计算、调配人员。基础施工阶段,提前从劳务市场招足熟练钢筋工、木工、泥瓦工,开展岗前培训,合理安排工时与休息,提升效率。采用矩阵式管理,促进信息共享与协同。主体结构施工时,技术与施工人员紧密配合解难题,保进度与质量。物资资源上,构建完善管理体系。经市场调研,与优质供应商长期合作,保障材料质优价廉、供应及时。按施工进度制定采购计划,像钢材依规格、数量分批次采购,减少库存。强化质量检验,合理配置、定期维护施工设备,大型设备安排专业人员操作、维修,提高使用效率。资金资源方面,制定科学预算与使用计划。前期多渠道筹资,保障项目启动。资金使用严格依预算控制,记录、分析费用支出,合理安排支付顺序,优先保障关键支出。加强动态管理,依进度与成本控制情况调整计划,避免资金闲置或浪费^[1]。

案例二资源优化配置:人力上,采用劳务分包与自有工人结合模式。技术含量低、劳动强度大的工作,如土方开挖、外墙粉刷,由信誉佳、价格合理的劳务分包队伍负责,降低成本。关键技术与管理岗位由自有工人担任,把控质量与进度。建立培训与激励机制,定期组织技能培训,设绩效奖金,激发工人积极性与创造力。物资资源运用信息化手段,建立管理信息系统,实时掌握库存、采购、使用等信息,实现精细化管理。材料采购采用集中与分散结合,常用材料集中采购降成本,特殊与零星材料按需分散采购保供应。加强库存管理,定期盘点,合理控制库存水平,确保供需平衡。资金资源方面,与金融机构良好合作,争取优惠贷款利率与灵活还款方式,降低成本。建立严格审批制度,保障资金安全。依工程进度与合同及时支付工程款,避免拖欠影响进度。合理分配资金,优先用于关键部位与工序施工,定期审计分析资金使用情况,提升使用效率。

4.3 成本与进度协同效果分析

案例一:商业综合体项目借助量化分析模型,剖析资源优化后的协同效果。资源利用率显著提升,人力方面,经精准调配与高效组织,利用率从70%提至85%,减少人员闲置。物资上,优化采购与库存管理,材料利用率从80%升至90%,降低浪费与积压。资源均衡度改善明显。前期施工任务分配不均,资源需求波动大。优化后,经科学分配,

以混凝土供应为例,供应依施工进度精准调整,资源均衡度标准差降 30%,施工更稳定。成本指标向好,预计总成本 8 亿元,实际降至 7.5 亿元,节约 5000 万元,单位成本从每平 13333 元降至 12500 元,成本偏差 -5000 万元,成本控制成效显著。进度提前,原计划工期 36 个月,实际缩至 33 个月,进度偏差 -3 个月,进度绩效指数(SPI)为 1.09,大于 1,施工各环节衔接紧密,进度执行效率高。

案例二:住宅项目运用模型评估协同效果。资源利用率提升,劳务分包与自有工人结合,完善培训激励,人力利用率从 75% 提至 88%。物资借助信息化,利用率从 82% 升至 92%,减少积压浪费。资源均衡度改善,初期施工顺序不合理致资源分配不均。优化后,设备使用更均衡,资源均衡度标准差降 25%。成本节约,原计划总成本 3.5 亿元,实际 3.2 亿元,节约 3000 万元,单位成本从每平 1750 元降至 1600 元,成本偏差 -3000 万元。进度提前,计划工期 30 个月,实际缩至 27 个月,进度偏差 -3 个月,SPI 为 1.11,大于 1,资源合理配置保障施工顺利。

案例对比分析:两案例资源优化配置均提升资源利用率与均衡度,成本上都降低总成本与单位成本,实现成本节约;进度上都缩短工期,提高进度执行效率。不同在于,商业综合体规模大、资源复杂,优化难度大,总成本与单位成本节约金额高,但资源利用率和均衡度提升幅度小,进度提前幅度小。住宅项目规模小,资源优化侧重用工模式与物资信息化,资源利用率和均衡度提升幅度大,总成本与单位成本节约金额少,进度提前幅度大。对比结果可为不同建筑项目资源优化与成本进度协同管理提供参考,助力企业依项目特点制定合理方案。

5 影响因素与应对策略

5.1 影响因素

外部因素:政策法规变动冲击明显。市场准入资质趋严,企业需投入资源升级资质、培训人员,不然会丧失投标资格,干扰项目资源配置与进度;施工安全及环保法规强化,企业不仅要加大安全设施投入,采用环保工艺材料,增加成本,还可能因环保要求限制施工时间。市场价格波动大,建筑材料因供求、原材料成本大幅涨跌,劳动力市场价格上升且短缺,都会增加成本、拖慢进度。自然环境中,高温、降水等气象条件影响施工效率与安全,复杂地质若勘察不足,会增加施工成本与时间。

内部因素:企业管理水平至关重要。传统管理理念重短期利益,资源采购忽视质量与供应稳定性,易引发返工、延误。繁琐流程导致信息不畅、决策低效,造成资源浪费与

成本增加。技术能力影响资源利用与进度,先进技术能提效降本,技术落后则会导致施工效率低、质量问题与返工。人员素质也很关键,施工人员专业技能、管理人员管理能力,都影响着施工质量、进度与资源配置^[2]。

5.2 应对策略

针对外部因素的策略:面对政策法规变化,建筑企业应设政策法规研究团队,跟踪政策动态,组织内部培训,确保经营施工合规。如环保法规要求提高扬尘控制标准,企业及时组织学习并落实降尘措施。应对市场价格波动,企业要加强市场调研,建立监测机制,与供应商合作,运用金融工具锁定价格,降低风险,如签订钢材长期供应合同。针对自然环境因素,项目前期加强地质勘察与气象调研,合理规划施工避开不利时期,制定应急预案,减少灾害损失,如雨季前完成基础施工,洪涝时及时抢险防护。

针对内部因素的策略:建筑企业需树立现代管理理念,融入成本与进度协同观念,通过跨部门团队实现资源共享与高效利用。优化管理流程,减少审批环节,借助信息化系统提升资源调配效率。企业要加大技术研发投入,与高校、科研机构合作创新,引进先进技术,培训施工人员掌握新技术。加强施工人员技能培训,制定个性化计划,开展竞赛活动激励学习,奖励优秀人员。提升管理人员能力,组织培训学习,建立绩效考核制度,激励其提升管理水平^[3]。

6 结论与展望

本研究聚焦建筑施工中资源优化配置与成本、进度协同的关系。理论层面,优化资源利用率和均衡度,合理调配人力、物资与资金,能降本增效,促进施工流程顺利推进。通过相关性和回归分析,明确了资源优化配置与成本、进度指标的定量联系,为企业决策提供有力支撑。商业综合体和住宅项目的案例,也证实了资源优化可降低成本、缩短工期。同时,研究剖析了影响因素并给出应对策略。不过,受企业数据保密及记录缺失影响,样本规模、多样性和时间跨度不足,模型也未充分考量施工复杂性与不确定性。未来可借助大数据技术拓展数据收集,深入挖掘难以量化的因素并纳入模型,关注新兴技术应用,实现资源、成本与进度的智能协同管理。

参考文献

- [1] 郑慕华.资源配置视角下装配式建筑施工过程动态仿真与优化研究[D].哈尔滨工业大学,2023.
- [2] 沈维军,沈少军.企业成本管理与经营决策研究[J].中国电子商情,2024,(21):16-18.
- [3] 郎思琦.基于BIM技术的DGS项目施工方案优化研究[D].沈阳建筑大学,2020.

Application measures of preventive maintenance method in operating highway tunnel management

Qiang Wang

Suzhou Sanpin Transportation Construction Engineering Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

Abstract

Highway tunnel as a common traffic facilities, the interior is generally located in the mountain, itself carries a large pressure, coupled with the impact of the external environment, the tunnel is easy to appear a variety of faults, affect its function. In order to avoid affecting the passage, it is necessary for the relevant units to carry out preventive maintenance operations, maintenance in the tunnel before the safety risks, to ensure the function of the tunnel. This paper starts from the tunnel management, analyzes the possible safety hidden dangers in the operation link of highway tunnel, combines the causes and types of safety hidden dangers, carries out targeted preventive maintenance operation, checks the safety hidden dangers, and ensures the function of the tunnel.

Keywords

preventive maintenance; tunnel; quality control; safety risks

预防性养护方法在运营公路隧道管理中的应用措施

王强

苏州三品交通建设工程有限公司, 中国 · 江苏 苏州 215000

摘 要

公路隧道作为常见的交通设施,一般位于山体内部,本身承载较大的压力,再加上外界环境的影响,隧道就容易出现各种故障,影响其功能。为了避免影响通行,就需要相关单位开展预防性养护作业,在隧道出现安全隐患之前就进行养护,保证隧道的功能。本文就从隧道管理入手,分析公路隧道在作业环节可能存在安全隐患,结合安全隐患成因与类型,开展针对性的预防性养护作业,对安全隐患进行排查,保证隧道的功能。

关键词

预防性养护; 隧道; 质量管控; 安全隐患

1 引言

预防性养护是指在对象出现隐患之前的养护作业,一般通过专业的监测与检查作业,及时了解对象存在的细微缺陷并进行解决,在造成更大风险之前就进行隐患的排查,以保证对象的功能。公路隧道管理环节,由于公路主要承担车辆通行任务,一旦出现故障,就严重影响交通运输,还可能造成安全隐患,所以针对隧道的预防性维护就十分必要。此背景下,就需要相关人员结合公路隧道的实际状况,分析其可能出现的安全隐患,然后根据需要,开展针对性的预防性养护,以保证公路隧道的质量。

2 预防性维护概述

预防性养护 (Preventive Maintenance, 简称 PM) 是通过定期的检查、清洁、润滑、调整、修理等手段,在设备出

现故障之前采取措施,以确保设备能够持续稳定运行,减少故障发生的概率,延长设备的使用寿命。预防性养护的主要措施包括定期检查、清洁与润滑、更换易损件、参数监测、调整与校准以及技术升级等^[1]。一般而言,通过实施有效的预防性养护策略,可以优化资源使用,提高设备的综合效能,是现代化设备管理的重要组成部分。

3 运营公路隧道管理概述

3.1 概念

运营公路隧道管理是指在公路隧道投入运营后的日常管理和维护工作,目的是确保隧道的安全、畅通和高效运作。它包括了隧道的监控、维护、应急响应、交通管理等多个方面,以保障隧道内外的交通安全、设施的正常运行,以及应对可能发生的突发事件^[2]。

3.2 主要内容

运营公路隧道管理的主要内容包括以下几种,一是安全管理,主要涉及安全检查与巡检、监控系统以及消防管理;二是交通管理,包括交通流量监测、事故应急响应以及交通

【作者简介】王强, (1983-) 男, 中国江苏苏州人, 本科, 工程师, 从事交通运输工程研究。

导引与标识等；三是设备维护与管理，包括设施检测与维护、机械设备管理以及应急设备管理；四是应急预案与响应，包括应急疏散以及突发事件处理；此外还有环境与健康管理，需要进行空气质量监测以及噪声管理。

3.3 管理难点

运营公路隧道管理面临一些复杂和挑战性的难点。首先，隧道内发生事故（如火灾、车祸、爆炸等）时，由于空间封闭、通风差，事故处理和人员疏散的难度较大；其次，隧道内的设施（如通风系统、排水系统、照明系统、消防设施等）需要高频次的检查和维护。任何设备故障可能导致隧道运营中断或安全隐患，且设备多样性要求对维护管理有较高的技术要求；然后，隧道内空气流通不畅，车辆排放的废气容易积聚，特别是在高峰时段，空气污染物（如一氧化碳、氮氧化物等）浓度可能超标，影响驾驶员健康和隧道工作人员安全；此外，隧道的交通流量波动较大，尤其是在高峰时段或恶劣天气情况下，流量激增可能导致交通拥堵或事故发生。管理者需要实时调整交通信号、管理车速等，确保隧道内外交通的顺畅。

4 预防性维护在运营公路隧道管理中的优势

4.1 可以提高隧道安全性

通过定期检查和维修隧道的设施、设备（如通风、照明、排水系统等），可以及早发现潜在的安全隐患，减少设备故障或系统失效引发的事故。例如，及时发现火灾报警系统故障，能够在发生火灾时迅速采取措施，保障人员安全。

4.2 可以降低运营成本

相比于等到设备出现故障后再进行修复，预防性养护能够在设备损坏之前进行维修和更换，避免大规模的维修或更换所带来的高额费用。

4.3 可以提高运营效率

预防性养护可以确保隧道设备和设施的稳定运行，避免因设备失效导致的突发问题，从而保持隧道的正常通行，尤其在交通高峰期能够维持高效的通行能力。

4.4 延长隧道结构和设备的使用寿命

隧道的结构和设施（如隧道壁、防护设施等）随着时间的推移会逐渐老化。通过定期检查和养护，可以在早期阶段发现潜在的损坏或老化问题，采取修复措施，延长隧道的使用寿命，推迟大规模修缮或重建的需求。

4.5 可以提升应急响应能力

通过预防性养护和定期检查，隧道管理方可以掌握设备的状态和潜在问题，这样在出现故障时可以迅速修复，缩短停运时间，减少对交通的影响。

5 预防性养护方法在运营公路隧道管理中的应用措施

5.1 开展定期巡检与监测

在运营公路隧道管理中，预防性养护的关键之一是通

过定期巡检与监测确保隧道设施和设备的的良好状态，预防潜在问题（公路巡检工作内容如图 1 所示）。需要相关人员通过以下手段开展作业。

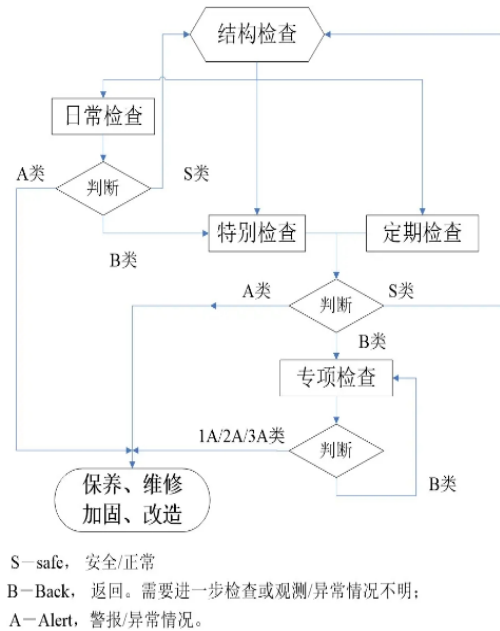


图 1 公路巡检

首先，需要开展结构检查，要定期检查隧道的内壁衬砌，确保其无裂缝、脱落或严重的磨损。裂缝和沉降可能导致水渗漏、结构安全问题等。还需要检查隧道的支撑结构（如支撑架、钢结构、混凝土支撑等）是否完好，特别是在隧道有沉降、地质变化或长期运营情况下，及时发现潜在的结构问题。

然后要开展环境监测，需要相关人员定期监测隧道内的空气质量，特别是二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物等有害气体的浓度。通过空气质量监测仪器对隧道内的空气进行实时监控，及时发现污染物超标的情况。还需要检查隧道内的温度、湿度是否正常。温湿度过高可能导致结构损坏，增加事故风险，尤其是对设备和设施的长期使用寿命影响较大。

综上，通过定期检查隧道结构、设备、环境等，能够及时发现潜在问题，减少事故发生，延长隧道的使用寿命，确保隧道运营的安全性和通行效率。

5.2 进行设备检查

在运营公路隧道管理中，设备维护保养是预防性养护的重要组成部分，可以确保隧道的各类设备能够正常运行，要求相关人员通过以下手段进行设计。

一是要开展通风系统的维护保养，需要相关人员定期检查通风风机的运转情况，清洁风机叶片，检查电机、轴承等部件是否有异常磨损，及时更换损坏的零件。并且定期对风机的运行状态进行监控，检查风速、风量等参数，确保系统调节正常，避免通风不良。还需要更换风机的滤网、电动机和其他易损件，确保系统长期稳定运行。

二是要重视照明系统的维护保养,需要定期检查隧道内的灯具,确保没有损坏、积尘或电气故障。更换老化的灯泡,检查电路连接是否稳定。并且检查应急照明系统,确保其在停电或突发事故情况下能够自动启用,为隧道内人员提供安全通道。

三是要重视排水系统的维护保养,要定期检查排水管道的通畅性,防止积水或堵塞。清理杂物,防止管道堵塞导致水流不畅。还需要检查隧道的排水泵站,确保泵的电动机、泵体和控制系统等各个部分正常工作。定期清洗泵体,检查设备的磨损情况,及时更换损坏部件。并且检查隧道内的防水层是否完好,避免水渗漏影响隧道结构。

第四,需要开展消防系统的维护保养,应定期对火灾报警系统进行测试,确保传感器、报警装置和控制系统正常运行,及时监测火灾迹象。需要检查灭火器、灭火喷头、消防水带等设施是否完好,确保能在发生火灾时迅速使用。定期进行压力测试,确保灭火系统在紧急情况下有效。

此外,还需要针对监控与通信系统、安全设施、智能化系统等进行深入检查,以降低设备故障率、延长设备使用寿命,并确保隧道内交通的顺畅和人员的安全。

5.3 需要开展应急演练

在公路隧道的运营管理中,应急演练是确保隧道在发生紧急情况时能够快速、有效应对的关键环节。预防性养护不仅涉及对设备和设施的日常维护,还包括通过定期的应急演练来提升应急响应能力。

演练环节,第一步要根据隧道的实际情况,结合可能的事故类型,编制详细的应急预案。第二步,需要定期对隧道工作人员、应急救援人员进行相关培训,确保大家对设备和应急流程的熟悉。第三步,需要模拟实际事故发生时,触发报警系统,模拟事故发生的即时反应。在此基础上明确各参与者的角色和任务,包括隧道工作人员、消防人员、交通管理人员等。要求相关人员根据预定的应急场景进行快速反应,组织疏散、灭火、抢修等。第四步,需要确保不同部门间的有效沟通与协同作战,尤其是在跨部门合作的紧急情况下。第五步,演练结束后,需要进行总结会议,讨论演练中发现的问题和不足。并且根据演练的反馈和总结,修订和改进应急预案,优化应急流程和设备维护策略^[3]。

综上,预防性养护中的应急演练设计是确保公路隧道在面临各种突发事件时能够迅速有效应对的关键措施。通过定期进行多种应急演练,能够提升隧道工作人员的应急处理能力,优化设备维护策略,并确保隧道的安全性与可靠性。

5.4 合理应用信息化技术

在公路隧道运营管理中,信息化管理技术的应用可以极大提升预防性养护的效率、精度和可追溯性,及时发现问题并采取预防性措施,需要通过以下手段落实。

第一,可以在隧道内安装多种传感器和监控设备,实时采集隧道内的关键数据。这些数据包括但不限于环境监测、设备状态监测以及结构健康监测等。这些数据通过信息系统汇总后,可实时显示隧道的运行状态,为预防性养护提供精准依据。例如,当传感器检测到通风系统的故障或隧道内部气体浓度异常时,系统能立即报警并通知维修人员进行检查与维护^[4]。

第二,可以进行预警与故障诊断,信息化管理系统能通过对设备状态数据的实时监控和历史数据的对比,进行故障预测和早期预警。例如,基于机器学习算法,可以对设备的工作状态进行模式识别,提前发现潜在的故障风险。系统可以基于设定的阈值,自动向管理人员发送预警通知,提示设备可能出现故障,并根据历史数据给出维护建议。

第三,需要进行智能化养护调度,信息化管理系统能够将设备的维修、检查、清洁等预防性养护任务通过调度系统进行智能分配。系统根据设备的运行状况、使用周期和故障记录,自动生成并安排预防性养护计划。这包括定期检查、维修调度以及应急调度。

通过实时监控、智能调度等手段,隧道管理人员可以更精确地预测和发现设备故障,及时进行预防性养护,确保隧道设施的长期稳定运行。

6 结语

综上,预防性养护在公路养护管理中不仅能节省养护资金,同时可以延长设施的使用寿命,提高设施的维修质量和安全性。因此,在公路养护管理中,应当积极推行预防性养护,制定科学的预防性养护计划,加强设施的巡查和检修,提高维修质量和成本效率,以保障公路建设的可持续发展。

参考文献

- [1] 蒋雅君,陶磊,魏晨茜,等. 运营公路隧道预防性养护研究初探 [J]. 现代隧道技术, 2019, 56 (S2): 15-20.
- [2] 陶磊,吴耀宗,邓刚,等. 运营公路隧道预防性养护初步探讨 [J]. 四川建筑, 2024, 44 (04): 108-110.
- [3] 刘峰. 做好高速公路隧道混凝土路面预防性养护工作 [J]. 冶金管理, 2020, (05): 251-252.
- [4] 蒋雅君,陶磊,刘莎,等. 运营公路隧道结构预防性养护经济性评价方法探讨 [J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40 (S2): 332-339.