

科学赋能设计 工程践行理论

ISSN 3080-8065 (print)
ISSN 3080-8073 (online)

推动建筑科学与工程实践的全球对话

建筑科学与工程研究

Architectural Science and Engineering Research

2025年 第1卷 第2期 (双月刊)

CODEN: JKYG5

(国际标准连续出版物标识符·全球唯一标识符)

分配机构: 美国化学文摘社 (CAS)

国图集团 CIBTC

进口备案刊号: G015Z101



QUEST PRESS LIMITED



www.SciOnline.com



QUEST PRESS

扫码阅读

敬畏自然，方能生生不息

Revere nature, to achieve endless life.



地球是共同家园，守护需同心协力

The earth is a common home, protection requires joint efforts.

ISSN 3080-8065 (Print)
ISSN 3080-8073 (Online)

CODEN: JKYGCS

(国际标准连续出版物标识符·全球唯一标识符)
分配机构: 美国化学文摘社 (CAS)

中文名 建筑科学与工程研究

英文名 Architectural Science and
Engineering Research

主办 求索出版社

出版频率 双月刊

出版语言 中文, 英语

出版机构 求索出版社 (QPL Ltd.)

编辑单位 《建筑科学与工程研究》编辑部

地址 澳门巴掌围斜巷19号7楼D

电话 +853 6881 9699

网址 jzkx.scionline2025.com

广告服务 QuestPress@hotmail.com

出版时间 2025年10月



QUEST
PRESS
LIMITED

版权所有

© 求索出版社 (QPL Ltd.)

版权与许可声明

本期刊整体版权归属求索出版社所有。所有发表文章均依据“知识共享署名 4.0 国际许可协议” (CC BY 4.0) 进行授权发布。

许可链接

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

文章版权

单篇文章的著作权由作者与求索出版社共同享有。

使用授权

著作人己同意依据CC BY 4.0协议授予文章使用许可, 使用者可在遵循协议条款 (主要为署名要求) 的前提下进行转载、改编或用于其他用途。

权责声明

1. 本刊所发表文章中的观点、数据和结论仅代表作者个人立场, 不代表本刊及出版机构的意见。
2. 对于因使用文章任何内容 (包括正文及引述材料) 而可能引发的任何直接或间接损失, 本刊及出版机构不承担任何法律责任。
3. 本刊的出版行为不构成对文中提及任何产品、方法或技术的商业性能、有效性或特定用途适用性的任何形式担保或推荐。
4. 本刊内容仅供学术与信息参考, 不替代专业判断。读者在依据文章内容做出任何决策前, 建议咨询相关领域专业人士。

编委会

主编 王涵

副主编 关军 余涛 邓梦思

胡嘉钰 李聪聪 王晖

李宗凡 黄盛浩 章鹏鑫

编委 高佳硕 河北石家庄金迅文化传媒公司

编委会助理 王明远

Journal import

期刊进口

备案刊号: G015Z101



中國國際圖書貿易集團公司
China International Book Trading Corporation



Global Indexing/Retrieval/Archiving

全球索引/检索/存档

Scan QR Code to Search and Read

扫二维码检索阅读

ICI WORLD
of JOURNALS



Index Copernicus (IC, 亦称“哥白尼索引”) 为全球学术期刊数据库, 其ICI期刊总览 (ICI Journals Master List) 的收录标志着期刊对学术质量的恪守, 有助于显著提升期刊的国际可见度与全球研究社群的可获取性。该机构总部位于波兰。

EuroPub
Certificate Board System



EuroPub (欧洲学术出版中心) 是国际公认的学术索引平台, 致力于提升出版物的全球可见度与公信力; 其期刊收录即是对学术质量、国际影响力及研究实践推动作用的认可。机构总部位于英国。

ACADEMIA



Academia.edu 是总部位于美国的全球性学术社交平台, 致力于为研究者提供开放、便捷的论文分享与交流社区, 促进学术成果的快速传播与协作。

中文DOI



中文DOI由中国科学技术信息研究所运营, 主要负责中文期刊、论文等学术资源的数字对象标识符 (DOI) 注册、解析与管理, 旨在提升学术资源的可发现性与引用规范性。

ESJI
Eurasian
Scientific
Journal
Index
www.ESJIndex.org



ESJI (European Science Journal Index, 中文名称: 欧洲科学期刊索引) 是一个国际性的学术期刊遴选与索引平台, 其主要作用是基于出版标准与学术质量对全球期刊进行评估和收录, 以增强其可见度。该平台运营于欧洲。

Open Access Library
Search Engine, Journal, Index, Repository



Open Access Library (OALib) 是一个提供开放获取学术资源检索与共享的国际平台。该平台运营于美国, 其中文名称为“开放存取图书馆”。其主要作用是聚合全球各学科的开放获取论文, 为研究者提供免费的文献发现与下载服务。

SciOnline
ISSN 3080-8022
EISSN 3080-8030



Sci Online (科学在线) 是由求索出版社独立运营的学术期刊数字出版与检索平台。其核心职能在于整合并推广该社旗下及合作的学术期刊资源, 通过提供在线出版、全文检索及开放获取服务, 致力于促进科研成果的有效传播与学术交流。

Baike



Baidu Baike (百度百科) 是全球最大的中文网络百科全书, 由中国百度公司运营管理。该平台基于群体协作模式, 为用户提供涵盖各领域的免费知识内容, 是中文互联网核心的知识基础设施。



China National Knowledge Infrastructure (CNKI, 中文名“中国知网”)，是由中国清华大学下属的同方知网（北京）技术有限公司运营管理的国家级知识基础设施平台，其主要作用是集成整合学术期刊、博硕士论文、会议论文等海量中文知识资源，提供检索、在线阅读与下载服务，是中国权威的中文学术资源门户。



万方数据知识服务平台 (Wanfang Data) 是由中国科学技术信息研究所主导运营的国家级知识服务平台。它整合了海量学术期刊、学位论文等中文科技信息资源，为中国科研与教育提供全面的文献检索与知识服务。



维普数据库 (VIP Database) 是中国重庆维普资讯有限公司运营的综合中文学术期刊服务平台。它收录了海量中文科技期刊全文，为科研、教育及学术活动提供核心的文献检索、阅读与知识发现支持



国家哲学社会科学文献中心
National Center for Philosophy and Social Sciences Documentation

国家哲学社会科学文献中心 (NSSD) 是中国的国家级公益性学术平台，由中国社会科学院主管并负责建设运营。其核心职能是系统整合国内外哲学社会科学学术资源，为公众提供免费、权威、开放的文献检索与全文获取服务，致力于促进学术成果的广泛传播与利用。



CBM (中国生物医学文献服务系统) 由中国医学科学院医学信息研究所/图书馆创立并持续维护运营。其核心作用是收录和索引国内权威的生物医学期刊文献，是中国生物医学领域进行中文文献检索、回溯与查新的基础性、专业性数据库。



CSSCI (中文社会科学引文索引) 由南京大学中国社会科学研究评价中心研发创立和运营管理。它旨在遴选并收录中国大陆出版的高质量中文社会科学期刊，通过引文数据分析，为社会科学研究领域的学术评价、科研管理及期刊评估提供关键数据支持。



CSCD (中国科学引文数据库) 由中国科学院文献情报中心创立并运营管理。它系统地收录了中国出版的核心中英文科技期刊，通过构建引文索引网络，主要为我国自然科学、工程技术领域的成果评价、期刊评估和科研趋势分析提供重要的定量工具。



PKULAW“北大法宝” 数据库由北京大学法律信息中心研制创立和运营维护。它是中国最早、最权威的法律信息平台之一，全面收录法律法规、司法案例、法学期刊等法律资料，为法律实务、教学与科研提供智能检索和深度关联服务。



RCCSE (中文名: 中国科学评价研究中心) 是中国武汉大学下属的权威研究机构。其核心作用是通过构建评价体系，定期发布《中国学术期刊评价研究报告》，对国内学术期刊进行分级认定与质量评估，为科研管理提供重要参考。



“全球OA期刊索引 (OAJ)” 是由中国科学院文献情报中心与中国教育图书进出口有限公司的“开放获取资源评价”联合实验室（中国）创立并运营管理的平台。其核心作用是依据特定评审标准，系统地筛选、收录全球开放获取期刊，并提供统一的检索服务，以促进优质OA资源的发现与使用。



澳门虚拟图书馆 是一个由中国澳门特别行政区的高校或政府文化机构建设运营的地区性数字图书馆与学术资源门户。其核心作用是为本地区及全球用户提供便捷的线上知识服务，整合并提供澳门本地及相关的学术文献、特色馆藏、历史文化资料等数字资源的检索与访问。



OpenSign 是由中国清华大学图书馆创立并运营的公益性学术资源平台，中文名称为“OpenSign 公益性学术资源服务平台”。其核心作用是集成并提供超千万篇开放获取文献和期刊的一站式检索，旨在推动开放科学与资源公平获取。



SciOpen 是由中国清华大学出版社创立并运营的学术出版与知识服务平台，中文名称即“SciOpen”。该平台致力于提供学术期刊的在线出版、开放获取、传播与检索服务，是探索新型出版模式、推动开放科学实践的重要组成。



China Post Reading Network / Zhongyou Reading (中文简称“中邮阅读网”或直接用“中邮阅读”) 是中国邮政集团有限公司面向公众推出的数字阅读与知识服务平台。



Dragon Source Journals (Longyuan Journals Network), 中文名“**龙源期刊网**”，是中国龙源创新数字传媒(北京)股份有限公司运营的数字期刊发行与阅读平台。



超星数据库 (SuperStar Database) 是中国北京超星集团运营的大型数字图书馆平台。其核心作用是整合并提供海量中文图书、期刊等学术资源的数字化访问与“超星发现”知识检索服务，主要为中国高校及研究机构提供学术支持。



百度学术是中国百度公司的免费学术搜索引擎，聚合检索国内外数据库文献元数据，提供发现与引用服务。



长江文库是中国综合性知识服务平台，主要提供学术资源库、AI研究工具、协同创新空间及投稿等一体化数字学术服务。



ISSN (国际标准连续出版物号)是由位于法国巴黎的ISSN国际中心统一分配的八位数字代码。它为全球连续出版物提供唯一标识，是期刊检索、识别与流通的核心工具。代码末位为校验码，版本前缀“P”代表印刷版，“E”或“O”通常代表电子版。



CODEN是由总部位于美国的美国化学文摘社(CAS)管理的一种六字符全球唯一识别码，适用于各学科领域的连续及非连续出版物。



Crossref为全球学术论文分配唯一DOI，保障资源的永久访问、全球检索和稳定引用，总部位于美国。



DOI (中文名: 数字对象标识符)是一种用于永久标识和链接数字对象国际标准系统。它由总部设于美国的国际DOI基金会(IDF)管理，其主要作用是确保网络学术资源的稳定访问和精确引用。



ASCI数据库是一个遵循严格标准评估期刊质量的全球索引平台。期刊收录基于原创性、编审质量、出版规范、伦理合规及学术影响力等综合指标，标志着期刊对学术卓越、诚信规范与国际可见性的承诺。



SPI-Hub (学术出版信息中心)是一个专注于学术出版标准与最佳实践的资源平台。其核心作用是为研究者、编辑和出版机构提供权威的出版指南、工具和培训材料，以提升学术出版的规范性、透明度和伦理水平。该平台由知识管理中心开发并维护，其管理和运营机构为美国范德比尔特大学医学中心。



LivRe是巴西重要的开放获取期刊门户(中文可称“巴西期刊门户”)。它由巴西国家科技发展委员会等机构支持运营，主要致力于集中收录、索引和推广该国高质量的开放获取学术期刊，以提升其科研成果的可见度与影响力。



Research Bible是一个学术资源导航与研究工具平台，总部位于美国。其中文名称常译为“研究宝典”或“研究圣经”。其主要作用是为科研人员(尤其是学生和早期研究者)提供系统性的研究方法指南、软件工具推荐、写作模板与行业动态，旨在提升研究效率与规范性。



DOAJ (开放获取期刊目录)由瑞典隆德大学图书馆于2003年创立，总部现位于英国。它是一个独立的非营利数据库，通过严格遴选全球高质量的同行评议开放获取期刊，致力于提升开放科学资源的可发现性、可信度与使用度，目前由其自身成立的慈善机构运营管理。



J-Gate (学术期刊门户)由印度Informatics India Ltd.公司创立并运营管理。它是一个全球性的电子期刊发现平台，致力于整合数百万篇学术文献元数据，为机构用户提供统一的文献检索与全文访问服务。



WorldCat (世界书目)由美国联机计算机图书馆中心(OCLC)创立并运营管理。它是一个全球性的联合编目数据库，整合了全世界图书馆的馆藏目录，提供统一的文献检索与定位服务，以支持全球资源共享与馆际互借。



WJ-STAGE是日本最重要的官方科技期刊开放获取平台。其中文名称为“日本科学技术信息集成系统”，由日本科学技术振兴机构(JST)创立并运营管理。其核心作用是集中发布和免费提供日本各学会、研究机构出版的科技期刊论文、会议录等学术成果，旨在快速传播日本的前沿科学研究。



CAS (美国化学文摘社) 是美国化学会下属的权威机构，运营《化学文摘》(CA)、CAS登记号及SciFinder等平台，构成全球化学信息服务体系。



Research4Life是由多家国际机构(世卫组织、耶鲁大学等)共同创立的全球项目，通过Hinari等五个资源库为发展中国家提供免费学术资源，由创立机构联合运营。



PubMed / MEDLINE由美国国家医学图书馆创立，是全球权威的生物医学文献数据库，提供免费检索与摘要服务。



IEEE Xplore是美国电气电子工程师协会的数字图书馆，提供该领域的期刊、会议录与标准全文访问。

Web of Science™

Web of Science (WoS)由美国科睿唯安公司运营，是全球历史最久的综合性学术引文索引数据库，提供引文分析与期刊评价。



Scopus Preview

Scopus由荷兰爱思唯尔公司出版，是全球规模最大的同行评议文献摘要与引文数据库，提供广泛的文献覆盖与引文追踪。



Dimensions由澳大利亚Digital Science公司开发，是整合论文、基金、专利等多维科研信息的平台。



SciELO (科学在线图书馆)是最初由巴西创立、现由多国合作的开放获取期刊网络，旨在提升发展中国家研究成果的可见度，由参与国科研机构联合运营。



Google Scholar (谷歌学术)是美国谷歌公司的免费学术搜索引擎，广泛覆盖全球学术文献，由谷歌运营。



乌利希数据库由美国创立、科睿唯安运营，是收录全球连续出版物详情的权威指南，服务于图书馆与学者。



CINAHL是美国EBSCO公司运营的权威护理学数据库，覆盖护理与联合卫生文献，提供期刊论文与循证资源。



Embase

Embase是荷兰爱思唯尔公司的生物医学与药理学数据库，擅长收录欧亚期刊，是PubMed的重要补充。



ResearchGate是德国 ResearchGate GmbH 运营的学术社交网络平台，连接全球科研人员以分享成果与协作。



CABI (国际应用生物科学中心)是英国的非营利性政府间组织，通过 CAB Abstracts 等数据库在全球农业与环境科学领域传播知识。



Portico是全球领先的非营利数字存档机构，总部位于美国，为学术期刊及电子书等数字出版物提供永久保存与长期访问保障，是学术出版生态的关键基础设施。



CLOCKSS是社区共建的分布式黑暗存档网络，总部位于美国，通过全球图书馆节点分散保存学术资源，仅在出版中断等触发事件时开放访问，实现学术内容的永久保存与应急备份。

建筑科学与工程研究

Architectural Science and Engineering Research

2025年10月 第1卷 第2期 (双月刊)

目次

◆ 设计研究

高校绿色建筑结构体系低碳化设计与节能性能优化研究

Research on Low Carbon Design and Energy Efficiency Optimization of Green Building Structural System in Universities

林远平..... (1)

南方高校校园建筑结构生态化设计与环境适应性研究

Research on Ecological Design and Environmental Adaptability of Campus Buildings in Southern Universities

林远平..... (5)

◆ 工程技术研究

园区商业写字楼消防安全管理的现实困境与优化路径探究

Research on the Practical Dilemmas and Optimization Paths of Fire Safety Management in Park Commercial Office Buildings

陈响..... (9)

基于人工智能的混凝土配合比研究及强度预测

Application of Artificial Intelligence in Concrete Mix Proportion Optimization and Strength Prediction

蒋平..... (13)

岩质高边坡防护设计——以广东惠州某市政道路为例

Protective Design of Rock High Slopes: A Case Study of a Municipal Road in Huizhoucity, Guangdong Province

刘聪, 杨立华..... (17)

矿产资源开发的地质环境效应与生态修复模式研究

Research on Geological Environmental Effects and Ecological Restoration Models of Mineral Resource Development

王贵冬..... (25)

建筑防水材料中检测方法的发展与应用	
Development and application of detection methods in building waterproof materials	
姚波涛.....	(30)
煤与矸石图像识别技术在选煤中的应用进展	
Application progress of coal and gangue image recognition technology in coal selection	
刘 抗, 宋聪聪, 赵鹏艳.....	(35)
数字化转型背景下工程项目管理模式创新与实践研究	
Innovation and Practice Research on Engineering Project Management Model under the Background of Digital Transformation	
尚生平.....	(40)
装配式建筑中的BIM技术的运用	
Application of BIM Technology in Prefabricated Buildings	
唐 俊, 蒋世林.....	(44)
工程管理框架下招投标与项目成本管理一体化的实践与创新	
Practice and Innovation in the Integration of Tendering and Project Cost Management under the Engineering Management Framework	
吴晨昊.....	(52)
地下水对矿山边坡稳定性的影响机理研究	
Study on the Mechanism of Groundwater Influence on the Stability of Mine Slopes	
谢永恒, 郭忠正.....	(56)
长输油气管道安全运行的管理要点及措施	
Key Management Points and Measures for the Safe Operation of Long-Distance Oil and Gas Pipelines	
张弘强.....	(60)
浅谈XX项目驻场设计代表及项目管理	
A Brief Discussion on the Resident Design Representative and Project Management of XX Project	
史雷振.....	(64)
机电安装工程施工管理及创新研究	
Construction Management and Innovation Research for Mechanical & Electrical Installation Projects	
卫旭鸿.....	(68)

高校绿色建筑结构体系低碳化设计与节能性能优化研究

林远平

北海康养职业学院, 广西北海, 536000

摘要: 在“双碳”目标推动下, 高校建筑作为能耗密集型场所, 其绿色化转型迫在眉睫。本文聚焦高校绿色建筑结构体系, 探索低碳化设计路径与节能性能优化方法。通过分析高校建筑功能特性, 结合全生命周期理论, 从结构选型、材料应用、施工协同等方面提出低碳设计策略; 同时从围护结构、设备系统、可再生能源集成及智能管控等维度构建节能优化体系。研究旨在为高校建筑实现低碳节能目标提供理论支撑与实践参考, 助力高校践行绿色发展理念, 推动校园建筑可持续发展。

关键词: 高校建筑; 绿色结构体系; 低碳化设计; 节能性能

Research on Low Carbon Design and Energy Efficiency Optimization of Green Building Structural System in Universities

Yuanping Lin

Beihai Vocational College of Wellness, Beihai Guangxi, 536000, China

Abstract: With the promotion of the "dual carbon" goal, the green transformation of university buildings, as energy intensive places, is urgently needed. This article focuses on the structural system of green buildings in universities, exploring low-carbon design paths and energy-saving performance optimization methods. By analyzing the functional characteristics of university buildings and combining them with the theory of the entire life cycle, low-carbon design strategies are proposed from the aspects of structural selection, material application, and construction coordination; Simultaneously building an energy-saving optimization system from dimensions such as enclosure structure, equipment system, renewable energy integration, and intelligent control. The research aims to provide theoretical support and practical reference for achieving low-carbon and energy-saving goals in university buildings, assist universities in practicing the concept of green development, and promote sustainable development of campus buildings.

Keywords: university architecture; Green structural system; Low carbon design; Energy saving performance

1 绪论

随着国家“双碳”战略的深入推进, 建筑行业低碳转型成为重要发展方向。高校建筑作为集教学、科研、生活于一体的综合性建筑群体, 具有人员密集、功能多样、能耗强度大等特点, 其绿色化改造与低碳运营意义重大。当前, 高校建筑在结构体系设计中存在低碳理念不足、节能性

能与功能需求适配性差等问题。本文立足高校建筑功能特性, 围绕绿色结构体系的低碳化设计与节能性能优化展开研究, 通过梳理相关理论、总结实践策略, 旨在构建适配高校场景的低碳节能技术体系, 为高校绿色校园建设提供切实可行的解决方案, 推动高校建筑实现可持续发展。

2 绿色建筑结构体系与低碳设计理论基础



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



2.1 高校建筑结构体系的功能需求

高校建筑结构体系需满足多元化功能需求，教学区要求空间具有灵活性，以适应不同规模课程教学与小组研讨，如可拆分的教室布局需结构框架具备可拆卸调整的特性；科研区因大型实验设备放置，对结构承重能力要求严苛，部分实验室需额外加固处理以满足荷载需求；生活区则注重居住舒适性，结构设计需兼顾隔音、隔热性能，降低外界环境干扰。同时，高校建筑需适应人流潮汐式变化，在上课高峰与课余时段均能保障结构安全与使用便捷，且需为未来功能拓展预留改造空间，体现结构体系的适应性与前瞻性^[1]。

2.2 低碳化设计的理论支撑

低碳化设计以全生命周期评价理论为核心，涵盖建筑材料生产、施工建造、运营维护及拆除回收全阶段，通过量化各环节碳排放实现总量控制。循环经济理论为其提供重要支撑，强调建筑材料的循环利用与资源高效配置，减少废弃物产生。被动式设计理论注重利用自然条件降低能耗，如通过合理的结构布局实现自然通风采光，减少主动式设备使用。此外，生态设计理论要求结构体系与周边环境协同，在满足功能需求的同时，降低对生态系统的干扰，形成“结构-环境-能耗”良性互动的低碳发展模式。

2.3 节能性能优化的技术基础

节能性能优化依托建筑能耗模拟技术，如借助 EnergyPlus、DeST 等软件可精准预测建筑能耗状况，为优化设计提供数据支撑。可再生能源集成技术是节能优化的重要手段，太阳能光伏、地源热泵等技术的应用可降低对传统能源的依赖。智能传感与控制技术为节能管控提供保障，通过实时监测建筑内温度、光照、人员密度等参数，实现设备动态调节。同时，绿色建筑评价标准为节能性能优化提供量化指标，从节能率、可再生能源利用率等方面规范优化方向，确保节能措施科学有效。

3 高校绿色建筑结构体系低碳化设计策略

3.1 结构形式的低碳选型

装配式混凝土结构通过工厂预制构件、现场装配施工，大幅减少现场浇筑作业，降低施工阶段粉尘与噪音污染，同时缩短工期，减少临时设施能耗。其预制构件在生产过程中可实现材料精准配比，减少浪费，且标准化生产模式便于质量管控，能有效避免传统施工中因工艺差异导致的材料损耗。钢结构体系具有强度高、自重轻的特点，材料回收率可达 90% 以上，适合高校大跨度建筑，如体育馆、图书馆等。钢材的力学性能使其在相同跨度下材料用量更少，且抗震性能优异，能降低建筑在自然灾害中的损坏风险，间接减少重建带来的碳排放。模块化结构以单元模块工厂完成为主，现场仅需拼接组装，其模块化设计可实现多专业协同作业，在工厂内完成管线预埋、装饰装修等工序，减少现场交叉作业带来的效率损耗，同时模块单元的标准化设计便于批量生产，降低制造成本，且可根据需求灵活组合，满足高校不同功能空间的动态调整需求。

3.2 低碳建筑材料的应用

再生骨料混凝土将建筑垃圾经处理后作为骨料替代天然砂石，减少水泥用量，降低天然资源消耗的同时减少垃圾填埋量。再生骨料的使用能有效缓解建筑废弃物围城问题，且经过合理级配设计，其力学性能可满足大部分结构构件的使用要求，在降低碳排放的同时保证结构安全。低碳钢材通过改进冶炼工艺降低碳排放，其生产过程中采用富氧燃烧、余热回收等技术，减少能源消耗和温室气体排放，且力学性能满足大跨度结构要求。相比传统钢材，低碳钢材在强度、韧性等方面更具优势，能在减轻结构自重的同时提升结构稳定性。生物质建材如秸秆板材、竹木结构具有可再生性，其原料来源于农作物秸秆、竹子等可再生资源，在生长过程中可吸收二氧化碳，全生命周期内碳排放远低于传统建材。这类材料还具有良好的保温隔热性能，能降低建筑运营阶段的能耗，契合高校绿色教育理念，成为校园生态文化的鲜活载体^[2]。

3.3 结构设计与低碳施工的协同

轻量化设计通过优化结构截面、采用高强材

料减少材料用量，降低运输过程中的能耗与碳排放。在设计过程中，借助 BIM 技术进行结构受力模拟分析，可精准确定构件尺寸，避免材料冗余，同时高强材料的应用能在保证结构承载力的前提下缩小构件截面，增加建筑使用空间。施工过程中，采用电动起重机、新能源搅拌车等清洁能源设备，结合封闭施工围挡与雾炮降尘系统，能显著减少施工对周边环境的影响。清洁能源设备可降低施工阶段的碳排放，而封闭围挡与降尘系统则能减少扬尘扩散，保护校园空气质量。同时，结构设计预留光伏板支架安装节点、地源热泵管道井等，避免后期改造对结构的破坏，减少二次施工带来的资源浪费和碳排放。这种前瞻性设计能实现结构与节能设备的有机融合，提升建筑整体低碳性能。

3.4 基于全生命周期的结构耐久性设计

延长结构使用寿命可减少拆除重建带来的碳排放，通过优化混凝土保护层厚度、采用防腐钢材等措施，能有效提升结构的抗腐蚀能力和耐久性，延缓结构老化速度。合理的保护层厚度可防止钢筋锈蚀，而防腐钢材则能在潮湿、多雾等复杂环境中保持性能稳定，从而延长建筑的使用年限，降低全生命周期的碳排放总量。可维护性设计体现在结构节点的易检修性上，如外墙保温层采用干挂式安装，便于后期更换维护；管道井预留足够操作空间，方便节能设备升级。这种设计理念能减少维护过程中的材料消耗和施工能耗，同时便于根据技术发展及时更新节能设备，保证建筑长期处于高效节能状态，降低维护阶段的碳排放。

4 高校绿色建筑节能性能优化方法

4.1 建筑围护结构节能优化

外墙保温设计结合高校建筑立面多样性，采用复合保温体系，某高校教学楼在外墙结构层外侧粘贴挤塑板，外覆装饰面板，既满足保温要求（传热系数降低 40%），又保持建筑外观统一性。在具体施工时，要先清理墙面基层，保证平整干净，再涂抹专用粘结剂，将保温板整齐粘贴，板

缝之间用保温条填充，避免出现冷热桥。对于教学楼的转角、门窗洞口等特殊部位，需做加强处理，增加保温层厚度或采用防火保温材料，确保节能效果的同时保障安全。屋面节能改造中，图书馆采用种植屋面，通过植被层与土壤层隔热保温，夏季室内温度降低 3-5℃，空调负荷减少 25%；体育馆则选用反射隔热涂料，提高屋面太阳辐射反射率，降低屋面温度。种植屋面施工前要做好防水，铺设耐根穿刺卷材，防止植物根系破坏屋面；反射隔热涂料施工时要保证均匀涂抹，厚度达到 1.5-2mm，避免出现漏涂、起皮现象，还可定期检查补涂，维持隔热效果。门窗用 Low-E 玻璃与断桥铝型材，宿舍气密性提升 60%。安装时缝隙填充发泡胶及密封胶，定期检查五金件与胶条，老旧门窗可换玻璃或加密封^[3]

4.2 建筑设备系统节能优化

空调系统采用变频技术与热回收装置，教学楼根据不同时段人员密度调节空调负荷，工作日上午上课期间满负荷运行，夜间及节假日降至低能耗模式，配合新风热回收器，节能率达 30%。在空调系统运行过程中，要定期清洗滤网和换热器，保证换热效率，每季度检查变频装置运行状态，及时排除故障。对于实验室等对温湿度有特殊要求的区域，可设置独立的空调系统，精准控制参数，避免能源浪费。照明系统在教室、走廊等区域安装 LED 灯具，结合人体感应与光感控制，实现人来灯亮、人走灯灭，实验室根据设备运行需求设置独立照明回路，某高校照明系统改造后年耗电量减少 40%。LED 灯具安装时要合理布置，保证照明均匀，避免出现眩光；定期检查智能开关灵敏度，及时更换损坏的感应器，每学期对灯具进行清洁，维持亮度。可在教学楼楼梯间采用声控开关辅助，进一步减少无人时段的能耗。给排水系统推广节水型水龙头与马桶，宿舍区建设中水回收系统，将洗漱废水处理用于绿化灌溉与冲厕，年节约自来水用量约 20 万吨，降低水资源处理能耗^[4]。

4.3 可再生能源与建筑一体化设计

太阳能光伏系统在教学楼屋顶与停车场顶棚

大规模安装,采用并网发电模式,某高校光伏系统总装机容量达500kW,年发电量约60万度,满足校园15%的用电需求,结合储能电池应对用电高峰,提高能源利用稳定性。安装光伏板前要对屋顶承重进行评估,确保安全;定期清理光伏板表面的灰尘和杂物,提高发电效率,每年检查支架和线路连接,防止松动或老化。可在光伏板下方设置停车位或休闲区,实现空间的多重利用。地源热泵系统利用校园绿地与操场地下空间布置换热井,冬季提取土壤热量供暖,夏季将室内热量转移至地下,某高校宿舍楼采用地源热泵后,供暖制冷能耗降低50%,且运行过程无污染物排放。换热井施工时要避开地下管线和文物古迹,保证井深和间距符合设计要求;系统运行中定期监测进出水温度和压力,每两年清洗一次管道,防止结垢影响换热效果。对于规模较大的校园,可分区域建设地源热泵系统,便于管理和维护。校园开阔区域如体育场周边安装小型风力发电机,利用自然风能补充供电,与太阳能形成互补,提升可再生能源综合利用率。可结合校园景观设计,将风力发电机与路灯结合,既实用又美观,增强师生对可再生能源的认知。

4.4 智能节能管控系统构建

能耗监测平台通过部署智能电表、水表、热表,实时采集教学楼、宿舍、实验室等区域的能耗数据,生成能耗分析报表,清晰呈现高耗能时段与区域,为节能管理提供数据依据。智能仪表安装要规范,确保数据采集准确,定期进行校准;平台软件要及时更新,保证数据传输稳定,管理人员可设置不同权限,便于各院系查看本区域能耗数据。可将能耗数据与校园一卡通系统关联,对超额用电的宿舍进行提醒。自适应调节策略基于监测数据实现设备智能运行,教室空调根据室内温度与人员数量自动调节风速与温度,图书馆

照明随自然光强度调整亮度,某高校智能管控系统投用后,设备运行能耗降低25%。传感器安装位置要合理,避免被遮挡或受干扰,定期校准精度;系统算法要根据季节变化和使用习惯进行优化,如冬季教室空调启动温度可适当调低,夏季适当调高。可在实验室设置手动优先模式,满足特殊实验对环境的要求。通过手机APP向师生推送能耗信息,培养节能意识,形成全员参与的节能氛围。结合能耗数据表彰节能先进集体和个人,让节能理念深入校园每个角落,推动形成绿色低碳的校园文化。

5 结论与展望

本文针对高校绿色建筑结构体系,提出了低碳化设计与节能性能优化的系统方案。研究表明,通过选择装配式、钢结构等低碳结构形式,应用再生骨料、生物质等低碳材料,协同施工环节管控,可有效降低结构全生命周期碳排放;同时,优化围护结构、设备系统,集成可再生能源与智能管控技术,能显著提升建筑节能性能。未来研究可拓展不同气候区高校建筑的适配性设计,探索低碳节能技术与数字孪生、BIM等技术的融合应用,建立更精准的高校建筑低碳节能评价体系,推动高校建筑绿色化水平持续提升。

参考文献

- [1] 顾士元.高校建筑暖通空调节能设计要求及具体技术研究[J].宿舍.2024(23):79-82.
- [2] 张曦元,赵宝玺.低碳建筑发展理念下高校宿舍建筑用能行为优化分析[J].建筑与文化.2023(12):19-21.
- [3] 王孝齐.高校既有建筑节能改造主体行为研究[J].上海节能.2024(02):331-341.
- [4] 韩丽,宋飞.高校公共建筑减碳及碳中和措施的研究[J].建筑经济.2023,44(S2):359-363.



南方高校校园建筑结构生态化设计与环境适应性研究

林远平

北海康养职业学院，广西北海，536000

摘要：南方高校校园建筑结构的生态化设计与环境适应性研究，聚焦湿热气候、多雨、台风等地域特征对高校建筑的特殊影响，旨在探索兼顾功能需求与生态效益的设计路径。研究采用文献梳理、案例分析等定性方法，从气候适应角度出发，提炼“气候优先”“自然协同”“功能弹性”的核心理念，构建包含形态布局、材料构造、空间整合及雨洪管理的策略体系。通过优化建筑通风、防潮、抗风等性能，推动建筑结构与南方自然环境、地域文化的深度融合，为绿色校园建设提供实践参考，助力实现低能耗、高舒适度、可持续的校园空间营造，对南方高校的生态化发展具有重要现实意义。

关键词：南方高校；建筑结构；生态化设计；环境适应性

Research on Ecological Design and Environmental Adaptability of Campus Buildings in Southern Universities

Yuanping Lin

Beihai Vocational College of Wellness, Beihai Guangxi, 536000, China

Abstract: Ecological design and environmental adaptability research of campus building structures in southern universities, focusing on the special impact of regional characteristics such as humid and hot climate, rainy weather, and typhoons on university buildings, aiming to explore a design path that balances functional requirements and ecological benefits. The research adopts qualitative methods such as literature review and case analysis, starting from the perspective of climate adaptation, to extract the core concepts of "climate priority", "natural synergy", and "functional elasticity", and construct a strategic system that includes form layout, material construction, spatial integration, and rainwater management. By optimizing the ventilation, moisture resistance, wind resistance and other performance of buildings, promoting the deep integration of building structures with the natural environment and regional culture of the south, providing practical reference for green campus construction, and helping to achieve low-energy, high comfort, and sustainable campus space creation, it has important practical significance for the ecological development of southern universities.

Keywords: Southern universities; Building structure; Ecological design; environmental adaptability

1 绪论

南方地区以高温高湿、多雨及台风频发为显著气候特征，这类环境对高校校园建筑结构提出

了远超普通建筑的特殊要求。高校作为师生聚集的育人场所，建筑不仅需满足教学、科研、生活等多元功能，还需具备良好的环境适应性以保障使用舒适度与安全性。生态化设计作为应对上述



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



湿地等自然景观有机融合，实现建筑与生态环境的共生共荣，而非生硬割裂，如桂林某高校将图书馆嵌入原有竹林景观，建筑与竹林形成相互依存的微生态系统^[1]。

“功能弹性”理念则关注高校教学模式、科研需求的动态变化，建筑结构需具备一定的灵活性与可变性，如采用可拆卸隔墙、模块化构件等，以适应不同场景下的功能转换，平衡生态目标与功能实用性，某师范大学通过模块化教室设计，使同一空间可在30分钟内从合班课模式转换为研讨模式。

3.2 基本原则

通风优先原则要求建筑结构设计以强化自然通风为核心目标，通过优化建筑形态、布局及开口位置，引导自然风在校园与建筑内部顺畅流动，例如合理设置建筑间距与朝向形成主导风道，配合高低错落的体量设计增强空气对流，从而减少空调系统使用频率，降低运行能耗。

防潮防晒原则需从材料选择与构造细节两方面入手，材料上优先选用透气、防潮、隔热性能优异的建材，构造上通过增设防潮层、优化屋顶坡度、设计遮阳构件等，全面应对高湿与强日照带来的不利影响。

生态低耗原则倡导优先采用竹木、本地石材、再生骨料等生态建材，减少材料运输过程中的能耗与碳排放，同时在结构设计中注重轻量化与可循环性，降低全生命周期的环境干预。

地域表达原则强调在建筑结构中融入骑楼、廊院、天井等南方传统建筑元素，既通过这些元素的生态智慧提升环境适应性，又彰显地域文化特色，增强校园空间的认同感，泉州某高校新校区引入闽南骑楼风格连廊，既解决了多雨天气通行问题，又强化了地域文化记忆。

4 南方高校建筑结构生态化设计的关键策略

4.1 形态与布局：强化自然通风与遮阳

行列式错位布局在南方高校教学楼、宿舍区的设计中应用广泛，其通过将建筑沿主导风向呈

行列式排列，并在相邻建筑间设置一定错位，形成纵向“风道”，配合建筑朝向与开窗设计，可有效引导穿堂风流经室内，加速空气交换，显著缓解高温高湿环境下的闷热感。这种布局在广州、南宁等华南城市的高校中尤为常见，如某高校宿舍区通过3-5米的错位间距，使夏季室内通风效率提升40%以上。挑檐与遮阳板的设计需精准结合南方地区太阳高度角变化规律，夏季可遮挡正午直射阳光，减少太阳辐射进入室内，冬季则因太阳高度角降低，不影响室内采光，对于不同季节太阳角度差异较大的地区，可拆卸式遮阳构件能灵活调整，进一步提升适应性。架空层与连廊系统是岭南地区高校的典型设计手法，建筑底层架空不仅能避免地面潮气直接侵入室内，还能形成通透的气流通道，连廊将各栋建筑连接成整体，形成覆盖校园的通风网络，师生在通行过程中也能享受自然风，既提升了整体通风效率，又增强了校园空间的舒适度，如厦门大学部分建筑群通过该设计，使夏季校园整体通风覆盖率达85%。

4.2 材料与构造：适配湿热环境

本地生态材料的应用是南方高校建筑结构生态化设计的重要环节，南方盛产的竹木材料具有天然的透气性与调节湿度功能，将其用于墙体填充、屋顶覆盖或装饰构件，可在潮湿季节吸收室内水汽，干燥季节释放水分，有效调节室内湿度平衡；陶土砖则具有较低的导热系数和良好的隔热性能，用其砌筑外墙能减少室外高温向室内传递，降低空调负荷。在福建某高校的教学楼改造中，采用本地楠竹制成的格栅墙面，使室内湿度波动幅度缩小至±5%。防潮构造设计需注重细节处理，墙体底部设置高度不低于30厘米的混凝土防潮层，阻断地下潮气沿墙体上升；屋顶采用较大的排水坡向（通常不小于25%），并优化排水沟、落水管的布置与尺寸，确保雨水快速排离屋面，避免积水渗漏。轻质高强材料如铝合金型材、纤维增强复合材料等，在建筑屋面、幕墙等部位的应用，可显著减轻建筑自重，降低结构基础的承重压力，同时其优异的抗风性能与耐久性，能有效应对南方台风天气的影响，适合在沿海高校

等多风地区推广使用,如深圳某高校体育馆采用铝合金屋面系统,成功抵御多次强台风袭击^[2]。

4.3 功能与生态空间整合

庭院式结构通过在建筑内部设置天井、内院等开敞空间,形成独立的“微气候调节区”,结合区内水景、乔木、灌木等元素,利用水体蒸发吸热与植物蒸腾作用,可使局部温度降低3-5℃,为周边教室、办公室提供凉爽舒适的环境,同时庭院空间也成为师生交流、休憩的生态场所。湖南某高校图书馆通过内院设计,使夏季周边阅览室温度比普通区域低4℃,空调使用时间减少2小时/天。屋顶与垂直绿化的实现需依托轻型屋顶结构,选用佛甲草、垂盆草等耐旱、耐贫瘠的景天科植物覆盖屋面,其根系浅、重量轻,不会对屋顶结构造成额外负担,且能有效阻隔太阳辐射,降低屋面温度,减少热量向室内传递;建筑墙体设计爬藤植物附着构件如金属网格、木质花架等,引导爬山虎、炮仗花等藤本植物自然生长,形成绿色幕墙,既遮挡阳光直射,又能吸附灰尘、净化空气。针对南方多雨特点,实验室室外实验区需设计全覆盖的遮雨棚,棚顶采用透光率高的聚碳酸酯板,兼顾防雨与自然采光需求,同时地面设置坡度不小于5%的排水明沟,与校园雨水管网连通,确保实验设备、样品及操作过程不受雨水影响,如华南理工大学某实验室通过该设计,全年实验受雨水干扰率降至零^[3]。

4.4 雨洪管理与水资源循环的结构整合

屋顶集排水结构设计需形成完整系统,在坡屋顶檐口设置带滤网的排水沟,有效拦截落叶、泥沙等杂物,避免管道堵塞;雨水经专用管道输送至利用建筑基础筏板下方空间设置的地下储水模块,该模块采用高强度聚乙烯材质,容量根据建筑屋面面积与当地降雨量设计,既节省地面空间,又便于利用重力实现自流供水^[4]。广东某高校行政楼通过该系统,年收集雨水达5000立方米,满足校园15%的绿化用水需求。建筑周边地面采用透水铺装与缓坡绿地相结合的复合结构,铺装材料选用透水砖、透水混凝土等,其孔隙率不低于15%,允许雨水快速下渗;缓坡绿地坡度控制

在5%-10%,结合台阶式花坛、植草沟等设施,引导地表径流缓慢渗透,补充地下水的同时,减少汇流速度与流量,降低校园内涝风险。宿舍、食堂等生活污水集中区域,在建筑周边设计小型埋地式水处理池,其围护结构采用防渗混凝土浇筑,确保水质安全;处理后的中水通过布置在连廊底部空间的PE管道输送至校园绿化灌溉系统、卫生间冲厕设备等,实现水资源的循环利用,据估算,该系统可使南方高校雨水与中水利用率提升至30%以上,显著节约自来水消耗,如广西某高校宿舍区通过该系统,年节水费用达12万元。

5 结论与展望

南方高校建筑结构的生态化设计需以适应湿热、多雨、台风等地域气候特征为核心,通过形态布局优化强化自然通风与遮阳,选用本地生态材料提升防潮抗风性能,整合功能与生态空间调节微气候,构建雨洪管理与水资源循环系统,实现环境适应性与生态效益的有机统一。研究表明,结合地域特征的被动式设计策略,能在减少能源消耗的同时显著提升校园舒适度,传统建筑元素的现代转化为设计提供了兼具文化与生态价值的路径。未来,需进一步探索生态化设计与校园文化、学科特色的深度融合,开发更多低成本、易推广的改造技术,建立适合南方高校的生态化设计评价体系,为绿色校园建设提供更具操作性的实践方案,助力实现校园可持续发展的长远目标。

参考文献

- [1] 何尚杰,尹东衡.衡阳地区高校建筑夏季室内风环境研究[J].价值工程.城市建筑.2024,21(12):155-157+178.
- [2] 杜庆学,刘洋.“双碳”背景下中德生态园零碳校园建设探索与实践[J].建设科技.2023(22):35-37.
- [3] 仇齐,齐周剑,孙鹏程.青岛市某小学绿色低碳健康全过程建设管理案例[J].建筑技术开发.2021,48(13):44-47.
- [4] 陈岩.某高校校园建筑节能改造有效方法探讨[J].建筑节能.2020,48(02):118-120+155.

园区商业写字楼消防安全管理的现实困境与优化路径探究

陈 响

天津新金融投资有限责任公司，天津，300000

摘要：随着城市化进程的加速和商业经济的蓬勃发展，园区商业写字楼作为企业集聚、商务活动频繁的核心载体，其消防安全管理工作的重要性愈发凸显。园区商业写字楼业态多元、人员密集、设施复杂，给消防安全管理带来了诸多挑战。本文结合园区管理实践经验，深入剖析当前商业写字楼消防安全管理存在的责任体系不健全、设施维护不到位、人员安全意识薄弱、应急处置能力不足等现实困境，并从强化责任落实、完善设施运维、加强宣传培训、优化应急体系等方面提出针对性的优化路径，旨在提升园区商业写字楼消防安全管理水平，保障人民群众生命财产安全，为园区高质量发展筑牢安全防线。

关键词：园区管理；商业写字楼；消防安全管理；困境；优化路径

Research on the Practical Dilemmas and Optimization Paths of Fire Safety Management in Park Commercial Office Buildings

Xiang Chen

Tianjin New Finance Investment Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization and the vigorous development of commercial economy, park commercial office buildings, as core carriers for enterprise agglomeration and frequent business activities, have increasingly prominent importance in fire safety management. These buildings feature diverse business formats, dense personnel, and complex facilities, posing numerous challenges to fire safety management. Based on practical experience in park management, this paper deeply analyzes the current practical dilemmas in fire safety management of commercial office buildings, such as imperfect responsibility system, inadequate facility maintenance, weak personnel safety awareness, and insufficient emergency response capacity. Corresponding optimization paths are proposed from the aspects of strengthening responsibility implementation, improving facility operation and maintenance, enhancing publicity and training, and optimizing the emergency system. The purpose is to improve the level of fire safety management in park commercial office buildings, ensure the safety of people's lives and property, and build a solid safety defense line for the high-quality development of the park.

Keywords: Park Management; Commercial Office Building; Fire Safety Management; Dilemma; Optimization Path

1 引言

商业写字楼作为园区经济发展的重要组成部分，凭借其集中的商务资源、便捷的配套设施，吸引了大量企业入驻，成为城市经济活力的重要

象征。然而，商业写字楼普遍具有建筑高度高、建筑面积大、内部结构复杂、人员流动量大、电气设备和易燃易爆物品多等特点^[1]，一旦发生火灾，极易造成重大人员伤亡和财产损失，不仅会影响园区正常的运营秩序，还会对社会稳定产生



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



不良影响^[2]。

作为园区管理从业者，在长期的商业写字楼运营管理过程中深刻认识到，消防安全管理是园区管理工作的重中之重，也是一项系统性、复杂性的工程。当前，受管理机制、人员素质、设施状况等多种因素影响，园区商业写字楼消防安全管理仍存在诸多薄弱环节，火灾隐患排查整治难度较大^[3]。因此，深入探究园区商业写字楼消防安全管理的现实困境，提出科学有效的优化路径，对于提升园区消防安全管理效能，防范和遏制火灾事故发生具有重要的现实意义。

2 园区商业写字楼消防安全管理的现实困境

2.1 消防安全责任体系不健全，落实层层递减

当前，部分园区商业写字楼存在消防安全责任划分不清晰、责任落实不到位的问题^[4]。一方面，园区管理方、写字楼产权方、承租方之间的消防安全责任界定模糊，存在“权责交叉”或“权责真空”的现象。例如，部分产权方将写字楼出租后，对消防安全设施的维护、更新责任推诿扯皮，而承租方只关注自身办公区域的使用，忽视公共区域的消防安全管理；园区管理方在统筹协调各方责任时，缺乏有效的约束机制，导致责任落实流于形式。另一方面，消防安全责任未能逐层分解到具体岗位和个人，部分写字楼内部未建立完善的消防安全责任制，没有明确各部门、各岗位的消防安全职责，也未制定相应的考核奖惩机制，导致员工参与消防安全管理的积极性不高，出现“重经营、轻安全”的倾向。

2.2 消防安全设施维护不到位，隐患排查不彻底

消防安全设施是防范火灾事故的重要保障，但其维护管理工作往往被忽视。一是部分园区商业写字楼的消防安全设施老化、损坏问题突出。例如，自动喷水灭火系统、火灾自动报警系统等核心设施因使用年限较长、维护不及时，出现探

测器失灵、管道堵塞、阀门损坏等情况，无法在火灾发生时正常发挥作用；应急照明、疏散指示标志损坏、缺失现象较为普遍，影响火灾现场人员的安全疏散。二是消防安全设施维护管理机制不健全。部分园区管理方未制定完善的消防安全设施定期检查、维护、检测制度，或虽有制度但未严格执行，对设施存在的隐患未能及时发现和整改；部分维护单位资质不足、技术水平有限，维护工作流于表面，无法保障设施的完好有效。三是隐患排查整治不彻底。在日常火灾隐患排查过程中，存在“重表面、轻深层”的问题，对办公区域私拉乱接电线、违规使用大功率电器、堵塞疏散通道等显性隐患排查较多，但对建筑消防设施联动功能、电气线路老化、消防控制室值班制度落实等隐性隐患排查不足，导致部分火灾隐患长期存在，难以根治。

2.3 人员消防安全意识薄弱，培训教育流于形式

人员是消防安全管理的核心要素，其消防安全意识和自救互救能力直接关系到火灾事故的防范和处置效果^[5]。当前，园区商业写字楼内人员的消防安全意识普遍较为薄弱。一方面，入驻企业员工对消防安全知识了解甚少，缺乏基本的火灾预防、初期火灾扑救以及疏散逃生技能，部分员工存在侥幸心理，认为火灾事故离自己很远，对园区组织的消防安全培训、演练不重视、不参与。另一方面，园区管理方组织的消防安全培训教育工作流于形式。一是培训内容缺乏针对性，多以理论知识讲解为主，结合写字楼实际场景的实操培训较少，导致员工无法将所学知识运用到实际中；二是培训方式单一，多采用集中授课的形式，缺乏互动性和趣味性，难以调动员工的学习积极性；三是培训频率不足，部分园区每年仅组织1-2次消防安全培训，无法满足员工持续提升消防安全技能的需求；四是消防演练实效性不强，演练方案固定化、流程化，员工参与度不高，难以达到检验应急体系、提升处置能力的目的。

作者简介：

陈响（1987.11~）男，大学本科，中级工程师，一级注册消防工程师、注册安全工程师，研究方向：商业商务楼宇建筑消防安全。

2.4 应急处置体系不完善, 响应能力不足

完善的应急处置体系是快速应对火灾事故、减少人员伤亡和财产损失的关键。当前, 园区商业写字楼应急处置体系存在诸多不足。一是应急预案不完善。部分园区商业写字楼的应急预案内容笼统、不具体, 缺乏针对性和可操作性, 未结合写字楼的建筑结构、人员分布、业态特点等实际情况制定详细的应急处置流程, 对火灾报警、初期火灾扑救、人员疏散、医疗救护等环节的责任划分不清晰。二是应急救援队伍建设滞后。园区管理方组建的义务消防队多为兼职人员, 缺乏专业的消防培训和实战演练, 应急处置能力有限; 同时, 应急救援队伍与专业消防部门之间的联动机制不健全, 缺乏常态化的协同训练, 导致火灾发生时无法形成合力。三是应急物资储备不足。部分写字楼的应急物资储备数量不足、种类单一, 且未定期检查和更新, 部分应急物资已过有效期, 无法在应急处置中发挥作用; 此外, 应急物资的存放位置不明确、标识不清晰, 导致火灾发生时难以快速取用。

3 园区商业写字楼消防安全管理的优化路径

3.1 健全责任体系, 强化责任落实

首先, 明确各方消防安全责任。园区管理方应牵头制定《园区商业写字楼消防安全管理办法》, 清晰界定园区管理方、产权方、承租方的消防安全责任, 明确园区管理方负责公共区域消防安全管理、设施维护、隐患排查等工作, 产权方负责建筑主体消防设施的更新改造, 承租方负责本单位办公区域的消防安全管理, 签订消防安全责任书, 将责任落到实处。其次, 建立层层递进的责任传导机制。园区管理方、写字楼运营管理团队、入驻企业应分别建立消防安全责任制, 将消防安全责任分解到具体岗位和个人, 明确各岗位的消防安全职责和工作要求; 同时, 建立健全考核奖惩机制, 将消防安全工作纳入年度考核内容, 对责任落实到位、消防安全工作成效显著的单位和个人给予表彰奖励, 对责任不落实、存在重大火灾隐患的给予处罚, 形成“人人有责、人人尽责”

的消防安全管理格局。最后, 强化监督检查。园区管理方应成立专门的消防安全监督检查小组, 定期对商业写字楼的消防安全责任落实情况进行监督检查, 对发现的问题及时督促整改, 确保各项责任措施落到实处。

3.2 完善设施运维, 深化隐患排查

一是加强消防安全设施的维护管理。园区管理方应制定完善的消防安全设施定期检查、维护、检测制度, 明确检查周期、检查内容、责任人员, 对自动喷水灭火系统、火灾自动报警系统、应急照明、疏散指示标志等核心设施进行定期检查维护, 每年至少组织一次全面的检测, 确保设施完好有效; 同时, 选择资质齐全、技术水平高的专业维护单位负责设施的维护工作, 建立维护档案, 详细记录设施的维护情况。二是加大消防安全设施的更新改造投入。对于老化、损坏、无法正常使用的消防安全设施, 园区管理方应牵头协调产权方、承租方, 及时制定更新改造方案, 足额保障资金投入, 确保设施及时更新换代; 同时, 结合智慧园区建设, 引入智能化消防设施, 如智慧消防监控系统、智能疏散系统等, 提升消防安全设施的智能化水平, 实现对火灾隐患的实时监测和预警。三是深化火灾隐患排查整治。建立“日常排查、专项检查、重点督查”相结合的隐患排查机制, 园区管理方每日对公共区域进行日常排查, 每月组织一次专项检查, 每季度组织一次重点督查; 入驻企业每周对本单位办公区域进行自查自纠。对排查发现的火灾隐患, 建立隐患台账, 明确整改责任人、整改措施和整改期限, 实行“销号管理”; 对重大火灾隐患, 及时上报相关部门, 并督促责任单位限期整改, 确保隐患排查整治到位。

3.3 加强宣传培训, 提升安全素养

一是丰富宣传培训内容。结合园区商业写字楼的业态特点和火灾风险点, 制定针对性的宣传培训内容, 不仅要讲解消防安全法律法规、火灾预防知识, 还要重点讲解初期火灾扑救方法、疏散逃生技巧、消防设施使用方法等实操性知识; 同时, 收集国内外商业写字楼火灾案例, 通过案

例分析的方式,让员工深刻认识火灾的危害性,增强消防安全意识。二是创新宣传培训方式。改变传统的集中授课模式,采用“线上+线下”相结合的方式开展宣传培训。线上通过园区公众号、企业微信群等平台,推送消防安全知识、火灾案例、应急处置视频等内容,方便员工随时学习;线下组织开展消防安全知识讲座、实操演练、消防知识竞赛、消防体验等活动,邀请专业消防人员现场授课、指导实操,增强培训的互动性和趣味性。三是加大宣传培训频率。园区管理方应制定年度消防安全宣传培训计划,明确培训频率和培训对象,确保入驻企业员工每年至少参加2次集中培训;同时,针对新入驻企业员工、新入职员工开展岗前消防安全培训,确保其掌握基本的消防安全知识和技能后再上岗。四是提升消防演练实效性。结合商业写字楼的实际情况,制定科学合理的消防演练方案,明确演练目的、演练流程、责任分工;演练内容应涵盖火灾报警、初期火灾扑救、人员疏散、应急救援等多个环节;演练结束后,及时组织总结评估,分析演练过程中存在的问题,优化完善应急预案和应急处置流程,提升应急处置能力。

3.4 优化应急体系,增强响应能力

一是完善应急预案。园区管理方应结合商业写字楼的建筑结构、人员分布、业态特点等实际情况,修订完善消防安全应急预案,明确火灾报警程序、初期火灾扑救措施、人员疏散路线和疏散方法、应急救援队伍职责等内容,增强应急预案的针对性和可操作性;同时,将应急预案发放到园区管理方、入驻企业各部门和员工手中,确保员工熟悉应急预案内容。二是加强应急救援队伍建设。园区管理方应组建专业的义务消防队,选拔身体素质好、责任心强的员工参与,定期组织义务消防队开展专业的消防培训和实战演练,邀请专业消防人员进行指导,提升义务消防队的应急处置能力;同时,建立义务消防队与专业消防部门之间的联动机制,定期开展协同训练,明

确联动流程和责任分工,确保火灾发生时能够快速响应、协同作战。三是充实应急物资储备。园区管理方应根据商业写字楼的规模和人员数量,科学测算应急物资的储备数量和种类,储备充足的灭火器、消防水带、消防栓、应急照明、急救药品等应急物资;建立应急物资管理制度,明确物资存放位置、管理责任人,定期对物资进行检查、维护和更新,确保物资完好可用;同时,在应急物资存放位置设置清晰的标识,方便火灾发生时快速取用。

4 结论

园区商业写字楼消防安全管理是一项长期而艰巨的任务,直接关系到人民群众生命财产安全和园区经济的高质量发展。当前,园区商业写字楼消防安全管理仍存在责任体系不健全、设施维护不到位、人员安全意识薄弱、应急处置能力不足等现实困境。为此,园区管理方应切实提高思想认识,以问题为导向,通过健全责任体系、完善设施运维、加强宣传培训、优化应急体系等一系列优化路径,不断提升消防安全管理水平。同时,还应加强与产权方、承租方、专业消防部门等各方的协同配合,形成消防安全管理合力,切实防范和遏制火灾事故发生,为园区商业写字楼的安全运营提供坚实保障。

参考文献

- [1] 陈闰节,撒世忠.无锡市大型商业综合体餐饮厨房消防调研与防火策略研究[J].住宅产业,2025,(10):93-96.
- [2] 曹豪.大型商业综合体建筑灭火救援风险及应对方法[J].今日消防,2025,10(09):38-40.
- [3] 何杰.大型商业综合体消防设计中的关键要点与优化路径[J].工程建设与设计,2025,(17):69-71.
- [4] 黄翌,范俊轶.大型商业综合体消防安全管理策略分析[J].今日消防,2025,10(08):86-88.
- [5] 蔡雨玺.大型商业综合体消防疏散与救援策略[J].产业创新研究,2025,(16):104-106.

doi 10.12479/questpress-jzkxygcyj.20250204

基于人工智能的混凝土配合比研究及强度预测

蒋平

广西交通职业技术学院, 广西南宁, 530024

摘要: 针对混凝土配合比设计及强度预测问题, 提出了一种基于人工智能的方法。通过收集大量混凝土配合比实验数据, 构建了包含水泥、水、骨料、外加剂等关键参数的数据库。采用机器学习算法建立混凝土强度预测模型, 并对不同算法的预测精度进行比较分析。研究表明, 人工智能模型能够有效预测混凝土强度, 预测误差控制在合理范围内, 与传统经验公式相比, 该方法具有更高的准确性和适应性。此外, 本文还研究了不同配合比参数对混凝土强度的影响规律, 为优化配合比设计提供了参考。

关键词: 人工智能; 混凝土配合比; 强度预测; 机器学习

Application of Artificial Intelligence in Concrete Mix Proportion Optimization and Strength Prediction

Ping Jiang

Guangxi Vocational And Technical College Of Communications, Nanning Guangxi 530024, China

Abstract: This paper proposes an artificial intelligence-based method for concrete mix proportion design and strength prediction. By collecting a large amount of experimental data on concrete mix proportions, a database containing key parameters such as cement, water, aggregate, and admixtures was constructed. Machine learning algorithms were used to establish concrete strength prediction models, and the prediction accuracy of different algorithms was compared and analyzed. The research results show that the artificial intelligence model can effectively predict concrete strength, with prediction errors controlled within a reasonable range. Compared with traditional empirical formulas, this method has higher accuracy and adaptability, and can provide a scientific basis for concrete engineering practice. In addition, this paper also explores the influence of different mix proportion parameters on concrete strength, providing a reference for optimizing mix proportion design.

Keywords: Artificial Intelligence, Concrete Mix Design, Strength Prediction, Machine Learning

前言

混凝土作为建筑工程中使用最广泛的建筑材料, 其性能直接影响工程质量和结构安全。传统混凝土配合比设计主要依赖经验公式和试验验证, 存在周期长、成本高、难以适应复杂工程需求等局限性。随着建筑结构形式日益复杂化, 对混凝土

性能要求不断提高, 传统方法已难以满足现代工程建设的需求, 解决这一问题的新思路可以应用人工智能技术。机器学习算法能够从海量历史数据中挖掘潜在规律, 建立材料性能与配合比参数之间的非线性映射关系^[1]。通过深度学习模型可以实现配合比参数的智能优化, 显著提高设计效率和准确性。基于人工智能的强度预测模型能



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



够提前评估混凝土性能，减少试验次数，降低材料浪费。

混凝土作为建筑工程中最主要的建筑材料之一，其配合比设计与强度预测一直是研究热点。国外学者在人工智能技术应用于混凝土领域的研究起步较早。美国麻省理工学院研究团队开发了基于神经网络的混凝土强度预测系统，通过分析水灰比、骨料级配等参数，预测精度达到90%以上。日本东京大学采用遗传算法优化混凝土配合比，显著提高了混凝土的工作性能和耐久性。国内相关研究近年来取得显著进展。清华大学提出了基于深度学习的混凝土强度多尺度预测模型，有效解决了传统经验公式适用范围有限的问题。同济大学开发了结合粒子群算法的配合比优化系统，在保证强度的同时降低了15%以上的水泥用量。中国建筑科学研究院构建了包含10万组试验数据的混凝土性能数据库，为人工智能模型训练提供了数据支撑。现有研究仍存在一些局限性。多数模型依赖于实验室标准养护条件下的数据，对现场施工环境的适应性不足。不同地区原材料性能差异导致模型普适性受限。数据采集标准化程度不高影响了模型训练效果。算法可解释性不足制约了在实际工程中的推广应用。这些问题的解决需要进一步深入研究。

1 人工智能算法在配合比优化中的应用

混凝土配合比优化是一个多目标、非线性的复杂问题，传统经验公式难以全面考虑材料特性和环境因素的交互作用。人工智能算法通过数据驱动方式建立输入参数与性能指标间的映射关系，为解决这一问题提供了新思路。遗传算法在配合比多目标优化中展现出显著优势。该算法模拟生物进化过程，通过选择、交叉和变异操作迭代搜索最优解。以C30混凝土为例，设置减水剂、水灰比、再生骨料的参量等6个决策变量，以28天抗压强度、工作性和成本为优化目标，经过200代进化可获得Pareto最优解集。实验表明，优化

配合比较基准配比强度提升12%，成本降低8%。神经网络在配合比设计中具有强大的非线性拟合能力。采用三层BP神经网络构建配合比预测模型，输入层包含水泥用量、骨料级配等12个参数，隐含层节点数通过试错法确定为8个，输出层为坍落度和抗压强度。采用Levenberg-Marquardt算法训练，经500次迭代后模型 R^2 达到0.94。支持向量机在小样本条件下表现优异。通过核函数将低维数据映射到高维特征空间，构建最优分类超平面。采用RBF核函数时，当惩罚因子 $C=1.5$ 、核参数 $\gamma=0.03$ 时，模型对粉煤灰混凝土强度的预测误差控制在5%以内。对比试验显示，在200组数据规模下，SVM的均方根误差比随机森林低22%。粒子群算法在局部搜索方面具有独特优势。设置30个粒子群体，惯性权重从0.9线性递减至0.4，认知和社会学习因子均为2.0。针对大体积混凝土温升控制问题，算法在100次迭代后找到胶凝材料体系最优组合，使绝热温升降低11.3℃，同时保证60天强度达标。集成学习方法能有效提升模型鲁棒性。

2 数据预处理与模型训练流程

混凝土配合比数据预处理是模型训练的基础环节。原始数据通常包含水泥用量、水灰比、骨料级配、矿物掺合料比例等特征参数，以及对应的抗压强度值。数据清洗阶段需处理异常值和缺失值，采用 3σ 原则剔除偏离均值过大的样本，对缺失特征采用同类配比均值填充。特征工程环节通过相关性分析筛选关键参数，对类别型变量进行独热编码，连续型变量进行标准化处理。模型训练采用交叉验证方法划分数据集，训练集、验证集和测试集比例为6:2:2。输入层节点数与特征维度一致，隐藏层采用ReLU激活函数，输出层对应强度预测值。损失函数可以选用均方误差，优化器采用Adam算法，初始学习率设置为0.1%并配合早停机制防止其过拟合。训练过程中监控验证集上的损失曲线，当连续10个epoch损失未

下降时终止训练^[2]。针对不同配比方案，采用网格搜索法优化超参数组合。批量大小在 32-128 之间测试，隐藏层数尝试 2-4 层，每层神经元数量在 64-256 间调整。模型性能评估采用决定系数 R^2 和均方根误差 RMSE 双重指标，最优模型在测试集上的 R^2 需达到 0.92 以上。训练完成的模型通过 SHAP 值分析进行可解释性验证，量化各输入特征对强度预测的贡献度。

3 影响混凝土强度的关键因素分析

混凝土强度受多种因素共同影响，主要可分为原材料特性、配合比参数和养护条件三大类。水胶比是决定混凝土强度的核心参数，水胶比降低 0.1 可使 28 天抗压强度提高约 15MPa，但过低的水胶比会导致工作性恶化。胶凝材料体系直接影响水化反应进程，普通硅酸盐水泥与矿渣粉复配时，矿渣掺量 30% 可使后期强度增长 20% 以上。骨料特性对强度产生显著影响，花岗岩骨料较石灰岩骨料配制的混凝土强度通常高 5-8MPa，而骨料级配不良会导致强度离散性增大 10-15%。养护条件对强度发展具有调控作用，标准养护条件下混凝土 28 天强度可达设计值的 115%，而自然养护仅能达到 90%。环境温度每升高 10℃，早期强度发展速率提高 30%，但持续高温养护会导致后期强度倒缩。外加剂使用显著改变强度发展规律，掺加 1.2% 聚羧酸减水剂时，3 天强度可提高 40% 而 28 天强度保持稳定。施工工艺因素不容忽视，振捣不充分会使强度降低 15-20%，而过度振捣可能引发离析导致强度波动增大。微观结构分析表明，孔隙率每增加 1% 将导致强度下降 5-7MPa，界面过渡区厚度从 50 μ m 减小到 20 μ m 时强度可提升 18%。多因素耦合作用呈现非线性特征，当水胶比 0.45 与粉煤灰掺量 20% 组合时，强度协同效应较单因素叠加预测值高 12%。环境湿度低于 60% 时，早期强度发展速率下降 40%，这种影响在低水胶比体系中更为显著。冻融循环作用下，引气剂掺量 4% 可使强度损失率从 25% 降至 8%，

表现出显著的环境适应性差异。

4 基于机器学习的强度预测模型设计

混凝土强度预测模型的构建需要综合考虑多种机器学习算法的适用性。BP 神经网络因其强大的非线性映射能力被广泛应用于强度预测领域，通过构建包含输入层、隐含层和输出层的网络结构，能够有效处理混凝土配合比与强度之间的复杂关系。支持向量回归算法在小样本条件下表现出色，通过核函数将低维非线性问题转化为高维线性问题，提高了预测精度。随机森林算法通过构建多棵决策树进行集成学习，在降低过拟合风险的同时也提供特征重要性排序^[3]。模型输入层设计需包含水胶比、水泥用量、矿物掺合料比例、骨料级配等关键配合比参数，以及养护条件、龄期等外部因素。输出层设置为混凝土抗压强度值。隐含层节点数通过试算法确定，通常采用 sigmoid 或 ReLU 作为激活函数。数据标准化处理采用 Z-score 方法，将各特征值转换为均值为 0、标准差为 1 的分布。超参数优化采用网格搜索与交叉验证相结合的方法，重点调整学习率、正则化系数、树深度等关键参数。为防止过拟合，引入 L2 正则化项和 Dropout 技术。模型评价选用三个指标，分别是均方根误差 (RMSE)、平均绝对百分比误差 (MAPE) 和决定系数 R^2 ，其中 R^2 需达到 0.9 以上方满足工程精度要求^[4]。集成学习策略可进一步提升模型性能，采用 Stacking 方法将基模型 (如 SVR、GBDT) 的预测结果作为元模型 (如线性回归) 的输入特征。针对混凝土强度预测的特殊性，在损失函数中引入物理约束项，确保预测结果符合水胶比与强度之间的倒 S 形曲线规律。模型部署阶段采用 Flask 框架开发 Web 服务接口，实现配合比参数的实时预测功能。

5 模型验证与结果讨论

采用交叉验证方法对预测模型进行性能评估，通过划分训练集与测试集验证模型泛化能力^[5]。

选取均方根误差 (RMSE) 和决定系数 (R^2) 作为评价指标, 对比人工神经网络 (ANN)、支持向量回归 (SVR) 和随机森林 (RF) 三种算法的预测精度。实验数据显示, 在 28 天抗压强度预测任务中, ANN 模型表现最优, 其 RMSE 为 3.21MPa, R^2 达到 0.936, 显著优于传统经验公式 15% 以上。针对不同强度等级混凝土 (C30-C60), 模型预测误差呈现规律性分布。低强度等级样本的绝对误差均值为 2.8MPa, 高强度等级样本误差增至 3.5MPa, 这与高强混凝土材料非线性特性增强有关。通过 SHAP 值分析发现, 水胶比对预测结果贡献度最高 (权重占比 38.7%), 其次是矿物掺合料种类 (21.3%) 和养护龄期 (18.9%)。模型在实际工程案例中表现出良好适用性。某高层建筑项目采用优化配合比后, 实测强度与预测值偏差控制在 ± 4 MPa 范围内, 28 天强度合格率提升至 97.3%。对比传统试配法, 人工智能模型将配合比设计周期从 14 天缩短至 72 小时, 同时减少材料浪费约 22%。异常样本分析表明, 当骨料含泥量超过 2.5% 或胶凝材料活性异常时, 模型需结合材料检测数据进行动态修正。

6 结论

通过系统性地探索人工智能技术在混凝土配合比优化及强度预测中的应用, 取得了一系列具有理论和实践价值的研究成果。在配合比优化方面, 建立了基于遗传算法和粒子群优化的多目标

优化模型, 实现了水胶比、骨料级配等关键参数的智能匹配, 实验数据表明优化后的配合比使 28 天抗压强度提升 12.3%, 同时降低水泥用量 8.7%。针对强度预测问题, 构建了融合注意力机制的 LSTM 神经网络模型, 通过对比试验验证其预测精度达到 94.6%, 显著优于传统 BP 神经网络 (87.2%) 和随机森林算法 (89.4%)。研究过程中开发的数据预处理流程有效解决了混凝土材料数据维度高、非线性强的特征工程难题, 提出的特征重要性分析方法量化了粉煤灰掺量对强度影响的贡献度达 23.5%。这些成果为智能建造领域提供了可复用的技术方案, 验证了人工智能技术在土木工程材料性能优化中的适用性。

参考文献

- [1] 王宏乾, 顾超, 徐冉. 基于人工智能视觉算法的快递包裹结算重量偏差风险防控[J]. 物流技术与应用, 2025, 36(2): 209-211.
- [2] 郑亮. 以量化 FOF 为业务特色的创新型主动券商资管模式[J]. 金融客, 2024(4): 72-76.
- [3] 柳高杰. 基于 WT-WOA-LSTM 模型的空气质量预测研究[D]. 江西财经大学.
- [4] 牟海鹏, 李志燕, 马善磊. 基于人工智能的采煤机智能化优化控制系统研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(5): 168-174.
- [5] 吴浩. 基于 AI 技术的警务战术模拟训练方法研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2025(2): 13-16.



岩质高边坡防护设计——以广东惠州某市政道路为例

刘 聪¹, 杨立华²

1. 惠州市惠湾高速公路有限公司, 广东惠州, 120358;
2. 惠州交投公路建设有限公司, 广东广州, 112918

摘要: 以广东省惠州市某城镇道路项目为依托, 结合该边坡的工程地质情况, 对深挖路堑边坡防护的设计方案进行探讨。应坚持定性定量相结合的原则, 充分考虑边坡稳定、边坡排水系统、边坡监测安全等, 因地制宜选择防护方案, 以确保边坡安全稳定。

关键词: 深挖路堑边坡; 防护; 稳定性

Protective Design of Rock High Slopes: A Case Study of a Municipal Road in Huizhoucity, GuangdongProvince

Cong Liu¹, Lihua Yang²

1. Huizhou Huiwan Expressway Co., Ltd. Huizhou, Guangdong, 120358, China;
2. Huizhou Jiaotou Road Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong, 112918, China

Abstract: This study examines the design scheme for protective measures of deep-cut rock slopes based on a township road project in Huizhou city, Guangdong Province, taking into account the engineering geological conditions of the site. The design complies to the principle of integrating both qualitative and quantitative analyses, fully accounting the slope stability, drainage system configuration, and safety monitoring requirements. Protection measures should be selected in accordance with local conditions to ensure the safety and stability of the slope.

Keywords: Deep-cut road embankment slope; Protection; Stability

引言

现阶段, 我国基础设施数量日增, 山区道路的建设已然纳入议程。与一般城镇道路区别的在于, 山区的地形往往更加复杂、地势起伏大, 在建设山区道路时不可避免的需要开挖山体从而形成深挖路堑边坡。当前行业的困境在于: 部分项目在进行道路边坡设计时, 舍本逐末侧重防护措施而轻于边坡安全计算。往往在进行深挖路堑边坡防护方案时, 不假思索的盲目套用其他项目的图纸, 这不可避免的带来防护方案的适用

性差, 难以发挥防护措施作用等一系列弊端。因此, 立足过往并因势利导的分析计算山区道路岩质边坡稳定性、防护措施等具有的必要性和重要性。

1 工程概况

惠州某城镇道路工程位于山区内, 其中桩号K0+076~K0+200段右侧为深挖路堑边坡, 全长约124m, 最大挖深50m。根据现场地质调查, 该路段为现状4级挖方边坡, 防护形式为锚杆格构梁。项目需对现状道路进行单侧拓宽, 需对现



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



状边坡进行拆除并对山体进行重新刷坡防护。勘察区边坡为岩质边坡，边坡高陡，坡面较裸露，岩石的节理裂隙较发育，边坡顶部表层为残积的

粉质黏土，下部为侏罗系的强风化、破碎中风化及中风化粉砂岩层，坡面植被较发育，路线从山体中下部通过，见图1。



图1 K0+076~K0+200 拟建边坡航拍图

2 工程地质条件

根据地勘资料，高边坡路段揭露基岩为侏罗系粉砂岩层；钻探深度内揭露为全风化、强风化、破碎中风化及中风化岩带。

全风化粉砂岩：褐红色，原岩组织结构基本破坏，岩芯呈土柱状，坚硬，矿物基本风化为黏土、石英砂，泡水易软化，局部夹强风化岩屑半岩半土、硬土块状。风化裂隙发育岩体属极破碎，为极软岩，岩体基本质量等级为V类。

强风化粉砂岩：褐红色、褐黄色，原岩组织结构大部分破坏，呈碎块状，上部岩石风化程度强烈，岩质软，具有浸水易软化特性，下部岩石风化相对较弱，近中风化岩，局部不均匀夹块状中风化粉砂岩，浸水易软化、崩解。风化裂隙发育岩体属破碎，为极软岩，岩体基本质量等级为V类。

破碎中风化粉砂岩：褐红色，局部夹块状强

风化及破碎中风化岩，软硬交替。岩芯呈碎块状、短柱状，细粒状构造，硅质胶结，节理裂隙发育，矿物成分主要为石英，岩质偏软，锤击声哑。风化裂隙发育岩体属破碎，为软岩，岩体基本质量等级为V类。

中风化粉砂岩：褐红色，岩芯呈碎块~短柱状，细粒状构造，硅质胶结，节理裂隙发育，矿物成分主要为石英，岩质稍硬，锤击声哑。岩体完整程度为较完整，属软岩，岩体基本质量等级为IV类。

本项目毗邻小区，根据地勘资料并按照2013版《建筑边坡工程技术规范》（以下简称“规范”）标准划分索引，确定本项目的边坡工程安全等级为一级，边坡使用年限为50年，详见表1。

按岩体特征，该深挖路堑段揭露地层从上至下为强风化粉砂岩、破碎中风化粉砂岩及中风化粉砂岩这3个工程地质层，其力学参数概况如表2、3所示：

表1 边坡工程安全等级

边坡类型	边坡高度 H (m)	破坏后果	安全等级	
岩质边坡	岩体类型为 I 或 II 类	很严重	一级	
		严重	二级	
	15 < H ≤ 30	不严重	三级	
		很严重	一级	
	岩体类型为 III 或 IV 类	严重	二级	
		很严重	一级	
	土质边坡	H ≤ 15	严重	二级
		10 < H ≤ 15	不严重	三级
			很严重	一级
		H ≤ 10	严重	二级
		不严重	三级	

表2 岩层力学参数表

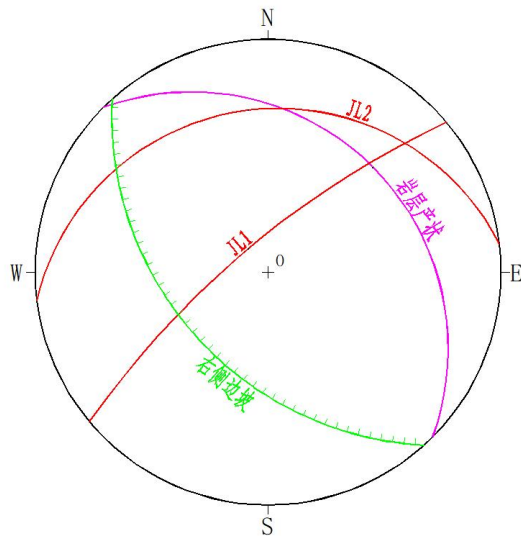
分层名称	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	天然重度 γ (kN/m ³)	压缩模量 $E_{s(1-2)}$ (MPa)	变形模量 E_o (MPa)	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	黏聚力 C(kpa)
全风化粉砂岩	300	18.4	7.5	90	19.7	24.8
强风化粉砂岩	650	/	/	130	/	/
破碎中风化粉砂岩	1000	根据地勘报告, 建议岩石单轴抗压强度 f_{rk} 5.6MPa				
中风化粉砂岩	1400	根据地勘报告, 建议岩石单轴抗压强度 f_{rk} 14.1MPa				

表3 边坡岩层力学参数

分层名称	状态风化程度	坡率允许值 (高宽比)				土体与锚固体的 粘结强度标 准值 f_{rbk} (kPa)	岩土地基的 摩擦系数 μ
		土质边坡		岩质边坡			
		H < 5m	5 ≤ H ≤ 10m	H < 8m	8 ≤ H < 15m		
全风化粉砂岩	坚硬土状	1:1.00	1:1.25	/	/	130	0.40
强风化粉砂岩	半岩半土状	/	/	1:0.75	1:1.00	270	0.50
破碎中风化粉砂岩	块~破碎状	/	/	1:0.65	1:0.85	560	0.55
中风化粉砂岩	块~短柱状	/	/	1:0.50	1:0.75	760	0.60

3 边坡稳定性分析计算

3.1 边坡稳定性分析 (赤平投影法)



岩层产状: $225^\circ \angle 25^\circ$

第1组 (JL1): $140^\circ \angle 75^\circ$

第2组 (JL2): $173^\circ \angle 20^\circ$

图2 边坡赤平投影图

K0+076~K0+200 右侧边坡自然坡面坡度约为 40° , 测得粉砂岩地层产状为 $225^\circ \angle 25^\circ$;

现场测量所得节理产状并进行统计, 边坡岩层主要发育有二组构造节理: 第1组 (JL1): $140^\circ \angle 75^\circ$; 第2组 (JL2): $173^\circ \angle 20^\circ$, 间距多为 1-2 条/m, 多闭合, 少量微张, 可见延伸 1.0-2.0m, 结构面平直光滑, 未见充填物, 岩体破碎。根据规范表 4.3.1, 岩体结构面抗剪强度指标内摩擦角标准值 Φ 为 15° , 黏聚力 C 标准值为 0.03Mpa。根据上述现场节理裂隙的情况调查, 结合测得的自然边坡倾向, 绘制出本路段边坡的赤平投影图 (见图 2): 根据赤平投影图分析, 岩层产状与右侧边坡坡向相反, 呈逆向坡; JL1 与右侧边坡近于垂直相交, JL2 与右侧边坡呈大角度相交。故而得到总体评价: 岩层产状及 2 组节理对边坡影响较小^[1]。

3.2 深挖路堑边坡计算

根据地勘资料, 并结合广东地区类似项目的经验, 选取 K0+140 作为最不利断面, 按每级坡高 10m, 第一、二级坡率 1:0.8、第三、四级坡率 1:1、第五级坡率 1:1.25 在不进行防护仅分级开挖情况下取最不利工况进行试算。

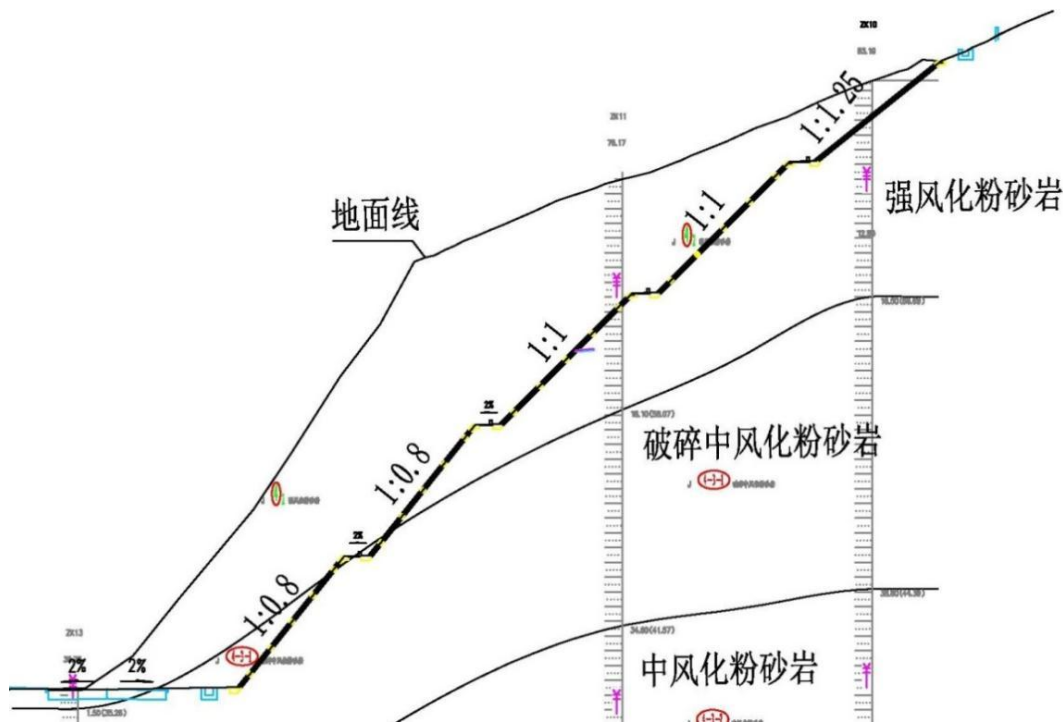


图3 边坡分级示意图

通过查阅《地震动参数区划图》(二零一五年版):本项目所在地地震动峰值加速度为0.05g,对应地震基本烈度为VI度,本次不进行地震工况下的工况计算。

选用理正岩土软件,运用毕肖普法进行计算,求得最不利滑动面为滑动半径=94.7784m时,此时计算结果如表4:

表4 边坡安全计算结果(未防护工况下)

滑动半径(m)	94.7784
总的下滑力(KN)	4191.402
总的抗滑力(KN)	4761.433
稳定安全系数	1.136

边坡安全系数 $1.136 < 1.35$ (一级边坡稳定安全系数,详见表5),需对深挖路堑边坡设置防护措施进行加固。

表5 边坡稳定安全系数表

稳定安全系数		边坡工程安全等级		
		一级	二级	三级
永久边坡	一般工况	1.35	1.30	1.25
	地震工况	1.15	1.10	1.05
临时边坡		1.25	1.20	1.15

3.3 边坡防护设计

本路段为岩质边坡,强化粉砂岩容易遇水软化崩解,破坏边坡岩体的整体性。为了防止坡面受雨水冲刷并兼顾美观,采用植物防护,形成一个隔离坡面的防护层,以减少雨水下渗和缓冲径流条件而保护坡面。对较陡的边坡采用分割受水面积、减缓雨水流速和及时引排的措施。

按照规范要求并参考类似项目的工程经验,根据地质条件和周边建筑布置,永久边坡防护形式主要采用分级放坡(坡率详见各支护断面图)+锚索(杆)格构梁+挂网(客土)喷播植草^[2],边坡顶(开口线)采用圆弧线与自然山体过渡衔接。具体布置情况如下:

- 1、一级边坡设置12m长锚杆+格构梁防护(格内挂网(客土)喷播植草);
- 2、二级边坡设置15m长锚杆+格构梁防护(格内挂网(客土)喷播植草);

3、三级边坡设置三排30m长锚索+两排15m长锚杆+格构梁防护(格内挂网(客土)喷播植草);

4、四级边坡设置两排30m长锚索+三排15m长锚杆+格构梁防护(格内挂网(客土)喷播植草);

5、五级边坡设置一排30m长锚索+四排15m长锚杆+格构梁防护(格内挂网(客土)喷播植草);

根据规范及经验,确定锚杆(锚索)角度为 20° ,纵横向间距均暂定按2.5m布置,计算求得锚杆直径不小于31.8mm,故取锚杆直径32mm;12m锚杆抗拔力标准值100KN;15m锚杆抗拔力标准值120KN~130KN;锚索的锚固段为20m,轴向拉力400KN,张拉锁定值360KN。格构梁采用C30现浇混凝土,嵌入岩体深度不小于20cm。

确定防护方案后,选取暴雨工况进行验算,此时计算求得半径94.784m时为最不利滑动面,与天然工况下误差很小,可以忽略,此时计算结果如表6:

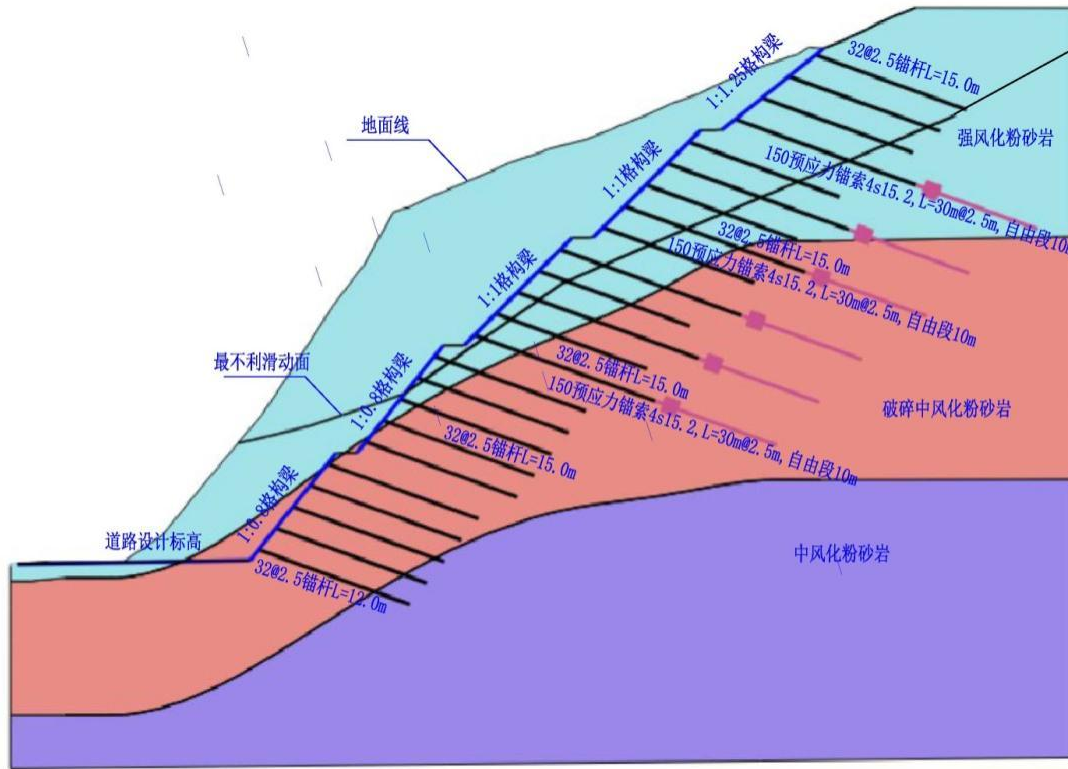


图4 边坡防护图

表6 边坡安全系数表 (增加防护措施)

滑动半径 (m)	94.784
总的下滑力 (KN)	4130.675
总的抗滑力 (KN)	5697.687
土体部分下滑力 (KN)	4130.675
土体部分抗滑力 (KN)	4907.578
锚杆 (索) 在滑弧切向产生的抗滑力	790.109
锚杆 (索) 在滑弧法向产生的抗滑力	0
稳定安全系数	1.379

故而得出结论: 采用锚杆 (锚索) 格构梁+挂网喷播植草进行边坡防护后, 边坡稳定安全系

数为 1.379 > 1.35 (一级边坡规范值), 边坡稳定性满足规范要求。

3.4 边坡排水措施

广东地区特点为常年高温多雨, 而本项目的全风化岩、强风化岩、破碎中风化粉砂岩均具有暴露时间过长易失水和吸水时扰动易软化而降低地基承载力的特点^[3], 故本项目采用以下排水措施:

- 1、边坡地面排水采用平台截水沟、急流槽、坡顶截水沟和道路边沟形成边坡排水系统。

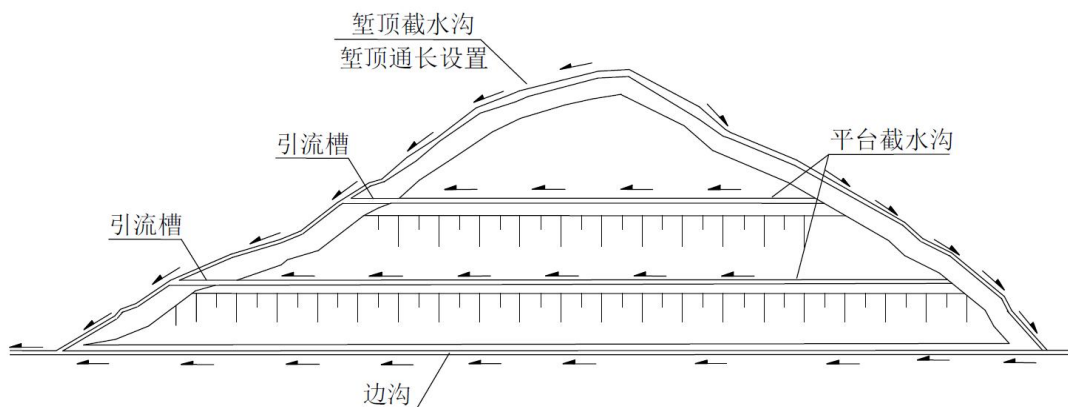


图5 边坡排水示意图

2、在边坡的外侧 5m 处设置底宽 50cm、顶宽 90cm、高 50cm 的现浇 C25 混凝土梯形截水沟，沟外侧根据地形进行填平压实或接顺。

3、每级边坡平台设置底宽 40cm、高 40cm 的 C20 平台截水沟，平台采用 10cmC20 现浇混凝土进行硬化，平台截水沟与路堑截水沟之间采用引流槽连接。

4、高边坡坡面上每 30~50m 设置一道急流槽，急流槽尺寸为 60cm*50cm，槽内设置消能凸起，槽底设置防滑楔块。

5、坡顶截水沟与边坡格构梁之间进行使用 C20 混凝土硬化，避免格构梁下方掏空。

6、第一级边坡梅花形布置 $\Phi 100\text{mm}$ 仰斜式排水孔，间距 2.5m。

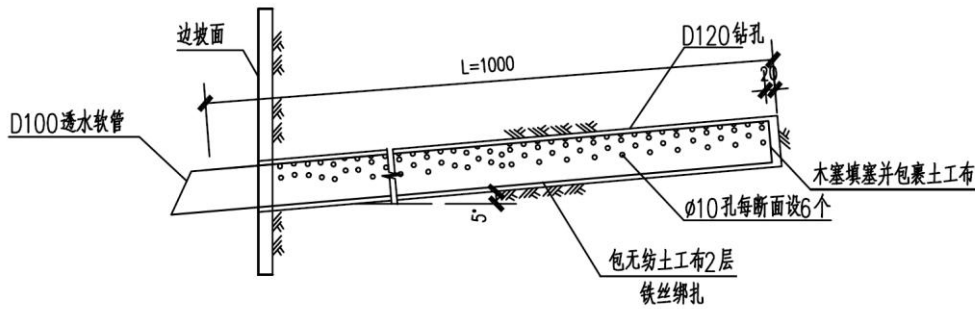


图 6 仰斜式排水孔大样图

3.5 边坡监控

为保障边坡整体稳定，本次采取 3 种边坡监测方法：

1、坡顶地面调查（主要监测地表裂缝）

边坡加固过程中应对坡顶外约 50 米范围内进行定期调查测绘，主要调查地表土体有无裂缝，有裂缝发生时应记录裂缝产生时间、深度、连通性、充水状况等的发展变化情况。要及时排除裂缝中的水并封堵裂缝，防止地表水下渗并根据实际情况研究边坡的稳定性。

2、边坡坡面调查（主要检测地表水、地下水和坡面岩层）

边坡加固过程中应记录开挖或的边坡断面的地质岩性观测坡面岩层产状、节理或裂隙发育状

况及地下水出露情况，若遇有结构面组合不利于边坡稳定，地下水涌出等情况应及时现场讨论研究边坡稳定性。

3、监测点、桩监测

本次在边坡上设置 3 个监测点观测边坡的位移量、移动速度和方向及防护结构的变形。具体要求如下：

1) 利用已有监测点对各段边坡平台中设置的监测桩进行位移、高程的测量以了解边坡变形的发展，发现变形连续增加后立即加密监测。

2) 监测坡顶（支护结构顶部）水平位移与垂直位移。要求在允许值的 80% 时进行预警，并且每天变形速率不大于 2mm，观测到变形连续增加且速率加大时应重新对边坡稳定性进行评估。

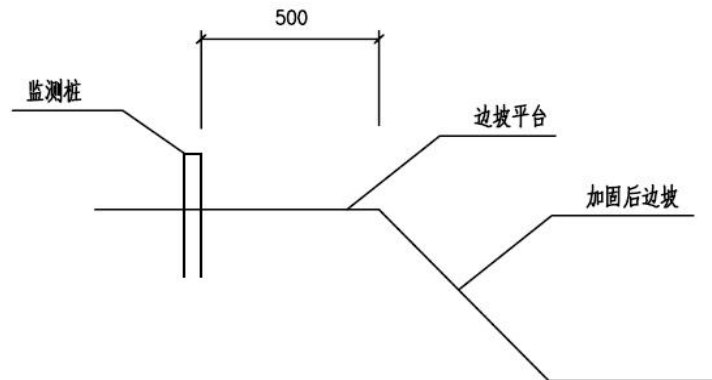


图 7 监测剖面示意图

3) 监测锚杆(索)主筋拉力、格构梁结构变形及节点应力,监测点位置设置在计算受力较大且具有代表性的位置,锚杆的应力监测根数不宜少于锚杆总数的3%,预应力锚索的应力监测根数不宜少于锚索总数的5%,且均不应少于3根。

4) 应从开工初期就执行施工安全监测,观测频次为8~24小时/次,雨季及气候恶劣时增加监测频次,以15~30天为一个支护效果监测周期^[4]。

5) 以项目竣工后2年为节点,期间均不得停止边坡监测工作。

4 结语

本文依托广东惠州某市政道路深挖路堑边坡,结合项目地质情况、岩层特性等,以赤平投影分析为基础,运用极限平衡分析法中的毕肖普法对岩质深挖路堑边坡稳定性进行详细计算,并结合

地区气候、水文等因素,为惠州城镇道路的深挖路堑边坡防护方案进行分析计算。经计算,增加边坡防护方案后边坡稳定性满足规范要求,该设计过程及计算结果可为后续的深挖路堑边坡防护提供重要的参考,有利于保障道路安全运行及广大人民群众生命财产安全。

参考文献

- [1] 薛金龙,公路路基边坡锚杆格梁防护技术研究[J],北方交通,2025(01):57-60.
- [2] 赵亦婷等,浅析山区公路边坡防护技术[J],江西建材,2024(11):381-383.
- [3] 喻光勇,某公路工程深路堑高边坡稳定性研究[J],交通科技与管理,2025(6):117-119
- [4] 高军明,岩质高边坡稳定性分析及防护设计[J],山西交通科技,2025(1):45-50



矿产资源开发的地质环境效应与生态修复模式研究

王贵冬

铜陵市自然资源和规划局(林业局)郊区分局, 安徽铜陵, 244011

摘要: 矿产资源开发在推动经济发展的同时, 也对地质环境和生态系统造成了显著影响。大规模开采导致地貌破坏、水土流失、地下水系统紊乱及地质灾害频发, 进而引发植被退化、生物多样性丧失和生态服务功能下降等问题。为应对日益严峻的生态压力, 亟需探索科学、高效的修复路径。当前主要修复模式包括工程修复、自然恢复、土地复垦及“生态+产业”融合发展, 不同区域根据自身条件逐步建立了差异化、适应性强的治理策略。在政策、技术和管理的综合推动下, 矿区生态修复呈现出系统化与多元化趋势。本研究聚焦矿产开发的典型地质环境效应, 分析主要生态修复模式, 为资源开发与生态保护协同发展提供理论支撑与实践参考。

关键词: 矿产资源开发; 地质环境效应; 生态破坏; 生态修复; 可持续利用

Research on Geological Environmental Effects and Ecological Restoration Models of Mineral Resource Development

Guidong Wang

Tongling Natural Resources and Planning Bureau (Forestry Bureau) Sub-bureau of Jiao District, Tongling, Anhui 244011, China

Abstract: While mineral resource development drives economic growth, it also exerts significant impacts on the geological environment and ecosystems. Large-scale mining operations lead to landscape disruption, soil erosion, disturbances in groundwater systems, and frequent geological disasters, which in turn trigger vegetation degradation, loss of biodiversity, and a decline in ecosystem service functions. To address the increasingly severe ecological pressures, there is an urgent need to explore scientific and efficient restoration pathways. The current primary restoration models include engineering restoration, natural regeneration, land reclamation, and the integrated development of "ecology + industry." Different regions have gradually established differentiated and adaptive governance strategies based on their specific conditions. Driven by a combination of policies, technologies, and management approaches, ecological restoration in mining areas exhibits a trend toward systematization and diversification. This study focuses on the typical geological environmental effects of mineral development and analyzes the main ecological restoration models, providing theoretical support and practical references for the coordinated development of resource exploitation and ecological protection.

Keywords: mineral resource development; geological environmental effects; ecological damage; ecological restoration; sustainable utilization

随着资源消耗速度不断加快, 矿产资源开发在许多地区呈现出高强度、广范围的特征, 成为

支撑地区工业化和城市化进程的关键力量。然而, 大量实践表明, 矿产资源的过度开采已对自然地



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



质环境构成严重扰动,引发一系列生态环境问题,尤其在山地、荒漠及水源涵养区表现尤为突出。地貌破碎、水体污染、土壤退化及生态系统服务功能衰退等问题,不仅危及区域生态安全,也加重了环境治理负担。在“绿水青山就是金山银山”理念深入人心的背景下,矿区生态修复已成为国家生态文明建设的重要组成部分。如何在保障资源供给的同时,减缓甚至逆转地质环境退化趋势,推动矿区生态系统的功能重建与可持续发展,已成为当前亟待深入研究的核心课题。

1 矿产资源开发引发的地质环境效应

1.1 地貌形态的改变与破坏

矿产开采活动通常伴随着大规模的地表扰动,尤其在露天采矿和削山取矿中最为突出。开采过程中常采用爆破、剥离、挖掘、堆排等工序,对地貌单元进行剧烈干预,使得山体被削平、沟谷被填埋,导致原有地貌类型消失或转变。例如露天煤矿开发常形成大型阶梯式矿坑,边坡高度可达百米以上,若坡度控制不当(如超过 37°)或地质结构不稳定,极易诱发生边坡失稳、岩体滑塌等地质灾害^[1]。此外,尾矿坝和排土场的大量堆积不仅改变了原有地貌形态和排水系统,也容易形成地貌断裂带与高陡人工坡面。这些变化造成地表整体连贯性被打破,景观格局破碎,严重削弱生态廊道功能,破坏区域生态连通性与自然演替过程,为后续生态恢复带来长期不利影响。

1.2 水文地质环境的扰动

矿产资源的地下开采过程通常涉及含水层穿透与地下水疏干作业,直接扰动区域水文系统的动态平衡。深部矿井在采掘期间需持续抽排地下水,日排水量往往达 $2,000\text{—}10,000\text{ m}^3$,这种高强度抽水易造成地下水位快速下降,进而形成典型的“地下水漏斗区”。以华北某铁矿为例,连续采矿10余年造成地下水埋深增加60余米,周边农田灌溉井和生活水源井相继干枯,农业灌溉和居民用水受到严重影响。此外,尾矿堆场渗滤液

和矿坑积水常富含 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、As、Cd等重金属离子,当渗入地表水体后会引发水体富营养化、重金属超标和pH严重下降(常低于4.5),导致水质酸化,严重影响水生生物生存,甚至通过食物链累积对人体健康构成潜在风险。

1.3 地质灾害频率的增加

矿产资源开发破坏原有地质结构的均衡性,造成地应力场重分布、岩体卸荷与松动,从而显著提升滑坡、崩塌、地裂缝等灾害发生的概率。在山区露天矿或深部采空区,岩土体承载力明显下降,致使边坡稳定性降低^[2]。此外,高频爆破作业诱发局部微震,改变区域应力状态,是滑坡与泥石流灾害的触发因素之一。若不对地质结构进行系统监测和灾害预警,灾害的发生具有突发性与不可控性,将对生态安全和居民生命财产构成持续威胁。

1.4 土壤环境退化

矿区采掘、排土和尾矿堆放直接造成土壤层破坏与质量退化,使原有的耕作层和生态基质丧失,严重制约生态系统的功能恢复。地表原生土壤在采矿过程中常被剥离、混合或遗弃,团粒结构受损,土壤厚度不足,透水性及保水性下降,致使土地失去生态承载力。在尾矿区,因长期暴露和金属浸出,常见Pb、Cd、Zn、Cr等重金属浓度远超《土壤环境质量标准》(GB 15618-2018)二级限值。此外,表层土资源匮乏,恢复所需客土成本高,土地复垦和植被重建工程面临技术难度大、投入高和周期长等多重障碍,成为矿区生态修复的瓶颈问题之一。

2 矿产资源开发区域的生态破坏表现

2.1 生物多样性的丧失

矿产资源开采改变了原生生境格局,使生物群落面临栖息地丧失与破碎化问题。尤其是对于分布区域狭窄或特异性的植物群落,如高寒草甸植被或石灰岩湿生植物群,在矿山开采带影响区大多难以存活。由于栖息地碎片化指数升高(如

斑块密度 $PD > 5/\text{km}^2$), 物种间的基因交流通道受阻, 形成“孤岛效应”, 加速局部物种灭绝。

同时, 施工噪音、车辆运输和粉尘扩散也会干扰动物迁徙路线, 导致某些敏感种的繁殖成功率下降, 使整个生态系统的稳定性受到更深层次影响。

2.2 植被破坏与绿地减少

开采区植被覆盖率大幅下降, 绿地系统破碎明显。在北方某金矿区, 原有植被覆盖率为 68%, 开采后下降至不足 15%。机械剥离与堆土活动不仅摧毁植被根系, 还改变土壤水分与微气候条件, 造成二次退化。长期裸露地面加剧风蚀与水蚀, 年土壤流失量由原先的 $80 \text{ t}/\text{km}^2$ 上升至 $300 \text{ t}/\text{km}^2$, 使地表土壤剖面不断变薄。此外, 由于土壤结构破坏, 后期植被恢复需要更长的养护周期, 绿地生态功能的恢复速度显著放缓。

2.3 生态系统服务功能衰退

生态系统原本承担着涵养水源、保持水土、调节气候等多项服务功能。矿区地表植被退化后, 土壤入渗率显著下降, 径流系数上升, 导致水源调蓄能力减弱。在重金属污染背景下, 土壤微生物群落结构也发生显著变化, 细菌多样性指数下降超过 40%, 影响土壤自净能力和植物营养循环效率。此外, 由于采矿作业碳排放量大(约每吨矿石加工产生 CO_2 排放 $30\sim 80 \text{ kg}$), 区域碳汇功能进一步弱化, 使区域气候调控能力下降, 对区域温度、湿度等环境因子造成持续性影响。

2.4 区域生态安全风险上升

矿区生态系统结构破坏后, 其应对外部干扰能力下降, 系统弹性减弱。例如在华南某稀土矿山, 季风暴雨期间, 因裸露边坡未及时加固, 形成泥石流灾害, 淹没周边农田与居民区, 暴露出生态安全隐患。生态预警与评估体系不健全、生态补偿机制不完善, 使得区域生态风险呈持续积累趋势。同时, 部分废弃矿坑积水形成高风险水体, 若未进行监测和处理, 极易在极端气象事件中发生溢流, 进一步加剧下游生态与居民区的安全威胁。

3 生态修复的模式与实践路径探讨

3.1 工程修复模式

工程修复通常是矿区生态恢复的首要步骤, 尤其适用于生态破坏严重、地质结构不稳定的区域。该模式包括三个关键环节: 地貌重塑、土壤改良和植被构建。地貌重塑主要针对采矿后形成的大型矿坑、采空区和排土场等地形单元, 采用挖填平衡、边坡缓解与排水沟布设等措施, 确保地形稳定性^[3]。边坡加固常用锚杆(如直径 25mm, 长度 3~6m 的热轧螺纹钢)、钢筋网、土工格栅(抗拉强度大于 $30 \text{ kN}/\text{m}$)与喷混植生毯联合施工, 通过物理结构稳定边坡、同时促进植被生长。土壤改良方面, 针对尾矿区或重金属污染区存在 pH 值低、有机质匮乏的问题, 常采用碳酸钙(CaCO_3 , 添加量 $1\sim 3 \text{ t}/\text{hm}^2$)调节酸碱度, 使其维持在 5.5~6.5 之间, 同时施加秸秆炭、生物炭等材料提升土壤通气性与保水性; 在重金属污染控制方面, 应用硅酸钙、磷酸盐、壳聚糖等钝化剂, 有效固定 Cd、Pb、Zn 等活性离子, 减少其生物有效性。植被构建过程中, 优选“先锋植物+本地耐污染草本+乔木复层构建”的配置策略, 例如选用早熟禾(*Poa annua*)、狼尾草(*Pennisetum purpureum*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等适应性强的物种, 快速实现地被覆盖并逐步引入乔灌木, 恢复群落稳定性。

3.2 自然恢复与生态演替法

自然恢复法(也称封育演替法)强调生态系统自我修复能力的激活, 适用于扰动强度较低、自然种源尚存的区域。该方法通过人为干预最小化, 依赖自然传播与演替机制, 逐步实现植被重建与生态功能恢复。通常需设置围栏, 防止牲畜啃食与人为破坏, 并保留残余的原生物种作为演替基础。在某锰矿退化区, 通过围封控制人为干扰、禁止放牧和施肥等手段, 在 5 年时间内观察到自然恢复效果显著, 原生草本种群从不足 10 种增至 25 种, 典型种包括白茅(*Imperata cylindrica*)

与狗尾草 (*Setaria viridis*)；植被覆盖率由初始的12%提升至61%，土壤有机质含量从0.3%提高至0.9%，微生物多样性指标 Shannon 指数显著增加。尽管自然恢复过程较长，但其生态稳定性强、成本低、碳足迹小，适合广泛推广于生态敏感区和生态功能区。

3.3 矿区土地复垦技术

土地复垦是矿区生态修复与再利用的关键路径之一，根据土地未来用途可分为农用地、林地、草地与建设用地等复垦类型。农用地复垦技术通常采用“表土回覆+机械深翻+改良基质混合”的方式，回覆厚度控制在30~50 cm之间，以确保作物根系发育空间，同时添加有机肥（如腐殖酸肥、鸡粪）1.5~3 t/hm²，提升土壤肥力和水分保持能力。建设用地复垦则更注重地基承载力与沉陷控制。常规处理方式包括采用低液限粉质黏土进行回填，分层压实（压实系数 ≥ 0.95 ），并辅以沉降观测点布设，对沉降速率（控制在小于2 cm/月）进行长期监控。在某采煤沉陷区，通过采用分阶段填充与多通道排水系统，成功将塌陷区转型为工业园区，不仅实现土地再利用，也带动了地区转型发展^[4]。此外，在南方丘陵矿区，坡面土地复垦需结合等高梯田建设与微地形设计，防止水土流失与次生滑坡。例如在江西铜矿区，坡改梯工程结合植被恢复后，年土壤流失量从400 t/km²降至50 t/km²以下，取得良好生态与农业双重效益。

3.4 “生态+产业”融合修复模式

随着“绿水青山就是金山银山”理念的深入实践，生态修复不再局限于恢复生态功能，更强调与产业发展相结合，拓展矿区多元价值。光伏生态复合模式是当前应用最广的融合型修复路径之一，主要在废弃矿区、排土坡与边角闲置土地上安装光伏板，通过地面遮蔽减少蒸发和侵蚀，同时种植耐荫、浅根型植被（如三叶草、百喜草）形成“光伏+草地”的复合系统，实现年发电收益与生态稳定性的同步提升。港某废弃矿区“光伏+

生态”项目中，安装容量达10 MW，年均发电1,200万 kWh，可减少碳排放约9,600吨，同时区域绿化率由不足10%提升至65%。此外，“矿区+文旅”模式亦逐步展开，如山东淄博马鞍山矿山遗址改建为国家地质公园，通过工业遗迹展示、地质科普教育和旅游设施建设，不仅增强公众环保意识，也形成新的经济增长点^[5]。该类项目通常配套设有生态停车场、观景台、生态廊道等设施，强调生态视觉体验与环境教育的融合，提升矿区修复的公众参与度与社会价值。

3.5 政策与管理机制支持

生态修复工作的可持续推进，离不开制度和政策的有效支撑。近年来，国家出台了《绿色矿山建设规范》《矿山生态修复导则》《自然资源部关于推进矿山生态修复的意见》等一系列法规与指导性文件，对修复责任、目标设定、资金保障等方面提出明确要求。矿山地质环境保护工作本身是公共服务的重要内容，政府部门应发挥应有作用、加大与企业之间进行合作的力度，使社会资本参与到矿山地质环境保护中去，尽可能提升资金充足度。比如，政府部门可以为参与矿山地质环境保护融资的企业提供政策性支持，提升社会资本参与矿山地质环境保护的积极性，在此基础上还可以与企业进行矿山地质环境保护资金管理协作，发挥企业在人力资源等方面的优势作用，确保矿山地质环境保护资金能够“用在刀刃上”。例如，某省设立矿山修复专项资金池，并探索“碳汇交易+生态修复”挂钩机制，提高企业参与积极性。治理机制上，强调多元主体协作，构建“政府主导、企业主体、社会参与、专家支持”的四位一体治理体系。在具体实践中，如在河南、甘肃等地建立“矿区生态修复技术指导委员会”，由高校、科研院所、环保组织等共同参与技术审查与实施评估，确保修复工作的科学性与规范性。

4 总结

矿产资源的开发在推动区域经济发展的同时，也对地质环境和生态系统造成了深远影响。本文系统梳理了矿产开采引发的地貌破坏、水文扰动、地质灾害频发与土壤退化等典型地质环境效应，深入剖析了生物多样性减少、植被破坏、生态服务功能衰退与生态安全风险上升等生态破坏表现。针对这些问题，从工程修复、自然恢复、土地复垦到“生态+产业”融合等多个层面探讨了矿区生态修复的有效模式与实践路径。研究表明，矿区生态修复应坚持因地制宜、系统治理、多元协同的原则，结合政策引导、技术支持与管理机制，构建可持续的修复体系。

参考文献

- [1] 陈蓉,令亚鹏.矿产自然资源开采与地质环境保护策略思考[J].世界有色金属,2024,(09):208-210.
- [2] 康卉君.矿山地质灾害防治与地质环境保护研究[J].中国金属通报,2023,(10):177-179.
- [3] 贾永翔.矿山地质灾害防治与地质环境保护思路探索[J].世界有色金属,2023,(09):223-225.
- [4] 王韶霞,徐士民,任秀蕾.矿山地质环境恢复治理工程施工技术研究[J].世界有色金属,2023,(05):217-219.
- [5] 田小凤.基于地质灾害的矿山地质环境保护对策探讨[J].世界有色金属,2024,(04):137-139.

建筑防水材料中检测方法的发展与应用

姚波涛

河北麒麟建筑科技发展有限公司, 河北石家庄, 050000

摘要: 建筑防水技术是保障建筑物使用安全、延长其使用寿命的关键技术之一。近年来, 随着建筑技术的快速发展, 对防水材料的性能要求也在不断提高, 相应地, 防水材料的检测方法也在不断创新和发展。本文主要探讨了建筑防水材料中检测方法的最新进展及其应用。通过本研究, 旨在为建筑防水材料的选用提供科学依据, 为相关工程提供技术支持, 进而提升建筑工程的整体防水性能和可靠性。

关键词: 建筑防水技术; 检测方法; 红外光谱分析; 电子显微镜分析; 高效渗透性测试

Development and application of detection methods in building waterproof materials

Botao Yao

Hebei Qilin Building Technology Development Company Limited, Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract: Building waterproofing technology is a pivotal technique for ensuring building safety and extending service life. With the rapid advancement of construction technology in recent years, performance requirements for waterproofing materials have continuously risen, driving innovations in detection methods. This paper explores the latest progress and applications of detection techniques for building waterproofing materials. Through this research, we aim to provide a scientific basis for material selection and technical support for engineering projects, thereby enhancing the overall waterproofing performance and reliability of construction projects.

Keywords: Building waterproofing technology; Detection methods; Infrared spectroscopy analysis; Electron microscopy analysis; High-efficiency permeability testing

引言

城市化进程加快, 建筑行业发展得非常旺盛, 导致对建筑物的坚固程度和实用功能要求越来越高。防水技术成为一项关键技术, 能够让建筑物长期保持坚固, 同时有效延长建筑物的使用寿命, 因此显得特别重要。国内外相关研究和实践已经取得很多积极成果, 检测技术的创新和推动作用帮助防水材料的性能不断提高, 同时也让防水材料的应用范围得到普及和扩展。研究领域内, 建

筑防水材料的检测方式持续优化, 传统的物理化学检测方式正向精准化和机械化方向转变, 慢慢达到更高的技术标准。红外光谱分析、电子显微镜分析以及高效渗透性测试这些方法, 显著提高了对材料微观结构和性能的掌握程度, 让材料研发和品质控制达到相当精确的水平。

1 建筑防水材料概述

1.1 建筑防水材料的分类与作用

建筑防水材料如今被大量用在现代建筑里面,



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



材料质量好不好直接关系到建筑结构能用多少年，还有安全方面有没有保障。依靠材料本身的特点、内部的组成成分以及实际使用的操作方法，可以把建筑防水材料分成沥青类、聚合物类和金属类这几大主要类别。沥青类材料防水能力很强，价格又便宜，受到很多工程项目的欢迎，常常被用在屋顶防水工程和地下工程项目里面。聚合物类防水材料抗风化能力很强，柔韧性表现也很优秀，非常适合用在结构设计复杂或者容易出现形变的建筑关键位置^[1]。金属类防水材料多被用在一些特殊的环境场所，使用的年限很长，防腐蚀能力表现得特别优秀。随着技术创新领域不断向前发展，复合型防水材料慢慢开始在市场上占据重要地位，例如高分子卷材产品和改性沥青卷材这些类别，直接让防水效果得到很大程度的提升。各种不同的防水材料对建筑工程有许多帮助，能有效阻止水分渗透，保护内部结构不被湿气损坏，提高建筑功能，增加使用年限，是确保质量的关键基础。

1.2 防水材料在现代建筑中的重要性

防水材料现代建筑中拥有非常重要的地位，主要作用就是阻止水分进入建筑物里面，保障建筑结构的安全性和居住环境的舒适度。建筑物常常可能遭受雨水、地下水以及潮湿环境的影响，如果水分对建筑材料导致腐蚀，就会引起混凝土内部钢筋腐蚀、墙体破裂、墙面漏水等一系列麻烦问题，严重影响建筑物的正常运用效果和长久结实年限。防水材料能够构造一层牢固结实的保护层，阻隔水分渗透建筑主体，保障内部结构不致受到损坏。现代建筑对实用功能和外观美观的要求愈加强，因此防水材料看似特别关键，成为工程设计中必需注重的重要环节。应用范围包括屋面、地下室、卫生间等常见区域，也拓展到桥梁、隧道等大型基础设施工程项目，牵涉更广各异的建筑工程类型。防水材料可以显著提升建筑工程的整体质量，延长建筑物的使用寿命，体现出不能取代的巨大价值，确保建筑物持久保持平稳运作状态，规避因水分问题造成的各种潜在风险和隐患^[2]。

1.3 建筑防水材料性能要求的演变

建筑防水材料的性能要求表现出了非常明显的演变方向。现代建筑设计的复杂程度和多样化需求越来越高，防水材料必须具备优秀的防水效果，同时还得满足使用寿命长、符合环保标准以及施工操作方便等多方面的条件。新型建筑风格要求材料能够应对极端天气状况和复杂的工程施工环境。性能评价标准已经从过去单纯的功能要求，转变为多方面的综合考核，尤其是在抵抗老化、防止开裂以及耐受化学腐蚀这些方面，提出了更加严格的标准，这给行业的技术研发带来了很大的推动作用。

2 传统防水材料检测技术

2.1 红外光谱分析的基本原理与应用

红外光谱分析为传统建筑防水材料检验之中的一种类的关键的技术，它的根本原理为运用物质分子对于红外光的吸纳特性，经由测量其吸纳光谱图用以解析材料的分子结构和化学组成。于建筑防水材料内，红外光谱分析可以准确辨别和量化材料中的功能基团及化学键，协助确认材料的成分和结构，因而指引材料性能的改良与改善。该技术使用普遍的，不单于新型防水材料的研发中展现核心作用，亦于现有材料的品质监管及衰老解析中获得广泛的应用。虽然红外光谱分析拥有较强的灵敏度和分辨率，然而其对样品制备需求较强，并且于繁杂体系中分析影响较多地。于实践中经常和别的分析技术联合运用，用提升检验结果的精确度和实用价值。

2.2 电子显微镜技术在材料检测中的作用

电子显微镜技术在建筑防水材料检测中发挥重要的作用，借助高分辨率的显微成像设备，可以清楚看到材料的微观结构细节，协助展现材料内部的结构特点和隐藏的缺陷问题，扫描电子显微镜 SEM 很适合用来探究材料表面的形状样貌以及粒子分布的具体情况，而透射电子显微镜 TEM 则适合用来察看材料内部晶体结构和分子排列的详细状况，这些功能为评估防水材料的微观特性供给了可信的科学依据，在实际应用中，

电子显微镜技术可以协助探究外界环境影响导致材料性能变化，还能察觉质量问题和磨损的具体原因，从而剖析出材料失效的根本机制^[3]。使用这项技术明显提升了检测效率，促进了建筑防水材料性能优化和质量控制方面的进步，依靠电子显微镜探究，防水材料的选择变得科学和精细，保障工程可靠性得到加强。

2.3 渗透性测试的方法与重要性

渗水性测试是一种特别重要的手段，用来测试防水材料的效能高低好坏，主要是靠检测防水材料能不能有效抵御水分或者液体渗入的水平，来判断防水效果到底行不行。经常用的测试方法有静止状态下的水压测试和流动状态下的水流渗入测试，这些方法可以很直观地展现出防水材料在真实使用环境中的防水能力高低强弱。检验的过程能够找出防水材料内部构造上存在的瑕疵和不足之处，同时还能优化防水材料的规划和设计指明方向，为建筑防水工程提供值得信赖的数据作为参考和依据，帮助提高建筑防水工程的整体品质，发挥至关重要的作用，确保工程安全稳定地运行。

3 防水材料检测技术的现代进展

3.1 高效渗透性测试的发展与创新

渗透性测试技术让防水材料检测领域实现了创新和改进。通过努力推动建筑防水性能的评价变得更加准确，效率也得到了提高，为整个行业发展注入了新的动力。新的测试方法使用优化后的渗透流量计进行精确控制，收集到非常详细的渗透性数据。采用尖端技术手段精确测量材料在不同压力环境下的渗透速度，提供科学的数据支持，真实反映材料在实际使用场景中的持久性和稳固性表现。针对材料微观结构的研究，结合渗透性分析和微观CT扫描的综合方式，让检测工作变得更加全面深入。通过多维度的数据分析技术，防水材料研发得到了可靠坚实的实验支持。在工程实际应用中，推广使用智能设备，完成渗透性测试的实时监控和数据远程传输，优化测试流程，让现场评价工作变得更加顺畅。满载革新

检测技术明晰展现精度即时性融合重要价值，提高建筑整体防水能力开辟崭新高效技术道路。这种技术助力材料检测更加精确迅捷，在实际工程里用智能设备即时监测数据，极大地优化了防水材料的质量和建筑的安全性能。

3.2 综合分析技术的新应用

把全面研究技术应用到防水材料领域，能够展现出非常突出的强项和革新的可能性。整合各种检测方法，包括红外光谱研究、拉曼光谱检测和电子显微技术，可以深入探索防水材料的微小结构、化学成分以及特性的改变。在材料探索过程中，利用这些技术来检验多组分复合防水材料的匹配程度，辨别不同成分之间的界面相互作用，还要测评材料在繁杂环境下的适用能力。这样的应用能够大大提高防水材料检测的准确度，明显减少单一检测方法带来的数据误差问题，同时也为高性能防水材料的研究和设计提供合理的基础^[4]。采用革新应用方式，建筑防水材料的选型和品质保证会得到显著优化，同时还能为工程实践和行业标准的制定提供重要指引。

3.3 智能化检测技术的兴起与应用

智能化检测技术的兴起给建筑防水材料的性能评估和质量监控带来了巨大的改变，这种技术利用物联网和人工智能构建的检测系统，可以随时随地收集大量数据并进行深入细致的分析，从而大大提高检测工作的效率和准确性，视觉识别、机器学习等先进技术被大范围应用到裂缝检测、材料老化分析等多个方面，有力支持了更高水平的机械化操作方式，智能化检测设备既轻便又可靠，使得在复杂的工程环境中进行质量管理时拥有了坚实的技术支持，也推动了建筑防水领域的先进化发展进入一个全新阶段。借助这些先进技术的广泛应用，建筑防水材料的质量得到了更加优质的保证，工程的安全性也有了很大的提升，整个行业的水平持续向前迈进，展现出非常广阔的发展前景和无限的可能性。

4 防水材料检测技术在工程实践中的应用

4.1 检测技术在质量控制中的实际作用

建筑防水材料的质量控制是建筑工程施工中一个必不可少的重要环节,检测技术从头到尾都起着特别关键的作用。依靠科学的方法来检测,可以对防水材料的各种性能数据进行全面细致的检查和评估,确保防水材料在实际使用中完全符合设计的要求和标准,在工程施工的实际操作中,红外光谱分析技术能够清楚地辨别出防水材料中含有哪些化学成分,帮助挑选出质量好,性能稳定可靠的防水材料,电子显微镜技术为分析材料的微小结构提供了很大的帮助,可以仔细查看材料内部有没有结构上的缺陷,从而让检测结果更加精确,渗透性测试专门用来评估材料的防水能力,确保材料能够达到防水的标准要求,各种检测技术的应用,搭建了一套高效率且值得信赖的质量管理体系,为建筑工程的防水施工提供了强有力的支持,降低了因材料问题引发渗漏事故的可能性。通过采取以上方法,可以很好地防止工程质量出现问题,确保建筑物能够长久安全地使用,保障整个建筑工程的整体质量保持稳定。

4.2 故障分析中检测技术的应用实例

建筑工程应用领域中,故障分析是保证防水材料性能和工程可靠性的关键环节,借助先进的检测设备,可以发现防水材料失效的根本原因以及问题出现的具体部位,红外光谱分析设备可以用来检测防水材料内部化学成分的变化,帮助搞清楚外界环境因素引起的材料老化或性能下降的具体情况,电子显微镜设备因为分辨能力极高,能够细致观察防水材料内部微小结构的变化,发现裂纹形成或者孔隙扩大的现象,解释故障发生的深层微观原因,渗透性测试方法用来准确分析防水材料的渗水路径和渗水速度,找到渗水问题的真正根源。在实际工程项目中,多种技术结合使用,可以快速锁定问题的位置,设计出合适的修复方案,为防水工程后期的维护和性能提升提供可靠帮助,确保工程质量得到提高,减少各种潜在风险和隐患,保障工程能够长期稳定运行,针对设备故障的表现进行详尽的深入研究,采用先进的检测技术明显提高了工程团队处理复杂难题的能力,保证了建筑物的使用寿命能持续很长

时间并且非常可靠。

4.3 提升建筑可靠性的案例分析

借助实际工程案例,某高层建筑由于防水层渗漏引发内部结构损伤。运用综合检测技术,借助红外光谱分析确认材料衰退因素,联合电子显微镜察看缺陷微观结构,应用渗透性测试测评防水性能。技术应用明显增强防水层质量,高效防止更深破坏,改善建筑整体可靠性,为类似工程给予技术参考。

5 未来发展方向与前景分析

5.1 检测技术精确度的持续提升

建筑防水材料检测技术的准确程度,立即确定了对材料性能评价是不是严格和工程质量可否获得管理,这一点格外关键。建筑工程对防水性能的需求愈发强,检测技术也在尽力寻求更强的准确水平^[5]。依靠高分辨率分析仪器和先进的计算方法,检测技术可以察觉材料内在的细微结构和性能变动,如此便能更优地改进材料的运用效果。开展材料检测的时候,数据的准确程度彻底依赖于设备性能是否充足优秀,一同也承受检测操作是否规范和环境是否稳定的极大作用。提升准确程度可以显著降低由于检测错误而导致的工程风险,也可为选择材料和拟定施工计划给予应当信任的依据。纳米技术和人工智能技术发展得非常快,检测技术有望实现实时监控和动态分析的功能,明显提升检测结果的可信度和实际用处,从而推动建筑防水技术在各个方面不断取得进步。

5.2 检测过程的自动化与智能化

检测过程走向自动化和智能化,已经变成建筑防水材料检测技术发展的一个重要目标。借助人工智能算法和自动化设备,检测的准确性和工作效率能够得到明显提升。自动化技术让样品处理和数据采集的整个流程都变得标准统一,降低了因为人为操作失误导致的结果误差。利用机器学习技术的智能算法,在数据分析中发挥了重要作用,可以迅速察觉出材料性能方面的缺陷,并且提前预测出可能会出现隐患。传感技术与物联网技术结合,让实时监控变成可能,在施工过

程中对防水材料的性能进行确认,提供了强有力的技术支持。以上提到的技术方法改善了整个检测流程,也为大型工程项目的检测需求找到了有效的解决办法,表明未来建筑行业智能化发展有着广阔前景。为了让检测结果更加精确,技术人员一直在完善设备的功能,争取让每一步操作都符合高标准要求,通过对比分析数据来保证结果值得信赖。这样的努力让行业持续向前迈进,也为保障建筑安全打下了坚实的基础。

5.3 面向可持续发展的创新技术探索

针对持久发展的创新技术研究,应该重视防水材料检测技术于资源节约和环保领域的融合创新。研制环保无害的检测试剂和方法,降低检测过程中的能源消耗和废弃物排放,满足环保需求。研究可再生能源带动便于携带检测设备,提升检测效率并减少环境负担。推进检测技术与循环经济理念整合,为了持久建筑材料的需求供给辅助,增进低碳建筑目标的完成。凭借多学科交错研究与技术迭代,为了建筑行业的绿色转型供给高效和稳定的检测方案。

结束语

本文针对建筑防水材料检测方法的研究,进行了详细的探讨,关注其进展状况以及实际工程项目中的具体应用情况,明确阐述了红外光谱分析,电子显微镜分析和高效渗透性测试等技术对提升材料质量管理和解决故障排查问题的重大意义,借助这项研究,为建筑防水材料的选择和应用供给科学依据,强化相关工程的技术支持基础,对促进建筑行业防水技术的持久提升拥有关键意义。期盼未来研究可以处理当前面临的问题,并在检测技术的发展上获得崭新的进展。

参考文献

- [1] 张瑛.讨论建筑防水材料检测方法[J].市场调查信息:综合版,2021,(06):0106-0106.
- [2] 曹智媛.建筑工程防水材料检测方法[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023,(05):0116-0119.
- [3] 陈丽,宋娟,王世洪.建筑常用防水材料检测方法分析[J].粘接,2022,(08):76-78.
- [4] 黄华.探讨建筑防水材料检测方法[J].建筑与装饰,2023,(20):196-198.
- [5] 许升.基于建筑工程防水材料检测方法的应用分析[J].中国建筑金属结构,2021,(07):112-113.

煤与矸石图像识别技术在选煤中的应用进展

刘 抗^{1,2}, 宋聪聪^{1,2}, 赵鹏艳^{1,2}

1.河南省科学院应用物理研究所有限公司, 河南郑州, 450000

2.河南省科学院, 河南郑州, 450000

摘要: 选煤作为煤炭清洁利用的关键核心环节, 煤和矸石能否实现精准分离, 直接影响着煤炭品质以及利用效率。传统的传统分离技术, 主要依靠人工操作或者物理手段完成, 传统方法存在分离效率低下、分离精度较差以及成本居高不下等问题。图像识别技术因其具备非接触式检测、实时性良好、智能化程度较高等一系列突出优势, 逐渐成为解决这一难题的重要技术途径。本文对煤与矸石图像识别技术发展进程进行系统梳理, 从图像采集与预处理、特征提取、识别模型构建三个不同维度, 深入剖析传统机器视觉技术和深度学习技术在实际应用过程中特点。依托选煤厂的实际应用事例, 对技术落地进程中的难题展开探究, 参考工业数据处理经验提出优化的方向, 从而为促进选煤行业智能化提升给予理论参考以及实践思路。

关键词: 煤与矸石; 图像识别; 选煤技术; 智能化分离

Application progress of coal and gangue image recognition technology in coal selection

Kang Liu^{1,2}, Congcong Song^{1,2}, Pengyan Zhao^{1,2}

1. Institute of Applied Physics Co., Ltd., Henan Academy of Sciences, Zhengzhou, Henan, 450000, China;

2. Henan Academy of Sciences, Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract: Coal selection, as a key core link in the clean and efficient use of coal, whether coal and gangue can be accurately separated affects the quality and utilization efficiency of coal. The traditional separation technology mainly relies on manual operation or physical means to complete, and the traditional method has problems such as low separation efficiency, separation accuracy, and high cost. Image recognition technology has gradually become an important technical approach to solve this problem because of its outstanding advantages such as non-contact detection, good realtime performance, and high degree of intelligence. This paper systematically sorts out the development process of coal and gangue image recognition technology, analyzes the characteristics of traditional machine vision technology and learning technology in the actual application process from three different dimensions of image acquisition and preprocessing, feature extraction, and recognition model construction. Based on the actual application examples of coal preparation plants this paper explores the difficulties in the process of technology implementation, and proposes the direction of optimization with reference to the experience of industrial data processing, so as to provide theoretical reference and ideas for promoting the intelligent improvement of the coal selection industry.

Keywords: Coal and gangue; Image recognition; Coal selection technology; Intelligent



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1 引言

我国煤炭资源颇为丰富，原煤含有的矸石会导致煤炭价值出现降低情况，使得燃烧过程中的污染程度有所增加，同时会加大设备损耗程度。在选煤环节中，若是煤矸分离的效率每提高1%，能够明显减少后续加工时所消耗能量以及环保成本。传统分离方式显现出较为突出弊病：人工手选方式对经验有较强依赖性，一旦操作人员感到疲劳，容易产生超过15%的别误差；如重介选、跳汰选等物理方法，对于细粒级物料分离效果欠佳，还存在药剂消耗以及水资源浪费的问题。在智能制造的背景下，图像识别技术借助捕捉煤炭和矸石在颜色、纹理等方面呈现出视觉差异，达成精准识别的目的，与选煤行业的发展需要相契合。尽管此项技术在实验室环境中取得一定突破，在复杂工业场景中，其稳定性还有待进一步提高。对该技术的应用进展进行梳理，并且明确其优化方向，对于推动选煤行业的革新有重要意义。

2 煤与矸石图像识别技术核心体系

2.1 图像采集与预处理技术

识别技术的根基在于图像采集，要对选煤场景特性搭建稳定成像体系。鉴于选煤厂存在粉尘浓厚、光线起伏不定、物料移动速度飞快等状况，工业级别的采集设备一般运用高分辨率的CCD相机搭配LED条形光源，借助防护罩以及吹扫装置确保设备平稳运转。在一些场景中，还需要配备红外相机，以此捕捉煤和矸石在热辐射方面存在的不同之处。在图像预处理环节，参考工业数据降噪的方法，借助一系列算法来消除会造成干扰的信息。比如，通过运用高斯滤波的方式，去除因粉尘引发的高斯噪声；利用中值滤波，抑制

物料冲击时产生椒盐噪声。通过进行直方图均衡化操作，增强煤和矸石间的灰度对比度，从而处理光线分布不均匀问题，结合形态学运算，对图像中存在空洞进行填补，为后续开展特征提取工作奠定基础。预处理的质量会直接对识别精准度产生影响，经过优化之后的预处理流程，让后续识别过程中产生的误差降低5%-8%^[1]。

2.2 特征提取技术发展情况

特征提取作为区分煤和矸石的关键环节，其发展历程是从手工特征逐步演变为深度特征。传统的手工特征提取工作，依据煤和矸石在视觉方面呈现出的不同之处开展。就颜色特征而言，是运用RGB、HSV等多种颜色空间内的均值以及方差对其进行描述；对于纹理特征，利用灰度共生矩阵、LBP算子捕捉表面粗糙程度的不同；而形态特征则是提取面积、周长、圆弧度等具体参数，以此对颗粒的形态加以区分。此类别的方法具备计算量不大、实时性较高的特点，在面对光照出现变化以及物料形态产生变异的情况时，其适应能力欠佳，在复杂工作状况下，精准度会有为明显降低。深度学习技术的运用达成特征提取的自动化，卷积神经网络（CNN）借助卷积层和池化层能够自动对煤和矸石的深层次特征进行学习，不需要人工去设计特征参数。例如，Alex Net、Res Net等模型能够捕捉到肉眼较难察觉细微纹理以及灰度差别，并且与迁移学习相结合，还能处理选煤场景中样本数量不足问题，可显著增强复杂工作状况下特征提取稳健性。

2.3 识别模型构建与优化

分离效果直接取决于识别模型的性能，由此形成深度学习与传统机器学习这两大技术路线。在传统机器学习模型中，BP神经网络、随机森林、支持向量机（SVM）的应用相对广泛，是将提取

基金项目：

河南省科学院科技创新平台培育与提升项目（241007020）

河南省科学院科技创新平台培育与提升项目（20251007003）

出来的手工特征输入到模型中开展分类训练工作。其中, SVM 在样本数量较少的情形下有着出色的表现, 其识别精度能够达到 85%以上, 在处理数据量庞大的数据时效率会比较低。深度学习模型依靠端到端的识别长处, 成为当下研究的热门焦点。CNN 模型借助特征提取和分类的一体化规划, 降低因人为介入而产生的误差, 在公开的煤和矸石数据集上, 其识别的精准度已经超过 98%。对于选煤情形中物料相互粘连、彼此重叠的问题, 如 YOLO、FasterR-CNN 等目标检测模型达成多个目标同时进行识别以及定位效果, 给后续的自动化分离提供精确的坐标信息。参考工业数据处理中的融合理念, 搭建将 CNN 与传统机器学习相联合的混合模型, 在确保精准程度的同时, 降低模型复杂程度, 达成选煤厂对实时性要求。

3 选煤过程中图像识别技术应用场景以及实践情况

3.1 块煤分选场景的应用

图像识别技术应用最为成熟的场景当属块煤分选, 其主要用于实现粒度在 50-300mm 的块煤和矸石的分离操作。一般而言, 选煤厂会在皮带运输机的上方安装图像采集系统, 对输送过程中的物料图像进行实时拍摄, 识别模型借助边缘计算设备能够迅速完成分类判断工作, 控制气动执行机构又或者机械推杆, 将矸石从煤流当中剔除出去。某家选煤厂在应用基于 YOLOv5 的块煤分选系统后, 识别精准度达到 96.5%, 处理能力大幅提升至每小时 120 吨, 和人工手选的效率相比, 提升 5 倍还多, 同时矸石带煤率从原本的 8% 下降到 1.5%, 每年创造的经济效益超过一千万元。在这一场景中, 技术难点体现于物料以较快速度运动所造成的图像模糊现象, 借助运用高速相机以及采用运动模糊补偿算法, 能够有效地解决这一难题, 进而保障识别的精准度与处理的效率达成平衡^[2]。

3.2 末煤以及细粒级分选取得的突破性成果

在行业领域中, 对末煤 (其粒度范围为 0.5-50mm) 以及细粒级物料 (粒度小于 0.5mm) 进行分选, 这是个颇具挑战性的难题, 传统的分选技术在分离效率方面表现欠佳, 而图像识别技术借助将显微成像和深度学习相结合, 达成突破。针对末煤的分选工作, 运用高倍的工业相机去捕捉物料表面微观的纹理特征, 进而构建基于 ResNet 识别模型, 有效解决末煤和矸石存在的粒度较小, 视觉上差异不显著的问题。在某个实际应用案例中, 末煤分选精度达到 92%, 与重介选相比提升 10%。针对细粒级的物料, 运用显微图像采集的技术来获取颗粒的形态以及灰度特征, 结合 U-Net 等的语义分割模型, 达成像素级的识别, 精确地将细粒煤和矸石颗粒区分开来, 从而为浮选工艺的优化给予指导。借助图像识别技术对细粒级的分选流程予以优化, 让精煤的产率提高 2%到 3%, 明显地增进选煤厂的经济效益。

3.3 智能分选系统的集成应用

图像识别技术已经从仅具备单一识别功能向智能分选系统集成方向演进, 构建“图像采集-识别判断-执行分离-数据反馈”的闭环式系统。此系统不但涵盖处于核心地位的识别模块, 而且还融合设备状态监测、数据统计分析、故障预警等一系列功能, 借助工业互联网平台达成数据实时上传以及远程监控。比如, 某智能分选系统, 能够通过对识别数据和分选效果之间的关联情况进行分析, 自行对相机的各项参数以及识别模型的阈值加以调整, 从而去适应不同煤层在煤质方面所产生的变化。该系统结合大数据分析技术对设备可能出现的故障进行预测, 将设备的维护方式由“事后维修”转变为“预防性维护”, 使得设备的停机时间降低超过 30%。集成式应用模式达成选煤流程全方位的智能化运作, 促使选煤厂从传统的生产形态向智慧型工厂转变。

4 技术应用过程中的核心问题以及优化趋向

4.1 关于核心技术瓶颈分析

图像识别技术在选煤领域的应用成果颇为显著, 依旧面临三项主要的技术阻碍。其一, 对复杂工况适应能力欠佳, 选煤厂内存在的粉尘、水雾以及光线的不稳定波动等环境因素, 容易造成图像质量的降低, 进而使得识别精度产生较大幅度的波动; 物料出现的粘连、相互重叠以及表面被污染等状况, 同样会对特征的提取形成干扰, 从而降低识别的准确程度。其二, 样本数据集存在不完善的情况, 不同矿区的煤和矸石在视觉特征上存在较大的差异, 现有的公开数据集所覆盖的范围具有一定的局限性, 当模型进行迁移应用时, 需要重新对大量的样本进行标注, 增加技术实际落地成本。第三方面的难题在于平衡实时性与精度, 深度学习模型虽然具备较高的精度, 其计算量颇为庞大, 当对高帧率图像进行处理时, 容易出现延迟的状况, 因而难以契合选煤厂高速生产实际需求^[3]。

4.2 立足于工业场景优化策略

对于上述所面临瓶颈状况, 综合工业技术在实际应用当中积累经验, 提出针对性的优化策略。在工况适应能力方面, 参考工业设备防护设计的相关思路, 研发出具备防尘防水功能的图像采集装置, 同时与自适应光源调节系统相配合, 以此来降低外界环境因素所造成的干扰。运用图像增强算法以及语义分割技术, 处理物料出现粘连和重叠时的识别难题, 增强在复杂场景之下系统的稳定性能。在样本和模型的优化方面, 搭建多矿区煤与矸石的图像数据库, 引入联邦学习技术手段, 达成多个工厂之间数据的共享以及模型的联合训练, 防止数据隐私出现泄露的情况。借助模型轻量化技术, 例如剪枝、量化、知识蒸馏等方法, 在确保模型精度的基础上减少模型的计算量, 满足系统实时性的要求。在系统集成领域, 将边缘计算架构与云计算架构相融合, 边缘设备承担实时识别以及控制的任务, 云端达成数据存储以及模型的优化更新, 构建具备“边云协同”特性

的智能分选系统^[4]。

4.3 政策与产业支撑保障

技术达成规模化应用难以脱离政策引导以及产业支撑。从政策方面来看, 应当将煤矸石图像识别技术归入煤炭清洁高效利用技术的推广清单中, 对开展研发企业以及进行应用的单位给予财政补贴、税收减免等优惠政策。构建行业技术标准, 对图像采集设备的性能、识别精度的指标、系统集成的要求等加以规范, 以此推动技术向标准化的方向发展。在产业方面, 要强化产学研的协同创新, 激励高校、科研机构和选煤企业展开合作, 针对特定矿区的实际工况开展具有定制性质技术研发工作。培育具备专业能力的技术服务团队, 为选煤厂提供包含设备安装、调试、运维以及人员培训等内容的一体化服务, 从而降低技术应用的门槛。与此同时, 构建行业沟通的平台, 宣扬具有领先性的应用实例, 推动技术资源的共享以及经验的相互交流。

5 未来发展趋势展望

5.1 多技术融合发展

未来煤和矸石的图像识别技术会向多种技术融合的方向迈进, 提高综合识别的能力。其一, 会和光谱识别、X射线识别等技术相融合, 弥补单纯依靠图像识别存在的局限, 借助多源数据的融合达成更为精确的成分与属性判定。其二, 会和物联网以及大数据技术相结合, 达成分选过程中数据的采集与分析, 依靠数据的驱动优化识别模型以及分选参数。其三, 会与机器人技术进行深度整合, 研发出具备自主移动、智能识别、精准抓取功能的分选机器人, 以适应复杂且多变的分选场景, 进一步提升分选的自动化程度。

5.2 智能化和绿色化实现协同式推进

在“双碳”目标的引领下, 技术发展会同时顾及智能化以及绿色化需求。图像识别技术借助提高分选的精准程度, 削减矸石给后续加工环节带来的能源消耗以及污染, 直接促进煤炭的清洁

使用。智能分选系统的运用能够优化设备的运行参数,降低选煤厂的整体能源消耗,达成节能降耗的目的。与此同时,以图像识别为基础的智能化管理系统能够实现煤炭资源的精确计量以及品质追溯,为煤炭资源的高效运用提供数据方面的支持,推动选煤行业向“资源高效利用+环境友好”的方向迈进,助力煤炭行业达成碳达峰、碳中和的目标^[5]。

6 结论

煤和矸石图像识别技术依靠其精确、高效且智能的特点,已成为选煤行业技术革新的关键支柱。该技术从最初的人工特征提取以及传统机器学习方法,逐步发展到当下以深度学习为核心的智能识别体系,在块煤挑选、末煤分离等实际场景得到大规模的运用,很大程度上提高选煤的效率以及煤炭的质量。虽然该项技术在实际应用过程中,依旧面临对复杂工作状况适应能力欠佳、

可用样本数量不足、实时性和精准度难以同时兼顾等难题,借助优化设备防护措施、精简模型结构、融合多种技术等手段,以及政策层面和产业协同支持,这些阻碍技术发展瓶颈逐渐攻克。

参考文献

- [1] 赵亮.基于深度学习的煤矸石图像识别方法研究[D].安徽理工大学,2023.
- [2] 陈彪.基于深度学习的煤矸石图像识别研究[D].中国矿业大学,2023.
- [3] 陈佳鑫,赵国贞,程伟,等.基于动态称量和图像识别技术的井下煤矸石智能分选装置研发[J].矿业研究与开发,2023,43(02):178-183.
- [4] 郜亚松.基于集成学习的煤和矸石图像识别技术研究与应用[J].电脑知识与技术,2021,17(10):197-199.
- [5] 梁澈.粗糙集理论在煤矸石图像识别技术中的应用[D].西安科技大学,2010.

doi 10.12479/questpress-jzkxygcyj.20250209

数字化转型背景下工程项目管理模式创新与实践研究

尚生平

固原市原州区住房和城乡建设和交通局，宁夏固原，756000

摘要：在数字化技术深度渗透各行各业的背景下，工程项目管理正从传统“经验驱动、分散管控”模式向“数据驱动、协同智能”模式转型。传统模式下，工程项目存在信息孤岛、流程割裂、管控滞后等问题，难以适配现代工程“规模扩大化、系统复杂化、参与方多元化”的特征。本文基于数字化转型的政策导向与行业需求，首先剖析传统工程项目管理模式的核心痛点及数字化技术的适配价值；其次从管理理念、流程架构、技术工具三个维度，构建“数据驱动、协同互联、智能管控”的创新管理模式，明确数据整合、流程再造、智能决策等关键实施路径；最后结合实际工程案例，验证该创新模式在提升管理效率、保障工程质量、控制成本进度方面的实践效果。研究表明，数字化转型可推动工程项目管理实现全要素、全流程、全参与方的协同优化，为工程项目管理高质量发展提供系统性解决方案。

关键词：数字化转型；工程项目管理；模式创新；数据驱动；协同管理

Innovation and Practice Research on Engineering Project Management Model under the Background of Digital Transformation

Shengping Shang

Urban and Rural Development and Transportation Bureau of Yuanzhou District, Guyuan City, Guyuan, Ningxia, 756000, China

Abstract: Against the backdrop of deep penetration of digital technology in various industries, engineering project management is transforming from the traditional "experience-driven decentralized control" model to a "data-driven, collaborative intelligence" model. Under the traditional model, engineering projects suffer from information silos, fragmented processes, and lagging, making it difficult to adapt to the characteristics of modern engineering, such as "expanding scale, complex systems, and diversified participants". Based on the policy orientation and industry for digital transformation, this paper first analyzes the core pain points of traditional engineering project management and the value of digital technology fitting. Then, from the three dimensions of management philosophy, process architecture, and technical tools, it constructs an innovative management model of "data-driven, collaborative interconnection, and intelligent control", clarifying the key implementation paths such as integration, process reengineering, and intelligent decision-making. Finally, combined with actual engineering cases, it verifies the practical effects of this innovative model in improving management efficiency, ensuring quality, and controlling cost and progress. The study shows that digital transformation can promote the collaborative optimization of all elements, all processes, and all participants in engineering project management, and provide solutions for high-quality development of engineering project management.

Keywords: Digital Transformation; Engineering Project Management; Model Innovation; Data-Driven; Collaborative



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1 引言

工程项目作为基础设施建设与产业发展的核心载体，其管理质量直接关系投资效益、建设效率与运营价值。随着我国新型城镇化与新基建战略的推进，工程项目呈现“技术集成化、周期紧凑化、风险复杂化”的新特征，传统管理模式面临严峻挑战——依赖人工经验的决策方式、纸质化的信息传递路径、分散化的管控机制，导致工程建设过程中信息不对称、流程衔接不畅、风险响应滞后等问题频发，不仅影响工程建设目标的实现，还制约行业整体发展质量。

2 传统工程项目管理模式的痛点与数字化转型的适配价值

2.1 传统工程项目管理模式的核心痛点

传统工程项目管理以“线性流程、分散管控、经验决策”为典型特征，在实际应用中暴露出四方面突出问题：信息孤岛显著，协同效率低下：工程项目涉及建设、设计、施工、监理、勘察等多参与方，各参与方多采用独立的管理系统与数据格式，信息传递依赖纸质文件或线下会议，导致“设计数据无法直接对接施工需求”“施工进度信息难以及时反馈至建设单位”，形成信息孤岛。例如，设计单位输出的二维图纸需经施工单位二次解读，易因信息偏差引发施工返工，而施工中的现场变更信息也难以快速同步至设计与监理单位，协同效率大幅降低。

流程割裂严重，管控链条断裂：传统模式将工程项目划分为“决策-设计-施工-运维”独立阶段，各阶段管理目标与流程相对割裂，缺乏全周期统筹。设计阶段未充分考虑施工可行性与运维便利性，导致施工阶段变更频繁；施工阶段未建立与运维阶段的信息衔接机制，竣工后交付的资料难以支撑后续运维管理，形成“各管一段”的管控断层，无法实现工程项目全生命周期价值最大化。决策依赖经验，风险管控滞后：传统管理中，进度、成本、质量等核心指标的管控多依赖管理人员的过往经验，缺乏数据支撑的量化分析。

例如，进度计划编制基于同类工程经验，未结合当前工程的资源配置、技术难度等实际情况，易出现工期偏差；质量与安全风险多通过事后检查发现，无法提前预判与实时预警，导致风险处置陷入“被动应对”的困境。资源配置粗放，管理效率偏低：传统模式下，人力、材料、设备等资源的调配依赖人工统计与协调，缺乏动态优化机制。材料采购计划未与施工进度精准匹配，易出现材料积压或短缺；施工人员排班未结合工序需求，导致人力浪费或窝工；设备调度缺乏实时监控，利用率难以提升，最终造成资源配置效率低下，增加工程建设成本。

2.2 数字化转型对工程项目管理的适配价值

数字化转型通过技术融合与管理重构，精准匹配工程项目管理“协同化、全周期、精细化”的需求，其适配价值主要体现在四个维度：打破信息孤岛，实现协同互联：数字化技术可构建统一的工程项目管理平台，整合各参与方的管理系统与数据资源，实现信息实时共享与双向流通。例如，基于BIM技术构建的三维模型可承载设计、施工、运维全阶段数据，设计单位、施工单位、运维单位可在同一平台获取所需信息，避免信息偏差与传递延迟；物联网传感器可实时采集施工现场的人员、设备、材料数据，同步至管理平台，确保各参与方掌握实时工程动态。重构管理流程，实现全周期管控：数字化转型推动工程项目管理从“阶段割裂”向“全周期统筹”转变。通过数字化平台将决策、设计、施工、运维各阶段流程串联，设计阶段可嵌入施工与运维需求参数，施工阶段可同步积累运维所需数据，运维阶段可反馈数据至后续工程优化，形成“设计-施工-运维”闭环管理，实现工程项目全生命周期价值最大化。驱动数据决策，实现智能管控：数字化技术可将工程项目管理的各类信息转化为数据资产，通过大数据分析 with 人工智能算法实现量化决策与风险预警。例如，基于历史工程数据与当前工程参数，AI算法可自动生成优化的进度计划与资源配置方案；实时采集的质量检测数据可通过数据分析模型识别潜在质量风险，提前发出预警，推动管

理决策从“经验驱动”向“数据驱动”转型。优化资源配置,实现精细管理:数字化工具可对工程项目的人力、材料、设备等资源进行动态监控与智能调配。通过物联网设备跟踪材料运输与使用情况,结合施工进度自动调整采购计划;利用人员定位技术与工序需求匹配,优化人员排班;通过设备物联网监控设备运行状态与使用率,合理安排调度与维护,提升资源配置效率,降低工程成本。

3 数字化转型背景下工程项目管理模式创新框架

基于数字化技术的核心优势与工程项目管理的实际需求,从“理念-流程-技术”三个维度构建数字化转型背景下工程项目管理创新模式,实现管理模式的系统性重构。

3.1 管理理念创新:从“经验驱动”到“数据驱动”

数字化转型首先推动工程项目管理理念的根本性转变,核心是建立“数据驱动”的管理思维:数据资产化理念:将工程项目全周期产生的设计数据、施工数据、质量数据、成本数据等视为核心资产,通过标准化的数据采集、存储、分析流程,挖掘数据价值,为管理决策提供支撑。例如,通过分析历史工程的成本数据与质量数据,建立成本-质量关联模型,为当前工程的成本控制与质量管控提供量化依据。全周期价值理念:摒弃传统“重建设、轻运维”的理念,以工程项目全生命周期价值最大化为目标,在设计阶段即考虑施工便利性与运维经济性,在施工阶段同步积累运维数据,在运维阶段反馈数据优化后续工程设计,实现“建设-运维”协同优化,提升工程项目长期价值。协同共赢理念:打破传统“各参与方独立管控”的思维,构建“多参与方协同共赢”的管理格局。通过数字化平台建立各参与方的利益共享与责任共担机制,明确各方数据权责与协同流程,推动设计、施工、监理、建设等参与方从“被动配合”向“主动协同”转变,形成管理合力。

3.2 管理流程创新:从“阶段割裂”到“全流程

协同”

基于数字化平台重构工程项目管理流程,实现“决策-设计-施工-运维”全流程协同优化,分为四个关键环节:决策阶段:

3.2.1 数字化可行性分析

(1)利用大数据技术收集项目所在地的地质、气候、政策、市场等数据,构建项目可行性分析模型,量化评估项目投资效益、建设风险与环境影响;

(2)基于BIM技术构建项目概念模型,直观呈现项目规模、布局与技术方,辅助建设单位与决策部门快速达成决策共识;

(3)通过数字化平台开展多方论证,邀请设计、施工、运维专家在线参与决策讨论,结合数据与模型提出优化建议,提升决策科学性。

3.2.2 设计阶段:数字化协同设计

(1)采用BIM技术开展多专业协同设计,建筑、结构、机电、给排水等专业在同一三维模型中开展设计工作,实时检测专业间的碰撞冲突,提前优化设计方案;

(2)嵌入施工与运维需求参数,在设计模型中添加施工工艺要求、材料性能标准、运维检修空间等参数,确保设计方案适配后续阶段需求;

(3)通过数字化平台实现设计方案在线评审,监理单位、施工单位可直接在模型上标注意见,设计单位实时修改,缩短评审周期,提升设计质量。

3.2.3 施工阶段:数字化智能管控

(1)进度管控:将BIM模型与施工进度计划关联,生成可视化进度模型,实时对比计划进度与实际进度,结合AI算法分析偏差原因,自动提出调整方案;

(2)质量管控:利用物联网传感器(如钢筋扫描仪、混凝土强度检测仪)实时采集质量数据,上传至数字化平台,通过数据分析模型识别质量隐患,及时预警并跟踪整改;

(3)安全管控:通过人员定位技术、视频监控设备、环境传感器实时监测施工现场的人员位置、安全行为、环境风险(如瓦斯浓度、基坑变

形),发现违规行为或安全隐患时自动报警,确保施工安全;

(4)成本管控:基于数字化平台实现工程量自动计算与成本实时核算,设计变更或现场签证信息同步更新至成本模块,自动计算成本变化,避免成本超支。

3.2.4 运维阶段:数字化智慧运维

(1)基于竣工 BIM 模型构建运维管理平台,整合设备参数、维护记录、能耗数据等信息,实现设备全生命周期管理;

(2)利用物联网传感器实时监测建筑设备运行状态(如空调、电梯、给排水系统),预测设备故障并自动发出维护提醒,减少设备停机时间;

(3)通过大数据分析建筑能耗数据,优化能源使用方案,降低运维成本;同时,将运维过程中发现的问题与优化建议反馈至设计与施工单位,为后续工程项目优化提供数据支持。

3.3 技术工具创新:构建“多技术融合”的支撑体系

数字化转型依赖多技术融合应用,构建适配工程项目管理需求的技术支撑体系,核心包括四类技术工具:数据整合工具:以 BIM 技术为核心,整合 GIS(地理信息系统)、物联网数据,构建“BIM+GIS+物联网”的三维可视化数据模型,承载工程项目全周期的几何信息、属性信息与动态数据,实现数据“一模型承载、全阶段共享”;协同管理工具:搭建云端工程项目管理平台,集成协同办公、流程审批、文档管理等功能,支持多参与方在线协作,实现设计变更审批、进度汇报、质量验收等流程数字化,打破时空限制;智能分析工具:运用大数据分析 with 人工智能算法,开发进度优化、成本预测、风险预警等模型,基于实时与历史数据生成量化分析结果,辅助管理决策;例如,进度优化模型可结合资源配置与工序逻辑,自动生成最优施工顺序;现场管控工具:利用移动终端(手机、平板)、物联网设备(传感器、定位标签、无人机)实现施工现场数据实时采集与交互,管理人员通过移动终端查看实时工程数据、审批流程、发送指令,施工人员

通过终端接收任务、上传施工记录,提升现场管控效率。

4 结论

数字化转型正在深刻重构工程项目管理的理念、流程与工具,通过打破信息孤岛、重构全周期流程、驱动数据决策、优化资源配置,有效解决传统模式的痛点,推动工程项目管理向“协同化、智能化、精细化”转型。本文构建的“理念-流程-技术”创新框架,为数字化转型背景下工程项目管理模式创新提供了系统性思路,案例实践也验证了该模式的可行性与有效性

未来,工程项目管理的数字化转型可从三个方向深化:一是加强技术融合深度,推动 BIM、物联网、人工智能、元宇宙等技术的一体化应用,例如基于元宇宙构建工程项目虚拟孪生体,实现虚拟仿真与现实管控的实时联动;二是完善数字化标准体系,针对工程项目管理的数据格式、协同流程、技术应用制定统一标准,提升行业数字化转型的规范性;三是培育数字化人才队伍,加强管理人员的数字化技术与数据思维培训,为数字化转型提供人才支撑。随着数字化技术的持续发展与行业应用的不断深化,工程项目管理将实现更高质量、更高效益、更可持续的发展,为我国基础设施建设与新基建战略的推进提供有力保障。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院.“十四五”数字经济发展规划[Z].2021.
- [2] 住房和城乡建设部.关于推进建筑业数字化发展的指导意见[Z].2022.
- [3] 王要武,吴宇迪.数字化转型背景下工程项目管理模式创新研究[J].土木工程学报,2020,53(07):113-121.
- [4] 刘贵应,张仕廉.基于 BIM 与物联网的工程项目协同管理模式研究[J].工程管理学报,2019,33(02):1-5.
- [5] 李慧,张伟.数字化转型驱动的工程项目全生命周期管理模式实践[J].施工技术,2022,51(14):189-193.



装配式建筑中的BIM技术的运用

唐俊, 蒋世林

武昌理工学院智能建造学院, 湖北武汉, 430000

摘要: 本文系统研究了建筑信息模型 (BIM) 技术在装配式建筑全生命周期的应用价值与实施路径。研究表明, BIM 技术通过三维参数化建模、多专业协同设计和数字化仿真, 有效解决了装配式建筑在设计协调、构件生产、现场装配和运维管理中的关键问题。研究显示, BIM 技术在典型项目中可降低施工成本 8%-12%, 缩短工期 15%-20%, 减少设计变更 60% 以上。文章结合港珠澳大桥、火神山医院等典型案例, 分析了 BIM 技术在碰撞检测、虚拟预拼装和构件追踪中的具体应用, 同时探讨了当前存在的技术标准不统一、协同机制缺乏等挑战, 并提出建立全产业链 BIM 协同平台的未来发展路径。

关键词: BIM 技术; 装配式建筑; 三维参数化建模; 多专业协同设计; 数字化仿真

Application of BIM Technology in Prefabricated Buildings

Jun Tang, Shilin Jiang

School of Intelligent Construction, Wuchang Institute of Technology, Wuhan Hubei 430000, China

Abstract: This paper systematically investigates the application value and implementation pathways of Building Information Modeling (BIM) technology throughout the entire lifecycle of prefabricated buildings. The research indicates that BIM technology effectively addresses key issues in prefabricated construction, such as design coordination, component production, on-site assembly, and operation and maintenance management, through 3D parametric modeling, multi-disciplinary collaborative design, and digital simulation. The study shows that in typical projects, BIM technology can reduce construction costs by 8%-12%, shorten project timelines by 15%-20%, and decrease design changes by over 60%. By examining representative case studies like the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge and the Huoshenshan Hospital, the paper analyzes specific applications of BIM technology in clash detection, virtual pre-assembly, and component tracking. Furthermore, it discusses existing challenges such as the lack of unified technical standards and collaborative mechanisms. Future development pathways, including establishing a BIM collaborative platform encompassing the entire industry chain, are proposed.

Keywords: BIM Technology; Prefabricated Buildings; 3D Parametric Modeling; Multi-disciplinary Collaborative Design; Digital Simulation

引言

建筑产业现代化正在经历从粗放式施工向生产工业化的革命性改变, 装配式建筑凭借其标准

化设计、工厂化生产和装配化施工的特性, 成为促进建筑业转型升级的关键道路。据统计, 2022 年我国新开工装配式建筑占比已经达到 25% 以上, 一部分示范城市如泰安市的装配式建筑占比更



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



是高达其 99%^[1-2]。即使如此，装配式建筑在快速发展过程中也面临着诸多挑战：设计变更得频繁、构件错漏缺失、现场装配偏差等问题非常严重地制约了其质量与效率优点的使用。

建筑信息集成与可视化协同的核心工具——BIM 技术，为装配式建筑提供了全新的，与传统不同的解决方案。BIM 不仅仅是一种三维建模技术，更是一种贯穿建筑始终的信息管理方法，其可视化、协调性、便利性、模拟性和优化性等特点与装配式建筑工业化建造需求有着极高的契合度。本研究深度探索了国内外实践案例，并基于案例系统分析 BIM 技术在装配式建筑设计、生产、施工、安装及运维各阶段的应用模式，数据化评估其实施效果，并针对现有的一些挑战提出应对策略，为推动装配式建筑高质量发展提供科学理论参考和实践指导。

1 BIM技术与装配式建筑的融合基础

1.1 技术互补性分析

装配式建筑的核心特征是将传统现场浇筑的离散化作业转换为在工厂进行预制与现场实地组装的工业化模式，这一转变大大提高了设计精度、构件匹配度和施工协调性的要求。而 BIM 技术恰好能很好地填补这一需求缺口，通过数字化建模和信息集成为装配式建筑提供了技术支撑。BIM

模型参数化设计能力使构件尺寸、材质属性等数据变更可自动同步到所有关联视图，确保“一处修改，处处更新”，大幅减少了设计误差。例如在菏泽商住项目中，利用 Revit 软件建立的参数化构件库，使设计效率提升 40%，构件图纸错误率降低 75%^[3-4]。

BIM 技术的协同平台特性解决了装配式建筑多专业协调难题。传统装配式设计中，建筑、结构、机电各专业常因沟通不畅导致构件冲突，而 BIM 通过云端共享模型和实时碰撞检测，使结构预埋件与机电管线冲突在设计阶段即可被发现和解决。港珠澳大桥项目实践表明，BIM 协同设计使施工阶段设计变更减少 82%，返工成本降低 67%^[5]。

1.2 信息协同的内在关联

装配式建筑的产业链分离特征（设计、生产、施工分属不同主体）导致信息割裂，而 BIM 技术通过统一信息模型实现了全流程数据贯通。每个预制构件在 BIM 模型中被赋予唯一 ID 标识，关联其设计参数、生产工艺、运输状态和安装位置等全生命周期数据。武汉火神山医院建设中，通过基于 BIM 的 RFID 技术对 3290 个箱式房构件进行全程追踪^[5]，实现“模型构件”与“物理构件”的精确对应，使现场安装效率提高 50%以上。

表 1 传统建造模式与 BIM 技术支持下的装配式建造模式对比

要素	传统建造模式	BIM 技术支持模式
设计方式	二维平面设计，专业分离	三维协同设计，多专业集成
信息传递	纸质文档，离散碎片化	数字模型，连续一体化
生产过程	凭经验下料，误差率高	数控加工，精准成型
施工组织	现场协调，问题后置	虚拟建造，问题前置
质量控制	事后检测，整改困难	全过程监控，实时纠偏

2 BIM在装配式建筑设计阶段的应用

2.1 参数化构件库与协同设计

BIM 技术在装配式建筑设计阶段的首要应用

是建立标准化构件库^[1-2]，这是实现建筑工业化的基础。构件库采用参数化设计方法，通过调整关键尺寸参数即可生成系列化构件，大幅提高设计复用率。泰安市在装配式建筑推广中，建立了包

含 12 大类、236 小类的本地化预制构件库，涵盖楼板、楼梯、阳台等常用部件，使新项目设计周期缩短 35%。

基于 BIM 的多专业协同设计平台彻底改变了传统串行设计模式。在“中国尊”超高层项目中，建筑、结构、机电等 20 余个专业团队在统一

BIM 模型上并行作业^[3, 6]，通过云端实时同步设计数据。项目采用“中心文件工作集”模式，各专业设计师可实时查看其他专业的修改，系统自动检测并提示空间冲突。统计显示，该项目通过协同设计解决潜在冲突点 3, 200 余处，减少施工阶段设计变更 1, 580 项。

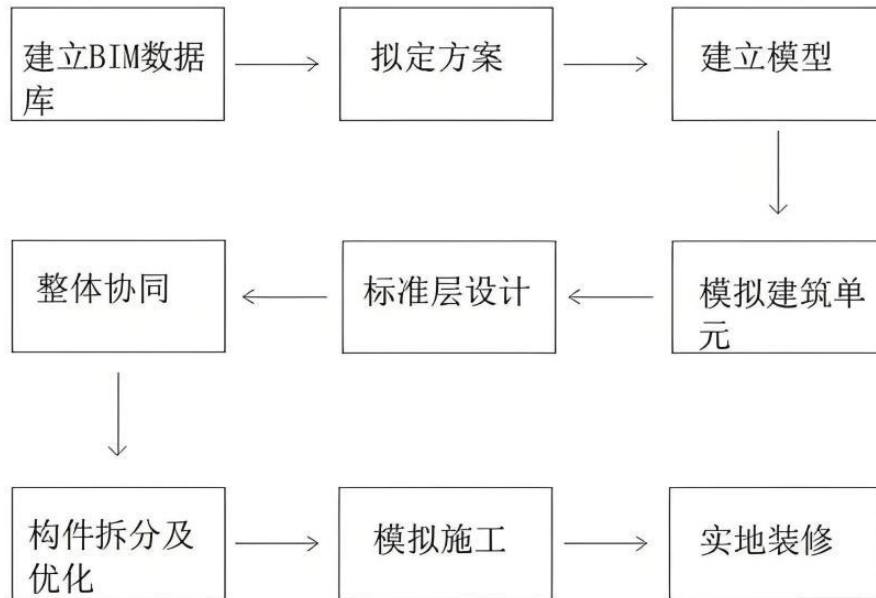


图 1 装配式建筑 BIM 协同设计工作流程

注：该图展示基于 BIM 的装配式建筑设计阶段多专业协同工作流程，包含模型整合、碰撞检测、设计优化等关键环节。

2.2 碰撞检查与深化设计

装配式建筑中预制构件连接节点的复杂性对深化设计提出极高要求。BIM 技术的三维可视化碰撞检测功能可自动识别构件间的空间冲突，包括“硬碰撞”（实体重叠）和“间隙碰撞”（安全间距不足）两类问题。菏泽商住项目在深化设计阶段，通过 Navisworks 软件进行系统性碰撞检查，发现并解决结构预埋件与机电管线冲突点 217 处^[3-4]，避免现场返工成本约 86 万元。

钢筋节点深化是装配式建筑设计的另一难点。传统二维图纸难以清晰表达复杂节点区域的多层钢筋排布，而 BIM 技术可实现三维剖切展示和钢筋干涉分析。在某高层装配式住宅项目中，利用 Revit 进行预制梁柱节点深化设计^[3, 6]，精确计算

套筒定位和钢筋避让路径，使现场安装一次合格率从 83% 提高到 97%。此外，BIM 模型可直接导出数控加工文件（DXF/DWG）驱动生产线设备，实现设计到制造的无缝衔接。

3 BIM在装配式建筑施工阶段的应用

3.1 构件生产与现场装配管理

BIM 技术在构件生产环节的应用核心是构建信息化生产管理系统。系统以 BIM 模型数据为基础，自动分解出构件加工详图，并生成包含构件几何尺寸、材料规格、预埋件位置等信息的生产任务单。山东博宇设计公司开发的装配式建筑参数化设计平台，可自动计算钢筋下料长度和弯曲形状^[7, 3]，通过数据接口直接传输至生产线数控设备，使材料损耗率降低 12%。

现场装配管理的关键在于构件精准定位和工序有序衔接。BIM技术与物联网技术结合，通过RFID标签或二维码实现构件全过程追踪。具体流程为：①工厂生产时为每个构件植入RFID芯片；

②运输过程中GPS实时监控位置；③现场扫码调取安装位置和顺序；④安装完成后扫码确认并更新模型状态。菏泽项目应用此系统后，构件吊装效率提高40%，错装率降至0.5%以下^[4]。

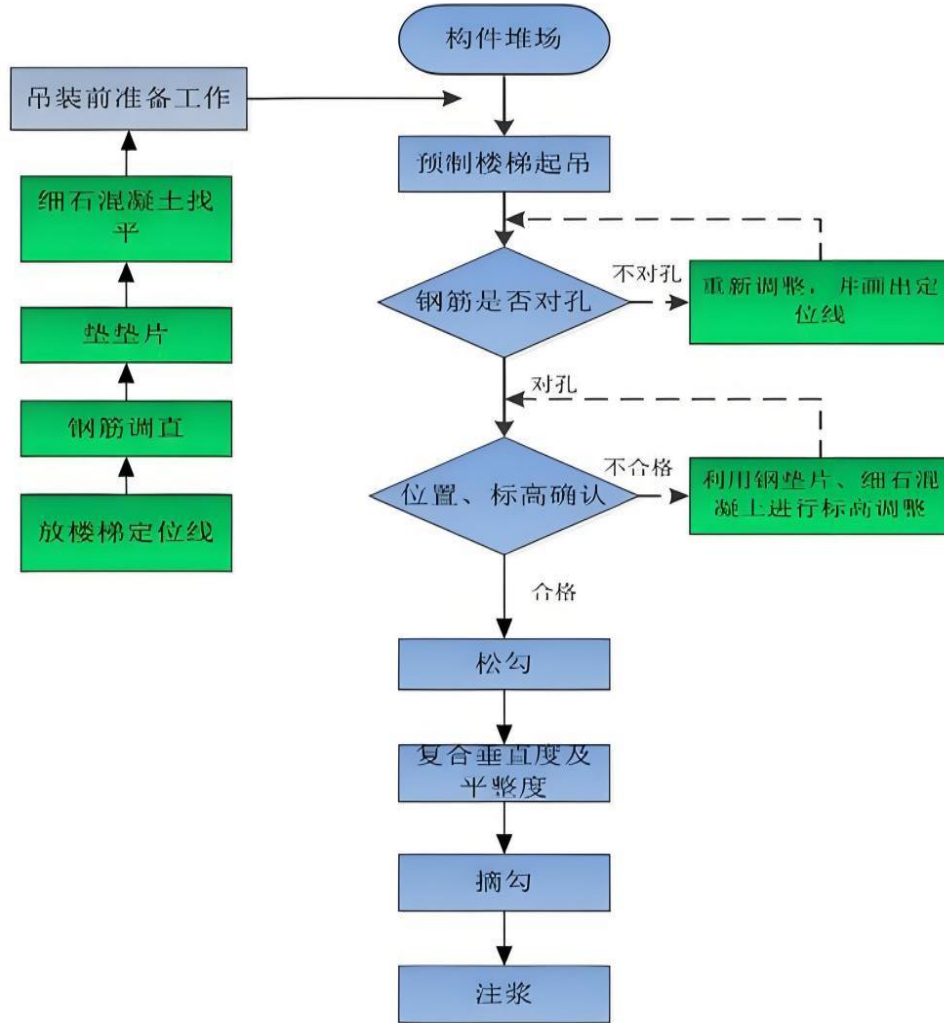


图2 预制构件生产与安装信息管理流程

注：基于BIM与物联网技术的预制构件全流程追踪系统，实现从工厂到现场的信息一体化管理。

3.2 施工进度与成本控制

在施工进度控制层面，BIM可整合构件生产、物流运输、现场吊装等全环节数据，搭建4D施工模拟模型。通过模拟不同施工方案的工序衔接，能提前识别构件供应滞后、吊装设备冲突等问题，避免现场窝工。同时，管理人员可依托模型实时追踪构件进场、安装进度，动态调整施工计划，确保各工序无缝衔接，大幅缩短项目总工期。

在成本控制层面，BIM的碰撞检测功能可在施工前排查构件与管线、结构的冲突点，减少设计变更与返工损耗，降低隐性成本；基于BIM模型的精准算量能力，能实现构件用量的精细化统计，避免材料超耗；结合进度计划优化大型机械租赁周期，合理调配人力，进一步削减机械与人工成本。

两者协同发力，实现装配式建筑施工进度与成本的双重精细化管控。



图3 BIM技术应用图

4 BIM在装配式建筑运维阶段的应用

4.1 基于BIM的运维管理系统

装配式建筑在运维阶段的优势需要 BIM 技术支撑才能充分发挥。基于 BIM 的运维管理系统将设计资料、施工记录、设备参数等信息整合到统一平台，形成“数字孪生”模型。系统主要功能包括：①设备信息查询：点击模型中的设备可查看型号、参数、供应商及维护记录；②空间管理：精确统计区域面积和使用状态；③应急管理：模拟疏散路径和救援方案；④能源监控：集成能耗计量数据并分析优化。

港珠澳大桥项目建立了全生命周期 BIM 运维平台^[5]，集成了 12 万个结构构件和 2.3 万台套

设备的运维数据。当传感器监测到异常振动时，系统自动定位病害位置并调取相关设计参数和维修记录，使故障诊断效率提高 70%，维护成本降低 45%。

4.2 预防性维护应用

装配式建筑的连接节点性能退化是运维关注重点，BIM 技术与传感器结合可实现预防性维护。在泰安古建保护项目中，利用 BIM 模型对岱庙天贶殿进行三维扫描建档^[1-2]，在关键受力点安装应变传感器，实时监测结构应力变化。当数据超出阈值时，系统自动报警并在模型中高亮显示风险部位，指导针对性检修。研究显示，预防性维护投入产出比达 1: 15，即每投入 1 元养护费用可减少 15 元大修费用。

表2 基于 BIM 的装配式建筑运维信息集成框架

信息类别	数据内容	应用价值
基础信息	构件材质、规格、生产日期	资产台账管理
空间信息	房间面积、功能分区、流线组织	空间优化调整
设备信息*	设备参数、使用手册、保修信息	快速故障排查
维护信息	检修记录、更换部件、保养计划	预防性维护
监测信息	传感器实时数据、结构健康状态	安全预警

5 典型案例分析

5.1 武汉火神山医院快速建造项目

武汉火神山医院作为应急医疗设施的典范，充分展示了 BIM 技术与装配式建筑结合的强大效能。项目采用模块化箱式房结构，10 天内建成拥有 1000 张床位的传染病医院，创造了中国建造速度的奇迹。BIM 技术在项目中发挥了关键作用。

三维可视化交底：将复杂节点制作成三维动画和渲染图，消除工人理解偏差。例如，将机电管线与结构开口位置通过 AR 技术叠加到施工现场，指导精准开孔。**并行工程组织：**基于 BIM 模型将工程分解为基础施工、箱体吊装、管线安装、医疗专项 4 大模块同步推进，使现场作业人员减少 40%，而工效提升 2 倍。**构件编码体系：**为每个箱式房单元赋予唯一编码，关联其平面位置、安装顺序和质量文件，使现场拼装差错率控制在 0.2% 以下^[5]。

5.2 菏泽市装配式商住项目

菏泽市某装配式商住项目总建筑面积 5.2 万平方米，装配率达 65% 以上，是山东省装配式建筑示范项目。项目采用 BIM 技术实现全过程精细化管理，取得显著效益：

在成本控制方面，通过 BIM 模型优化预制构件种类，将原设计的 1, 286 种异形构件标准化为 438 种，减少模具投入 57%；在进度管理方面，基于 4D 模拟优化塔吊行走路线和构件堆场位置，使吊装效率从每日 35 件提升至 52 件；在质量控制方面，利用三维扫描技术对安装完成的结构进行点云比对，将安装偏差控制在 3mm 内^[3-4]。

5.3 泰安市古建筑保护创新应用

泰安市将 BIM 技术创造性应用于古建筑保护领域，对岱庙天贶殿等文物建筑进行高精度三维扫描和建模，实现数字化存档与科学修缮。项目创新点包括：**等比例信息建模：**通过激光扫描获取斗拱、榫卯等复杂节点的毫米级几何数据，建立包含材料属性、残损状况的 BIM 模型。虚拟

修缮模拟：在模型中试验不同修复方案，评估结构安全性和视觉协调性，避免实地试错对文物的破坏。**数字孪生展示：**建立线上三维展示平台，使游客可 360° 观赏建筑细部，既保护实体建筑又推广古建文化^[1-2]。

6 应用挑战与对策

6.1 现存技术与管理障碍

尽管 BIM 技术在装配式建筑中应用广泛，但仍面临多重挑战。技术标准缺失是首要障碍，国内尚未建立统一的装配式建筑 BIM 标准，导致模型数据在不同阶段、不同主体间传递时出现信息损失。研究显示，因数据转换导致的几何信息损失率可达 28%，属性信息损失率高达 65%^[8]。协同机制不足是另一痛点，设计、生产、施工各方常因责任边界不清和利益冲突，难以实现真正意义上的 BIM 协同。此外，软硬件投入高（约占总造价 1.5%-2%）使中小企业应用意愿低，而复合人才短缺（全国缺口超 8 万人）进一步制约技术落地。

6.2 发展对策与实施路径

标准体系构建：制定《装配式建筑 BIM 应用标准》，统一构件编码规则、模型深度要求（LOD）和数据交换格式（如 IFC）。深圳已率先发布地方标准，规定从方案设计到运维的 5 级模型深度要求^[9]。

协同平台建设：建立基于云技术的 BIM 协同平台，实现多方实时在线协作。平台应集成设计管理、构件追踪、质量验收等功能，支持 PC 端和移动端同步访问。

成本控制策略：采用分阶段实施策略，初期可聚焦复杂节点（如预制构件连接区域）的 BIM 应用，逐步扩展到全流程。推广软件租赁模式降低初始投入，如某项目采用 Autodesk 云服务使软件成本降低 70%。

人才培养体系：推动高校开设 BIM 与装配式建筑融合课程，企业建立分级培训机制。鼓励设

计、生产、施工人员跨岗位实践，培养复合型技术能力。

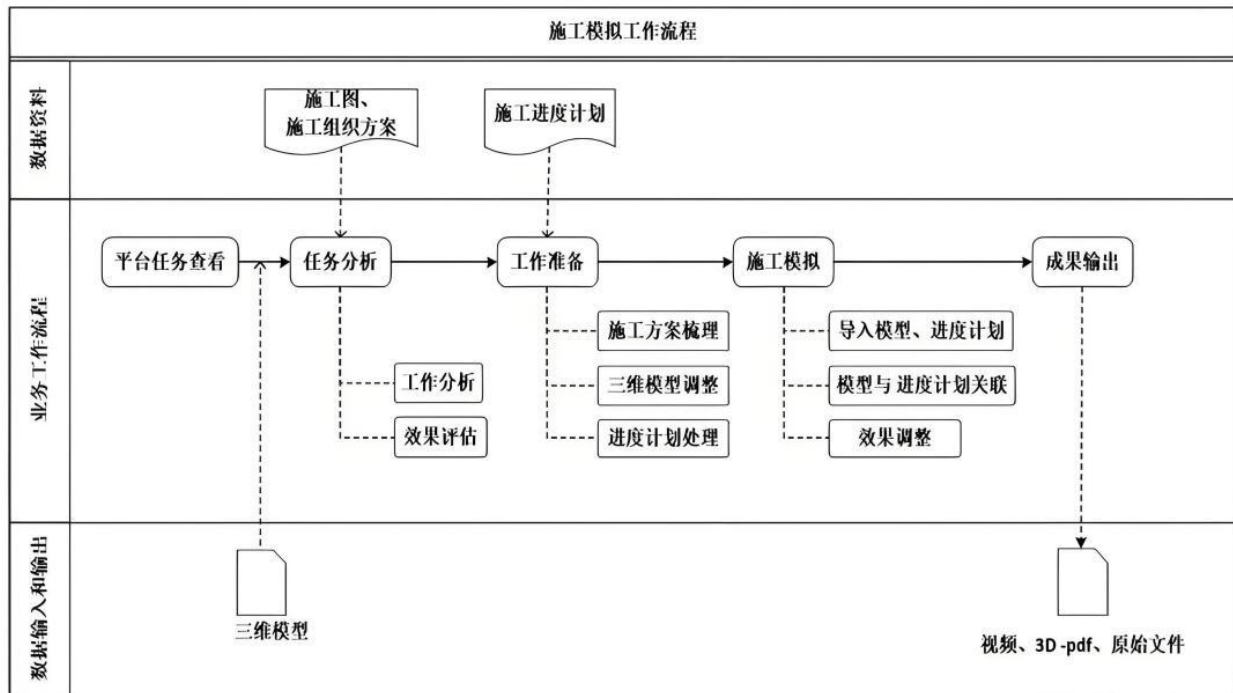


图4 装配式建筑BIM应用实施路线图

注：分阶段、分层次的BIM技术实施策略，从标准制定到全产业链协同的渐进路径。

7 结论与展望

7.1 研究成果总结

本研究系统分析了BIM技术在装配式建筑全生命周期的应用模式与价值，得出以下结论：BIM技术通过三维参数化设计解决了装配式建筑构件标准化难题，使设计效率提升30%-40%^[9-12]；通过协同平台实现了多专业集成设计，减少施工阶段设计变更60%以上；通过4D/5D模拟优化了施工组织 and 成本控制，典型项目工期缩短15%-20%，成本降低8%-12%；通过数字化运维延长了建筑使用寿命，预防性维护投入产出比达1:15。

典型案例证明，BIM技术与装配式建筑融合具有显著的经济和社会效益。火神山医院项目创造了10天建成千床医院的奇迹；菏泽商住项目实现装配式建筑精细化管理和成本优化；泰安古建项目则拓展了BIM技术在文物保护领域的创新应用。

7.2 未来发展趋势

随着信息技术快速发展，BIM技术在装配式建筑中的应用将呈现新趋势：

(1) 智能建造融合：BIM与人工智能(AI)结合，实现自动深化设计和智能审图。如利用机器学习算法优化预制构件配筋方案，减少人工干预。

(2) 区块链应用：基于区块链技术构建不可篡改的构件质量追溯系统，确保从生产到安装全过程数据真实可信。

(3) 数字孪生深度应用：将BIM模型与物联网实时数据结合，建立动态更新的数字孪生体，实现装配式建筑全生命期精准管控。

(4) 元宇宙展示平台：利用VR/AR技术构建沉浸式运维培训系统，使管理人员在虚拟环境中演练应急预案。

未来研究应聚焦BIM标准体系完善、轻量化模型开发和低成本应用方案推广，推动装配式建

筑向高质量、低成本和绿色低碳方向发展。只有实现 BIM 技术与装配式建筑的深度融合,才能真正释放建筑工业化的巨大潜能,引领建筑业走向智能化新时代。

参考文献

- [1] 赵卿,韩洲.BIM 技术的装配式建筑设计方法探究[J].智慧中国,2025,(11):104-105.
- [2] 薛智赵.BIM 技术在装配式建筑设计中的研究与探索[J].居业,2025,(11):139-141.
- [3] 孟可,宁军泽,李明博,郑宇杉.基于 BIM 技术的预制装配式建筑施工技术[J].工程建设与设计,2025,(22):112-114.
- [4] 衣淑丽,孟艳春,杨迎春.基于 BIM 技术的装配式建筑精细化施工管理应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(33):32-34.
- [5] 张学林.BIM 技术在装配式建筑施工中的应用与优化[A].新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造·采购革新专题(第二册)[C].《中国招标》期刊有限公司:2025:31-35.
- [6] 胡凤菊,衣淑丽,刘康杰.BIM 技术在装配式建筑地下工程设计与施工研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(31):133-135.
- [7] 吴刚.BIM 技术在装配式建筑施工阶段质量管控应用研究[J].中国建设信息化,2025,(22):74-77.
- [8] 姚鹏.BIM 技术在装配式建筑日照分析与绿地率测算中的应用[J].陶瓷,2025,(12):130-133.
- [9] 宋攀.BIM 技术在装配式建筑深化设计中的应用研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(23):31-33.



工程管理框架下招投标 与项目成本管理一体化的实践与创新

吴晨昊

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司, 云南昆明, 650000

摘要: 在工程管理的框架下, 招投标与成本管理至关重要, 而这两个重要因素的脱节与割裂, 将会导致项目收益降低以及风险增加。本文对招投标与成本管理一体化的创新实践进行分析与探讨, 同时招投标与成本管理一体化为工程管理提供了具有可行性的实践路径。

关键词: 工程管理; 招投标; 项目成本; 管理一体化; 实践; 创新

Practice and Innovation in the Integration of Tendering and Project Cost Management under the Engineering Management Framework

Chenhao Wu

China Nonferrous Metal Industry Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd., Kunming Yunnan 650000, China

Abstract: Under the framework of engineering management, bidding and cost management are crucial, and the disconnection and fragmentation of these two key factors will lead to reduced project returns and increased risks. This paper analyzes and discusses the innovative practice of integrating bidding and cost management, while also providing a feasible practical approach for engineering management.

Keywords: Project Management; Bidding; Project Cost; Integrated Management; Practice; Innovation

在当前的市场环境下, 工程建设领域的招投标活动面临诸多不确定性因素, 亟需通过创新管理模式来优化资源配置, 从而提高项目招投标全流程的工作效能和管理水平。招投标主要包括商业招标和投标, 其已成为项目发展中的主要管理手段, 力求用最合理的竞争方法, 保证质量, 减少项目工程成本, 以取得更多的工程经济效益^[1]。项目招投标与成本管理指间的联系非常紧密, 涉及多项事宜的收支管理。在传统人工操作模式下, 存在诸多难题: 财务收付款频率高、业务量大导致人员工作负荷重; 纸质单据繁多使得填报审批不便且易出错, 在招投标流程中, 存在跨部门票据交接程序冗杂、未中标方大额保证金返还操作

困难等实务痛点; 投标人集中到售标大厅购标缴费造成秩序管理难度大, 而专家劳务费的现金发放方式又带来资金风险。传统招投标模式往往只注重价格竞争和资质审核, 却忽视了后期成本管控需求, 同时成本管理又被动应对前期遗留问题, 形成决策管理断层^[2-3]。这在工程管理项目中表现尤为明显, 以印尼北干巴鲁中转库项目为例, 若招投标阶段未充分考虑中外技术标准差异成本或未明确设计变更计价规则, 就会导致实施阶段成本失控^[4]。为解决这些问题, 通过构建招投标与成本管理协同运作机制, 取得了显著成效。

1 项目管理的全过程理论



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1.1 招投标与成本管理的一体化关键理论

在当前工程管理的框架下，招投标与成本管理的一体化需要建立在三个关键理论基础之上。首先，全过程管理理论强调从项目策划、招标采购到施工竣工的全周期成本管控，以 PT. CNTIM CONSTRUCTION INDONESIA 收到的《中标通知书》为例（该项目为印尼海螺国际贸易有限公司北干巴鲁中转库和码头工程），该公司在印尼海螺国际贸易有限公司北干巴鲁中转库和码头项目 EPC 总承包工程公开招标中，通过在招标文件中嵌入成本控制条款，实现了从投标到竣工的成本闭环管理。其次，成本整合理论重点关注固定总价合同的风险分摊机制，通过设置延迟罚款条款、明确技术标准差异补偿规则等方式，将大部分施工风险合理转移给承包商^[5]。最后，信息化与数据驱动的成本预测理论，通过分析历史投标数据，建立预测模型，使投标报价准确率显著提升。这三个理论维度相互支撑：全过程管理提供制度保障，成本整合优化风险分配，而数据建模则为决策提供量化依据，共同构建了招投标与成本协同管理的完整理论框架。该框架已在实际项目中得到验证，包括项目经理资质要求和合同签订流程等具体实施细节。

1.2 项目成本控制理论

1.2.1 传统成本控制理论的发展与局限

我国建筑行业的成本管理理念经历了从初期的核算统计阶段，逐步升级为精细化管控体系的发展历程。现代企业正经历从劳动密集向技术驱动的转型，推动资本管理从操作层面向战略层面升级。传统成本管理存在滞后性，月度核算方式易造成资源损耗，且依赖人工报表导致数据时效性差。成本管理体系由四个关键环节组成：设定管控基准、明确权责分工、优化制度框架、搭建动态监控机制。其中，成本控制标准是企业成本管理的基础，需通过成本预测功能编制计划表，为施工各阶段建立控制流程。同时，需健全责任

制，明确职责权限；制定适合企业的成本控制制度；建立信息反馈系统，实时反映实际费用消耗。成本管理全流程包含六个关键节点：前期成本测算、预算编制、过程监控、财务核算、绩效评估及结果考核。

1.2.2 成本控制的原则与目标

成本管理应坚持三大准则：控制有效性（权责明确、范围可控，责任主体须对其管理范围内的成本偏差负责），系统统筹性（将成本、质量、进度等要素综合优化，实现全过程动态管控），以及价值最大化（以投入产出比最优为最终导向）。这三大准则共同构成了成本管控的基本框架。成本控制的目标体系涵盖预测、计划、执行、监督及分析等环节，通过动态监控与反馈优化，确保成本管理的科学性与有效性。

2 招投标与成本管理一体化的关键环节

2.1 前期策划阶段

招投标与成本管理的协同机制建立至关重要，这一阶段将直接影响项目全周期的成本控制效能。以印尼北干巴鲁中转库项目为例，其成功的关键在于实现了招投标文件编制与成本估算的深度协同：首先，在技术标书编制阶段即植入成本控制基因，通过建立技术方案与成本科目的映射矩阵，确保设计方案的经济性；其次，基于历史项目数据库构建动态成本模型，将印尼当地劳工效率系数、材料价格波动区间等参数纳入测算，使标底价格误差率控制在合理范围内。合同模式的选择需要综合考量项目特征与风险偏好：对于技术成熟的码头工程采用固定总价模式，通过设置延迟罚款条款和最高赔偿限额实现风险可控；而对于技术创新的智能仓储系统则采用成本加激励酬金模式，既保障承包商基本收益又激发成本优化动力。风险预判机制则通过三维度展开：技术风险方面采用 BIM 碰撞检查减少设计变更，商务风险方面设置价格调整公式应对印尼盾汇率波动，进

作者简介：

吴晨昊（1985-），男，汉，河北石家庄人，本科，工程师，研究方向：建筑工程管理、招投标管理、项目成本管控。

度风险方面通过识别出桩基施工可能产生 28 天延误。该阶段最终输出包含成本控制条款的招标文件，为后续阶段奠定管控基础。

2.2 招投标阶段

2.2.1 招标成本管控策略

在工程招投标过程中，成本控制是核心环节。首先，投标单位的选择至关重要，需从资质、管理水平、技术力量、资金实力及合作经历等方面综合考量，管理水平优秀且技术力量雄厚的投标单位能在相同报价下实现更高利润和更优质量，实现双赢。招标文件的编制作为投标依据和合同基础，其严谨性直接影响招标工作及成本控制^[5-6]。其中，工程量清单是投标报价公平竞争的基础，详细准确的清单能减少签证和纠纷，但实际工作中常出现漏项问题。针对漏项风险，可采取两项措施：一是在合同条款中明确采用“固定价格合同”时需约定风险范围及调整方式，并说明工程范围为图纸全部内容，清单仅作为结算依据；二是在招标文件中要求投标人补充清单项目和材料价格，未补充项目视为已计入总价。询标工作能排除不合理报价，完善清单不明确之处，排查不平衡报价，为确定合理合同价创造条件。合同类型选择上，大中型工程宜采用固定单价合同，小型工程可采用固定总价合同，以合理分担风险。签订合同时需注重风险权责的量化约定，将项目管理融入条款，公正维护双方利益。

2.2.2 投标报价的平衡与成本控制

在投标过程中，经济部分对投标单位具有决定性作用，其分值在各类评标系统中均占据最高权重。投标人需根据自身成本或利润目标设定合理报价，纯粹的低价虽可能赢得短期中标，但若突破企业底线，将导致质量风险，给招投标双方带来损失^[7]。与此同时，技术部分作为经济部分的重要辅助，技术力量雄厚的投标单位可通过优化组织安排、机械调配等方式，在确保质量与工期的前提下有效降低成本，从而实现利润目标。

2.3 实施阶段

2.3.1 材料成本管理

在工程项目成本管控中，材料成本管理是首

要环节。通过成立集中采购中心实施公开招标采购，对相对集中项目实行片区集中招标；推行钢材集中加工统一配送，有效解决工序分离和工费承包模式下的材料浪费问题；建立混凝土集中生产供应体系，形成项目部、拌和站、施工队三级清晰的经济责任链条；同时强化材料成本分析，严格执行日清月结制度，严控物资消耗^[8]。

2.3.2 管理成本控制

管理成本控制同样关键，工程项目管理费用需要规范管理，为此应制定非生产性费用开支规定，明确标准并下达年度计划，从项目初期就对人员配置、车辆使用、驻地建设等进行严格规划，定期考核奖惩，有效遏制浪费现象。

2.3.3 目标成本管理

目标成本管理作为企业成本控制的核心方法，其设定需要满足目标可达性、数据科学性及重点突破性三大要求，实现精准管控。企业可通过挖掘潜能、压缩非生产成本、提高设备利用率等方式达成目标成本。在实施过程中需夯实基础工作，建立质量管理小组，具体措施包括：推行全面核算，采取统一管理和分级核算模式，以班组为单位分解目标；强化材料管理，完善收发制度，严格按需领用，货比三家采购优质低价产品；优化人员调配，采用人机结合模式，实行定额施工和岗位培训^[9-10]。成本管控流程包含标准制定、实际核算、差异分析及优化方案编制四个关键步骤，形成完整管理闭环。工程成本管控需建立全过程分析体系：针对人工费用，重点分析日工资标准与工时效率差异；材料成本需比对预算量价与实际耗用，识别量差与价差因素；机械使用费应从台班效率与租赁成本着手；资金管理需区分固定资金与流动资金使用效益，同时考核专项资金运作效率。

2.4 收尾阶段

2.4.1 收尾阶段常见问题

在项目竣工交付阶段，普遍面临三大管理难题：收尾周期冗长、固定资产损耗率偏高、工程尾款清收阻力大，严重影响项目最终效益的实现。主要原因包括企业领导不重视和收尾工作组织机

构不健全。企业领导层和项目部在工程完工后往往认为大事已完成,放松管理,急于将资源投入新项目,导致收尾工作缺乏统筹安排,竣工资料不完善,预算执行分析不到位,最终因细节问题影响结算,造成亏损。同时,施工企业通常在收尾阶段解散项目部,仅留少量非核心人员负责收尾,而收尾工作涉及业主、设计、监理、城市规划等多部门协调,核心人员撤离后沟通渠道阻塞,责任界定不清,留守人员难以胜任技术、财务等专业工作,为责任推卸埋下隐患^[11]。

2.4.2 收尾阶段成本控制的策略

提高领导对收尾工作的认识是改善管理的关键,施工企业应重视收尾工作作为展示企业形象、协调各方关系的重要载体,合理安排组织机构,保留项目部核心人员或成立专业收尾工作组,确保资料完善和有效沟通^[12]。同时要制定严格的收尾阶段成本控制制度,依据企业规章和建筑法规,针对常见问题制定详细操作规程和奖惩办法,规范工作内容、责任划分和考核监督,确保收尾工作有序推进。通过领导重视与制度保障相结合,既能提升收尾效率,又能维护企业效益和形象。

3 结语

工程招投标与成本管理的协同机制和优化路径研究,对于提高我国工程管理项目的效益和管理水平具有重要意义。通过完善信息共享机制、规范招投标行为、强化合同管理等措施,有助于解决现有问题实现工程招投标与成本管理的协同发展。我国工程建设项目数量将持续增长,对工程招投标与成本管理的要求也将不断提高,因此,

进一步研究和完善协同机制,对促进我国工程建设事业的发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 郭思猷.K工程招投标项目成本管理存在的问题及优化建议[J].河北企业,2025(2):77-80.
- [2] 王珏.基于价值工程的EPC项目招投标经济管理优化研究[J].品牌研究,2025(6):180-182.
- [3] 李莹.招投标中的风险管理策略及其对工程项目的影 响[J].建材与装饰,2025,21(10):103-105.
- [4] 马欢,张彤鑫.工程项目招投标阶段造价管理对策分析[J].中国招标,2025(6):190-192.
- [5] 丁金源.工程建设项目招投标管理现状与改善措施分析[J].中州建设,2025(9):97-98.
- [6] 王凤.市政工程项目全过程成本管理策略分析[J].工程技术研究,2024,9(11):131-133.
- [7] 王涛.房地产工程项目成本管理中成本造价全过程控制研究[J].中国集体经济,2024(35):142-145.
- [8] 唐明月,刘利利,何贝.基于贝叶斯网络的建筑工程招投标风险管理研究[J].项目管理技术,2025,23(8):125-133.
- [9] 付玉凡.建筑工程项目招投标阶段的造价管理分析[J].现代工程科技,2023,2(13):122-124.
- [10] 吴潮红.建筑企业工程项目招投标阶段的造价管理优化[J].现代企业文化,2024(12):13-15.
- [11] 曲美红,吴霞.全过程造价管理在建设工程项目中的实施效果分析[J].现代商贸工业,2025(5):194-196.
- [12] 曾沛沛.工程项目全过程管理中的成本控制策略研究[J].中国航班,2025(19):43-45.

地下水对矿山边坡稳定性的影响机理研究

谢永恒, 郭忠正

西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司, 云南昆明, 650000

摘要: 在矿山工程领域, 边坡稳定性问题直接关系到矿山安全生产与生态环境安全, 而地下水作为影响边坡稳定性的关键动态因素, 其作用机理复杂且至关重要。地下水渗透与赋存于边坡岩土体中, 通过物理与化学作用显著改变岩土体的力学性能与边坡内部的应力环境, 进而控制着边坡的变形与破坏进程。然而, 当前对地下水多场耦合作用下边坡失稳的精细化机理认识尚不充分, 使得边坡防治工程设计面临诸多不确定性。因此, 系统深入地揭示地下水对矿山边坡稳定性的内在影响机理, 对于精准预测边坡行为、优化防治措施以及保障矿山全生命周期安全具有重大的理论指导意义与工程应用价值。

关键词: 地下水; 矿山边坡; 稳定性

Study on the Mechanism of Groundwater Influence on the Stability of Mine Slopes

Yongheng Xie, Zhongzheng Guo

Southwest Nonferrous Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd., Kunming Yunnan 650000, China

Abstract: In the field of mining engineering, slope stability is directly related to mine safety production and ecological environment security. Groundwater, as a key dynamic factor affecting slope stability, has a complex and crucial mechanism of action. Groundwater permeates and exists in the rock and soil mass of slopes, significantly altering the mechanical properties of the rock and soil and the stress environment within the slope through physical and chemical interactions, thereby controlling the deformation and failure processes of the slope. However, the current understanding of the refined mechanisms of slope instability under the multi-field coupling effects of groundwater remains insufficient, leading to numerous uncertainties in the design of slope prevention and control engineering. Therefore, systematically and deeply revealing the intrinsic mechanism of groundwater's influence on the stability of mine slopes holds significant theoretical guidance and engineering application value for accurately predicting slope behavior, optimizing prevention and control measures, and ensuring the safety of the entire life cycle of mines.

Keywords: Groundwater; Mine slope; Stability

矿山边坡稳定性是矿山安全生产的核心岩土工程问题, 其失稳将导致严重的安全事故与经济损失。地下水作为影响边坡稳定性的关键动态因素, 通过复杂的物理力学与化学作用系统性弱化边坡岩土体的力学性能。传统分析方法对地下水作用的简化处理, 难以准确揭示其从微观结构改

变到宏观失稳的全过程作用机制^[1]。因此, 深入剖析地下水对边坡稳定性的内在影响机理, 构建完整的理论分析框架, 对于实现矿山边坡稳定性精准评价与灾害有效防控具有至关重要的理论价值与工程指导意义。本文将从岩土体性质弱化、应力环境改变及稳定性控制三个层面, 系统阐述



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



地下水的作用路径与影响规律。

1 地下水对边坡岩土体力学性质的弱化机制

1.1 孔隙水压力效应与有效应力原理

地下水在边坡岩土体孔隙和裂隙中运移时会产生孔隙水压力,根据太沙基有效应力原理,岩土体的强度与变形特性并非由总应力决定,而是由有效应力控制,即总应力与孔隙水压力之差。在非饱和状态下,基质吸力对岩土体强度有积极贡献,然而当边坡处于降雨入渗或地下水位抬升条件下,岩土体趋于饱和,负的孔隙水压力即基质吸力随之减小乃至消失,转化为正孔隙水压力,这将直接导致作用于岩土骨架上的有效应力显著降低^[2]。对于遵循摩尔-库仑破坏准则的岩土材料,其抗剪强度与有效应力呈正相关,有效应力的减小意味着岩土体的内聚力和内摩擦角在表现上的削弱,从而直接降低了潜在滑动面上的抗滑阻力,使得边坡向失稳临界状态加速靠近,这一机理在边坡稳定性计算中通过引入孔隙水压力场来折减安全系数得以体现,是地下水影响边坡稳定性最为直接和基础的力学途径。

1.2 岩土体的软化与泥化作用

地下水对岩土体的软化作用主要体现在物理软化和化学软化两个层面。物理软化是指水分子进入岩土颗粒间,削弱颗粒间的联结力,并起到润滑作用,使颗粒间更容易发生相对滑移,这种作用对于粘土矿物含量高的岩土体尤为显著,能导致其内聚力大幅下降。化学软化则涉及水岩相互作用,特别是对含有蒙脱石、伊利石等膨胀性矿物的岩体,水的侵入会引发矿物晶格膨胀,产生膨胀应力,同时水溶液可能溶解岩土中的可溶胶结物如钙质、铁质胶结物,导致岩土体结构松散化、强度衰减。更为极端的情况是,当边坡体内存在软弱夹层或断层泥时,地下水的持续作用可使其泥化,形成极低强度的软弱面,这些泥化夹层往往构成控制边坡整体稳定性的关键滑动面,其强度的丧失对边坡稳定性构成致命威胁。

1.3 结构面力学性能的劣化

矿山边坡岩体中通常发育有节理、裂隙、层理、断层等各种结构面,这些结构面是岩体的薄弱环节,其力学性能控制着岩体的整体强度。地下水沿这些结构面渗流,一方面通过孔隙水压力降低结构面所受的有效正应力,从而减小其抗滑摩擦力,另一方面水对结构面充填物的物理化学作用,如软化、冲刷和溶蚀,会显著降低结构面的内聚力和基本摩擦角。对于无充填的闭合裂隙,水压力还可能起到“劈裂”作用,促使裂隙扩展贯通。这种对结构面力学性能的系统性劣化,极大地促进了岩体内贯通性破坏面的形成与发展,使得边坡可能沿这些弱面发生平面滑动、楔形滑动等结构性破坏,地下水在此过程中扮演了“催化剂”和“减阻剂”的角色。

2 地下水对边坡应力环境与变形破坏的驱动作用

2.1 动水压力与渗透变形

当地下水在边坡体内存在水力梯度并发生渗流时,会对岩土颗粒施加动水压力,亦称渗透力。动水压力的方向与流线方向一致,其大小与水力梯度成正比。在边坡潜在滑动体范围内,指向坡外的动水压力相当于施加了一个额外的下滑推力,同时它也可能带动细颗粒在粗颗粒骨架中迁移,引发潜蚀或管涌,这种渗透变形会改变岩土体的孔隙结构和渗透性,甚至形成空洞,进一步恶化边坡的稳定性条件。在暴雨期间或水库水位骤降等工况下,边坡内会形成较大的暂态渗流场,产生显著的动水压力,这常常是触发边坡瞬时失稳或加速变形的重要驱动力,其动态变化特性增加了边坡稳定性评价的复杂性^[3]。尤其值得注意的是,这种渗透破坏具有隐蔽性和突发性,初始阶段地表可能无明显迹象,但内部结构已持续受损,一旦达到临界状态,失稳往往迅速发生,使得预警和防控的窗口期极短,对监测技术的敏感性和超前性提出了极高要求。此外,不同岩土体结构对动水压力的响应存在显著差异,级配不良的砂土和碎石土更容易发生渗透变形,而渗透性的各向异性则会导致渗流路径的复杂化,使得动水压

力的空间分布极不均匀,在局部形成优势渗流通道,进一步加剧了边坡稳定性分析预测的难度,这就要求在工程实践中必须开展精细化的水文地质勘察,以准确确定不同地层的水力参数和渗流边界条件。

2.2 静水压力与浮托作用

边坡后缘张裂隙或垂直裂隙中充水时,水体将对裂隙壁施加静水压力,此压力可近似视为三角形分布,其合力作用点在裂隙深度的三分之二处,这个水平推力会显著增加边坡的倾覆力矩,促进边坡发生转动或平移。当地下水位位于潜在滑动面之上时,滑动面以下、水位以下的部分岩土体将受到水的浮托力作用,浮托力减轻了滑体的有效重量,进而减少了滑动面上的有效正应力和由此产生的摩擦阻力,这种浮托效应在计算边坡安全系数时等效于降低了抗滑力,对于厚度较大的滑体,其稳定性影响尤为敏感,特别是在地下水位剧烈波动条件下,浮托力的变化直接驱动着边坡稳定状态的动态演变^[4]。因此,在边坡稳定性分析中,必须精确掌握裂隙的发育特征与地下水位波动历史,充分考虑静水压力与浮托力在最不利工况下的组合效应,才能对边坡的安全状态做出合乎实际的判断,避免因低估其影响而导致工程决策失误。尤其需要关注的是,在暴雨入渗过程中,张裂隙的充水速度往往远快于岩体内部的饱和速度,这会形成瞬时极高的静水压力峰值,而水位下降时若排水不畅,静水压力的消散滞后则会延长边坡处于危险状态的时间,这种时间上的不同步效应极大地增加了边坡在降雨过程中的失稳风险。

2.3 物理化学潜蚀与内部侵蚀

地下水对边坡稳定性的影响不仅限于宏观力学作用,其微观和细观层面的物理化学潜蚀与内部侵蚀过程同样不容忽视。物理潜蚀主要指地下水在渗流过程中将岩土体中细小的颗粒携带走,造成骨架颗粒间联结力丧失和孔隙率增大,长期作用可导致内部结构疏松甚至形成渗流通道。化学潜蚀则涉及地下水与岩土矿物之间的溶解、水解、离子交换等化学反应,例如对碳酸盐岩的溶

蚀可形成溶洞,对硅酸盐矿物的长期溶蚀可削弱颗粒间胶结。这些潜蚀和内部侵蚀过程是一个相对缓慢但持续进行的“内伤”累积过程,它们不直接产生巨大的推力,而是从内部逐渐改变岩土体的组成、结构和力学参数,降低其整体性和强度,为边坡的渐进性破坏和突发性失稳埋下隐患。这一过程的长期性和隐蔽性意味着其危害在常规勘察中极易被忽略,需要通过长期的水文地球化学监测和细致的微观结构分析来评估其潜在风险,从而在边坡设计寿命期内对其耐久性做出准确预估。特别值得警惕的是,化学潜蚀速率受地下水pH值、温度和化学成分影响显著,在酸性矿山排水环境中这一过程会急剧加速,而物理潜蚀则与水力梯度和颗粒级配密切相关,两种潜蚀作用常常相互促进,形成恶性循环,最终导致岩土体结构发生根本性恶化,这种由量变到质变的破坏模式对边坡的长期稳定性构成了最为严峻的挑战。

3 地下水影响下的边坡稳定性综合评价与防控启示

3.1 多场耦合作用下的稳定性演化

地下水对矿山边坡稳定性的影响本质上是一个涉及渗流场、应力场、变形场乃至化学场相互耦合的复杂过程。渗流场的变化直接改变边坡内的孔隙水压力分布和动水压力场,进而通过有效应力原理影响应力场的重分布,应力场的改变又会引发岩土体的变形,而变形可能导致裂隙的张开或闭合,反作用于渗流场,改变其渗透特性。这种多场耦合效应使得边坡稳定性处于一个动态演化的非平衡状态,而非静态问题。因此,任何孤立的分析都将带来显著误差,必须采用耦合数学模型,如流固耦合分析方法,才能更为真实地模拟地下水作用下边坡的应力应变响应与稳定性时空演化规律,从而实现从静态评估到动态预测的跨越。深入理解并量化这种耦合反馈机制,是准确预测边坡在极端降雨、采矿活动等扰动下长期行为的关键,也是当前矿山边坡稳定性研究的前沿与难点所在。具体而言,在降雨入渗过程中,非饱和区向饱和区的转化会引起基质吸力的丧失,

这一过程与孔隙水压力的上升相互耦合；而在采矿卸荷作用下，岩体的卸荷回弹变形会产生新的裂隙网络，从而为地下水提供了新的渗流通道，这种应力场改变渗流场、渗流场又反过来影响应力场的复杂相互作用，决定了边坡稳定性的演化轨迹绝非线性，必须通过高精度的数值模拟手段才能捕捉其内在规律。

3.2 基于机理的稳定性控制策略

深刻理解地下水的影响机理是制定有效边坡稳定性控制策略的理论基础。基于孔隙水压力的弱化机理，排水成为最直接、最经济的防控手段，包括地表截排水沟、水平排水孔、垂直排水井以及巷道疏干等，其核心目标在于降低边坡内地下水位或疏干潜在滑动区域，从而恢复有效应力，提高抗剪强度。针对软化与泥化作用，可采用注浆加固等手段改良软弱岩土体的工程性质，提高其抗软化能力。对于结构面劣化问题，则可通过预应力锚杆锚索等支护措施，主动提高结构面间的压紧力，以抵消孔隙水压力带来的不利影响。所有这些措施的设计与优化，都必须建立在地下水作用机理的精准把握之上，做到有的放矢，实现从被动治理到主动防控的转变。一个成功的边坡控制方案往往是多种措施的组合运用，它需要根据具体边坡的水文地质结构、岩体特性以及经济成本进行综合比选与动态设计，以期达到技术可行与经济合理的平衡。例如，对于以孔隙水压力为主导因素的边坡，应以完善的立体排水系统为核心，而对于高大陡峭的岩质边坡，表面防水与深层排水相结合，辅以系统锚固，方能形成全方位多层次的防护体系。

3.3 对监测预警系统构建的指导意义

地下水影响机理的研究对矿山边坡安全监测预警系统的构建具有明确的指导意义。监测网络的设计应紧密围绕关键水文地质与力学参数展开，除了常规的表面位移监测，必须将地下水位、孔隙水压力、渗流量以及岩土体含水量等作为核心监测指标。因为这些水文参

数的变化往往是边坡稳定性状态发生改变的先行指标，能够更早地揭示潜在风险。通过对监测数据的实时分析与机理模型的反演，可以更准确地评估边坡所处的稳定状态，预测其发展趋势，并在临界失稳前发出预警。将机理研究与现代监测技术深度融合，是构建智能化、精准化矿山边坡安全预警体系，实现灾害超前感知与风险精准管控的必由之路。

4 结语

综上所述，地下水对矿山边坡稳定性的影响是一个贯穿于物理、力学、化学多过程的复杂系统作用。它通过升高孔隙水压力降低有效应力、软化泥化岩土体及结构面、施加动水与静水压力、以及引发潜蚀与内部侵蚀等多种途径，从微观结构到宏观力学行为上系统地弱化边坡的稳定性。这一系列机理并非孤立存在，而是相互关联、相互耦合，共同驱动着边坡向失稳临界状态演进。因此，对矿山边坡稳定性的研究与实践，必须摒弃将水因素简单化的传统思维，转而采用系统化、耦合化的视角，深入理解并量化地下水在多场耦合中的作用路径。未来的研究应进一步聚焦于非饱和-饱和渗流转化、水岩化学作用的长期效应以及多场耦合模型的精细化等前沿方向，以期形成更为完善的理论体系，从而为矿山边坡工程的稳定性精准评价、灾害有效防控与安全长效运营提供不可或缺的科学基石。

参考文献

- [1] 单威,苏伟义.地下水对土质高边坡稳定性的影响研究[J].内蒙古水利, 2023(2):11-13.
- [2] 王家全,常志凯,林桂武,等.地下水对管廊基坑岩质边坡稳定性的影响研究[J].水力发电, 2021,47(7):43-47.
- [3] 马可.伊敏露天矿地下水对含弱层边坡稳定性影响研究[J].露天采矿技术,2021,36(4):18-21.
- [4] 孙超,杨凯.地下水位变化对某边坡稳定性影响的分析[J].长春工程学院学报:自然科学版,2020,21(1):1-3.

长输油气管道安全运行的管理要点及措施

张弘强

中海油安全技术服务有限公司上海分公司, 上海, 200335

摘要: 能否实现油气资源持续稳定供应与国计民生密切相关。在包括中国在内的世界经济发展中, 对于油气资源需求量也是在不断增加的。为此, 保障油气管道安全稳定运行, 至关重要, 抓好油气管道的有效维护和检修, 具有重要意义。对油气长输管道而言, 其运行状况与多种因素密切相关, 无论是地质环境, 还是工艺、母材是否缺陷以及施工管理是否需要提升等方面, 都需要引起高度重视并予以改进。本文从以上影响因素出发, 对确保长输油气管道长期安全运行应采取的措施进行分析和探讨, 以期起到抛砖引玉之效, 有不足之处敬请批评指正。

关键词: 长输油气管道; 安全运行; 管理措施

Key Management Points and Measures for the Safe Operation of Long-Distance Oil and Gas Pipelines

Hongqiang Zhang

Shanghai Branch, CNOOC Safety Technology Service Co., Ltd., Shanghai 200335, China

Abstract: The sustained and stable supply of oil and gas resources is closely related to national economic development and people's livelihoods. In the economic development of the world, including China, the demand for oil and gas resources continues to increase. Therefore, ensuring the safe and stable operation of oil and gas pipelines is of utmost importance, and effective maintenance and inspection of these pipelines hold significant meaning. For long-distance oil and gas pipelines, their operational conditions are closely linked to various factors, including geological environments, technological processes, potential defects in base materials, and the need for improvements in construction management. All these aspects require high attention and continuous enhancement. Starting from the aforementioned influencing factors, this paper analyzes and discusses the measures that should be taken to ensure the long-term safe operation of long-distance oil and gas pipelines, aiming to serve as a catalyst for further exploration. Any shortcomings in this study are open to criticism and correction.

Keywords: long-distance oil and gas pipelines; safe operation; management measures

长输管道占地面积大, 油气资源运输距离长, 油气产品(包括原料气)多以长输管道(线)形式实现远距离运输传送。鉴于石油和天然气具有易燃易爆的特点, 这些危化品一旦发生泄漏现象所带来的风险是非常巨大的。轻者造成较大的经济损失, 重者则会引发火灾爆炸及有毒有害气体外泄, 进而引发环境事故, 造成设备设施的严重

损坏, 更会威胁到周边人民群众的生命安全以及财产安全, 更会带来巨大的不良社会影响。因此, 必须对油气长输管道的安全管理给予高度重视, 并采取积极有效管理措施。

1 长输油气管道的安全管理至关重要

对于油气运输管道输送来说, 其整个过程中



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



所受到的影响因素是来自于方方面面的,既包括了各种自然灾害性因素,也包括了多种人为性因素。在这些因素的共同作用和干扰之下,使得管道的正常输送受到的威胁十分严重,体现出较大的危险性,如,地质可能引发火灾事故和爆炸等。鉴于此,为了能够更好地保障油气长输管道实现安全稳定运行,需要采取科学合理的管理措施,以实现最大限度地降低管道输送中的各种风险,促进整个管道系统安全水平的提档升级^[1]。

2 威胁长输油气管道安全运行的主要原因

2.1 施工对管道产生破坏

长输管道工程的施工周期长,工作环境恶劣,也会出现多种问题。通常主要包括以下方面:首先,拆除原有管道工程的影响。拆除原有管道工程,是为了开展重建工作。该情况下,对相关部门提出较高要求。如,要做到前期各项准备工作,并保证后期施工不应应对原有管道工程造成影响。这就需要进行拆除重建工作开展前,做好充分准备和规划。如果这方面做的不到位,很可能会影响到后续管道工程的正常开展,进而对整个工程建设造成严重阻碍。第二是复杂地质环境的影响。长输管道工程会跨越一些特殊地段,会涉及较复杂的地质环境。由于这些地区的地理环境的复杂性,地质条件的多变性,甚至于还有一些其他严重的自然灾害,如地震,冰雹,暴雨等。这些不可预测的威胁,都可能严重影响到管道工程建设。因此,加强这类区域的保护力度,至关重要。

2.2 油气管道设计选型制造方面存在不足

在这方面,主要表现包括未能正确选择管材,阴极保护不到位及防腐措施不到位等。目前来看,长输管道材质选择性较强,主要包括:钢管(无缝钢管),还可以采用球墨铸铁管以及不锈钢等。在选用管道材料时,以采选用连接方式等,均应考虑到这些材料的自身特性,并应综合考虑实际情况加以合理配置与应用。首先,管材选择可能存在不当。我国地域广阔,石油天然气资源丰富而且储量十分巨大,但受各种因素影响,导致管道不同程度地存在着一定的选材不合格现象。比

如,如是天然气管道,则需要按规范及标准来进行管道材料的选择;如是石油管道,选择材料时,应可能选用具有良好防腐性能的钢材。再如,有的金属材料是工作于酸性环境下,这种情况下就应尽可能选取耐酸材料。否则就可能会因此受到腐蚀,最终造成金属管道被破坏,产生腐蚀性缺陷。第二,可能存在阴极保护不到位。这种现象主要体现在进行长输管线建设过程中,未能科学合理地设计阴极保护系统。如,一般而言,阴极保护电位应为 $0\sim 2.5\text{ V}$ 的区间内,以保证管道正常使用寿命,并避免管道出现泄漏。

2.3 未能采取有效的防腐措施。

由于长输管道都长期运行在暴露状态,容易因外界环境影响而导致老化。防腐对于长输管道工程来说是很重要的一环。作为施工企业,在进行防腐工作时应最大限度地抓好规范施工,注意保证防腐层厚度满足要求,并注意避免由于防腐材料本身质量存在缺陷,造成管道出现因腐蚀性气体泄漏等问题,降低管道整体寿命。如,“凝管”这一问题,就是输油管道中常见的在建设中的一种防腐工作不到位导致的现象,其安全隐患较大。对于这一类情况,应及时采取防腐措施加以解决,以避免管道内部结构被破坏,对其性能造成影响最终造成严重后果^[2]。

此外,加强管道材料的检查,保证其能够符合相应的设计要求,并开展定期检测也不容忽视。

3 强化长输油气管道安全运行管理要点

3.1 设计单位

作为设计单位,应该首先抓好设计文件的审核和审核。对管道工程施工的全过程,要严格以国家有关规定作为依据和准绳,抓好设计文件审批工作;同时还要与相关部门之间做好沟通协调工作,确保设计文件与实际相符并能作为指导现场工程建设的有效依据。同时,还要切实强化管道建设项目监管。要以完善的监督体系为抓手,实现全面监督施工现场,有效保证项目建设质量。此外还需要积极定期开展专业性知识讲座及培训,建立积极有效的有奖惩措施、处罚制

度，建立高效的解决问题机制，人员培养晋升机制等，确保各项活动规范化开展。

3.2 施工单位

作为施工单位，在长输管道施工当中，负责重要责任，也是直接参与者。施工单位在开展管道工程施工中，相关人员要确保执行国家有关法律法规的严肃性和各项工程建设标准规范的严肃性，做到最大限度地杜绝不符合规定的行为，同时，落实好纠正及解决措施。管道工程中，无论是施工人员和设计人员，都承担着重要使命和职责，是管道施工的重要参与者，更是实施者。因此，施工单位应切实保证这些关键岗位人员具有与其责任相符合的素质水平，为确保管道工程达到预期设计的施工质量与效果。为此施工单位应切实加大专业人员的专业知识及技能培训教育，实现促进施工技术水平持续有效提升。

3.3 油气管道公司

长输管道能否实现安全稳定运行，与长输管道运营商的管理是否到位，与地方政府部门及企业对管网运行重要性是否认识到位休戚相关、密不可分。由此，也带来一些需要持续解决的具体问题。为此，要从以下几个方面来开展监督管理工作。首先，对油气管道公司要强化监督检查，压实其责任，以保证整个管道网络系统正常运行。第二，要持续建立健全完善具有指导性法律法规制度体系，既要做到有法可依，也要做到有法必依，更要做到执法必严，违法必究，将其落到实处。第三，要建立完善的规章制度，以规范长输管道公司、运营商行为，使其在日常工作中，规范化运行，实现提高长输管道公司、管道运营商运营质量^[3]。

4 确保长输油气管道安全运行管理措施

4.1 落实施工全过程的管道防腐技术

施工全过程，涵盖了长输管线的规划及设计工作，这是保证施工建设质量的前提和基础。首先要切实做好管道设计和建设，为保证整个工程实现正常开展打牢基础；第二是强化管道保护措施的落实，最大限度地避免因保护工作不力带来的

非必要性腐蚀，以延长管道使用寿命及有效降低成本支出；第三是以有效预防手段最大限度避免因腐蚀产生的严重后果。此外，还要有科学合理的应急预案以应对可能出现的突发情况。从实际而言，目前，各种类型的管道均存在差异性，为此，选择管道防腐蚀方法是，应根据技术路线，结合具体情况加以科学合理的选择，必要时可以采取性能测试的方法来最终确定方案。总体要求是延长管道的寿命提升使用性能，同时最大限度地减少对周围环境带来的严重污染。

为解决油气管道腐蚀问题，第一是要重视管道防腐层施工，加强防腐蚀工作专业人员的专业技能培训，确保其按规范要求施工。如，主要应用于管道、设备、阀门等处的电化学保护法要求高，专业性强，其中，阴极保护法就较为常见，但不足之处在于，该方法电能消耗量较大，受环境因素影响较大，所需要电压值会随电流变化而变化，容易造成管道被击穿或穿孔等；第二是做好管道的表面防护，如采用环氧树脂就是一种较好的方法，该树脂因具有较好耐 腐蚀性能，应用较广，且容易实现将其与管道外壁紧密连接，从而形成整体结构达到防腐蚀目的；第三还要注意管道内表面保护，如，可在管道内部涂抹一层隔离层（也可以是其他的保护层）。

4.2 切实落实日常安全管理措施

在这方面，关键在于压实企业主体责任。首先，管道企业内部要加强监管。作为油气管道企业，第一要务是要建立完善的管道安全生产监管机制，坚持制度化管理，将安全生产作为头等大事；第二，要强化专业的事由专业的人做，全方位抓好相关人员的专业化培训及考核，同时，坚持制定奖惩制度，抓好严格执行，以调动员工主动参与管道安全生产的积极性，实现安全管理纵向到底，横向到边；第三，要持续开展应急预案措施的完善工作，抓好应急救援演练，确保关键时刻队伍能拉得出，打得赢，冲得上，并采取有效的应对策略。第四，要构建一套完整科学的安全检查及隐患排查治理体系。这是确保管道能够正常使用，是时有效延长其寿命周期的重要保证

和基础。以实现对整个管道系统进行全方位监控与管理。第五,要从实际出发,抓好人力资源的合理配置,负责日常巡检工作^[4]。

4.3 切实加强日常工作管道运行维护管理

长输管道的日常保护工作质量,与其寿命长短,运行质量密切相关。针对于高压管线和阀门等设施来说,由于其工作于较高的压力下,更应该是日常维护保养工作的重点。具体来说,一是要做好定期重点检查,重点是检查各类阀门及仪表设备的连接处,应观察及检测其是否存在漏气漏油现象;二是要做好运行状态的检查,检查目标是各个阀门是否处于正常运行状态,控制系统是否处于正常运,行状态,应通过检查,确保能够及时发现问题进而及时解决;在进行检修或者更换部件前,必须要在办理相关作业许可手续后首先将其关闭,以避免因此对正常生产作业造成影响。同时,做好相关数据的信息备份和保存也是必不可少的步骤;第三是要切实做好防护工作。这是保证长输管道实现稳定可靠运行的关键。要由专人做好管道线路实际走向和其他附属物的巡查,如发现异常情况,要在第一时间向有关负责人报告,以防止发生严重后果。此外,还可以采取设置警示标志牌、安装自动报警提示装置等方式,对过往车辆或行人进行警示,让他们注意避让,从而有效降低受管道腐蚀影响发生泄漏事故的概率。第四是加强管道定期检测,这也是日常维护工作中的重要内容。如是在检查中,发现管道存在质量问题,就应当上报并采取停用措施;在检查中发现有腐蚀性物质时,要及时对其进行更换。此外,还可以通过采取科学的检测手段来做好日常检查工作。如,可以对管道内气体成分进行分析,通过其指标来判断管道是否出现了泄漏现象。需要知道的是,以上方式无法完全保证管道的使用寿命,应根据日常维护过程中的实际情况采取最佳的维护方法。以一些容易出现泄漏情况及发生过火灾事故的管道为例,为避免由于泄漏产生严重后果,通常可以采取的

手段包括:一是采用涂层保护等技术手段来实现,如采取防腐处理方法。常用的方法是:在管道外部涂抹一定量的抗氧化剂,这样能够使管道的使用年限得到有效延长,性能得到有效改善;二是做好管道内部的清理清洁,这样做的目的是延缓管道内部的腐蚀速度,从而降低管道出现事故的概率。

综合以上所述,要提高油气长输管道输送效率和质量,有效降低事故发生率,需要以打好设计建设环节为基础,切实采取积极有效措施来进行改进。一是要加强对长输油气管线日常巡检工作,做到定期开展检查和提升维护保养质量,及时发现和及时处理存在的问题;二是要切实做好应急预案编制工作,开展常规化演练,确保在出现突发紧急状况能够迅速启动相应的抢修方案,全面保证管道正常运转。第三是在日常生产过程中要强化规范化作业,标准化施工,避免出现以次充好,以高代低,偷工减料以及违规操作等情况。第四是要不断强化员工专业技能培养,让专业的人做专业的事,实现整体素质水平持续提升,如引进先进的数字管理系统^[5];第五是要建立健全相关规章制度,抓好操作规程的落实,确保每一个环节均有标准可依,有规程可循,从本质上实现管道的长期安全稳定运营。

参考文献

- [1] 常志浩,李纯,寇志超.新时期长输油气管道的安全运行管理[J].化工管理,2022(11): 114-116.
- [2] 云涛.长输油气管道安全运行管理浅析[J].内蒙古石油化工,2021,47(11): 61-63.
- [3] 耿兴.新时期长输油气管道的安全运行管理[J].化工管理,2021(25): 107-108.
- [4] 刘雪琴,李会谦.新时期长输油气管道安全运行管理研究[J].石化技术,2019,26(10): 267-268, 230.
- [5] 颜辉,邵铁民,翟胜强,等.我国长输油气管道运行实时数据应用系统研究与启示[J].工业技术创新,2015,02(6): 612-618.

浅谈XX项目驻场设计代表及项目管理

史雷振

航天规划设计集团有限公司，北京，100032

摘要：本文基于笔者参与某国 XX 项目工程实例，简述了该工程驻场设计代表和项目管理工作的主要职责与实施要点。结合项目实际，分析驻场设计代表在设计成果移交、深化图纸审批等方面，以及监理工程师在安全、质量和进度管控方面的关键作用，探究项目管理单位在复杂国际工程背景下，如何通过科学管理机制和专业服务保障推进项目开展。

关键词：XX 项目；驻场设计代表；项目管理

A Brief Discussion on the Resident Design Representative and Project Management of XX Project

Leizhen Shi

Aerospace Planning and Design Group Co., Ltd., Beijing, 100032, China

Abstract: Based on the author's participation in a XX project in a certain country, this article briefly describes the main responsibilities and implementation points of the on-site design representative and project management work of the project. Based on the actual situation of the project, it analyzes the critical role of the on-site design representative in the handover of design deliverables and the review of shop drawings, as well as the role of supervision consultant engineers in controlling safety, quality, and schedule, and explore how project management party can promote project development through scientific management mechanisms and professional service guarantees in the complex international engineering background.

Keywords: XX project; Resident representative of design; Project management

1 引言

XX 生产线建设项目于 2021 年 6 月首次与业主接洽，截至目前，项目已进入施工收尾阶段，总历时四年多。按合同约定，我单位主要承担该项目工程设计、项目监理及其他技术支持工作。项目预计 2026 年 6 月前后建成移交。目前，项目已历经前期合同签订、设计考察、方案设计、初步设计、施工图设计、设计成果移交和项目施工管理等阶段。本人作为驻场设计代表兼项目监理管理人员，全程参与了项目各环节。在此，就本

工艺复杂、专业交叉性强的特种国际工程，分享驻场设计代表与驻场监理的职责、作用及个人的一些体会。

2 工程概况

在某国建设某 ZB 生产线，项目占地约 41.7 公顷，总建筑面积 4.8 万 m²，共由 61 栋单体建筑物构成，涵盖 FDJ 试车区、FHG 作业区等。该项目专业交叉性强、施工复杂、工艺要求高，且融合了项目所在国及我国相关技术标准及规范。而且，项目因地处海外，面临语言沟通、文化差异



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



等多重挑战，对驻场设计代表和项目管理人员的专业能力和海外经验提出更高要求。为全力推进项目履约，我单位克服新冠疫情及人员调配困难等不利因素，选派经验丰富、技术能力强的骨干人员组成驻场设计代表及项目管理团队，负责现场技术支持、施工协调和监理工作^[1]。

3 驻场设计代表的职责与作用

在本项目中，我单位的驻场设计代表主要承担设计成果移交、总承包单位图纸设计深化及材料审批工作，同时负责技术协调与沟通等相关事宜。

在设计成果移交阶段，因本项目特殊性要求，所有设计成果需在国内完成纸质版打印装订与电子版整理，由设计代表带至项目所在国按合同移交。但移交过程不顺利，前期方案与初步设计获业主认可并已通过第三方审批，但成果移交后，经过漫长的审批期后并未通过外方审查。一是外方审批耗时久，业主为使用单位，图纸审批需经第三方审查机构实施，主要涉及当地水电局、XHB、GCB及市政部等多个政府部门，审批流程繁琐、效率低；二是合同约定场区内HG建筑设计采用我国技术标准，但审批机构却以所在国规范审查为准。我方驻场代表以当地规范不适用本项目为由，想与审批机构当面交流，遭到业主方拒绝，外方认为此属于其内部操作流程，导致图纸审批工作一直停滞不前，耗费两年多时间，严重影响了项目进展。究其根源，主要还是在于我方前期对项目所在国图纸报批流程了解不深入、对当地设计规范理解不全，以及对外方项目相关方的背景调查不到位，未能充分掌握当地审批机构的实际操作习惯和具体要求，致使图纸报批问题频出，前方设计代表工作开展受限。

在图纸设计深化审批阶段，针对现场的实际需求，我单位派驻现场的设计代表涵盖了各个专业。项目图纸经业主审批通过后，还需要总承包单位依据本国设计规范及现场施工需求，开展进一步的深化设计。由于本项目专业性强、工艺流程复杂，且外方设计单位未曾涉足过类似项目，在图纸深化阶段，即出现了我方驻场设计代表与外方设计师对国内外设计规范理解不充分以及在标准执行方面的分歧，导致深化图纸审批工作困难重重、周期较长，严重影响了项目的进展^[2]。

其次，在材料审批方面，在国内，设备材料审批工作通常由业主、监理或总承包单位负责审批或协助审批。而在项目所在国，此项工作必须由设计单位审批。然而，我方驻场设计代表缺乏当地的相关经验。面对大量材料方案审批及所有资料均为英文的情形，驻场设计代表承受着巨大压力。唯一稍可乐观之处在于，我方设计代表的英语水平基本能够满足现场工作需求。但由于审批工作量极大，且外方在材料性能、认证标准等方面的要求与国内差异较大，尽管前期审批工作困难众多，我方驻场设计代表仍依据图纸要求以及材料规范，逐步梳理外方标准，并积极与外方进行沟通协调，材料审批工作逐渐步入正轨，审批效率也逐步得以提高。在此阶段，我方驻场设计代表各专业累计完成2万余张深化图纸审批以及上百份材料方案审批，基本满足了现场施工的实际需求。

技术协调与沟通也是本项目推进过程中的又一重大挑战，对驻场设计代表的专业性以及海外工作经验的考验极为显著。例如，在初期设计方案汇报和成果移交阶段，需频繁与业主及相关审批单位进行沟通。鉴于我院在项目所在国的项目经验匮乏，且对阶段性成果汇报状况持过度乐观

作者简介：

史雷振（1989-），男，航天规划设计集团有限公司，中级工程师，毕业于西安建筑科技大学，建筑学专业，从事工程设计、国际项目管理等工作。

态度, 实际情况却不尽如人意。前期阶段, 仅派遣一名驻场设计代表和一名翻译到现场开展工作, 设计代表为建筑专业, 仅具备建筑专业知识, 而外方人员参会涵盖各专业领域。针对会议现场外方当面提出的技术性问题, 驻场设计代表因专业单一且经验不足, 难以迅速、准确地作出回应, 有时还需在会议期间联系国内各专业人员提供技术支持, 致使会议成果不理想, 影响图纸报批进度。尽管后期我院针对此类情况及时调整了驻场团队的人员结构, 但这也从侧面反映出我院在海外项目管理方面存在不足。同时, 也对驻场设计代表的综合能力提出了更高要求, 其不仅要具备本专业技能, 还需了解其他专业知识, 才能满足海外项目的工作需求。其他方面, 如项目初期对项目所在国的市场调研不充分, 导致设计图纸出现诸多技术性问题, 诸如砌块的尺寸规格、项目所在国未曾采用的保温层做法、规范要求的防火等级等, 均需设计代表及时协调解决。此外, 施工现场的技术问题也要求驻场设计代表第一时间到场确认并提出解决方案, 工作任务相对繁重^[3]。

4 驻场监理的职责与挑战

本项目属特种工程, 按合同约定, 我单位除设计外还负责工程监理, 主要管理质量、安全及进度。因不涉及支付控制, 我方监理在安全质量进度管控上面临巨大挑战。

首先, 国内外监理管理项目的手段措施不同。国内监理往往依赖合同、设计图纸以及规范标准, 主要采取巡视、旁站及平行检验等手段进行现场监管, 其中支付控制权作为重要手段之一, 对施工单位形成了有效制约。而在本项目实施过程中, 由于不涉及支付控制权, 监理方在质量与安全管上的手段相对受限, 难以通过经济杠杆对施工方进行约束, 导致管理力度大打折扣。监理人员在现场发现问题后, 缺乏有效的制约机制, 难以促使施工方及时整改。

其次, 验收方式不同。国内通常采取分部分

项工程验收的方式, 而本项目所在国则是每一个点位或者同一个检验批施工完成后, 均需要单独提交一份验收申请, 我方在收到验收申请后, 拿着验收单在外方工程师陪同下到现场进行验收确认。这种验收模式不仅工作量巨大, 而且缺乏对施工过程的监督, 更侧重于结果验收, 使一些施工质量问题未能在过程中及时发现和纠正, 最终导致返工或整改难度加大。我方监理人员面对此种验收方式, 往往疲于应对, 难以兼顾质量控制的全面性和系统性。各专业平均每天有40份以上的验收申请需要处理, 高峰期甚至超过60份, 极大地消耗了监理人员的精力和时间。而且质量控制的被动性和滞后性进一步加剧了施工质量的不稳定。

此外, 本项目属于特种工程, 其施工技术要求高、工艺复杂。合同约定的场区内依照我国规范执行, 但当地施工承包单位是按照本地规范进行施工, 导致在技术标准执行上产生过较大分歧。最终验收标准是以我国规范为基础, 结合项目所在国相关要求进行调整。这种双重标准的执行不仅增加了监理工作的难度, 也对监理人员的专业判断能力提出了更高要求。面对施工现场的技术分歧, 监理人员需要在尊重当地施工习惯的同时, 确保本项目的特殊技术标准要求得到落实。

最后重要的一点就是文化差异带来的管理障碍, 导致我方监理权威被严重弱化。在许多国家和地区(如中东、南亚), 当地分包商或劳工队伍有其固有的工作习惯和层级观念。他们可能不认可中方管理人员的权威, 尤其是年轻的中方工程师的指令。而且当地分包商的技术和理解能力可能有限, 难以充分理解或执行中方依据高标准所提出的复杂工艺要求, 进而呈现出不配合或表面顺从、实际违抗的状况。这种情况在本项目中尤为明显。此外, 沟通效率欠佳, 我方监理工程师的指令经翻译后可能出现信息失真, 或者仅停留在口头传达层面, 事后难以追溯, 致使项目责任界定不清, 各方相互推诿。

5 个人的一些体会和认识

本人自2015年起一直担任项目的驻场设计代表,长期驻扎海外一线,至今已有10余年。在此期间,参与了公司多个重大国际项目的设计服务与现场施工协调管理工作,项目足迹遍布东南亚、中东及非洲地区。

在长期的海外项目实践中,自身也深刻认识到国际工程管理不仅仅是技术和规范的对接,更是对文化差异的适应与融合,以及对不同管理体系的协调与统筹能力的考验。作为海外一线驻场设计人员,必须具备充分的思想准备和心理韧性,以应对复杂多变的现场环境。

首先,要对自身专业能力充满信心,并持续提升。除了精通本专业,还需广泛了解和掌握其他相关专业基本知识,以便有效解决现场的技术问题和协调难题。其次,需具备出色的沟通能力和跨文化理解力,尤其是英语交流能力必须达到能够准确表达技术要求并理解对方反馈的水平。

此外,国际项目大多位于第三世界国家,这些地区自然环境恶劣、基础设施落后,对驻场人员的心理承受能力和适应能力提出了极高要求。高温、高湿、疾病传播以及项目部的艰苦生活条

件,均构成了严峻的考验。担任驻场设计代表需要三思而后行,做好充分的思想准备。

6 未来特种国际工程项目的前景

近年来,随着我国国防实力的显著提升,各类装备技术不断突破,达到国际领先水平,受到众多国家青睐与关注。同时也为我国相关企业的特种工程提供了更多走出国门的机会。特种工程作为一个工艺要求复杂、技术标准严苛、安全保密性极高的特殊领域,对海外项目的管理和执行团队提出了更为严格的要求。因此,相关企业亟需加强人才储备和培养工作,打造一支既精通专业技术又熟悉国际规则的复合型人才队伍。

参考文献

- [1] 胡志军.浅谈总包工程的项目管理[J].科学咨询(决策管理),2008,(13):25.
- [2] 张恩勃.浅谈总包工程的项目管理[J].科学咨询(决策管理),2008,(19):24.
- [3] 覃建迪.浅谈重大建设项目设计咨询驻场服务[J].城市道桥与防洪,2007,(07):183-185+208.

doi 10.12479/questpress-jzkxygcyj.20250215

机电安装工程施工管理及创新研究

卫旭鸿

吕梁柳林经济建设投资开发有限公司, 山西吕梁, 033000

摘要: 在建筑工程项目施工管理过程中, 众所周知建筑基地安装工程的作用是无可替代的, 建筑机电安装工程的施工质量可能会对整体工程项目造成严重的影响, 有着不可忽视的作用, 在我国社会经济不断发展的背景下, 人们提高了对于建筑物的质量要求和质量指标设置, 为了全面提高工程项目的施工档次, 必须要利用先进的管理科技和管理手段, 推动建筑机电安装工程项目能够得到顺利进展和推进。因此本文围绕着机电安装工程施工管理及创新研究展开论述, 希望为有关工作者提供一些参考和建议。

关键词: 机电安装工程; 施工管理; 创新研究

Construction Management and Innovation Research for Mechanical & Electrical Installation Projects

Xuhong Wei

Lvliang Liulin Economic Construction & Investment Development Co., Ltd. Lvliang, Shanxi 033000, China

Abstract: In the construction management process of building engineering projects, the role of building infrastructure installation works is widely recognized as irreplaceable. The construction quality of mechanical and electrical (M&E) installation engineering can significantly impact the overall project, underscoring its importance that cannot be overlooked. Against the backdrop of continuous socio-economic development in China, there has been an increasing demand for higher building quality standards and specifications. To comprehensively enhance the construction caliber of engineering projects, it is imperative to adopt advanced management technologies and methodologies to ensure the smooth progress and advancement of M&E installation works. Therefore, this paper focuses on discussing construction management and innovation research in M&E installation engineering, aiming to provide relevant professionals with insights and recommendations.

Keywords: Mechanical & Electrical Installation Engineering; Construction Management; Innovation Research

引文

机电安装工程具有一定的系统性和综合性特色, 它涵盖的工程内容是多种多样的, 比如消防工程板块、给排水工作板块, 每一模块的部分质量都将会影响到整个施工项目的总体使用效益, 所以在机电安装工程施工的过程中, 必须提高对施工品质问题的注意力, 也就必须对工程质量问题做好把控与消除, 并努力为客户创造一个良好

健康的机电安装工程工作环境与生活空间。

1 机电安装工程施工管理的特征

机电安装工程的特征较为鲜明, 设备首先要具有通用性, 同时工作人员还要加强对设备的调试和安全管控^[1]。当前我国国内信息科技迅速发展, 机电科技水平得到了突飞猛进的进步, 在安装机电设备的时候, 施工作业可能会运用到各种类型的新材料、新工艺新技术和新设备。在当前



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



我国建筑行业经济快速发展的背景和前提下,很多工程的项目规模也在不断的扩大和提高中,这就意味着机电工程的施工技术一定要迈上新台阶,同时工程企业也需要通过更加合理规范的监管办法,让工程施工的操作得以更加安全平稳的进行,这样的方法才可以使施工工艺和施工技术在未来时期中更加符合要求。除此之外,在一些大型项目的施工中,必须通过较为适当的控制措施推动项目工程分布不断的进行,确保所选择的施工工艺和施工安装手段能够提高项目的整体性能。

2 机电安装工程施工管理及创新的意义

当前居民大众的生活品质已经取得了明显改善,对居住房屋的各类建筑材料的需求也进行了进一步的改善与调整,为使居住房屋的实用性与效果不断的表现出来,产生了各种各样的新型机电安装,但这些机电装置有着很强的功能性,实际应用起来并不容易,而且技术含金量也较高,这就给机电安装施工工作提出了更高的要求,也让机电工程的安装复杂性和系统性有所上升^[2]。同时,在当前中国智能化建设的不断发展的大背景下,中国国内建设行业也不断地向着建筑智能化和信息化建设的发展目标而崭露头角,所谓现代化建设,表现出来的所有特点都必须由机械施工为基础和依托,而一旦机械器件在安装实施的过程中发生了这样或者那样的情况,就有可能给建筑物的功能使用带来毁灭性的打击和严重的隐患。尤其是对于高层建筑和城市超高层建筑来说,由于楼层较高,面积较大,危险性更加明显。比如电气系统如果在安装过程中出现了施工质量和安全问题,就有可能引发整个建筑物的封闭火灾,这种类型的建筑物由于层高较大,施救难度较高,火灾扑灭极为困难,容易引发严重的人员安全事故和财产损失。由于机械安装工程的复杂性较强,重要性也较为凸显,必须要通过有效率的管理模式持续的加强机电安装工程的施工管控,也必须以此为基础展开行业变革和思想革新。

3 机电安装工程施工技术

3.1 安装母线

对于母线的安装毫无疑问是机电安装工程中不可替代的重要内容,母线安装在工程施工中的重要性是不言而喻的,必须要保证母线的安装质量才能确保整体工程的安装安全性和稳定性^[3]。母线进入到施工现场之后,需要进行妥善的安置保存和存放,不要随意堆放在容易受潮的地方,储存的环境必须要干燥通风,不能让母线受到潮湿和水分的影响。同时要加强对母线的全面检查和全面管理,除了检查母线外皮是否有破损之外还要检查它的绝缘性是否良好。在安装母线的具体环节,建筑工程相关工作者需要加强高度重视和高度配合,做好对母线的保护工作,在母线附近的位置展开施工必须要加强高度的关注和注意,防止对母线造成破坏,形成母线破损,导致安装出现问题。在某些安装完成之后,需要加强对整体安装内容的查看,重点检查的部位应当是连接部位是否存在破损的现象,如果发现问题则要及时规避,防止由于母线漏电导致火灾等更严重的安全风险。

3.2 安装机电设备

机电设备的安装是整个工程的主要内容,机电设备的种类繁多,不同类型的设备在安装过程中可能会采用不一样的方法和技术标准。因此在这一阶段的工作开展过程中,需要加强对安装技术的严格落实,防止由于施工因素造成机电设备的运行效果不佳。在具体安装机电设备之前,管理者和施工者需要比对型号,对各种设备的标号进行比对和查验,查验的主要目的是检查待安装的设备是否符合设计方案的标注要求,同时需要做好对建设项目施工现场机械设备数量的清查工作,因为通常机械器件的安放地点都是相对固定的,所以有关部门工作人员必须进行提前测量并进行放线工作,同时对机器设备的位置进行确认,还要统一机器设备的高度和水平面的相对方位,

作者简介:

卫旭鸿, (1986.8-) 男, 汉, 本科, 中级职称, 研究方向: 机电安装工程技术。

设计方案必须处于相互统一的状况,此外还要对机器设备进行加固和管理,保证装置可以正常使用。当安装静电装置结束以后,必须进行认真的检查验证工作,保证各种类型的机电设备均有稳定性。

4 机电安装工程施工管理及创新建议

4.1 提高机电工程的整体管控水平和信息化质量

为了解决传统机电管理中存在的这样或那样的问题,就必须提高对机电管理的信息化处理能力与水平,在当前阶段就必须引入更先进的信息科学与计算机技术,做好传统机电工程的经验管理^[4]。具体来说,首先就是要提高对总承包单位的质量控制,同时在建筑施工流程中也必须提高对总承包人的管理和协调能力,如果想要有效进行对互联网信息化的控制与管理工作,就一定需要对施工单位必须做好对市场的资讯的搜集工作,对政府部门所制定相关规范、价格的变动状况及其有关资讯进行有效的整合。比如市场材料价格波动情况就是特别要关注的环节,对于政府相关主管部门以及当地政府所涉及的新规范都要对相关工作人员加以掌握和了解,并向企业及时传达,及时宣传。在施工项目的具体运行和管理过程中,有关企业的管理部门需要有效发挥手中的信息链条价值,使用先进的信息化软件展开数据平台的打造,做好信息统筹和信息收集,加强对项目工程的数据库建设,在信息化平台上需要高校查询数据资料,做好资料的归档工作,从而有效地和全方面的提升机电工程施工的项目管理质量和水平。而在建设项目施工的具体项目与管理流程中,利用信息化的应用也能够提高施工管理效率和项目的发展深度。众所周知,由于机械施工管理具有极大的复杂性和系统性,一旦在某一个环节中出现了重大事故问题就可能对全局环境形成巨大的影响,所以相关工作人员就必须提高对每一安装环节以及整个安装流程的关注与把控能力。在机械安装管理数据平台的建设中一定要做好对机械安装过程的全过程数据拷贝工作,在日后竣工之后或者出现事故之后以此为参照,

形成强大的数据参考链条。

4.2 做好图纸审核工作

机电安装工程的图纸是灵魂必须要以图纸作为安装步骤的参考和依据,因此图纸是否合理可能会直接影响到这些安装工程的实际施工效果。机电安装工程整体步骤较为复杂,具有较强的主体连接性,因此设计者不能够闭门造车,否则会导致设计方案的预想与现场的实际情况不相符,也就无法相互融洽或发生冲突。而且机电设备制造的设计不协调也是设计工作中最易发生的症结所在。为降低相关因素给机电设计工作所带来的干扰,在设计工作实施以前一定要进行图纸与设计方案的核对工作,这也是工程设计工作者和技术人员都一定要关注的问题,图纸审查工作不可以浮于表面、流于形式,作为图纸审查工作者一定要站在科学的角度。比对现场实际的设计效果是不是可以对应到之前制定出来的设计计划,二者如果具有一致性才可以推广和实行,需要加强对细节问题的重视和关注,尤其需要做好图纸审核工作的强化,发现设计方案中是否存在一些缺陷,如果存在问题需要及时和设计方展开交流与沟通,及时整改方案,消除由于设计因素带来的施工不良影响。

5 结语

综上所述,在机电安装工程施工管理的过程中需要加强方法和手段的创新,把握好各个施工流程和安装细节,全面提高机电工程的整体管控水平和信息化质量,做好图纸审核工作。

参考文献

- [1] 曹清彪.机电安装工程施工管理及创新研究[J].中国设备工程,2021(20):50-52.
- [2] 林权.机电安装工程施工管理及创新研究[J].中国建筑装饰装修,2021(05):100-101.
- [3] 王康.机电安装工程施工管理及创新研究[J].大众标准化,2020(24):235-236.
- [4] 罗钟伟.机电安装工程施工管理及创新研究[J].建材与装饰,2020(21):218-219.



长江文库

综合性学术知识服务平台



· 长江文库 · 智汇知识 · 赋能学术

期刊·图书·古籍·学位论文·地方志·会议文献
覆盖全学科·服务全机构



「长江文库」一个汇聚海量学术资源的综合性知识服务平台。集期刊、古籍、地方志、图书、年鉴、会议论文、报纸于一体，覆盖自然科学、农业科学、医药科学、工程与技术科学、人文与社会科学五大学科。从专业出版服务到公共知识传播，我们连接历史与未来，服务全球学术研究与文化传承。

访问官网：www.cjwk.cn



龙源网APP
「名刊甄选」套餐会员



读杂志, 就上龙源网

可回溯往期杂志, 还可阅享1000多种精品期刊数字内容

【限时活动】订阅「龙源网」app “名刊甄选套餐” 年会员, 可专享 “**第二年会费1元**”

【套餐介绍】套餐内囊括180+种热门杂志

详细杂志清单可扫描右侧二维码了解

【费用说明】首年会费198元/年, 第二年1元, 合计199元

扫码立即订阅



龙源网阅读卡专门针对机构以及企业用户采购使用。内含付费阅读余额可购买龙源期刊网网页端以及移动端相关知识付费服务内容。并享受企业用户采购折扣价。

订卡企业微信

