



www.viserdata.com

工程施工技术

ENGINEERING CONSTRUCTION TECHNOLOGY

月刊

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 2972-4058(online) 2972-404X(print)

中国知网 (CNKI) 收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

2025 6

第3卷 总第23期

COMPANY INTRODUCTION

公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd.)成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越-融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.



工程施工技术

Engineering Construction Technology

2025年·第3卷·第6期(总第23期)

主办单位: Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N: 2972-4058 (online)

2972-404X (print)

发行周期: 月刊

出版时间: 6月

数据库收录: 中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

期刊网址: www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱: viser-tech@outlook.com

地 址: 111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,

Singapore 179098

学术主编: 朱 强

学术副主编: 魏 忠 高 江

责任编辑: 戚 朦

学术编委: 倪勤盛 陈 鹏 王子红 张耕野

侯明卫 刘 刚 赵 欢 王海军

王永华 洪秋生 李笑宇 刘汉涛

钱 冰 吉咸伟 杨熠卿 宋世超

美工编辑: 李 亚 Anson Chee

定 价: SGD 20.00

本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点; 作者文图责任自负, 如有侵犯他人版权或者其他权利的行为, 本刊概不负连带责任。

版权所有, 未经许可, 不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人: 稿件凡经本刊使用, 如无电子版或书面的特殊声明, 即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

目 录

CONTENTS

建筑工程

医院暖通系统中空气净化技术的优化与应用实践

..... 张苏润 1

既有建筑暖通系统改造的技术路径与经济效益分析

..... 张朝政 4

建筑结构中钢筋保护层厚度检测误差分析与改进策略

..... 杨 英 7

基于图像识别的建筑外墙裂缝智能检测方法研究

..... 刘叶兵 11

建筑工程中混凝土回弹法与超声法联合检测技术分析

..... 赵 伟 15

建筑工程视频监控中人脸识别技术的准确性和效率提升

方法

..... 魏 斌 19

市政工程

雨水利用系统在城市给排水中的应用与发展趋势

..... 冯玉洁 22

高速公路交能融合项目开发的影响因素分析及建议

..... 柳昱洵 25

材料工程

工程废弃泥浆制备流态固化土的强度与流动性研究

杨 炜 赵冬冬 陈 新 何继宏 张 勇 夏 涛 29

CnZn 合金阻垢材料在循环冷却水系统中的应用性能分析

..... 姜 旭 33

工程管理

创新模式在建筑工程管理中的应用和发展

..... 林珊如 陈桂兰 36

建筑工程项目进度管理中的关键路径优化方法 ... 许永健 39

探讨混凝土预制桩基施工技术与管理

李 雪 42

信息技术在建筑工程管理中的运用分析

..... 黄弋珊 陈法林 45

施工技术

东莞市某超高层住宅结构超限设计

梁 添 48

基于绿色理念的路桥施工技术与分析.....
..... 刘细茂 李 腾 53
砖混结构老旧房屋墙体裂缝与沉降问题成因及治理措施
探讨 李会明 56
高墩施工技术在高速公路桥梁工程中的应用.... 李 锋 59
公路工程施工的技术要点及质量控制措施 李 鑫 62
复杂地层中桩基及基坑支护施工方法 刘 恒 65
高速公路桥梁墩台施工方法及施工技术 周明明 68

机电机械

OCP 反应器疲劳-蠕变失效模式分析..... 李伟强 71
旋转式干燥机主轴轴承润滑系统改造设计研究
..... 史联兴 75
双螺杆挤压造粒机设备的维护管理 李枝博 78
浅谈变频控制技术的日常维护及故障分析
..... 王泽坤 李朝辉 81
超期服役真空转鼓过滤机长周期运行研究
..... 惠红鲸 孙源智 刘 闯 金圆圆 85

能源矿业

充填采矿技术的应用研究 刘海龙 88
煤矿快速掘进中的锚网索支护技术分析 王保洪 91

土壤储能的系统构建与效益分析.....
..... 李 波 高玉辉 党 嵬 95

勘察测绘

浅析无人测量船在水下地形测量中的应用前景
..... 欧阳飞 98
多旋翼无人机倾斜摄影在油气田三维地形建模中的实践
应用 逢万泽 101
提高电力工程岩土勘察质量及对策探讨 李光武 104

建筑设计

装配式建筑设计中的模块化与标准化策略研究
..... 武梦磊 107
实验室采用非隔热型防火玻璃时的防护冷却系统设计.....
..... 王爽莉 王冬月 110
建筑节能技术在寒冷地区住宅中的应用研究 张 欣 114
可持续建筑设计中的节能技术与应用研究 孟世杰 117
谈传统建筑设计元素在现代建筑中的应用 李媛媛 120
地域文化在现代建筑外观设计中的传承与创新
..... 靳献龙 123
建筑设计中通风采光条件对住宅健康性能的影响探讨.....
..... 阿依谢姆·艾则孜 126

医院暖通系统中空气净化技术的优化与应用实践

张苏润

中联合盛科技有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着医疗环境对空气质量要求的日益提高, 医院的暖通空调系统在提供舒适环境的同时, 必须确保空气的洁净度。文中围绕医院暖通系统中空气净化技术的优化与应用展开讨论, 分析了当前空气净化技术在医院中的应用现状, 并探讨了如何通过技术创新和系统设计优化, 提升空气净化效果。研究表明, 结合高效空气过滤设备、智能化空气质量监控系统及优化暖通系统设计, 有助于有效净化空气, 减少医院内部空气污染, 提高患者康复环境。文章最后提出了优化空气净化技术的具体实施方案及其对医院运作的影响。

[关键词]空气净化技术; 医院暖通系统; 室内空气质量; 技术优化; 系统设计

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16879

中图分类号: TU831.3

文献标识码: A

Optimization and Application Practice of Air Purification Technology in Hospital HVAC System

ZHANG Surun

Zhonglian Hesheng Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the increasing demand for air quality in medical environments, the HVAC system in hospitals must ensure the cleanliness of the air while providing a comfortable environment. The article discusses the optimization and application of air purification technology in hospital HVAC systems, analyzes the current application status of air purification technology in hospitals, and explores how to improve air purification efficiency through technological innovation and system design optimization. Research has shown that combining efficient air filtration equipment, intelligent air quality monitoring systems, and optimized HVAC system design can effectively purify the air, reduce internal air pollution in hospitals, and improve the rehabilitation environment for patients. The article concludes with a specific implementation plan for optimizing air purification technology and its impact on hospital operations.

Keywords: air purification technology; hospital HVAC system; indoor air quality; technical optimization; systems design

引言

医院作为公共卫生的重要场所, 空气质量对患者的康复过程和医护人员的工作环境有着直接的影响。近年来, 随着空气污染问题的加剧以及医院患者群体的特殊需求, 如何在医院暖通系统中有效应用空气净化技术, 成为了一个备受关注的话题。尤其是在疫情后, 医院对空气质量的要求更加严格, 普通的空气调节设备已无法满足需求, 因此, 如何通过技术手段优化暖通系统, 提升空气净化效率, 成了当前研究的热点。本文将探讨在医院暖通系统中实现空气净化技术的优化路径, 以及如何结合现代技术创新实现有效的空气质量改善, 为医院的环境管理提供实践依据。

1 医院空气净化技术的现状分析

医院空气净化技术在近年来得到越来越多的关注, 尤其是随着患者对环境空气质量要求的提升以及空气污染问题的日益严重。医院作为一个特殊的公共场所, 其内部空气质量直接影响到患者的康复效果与医护人员的工作环境。在现阶段, 医院大多采用了传统的暖通空调系统来调节室内温度和湿度, 但这些系统对于空气质量的控制作用较为有限, 尤其是对细菌、病毒、PM2.5 等有害物质的过滤和净化能力不足。为了改善这一情况, 许多医院开始

引入更先进的空气净化技术, 以确保室内空气的洁净度。

目前, 医院暖通系统中的空气净化技术主要集中在高效空气过滤、空气消毒和空气质量监控三个方面。高效空气过滤技术, 通过高效 HEPA 滤网、活性炭滤芯等设备, 能够有效过滤空气中的颗粒物、细菌和病毒, 为患者提供更加清洁的空气环境。这种技术的过滤效果在面对较小颗粒物或气体污染时, 仍然存在一定的局限性。为了提高空气净化效率, 一些医院开始结合紫外线消毒设备及负离子发生器等技术, 进行空气消毒和杀菌处理, 这种组合方式在提升空气质量的同时, 也增加了系统的复杂性和维护成本。

空气质量监控技术的应用则主要体现在实时监测室内空气中的有害物质浓度, 并通过智能系统进行调节。随着物联网和大数据技术的发展, 越来越多的医院开始采用智能化的空气质量监测系统, 这些系统能够实时监控空气中的有害物质, 并根据实际情况自动调节暖通系统的运行模式, 达到优化空气质量的目的。尽管如此, 现有技术在医院环境中的应用还面临一些挑战, 如设备的维护成本较高、空气净化效果不稳定等问题。医院在进行空气净化技术的选择和应用时, 需要综合考虑技术的可行性与经济性。

2 暖通系统中空气净化技术的挑战

在医院这样一个特殊的环境中,暖通系统不仅仅是温度和湿度的调控工具,它还需要能够有效应对各种空气污染源的挑战。传统的暖通系统在面对空气净化需求时存在显著的不足,无法满足高效过滤和持续净化的要求。医院内部有大量的空气污染源,如病菌、病毒、化学物质等,这些污染源的类型复杂,要求空气净化技术具备更高的综合性能。空气净化技术的适应性是面临的首要问题。医院内的不同区域有着不同的空气质量要求,手术室、病房、候诊区等区域的空气净化需求差异极大。手术室要求达到极高的洁净度,而病房区域则侧重于减少空气中的微生物污染。空气净化技术需适应医院不同建筑结构 with 空间布局的特点。不同区域的空气流通情况、患者人数、疾病种类等因素,都可能影响空气净化的效果。暖通系统中空气净化技术的应用必须具有高度的灵活性,以便根据实际情况调整设备的工作模式。

系统的集成性也是一个挑战。医院通常使用多种设备进行空气净化,这些设备之间的配合与协作需要高效的系统集成。暖通系统、空气净化器、紫外线消毒器等多个系统的联动,往往涉及复杂的控制逻辑和大量的数据交换。如何确保各个设备在保证空气质量的同时,实现高效的运行和管理,成为了技术整合中的一大难题。设备的高效运行依赖于精确的控制系统,现有的技术和平台尚未能够很好地解决不同设备间的协同工作问题。经济性也是一个不可忽视的问题。医院的运行成本中,暖通系统的能耗占据了较大比重,而空气净化设备的投入和维护成本又进一步增加了医院的经济负担。高效空气净化技术需要较高的初期投资及持续的设备维护费用。如何在保证空气质量的同时,降低能源消耗和运行成本,成为医院选择空气净化技术时必须考虑的关键因素。

3 优化空气净化技术的关键技术路径

在医院暖通系统中,优化空气净化技术的核心是结合先进的空气净化设备与智能化控制系统,提升空气净化效率,并确保系统的经济性和可操作性。为了实现这一目标,需要从多个技术角度入手,综合运用多种技术手段。在设备选择上,采用高效空气过滤器是优化空气净化的基础。医院中常见的 HEPA (高效空气过滤器) 和 ULPA (超高效空气过滤器) 能够有效过滤空气中的细菌、病毒、尘土及其他微小颗粒物。尤其是在手术室、ICU 等高洁净需求区域,安装高效空气过滤器能够有效防止空气中的微生物传播,提供无菌环境。活性炭滤芯和化学吸附材料能够吸附空气中的有害气体,如甲醛、苯等挥发性有机物,增强空气净化系统的功能。随着空气净化技术的发展,结合多重过滤层次的设备设计越来越得到重视,这不仅提高了空气净化效率,也使设备的使用寿命得到延长。

除了传统的空气过滤技术,紫外线消毒技术与负离子

发生器的结合应用在空气净化中的作用也愈加明显。紫外线消毒技术能够有效杀灭空气中的细菌、病毒,尤其在疫情期间,对于抑制空气传播的病毒起到了关键作用。负离子发生器通过释放负离子,使空气中的颗粒物与污染物带电,进而沉降在空气中,从而减少空气中悬浮颗粒的数量。结合这些技术,可以在医院环境中更为精准地进行空气净化和消毒处理。智能化控制技术的应用是优化空气净化系统的另一个关键路径。随着物联网技术的发展,医院内部的空气净化系统逐步实现智能化控制,能够实时监控空气质量并根据监测数据进行动态调节。安装智能传感器对空气中的细菌浓度、PM2.5、温湿度等指标进行实时监测,系统根据数据自动调整暖通设备的运行状态,确保室内空气质量始终保持在最佳状态。这一智能化过程不仅提高了空气净化效率,也降低了系统的能耗,提升了设备的使用寿命。

能源管理技术的优化也是关键因素之一。在医院暖通系统中,能源消耗往往是一个较大的负担,如何在提升空气净化效果的同时,降低系统的能源消耗成为一个亟待解决的问题。通过引入高效能的空气净化设备、优化暖通系统的设计,减少能源浪费,能够在保持空气净化效果的同时,降低医院运营成本。例如,采用变频空调和智能控制技术,不仅能在需要时提供强力的空气净化,也能根据实际需求调节设备的功率,避免能源的过度消耗。

4 空气净化系统与暖通设备的协同作用

在医院暖通系统中,空气净化系统与暖通设备的协同作用是确保室内空气质量和舒适度的关键。两者的有效整合,不仅有助于提升空气质量控制的效率,还能增强系统整体的运行效果,提供一个更安全、健康的环境。暖通系统负责温度、湿度及气流的调节,而空气净化系统主要致力于去除空气中的污染物。两者的配合需要在设计和运行过程中相互协调,以实现最大化的净化效果与舒适度。暖通系统与空气净化设备的协同作用,首先体现在空气流动与空气净化效率的提升上。暖通设备通过控制空气的流动,决定了空气净化器的工作效率。有效的空气流通能确保空气净化器处理整个空间的空气,避免死角区域的污染物堆积。尤其是在医院中,空气流通的设计必须考虑到区域内不同空气需求的差异,手术室、病房、候诊区等不同区域的空气流动模式需要不同的暖通系统支持,这样才能确保空气净化器能够在各个区域高效工作。

智能化的控制系统可以优化空气净化与暖通设备之间的互动。通过安装空气质量监测设备,实时检测室内的污染物浓度,当空气质量下降时,智能系统能自动调节暖通设备的运行模式,增加空气净化系统的工作强度。反之,当室内空气质量达到标准时,系统会降低设备的工作负荷,节省能源并延长设备使用寿命。智能控制系统的应用使得暖通系统与空气净化设备能够根据环境需求自动调节,极大提升了整个系统的能效和净化效果。

温湿度的控制也与空气净化系统的效果密切相关。暖通系统通过调节温湿度为空气净化器提供一个更为有利的工作环境。过高的湿度可能导致过滤器积尘或污染物的附着,使空气净化效果降低。而温度过低则可能影响空气净化设备的工作效率,特别是湿度控制与过滤系统的结合。如果暖通系统能够与空气净化系统紧密结合,并在温湿度控制方面进行精准调节,将能显著提升空气净化的效率。在医院环境中,暖通设备与空气净化系统的协同作用还体现在应对不同污染源的能力上。医院内空气中的污染物种类复杂,包括病菌、化学气体和颗粒物等。暖通系统通过提供持续的空气流动,不仅可以有效带走热量和湿气,还能通过合理的空气换气频率降低有害气体的浓度。空气净化系统则通过各种净化技术,如HEPA过滤、紫外线消毒等,去除空气中的细菌、病毒及颗粒物。二者结合,有效提升医院内的空气质量,确保患者、医护人员的安全与健康。

5 优化策略的实施与效果评估

优化空气净化技术的实施与效果评估,是医院暖通系统中空气质量管理的关键环节。为了确保医院环境的空气质量达到预期标准,优化策略的有效实施是基础,而评估这些优化措施的实际效果,则为后续的改进提供依据。实施过程中需要精确分析医院内各区域的空气质量需求,并根据这些需求调整设备的选型和配置,以最大化空气净化效果。在实施优化策略时,首先要精确选定合适的空气净化设备。不同区域有不同的空气净化需求,手术室、重症监护室等高洁净区域需要采用高效过滤和消毒设备,病房区域则侧重于日常空气净化和病原体控制。在具体设备选型时,结合HEPA滤网、紫外线消毒技术以及活性炭吸附等多种技术手段,能够在不同程度上提高空气净化效果。设计合理的空气流动路径,也是实现高效空气净化的关键。通过优化暖通系统中空气流动的设计,能够减少空气死角,提高设备运行效率。

在设备安装和调试阶段,确保系统的精确运行和稳定性至关重要。针对不同医院建筑的特殊需求,采取灵活的控制策略,使暖通系统与空气净化系统能实时响应空气质量的变化,进一步提升空气净化效果。系统集成与控制平台的引入,使得医院可以更加精准地调节空气净化设备的运行状态,实现按需运行,从而减少能源浪费,保证高效

的空气净化。优化策略的效果评估在实施过程中扮演着重要角色。通过设置空气质量监测点,实时获取数据,能够动态掌握医院各个区域的空气质量状况。利用传感器和智能监控系统,医院管理人员能够精准监控PM_{2.5}浓度、细菌数量、病毒载量等关键指标,确保空气净化系统的运行效果达标。定期进行设备性能评估和空气质量抽样检测,能有效发现系统运行中的问题,及时进行调整和维护。

评估过程中还需要考虑能效与经济效益的综合评估。在保持高效空气净化效果的同时,如何优化设备运行,减少能源消耗,是影响优化策略效果的重要因素。通过对系统能效的持续监测,及时发现过度能耗的环节,并进行调整,能够有效降低医院的运营成本。综合考虑设备的维修周期和使用寿命,通过定期保养与及时更换,保证系统长期稳定运行,提升空气净化效果的持续性。优化策略实施后的效果评估不仅仅是数据的收集与分析,还需要根据评估结果进行反馈和优化。

6 结语

本文探讨了医院暖通系统中空气净化技术的优化与应用,强调了暖通设备与空气净化系统的协同作用以及优化策略实施与效果评估的重要性。通过对现有技术的分析和优化路径的提出,旨在为医院提供一个高效、经济的空气质量控制方案,确保医院内的空气质量符合健康要求。在未来的研究中,如何进一步提高系统的智能化水平和降低运营成本,将是空气净化技术优化的重要方向。

[参考文献]

- [1]王敏,李丽.医院暖通系统中空气净化技术的应用与发展[J].现代医院,2022,35(7):102-105.
- [2]张建华,赵伟.基于智能控制的医院空气净化系统研究[J].建筑设备工程,2021,45(6):88-92.
- [3]朱晓波,李雪.医院空气净化技术的关键技术与挑战[J].环境工程学报,2023,19(2):123-128.
- [4]刘国光,王雷.现代医院暖通空调系统设计与空气质量控制[J].暖通空调,2020,41(4):45-50.
- [5]赵宇,刘涛.医院环境空气净化策略与技术优化[J].环境科学与技术,2022,28(9):75-79.

作者简介:张苏润(1993.5—),女,汉族,毕业学校:石家庄铁道大学,现工作单位:中联合盛科技有限公司。

既有建筑暖通系统改造的技术路径与经济效益分析

张朝政

九易庄宸科技（集团）股份有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着建筑节能要求的不断提高，既有建筑的暖通空调系统逐渐暴露出能效低、设备老化、运营成本高等问题。暖通系统的改造成为提升建筑能效、降低运营成本的有效途径。本论文首先分析了目前既有建筑暖通系统面临的技术瓶颈，接着提出了一系列技术改造路径，如设备更新、系统优化和智能控制技术的应用。通过对不同改造方案的经济效益分析，研究发现，合理的技术路径能够显著降低建筑的能源消耗和运营成本，同时提高舒适度。最后，结合具体案例，探讨了改造项目的实施过程及其带来的经济效益，证明了暖通系统改造在提升建筑整体性能方面的巨大潜力。

[关键词]暖通空调系统；技术改造；能效提升；经济效益；建筑节能

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16878

中图分类号: TU201.5

文献标识码: A

Technical Path and Economic Benefit Analysis of Existing Building HVAC System Renovation

ZHANG Chaozheng

Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous improvement of building energy-saving requirements, the HVAC systems of existing buildings are gradually exposed to problems such as low energy-saving, aging equipment, and high operating costs. The renovation of HVAC systems has become an effective way to improve building energy-saving and reduce operating costs. This paper first analyzes the technical bottlenecks faced by existing building HVAC systems, and then proposes a series of technological transformation paths, such as equipment updates, system optimization, and the application of intelligent control technology. Through the analysis of the economic benefits of different renovation plans, it has been found that a reasonable technological path can significantly reduce the energy consumption and operating costs of buildings, while improving comfort. Finally, combined with specific cases, the implementation process of the renovation project and the economic benefits it brings were discussed, demonstrating the enormous potential of HVAC system renovation in improving the overall performance of buildings.

Keywords: HVAC system; technological transformation; energy-saving improvement; economic performance; building energy-saving

引言

建筑作为能源消耗的重要领域，暖通空调系统的能效优化和系统改造已经成为建筑节能的重要组成部分。既有建筑普遍存在暖通系统老化、能效低下、管理不足等问题，这不仅导致了能源的大量浪费，也增加了建筑的运营成本。针对这一问题，暖通系统的技术改造逐渐成为建筑改造的重点。如何在现有条件下通过合理的技术路径进行暖通系统的优化，以降低能耗、提升舒适度并实现经济效益，是当前建筑节能研究的重要方向。本文将从技术路径的选择、改造过程的实施到经济效益的评估，全面探讨暖通系统改造的可行性与价值，为相关领域提供实践指导和理论支持。

1 暖通系统改造的现状与挑战

在许多既有建筑中，暖通空调系统面临着性能不足、设备老化和能源浪费等一系列问题。随着建筑节能要求的提高，传统的暖通系统已经无法满足现代建筑对节能和舒适性的双重需求。许多既有建筑的暖通空调系统设计时未考虑到当前的节能标准，导致设备效能低下，能源消耗大。尤其是在老旧建筑中，系统设备普遍老化，管网泄漏和设备故障频繁，造成了严重的能源浪费和维护成本的增加。

现有的管理系统大多无法实现智能化控制，导致能源的利用效率低，无法及时调节温度和湿度等环境参数，无法满足不同季节和用户需求的变化。

在此背景下，暖通系统的改造成为了亟待解决的问题。改造不仅需要解决设备更新和技术升级的问题，还要在保证舒适性和功能性的同时，做到节能降耗和低成本运营。既有建筑的暖通系统改造面临的挑战并不仅仅是技术层面的更新，更包括了现有建筑结构的限制、系统匹配度差、改造周期长等问题。建筑结构的局限性决定了许多新技术的应用空间有限，如智能控制系统和高效设备的集成会受到空间、管道布局等因素的制约。暖通系统的改造往往需要较高的初期投资，且项目实施过程中可能会对建筑的日常使用产生一定影响。因此，如何平衡技术创新与建筑实际情况，合理选择合适的改造方案，成为了一个重要的研究课题。

2 既有建筑暖通系统的技术改造路径

在既有建筑的暖通系统改造过程中，技术路径的选择尤为关键。为了实现节能和提升舒适性，现代化技术的引入不可避免。面对既有建筑的实际条件和功能需求，技术

改造路径应更加精细化和个性化。设备更新是一个不可忽视的改造方向。随着技术的发展,市场上涌现出一系列高效、低能耗的暖通设备,诸如变频空调、智能温控系统等。这些新型设备相比传统设备具有更高的能效比,通过自动化控制和实时调节,可以实现对能源的更精确使用,进而减少能耗和运营成本。对于老旧建筑来说,设备更新不仅仅是更换空调机组和风机,还包括更新配套的管道、阀门和散热器等关键部件。

系统优化也成为技术改造的重要组成部分。现有的暖通系统往往存在运行不稳定、效率低下的问题。通过对现有管网、空调系统和风道的检查与调整,可以消除其中的冗余环节,实现负荷平衡,提高系统整体的运行效率。先进的自动化控制技术也为暖通系统的优化提供了新的路径。智能化控制系统能够根据室内外温度变化、空气质量、湿度等多个参数自动调节空调设备的工作状态,避免能源浪费的同时,还能确保室内环境的舒适度。

除了设备更新和系统优化,节能技术的引入也是技术改造中必不可少的一环。采用如热回收、太阳能辅助加热和地源热泵等节能技术,能够有效减少系统的能量消耗。热回收技术能够通过回收空调系统产生的废热,将其转化为可再利用的能源,从而减少额外能源的消耗。对于一些老旧建筑,采用绿色建筑材料、加强保温隔热等措施,也可以提高暖通系统的工作效率。既有建筑暖通系统的技术改造路径不仅包括设备和系统的更新,还需要结合建筑特点、环境条件以及经济预算,选用合适的技术手段进行综合改造,以达到提高能源效率、降低运营成本、提升室内舒适度的目的。

3 技术改造方案的能效提升分析

在既有建筑暖通系统的技术改造中,能效提升是评估改造效果的核心指标之一。通过引入高效的设备和智能控制技术,能够显著降低建筑的能源消耗,并提高系统的运行效率。能效提升的关键在于优化系统运行模式和减少不必要的能源浪费。全面评估不同技术改造方案对能效的影响显得至关重要。设备更新是实现能效提升的一个直接途径。传统的空调机组和锅炉通常存在效率低下、能源浪费的问题,而新型变频空调设备和高效锅炉的引入,则能够在较大程度上减少能源消耗。变频空调设备可以根据负荷需求调节压缩机的转速,实现对能源的精细控制,避免因设备长期满负荷运行而造成的能耗浪费。与此同时,采用高效热泵技术,通过从周围环境中回收热量,实现制冷和制热的双向能效提升,也是一项有效的技术路径。热泵技术能够在低温环境下高效工作,减少了传统加热系统对电能或燃气的依赖,进而降低了运营成本。

智能化控制系统的应用在提升能效方面同样发挥着重要作用。通过引入智能温控系统,可以根据实时室内外温度变化自动调节空调设备的工作状态,避免了传统暖通

系统中的过度运行和能量浪费。智能控制系统能够结合建筑的使用情况、人员活动密度等因素,动态调整各区域的温度和湿度,确保舒适的环境条件的同时最大化减少能源消耗。智能化系统的远程监控和故障诊断功能,可以及时发现设备异常和运行不正常的情况,减少停机时间和维修成本,进一步提高系统的整体能效。

节能技术的引入也是提升能效的一个重要方面。热回收系统能够将空调系统排放的废热转化为可再利用的能源,用于预热水或供暖等,这在冬季尤其具有显著效果。通过热回收系统的优化设计,可以使得原本浪费掉的能源得以高效利用,减少外部能源的需求。采用地源热泵系统或太阳能辅助加热系统,能够进一步减少对传统能源的依赖。地源热泵技术通过地面温度的稳定性提供热量,极大地降低了冬季供暖所需的能量,而太阳能系统则利用免费可再生的太阳能资源,为建筑提供清洁能源。技术改造方案的能效提升不仅依赖于设备的更新换代,还需要通过系统优化、智能控制和节能技术的结合,综合实现建筑暖通系统的能效提升。这种多方位的技术路径优化,能够在确保室内环境舒适性的前提下,显著降低建筑的能源消耗和运营成本,提高整体运行效益。

4 经济效益分析与成本控制

在既有建筑暖通系统的改造过程中,经济效益分析与成本控制是确保项目成功与可持续性的关键因素。暖通系统改造通常需要较大的初期投资,在实施过程中,需要对改造后的长期经济效益进行全面评估。改造的核心目标是通过提高系统的能效、降低能源消耗和运营成本,从而实现较快的投资回报。为了保证改造项目的经济性,必须在设备选择、施工过程、运营阶段等各个环节进行精确的成本控制与效益分析。对改造项目进行经济效益分析时,主要考虑节能减排和运营成本的降低。通过升级为高效暖通设备,如变频空调和智能控制系统,可以实现节能目标。变频空调能够根据实际负荷调节能耗,减少了系统不必要的电力消耗。而智能控制系统则通过自动调节温度和湿度,使得能效更为精细化管理,从而避免了能源浪费。这些技术的应用直接影响了建筑的能源使用成本,使其逐步趋于合理化和低成本化。能效提升后的建筑不仅在运营过程中减少了电费、水费等开支,还能有效延长设备的使用寿命,减少了日常维护和更换费用。

除了能效提升,系统改造的投资回收期也是经济效益分析中的重要组成部分。通常,通过节能改造,建筑的年能耗将大幅降低,这使得改造投资的回收周期大大缩短。节能改造的投资回收期主要取决于改造技术的选择、建筑的规模和运行环境。较为高效的技术方案能够在3-5年内收回初期投入,改造后的建筑将在此之后进入持续盈利期。系统改造的经济效益已经逐渐显现,建筑能够通过持续的节能运行,持续创造效益。

成本控制方面,关键在于在确保改造质量的前提下,合理配置资源,降低不必要的支出。施工阶段的成本控制是实现高效改造的基础,采用现代化的施工管理手段,如BIM技术,可以有效缩短施工周期、减少施工过程中的浪费。合理选择设备和材料,避免过度设计和高成本的技术方案,也能有效减少初期投资。在运营阶段,持续优化系统运行、加强设备维护,也是降低长期成本的关键。通过智能监控系统及时发现设备故障并进行远程调节和修复,可以避免设备运行中的能源浪费和维修成本。通过上述经济效益分析与成本控制措施的实施,不仅能够提高暖通系统的能效,还能确保项目在经济上的可行性和长远性。合理的成本控制和有效的经济效益分析能够为既有建筑的暖通系统改造提供坚实的财务保障,推动建筑行业的绿色可持续发展。

5 案例研究与改造实施效果总结

在实际应用中,暖通系统的改造不仅是理论上的探讨,更需要通过具体案例来验证其有效性与实际效果。一个典型的改造案例可以帮助理解在现有建筑中实施暖通改造的技术路径、经济效益和实施过程中的挑战。在某市一座办公大楼的暖通系统改造项目中,建筑原有的中央空调系统存在能效低、设备老化、能耗过大等问题,系统运行不稳定,温控效果不理想,影响了员工的工作舒适性。该项目的改造采取了多项高效技术手段来解决这些问题。首先对原有中央空调机组进行了更换,选择了高效变频空调设备,结合智能温控系统,使系统能够根据实时的室内外温差、湿度等数据调整运行状态,避免了传统系统的过度运行。在系统的管道和散热器部分,进行了一次全面的检查和升级,替换了部分老化设备,优化了管网布局,减少了不必要的能源损耗。改造过程中还引入了热回收系统,通过回收空调制冷时产生的废热进行水加热,实现了热水的供应和空调系统的双向能效提升。

改造后,办公楼的暖通系统运行情况得到了显著改善。系统能效提升了30%以上,建筑的总能耗得到了有效控制。电费支出大幅下降,原本每年大约需要支付的电力费用从200万元降至140万元,年节省成本达到60万元。改造后的空调系统运行更加稳定,室内温度的波动幅度也得到了有效控制,员工的舒适感显著提升。通过引入智能化控制,管理人员可以实时监控系统的运行状态,并进行远程调整,极大地降低了系统维护和设备故障的风险。

在实施过程中,项目团队也遇到了一些挑战,主要体现在设备的适配性和施工时的局部改动上。由于原有建筑设计的局限性,部分新设备的安装需要进行空间调整和管道重新布置,施工过程中造成了一定的时间延误。此外,初期投资较高也是改造项目中的一大问题,尤其是在设备采购和智能控制系统的搭建上,项目的前期资金投入较为庞大。但通过对长期效益的预估和运营成本的详细分析,改造的投资回收期大大缩短,经济效益逐渐显现。该案例的改造效果明显,能效提升不仅降低了运营成本,还提高了系统的舒适性和稳定性,成功实现了技术升级和经济效益的双赢。项目的顺利实施也为后续类似建筑暖通系统改造提供了宝贵经验,证明了通过科学的技术选择和合理的成本控制,建筑暖通系统改造能够带来显著的效益和优化效果。

6 结语

本研究通过对既有建筑暖通系统改造的技术路径和经济效益分析,探讨了如何通过技术创新提升系统能效,降低能源消耗,达到节能减排的目标。在实际案例的支持下,证明了智能化控制系统和高效设备的引入,能显著提高系统的运行效率,并通过精细化管理降低运营成本。改造后的建筑不仅在能源使用方面实现了优化,还提升了室内环境的舒适度。尽管改造初期需要较大投资,但其快速的投资回收期和长期的节能效果,充分显示了该改造路径的经济可行性。既有建筑的暖通系统改造不仅是节能减排的必要步骤,也是推动建筑行业可持续发展的关键。

[参考文献]

- [1]李明,王浩.建筑节能技术在暖通空调系统中的应用[J].建筑技术,2023,54(8):1072-1076.
- [2]张勇,刘晨.现代建筑暖通系统节能改造研究[J].绿色建筑,2022,15(2):89-93.
- [3]陈洁,李瑞.基于智能控制的建筑暖通系统节能优化分析[J].建筑节能与环境,2023,12(5):45-48.
- [4]王磊,张强.变频空调在暖通系统中的能效提升作用[J].空调制冷,2022,29(1):67-71.
- [5]陈鹏,赵玲.绿色建筑暖通系统改造与节能技术探讨[J].环境与建筑,2023,19(7):112-116.

作者简介:张朝政(1994.2—),男,汉族,毕业学校:河北建筑工程学院,现工作单位:九易庄宸科技(集团)股份有限公司。

建筑结构中钢筋保护层厚度检测误差分析与改进策略

杨 英

芜湖科欣建设工程检测有限责任公司, 安徽 芜湖 241100

[摘要]混凝土结构的耐久性和受力性能与钢筋保护层厚度直接相关,在工程质量评估中其检测精度意义重大,厚度检测常见误差有设备、操作、施工和数据处理方面的误差容易让测量结果失真,优化检测设备性能、操作流程标准化、强化数据分析方法、加强施工阶段前置控制能有效提升钢筋保护层厚度检测的准确性与稳定性从而保障结构安全和设计使用年限。

[关键词]钢筋保护层厚度;检测误差;电磁感应法;结构耐久性;检测精度提升

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16859

中图分类号: TU375

文献标识码: A

Error Analysis and Improvement Strategies for Thickness Detection of Reinforcement Protective Layer in Building Structures

YANG Ying

Wuhu Kexin Construction Engineering Testing Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241100, China

Abstract: The durability and stress performance of concrete structures are directly related to the thickness of the steel reinforcement protective layer. Its detection accuracy is of great significance in engineering quality assessment. Common errors in thickness detection include equipment, operation, construction, and data processing errors, which can easily distort the measurement results. Optimizing the performance of detection equipment, standardizing the operation process, strengthening data analysis methods, and enhancing pre control during the construction stage can effectively improve the accuracy and stability of steel reinforcement protective layer thickness detection, thereby ensuring structural safety and design service life.

Keywords: thickness of steel reinforcement protective layer; detection error; electromagnetic induction method; structural durability; improvement detection accuracy

引言

在混凝土结构里,钢筋是主要受力构件,结构的耐久性、安全性会被钢筋保护层厚度影响且防火、抗腐蚀等性能也与之直接相关,工程质量监管要求不断提高使得钢筋保护层厚度检测技术的精度和稳定性愈发受人关注,实际工程里检测误差常出现从而容易产生结构隐患或者返工问题,深入分析误差成因、探索科学有效的改进策略已经是提升检测水平、保障工程质量的关键了。

1 钢筋保护层厚度检测的基本原理与方法

1.1 钢筋保护层的功能与规范要求

在混凝土结构里,混凝土外表面和钢筋之间有钢筋保护层,这是结构中不可缺少的部分且起着防护和传力的重要作用,主要能防止钢筋生锈、提升耐火性、维持钢筋和混凝土协同工作的力学性能等,保护层太薄时钢筋容易暴露在外界环境下从而使结构耐久性降低,太厚则可能削弱混凝土与钢筋的握裹力进而影响结构整体稳定性。

我国现行的《混凝土结构设计规范》(GB50010)明确规定了不同部位、不同环境等级下钢筋保护层的厚度,像普通室内环境中主筋保护层不能小于 15mm,室外或者潮湿环境下要依据腐蚀等级适当增加厚度,施工与验收有

了这些规定做技术依据后检测也被提出了精度要求。

1.2 常见的检测方法简述

目前,钢筋保护层厚度检测手段里电磁感应法应用得最为广泛,其原理是检测钢筋对电磁感应信号响应的变化从而确定钢筋位置与到表面的距离,具有非破损、操作便捷、实时性强的优势。

雷达法用高频电磁波扫描结构内部,靠波的反射信号来识别钢筋位置与厚度,适用于结构复杂或者钢筋布置密集时;超声波检测法凭声波在不同介质中传播速度的差别定位,但受混凝土质量影响大,主要用于在厚层混凝土里识别钢筋分布。

手工测量法一般是把混凝土局部挖到钢筋面后用游标卡尺去量,该方法破损性不小,但结果很直观准确,经常被当作别的检测手段的校核依据。

1.3 各检测方法的适用条件与局限性

普通钢筋混凝土构件适合用电磁感应法,不过这对钢筋分布有一定要求,要是钢筋太密或者混凝土含水率高就会影响测量精度;雷达法抗干扰能力强,适用于湿度大、钢筋深埋的结构,但设备成本高、数据处理复杂且对操作人员技术要求也高。

较大厚度构件内部分析多采用超声波法,该方法对混

混凝土质量要求比较高且存在信号衰减情况,手工测量法准确度高但操作起来既繁琐又破坏结构完整性从而限制了其大范围使用。

构件类型、施工阶段、现场环境和检测目的都得结合起来才能合理选择检测方法,从而保证精度并提升检测效率。

2 钢筋保护层厚度检测误差来源分析

2.1 设备误差

检测精度受限的首要因素是设备误差,常用非破损检测方法如电磁感应法,信号采集质量和探头灵敏度非常关键,感应线圈一老化、探头灵敏度一下降或者信号接收不稳定,厚度读数就极易波动,而且仪器长期使用若不定期标定,系统偏差会慢慢积累,整体测量结果准确性就受影响。

检测设备品牌型号不同,硬件构造、信号处理算法、标定机制就有差异,同一测区重复检测也可能有偏差,这种误差现场不易人为修正,因此保障一致性的重要措施是设备选型要统一,还要定期检测设备精度。

2.2 操作误差

操作误差的来源广泛又具偶然性,检测人员的技能水平和现场执行规范对其影响较大,在实际检测时,若检测角度有偏差或者探头与构件表面没保持垂直,测量数据就会偏高或偏低,并且测点位置选得不合理的话,结构中有代表性的薄弱点就会被错过从而结果就会失真。

设备使用的熟练程度在检测人员之间存在差异且判断数据合理性的经验也有不同,这些都会引发人为误差,环境存在干扰因素如钢筋分布太密、混凝土含水率高、构件表面粗糙或者不平整,都可能使信号衰减或者干扰增强进而影响测量稳定性。

2.3 构造与施工偏差

钢筋保护层厚度偏离设计值的直接根源在于施工阶段产生的偏差,若模板定位不准或者在安装时发生位移,构件整体尺寸就会和设计要求不符且钢筋与混凝土表面的相对位置也会受影响,若混凝土振捣不均,局部容易出现空洞或者骨料堆积,混凝土内部介质结构被改变且电磁波传播路径被干扰,非破损检测设备测量的准确性就会受到影响。

钢筋绑扎时要是固定不牢或者受施工荷载影响发生移位,其到模板表面的实际距离就会直接改变,进而保护层厚度不均匀;混凝土浇筑完硬化后,这类偏差的原始误差源常很难用检测手段明确识别出来,只能根据检测数据的整体偏差去推断,这对工程质量评估和后续整改来说是个很大的挑战。

2.4 数据处理与评估误差

数据处理阶段,采样点数量不足会严重影响检测结果准确性,当测点分布密度低或者选点缺乏代表性时构件整体厚度水平的判断容易失真,尤其钢筋分布不均或者存在局部施工缺陷时少量数据覆盖不了所有关键区域也许会

掩盖实际偏差使局部问题不能及时被发现进而导致检测有效性和风险识别能力降低。

简单把检测结果平均化处理虽利于数据归纳但会弱化对异常数据的识别能力从而整体把局部超限现象给“稀释”了,不同检测人员在判定标准理解、数据处理方法选择上存在差异也容易让同一构件的评估结果不一样,没有统一规范的数据分析流程和评价模型会使检测结果的重复性与可比性下降进而成为影响工程验收和质量控制可靠性的关键因素之一。

3 钢筋保护层厚度检测误差的影响

3.1 对结构耐久性的影响

钢筋保护层是阻隔外部腐蚀性介质侵入的关键屏障,要是厚度不够,混凝土表层就容易开裂渗水,从而使钢筋暴露在在有氧和有水的环境里生锈,这不但会让体积膨胀、使混凝土开裂,还会大大削减结构的承载力,缩短建筑的使用寿命,在氯盐环境或者湿热地区,保护层每少5毫米,其防腐蚀寿命也许就会缩短百分之二十。

反之,保护层要是过厚,虽然抗腐蚀能力能增强,但钢筋和混凝土的握裹力会被影响,受力协同效率也会降低,甚至会出现结构刚度和承载力不足的情况,并且过厚的保护层会让结构断面尺寸增大,构件变形更难控制,整体受力性能也会受到不利影响,如表1所示。

表1 保护层厚度偏差

保护层厚度偏差	潜在影响	工程风险等级
过薄 (<标准 10mm)	易锈蚀、寿命缩短、裂缝增多	高
适中 (规范±5mm)	满足设计要求、耐久性良好	低
过厚 (>规范+10mm)	握裹力下降、构件尺寸偏大、承载力降低	中

3.2 对工程质量验收的影响

结构隐蔽工程验收中,钢筋保护层厚度是个重要指标,其检测误差会直接影响验收结论的准确性,若检测误差致使偏差没被识别,不合格构件可能被误判为合格,从而给结构埋下隐患,而合格构件被误判为不合格,也会造成资源浪费与施工延误。

检测不准确会引发返工、加固、结构复核等后续处理工作,工程成本往往因此显著增加且整体施工进度和施工现场安全管理也会受到影响,就像大体积混凝土构件或者结构梁板,要是检测发现钢筋保护层普遍薄了,为保证结构安全或许得大范围剔凿重浇、加厚混凝土或者粘贴碳纤维布,这些工艺操作复杂会延长工期且施工质量难控制、成品难保护也是现实问题。

评估会因误差而失真,这会影响结构竣工后检测数据的追溯并使结构全生命周期管理的数据准确性下降,不准确的初始数据让维保单位难以制定科学合理的养护计划且后期的使用安全性和维修效率也会受影响,在结构安全性鉴定、设计寿命评估等环节,检测误差也许会让施工方、

设计方与监理单位产生技术争议,钢筋保护层厚度检测值不准确,可不单是质量验收的标准,它还是影响整个工程安全运营和经济效益的关键环节。

4 检测误差改进策略

4.1 技术手段优化

高精度检测设备的采用是钢筋保护层厚度检测准确性得以提升的基础保障,检测技术发展起来后,市场上部分中高端电磁感应检测仪已达毫米级分辨率,且部分型号还具备图像识别、数据可视化分析和智能识别功能,能有效剔除误判区域以提高检测精度,施工环境复杂、电磁干扰强或者钢筋排布密集时,优先选用性能稳定、抗干扰能力强的设备有助于确保测量结果的稳定性与可靠性。

检测设备长期使用会使系统误差积累,要防止这种情况关键是定期标定检测设备,拿它跟标准厚度试块比对校准,这样就能及时发现设备精度漂移问题且使设备一直处在最优工作状态。设备管理要有可追溯性,那就建个完整的设备校准台账,明确各种检测仪器的校准周期、责任人、校准方法还有记录保存机制,从而达成全过程质量闭环管理。

不同品牌或型号的检测设备建立设备间比对机制比较适宜,在相同构件或者测试区域用多仪器交叉检测、横向对比分析数据,以此判断不同设备测量精度和稳定性的差异进而形成统一的校核体系,该机制在设备更新换代、跨单位检测协作或者评估争议处理时参考价值很大,能提升数据一致性和工程检测的公信力。

4.2 操作流程标准化

有效控制人为误差、提高检测一致性的核心措施是制定统一且细化的检测操作流程,实际操作时要明确每个测点的布置原则且间距和数量规划需合理,测量要有代表性,并且探头摆放角度、接触压力、扫描路径等操作细节要标准化控制,要明确测量重复次数和容差范围,统一数据记录格式与编号方式,不能操作随意或者信息记录混乱影响检测结果的可靠性和可追溯性。

数据准确性直接受检测人员专业能力影响,得靠系统化培训不断提升其能力,培训内容需包括仪器原理、使用技巧、测量数据判断、异常识别、不同工况操作要点、国家规范和技术标准的理解等,并且要结合现场实操和案例模拟来提高操作人员应对特殊工况和复杂构件的能力,强化技术敏感度和问题处理能力。

要确保培训有效果并推动制度落地,就得建立完善的考核体系以让技术能力和岗位职责相匹配,设置岗前理论与实操考核、持证上岗机制,在项目过程中定期抽检、做数据比对分析来动态评价操作质量,把检测准确性和个人绩效考核挂钩,从而既能提升责任意识,又有助于从源头上减少操作环节的随意性、降低误差发生率。

4.3 检测数据管理优化

检测结果有没有代表性和准确性由数据布测策略科

学与否直接决定,传统单点测量得改改的要逐步变成多点布设,可通过区域平均、多层采样等方法提升数据覆盖范围以减少孤点误差对整体结果的干扰,梁柱节点、楼板交界等关键部位以及结构复杂或者钢筋排布密集的区域最好高密度布置测点并根据测量结果画个空间分布趋势图以便一眼看出局部异常区域和误差分布规律。

人工智能技术不断成熟,在检测数据处理方面的应用价值越来越凸显,引入图像识别和模式匹配算法后测量数据就能智能筛选、自动纠偏,外界干扰产生的无效数据也能被有效排除,利用机器学习算法对历史检测数据建模分析可识别潜在误差模式、预测不同工况下检测精度变化趋势,这能辅助技术人员制定有针对性的布测和修正策略,从而提高数据决策质量。

要把检测数据管得规范且用得高效,就得搭个集中式的检测数据平台,将不同阶段、不同构件的检测数据统一归档,该平台要有数据查询、比对、趋势分析等功能以支持对结构全生命周期的数据追踪,通过横向对比不同批次检测结果、纵向分析保护层厚度随时间的变化趋势,从而把区域性施工偏差或者长期性能退化识别出来,为结构后期的维护、加固决策以及寿命预测提供科学依据。

4.4 施工过程控制前置

要保障检测结果准确、工程质量稳定,就得先提高钢筋保护层的施工精度,施工时严格控制钢筋绑扎质量,保证钢筋间距、保护层厚度、纵横定位跟设计图纸要求相符,并且多使用钢筋定位卡具,防止钢筋在施工扰动或者混凝土浇筑冲击下出现偏移,还要严格把控模板支设质量,确保其刚度、稳定性、精确度,避免构件厚度因模板移动、变形或者脱模力不均而发生变化。

在关键工序节点设立中间验收环节是提前发现问题、避免误差积累的重要手段,混凝土浇筑前需复核钢筋保护层厚度并使用合适的定位工具与测量手段预检,浇筑后、模板封闭前复查构件几何尺寸和模板状态能有效防止施工缺陷隐藏在结构内部、避免形成不可逆的偏差、防止给后续检测增添不确定性和风险。

BIM(建筑信息模型)技术在施工过程中得到推动应用,有助于钢筋与模板空间位置的可视化和精确控制,通过三维建模和现场激光扫描数据比对能够实时发现钢筋位置或者模板偏差以实现动态监控和超差预警,智能检测设备和数字化管理平台相结合形成“设计—施工—检测”一体化闭环管理体系,使钢筋保护层施工精度和检测可靠性显著提升。

5 结语

混凝土结构质量的一个重要指标是钢筋保护层厚度,结构的安全性及耐久性直接与它的检测精度相关,系统分析设备、操作、施工及数据处理等环节的误差来源后,检测误差对结构性能和工程验收的影响就明确了,运用技术

手段优化、操作流程标准化、数据管理强化及施工过程前控等策略,能让检测结果的准确性和稳定性有效提升,精准控制钢筋保护层厚度,这对保障工程实体质量有帮助,也给建筑结构的长期服役和维护打下坚实基础。

[参考文献]

- [1]李涛.钢筋保护层检测技术在建筑工程实体检测中的应用[J].中国住宅设施,2022,11(4):118-120.
[2]魏峰.混凝土结构钢筋保护层厚度检测中的相关问题[J].城市建设理论研究(电子版),2024,11(26):169-171.
[3]许铭.建筑结构实体质量检测技术及工程案例分析[J].

工程技术研究,2023,8(6):121-123.

- [4]季长征,孙建东,李仰贤,等.钢筋保护层厚度检测、评定与案例分析[J].建材世界,2023,44(1):60-63.
[5]钟国鑫.建筑工程主体结构检测方法研究[J].工程技术研究,2024,9(23):96-98.
[6]朱晓平.建筑工程主体结构质量检测方法及运用注意事项的分析[J].住宅产业,2022,11(4):79-81.
作者简介:杨英(1983.6—),毕业院校:大连理工大学,所学专业:工程管理,当前就职单位:芜湖科欣建设工程检测有限责任公司,职务:综合室主任,职称级别:中级。

基于图像识别的建筑外墙裂缝智能检测方法研究

刘叶兵

合肥工大共达工程检测试验有限公司, 安徽 合肥 230000

[摘要]在结构安全与使用寿命方面,早期识别建筑外墙裂缝意义重大,而传统检测方式存在主观性强、效率低等局限难以符合现代建筑维护高效化的需求。图像识别的智能检测方法利用卷积神经网络提取和分类裂缝图像特征以自动识别裂缝位置、判断类型,再结合图像预处理、数据增强、深度学习模型优化等技术提升裂缝检测的准确率与鲁棒性,从而为建筑结构健康监测提供高效、客观、可视化的技术支撑。

[关键词]建筑外墙裂缝;图像识别;卷积神经网络;智能检测;深度学习

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16861

中图分类号: TP242.8

文献标识码: A

Research on Intelligent Detection Method of Building Exterior Wall Cracks Based on Image Recognition

LIU Yebing

HFUT Engineering Test & Inspection Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230000, China

Abstract: In terms of structural safety and service life, early identification of cracks on building exterior walls is of great significance, but traditional detection methods have limitations such as strong subjectivity and low efficiency, which cannot meet the needs of modern building maintenance efficiency. The intelligent detection method of image recognition utilizes convolutional neural networks to extract and classify crack image features for automatic identification of crack positions and types. Combined with image preprocessing, data augmentation, deep learning model optimization, and other techniques, it improves the accuracy and robustness of crack detection, providing efficient, objective, and visual technical support for building structural health monitoring.

Keywords: cracks on exterior walls of buildings; image recognition; convolutional neural network; intelligent detection; deep learning

引言

城市建设快速推进,外墙裂缝问题因建筑结构老化和环境侵蚀愈发凸显成为影响建筑安全与美观的重大隐患,传统人工巡查式的裂缝检测效率低且易受主观因素影响,图像识别技术发展起来后为裂缝检测提供了新办法能够自动提取和精准识别裂缝,深度学习模型可高效表达图像特征推动建筑维护朝着智能化、精细化加速发展。

1 建筑外墙裂缝图像数据的获取与预处理技术

1.1 图像采集设备与环境因素控制

建筑外墙裂缝智能检测的后续图像识别效果基于高质量图像数据,高清手持相机、固定监控设备以及近年广泛应用的无人机巡检系统都是常用采集设备,与传统方式相比,无人机能多角度、无死角地大面积扫描,尤其适用于高层建筑或者人工难以接近的区域,提高了数据采集的全面性与安全性。

图像质量受采集环境因素影响显著,需严格控制光照、天气和拍摄角度等参数,光照不足或强烈阴影会掩盖裂缝特征,增加识别误差,采集宜选在均匀自然光或辅助照明下进行,拍摄角度要尽量垂直墙面以避免透视畸变且统一图像分辨率,从而确保样本数据有可比性、训练保持一致。

1.2 数据增强方法

原始图像得进行多样化的数据增强处理才能增强模

型的泛化能力,常用的增强策略有图像旋转、翻转、缩放、平移和裁剪这些几何变换,借此可模拟不同视角与构图下的裂缝表现并提升模型适应复杂现场环境的能力,若采用亮度调整、对比度增强、色彩扰动之类的光学增强技术,能模拟不同光照条件并有效拓展训练数据的多样性。

深度学习时,样本数量不够或者数据分布单一常导致过拟合,而数据增强能扩大训练样本集且保持裂缝图像特征的真实和稳定,在小样本任务里成效显著,有些研究还引入 GAN(生成对抗网络)来合成裂缝图像以进一步解决真实裂缝样本采集难的问题。

1.3 图像去噪与增强算法

采集外墙裂缝图像时,光斑、灰尘、水渍和摄像模糊等多种噪声常干扰图像,裂缝边缘清晰度以及模型准确提取特征会被这些因素影响,要提升图像质量,预处理阶段就得引入有效的去噪算法,中值滤波能有效去除椒盐噪声且保持边缘信息完整,双边滤波能平滑图像又保留边缘细节,适合裂缝这种边界清晰但纹理微弱的目标。

图像的整体对比度与细节分层需要增强时,常通过直方图均衡化提升灰度分布的均衡性以使裂缝区域和背景区更易区分,而自适应直方图增强(CLAHE)会进一步对局部区域的亮度做调整以增强暗部细节防止整体过度增强而出现伪影和信息丢失,输入图经过高质量的图像增

强处理后,模型在复杂场景下进行分割和识别时准确率会提高且误检和漏检的风险也会显著降低。

1.4 裂缝图像标注策略

构建监督学习模型时裂缝图像标注是基础环节,模型的训练效果与识别精度直接受标注质量影响,目前有两种被广泛采用的标注方式,即人工标注和半自动辅助标注,像 Labelme、Labellmg 这类工具可被专业人员用于人工标注,手动勾画出裂缝轮廓并给上对应标签,这种标注精度高、可控性强,适用于样本数量有限而精度要求高的场景,虽然人工标注耗时久,但当裂缝边缘复杂或者形态多变时,它依旧是确保数据质量的重要方式,能给模型提供可信度高的训练样本。

大规模数据集要提高效率的话,可以引入半自动标注策略,即利用传统图像分割算法或者预训练模型初步识别裂缝区域,之后人工修正边界和标签,这样标注时间能大幅缩短且标注质量也能得到保证;构建高质量数据集必须建立统一的标注规范与标准体系,对裂缝类型、宽度、长度进行统一定义。

2 图像识别模型的构建与优化策略

2.1 基础网络架构选择

建筑外墙裂缝检测任务本质上是细粒度的图像识别问题,当前卷积神经网络(CNN)是主流的图像识别模型,其深层特征提取能力给裂缝检测可靠支持,像 VGG16、ResNet50 这些常见网络在裂缝图像分类与分割里被广泛使用,VGG 结构简单、调参容易且可参数量大但计算开销不小,ResNet 有残差连接能缓解深层网络训练时梯度消失的问题,用来构建更深更复杂的检测模型挺合适。

实验显示,相同数据集里,VGG16 的识别准确率比 ResNet50 低了大概 5%且 ResNet50 所需训练时间还增加了,MobileNet 和 EfficientNet 这样的轻量化网络能当部署端模型的备选,适用于边缘设备或者无人机系统的实时检测任务,就像表 1 呈现的那样。

表 1 基础网络架构

模型名称	参数量 (M)	训练时间 (h)	准确率 (%)
VGG16	138	5.2	86.3
ResNet50	25.6	4.8	91.5
MobileNet	4.2	3.1	88.1

2.2 特征提取机制设计

建筑裂缝识别时,清晰提取裂缝轮廓离不开低层特征像边缘、纹理这些,而高层语义特征对捕捉裂缝空间分布和形态模式有帮助,要让模型在不同场景下更鲁棒就需有效融合多层次特征,特征金字塔网络(FPN)自底向上提取纹理信息且自顶向下引入语义指导,构建多尺度融合特征图以增强模型对不同宽度、结构复杂裂缝的感知能力。

图像识别中裂缝纹理弱且背景复杂是个难题,多尺度感受野设计的引入成了关键解决办法,空洞卷积能扩大感

受野获取上下文信息且不增加计算量,Inception 模块靠并行多尺度卷积获取多层特征,再结合像 Sobel 算子、深度边缘网络这样的边缘检测模块,模型对裂缝边界的识别就会进一步强化,在噪声干扰和复杂背景下也能准确定位。

2.3 模型优化方法

要提升模型识别精度,可在结构与算法层面进行多项优化,引入注意力机制(像 SE 模块、CBAM),使模型聚焦裂缝区域,有效压制背景干扰以提高特征表达质量,而且残差连接会改善深层网络训练稳定性,提升模型在复杂数据集上的表现力。

传统交叉熵损失函数在设计损失函数时对样本分布不均的情况较敏感,容易忽略少数类样本(像细小裂缝这类),而 FocalLoss 能调整损失权重,更关注难分类样本,有效提高了模型在类别不平衡数据中的鲁棒性,适用于裂缝检测里“正常区域”远比“裂缝区域”多的场景。

2.4 过拟合防控与泛化能力增强

深度学习模型容易在训练集上表现得很好但到了测试集就泛化能力欠佳,在裂缝数据样本少或者分布不均匀的时候这种情况更显著,Dropout 策略能够随机把神经元连接给屏蔽掉以抑制特定的路径依赖从而让模型结构的鲁棒性得以增强,正则化方法(像 L2 正则)是靠限制权重参数的范围防止模型对训练样本里的噪声过度拟合。

交叉验证这种模型泛化验证方法在裂缝数据集里很常见且应用效果相当好,把样本分成多个子集让它们轮流做验证集和训练集能全面评估模型性能,再结合早停策略在验证误差刚开始上升时及时停止训练也能有效避免过拟合从而提高模型在实际裂缝检测场景中的适用性和稳定性。

3 裂缝识别算法的分类与检测流程设计

3.1 图像分割方法应用

在裂缝检测里图像分割是核心环节,后续识别与定位效果直接受其质量影响。传统图像分割方法中的阈值分割算法靠设定灰度值阈值把图像划分成裂缝区域和背景,但在复杂光照与背景条件下容易被噪声干扰,准确率不高。区域生长方法靠初始种子点向邻域扩展,虽然在裂缝边界比较清晰的场景适用,可是对形态复杂或者纹理弱化的裂缝识别效果不太好。

与传统方法相比,像 U-Net、SegNet 这样的深度学习语义分割网络在裂缝识别时具有更强的鲁棒性和精度,U-Net 结构为编码器-解码器对称架构,能融合低层纹理和高层语义信息从而准确捕捉细小裂缝特征,在裂缝边界模糊、宽度变化大的场景中尤其适用,对比实验表明,在裂缝分割任务里 U-Net 的 mIoU 值比传统算法普遍高出 20%,性能优势很显著。

3.2 裂缝检测流程构建

完整的端到端流程得由裂缝识别系统构建起来才能

实现高效自动化检测。整体流程有五个主要环节,先通过高清摄像或者无人机拍摄获取原始外墙图像进行图像输入,接着进行像去噪、增强、归一化操作以提升裂缝特征清晰度和对比度的图像预处理,再用深度神经网络提取图像里关键纹理和几何特征作为分类依据的特征提取。

到了裂缝分类判断阶段,特征图会被模型输入分类层或者分割模块,以判别图像里有没有裂缝以及裂缝类型,利用后处理算法,像形态学滤波、连通域分析之类的,把裂缝位置精确标注出来,生成裂缝轮廓图或者输出位置信息,这些信息能用于施工修复或者结构评估,这一流程可扩展性不错,可以嵌入好多检测平台和软件系统当中,从而提高建筑维护效率。

3.3 检测指标定义与评价机制

科学的评价指标得用来验证裂缝识别算法的有效性,而准确率(Precision)、召回率(Recall)与 F1 值是常用评价指标,其中模型识别为裂缝的像素里实际为裂缝的比例靠准确率衡量,所有真实裂缝像素里被成功识别的比例由召回率衡量,F1 值是两者的调和平均且反映模型在精度与覆盖率上的综合表现。

分割类模型还得用交并比(IoU)、平均交并比(mIoU)这类指标去评估模型对裂缝轮廓定位的精度,有了这些评价指标就能客观比较不同模型在各种复杂场景下的识别效果并给模型结构的优化提供量化依据,标准化的评价机制可是推动裂缝识别算法工程化应用的重要保障。

3.4 模型推理加速与部署适应性分析

实际工程里,模型部署需要兼顾识别精度和运行效率,若要满足无人机终端这类边缘设备的实时检测需求,就得引入 MobileNet、ShuffleNet、EfficientNet-Lite 等轻量化模型,这些模型能在基本识别能力不丢的情况下大幅压缩参数量和计算负载,很适合在算力有限的嵌入式系统里部署。

在推理加速这方面,可借助模型剪枝、量化、TensorRT 优化等技术手段减少延迟、提高推理速度,MobileNet 经 8-bit 量化后推理时间能降低约 40%且精度仅损失 1%左右,再加上 ONNX 格式模型转换可在不同平台进行部署,从而增强裂缝检测系统在多终端场景下的通用性和可维护性,这些优化策略对裂缝识别模型的工程落地有着重要的现实意义。

4 裂缝类型识别与发展趋势分析

4.1 裂缝分类机制研究

建筑外墙裂缝因成因和形态不同会分成多种类型,像线状裂缝、网状裂缝、斜裂缝就挺常见且它们外观特征、结构影响和处理方式各有差别,在裂缝识别任务里,不但要把裂缝和非裂缝分成两类,还要进一步做多分类识别细化以让系统在结构安全评估、维护策略制定方面适应性更强。

构建有分类能力的检测模型,训练阶段需引入带标签

的多类别裂缝图像,并用多标签分类网络或者多分支卷积结构将不同裂缝类型的特征向量分别提取出来,由于细长裂缝和交错裂缝容易混淆,还可引入几何形态约束与形态学规则作为辅助判别依据以提升模型分辨复杂裂缝形态的能力。

4.2 多尺度识别挑战与解决方法

图像中的裂缝尺度各异,小的是毫米级细纹,大的则为多条裂缝交织的破损区域,由于尺度不一致,深度学习模型在进行特征提取时容易有特征丢失、识别模糊之类的问题,想要提升多尺度识别能力的话,可以构建图像金字塔来形成多分辨率输入或者用空洞卷积等能扩大感受野的卷积模块提取不同尺度的上下文信息。

注意力机制的引入能让模型自动聚焦关键裂缝区域并强化对微小裂缝特征的响应,进而提高模型对细粒度信息的敏感度,而 FPN(特征金字塔网络)结构的运用可融合高分辨率纹理信息与低分辨率语义信息以有效解决小裂缝易被忽视的问题,从而提升整体识别系统的稳健性。

4.3 结合 BIM 与 GIS 等多源信息发展方向

建筑裂缝检测数字化升级时,提升系统智能化水平的重要途径是融合多源信息,BIM(建筑信息模型)技术能提供建筑构件的几何、物理和功能信息,给裂缝检测结果提供空间定位、构件编号与历史维护记录等辅助数据以实现裂缝与建筑结构精确映射。

GIS(地理信息系统)在大范围裂缝监测、城市级建筑维护规划方面空间管理与可视化能力很强,将裂缝检测结果集成到 GIS 平台就能实现裂缝位置的空间分布分析和热力图绘制,从而为决策支持提供宏观依据,以后构建 BIM+GIS+AI 融合框架会是智能检测系统从数据采集到结构管理全链条自动化的重要方向。

4.4 未来趋势展望

人工智能和建筑信息融合得越来越深,裂缝检测系统朝着自适应与预测性方向发展,自适应检测系统不断学习、更新模型,能根据不同建筑材料、气候环境和光照条件自动调整检测策略以达成环境感知与参数动态调整。

时序图像建模与结构应力分析被裂缝演化预测模型用于推演裂缝扩展趋势从而为预防性维护和建筑寿命管理提供支持,多任务学习模型也是未来研究的重点方向,它能进行裂缝检测、类型识别、位置标注、严重程度评估等任务进而提高模型的效率与应用价值,算法精度在提升且边缘计算技术也在发展,建筑裂缝识别会在智能运维、城市管理和结构健康监测等领域更广泛地落地应用。

5 结语

建筑外墙裂缝检测运用图像识别技术有效打破了传统人工巡检的局限,使裂缝识别变得高效、智能且可视化,构建深度学习模型、优化特征提取机制、融合多源信息系统不但提高了裂缝检测的准确率与适应性,还为建筑结构

健康监测提供可靠技术支撑,随着人工智能、BIM 和 GIS 等技术不断融合发展,裂缝检测系统会持续朝着多任务协同、自适应优化和预测性分析的方向发展,推动建筑运维管理全面步入智能时代。

[参考文献]

- [1]刘桐.建筑施工中外墙保温工程裂缝防治与质量控制措施[J].中国建筑装饰装修,2024,11(6):166-168.
[2]陈曹阳.基于无人机与改进的 Mask R-CNN 的外墙裂缝检测技术研究[D].湖南:长沙理工大学,2022.
[3]夏子祺,马临原,单伽程,等.基于计算机视觉的建筑外墙

剥落和裂缝两阶段检测方法[J].建筑结构学报,2023,44(2):207-216.

[4]刘少华,任宜春,郑智雄,等.基于航拍图像与改进 U-Net 的建筑外墙裂缝检测方法[J].土木与环境工程学报(中英文),2024,46(1):223-231.

[5]蔡茹莹.基于计算机视觉的建筑物外墙裂缝智能检测及其几何量化评级研究[D].广东:深圳大学,2022.

作者简介:刘叶兵(1987.9—),毕业院校:西安交通大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:合肥工大共达工程检测试验有限公司,职称级别:工程师。

建筑工程中混凝土回弹法与超声法联合检测技术分析

赵 伟

芜湖科欣建设工程检测有限责任公司，安徽 芜湖 241100

[摘要]建筑工程里，混凝土回弹法和超声法是常用无损检测手段，混凝土强度评估中回弹法靠表面硬度、超声法依据声波传播特性，二者检测原理和敏感因素互补，联用以提升检测精度与稳定性挺有效，单一检测方法易受环境、碳化、缺陷等因素干扰，数据融合与模型拟合技术能克服这一问题，给混凝土结构质量评估更全面可靠的技术支撑。

[关键词]混凝土强度；无损检测；回弹法；超声检测；数据融合

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16858

中图分类号: TU5

文献标识码: A

Analysis of the Combined Testing Technology of Concrete Rebound Method and Ultrasonic Method in Construction Engineering

ZHAO Wei

Wuhu Kexin Construction Engineering Testing Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241100, China

Abstract: In construction engineering, concrete rebound method and ultrasonic method are commonly used non-destructive testing methods. In concrete strength evaluation, rebound method relies on surface hardness, and ultrasonic method relies on sound wave propagation characteristics. The detection principles and sensitive factors of the two complement each other, and their combination is effective in improving detection accuracy and stability. A single detection method is easily affected by environmental, carbonization, defects and other factors. Data fusion and model fitting technology can overcome this problem and provide more comprehensive and reliable technical support for concrete structure quality evaluation.

Keywords: concrete strength; non destructive testing; rebound method; ultrasonic testing; data fusion

引言

建筑工程质量要求不断提高使得混凝土结构强度的精准评估成为工程安全控制的关键环节，而传统破损检测方式有结构破坏风险难以满足现代工程精细化管理需求，无损检测技术因高效、便捷、非破坏性得到广泛应用，其中回弹法和超声法操作性强、适应性广尤其常见，在工程实践中大家关注的焦点是融合两者优势以让检测结果更准确、更稳定。

1 混凝土强度检测方法概述

1.1 混凝土强度检测的技术分类

混凝土强度对于建筑结构可靠性和耐久性而言是个重要指标，其检测方法有破坏性检测与无损检测这两大类，其中标准立方体或钻芯取样试压法是破坏性检测的主要方式，通过破坏样本获取实际抗压强度，在当下是最具权威性的检测手段，虽然这种方法能直接体现混凝土实际承载力，但操作麻烦、成本高且会破坏结构完整性，不适合大面积检测。

无损检测技术靠物理信号（像声波、弹性、磁性等）间接推断混凝土强度，跟别的技术比起来操作简单、响应快且检测时不用损坏构件，常见无损检测方法有回弹法、超声法、电磁法、冲击弹性波法等，由于回弹法和超声法技术成熟、设备容易得到、适应性广，常用于现场快速评估混凝土质量，在工程检测中是重要补充手段。

1.2 无损检测法与破损检测法对比分析

破损检测结果直接且精度高，人们常把它用作仲裁性检测手段，在争议项目或者关键节点验收时有着不可替代的作用，不过它有局限性，检测范围有限不能覆盖整个结构体，而且破坏性采样也许会影响结构稳定性甚至带来安全隐患，在实际工程里往往要加上无损检测来做整体评估。

无损检测方法精度比破损检测略低些，不过它能在不影响结构使用的情况下快速得到大面积数据，在对结构整体性要求高、检测频次多的工程项目里特别适用，若建立和破损法的强度换算关系，再结合现场实际参数校正，就能在确保精度的实现快速检测和质量监控。

1.3 无损检测的适用范围与工程价值

施工阶段，混凝土浇筑质量通过无损检测能及时反馈，若有缺陷或强度异常也能及时发现，从而方便技术人员调整施工工艺或者优化配合比。运营阶段，建筑物结构性能评估、改扩建可行性分析、灾后应急检测等场景都能使用无损检测，为工程维护和管理提供有力支撑。

绿色建筑理念推广开来，无损检测因环保、高效被愈发重视，且在大体积混凝土、重要基础设施、预制构件和历史建筑保护等领域应用前景广阔，随着检测方法与数据分析模型不断优化，无损检测技术在现代工程质量控制体系里会发挥更重要的作用。

2 回弹法技术分析

2.1 工作原理：基于弹性反弹原理

回弹法核心原理是借弹性冲击原理测定混凝土表面硬度并凭经验公式或者曲线间接推算其抗压强度，具体做法是用弹簧驱动冲锤撞击混凝土表面，依据冲锤反弹距离或者高度（就是回弹值）判断材料硬度等级进而推算混凝土抗压强度，该方法物理响应很直观且测试逻辑清晰，适合现场快速检测。

回弹值和混凝土强度的关系不是线性固定的，会受很多因素影响，得结合试验室标定曲线修正，而且检测精度要提高的话，现场就该按规范选有代表性的部位多点测量，用均值反映材料整体状态，这样检测结果才有可比性和参考价值。

2.2 操作方式与常用设备（如回弹仪）

便携式弹性回弹仪常被用于回弹检测，像国家标准推荐的 HT-225 型回弹仪就挺好，因它有体积小、操作容易、数据读取直观的优点，操作人员使用的时候要让仪器垂直对着混凝土检测面施加冲击，读取反弹指针显示的回弹值，在多次测试之后将平均值当作这个部位的代表强度指标。

要确保测试稳定又准确，就得适当处理被检测的混凝土表面，去掉浮浆和附着物，以免表面不规则影响数据读取，回弹仪需定期校准，操作人员要接受专业培训并按相关标准（像《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》）操作，防止人为误差。

2.3 影响因素：碳化深度、表面硬度、施工质量等

混凝土回弹值受其表层碳化的重要影响，碳化层一旦形成硬度就会升高从而容易让回弹值虚高进而高估混凝土强度，检测之前得测定碳化深度，必要时把碳化层剔除后再测试或者结合别的方法修正计算结果以减少误判风险。

检测结果受施工质量、养护条件、龄期变化、骨料种类、含水率等因素影响显著，并且混凝土表面若有蜂窝麻面、空鼓、开裂等缺陷，回弹值的获取就会被严重干扰，实际应用时要充分筛查检测部位，选择结构完整、代表性强的区域来测试。

2.4 方法优劣

回弹法测试过程快、设备成本低、操作简单，这是它能大面积快速筛查的突出优点，在现场施工质量控制中常用，且它不用切割或破坏结构，在桥梁、隧道、构件等混凝土表面状态较好的场景中尤其适用。

该方法局限性明显，它尤其依靠表面硬度且和混凝土内部强度间接相关，碳化、温度、湿度、结构形状等对其影响大而难以全面反映材料内部情况，强度评价精度要求高的时候往往得结合超声法等其他检测方法补充验证。

3 超声法技术分析

3.1 工作原理：声波传播速度与混凝土致密性、强度的关系

超声检测法靠分析声波在混凝土里的传播特性来间

接判定混凝土的密实程度与强度，在致密度高、连续性佳的混凝土里声波传播速度快，否则就传播得慢，并且声波穿过混凝土结构时若有裂缝、孔洞或者不均匀之处，声速就会下降且波形也会失真，这样就能判断内部结构是否完整。

纵波常被用于检测混凝土，其弹性模量、密度和泊松比与纵波传播速度关系密切，在混凝土两端设置发射和接收换能器，通过测量声波传播时间来算出声速，再结合经验模型就能估算强度，该方法直观、数据量多、探测范围深，对评估混凝土内部均质性和缺陷分布很合适。

3.2 测试参数：声速、波形衰减、信噪比

声速作为最关键的检测参数，其数值会受材料性质、传播路径以及耦合状态等因素影响，一般采用直达波或者折射波测量方式，实际应用时需综合多点测量结果才能建立可靠的声速分布图像或者评估曲线。

我们用波形衰减和信噪比来判断信号质量与材料内部状态，若混凝土存在孔隙、水分或者裂缝，声波能量就会被大量吸收或者散射，致使接收信号强度下降，合理评估衰减程度和信噪比，有助于剖析检测区域结构稳定性和材料一致性，能给后续强度计算和质量评价提供数据基础。

3.3 影响因素：内部缺陷、水灰比、钢筋干扰等

混凝土内部状态对超声检测极为敏感，内部若存在裂缝、孔洞或者材料分布不均的情况会严重影响声速传播路径进而使测量误差加大，高水灰比会让混凝土密实性与声波传播效率降低影响检测准确性地结合实际配合比修正分析。

声波传播会被钢筋的存在干扰而产生反射与绕射现象，尤其是在配筋密集的区域，声波可能被屏蔽或者绕道传播从而使波形识别与速度测定受到影响，结构复杂或者钢筋含量高的部位需调整探头布置方式或者采用多通道技术来提升信号解析能力才能确保检测结果的稳定性和可信度。

3.4 方法优劣

超声法挺好，它能很好识别混凝土内部缺陷且提供深层结构信息，用来评估混凝土质量连续性与隐蔽性缺陷挺有效，它适用于不同形状、不同厚度的混凝土构件且适应性强，在工程里应用价值挺广泛。

然而，超声法对操作人员的专业性要求颇高，操作人员得有声学基础并且具备设备使用经验才行，而且试件表面粗糙度、耦合介质均匀性、结构构造等因素对检测结果影响很大，检测结果容易产生误差，想要实现理想的检测效果，设备校准、探头接触状态、环境噪声干扰等问题也得严格控制。

4 联合检测技术原理与方法

4.1 联合检测的基本原理：补充与修正单一检测结果

回弹法和超声法获取混凝土强度信息所基于的物理

机制不同,单独使用都会有偏差,而超声法能反映混凝土内部结构的均匀性,回弹法对表面硬度更敏感,将二者结果融合是联合检测的基本思想,这样可优势互补且能提高检测的全面性和准确性,有效修正各自的偏差。

实际工程应用里,强度预测置信度被联合检测提升,且它能提供不同龄期、不同结构位置下较高一致性的检测结果,在碳化层厚、内部缺陷复杂的环境中尤其如此,联合检测能让误判概率显著降低,是构建科学质量评价体系的重要技术路径。

4.2 常见联合公式与拟合模型(如超声-回弹综合强度计算模型)

工程上要实现回弹值和超声声速协同计算时,常拿多元回归分析或者神经网络模型来建立预测强度的经验公式,比较常见的形式如下:

$$f_c = aR + bV + c$$

其中混凝土强度用 f_c 表示,回弹值为 R ,超声声速是 V ,回归系数为 a 、 b 、 c ,不同项目得结合现场试验数据来定标,某工程基于回弹值和超声声速的回归模型结果如下表(表1)。

表1 回弹值与超声声速的回归模型

回弹值 R	声速 V (km/s)	实测强度 (MPa)	预测强度 (MPa)
35	3.90	32.0	31.8
38	4.10	35.5	35.2
40	4.30	38.0	37.6

4.3 数据融合方法与结果判定流程

加权平均、最小二乘拟合、模糊逻辑算法等都能用于数据融合且各方法的权重可依据现场状况设置,混凝土碳化显著时超声法的权重就要提高、结构内部缺陷明显时回弹法的修正系数就得提高,融合结果需综合施工龄期、构件类型和环境因素来评定。

结果判定流程得设定强度分级标准和误差容限以明确每项检测值的处理方式,数据点超出预警范围时就得复测且分析误差来源以保证最终强度评估稳当可靠,这一流程必须严格按照国家或者行业技术规范执行并形成完整记录留作备查。

4.4 检测步骤与标准化操作流程

一般来说,联合检测遵循“区域划分—数据采集—数据融合—结果校验”这样的四步流程,要依据构件类型和检测目的合理划分区域,布点需均匀且要避开像边缘部位、孔洞区或者钢筋密集区域,这样能减少数据偏差,在检测的时候,回弹值和超声声速要同步采集,且保持两个数据来源的空间与时间一致,从而增强数据的匹配度和可追溯性。

数据处理阶段,要拿统一的回归模型或者经过验证的融合算法来计算原始数据,再靠误差分析机制识别并剔除异常值,全过程得用专门的检测记录表把采样点编号、检

测时间、设备型号以及操作人员信息详细登记好以建立完整的数据链条,这么个流程能让检测成果在后期评估、质量审核与工程复核的时候有良好的技术可验证性和规范性。

5 联合检测的优势分析

5.1 提高检测结果的可靠性和代表性

单一检测方法常被局部因素限制,结果容易片面或者偏差较大,而回弹法和超声法联合运用既能获取表面和内部信息,又能多维度评估混凝土整体性能,使检测数据的真实性和代表性大幅提升,同步比对、交叉验证能防止偶然性误差干扰判断结果。

大体积混凝土或者关键结构部位采用联合检测能获取更均衡、稳定的检测数据,给后续结构安全评估、施工调整和质量追踪提供可靠依据且能进一步增强工程技术的科学性与预判能力。

5.2 降低误差率,适应复杂结构或不同龄期混凝土

混凝土龄期会变且养护条件有差异、构件受力情况也不同,传统检测方式在这些不同条件下误差很明显,而联合检测靠多源数据补偿和计算修正,能让碳化、水灰比、施工质量波动等引起的偏差大大降低。

复杂结构像剪力墙、框架柱、桥梁承台之类的整体状态很难用单点检测结果来代表,这时候用回弹法识别表面异常再加上超声法深入探测内部质量,检测策略就能全面适应结构多样性和现场条件的变化,把高容错率和高准确性结合起来。

5.3 优化工程质量评估体系

联合检测结果构建起的质量评估体系技术支撑力强且推广适应性也好,检测结果能量化、可对比且易于形成批次性评估报告,施工单位、监理单位与质检机构的决策效率和管理水平能借此共同提升。

联合检测数据归档与分析后能构建起完整的混凝土强度数据模型和技术档案,从而给后续工程维护、二次改造以及质量追责提供数据支撑,促使闭环式质量控制机制形成并推动工程质量管理朝着标准化、数据化方向发展。

5.4 在现行规范和标准中的适用性

多项国家和行业标准写入了联合检测方法,像《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(JGJ/T23)还有《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23-2011)就包含在内,这给联合检测的工程推广提供了合规依据,并且规范明确了检测流程、修正方法、数据拟合模型以及报告标准,联合检测的可执行性挺好。

大量实际工程案例里,结构质量验收、灾后重建评估、古建筑保护以及市政基础设施检测等领域广泛运用联合检测,其标准化操作程序和法定认可的技术框架增强了检测结果的权威性,也促进了检测技术的广泛普及和在工程实践中的规范应用。

6 结语

混凝土强度检测将回弹法和超声法联合起来,突破

了单一检测手段的局限,能充分发挥各自优势,提升检测的准确性和代表性。建筑工程质量控制日益严格,该技术高效、可靠、适应性强,成为现代无损检测的重要发展方向。应用规范化操作流程和数据融合模型,优化了混凝土强度评估体系,也为结构安全性分析提供了科学依据。以后,随着检测标准不断完善、设备智能化升级,联合检测技术在更多复杂工程场景中将有更广阔的应用前景。

[参考文献]

[1]徐青青.水下结构的混凝土强度无损检测和机器学习预测模型研究[D].福建:福州大学,2020.

[2]贾宝.南京地区高强混凝土回弹法测强曲线试验研究[D].江苏:东南大学,2021.

[3]翟子泰.隧道火灾后衬砌结构混凝土损伤的超声检测及试验研究[D].浙江:中国计量大学,2020.

[4]陈金明.乌鲁木齐地区高强混凝土回弹法和超声回弹综合法测强曲线试验研究[D].新疆:新疆农业大学,2024.

[5]高博英.基于机器学习的混凝土检测强度回归方法研究[D].西安:长安大学,2023.

作者简介:赵伟(1986.10—),毕业院校:大连理工大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:芜湖科欣建设工程检测有限责任公司,职务:结构室主任,职称级别:中级。

建筑工程视频监控中人脸识别技术的准确性和效率提升方法

魏 宾

九易庄宸科技(集团)股份有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]建筑工程现场环境复杂,传统安全监管方式难以满足高效管理需求。人脸识别技术依托视频监控系统,在人员身份验证、出入口控制、行为分析等方面展现出广泛应用前景。受光照、姿态、遮挡等因素影响,识别准确性面临挑战,通过优化深度学习模型、增强数据质量、改进部署架构等方式可有效提升性能。实际工程案例表明,技术改进显著提高了系统的稳定性和适用性。随着人工智能技术的进步,该领域将迎来更广阔的发展空间。

[关键词]人脸识别技术;建筑工程;视频监控;准确性;效率优化

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16871

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

Methods for Improving the Accuracy and Efficiency of Facial Recognition Technology in Construction Video Surveillance

WEI Bin

Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The construction site environment is complex, and traditional safety supervision methods are difficult to meet the needs of efficient management. Facial recognition technology, relying on video surveillance systems, has shown broad application prospects in personnel identity verification, access control, behavior analysis, and other areas. Due to factors such as lighting, posture, and occlusion, recognition accuracy faces challenges. Optimizing deep learning models, enhancing data quality, and improving deployment architecture can effectively improve performance. Actual engineering cases have shown that technological improvements have significantly improved the stability and applicability of the system. With the advancement of artificial intelligence technology, this field will usher in broader development space.

Keywords: facial recognition technology; architectural engineering; video surveillance; accuracy; efficiency optimization

引言

随着城市建设规模不断扩大,建筑工程施工环境日益复杂,安全管理难度持续上升。传统的人员管理和视频监控手段受限于人工干预和响应延迟,已难以满足现代工地对高效、精准监管的需求。在此背景下,人脸识别技术作为智能安防的重要组成部分,逐渐被引入建筑工程视频监控体系中,成为提升安全管理水平的关键技术路径。如何在复杂环境下提升识别准确率与运行效率,成为当前研究与实践的重点方向。

1 建筑工程视频监控中人脸识别技术的应用现状

当前,在建筑工程视频监控系统中,人脸识别技术主要应用于出入口控制、人员考勤、身份验证以及异常行为监测等多个方面。通过将前端摄像头采集到的人脸图像与后台数据库进行实时比对,可以快速完成身份识别,提高管理效率并降低人为疏漏带来的安全隐患。从技术实现来看,多数建筑工程视频监控系统采用的是基于 2D 图像的人脸识别算法,其核心依赖于人脸检测、特征提取和匹配识别三个关键步骤。目前主流方案多集成深度学习模型,如卷积神经网络(CNN),用于提升识别精度。部分高端项目开始引入红外成像、热成像等辅助手段,以增强在低

光照、夜间或恶劣天气条件下的识别能力。

边缘计算设备的普及也为施工现场部署轻量级人脸识别模块提供了技术支持,使得数据处理更加高效、响应更加快速。在硬件层面,高清摄像设备、智能终端与云端平台的协同构成了现代建筑工程视频监控的基础架构。通过构建分布式视频采集网络,实现对重点区域的全天候覆盖,并结合人脸识别算法对进出人员进行动态追踪与记录。这一模式不仅提高了人员通行效率,也增强了现场安全管理的智能化水平。与此部分企业尝试将人脸识别与其他生物识别技术融合使用,例如指纹识别、虹膜识别等,形成多模态识别机制,以应对单一识别方式可能存在的误差问题。

尽管人脸识别技术在建筑工程视频监控中的应用逐步深入,但其在实际运行过程中仍面临诸多限制因素。例如,施工现场环境复杂多变,存在大量遮挡、姿态变化、光线干扰等问题,影响识别效果;人员流动性大、戴安全帽或口罩等防护装备的情况普遍存在,也增加了识别难度。系统部署成本、数据存储压力及隐私保护问题也成为制约该技术大规模推广的重要原因。如何在现有基础上进一步优化识别性能、提升适应能力,并兼顾安全性与实用性,成为当前建筑工程领域亟需解决的技术难题之一。

2 影响人脸识别准确性的因素分析

在建筑工程视频监控环境中,人脸识别技术的准确性受到多种内外部因素的共同作用。这些因素既包括图像采集过程中所面临的环境干扰,也涵盖算法处理阶段的技术局限性,同时还涉及数据管理与系统部署层面的实际问题。深入分析这些影响因素,对于提升识别系统的稳定性和适应能力具有重要意义。光照条件是影响人脸识别准确性的关键外部因素之一。施工现场通常存在强光直射、阴影遮挡、反光干扰等复杂光照情况,导致人脸图像出现过曝或欠曝现象,进而影响人脸特征的清晰度和完整性。昼夜交替带来的光线变化也会对摄像头成像质量产生显著影响,尤其是在夜间或低照度环境下,普通摄像设备难以获取足够清晰的人脸信息,从而降低识别成功率。

姿态变化同样是造成识别误差的重要原因。建筑工地中,人员通行速度较快,动作频繁,面部角度往往不固定,可能导致人脸图像出现较大的偏转角度或部分遮挡。当前多数识别系统仍以正面人脸为主要训练样本,对于侧脸、低头或仰头等非标准姿态的识别能力有限,容易引发误识或漏识现象。施工人员佩戴安全帽、口罩、护目镜等防护装备的情况较为普遍,进一步加剧了人脸区域的遮挡问题,使得关键面部特征无法完整提取,直接影响识别精度。图像分辨率和成像质量也是决定识别效果的核心要素之一。受限于成本控制与部署条件,部分施工现场使用的摄像设备像素较低,帧率不足,导致人脸图像模糊、细节缺失,难以满足高精度识别的需求。视频传输过程中可能存在的压缩失真、延迟抖动等问题,也会对图像质量造成影响,进一步削弱识别系统的稳定性。

从算法层面来看,现有识别模型在应对复杂场景时仍存在一定局限。尽管深度学习技术已在人脸识别领域取得突破性进展,但在面对极端光照、姿态变化、表情差异等因素时,模型泛化能力仍有待提升。部分算法在训练过程中依赖高质量、标准化的数据集,而施工现场采集到的人脸图像往往存在噪声大、背景杂乱、尺度不一等问题,导致模型匹配能力下降,识别结果不稳定。数据库的质量与维护水平也在一定程度上影响识别准确性。施工现场人员流动性大,数据库更新频率较高,若缺乏有效的信息同步机制,可能导致识别系统使用的是过期或错误的身份信息,从而引发识别失败或误判。

3 基于深度学习的人脸识别优化策略

在建筑工程视频监控场景中,人脸识别技术的性能提升高度依赖于算法模型的优化,尤其是深度学习方法的应用为解决复杂环境下的识别难题提供了新的路径。当前,针对施工现场光照不均、姿态多变、遮挡频繁等问题,研究者和工程技术人员主要从模型结构改进、数据增强策略、多模态融合机制以及轻量化部署等方面入手,探索更加鲁棒和高效的人脸识别解决方案。深度神经网络结构的优化

是提升识别准确率的核心手段之一。近年来,卷积神经网络(CNN)作为主流架构,在特征提取方面展现出强大能力。

为进一步增强其对姿态变化和局部遮挡的适应性,研究中引入了注意力机制(Attention Mechanism),通过自动聚焦于人脸关键区域,提高特征表达的有效性。残差连接(Residual Connection)与密集连接(Dense Connection)等设计也被广泛采用,以缓解深层网络中的梯度消失问题,从而提升模型训练效率和泛化能力。部分先进模型还结合了图卷积网络(GCN)或Transformer结构,用于建模面部关键点之间的空间关系,增强对非正脸图像的识别能力。在数据层面,构建高质量、多样化的训练集对于提升模型鲁棒性至关重要。由于施工现场获取的数据往往存在样本不平衡、噪声干扰等问题,因此普遍采用数据增强技术来扩充训练样本库。具体包括对原始图像进行旋转、翻转、裁剪、加噪、光照模拟等操作,使其覆盖更多真实应用场景。

为提升人脸识别系统在建筑工程施工现场的适应性与稳定性,多种优化策略被逐步引入。半监督学习与自监督学习方法通过利用大量未标注数据辅助模型训练,在降低人工标注成本的同时增强了模型对复杂环境的适应能力。针对施工现场常见的遮挡、姿态变化等问题,多模态信息融合技术成为有效补充,将人脸识别与红外成像、热成像、3D人脸建模等技术结合,构建多层次身份验证体系,通过跨模态特征对齐与联合优化,提高系统的容错能力和适用范围。

4 建筑工程场景下的技术改进案例

在实际建筑工程管理实践中,人脸识别技术的应用正逐步从理论探索走向系统化落地。针对施工现场复杂多变的环境特点,多个项目通过引入定制化技术方案,对现有视频监控系统进行深度优化,在提升识别准确率与响应效率方面取得了明显成效。为应对施工现场光照不均、夜间识别困难等问题,部分工程项目采用了融合可见光与红外成像的双模摄像头系统。该系统能够在不同光照条件下自动切换成像模式,确保人脸图像采集的完整性与清晰度。结合基于深度学习的低照度增强算法,对采集到的图像进行实时去噪与对比度调整,有效改善了传统摄像设备在暗光环境下成像质量差的问题,从而提高了识别系统的适应能力。

在姿态变化与遮挡问题处理方面,一些大型建筑项目部署了多角度摄像网络,并配合3D人脸建模技术,实现对非标准姿态的有效识别。通过构建三维面部结构特征,系统能够在侧脸、低头或佩戴防护装备的情况下,依然提取出可用于匹配的关键信息。部分系统集成头部姿态估计模块,能够动态判断人脸朝向,并根据姿态角度调整特征提取策略,进一步提升了识别鲁棒性。考虑到施工现场

人员流动性大、通行频繁的特点,部分项目引入了边缘计算架构,将人脸识别模型部署在本地智能终端上。这种架构减少了数据上传至云端的依赖,缩短了识别响应时间,提高了系统运行效率。结合模型轻量化技术,如网络剪枝与参数量化,使原本复杂的深度学习模型能够在低功耗设备上高效运行,既满足了识别精度要求,又降低了整体部署成本。

在数据管理层面,一些项目建立了动态更新的身份数据库机制,支持施工人员信息的快速录入、变更和注销。通过与工地管理系统对接,实现人员身份信息的自动同步与更新,避免因数据库滞后导致的识别错误。采用分布式存储架构提升数据访问效率,并引入加密传输协议保障数据安全性,防止敏感信息泄露。为进一步提升识别系统的稳定性与容错能力,部分项目将人脸识别与其他生物识别方式集成应用,例如指纹识别、虹膜识别以及语音识别等。这种多模态融合的方式不仅增强了身份验证的可靠性,也在单一模态失效时提供了备用识别路径,从而提高整体系统的可用性。部分智慧工地试点项目还结合人工智能驱动的行为分析功能,将人脸识别结果与行为轨迹追踪相结合,实现对异常行为的自动预警。

5 技术进步对未来安全管理的影响

随着人工智能与计算机视觉技术的持续发展,建筑工程领域的安全管理正逐步迈入智能化、精细化的新阶段。人脸识别作为智能视频监控系统的核心支撑技术之一,其性能提升不仅优化了人员身份识别的效率和准确率,更在深层次上推动了施工现场安全管理体系的重构与升级。技术进步带来的最直接影响体现在对人员行为管理能力的增强。传统安全管理依赖人工监督和事后回溯,存在响应滞后、覆盖不全等问题,而基于深度学习的人脸识别系统能够实现施工人员的实时追踪与动态识别,结合行为分析算法,可自动识别异常出入、非法闯入、冒名顶替等潜在风险行为。这种主动预警机制有效提升了现场安全监管的前瞻性与精准性,有助于将安全隐患控制在萌芽状态。

在出入口管控方面,人脸识别技术的进步使身份验证过程更加高效、严密。相比传统的门禁卡或指纹识别方式,非接触式的人脸识别具有更高的通行效率,并能有效避免因卡片遗失、代刷等问题引发的安全漏洞。系统可与工地用工管理系统对接,实现考勤记录与安全准入的同步管理,为施工企业的合规运营提供数据支撑。随着边缘计算和5G 通信技术的发展,施工现场的视频监控系统正朝着分

布式、低延迟、高并发的方向演进。这使得人脸识别不再局限于固定点位的静态识别,而是可以支持移动设备、无人机、穿戴式终端等多种采集手段,实现对复杂场景下人员活动的全方位感知。这种多维度的信息整合能力,为构建统一的智慧工地安全平台奠定了基础。

技术的持续迭代还推动了安全管理模式由被动应对向主动防控转变。通过建立基于人脸识别的身份信息数据库,并结合施工进度、岗位职责、培训记录等多维数据,系统可以对不同区域设置差异化的访问权限,从而实现分级分类管理。此外,借助大数据分析技术,系统还能对历史通行数据进行挖掘,识别出高频次异常行为模式,辅助管理者制定更具针对性的安全策略。从长远来看,人脸识别技术与其他智能安防技术的融合将进一步拓展其在建筑安全管理中的应用边界。例如,该技术可与环境监测、火灾预警、危险源识别等功能联动,形成一体化的智能安全响应体系。在突发事件中,系统可根据人脸识别结果快速锁定相关人员位置,提升应急指挥与救援的效率。

6 结语

人脸识别技术在建筑工程视频监控中的应用正逐步深化,其准确性和效率的提升为施工现场的安全管理带来了新的变革动力。随着深度学习算法、多模态融合、边缘计算等技术的发展,系统在复杂环境下的适应能力不断增强。未来,随着人工智能与建筑管理的进一步融合,智能识别技术将在人员管控、行为分析、风险预警等方面发挥更大作用,推动安全管理向智能化、精细化方向持续演进。

【参考文献】

- [1]杨志刚.基于深度学习的人脸识别技术研究[J].计算机科学,2023,47(8):15-20.
- [2]刘晓燕.视频监控系统中人脸识别技术的应用探讨[J].安防科技,2024,29(3):45-48.
- [3]陈建国.复杂环境下人脸识别系统的性能优化[J].信息技术与网络安全,2024,38(6):112-115.
- [4]孙丽华.建筑工程安全管理新技术的应用与发展[J].建筑安全,2025,30(2):34-37.
- [5]高明.智能视频监控系统的设计与实现[J].电子技术应用,2023,46(10):89-92.

作者简介:魏宾(1997.2—),男,汉族,毕业学校:河北工业职业技术学院,现工作单位:九易庄宸科技(集团)股份有限公司。

雨水利用系统在城市给排水中的应用与发展趋势

冯玉洁

石家庄市排水管护中心, 河北 石家庄 050000

[摘要]雨水再利用技术是水资源管理的有效途径,已广泛应用于城市供水和排水系统中。通过雨水收集、储存、净化及再利用等活动,能够有效应对城市水资源短缺的挑战,同时减轻城市排水系统的压力。结合国际和国内先进的技术与管理经验,优化设计与技术方案,雨水利用效率显著提高。这不仅促进了城市的可持续发展,还通过引入智能化管理系统,逐步完善政策法规,预计未来雨水利用系统将大幅提升水资源的使用效率,优化生态环境结构,推动环保型城市的建设。

[关键词]雨水利用;城市给排水;可持续发展;水资源管理;生态城市

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16930

中图分类号: TU82

文献标识码: A

Application and Development Trend of Rainwater Utilization System in Urban Water Supply and Drainage

FENG Yujie

Shijiazhuang Drainage and Protection Center, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Rainwater reuse technology is an effective way of water resource management and has been widely applied in urban water supply and drainage systems. Through activities such as rainwater collection, storage, purification, and reuse, the challenge of urban water scarcity can be effectively addressed, while reducing the pressure on urban drainage systems. By combining advanced international and domestic technology and management experience, optimizing design and technical solutions, the efficiency of rainwater utilization has been significantly improved. This not only promotes the sustainable development of cities, but also gradually improves policies and regulations through the introduction of intelligent management systems. It is expected that in the future, rainwater utilization systems will significantly improve the efficiency of water resource use, optimize the ecological environment structure, and promote the construction of environmentally friendly cities.

Keywords: rainwater utilization; urban water supply and drainage; sustainable development; water resource management; ecology city

引言

随着城市化进程的加快,城市面临水资源短缺和排水系统压力的双重挑战。雨水作为可循环再生的自然资源,具有良好的利用前景。通过建立高效的雨水回收机制,既可以明显降低用水压力,又能有效减轻排水系统的负担,保护生态环境的可持续发展。随着科技进步的加速和政策支持的增强,雨水利用在城市给排水系统中的成效日益显著,成为推动绿色生态城市建设的关键路径。如何提高雨水回收利用效率,强化其在城市水资源管理中的国际合作,已成为亟待解决的研究课题。

1 雨水利用系统的基本概念

1.1 雨水利用的定义与分类

雨水利用是通过聚集、储存、净化等技术手段,将水资源转化为人类生活、生产及生态领域所需的水。雨水的利用可分为两类:直接利用和间接利用。直接利用是指收集的雨水资源直接满足非饮用需求,如园林灌溉、道路清扫、建筑降温等。而间接利用则是在收集后,对雨水进行一定程度的净化,使其成为城市供水系统的一部分,用于满足生活和工业用水的需求。直接利用方法简便且快速,能够显著减轻城市水资源的压力;而间接利用则需要更加

周到的管理和操作,以应对多样化的用水需求,并展现出更长远的资源效益。

1.2 雨水利用的系统组成

该雨水处理设施由若干配套设备组成,涵盖了收集设施、储存净化设施和利用设施。收集设施是雨水利用系统的起始阶段,主要负责从降雨中收集水资源。雨水收集系统由雨水管道、雨水井和集水装置组成。雨水管道一般布置于城市道路和屋顶上,用于收集来自建筑物和街道的雨水。雨水井则起到调节水流和储存水的作用。集水单元包括雨水桶、集水槽等,适用于小范围区域的雨水收集^[1]。

储存净化设施负责雨水的储存和净化处理,以确保水质符合使用标准。储水设施中,雨水蓄积池较为常见,其尺寸和外观受需求和场地条件的影响而有所不同。沉淀池的主要功能是去除雨水中的泥沙杂质,而水质净化任务则由过滤系统承担。采用沙滤和炭滤方法去除微细污染物。根据不同的利用目标,净化标准也有所不同。此类雨水收集系统只需过滤少量杂质;若用水要求较高,可能需要采用更高效的净化技术。

利用设施是雨水收集系统的最终阶段,决定了雨水的最终用途。常见的利用方式包括园林灌溉、建筑冲厕和景

观用水等。通过雨水灌溉园林,不仅可以减少市政供水压力,还能减少园艺用水开支;冲厕用水采用处理过的雨水,有助于节约水资源;景观用水涉及水景、喷泉等构筑物,充分利用收集的雨水,有助于促进水资源的循环利用。

雨水利用系统各组成部分紧密配合,能够最大限度地提高雨水的利用效率,推动可持续的水资源管理。

2 城市给排水系统的现状与问题

2.1 城市给排水的基本结构与功能

城市基础设施中,排水供水系统扮演着关键角色,涵盖了供水、排水及污水处理等关键功能区域。给水系统负责水源地水资源的提取,借助管道系统将净化后的水源输送至城市各用水点,满足民众日常生活、商业运营及工业生产的用水需求。该系统的主要任务是将城市雨水、生活污水及工业污水等排放至外部排水设施或处理厂,而污水处理系统则承担着净化污水的重任,确保其排放不污染自然环境,从而实现环保目标。

城市排水系统还承担防洪排涝的责任,特别是在暴雨和极端气候现象频发的情况下,系统必须有效去除积水,遏制内涝和洪灾的蔓延。随着城市规模的逐步拓展和人口数量的持续增加,保障城市生活和运行的给排水系统成为核心基础支撑。然而,这一系统也面临着一系列挑战。

2.2 当前给排水系统存在的主要问题

尽管多数城市的排水工程已基本竣工,但随着城市化进程的不断推进,系统中的问题逐渐显现,城市内涝现象日益严重,雨水排放不足是关键诱因。在许多城市中,传统排水系统设计在极端降水情况下显得力不从心,排水设施和管网常常超负荷运行。在这种情况下,雨水排放效率低,频繁发生积水和内涝,尤其是在排水系统设计不当的城市低洼地带,形势尤为严峻^[2]。

水资源短缺和环境污染已成为城市排水系统面临的主要挑战。随着城市人口和工业用水需求的同步上升,城市水资源供需矛盾日益突出。水资源短缺问题对城市的可持续发展构成了重大制约,而生活和工业污水的排放未经彻底净化,水体污染问题愈加严重,这大大降低了居民的生活质量。同时,污水处理和水资源循环利用的难度也在不断加大。

水质监管体系尚不完善,成为排水系统的一个突出缺陷。水质监测体系建设进展缓慢,缺乏完善的水质预警和应急处理机制,水污染事件的发现和处理难度较大。此外,管理和技术团队的协作不到位,雨水利用和污水处理的管理环节存在漏洞,进一步加剧了水资源短缺和水质污染的状况。

这些问题对城市的生活品质和环境保护产生了不利影响,制约了城市的可持续发展潜力。要解决这些困扰,就必须对现有的给排水系统进行革新和提升,特别是在雨水收集和污水净化领域,采纳更多绿色技术和智能管理模式。

3 雨水利用在城市给排水中的应用

3.1 雨水利用的实际应用案例

3.1.1 国外应用实例分析

新加坡:新加坡的“新加坡水计划”是全球雨水利用的典范之一。新加坡通过建立大规模的雨水收集系统,将城市屋顶、道路、广场等地的雨水收集并储存,经过净化处理后用于城市供水系统,满足日常用水需求。2019年,新加坡的雨水回收率达到30%以上,预计未来该比例将进一步提升。

德国:德国在城市雨水利用方面的应用也非常先进,尤其是在巴伐利亚地区。该地区的雨水利用系统不仅限于城市绿地的灌溉,还用于建筑冷却和景观水体的维护。德国还开发了智能化雨水管理系统,通过实时监控和数据分析来优化雨水收集和使用。

美国:美国的一些大城市,如洛杉矶和亚特兰大,已经实施了雨水利用计划,特别是在干旱地区,雨水被广泛用于景观灌溉、建筑冷却以及部分工业用水。洛杉矶通过建设雨水收集池和地下水库,成功将暴雨时的多余水量储存,为旱季提供备用水源。

3.1.2 中国城市雨水利用的具体项目与成果

北京:北京在多个新建住宅小区和公共建筑中实施了雨水收集与利用项目,雨水主要用于园林绿化、道路清洗以及非饮用水用途。根据北京市建设委员会的统计数据,北京每年通过雨水利用可减少约1000万吨的自来水消耗。

深圳:深圳在2005年启动了“雨水利用与管理试点项目”,在多个园区、住宅小区及公共设施中推广雨水收集系统。深圳的雨水利用项目在减轻市政供水压力方面发挥了重要作用,尤其是在提升水资源综合利用效率方面取得了显著成果。

3.2 雨水利用的效果评估

雨水利用不仅能够有效解决城市水资源短缺问题,还能在改善城市环境、提升生态质量等方面发挥重要作用。

提高水资源利用效率:通过雨水收集与利用,能够有效提升水资源的综合利用效率。以新加坡为例,通过回收和再利用雨水,新加坡的年均水利用效率提高了约35%。在中国,许多城市的雨水回用率也达到或接近10%,显著缓解了供水压力。

缓解城市洪涝压力:雨水利用系统能够在暴雨季节通过储存和分流雨水,减少暴雨对城市排水系统的压力,降低内涝发生的风险。比如,深圳通过建立雨水储存池和渗透性铺装地面,极大地提高了雨水的渗透和回用能力,有效减少了城区的积水现象^[3]。

降低自来水使用成本:雨水利用系统的实施有助于减少自来水的消费量,从而降低水费支出。例如,北京市通过实施雨水利用项目,预计每年可节省超过2000万元的自来水费用。同时,园林灌溉、道路清洗等非生活性用水

通过雨水替代,也大大降低了市政水供应的负担。

改善城市生态环境:雨水利用不仅有助于水资源的节约,还能有效改善城市生态环境。通过雨水的回收和利用,城市绿化、景观水体等生态项目得到充分水源支持,提高了城市生物多样性和空气质量。如表1所示。

表1 雨水利用的效果评估

城市	雨水利用率	年节水量(万吨)	主要应用领域
新加坡	30%	1500	居民用水、工业冷却、景观灌溉
北京	10%	1000	园林绿化、道路清洗
深圳	8%	800	园区、住宅小区、公共设施

通过这些案例可以看出,雨水利用在城市给排水系统中的应用不仅提升了水资源利用效率,还有效减轻了城市排水系统的压力,为实现水资源的可持续管理提供了有力支撑。

4 雨水利用的技术与管理发展趋势

4.1 雨水收集与处理技术的创新

随着科技的进步,雨水收集与处理技术不断创新,旨在提高雨水利用效率,并确保其水质安全。

高效雨水收集装置:传统的雨水收集系统主要依赖屋顶排水管道和储水池,而现代技术的应用显著提升了雨水收集系统的效能。创新的材料与设计为雨水屋顶收集系统注入了新活力,极大地提高了雨水收集效率,尤其是在高层建筑中,能够最大限度地收集屋顶雨水。绿色屋顶技术作为一种新型雨水收集手段,不仅有助于减少建筑能耗,植物层的过滤作用还能够显著提高雨水质量,将收集到的雨水用于建筑灌溉及空调系统中^[4]。

先进的雨水净化技术:雨水净化技术的创新对确保雨水的安全利用至关重要。目前,膜过滤技术以其高效和精细的处理能力逐渐成为雨水处理领域的主流。膜过滤技术结合了物理筛选和化学吸附的双重机制,能够有效去除水中的悬浮颗粒、细菌及有害物质。同时,紫外线清洁杀菌技术通过高浓度紫外线照射水源,能够高效地灭除水中的病毒。为了确保雨水质量达到饮用水标准,这些技术广泛应用于高端雨水利用的实践中。

4.2 智能化雨水管理系统

物联网、云计算和大数据技术的成熟趋势日益明显,智能化雨水管理系统正在引领雨水利用领域的革新。

采用物联网技术的雨水收集与监控方案:通过物联网技术,雨水收集系统的各个模块能够实现实时监控并即时报告运行状态。雨水储存池的水位、雨水过滤设备的运行状态以及管道流量数据都能实时上传至管理平台。该系统能够实现作业状态的实时调整,防止设备超载和故障,最大程度地提升雨水的利用效率。

雨水利用中云计算及大数据技术的应用前景展望:随着雨水收集与利用系统规模的不断扩大,传统的手工管理

手段已经无法跟上时代的步伐。在云计算与大数据分析的支持下,相关部门可以对雨水资源进行智能调配^[5]。大数据技术可以根据气象预测、历史降水记录和城市用水需求等多重依据,创新雨水收集与分配模式,从而使城市能够适应各种气候条件,合理利用雨水资源。

4.3 雨水利用的政策与管理机制

雨水利用不仅仅依赖于技术创新,政策和管理机制的建设也起着至关重要的作用。许多国家和地区已出台相应的政策法规,强制要求建筑实施雨水收集项目。部分城市规定新建建筑必须配备雨水收集装置,尤其是在干旱和污染严重的地区,强制性的建筑雨水收集规定已得到广泛普及。这类政策通过经济激励和法律约束相结合,推动了雨水利用技术的普及和实施。

为了实现雨水资源的长期利用,城市应制定并落实一体化的雨水管理计划。在这个过程中,收集、处理和利用是确保雨水管理有效性的关键。城市需要统筹考虑排水、环保及生态建设等多个方面,建立跨部门、跨行业的协同机制,整合各方资源与能力,从而有效保障雨水利用系统的高效运行。政府、企业和公众的协作,是雨水利用可持续发展的关键纽带。

5 结束语

在城市给排水工程中,雨水利用技术正逐步成为应对水资源短缺和环境污染的有效手段。通过实施高效的收集、净化和利用技术,雨水的降临可以减轻城市用水压力,同时优化排水系统设计,降低洪水风险系数。智能化管理技术的应用与实施,加强了雨水利用系统的精准度和高效性,提升了资源配置效率。随着政策逐步优化升级,雨水利用法规和管理体系不断完善,未来将助力各大城市实现绿色、可持续的水资源管理新成就。为了最大化收集雨水资源,技术方案仍需进一步优化,鼓励政府、企业和社会各界共同合作,推动协同共赢,助力打造更加绿色、宜人的城市环境。

【参考文献】

- [1]陶冬民.海绵城市给排水建设注意问题研究[J].环境与发展,2018,30(3):239-240.
 - [2]赵伟锋.城市给排水建设中海绵城市理念的应用研究[J].工程建设与设计,2023(5):107-109.
 - [3]雷雨润.海绵城市理念在市政给排水设计中的应用实践[J].南方农机,2019,50(5):252.
 - [4]张青山.城市给排水工程新技术[J].山西建筑,2016,42(15):128-129.
 - [5]周斌.雨水收集与利用系统在城市给排水设计中的应用探索[J].城市建设理论研究(电子版),2024(28):196-198.
- 作者简介:冯玉洁(1990.2—),女,石家庄市,汉族,硕士研究生,高级工程师,就职于石家庄市排水管护中心,从事市政排水维护相关工作。

高速公路交能融合项目开发的影响因素分析及建议

柳昱洵

浙江省交通投资集团有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]交能融合即交通行业与能源行业的深度融合,对于推进交通网、能源网的集成化建设、高质量发展具有重要意义。各地区高度重视高速公路交能融合项目开发,其盈利模式主要包括节约成本、电力并网获利、匹配新能源项目。各地区高速公路交能融合场景包括服务区新能源微电网建设、构建源一网-荷-储-充深度融合系统。对各地区高速公路交能融合项目开发的影响因素进行分析,主要包括技术因素、经济因素、政策因素。本次研究提出相应的建议,包括完善顶层设计与政策支持、优化技术应用与创新、充分利用高速公路资源、推动商业模式创新、注重环境与社会效益、强化安全保障与风险防控,为实现各地区高速公路交能融合项目高效开发提供支持。

[关键词]高速公路;交能融合;项目开发

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16866

中图分类号: U491.4

文献标识码: A

Analysis and Suggestions on the Influencing Factors of the Development of Highway Traffic Energy Integration Projects

LIU Yuxun

Zhejiang Communications Investment Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: Transportation energy integration refers to the deep integration of the transportation and energy industries, which is of great significance for promoting the integrated construction and high-quality development of transportation and energy networks. Various regions attach great importance to the development of highway transportation and energy integration projects, and their profit models mainly include cost savings, electricity grid connection profits, and matching with new energy projects. The integration scenarios of transportation and energy on highways in various regions include the construction of new energy microgrids in service areas and the construction of a deep integration system of source network load storage charging. The article analyzes the influencing factors of the development of highway energy integration projects in various regions, mainly including technical factors, economic factors, and policy factors. This study proposes corresponding suggestions, including improving top-level design and policy support, optimizing technology application and innovation, fully utilizing highway resources, promoting business model innovation, focusing on environmental and social benefits, strengthening safety and risk prevention, and providing support for the efficient development of high-speed highway energy integration projects in various regions.

Keywords: highway; integration of transportation and energy; project development

引言

以公路交通体系作为基础,结合实际情况运用公路沿线互通、边坡、服务区、隧道口广场、管理用房等场所开发新能源,在扩大新能源覆盖面的同时,打造集交通、能源为一体的服务模式。各地区高度重视并全面推进交能融合,在开发高速公路交能融合项目的过程中分析影响因素并提出相应建议,在提升能源利用率、强化能源安全保障的同时,加速交通基础设施绿色转型发展,推动新能源、新交通高质量发展。

1 交能融合盈利模式

1.1 能源生产和销售

1.1.1 余电上网销售

高速公路公司将高速公路新能源发电系统并网,将自剩余的能源出售以此获得收益,通过自发自用、余量上网模式,在实现能源最大化利用的同时,获取收益。

1.1.2 储能系统调峰套利

通过和服务区、隧道配置储能设备,在电价低谷时段(如夜间)充电,高峰时段(如白天交通高峰)放电至电网或供交通场景使用,赚取价差利用电价峰谷差盈利,同时通过参与电力市场交易,为电网提供调频、调峰等辅助服务,获取电网支付的服务费用。

1.2 交通能源服务

在服务区、停车场等布局充电桩、换电站,通过向车主收取充电服务费、会员费等盈利。

2 高速公路交能融合典型场景

2.1 服务区“源-网-荷-储-充”一体化系统建设

高速服务区为过往车辆休息提供便捷场所,电力是服务区主要使用的能源类型,服务区全天不间断运行会产生巨大电能消耗,同时服务区需要建设充电桩、换电站为过往的电动汽车提供充电服务,进一步增加高速公路用电量。

电动汽车量呈现逐年增加趋势,相应地对高速公路充电需求量增加,增加高速公路用电压力。各地区以满足新能源车出行补能需求为切入点,在服务区灵活性构建“源-网-荷-储-充”深度融合系统,打造信息化、集中化为一体的能源系统,建立光伏发电+储能+充电桩输出的方式,打破充电桩+市电的简单供能模式。

2.2 边坡、互通光伏建设

在高速公路沿线利用互通枢纽、匝道、边坡等闲置土地资源布置光伏,实现“自发自用,余电上网”。山东高速集团在荣乌高速荣成至文登段建设了全国首个高速公路边坡光伏试点项目,装机容量 2.01 兆瓦,年发电量达 280 万度。江苏高速在服务区、收费站、互通立交区域建设分布式光伏电站,截至 2025 年 3 月,已建成 113 个交能融合电站,总容量 88.95 兆瓦。

2.3 隧道储能建设

隧道电能消耗在高速公路运营能电力消耗中占比较高且隧道用能需求稳定,24 小时电力负荷波动较小,适合开展储能电站建设,通过在长隧道建设储能电站,在电价低谷时段充电,高峰时段放电,有效降低隧道用电成本。在电力薄弱的偏远地区,通过在隧道口周边建设光伏电站,搭配储能,为隧道照明、通风、监控设备提供稳定电力,减少对电网的依赖,并作为应急电源,在电网故障时维持隧道安全运营。

3 高速公路交能融合项目开发的影响因素

3.1 技术因素

3.1.1 能源技术经济适配性

光伏、储能等技术的成熟和成本的大规模下降带来了较高的经济适配性。通过“源-网-荷-储”一体化管控系统,有效地提升了能源自消耗比例,提高经济效益。

3.1.2 交通设备电气化

电动汽车的普及在减少碳排放的同时,推动高速公路系统智能化、绿色化发展,使充电桩、换电站等基础设施建设成为交能融合的重点。

3.1.3 智能技术的应用

各地区积极将大数据、物联网、云计算等技术应用到交通能源融合项目开发中,运用智能感知技术智能调度、监控设备性能,实现对用电负荷、储能设备运行状态的实时监测,为高速公路能源设备有效运行提供支持。

3.2 经济因素

3.2.1 基础设施建设成本

交通能源融合开发过程中需要建设大规模的基础设施,主要包括新能源发电设施、储能系统、输电网络、充换电设施等。基础设施建设、运营拥有较高的成本,对交能融合项目开发造成影响。

3.2.2 环境因素

项目开发需考虑沿线的光照资源、气候条件等自然因

素,开发过程中需避免对生态环境造成破坏,同时要避免考虑光伏板炫光行车环境造成影响。

3.3 政策因素

3.3.1 政策支持与引导

政府在交能融合项目开发过程中具有重要作用,政府部门通过制定相关政策引导企业与社会资本参与交能融合开发项目,为交能融合项目开发提供支持。如交通运输部等十部门关于推动交通运输与能源融合发展的指导意见,明确了到 2027 年和 2035 年交能融合的发展要求。

3.3.2 综合规划与顶层设计

高效的交能融合项目开发需要完善的综合规划和顶层设计作为支持,为交通与能源系统协同发展提供保障。各地区的交能融合在高速公路建设期存在规划不足,需要提前谋划^[2]。

3.3.3 标准与规范

建立统一技术标准、规范为高质量交能融合提供支持,各地区建设统一的充电设施标准、智能电网技术规范等,为能源系统兼容性、运行效率提升提供支持。

3.4 社会因素

3.4.1 服务公众美好出行

随着新能源汽车使用量逐渐增多,在高速公路行驶的新能源汽车量随之增多,新能源车辆用户对高速公路充电设施的需求推进了高速公路交能融合项目的建设。

3.4.2 服务碳达峰碳中和

交能融合为资源利用效率提升提供支持,使高速公路对传统化石能源的依赖性降低。通过发展“交通+能源”模式,对高速公路沿线资源予以充分利用,有效降低高速公路碳排放,配合储能+能源管理系统实现能源利用效率的提升,推动绿色高速公路建设。

4 高速公路交能融合项目开发建议

4.1 完善顶层设计与政策支持

4.1.1 建立交能融合管理体系

各地区通过完善交能融合领域的顶层设计,制定发展规划、支持政策、工作协调机制,在此基础上突破行业壁垒,为交通与能源融合发展提供支持。

4.1.2 完善标准规范体系

结合实际情况进一步完善高速公路与多种新能源融合标准规范体系,并实现高速公路能源基础设施从规划、设计、施工、运营、管理维护等周期全覆盖,为交能融合项目开发提供标准化指导。

4.2 优化技术应用与创新

4.2.1 光储充一体化模式

各地区利用高速公路沿线丰富的太阳能资源,开发“光伏+储能+充电站”一体化交能融合项目。将分布式光伏发电、储能系统、充电站有机融合,为高速公路能源供给提供支持,降低对传统电网依赖。

4.2.2 多能互补与智能微电网

各地区高速公路融合多种能源形式,在此基础上构建“源网荷储”一体化智能微电网系统,配合智能调控技术,对能源高效利用进行灵活调配,满足高速公路设施的用电需求^[4]。

4.2.3 数字化与智慧管理

各地区运用大数据、物联网、人工智能技术,构建具有综合性的智慧能源服务平台,为实时监测、智能调度、高效运维高速公路能源系统提供支持。浙江杭金衢高速公路通过数字化改造,实现了能耗精准监测和智慧配电运维。

4.3 充分利用高速公路资源

4.3.1 盘活闲置土地资源

各地区充分利用高速公路沿线服务区、收费站、边坡、互通区域等场所的闲置土地资源开发交能融合项目。

4.3.2 因地制宜的项目布局

各地区以不同区域资源禀赋、用能需求为依据,对交能融合项目进行合理布局,可选择在光照充足的区域重点发展光伏发电,在风能资源丰富的重点发展风力发电,以此实现对资源的高效利用^[5]。

4.4 推动商业模式创新

4.4.1 拓展盈利模式

各地区通过开发交能融合项目,提供清洁、经济的能源供应、绿电交易、碳资产交易等多元化服务,使高速公路盈利模式更加丰富。

4.4.2 加强跨行业合作

各地区积极鼓励交通、能源、科技等多行业彼此间合作,共同探索高效的交能融合项目开发与运营模式。

4.5 注重环境与社会效益

4.5.1 节能减排与生态效益

各地区将开发交能融合项目作为降低碳排放、污染物排放量的有效途径,为各地区实现“双碳”目标提供支持。

4.5.2 提升用户体验与社会效益

各地区开发交通能源融合项目的过程中,实现充电设施布局的优化、能源供应稳定性的提升,使新能源汽车用户在高速公路上的行驶体验得到增强,同时加速绿色出行理念的普及推广。

4.6 强化安全保障与风险防控

4.6.1 构建全生命周期安全管理体系

高速公路交能融合项目涉及能源生产、传输、存储及交通设施运行等多环节,建立覆盖规划设计、施工建设、运营维护在内的全生命周期安全管理体系。

(1) 规划阶段

引入风险预评估机制,结合地质条件、气候特征及交通流量,对光伏阵列抗风能力、储能系统火灾隐患、充电设施电气安全等进行系统性分析;通过多维度风险矩阵量化潜在威胁等级,为后续设计优化提供依据。

(2) 施工过程

制定标准化安全操作流程,明确高空作业、电气安装、储能设备吊装等关键环节的安全规范,提前识别交叉作业风险,优化工序衔接。运营阶段,建立动态安全监测平台,集成设备状态感知、环境参数监测、应急联动响应等功能,利用边缘计算技术实现数据的本地快速处理与异常预警,以此及时处理安全隐患。

4.6.2 提升能源设施本质安全水平

对储能系统热失控、光伏发电设备雷击损坏等技术风险,强化能源设施的本质安全设计。

(1) 储能系统

采用全氟己酮气体灭火、水喷雾降温等复合消防技术,结合电池簇间防火隔板、隔热材料的应用,构建多层次防护体系;部署电池健康状态(SOH)实时监测系统,通过大数据分析预测电池性能衰减趋势,并根据与预测结果提前实施预防性维护。

(2) 光伏发电设施

优化防雷接地设计,采用分布式直流断路器替代传统汇流箱,降低雷击引发火灾的风险;研发抗盐雾、抗风沙的光伏组件防护技术,提升设备在复杂环境下的耐久性。对充电设施推广隔离式电源模块与漏电保护装置的应用,确保用电设备与人员安全。

4.6.3 完善应急响应与灾备机制

鉴于高速公路场景下能源供应中断存在交通瘫痪风险,建立分级分类应急响应机制。制定标准化应急处置预案,明确断电隔离、人员疏散、设备抢修等流程,并定期开展多部门联合演练。在灾备体系建设过程中,构建分布式能源孤岛运行模式,当主电网故障的情况下,储能系统与分布式电源可自动切换为独立供电状态,保障收费站、监控系统等关键设施的电力供应。建立区域化应急物资储备网络,在沿线服务区设置移动储能车、应急充电桩等设备,提升极端天气或重大事故下的能源应急保障能力。引入无人机巡检技术,在灾害发生后快速排查设施损毁情况,为应急决策提供数据支持。

4.6.4 加强网络安全防护与数据治理

数字化技术在交能融合项目中应用范围持续扩大,相应的网络攻击可能造成能源系统失控或交通数据泄露。为降低数据泄露风险,应当构建纵深防御的网络安全架构:采用工业级防火墙、加密通信模块,防止非法设备接入;平台层部署入侵检测系统(IDS)与数据脱敏技术,实时监测异常访问行为并保护用户隐私;管理层面制定网络安全等级保护制度,定期开展漏洞扫描与渗透测试。建立能源-交通数据融合治理规范,明确数据采集、存储、共享的安全边界,避免数据滥用引发安全风险。

4.6.5 统一安全技术创新与标准

为高效处理交能融合领域新型安全问题,应当加强产

学研协同创新,对储能安全预警、智能电网故障自愈、交通能源系统联动防护等关键技术进行深入研究。成立行业安全技术联盟,推动安全标准的统一与互认,覆盖设备接口规范、通信协议、应急处置流程等领域;建立安全技术认证机制,对光伏组件、储能电池、充电设备等产品实施安全性能进行强制认证,从根本上保障项目安全水平

5 结束语

高速公路交能融合项目开发能够实现交通、能源的有效融合,对于减少碳排放、推动产业升级、保障能源安全具有重要意义。各地区在开发交能融合项目的过程中,结合实际情况确定相应的实施路径、场景,通过因素分析发现现阶段交能融合项目开发中存在的问题与优势,在此基础上针对性解决问题、利用优势。在未来的发展过程中,针对性提升交能融合项目开发效果。

【参考文献】

- [1]马亚,陆旭东,袁月明,等.交通能源融合背景下的高速公路低碳运营研究[J].公路,2025(2):413-419.
- [2]张宇飞,蒋玮,张硕,等.面向交通与能源融合需求的高速公路设施用能负荷预测[J].交通运输工程学报,2024,24(5):40-53.
- [3]张敏,王雁河,孙周,等.交能融合应用场景与技术体系研究[J].综合智慧能源,2024(1):1-17.
- [4].“交通自洽能源系统规划设计关键技术”专栏主编简介[J].交通信息与安全,2024,42(5):185.
- [5]石从地,刘玥蕊.“公路交通+新能源”融合发展模式探析[J].交通节能与环保,2024,20(5):8-11.

作者简介:柳昱洵(1992.4—),男,华北科技学院,土木工程,工程师。

工程废弃泥浆制备流态固化土的强度与流动性研究

杨 炜¹ 赵冬冬² 陈 新² 何继宏² 张 勇³ 夏 涛³

1 无锡市城市重点建设项目管理中心, 江苏 无锡 214000

2 华昕设计集团有限公司, 江苏 无锡 214000

3 纳思同(江苏)高科技发展有限公司, 江苏 无锡 214000

[摘要]流态固化处理是泥浆资源化利用的有效途径。本论文针对流态固化土影响因素和流动性随时间衰变规律不明晰等问题, 分析了固化剂掺量、泥浆初始含水率、养护龄期对流态固化土无侧限抗压强度的影响以及固化剂掺量、泥浆初始含水率、静置时间对流态固化土流动度的影响。结果表明, 流态固化土的无侧限抗压强度随固化剂掺量的增加而增大, 随初始含水率的增加逐渐减小, 随养护龄期的增大而增大。流态固化土的 28d 无侧限抗压强度为 7d 强度的 2.15~2.2 倍。流态固化土的流动度随初始含水率的增大而增大, 随固化剂掺量的增加而略微减小, 随静置时间的增大而逐渐减小。在制备流态固化土时应尽量使用较低的初始含水率, 以获得理想的胶结强度, 同时, 流态固化土搅拌完成后应尽快运输至现场进行浇筑, 以满足流动性的要求。

[关键词]流态固化土; 强度; 龄期; 流动性

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16857

中图分类号: TU472

文献标识码: A

Study on Strength and Fluidity of Flowable Solidified Soil Prepared from Engineering Waste Slurry

YANG Wei¹, ZHAO Dongdong², CHEN Xin², HE Jihong², ZHANG Yong³, XIA Tao³

1. Wuxi Urban Key Construction Project Management Center, Wuxi, Jiangsu, 214000, China

2. Huaxin Design Group Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

3. Leistung (Jiangsu) High-tech Development Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

Abstract: Flowable solidification is an effective approach for the resource utilization of slurry. Addressing issues such as the unclear influencing factors and the decay law of fluidity over time for flowable solidified soil (FSS), this paper analyzes the effects of binder content, initial moisture content of the slurry, and curing age on the unconfined compressive strength (UCS) of FSS, as well as the effects of binder content, initial moisture content of the slurry, and standing time on the fluidity of FSS. The results indicate that the UCS of FSS increases with higher binder content, gradually decreases with increasing initial moisture content, and increases with longer curing age. The 28-day UCS of FSS was found to be 2.15 to 2.2 times that of the 7-day strength. The fluidity of FSS increases with higher initial moisture content, slightly decreases with increasing binder content, and gradually decreases with longer standing time. To achieve desirable cementitious strength, a lower initial moisture content should be employed during FSS preparation. Furthermore, FSS should be transported to the site and poured as soon as possible after mixing to meet fluidity requirements.

Keywords: flowable solidified soil; strength; curing age; fluidity

引言

随着城市轨道交通建设的快速发展(全国运营里程达 10945.6 公里, 54 城 325 线), 盾构法施工产生大量泥浆(体积达挖方量的 2~3 倍^[1]), 加之钻孔桩、地连墙等工程泥浆, 其高含水率、低强度特性导致直接利用困难。传统板框压滤或堆存处理方式成本高昂且占用土地, 亟需探索泥浆资源化利用途径。与此同时, 基础设施建设对砂石资源需求激增, 过度开采导致资源枯竭、生态破坏与环境恶化。国家政策(如《砂石行业绿色矿山建设规范》^[2]、《关于推进机制砂石行业高质量发展的若干意见》^[3])明确要求严控天然砂石开采、推广机制砂, 致使砂石价格居高不下。在此背景下, 将泥浆固化处理后用于管廊回填、台背填筑等工程, 不仅能替代砂石、降低成本, 缓解资源环境压力, 契合“无废城市”理念, 更能有效解决泥浆处

置难题, 实现显著的经济、生态与环境效益。

流态固化土技术为此提供了有效方案。该技术通过向泥浆掺加固化剂及外加剂, 经搅拌形成兼具流动性和可浇筑性的材料, 硬化后具备一定强度与抗水性。其自流产、高抗渗、强度可调、施工便捷等优点, 使其广泛应用于基坑肥槽、管廊、台背等回填工程。利用泥浆直接制备流态固化土, 可省去板框压滤环节(仅需简单絮凝沉淀), 大幅降低处理成本, 且相较三渣土、轻质泡沫土等传统材料更具经济优势。

近年来, 流态固化土研究取得诸多进展: 王聪聪等^[4]利用赤泥-钢渣粉-水泥复合固化剂处理现场土, 揭示了赤泥掺量对工作性、强度及微观结构的影响及协同效应; 钟维军等^[5]优化了矿渣基固化剂及减水剂体系, 实现了优异力学性能; 易富等^[6]采用地聚物固化渣土并建立强度预测模型; 丁建文等^[7]提出水泥-磷石膏双掺固化淤泥方案,

阐明了钙矾石膨胀的增强机制及限值；黄英豪等^[8]与郎瑞卿等^[9]则聚焦新拌流态土的流动性及黏滞性，探明了含水率、水泥掺量及液限的影响规律。

综上，现有研究虽在固化剂开发及新拌土流动性方面成果显著，但流态固化土的关键影响因素尚需系统剖析，其流动性随静止时间的衰变规律尤不明晰。为此，本文将深入探究流态固化土的影响因素及其流动性时变特性，旨在为其工程应用提供理论支撑。

1 试验材料和试验方法

1.1 试验材料与试验方案

试验所用泥浆为无锡市某建筑工地钻孔灌注桩泥浆，根据《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019)^[10]，测得泥浆的天然含水率为 78.88%，天然密度为 1.54g/cm^3 。所用固化剂为无锡坤鼎建材厂生产的流态土专用固化剂，其主要成分为二氧化硅、三氧化二铝、氧化钙。

为研究固化剂掺量、泥浆初始含水率、养护龄期对流态固化土强度的影响，设计 5 个泥浆初始含水率和 4 个固化剂掺量，养护龄期设计为 1、3、7、14、28 天。试验方案如表 1 所示。在研究固化剂掺量和流动度关系的试验中，控制含水率为 160%，设计 8%、10%、12%、15% 的固化剂掺量；在研究含水率和流动度关系的试验中，控制固化剂掺量为 10%，设计含水率为 120%、140%、160%、180%；在研究流动度随时间变化的试验中，取固化剂掺量为 10%，含水率分别为 120%、140%、160%、180% 的浆体，测定其在 0h、0.5h、1h、2h、3h、4h 时刻的流动度，分析其流动度随时间变化的规律。

表 1 流态固化土无侧限抗压强度试验方案

固化剂掺量/%	泥浆初始含水率/%	养护龄期/d
8、10、12、15	160	28
10	120、140、160、180、200	28
10	160%	1、3、7、14、28

1.2 制样方法与试验方法

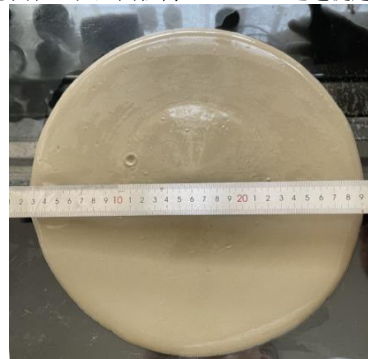
试样尺寸参考《自密实固化土填筑技术规程》(T/CECS 1175-2022)^[11]，采用边长均为 70.7mm 的立方三联模具，用于无侧限抗压强度研究。浇模后在室内静置 2~3 小时，在成型过程中，为确保试样表面不会因干燥而发生开裂，在试样表面覆盖保鲜膜后放入标准养护箱（温度 $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度不低于 95%）中进行养护，养护至相应龄期后进行无侧限抗压强度试验。参照《水泥砂浆立方体抗压强度试验方法》(T 0570—2005)^[12]测量无侧限抗压强度，每组试验设置 3 个平行试样，计算三个试样的抗压强度的平均值作为试验结果。

在流动性测试试验中，采用内径 80mm、高度 80mm 的有机玻璃圆柱筒和 500mm×500mm 玻璃板进行测定。将玻璃板放置在水平位置，用湿布擦抹玻璃使其表面湿而不带水渍。将有机玻璃圆柱筒放在玻璃板中央；将新制备

好的流态固化土迅速注入有机玻璃圆柱桶内，使用刮刀均匀刮平表面；在静置 0h、0.5h、1h、2h、3h、4h 后，将有机玻璃圆柱桶垂直方向迅速提起，并同步启动秒表以记录时间，待经过 30s 后，用直尺测量坍落浆体在垂直方向上的两个直径，并计算其平均值，以此作为流态固化土的初始流动度，试验过程如图 1。



(a) 流态固化土注入圆柱筒 (b) 迅速提起圆柱筒



(c) 测量流动度

图 1 流动性测试试验流程

2 试验结果与分析

2.1 固化剂掺量对无侧限抗压强度影响

固化剂掺量对流态固化土标准养护 28d 后的无侧限抗压的影响如图 2 所示。

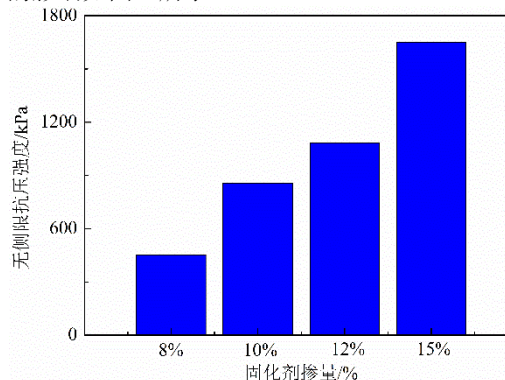


图 2 固化剂掺量对无侧限抗压强度的影响

从图 2 中可以看出流态固化土的强度随固化剂掺量的增加而发生明显的增强，固化剂掺量从 8% 增加到 15% 后，强度由 452kPa 增强到 1650kPa，增加了 3.65 倍。在加入固化剂之前，由于泥浆具有很高的含水率（160%），

使得泥浆不具备强度,当加入固化剂制备成流态固化土后,流态固化土逐渐形成强度,这说明流态固化土的强度来源完全取决于固化剂的水化胶凝作用。当固化剂掺入流态固化土后,固化剂中的碱金属矿物发生水解,形成氢氧化钙、氢氧化镁等碱性物质,提升孔隙溶液的pH值,进而在固化剂中激发剂的作用下诱导固化剂和黏土矿物中的活性二氧化硅和三氧化二铝等析出并参与水化反应,生成水化硅酸钙、水化铝酸钙、钙矾石等胶凝产物。这些胶凝产物不仅能够胶结土颗粒,而且起到填充孔隙的作用。固化剂掺量越高,生成的水化胶凝产物越多,土颗粒胶结越牢固,孔隙填充越密实,流态固化土的强度越高。

2.2 含水率对无侧限抗压强度影响

图3所示为泥浆初始含水率对无侧限抗压强度的影响。从图中可以看出,流态固化土的无侧限抗压强度随着泥浆初始含水率的增加而近似线性减小。在泥浆初始含水率为120%时,掺入10%固化剂后流态固化土的28d无侧限抗压强度可达1105kPa;而当泥浆初始含水率增加至200%时,10%固化剂掺量下流态固化土的28d无侧限抗压强度降低至527kPa,与泥浆初始含水率120%相比,无侧限抗压强度降低约52.3%。由此可见,泥浆初始含水率对流态固化土的强度存在显著影响。这主要是由于随着泥浆初始含水率增加,流态固化土的自由水含量越高、孔隙越大。一方面,自由水含量的增加使得固化剂水化产生的氢氧化钙、氢氧化镁等碱金属氧化物对孔隙溶液pH的影响降低,较低的pH值不能有效激发固化剂中活性二氧化硅和三氧化二铝等参与水化反应,不能有效生成大量水化硅酸钙、水化铝酸钙、钙矾石等胶凝产物,胶结效果减弱;另一方面,随着孔隙的增大,土颗粒之间的间距逐渐增大,所需要的水化填充产物也更多,在固化剂掺量一定的情况下,孔隙越大,填充效果越差,流态固化土的强度越低。根据图3的试验结果,建议在制备流态固化土时尽量使用较低的泥浆初始含水率,以获得理想的胶结效果。

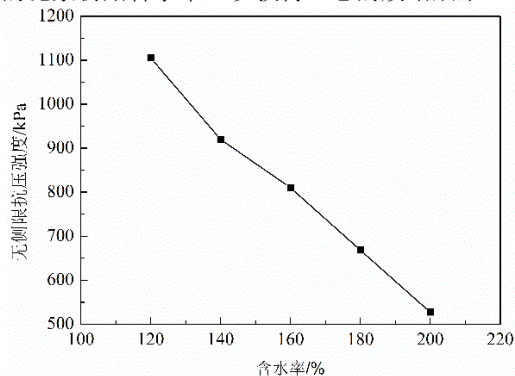


图3 泥浆初始含水率对无侧限抗压强度的影响

2.3 养护龄期对无侧限抗压强度的影响

图4为不同养护龄期条件下流态固化土的无侧限抗压强度。由图可知,随着养护龄期的增长,三种初始含水

率的流态固化土的无侧限抗压强度均逐渐增加。在标准养护的1~7d内,流态固化土的强度保持稳定的快速增长趋势,在标准养护的7~14d内,强度增长速度相较于前7d略微减慢,在标准养护14~28d内,强度增长速度逐渐减缓。由此可知,固化剂的水化反应在14d内反应较为剧烈,生成了较多的水化胶凝产物,使得流态固化土的强度随着养护龄期的增加逐渐增大;养护龄期超过14d后,水化反应进程放缓,流态固化土强度的增长速率也逐渐减慢。此外,三种不同含水率条件下流态固化土的28d强度约为7d强度的2.15~2.2倍。

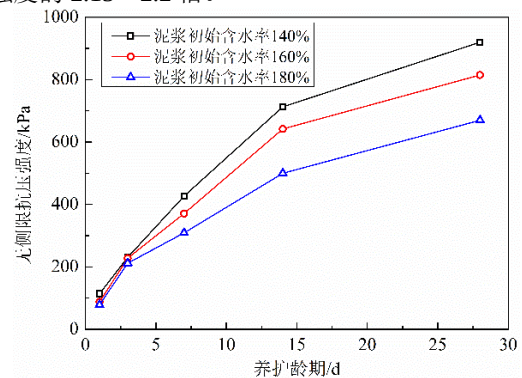
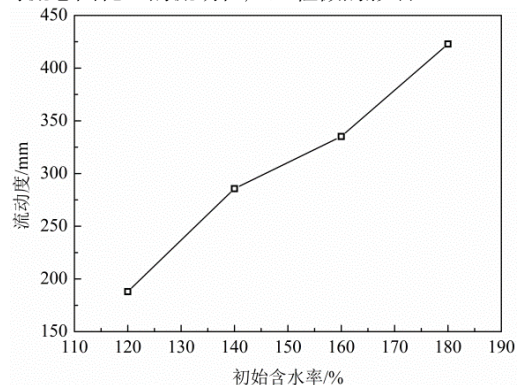


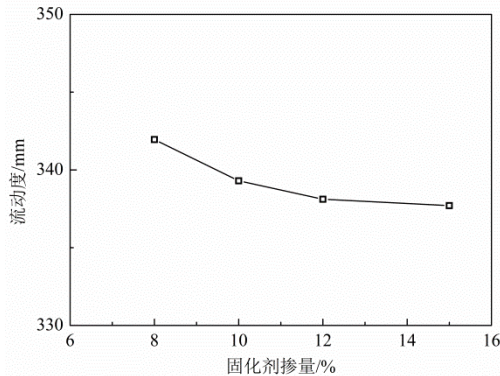
图4 无侧限抗压强度随养护龄期发展规律

2.4 流态固化土的流动性

图5(a)为不同初始含水率条件下流态固化土的初始流动度。由图5(a)可知,含水率对流态固化土的流动度有很大的影响,流动度随含水率的增加而增加。在含水率为120%~180%时,流动度增加了233.5mm。这主要是由于随着初始含水率的增大,流态固化土的土颗粒间的间距增大,土颗粒间的黏聚力、范德华力等逐渐减小,黏滞阻力减小,流动度增大。图5(b)为不同固化剂掺量条件下流态固化土的初始流动度。可以看出,随着固化剂掺量的增加,流态固化土的流动度呈现略微下降的趋势,但流动度总体变化幅度很小,固化剂掺量由8%增加至15%时,流动度仅下降约4mm。这主要是由于流态土的初始含水率较高,固化剂掺入后短时间内并未发生水化,仅固化剂粉体的吸水作用对流态固化土的流动性产生轻微的影响。



(a) 含水率对流动度的影响



(b) 固化剂掺量对流动度的影响

图5 流态固化土的流动度

图6所示为流态固化土的流动度随时间衰变规律。从图6可看出随着静置时间的增加,流态固化土的流动度呈下降趋势。这是由于随着时间的增加,固化剂逐渐发生水化反应,随着水化反应过程的推进,流态固化土中的自由水不断被消耗,此外,在静置的过程中,随着时间的增加,由于水和泥的密度不同,会使部分水析出,进一步导致流态固化土的流动性降低。以2h为转折点,在静置时间0~2h时,流动度迅速降低,且流动度随时间的增加呈近似线性下降趋势,在2~4h内,流动度下降速度明显减小。在静置4h时,三组流态固化土的流动度都接近80mm(圆柱桶的内直径),即拔去圆柱桶后流态固化土可达到直立的效果,这说明流态固化土在搅拌后的4h后已基本不具备流动性。从含水率角度分析,含水率为180%,在搅拌后4h内其流动度减小了336.5mm,随着含水率的减小,流动度的变化值也逐渐减小,但总体而言,在相同静置时间下,初始含水率越高,流态固化土的流动度越大。因此,为保证流态固化土具有足够的流动度,在能够保证强度的前提下应尽量提高泥浆的初始含水率,且流态固化土搅拌完成后应尽快运输至现场进行浇筑。

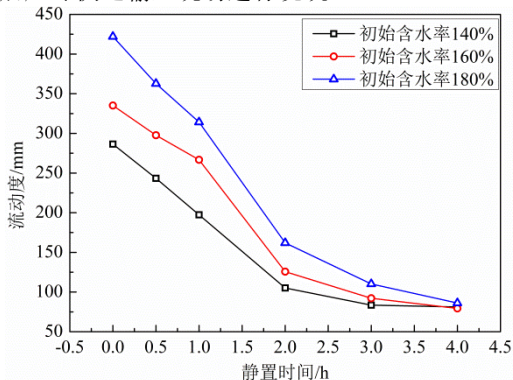


图6 流态固化土的流动度随时间衰变规律

3 结论

本文对流态固化土的强度和流动度进行了分析,主要

研究结论如下:

(1) 流态固化土的强度与固化剂掺量、含水率、养护龄期均有关。流态固化土的无侧限抗压强度随固化剂掺量的增加近似线性关系增大,随初始含水率的增加逐渐减小,随养护龄期的增大而增大。在制备流态固化土时尽量使用较低的泥浆初始含水率,以获得理想的胶结效果。

(2) 流态固化土的28d无侧限抗压强度为7d强度的2.15~2.2倍,在针对工期较紧张的项目时,可根据7d强度推测28d强度,以满足工期要求。

(3) 流态固化土的流动度随初始含水率的增大而增大,随固化剂掺量的增加而略微减小,初始含水率对流动度的影响比固化剂掺量更加明显。流态固化土的流动度随静置时间的增大而逐渐减小,静置时间超过4h时流态固化土基本失去流动性。流态固化土搅拌完成后应尽快运输至现场进行浇筑,以满足流动性的要求。

【参考文献】

- [1]常鸽,李春杰,丁光莹,等.钱江隧道盾构废弃泥浆的混凝分离[J].环境工程学报,2012,6(10):3752-3756.
 - [2]DZ/T 0316-2018, 砂石行业绿色矿山建设规范[S].中华人民共和国自然资源部.
 - [3]工业和信息化部等.关于推进机制砂石行业高质量发展的若干意见[EB/OL].2019.
 - [4]王聪聪,刘茂青,宋红旗,等.赤泥-钢渣粉-水泥固化流态土性能试验研究[J].硅酸盐通报,2023,42(7):2488-2496.
 - [5]钟维军,赵雅雯,陈雪梅,等.矿渣基复合固化剂对预拌流态固化土力学强度的影响[J].新型建筑材料,2023(3):46-50.
 - [6]易富,姜珊,慕德慧,等.流态地聚物固化土强度特性及其强度预测[J].水文地质工程地质,2023,50(1):60-68.
 - [7]丁建文,张帅,洪振舜,等.水泥-磷石膏双掺固化处理高含水率疏浚淤泥试验研究[J].岩土力学,2010,31(9):2817-2822.
 - [8]黄英豪,戴济群,徐锴.新拌固化淤泥的流动性和黏滞性试验研究[J].岩土工程学报,2022,44(2):235-244.
 - [9]郎瑞卿,裴璐熹,孙立强,等.新拌不同液限淤泥固化土流动性试验研究[J].岩土力学,2023,44(10):2789-2797.
 - [10]GB/T 50123-2019,土工试验方法标准[S].北京:中国标准出版社,2019.
 - [11]T/CECS 1175-2022,自密实固化土填筑技术规程[S].北京:中国计划出版社,2023.
 - [12]JGJ/T70,建筑砂浆基本性能试验方法标准[S].北京:中华人民共和国建设部,2009.
- 作者简介:杨炜(1969—),男,汉族,江苏无锡人,大学本科,副总工程师,研究方向:新型建造材料与施工技术。

CnZn 合金阻垢材料在循环冷却水系统中的应用性能分析

姜 旭

国家能源集团辽宁电力有限公司沈西热电厂, 辽宁 沈阳 110065

[摘要]工业领域中循环冷却水系统应用极为普遍,但其水质复杂多变,极易滋生水垢,进而引发换热效能降低、能源消耗攀升以及设备腐蚀等一系列问题,对系统稳定运行构成严重威胁,CnZn 合金作为创新型阻垢材料,不仅展现出卓越的抗垢与缓蚀性能,还兼具环保与经济双重优势,经深入剖析其阻垢作用机制,结合实验条件下的性能测试及实际工程应用验证,证实该材料在高温、高硬度水质环境中具备良好的适应性与持久稳定性,在工程实践中拥有巨大的推广潜力与应用价值。

[关键词]CnZn 合金;阻垢材料;循环冷却水系统;缓蚀性能;工程应用

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16881

中图分类号: TQ085

文献标识码: A

Performance Analysis of CnZn Alloy Scale Inhibition Material in Circulating Cooling Water System

JIANG Xu

Shenxi Thermal Power Plant of CHN Energy Group Liaoning Electric Power Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110065, China

Abstract: Circulating cooling water systems are widely used in the industrial field, but their water quality is complex and variable, which can easily breed scale and cause a series of problems such as reduced heat transfer efficiency, increased energy consumption, and equipment corrosion, posing a serious threat to the stable operation of the system. As an innovative scale inhibition material, CnZn alloy not only exhibits excellent anti scaling and corrosion performance, but also has dual advantages of environmental protection and economy. Through in-depth analysis of its scale inhibition mechanism, combined with performance testing under experimental conditions and practical engineering application verification, it has been confirmed that this material has good adaptability and long-term stability in high temperature and high hardness water quality environments, and has great potential for promotion and application value in engineering practice.

Keywords: CnZn alloy; scale inhibiting materials; circulating cooling water system; corrosion inhibition performance; engineering application

引言

循环冷却水系统于石化、电力、冶金等工业领域被大量应用,然而高温工况与复杂水质致使系统结垢频发,极大影响设备运行效率并缩短其使用寿命,传统阻垢剂虽可暂时抑制结垢,但因其引发环境污染且阻垢效果波动,难以满足长期使用需求,CnZn 合金凭借优异的电化学稳定特性,以及协同发挥的缓蚀阻垢功效,成为极具潜力的新型阻垢材料,通过实验数据与工程实际应用效果剖析其阻垢性能,将有力推动绿色高效阻垢技术在工业水处理场景中的普及应用。

1 循环冷却水系统中的结垢问题及其影响

1.1 水垢的成因与分类

循环冷却水系统运行时,随着水分持续蒸发浓缩,水中钙、镁等离子浓度不断累积,一旦突破溶解阈值,便会与碳酸根、硫酸根、氢氧根等阴离子结合,生成难溶性化合物并逐步形成水垢,其中,碳酸钙(CaCO_3)、硫酸钙(CaSO_4)和氢氧化镁($\text{Mg}(\text{OH})_2$)最为常见, CaCO_3 在温度变化或 pH 波动时易结晶析出,外观呈白色; CaSO_4 在高硬度水质中稳定存在,虽结垢缓慢但清理困难; $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 则在碱性条件下大量生成,附着特性显著,此外,

水中悬浮物、有机物及微生物活动会加速垢体形成,不同水质条件下垢层成分与沉积速率存在显著差异。

1.2 结垢对系统运行的危害

水垢在循环冷却水系统内的沉积会引发多重负面效应,换热设备表面的垢体极大削弱传热性能,致使设备运行温度失控,危及工艺流程稳定性,垢层持续增厚将缩窄管道流通截面,甚至引发堵塞,破坏水循环并加剧设备负荷,不均匀的垢体分布还会造成局部过热,在金属表面形成温差应力,诱发微裂纹并加速腐蚀进程,水垢与腐蚀产物结合形成的复合沉积层,进一步加剧金属结构损坏,为保障系统正常运转,企业需增加清洗维护频次,由此产生高昂运维成本与停机损耗,甚至埋下重大安全隐患。

1.3 传统阻垢方法的局限性

工业领域为抑制水垢生成,普遍采用投加化学阻垢剂的方法,常见类型包括磷酸盐、有机膦酸、聚羧酸等,这类药剂通过络合金属离子、干扰晶体生长或构建保护膜等作用机制,延缓水垢沉积进程,然而,化学阻垢剂的应用面临多重挑战:其一,部分药剂在水体中残留,随废水排放后可能引发水体富营养化、毒性污染等生态问题;其二,长期使用易产生副反应产物,导致沉积物结构复杂化,增

加后续清洗难度；其三，部分药剂对水质波动敏感，阻垢效能稳定性不足，难以适应工业水系统的复杂工况，此外，高频次投加药剂会推高处理成本，无法契合现代工业对绿色环保、高效节能的发展需求，因此，研发更为安全、高效且可持续的阻垢新材料，已成为行业亟待突破的关键方向。

2 CnZn 合金阻垢材料的性能特点

2.1 合金成分与结构特性

CnZn 合金以铜 (Cu) 和锌 (Zn) 为主要成分，二者配比直接影响合金性能表现，铜元素赋予合金优异的抗菌与缓蚀特性，锌元素则在抑制晶体形成中发挥核心作用，该合金微观结构呈现多相共存状态，具备高度致密性与力学稳定性，在水环境下不易释放杂质，当 CnZn 合金接触循环水，其表面迅速生成由氧化铜和氧化锌构成的致密氧化膜，这层保护膜既能隔绝水与金属基体的直接接触，发挥防腐功效，还能形成物理屏障，有效干扰垢类晶体的成核与生长进程，此外，合金微观结构展现出良好亲水性与规则晶格排列，为其在循环系统中持续发挥阻垢作用提供保障。

2.2 阻垢机理探讨

CnZn 合金在水系统中的阻垢效能源于多重机制协同运作，其凭借自身电化学特性在金属表面引发钝化现象，切断水垢与腐蚀产物的结合路径；表面氧化膜凭借强吸附能力，捕获水中 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 等致垢离子，防止其在金属表面沉积；合金释放的微量金属离子能够干扰水中晶核形成，促使生成疏松无序的晶体结构，削弱垢层附着能力，这些作用共同抑制晶体生长，阻止垢层致密化，实现阻垢、缓蚀与系统稳定运行的多重目标，相较于单一物理阻隔或化学络合阻垢方式，CnZn 合金的复合作用机制使其在复杂水质条件下仍能保持良好的适应性与长效性。

2.3 与传统阻垢剂的对比优势

与传统化学阻垢剂相比，CnZn 合金在环保性能、作用稳定性及经济成本方面展现出突出优势，从环保角度来看，该合金无需添加化学药剂，不会向水体排放大量有机磷、氮污染物，有效规避了水体富营养化风险，契合当下绿色发展理念，在稳定性方面，CnZn 合金使用寿命长，即便处于高温、高硬度等严苛环境，其物理结构与阻垢效能依然保持稳定，能够适应复杂多变的工业工况，经济层面上，尽管合金前期采购成本略高于部分化学药剂，但其一次投入可长期使用，无需频繁加药，同时减少了排污处理费用，从全生命周期成本考量更具经济性，由此可见，CnZn 合金在现代工业水处理领域展现出长效、高效且可持续的阻垢特性，具备广阔的推广应用前景。

3 实验室条件下的阻垢效果测试

3.1 实验设计与参数设置

构建模拟实验系统以综合评价 CnZn 合金在循环冷却水系统中的阻垢效能，采用封闭式循环水路开展对照研究，

实验装置由恒温水箱、循环水泵、内置 CnZn 合金片的测试段、冷凝器及流量计量设备构成，模拟循环水成分依据工业冷却水标准配制，主要离子浓度为： Ca^{2+} 250mg/L、 Mg^{2+} 80mg/L、 HCO_3^- 300mg/L、 SO_4^{2-} 100 mg/L，总硬度维持在 350mg/L（以 CaCO_3 计），实验工况设定为：水温稳定在 $45\pm 2^\circ\text{C}$ ，pH 值控制在 7.5 ± 0.2 ，循环水流速 0.8m/s，以此模拟常规冷却系统运行环境，实验分设对照组（未添加阻垢材料）与实验组（置入 CnZn 合金片），每组运行周期 7 天，按 24 小时间隔取样监测，系统分析结垢演变趋势。

3.2 结垢速率及阻垢率测定

阻垢性能评估主要运用质量差法与电导率变动分析法，质量差法是将标准碳钢片置于实验系统，按周期取出干燥称重，通过测定结垢前后质量差值，计算单位面积结垢量；电导率变动分析则通过监测水中离子浓度变化趋势，间接反映水垢形成速率，阻垢率通过公式“阻垢率 (%) = $[(m_0 - m_1)/m_0] \times 100\%$ ”计算，其中 m_0 代表对照组结垢量， m_1 为实验组结垢量，为保障结果可靠，实验多次重复操作，并采用标准差表征数据误差范围。

3.3 实验结果分析与讨论

模拟实验数据证实，CnZn 合金在设定工况下对结垢过程呈现显著抑制效果，数据显示，实验第 7 日对照组碳钢片单位面积结垢量达 $2.14\text{g}/\text{m}^2$ ，而置入合金片的实验组仅为 $0.52\text{g}/\text{m}^2$ ，经计算阻垢率高达 75.7%，实验组电导率下降趋势明显趋缓，表明水中 Ca^{2+} 等致垢离子沉淀进程得到有效遏制，整个实验周期内，合金表面未见明显垢体附着，且氧化膜保持完整，未出现腐蚀迹象，充分验证其卓越的抗垢与缓蚀性能，与传统聚羧酸阻垢剂的平行对比显示，后者在相同条件下阻垢率仅为 62.3%，且需每日补充药剂，操作繁琐，由此可见，CnZn 合金在模拟冷却水环境中展现出稳定长效的阻垢能力，能够适应长期连续运行需求，在工程应用中具备显著优势与可行性。

表 1 CnZn 合金与其他阻垢方式在模拟循环冷却水系统中的性能对比

组别	实验天数	单位面积结垢量 (g/m^2)	电导率下降速率 ($\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{d}$)	阻垢率 (%)
对照组	7	2.14	68.3	—
CnZn 合金组	7	0.52	21.7	75.7
聚羧酸组	7	0.81	26.5	62.3

实验结果充分印证了 CnZn 合金作为阻垢材料的有效性与先进性，为其在工业冷却水系统中的推广应用奠定了坚实的数据基础。

4 实际工程中的应用案例研究

4.1 工程背景与布设方案

以江苏省某大型化工企业的循环冷却水系统为研究载体，该系统负责为合成装置冷却塔及换热站提供冷却服务，日循环水量达 4800 吨，长期受碳酸钙类水垢影响，

换热效率大幅下降,设备年均停机维护次数高达5次,为解决这一问题,2024年6月在该系统开展CnZn合金阻垢材料的现场应用测试,技术团队在主换热器进口支路、冷却塔集水池出口管道内壁及部分旁通支路安装CnZn合金模块(单模块重量0.8kg,共计10块),采用“管道内嵌与循环覆盖相结合”的布设方式,确保合金与循环水充分接触以实现最佳阻垢效果、模块安装过程无需改造原有系统结构,展现出良好的兼容性与操作便利性。

4.2 运行数据与系统反馈

系统运行后,对水质指标及设备运行状态进行了为期三个月的连续监测,运行前冷却水中 Ca^{2+} 浓度为235mg/L,pH值7.6,总硬度达345mg/L,常规投加聚合磷酸盐的处理效果有限,安装CnZn合金模块一个月后,系统回水中 Ca^{2+} 浓度稳定在197mg/L,总硬度降至289mg/L,表明结垢离子的沉积趋势得到显著抑制,红外热成像监测显示,换热器温差由初始的 8.1°C 降至 6.4°C ,换热效率提升约21%。设备外壳及管道内壁未见明显新生水垢,冷凝器压力保持稳定,运行噪音与振动均有所降低、企业设备维护人员反馈,三个月内无需对垢层进行清洗,设备运行状态良好、冷却塔循环周期延长约35%,维护周期从原来的两个月延长至四个月以上,系统整体运行稳定性显著提升。

4.3 效果评价与经济分析

对比冷却系统运行前后数据,CnZn合金在阻垢与节能方面成效显著、经估算,采用该合金后每月节省能耗费用约4200元,降低水垢相关清洗及人工成本约3000元,年度综合运行成本减少可达8万元,合金模块采购安装总计投入2.5万元,预计使用周期长达3年,投资成本回收周期不足5个月,经济效益突出、此外,该材料无需持续添加化学药剂,有效减轻环保排放压力与后处理负担,契合清洁生产及绿色工厂建设要求,企业计划将其推广至其他车间水系统、实践表明,CnZn合金在实际工程中实现技术与经济双重突破。

5 CnZn合金阻垢材料的优化与发展前景

5.1 材料改性与制备技术发展

面对工业需求升级与环保标准趋严,CnZn合金阻垢材料在配比优化和表面处理领域成为研究焦点,通过调整铜锌元素比例,掺杂铝、钛等微量元素,可增强材料抗氧化性与缓蚀性能,提升高温高盐环境适应性,纳米陶瓷包覆、等离子体表面氧化等新型涂层技术的应用,能够强化合金表面致密性,增强抗垢附着能力,延长使用寿命、粉末冶金、热挤压及高温烧结等先进制备工艺的引入,为合金形态定制化生产与规模化应用提供技术保障。

5.2 在不同工业系统中的适用性分析

CnZn合金阻垢材料的应用场景已突破传统石化、化工行业局限,在多领域工业冷却系统展现优异性能,中央

空调冷却塔中,其便捷安装与免维护特性大幅降低运维压力;冶金行业高硬度循环水系统内,可有效抑制硫酸盐类水垢生成;火电厂冷凝器在长期高负荷运行中,得益于该合金良好的高温抗垢性与电化学稳定性,随着水资源短缺加剧及回用水需求增长,CnZn合金在高污染、高硬度水质处理中的应用潜力将进一步释放。

5.3 推广应用面临的问题与对策

尽管CnZn合金展现出广阔的应用前景,但其大规模产业化推广仍存在诸多阻碍,其一,需深入探究合金腐蚀行为与水质条件的交互作用机制,确保材料在不同酸碱度及氧化还原环境下的稳定性,提升其在复杂工况中的耐受性;其二,当前该材料成本显著高于传统化学药剂,亟需通过技术革新与扩大生产规模降低单价,增强市场竞争优势;其三,行业内尚未建立统一的技术规范与性能评价体系,导致跨行业推广与质量监管缺乏依据、针对这些问题,可通过深化产学研协同创新,搭建全流程性能测试平台,推动行业标准制定工作,结合国家节能减排政策完善经济激励机制,加速新型阻垢材料的工程化应用进程,助力实现绿色高效的工业水处理目标。

6 结语

实验探究与工程实践双重验证表明,CnZn合金在循环冷却水系统中呈现卓越的阻垢效能,不仅能有效遏制碳酸钙等常见水垢的形成,还具备显著的缓蚀功能,可适配多样化的工业水处理场景,该合金凭借绿色环保属性、经济高效优势及长使用寿命,为传统阻垢技术提供了优质替代选择,面向未来,可进一步挖掘其在多功能复合材料领域的应用潜力,优化材料结构设计与表面处理工艺,并深入研究其在长期服役环境下的腐蚀特性与稳定性表现,从而加速推动产业化进程。

[参考文献]

- [1]丁永斌,闫逢吉,马克孝.循环冷却水系统电化学除盐设备的研究与应用,中国电力技术市场协会.2025年(第九届)发电行业水处理技术研讨会论文集[C].山西:阳城国际发电有限责任公司,2025.
- [2]杭青.杀菌剂异噻唑啉酮在延安炼油厂循环冷却水系统中的应用[J].石化技术,2025,32(3):4-6.
- [3]李振河,王佳伟,刘晓磊,等.再生水补给循环冷却水系统中药剂的最佳投加量研究[J].广东化工,2025,52(7):56-58.
- [4]袁亮,韩会亮,米精宏,等.循环冷却水系统多水源补水的可行性研究与应用[J].工业用水与废水,2025,56(2):56-60.
- [5]刘松涛,周映燃,陈传敏,等.微生物制剂在循环冷却水动态模拟实验研究[J].水处理技术,2025,51(5):3-6.

作者简介:姜旭(1982—),男,汉族,研究生,中级工程师,国家能源集团辽宁电力有限公司沈西热电厂运行部主任。

创新模式在建筑工程管理中的应用和发展

林珊如 陈桂兰

广西信永工程咨询有限责任公司, 广西 南宁 530000

[摘要]当下城市化进程持续推进,城乡地区均呈现出蓬勃发展的景象。建筑行业作为支撑我国社会经济发展的关键行业,其规模快速扩张,建筑工程的数量也在不断增加,社会各界对于工程管理的标准与要求也在不断提高。传统建筑工程管理模式依旧存在不少问题,这些问题在一定程度上制约着行业的发展,已然成为未来发展的重大阻碍。基于此,文中深入探讨建筑工程管理中创新模式的应用及发展情况,希望能够为相关单位给予有益的参考,推动建筑行业的持续健康发展。

[关键词]创新模式; 建筑工程; 工程管理; 技术应用; 发展

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16883

中图分类号: TU3

文献标识码: A

Application and Development of Innovative Models in Construction Project Management

LIN Shanru, CHEN Guilian

Guangxi Xinyong Engineering Consulting Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: With the continuous advancement of urbanization, both urban and rural areas are showing a thriving development trend. As a key industry supporting Chinese socio-economic development, the construction industry is rapidly expanding in scale, and the number of construction projects is constantly increasing. The standards and requirements for project management from all sectors of society are also constantly improving. The traditional construction project management model still has many problems, which to some extent constrain the development of the industry and have become a major obstacle to future development. Based on this, the article delves into the application and development of innovative models in construction project management, hoping to provide useful references for relevant units and promote the sustainable and healthy development of the construction industry.

Keywords: innovation mode; architectural engineering; engineering management; technology application; development

引言

随着建筑行业快速发展,市场竞争激烈,传统建筑工程管理模式难以满足现代工程项目在质量、效率、安全等方面的要求。建筑工程管理是工程顺利实施的关键环节,面临技术进步、管理理念更新、政策环境变化等挑战。创新管理模式能推动建筑工程管理提升,通过引入先进技术、优化流程、强化培训,可提高管理科学性、规范性,降低成本、缩短工期,提升安全水平和工程质量。本文分析建筑工程管理存在的问题,探讨创新模式在技术培训、材料控制、施工方案优化、质量保障、安全生产、竣工管理等方面的应用和发展趋势,为企业提供理论支持和实践指导,促进建筑工程管理现代化转型和高质量发展。

1 建筑工程管理模式创新的必要性

在现代建筑行业持续向前发展的这样的大背景之下,建筑工程项目变得一天比一天复杂起来,其管理内容也变得更加多样且丰富了。而传统的那种管理模式,在实际的应用过程当中,渐渐地就暴露出了一系列的问题,像是信息传递的效率比较低下、资源的配置往往不够合理、质量安全方面的管控力度不够严格、对于突发情况的响应速度也比较缓慢等等,这些情况已经很难去契合当下的工程所提出的高质量、高效率以及低能耗的建设方面的要求了。所以说,要积极推动建筑工程管理模式展开创新,这是有

着十分必要性的。创新管理模式一方面能够对提升工程项目的整体组织协调能力起到助力的作用,另一方面还能借助引入先进的信息技术、智能建造理念以及精细化管理手段等一系列举措,使得施工过程的透明度得以提高,可控性也有所增强,进而能够让风险识别与防控的能力得到进一步的强化,促使项目管理水平实现整体上的跃升。与此创新管理模式还是建筑企业去适应市场变化、提升自身的核心竞争力、达成可持续发展这一目标的关键途径,对于推动建筑行业的数字化转型以及智能化升级而言,其有着极为深远的意义。

2 建筑工程管理现状

2.1 管理制度不健全

当前建筑工程管理里头普遍存在着管理制度不太健全的状况,具体呈现出制度体系不够完善、岗位职责划分得不清楚、管理流程缺少规范性等情况。有些项目在施工期间缺乏统一的管理标准,使得各个环节之间衔接得不是很好,管理工作常常依靠个人经验而不是按照制度来执行,这样就容易出现沟通方面的失误以及协调方面的困难^[1]。部分企业的管理制度还存在一定的滞后性,没能及时去适应建筑工程日益变得复杂且越来越精细化的发展需求,结果在实际操作当中,制度的约束力比较弱,执行的力度也不够,最终影响到了工程项目整体的管理效率以及施工质量。

2.2 管理措施不到位

在建筑工程管理进程当中,管理措施落实不到位的情况属于影响工程顺利推进的关键因素之一。其具体呈现为各项管理措施在制定时不够细致,在执行方面也不够严格,甚至出现了仅仅停留在表面形式之上的状况。部分施工单位在推动项目进展期间,缺少科学合理的计划安排以及行之有效的监督机制,进而使得施工进度难以把控,资源配置显得不够合理,人员调度也陷入混乱状态等问题屡屡出现。与此针对质量、安全、成本等这些关键环节的管理措施往往无法切实有效地得以落实,常常是依靠临时性的应急处理方法,而不是依据制度来进行规范化执行,如此一来便致使项目管理的整体效率以及标准化程度都降低了,同时也增加了施工过程中存在的不确定性以及潜在的风险。

2.3 安全管理意识不够强

如果施工人员缺乏安全意识,就很难在施工过程中及时发现潜在的安全隐患,从而难以采取有效的防范措施。目前,建筑工程施工中安全意识薄弱是导致安全事故频发的一个重要原因,这在一定程度上与企业安全教育不到位密切相关^[2]。首先,部分企业未能为安全教育培训提供充足的资金和时间支持,导致一些施工人员未经严格培训和考核便上岗,缺乏足够的安全警惕性。其次,对高危作业岗位的管理不严,没有坚持持证上岗的制度,增加了安全风险发生的可能性。最后,建筑施工安全管理中缺乏定期的应急演练,一旦发生安全事故,相关人员难以及时、有效地应对,往往会造成严重的后果。

3 建筑工程管理中创新模式的应用及发展

3.1 技术培训管理创新

在建筑工程管理领域当中,技术培训管理方面的创新无疑构成了推动整个行业完成转型升级以及促使工程整体质量得以提升的关键保障所在。就目前的情况而言,随着建筑项目朝着智能化、信息化以及高标准这样的方向不断发展,那种传统的“师带徒”式的培训方式已然没办法去满足日趋变得复杂的施工工艺以及项目管理方面的要求了。所以,企业务必要从内容、形式以及机制等诸多不同的层面来着手开展技术培训管理的系统性创新工作。其一,应当引入像 BIM (建筑信息模型)、VR (虚拟现实)、AR (增强现实)、人工智能以及大数据等一系列先进的技术手段,借助可视化、交互式以及情景模拟等方式来强化技术培训所具有的沉浸感以及实用性,从而让从业人员能够在虚拟的环境里面高效地去学习工程流程,掌握那些复杂的施工技能以及现场的应变能力。其二,需要依据不同岗位各自的技术要求去制定出个性化的培训内容,彻底打破那种“一刀切”的培训模式,以此来提升技术人员与岗位之间的匹配程度以及他们的实操水平。与此企业还应当建立起较为完善的培训评估机制以及激励体系,凭借动态考核以及将绩效与之挂钩的方式来进一步增强员工参与培训的积极性以及持续性。除此之外,还需要形成技术培

训和其他诸如项目管理、质量控制以及安全生产等管理环节之间有机的联动机制,使得培训所取得的成果能够直接转化成为工程管理方面的效能,进而达成企业管理质量以及项目执行力的全面提升这一目标。

3.2 建筑材料控制管理创新

在建筑工程管理领域当中,建筑材料控制管理方面的创新举措,已然成为达成工程质量得以提升、成本能够得到有效控制以及实现绿色施工等一系列目标的关键手段。伴随建筑工程项目规模呈现出不断扩大的态势,同时工期方面的要求也变得日益严格起来,传统那种材料管理的方式,已经很难契合现代工程对于精细化以及信息化管理所提出的种种需求了。所以说,要推动建筑材料控制管理去开展创新工作,那就得从采购环节、验收环节、储存环节、使用环节以及信息化监管等诸多环节分别着手去推进,进而构建起一个贯穿全流程且形成闭环式的智能管理体系。在采购这个环节里,可以凭借大数据分析以及供应链管理去建立起针对材料采购的智能化决策模型,如此一来便能够对材料价格的波动情况、供应周期的长短情况、供应商的信誉状况等诸多因素展开动态的监控,并且做出科学合理的预测,以此来确保材料采购既能够做到及时到位,又能够在经济方面有所保障;在验收以及储存这两个环节当中,应当引入像 RFID 也就是射频识别技术、物联网等相关技术,从而对建筑材料实现较为精准的定位操作以及动态化的管理举措,进而提高对于材料的追溯能力,同时也能提升其使用效率,避免出现材料积压、浪费以及损耗等方面的各类问题^[3]。在使用阶段的时候,通过和 BIM 模型进行深度融合集成,就能够实时且清楚地掌握施工现场材料的具体消耗情况,然后和施工进度相互联动起来去控制材料的发放事宜,最终达成“以需定供”这样一种精细化的控制效果。

3.3 施工方案优化创新

在建筑工程管理领域当中,施工方案的优化创新属于极为关键的举措,其对于提升项目整体效率有着重要作用,能够助力降低工程成本,同时对于保障施工安全以及工程质量也颇为关键。随着工程项目变得愈发复杂起来,传统那种施工方案的制定方式已然很难契合当下多样、精细且高效管理方面的需求了。所以,务必要凭借现代信息技术以及科学管理理念来针对施工方案展开系统性的创新与优化工作。从一个方面来讲,可以引入像 BIM 也就是建筑信息模型、CIM 即城市信息模型这类数字技术手段,在施工方案制定的这个阶段达成对建筑结构、施工工艺、工程进度、资源配置等诸多要素的可视化模拟以及动态仿真效果,如此一来便能提前察觉到可能存在的一些问题与冲突情况,进而让工序衔接以及工期安排得以优化,提升施工组织所具备的合理性以及可控程度。从另一个方面来讲,需要重视施工方案在绿色建造、安全管理以及节能环保等方面的整体考量事宜,通过引入模块化施工、装配式

建筑、智能建造等全新的施工技术, 缩减现场作业所需的时间, 减少人工方面的投入力度, 降低对周边环境所产生的扰动影响, 促使施工过程能够变得更加规范且高效。除此之外, 还需强化施工方案优化过程中多方协同机制方面的建设工作, 构建起由设计、施工、监理、甲方等相关各方共同组成的协作平台, 达成方案设计、评估、调整的快速联动效果, 以此提高响应的速度以及决策的效率。

3.4 建筑工程质量管理创新

在建筑工程管理领域当中, 质量管理方面的创新属于极为关键的一个环节, 它对于确保整个工程的品质、让建筑的寿命得以延长以及提升客户的满意度等方面都有着十分重要的作用。传统的质量管理往往较很大程度上依靠人工去开展巡检工作, 并且凭借经验来做出判断, 如此一来便存在着诸如信息更新滞后、存在监督方面的盲区以及标准不统一等一系列的问题, 根本无法契合现代建筑工程对于高标准以及高效率的质量控制所提出的要求。所以说, 促使质量管理模式朝着创新的方向发展已然成为这个行业不断向前发展的必然走向。要全面地引入智能化的检测以及监测技术, 举例来讲, 可以借助物联网传感器针对结构的关键部位展开实时的数据采集活动并且实施远程监控, 以此能够及时察觉到混凝土强度方面、钢结构焊接质量等方面出现的异常状况, 进而达成从“事后的检查”逐步转变为“过程中的控制”以及“预警之后的响应”这样的一种转变效果。借助大数据以及人工智能算法对历年来工程质量相关的数据加以分析并构建相应的模型, 从中识别出那些容易出现缺陷的部位以及其成因所遵循的规律, 由此能够更有针对性地去对施工工艺做出调整、对原材料的选型予以优化以及提升施工人员操作的标准化程度, 真正做到实现质量管理的闭环状态以及精细化的程度。与此还要进一步完善数字化质量管理平台的建设工作, 从而实现各类质量信息能够在平台上进行在线的汇总、能够方便地进行追溯以及能够顺利地实现共享, 以此来推动质量问题能够得到快速的响应以及责任能够得以追溯, 最终提升整个项目的整体透明度。

3.5 安全生产管理标准化创新

在建筑工程管理方面, 要推动安全生产管理朝着标准化创新的方向发展, 这是达成施工现场本质安全、减少事故风险以及提高工程管理水平的一条重要途径。传统上, 安全管理模式大多是以事后的检查以及凭借经验来做出判断, 这样的模式缺少系统性与前瞻性, 没办法满足现代大型复杂工程对于高效且安全施工的管理需求。所以, 建筑企业应当积极去构建以标准化为核心的安全管理体系, 借助制定统一的安全生产操作规程、风险防控标准以及应急处置流程, 来规范各个环节的安全管理行为^[4]。因此要结合现

代信息技术, 运用建筑信息模型 (BIM)、物联网、视频监控、AI 识别等多种手段, 针对施工现场人员的行为、设备的运行状态以及作业环境展开实时的监控以及智能预警, 进而形成一种“可视化 + 智能化”的全流程安全监管模式。

3.6 竣工过程的管理创新

竣工过程的管理创新在建筑工程管理里有着十分重要的意义, 其和工程项目的最终质量、验收效率以及后续使用的安全性、维护便利性都有着直接的关联。传统的竣工管理常常存在着资料不完整、验收流程繁琐、信息孤岛等一系列的问题, 使得工程交付周期变长, 甚至还会影响到业主对于项目的满意度。为了提高竣工管理的科学性和系统性, 创新模式需要着重去构建数字化以及信息化管理平台, 把竣工验收的各个环节都进行全面的数字化整合, 保证所有的设计变更、施工记录、质量检测报告以及验收数据都能够实时更新并且可以共享。借助 BIM 技术来达成竣工数据的三维可视化管理, 能够助力管理人员精准地掌握工程的状态, 及时地发现并解决遗留下来的问题。与此凭借移动端以及云计算技术, 实现竣工资料的快速采集、归档以及检索, 大幅度提升资料管理的效率以及准确性。竣工过程管理还要强化多方协同机制, 明确责任分工, 确保设计单位、施工单位、监理单位以及业主之间信息的畅通以及协作的顺畅, 减少验收环节当中的重复检查以及争议。

4 结语

随着建筑行业持续快速发展以及管理需求不断提高, 创新模式在建筑工程管理方面的应用变得极为关键。借助引入先进的管理理念以及技术手段, 既能有效处理传统管理所存在的各类问题, 又可提升工程质量、安全水准以及管理效率。在未来, 建筑工程管理需要进一步强化创新模式的推广工作以及实践操作, 推动管理体系逐步完善并促使技术相互融合, 从而推动整个行业朝着更为规范、高效且智能化的方向不断发展, 达成建筑工程管理的现代化转变。

【参考文献】

- [1]邱红梅.建筑工程管理中创新模式的应用及发展[J].产品可靠性报告,2024(12):41-42.
- [2]李竞智.创新模式在建筑工程管理中的应用和发展[J].散装水泥,2024(6):173-175.
- [3]何华.探讨建筑工程管理中创新模式的应用及发展趋势[J].城市建设理论研究(电子版),2024(18):53-55.
- [4]成莺.创新模式在建筑工程管理中的应用探讨[J].大众标准化,2024(20):136-138.

作者简介: 林珊如 (1981.4—), 毕业院校: 广西科技大学, 所学专业: 计算机科学与技术, 当前就职单位: 广西信永工程咨询有限责任公司, 职务: 项目经理, 职称级别: 工程师。

建筑工程项目进度管理中的关键路径优化方法

许永健

华电水务科技股份有限公司, 北京 100000

[摘要]建筑工程项目进度管理中的关键路径优化方法旨在通过分析项目活动间的依赖关系,识别出影响项目完成时间的关键路径,并对其进行优化以缩短工期或降低成本。本研究首先介绍了关键路径法的基本概念及其在建筑工程进度管理中的应用现状,然后探讨了几种有效的优化策略,包括资源平衡、快速跟进和并行工程等技术手段的应用。还讨论了信息技术在关键路径优化中的支持作用,以及如何通过这些方法提高项目的整体执行效率。合理运用关键路径优化方法不仅能够有效缩短项目周期,还能提升资源利用率,降低项目成本。

[关键词]关键路径; 进度管理; 资源平衡; 快速跟进; 并行工程

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16875

中图分类号: F4

文献标识码: A

Key Path Optimization Method in Construction Project Schedule Management

XU Yongjian

Huadian Water Science and Technology Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: The critical path optimization method in construction project schedule management aims to identify the critical path that affects project completion time by analyzing the dependency relationships between project activities, and optimize it to shorten the construction period or reduce costs. This study first introduces the basic concept of critical path method and its current application status in construction project schedule management, and then explores several effective optimization strategies, including the application of technical means such as resource balancing, rapid follow-up, and parallel engineering. We also discussed the supporting role of information technology in critical path optimization and how to improve the overall execution efficiency of projects through these methods. Reasonable use of critical path optimization methods can not only effectively shorten project cycles, but also improve resource utilization and reduce project costs.

Keywords: key path; progress management; resource balance; rapid follow-up; parallel engineering

引言

建筑工程项目往往面临着复杂的任务安排和严格的工期要求。随着市场竞争的加剧和客户对交付时间的重视,如何有效地进行项目进度管理成为了建筑业面临的一个重要挑战。关键路径法作为一种被广泛应用于项目进度规划与控制的技术,在识别项目中最长的工作序列方面发挥着重要作用。传统的关键路径法在实际应用中也暴露出一些局限性,例如难以充分考虑资源限制对项目进度的影响。探索关键路径优化方法对于提升建筑工程项目的管理水平具有重要意义。本文将深入探讨几种针对关键路径的优化策略,旨在为实践者提供有价值的参考和借鉴,从而实现更加高效、经济的项目实施过程。

1 关键路径法在建筑工程进度管理中的应用现状与挑战

建筑工程项目进度管理是确保项目按时完成的关键环节,其中关键路径法(Critical Path Method, CPM)作为一项核心技术手段,在识别项目中最长的工作序列方面发挥着不可替代的作用。通过 CPM,项目经理能够清晰地了解哪些活动对于项目的最终完成时间具有决定性影响,

从而有针对性地进行资源分配和进度调整。在实际操作中,CPM 的应用并非一帆风顺。建筑工程通常包含大量复杂的任务和工序,这些活动之间存在着紧密的依赖关系,如何准确识别出所有关键活动成为了一项挑战。项目执行过程中可能会遇到各种不确定因素,如天气变化、供应链中断等,这些都可能导致原定计划的偏离,进而影响关键路径的准确性。

在现代建筑工程中,为了应对上述挑战,越来越多的项目开始尝试结合信息技术来增强 CPM 的有效性。利用先进的项目管理软件可以实现对项目进度的动态监控,实时更新项目状态并自动重新计算关键路径,帮助团队及时发现潜在风险并采取相应措施。这种方法还支持跨部门、跨地域的信息共享,极大地提高了沟通效率和决策速度。尽管如此,技术的应用也带来了新的问题。数据输入的准确性直接影响到分析结果的可靠性,若未能准确录入各项活动的时间估计或资源需求,则可能导致错误的规划决策。提高数据质量成为了优化关键路径管理的重要前提之一。

除了技术和方法上的挑战外,建筑工程进度管理还需考虑人力资源的有效配置。特别是在实施快速跟进或并行

工程策略时,合理安排人力和其他资源显得尤为重要。快速跟进涉及将原本按顺序进行的任务并行处理,以缩短项目周期;而并行工程则强调从项目初期就开始综合考虑设计、生产和支持等各阶段的需求,力求在保证质量的前提下加快产品上市速度。这两种策略虽然能够有效压缩工期,但也增加了项目协调和资源调度的难度。项目经理需要具备较强的战略思维能力,能够根据实际情况灵活调整进度计划,并通过有效的沟通机制确保团队成员理解和支持项目目标。这不仅有助于提升项目执行效率,还能促进团队合作精神的发展。

2 资源平衡技术在关键路径优化中的作用机制

在建筑工程项目的进度管理中,资源平衡技术作为优化关键路径的重要手段,旨在解决项目过程中资源分配不均的问题。资源平衡通过调整非关键活动的开始时间,使得资源需求在整个项目周期内尽可能均匀分布,避免资源过度集中或短缺的情况发生。这种技术特别适用于那些资源受限的项目,能够有效缓解因资源冲突导致的工期延误。在一个大型建筑项目中,若多个任务同时需要使用有限数量的起重机,则可能造成施工现场的拥堵和效率低下。通过应用资源平衡技术,项目经理可以重新安排这些任务的时间顺序,确保每项工作都能在其最合适的时机得到所需的资源支持,从而保证整个项目的顺利推进。

资源平衡不仅有助于提高资源利用率,还能间接促进成本控制。在一个理想的情况下,所有资源都将被高效利用,减少闲置时间和不必要的开支。在实际操作中,实现完全的资源平衡几乎是不可能的,因为这往往意味着牺牲部分灵活性和响应速度。项目经理需要在资源利用率与项目灵活性之间找到最佳平衡点。对于某些紧急情况或优先级较高的任务,可能需要临时调配额外资源以确保其按时完成,即使这意味着短期内资源分配不再“平衡”。在这种情况下,动态调整资源计划的能力显得尤为重要。通过实时监控项目进展并根据实际情况灵活调整资源分配策略,项目经理能够在满足项目进度要求的最大限度地发挥资源效能。

现代项目管理软件为资源平衡提供了强有力的技术支持。这类软件通常具备高级算法和模拟功能,能够帮助用户快速识别资源瓶颈,并提出相应的优化建议。一些先进的项目管理工具可以根据预设的参数自动进行资源平衡计算,生成最优的任务调度方案。这不仅减少了手动调整所需的时间和精力,也提高了决策的准确性和科学性。值得注意的是,虽然技术手段大大增强了资源平衡的效果,但它们并不能完全替代人的判断。项目经理仍需结合自身经验和专业知识,对软件生成的结果进行审查和适当调整,以确保最终的资源计划既符合实际情况,又能达到预期的优化目标。

3 快速跟进与并行工程技术的应用实例分析

在建筑工程项目中,快速跟进与并行工程技术的应用为优化关键路径提供了新的思路和方法。以某大型商业综

合体建设项目为例,在传统施工流程下,设计、审批、施工等环节通常按顺序进行,这不仅延长了项目周期,还增加了由于前期决策失误导致后期返工的风险。为此,项目团队决定采用快速跟进技术,将部分原本应依次开展的活动并行处理。基础工程图纸初步定稿后,便立即启动地基挖掘工作,同时继续完善后续部分的设计细节。这种方式显著缩短了项目的整体工期,使得商业综合体能够提前开业,从而更快地产生经济效益。快速跟进并非没有风险,它要求团队成员之间保持高度的信息透明度和沟通效率,以便及时解决并行工作中出现的问题。

并行工程强调从项目初期就综合考虑产品生命周期中的所有因素,包括设计、制造、维护等,力求在保证质量的前提下加快产品上市速度。在一个住宅开发项目中,开发商通过引入并行工程技术,实现了建筑设计与市场调研同步进行,确保设计方案既满足市场需求又符合实际建造条件。施工过程中采用了预制构件技术,即在设计阶段就与供应商紧密合作,确定标准化的建筑部件,这些部件可以在工厂内批量生产,然后运至施工现场直接组装。这种方法不仅提高了施工效率,减少了现场作业时间,还有助于控制成本和提高工程质量。通过并行工程的应用,该项目成功缩短了近三分之一的建设周期,并且由于提前进入市场,获得了更高的投资回报率。

尽管快速跟进和并行工程技术带来了诸多好处,但它们也对项目管理提出了更高要求。项目经理不仅要具备跨领域知识,还需拥有强大的协调能力,以确保各参与方之间的无缝对接。在上述案例中,为了确保设计变更不会影响到正在进行的施工工作,项目团队建立了高效的沟通机制,利用现代信息技术工具实现实时信息共享,使得任何调整都能迅速传达给相关责任人。针对可能出现的风险制定了详细的应对计划,确保一旦发现问题可以立即采取措施予以解决。通过这种方式,不仅有效避免了因进度压缩而导致的质量问题或安全事故,还进一步提升了项目的整体执行效率。

4 信息技术在关键路径优化中的支持作用

信息技术在现代建筑工程项目的关键路径优化中扮演着至关重要的角色,它不仅提高了项目管理的效率,还增强了决策的准确性和科学性。通过使用先进的项目管理软件,项目经理可以实现对项目进度的动态监控和实时更新。在一个复杂的基础设施建设项目中,涉及成百上千个任务和活动,这些活动之间的依赖关系错综复杂。借助项目管理软件的强大功能,团队能够轻松创建详细的项目计划,并根据实际情况快速调整关键路径。软件不仅能自动计算出最短工期,还能预测潜在的风险点,为制定有效的应对策略提供依据。这类工具支持多用户同时在线协作,使得分布在不同地理位置的团队成员可以无缝沟通和共享信息,极大地提升了工作效率。

在建筑工程领域，利用历史项目数据进行深度学习，可以帮助识别影响项目进度的关键因素和常见问题模式。比如，通过对大量类似项目的进度数据进行分析，可以发现某些特定类型的活动总是导致工期延误，进而针对这些问题设计专门的改进措施。另外，基于人工智能的预测模型可以根据当前项目的进展情况，预测未来可能出现的风险并提出预警。这种前瞻性的风险管理方式有助于项目经理提前做好准备，采取预防性措施以减少负面影响。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术也被用于施工过程模拟，帮助团队更好地理解设计方案，发现潜在的设计缺陷或施工难题，从而在实际操作前进行必要的调整。

尽管信息技术带来了诸多便利，其应用效果很大程度上取决于数据的质量和准确性。任何错误的数据输入都可能导致分析结果失真，进而影响决策的有效性。确保数据录入的精确性和及时性是信息技术成功应用于关键路径优化的前提条件之一。为了提高数据质量，许多企业正在探索自动化数据采集技术和区块链等新兴技术的应用。自动化数据采集技术减少了人为干预，降低了错误率；而区块链则通过提供不可篡改的数据记录方式，增强了数据的透明度和可靠性。结合这些先进技术，信息技术不仅为关键路径优化提供了强有力的支持，还推动了整个建筑工程行业向更高效、更智能的方向发展。

5 关键路径优化策略的实际效果评估与案例研究

在建筑工程项目中实施关键路径优化策略后，对其实际效果进行科学评估是确保项目成功的关键步骤。以某大型桥梁建设项目为例，在采用了一系列关键路径优化措施后，项目团队通过对比优化前后的工期和成本指标，对这些策略的效果进行了全面评估。经过分析发现，通过资源平衡技术的引入，非关键活动的合理调度显著减少了资源闲置时间，使得整体资源利用率提高了约 20%。快速跟进与并行工程技术的应用不仅缩短了项目的总工期，还加快了资金周转速度，为投资者带来了额外的经济效益。借助先进的信息技术工具实现的动态进度监控，帮助团队及时识别并解决了多个潜在风险点，有效避免了可能的延误和成本超支。

为了更客观地衡量关键路径优化策略的实际效果，项目管理团队还采用了多种定量分析方法，如挣值管理（EVM）和关键绩效指标（KPIs）。挣值管理通过整合项目范围、时间和成本数据，提供了项目当前执行状态的一个综合视图，使得项目经理能够准确判断项目的进展情况

是否符合预期目标。在上述桥梁项目中，通过定期进行挣值分析，团队发现虽然部分阶段的成本略有超支，但总体上项目仍保持在预算范围内，并且进度执行情况良好。而关键绩效指标则用于具体量化某些特定领域的表现，比如工程质量、安全记录等，从而为持续改进提供依据。通过设定严格的 KPIs，并根据实际执行情况进行调整，该项目不仅实现了预定的质量和安全标准，还在一定程度上提升了工作效率。

案例成功的项目管理离不开有效的关键路径优化策略及其精准实施。值得注意的是，不同类型的建筑工程可能需要定制化的优化方案。对于那些具有较高不确定性和复杂性的项目，除了传统的优化方法外，还需结合敏捷项目管理理念，灵活应对变化。项目团队的经验和专业技能水平也直接影响到优化策略的实施效果。加强人员培训，提升团队成员的专业素养，同样是保证项目顺利推进的重要因素之一。通过对实际效果的深入分析和不断学习，各项目团队可以从每次实践中汲取经验教训，逐步完善自身的关键路径优化策略，最终实现项目管理水平的整体提升。

6 结语

本文探讨了建筑工程项目进度管理中的关键路径优化方法，涵盖了应用挑战、资源平衡、快速跟进与并行工程的应用、信息技术支持及其实际效果评估。合理运用这些策略不仅能缩短工期、提高资源利用率，还能降低成本。成功实施还需考虑项目特性和团队能力。通过不断优化和调整，可以显著提升项目管理水平，确保项目的高效执行与成功交付。

【参考文献】

- [1]李华,王强.建筑工程项目进度管理中的关键路径优化研究[J].工程管理学报,2023,37(4):56-62.
- [2]陈明,孙杰.资源平衡技术在项目进度优化中的应用[J].土木建筑工程信息技术,2023,15(3):78-84.
- [3]张勇,林伟.快速跟进与并行工程在建筑工程进度控制中的实践[J].施工技术,2024,48(2):99-105.
- [4]王晓,赵刚.信息技术在建筑项目管理中的应用现状与前景[J].计算机辅助设计与图形学学报,2024,30(1):112-118.
- [5]刘涛,郭峰.关键路径优化策略在大型基础设施项目中的效果评估[J].项目管理技术,2025,22(5):123-130.

作者简介：许永健（1991.7—），男，汉族，毕业学校：北京交通大学，现工作单位：华电水务科技股份有限公司。

探讨混凝土预制桩基施工技术与管理

李 雪

草湖项目区住建交通和城市管理综合服务中心（建设工程质量和安全站），新疆 喀什 844000

[摘要]混凝土预制桩基属于基础工程里的重要组成部分，在各类大型土木工程项目当中有着广泛的运用。就混凝土预制桩基的施工技术以及其管理来展开较为系统的阐述，详尽地介绍了预制桩的制作方面的工艺、打桩施工的具体流程以及桩基质量检测所涉及的技术，并且着重对施工组织设计、安全方面、进度以及质量管理等这些关键环节加以分析。凭借科学合理的施工技术以及高效有序的管理举措，是能够大幅提升桩基施工的质量与效率的，同时也能降低工程所面临的风险，进而给相关的工程实践给予理论层面的指引以及技术方面的支撑。

[关键词]混凝土预制桩基；施工技术；施工管理

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16863

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Exploration on the Construction Technology and Management of Concrete Prefabricated Pile Foundations

LI Xue

aohu Project Area for Housing, Construction, Transportation and Urban Management Comprehensive Service Center (Construction Quality and Safety Station), Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: Concrete precast pile foundation is an important component of foundation engineering and widely used in various large-scale civil engineering projects. This article provides a systematic exposition on the construction technology and management of precast concrete pile foundations. It provides a detailed introduction to the production process of precast piles, the specific process of pile driving construction, and the technologies involved in pile foundation quality inspection. Emphasis is placed on analyzing key aspects such as construction organization design, safety, progress, and quality management. By relying on scientific and reasonable construction techniques as well as efficient and orderly management measures, the quality and efficiency of pile foundation construction can be significantly improved, while also reducing the risks faced by the project, providing theoretical guidance and technical support for relevant engineering practices.

Keywords: concrete precast pile foundation; construction technology; construction management

引言

随着城市规划建设规模持续扩大，各类基础设施项目也不断增多，在这样的背景下，桩基工程所具有的重要性变得日益突出起来。混凝土预制桩具备诸多优势，比如其能够实现工厂化的生产方式，质量方面也相对可控，并且在施工效率上表现得相当高，正因如此，它已然成为了桩基施工当中的一种主要形式。预制桩基施工的过程里面，存在着颇为复杂的诸多技术环节，同时对于管理的要求也比较严格。若能合理地去运用那些先进的施工技术以及科学的管理方法，那么对于保障整个工程的安全性、对施工成本加以有效控制以及提升工程质量而言，无疑都具有十分重要的意义。通过针对混凝土预制桩基施工技术以及相关管理展开较为系统的分析，进而能够为工程建设给出一些切实可行的技术方案，同时也可提供一定的管理经验。

1 混凝土预制桩基施工技术要求

1.1 符合标高与贯入度要求

施工人员在使用沉桩设备将制作好的混凝土桩打入

地下时，如果桩柱底端到达碎石土、硬塑黏性土、风化岩、砂土层、粉土层等土层，应严格控制桩柱的贯入度，依据桩端持力层深度或桩尖标高确定贯入度；如果桩柱的贯入度符合要求，但桩端的标高不符合要求，可使用设备对混凝土桩柱连续锤击3阵，且保障每阵锤击下的贯入度均符合规定要求；如果桩端位于其他土层，则需依据桩柱贯入度，对桩端的设计标高进行合理控制。

1.2 符合垂直度与平面位置要求

桩柱在完成打桩作业后，应对桩柱的实际位置加以测量，桩柱位置的实际偏差不得超过规定范围。在打桩前，需将桩柱提升位置完全对准预先标注的桩位，桩柱与桩位间保持垂直，避免因桩柱与桩位倾斜，导致实际桩位出现偏差；打桩时，确保桩锤、桩体、桩帽“三点一线”，位于同一轴线。再者，在对短桩接长处理时，注意上节桩柱与下节桩端保持平整，二者中心必须完全对齐，如果桩柱断面间存在缝隙，需用铁片实施焊接处理。最后，在桩基开挖时，应先制定开挖方案，避免开挖中对混凝土预制桩基造成破坏。

2 混凝土预制桩基施工技术

2.1 预制桩制作工艺

混凝土预制桩的制作工艺在很大程度上决定了桩体的质量,所以务必要依照设计标准以及工艺规范来执行。在制作流程刚开始的时候,得依据设计图纸来明确桩体的具体尺寸以及钢筋的配置情况,要保证钢筋骨架的制作能够满足力学性能方面的要求。之后,运用高强度混凝土按照特定的配合比来进行浇筑,在此期间,对于水灰比以及掺合料的用量一定要严格把控,通过这样的方式来提高混凝土的密实程度以及其耐久特性。模板在设计以及安装的时候,要确保其形状是准确的,并且不能出现漏浆的情况,在浇筑的过程当中应当使用机械进行振捣操作,防止混凝土出现蜂窝麻面或者是发生离析的现象。浇筑工作完成之后,预制桩还需要经过科学的养护环节,一般会采用蒸汽养护和湿养护相结合的方式开展养护工作,以此推动混凝土早期强度的形成以及后期性能的保持稳定状态。在整个制作的流程里,应当设置有质量检验的相关环节,针对混凝土强度、外观方面的缺陷以及尺寸存在的偏差都要进行严格的把控,从而保证最终制成的成品桩能够符合设计以及施工所提出的要求。

2.2 预制桩打桩施工工艺

2.2.1 打桩机械设备类型与选择

打桩机械设备的选择跟施工效率以及桩基成桩质量有着直接的关联。常见的打桩设备有柴油锤、液压锤、振动锤还有静压桩机等等。其中,柴油锤在较硬土层适用,它有着冲击力强以及打击效率高的优势;液压锤则因为冲击能量大并且噪声低而闻名,比较适合那些对周边环境要求比较高的工程。振动锤借助振动力来降低土壤阻力,适合在松软土层实现快速成桩,而静压桩机是依靠液压压力直接把桩体压入土中,适用于地质条件复杂并且对噪声要求十分严格的场合。在选择设备的时候,需要综合考量桩型规格、土质条件、施工环境以及工程进度等方面,以此确保设备和施工工艺能够高度匹配起来。设备的维护保养情况以及操作人员的专业技能同样会直接对施工质量以及效率产生影响。

2.2.2 打桩工艺流程

预制桩打桩施工务必要依照工艺流程来开展,以此来确保桩基施工具备连续性以及稳定性。施工现场得把桩位放样以及土质勘察相关工作都完成了,要保证桩位是准确无疑的。在进行桩体吊装的时候,得运用专业的吊装设备,把预制桩垂直着提升到桩位的上方,要让桩体和桩位轴线保持一致的状态。打桩之前,需要对桩机设备展开调试操作,确认其机械状态处于良好的状况。接着,依据土质的具体条件去挑选适宜的打桩方式,一步一步地将桩体打入地基当中,要对桩的沉入速度以及打击能量加以控制,避免出现桩体破损或者桩身发生变形等情况。在整个打桩的过程里,应当随时对桩体的贯入深度以及沉降状况予以监

测,及时对打桩参数做出调整。若是涉及到多节桩接长施工的情况,那就得保证接头是平整的,结合现场的焊接或者是机械连接技术,确保整体桩体在结构完整性方面以及承载力方面都能够得到保障。打桩全部完成之后,要及时去做桩顶的清理以及平整工作,从而给后续的桩基施工创造良好的条件。

2.2.3 打桩质量控制技术

打桩质量控制对于确保桩基性能以及工程安全而言极为关键,应当全程运用科学的监控办法。要凭借贯入阻力还有锤击次数等相关参数,动态地去评估桩的沉入状况,防止出现超打或者欠打的情况。接着,运用声波透射法、低应变检测以及静载试验等诸多无损检测技术,来判定桩体的完整性以及承载能力。在检测期间,得留意环境因素给检测结果带来的影响,以确保数据能够准确且可靠。施工单位需要构建起完备的质量档案,详尽地记录施工进度中各项数据以及检测结果,从而为质量追溯以及后续维护给予依据。以此强化对操作人员的培训工作,提升他们的专业技能以及责任意识,保证施工过程里的每一个环节都能契合技术规范的要求。借助多层次、多手段的质量控制方式,实实在在地保障预制桩基的安全性能以及使用寿命。

2.3 桩基成桩质量检测技术

成桩质量检测在桩基工程验收当中属于极为重要的一环,它同桩基的安全性以及稳定性有着直接的关联。就常用的检测技术而言,像低应变反射波法、声波透射法还有静载试验等等都包含其中。其中,低应变反射波法主要是依靠对桩身声波反射信号展开检测的方式,以此来识别出桩体所存在的诸如裂缝、空洞以及节段缺陷等情况;而声波透射法则侧重于对桩体内部质量的均匀性以及连续性加以评估,这种方法对于发现深层缺陷是比较适用的。静载试验则是通过施加荷载并且对桩体沉降情况进行测量,进而确定桩基的承载能力,其能够达成直接且较为准确的评估效果。在现代检测技术方面,还融合了数字化以及智能化的相关手段,由此实现了数据采集的自动化以及分析的精准化。检测结果务必要和设计标准严格地进行对照,要及时把质量隐患给找出来,同时还要提出相应的整改方案,从而确保桩基的结构安全以及功能性都能够符合设计的要求,进而为后续的结构施工筑牢坚实的基础。

3 预制桩基施工管理

3.1 施工组织设计与计划编制

施工组织设计要是科学合理的,并且计划编制得详尽周全,这两者是保证混凝土预制桩基施工能够顺利推进的基本前提。施工组织设计需要综合考量工程地质方面的实际条件、施工现场的具体环境以及相关技术方面的要求,要对施工工序做出合理安排,人员配置要妥当,机械设备也要安排得当,进而形成完整的施工流程,同时还要制定出相应的应急预案^[1]。在计划编制环节,得清楚明确各个阶段具体的施工内容是什么,时间节点该如何安排,资源需求又是怎样

情况,尤其是在桩基施工这个阶段,对于打桩的顺序、运输的调度以及质量检测的相关安排都得进一步细化,如此才能避免出现施工过程中的冲突状况,也能防止资源出现不必要的浪费情况。除此之外,还得根据气候条件的实际状况以及施工现场的真实情况,对施工计划展开动态的调整操作,以此来提升自身的应变能力。凭借科学的组织设计以及有效的计划管理手段,达成施工高效、规范且安全的成效,从而给工程整体进度以及质量目标的实现给予有力的保障。

3.2 施工现场管理

3.2.1 施工安全管理

施工安全管理在预制桩基施工里属于首要任务,这涉及到人员安全、设备安全以及环境安全等多个方面。要先制定详尽的安全操作规程还有应急预案,给施工人员开展系统的安全培训,以此提高他们的安全意识以及应急处理的能力。在施工现场得设置清晰醒目的安全警示标志,并且严格把控非作业人员进入施工区域的情况。机械设备的操作应当由专业人员来负责,同时定期去做设备的检修以及维护工作,防止因为机械故障而引发事故。对于打桩作业所产生出来的噪声、振动以及扬尘等问题,需要采取行之有效的控制举措,以此来保障周边环境的安全。在整个施工过程之中,要持续不断地开展安全风险评估以及隐患排查工作,一旦发现问题就要及时去整改,从而确保施工能够全程安全并且有条不紊地进行。

3.2.2 施工进度管理

施工进度管理需对预制桩基施工整个流程加以科学调控,以此保证工程能够按时完成。进度管理应当依照详尽的施工计划,并且要结合现场的实际状况,定期举办进度协调会议,以便掌握施工的进展以及存在的各类问题。对于关键路径上的工序,像桩基制作、运输还有打桩施工这些,要实施重点的监控,防止因为某一单一环节出现延误而对整体进度产生影响^[2]。施工单位得灵活地调配各类资源,对人员以及机械的作业时间安排予以优化,从而提升施工的效率。与此针对可能会出现的气候变化或者设备故障等这类影响因素,要制定出备选方案,强化进度管理所具备的弹性以及适应性。借助科学且有效的进度管理手段,确保桩基施工可以顺利地向前推进,避免由于工期延误而造成的经济损失。

3.2.3 施工质量管理

施工质量管理在预制桩基施工全过程中都贯穿其中,其目的是为了保证桩基能够符合设计标准以及技术规范方面的各项要求。质量管理体系需要构建起较为完善的检验检测方面的制度,要清晰地明确质量控制点以及质量验收的具体标准。在制作这个阶段,应当对钢筋制作、混凝土配比还有养护质量加以严格的把控。而在运输以及现场存放这些环节当中,重点是要防止桩体出现损伤以及发生变形的情况。在打桩施工期间,得实时去监测沉桩的深度、垂直度以及桩体的完整性,以此来防止施工过程中出现

各种缺陷。等到工程验收的时候,要结合成桩质量检测所得到的数据,对桩基的整体质量展开综合性的评价。施工单位应当进一步强化员工的质量意识,切实落实责任制,从而形成一个“过程控制、结果检验”的质量管理闭环,以此来确保桩基施工质量具备可靠性以及稳定性。

3.3 施工成本控制

施工成本控制在预制桩基工程管理里属于极为重要的一个方面,其会对工程经济效益产生直接的影响。成本控制得从项目刚开始的时候便着手开展,要综合施工方案以及市场行情来科学地对材料费、机械设备费、人工费还有管理费用加以预算。在施工的过程当中,需要强化材料采购方面的管理,防范出现浪费以及偷盗等情况,同时要合理地调度机械设备,防止设备出现闲置或者损耗的现象。借助对施工工艺以及工序安排予以优化的方式,提升机械的利用率以及作业的效率,进而使得人工成本得以降低^[3]。施工单位应当实施动态的成本监控,以便能够及时察觉到成本偏差,并且对其进行分析,随后采取相应的纠正举措。合理的成本控制一方面能够确保工程资金可以得到有效的利用,另一方面也能为企业创造出更多的经济效益以及市场上的竞争力。

4 结语

混凝土预制桩基施工技术以及相应的管理事项,在基础工程建设当中属于极为重要的一项内容。其涉及到的技术环节往往较为复杂,管理任务也呈现出多维度的特点。借助于科学且严谨的制作工艺、采用合理的打桩工艺,再加上严格的针对质量展开的检测工作,如此一来便能够有效地对桩基的施工质量予以保障,同时也确保了其结构方面的安全无虞。与此完善的施工组织设计以及计划编制工作、针对现场所开展的安全管理、进度管理以及质量管理工作,这些都可为工程项目能够顺利地得以实施给予强有力的保障。在未来的发展进程中,随着相关技术不断地取得新的进展,管理理念也在持续地得到完善,混凝土预制桩基施工技术以及与其配套的管理方式将会朝着智能化、绿色化以及高效化的方向不断发展前行,进而为我国的基礎工程建设给予更为坚实的有力支撑。

【参考文献】

- [1]王晶.混凝土预制桩基施工技术与管理[J].中国建筑金属结构,2023,22(8):163-165.
 - [2]赵以明.混凝土预制桩基施工技术与管理[J].砖瓦,2022(1):156-157.
 - [3]闫果浩.高层住宅建筑钢筋混凝土预制桩基施工技术[J].江西建材,2023(2):300-304.
- 作者简介:李雪(1991.3—),毕业院校:北京师范大学,所学专业:心理学,当前就职单位:草湖项目区住建交通和城市管理综合服务中心(建设工程质量和安全站),职称级别:初级。

信息技术在建筑工程管理中的运用分析

黄弋珊 陈法林

广西信永工程咨询有限责任公司, 广西 南宁 530000

[摘要]建筑行业竞争力的提高,信息技术应用使得建筑工程生产组织方式发生变革,管理计划在质量控制等方面得以完善,明确了质量标准和管理内容,增强了建筑工程管理的可控性,在信息化管理技术支持下,工程管理形态呈多样化发展趋势,在推进建筑工程信息化管理过程中,应注重将管理方法落实到具体信息技术应用层面,促进技术与各部门有效整合,减少建筑工程管理在可持续发展方面面临的问题。文章探讨了信息化发展对建筑工程管理的重要意义及其问题,最后提出了相应对策措施,推动信息技术在建筑工程管理中深入应用。

[关键词]信息技术;建筑工程;工程管理;技术运用

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16884

中图分类号: TU721

文献标识码: A

Analysis of the Application of Information Technology in Construction Project Management

HUANG Yishan, CHEN Falin

Guangxi Xinyong Engineering Consulting Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: With the improvement of competitiveness in the construction industry and the application of information technology, the production organization of construction projects has undergone changes. Management plans have been improved in quality control and other aspects, clarifying quality standards and management content, enhancing the controllability of construction project management. With the support of information management technology, the forms of engineering management are showing a diversified development trend. In the process of promoting the informationization management of construction projects, attention should be paid to implementing management methods at the specific level of information technology application, promoting the effective integration of technology and various departments, and reducing the problems faced by construction project management in sustainable development. The article explores the significance and issues of information technology development in construction project management, and finally proposes corresponding countermeasures to promote the in-depth application of information technology in construction project management.

Keywords: information technology; architectural engineering; engineering management; technical application

引言

随着信息技术发展得十分迅速,建筑工程管理领域正在发生着从未有过的变革。传统建筑工程管理模式依靠人工经验以及纸质文档,信息传递效率不高,数据是孤立的且难以共享,难以满足现代复杂工程项目对精准、高效管理的要求。信息技术的引入,特别是建筑信息模型(BIM)、物联网(IoT)、大数据分析、云计算以及移动互联网等先进技术,给建筑工程的规划设计、施工管理、质量控制以及后期运维给予了全面的数字化支撑。这既提高了项目管理的透明度和协同性,又大大增强了工程的安全性和经济效益。不过,信息技术广泛运用也出现了管理体系不够完善、人才素质参差不齐、技术更新速度较快等难题,对其在建筑工程管理中的深度融合以及效能发挥产生了影响。针对这种状况,本文会全面分析信息技术在建筑工程管理中的应用情况以及存在的问题,深入研究怎样借助完善技术设备配置、优化管理制度建设、强化专业人才培养以及提升信息安全管理等举措,推动建筑工程管理的数字化转型。目的在于为建筑企业达成信息技术与工程管理的深度

融合给予理论依据以及实践指导,推动建筑行业实现高质量可持续发展。

1 建筑工程管理中应用信息技术的重要性

在现代建筑工程管理方面,信息技术的应用有着极为重要的意义。当建筑项目的规模变得一天比一天大起来,其结构也一天比一天变得更加复杂的时候,传统的那种管理方式就已经很难再满足高效、精准以及协同管理等方面的需求了。信息技术借助数字化的手段来达成对项目各个环节的信息采集工作、信息传输事宜、信息处理事项以及信息共享等相关事宜,如此一来,不但让管理效率得以提升,而且也让决策的科学性以及实时性都得到了增强。借助信息技术,管理者能够更为准确地去掌握像工程进度这类数据、资源配置方面的数据、质量安全方面的关键数据等等,进而能够及时地去发现问题并且加以解决,以此来减少因人为失误以及信息滞后而产生的各类风险。与此信息技术还推动了不同专业以及不同部门之间展开协同合作,把信息孤岛给打破了,从而实现了对项目全过程的透明化管理。除此之外,信息技术还能助力建筑企业达成

资源的优化配置以及成本控制的目标,进而提高工程所能获得的经济效益以及在市场中的竞争力。

2 信息技术在建筑工程管理中存在的问题

2.1 管理体系不够完善

当下,在建筑工程管理领域当中,信息技术的应用遭遇着管理体系不太完善这样的问题状况。有不少企业于信息化建设这一方面欠缺系统的规划安排以及统一的标准规范,如此一来,便致使信息技术的运用呈现出零零散散的状态,并且还严重缺乏应有的协调性,进而很难凝聚成整体上能够发挥作用的合力。除此之外,信息管理制度以及相应的流程都存在着不健全的情况,责任方面的分工也并不明晰,这就使得信息共享以及数据集成的效率显得颇为低下,从而对信息技术在项目管理环节当中的有效施展产生了影响。与此部分企业对于信息技术的重视程度有所欠缺,投入的资金也不足,这便致使与之相关的软硬件设施不够完善,难以契合复杂工程项目所提出的各种需求。

2.2 管理模式落后

随着我国科技的不断进步和信息化时代的到来,各行各业纷纷借助信息技术提升经营效率,实现了持续发展和创新。建筑行业也不例外,信息技术的应用极大地推动了行业的发展与变革。然而,在具体实践中仍存在不少不足,尤其是许多施工单位仍沿用传统管理模式,未能充分发挥信息技术的优势。虽然部分施工企业已经掌握并应用了一些信息管理技术于日常工作中,但由于普及力度不足,信息技术的应用范围和覆盖率依然较低,导致施工流程缺乏透明性,制约了整体管理水平的提升^[1]。传统且落后的管理理念和技术未能及时更新,影响了建筑工程管理的现代化进程,亟须在实践中加以改进和创新。

2.3 管理人员信息化水平有待提高

在建筑工程管理领域当中,管理人员的信息化水平普遍来讲都存在着需要提升的地方,而这一情况已然成为对信息技术实现有效应用起到制约作用的一个重要因素。数量不少的管理人员对于现代信息技术往往理解不够透彻,掌握程度也不够到位,同时又缺少较为系统的相关培训以及相应的实践经验,如此一来便致使他们在日常开展工作的过程当中很难能够充分地去利用信息技术方面的各种工具以及各类平台。有一部分管理人员更偏向于传统的管理模式,对于数字化管理的接纳程度是比较低的,而且缺乏那种主动去学习以及积极去应用新技术的热情与积极性。除此之外,信息技术的发展速度是非常快的,然而管理人员的技能提升速度却始终赶不上技术不断向前发展的脚步,这就使得技术的应用情况与管理的实际需求之间出现了一定程度的脱节状况。

3 信息技术在建筑工程管理中的应用

3.1 完善信息化技术设备

完善信息化技术设备对于建筑工程管理数字化转型

而言,其重要性不言而喻,这既是该转型得以顺利开展的关键支撑所在,同时也成为提升工程管理效率以及质量方面极为有力的保障措施。随着建筑项目的规模逐步变得愈发庞大起来,技术所呈现出的复杂性也在持续不断地增加,传统的那些管理方式已然很难契合现代建筑工程对于信息化以及智能化方面的要求了。现代信息化技术设备涵盖了诸多先进的硬件设施,像高性能计算机系统、移动终端设备、传感器网络、物联网(IoT)设备、无人机、激光扫描仪,还有云计算平台以及大数据处理中心等等。这些设备能够实现对施工现场实时数据的采集工作以及相应的监控操作,以此来保证项目在进度、质量、安全等这些关键环节的信息能够做到透明化,并且能够对这些信息实现动态的掌控,进而大幅度地提升了管理所具备的实时性以及精准度。通过引入并集成各式各样的信息化设备,建筑企业便能够构建起一个可覆盖项目整个生命周期的数字化管理平台,从而实现工程在设计、施工、监理、验收等诸多环节的数据能够无缝对接并且达成高效共享的目标。完善的信息化设备体系还给建筑信息模型(BIM)、虚拟现实(VR)、增强现实(AR)以及智能建造技术的应用给予了强有力的硬件方面的支持,推动着施工工艺不断创新以及管理流程得以进一步优化。高效的信息化设备还在促进建筑企业内部资源实现优化配置的促使外部协同工作水平得以提升,进而在很大程度上增强了企业在面对复杂工程挑战以及突发状况时所具备的应对能力。

3.2 完善信息化管理制度

完善信息化管理制度,能确保信息技术在建筑工程管理中有效应用并持续发挥作用,是极为关键的保障手段。信息技术改变了传统管理模式,让管理制度面临更高要求。合理科学的管理制度,能规范信息采集、传输、处理和使用的全过程,保证信息准确性、安全性和及时性,防范信息孤岛和数据混乱等情况出现。完善的管理制度,还有助于明确各级管理人员和相关部门在信息技术应用方面的职责与权限,推动跨部门、跨专业的协同合作,提高管理效率和决策质量^[2]。制度建设还应包含信息安全管理、数据隐私保护、系统维护和技术支持等方面,强化信息系统运行的规范化管理以及风险控制。通过构建完善的信息化管理制度,能促使建筑企业形成统一规范、科学高效的信息化管理体系,推动信息资源共享与整合,提升项目全过程的透明度与可控性,达成建筑工程管理的数字化、智能化转型目标,提升工程质量以及管理水平,增强企业的核心竞争力以及市场适应能力。

3.3 建设信息化专业队伍

建设信息化专业队伍对于推动建筑工程管理朝着数字化方向转型以及促使信息技术得以高效运用而言,称得上是极为关键的一个环节。伴随信息技术跟建筑行业不断走向深度融合,那种传统的和管理和技术人才已然很难契合

现代建筑工程对于专业化且具有复合型特点的人才所提出的种种需求了。信息化专业队伍一方面得拥有较为扎实的建筑工程管理方面的相关知识,另一方面还得掌握像BIM、物联网、大数据、云计算这类先进信息技术的具体应用技能,要能够于项目的整个过程当中有效地去整合并充分利用数字资源,进而提升管理工作的效率以及决策的水准。在开展专业队伍建设的工作时,应当把人才的引进事宜、人才培养的相关工作以及持续开展的教育活动都放在重要位置上,借助系统性的培训安排以及实践方面的锻炼举措,不断地提高员工在信息技术层面的素养以及创新方面的能力,从而适应信息技术快速向前发展的这一大趋势。与此还要建立起具备多学科交叉融合特性的团队工作机制,以此来推动信息技术领域的专家和工程管理方面的人员展开更为深度的协作,进而促使技术与管理能够实现有机且紧密的结合。完善的人才激励办法以及绩效评价机制同样是确保专业队伍保持稳定性并且维持较高积极性的重要因素,凭借合理有效的激励手段能够充分激发员工内心的主动性以及创造方面的能力。除此之外,信息化专业队伍还应当具备不错的项目执行能力以及应对风险的能力,要在复杂且多变的工程环境之下灵活地运用信息技术,去切实解决实际存在的各类问题,以此来保障工程可以顺利地向前推进。

3.4 建立信息数据管理平台

构建信息数据管理平台对于现代建筑工程管理的数字化转型来讲,是一项极为关键的基础性工作,其重要之处就在于实现工程项目各个阶段信息的系统化、集成化以及智能化管理目标。通过搭建统一的数据管理平台这一措施,可以高效地把设计环节、施工环节、监理环节、采购环节、质量检测环节、安全管理环节以及进度控制环节等诸多环节所产生的海量数据加以整合,进而达成信息的实时采集、存储、共享以及分析操作,如此便能避免因信息孤岛以及数据重复输入而出现的效率低下的状况,同时也可防止由此产生的错误风险。此平台不但能够对多种数据格式开展兼容处理,像BIM模型、二维图纸、施工日志、传感器数据等等都在其处理范围之内,而且还能够联合云计算、大数据以及人工智能技术,提供智能化的数据挖掘以及决策支持服务,以此帮助管理者精准地掌握项目进展的具体动态,及时且有效地识别出潜在的风险点,进而优化资源配置状况,提升管理方面的效能水平。依靠可视化的界面以及移动端的应用方式,信息数据管理平台还进一步提高了各参与方彼此之间的沟通协作效率,实现了跨部门、跨专业以及跨地域的协同管理效果^[3]。除此之外,该平台务必备具备完备的权限控制以及数据安全机制,以此来保证敏感数据的保密特性以及完整性,防范可能出现的网络攻击以及信息泄露问题,从而确保数据资产的安全无虞。信息数据管理平台的建设进程,一方面推动了建筑工程管理朝着标准化、规范化的方向发展,另一方面也为实现全过程

的数字化管理以及智能运维筑牢了坚实的基础,堪称推动建筑行业迈向智慧建造以及高质量发展的重要支撑力量。

3.5 加强信息安全宣传教育

加强信息安全方面的宣传教育,这在建筑工程管理里属于保障信息技术安全应用的一项基础性工作,也是防范信息泄露、数据篡改以及网络攻击等风险的关键手段。随着信息技术于建筑行业得到广泛运用,项目数据以及管理系统日渐变得数字化,其中牵涉到诸多敏感且关键的工程信息,要是安全防护做得不到位,那很容易引发信息安全方面的事件,进而对项目进展产生影响,甚至会致使出现严重的经济损失^[4]。所以建筑企业务必要对信息安全意识的培养给予高度的重视,借助系统化的宣传教育方式,提升全员对于信息安全重要性的认知程度,让员工在日常工作的过程当中能够自觉地遵守安全规范。信息安全教育所涵盖的内容应当包含密码管理、权限控制、数据备份、防范网络钓鱼以及恶意软件攻击等这些关键环节,以此来助力员工掌握那些切实可行的安全防护举措以及应急处置技能。因此还需要定期去组织开展安全演练以及考核活动,进一步强化安全意识的持续深化进程,从而保证安全知识与技能可以得以有效地应用到实际当中。

4 结语

信息技术于建筑工程管理方面的应用,有着不容忽视的现实意义,其发展前景也颇为广阔。它可提升项目管理的效率与精度,让资源配置得以优化,促使各个不同环节展开协同合作,并且还能切实提升工程质量以及安全标准。当下,在管理体系、技术设备以及人员素质等层面,确实存在着一些不足之处,不过伴随信息技术持续走向成熟并不断普及开来,这些不足的问题是能够得到妥善解决的。在往后的日子里,建筑行业需要进一步推进信息技术的融合运用,将相关的管理制度予以完善,着力培养专业的信息化人才,同时强化信息安全方面的保障工作,以此推动建筑工程管理朝着智能化、数字化的方向去发展,进而提升整个行业的竞争力,达成可持续发展的目标。

【参考文献】

- [1]孙北财.信息技术在建筑工程管理中的运用分析[J].城市开发,2024(12):142-143.
 - [2]梁毅轩.信息技术在建筑工程管理中的运用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(25):60-62.
 - [3]张军虎.浅谈信息技术在建筑工程管理中的应用[J].科技风,2024(20):74-75.
 - [4]党仁甲.现代工程技术在建筑工程管理中的应用分析[J].居业,2023(2):43-45.
- 作者简介:黄弋珊(1989.12—),毕业院校:四川师范大学成都学院(现更名为:四川工商学院),所学专业:广告学,当前就单位:广西信永工程咨询有限责任公司,职务:项目经理,职称级别:中级(建筑工程管理)。

东莞市某超高层住宅结构超限设计

梁 添

广西万科企业管理有限公司, 广西 南宁 530000

[摘要]某住宅项目结构高度 214.60m, 超 B 级高度限值。文中从结构布置及选型、超限判断和性能目标、结构抗震分析等方面详细论述。通过对超限高层建筑的抗震性能系统分析, 验证了关键构件在设定地震水准下的性能实现路径。综合验证结构整体实现中震“性能水准 3”抗震设防目标, 为同类超限工程提供理论支撑与实践依据。

[关键词]结构 B 级高度; 超限判断; 性能设计; 设防烈度; 罕遇地震

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16865

中图分类号: TU241

文献标识码: A

Over Limit Design of a Super High-rise Residential Structure in Dongguan City

LIANG Tian

Guangxi Vanke Enterprise Management Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: The structural height of a residential project is 214.60m, exceeding the B-level height limit. The article provides a detailed discussion on structural layout and selection, over limit judgment and performance objectives, as well as structural seismic analysis. Through systematic analysis of the seismic performance of over limit high-rise buildings, the performance implementation path of key components under the set seismic level has been verified. Comprehensively verify the overall achievement of the seismic fortification goal of "performance level 3" for medium earthquakes, and provide theoretical support and practical basis for similar over limit projects.

Keywords: structure B-level height; over limit judgment; performance design; fortification intensity; rare earthquake occurrence

1 项目概述

本项目位于东莞市东城街道。地上共设有 3 栋超高层塔楼及 3 层商业裙房, 本文对其中 1#楼进行分析论述。本项目 1#塔楼屋面高度为 214.60m, 地下 3 层, 地上 59 层, 首层层高 5.15m, 标准层层高 3.4m。平面尺寸为 52.4m×24m,

高宽比 8.9。结构三维模型示意图见图一。抗震设防烈度为 6 度 (0.05g), 场地类别: II 类, 基本风压: 0.35kN/m^2 (用于舒适度分析); 0.55kN/m^2 (用于结构变形验算); 0.605kN/m^2 (用于构件承载力设计, 按基本风压的 1.1 倍), 地面粗糙度类别: C 类, 结构体型系数: $1.4^{[1]}$ 。

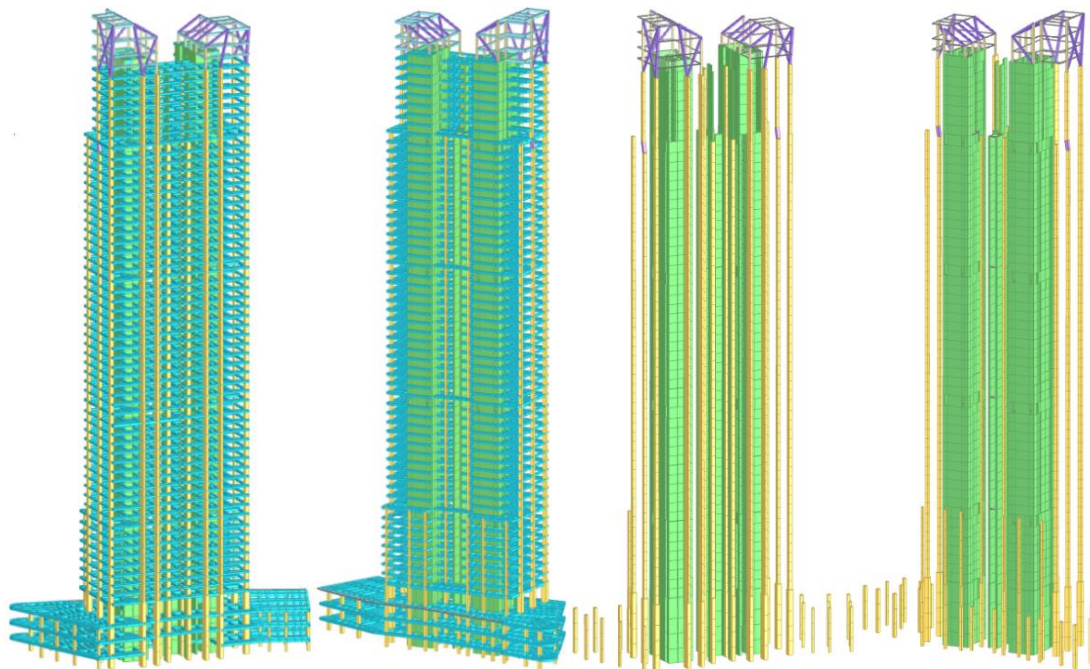


图 1 结构三维模型示意图

2 结构布置及选型

塔楼平面尺寸：52.2m×29.2m，长宽比：1.78，结构高宽比为 8.9，结构类型为框架-剪力墙结构。剪力墙主要集中在东西两侧及中间部位，东西两侧剪力墙形成两个筒体，中间部位剪力墙依据建筑隔墙位置均匀布置，主要沿 Y 方向布置，少许沿 X 方向分布首先布置在核心间部分。层数越高，墙厚逐渐减薄。塔楼框架柱沿四周均匀布置，由于建筑户型需要，中区及高区标准层的框架柱有所减少，在南侧较为明显。建筑平面南北向的结构高宽比较大，南侧框架柱截面长向沿南北方向布置，且截面尺寸基本保持不变，以提高结构的抗侧刚度和抗倾覆能力。52 层东西两侧分别设有一根转换斜柱，斜柱截面尺寸为 1000×1000。斜柱下节点相连的 Y 向拉梁为型钢混凝土梁，混凝土截面尺寸为 600×600，型钢截面尺寸为 H300×150×20×20。其余内外框架梁为钢筋混凝土梁，梁高在 600~800mm 之间。

塔楼在 13 层及 53 层存在平面体型少量收进，13 层以下为低区，13 层（含）至 53 层为中区，53 层及以上为高区。主要构件为混凝土剪力墙、型钢混凝土框架柱、混凝土框架柱、混凝土斜柱、型钢混凝土框架梁等。

塔楼楼层高度 100m 以下标准层（6~11 层、14~23 层、26~27 层）除核心筒和局部楼板外的楼板为叠合板，叠合板最小厚度 140mm（60mm 预制层+80mm 现浇层）。除叠合板外，其余楼板均采用现浇混凝土结构。核心筒板厚 130mm，其他板厚依据板跨布置为 100mm~220mm。楼梯均采用现浇混凝土结构，梯板分布筋及平台板钢筋双向均须锚入周边剪力墙，满足锚固长度，增加该部分结构整体工作性能。

3 超限判断和性能目标

3.2 超限判断

根据《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》的要求^[2]，对塔楼可能存在的超限项目进行逐一检查。本工程为多塔大底盘结构，大底盘裙房有 3 层。因各塔楼已计入“尺寸突变（多塔）”不规则项，所以针对本工程扭转不规则项位移比分析时，多塔 1~3 层的位移比结果记入大底盘，大底盘位移比最大值 1.33。各塔楼位移比考察对象为 4 层及以上结构楼层。塔楼结构体系为框架-剪力墙结构。本项目超限内容如下：高度超限，本项目 1#塔楼地面以上至结构屋面高度为 214.60m，超过了现有规范的 B 级高度限值；尺寸突变，1#、2#、3#塔楼在底部由三层裙房组成整体，裙房与塔楼之间未设置永久缝，为多塔结构；局部不规则，在 52 层存在转换斜柱，首层大堂处存在跃层柱。

3.2 抗震性能目标

按照抗震规范的要求，进行多遇地震、设防地震和罕遇地震的抗震验算^[3]。抗震设防性能目标级，根据本工程

结构受力特点，对不同构件在不同地震下设定抗震目标如下表 1。

表 1 抗震性能目标

地震水准			控制 项次	多遇地震	设防地震	罕遇地震
最低抗震性能要求				第1水准	第3水准	第4水准
构件性能	关键 构件	底部加强区剪力墙	抗弯	弹性*	弹性	不屈服
			抗剪	弹性*	弹性	不屈服
		底部加强区框架柱	抗弯	弹性*	弹性	不屈服
			抗剪	弹性*	弹性	不屈服
		转换斜柱、相连框架梁、相邻层框架柱	抗弯	弹性*	弹性	不屈服
			抗剪	弹性*	弹性	不屈服
	普通 竖向 构件	一般部位剪力墙	抗弯	弹性*	不屈服	允许部分屈服
			抗剪	弹性*	弹性	满足最小截面验算
		一般部位框架柱	抗弯	弹性*	不屈服	允许部分屈服
			抗剪	弹性*	弹性	满足最小截面验算
	耗能 构件	连梁	抗弯	弹性*	部分抗弯屈服	允许部分屈服
			抗剪	弹性*	不屈服	满足最小截面验算
		框架梁	抗弯	弹性*	部分抗弯屈服	允许部分屈服
			抗剪	弹性*	不屈服	满足最小截面验算
	楼板	与斜柱相连的相关范围楼板	抗拉钢筋弹性		抗拉钢筋弹性	抗拉钢筋不屈服
			抗剪钢筋弹性		抗剪钢筋弹性	抗剪钢筋不屈服
		除上一项的其他楼板	抗拉钢筋弹性		抗拉钢筋不屈服	抗拉钢筋不屈服
			抗剪钢筋弹性		抗剪钢筋不屈服	抗剪钢筋不屈服
最大层间位移角			1#塔楼 1/577	-	1#塔楼 1/100	

注：表中弹性*与弹性的区别为前者需要考虑与抗震等级相关的调整系数，后者不需要。

4 结构抗震分析

4.1 单塔结构多遇地震及风作用下的弹性分析

4.1.1 弹性计算结果

为了确保分析结果的准确性，小震弹性分析采用两个软件进行计算相互复核，分别为北京盈建科股份有限公司的 YIK-A(4.3.0)、北京迈达斯技术有限公司 Midas/gen。结构整体计算结果如下表 2：

4.1.2 弹性时程分析

根据抗震规范的要求，选择 5 组天然波和 2 组人工波进行多遇地震下的弹性时程分析^[4]。经计算，1#塔楼时程分析的各条波与规范谱基底剪力之比的最小值：X 向为

82%; Y 向为 79%; 最大值: X 向为 109%; Y 向为 101%: 时程分析各条波平均值与规范谱基底剪力之比: X 向为 96%: Y 向为 95%: 即各条波与规范谱的基底剪力比均处于 65% 到 135% 之间 (即 COC+35%), 且平均值处于规范谱的 80% 到 120% 之间, 满足规范的各项要求。根据计算结果, 7 条波平均值 X 向比规范谱的计算结果小 4%, Y 向比规范谱的计算结果小 5%, 即弹性时程分析的计算结果与规范谱的计算结果基本一致, 小震设计可仅按照规范谱进行。

表 2 主要计算结果

模型		1#塔楼	
计算程序		YJK	Midas/gen
楼板刚度假定		刚性楼盖	刚性楼盖
周期折减系数		0.85	0.9
总重量 (万吨)		14.49	14.66
计算振型数		28	28
结构自振周期		T1=5.69 (X 向)	T1=5.76 (X 向)
		T2=5.35 (Y 向)	T2=5.31 (Y 向)
		T3=2.91 (扭转)	T3=2.88 (扭转)
		T1=1.64 (X 向)	T1=1.64 (X 向)
		T2=1.19 (Y 向)	T2=1.17 (Y 向)
		T3=0.91 (扭转)	T3=0.91 (扭转)
第一扭转周期/第一平动周期		0.511	0.50
振型质量参与系数	X 向	96.19%	96.25%
	Y 向	95.14%	94.75%
首层地震力 (kN)	X 向	8097	7959
	Y 向	9232	9067
首层地震力倾覆力矩 (kN·m)	X 向	866868	852276
	Y 向	883949	933828
最大层间位移角 <所在楼层>	地震	X 向	1/1770
		<30F>	1/1756
	Y 向	1/1939	1/2000
		<46F>	<46F>
	风	X 向	
		<31F>	<31F>
地震偶然偏心扭转位移比	Y 向	<46F>	<43F>
	X 向	1.10	-
		<4F>	-
	Y 向	1.13	-
		<4F>	-

4.2 设防烈度及罕遇烈度地震作用下构件承载力验算 (等效弹性法)

中震分析皆采用 YIK 软件进行线弹性计算, 结果后处理采用结构抗震性能设计软件 PBSO 进行分析。塔楼各

类构件均有效达成预设抗震性能目标: 底部加强区剪力墙满足中震抗弯弹性及抗剪弹性、大震抗剪不屈服 (抗弯设计取小震与中震包络值, 抗剪取小震与大震包络值); 一般部位剪力墙满足中震抗弯不屈服与抗剪弹性 (抗剪取小震与中震包络值); 所有剪力墙中震拉应力均严格限制于 $2f_{tk}$ 以内, 局部 $<f_{tk}$ 区域采用增加竖向分布筋率构造加强。框架柱体系中, 底部加强区满足中震双弹性及大震抗剪不屈服, 一般部位及裙房相关柱满足中震抗弯不屈服与抗剪弹性, 且柱构件抗弯/抗剪设计均仅需采用小震内力结果。转换体系中斜柱、相邻框架柱及相连梁均满足中震双弹性与大震抗剪不屈服, 其抗弯/抗剪设计亦仅需依据小震内力。梁构件方面, 普通框架梁满足中震抗剪不屈服 (抗剪取小震与中震包络值), 连梁满足中震抗剪不屈服 (抗剪取小震内力)。综合验证表明, 结构整体实现在中震作用下性能水准 3 的抗震设防目标。

4.3 罕遇地震作用下非线性时程分析及抗震性能评估

本工程采用三维非线性结构分析软件 PERFORM-3D 进行罕遇地震下的动力弹塑性分析。本工程选择两组天然波 (TRB1、TRB2) 和一条人工波 (RGB) 进行弹塑性时程分析。对于以上 3 组地震波, 将地震波转换后的反应谱与规范规定的反应谱进行对比, 如图 2 所示。从上图看出, 地震波的加速度反应谱在结构各周期点上与规范反应谱吻合较好^[4]。

为了验证模型的构件组成、总质量和刚度的准确性及对结构的基本动力特性做出初步判断, 在进行弹塑性时程分析之前首先对模型进行了模态分析, 见表 3。从上表可以看出, 两种软件计算的周期及总质量代表值接近 (差异比值均小于 5%), 表明 PERFORM-3D 计算模型是准确的, 可以用来进行罕遇地震作用下的动力弹塑性时程分析。

表 3 两种软件模态分析的主要结果对比

项次	YJK	PERFORM-3D	差异比
总质量代表值 (吨)	144845	146890	1.41%
T1 (s)	5.70	5.73	0.60%
T2 (s)	5.36	5.31	-0.99%
T3 (s)	2.91	3.04	4.27%
T4 (s)	1.64	1.68	2.14%
T5 (s)	1.19	1.21	1.85%
T6 (s)	0.91	0.95	4.40%

在所选 3 组地震波作用下, 结构的层间弹塑性位移角见图 3。1#塔楼的三组地震时程结果取包络时的最大层间塑性位移角: X 方向 1/271 (第 29 层); Y 方向 1/268 (42 层)。均小于规范限值 $[1/100]$, 满足要求。

按照规范要求, 构件的抗震性能评估为三个地震工况包络作用下的结果。损伤图结果采用 PBSO 进行后处理。塔楼构件性能水准满足预期的抗震性能目标, 在罕遇地震作用下各项控制指标可满足性能水准 4 的抗震性能目标。

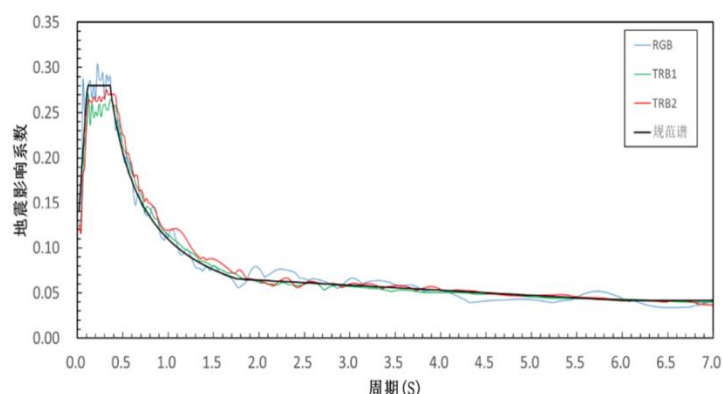


图2 所选地震波拟合的反应谱曲线与规范反应谱曲线的对比

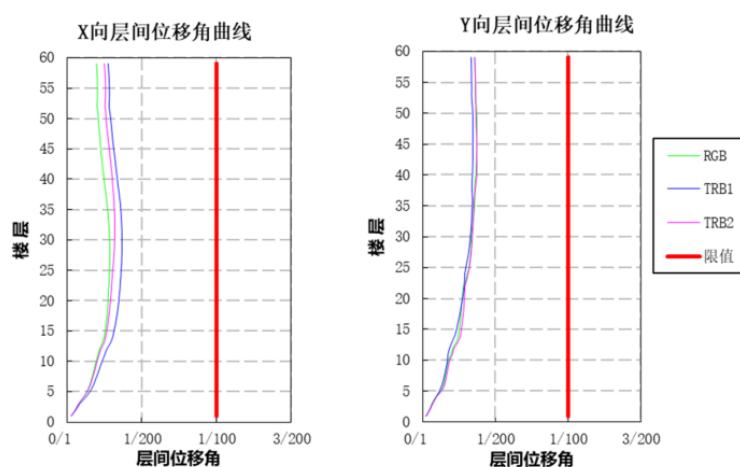


图3 层间位移角曲线

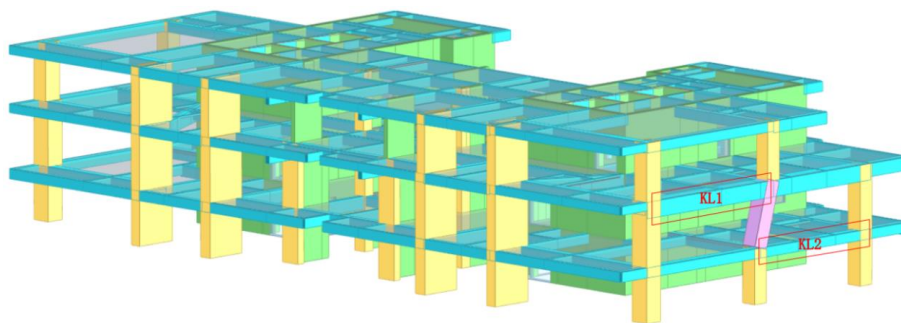


图4 52层三维模型图

4.4 斜柱转换分析

本工程塔楼在52层的東西两侧均设有斜柱,52层三维模型图见图4。图中与斜柱上节点相连的Y向框架梁K1为C30混凝土梁,截面 1000×1000 ;与斜柱下节点相连的Y向框架梁KL2为型钢混凝土梁,混凝土标号C30,混凝土截面 600×600 ,型钢标号Q355,型钢截面 $H300\times 150\times 20\times 20$ 。

因斜柱轴力较大,会在52层、53层Y方向产生较大的水平力。针对该问题,需在不考虑楼板贡献的情况下,即模型中与斜柱相连的周边楼板板厚为0,板自重按照附加恒载输入,分析复核与斜柱相连的混凝土梁及相关范围

楼板的应力水平。斜柱节点传力分析见图5,计算结果显示,对于斜柱上下节点,在包络组合工况下,模型中节点的传力基本平衡。与斜柱上节点相连的Y向框架梁KL1在包络组合下混凝土梁的拉应力为0.481,远远小于C30混凝土抗拉强度设计值(1.43MPa)^[5],与斜柱下节点相连的Y向框架梁KL2在包络组合下且不考虑混凝土的作用,型钢的应力比为0.17,有较大富余。

采用Midas/GEN建立全楼弹性楼板模型,计算楼板在竖向荷载及水平荷载作用下的应力及内力,并进行配筋构造设计。除楼板开洞及竖向构件附近局部楼板出现应力集中的情况,其余楼板均满足其性能目标的要求。

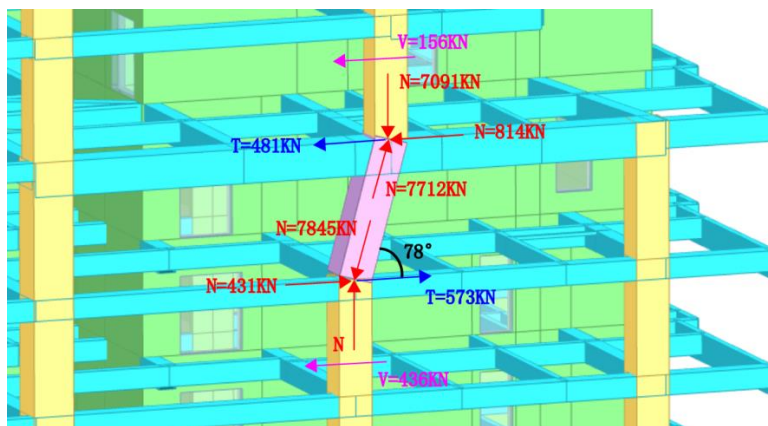


图 5 斜柱节点传力分析

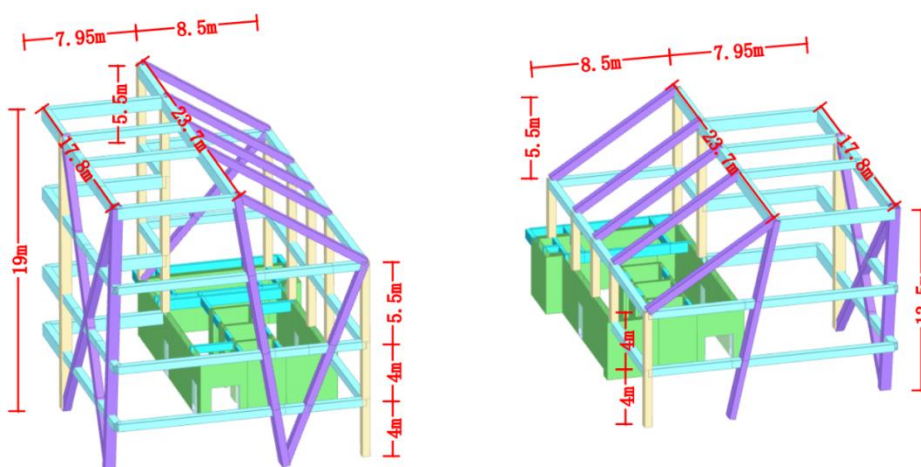


图6 屋架结构三维模型图及建筑尺寸示意

4.5 屋架结构设计

本项目 1#塔楼屋架结构分为东西两部分, 西侧屋架高度为 19m, 东侧屋架高度为 13.5m。平面尺寸均为 16.45×23.7m。屋架结构三维模型图及建筑尺寸示意图 6。屋架结构为钢结构, 其中钢柱及钢支撑落于屋面层墙柱上。擦窗机等设备放置于东西两个屋架内, 屋架四周设置幕墙格栅板用于遮挡设备机房。最大水平位移差工况下最大位移差为 73mm, 最大层间位移角为 1/260, 小于钢结构限值 1/250, 组合包络工况下钢构件的最大应力比为 0.8, 满足规范要求^[6]。

5 结论

本研究通过系统的分析与精细化设计,确保了目标复杂高层建筑结构的安全性及抗震性能满足规范要求。为确保结构计算结果的可靠性,通过多模型校核、关键构件性能化设计及针对超限部位、特殊节点与转换区域的定量控制及专项构造措施,系统性地提升了结构的整体性能,有效保障了其在设计基准期内面对地震、风荷载等多种作用时的安全性、适用性与耐久性。针对承担主要抗侧力的关键构件(剪力墙及外框柱),严格实施小震及中震作用下的包络设计,确保其完全满足“小震弹性、中震抗剪弹性

抗弯弹性”的性能目标要求。

综上所述, 本研究成功达成了预设的抗震性能目标。

[参考文献]

- [1]建筑结构荷载规范:GB 50009-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [2]超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点:建质(2015)67号[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2015.
- [3]高层建筑混凝土结构技术规程:JGJ3-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [4]建筑抗震设计规范:GB 50011-2010[S].2016年版,北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [5]混凝土结构设计规范:GB 50010-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [6]钢结构设计标准:GB 50017-2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.

作者简介:梁添,毕业院校:同济大学,所学专业:土木工程,一级注册结构工程师,当前就职单位:广西万科企业管理有限公司,职务:结构设计管理。

基于绿色理念的路桥施工技术与分析

刘细茂¹ 李 腾²

1 黄冈市交通运输综合执法支队, 湖北 黄冈 438000

2 湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]近些年来, 全球经济不断发展, 生态环境遭受严重破坏, 资源可持续利用面临极大挑战, 促使人们绿色环保意识逐渐提高, 在路桥工程施工期间, 为尽可能降低对周边环境的影响和破坏, 施工单位需把绿色环保理念贯穿于施工各环节, 大力推广并应用多种绿色施工技术, 以此提升路桥工程的环境保护水平, 达成可持续发展的目标。

[关键词]绿色理念; 路桥施工; 施工技术; 技术分析

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16870

中图分类号: U4

文献标识码: A

Road and Bridge Construction Technology and Analysis Based on Green Concept

LIU Ximao¹, LI Teng²

1. Huanggang Transportation Comprehensive Law Enforcement Detachment, Huanggang, Hubei, 438000, China

2. Hubei Road & Bridge Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: In recent years, with the continuous development of the global economy, the ecological environment has suffered serious damage, and the sustainable use of resources is facing great challenges. This has led to a gradual increase in people's awareness of green environmental protection. During the construction of road and bridge projects, in order to minimize the impact and damage to the surrounding environment, construction units need to integrate the concept of green environmental protection into all aspects of construction, vigorously promote and apply various green construction technologies, in order to improve the environmental protection level of road and bridge projects and achieve the goal of sustainable development.

Keywords: green concept; road and bridge construction; construction technology; technical analysis

引言

随着我国经济社会不断发展以及生态文明建设战略持续推进, 绿色、低碳、可持续已然成为工程建设领域的关键发展方向。路桥工程属于基础设施建设的重要组成部分, 在其施工进程里常常伴随有大量资源耗费以及环境污染方面的问题, 像是扬尘、噪声、光污染、水土流失还有生态破坏等等, 这些情况会对周边环境以及居民生活产生一定的影响。所以, 把绿色理念融入到路桥施工的整个过程当中, 去推广绿色施工技术, 这既是达成节能减排、保护生态环境的实际需要, 同时也是提高工程质量、推动行业可持续发展的必然走向。绿色施工着重于以最小的环境代价来达成工程建设的目标, 着重于对资源的高效利用以及施工过程中对环境控制, 包含了施工组织、工艺优化、节能降耗、污染防治等诸多方面。当下, 尽管绿色施工理念已经在路桥工程里逐步得到了推广, 然而在具体施行的过程当中依旧面临着不少的挑战, 像管理机制不够完善、技术应用不成熟、施工人员环保意识欠缺等问题。所以说, 深入剖析路桥工程绿色施工技术的应用状况、关键技术手段以及所面临的问题, 这对于全面推动绿色建造理念的践行、提高基础设施绿色发展的水准有着极为重要的意义。本文会在绿色理念的指引下, 针对路桥施工当中的主要绿

色技术展开系统的分析, 并且探讨在实际工程里推进绿色施工的有效途径与对策, 期望能够为行业的发展给予参考与借鉴。

1 绿色施工技术对路桥工程建设意义

绿色施工技术对于路桥工程建设而言, 有着颇为深远的现实意义以及战略价值。在当下生态文明建设愈发受到重视这样的大背景之下, 那种传统的粗放型施工模式已经很难去契合可持续发展的相关要求了。而绿色施工技术得以应用这件事, 恰恰是对节能减排这一理念、对资源高效利用这一理念以及对生态环境保护这一理念所作出的积极且有力的响应。在路桥工程建设进程当中, 绿色施工一方面能够有效地对扬尘、噪声、废水以及光污染等因素给周边生态环境所带来的影响加以控制, 另一方面也能够一定程度上减轻施工活动针对自然资源所造成的破坏情况, 并且还能够借助于对施工组织予以优化、选用环保材料以及采用高效设备等方式, 达成在施工整个过程当中对资源进行节约以及对污染实施控制的目标。与此绿色施工技术还有助于促使工程质量得以提升, 让施工安全水平有所提高, 推动施工过程朝着智能化的方向以及低碳化的方向去实现转型, 进而为打造出生态友好型的基础设施给予强有力的支撑。除此之外, 绿色施工理念要是能够得到广

泛的推广,那么就有助于强化施工单位以及建设者们自身的环保意识,推动整个行业在技术层面实现整体的进步,在管理方面达成整体的升级,这既契合国家绿色发展战略所指明的导向,也有利于提升路桥工程在社会层面、环境层面以及经济层面所具有的综合效益。

2 路桥工程绿色施工技术

2.1 环境整体保护技术

环境整体保护技术属于路桥工程绿色施工的关键部分,它的重点在于借助具备系统性以及前瞻性的生态保护举措,达成工程建设跟自然环境的和谐发展。在实际的施工进程里,环境整体保护技术着重于针对施工区域还有其周边生态系统展开全面的评估以及科学的干预,防止因为工程方面的活动致使出现不可逆转的生态破坏情况。比如说,在项目的立项以及设计阶段,需要充分去开展环境影响评价工作,要合理地确定施工的具体范围、场地的布置方式以及材料堆放的地点,力求最大程度地削减对植被、水体、动物栖息地等生态要素所产生的干扰。在施工的过程当中,可以通过设立隔离带、防护网、防护林带等等方式来保护原有的生态环境,并且采取雨水排放引导、地表覆盖、临时绿化等相关措施,以此来防范水土流失以及二次污染等问题的发生^[1]。除此之外,就开挖弃土、废弃物处理等这些环节而言,应当严格依照环保的标准来进行执行操作,务必要保证不会对河流、湖泊以及地下水源形成污染状况。

2.2 扬尘抑制技术

扬尘抑制技术属于路桥工程绿色施工范畴内的关键技术之一,其主要目的在于削减施工进程里由于土方开挖、物料运输、道路破碎以及风力扰动等诸多因素所引发的粉尘污染,以此来保障施工人员的身体健康,促使周边空气质量得以改善,并且压低其给周边居民以及生态环境所带来的不利影响。在实际展开施工活动的时候,扬尘抑制技术的应用务必要贯穿于施工的整个过程当中,要采取多种多样的措施来协同开展控制工作。就好比说,在土石方作业环节以及路基填筑环节,应当运用洒水抑尘设备针对作业面按时洒水,确保土壤处于湿润的状态,如此一来便能够有效地减少扬尘四处飞散的情况出现;对于施工道路以及物料运输通道而言,需要铺设硬化路面并且配备车辆清洗方面的设施,借以防止车辆带着泥土上路行驶以及尘土到处飞扬的现象发生;在运输物料期间,得使用密闭式的运输车辆或者用篷布加以覆盖,避免粉尘在运输途中间出现泄露的状况;施工现场那些裸露在外的地面要及时地实施覆盖处理或者开展临时绿化的工作,防止因风蚀而引发二次扬尘的问题产生。除此之外,在料场、弃土场等这样的区域可以安装喷雾系统或者雾炮设备来开展区域性的抑尘操作,进而达成自动化以及智能化的粉尘治理效果。

2.3 噪声控制技术

噪声控制在路桥工程绿色施工里属于重要环节,

其目的在于切实有效地将施工过程中所产生的各类机械噪声、交通噪声以及爆破作业噪声给周边环境还有居民生活所带来的影响予以降低,进而营造出和谐的施工环境,推动生态文明建设向前发展。在路桥工程施工期间,噪声主要出自挖掘机、打桩机、混凝土搅拌机、运输车辆等设备的运转以及施工操作,所以务必要运用多种手段协同起来开展控制工作。需在施工组织设计阶段科学且合理地安排施工时间,要避开居民集中休息的时间段,严格把控夜间高噪声作业的行为,严格遵守国家以及地方相关的环保法规。要选用低噪声并且高效率的施工机械,同时定期针对设备展开维护保养工作,确保其始终处于良好的工作状态,从而从源头处降低噪声水平。对于噪声相对较大的施工工艺,像是打桩或者爆破作业,可以采用静压桩、钻孔灌注桩或者是低噪声爆破技术来代替传统的工法,以此减少噪声污染情况。除此之外,在施工现场周边应当设置隔音屏障、围挡或者吸音材料,借助这些物理隔离方式来对施工噪声加以控制,特别是在靠近学校、医院、居民区等敏感区域的时候,更要加大防护方面的力度。

2.4 隧道施工技术

隧道施工技术于路桥工程绿色施工而言,有着极为重要的地位。其绿色化发展状况,一方面与工程的安全以及质量紧密相关,另一方面也对生态环境保护以及资源节约的实际效果产生着直接影响。隧道施工一般会涉及到诸如大量爆破、开挖、排水以及通风等一系列高能耗且高污染的环节,所以务必要充分引入绿色理念,达成施工全过程的环保、高效以及低碳目标。在前期的设计阶段当中,应当选用科学且合理的选线以及布设方式,尽可能地去避开生态敏感区、水源保护区以及地质灾害易发区,以此来减少对自然环境所造成的扰动^[2]。在施工阶段,要积极推广使用机械化掘进技术,像是盾构法、TBM(隧道掘进机)这类绿色工法,取代传统的钻爆法,从而减少对岩体结构以及周边环境的破坏,并且能够降低施工时产生的噪声以及粉尘排放量。对于开挖过程中所产生的废渣,需要对其进行分类处理并且优先考虑回收利用,进而实现资源的循环再利用。

2.5 光污染防治

光污染防治属于路桥工程绿色施工里不容忽视的关键内容,其主要意图在于削减施工进程中强光、散射光以及不合理照明给周边环境、居民生活还有生态系统带来的干扰与破坏。在实际施工进程里,夜间作业通常需大量人工照明,要是缺少科学设计与管理,便容易出现眩光、溢散光以及高强度照射等状况,影响周边居民的休息品质,干扰道路交通安全,甚至对夜间活动的动植物形成生态干扰。要有效防治光污染,路桥工程得从照明设计源头开始着手,优先挑选具有良好防眩光性能、光束指向清晰的LED节能灯具,防止无效照明和过度照明现象的出现;

在施工现场,应当合理安排灯具的位置与高度,运用遮光罩或者定向灯具实施局部照明,保证光线集中照射在作业区域,减低对周边区域的干扰;夜间施工时要严格把控照明时间,在确保安全以及工作效率的基础之上尽可能缩短照明时长,防止长时间、大范围开启高亮度灯光。

2.6 工程废料回收处置技术

路桥工程建设和施工过程中会产生大量废弃物,如废木材、混凝土块等。如果这些废弃物未能得到妥善处理,必然会对周边环境造成负面影响,成为路桥工程中常见且难以解决的污染问题。因此,在工程废料回收与处置技术的应用中,首先需要明确废弃物的具体来源,对具有回收价值或可再利用的废料进行分类管理。通过专业的处理工艺,使这些废弃物达到再利用的标准后,进行二次利用。这样不仅能够充分发挥工程废弃物的潜在价值,还能有效避免因废料处理不当而对自然环境造成的污染和破坏。

3 绿色理念下路桥工程施工过程中遇到的障碍和问题

在绿色理念引领下开展路桥工程施工时,依旧存在不少实际障碍与难题,这些难题在不同方面妨碍了绿色施工技术的广泛运用以及进一步发展。部分施工单位缺少成体系的绿色施工目标以及相应的顶层设计,绿色理念大多仅停留在口号阶段,并未真正融入到项目管理的各个流程当中,由此使得资源出现浪费情况、能耗处于较高水平、污染控制效果欠佳等一系列问题普遍存在。因为路桥工程的工期一般都比较紧张,施工单位往往会把更多关注点放在进度把控以及成本压缩上面,对于绿色施工技术的关注力度不足,甚至在实操环节有意将环保措施弱化掉,对生态环境的保护也有所忽视^[3]。行业里与绿色施工有关的技术规范、标准体系还不够完善,部分绿色施工技术在工程里的适应性以及成熟度都有所欠缺,缺少统一的技术方面的指导,这无疑增加了施工组织以及技术实施的难度。与此项目管理人员以及作业人员整体而言绿色意识较为淡薄,对于绿色施工的内涵了解不够透彻,缺乏必备的环保知识以及操作技能,在具体施工环节很难有效地践行绿色施工理念。

4 实施路桥工程绿色施工技术的有效方法和建议

要切实推动路桥工程绿色施工技术得以有效落实,就需要从管理、技术、制度以及人员素质等诸多方面一同发力,进而构建起系统化、规范化且高效的绿色施工体系。施工单位得强化自身对于绿色发展的理念认知,把环保目标纳入到项目的整个过程管理当中,构建起动态化的绿色施工管理机制,清晰明确各个阶段所对应的绿色指标以及

考核标准,达成责任具体落实到人、相应措施切实到位的效果。就人员这块而言,需要提升全体施工人员对于绿色施工的意识以及环保方面的素养,借助定期组织开展绿色施工技术方面的培训、环保法规的宣传以及现场观摩交流等多种方式,强化员工对于绿色施工内涵、其重要意义以及操作要点的理解与掌握程度,促使理念能够从内心深处得到内化,并且在外在行动上实现外化。在技术应用这个层面上,应当优先去选择那些符合绿色标准的施工设备以及工艺,大力推广那些具有节能降耗效果、低噪声且环保的新型技术,像高效除尘装置、低噪声机械、循环利用系统这类技术,并且依据工程的具体特点来制定出切实可行的绿色施工专项方案,强化对整个过程的技术管控力度^[4]。与此还得完善施工现场的环保监督机制,进一步加强对扬尘、噪声、污水、废料等各类污染源的实时监控与管理工作,以此确保各项环保措施都能够实实在在地落地并取得实效。在制度建设方面,需要完善与绿色施工相关的各项制度以及考核机制,把环保绩效和项目评估、人员考核、资金奖惩紧密联系起来,形成一种正向的激励机制,以此来增强施工单位在推行绿色技术方面的积极性与主动性。除此之外,还要强化和政府监管机构、环保组织以及科研院所之间的协作配合,推动绿色施工朝着标准化、信息化以及智能化的方向发展,从而为路桥工程实现高质量且可持续的建设给予强有力的保障。

5 结语

基于绿色理念的路桥施工技术对于环境保护以及资源节约有着不容忽视的作用。运用科学且合理的绿色施工方式,可切实降低施工给生态环境带来的影响,提升工程所具备的可持续性。虽说在实际的应用过程当中依旧存在诸多挑战,然而只要强化管理并推动技术创新,积极去落实绿色施工理念,那么路桥工程定能达成高质量的发展状态,进而为生态文明建设给予有力的支持。

【参考文献】

- [1]杨天旭.绿色施工技术在市政路桥施工中的应用探究[J].工程建设与设计,2024(20):187-189.
- [2]谢登峰.绿色施工技术在市政路桥施工中的应用[J].住宅与房地产,2022(10):92-94.
- [3]谢昌添.基于绿色理念的路桥施工技术分析[J].运输经理世界,2022(9):140-142.
- [4]徐义勇.绿色环保理念下路桥工程施工技术应用研究[J].居舍,2021(29):65-66.

作者简介:刘细茂(1976.8—),男,专业方向:路桥道路工程,职称:工程师,籍贯:湖北黄冈武穴。

砖混结构老旧房屋墙体裂缝与沉降问题成因及治理措施探讨

李会明

北京外交人员服务局, 北京 100600

[摘要]本研究选取北京市朝阳区使馆区某老旧砖混结构办公楼为研究对象,综合运用回弹法、钻芯法、射线成像等检测技术,对其墙体裂缝及地基沉降问题展开系统性诊断分析,检测发现该建筑存在混凝土碳化、墙体开裂、基础轻微沉降及电气线路老化等安全隐患,据此制定涵盖裂缝修补、结构加固、防水防渗处理、地基稳定性增强等内容的综合治理方案,项目实践紧密贴合城市更新政策要求,通过精准技术干预有效延长建筑服役周期,实现结构安全性与空间使用品质的双重提升,为同类建筑改造提供实践参考。

[关键词]砖混结构; 墙体裂缝; 地基沉降; 加固技术; 城市更新

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16869

中图分类号: TU755

文献标识码: A

Discussion on the Causes and Treatment Measures of Cracks and Settlement in the Walls of Old Brick Concrete Structures

LI Huiming

Beijing Diplomatic Service, Beijing, 100600, China

Abstract: This study selected an old brick concrete structure office building in the embassy district of Chaoyang District, Beijing as the research object. By comprehensively using rebound method, core drilling method, radiographic imaging and other detection technologies, a systematic diagnostic analysis was carried out on the wall cracks and foundation settlement problems of the building. The detection found that the building had safety hazards such as concrete carbonation, wall cracking, slight foundation settlement and electrical circuit aging. Based on this, a comprehensive governance plan covering crack repair, structural reinforcement, waterproof and anti-seepage treatment, and foundation stability enhancement was formulated. The project practice closely conforms to the requirements of urban renewal policies, and through precise technical intervention, the service life of the building was effectively extended, achieving a dual improvement of structural safety and spatial use quality, and providing practical reference for the renovation of similar buildings.

Keywords: brick concrete structure; wall cracks; foundation settlement; reinforcement technology; urban renewal

引言

在城市建设发展历程中,砖混结构建筑因建造经济、施工简便而被广泛采用,然而,受长期使用损耗及环境侵蚀影响,此类建筑普遍面临墙体开裂、地基沉降等结构性问题,严重威胁建筑使用安全,也对城市更新推进形成阻碍,特别是在老旧建筑群密集区域,结构隐患引发的安全风险更为显著,探索科学的检测评估方法,制定高效可行的加固修复策略,对保障建筑安全运行、延续既有建筑使用价值、推动城市可持续发展具有重要意义。

1 砖混结构老旧建筑中墙体裂缝与沉降现象概述

1.1 墙体裂缝类型

老旧砖混结构建筑由于建造年代较早、施工工艺局限,加之长期承受环境变化与荷载作用,墙体裂缝问题较为普遍,其常见裂缝类型主要涵盖干缩裂缝、温度裂缝、结构沉降裂缝和材料老化裂缝,干缩裂缝主要产生于砌筑早期,是因砂浆与砖块水分快速蒸发,体积收缩引发的开裂现象;温度裂缝则源于昼夜温差或季节温差变化,墙体表层与内部因热胀冷缩产生的应力集中,最终导致裂缝形成。

结构沉降裂缝通常出现在地基不均匀沉降区域,当地基发生变形,结构受力状态重新调整,产生的拉应力致使墙体开裂;材料老化裂缝多见于超期服役建筑,砌筑砂浆经长期碳化、风化作用后,与砖体黏结性能显著下降,在持续荷载与环境侵蚀下逐渐出现裂缝,各类裂缝成因复杂且相互影响,常导致同一建筑内多种裂缝类型并存。

1.2 裂缝表现形式

砖混结构墙体裂缝分布呈现一定规律特征,竖缝裂缝常见于墙体垂直拼接处,尤其是砖缝砌筑不密实、砂浆强度不达标的部位;窗台角与圈梁交接区域多出现斜向裂缝,该位置为应力集中点,窗台上角 45° 方向裂缝尤为典型;墙面斜裂缝往往与建筑整体沉降或温度梯度变化相关,常从墙体延伸至楼板、梁柱连接处,反映出结构受力状态的异常改变。

以北京市朝阳区某老旧砖混办公楼为例,现场检测发现墙体存在典型斜裂缝与竖裂缝,南侧沿街墙体自二层窗角向下延伸至一层墙脚,形成连续斜向裂纹,裂缝宽度达 $2\sim 4\text{mm}$,经初步分析判断,该裂缝由地基轻微不均匀沉

降导致；屋顶东侧女儿墙内侧则出现水平网状龟裂，主要由温度应力作用引起。

1.3 沉降现象表现

老旧建筑地基沉降问题常通过一系列物理形变显现，门窗启闭异常是最直观的表征，墙体沉降致使门窗框体受力不均、位置偏移，从而影响正常使用功能，楼地面出现高低不平、倾斜或拱起现象。

在朝阳区某办公楼检测中，一层大厅入口地坪出现8mm深度的局部下陷，门框右上角变形导致门体无法正常闭合，水准仪监测结果显示，建筑整体倾斜度处于可控范围，但局部沉降特征明显，经排查，下沉区域附近雨水井存在渗漏问题，长期冲刷侵蚀地基土层，是造成该区域沉降加剧的直接诱因。

1.4 本案例检测数据分析总结

综合结构安全检测数据表明，该砖混办公楼地基基础整体稳定性良好，未出现大范围不均匀沉降现象，建筑物垂直度偏差处于国家规范允许范围之内，但局部区域病害问题突出，墙体开裂、抹灰层空鼓脱落及雨水渗漏等状况较为严重，其中，楼梯间东北角墙体存在两条长度达1.8m、宽度近5mm的贯通裂缝，裂缝处砖块粉化严重，砂浆黏结性能基本丧失，形成明显安全隐患。

此外，外墙表面存在多处渗水痕迹，经检测发现屋面防水层已老化龟裂，每逢雨季，雨水便渗入墙体内部，加速裂缝的发展进程，同时，老化的电气线路与管道系统也在一定程度上加剧了墙体结构病害，综合评估认为，该建筑主体结构虽保持基本稳定，但部分构件因长期使用损耗、基础局部薄弱，已出现裂缝与微沉降现象，亟待采取针对性治理措施。

2 墙体裂缝与结构沉降成因分析

2.1 结构老化与材料退化

砖混结构建筑在长期使用过程中，构成其主体的砖块与水泥砂浆不可避免地发生物理化学性能衰退，砂浆碳化是典型的老化现象，空气中的二氧化碳持续渗入墙体，与砂浆中的氢氧化钙发生化学反应生成碳酸钙，导致砂浆碱性降低、黏结强度削弱，使得砖块间的连接作用减弱，在外部荷载作用下极易产生裂缝，同时，砂浆中水分散失、冻融循环作用等因素。

作为墙体重要防护层的抹灰层，老化后常出现空鼓、脱落等问题。抹灰层失效使墙体直接暴露于风雨侵蚀之下，加速了材料劣化速度，随着防护层的剥落，砖砌体受力状态发生改变，在墙角、门窗洞口等应力集中部位，极易形成新的裂缝或促使既有裂缝进一步扩展，严重威胁建筑物的整体耐久性。

2.2 温度变化与收缩应力

墙体结构在极端气候条件下易受温度应力影响。夏季高温日照和冬季严寒干燥环境中，墙体表层与内部因热胀冷缩程度差异，产生显著的温差应力，由于砖砌体热传导

性能欠佳，这种非均匀变形会导致局部拉应力集中，当应力超过材料抗拉强度时，便会引发竖向、水平等形式的裂缝。

此外，砖砌体在砂浆硬化及后期干燥过程中产生的收缩变形，若未在设计施工阶段通过合理设置温度缝、构造缝予以释放，会在结构内部形成约束应力，进而引发非结构性裂缝，此类裂缝虽通常不影响结构承载能力，但会损害建筑外观与使用功能，同时为雨水渗透、冻融破坏等创造条件，加速结构劣化进程。

2.3 地基不均匀沉降

砖混结构常用的条形基础或独立基础，因埋深较浅，对地基承载力变化极为敏感，若地基土存在松软、密实度不均等问题，且施工时未进行有效加固处理，极易发生不均匀沉降，在老旧城区或临近地下水源区域，土体承载力受地下水位波动影响显著，水位变化可能导致局部地基沉降。

地基不均匀沉降会改变墙体受力状态，使部分构件由轴心受压转变为偏心受压甚至受拉，从而产生斜向、剪切等形式的裂缝，由于沉降过程具有时间滞后性，初期不易察觉的细微沉降，可能在数年后引发严重裂缝问题，增加了病害预判与治理难度。

2.4 使用维护缺失

老旧砖混建筑普遍存在日常维护管理缺位问题，水电管线老化渗漏现象尤为突出，排水系统管道破损、接口密封失效等问题，会导致长期渗水，致使墙体湿度持续升高，显著削弱砖砌体与砂浆的黏结强度，随着时间推移，渗水引发的内部腐蚀、霉变现象逐渐加剧，甚至造成墙体结构松动，为裂缝滋生和沉降发展埋下隐患。

屋面、窗台及女儿墙等部位的防水层一旦出现老化破损，在强降雨天气下极易形成渗漏通道，雨水沿墙体缝隙渗透至墙根或基础部位，持续浸泡使基础土体软化，进而导致地基承载力下降，由于缺乏系统性维护，建筑初期的细微缺陷在长期作用下不断恶化，最终演变为严重的结构性安全问题，形成裂缝扩展与地基沉降相互作用的恶性循环。

3 治理老旧砖混结构病害的对策措施

3.1 墙体裂缝修补方法

针对砖混结构中宽度小于0.3mm的细微裂缝，可采用弹性密封胶或丙烯酸酯类柔性嵌缝材料进行表面封闭处理，施工前需彻底清理裂缝表面浮尘、松散颗粒，并确保基层干燥，通过高压空气吹扫或吸尘器清理裂缝内部杂质，以增强密封材料与墙体的黏结力，该方法可有效阻断雨水、湿气及污染物侵入，延缓裂缝扩展进程，适用于非结构性裂缝的预防性修复。

对于宽度超过0.5mm且深度较深的结构性裂缝，采用压力注浆加固技术处理，根据裂缝性质和使用环境，选用聚合物水泥浆、环氧树脂或微膨胀水泥等材料，通过专用注浆设备以0.2~0.5MPa压力注入裂缝内部，使浆液充分填充裂隙并渗透至周边薄弱区域，形成高强度黏结体，同时，在裂缝端部增设钢拉结件或植入钢筋。

3.2 沉降控制与地基处理

针对局部地基沉降问题,可采用抗沉桩或高压注浆技术进行加固,在软弱地基区域,采用微型钢管桩、预制混凝土桩等抗沉桩形式,通过静压、钻孔植入等方式穿透软弱土层,将上部荷载传递至深层稳定持力层,有效控制地基沉降,对于沉降范围较小的区域,高压注浆法通过将水泥浆、化学浆液注入地基土体,填充孔隙并挤压密实,提高土体强度和整体性,具有施工周期短、成本低的优势。

同步实施建筑周边排水系统改造,建立雨污分流管网,设置防渗排水沟渠和集水井,确保地表径流迅速排出,在建筑四角及沉降敏感部位布设沉降观测点,采用高精度水准仪进行周期性监测,当沉降速率超过 2mm/天时,立即启动应急预案。

3.3 细部构造修复与防水措施

老旧砖混建筑屋面、窗台、女儿墙等细部节点是渗漏高发区域,以某建于 20 世纪 80 年代的老旧小区为例,因屋面防水层老化,每年雨季有超 30% 住户遭受渗漏困扰,对此,应采用柔性卷材或聚氨酯涂膜防水材料对这些部位进行系统性重新施工,施工时,特别加强阴阳角、变形缝等部位的附加层处理,严格按照《屋面工程技术规范》执行卷材搭接长度及上翻高度,确保密封完整。

对于外墙抹灰层脱落、空鼓现象,同样以该老旧小区为例,部分楼栋外墙空鼓面积达 20%,处理时须先凿除病害区域,基层处理后重新粉刷,建议使用高黏结强度的聚合物水泥砂浆,提升抗裂性和耐久性,可辅以钢丝网增强层,控制收缩裂缝再生,如在某改造项目中,采用钢丝网增强层后,外墙裂缝再生率降低了 40%,确保外墙保护层长期稳定发挥防护作用。

3.4 日常维护与改造机制完善

参照《中共中央办公厅 国务院办公厅关于持续推进城市更新行动的意见》文件精神,落实“房屋使用全生命周期安全管理制度”,建立由社区、物业、技术人员共同参与的定期巡查和维护机制,对老旧建筑进行病害登记、分级评估和动态管理,增强居民安全意识。

推行“城市体检”制度,对老旧社区进行全方位安全评估与功能完善排查,制定中长期改造计划,例如,某城市通过“城市体检”,发现老旧社区存在消防通道堵塞、管线老化等问题,据此制定了 5 年改造计划。

4 政策引导下老旧建筑改造的路径建议

4.1 加强政策支持与资金统筹

在当前城市更新背景下,充分利用国家和地方出台的专项政策,如城市更新专项债、住房专项维修资金等渠道,科学制定维修资金使用计划,确保资金投向结构安全隐患突出的重点项目区域,同时,引导社会资本通过 PPP、公建民营等多种模式参与老旧社区的改造与加固工程,例如,某老旧小区改造项目引入社会资本后,改造资金增加了

50%,形成政府引导、市场参与、居民受益的协同机制,有效提升改造效率与可持续性。

4.2 推动街区片区一体化治理

老旧建筑的更新改造应突破“单栋思维”,以“专项规划-片区策划-项目实施”路径开展街区级整体更新,在实施过程中,充分考虑区域内文化遗产保护、风貌延续与居住功能提升的有机结合,针对不同建筑类型、使用性质和结构状况,分类制定差异化整治标准。

4.3 落实全生命周期管理机制

建立老旧建筑全生命周期的安全管理制度,鼓励各地为存量老旧建筑建立电子健康档案,动态记录建筑结构、使用年限、维修加固情况及检测结果,便于实时掌握风险信息,健全房屋结构安全等级评估制度和备案机制,做到“问题早发现、修复可追溯”,全面提升建筑使用的规范性与透明度。

4.4 推广低扰动修缮技术

在老旧建筑改造实践中,优先推广低扰动、精细化的修缮技术,减少对居民正常生活的影响,引入 BIM 建模技术,精准指导建筑结构诊断、施工过程管控和材料投入,提升施工效率与质量,结合无人机高空勘察、AI 图像识别等前沿手段,实现病害识别的智能化、高效化,如某改造项目采用这些技术后,人工成本降低了 30%,提高了技术手段在城市更新中的综合应用能力。

5 结语

老旧砖混结构建筑作为城市发展早期的重要组成部分,通过科学的细部构造修复、完善的日常维护机制,以及政策引导下合理的改造路径,可有效治理病害、实现功能更新,在城市更新行动持续推进的背景下,应统筹规划、分类施策,推动建筑由“延寿”向“提质”转变,以低扰动、高效率的修缮策略为抓手,构建全生命周期安全管理体系,切实提升建筑安全性与居住环境质量,助力城市高质量可持续发展。

【参考文献】

- [1]宋娟,程阿青,罗国波,等.某老旧小区房屋安全抗震检测鉴定及墙体裂缝原因分析[J].价值工程,2023,42(7):14-16.
 - [2]姚娜娜,肖亦文,肖磊,等.房屋安全动态监测在老旧房屋中的应用[J].工程质量,2024,42(2):62-67.
 - [3]吴桐.老旧房屋健康智能监测云平台系统研究[D].广州:广州大学,2020.
 - [4]王轶宏.老旧建筑健康智能监测评估体系与安全性数值预测研究[D].西安:长安大学,2023.
 - [5]宋德,柴楠.老旧房屋维修加固处理施工方法分析探讨[J].居舍,2020(28):40-41.
- 作者简介:李会明(1988.2—),毕业院校:北方工业大学,所学专业:建筑与土木工程专业,当前就职单位:北京外交人员服务局,职务:第一使馆区物业管理部宜居环境部经理,职称级别:中级职称/一级建造师/一级造价师。

高墩施工技术在高速公路桥梁工程中的应用

李 锋

湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]随着我国高速公路网的快速建设发展,高墩桥梁作为一种关键的结构形式,在面对复杂地形以及需要跨越障碍物等情况时,发挥着十分重要的作用。高墩施工技术是保障桥梁施工质量和安全的一项核心技术,由于其施工难度较大且技术要求颇高,所以一直备受人们的关注。围绕高速公路桥梁高墩施工技术来展开相关阐述,全面且细致地分析了高墩施工过程中的各项技术特点,并按照类别逐一介绍了主流的施工技术及其相应的原理。还对施工测量、钢筋安装、模板工程、混凝土施工以及安全质量控制等一系列关键技术展开了较为深入的探讨。通过综合性的分析以及实际的应用情况,希望能够为高速公路桥梁高墩施工给予一定的理论支撑以及技术方面的参考,进而推动施工技术实现优化升级,提升工程施工的效率以及安全保障的水平。

[关键词]高墩施工; 施工技术; 高速公路桥梁

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16867

中图分类号: U445

文献标识码: A

Application of High Pier Construction Technology in Highway Bridge Engineering

LI Feng

Hubei Road & Bridge Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: With the rapid construction and development of Chinese expressway network, high pier bridges, as a key structural form, play a very important role in facing complex terrain and crossing obstacles. The high pier construction technology is a core technology to ensure the quality and safety of bridge construction. Due to its high construction difficulty and technical requirements, it has always been of great concern to people. This article elaborates on the construction technology of high piers for highway bridges, comprehensively and meticulously analyzes the various technical characteristics during the construction process of high piers, and introduces mainstream construction technologies and their corresponding principles one by one according to categories. We also conducted in-depth discussions on a series of key technologies such as construction surveying, steel bar installation, formwork engineering, concrete construction, and safety and quality control. Through comprehensive analysis and practical application, it is hoped that theoretical support and technical references can be provided for the construction of high piers in highway bridges, which promoting the optimization and upgrading of construction technology, improving the efficiency and safety level of engineering construction.

Keywords: high pier construction; construction technology; highway bridge

引言

高速公路桥梁属于交通基础设施当中极为重要的一部分。其中高墩桥梁因为自身结构呈现出高耸的特点,再加上所处地形情况较为复杂,所以其在施工的时候难度颇高,安全方面所存在的风险也比较大,已然成为了技术领域里的重点以及难点所在。伴随着城市化进程的推进以及交通网络的不断发展,针对高墩施工而言,对于测量精度的要求提高了,对结构工艺的要求提高了,对于质量控制的要求同样提高了。施工的过程包含了高空作业这样的环节,还有精准定位这样的环节,钢筋与模板的安装环节也是关键环节之一,混凝土浇筑环节同样是关键环节。在这些关键环节当中,只要任何一个环节出现失误的情况,那么就极有可能对整体工程的质量以及安全产生影响。依据高墩施工的实际经验,全面且细致地对其技术特点以及难点加以梳理,深入剖析主要的施工方法以及优化策略,从而能够为桥梁工程建设给予相应的技术方面的支持以及理论层面的参考。

1 高速公路桥梁施工中高墩施工技术特点

1.1 施工风险较高

在高速公路桥梁工程建设中,高墩施工一般为露天、高空作业,部分高速公路桥梁高墩施工作业高度达到几十米,在高空作业中施工人员不仅面临着诸多安全风险因素、不可控因素,而且施工难度较大,若安全防护措施不到位、施工操作失误,便很有可能诱发安全事故,导致高速公路桥梁工程面临巨大的经济损失,威胁施工人员的身体健康乃至生命安全。不仅如此,随着城镇化建设的发展,我国高速公路桥梁交通体系愈发完善,因此,高速公路桥梁工程的建设经常要跨越山地、丘陵、高山等复杂的地形地貌,施工地点的气候环境、自然条件、地理状况等都会加大施工作业的不确定性,若地形地貌复杂或遭遇自然灾害,将会大幅度提高高墩施工作业的安全风险。

1.2 精准定位难度大

高速公路桥梁高墩的精准定位对于保证桥梁结构整体的稳定以及安全而言,可说是打下了基础。不过要达成

高墩的精准定位,实在是面临着不少挑战。高墩往往处于地形颇为复杂并且变化多样的环境当中,地形存在起伏,而且空间还受到限制,这些情况对测量仪器的布置以及数据采集都造成了极为不利的影响。高墩结构一般高度颇高,在施工进程里需要对各个部位的几何参数做出动态调整,这就要求测量设备得有很高的精度,并且能够做到实时反馈,同时施工人员也得具备相当丰富的测量经验,这样才能妥善处理现场可能出现的那些不可预知的误差。不仅如此,施工环境里的风速、气温还有湿度等方面的变化这类自然因素,同样会对测量仪器的稳定性以及数据的准确性起到影响作用,使得定位工作的复杂程度进一步增加。由于施工进度比较紧张,而且还有多工序协同作业这样的需求存在,所以测量工作必须要做到高效且精准,一旦出现些许偏差,就极有可能致使后续施工无法顺利开展,或者让桥梁产生结构方面的缺陷。所以说,高墩精准定位一方面依靠的是先进的测量仪器以及相关技术,另一方面还需要有完善的施工方案以及严格的质量控制体系,如此才能保证结构的几何形态能够符合设计所规定的标准,进而保障桥梁的整体性能以及安全状况。

1.3 技术标准较高

高速公路桥梁高墩施工技术标准颇高,这在结构安全、施工质量以及技术管理等诸多方面均有体现。一开始,高墩结构所承受的荷载情况复杂且多变,设计上要求其具有较高的稳定性和耐久性,如此一来,便对施工材料的性能以及施工工艺提出了极为严格的要求,特别是在钢筋绑扎密度、混凝土强度以及养护质量这些方面。接着,高墩施工务必要符合相关的国家以及行业规范,要保证垂直度、轴线偏差、截面尺寸等技术指标能够达到严格的标准,而这会直接影响到桥梁的安全性能以及使用寿命。施工过程中安全管理标准同样很严格,涉及到高空作业安全防护、施工机械设备的使用规范以及施工现场环境控制等方面,必须要尽最大努力去降低安全隐患以及施工风险。随着信息化以及智能化技术不断发展,越来越多的高墩施工项目引入了数字化管理和监控手段,这就对技术标准提出了更高层次的集成化以及精细化要求。高墩施工技术标准不仅仅体现为技术参数的严苛,而是一种全方位、多层次的系统管理,以此来确保桥梁工程质量以及安全都有双重保障。

2 高墩施工技术分类与原理

2.1 滑模施工技术

滑模施工技术属于一种施工工艺,它是借助连续浇筑混凝土的方式,并且同步推动模板系统,进而促使结构在浇筑期间持续处于“滑动”上升的状态。这项技术在高墩混凝土结构的连续成型方面是适用的,可以很好地防止施工缝出现,提升结构的整体性以及力学方面的性能。滑模施工一般凭借液压系统或者机械设备来驱动模板按照一定的速度上升,在此期间,施工人员会在模板内部去完成

钢筋绑扎以及混凝土浇筑等相关工作。它的施工流程较为紧凑且效率颇高,能够大幅度缩减工期,降低对周边环境所产生的影响。除此之外,滑模施工对于施工场所所需的空间要求相对较低,与高墩施工中那种狭窄的工地条件是相契合的。滑模技术还具备自动控制这一特性,能够借助计算机系统来调节提升的速度以及浇筑的节奏,以此来保障施工质量以及结构几何尺寸的精准程度。不过,滑模施工对于施工组织、设备维护还有施工技术人员操作水平都有着较高的要求,并且在碰到结构截面发生变化或者有穿插构造的情况时,需要采取特殊的措施才能够保证施工的连续性。

2.2 爬模施工技术

爬模施工技术属于一种施工方法,它是借助分段搭建模板的方式,并且一步步地像“爬升”一样上升到结构的顶部,这种方法特别适用于高墩以及其它复杂结构的分段浇筑工作。和滑模施工不一样的是,爬模施工依靠的是模板系统所具有的分段固定以及提升的功能,一般会通过液压爬升装置把模板提升到下一个浇筑层的位置。这项技术能够很好地适应复杂结构的截面情况以及多种多样的施工环境,其施工的灵活性是比较强的。爬模施工的优势体现在它对于结构截面变化的适应能力很强,可以顺利达成异形截面或者局部开洞的施工需求,与此还方便模板的安装以及拆除操作。在施工开展的过程中,爬模系统能够在很大程度上减少模板拆装的次数,进而提升施工的效率以及施工的安全性。不过,爬模施工对模板的设计制造方面以及提升系统的安全保障方面都提出了比较高的要求,并且在施工期间,模板和结构之间连接的情况以及密封性能都得严格加以控制,这样才能确保混凝土的质量以及结构尺寸的精度。从整体来看,爬模施工技术在高墩桥梁施工当中起到了十分重要的作用,特别契合复杂截面以及分段施工工艺的实际需求。

2.3 翻模施工技术

翻模施工技术属于一种借助模板,凭借其翻转或者旋转的动作来达成混凝土构件分层浇筑目的的施工手段,一般来讲,它多用于那些高墩截面存在较大变化情况或者是需要采用特殊施工工艺的部位。此项技术是通过提前把模板安装好,然后分阶段去浇筑混凝土,等到混凝土的强度达到了一定程度之后,再将模板翻转到下一个施工段,以此方式实现模板的循环利用。翻模施工所具有的优势体现在可减少模板重复进行拆装的工作量,提升模板的使用效率,节约施工所花费的时间以及降低施工成本。并且,翻模技术对于截面较为复杂并且跨度比较大的结构而言是适用的,它可以确保结构的形状以及尺寸精度得以保持。不过,翻模施工对模板的强度以及刚度的要求是比较高的,务必要确保在模板翻转的过程中,模板自身以及已经浇筑好的混凝土都能够维持稳定的状态,避免出现变形以及结构受损的情况。从施工组织的角度来讲,翻模施工需要对浇筑与养护的周期予以科学合理的安排,同时要妥善协调

模板翻转的具体时机,从而切实保障施工的安全性质量。翻模技术作为一项行之有效的施工方法,在高墩桥梁工程领域有着十分广阔的应用前景。

3 高墩施工关键技术分析

3.1 钢筋绑扎及安装技术

高墩结构承载能力以及耐久性有着关键的保障作用,其施工质量会直接对桥墩的安全性能产生影响。高墩钢筋施工一般会涉及数量众多且分布密集的钢筋布置情况,施工时所处的空间比较狭小,而且作业的高度相对较高,这无疑加大了绑扎工作的难度,同时也增加了安全方面的风险^[1]。在施工进程当中,务必要依照设计图纸以及相关规范的要求来严格开展钢筋的加工、绑扎以及定位等工作,以此来保证钢筋之间的间距、锚固的长度还有连接的方式都能够符合规定的标准。为了提高施工的效率,现代的工程项目大多会采用机械绑扎设备以及钢筋预制构件,如此一来便能够减少人工的操作量,进而提升绑扎的质量。与此在高空进行钢筋安装的时候,还需要采取相应安全防护方面的措施,从而防止出现钢筋坠落以及施工人员坠落等事故。施工现场应当配备专门负责钢筋安装的技术管理人员,让他们对施工过程予以监督,以此来确保施工的质量。

3.2 模板安装与拆除技术

模板的安装以及后续的拆除工作,这在很大程度上是能够对高墩结构尺寸的精准度予以保障的关键环节,同时也是决定混凝土成型质量的重要方面。高墩模板往往要依据特定情况来定制设计,如此一来便能契合复杂多变的截面形态以及高空作业的相关需求。在安装模板的时候,务必要做到让模板和钢筋的定位能够精准地相互结合起来,而且密封之处务必要严密无缝,唯有如此才能够有效防止出现漏浆的情况以及避免发生变形现象,进而切实保障混凝土结构在外观方面的质量状况以及其力学性能表现。模板所用的材质种类繁多,像钢模板、木模板还有复合材料模板等都在其中,而在选择具体材质的时候,得综合考量其强度情况、耐用程度以及施工操作的便捷性等因素^[2]。对于模板拆除的时机,是需要极为严格地加以把控的,一般而言是等到混凝土强度达到了设计所规定的要求之后才行,并且在此过程中应当借助机械辅助的方式来开展拆除作业,以此来确保拆除工作的整个过程都能够安全顺利地推进,同时也不会对已经成型的结构造成任何损伤。在整个施工进程当中,针对模板的维护与管理工作同样是极其重要的,每次在反复使用模板之前,都必须要对其完好状态以及尺寸精度情况进行细致的检查。

3.3 混凝土浇筑与养护技术

混凝土浇筑以及后续的养护工作,在高墩施工环节当中属于极为关键的核心工序,这两项工作的好坏,会直接对结构的强度状况以及耐久性产生影响。就高墩混凝土

浇筑而言,通常会采取分层浇筑或者连续浇筑这样的方式来开展作业,其目的就是为了保证浇筑后的混凝土可以达到密实的状态,不会出现蜂窝麻面这类的质量问题^[3]。在浇筑工作的整个过程当中,得合理地去安排浇筑的速度,同时也要妥善安排好振捣工序,如此才能有效防止混凝土出现分层的情况,也能避免冷缝形成。鉴于高墩施工时的高度往往比较可观,所以对于混凝土输送设备以及施工组织方面,就需要给予足够的重视,要充分予以保障,既要保障浇筑工作的连续性,又要确保施工过程的安全性。到了养护这个阶段,它在整个施工流程里是保障混凝土强度得以正常发展的一个极为重要的环节,常见的养护措施有覆盖保湿、喷雾养护以及使用养护膜等,这些措施都是为了防止混凝土在早期出现干裂现象,进而避免强度有所损失。而且针对不同的气候条件,养护方案也是需要科学地做出相应调整的,这样才能更好地适应环境温湿度所发生的变化。随着新型混凝土材料以及养护技术不断地向前发展,施工单位也逐步开始引入外加剂以及智能养护监测设备,这样做一方面能够提升混凝土的质量水平,另一方面也有助于提高施工的效率。

4 结语

随着高速公路桥梁工程建设规模持续扩大,技术难度也不断攀升,在此背景下,高墩施工技术所具有的重要性愈发明显起来。仔细分析高墩施工技术的特点,并且把滑模、爬模、翻模以及支架等多种施工技术的应用情况综合考量进去,本文较为系统地阐述了高墩施工方面的技术原理,同时也对其中的关键技术环节做了阐述。施工测量、钢筋安装、模板工程、混凝土施工以及安全与质量控制等这些关键技术要是能够得以有效实施的话,那么这将会是保障高墩桥梁结构处于安全状态以及施工质量得以保证的关键所在。在未来,伴随智能化、信息化技术不停地向前发展,高墩施工技术将会朝着更为高效、更为安全、更为精准这样的方向去发展。本文所做的研究给高速公路桥梁高墩施工技术的优化升级给予了理论层面的依据,同时也提供了实践方面的指导,盼望着能够为相关工程项目顺利推进实施贡献出一份力量,进而推动我国高速公路桥梁建设迈向新的台阶。

[参考文献]

- [1]李俊义.高墩施工技术在高速公路桥梁施工中的应用[J].四川建材,2024,50(3):170-171.
- [2]朱怀富.高墩施工技术在高速公路桥梁施工中的应用[J].运输经理世界,2023(16):130-132.
- [3]安星如.高墩施工技术在高速公路桥梁工程施工中的应用研究[J].工程技术研究,2024,9(13):63-65.

作者简介:李锋(1990.1—),男,专业方向:路桥工程,建设管理与施工类,职称:副高,籍贯:湖北十堰郧县。

公路工程施工的技术要点及质量控制措施

李 鑫

江苏现代蜀宁工程建设有限公司, 江苏 南京 210000

[摘要]公路工程属于交通基础设施建设里的重要部分,其技术水平以及质量把控状况,会对公路的使用时长以及安全性能产生直接影响。文中全面且细致地阐述了公路工程施工当中的关键技术要点,像路基方面的施工技术、路面的施工技术、桥梁与涵洞的施工技术以及排水系统的施工技术等等。着重剖析了施工准备环节、材料管理环节、施工工艺环节还有现场安全环节的质量控制办法。并且,参照常见的质量问题以及相应的预防策略,深入探讨了现代新技术在施工质量控制方面的运用情况,希望能够给公路工程施工管理给予理论层面的支持以及实践方面的指导。

[关键词]公路工程; 施工技术; 质量控制

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16853

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Technical Points and Quality Control Measures for Highway Engineering Construction

LI Xin

Jiangsu Modern Shuning Engineering Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: Highway engineering is an important part of transportation infrastructure construction, and its technical level and quality control will have a direct impact on the service life and safety performance of highways. The article comprehensively and meticulously elaborates on the key technical points in highway engineering construction, such as roadbed construction technology, pavement construction technology, bridge and culvert construction technology, and drainage system construction technology, etc. Emphasis was placed on analyzing the quality control measures for construction preparation, material management, construction technology, and on-site safety. Moreover, by referring to common quality issues and corresponding prevention strategies, the application of modern new technologies in construction quality control was deeply explored, so as to provide theoretical support and practical guidance for highway engineering construction management.

Keywords: highway engineering; construction technology; quality control

引言

随着我国交通事业的不断发展,公路工程在连接城市与乡村以及推动经济社会发展方面发挥着重要作用,成为一项极为关键的基础设施,其施工质量以及技术水平也日益受到人们的关注。公路施工所涉及的工序相当复杂,技术方面的要求十分严格,在施工期间很容易受到自然环境、材料质量以及施工方法等诸多因素的影响,要是对这些因素控制不好,就有可能出现路基沉降、路面开裂以及结构存在安全隐患等一系列严重的问题。所以,科学地掌握施工技术要点并且完善质量控制体系,对于确保公路工程具备安全、耐久以及经济性等特性有着极为重要的意义。聚焦于公路施工的核心技术环节,全面且细致地分析施工技术以及质量控制措施,并且结合实际案例以及新兴技术的应用情况,为施工管理工作给予一定的参考。

1 公路工程施工技术要点

1.1 路基施工技术

路基属于公路工程中的基础部分,其施工质量对于整个公路结构的稳定性以及使用寿命有着直接影响,所以施工期间务必要给予高度重视。路基施工要严格依照设计图纸以及相关技术规范来执行,结合现场实际状况,合理且

细致地开展地形地质方面的调查工作,准确判定土质类型以及承载能力,进而科学制定土方开挖与填筑方案。土方开挖时采用分层开挖的方式,防止出现超挖情况,同时采取有效的措施以防边坡发生坍塌,以此确保边坡的稳定与安全。在填筑阶段,所用的土料必须要符合设计以及施工的标准,挑选适宜的材料,分层且均匀地进行填筑,并借助机械实施压实,保证每层都能达到设计所要求的密实度以及强度标准,从而避免填筑层出现软弱或者空洞的情况,保障路基的均匀性以及承载能力。针对地基状况较差的区域,需要依据具体的地质条件采取相应的地基处理举措,比如换填、加固或者是排水等手段,切实防止软土沉降以及不均匀沉降的发生,保证路基的整体稳定性。在施工过程中,要合理地配置施工机械并且科学地安排施工工序,确保各个环节的作业都能够顺畅且有效地开展,进而提升施工效率以及质量水平。与此要特别关注路基的排水设计与施工,保证路基内外的排水都保持通畅,避免因积水而引发的水害破坏,这对于维持路基结构的耐久性以及稳定性有着极为关键的作用。只有充分掌握了路基施工的各项技术要求并且严格执行,才能够确保公路路基的坚实可靠,为公路工程的长期安全运行奠定坚实的基础。

1.2 路面施工技术

路面施工在公路工程里属于技术要求颇为严格的环节,其质量状况和公路的舒适程度以及耐久性能有着直接关联。路面施工通常会划分成基层施工以及面层施工这两个不同阶段。在基层施工方面,得着重关注材料选取以及配比事宜,务必要让基层拥有不错的承载能力以及排水功能,一般会选用碎石、稳定土这类材料,而且要严格按照规定去做压实方面的作业。至于面层施工,会依据设计情况来决定采用沥青路面还是水泥混凝土路面。对于沥青路面施工来讲,需要对摊铺温度、厚度还有密实度加以把控,以此确保其黏结强度以及抗裂性能都能达到要求;而水泥混凝土路面施工,则务必对拌合比、浇筑工艺以及养护措施予以严格控制,避免出现早期裂缝以及蜂窝麻面这样的情况。在施工整个期间,都应当维持施工环境处于干燥状态并且温度适宜,同时要开展质量检测工作,从而确保路面结构的整体性以及耐久性能能够得以保障。

1.3 桥梁与涵洞施工技术

桥梁以及涵洞属于公路极为关键的构成部分,其担负着将交通荷载还有环境作用予以传递的重要职责,相应的施工技术既复杂又有着十分严格的各项要求。就桥梁施工来讲,开始务必要把基础处理事宜做好,这涵盖了桩基或者浅基础方面设计以及施工工作,必须要确保基础能够牢固且稳定。在进行主体结构施工的时候,得严格按照设计所提出的要求来开展模板安装操作、钢筋绑扎作业以及混凝土浇筑工序,以此来保障结构的尺寸精度以及力学性能都能够得到妥善地维护。涵洞施工同样也要求开挖要精确,并且土方支护工作也要做到位,如此才能有效防止出现边坡坍塌以及水害侵蚀等不良情况。在进行混凝土浇筑时,应当采用分层的方式,并且要均匀地进行振捣操作,这样才能避免出现蜂窝麻面以及冷缝这类问题。在整个桥梁与涵洞施工的进程当中,尤其是在施工期间,对于安全防护措施以及环境保护举措方面更是需要给予高度的关注,从而切实保障施工过程的安全性以及与生态环境能够实现和谐共存的状态。

1.4 排水系统施工技术

公路排水系统的施工技术对于延长公路的使用寿命以及保障行车安全有着十分重要的作用。排水施工涵盖了路基排水、路面排水还有桥涵排水等诸多部分,在施工的时候应当依据设计规范来合理地布置排水设施。路基排水方面,得把边沟、截水沟等设施的开挖以及铺设工作都做好,以此来保证雨水能够及时排出去,避免因水浸而致使路基出现软化的情况。路面排水施工的时候,要着重关注排水坡度以及排水口的设计,从而确保积水不会在路面上滞留。桥涵排水则需要安装排水管道以及检查井,以此保证结构内部不会存有积水。在整个施工过程之中,必须要严格把控排水设施的尺寸以及坡度,并且采用耐腐蚀的材料,进而确保排水系统能够长期稳定地发挥其功能。合理

的排水系统施工是能够有效地减少水害对路基以及路面造成的损坏的,进而提升公路的整体性能。

1.5 施工机械与设备应用

现代公路工程施工离不开机械化设备的有力支撑,合理运用施工机械可提升施工效率,还能有效保证工程质量,常用施工机械有挖掘机、压路机、摊铺机、混凝土搅拌机等,其性能和配置要依据施工工艺和工地条件科学选定,机械操作人员须经专业培训,熟练掌握设备操作技巧和维护保养知识,施工机械合理布局且相互配合,可减少施工盲区以及工序间等待时间,提高资源利用率,现代信息化技术与机械设备相结合,像自动化摊铺控制系统、智能压实监测设备,正逐步提升施工机械智能化水平,利于实现施工过程精准控制与质量保障。

2 质量控制措施

2.1 施工准备阶段的质量控制

施工准备阶段在保证公路工程质量方面属于基础环节,其涉及到诸多方面,像施工组织设计的编制工作、材料采购事宜、技术交底相关事项以及施工现场的各项准备工作等。需对施工图纸展开细致的审核操作,要确认设计方案是合理的,技术要求也是清晰明确的,如此才能避免因设计存在缺陷而致使施工出现质量问题的情况发生。在材料采购这一环节,务必要依照国家以及行业所制定的标准来严格选用那些合格的材料,并且建立起较为完善的进场验收方面的制度,以此来保障材料的质量能够保持稳定的状态。施工队伍的开展技术培训活动以及安全教育工作,要让各个岗位的责任以及质量目标都得以明确清楚。现场准备涵盖测量放线的工作、施工场地的平整操作以及临时设施的建设事宜,唯有如此才能确保施工环境是安全且有秩序的。借助科学合理的施工准备举措,是能够有效地对质量风险起到预防作用的,进而可确保施工过程能够顺利地推进下去。

2.2 施工过程中的质量控制

在施工期间,质量控制属于极为关键的环节,其对于保证公路工程的整体质量能够契合设计以及规范方面的要求起着重要作用。这一质量控制需要将材料采购、施工工艺实施还有现场管理等诸多方面都涵盖进去。就材料质量控制来讲,重点是要针对进场的材料展开严格的检验工作以及抽样试验,务必要让材料的物理性能、化学成分还有规格尺寸全都符合设计所规定的标准以及相关的行业规范,避免由于材料质量不符合标准而致使工程质量出现缺陷以及存在安全隐患的情况发生。而在施工工艺控制层面,要求施工单位严格按照既定的技术规范以及施工方案来执行,要科学且合理地把控像土壤的压实度、沥青摊铺时的温度控制以及混凝土的养护周期这类关键施工参数,从而确保各个工序能够紧密相连,有序地相互衔接起来,尽最大可能去避免返工情况以及施工质量事故的发生。现场管理与安全控制包含了对施工环境加以维护、对机械设

备予以管理与维护以及落实施工安全防护措施等内容,其目的在于保障施工人员的**身安全以及使施工现场保持整洁有序的状态,防止安全事故以及施工扰动给工程质量带来负面的影响。在整个质量管理的过程中,还需要构建起完善的动态监测与质量记录体系,要及时对施工进度以及质量状态进行跟踪,一旦发现问题要及时予以纠正,以此推动施工质量不断地提升并且保障工程能够稳定地运行。凭借多维度的综合质量控制手段,能够切实有效地保障公路工程施工得以高质量地完成。

2.3 质量检测与验收

质量检测以及验收环节属于施工质量控制当中的最终阶段,其对于工程的交付以及后续使用会产生直接的影响。检测工作的开展需要依照国家标准还有设计文件方面的要求,运用科学且合理的检测方式,针对路基密实度、路面平整度、混凝土强度以及结构尺寸等这些关键指标展开严格的检测操作。验收程序应当涵盖自检环节、监理检验环节以及竣工验收环节,以此来保证检测数据能够真实并且有效^[1]。对于在检测过程中发现的不合格项目,要制定出相应的整改方案,并且实施返修方面的处理举措,防止隐患得以留存。质量检测所得到的结果需要完整地进行归档处理,从而为工程后期的维护工作以及质量追踪事宜提供相关的依据。与此积极地引入现代检测技术,像是无人机巡查技术、非破坏性检测仪器等等,以此来提升检测工作的效率以及检测的精度。

3 常见质量问题及预防措施

公路工程施工里常见质量问题,像路基沉降、路面裂缝、结构缺陷以及排水不畅等,要是没及时发现并处理,会严重影响公路使用功能和安全。路基沉降大多因为地基处理不到位或者填筑不均匀引发,得靠合理地地基加固还有分层压实来严格把控;路面裂缝往往是由于材料选得不对、施工工艺有缺陷或者温度应力造成的,预防办法有优化材料配比、严格工艺流程以及合理养护。桥梁和涵洞结构缺陷多数是施工精度不够或者混凝土质量问题引起的,要强化模板安装和钢筋绑扎的质量控制,同时保证混凝土配合比和浇筑工艺符合规范^[2]。排水系统故障常常是因为设计不合理或者施工粗糙所致,得重视排水设施的科学与细致施工。面对这些质量问题,应当构建完备的预防机制,强化质量巡查与专项检查,提高施工人员技术素质,达成全过程质量管控。

4 新技术在施工质量控制中的应用

随着科技不断取得进展,信息化以及智能化技术慢慢

融入到了公路工程施工质量管理里面,给传统的施工质量控制赋予了全新的动力。建筑信息模型也就是 BIM 技术,可达成施工全流程的三维可视化管理效果,助力工程各方展开协同设计以及进度监控相关工作,提前察觉设计冲突以及施工风险所在。物联网传感技术在施工现场得到应用之后,能够对路基沉降、温度湿度等关键参数予以实时监测,给出科学依据来辅助质量方面的判断。无人机巡检以及无人机械设备的引入,使得检测效率和施工精度都得到了大幅度的提升,人为误差也因此得以减少。智能压实仪还有自动化摊铺设备的运用,能够确保施工工艺参数实现精准控制,进而让工程的均匀性以及密实度都得以提高^[3]。除此之外,大数据以及云计算技术使得施工数据的收集、分析以及共享变得更加便捷,推动质量管理朝着数字化、智能化的方向不断发展。新技术的应用一方面提升了施工质量控制的水平,另一方面也促使公路工程施工管理迈向了现代化阶段。

5 结语

公路工程施工技术持续发展并不断完善,这对于达成高质量交通基础设施建设而言,是极为关键的保障所在。科学地去把控路基、路面、桥梁涵洞以及排水等方面施工技术要点,并且与严密的质量控制举措相互结合起来,如此便能够切实有效地提升工程的整体性能以及使用寿命。在施工过程中,常见到各类质量问题,针对这些情况,积极地采取预防以及治理方面的措施,其重要性不言而喻。由此新技术得到广泛的应用,这给施工质量管理带来了全新的机遇,同时也带来了诸多挑战,它促使传统的施工朝着智能化、信息化的方向去转变。在未来,需要进一步深化施工技术相关研究工作,完善质量管理体系,推动技术创新以及应用,从而实现公路工程施工的高效、安全以及可持续发展。

[参考文献]

- [1]罗捍国,于健.公路工程施工的技术要点及质量控制措施[J].汽车画刊,2025(3):197-199.
- [2]龚亦岚.解读公路工程施工技术要素及质量控制措施[J].农家参谋,2020(9):143.
- [3]杜曾润,张立红.公路工程施工技术要点及控制措施[J].绿色环保建材,2021(3):112-113.

作者简介:李鑫(1989.11—),毕业院校:淮阴工学院,所学专业:交通工程,当前就职位:江苏现代蜀宁工程建设有限公司,职务:总经理助理,职称级别:中级工程师。

复杂地层中桩基及基坑支护施工方法

刘 恒

青海省第八地质勘查院, 青海 西宁 810000

[摘要]复杂地层在当下工程施工里算得上是颇为棘手的一大难题,要是不能够及时且妥善地去加以处理的话,那肯定会对工程实现高质量建设形成负面的影响,久而久之也会对整体的稳定性造成不利。就施工团队来讲,特别是在复杂地层这样的条件下去开展桩基施工相关工作的时候,把基坑支护的工作切实做好,这可是提升桩基稳定性、强度以及牢固性极为关键的一个环节。要想依据实际状况来选择并应用合适的施工方法,那么工程团队就得从多个不同的方面着手展开综合性的分析考量,从而保证施工方案能够具备科学性并且有着实实在在的成效。文中针对复杂地层当中桩基以及基坑支护的施工方法展开分析探讨,其有着不容忽视的现实指导方面的意义。

[关键词]复杂地层; 桩基; 基坑支护; 施工方法

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16851

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Construction Methods for Pile Foundation and Foundation Pit Support in Complex Geological Formations

LIU Heng

The Eighth Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Xining, Qinghai, 810000, China

Abstract: Complex geological formations can be considered a challenging problem in current engineering construction. If not dealt with in a timely and proper manner, it will definitely have a negative impact on achieving high-quality construction of the project, and over time, it will also be detrimental to the overall stability. As far as the construction team is concerned, especially when carrying out pile foundation construction related work under complex geological conditions, it is crucial to do a good job in foundation pit support, which is a crucial link in improving the stability, strength, and firmness of pile foundations. In order to choose and apply appropriate construction methods based on actual conditions, the engineering team needs to conduct comprehensive analysis and consideration from multiple different aspects, in order to ensure that the construction plan is scientific and has tangible results. The article analyzes and discusses the construction methods of pile foundations and foundation pit support in complex geological formations, which has significant practical guidance that cannot be ignored.

Keywords: complex strata; pile foundation; excavation support; construction methods

引言

随着城市化不断推进,基础设施建设规模也持续扩大,桩基以及基坑支护工程在各类建筑与大型工程项目里的应用变得越来越普遍。特别是在复杂地层这种环境下,因土层结构多种多样、地下水极为丰富且地质环境复杂且多变,桩基施工还有基坑支护会碰到不少技术方面的问题以及存在诸多安全方面的风险。复杂地层既增加了施工的难度,又让施工充满了很多不确定性,同时对于工程质量、施工进度以及安全管理工作也都提出了更高的要求。怎样科学并且合理地去选择施工办法,对施工工艺加以优化,以此来保障基坑以及桩基结构的稳定性和安全性,这已然成为了当下工程建设领域里一个十分重要的研究课题。本文围绕复杂地层当中桩基施工以及基坑支护所具有的技术特点展开,较为系统地去分析其在施工过程里面所存在的各类问题,着重探讨能够适应复杂地质条件的施工办法和技术举措,希望能够给类似的工程在设计以及施工环节给予理论层面的参考依据以及实践操作方面的指导,从而

推动相关工程技术不断地向前发展并实现更好应用。

1 地质条件对桩基及支护施工的影响

地质条件算得上是影响桩基以及基坑支护施工能否取得成功的关键因素当中的一个,它与施工方案该如何去选择、施工进程的稳固状况以及工程质量的好坏都有着极为密切的关联。在那种复杂程度颇高的地层环境下,比如软弱土层、淤泥层、强风化岩层、含水层又或者是地质断裂带等等这类情况,不同的地质结构很可能会引发诸如桩孔出现塌方、钻进操作面临诸多困难、孔底沉渣堆积较多、支护结构发生较大变形等一系列的问题。就好比说在高地下水位或者透水性比较强的砂层当中开展施工活动的时候,就特别容易出现基坑突然发生突涌、涌砂亦或是流土之类的种种现象,这无疑会对作业的安全状况以及周边环境的稳定态势构成十分严重的威胁。除此之外,不均匀的沉降情况、持力层不够稳定的状态以及地层侧压力存在着的不确定性等因素,也都给支护结构的受力相关计算以及支护形式方面提出了更高的要求。所以说,只有做到

地质勘察工作既科学又准确,并且对地层展开详尽细致的分析,才能够为制定出合理的施工技术方案奠定相应的前提基础。唯有充分且全面地了解清楚地质条件的具体情况,才能够依据实际情况有针对性地去挑选桩型、确定支护结构以及选定施工工艺,进而切实保障施工进度能够安全顺利地推进下去,保证工程质量是可靠的。

2 复杂地层桩基建设和基坑支护存在问题

2.1 影响周围建筑

在复杂地层展开桩基施工以及基坑支护作业的时候,通常会给周围的建筑物带来不利的影响,其主要呈现出地表沉降、结构变形乃至开裂等状况。因为复杂地层一般存在着软弱土层、地下水丰富、土体分布不均等情况,在施工进程当中,土体受到扰动并且水土压力发生变化,这很容易引发周边地基出现失稳的情况,从而对邻近建筑的结构安全造成影响。就好比在桩基成孔或者支护结构开挖期间,地层的应力发生重新分布,这就有可能致使地表或者地下构筑物出现不均匀沉降的现象,尤其是在老旧建筑较为密集的区域,这种现象会表现得更加突出。

2.2 安全问题

在复杂地层开展桩基建设以及基坑支护施工期间,安全方面的问题显得格外突出。具体来讲,施工过程中极易出现塌方、滑坡、涌水还有坍孔等一系列事故,这给作业人员的生命安全带来了极大威胁,同时也对工程的整体稳定性构成了严重危害。复杂地层通常会存在软弱土层、高含水量地层或者夹杂着不稳定的岩层,如此这般特殊的地质环境致使施工风险有了明显增长^[1]。比如说,在实施深基坑开挖操作的时候,倘若地层结构较为松散,又或者地下水控制得不够恰当,那么就很容易引发边坡出现失稳状况以及基坑发生突涌现象。在桩基施工环节当中,钻孔过程一旦碰到断层或者是空洞,同样有可能致使设备出现倾斜的情况,并且还可能造成孔壁发生坍塌等危险情形。除此之外,在支护结构尚未形成完整的闭合体系之前,周围的土体位移也很可能会超出预先设定的控制范围,进而引发支护系统失去效力,甚至还会连带着发生倒塌等情况,最终产生极为严重的后果。

2.3 扩孔和缩孔

复杂地层的一个显著特点是土质十分脆弱,施工过程中容易出现孔洞扩张或缩小等问题。如果处理不当,不仅会影响后续施工质量,还可能危及施工现场的安全,甚至对施工人员造成伤害。为了减少这些不良影响,施工人员应严格控制混凝土的浇筑量。当发现扩孔问题难以控制时,施工团队需与设计人员密切配合,及时制定处置方案,确保施工安全。

2.4 混凝土封底失败

在复杂地层环境下开展桩基施工工作的时候,混凝土封底出现失败的情况属于一种比较普遍并且颇为严重的状况,这一般是在钻孔灌注桩施工进度当中发生的,并且在高地下水位或者像砂层、淤泥层这类透水性较强的地质环境里表现得更加明显。要是导管埋置的深度不够、混

土的连续性欠佳或者泥浆比重把控不到位的话,那么在浇筑混凝土的过程中,混凝土就很容易和孔内的泥浆相互混合在一起,如此一来便会产生离析、夹泥以及蜂窝麻面等一系列的质量方面的缺陷,最终致使桩底没办法形成紧密牢固的封闭构造,对桩端的承载力产生影响。与此倘若在灌注操作过程中出现了断桩、缩颈之类的现象,同样有可能使得桩底的混凝土没有能够有效地将孔底的沉渣给完全覆盖住,进而形成虚浮封底的状态。再者说,在地层变化较为频繁、持力层稳定性较差的情况下,混凝土封底的过程当中就容易出现混凝土发生回流或者是孔壁出现失稳等情况,这无疑会进一步让封底失败的风险不断增大。

3 复杂地层中桩基施工和基坑支护的常用方法

3.1 钻孔灌注桩

3.1.1 护筒埋设

在复杂地层开展钻孔灌注桩施工期间,护筒的埋设属于极为关键的初始阶段,它对于保障成孔质量以及维持孔壁稳定有着十分重要的作用。护筒一般会设置于钻孔开始的那段位置,它的主要作用在于防止孔口出现塌方情况、对泥浆液面的高度加以控制、引导钻头顺利进入孔内,同时还能阻止地表水以及杂物进入到孔里面。在复杂地层当中,特别是在表层存在松散土、砂层或者含有含水层分布的区域,护筒的稳固程度直接牵涉到整个钻孔过程能否顺利推进。在埋设护筒的时候,要依据地层的具体结构以及设计方面的要求来确定护筒的埋设深度以及直径,务必要让护筒和地面之间实现紧密的接触状态,以此来防止漏浆、涌水等不良状况发生^[2]。如果护筒埋设不够牢固或者出现偏斜的情况,那么还极有可能致使后续钻孔过程中产生导向方面的偏差,进而影响钢筋笼的安放以及混凝土浇筑的垂直程度,最终使得桩基的承载性能有所降低。

3.1.2 泥浆调制

在复杂地层开展钻孔灌注桩施工期间,泥浆调制属于极为重要的一环,其对于保证成孔的稳定性以及提升施工质量有着不容忽视的作用。泥浆一方面能够发挥冷却钻头以及携带钻渣的功能,另一方面还能够凭借在孔壁形成泥皮的方式,有效维持孔壁的稳定状态,进而防范坍孔以及缩孔等一系列问题出现。在不同地质条件之下,所需要的泥浆性能参数也会存在差异,像比重、黏度、含砂率以及失水量等均需严格把控,以此来与软土层、砂层、碎石层等复杂地层的变动情况相适配。泥浆一般会以膨润土当作主要材料,依据施工的实际需求,适量添加水以及化学添加剂来进行调配,以此确保泥浆拥有良好的流动性、悬浮性以及成膜性能。在高地下水位或者高渗透性地层当中,倘若泥浆比重不够充足,那么就很容易引发孔壁失稳或者泥浆渗漏等情况,最终对成孔质量以及混凝土灌注效果产生不利影响。所以,在施工进程里应当依照地质勘察所得到的结果科学地调制泥浆,并且结合现场的具体实际状况对泥浆性能指标展开动态调整,从而保障钻孔过程可以顺

利推进,同时确保桩基成型质量具备可靠性。

3.1.3 钻孔处理

在复杂地层开展钻孔灌注桩施工期间,钻孔处理属于整个施工流程里极为关键的核心环节之一,其质量会对桩基的垂直度、孔深把控以及后续混凝土灌注能否顺利推进产生直接的影响。复杂地层往往存在着软弱夹层、砂层、卵石层或者强风化岩层等情况,在钻孔作业的过程中,特别容易出现偏孔、孔壁发生坍塌、钻进操作困难等诸多问题。为了切实保障钻孔质量,在施工环节当中,一般会选用回转钻机或者冲击钻这类能够适应不同地层特性的机械设备,并且依据地质状况的变化来适时对钻进参数做出调整,像是钻速、压力以及冲洗方式等方面均要做出相应调整。当碰到容易出现塌方的地段时,得结合泥浆护壁技术来给予有效的防护措施;而一旦进入到卵石层或者是强风化岩层的时候,那就需要提升机械功率或者更换专门的特殊钻头,以此来确保钻进的效率以及孔形的稳定性得以维持^[3]。除此之外,在钻孔作业进行的过程中,还得定时去检测孔径、孔深、垂直度还有沉渣的具体情况,从而保证钻孔的各项参数都能够契合设计方面所提出的要求。

3.1.4 钢筋笼安装

在复杂地层开展钻孔灌注桩施工期间,钢筋笼的安装属于极为重要的环节,它对于桩基结构强度以及整体稳定性起到关键作用,其施工质量直接和桩基的承载能力以及使用寿命紧密关联。复杂地层当中往往存在孔径会发生变化、孔壁不够稳定或者孔内泥浆浓度较高的情况,钢筋笼在吊装以及下放的时候,特别容易出现变形、卡阻或者偏位等状况,进而对其在孔内的垂直度以及定位精度产生影响。钢筋笼需要在施工现场提前完成加工制作,而且要严格依照设计图纸来把控尺寸以及进行焊接连接,以此确保其结构保持完整、钢筋搭接得牢固、加劲环设置得合理。在安装的时候,一般会采用起重设备实施整体吊装下放,依据孔深来分段连接,从而保证上下对接得牢固。为了让钢筋笼在孔中处于居中的位置并且保证保护层的厚度,应当设置足够数量的垫块以及定位架,避免钢筋笼紧贴孔壁或者出现偏斜的情况。在孔比较深或者泥浆密度比较大的孔内作业时,还得格外关注钢筋笼的抗浮设计,以防其出现上浮或者位置偏移的现象。

3.1.5 导管安装和混凝土灌注

在复杂地层开展钻孔灌注桩施工期间,导管安装以及混凝土灌注这两项工作属于关键环节,它们对于确保桩体的质量以及承载力有着极为重要的作用。导管安装得当,可有效阻止混凝土与孔内的泥浆相互掺杂,进而保障混凝土能够持续不断地浇筑,并且保证桩底封底环节的完整无缺。导管一般会选用钢制或者塑料制成,要依据孔径大小以及具体的设计要求来挑选合适的直径与长度,务必要确保它能够顺利抵达孔底并且维持垂直且稳定的姿态。在安装导管的时候,应当缓缓地地下放到孔底,切忌搅动孔底的

沉渣以及扰动孔壁,以免泥浆对混凝土造成污染。混凝土灌注是采取从孔底开始往上的连续浇筑方式,借助导管所产生的压头效应来达成置换泥浆的目的,以此保证混凝土可以紧密贴合且不会出现离析的情况。在整个灌注过程之中,需要对混凝土的浇筑速度以及浇筑量加以把控,以防出现断桩的状况或者是产生缩颈、空洞之类的缺陷。与此施工人员还得密切留意混凝土浇筑的实际状态以及导管所处的位置,及时对施工参数做出相应调整,从而有效应对复杂地层有可能会带来的种种影响。

3.2 换填法

换填法是复杂地层里基坑支护及地基处理常用的一种施工方式,主要是把软弱、淤泥或者易塌陷的土层挖掉,再填入承载性能与稳定性都比较好的砂砾、碎石或者水泥稳定土这类材料,以此来提升地基的承载力并增强其稳定性。在复杂地层的情形下,原有的土体常常会出现承载力较低、容易发生压缩以及变形程度较大的情况,要是直接开展施工,那么很可能会致使基坑产生变形,而且支护结构还可能出现失效的状况^[4]。运用换填法能够有效地取代那些不良土层,进而减少基坑出现变形以及沉降的情况,强化基坑边坡还有支护结构所具有的稳定性。与此换填材料自身具备不错的排水性能,这有利于把地下水位降低下来,也能让水土压力有所减小,如此一来便能降低出现涌水以及孔壁坍塌的风险。在整个施工进程当中,对于换填土而言,其分层填筑以及压实质量的把控显得格外重要,务必要保证填料能够均匀且紧密,这样才能达成设计方面所规定的强度以及稳定性要求。

4 结语

复杂地层环境下,桩基以及基坑支护施工会碰到不少挑战与技术难题,恰当选择施工办法并且科学安排施工流程,对于保证工程质量与安全来讲意义重大。仔细分析复杂地层的地质特性,再结合具体工程状况,运用合适的施工工艺与技术举措,能够妥善处理基坑变形、孔壁稳定、混凝土封底等关键问题,提高桩基和基坑支护的整体效能。日后,伴随施工技术持续发展与工程实践不断积累,复杂地层施工办法会变得更加完善,给工程建设的安全、高效且可持续发展给予强有力支撑。

【参考文献】

- [1]晏磊.复杂地层中桩基及基坑支护施工方法[J].现代盐化工,2025,52(1):48-50.
- [2]刘洪顺,刘启禄.复杂地层中桩基及基坑支护施工方法分析[J].江西建材,2021(6):174-175.
- [3]黄鸿超.复杂工况下桩基施工与基坑围护重难点解析[J].中外建筑,2018(1):103-105.
- [4]侯惠敏.环境复杂区域的深基坑支护技术[J].福建建材,2021(7):57-59.

作者简介:刘恒(1988.3—),男,南京工业大学,土木工程,青海省第八地质勘查院,项目经理,中级。

高速公路桥梁墩台施工方法及施工技术

周明明

湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]公路桥梁建设属于我国基础设施建设范畴内的关键部分,在保障交通运输顺畅以及推动国家经济发展方面发挥着积极作用。鉴于我国地形复杂且沟壑众多,公路桥梁建设务必要依据具体地理环境展开科学合理的规划与设计工作。其中,高速公路桥梁墩台的设计及施工质量与高速公路整体工程的安全性以及耐久性存在直接关联,是确保桥梁结构性能的重要环节。此文围绕高速公路桥梁墩台的施工技术应用展开探讨,希望能为提升桥梁工程质量以及施工效率给予一定的参考与借鉴。

[关键词]高速公路;桥梁墩台;施工方法;施工技术

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16880

中图分类号: U445.5

文献标识码: A

Construction Methods and Technology for Highway Bridge Piers and Abutments

ZHOU Mingming

Hubei Road & Bridge Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: Highway and bridge construction is a key part of Chinese infrastructure construction, playing a positive role in ensuring smooth transportation and promoting national economic development. Given the complex terrain and numerous gullies in our country, it is essential to carry out scientific and reasonable planning and design work for highway and bridge construction based on specific geographical environments. Among them, the design and construction quality of highway bridge piers and abutments are directly related to the safety and durability of the overall highway project, and are important links to ensure the structural performance of the bridge. This article explores the application of construction technology for highway bridge piers and abutments, hoping to provide some reference and inspiration for improving the quality and construction efficiency of bridge engineering.

Keywords: highway; bridge piers and abutments; construction method; construction technology

引言

在我国交通基础设施快速发展的大背景之下,高速公路桥梁的建设规模呈现出不断扩大的态势。其中,墩台属于桥梁结构里承上启下的极为关键的部分,它的施工质量与整座桥梁的结构安全以及使用寿命有着极为直接的关联。伴随桥梁结构形式持续不断地得到优化,再加上桥梁跨径以及高度都在逐步增加,墩台施工所面临的技术难度和安全风险也显著上升。因此,选择科学合理的施工方法,应用先进高效的施工技术,成为确保高速公路桥梁工程质量与施工效率的核心环节。当前,高速公路桥梁墩台施工常采用滑模、爬模、翻模等多种工艺手段,结合现代机械设备和智能化施工管理系统,显著提升了施工效率与工程质量控制水平。本文将系统介绍高速公路桥梁墩台的结构特点,并进一步探讨这些施工技术在实际工程中的具体应用过程、关键施工工艺及质量控制要点,以期为类似工程提供可借鉴的技术参考。

1 高速公路桥梁墩台的特点

高速公路桥梁墩台属于桥梁结构里的关键承重部件,其主要功能在于把上部结构所传来的荷载稳妥且牢靠地传至地基之上,并且要维持整个桥梁结构的稳固性与耐久性。跟普通公路桥梁相较而言,高速公路桥梁的墩台一般呈现出结构尺寸偏大、承载方面的要求较高、施工周期相

对较长以及质量把控要求极为严格等特性。高速公路桥梁得满足高速通行以及大交通量的相关需求,所以桥面宽度往往会比较大,如此一来墩台就必须拥有更强的承载能力以及抗震性能;因为高速公路常常会跨越复杂的地形,像是河流、山谷还有城市道路等等,桥梁的墩高存在很大的差异,部分桥墩的高度甚至能够达到几十米之多,这无疑给墩台结构的稳定性以及施工技术都提出了更高的要求。高速公路桥梁墩台大多采用钢筋混凝土或者预应力混凝土的结构形式,在施工期间需要对混凝土的浇筑质量、钢筋的布置精度以及模板的稳定性加以严格的控制,从而保证结构的整体性以及使用寿命。除此之外,高速公路桥梁项目的工期普遍比较紧张,投资规模也颇为可观,这就对施工效率以及安全性都提出了更高的标准。

2 桥梁墩台主要施工技术介绍

2.1 滑模施工法

滑模施工法属于一种较为先进的施工技术,其在连续垂直结构施工方面有着适用性,尤其在高速公路桥梁高墩台的施工当中被广泛运用。此方法借助设置能够调节的滑动模板系统,并且利用液压或者机械装置,使得模板可以随着混凝土浇筑的推进而持续向上滑移,进而达成墩台结构的连续成形效果。滑模施工有着施工速率快、模板利用率高、成形质量优良以及能减少施工缝等诸多优点,对于

结构高度相对较大、断面形状比较规则并且施工周期要求紧迫的工程而言,它显得尤为适用^[1]。在滑模施工开展的过程中,一般会采用连续浇筑的工艺,这就需要对混凝土的拌合、运输以及浇筑节奏加以合理把控,务必要让模板上升的速度和混凝土硬化的速度相互匹配起来,避免出现模板下滑或者混凝土发生变形的情况。

2.2 爬模施工技术

爬模,全称为爬升模板,国外通常称为跳模。该施工技术主要由爬升设备、模板和爬架三部分组成,但部分爬模系统并不配备爬架。爬模广泛应用于桥墩、剪力墙结构以及筒体结构施工中,取得了显著效果。其优势在于具备自爬升功能,无需依赖起重机械即可实现模板的提升,从而降低了施工机械的使用成本,提升了施工效率和经济效益。

2.3 高墩台翻模施工技术

高墩台翻模施工技术是一种在桥梁墩台施工当中较为常用的模板施工方法,这种方法特别适用于高度比较大的桥梁墩台施工情况。它具备工艺已经相当成熟、对于结构的适应能力很强以及施工时的安全性较高的诸多优点。该项技术具体是通过将模板按照一定的分段来进行设置,在完成其中某个模板段的混凝土浇筑工作并且初凝之后,把下段的模板拆除掉,然后将其翻转至上面一个施工段的位置,如此这般循环往复地使用模板,进而能够逐层向上开展施工,最终完成整个墩身结构的建造。翻模施工所采用的是周期性的施工方式,其模板的支设以及拆装操作都比较灵活,可以很好地适应不同截面形状以及不同高度的墩台结构,尤其是对于断面变化幅度不是很大的高墩结构而言更为适用。在施工的过程中,对于模板的刚度以及强度有着较高的要求,必须要精准地把控模板拼装的质量以及垂直度方面的情况,与此同时还要确保钢筋布置得准确无误、混凝土振捣得足够密实,以此来避免蜂窝麻面、错台等这类质量问题的产生。和滑模施工相比,高墩台翻模技术在质量控制方面会更加便利一些,其操作难度相对来说也更低一些,特别适合那种施工条件比较复杂、地形十分陡峭、气候多变的山区或者边远地区的高速公路桥梁工程项目^[2]。这项技术对于施工人员的技术水平以及安全管理工作都有着较高的要求,需要凭借合理的施工组织安排以及完善的安全措施,来保障施工效率与结构安全能够达到统一,它已然成为当下高墩桥梁施工当中被广泛运用的一项极为重要的技术手段。

3 高速公路桥梁墩台施工技术的应用

3.1 选择合适的施工方案

在高速公路桥梁墩台展开施工之际,挑选出适宜的施工方案,这可是关乎工程质量得以保障、安全性能够落实以及工期把控妥当与否的重要环节。要知道,高速公路桥梁常常会碰到复杂多样的地形状况,气候环境也是多变难测,再加上结构设计方面有着不一样的要求,所以在选取

方案之时,得全面且细致地考量诸多因素,像桥梁墩台的具体高度、结构呈现的形式、所处的地质条件、施工场地存在的限制情况、施工所需的周期以及成本方面的控制等等。一开始,要对施工现场来一番详尽细致的勘察与分析工作,从而切实掌握住基础承载力的具体情况、地基属于哪种类型以及地下水位的实际高低等一系列基本数据,凭借这些数据去判定是否适宜采用滑模、翻模或者爬模等各不相同的施工技术。要是墩身相对较高并且断面较为规整的桥梁墩台,那么不妨优先把滑模施工当作首选,如此一来便能有效提升施工的效率;而对于那些高墩台或者是场地受到限制的区域而言,则可以采用翻模或者爬模等更为灵活且稳妥的技术方案。再者说,施工方案的确定还得和施工单位自身所具备的技术能力、所配备的机械设备情况以及人员配置状况相互结合起来考量,以此来保证所选定的工艺在实际的操作过程当中是有可行性且处于可控状态之中的。

3.2 施工设备的安装

在高速公路桥梁墩台施工期间,施工设备的安装属于极为关键的一个环节,它对于保障施工能够顺利推进以及确保结构的安全质量有着重要意义,且直接和各项施工工艺是否能够有效落实紧密相关。桥梁墩台施工涵盖了大型混凝土浇筑、高空作业、钢筋吊装、模板支设等诸多工序,所以务必要依照施工工艺方面的需求以及现场的实际状况,合理地去配置并且按照规范来安装相关的施工设备。要先对施工设备展开全面细致的检验与调试工作,保证其技术性能以及安全性能均符合国家所规定的相关标准,像塔吊、施工升降平台、混凝土输送泵、液压滑模系统、钢筋吊装机械、模板支架系统这类常用设备都得包含在内^[3]。在设备安装之前,应当参照施工组织设计当中的设备布置图,科学且合理地确定安装的具体位置,防止和已有的设施以及施工路线出现冲突情况,与此同时还要确保设备的操作空间、安全防护距离以及运行稳定性都能够得到妥善的保障。尤其是在开展高墩台施工的时候,液压提升装置、爬模轨道系统、导向机构等等都必须要做到精确安装,以此来确保模板系统在垂直方向上具备稳定性,并且可以实现平稳的升降操作。

3.3 爬模的爬升工艺

在高速公路桥梁墩台施工环节当中,爬模的爬升工艺属于一项极为关键的技术,其在高墩台结构的分段施工方面尤为适用。此项工艺主要是依靠安装于墩身混凝土结构之上的爬升轨道或者爬升锚固系统来开展相关工作,借助液压或者电动装置促使模板系统能够沿着结构表面一步步地往上攀升,进而让施工活动能够在相对较小的作业平台之上高效且连续地推进下去。爬模系统一般是由模板单元、操作平台、工作脚手架、液压提升系统以及导向机构等部分组合而成的,其中最为关键之处就在于要保障模板

系统能够稳稳当当地爬升起来,并且对垂直精度加以有效控制。在整个施工进程之中,每当完成一个施工段的混凝土浇筑之后并且达到了一定的强度时,便会启动爬升系统把整个模板平台当作一个整体来提升到下一个施工段所在的位置,并且在此之后还要对模板实施重新定位以及加固方面的操作。爬模的爬升过程对于同步性以及稳定性都有着极高的要求,务必要保证液压系统各个支点能够同步运转起来,以此来避免出现模板发生偏移、出现倾斜或者是遭遇卡滞等一系列问题。除此之外,在爬升作业期间还应当严格把控每一次提升的高度,同时对导向装置做出相应的调整,从而确保垂直精度得以维持,并且要联合测量控制系统来实时对模板的位置进行监测,进而确保墩台的线型以及尺寸都能够精确无误。

3.4 安装高墩台钢筋

在高速公路桥梁墩台施工环节当中,高墩台钢筋的安装属于一项极为关键的工序,它同墩身结构的承载能力、抗震性能以及耐久性都有着直接的关联。鉴于高墩台本身存在高度颇高、自身重量不轻、受力情况较为复杂等诸多特点,其钢筋布置呈现出数量颇为可观、规格相对较大的状况,并且对于施工精度的要求同样是很高的。在钢筋安装之前,应当依据施工图纸以及钢筋加工单,严格依照设计方面的要求来对钢筋展开加工操作,同时做好编号工作并按照类别加以分类堆放,以此来保障钢筋的位置、形状以及尺寸均能够契合相关规范。在安装的具体过程当中,应当优先选用分段吊装和绑扎相结合的方式,从墩底开始朝着上方逐层推进施工进度。尤其是在处于高空作业这样的条件之下,务必要配备专门用于吊装的设备以及作业平台,从而切实确保钢筋在运输以及就位环节的安全性和可靠性。为了能够让钢筋的定位保持准确的状态,需要设置数量充足的定位架以及支撑筋,并且借助卡具、焊接手段或者机械连接件来实现钢筋的固定操作,进而避免在施工期间出现钢筋发生移位或者产生变形等情况。就主筋、箍筋还有分布筋的连接而言,必须要采用合格的搭接方式或者是机械连接工艺,而且接头的位置要错开进行布置,切忌让其集中在一处受力^[4]。钢筋保护层的厚度应当凭借垫块或者专用支架来进行有效控制,以此来确保结构具备良好的耐久性。因此在施工的过程中还需要妥善做好钢筋安装的检验记录工作,将绑扎质量、间距、弯钩形状等一系列关键参数都囊括其中,一旦发现问题就要及时予以整改处理。

3.5 混凝土浇筑

在高速公路桥梁墩台施工期间,混凝土浇筑这一工序对于结构强度、耐久性以及整体质量有着关键影响,所以务必要依照施工技术规范与设计要求来严格实施。鉴于墩台结构往往呈现出大体积、高强度混凝土的特点,而且部分墩台的高度还比较高,这便对混凝土的配合比、浇筑工艺、振捣密实以及养护控制等方面提出了更高的要求。一

开始,在浇筑之前,应当依据施工段的实际高度以及模板支设的具体状况,科学合理地去规划分层分段浇筑的方案,从而防止出现因一次浇筑过高而致使模板胀模或者混凝土离析的情况。混凝土得选用那种拌合较为均匀、坍落度比较适宜并且施工性能不错的配合比,而且要用专用的运输设备及时地将其送到浇筑的相应部位,避免因时间过长或者在运输过程当中出现振动而引发混凝土初凝或者性能有所损失。在浇筑的过程中,需要借助插入式振捣器并配合平板振动器来开展分层振捣工作,振捣的时候务必要均匀且到位,以此确保混凝土能够达到密实的状态,不会出现蜂窝麻面的情况,并且还要留心对钢筋以及预埋件的位置加以保护,避免它们发生移位或者变形。当进行高墩台施工的时候,还得采用泵送混凝土的技术或者通过溜槽配合吊斗的方式来完成高空浇筑作业,此时一定要格外留意混凝土自由下落的高度不宜过大,以免出现离析的现象。在施工当中,要强化对混凝土温度的控制,尤其是在炎热或者寒冷这样的季节,得采取保温或者降温的相关措施,防止混凝土出现早期裂缝。浇筑完成之后,应当马上着手进行覆盖以及养护工作,维持适宜的温度与湿度条件,推动混凝土充分的水化,进而提升它的强度与耐久性。

4 结语

高速公路桥梁墩台属于桥梁结构当中极为关键的承载部位,所以对其施工方法以及相关技术予以合理的挑选,并且加以科学的应用,这对于保证桥梁整体在结构方面的安全状况以及使用时的性能表现而言,有着极为重要的意义。伴随施工技术持续向前发展,滑模、爬模、翻模等多种多样的施工工艺相互结合起来加以应用,如此一来便让高墩台施工能够变得更加高效一些、更为安全一些、也更加精确一些。与此施工组织管理要是足够严格,混凝土质量也能得到有效的控制,这些都堪称是确保墩台施工质量极为关键的因素。在未来的发展过程当中,随着新材料、新技术以及智能化施工设备不断地被推广开来,高速公路桥梁墩台施工技术也会变得愈发成熟、愈发完善,进而为我国高速公路桥梁建设给予稳固的技术支撑,有力地推动交通基础设施朝着高质量的方向去发展。

[参考文献]

- [1]刘艳会.高速公路桥梁墩台施工技术研究[J].交通世界,2023(32):166-168.
- [2]畅引弟.高速公路桥梁墩台施工技术人应用要点[J].黑龙江交通科技,2020,43(4):89-90.
- [3]刘辉.高速公路桥梁墩台施工技术及应用探讨[J].建材发展导向,2021,19(20):118-119.
- [4]巴欣.高速公路桥梁墩台施工方法及施工技术[J].交通世界,2022(14):149-151.

作者简介:周明明(1994.8—),男,专业方向:工程管理,职称:路桥工程师,籍贯:湖北随州。

OCP 反应器疲劳-蠕变失效模式分析

李伟强

惠生工程(中国)有限公司, 上海 201210

[摘要]OCP 反应器是烯烃裂解工艺中的核心设备, 该设备在 513℃~585℃操作温度下运行, 伴随交变载荷工况, 存在疲劳-蠕变失效模式。文中采用 ANSYS 软件对反应器进行整体建模, 基于 ASME VIII-2 和 ASME CODE CASE 规范案例 2843 方法对疲劳-蠕变过程包括强度校核, 热-机械耦合, 应变极限校核及蠕变-疲劳交互进行分析, 最终评定合格。提出了反应器在交互作用中蠕变损伤比疲劳损伤占比更高的结论, 同时分析过程为此类设备的工程设计提供了一定的参考依据。

[关键词]OCP 反应器; 疲劳-蠕变; 热-机械耦合; 规范案例 2843

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16855

中图分类号: TN9

文献标识码: A

Fatigue Creep Failure Mode Analysis of OCP Reactor

LI Weiqiang

Wison Engineering (China) Co., Ltd., Shanghai, 201210, China

Abstract: OCP reactor is the core equipment in olefin cracking process. The equipment operates at an operating temperature of 513℃~585℃, accompanied by alternating load conditions, and has fatigue creep failure mode. In the article, ANSYS software was used to model the reactor as a whole, and the fatigue creep process including strength verification, thermo mechanical coupling, strain limit verification, and creep fatigue interaction was analyzed based on ASME VIII-2 and ASME CODE CASE code case 2843 method. The final evaluation was qualified. The conclusion was proposed that creep damage accounts for a higher proportion than fatigue damage in the interaction of reactors, and the analysis process also provides a certain reference for the engineering design of such equipment.

Keywords: OCP reactor; fatigue creep; thermo mechanical coupling; standard case 2843

引言

近年来,随着石油化工行业的飞速发展,高温、高压、大尺寸、高循环等极端苛刻工况的设备越来越多,尤其多种工况同时叠加交互的工况将导致设计工作相当具有挑战性。如高温蠕变-疲劳交互的失效形式的设备在实际项目中也愈发常见,而往往这些设备又是装置最重要的核心设备之一。

烯烃裂解工艺(OCP)中的核心设备 OCP 反应器便是高温蠕变-疲劳交互工况的代表设备,因其反应工况苛刻,反应温度高,反应和再生工况频繁切换,设计难度大而著称。

目前,国内外对纯蠕变或纯疲劳的分析设计及预防措施已经比较成熟。而对于高温蠕变与疲劳交互作用的评定国内 GB/T 4732—2024^[1]已经收录,因标准刚颁布不久,实践经验还不多。在国标颁布之前,国内的研究和工程设计人员考多参考 ASME CODE CASE 规范案例 2605-4(以下简称 CC2605)^[2]和 ASME CODE CASE 范案例 2843-2(以下简称 CC2843)^[3]。CC2843 与 CC2605 相比,温度范围从 317~454℃提高到了 371~538℃,并提供蠕变-疲劳分析具体流程。Gong 等^[4]曾在研究中回顾 CC2605 的疲劳设计方法并且讨论了纯蠕变评定下的应力分析。法程钟等^[5]采用最新 CC2843,对某一加氢反应器在高温蠕变-疲劳交互作用下进行了分析校核。本文反应器因业主及专利商外资背景要求,基于 ASME VIII-2^[6]和 CC2843 进行分析。

1 设计条件与有限元建模

1.1 设计条件

本文以某项目直径 2400 的 OCP 反应器为分析对象,厚度 36/54mm,腐蚀裕量 1.5mm,设计压力为 1.4MPa(G)。主体材质为 SA-240 304 不锈钢,材料的物理性能和传热性能按 AMSE Sec.II,Part.D^[7]。设计寿命为 20 年。设计温度为 615℃,其中,操作温度范围为 513℃~585℃,进出口温度随时间变化的曲线按照图 1 的要求。对于 304 不锈钢材料,427℃以上就进入蠕变状态,故此设备始终工作在蠕变工况下。

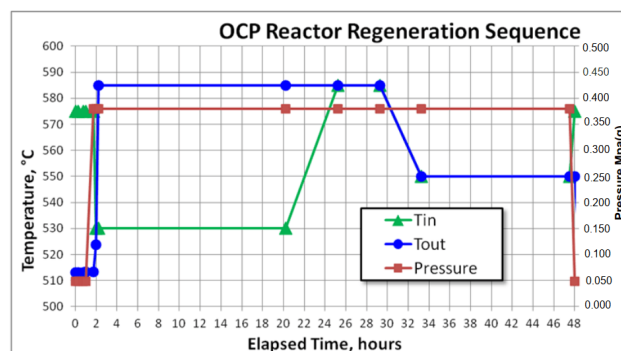


图 1 48 小时运行与再生周期内的温度和压力分布情况

考虑设备自重、内件、瓷球、催化剂、保温、防火和操作介质质量,设备总的操作重量为 70100kg。基本风压值: 750N/m²。在计算时地震载荷按照 7 度, 0.1g 查取。

根据项目绝热规定,保温材料为硅酸铝纤维制品,厚度为240mm,密度为 128kg/m^3 ,其导热系数见表1。操作介质与内壁的对流传热系数: $250\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 。

表1 保温材料的属性

Tm / $^\circ\text{C}$	导热系数 K W/(m· $^\circ\text{C}$)	等效对流传热系数 heqv W/(m ^{2} · $^\circ\text{C}$)
500	0.146	0.5790
550	0.164	0.6465
600	0.182	0.7133

1.2 有限元建模

由于疲劳、蠕变对设备为整体影响,且施加的风载、地震载荷为非对称载荷,因此设备采用整体建模,建立的有限元模型考虑了腐蚀裕量,受压部件的腐蚀裕量为1.5mm,裙座的为0mm。模型体现接管倒角、设备法兰的螺栓和热箱等细节,如图2所示。

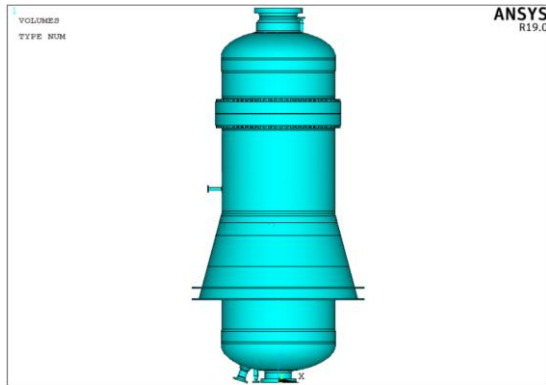


图2 OCP反应器整体模型

对于该工况和结构设计,温差应力不可忽视,需要对结构进行详细的温度场分布,然后进行热-机械载荷耦合分析。对于温度场分析,采用热分析单元 Solid 90 进行网格划分;对于机械场分析,采用20节点高阶单元 Solid 186 进行六面体网格划分。根据设备结构的特点,不断对网格进行细化,直至求解的结果基本不变,具体网格划分见图3。

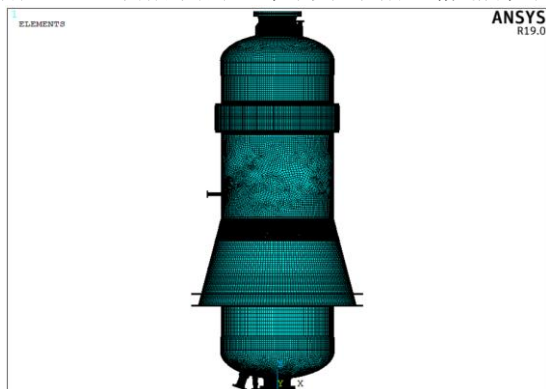


图3 OCP反应器整体模型网格划分

2 结果分析

2.1 机械场分析

首先对设备在设计工况下进行应力强度校核,只考虑

机械载荷导致的一次应力,不包括热载荷。载荷条件:内表面施加设计压力 $=1.4\text{MPa}$;设计温度 615°C ;设备法兰螺栓总的最大载荷 9710400N ,每个螺栓最大预紧载荷 $=142800\text{N}$;水平地震载荷 56080N ;重力载荷 701000N (考虑了内件、介质和保温、防火、壳体质量等);按项目管口载荷表施加管口载荷及管口等效压力;在裙座基础环板底部约束环向和轴向位移约束。

图4为设备设计工况整体应力分布云图。最大Mises等效应力 134.611MPa 发生在温度计口T01, T02根部内表面处。分别对接管根部及其焊缝处,上封头与筒体,法兰与筒体连接处,裙座连接处,下封头与筒体接处及结构连续处划分路径并进行应力评定。最终结果显示各路径的一次薄膜应力 P_m , PL 和一次应力 $PL+P_b$ 分别小于许用值 S , $1.5S$, $1.5S$, 评定通过。其中: S —许用应力强度, 57MPa 。

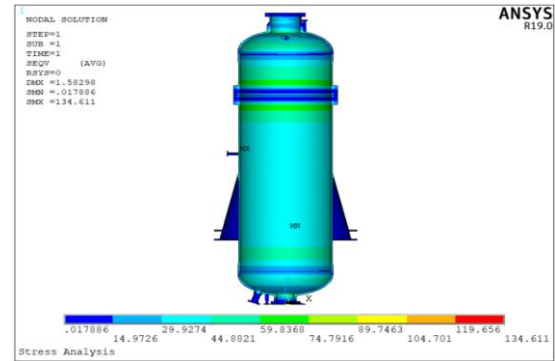


图4 整体应力分布云图(设计工况)

然后对设备在操作工况下进行应力强度校核,只考虑机械载荷导致的一次应力,不包括热载荷。载荷条件:内表面施加最大操作压力 $=0.379\text{MPa}$;最大操作温度 585°C ;其余载荷边界条件及约束同上述设计工况。

图5为设备操作工况整体应力分布云图。最大Mises等效应力 56.236MPa 发在上封头接管M01根部下表面处。分别对接管根部及其焊缝处,上封头与筒体,法兰与筒体连接处,裙座连接处,下封头与筒体接处及结构连续处划分路径并进行应力评定。最终结果显示各路径的一次薄膜应力 P_m , 一次应力 $PL+P_b$ 及 $(PL+P_b/Kt)$ 分别小于许用值 S_{mt} , $1.5S_m$, S_t , 评定通过。

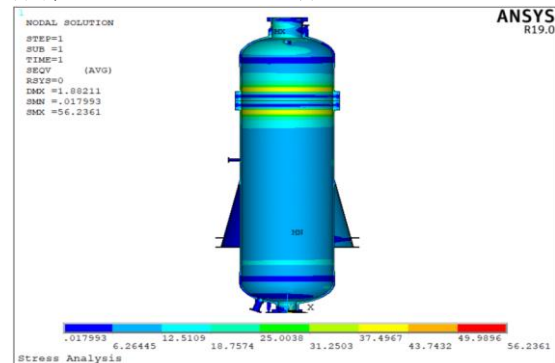


图5 整体应力分布云图(操作工况)

其中： S_m —与时间无关的应力强度，68.8MPa； S_t —与时间相关的应力强度极限，47.9MPa； S_{mt} —许用应力强度，47.9MPa； K_t —蠕变分析的截面系数，取 1.25。

2.2 温度场分析

为了准确对反应器温度场进行瞬态分析，将内部介质的对流换热系数 250W/($m^2 \cdot ^\circ C$)，有保温的设备外壁的等效对流传热系数按表 1，无保温的裙座内外壁与空气的对流传热系数 12W/($m^2 \cdot ^\circ C$) 及裙座热箱表面的热辐射均考虑在分析模型中。裙座底板温度按 22.3 $^\circ C$ 考虑，进出口操作温度按照工艺条件设置，温度随着时间和空间变化。任一时刻，内部操作温度基于进出口温度沿设备高度方向呈线性分布。对一个周期（48 小时）进行瞬态热分析，获得每一时刻的温度分布。这一系列的温度分布将作为结构的热载荷。

2.3 热-机械耦合分析

对反应器进行热-机械耦合分析前，首先导入各个时刻的热载荷，按工艺条件施加各个时刻的操作压力，其他边界条件施加如本文 2.1 节。计算完成后，获得一个周期（48 小时）每一时刻的应力分布。

2.4 应变极限校核

按 CC2843 中 6.1 节测试 A-1 判断蠕变效应是否可以忽略。如果满足该筛选准则时，则蠕变效应很小。在同时满足下面 2 个不等式的条件下，蠕变在极限应变校核中可以忽略，则可以按照 ASME VIII-2 中的 5.5.6 节方法进行极限应变的校核。

$$\sum i(t_i/r \cdot t_{id}) \leq 0.1 \quad (1)$$

$$\sum \epsilon_i \leq 0.2\% \quad (2)$$

根据温度压力曲线，可以得出不同温度下，反应器工作的时间，总的循环次数为 3700 次，根据 CC2843 中的表 6 查得 $r=1.0$ ， $s=1.5$ 。对于公式（1）计算过程如表 2：

表 2 计算数据表

温度/ $^\circ C$	575	530	585	550
一个周期持续时间/h	2.5	0.25	27.25	18.25
整个寿命持续时间 t_i /h	9250	925	100825	67525
对应屈服强度 S_y /MPa	104	107.6	103.2	106
1.5 S_y /MPa	156	161.4	154.8	159
t_{id} /h	1454	17758	2519	5625
$\sum i(t_i/r \cdot t_{id}) = 58.44 > 0.1$				

585 $^\circ C$ 时材料屈服强度 $S_y=103.2MPa$ ，则 $1.25S_y=129MPa$ ，查等时应力应变曲线，应力在曲线范围外，则在 585 $^\circ C$ 下，结构的蠕变应变超出了 0.2%，因此结构在应变极限设计中无法忽略蠕变作用，需要按照 CC2843 中 6.2 节测试 A-2 的应变限值对热-机械载荷的计算结果进行评定。路径位置同本文 2.1 节设计工况。评定结果符合 CC2843 中 6.2 评定要求，均合格。

2.5 蠕变-疲劳评定

满足以下情况时，可以使用 CC2843 第 7 节的蠕变-

疲劳方法进行评定：（a）满足 CC2843 第 6.2 节测试 A-2 和 A-3 准则或者 6.3 节中测试 B-1 和 B-2 准则；（b）在测试 A-1 中满足 $PL+Pb+Q \leq 3S$ 准则；（c）压力导致的薄膜和弯曲应力以及热导致的薄膜应力被分类为一次应力。

本文采用累积蠕变-疲劳损伤采用线性组合的方法，分别计算蠕变损伤和疲劳损伤，再将两者相加，可表示为（3）的形式。

$$\sum_{k=1}^q \left(\frac{\Delta t}{T_d} \right)_k + \sum_{j=1}^p \left(\frac{n}{N_d} \right)_j \leq D \quad (3)$$

其中，等式左边的第一项为蠕变损伤，第二项为疲劳损伤。 D 为许用蠕变-疲劳总损伤； $(T_d)_k$ 为在时间间隔 k 内，根据所考察点上的应力和最高温度，在最小断裂强度曲线上确定的持续时间； $(n)_j$ 为第 j 类循环的设计循环次数； $(N_d)_j$ 为第 j 类循环的许用循环次数。总蠕变-疲劳损伤不应超过 CC2843 中图 6 给出的蠕变-疲劳损伤包络线。

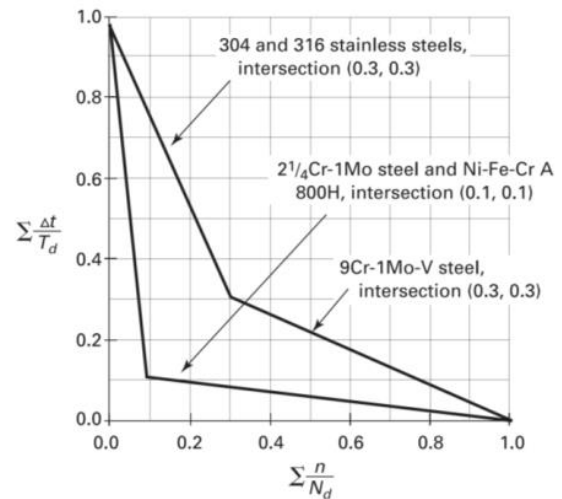


图 6 蠕变-疲劳损伤包络线

进行蠕变-疲劳分析时，首先要根据公式（4）计算总的应变范围 $\Delta \epsilon_t$ ，从而根据疲劳设计曲线得到许用循环次数 N_d 。

$$\Delta \epsilon_t = K_v \Delta \epsilon_{mod} + K_{\Delta \epsilon} \Delta \epsilon_c \quad (4)$$

其 K_v 中为多轴塑性和泊松比调整系数， $\Delta \epsilon_{mod}$ 为修正的最大等效应变范围，考虑了局部塑性和蠕变效应； $\Delta \epsilon_c$ 为每个循环蠕变应变增量，然后利用等时应力应变曲线，考虑应力松弛的影响，评价蠕变累积应变带来的蠕变损伤。

蠕变-疲劳路径划分同本文 2.1 节操作工况。蠕变-疲劳损伤最大值发生在上封头接管 M01 根部，蠕变-疲劳损伤求和结果如表 3：

表 3 蠕变-疲劳损伤求和结果

路径	$\sum (n/N_d)$	$\sum (\Delta t/T_d)$	$\sum (n/N_d) + \sum (\Delta t/T_d)$	许用值	结果
Path-h	0.0037	0.8528	0.8565	0.9914	合格

3 结论

（1）OCP 反应器承受多种苛刻操作工况，失效模式

不是单一的强度问题,需要对每一种可能发生的失效模式进行安全分析和评定。本文对其进行了强度校核,热-机械耦合,应变极限校核,蠕变分析,疲劳分析及蠕变-疲劳交互分析,最终评定合格。

(2) 本文反应器,蠕变损伤占比远大于疲劳损伤,说明蠕变损伤带来的危害一般要大于疲劳损伤。

(3) 本文反应器,各工况危险截面均位于接管根部附近,除了考虑接管、壳体足够的厚度外,对接管结构进行了优化考虑,比如接管均为带翻边整体加强结构,避免应力集中部位发生根部焊缝处。

[参考文献]

[1]GB/T 4732—2024, 压力容器分析设计[S].

[2]ASME Boiler and Pressure Vessel Code Case 2605-4[S].2023.

[3]ASME Boiler and Pressure Vessel Code Case

2843-2[S].2023.

[4]Gong J G, Liu F, Xuan F Z. On fatigue design curves for 2.25Cr—1Mo—V steel reactors at elevated temperature in Code Case 2605[J].Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME,2018,140(2):21101.

[5]法程钟,苏文献.基于 ASME 规范案例 2843 的加氢反应器蠕变—疲劳强度分析与考核[J].压力容器,2018,35(9):21-29.

[6]ASME Boiler and Pressure Vessel Code—Section VIII, Division 2, Alternative Rules[S].2023.

[7]ASME Boiler and Pressure Vessel Code—ASME Section II,Materials Part D Properties(Metric)[S].2023.

作者简介:李伟强(1986.11—),男,上海,汉族,硕士研究生,工程师,就职于惠生工程(中国)有限公司,主要从事化工设备设计工作。

旋转式干燥机主轴轴承润滑系统改造设计研究

史联兴

青海山金矿业有限公司, 青海 海西州 816100

[摘要]旋转式干燥机主轴轴承的润滑系统出现润滑不充分以及故障率高等问题,影响到设备的稳定性及使用寿命,通过剖析现存润滑系统的缺陷,研发出一套新型润滑方案,优化了现有的润滑模式,实现了润滑效果的提升,经改造的润滑系统在提高主轴轴承的润滑成效、降低故障比率、延长使用时间及提升干燥机运行效率方面有显著优势,实验结果证实,改造后的润滑系统让设备稳定性及整体性能得到显著提高。

[关键词]旋转式干燥机; 主轴轴承; 润滑系统; 改造设计; 性能优化

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16886

中图分类号: TS734

文献标识码: A

Research on the Renovation and Design of the Lubrication System for the Spindle Bearing of a Rotary Drying Machine

SHI Lianxing

Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Haixi Prefecture, Qinghai, 816100, China

Abstract: The lubrication system of the main shaft bearing of the rotary dryer has problems such as insufficient lubrication and high failure rate, which affect the stability and service life of the equipment. By analyzing the defects of the existing lubrication system, a new lubrication scheme has been developed to optimize the existing lubrication mode and improve the lubrication effect. The modified lubrication system has significant advantages in improving the lubrication effect of the main shaft bearing, reducing the failure rate, extending the service time, and improving the operating efficiency of the dryer. The experimental results confirm that the modified lubrication system significantly improves the stability and overall performance of the equipment.

Keywords: rotary dryer; main shaft bearings; lubrication system; renovation design; performance optimization

引言

工业生产中大量应用旋转式干燥机,其主轴轴承润滑系统对设备性能的影响极为关键,现有的润滑系统面临润滑不充足、故障率较高的困境,造成设备运转无法稳定、故障频频现身,引发维护成本上扬,就这些问题而言,提出针对润滑系统的改造方案,意在优化润滑效果、增长主轴轴承实际的使用寿命、减少故障频次,增进干燥机整体的运转效率,分析当前系统所存在的不足,采用设计优化之法实施改造,为干燥机平稳地运行提供技术后盾。

1 旋转式干燥机工作原理与主轴轴承的作用

1.1 旋转式干燥机的基本结构与工作原理

可连续干燥物料的设备为旋转式干燥机,其基本结构由旋转筒体、加热装置、传动系统、排气系统和进料系统等组成,当干燥机投入工作阶段,物料从进料口流入旋转的筒体,伴随筒体的回转,物料于筒体之内反复翻动,与热空气、蒸汽进行接触,水分借由蒸发而被带走。由加热装置提供所需的热源,一般是借助燃料燃烧或者采用电加热方式,排气系统凭借风扇把湿气排出体外,保障干燥进程顺利开展,作为旋转式干燥机的核心部件,有旋转筒体与主轴轴承,借助主轴轴承的支撑,筒体可稳定旋转,它承担起筒体自身重量及物料的负载,直接影响设备运行稳

定性、干燥效果及安全性的,是轴承的性能。

1.2 主轴轴承的工作环境及负荷情况

主轴轴承大多安置在旋转筒体的两端,承受着旋转筒体自身重量与物料重力,考虑到旋转式干燥机工作期间,环境表现为温度高且湿度大状态,轴承得在这样苛刻的环境下实现高效运作,筒体自重并非轴承负荷的唯一源头,也包含物料在流动进程中产生的动载荷与外力的效应。处于高温、高湿且高负荷的环境里,主轴轴承面临的摩擦力上升,生成的热量会造成润滑油易于氧化及变质,造成润滑质量降低,由于轴承须承受较大负荷以及频繁转动,长时间运行会引发它内部磨损的明显加剧,增大故障出现的概率,干燥机的工作效率及运行稳定性,直接受主轴轴承润滑质量的左右,若润滑呈现不充分或是失效情形,或许将导致轴承破损,甚至可引发设备停止运转。

1.3 主轴轴承润滑的重要性分析

主轴轴承的润滑系统发挥着极为关键的作用,轴承润滑主要功能就是降低摩擦,减少金属表面彼此的直接接触,由此降低磨损现象,降低热量的聚集规模,适宜润滑可有效使轴承温度维持在安全范围以内,降低摩擦阻力,且可拉长轴承的使用寿命。若润滑未达充分程度,因摩擦力过大,轴承表面出现过度磨损,过热或使润滑油失去原本的

润滑效果,推动轴承损坏程度进一步加剧,润滑油也能切实降低振动与噪音,增强轴承应对负载的承载能力,提高其耐用水平,凭借有效润滑能延长主轴轴承的寿命,减少故障的发生频次,更可增强干燥机的整体运转效率,维持生产过程的稳定及安全,实施润滑系统优化,保证主轴轴承润滑效果的达成,具备不可替代的技术价值,还对降低维护成本以及提高生产效率有益。

2 现有润滑系统分析与评估

2.1 传统润滑系统的构成与工作原理

传统的旋转式干燥机润滑系统,一般是采用油润滑或油雾润滑形式,主要由润滑油箱、油泵、油管、滤油器、调节阀以及喷油器等部分搭建而成,油泵的工作是把润滑油从油箱抽出,输送到主轴轴承部位,润滑油借由油管均匀输送到轴承内部,保障润滑功效达成。滤油器起到保证润滑油清洁的作用,防止杂质进入轴承对其工作产生干扰,往往是调节阀在控制润滑油的温度和流量,来维持合理的润滑态势,处于油润滑体系当中,润滑油凭借与主轴轴承相接触,降低金属表面彼此的摩擦系数,油雾润滑系统借助将润滑油雾化成小颗粒达成,跟空气一起踏入轴承,起到润滑功效,比传统润滑系统的设计简洁,其效果与诸如润滑油质量、油温、油量等因素紧密相连。

2.2 当前润滑系统存在的主要问题

现有的传统润滑系统在长久运行阶段,经常会面对下面几项问题,于高温环境中,润滑油容易产生氧化,引起油质下降,润滑成效降低,甚至会让油垢积聚,提高系统被堵塞的潜在风险,传统润滑系统所供应的润滑油不稳定,油量与油温易出现波动,不能长久让其维持在最佳工作情形,造成润滑油膜均匀度欠佳,甚至引起干摩擦出现,引起轴承磨损加重。直接影响润滑效果的还有油泵工作效率与油路密封性,某些设备的油管路设计有失合理,引起润滑油分布出现不均,某些轴承处润滑状况欠佳,呈现局部过热或是磨损现象,尤为关键的是,传统系统未有效顾及轴承高负荷、复杂环境这类特殊工作条件,易造成轴承产生故障,引起设备停机,进而让维修成本增加,生产停顿时间变长。

2.3 对现有系统不足的评估与分析

目前润滑系统的不足重点体现在润滑油持续稳定性与润滑效果均衡性上,在实际进行生产的期间内,润滑油诸如温度、黏度、流量等参数无法长久处于理想的范围间,引起润滑性能的减弱,尤其是在高温、重载这样的工作情形下,传统润滑系统极易出现油膜破裂情况,致使主轴轴承陷入缺乏有效润滑的境地。油路系统设计若有缺陷,某些部位的润滑油供应也许不足,导致部分轴承过早出现磨损情形,缩减设备的服役寿命,现有的系统自动化水平欠佳,难以实时对润滑油状态加以监控,常常在未能及时察觉问题的情形下,就引发了故障,增添了维护及检修方面

的难度,当前润滑系统无法充分契合旋转式干燥机工作环境高负荷、高温等特殊要求,急需开展优化与改进事宜。

3 润滑系统改造设计方案

3.1 改造方案的设计思路与原则

本次针对润滑系统的改造方案,核心聚焦于增强润滑效果、延长主轴轴承使用时长以及提高干燥机稳定性,在设计思路这个层面,应先解决现有润滑系统里油温、油量不稳定等方面难题,保障润滑油在高温、高负荷状况下稳定供应,以维持润滑的理想状态。基于旋转式干燥机工作环境的特殊性考量,改造方案宜选择适配高温、高压、高湿复杂工况的润滑方式,同时要增进系统的自动化水平,实时追踪润滑油的状态变化,保证各润滑点实现充分的润滑效果,改造过程中也应重视润滑油的洁净水平,防止杂质让轴承出现磨损,设计方案所遵循的原则为简化系统架构、增强润滑成效、降低能源消耗、缩减维修频次以及延长设备使用时长。

3.2 新型润滑系统的构成与工作原理

新型润滑系统采用集中供油与油雾润滑相结合的模式,以让润滑油均匀地供给到主轴轴承的各个润滑点位,系统由诸如油雾发生器、集中供油装置、自动控制阀、油路监测装置和智能监控系统等构成,油雾发生器把润滑油弄成细小的雾化颗粒,将空气与油雾混合后送达主轴轴承,能切实降低主轴处的油温,提升润滑油的渗透及覆盖效果。集中供油装置借助管路将润滑油精准送达各润滑点,利用自动控制阀调节油量大小,让系统始终处在最佳的润滑情形,润滑油的流量、温度及黏度由油路监测装置实时监控着,保证润滑质量的达标,智能监控系统凭借反馈信息自动调控润滑参数,以此实现精准操纵,实现轴承的高效润滑局面。

3.3 改造后的润滑效果预测与优化目标

经改造的润滑系统可高效解决现存系统里油温波动、油量不足等状况,保障润滑油稳定地输送,可在高温、高负荷情形下维持理想的润滑状态,经由优化润滑油的分布状况与油膜均匀性,预计可降低轴承所受的摩擦和磨损,大幅延长轴承的有效寿命。预测系统的改造可让主轴轴承温升减少 20%~30%,轴承出现故障的概率降低 40%以上,采用实时监测与自动修正,系统可依据设备负荷的变动自动调整润滑参数,进一步增进干燥机整体运行的效率,优化目标有削减能耗、减少维护成本、提高设备的可靠水平以及延长设备使用的时长,以此实现企业生产效益的提升。

4 润滑系统改造的实验与结果分析

4.1 实验设计与改造后的测试方法

为核查润滑系统改造成果,筹备了对比性的测试实验,分别对改造后的新型润滑系统与传统润滑系统实施性能测试,实验借助在相同工作环境及负荷条件下让两种系统长时间运作,着重对主轴轴承的温度、油液温度、振动、

噪音以及轴承表面的磨损状况展开监测,测试途径为于不同运行时段定期采集数据,采用传感器对润滑油流量、黏度与温度的实时变化予以监控,还借助红外温度计与振动传感器对轴承温度与振动情况开展监测。

4.2 润滑系统改造前后的性能对比

实验结果证实,从实验结果来看,改造后的润滑系统在多个性能指标上都比传统系统要好,主轴轴承的温度大幅下降,改造后的系统,温升减少了差不多 25%,成功躲开了高温造成的润滑油氧化和轴承过热麻烦,轴承的磨损程度明显降低了,轴承表面的磨损痕迹明显比传统润滑系统的轻,从运行稳定性这一维度,改造后的系统体现出更低的振动及噪音水平,设备运作愈发平稳,振动值出现了 15%~20% 的下降,润滑油的使用寿命也有了延长,让更换频率实现降低,达成了维护成本削减。

4.3 实验结果分析与改造效果评估

借助对实验数据的剖析,经改造的润滑系统大幅提升了旋转式干燥机主轴轴承的润滑成效,让轴承的使用寿命得以延展,使故障发生频率降低,改造后的系统可保证润滑油流量稳定及温度恰当,维持了润滑油的优质状态,进一步降低了轴承出现磨损及故障的几率。振动和噪音的下降体现出设备运行愈发平稳,进而提高了生产效率以及设备的可靠性,从经济获利角度审视,经过改造的润滑系统把维护成本降低了,增加了设备的使用时长,全面提升了干燥机的生产效能与经济收益,经改造的润滑系统在多个方面表现十分出色,实现了预期既定的优化方向。

5 改造设计的应用与经济效益分析

5.1 改造设计的实际应用效果

经实际应用检验,改造设计成效斐然,改造后的润滑系统成功消除了传统系统在高负荷、高温环境中润滑不均、油温不稳定等弊端,保障主轴轴承持续、均匀地接受润滑,经过多次实际投入运行测试,系统可自动调控润滑参数,实时顺应工作负荷的变动,维持处于理想润滑态,改造后的系统达成了轴承温度和振动的下降,显著降低了设备故障的频次,增长了设备的服役寿命,设备运行愈发平稳,生产效率实现显著跃升,且主轴轴承的更换周期以及维修频率显著缩短和减少,强化了设备整体的可靠水平。

5.2 改造对干燥机运行效率与故障率的影响

改造后的润滑系统在提高干燥机运行效率与降低故障率方面成效积极,借助对润滑效果的优化,改造后的系统切实降低了轴承的摩擦与磨损,以此减少了主轴轴承出现故障的比率,由实验数据可知,设备故障出现率下降了

约 30%~40%,轴承故障及损坏的现象显著削减,鉴于润滑系统稳定性的提高,干燥机的运行效率得到增进,设备可在较长的时间当中维持高效运转,降低了停机时长与生产损耗。

5.3 经济效益与成本效益分析

从经济收益的视角而言,通过改造润滑系统,实现了明显的成本节约,因润滑效果的优化,轴承使用的寿命约延长了 40%,由此降低了轴承的更换频次以及维护费用,设备故障率下降预示着维修成本削减,且生产过程中的停机时间大幅削减,实现了生产效率的提高。虽改造后的系统初始阶段投入不少,但因长期对维修成本及生产损失的节省减少,其成本回收的周期相对偏短,投资的整体回报率显著可见,改造设计把润滑油的消耗频率降低了,增进了能源利用的效率,从而让运营成本实现了进一步减少,润滑系统的改造,既提升了设备可靠性,又提高了生产效率,也带来了可观的经济收益与成本效益,为企业的长期稳定运作提供坚实后盾。

6 结语

经润滑系统改造设计,旋转式干燥机主轴轴承润滑效果显著提升,提高了设备的使用寿命长度,减小了故障出现的比率,新型润滑系统借助对润滑油分布及温控机制的优化,促进了设备稳定性及运行效率提升,独具创新的设计理念攻克了传统系统里的关键难题,优化了对润滑油的管理及监控,虽已取得了清晰可见的成效,仍具备进一步提高润滑精度和智能控制的空间,未来可深入开展系统集成与自动化方面的研究及优化工作。

[参考文献]

- [1]刁显琪,万霖,车刚,等.基于粮食干燥机旋转管壳式换热器设计与研究[J].农机化研究,2019,41(5):232-236.
- [2]王潇.新型旋转鼓风干燥机的研究设计[J].化学世界,2019,60(5):311-314.
- [3]代建武,杨升霖,XIE Yuceng,等.旋转托盘式微波真空干燥机设计与试验[J].农业机械学报,2020,51(5):370-376.
- [4]姬国强,屈冬婷.旋转圆盘干燥机在火电厂脱硫石膏处理中的应用[J].化工机械,2020,47(3):388-389.
- [5]刘法鑫,尹凤交,杜滨,等.旋转闪蒸干燥机干燥漂粉精热效率研究[J].山东化工,2021,50(3):51-52.

作者简介:史联兴(1986.12—),男,毕业院校:青海大学,学历:本科,专业:机械设计及其自动化,单位:青海山金矿业有限公司,职务:采矿副主任工程师,职务年限:16年,职称:中级工程师。

双螺杆挤压造粒机设备的维护管理

李枝博

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃二分公司, 宁夏 银川 750411

[摘要]作为高分子制品最重要的加工设备,对双螺杆挤出造粒机组进行维护管理对产品的生产率和产品质量等有重大影响。本篇文章从机组构造原理、常见故障等方面出发,给出了双螺杆挤出造粒机组综合维护管理的建议:一是应做好造粒机组运行监控、定期的螺杆机筒磨损检测、清除残余等事项,以保证避免因机、械接触产生摩擦而导致挤出波动的发生;二是加强使用管理和维护,比如日常维护、大修和小修等措施,能够有效降低其发生故障率 30%以上,并且延长主要部件寿命 20%~40%。

[关键词]双螺杆挤压造粒机; 维护管理; 影响因素

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16860

中图分类号: TQ051

文献标识码: A

Maintenance and Management of Twin-screw Extrusion Granulator Equipment

LI Zhibo

Olefin Second Branch of CHN Energy Ningxia Coal Industry Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750411, China

Abstract: As the most important processing equipment for polymer products, maintenance and management of twin-screw extrusion granulation units have a significant impact on product productivity and quality. This article provides suggestions for comprehensive maintenance and management of twin-screw extrusion granulation units from the aspects of unit construction principles, common faults, etc.: firstly, it is necessary to do a good job in monitoring the operation of the granulation unit, regularly detecting the wear of the screw barrel, and removing residues to ensure the avoidance of extrusion fluctuations caused by friction between the machine and the machinery; The second is to strengthen usage management and maintenance, such as daily maintenance, major repairs, and minor repairs, which can effectively reduce its failure rate by more than 30% and extend the life of major components by 20% to 40%.

Keywords: twin-screw extrusion granulator; maintenance and management; influence factor

引言

双螺杆挤压造粒装置作为聚烯烃制造领域的关键装备,其通过物料混合、挤压成型及造粒加工等工序,将聚合物原料转化为颗粒状产品。这种工艺显著提升了聚烯烃制品的实用性能,同时为后续的计量称重、物流运输等环节提供了便利条件。20 世纪 30 年代,意大利率先研制出首台双螺杆造粒设备,并在 60 年代末至 70 年代初迎来快速发展阶段。当前全球范围内仅有少数企业具备大型混炼造粒机组的设计制造能力,其中包括中国的大连橡塑机械有限公司。在聚烯烃工业领域,双螺杆造粒设备已获得普遍应用。我国自主研发的同向旋转式造粒机,其标准化螺杆最大直径可达 350mm;而异向旋转式设备的标准化螺杆直径最大规格为 480mm。随着生产规模持续扩大和装置日趋大型化,对聚合物树脂的混炼效率、混合均匀度以及设备运行稳定性等技术参数都提出了更严苛的标准。为满足这些要求,现代大型造粒机组普遍采用双螺杆结构设计,并配套熔体挤出装置和水下切粒系统等辅助设备。随着生产标准的不断提高,对双螺杆造粒设备本身的质量控制也提出了更高要求。这促使生产企业在制造过程中更加重视各工序环节可能出现的质量问题。只有系统性地解决生产中的常见缺陷,才能确保制造出性能优异、运行可靠的双螺杆挤压造粒设备。

1 双螺杆挤压造粒机结构特点分析

1.1 基本结构

双螺杆挤压造粒机的结构主要由主机结构、螺杆装置、进料装置、挤压装置、温控和水冷机构、分割装置、控制系统等。首先,把不同物料的颗粒投到混合器上,通过物料搅拌混合作用后掺入挤压机中,接着用两根螺杆把混合物料向前推送并通过螺纹孔,然后逐渐地变密直至到达平衡,通过调节温度改变其状态,实现熔融、均化、过筛网,最终从模具的小孔中出来,再用切粒装置把物料切成颗粒状,送入冷水系统完成收缩过程后,利用振动筛把成品筛分出来,把筛出的颗粒用空气传输系统输送储存于颗粒仓中(具体流程如图 1 所示)。

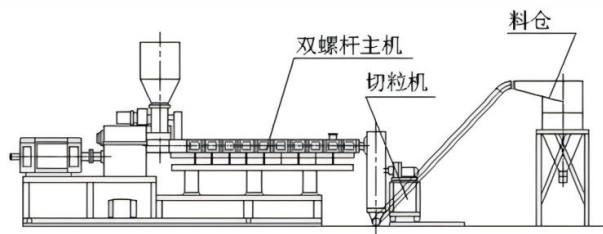


图 1 双螺杆挤压造粒机结构图

1.2 结构特点

双螺杆挤压造粒设备作为现代颗粒制造工艺中的关

键装置,在工业生产中发挥着重要作用。该设备具有以下显著特性:

(1) 产能优势显著。采用双螺旋轴协同运作的设计方案,物料在相互啮合的螺杆间经历充分剪切与熔融过程,不仅大幅提升单位时间产量,还能确保成品颗粒的均匀度达到标准要求。

(2) 原料适应性强。该机型可处理包括粉末、颗粒、流体及高黏度物质在内的多种形态原材料,展现出优异的物料兼容性能。

(3) 工艺参数可控。通过精确调控机筒温度、螺杆转速以及成型压力等关键变量,能够针对不同物料的特性进行优化设置,从而获得理想的造粒效果。

(4) 绿色生产优势。该机型通过智能调节螺杆配方参数,显著提升能源利用效率,在保证产能的同时有效控制电力消耗。其独特工艺完全摒弃传统黏合剂的使用,从源头上杜绝了有害物质的排放,实现清洁化生产。

(5) 卓越运行性能。创新性的双螺旋结构设计赋予设备出色的机械稳定性,确保连续作业时物料塑化均匀,成品颗粒的物理指标波动范围严格控制在行业标准之内,这种稳定的加工特性大幅提升了最终产品的品质一致性。

1.3 双螺杆挤压造粒机工作流程

在挤压生产过程中,螺旋输送机将聚丙烯粉末输送至挤压生产设备中,物料接受双螺旋螺杆挤压剪切,对聚丙烯物质进行压缩混炼,到达混合部件,经过该处到达熔融加工阶段,经过加热溶解使之形成具有塑化特征的熔融物质,从产出端运输至后续工作过程,在挤压生产机中的双螺旋进行热熔、混合及塑化,之后导入熔融泵内,增加了压力后通过换网器与模具,在模具内喷射,通过剪切冷却部件,从出口进行剪刀切割,以颗粒的形式从剪切冷却区内得到降温与硬化,形成热颗粒,随后将颗粒经离心脱水器进行分离。

2 挤压造粒机平稳运行的影响因素

2.1 切刀转速

切刀是挤压造粒机的要害部件,切刀的寿命及其产品形貌都与切刀的速度有很大关系。刀轴推动力与切刀速度是密切相关的,刀轴速度越高,刀轴推动力也越高。我们采取相应措施就是要适当降低刀轴油缸的推进方向的压力即进刀压,否则刀轴的推动力太大,易使切刀对模具有很大的压力而被严重磨损并导致切刀温度迅速升高,有出现淬火甚至折断切刀的危险。通过控制一定的对刀速度与油缸背压的配合可以有效解决切刀的磨损问题,有效增加切刀的使用寿命。切刀作为挤压造粒机的重要组成部分,对生产产品和自身质量都有着不可忽视的影响,同时它决定着挤压造粒机的稳定运行。因此通过控制切刀速度结合考虑切刀的锋利度、模具的磨损程度以及模具的开口率等多个因素对它们进行适当的搭配,可以有效地延长切刀的使用寿命,保证生产出的产品质量,保证挤出造粒机的稳定运行。

2.2 MFR 变化对切粒效果的影响

熔融物料挤压式制粒机的水下切粒过程中,将塑料熔融物料压塑成为颗粒,所制作出的颗粒形态以及设备运行的稳定性取决于水下切粒的效果。切粒力是指切刀与模板接触的切深程度的指标,切力数值的大小是否调整得当,将影响到切刀的有效性能的发挥,因此很少会随意调整切力。高 MFR 粒料的生产中,高 MFR 物料的熔融流动性较好,导致熔料在模板末端流压力较小,当切刀出现问题时可能导致大面积结块的出现,因此,适当调整进刀力量有利于改善粒子形状。对高 MFR 粒料生产中的情形,由于熔体流经过模板口的速度变快,就需要调节切刀的转速从而确保粒子大小的一致。切刀片与水相接触的位置使得模板温度更低,如此可以方便控制切料的熔体温度。低 MFR 粒料加工情况中,低 MFR 物料容易在孔穴中发生堵塞的出现,因此应当提高模板温度;而在高 MFR 粒料生产过程中,应当降低模板温度以降低熔体流动并保证切粒效果。

2.3 下料系统

如切片器工作不顺利是因其机械、电气和仪器故障,若出现大型物堵进料口,需查清原因,若是添加剂中单硬脂酸甘油酯凝结成大团,在较高温度下造成堵料,则应按规程重新调制添加剂并检定添加剂桶的温度,若有细长条物堵住了测定轮,可在料斗处加网或使用无盖式测定轮以解决。

2.4 退刀问题

正常生产运行状态中,切刀与模头之间不产生间隙,切粒机轴向进给时无机械制动器,切粒机进给力会产生支撑作用。加之切粒机刀口可直接作用于模头上,因此导致切粒机进给力过大就会出现切口过磨。

2.5 粉料含水量或挥发分的影响

如果聚合物粒子当中的水分和挥发含量超出合理范围,可能会导致挤压造粒装置停机,甚至导致管道堵塞问题。其原因是聚丙烯颗粒干燥不完全,一旦颗粒当中的水分含量和挥发含量超标,在输送的过程中会出现噪音或者气泡,受到高温的影响,这些水分和挥发内容会转变为气体,并在模具中释放出来,形成了推力,从而引发退刀问题。因此要控制好粒子中的水分含量和挥发量,确保挤压造粒装置正常运转。如果出现挤压造粒装置中进入蒸汽,则工作人员要暂时停止投料,并根据粉末滞留情况适当地调整挤压造粒装置工艺参数。而且在调试挤压造粒装置的时候,需要用冷水对粉末干燥器过滤器进行冲洗,降低温度,彻底将干燥器中的水分排放出去。

2.6 物料熔体的质量流动速率

模板出料截面应随物料质量流动速度快慢而定,如果物料质量流动速度快,模板出料截面将被锁定,会造成挤压模板上物料挤压出模板,加大切刀退刀力,必须控制适当物料温度,避免造成退刀情况,影响挤压造粒机的稳定。

2.7 热油的加热能力不足

由于热油加热带来的热量供给不足会影响到挤出机

正常工作,一般体现在两方面:一方面,容易造成模具口阻塞,影响流动性;另一方面,会对聚合物结晶特性产生不良影响。在聚丙烯挤出机长周期的使用中,模具口会严重阻塞,必须定期去除堵塞物。在不同反应环境下,聚丙烯结晶速度的快慢受到很多因素的影响,如随着温度的下降到一定阶段,分子运动能力下降造成结晶困难。聚丙烯的结晶速率一般是在 120~30℃时达到最高状态,而降温快速比常温结晶结果低。因此,热油加热供给不足和添加剂较多都会造成明显对聚丙烯结晶特性的影响。

3 双螺杆挤压造粒机设备的维护措施

良好的管理有利于保障设备的正常运行与操作,其中最重要的就是做好设备的正常维护工作。有效的维护保养可以使设备能够处在良好的工作环境中,将可能发生的事扼杀在萌芽之中。换言之,设备维护就是通过采取多种措施和手段,使设备始终保持在其最佳水平的过程。大概包括:

①一旦出现运行过程中偶发的问题,及时解决。

②设备运行环境变化。

③延长设备的使用寿命。在检修工艺提升的基础上,按照设备的实际操作使用时长进行测算,实行小规模维修、中期大修理及定期更换。

④杜绝一切不必要的损耗。

针对以上问题,特制定以下几条措施:

3.1 造粒主操做好实时监控

造粒主操需持续关注设备运行指标,重点监测主驱动电机的工作负荷与轴承温度、转子运转速率、熔体输送泵的负载状态与轴承温升、泵体转速、各段筒体热力参数、成型模板温度、颗粒切割装置转速、刀具受力状况以及进给调节量等关键数据。发现异常情况应立即进行参数修正,并同步通报设备维护责任人。

3.2 做好设备的使用管理

①在调试设备参数及特定状态下变化中,做好记录,向设备管理人员登记。

②设备运行中,需要定时切换或者出现异常情况时必须记录并填写设备切换操作卡,并且要通知设备管理人员做好登记备案。

③不同职工之间对设备理解程度不一致,因此要为操作工进行专业性上岗培训,确保能熟练运用并对设备本身基本原理以及工艺流程进行了解。

④操作设备的人员要做好操作手册的制定修订工作,使得工作人员按照制定修订好的手册对机器进行操作,防止产生不必要的损失。

3.3 做好设备的维护管理

3.3.1 日常维护

设备日常维护工作分为每日例行保养与每周定期保养两个部分。每日保养任务由当班操作人员负责执行,具体包括查阅交接班记录文档、依据润滑管理规范对设备进

行油料补充、现场巡检机组运行状态是否存在油料或物料泄漏现象、监控产品颗粒质量指标、保持作业区域整洁以及工具归位整理等工作内容。

每周保养项目则涉及更为系统的维护操作:定期清除添加剂输送泵内部沉积物、清洁主电动机冷却水循环系统的过滤装置、对熔融泵电机冷却水过滤器进行深度清理、按照预定周期切换备用泵运行状态、补充筒体导热油系统及熔融泵导热油装置与模板出料段导热油容器的油液储备、同时对各类风机进气口的过滤组件进行彻底清洁维护。

3.3.2 小检修维护

小检修维护工作包含多项关键操作:首先需对切粒机的刀具及成型模板进行更新替换;其次要定期更换干燥装置中的过滤网组件;同时还需对挤出机螺杆的密封部件进行更换处理。此外,还需对各类自动控制阀门的响应性能进行校准测试,并对正压通风系统的运行状态进行全面检查。最后,抽湿设备进风口的过滤装置也需要进行例行检查维护。

3.3.3 大检修维护

设备维护检修工作涵盖多项关键内容,主要包括主传动齿轮箱全面检修、减速装置故障修复、螺杆密封组件更新、反应釜导热介质置换、成型模板出料区热传导油更换、熔体输送泵热交换系统维护、颗粒切割装置维修、造粒水槽清洁作业、颗粒废水收集池清理、振动机构检修调试、物料干燥设备维护保养以及颗粒机液压系统油液更换等。这些维护措施对于保障生产装置持续可靠运转具有决定性作用,是维持设备最佳工况的核心方法。因此,必须严格实施设备养护计划,通过定期检查与监督机制,确保所有生产设备始终处于良好的工作状态。

4 结束语

挤压成型机在生产聚烯烃中占据着重要的地位,所以我们在日常操作中要严格关注其运行状态,不断地完善其工艺参数,针对挤压成型机运行过程中的各种安全问题及时进行排除,才能保障其稳定的运行状态。

[参考文献]

- [1]毕超,赵冲,王斌元.同向平行双螺杆挤压造粒机组能耗分布研究[J].中国塑料,2025,39(2):86-90.
 - [2]毕超,何智聪,嵇耀,滕祖荣.大型双螺杆挤压造粒机组齿轮箱轴系分析及齿轮箱相关核心技术[J].橡塑技术与装备,2024,50(11):52-56.
 - [3]赵思琦.聚烯烃装置双螺杆挤出机的技术发展[J].石油化工设备技术,2024,45(4):6-13.
 - [4]许宏亮.国产挤压造粒机试车及运行过程遇到的问题及处理方案[J].广东化工,2023,50(10):120-123.
 - [5]武经文.大型双螺杆挤压造粒机结构特点与制造过程质量控制措施探讨[J].中华传奇(中旬),2022(17):120-122.
- 作者简介:李枝博,(1990.11—),毕业院校:宁夏大学化学工程与工艺,国家能源宁夏煤业有限公司烯烃二分公司聚合车间设备技术员,助理工程师。

浅谈变频控制技术的日常维护及故障分析

王泽坤 李朝辉

云南华联锌铟股份有限公司, 云南 文山 663700

[摘要]近年来随着电力电子技术、计算机技术的发展。高效率、高可靠性, 高可调性、节能环保、成为现代工业发展的趋势。电机交流变频调速技术则是当今社会节电、改善工艺流程以提高产品质量和改善环境、推动技术进步的主要手段之一。变频调速以其优异的调速和起制动性能, 高效率、高功率因数和节电效果及广泛的适用范围而被认为最有发展前途的调速方式。

[关键词]变频器; 控制技术; 日常维护; 故障分析

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16862

中图分类号: TM921

文献标识码: A

Brief Discussion on Daily Maintenance and Fault Analysis of Variable Frequency Control Technology

WANG Zekun, LI Chaohui

Yunnan Hualian Zinc & Indium Stock Co., Ltd., Wenshan, Yunnan, 663700, China

Abstract: In recent years, with the development of power electronics technology and computer technology. High efficiency, high reliability, high adjustability, energy conservation and environmental protection have become the trends of modern industrial development. The technology of AC variable frequency speed regulation for motors is one of the main means to save electricity, improve process flow, enhance product quality, improve the environment, and promote technological progress in today's society. Variable frequency speed regulation is considered the most promising speed regulation method due to its excellent speed regulation and braking performance, high efficiency, high power factor, energy-saving effect, and wide range of applications.

Keywords: variable frequency drive; control technology; daily maintenance; fault analysis

近年来, 变频器以高效节能、调节方便和提高自动化程度等一系列优点, 在各个行业得到了广泛应用, 特别是普通异步电动机应用尤其广泛, 在普通异步电机中主要用于调速和节能降耗方面得到大大提升。尽管变频器的可靠性很高, 但是使用不当, 仍然会发生故障和运行不佳, 因此运行中的日常维护检查和故障分析是必不可少的, 所以正确的故障分析和日常维护对变频器正常运行起到关键的作用。

1 变频器的工作原理及分类

1.1 变频器的工作原理

变频器是将工频电源 (50hz 或 60hz) 转换成各种频

率的交流电源来实现电机变速运转的设备, 完成对主电路的控制, 整流器电路将交流转换成直流, 中间电路使整流器电路的输出平滑化。滤波和逆变电路将直流电转换为逆变交流电。需要大量计算的转换器 (如矢量控制转换器) 可能需要用于计算扭矩的 CPU 或相应电路。变频调速是通过改变电动机定子绕组的供电频率来调节调速。变频器的工作原理如图 1。

1.2 变频器的分类

变频器有多种分类方法, 具体如表 1 变频器的种类。

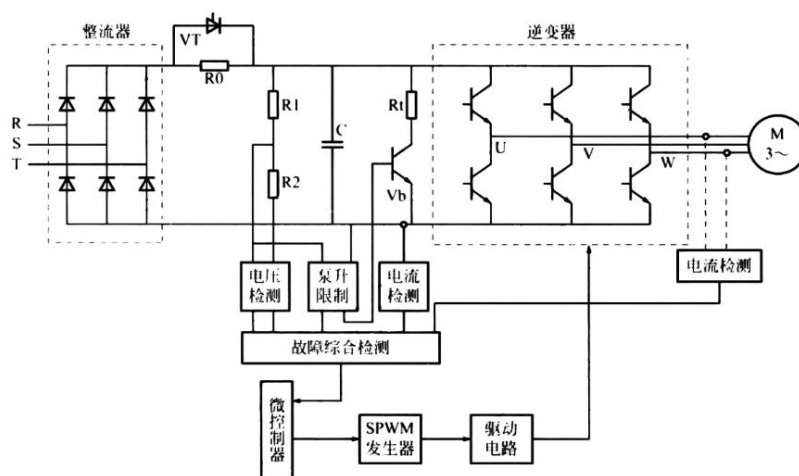


图 1 工作原理图

表 1 变频器的种类

按照方式	类型				
主电路工作方式	电压型变频器		电流型变频器		
开关	PAM 控制变频器	PWM 控制变频器	高载频 PWM 控制变频器		
工作原理	V/f 控制变频器	转差频率控制变频器	矢量控制变频器		
用途	通用变频器	高频变频器	单相变频器	三相变频器	高性能专用变频器

2 变频器调速的应用

变频器调速的应用非常广泛,涵盖了多个领域和场景。以下是其主要应用:

2.1 工业应用

在工业生产中,变频器调速广泛应用于各种机械设备,如风机、水泵、压缩机、输送带等。通过变频器调速,可以实现电机的平滑启动和停止,减少机械磨损,延长设备寿命,同时根据生产需求调节转速,达到节能降耗的目的。

2.2 节能降耗

变频器调速能够显著降低电机的能耗。例如,在风机和泵类负载中,采用变频调速后节电率可达 20%~60%。此外,变频器还可以减少电网电压波动和污染,提高电网的稳定性。

2.3 提高工艺水平和产品质量

在纺织、化工等行业中,变频器调速能够优化工艺流程,提高产品质量。例如,纺织机械中的变频调速可以简化机构,提高生产效率,减少断头率。

2.4 自动化系统中的应用

在自动化系统中,变频器调速也有广泛应用。例如,化纤工业中的卷绕、拉伸、计量、导丝设备,玻璃工业中的平板玻璃退火炉、玻璃窑搅拌、拉边机等,都通过变频调速实现精确控制。

2.5 特定设备的应用

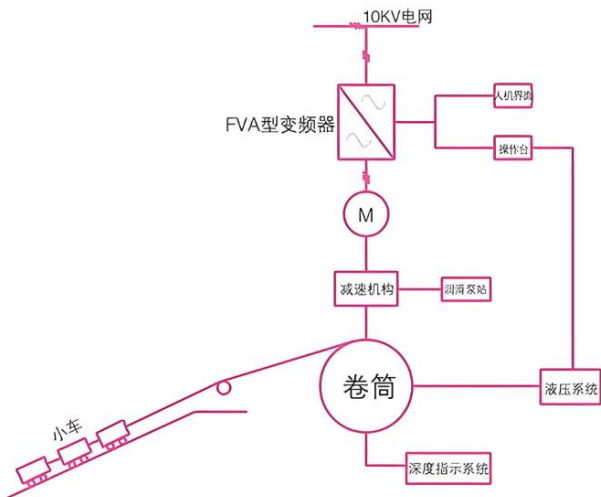


图 2 现场工艺工况

在电梯、电弧炉等设备中,变频器调速能够提供智能控制,改善设备的运行工况,提高设备的可靠性和使用寿命。新型风光提升机变频器可以与矿井提升机之间产生更高的兼容性,能够更好地强化矿井提升机的性能、充分地发挥出变频控制技术的优势,未来将在矿井提升机中展现出更加广阔的应用前景。现场工艺工况如图 2。

3 变频器的日常维护

定期检查变频器的运行情况,包括功能是否正常、人机界面参数是否正确、启动后能否正常完成自检进入准备状态等。

3.1 注意事项

3.1.1 电气维护人员必须熟悉变频器的基本原理,功能特点

变频器上电之前先检测变频器进出导线绝缘有无破损,短路、接地,周围环境的温度及湿度,温度是否过高,湿度过高会导致变频器过热报警,严重时会导致变频器功率器件损坏、电路短路;空气过于潮湿会导致变频器内部直接短路;

3.1.2 在变频器运行时要注意其冷却系统是否正常

环境状况和温度检查,确保变频器在适宜的温度范围内运行,特别是在夏季,要加强场地的通风,清洁变频器电箱通风孔和过滤层,检查冷却风扇是否正常工作。库存变频器的维护,如果变频器闲置了一年或更久时间,再次使用前必须使用直流电源装置充电,以恢复其状态。电动机抗器、变频器等是否过热,有异味:变频器是否有异常响声;变频器面板电流显示是否偏大或电流变化幅度太大,输出 UVW 三相电压与电流是否平衡等。若变频器故障停机,需要打开变频器时检查时必须断开变频器进线电源及控制回路电源,等待 5 到 15 分钟后,待变频器电容充分放电后才可以拆开变频器检查。

3.2 变频器日常巡检项目

- ①变频器操作面板是否有报警或故障代码。
- ②清洁工作,清理散热风扇和通风口,确保通风良好,检查柜内是否有导电杂物,漏水和无积水。
- ③检查配电柜内有无异响、异味、异振动,导线有无烧焦、变色,导线接头有无拉弧、起火花现象。
- ④检查变频器冷却风扇是否正常工作,配电柜冷却风扇是否正常,变频器冷却风进、出口,配电柜风扇进、出口是否堵塞或积尘严重。
- ⑤检查电机温度是否过高、有无异响和异常振动。变频器和电动机接地是否良好。

3.3 定期检查维护项目

①定期对变频器进行清洁,清除柜体表面和内部的灰尘、杂物,必要时可将整流模块、逆变模块和控制柜内的线路板拆出后进行除尘。变频器下进风口、上出风口是否积尘或因积尘过多而堵塞。变频器因本身散热要求通风量大,故

运行一定时间以后,表面积尘十分严重,须定期清洁除尘。

②紧固检查,定期检查变频器内部的接线端子、螺栓等连接部位是否紧固,防止松动引起接触不良或发热,由于温度上升、振动等原因,常常会引起紧固件或固件松动,故需要对控制电路端子连接部分进行重新加固。

③检查短路器、接触器、中间继电器的触头有无损坏,或粘死。若有则及时更换。

④检查操作机构,如按钮、电位器、手操器等有无损坏。

4 故障分析及处理方法

4.1 过载、过电流

变频器频繁跳闸,显示过载报警。原因可能是负载过大、机械卡滞或电机故障。解决方法是检查负载情况,确保负载在变频器的额定范围内,检查电机是否存在机械卡滞,必要时进行维护或更换电机。

①检查负载是否过重,检查机械是否卡死。如砂泵是否堵死,砂泵叶轮和泵体有无摩擦,泵、电机轴承有无损坏或缺油。

②检查电机是否烧坏,电机接线是否正确,导线是否有破损,导线绝缘是否达到要求。

③检查变频器电机参数是否跟实际匹配,加减速时间是否过短。

4.2 过电压

①检查变频器供电电压是否过高。

②检查加减速时间是否过短。

4.3 欠电压

①检查变频器供电电压是否过低或缺相。

②检查电源电压是否稳定。

4.4 接地及过流

①检查电机是否烧坏。

②检查电机导线绝缘。

③检查电机参数是否设置正确,加速时间是否过短。

④检查变频器主电路整流模块、IGBT 模块、数据采集板及主板即驱动板件是否烧坏。跳线是否正确。触发板与 IGBT 是否接触良好规范,能否有效触发。(注:部分变频器电流限制须跳线。)

4.5 变频器过热

变频器发热严重,自动停机。原因可能是散热不良、环境温度过高或风扇故障。解决方法是确保变频器周围有足够的散热空间,清理散热器上的灰尘,检查风扇是否正常运转,必要时更换风扇。

①检查变频器风扇是否全部运行正常,冷却风进出口是否堵塞或积尘严重,冷却风扇连接线是否松动,配电柜通风是否良好,配电柜风扇是否工作正常等。(注:部分变频器主板或者信号采集板有单独散热风扇须拆开变频器检查更换。)

②检查负载是否过重,检查机械是否卡死。如砂泵是

否堵死,砂泵叶轮和泵体有无摩擦,泵、电机轴承有无损坏或缺油。

4.6 不能加减速或加减速与反馈频率不一致或波涌较大

电机转速波动,无法保持稳定。原因可能是反馈信号异常、PID 参数设置不当或负载变化剧烈。解决方法如下:

①检查频率信号源的链接,如按钮、电位器、手操器是否正常,调整 PID 参数,优化控制效果。

②检查变频器参数设置是否与实际信号线相符合。

③若是用模拟量输入则频率信号的类型是否与参数设置一致,信号跳线是否正确。

④检查电表或电位器模拟量信号的大小范围是否与变频器参数设置一致。

⑤若用仪表如液位、流量、压力等经信号隔离器作为频率源则还需检查信号隔离器是否烧坏,信号隔离器的选型是否正确。仪表工作是否正常。仪表输出信号类型是否正确等。

⑥检查 I/O 板即接线端子板或者具体端子是否烧坏。如电位器调频+10 端子与 GND 是否有 10V 电压。若用开关量接线端子则须检查参数是否与实际接线吻合一致,端子具体功能以接线参数是否正确,端子与按钮是否连接良好。

4.7 变频器启动不了或启动就报故障

①检查启动信号回路是否完好其,如按钮。继电器是否完好,线路有无短路或断路。

②检查实际接线与图纸或说明书是否一致。

③检查实际接线与所设参数是否一致。

④检查操作模式是否正确,变频器的控制模式是否正确;

⑤检查 I/O 板即接线端子板、主板、信号采集板、IGBT 等板件是否积尘严重,有无烧坏痕迹。

⑥检查负载是否过重,检查机械是否卡死。如砂泵是否堵死,砂泵叶轮和泵体有无摩擦,泵、电机轴承有无损坏或缺油。

⑦检查有无外部连锁条件,如变频电机与风扇有无连锁,与其他设备有无顺序控制连锁等。

4.8 通讯故障

变频器与上位机或其他设备无法正常通信。原因可能是通信线路故障、参数设置错误或协议不匹配。解决方法是检查通信线路,确保无断路或短路现象,确认参数设置是否正确,特别是波特率和协议类型

4.9 电源故障

变频器无法启动,显示屏无显示或闪烁。原因可能是电源电压不稳定、接线松动或断路。解决方法是检查电源电压是否正常,确认接线是否牢固,必要时重新连接。

5 结束语

变频器调速技术作为高新技术、基础技术、节能技术,

已经渗透经济领域中。今后我国在变频器调速技术方面应积极作好以下几点:①用变频器调速技术来改造传统产业,节约能源及提高产品质量,获得较好的经济效益和社会效益;②大力发展变频器调速技术,必须把我国变频器调速技术提高到一个新水平,缩小与世界先进水平的差距,提高自主开发能力,满足重点工程建设和市场的需求;③规范我国变频器调速技术方面的标准,提高产品可靠性工艺水平,实现规模化、标准化生产。

[参考文献]

[1]俞大光.电工基础(修订本)上册[M].北京:高等教育出版社,1964.

[2]魏金玉,王衡.煤矿机电变频控制技术与节能应用研究[J].河南科技,2019(7):68-69.

[3]闫军.关于煤矿机电变频控制技术与节能问题探讨[J].资源节约与环保,2019(2):1.

[4]张速江.PLC 变频器在工业中的应用[J].通信电源技术,2018,35(2):137-138.

作者简介:王泽坤(1987.9—),男,云南马关人,汉族,本科学历,云南华联锌铟股份有限公司,从事电气设备管理工作;李朝辉(1993.3—),男,云南砚山人,壮族,本科学历,云南华联锌铟股份有限公司,从事电气设备管理工作。

超期服役真空转鼓过滤机长周期运行研究

惠红鲸 孙源智 刘 闯 金圆圆

中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司, 辽宁 抚顺 113000

[摘要]真空转鼓过滤机原产于德国 DORR 公司生产, 是通过连续过滤将蜡从蜡、油和溶剂的冷冻混合物中分离出来, 是酮苯产蜡装置生产的主要核心设备, 其如何实现长周期运行行为生产提供可靠保障尤为必要。

[关键词]真空转鼓过滤机; 泄漏; 长周期; 转鼓油气平衡超声回收装置

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16887

中图分类号: TE9

文献标识码: A

Research on Long Cycle Operation of Extended Service Vacuum Drum Filter

HUI Hongjing, SUN Yuanzhi, LIU Chuang, JIN Yuanyuan

PetroChina Fushun Petrochemical Branch, Fushun, Liaoning, 113000, China

Abstract: The vacuum rotary drum filter machine is originally produced by DORR company in Germany. It separates wax from a frozen mixture of wax, oil, and solvent through continuous filtration. It is the main core equipment for the production of ketone and benzene wax. It is particularly necessary to achieve long-term operation to provide reliable guarantee for production.

Keywords: vacuum drum filter; leak; long cycle; drum oil gas balance ultrasonic recovery device

引言

超期服役转鼓真空过滤机(投入运行超设计寿命(20年))运行中频发故障:“非驱端传动轴和耳轴螺栓折断、传动轴(驱动端)折断、耳轴(非驱端)轴套开裂、耳轴(非驱端)折断和转鼓内带液等一系列较大问题。”连续运行周期仅为8个月,难以实现长周期运行。

经研究分析,超期服役转鼓真空过滤机鼓内积液是设备故障根本问题,增设双舀出装置、滤机斗管引出装置和转鼓油气平衡超声回收装置等一系列设备基本实现长周期运行。

1 超期服役转鼓真空过滤机故障频发分析

现场故障现象。

1.2 故障频发分析

真空转鼓过滤机转鼓在长期冷热交变载荷(工艺操作决定)作用下,造成转鼓表面收液管焊口存在微裂纹,溶剂慢渗入转鼓内累积至50%液面(工艺处理时已验证),其附加载荷增加34t,造成滤机非驱动端耳轴力矩增大,

在剪切力作用下耳轴轴套疲劳应力开裂,耳轴轴套开裂属导致耳轴螺栓折断,最终造成“转鼓轴套开裂、耳轴折断、转鼓下沉、转鼓滤布和绕线及刮蜡板损坏等一系列故障。”

2 真空转鼓过滤机相关基础设计原点

2.1 真空转鼓过滤机设计力学模型

因转鼓两侧为半轴设计,其初始力学模型为:转鼓(含传动轴和耳轴)在垂直方向承受上下弯曲交变应力载荷,转动只附加载荷而已。同时在申请专利(指103m²转鼓真空过滤机)前委托第三方检验机构(国家资质)按此力学模型进行了有限元应力分析,得出结论:“转鼓两侧及端板、传动轴和耳轴定位盘及输蜡器中间连接法兰其根部”承受应力最大,同时非驱端应力值远高于传动端应力值。

基于以上力学模型及应力分析,兰州兰石重型装备股份有限公司和德国DORR公司生产的103m²转鼓真空过滤机强度数据对比如下:



图1 真空转鼓过滤机现场故障部位图



图2 真空转鼓过滤机现场故障部位图

表 1 进口和国产设备数据对照表

项目	制造单位单位	德国 DORR 公司	兰州兰石重型装备股份有限公司
转鼓自重		21 吨	24 吨（因改进部分增加重量）
转鼓筒面板厚和端板板厚		8mm; 10mm	8mm; 12mm
传动轴和耳轴最大轴径及连接螺栓尺寸		Φ195mm; M24×70	加粗尺寸; M27×90
转鼓轴套外加强筋板数量及长度	6 件; 直径方向一半长度		10 件; 直径方向全长且与鼓面板相焊
转鼓轴套内加强筋板数量及长度	6 件; 直径方向全长		10 件; 直径方向全长且与外套筋板相焊

以上理论分析也验证了德国 DORR 公司生产的 103m² 转鼓真空过滤机超期服役出现了“传动轴和耳轴螺栓折断、耳轴轴套开裂、改进轴套后耳轴折断和输蜡器联轴器滚键”一系列故障现象。

2.2 过滤机转鼓集液管焊口分布、数量、焊接方式和气密方案

(1) 转鼓表面收液管 900 根, 鼓内收液集合管 60 根, 两者组焊后耐压试验合格后与转鼓组焊, 转鼓外表面强度焊, 内表面密封焊。

(2) 进分配头收液管 Φ60 和 Φ48 管各 30 根, 总计 60 根分配头收液管。与鼓内收液集合管采用套接短管角焊缝施焊, 与分配头端板进行表面角焊缝强度焊和强度胀（为最大限度贴合）。

基于以上制造过程进行分析, 转鼓集液管最可能泄漏是表面收液管。同时兰石重装要求舀出装置外伸管必须时刻保持通畅, 否则会导致“转鼓鼓面长期在冷热交变载荷下, 转鼓表面收液管焊口开裂”。

(3) 转鼓各部件组焊结束后进行气密, 鼓内灌 20% 液位煤油, 转鼓表面焊口涂表面着色剂, 封闭人孔进行通风加压至 0.035MPa 进行气密, 气密时间为 3 天, 其间慢速转动转鼓。通过观察转鼓表面着色剂是否浸润来确认集液管焊缝合格。

3 转鼓内存液事宜探讨

每次设备故障发生后, 发现转鼓内存有近 50% 溶剂。经多方研究探讨, 初步意见如下:

(1) 鼓内存有近 50% 溶剂, 其附加载荷增加 34t, 最终造成“转鼓轴套开裂、耳轴折断、转鼓下沉、转鼓滤布和绕线及刮蜡板损坏等一系列故障。”

(2) 溶剂进入转鼓内按设备结构存在两条通道, 一是从传动端斗管处延舀出装置反向进入转鼓。二是转鼓集液管泄漏造成。

4 故障解决方案对比

4.1 耳轴及轴套修复方案

现场通过切削和焊接等措施更换真空转鼓过滤机轴

套, 修理生效费用 29.5 万元, 质保期一年。现场修理存在必然安全风险, 而且每次修理周期近一个月, 车间消耗人力很大, 而且生产承担工作压力也很大。综述此方案施工现场难度大且安全风险高, 同时施工时间较长且无法杜绝此类转鼓故障再次发生。

4.2 转鼓修复及验收方案

现场对真空转鼓过滤机转鼓表面收液管焊口进行修复后, 转鼓气密验收工作执行困难非常之大, 煤油费用和装卸煤油时间及能否一次气密成功都是现场工作的难点。与兰石重装深度交流后确认现场可行的转鼓气密方案: 在槽体内灌水, 转鼓内通风, 转鼓表面附属配件全部拆除反做气密。此方案现场可行, 但是能否检查出集液管焊口开裂有待于实践证明, 同时也验证了转鼓表面收液管焊口进行现场修复工作难度之大且可行性未知。

4.3 真空转鼓滤机转鼓更换方案

国内兰石重装初步报价 128 万元, 设计寿命运转 20 年。国内兰石重装生产的转鼓总重 24t, 而现场滤机厂房桥式起重机台账登记额定起重量为 32t, 满足使用; 转鼓鼓长 9.5m, 现场吊装间尺寸满足。利用装置检修期间进行更换是可行的。更换前应考虑转鼓制造工期 6 个月。综述此方案一劳永逸。

4.4 故障最终解决方案

增设双舀出装置、滤机斗管引出装置和转鼓油气平衡超声回收装置等一系列设备, 同时在传动轴后端盖加设定尺寸四氟环, 将渗入转鼓内溶剂通过舀出装置和引出装置导入转鼓油气平衡超声回收装置, 由 PLC 控制超声波液位仪 (30%~100%) 实现自动回收进三部真空抽回系统, 此方案投资少 (总计设备费 8.1 万元) 实现真空转鼓过滤机长周期运行。图纸如下图 3 和图 4:

5 单台提质增效实现 469.1 万/年

效益计算: 节约过滤机转鼓修理费 59.6 万/年, 溶剂回收节约消耗 4.5 万, 实现全年满负荷生产, 挽回蜡量损失 405 万 (每天降量 30 吨, 累计 45 天, 蜡收率 40%, 蜡销售单价 7500 元/吨), 同时降低生产操作安全风险。

6 真空转鼓过滤机长周期运行操作执导意见

按照基础设计, 操作液面达至转鼓下半径的 2/3 处, 此时转鼓为零受力位。考虑实际运行, 按设计要求操作液面必须达至转鼓下半径的 1/3 处和 2/3 处的中间位 (即操作液位距转鼓最底部为 876mm)。同时操作液位达到设计要求时, 工作中心扇角满足真空要求, 有效提高转鼓真空度。

德国 DORR 公司生产的 103m² 转鼓真空过滤机给定操作液位标尺线距转鼓最底部现场测量为 810mm。按要求进行反推, 要求正常生产时操作需达到 16%。

两者操作液位虽有差距, 可能因转鼓自重不同, 其设计稍有差异, 但设计理念核心思想一致。

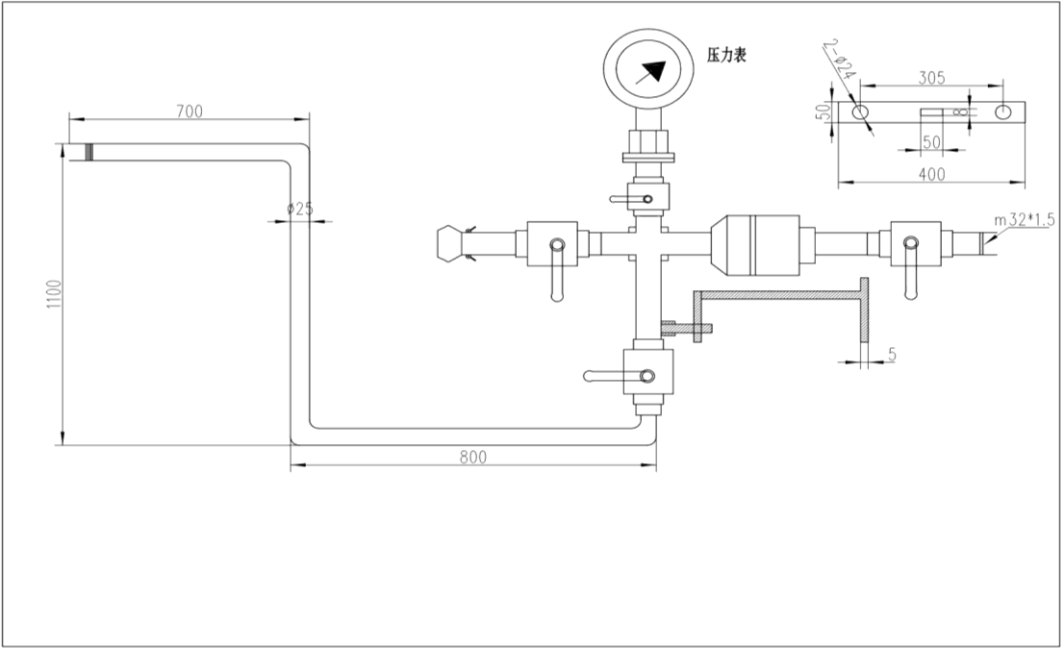


图3 引出装置图

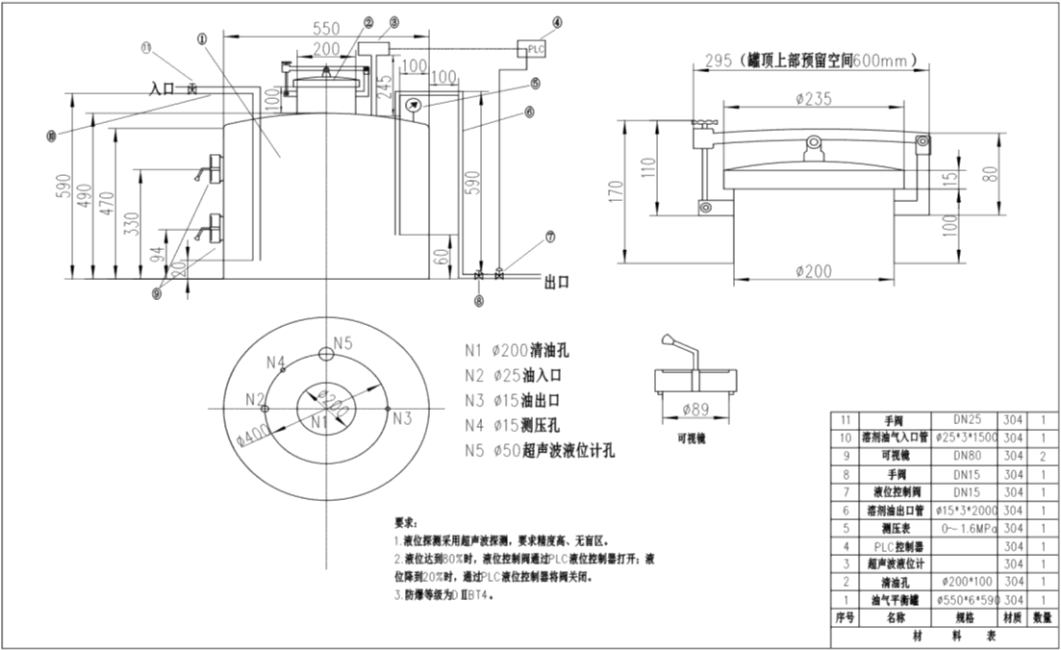


图4 转鼓油气平衡超声回收装置图

[参考文献]

[1]兰州兰石重装设备股份有限公司转鼓真空过滤机设计说明[Z].
[2]脱蜡转鼓真空过滤机质量等级评定及检查细则: SH/T2001-91[Z].
[3]外滤面转鼓真空过滤机: JB/T3200-1997[Z].
[4]脱蜡转鼓真空过滤机技术条件: SH2001-91[Z].
作者简介: 惠红鲸 (1971.1—), 男, 工程师, 目前就职

于中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司, 设备主管岗位, 一直从事厂设备管理工作; 孙源智 (2004.2—), 男, 本科, 长沙理工大学, 给排水专业, 从事设备设计工作; 刘闯 (1983.2—), 男, 助理工程师, 就职于中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司, 运行工程师岗位, 长期从事脱蜡脱油装置设备管理工作; 金圆圆 (1978.9—), 男, 技师, 中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司, 班长岗位, 长期从事脱蜡脱油装置生产工作。

充填采矿技术的应用研究

刘海龙

北京首钢矿山建设工程有限公司, 北京 100000

[摘要]充填采矿技术属于现代矿山开采体系里的重要部分,借助主动对采空区力学环境加以调控来达成安全且高效的开采目标。文章全面阐述了干式、湿式、膏体以及胶结充填技术各自的工艺特点与适用范围,深入剖析了充填体的力学性能和围岩之间相互作用的机制。同时结合当下技术的发展态势,从灾害防治、材料创新、工艺融合等多个方面说明应用的实际情况,并提出了包含渗透调控、参数优化、系统集成、材料改良以及质量管控在内的五位一体的技术优化路径,以此为构建安全可控制、绿色环保、智能高效的充填采矿体系给予理论方面的有力支撑。

[关键词]充填采矿;膏体流变;协同支护;材料改性

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16885

中图分类号: TD823

文献标识码: A

Application Research on Backfill Mining Technology

LIU Hailong

Beijing Shougang Mining Construction Engineering Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: Backfilling mining technology is an important part of the modern mining system, which achieves safe and efficient mining goals by actively regulating the mechanical environment of the goaf. The article comprehensively elaborates on the process characteristics and application scope of dry, wet, paste, and cemented filling technologies, and deeply analyzes the mechanical properties of the filling body and the mechanism of interaction between surrounding rocks. At the same time, based on the current development trend of technology, the actual application situation is explained from multiple aspects such as disaster prevention and control, material innovation, and process integration. A five in one technological optimization path including infiltration control, parameter optimization, system integration, material improvement, and quality control is proposed, which provides strong theoretical support for building a safe, controllable, green, environmentally friendly, intelligent and efficient backfill mining system.

Keywords: fill mining; paste rheology; collaborative support; material modification

充填采矿技术依靠人工构建充填体来达成对采空区的主动支撑,从根源上对传统采矿所引发的岩层移动规律予以改变。伴随深部开采以及复杂矿体开发需求不断增长,这项技术在控制地表沉陷、改善地压显现状况、处置工业固废等诸多方面都彰显出独有的优势。当下技术的发展呈现出材料科学、岩土力学以及智能控制等多学科相互交叉的特点,其关键点在于处理充填体强度时效性、工艺经济性以及环境协调性三者间的动态平衡难题。

1 充填采矿技术分类

1.1 干式充填

将干燥的固体充填材料(如废石、尾砂等)直接充填至采空区,通过机械夯实或自然沉降,形成致密充填体。这种方法简单易行、成本低,但充填体强度较低,适用于地表岩层稳定、采深较浅的矿山。

1.2 湿式充填技术

湿式充填所采用的介质是尾砂浆体,借助水力梯度来达成管道的自流输送。在沉降进程里,尾砂颗粒会形成层状的堆积结构,而其固结的速度会受到浆体浓度、颗粒级配以及絮凝剂类型等多方面因素的共同作用。其中的关键技术参数有临界流速、沉积坡度以及泌水速率,这些参数

需要依靠流变试验来确定最为适宜的输送浓度区间。此技术对于细粒级尾砂有着不错的适应性,然而也存在着充填体强度增长较为缓慢、采场脱水周期偏长等一系列问题,所以得配合分段隔离的相关措施一同使用。

1.3 膏体充填技术

膏体充填借助对骨料级配以及添加剂配比加以调节的方式,让混合料呈现出非牛顿流体所具有的特性,并且将屈服应力的范围控制在 200~800Pa 这一区间内。它的核心优势就在于能够在高浓度的条件之下达成稳定的输送效果,其中充填体的塌落度能够维持在 15~25cm 这样一个较为理想的区间范围。经过微观结构方面的分析可以发现,膏体在受到剪切稀化的作用影响之时会形成三维网状的骨架结构,而且同时具备触变性以及自密实性这两种特性。这项技术能够在很大程度上降低井下脱水的负荷,不过对于搅拌设备的功率以及管道的耐磨性都有着比较高的要求。

1.4 胶结充填

在干式或湿式充填料中掺加水泥、粉煤灰等胶凝材料,利用胶凝材料水化形成的水化产物,将松散颗粒胶结成整体,获得高强度充填体。胶结充填适用于对采空区稳定性要求高的矿山。

2 充填采矿技术的应用现状分析

2.1 矿井灾害防治领域

充填体于矿井灾害防控领域呈现出多维度的力学调控效能。依靠充填体和围岩的协同变形机制,能够对采场三维应力场分布予以重新构建:在垂直方向上,凭借充填体弹性模量与围岩刚度相匹配的情况,进而产生“弹性支座”效应,使得顶板下沉量得以降低;而在水平方向方面,借助充填体侧向约束力来抑制围岩塑性区不断扩展,把岩爆风险区域的应力集中系数控制在 1.5 以下^[1]。就突水通道封堵这一情况而言,胶结充填体经过对骨料级配以及胶凝材料掺量加以优化之后,便形成了双重防渗结构——其中粗骨料骨架起到机械阻隔的作用,而胶结相填充微孔隙则可使渗透率降至 10^{-6}cm/s 这样的量级。对于多中段开采所出现的应力叠加效应,采用“高模量核心区+梯度过渡层”这种差异充填设计方式,利用充填体弹性模量从 20GPa 一直到 5GPa 呈现出的连续变化状况,达成采动应力波阻抗的渐进式衰减效果。除此之外,充填体与注浆加固技术联合起来进行应用,能够在断层带形成复合承载体,通过注浆结石体来提升充填界面的抗剪切能力。

2.2 充填材料与工艺创新

固废基胶凝材料体系打破了对传统水泥的依赖状况,借助多尺度活化技术来挖掘工业固废所蕴含的潜在活性。在机械活化环节,运用行星式球磨机来达成矿渣比表面积超出 $600\text{m}^2/\text{kg}$ 的目标,进而推动玻璃体结构出现解聚情况;就化学激发而言,挑选钠水玻璃和硫酸盐复合激发剂,由此使得赤泥当中的活性铝硅酸盐溶解率得以提升,达到了 75% 以上的程度。在材料改性的层面,聚羧酸减水剂和纳米二氧化硅发挥出协同效应,能够把充填料浆的流动度提升 30%,与此同时还将泌水率减少到 2% 以内。工艺创新主要集中在骨料预处理以及浆体稳定性控制这两个方面:旋流分级装置凭借对底流口直径以及进口压力加以调节的方式,实现了对尾砂-0.074mm 粒级含量的精准把控,使其控制在 35%~45% 这个区间范围;真空脱水系统采用多孔陶瓷滤板以及负压梯度加载技术,促使滤饼含水率降低至 18% 以下。新型搅拌工艺依靠双轴异速剪切的作用,消除了膏体充填料里面的团聚结构,从而确保流变参数变异系数小于 5%。

2.3 采矿方法技术融合

充填工艺同采矿方法相互融合,由此催生出多种具有适应性的技术体系。阶段嗣后充填依靠“回采-充填-养护”这三个阶段的时序来加以控制,以此保证充填体强度的发展速率能够和采场的暴露时间相匹配,其中最为关键的控制指标在于充填体在 3 天时的强度要达到 1MPa 以上。在房柱法的优化过程当中,胶结充填体和原本就存在的矿柱共同构成复合支撑结构,借助弹性模量匹配方面的设计,从而实现应力能够均衡地分布^[2]。对于倾斜矿体的开采情况而言,所研发出来的走向分段充填法通过调节充填步距

以及接顶角度这两方面,可有效地对上盘围岩的剪切滑移量予以控制。在关键技术层面取得的突破主要表现在充填接顶工艺的革新上面,也就是利用气动助推系统并配合膨胀剂的添加,如此一来,接顶率从传统工艺下的 70% 提升到了 95% 以上,并且充填体与顶板之间接触应力分布的均匀性也提高了 40%。

2.4 智能化施工技术进展

充填施工在向智能化转型的过程中,其核心是以数据感知、分析以及决策所形成的闭环。物联网监控系统把科氏力质量流量计、 γ 射线浓度计等一系列传感装置集成起来,其采样频率能够达到每秒 10 次,如此一来便能实现对料浆密度的精准控制,其控制精度可以达到 $\pm 0.01\text{t/m}^3$ 这样的程度。深度学习所构建的管道堵塞预警模型借助卷积神经网络来提取压力波形的时频特征,能够在管道堵塞刚开始出现苗头的时候,提前 30min 就发出预警信息。运用 BIM 技术所构建的充填数字孪生体,将地质模型、设备参数还有施工日志等方面的数据都集成到了一起,再通过碰撞检测算法对管道布置方案加以优化,使得弯头的数量减少了 40% 以上。智能调控系统采用的是模型预测控制算法,能够实时对搅拌能耗以及管道输送效率进行优化处理,进而让每吨充填材料的电耗降低了 25%。机器人巡检装置上搭载了三维激光扫描仪,它能够自动识别出充填挡墙上的裂缝,并且还能评估其结构的安全等级,其检测效率相比于人工而言提升了足足 8 倍之多。

3 充填采矿技术应用策略优化

3.1 矿井水害协同防治体系构建

矿井水害的防治工作应当从充填体渗透性能以及水文地质条件这两方面着手展开协同调控相关事宜。其中,充填体渗透系数和含水层导水能力所呈现出的匹配关系,在构建阻水屏障这一过程中占据着极为关键的地位,属于核心要点所在。借助多孔介质渗流理论来构建渗透率与水力梯度之间的耦合方程,以此对不同孔隙率分布状况下对地下水渗流路径所产生的改造成效加以量化分析。凭借基于 CT 扫描所开展的充填体三维重构技术,能够精准地识别出微观层面的渗流优势通道情况,并且将分形维数计算方法融入其中,以此来对骨料级配进行相应的优化处理。在细颗粒用于填充粗骨料间隙的基础之上,进一步引入纤维材料,以此增强孔隙的曲折程度。水文地质模型需要把非饱和渗流方程以及达西定律加以集成整合起来,通过运用有限元法对充填体和围岩接触面所存在的水力耦合行为展开模拟操作,从而动态地去评估充填体渗透时效性对于承压水头抑制效率所产生的影响情况。对于高水压地层而言,要采用多层异质充填结构来进行设计,具体来讲就是在表层设置低渗透胶结层,以此来阻断初始渗流现象的发生,而在内部则要保留适度的透水通道,借此实现压力的缓释作用,进而形成一个“堵疏结合”的立体防控体系。

3.2 爆破-充填一体化参数设计

爆破作业和充填体稳定性之间存在着较强的时空关联性,所以得建立起爆破能量场以及充填体动力响应的协同控制机制才行。运用离散元-有限差分耦合算法来模拟爆炸应力波在充填体里面的传播特点,着重去分析纵波速变化的规律还有剪切滑移面扩展的走向,进而确定充填体临界振动加速度的阈值^[3]。在中深孔爆破方面,采用空气间隔装药的结构形式,借助调节径向不耦合系数的方式来控制爆生气体的作用时长,凭借应力波叠加所产生的效应形成较为平滑的破裂面。鉴于充填挡墙对于振动比较敏感这一情况,依据小波包能量分析法提取出爆破振动信号的频带能量分布方面的特征,由此建立起挡墙固有频率和爆破主频之间的避让准则。另外还开发了充填体-围岩系统的振动传递函数模型,通过传递矩阵法来计算不同位置处振动速度的衰减系数,从而制定出分区域的爆破药量控制标准。引入预裂爆破技术,以此形成应力隔离带,并且利用充填体的塑性变形来吸收残余振动能量,最终达成采动扰动和充填稳定所呈现出的动态平衡状态。

3.3 高可靠性充填系统建设

充填系统的可靠性要想得到提升,得从结构材料、输送工艺以及应急保障这三个方面一同着手去优化才行。就结构材料而言,纳米改性混凝土挡墙在制作过程中掺入了二氧化硅气凝胶颗粒,如此一来便在材料内部成功构建起了纳米级的闭孔结构,进而让其抗渗性能得以突破以往达西定律所适用的边界范围。借助反应分子动力学来模拟水泥水化产物和纳米材料之间的界面结合机制,以此对改性剂的掺量以及分散工艺的各项参数加以优化处理。再看输送工艺方面,管道输送系统会依据浆体流变特性的曲线情况,运用哈夫曼方程来计算各个不同管路段的沿程阻力损失。其中,通过变径的设计方式使得自流段的管径能够增大15%~20%,以此达到降低流速梯度的目的;而泵压段则采用锥形渐缩管的方式来维持剪切速率处于恒定的状态。至于应急保障环节,设置了以PLC控制为基础的应急缓冲仓,当检测到管道压力出现突发性变化的时候,该应急缓冲仓能够自动切换输送路径。备用泵站这边则采用双电源冗余以及液压蓄能器这两种手段,以此来保障整个系统能够实现零延迟的启动状态。另外还开发出了管道磨损寿命的预测模型,结合EDEM软件对骨料颗粒针对管壁所产生的微切削作用展开模拟,从而建立起管壁厚度、输送压力以及使用寿命之间相互对应的映射关系。

3.4 绿色充填材料研发路径

固废基胶凝材料的研发工作需要突破活性激发以及界面强化方面的关键技术。赤泥所制备的地质聚合物借助碱激发剂来溶解铝硅酸盐玻璃体,进而形成由 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 与 $[\text{AlO}_4]^{5-}$ 构成的三维网络结构,其反应的程度能够凭借核磁共振谱 ^{29}Si 化学位移值来进行量化的表征。煤矸石热

活化运用的是两段式的煅烧工艺,先是于 650°C 的温度下脱除羟基水以此来增强无定形相的含量,接着在 850°C 的温度下促使莫来石晶相发生重构,进而提升其火山灰活性。当钢渣微粉和热活化煤矸石按照1:2的质量比例进行复配的时候, CaO/SiO_2 的摩尔比能够达到0.8~1.2这个胶凝反应的最佳区间范围。对于环境相容性的评价而言,需要通过动态淋溶试验来测定重金属离子的累积释放量,并且采用地球化学模拟软件来预测在百年这样的尺度范围内污染物的迁移规律,以此确保充填体可以成为重金属的永久固化载体。

3.5 全周期充填质量管控体系

充填体全周期性能演化监测工作需要将多源信息感知以及大数据分析技术相互融合起来。分布式光纤传感网络按照0.5m的空间分辨率来布置,借助布里渊频移量来反演充填体轴向应变的具体分布情况,同时结合温度补偿算法把热致应变误差给消除掉。声发射系统运用波形特征聚类分析技术,从背景噪声当中把微裂纹扩展所产生的突发信号提取出来,依据b值理论对充填体损伤演化的各个阶段做出预测。在开发多参数融合算法的时候,需要构建起卷积神经网络架构,其输入层要集成应变速率、声发射事件率还有湿度扩散系数等多达12维的特征向量,而输出层则要映射充填体剩余强度系数以及破坏概率。健康度分级标准是依照支持向量分类模型来确定的,会将充填体的状态划分成弹性稳定期、损伤累积期以及临界失稳期这三个阶段,再根据这样的划分动态地去调整相邻采场回采的间隔时间,以此来确保采充协同能够具备一定的安全裕度。

4 结语

充填采矿技术当下正处在从被动支护逐步朝着主动调控转变的关键时期,其技术所涵盖的内涵也在不断地向着更为精细化以及更智能化的方向去延伸拓展。在未来的研究当中,应当将关注点聚焦在多个场耦合所产生的作用之下的充填体长效稳定性的相关机理方面,还有固废资源化利用时的界面反应调控事宜,以及由数字孪生所驱动的全流程优化这类前沿领域之上。借助材料、工艺以及装备等方面的协同创新举措,促使充填采矿技术能够朝着更加安全、更加经济以及更加绿色的方向不断发展前行,进而为矿产资源实现可持续开发给予相应的技术方面的有力保障。

【参考文献】

- [1]郭玉杰.金属矿山充填采矿技术要点及应用分析[J].世界有色金属,2023(22):78-80.
- [2]飘凡.试析充填采矿技术在金属非金属矿山采矿工程中的应用[J].中国金属通报,2024(1):20-22.
- [3]张云.充填采矿技术在金属矿山采矿工程中的应用[J].世界有色金属,2025(3):100-102.

作者简介:刘海龙(1986.5—),单位名称:北京首钢矿山建设工程有限公司,毕业学校和专业:张家口职业技术学院。

煤矿快速掘进中的锚网索支护技术分析

王保洪

东源恒鼎煤业有限公司河兴煤矿, 云南 曲靖 655502

[摘要]巷道支护是煤矿安全生产的关键保障,我国煤矿多采用井工开采,巷道类型以煤巷、半煤岩巷为主,还存在不少松软破碎围岩巷或遇水软化膨胀围岩巷的情况,保障巷道安全快速掘进、使用期间畅通及围岩稳定,控制支护维护成本,对建设安全高效矿井意义重大,煤矿巷道支护历经木支护、砌碹支护、型钢支护,最终发展为锚网索支护,这一过程相当漫长,实践表明,锚网索支护是巷道经济有效的支护形式。

[关键词]煤矿掘进;锚网索支护;影响因素;技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16868

中图分类号: TD263.5

文献标识码: A

Analysis of Anchor Net Cable Support Technology in Rapid Mining of Coal Mines

WANG Baohong

Hexing Coal Mine of Dongyuan Hengding Coal Industry Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655502, China

Abstract: Tunnel support is a key guarantee for coal mine safety production. In China, coal mines mostly adopt underground mining, and the types of tunnels are mainly coal tunnels and semi coal rock tunnels. There are also many cases of soft and broken surrounding rock tunnels or water softening and expanding surrounding rock tunnels. Ensuring safe and rapid excavation of tunnels, smooth operation during use, and stable surrounding rock, controlling support and maintenance costs, is of great significance for building safe and efficient mines. Coal mine tunnel support has gone through wood support, arch support, and steel support, and finally developed into anchor net cable support. This process is quite long. Practice has shown that anchor net cable support is an economically effective form of support for tunnels.

Keywords: coal mining excavation; anchor net cable support; influencing factors; technical application

引言

煤炭是一种珍贵的能源,人类的经济和生活水平不断提高,对煤炭资源的需求也在增加。因此,煤矿开采深度会越来越深,深部开采也将给巷道支护带来一定的困难。锚网索支护在我国已经有很长一段时间的应用,目前已经能应用于大部分的煤矿开采企业,且以其高效、便捷的技术特点,通过在多年的运行与实践,现在已经成为我国煤矿巷道支护技术中的重要手段,其效果十分明显。本文将以前河兴煤矿部分巷道为例从原理、参数设计、影响因素及支护方式等多个方面来分析锚网索支护技术在煤矿巷道掘进过程中的应用。

1 锚网索支护原理分析

1.1 悬吊理论

锚网索支护的核心原理,是通过将巷道顶板中较软弱、不稳定的岩层悬吊于上部稳定岩层,以此提升软弱岩层的稳定性,针对回采巷道常见的层状岩体,巷道开挖后,直接顶常因弯曲变形与老顶脱离,若锚杆能及时对直接顶施加挤压并实现悬吊,便可有效减少甚至限制直接顶的下沉与离层,进而达到支护效果。

悬吊理论的局限性较为突出:其一,该理论未充分考虑围岩自身的承载能力;其二,当围岩条件松软且巷道宽度较大时,锚杆往往难以锚固至上部稳定岩层或自然平衡拱,此时锚网索支护却依然有效,悬吊理论对此缺乏解释力;其三,

该理论仅关注锚杆的被动抗拉作用,未涉及对岩体抗剪能力的提升,也未触及破碎岩层整体强度的改善机制,因此,基于悬吊理论计算的锚杆载荷与实际工程需求存在较大偏差。

1.2 组合梁理论

锚网索支护与巷道顶板的协同作用中,借助预紧力的约束效应,各岩层由叠合状态逐步转变为组合梁结构,从而提升顶板岩层的整体稳定性承载能力。

组合梁理论主要适用于层状岩层条件,对于端部锚固锚杆,其施加的轴向力能有效约束岩层离层趋势,同时增大岩层间摩擦力,配合锚杆杆体自身提供的抗剪力,共同阻碍岩层间的相对滑动,从岩层受力特性分析,锚杆通过对各岩层的夹紧作用形成组合梁结构,且组合梁厚度越大,梁体最大应变值越小,这一理论虽充分考量了锚杆对岩层离层及滑动的约束效应,但其有效组合厚度的确定存在困难,且未考虑水平应力对组合梁强度、稳定性以及锚杆载荷的实际影响,此外,该理论的应用范围主要局限于层状顶板条件,且在分析过程中仅关注了锚杆对离层和滑动的约束作用,未进一步探讨锚杆对岩体自身强度及应力分布的改善效果。

1.3 加固拱理论

通过实践研究发现,在软岩地层中实施锚杆支护时,需要形成有效的承载结构,锚杆安装过程中,因锚杆间距较小,各锚杆压力圆锥体相互重叠,会在岩层中共同构建

出均匀的压缩带,这种均匀压缩带能够有效承担岩层荷载,对拱内围岩产生横向与纵向的加固作用,最终使围岩处于三向受力状态,显著提升岩体承载能力,支护过程中形成的加固拱厚度越大,围岩稳定性往往越高。

加固拱理论考虑了锚网索支护的整体协同效应,在软岩巷道支护中应用广泛,但其局限性也较为突出:一方面,该理论仅将单根锚杆的支护效果简单叠加,以此推导支护系统的整体承载结构,未深入探究锚固岩体的力学特性及各影响因素的作用机制;另一方面,加固拱厚度的确定涉及诸多复杂因素,目前难以实现较为精确的估算。

2 锚网索支护效果的影响因素

在煤矿巷道掘进过程中,根据巷道围岩选择不同的支护方式,可使得巷道服务年限更加长久。锚网索支护在煤矿巷道掘进过程中具有减少运输量、降低工人劳动强度、节约经济成本、变被动支护为主动支护、巷道支护效果比较显著等优势。河兴煤矿近年来,积极推广锚网索支护,并取得良好的效果。

2.1 巷道围岩的强度和硬度

锚网索支护技术的核心在于保障围岩稳定性。在锚网索快速支护的作用下,围岩自身强度会持续增强,这表明围岩能够承受施工产生的巨大压力;反之,当围岩强度超过一定阈值时,其顶板移近率的变化会逐渐趋缓,这是因

围岩自身强度提升而分担部分荷载所致。比如河兴煤矿11805回风巷、北翼瓦斯治理大巷、煤层鉴定回风巷等巷道,煤层顶板较为稳定,围岩自身强度便可承载部分载荷,在巷道施工时,顶板横向采用锚网索+W型钢带进行支护,纵向施工三条M型钢带,两帮增加两条纵向钢带支护,取得了良好的支护效果。

2.2 巷道断面形状及其尺寸

巷道掘进施工过程中,围岩周围的应力会重新分布,导致断面形状因围岩应力分布的改变而变化,因此需借助锚杆支护体系调整应力分布,最大程度保障掘进过程中巷道顶板的完整性,掘进作业时,岩石在拉应力作用下易出现裂纹;随着巷道宽度持续增加,围岩顶板移近率会上升;巷道高度加大则会使两侧移近率增加,施工过程中必须充分考量这些因素。煤矿在施工时,要根据巷道的用途来选择合适的断面及尺寸以便选择更好的支护方式。河兴煤矿11805回风巷,属于回采巷道,煤层顶板较为稳定,倾角较小,在设计时煤矿选用矩形断面。考虑到4200L型钻机施钻,巷道尺寸采用 $5 \times 3\text{m}^2$,取得很好的支护效果;但北翼瓦斯治理大巷为全岩掘进,在掘进过程中有少数构造,煤矿采用半圆拱断面。该巷道主要用于瓦斯治理,巷道尺寸采用 $5 \times 3.8\text{m}^2$,支护效果较为显著。支护图布置如图1和图2:

永久支护断面图

临时支护剖面图

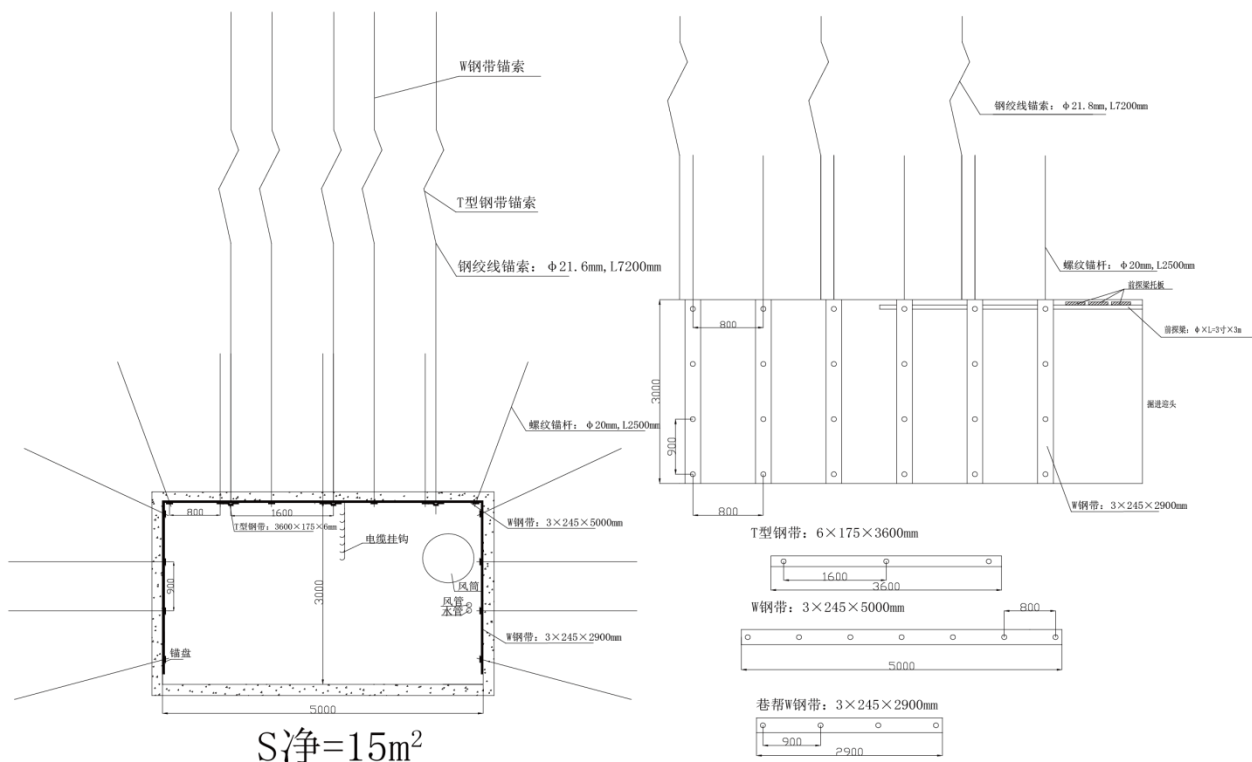


图1 永久支护断面图和临时支护剖面图

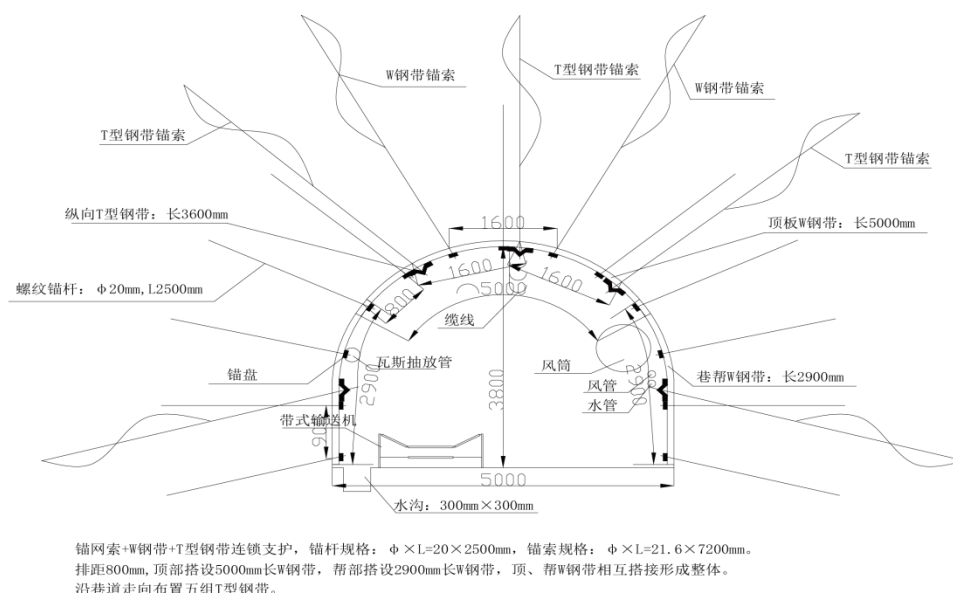


图2 支护断面图

2.3 锚杆、锚索预紧力

在巷道掘进过程中,锚杆锚网索预紧力对巷道支护效果具有决定性作用。决定锚杆、锚索预紧力的因素有支护材料的质量、锚固剂锚固岩层自身岩性、施工钻孔深度及倾角等;另外,安装过程中若搅拌时混入粉尘和水,相当于在锚固剂配料中额外添加了杂质,也会削弱锚固剂的强度,因此,安装锚杆前需先清理孔内粉尘和积水,确保锚固剂强度达标,施工锚杆时,安装前需先将锚杆孔孔壁冲洗干净,随后将规定配比的锚固剂填入孔内,再将对应型号的锚杆插入锚杆孔,确保锚杆前端顶紧树脂锚固剂,锚杆外露端头套入配套螺母;使用带专用套筒的煤电钻或风动扳手卡住螺母,启动设备带动杆体旋转钻入孔内,同步搅拌锚固剂2~5s,直至锚杆达到设计深度,静置20s后再拧紧螺母施加预紧力,最终需确保锚杆锚固力不低于100kN,螺母扭矩不小于400N·m。

3 锚网索支护参数确定及应用

煤矿在掘进过程中,根据不同断面、形状及巷道岩性,支护参数也会发生改变,下面以河兴煤矿11902回风巷为例确定支护参数。

11902回风巷巷道规格:净宽×净高=5m×3m,净断面=15m²。该巷采用锚网索+钢带支护,矩形断面。

3.1 锚杆参数计算

$$L=W \times (1.1+B/10) \quad (1)$$

式中: L——锚杆长度;

W——围岩影响系数,取1.3;

B——巷道设计跨度,取5m。

则: $L=1.3 \times (1.1+5/10)=2.08\text{m}$ 。

我矿选用2.5m长锚杆,满足设计要求。

3.1.2 锚杆间、排距的确定

$$a=\sqrt{\frac{Q}{KHR}} \quad (2)$$

式中: a——锚杆间、排距, m;

Q——锚杆设计锚固力, 100kN;

H——冒落拱高度, 取1.5m;

R——被悬吊泥岩的重力密度, 取24kN/m³;

K——安全系数, 一般取K=2;

$$a=\sqrt{\frac{100}{2 \times 1.5 \times 24}}=1.18 \text{ (m)}$$

考虑到岩石坚硬程度、安全因素及网片压接,锚杆间排距定为800×800mm。

3.1.3 锚杆直径的确定

根据公式:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{4PK/\pi \Delta} \quad (4) \\ P &= abhr = 0.8 \times 1.1 \times 1.8 \times 24 = 38 \text{ kN/m}^2 \\ D &= \sqrt{4 \times 3800 \times 2 / 3.14 \times 2450} \\ D &= 19.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

式中: a——锚杆排距;

b——锚杆间距;

h——锚杆承载岩体高度, 取1.8m;

r——承载岩体容重, 取24kN/m³;

K——安全系数, 取2;

Δ——锚杆抗拉强度, 取24.5kN/m²。

我矿采用φ20mm的螺纹钢锚杆,满足设计要求。

3.1.4 锚杆强度验算

a、锚杆锚固力验算

根据悬吊理论:

$$F=RHS \quad (5)$$

式中: F——锚杆悬吊岩体负荷重量;

R——顶板岩石比重, 2.64t/m^3 ;

S——支护面积, $S=0.8\times0.8=0.64\text{m}^2$;

H——选择锚杆锚固深度 1m 。

故: $F=2.64\times0.64\times1.4=2.37$ (t/根) $=24\text{KN/根}$, 考虑到安全系数, 锚固力按 100KN/根 设计。

b、锚杆最大抗拉力

根据公式:

$$F=S\times Q \text{ 拉} \quad (6)$$

式中: F——锚杆最大抗拉力, KN/根;

S——锚杆断面积, $S=\pi R^2=314\text{mm}^2$;

Q 拉——锚杆抗拉强度, Q 拉 $=56.4\text{kg/mm}^2$;

故: $F=314\times56.4=17709.6$ (kg/根) $=177.1\text{KN/根}$ 。

通过以上计算, 选用锚杆规格: 考虑到岩石坚硬程度和安全因素, 选用 $\phi 20\times L=2500\text{mm}$ 的螺纹钢锚杆, 锚杆间排距为 $800\text{mm}\times 800\text{mm}$ 。

3.2 锚索支护参数设计

锚索长度选型, 应满足:

$$\begin{aligned} L &= L_a + L_b + L_c + L_d \\ &= 1055 + 5000 + 100 + 250 \\ &= 6405\text{mm} \end{aligned} \quad (7)$$

式中: L ——锚索总长度, m;

L_a ——锚索深入到较稳定岩层的锚固长度, m;

$$\begin{aligned} L_a &\geq K \times \frac{d_1 f_a}{4 f_c} \\ &= 1.3 \times (21.8 \times 1860) / (4 \times 12.5) \\ &= 1055\text{mm} \end{aligned} \quad (8)$$

其中: K ——安全系数, 取 1.3 ;

d_1 ——锚索直径, 21.8mm ;

f_a ——锚索抗拉强度, 1860N/mm^2 ;

f_c ——锚索与锚固剂的黏合强度, 12.5N/mm^2 ;

L_b ——需要悬吊的不稳定岩层厚度, 5m ;

L_c ——托板及锚具的厚度, 100mm ;

L_d ——外露张拉长度, 250m ;

设计取锚索长度为 6.405m , 11902 回风巷选用的锚索长度为 7.2m , 满足设计要求。

锚杆选择如下: 长度 2500mm , 直径 $\phi 20\text{mm}$ 。顶部锚杆间排距 $800\text{mm}\times 800\text{mm}$, 帮部锚杆间排距 $900\text{mm}\times 800\text{mm}$ 。

锚索选择如下: 长度 7.2m , 直径 $\phi 21.8\text{mm}$, W 钢带锚索间排距 $1600\text{mm}\times 800\text{mm}$, T 型钢带锚索间排距 $1600\text{mm}\times 1600\text{mm}$ 。

4 锚网索支护与架棚支护相比的优势

锚网索支护对煤矿巷道快速掘进具有重要意义, 与棚式支架相比, 锚网索支护具有显著的优越性。

(1) 能明显提升巷道支护效果。锚杆(锚索)能与岩体紧密黏结, 增强岩体整体性, 对不稳定岩层起到悬吊稳固

作用, 依靠预紧力形成压缩岩梁, 抑制层状岩体离层, 增加岩层间摩擦力, 配合锚杆(锚索)自身抗剪能力, 防止岩层间相对滑动, 提升岩层承载能力, 同时改变巷道表面岩体受力状态, 从二向受力转为三向受力, 进一步提升岩体承载力。

(2) 变“被动支护”为“主动支护”。棚式支护需等围岩变形破碎后再支撑承载, 锚网索支护则通过锚固剂、杆体、托板及各类构件(或喷层), 为围岩提供初始支护强度, 与围岩协同构成支护体系, 且随围岩变形持续增大支护力。

(3) 减少巷道维修量。锚网索支护能及时加固围岩, 减少围岩变形, 防止顶板早期离层和片帮, 在一定程度上可以减少巷道维修量。

(4) 简化工作面端头及超前支护。这一支护方式能为采煤工作面快速推进、提升产量效益创造有利条件, 推进过程中可减少支架回拆次数, 提高作业工效; 掘进时还能降低物料运输强度, 节省人力投入。

(5) 消除安全隐患。传统棚架与顶板煤层间若留空隙, 易引发煤体自燃; 大断面开切眼安装/回撤棚架、工作面顺槽回撤支架时, 还可能出现大面积冒落或伤亡事故, 采用锚网索支护可有效规避这些问题。

5 结论

综上所述, 煤炭企业要确保自己的长期稳定发展, 就必须加强对矿井掘进巷道建设的关注, 使其质量得到全方位的提高, 确保施工的安全, 从而达到安全支护的目的。有关矿井要对其进行有效支护, 就必须对锚杆支护技术进行科学安排, 以保证其高效地进行。采用锚杆支护技术, 能够提高围岩的稳定性, 保证巷道工程顺利实施。因此, 在运用该方法时, 必须要确定其使用的关键点, 并提出相应的措施, 以增强掘进巷道承载力, 保障矿井的安全、高效地生产, 促进煤炭工业的可持续发展。

[参考文献]

- [1]梁路,刘庚,于超.煤矿快速掘进中的锚杆支护技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2025(3):8-10.
- [2]张晋.煤矿快速掘进顶板稳定性高性能锚杆支护的工业性试验[J].机械管理开发,2022,37(11):112-114.
- [3]弓艳武.煤矿快速掘进技术中锚杆支护研究[J].矿业装备,2022(3):6-7.
- [4]高飞.煤矿快速掘进技术中锚杆支护影响因素及方案设计[J].当代化工研究,2022(10):113-115.
- [5]张建勋.锚杆支护半煤岩巷快速掘进技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2022(9):21-23.
- [6]邵朱军,孙柱.高庄煤矿半煤岩巷快速掘进锚杆支护参数优化[J].能源与节能,2021(9):19-21.

作者简介: 王保洪(1988.11—), 男, 毕业院校(全日制: 云南能源职业技术学院, 函授武汉理工大学), 所学专业: 煤矿开采工程, 当前就单位: 云南煤炭产业集团东源恒鼎煤业有限公司河兴煤矿, 职务: 矿长助理, 职称级别: 助理工程师。

土壤储能的系统构建与效益分析

李波¹ 高玉辉² 党巍²

1 西咸新区城市设施管理有限公司, 陕西 咸阳 712000

2 陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司, 陕西 咸阳 712000

[摘要]伴随着我国可再生能源利用率的不断攀升,构建新型的能源储能系统,提高系统储能能力及稳定性成为影响可再生能源利用的关键因素。作为一种适应性强、成本较低且受环境影响较小的储能方式,土壤储能技术逐渐获得关注。以土壤储能原理为核心,剖析其在区域储能系统搭建中的应用模式,提出依托土壤热-电协同调控的系统构建方案,从经济效益、环境效益及社会效益三方面来系统分析其可行性。基于土壤储能的区域能源系统在提升能源利用效率、减少碳排放以及优化能源结构上优势显著,为打造低碳、高效、智能的绿色用能体系开辟了新途径。

[关键词]可再生能源;土壤储能;热-电协同调控;效益分析

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16854

中图分类号: S718

文献标识码: A

Construction and Benefit Analysis of Soil Energy Storage System

LI Bo¹, GAO Yuhui², DANG Wei²

1. Xixian New Area Urban Facilities Management Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, 712000, China

2. Shaanxi Xixian New Area Chuangtuo New Energy Development Co., Ltd., Xixian, Shaanxi, 712000, China

Abstract: With the continuous increase in the utilization rate of renewable energy in China, the construction of new energy storage systems and the improvement of system storage capacity and stability have become key factors affecting the utilization of renewable energy. As an energy storage method with strong adaptability, low cost, and minimal environmental impact, soil energy storage technology is gradually gaining attention. Based on the principle of soil energy storage, this paper analyzes its application mode in the construction of regional energy storage systems, proposes a system construction plan relying on soil thermal electric collaborative regulation, and systematically analyzes its feasibility from three aspects: economic benefits, environmental benefits, and social benefits. The regional energy system based on soil energy storage has significant advantages in improving energy utilization efficiency, reducing carbon emissions, and optimizing energy structure, opening up new avenues for building a low-carbon, efficient, and intelligent green energy system.

Keywords: renewable energy; soil energy storage; thermal electric synergistic regulation; benefit analysis

引言

全球能源结构正经历深度转型,以可再生能源为主导的分布式能源体系,正稳步替代传统化石能源体系。在此背景下,要保障可再生能源的稳定供应,储能系统布局是核心要点,尤其是浅层地热能的热能存取上的能力,为区域热电联供及季节性调蓄系统的构建赋予独特优势。目前,土壤储能与区域能源系统整合研究缺乏系统性,实施的路径尚存在一些缺陷。本文将从系统设计、运行机制与综合效益三个层面,研讨基于土壤储能的区域能源系统搭建逻辑及实际应用功效。

1 土壤储能技术原理与适应性分析

1.1 土壤储能的基本原理

土壤储能技术主要依托土壤层本身所具有的热容量特性,土壤能够吸收并大量储存热能,这一特性为实现能源在不同季节之间的有效调节提供了坚实的物理基础。土壤的热容量使其成为天然的热能蓄存体,可以在夏季吸收

多余的热量并储存起来,在冬季则释放储存的热能,从而调节环境温度,减少对传统能源的依赖,提高能源利用效率。

土壤储能系统一般与热泵技术结合使用,热泵通过吸收或排放热量达成目的。在夏季可把多余热量存放至地下,冬季时释放提取已储存的热量进行供暖,也可在冬季把冷量储存起来,夏季时把储备的冷量释放,实现“冬天储存冷量、夏天释放冷量”和“夏天储存热量、冬天释放热量”的运作模式。土壤储能系统不仅提升了节能效果,还有效降低了环境负担,是一种绿色、可持续的能源利用方式^[1]。

1.2 区域气候与地质条件适配性

诸多自然条件影响了土壤储能的效果,尤其是区域地质构造、地下水活动状态以及土壤热传导性能等因素,地质结构影响着土壤的密度与组成成分,直接关系到热量在土壤中的传导效率。地下水的流动也发挥重要作用,稳定的地下水位可促进土壤温度保持均衡,以此强化储热及储冷的效果。而热量在土壤中的扩散速度与范围由土壤的

导热性决定,为影响储能系统性能的关键要点。

在季节温度差异明显的区域,由于冬夏之间温度差异大,土壤储能对季节的调节效果更为明显。在地下水位稳定的区域,土壤温度稳定性的维持效果更佳,使热能存储的高效程度增强,尤其是在城市群、产业园区般用能集中且需求颇高的区域。采用土壤储能系统可实现能源的高效利用,减少能源消耗,降低碳排放,引领实现绿色低碳的发展,这些系统不仅提升了能源利用效率,更为区域节能减排提供了有力支撑。

2 基于土壤储能的区域能源系统构建模式

2.1 系统结构设计

该系统主要由浅层地热埋管系统、热泵换热系统、热电联供模块、智能控制单元、用户端分布式负荷响应平台等核心部分组成。浅层地热埋管系统凭借埋入地下的管道,利用地表下恒定的温度资源作为供冷或供热的源头,实现对用户物冷热环境的调控。热泵换热系统通过吸收浅层地热的热能,增强能源利用成效,做到高效的冷热转化与输送。系统同样装有热电联供模块,能同步输出热能和电能,提升能源的综合利用水平。为保障整个系统实现智能化管理与优化运转,智能控制单元承担着实时对各部分设备运行状态进行监测与调控的工作,保障系统在各种工况下皆可呈现最佳性能^[2]。

值得强调的是,该系统并非仅依靠地热能作为热源,还可辅以太阳光能、生物质能这类的多种可再生能源,搭建起一套多能互补的能源体系。通过这种多能聚合的形式,系统能实现区域中多种能源形式的高效联合供给,切实改善能源的利用效率,减少对传统化石能源的依赖,推动实现绿色低碳发展。用户端分布式的负荷响应平台可根据用户现实用能需求和电网负荷的情况,弹性调节能源的供给和需求水平,增进系统响应速度及适应程度,实现能源的智能分派与高效管理模式。整个系统设计不仅把重点放在能源高效利用上,进一步突显了环保及可持续发展理念,为智慧能源管理提供了卓有成效的技术后盾。

2.2 热-电协同运行机制

采用智能控制系统对用户的电力负荷、冷热负荷进行动态辨识与调控,能实现能源的精准把控与高效利用。该系统借助先进的传感器技术和数据采集,即时监测用户内部温度的波动状况、用电需求以及外部环境因子,采用大数据分析对不同时段负荷特性开展深度挖掘和预测。凭借这种动态辨识能力,系统可依据实际需求灵活地对能源输出比例作出调整,保障能源供应与用户负荷实现最优契合,杜绝资源的盲目浪费。

在具体应用实施期间,智能控制系统参照电力负荷的时段性变化,恰当调配热泵系统的运行模式。在电力需求低谷的时段,系统会先运行热泵设备,利用低谷电价把额外的电能转化为热能,通过地下埋管系统将热能储进土壤中,该储能方式不但提升了能源的利用效率,更为后续用

能高峰阶段做好了能量储备。若进入到电力高峰时段,用户的用电需求量大,系统开始把土壤中储存的热量释放,应对用户的供暖或制冷需求,由此有效削减对电网的直接用电负荷,实现用电峰谷差平衡。采用这种智能调节途径,不但可以能源结构的优化,提高系统经济层面与稳定状态的水平,也可减轻电网运行的负荷压力,促进能源形成绿色可持续发展格局^[3]。

2.3 系统运维与能源管理策略

为了让系统的智能化程度与能源利用效率再上台阶,采用了分布式能源管理系统(DEMS)加上能效监测平台,能效监测平台借助大量传感器与监测设备的部署,完成整个能源系统实时数据的采集工作,全面把控各类能源设备的运行态势、能耗状况以及储能系统的充放状态。依托这些数据,平台有能力对储能系统的状态进行科学评估,及时揪出潜在隐患,且能为后续的优化调度给予精准凭证。

而分布式能源管理系统(DEMS)在这基础上,承担起不同类型能源资源的协调调度事宜,实现多能源系统协同运作。依靠先进算法及智能控制方法,DEMS可动态对能源输出和储存的比例作出调整,保障系统在供能稳定有保障的前提下,最大程度提升能源利用效率。尤其是在储能管理范畴,系统会按照实时的负荷要求及电价波动情况,恰当安排储能设备充放电的时间档期,实现能源使用成本的优化。此系统也有跟地方电网进行能量交换的能力,可灵活进入需求响应市场开展活动。通过响应电网所下达的调度信号,更改自身用电及发电的行为模式,对缓解电网峰谷差起到积极作用,还可拿到额外的经济增收。这般双向能量的流转与智能协同调度,既提高了系统的经济获利,同时强化了运行的灵活性及可靠性,为构建绿色、高效、智能的能源格局打下了坚实根基。

3 基于土壤储能系统的综合效益分析

3.1 经济效益

该系统在节能降耗表现十分出色,可极大降低制冷和制热的运行成本支出。与传统的空调以及锅炉系统相比,其能源利用效率提升显著,智能化控制与优化调节技术切实降低了能源的无谓消耗,使整体运行费用降低20%到40%。此节能效应不仅降低了企业以及用户的费用支出,也减少碳的排放量,有利于推进绿色环保及可持续发展进程。依靠高效的热交换装置及先进控制算法,实现对制冷制热过程的精准把控以及能源的合理分配与高效利用。与传统设备对比,减少非必要的能耗峰值和频繁开启次数,让设备的使用寿命变长,降低维护成本。系统所采用的模块化设计与灵活配置,让其可依据不同的用户物与需求,定制贴合需求的方案,进而提高了能效方面的表现^[4]。

在系统建设起始的阶段,纵然要有一定的资金投放量,但资金压力能通过各式各样的方式得到舒缓。合同能源管理(EMC)作为一种创新型的融资及运营模式,成为助

力用户降低前期资金支出的有效手段。采用 EMC 的办法,专业能源服务公司承担项目的设计、建造与运维工作,用户采用分期支付模式,用节约的能源费用支付投资成本,由此完成零或低成本的相关改造。这般做法减轻了资金上的压力,且凭借专业化管理保障了节能的成果。该投资回报机制增进了项目的经济吸引力,让用户投资所涉风险降低,助力节能技术的推广与实施。伴随系统运行效率不断增长和维护费用下降,整体的经济效益日渐明晰显现,助力用户收获长期稳定的节能效益。该系统凭借这种综合优势,在市场竞争中彰显出显著优势,驱动用户节能与能源管理踏入智能化、绿色化的崭新阶段。

3.2 环境效益

作为新型绿色能源技术的土壤储能系统,由于无燃烧环节,几乎不会直接产生有害排放,体现出明显的环境优势。过往的能源系统架构,尤其像燃煤装置和燃气装置,一般会伴随着大量二氧化碳等污染物的排放,成为影响区域空气质量及加剧气候变化的主要因素。土壤储能系统将地下土壤作为能量存储的介质,通过热能循环利用来实现制冷与制热目标,消除了燃烧阶段产生的碳排放,该特点使它成为实现低碳经济转型的一项重要技术路径。在综合运行条件下,土壤储能系统可明显降低区域的二氧化碳碳排放规模,预估可将排放量降低 30%~50%。该减排成效不仅缓解了环境面临的压力,还为国家及地区实现“双碳”目标奠定了坚实的技术根基。通过有效利用土壤热容量,系统能实现能源的高效利用,避免了能源的无谓消耗,由此实现整体能源利用效率大幅提升。

土壤储能系统可明显降低用户的能源总消耗量。城市能源消费中,用户能耗占据较大比例,尤其是在制冷、供热的过程中。该系统凭借土壤温度的相对稳定特性,降低了传统设备对电能及燃料的依赖程度,从本质上削减了能源消耗。伴随系统技术持续成熟与应用拓展,使用户能耗结构得到优化,能源利用更加合理和绿色。此项绿色转型呈现出的优势,正符合现阶段全球与我国推进的“双碳”战略背景。促进土壤储能系统的应用,能助力行业实现节能减排目标,推动绿色用能及智慧城市的成型。其无污染、低能耗的特质不仅与环境保护要求相呼应,同时增进了能源安全性与经济效益^[5]。

3.3 社会与政策效益

系统建设自身具有显著的节能环保优势,还可以有效促进本地绿色用户及可再生能源产业的发展。伴随该系统在各类用户中的推广应用,相关绿色材料、节能设备及智能控制技术需求日益增长,推动上下游产业链形成良性互动和协同共进格局。这种产业链形成的联动成效,不仅使本地产业的整体竞争水平有所提高,也带动了就业岗位增

长以及技术创新的发展,促使区域经济实现绿色转型及高质量增长。

用户作为可持续发展的关键组成部分,对节能技术和环保材料的依赖愈发强烈。系统应用推动用户对设计理念不断更新,使用户更关注节能减排以及资源的高效利用。可再生能源相关产业,如太阳能、风能、生物质能等,也因系统需求的扩充获取了更多市场契机,二者相辅相成,构建起绿色用能与可再生能源产业协同向好的理想局面。系统建设与政府推动清洁能源发展的政策要求高度吻合。现今各级政府纷纷制定支持绿色低碳发展的政策,支持节能环保项目建设和运营。系统借助其技术优势以及显著的节能减排成果,得到了政策层面的大力支持,包括资金补贴、税收优惠以及审批程序简化等多类扶持。这些政策扶持不仅使项目建设与运营成本降低,也加快了项目审批速度,增强了项目推广落地的成效。

4 结语

基于土壤储能的区域能源系统,是绿色低碳能源技术的重要实践形式,具有系统集成性突出、能效优异、环境相容性高等诸多优势。采用科学的系统设计和运营管理措施,可切实增强区域能源利用的效果,为我国清洁能源转型与能源安全保障助力。未来可进一步结合数字孪生、人工智能等相关技术,推动该系统向智能化、多维协同方向拓展,实现应用范围更广、运营更高效的目标。

【参考文献】

- [1]顾治国,岳晨.基于城市区域的综合能源系统节能方案分析[J].暖通空调,2025,55(1):239-241.
- [2]朱爱华,孙志权,卢巍,等.基于纳什谈判的乡村多区域能源系统协同低碳经济调度[J].浙江电力,2025,44(4):61-71.
- [3]刘继彦,王瑞琪,朱峰,等.区域综合能源系统多能减碳装置多目标最优配置研究[J].全球能源互联网,2025,8(2):224-238.
- [4]韩中合,赵昕,杨世明,等.区域综合能源系统多目标优化及改进主客观评价[J].太阳能学报,2024,45(12):606-616.
- [5]陈佳琪.多区域综合能源系统协同优化研究[D].北京:北方工业大学,2024.

作者简介:李波(1985.11—),毕业院校:长安大学,所学专业:环境工程,当前就职单位:西咸新区城市设施管理有限公司,职称级别:工程师;高玉辉(1982.9—),毕业院校:中南林业科技大学,所学专业:道路与桥梁,当前就职单位:陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司,职称级别:工程师;党崑(1990.12—),毕业院校:华北电力大学科技学院,所学专业:热能与动力工程,当前就职单位:陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司,职称级别:工程师。

浅析无人测量船在水下地形测量中的应用前景

欧阳飞

辽宁省自然资源事务服务中心, 辽宁 沈阳 110034

[摘要]随着智能化技术持续发展,无人测量船于水下地形测量领域的应用变得愈发普遍。全面且细致地梳理无人测量船的定义、系统构成、作业原理以及技术特点,同时深入剖析其在水下地形测量中的适用性根基。并结合当下的技术发展走向、市场方面的需求以及新兴技术融合的趋向,对其未来的发展前景展开探讨。无人测量船具备高效、安全、智能等诸多明显优势,能够在很大程度上替代传统测量方式,在未来的水利工程、港航建设、环境监测等诸多领域都有着极为广阔的应用空间。

[关键词]无人测量船;水下测量;地形测量

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16856

中图分类号: TV221

文献标识码: A

Brief Analysis of the Application Prospects of Unmanned Survey Ships in Underwater Terrain Surveying

OUYANG Fei

Liaoning Natural Resources Affairs Service Center, Shenyang, Liaoning, 110034, China

Abstract: With the continuous development of intelligent technology, the application of unmanned survey ships in the field of underwater terrain measurement has become increasingly common. Thoroughly and meticulously review the definition, system composition, operating principles, and technical characteristics of unmanned survey vessels, while deeply analyzing their applicability in underwater terrain surveying. Based on the current trend of technological development, market demand, and the trend of emerging technology integration, explore its future development prospects. Unmanned survey ships have many obvious advantages such as high efficiency, safety, and intelligence, and can largely replace traditional measurement methods. They have extremely broad application space in many fields such as water conservancy engineering, port and navigation construction, and environmental monitoring in the future.

Keywords: unmanned survey vessel; underwater measurement; topographic survey

引言

水下地形测量属于海洋及内陆水域调查里相当关键的一项基础性工作,其在水利工程建设、水域管理、防灾减灾还有资源开发等诸多领域均有广泛的应用。以往传统的水下地形测量多数依靠人工操作以及有人船平台来开展,这就存在着作业效率比较低下、作业所面临的风险较高以及人力成本偏大的一系列问题。伴随现代信息技术、人工智能、自动控制以及传感器技术不断地融合发展起来,无人测量船也就是 Unmanned Surface Vehicle, 简称 USV 便顺势诞生了,并且很快便成了水域测绘当中的核心装备之一。它一方面使得测量效率得以提升,另一方面也让数据精度有了提高,同时还为那些复杂或者危险水域的测量给出了较为可靠的技术途径。这篇文章会围绕无人测量船的技术构成、作业原理以及它在水下地形测量中的应用基础与发展前景等方面展开较为细致的探讨,希望能够给相关领域给予一定的理论方面的参考以及技术层面的借鉴。

1 无人测量船技术概述

1.1 无人测量船的定义

无人测量船是一种通过遥控方式或者自主航行方式,借助精确卫星定位和自身传感即可按照预设任务在水面航行,同步开展环境调查、水域测绘、人员搜救等活动的

智能化水面机器人,英文缩写为 USV。它融合了船体设计、动力与推进系统、船控、通信、人工智能、模式识别、计算机软硬件、软件与算法、远程监控、计算机网络等综合技术,可实现整个水上作业过程的“智能化”“网络化”与“无人化”。

1.2 系统组成

无人测量船属于高度集成的智能装备,其系统构成包含诸多子系统。控制系统在整个平台当中占据核心地位,负责达成路径规划、任务调度以及动态调整等相关事宜,借助高精度 GPS/RTK 导航模块以及惯性导航单元来保证航向与定位的精准程度。测绘系统主要是由多波束测深仪、侧扫声呐、水质传感器等部分所构成,其用途在于获取高精度的水下地形以及环境方面的数据。通信系统能够确保无人测量船和岸基站之间实现数据交互以及指令传输,常用的方式涵盖了无线电、4G/5G、卫星通信等多种类型。动力与结构系统则包含了电池供电模块、推进器还有浮体结构等部分,整体在设计时需要同时考虑到续航能力、抗风浪能力以及模块化维护特性等方面的情况。

1.3 作业原理

无人测量船的作业原理是依靠自主航行和远程控制协同来实现的。一开始,任务规划系统会依据测区的实际

需求去设定作业路径以及相关参数。接着,控制系统推动船体自主地导航到目标区域,在这个过程中,借助高精度定位系统以及姿态控制算法,能够不断地对航向还有航速加以修正。在测区里面,测绘传感器会实时地采集水深、地形、温度、浊度等方面的数据,并且这些数据经过板载计算机进行初步的处理以及储存,其中部分较为关键的核心数据还能够凭借通信模块回传到岸基控制中心。当测量任务全部完成之后,系统会自动返航,或者按照指令进入到待命的状态,最后再由地面平台来完成数据的汇总、后处理以及成果的输出工作。

1.4 功能与技术特点

1.4.1 智能化导航

无人测量船有着高度智能的导航能力,它把GPS/RTK、惯性导航以及地形匹配等多种定位手段都集成到了一起,在复杂的水域环境当中,它可以自主地去规划路径,还能避开障碍,并且能够稳定地航行。依靠自动航线控制算法,它可以根据测区的边界以及测线的密度来自动生成作业路径,以此来保证测量数据是完整且连续的,这在很大程度上提高了测绘作业的自动化程度以及精度方面的水平。

1.4.2 数据自动采集与处理

在开展测量工作的过程当中,无人测量船能够达成对多种不同来源的水下数据展开同步采集这样的目的,而且还会配合着实时滤波方面的算法、插值相关的算法以及配准等各类算法来对所采集的数据进行初步的处理操作,如此一来便能够让后期针对数据进行处理时的负担得以大幅度地减少。与此自动采集系统还能够依据环境所发生的各种变化而自动地去对采样频率以及相关参数做出相应的调整,进而切实保证所获取数据具备准确性以及时效性这两个特性,从而充分满足在复杂地形状况以及动态水文条件之下所存在的测绘方面的需求。

1.4.3 多传感器集成

无人测量船一般能够支持多种测绘以及环境传感器的集成工作,像单波束和多波束测深仪、侧扫声呐、水质监测仪还有水下摄像头等等都包含在内。借助统一的数据采集平台这一方式,是能够达成多源数据在时间方面以及空间方面的同步状态,并且还能协同处理这些数据,以此来强化对预测区整体特征的感知程度,进而为精细化开展水下地形建模以及进行综合环境评估给予相应的支撑。

1.4.4 安全性与适应性优势

无人测量船在设计以及作业进程里极为看重安全性,借助遥控应急切换机制、航行避障系统以及状态监控模块达成在全天候、多种条件下都能稳定运行的状态。在出现极端天气的情况、水流特别湍急的时候或者污染状况十分严重的水域当中,无人测量船能够取代人来开展作业,以此降低作业时所面临的风险,确保人员的人身安全。与此

它的模块化结构以及轻型设计同样赋予了它不错的运输特性以及较强的环境适应能力,是适合在多种应用场景下进行部署的。

2 水下地形测量技术基础

2.1 水下地形测量的基本概念

水下地形测量属于一种技术活动,它是借助专用仪器设备来获取水体底部地貌特征以及空间位置参数的。其涉及水深测量、水下目标识别、水底结构建模等诸多方面。而它的核心任务在于建立起精确且完整的可视化水下数字高程模型(DEM),从而给工程设计、水文分析、水利管理等方面给予基础空间数据方面的有力支撑。水下测量一般都对精度、密度以及覆盖率有着较高的要求,所以对于测量手段的智能化以及系统化水平也提出了相应的要求。

2.2 主流测量方法与技术比较

当前主流的水下地形测量方法有好几种,像人工操控的那种单波束测深方式,还有多波束声呐系统,另外激光水深探测也就是LiDAR bathymetry,以及侧扫声呐技术等等都算在内。单波束测深设备的操作是比较简单的,成本也不高,所以在小范围去做初步测量的时候挺合适的。多波束声呐就厉害了,它分辨率高,而且覆盖率也高,所以在精细测图方面应用得非常广泛。激光水深探测这种方法比较适合在水质清澈的水域使用,它的作业效率是挺高的,不过却很容易受到水质状况的影响。而侧扫声呐主要就是用来做水下物体识别以及地形起伏判别的工作。无人测量船其实是个能够集成多种平台传感器的载体,它可以很灵活地去搭载上述提到的那些设备,依据所要测量区域的具体特点来做出差异化的配置安排,进而提升测量的效率以及结果的质量。

2.3 无人测量船在水下测量中的适用性分析

与传统依靠人员开展的测量方式相比较而言,无人测量船有着诸多方面的适用性优势。它自身机动性较为出色,且体积相对较小,能够进入到像浅滩、狭窄河道这类传统船只很难抵达的区域去开展测量工作,如此一来便能够提升所测区域的覆盖率。其作业过程实现了高度的自动化,这就减少了对那些熟练操作人员的依赖程度,进而降低了人力成本以及操作过程中可能出现的误差。其搭载着多种类型的传感器组合,可以根据不同地形呈现出的特征来进行多模态的数据采集,从而提高整体测量的精度以及所获取数据的完整性。除此之外,在出现突发灾害或者污染事件的时候,无人测量船能够实现快速部署,顺利完成紧急测绘相关的任务,具备十分突出的应急响应能力。所以说,无人测量船已然成为现代水下测绘体系其中的一个极为重要的组成部分,并且在未来实现大规模替代传统人工作业这一方面也展现出了十分广阔的发展前景。

3 应用前景分析

3.1 技术发展趋势

随着人工智能、边缘计算、自动控制等相关技术不断

取得进展,无人测量船正迈向更高层级的智能化阶段。未来的无人测量平台不会仅仅依靠预设航线来执行任务,它还会拥有更出色的环境感知能力以及实时自主决策能力,进而能够在复杂的水域环境下达成动态避障、自适应路径调整以及航行策略优化等目标,以此切实提高作业所具有的灵活性与安全性^[1]。多船协同作业会成为发展的关键点,借助构建分布式协同网络,各个船只彼此间可以共享环境数据、任务进度以及作业资源,实现区域内高效地分工与协同作业,大幅度提升测绘效率与作业规模。并且,测绘精度与数据处理能力也会因为新一代多波束测深仪、水下激光扫描仪、惯性导航系统等高性能传感器的集成,还有嵌入式高算力处理单元与边缘智能模块的应用而持续获得提升,让无人测量船能够应对更为复杂的地形结构以及更高分辨率的测绘需求。无人测量船水下地形测量技术会朝着自动化程度更高、空间分辨率更精细、数据采集更实时、处理更智能的方向不断发展,给水文调查、水利工程、港航疏浚、生态监测等诸多领域给予更为可靠且高效的技术支撑。

3.2 市场需求分析

从实际的应用需求方面来讲,像水利工程建设、河道治理、港航运维以及水资源监测等诸多领域,对于那种能够高效且精准开展测绘工作的技术,其依赖程度是越来越高的了。随着国家不断推进数字孪生水利、智慧海洋还有生态治理等工程的建设,这就对水下测绘所涉及的空间数据的质量以及获取的效率,都提出了更为严格的标准要求^[2]。而无人测量船所具备的技术特性,恰好与这种发展趋势是十分契合的。除此之外,随着测量设备的成本逐渐降低并且技术也趋于成熟稳定,地方政府以及企业在对待无人测量装备时,无论是接受的程度还是投资的意愿,都有着较为明显的提高,由此看来,其产业化推广所能开拓的空间也是相当广阔的。

3.3 与人工智能、大数据等技术的融合前景

无人测量船充当数据获取平台,其后端的数据处理、分析以及建模环节正逐步引入人工智能和大数据技术。利用深度学习算法能够达成对复杂水下地形特征的自动识别与分类,联合历史测绘数据可以展开预测性分析以及三维重建工作。并且,凭借大数据平台所具备的海量数据管理与可视化系统,能够助力跨区域、多时相的数据比对与趋势监控,提高水下地理信息的综合运用价值。在未来,伴随5G、云计算等新一代信息基础设施的建设部署,无人测量船将会构建起一个由数据驱动、智能响应且可远程协同的测绘新生态系统。

3.4 推广应用的主要挑战与应对策略

虽然无人测量船呈现出不错的技术潜力以及颇为可观的市场价值,不过在推广应用期间依旧碰到不少实实在在的难题,迫切需要全方位加以应对。就设备成本和维护

费用而言,其处于相对较高的水准,这在很大程度上限制了它在中小型水利项目以及基层单位当中的普及程度;像高精度定位模块、姿态传感器、高性能电机这类核心部件,部分还得依靠进口,如此一来便存在着技术方面被“卡脖子”的风险;还有,行业标准体系当下还不完备,缺少统一的技术规范以及作业流程,结果在实际运用的时候,设备的兼容性欠佳,数据质量也是良莠不齐;除此之外,操控系统的复杂程度以及配套培训体系的不够完善,致使部分单位在应用过程中遭遇操作门槛过高的情况,人员适应起来也比较缓慢。对于这些难题,得从多个不同的维度着手去统筹推进相关事宜:其一,要加大针对关键核心技术的研发力度以及成果转化方面的投入,借助政策方面的引导作用以及专项资金给予的支持,达成传感器、导航系统、控制软件等关键部件的国产化替换目标,以此降低整体的成本支出,并且进一步强化技术的安全保障;其二,要加快推进构建起涵盖设计、制造、测试、应用各个环节的行业标准以及操作规范,从而保证设备能够相互操作,并且让测量数据具备科学性以及一致性^[3]。还需要强化技术服务体系的建设工作,建立起有层次、多渠道的培训机制,提高操作人员的专业技能水平以及应急处理的能力;与此还要积极探索和科研院所、高校展开产学研协同创新的机制,进而形成技术不断进步以及应用广泛推广的良好循环局面。凭借这样一系列系统的举措加以推进,是有可能有效地突破当前所面临的那些发展瓶颈的,进而推动无人测量船技术在更多的行业场景当中实现高效、安全且规模化的应用。

4 结语

无人测量船属于水下地形测量技术的重大创新成果,它在作业效率、测量精度以及安全性能等方面都对传统方式有了明显突破,已然成为智慧测绘领域极为关键的支撑工具。伴随核心技术持续取得进展以及应用体系逐步趋向完善,其在水利工程、生态治理、灾害应急、港口运维等诸多场景当中的应用将会进一步拓展开来。往后,凭借智能化、网络化、平台化这样的集成发展趋势,无人测量船会在推动水下测绘实现数字化转型以及提升水环境治理能力这些方面发挥出更加重要的作用。

【参考文献】

- [1]李海洲.无人测量船在水下地形测量中的应用[J].河南水利与南水北调,2024,53(7):102-103.
- [2]宁新龙.浅析无人测量船在水下地形测量中的应用前景[J].水利建设与管理,2021,41(3):47-50.
- [3]周京京.无人测量船在水下地形测量中的应用前景分析[J].大众标准化,2023(7):161-162.

作者简介: 欧阳飞(1973.9—),毕业院校:河海大学,测绘工程专业,当前入职单位:辽宁省自然资源事务服务中心,职称级别:高级工程师(专业技术六级岗位)。

多旋翼无人机倾斜摄影在油气田三维地形建模中的实践应用

逢万泽

大庆油田设计院有限公司, 黑龙江 大庆 163000

[摘要]油气田开发对地形地貌数据精度要求不断提高使三维地形建模技术慢慢变成油气田开发重要的辅助手段,倾斜摄影属于无人机遥感里的先进技术,因其获取数据全面、建模精度高、操作灵活,在油气田测绘实践里逐步得到应用,文中把多旋翼无人机当作平台,探讨倾斜摄影技术在油气田地形建模中的具体流程、关键技术和实施效果,且系统分析数据获取、建模精度控制以及后期处理流程,为油气田实现高效、低成本的三维地理信息建模提供技术支持与应用指导。

[关键词]多旋翼无人机; 倾斜摄影; 三维建模; 油气田; 地形测绘

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16852

中图分类号: P23

文献标识码: A

Practical Application of Multi Rotor Unmanned Aerial Vehicle Oblique Photography in 3D Terrain Modeling of Oil and Gas Fields

PANG Wanze

Daqing Oilfield Design Institute Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang, 163000, China

Abstract: The increasing demand for terrain and geomorphological data accuracy in oil and gas field development has gradually made 3D terrain modeling technology an important auxiliary tool for oil and gas field development. Tilt photography is an advanced technology in unmanned aerial vehicle remote sensing. Due to its comprehensive data acquisition, high modeling accuracy, and flexible operation, it has gradually been applied in oil and gas field surveying practice. In this article, multi rotor unmanned aerial vehicles are used as a platform to explore the specific process, key technologies, and implementation effects of tilt photography technology in oil and gas field terrain modeling. The system analyzes data acquisition, modeling accuracy control, and post-processing processes, providing technical support and application guidance for efficient and low-cost 3D geographic information modeling in oil and gas fields.

Keywords: multi rotor unmanned aerial vehicle; oblique photography; 3D modeling; oil and gas fields; topographic mapping

引言

地形精度在油气田开发中日益被依赖,然而传统测绘手段存在周期长、成本高、作业效率低等问题,多旋翼无人机倾斜摄影技术集低空遥感和数字建模优势于一体,能快速获取高精度地理信息数据,从而在地形测绘领域成为重要补充,本文从技术架构、实施路径、关键环节三方面系统分析其在油气田三维建模中的实际应用,为推广该技术提供参考。

1 多旋翼无人机与倾斜摄影系统概述

1.1 多旋翼无人机系统组成与性能特点

多旋翼无人机这种小型飞行平台靠多个旋翼提供升力并实现空间定位和导航,其主要由飞行控制系统、动力系统、导航模块、通信模块和任务载荷组成。飞行控制系统是整机的大脑,负责飞行姿态稳定和飞行路径控制,电机和螺旋桨构成的动力系统决定飞行时长和载重能力,导航模块借助 GPS、IMU 等传感器完成定位与航迹记录,通信模块保证地面与空中数据实时传输,多镜头倾斜相机或者光学遥感设备常作为任务载荷。多旋翼无人机具备起降灵活、操控简便、悬停精准、适应性强等优点,特别适用于高分辨率影像采集任务,尤其是中小区域内复杂地形

的任务,它自动化程度高、运行成本低、安全性高,在高频次、快速响应的测绘任务中能发挥重要作用且在油气田环境里现场适应力强大。

1.2 倾斜摄影技术原理与设备配置

倾斜摄影这种遥感成像方式不同于传统垂直摄影,它靠多个镜头分别从前、后、左、右、下等不同角度对地物进行拍摄,单次飞行就能获取有空间深度感和立体特征的影像数据且能捕捉地物立面纹理信息,生成的三维模型更真实、丰富,适合高精度三维地形建模,其设备一般有多镜头相机(五镜头或者七镜头)、高精度 GNSS/IMU 组合导航系统、影像控制系统和数据存储装置,并且有些高端平台把热成像、激光雷达等复合型传感器集成进来,让数据更完整,复杂地形解析能力更强,设备往往和无人机一体化集成,做到同步触发、稳定拍摄和精确定位,这技术短时间就能完成广域高密度的数据采集,三维建模的数据基础质量大大提高,在地理信息系统、数字孪生、地质勘探等领域是个重要工具。

1.3 技术适配性与油气田应用优势

油气田开发区域往往环境复杂、地形起伏且交通不便,传统测绘方式在数据精度、作业效率、作业安全方面存在

明显不足,而多旋翼无人机倾斜摄影系统能垂直起降、自主航线飞行以适应复杂环境,很适合快速获取油气田勘探区域的地形数据,其不用建立很多控制点就能达到厘米级精度建模,大幅降低人工成本与时间消耗,在获取大量倾斜影像数据后能还原地物真实几何形态,可为地质分析、管线布设、设备选址、安全评估等提供可靠依据,且可重复性强、现场能快速部署,很符合油气生产周期性监测与动态变化建模需求,与卫星遥感和地面测量相比,它时效性和空间分辨率更高,有效补上精细化地形建模的空缺,是油气田测绘技术体系的重要部分。

2 油气田三维建模的技术需求分析

2.1 油气田地形测绘的精度与效率要求

油气田是典型的资源开采区域,地形测绘工作对其数据精度、作业效率和作业周期要求极高,地质勘探、设备布设、场地施工等环节要靠精确的地形数据来指导工程决策、预判风险,误差得控制在厘米级,且管线敷设、井位布置、场地平整时模型必须高保真且完整;油气田地形环境复杂,有丘陵、沟壑、沙漠、沼泽等多种地貌类型,大多又在偏远地区,测绘工作要在短时间内完成高密度数据采集与处理才能保障开发进度;油气田开发分阶段且动态变化,地貌要定期更新建模,传统方法满足不了频繁测量需求,油气田测绘工作需要一种高精度、高效率、低成本还能快速响应的测绘方式,倾斜摄影和多旋翼无人机融合正好符合这些技术要求。

2.2 传统测绘方法的局限性

全站仪、RTK、激光扫描和地面摄影测量等传统测绘方法虽在特定应用场景下有一定优势,但在油气田环境里有不少限制,其靠人工操作,作业范围不大且覆盖效率低,面对大面积测绘任务需耗费大量时间和人力而无法满足工程快速推进的需求,在地势崎岖或人迹罕至之处如高原、戈壁、丘陵、植被覆盖地带,传统测量设备携带不便、安全风险增加且数据不易获取,采集的数据大多为点线状信息而无法完整表达地物立体形态、达不到三维建模所需的面状、高密度、多角度影像要求,而且激光扫描虽精度高却成本贵、操作环境要求高而难以广泛部署。

2.3 三维地形模型在油气勘探中的应用场景

油气勘探与开发全流程中,三维地形模型有着广泛的应用价值,在前期选址和可行性研究阶段,三维模型能将地貌形态真实还原,对地质构造判断、井位优化布设、资源分布分析起辅助作用,让勘探更准确、部署更合理,在基础设施设计与施工时,模型可用于场地规划、道路布设、排水设计和边坡防护,工程师能借此预判施工障碍、优化施工方案,提升工程实施效率与安全性,再次在油气田运营维护阶段,三维模型可用于动态监测和变化分析,做到滑坡风险、地表沉降、设施位移等问题的识别与预警,而且模型能与BIM、GIS等系统融合,构建油气田数字孪生平台,实现智能化运维管理。

3 倾斜摄影作业流程与数据获取

3.1 航线规划与飞行参数设定

油气田地形复杂,在这儿开展倾斜摄影任务,数据质量和作业效率若要有保证,航线规划就必须科学合理,这是关键且要按任务区地貌特征、飞行平台性能和目标建模精度专门设计。要拿到区域高程数据和边界信息,利用数字高程模型(DEM)构建出三维飞行仿真环境,从而能预测遮挡区域并避免高差干扰。航线布局一般采用平行交叉方式,使航迹能连续覆盖且影像分布均匀,再根据相机焦距、分辨率和视场角等参数,确定合适的飞行高度和航带间距,让图像分辨率和重叠度满足三维建模要求,一般而言,要高精度建模,飞行高度需控制在60~120m之间,航带间距不能超过侧向视野宽度的60%。

3.2 影像采集策略与重叠度设计

多角度、高重叠度的原始影像数据对构建高质量的三维地形模型很重要,倾斜摄影系统一般由五镜头或者七镜头组成,一次曝光就能获取前视、后视、左视、右视和垂直视角影像,采集策略得让各方向图像均匀、连续,不能有漏拍情况,要立体匹配效果好,纵向重叠度常设在75%~85%,侧向重叠度保持在65%~75%,建筑密集区或者起伏地貌这种特殊区域可适当提高重叠比例,重叠度这么设计,模型表面结构完整、纹理质量好,空三匹配稳定、模型几何精度也能提高,航线交会区域得增加缓冲带重叠影像,边缘模型一致性才会提高,防止图像模糊或者曝光异常的话,得考虑光照条件,飞行优先选无风、光照均匀的时间段。

3.3 控制点布设与现场数据管理

倾斜摄影建模中,地面控制点(GCP)是模型地理配准与精度控制的重要保障且作用很关键,任务区域的各个角落以及中部关键地形变化区域都应分布控制点以形成良好的空间约束体系,任务规模与精度需求决定控制点数量且一般每平方公里设5~10个控制点并用高精度RTK或者全站仪测量三维坐标且误差要控制在厘米级,控制点的位置要选在视野开阔、标识稳定、镜头容易捕捉的区域且避开反光面和遮挡物以保证在多幅影像里都能清楚看到,为提高建模精度也可结合检查点布设用来在后期验证精度,数据采集完了之后要严格整理编号、坐标记录、影像对应关系并建立完整的数据管理体系,影像数据和控制点信息要同步备份且做初步质检以排除模糊、缺失、重复数据从而给后续建模流程提供规范、高质量的原始资料基础。

4 三维建模与精度控制策略

4.1 数据预处理与图像匹配技术

三维建模前的数据预处理环节对后续模型的质量与精度有着直接的影响,其关键任务是图像筛选、坐标校验、控制点导入和影像配准。采集的影像需先进行质量检查,剔除模糊、曝光异常或者重复的图像以保证用于建模的数据清晰、连续且重叠度足够,之后将无人机采集的POS数据和影像文件关联起来统一坐标系与高程基准,从而防

止数据不一致带来误差。控制点数据导入软件进行定位标注且要和影像中的标识点一一对应,这样空三匹配的空间约束能力就会增强。到图像匹配阶段,使用 SIFT、SURF 或者 ORB 等特征提取算法提取图像关键点,再通过匹配算法让不同影像间的特征对齐,从而构建出稀疏点云。现代建模软件集成了高效的图像匹配引擎,能自动完成匹配过程并形成结构化的点位关系以供空三重建使用。

4.2 三维建模软件应用与操作流程

倾斜摄影采集的多视角影像数据,三维模型构建需借助 Pix4D、ContextCapture、Photoscan(AgisoftMetashape)、RealityCapture 等常用的专业建模软件,这些软件集成了影像导入、空三重建、点云生成、模型构建与纹理贴图图等全流程功能。建模操作流程大体有五步,先导入原始影像数据和控制点坐标并设定好坐标系统和投影参数,接着自动空三重建并靠光束法平差生成高精度稀疏点云,再生成密集点云以提取地物表面细节特征,之后进行三角网(Mesh)重建与纹理映射得到可视化且真实感强的三维模型,导出模型成果如 DSM(数字表面模型)、DOM(正射影像图)、三维模型文件(如 OBJ、LAS、FBX 等)用于后续分析或者平台集成。操作时需考虑区域复杂性和模型用途,灵活选择参数设置与输出格式并结合硬件资源优化处理,这样才能提高建模效率和成果稳定性。

4.3 精度验证与误差修正方法

三维模型完成之后,要对其进行系统的精度验证与误差修正工作,只有这样才能确保成果可用且有工程应用价值。精度验证大多用控制点与检查点残差对比法,即将已知坐标点在模型里的重投影位置跟实测坐标作比较,算出平面误差和高程误差, RMSE(均方根误差)、最大偏差与误差分布图等是常见指标,误差需控制在目标精度要求范围里(像 1:500 测图就得控制在 10cm 以内),若发现误差太大就要分析原因,控制点标注不准、影像匹配偏移或者坐标系统不一致等都有可能,采取针对性的修正措施,误差修正常用的方法有重新标注控制点、优化空三参数、引入检查点重新调整模型或者局部修补点云与纹理,特定区域建模畸变严重时还可以用手动编辑、重新采集局部数据或者融合激光扫描数据等方式来增强精度,系统地实施精度控制策略,最终就能得到几何精度高、视觉效果真实、适用性强的三维模型,满足油气田各种精细测绘与工程分析的需求。

5 典型应用案例与实践成效分析

5.1 某油田应用场景数据采集概况

西北某典型油田区域地形起伏大,有沙丘、戈壁、裸岩等多种地貌,传统测绘难以全面高效获取数据,项目让多旋翼无人机带着五镜头倾斜摄影系统,在预设约 2.6 平方公里区域飞行测绘,飞行参数设为航高 90m、航向重叠 80%、旁向重叠 70%,6 批次飞行下来采集影像近 8000

张,并且布设 9 个高精度控制点和 3 个检查点,用 RTK 技术测三维坐标以保证数据几何精度符合建模要求,整个采集仅花 2 天,作业效率大大提高。

5.2 三维模型成果展示与对比分析

专业建模软件处理采集的数据后生成高精度三维地形模型,像数字表面模型(DSM)、实景纹理模型以及正射影像图(DOM)都包含在内且空间分辨率能达到 5cm,倾斜摄影模型相较于传统地面测量成果在地物表达的立体感与完整性上更胜一筹,在设备区、道路、沟壑等细节区域建模效果尤其突出,该模型不但能准确还原地形起伏和人工设施轮廓,而且可直接用于油田设施规划、管线走向分析和地形变化监测,工程适应性与可视化能力良好。

5.3 成本效益评估与推广建议

无人机倾斜摄影建模用于本次项目,在作业周期、人力投入和数据精度上都比传统方法要好,同等作业规模时成本能降大概 40%且测绘周期能缩短 70%还多,作业人员只要 3 个就够了且安全性和便捷性提高很多,成果的工程适配度和更新灵活性也不错,该技术完全有潜力在油气田开发全生命周期推广应用,建议根据区域特点建标准化飞行和建模流程并推动技术和 BIM、GIS 平台集成,把油气田地理信息系统建设水平再提一提。

6 结语

多旋翼无人机倾斜摄影技术具有高精度、高效率、低成本等优势,在油气田三维地形建模中成效显著,科学规划航线、高质量采集数据、精细化建模流程既能提高作业效率,又可使模型质量和地形表达精度大幅改善,实践证明该技术在复杂地貌、偏远区域和动态更新场景下适应性广有推广价值,以后要继续推动其与 GIS、BIM 等系统深度融合,构建智能化、标准化的油气田测绘新体系以推动行业数字化发展。

【参考文献】

- [1]安晓辉.无人机倾斜摄影测量技术在油气田工程的应用策略[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(9):163-165.
- [2]高瑞帅.2022 年石油天然气勘查技术中心站第 29 次技术交流研讨会论文集[C].中国建筑学会工程勘察分会:中国建筑学会工程勘察分会,2022.
- [3]郑国威,贾鹏,李晓飞,等.无人机影像匹配点云技术在油气田线路测量中的应用[J].测绘标准化,2020,36(4):66-68.
- [4]龙奕鑫.探析地质测绘中无人机低空摄影测量技术的应用[J].中国设备工程,2025(11):219-221.
- [5]庞金昆.无人机倾斜摄影测量在沁水县基础测绘中的应用研究[J].华北自然资源,2025(3):80-84.

作者简介:逢万泽(1993.12—),毕业院校:黑龙江工程学院,所学专业:测绘工程,当前就职单位:大庆油田设计院有限公司,职称级别:助理工程师。

提高电力工程岩土勘察质量及对策探讨

李光武

宁夏先科电力设计咨询有限公司, 宁夏 银川 750000

[摘要]岩土勘察作为电力工程建设的重要前期环节,和工程的安全性以及经济可行性直接相关。伴随电力工程规模渐趋扩大与复杂度上扬,保障岩土勘察质量变得愈发关键。通过对当下电力工程岩土勘察里存在的主要问题展开了系统剖析,有勘察方式单一性突出、数据精度不理想、现场管理未做到位等。对于这些问题而言,提出改进勘察技术、完备管理体系、强化人员训练等对策,意在增强岩土勘察的科学性与精准度,为电力工程的有序实施筑牢坚实后盾。

[关键词]电力工程;岩土勘察;勘察质量;技术优化;管理对策

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16888

中图分类号: TU452

文献标识码: A

Discussion on Improving the Quality of Geotechnical Investigation in Power Engineering and Countermeasures

LI Guangwu

Ningxia Xianke Electric Power Design Consulting Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750000, China

Abstract: Geotechnical investigation, as an important preliminary stage of power engineering construction, is directly related to the safety and economic feasibility of the project. As the scale and complexity of power engineering continue to expand, ensuring the quality of geotechnical investigation has become increasingly crucial. A systematic analysis was conducted on the main problems existing in the current geotechnical investigation of power engineering, including prominent singularity of investigation methods, unsatisfactory data accuracy, and inadequate on-site management. For these issues, measures such as improving survey techniques, improving management systems, and strengthening personnel training are proposed to enhance the scientific and accurate nature of geotechnical surveys, laying a solid foundation for the orderly implementation of power engineering.

Keywords: power engineering; geotechnical investigation; survey quality; technical optimization; management countermeasures

引言

岩土勘察作为电力工程设计和施工的基础工作,其质量好坏会直接关乎工程的安全状况、经济成本与施工效能。伴随我国电力行业的迅猛发展,工程项目渐次朝着大型化、复杂化的方向拓展,对岩土勘察的技术水平、质量的要求不断加码。现阶段电力工程部分岩土勘察工作还存在诸多弊病,造成后续设计和施工期间出现隐患跟风险。怎样实现岩土勘察质量的提升,支撑电力工程稳步开展推进,成为业内关注的主要焦点。本文对岩土勘察工作的现状及相关问题进行分析,结合先进的技术与管理经验做法,制定切实可行的改进办法,为电力工程岩土勘察质量改进提供理论与实践的参考借鉴。

1 电力工程岩土勘察概述

岩土勘察是借助现场勘查、钻探取土样、试验测定等途径,获得地质与土体性质的资讯,为电力工程设计和施工供给参考凭据。其主要任务有对地质环境开展分析、确认土层结构、测定岩土力学参数以及评估地基的承载能力。岩土勘察的科学准确性高低,直接影响着工程结构设计的合理安全性。伴随智能化技术的拓展,现代岩土勘察慢慢引入地质雷达、三维地质建模这类高新技术,提升了数据采集和分析工作的效率及精度^[1]。

2 电力工程岩土勘察存在的问题

2.1 勘察技术手段单一

就当前电力工程的岩土勘察而言,不少项目依旧主要依靠传统的钻探与土样取样技术,虽说这种方式有获取基础数据的一定能力,只是技术手段相对单一化,难以完整呈现复杂地质构造的全貌。传统钻探手段常常因采样深度、钻孔位置及周边环境而受限,难以囊括地质条件的全部情形,尤其是在复杂的地质环境或者软弱土层地段,信息采集有未触及的盲区。同时,未采用现代地质探测技术,诸如地质雷达、三维地质成像、地球物理探测这些,致使难以精准判定地下结构空间分布及异常体特征,影响勘察结果在精准度和完整性上的体现。

2.2 数据精度和代表性不足

电力工程岩土勘察数据的精准度与代表性,会直接关系到后续设计的科学性以及工程安全。现阶段存在的主要问题是勘察点布局不合理,布点出现过稀或过度聚集情形,未能全面包括不同地质条件的区块,导致所采集的数据难以反映地质的复杂变异性。此外,样本数量匮乏,缺少充分有代表性的样本作支撑,难以保障数据的统计意义与普遍适用效果,尤其是于地质状况变化多样的地带,该问题的显著程度愈发凸显。在开展数据采集事宜期间,有时候

存在取样方式不标准、试验检测流程不严密的问题,进而对数据的准确程度与可靠程度造成影响。

2.3 现场管理和质量控制薄弱

电力工程岩土勘察现场管理的薄弱环节凸显,影响到整体勘察的质量。在勘察过程里现场监控措施匮乏,操作时勘察人员或许存在随意现象,未切实依照技术规范与操作流程执行。质量检视把关较松,不存在系统性的监督机制,引发勘察数据采集、记录与样本保存呈现不规范现象,甚至出现数据造假、擅自篡改等严重差错,这影响到了勘察结果是否真实可靠,还对工程安全构成潜在隐患。部分项目缺少第三方独立监督约束,现场质量管理徒具形式而已,无法高效察觉和纠正差错,现场设备的维护及校准操作不到位,引起测试仪器精度出现下降^[2]。

2.4 专业人员技能不足

岩土勘察工作专业性表现较强,勘察人员的技能水平直接左右着勘察质量的好坏。针对目前而言,部分勘察队伍的专业素质存在参差不齐问题。一些人员未具备系统的地质勘察理论培训及实践经验,难以承担复杂地质环境下的勘察工作;伴随智能制造与信息技术的进步,现代岩土勘察对新技术、新设备应用能力的要求进一步提高,部分人员对先进仪器操作以及数据分析软件掌握存在不足,影响到了勘察的效率以及质量。此外,持续培训跟技术交流机制完善程度低,致使勘察队伍难以维系技术更新与能力的增长,难以马上跟上行业技术演进和规范要求。专业能力的匮乏影响了勘察数据准确性,同样阻碍了技术创新的具体实施。为此,需构建一套系统的人员培训机制,定期开展技能进阶与新技术运用培训,加大校企合作的力度,促进专业人才培养与技术的传承。

2.5 信息整合与应用不畅

在电力工程岩土勘察作业期间,纵然数据采集量随年份不断增加,信息整合与应用方面依旧面临大瓶颈。不同部门及平台里多分散存着各项目勘察数据,缺乏统一的管理跟共享制度安排,导致数据在有效集成与交叉验证上存在困难。设计、施工等相关部门不能及时获取到全面又准确的岩土信息,损害了工程设计的科学性与施工方案的合理性。有部分数据格式不标准、规范不统一,增大了数据处理的难度以及误差产生的几率。信息技术支持存在短板,匮乏智能化地质信息管理系统,限制了数据深度挖掘及应用价值的呈现。此外,信息孤岛现象极为凸显,跨部门与跨专业间的信息沟通受阻,影响到协同工作的实际效率。为攻克上述困境,需要搭建起统一的岩土勘察信息管理平台,实现数据标准化采集、储存及共享^[3]。

3 提高岩土勘察质量的对策建议

3.1 引进先进技术手段

为提升电力工程岩土勘察质效,有必要积极引入及应用先进的勘察技术手段。借助现代地质雷达技术可开展对地下

结构的非破坏性探测,快速获取到岩土体的连续断面图,填补因传统钻探点位局限造成的数据空缺,增进对地质体复杂性的辨认能力。三维地质建模技术借助整合多源数据并实现三维可视化,协助工程师直观了解地下岩土体的空间分布及变化规律,为设计工作打造更精准可靠的地质基础。实施自动化钻探设备的运用,可提高钻探的效率与钻孔的质量,减少人工操作造成的差错,保证所采样本的代表性与精准度。此外,采用无人机遥感、地球物理测量和智能传感技术进行配合,可达成多尺度、多维度的综合调查勘探,极大扩充数据类型及内容。引入先进技术,既扩大了数据覆盖范围,又增强了其精确性,还为精准呈现岩土体结构及开展动态监测给予了有力技术保障,推动勘察成果朝着数字化、智能化迈进,顺应现代电力工程复杂地质条件下的安全设计诉求。

3.2 科学规划勘察方案

科学合理的勘察方案对保证岩土勘察数据质量起着关键作用。需按照工程项目的规模、地质表现及风险等级,革新勘察点布置安排,尤其在地质状况复杂或工程关键部位加大勘察点的深度与密度,保证采样具有极佳的代表性及覆盖面。依靠地质调查与预勘察举措,厘定勘察的目标重点,恰当地划分勘查的区域,杜绝勘察的盲目性与重复性,增进资源利用功效。规划全面系统的勘察计划及技术规范要求,涉及勘察办法、设备选定、采样技术和试验程序,保证数据采集既系统又规范且科学。计划需增添应急预案以及风险管理的相关措施,防范现场的异常状况影响到数据采集。着重多学科联合勘察事宜,归并地质、地球物理、水文及环境等多范畴信息,增强勘察成果的综合度与精准度。科学规划令勘察数据的系统性与完整性获得提升,更为后续的设计与施工筑牢了数据支撑根基^[4]。

3.3 加强现场管理与质量控制

提升现场管理及质量控制水平,是保障岩土勘察数据真实可靠的核心要点。应制定健全的现场管理规范,厘定各环节的责任相关人,对操作流程进行规范。切实依照技术标准与安全规范开展工作,对整个流程实施质量监控,涵盖钻探过程的监测要点、样本采集与保存重点、实验检测关键和数据记录核心,保障各步骤均符合规范且公开透明。引入第三方质量监督机构,实施客观且独立的检查评估活动,杜绝数据造假及违规行为蔓延,提升勘察工作在业界的公信与权威水平。同时,强化对设备维护校准的管理,使仪器仪表的精度及性能稳定下来,防范设备故障引起的数据误差,加强现场人员责任、质量意识相关培训,引导质量文化建设工作开展。采用信息化方式,实现现场数据即时上传及监控,增强质量控制的效率与精准度。完备的现场管理与质量控制体系不仅让数据真实又完整,更为工程设计及风险防范夯实坚实基础。

3.4 提升专业人员素质

专业人员的素质对岩土勘察质量起着决定性作用,就

当前勘察队伍中技能有差异、知识更新不及时等情况而言,需拟定一套系统的人员培训规划,按计划开展技术培训与经验互动活动。培训内容既包含岩土工程基础理论,也涵盖相关规范,还得重点突出现代勘察技术的应用实践,如开展数字地质建模活动、操作智能钻探设备与使用数据分析软件^[5]。号召技术骨干参与国内外专业相关研讨会,紧跟行业前沿动态,提升团队技术综合水平。聚焦于实践能力培育,依靠现场指导及模拟演练增强勘察人员现场应变和处理问题的能力,夯实报告编写规范培训基础。增强勘察成果的专业水准与表达明晰度,学校跟企业联合开展技术交流与人才造就,实现产学研有机结合。建立激励机制,带动技术创新与专业综合提升,打造一支高素质、复合型的岩土勘察专业团队,让勘察质量与行业技术进步同步提升。

3.5 完善信息管理系统

构建高效信息管理系统,是提高岩土勘察数据利用效率与工程协同能力的关键保障。应创建统一的岩土勘察信息数据库藏,实现数据按数字化方式采集、存储与管理,让数据格式标准化、结构实现规范化。无人机具备高机动性和高分辨率成像能力,能够快速获取塔位及周边地形的高清影像数据,并通过图像建模、三维重建等处理手段,实现塔位空间信息的直观呈现。这种方式不仅避免了人工勘察可能存在的安全风险,还能显著提升偏远区域勘察的覆盖广度和作业效率。所采集的影像数据可直接接入岩土勘察信息管理系统,结合钻孔资料、地质模型等其他信息进行集成分析,形成统一、可视化的地质信息平台。通过无人机成图,不仅可快速完成塔位初步选址,还能为后续地质分析与结构设计提供准确的空间基础数据,真正实现数据获取与管理的智能化、高效化。此外,借助云计算技术,这些数据可以实现远程实时上传与备份,相关设计与施工单位可即时获取最新勘察影像与地质数据,有效支持协同作业与工程决策^[6]。(如下图1所示)



图1 针对人力无法到达的塔位,采用无人机影像成图,确定塔位

大数据技术使勘察数据处理在智能性和高效性上更上一层楼。借助对海量历史与实时勘察数据的收集、梳理和剖析,可挖掘出地质变化规律及潜在的隐患,辅助工程师形成更科学合理的设计抉择。同时,采用人工智能算法,实现数据的自动辨识、异常诊断和趋势预估,进一步挖掘

勘察数据的利用价值。例如,采用机器学习模型对复杂地质信息实施分类与评估,可提升勘察结果的准确程度和可靠水平。系统需配置完备的权限管理手段,实现数据安全及隐私的有效保护。在不同层级与岗位的用户依据权限开展数据的访问与操作,阻止数据泄露及未获批准的修改,保证信息达到安全合规要求,这对关乎国家基础设施安全的电力工程而言格外关键。

信息管理系统还需重视推动跨部门及跨领域的信息共享与协同工作开展,瓦解“信息孤岛”壁垒。依靠设立统一的平台,达成勘察、设计、施工、监理等多主体间的实时数据交互与沟通,增进协同成效,降低重复性事务与信息差错,多方的协同合作显著加速了工程进度,还增强了项目整体质量与风险把控能力。健全的信息管理体系优化了岩土勘察数据管理及应用的流程,还带动电力工程项目管理往数字化、智能化方向转变升级。采用数据驱动的科学规管,加大了工程设计的科学力度与施工方案的合理力度,有力维护了工程的安全性及经济效益,推动了现代电力工程迈向高质量发展阶段^[7]。

4 结语

电力工程岩土勘察质量的提升是保障工程安全、经济和高效运行的关键环节。借助引入先进科技、优化勘察方案、强化现场管理、提升人员业务素质及完善信息管理模式,可有效消除当前存在的诸多问题,大幅增强勘察的科学性与精准度。未来,应进一步推动产学研结合,促进技术创新和管理机制完善,不断提升电力工程岩土勘察整体水平,为我国电力行业的可持续发展提供坚实的地质保障。

[参考文献]

- [1]开明,鲁玉芬.岩土工程勘察中土壤力学参数的获取与分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(14):181-183.
 - [2]马光美.提升岩土工程勘察的土工试验数据精准性的探讨[J].石材,2025(5):37-39.
 - [3]查道静.新型勘察技术在复杂地质岩土工程勘察中的应用[J].建材发展导向,2025,23(8):49-51.
 - [4]周泰宇.地质雷达探测技术在复杂地质岩土勘察中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(4):51-53.
 - [5]王新红,马文龙.提高电力工程岩土勘察质量及对策探讨[J].中国科技投资,2021(19):171-172.
 - [6]李斌.电力工程岩土勘察的特点与方法研究[J].科学技术创新,2020(13):47-48.
 - [7]廖爱平,江志军.提高电力工程岩土勘察质量及对策探讨[J].建材与装饰,2016(43):212-213.
- 作者简介:李光武(1989.6—),毕业院校:长安大学,所学专业:勘查技术与工程,当前就职单位:宁夏先科电力设计咨询有限公司,职务:岩土专业工程师,职称级别:工程师。

装配式建筑设计中的模块化与标准化策略研究

武梦磊

河北天艺建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着建筑行业向绿色化、工业化转型,装配式建筑成为发展重点。模块化与标准化策略是提升装配式建筑质量、效率与经济性的关键。深入剖析模块化与标准化策略在装配式建筑设计中的应用逻辑,研究其对成本控制、生产效率提升及质量保障的作用机制,探讨在复杂建筑需求与创新设计下二者的融合路径,为装配式建筑可持续发展提供理论与实践参考,助力建筑行业工业化进程。

[关键词]装配式建筑;模块化设计;标准化策略;成本控制;生产效率

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16873

中图分类号: TU391

文献标识码: A

Research on Modularization and Standardization Strategies in Prefabricated Building Design

WU Menglei

Hebei Tianyi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the transformation of the construction industry towards green and industrialization, prefabricated buildings have become a key focus of development. Modularization and standardization strategies are key to improving the quality, efficiency, and economy of prefabricated buildings. Thoroughly analyze the application logic of modularization and standardization strategies in prefabricated building design, study their mechanisms of cost control, production efficiency improvement, and quality assurance, explore the integration path of them under complex building requirements and innovative design, provide theoretical and practical references for the sustainable development of prefabricated buildings, and assist the industrialization process of the construction industry.

Keywords: prefabricated building; modular design; standardization strategy; cost control; productivity

引言

建筑行业面临资源消耗大、建造效率低、环境污染重等问题,装配式建筑以工厂预制、现场装配的模式,成为行业转型的重要方向。模块化与标准化作为装配式建筑设计的核心策略,关乎其能否突破发展瓶颈。当前,如何有效运用模块化与标准化策略,实现建筑功能、成本与效率的平衡,满足多样化建筑需求,成为亟待解决的问题,对其展开研究具有重要的现实意义。

1 策略核心要点

1.1 模块化的本质与规则构建

模块化设计以建筑功能需求与结构逻辑为出发点,将复杂的建筑系统拆解为具有独立属性的单元模块。这种拆解并非随意切割,而是依据功能完整性与结构合理性进行划分。住宅建筑可划分为厨卫模块、卧室模块、公共空间模块等,每个模块都具备明确的功能定位与物理边界。在规则制定上,模块的尺寸需遵循建筑模数协调原则,连接方式采用标准化接口设计,确保不同模块在组合时能够无缝衔接。这种规则化的设计逻辑,使得模块既可以独立生产运输,又能在施工现场灵活组装,形成多样化的建筑形态。

1.2 标准化的体系化建设

标准化策略围绕装配式建筑全流程展开,构建起覆盖构配件、生产工艺、施工流程的完整体系。在构配件层面,

从墙体板材、梁柱结构到门窗五金,均制定统一的材料规格与质量标准,确保不同厂家生产的构件具有通用性。生产工艺方面,通过规范模具设计、浇筑流程、养护条件等环节,实现产品质量的稳定性控制。施工流程标准化则体现在安装步骤、安全规范与验收标准的统一,避免因操作差异导致的质量隐患。这种体系化建设如同精密的齿轮系统,每个环节都精准咬合,保障建筑生产的高效运转。

1.3 双策略协同的价值创造

模块化与标准化的协同作用,重塑了装配式建筑的生产逻辑。模块化通过单元拆解降低设计复杂度,设计师只需在标准模块库中选择组合,即可快速生成建筑方案,大幅缩短设计周期^[1]。标准化则为模块化提供质量与效率保障,统一的生产标准使得模块能够实现规模化制造,降低单位生产成本。两者结合打破了传统建筑设计与施工的线性模式,形成以模块为基础、标准为纽带的协同网络,让建筑从设计到落地的全流程更具可控性与可预测性,为行业转型升级注入新动能。

2 应用关键作用

2.1 成本控制的深层逻辑

装配式建筑的成本优势源于模块化与标准化策略对资源的精准配置。标准化生产通过批量制造减少材料浪费,模具的重复使用降低了开发成本,使得单位构件的生产成

本显著下降。模块化设计则将复杂的建筑产品分解为简单模块,每个模块的研发成本通过批量生产分摊,形成规模效应。重复使用的厨卫模块只需一次设计投入,后续生产中通过规模化复制降低成本。这种成本控制并非简单地节约,而是通过优化资源配置与生产模式,实现全生命周期的经济价值最大化。

2.2 效率提升的多维路径

标准化与模块化策略从工厂预制到现场装配,全面提升建筑生产效率。在工厂环境中,标准化构件依托流水线生产,工人熟练操作与自动化设备配合,大幅缩短生产周期。模块设计的独立性使得各部件可并行生产,进一步提高效率。施工现场,模块化组合简化了装配流程,如同搭积木般快速完成建筑搭建。标准化的连接节点设计减少了现场调试时间,工人无需复杂培训即可熟练安装。这种生产模式的革新,将传统建筑的“现场作业”转化为“工厂制造+现场组装”,显著缩短项目工期。

2.3 质量保障的闭环管理

装配式建筑的质量稳定性得益于标准化与模块化构建的闭环管理体系。在生产环节,标准化工艺与质量检测流程确保每个构件都符合统一标准,避免因人工操作差异导致的质量波动。模块化设计将复杂的施工工艺分解为简单的模块安装,减少了现场湿作业与高空作业,降低施工风险^[2]。在验收阶段,明确的质量标准为检验提供依据,任何不符合标准的模块都可追溯至生产环节进行修正。这种从设计、生产到施工的全程质量管控,为建筑的耐久性与安全性提供了坚实保障。

3 设计融合路径

3.1 功能需求向模块方案的转化

在建筑设计的初始阶段,设计师面临的核心挑战是将抽象的功能需求转化为具象且可行的模块化组合方案。这一转化过程绝非简单的空间划分,而是一场对建筑使用逻辑的深度解构与重构。以办公建筑为例,设计师需要精准区分公共交流区域与私密办公空间,通过动线规划和功能分区,确保不同工作场景的高效运转;住宅设计则需在居住舒适度与空间利用率之间寻求精妙平衡,既要满足日常生活的功能需求,又要充分考虑居住者的情感体验。

3.2 标准化约束下的模块优化

模块化设计并非天马行空地创作,而是需要在严格的标准化框架内寻求功能与生产的最佳平衡点。这一优化过程涉及多个维度的综合考量,每一个环节都对模块的最终性能和施工效率产生深远影响。模块尺寸的确定是关键环节。设计师需要综合考虑建筑模数体系与实际运输条件,过大的模块可能超出运输设备的承载能力,增加运输成本与施工难度;过小的模块则会降低生产效率,增加装配工作量。合理的尺寸设计不仅能确保模块在工厂内高效生产,还能在运输过程中避免不必要的损耗,实现从生产到安装

的无缝衔接。

3.3 技术赋能下的灵活设计

随着数字化技术的飞速发展,参数化设计、BIM(建筑信息模型)等先进工具为模块化与标准化的深度融合开辟了新路径。参数化设计赋予设计师前所未有的创作自由度,通过调整关键参数,系统可快速生成不同尺寸、形态的模块方案,同时自动校验方案是否符合标准化要求^[3]。当改变模块的长宽参数时,系统会即时检测其是否满足建筑模数标准与结构安全规范,确保设计方案既富有创意又切实可行。

4 行业发展趋势

4.1 技术驱动的策略革新

在建筑技术的持续演进浪潮中,模块化与标准化策略正经历着深刻变革。新材料的不断问世,为建筑模块赋予了全新的生命力。新型复合材料凭借独特的分子结构与物理特性,在保温隔热方面表现卓越,能够有效抵御外界极端温度的侵袭;其优异的防水性能,更是为建筑模块构筑起一道坚不可摧的防护屏障。这些材料重量轻、强度高,极大地降低了运输与安装过程中的难度与成本,让建筑模块的移动与搭建变得更加轻松便捷。3D打印技术的出现,宛如一把神奇的钥匙,打开了建筑构件定制化生产的大门。以往那些因工艺复杂而难以实现的独特造型,如今在3D打印技术的助力下,都能一一呈现。从造型别致的装饰构件到结构复杂的功能性部件,3D打印技术不仅实现了复杂构件的精准制作,更突破了传统标准化构件在形态上的固有局限,为建筑设计带来了无限的创意可能。

4.2 全生命周期的策略延伸

如今,模块化与标准化策略的影响力已远远超出设计与建造阶段的范畴,逐步向建筑全生命周期的各个环节延伸渗透。在建筑运维阶段,标准化模块的优势得到充分彰显。由于每个模块都具有统一的规格与接口,一旦出现故障,维修人员能够迅速定位问题模块,并进行快速检修与更换,就像更换电子产品的零部件一样便捷高效,极大地降低了维护成本与时间成本。模块化设计中预留的扩展接口,更是为建筑功能的灵活改造提供了可能。随着用户需求的变化,无论是增加新的功能区域,还是对原有空间进行重新规划,都能通过接入新的模块轻松实现,让建筑始终保持与时代需求相契合的活力。

4.3 跨界融合的发展趋势

展望未来,模块化与标准化策略将与城市规划、物联网、大数据等领域展开深度融合,碰撞出绚丽的创新火花。在城市规划层面,标准化模块将成为城市应急保障体系的重要力量。当自然灾害或突发事件发生时,这些标准化模块能够迅速组装成应急住房、临时医疗设施等,为受灾群众提供及时的庇护与服务,有效提升城市应对危机的韧性^[4]。物联网技术的应用,将为建筑模块赋予智慧“大脑”。通

过在模块内部部署各类智能传感器与通信设备,实现模块内部设备的互联互通。从智能照明、温控系统到安防监控设备,都能通过物联网进行集中管理与远程控制,构建起一个高效、便捷、舒适的智慧建筑生态系统。

5 现存主要问题

5.1 标准体系的完善困境

当前装配式建筑标准体系犹如一盘未梳理整齐的丝线,存在诸多亟待解决的症结。从地域与部门维度来看,标准之间如同各自为政的孤岛,缺乏协同性。不同地区基于自身发展需求、不同部门依据管理职能制定的规范,常常出现相互矛盾的情况。这就好比为同一栋建筑绘制了多张相互冲突的蓝图,企业在实际操作中,如同陷入迷雾森林,不知该遵循哪一套准则。以构件尺寸为例,建筑设计规范描绘的理想尺寸,与施工验收标准要求的现实尺寸形成错位,导致生产与安装环节频繁返工,严重影响了工作效率。

在技术发展的浪潮中,标准体系又暴露出更新迟缓的短板。当新材料、新工艺如同雨后春笋般涌现时,现行标准却未能及时为其搭建规范的框架。这使得这些创新成果在应用时,如同在黑暗中摸索前行,缺乏明确的方向指引,极大地束缚了行业创新的步伐。部分标准的表述过于笼统模糊,仅勾勒出大致的轮廓,却未填充具体的实施细节,在实际执行过程中,就像给工匠一把没有刻度的尺子,难以精准把控,给工作带来诸多困扰,成为装配式建筑规模化发展道路上的绊脚石。

5.2 设计思维的转型挑战

传统建筑设计理念与装配式建筑的模块化、标准化需求之间,存在着难以跨越的鸿沟。长期以来,设计师们就像追求独特艺术创作的艺术家,以个性化为设计的核心导向,热衷于雕琢建筑形态的独特性,力求让每一座建筑都成为独一无二的艺术作品。模块化设计却如同工业生产的流水线,强调的是重复性与通用性,期望通过标准化模块的组合,实现高效生产与稳定质量。这两种截然不同的理念,就像两条难以交汇的平行线,在实际设计过程中不断碰撞出矛盾的火花。

不仅如此,传统设计流程仿佛是一个封闭的循环,在构思方案时,常常忽视生产施工环节的实际需求。这导致许多设计方案在落地时,就像不合脚的鞋子,因模块尺寸不合理、连接方式不具备可操作性等问题,不得不进行大幅度修改,既浪费了时间与精力,又增加了成本。与此设计工具与教育体系也未能跟上时代的步伐,如同老旧的生产设备与过时的教学内容,缺乏专门为模块化设计量身定制的专业软件与课程。这使得设计师们在接触模块化设计时,如同面对陌生领域的探索者,缺乏称手的工具与系统

的指导,难以熟练掌握相关技术,进而影响了设计的质量与效率。

5.3 产业链协同的深层矛盾

装配式建筑产业链犹如一个庞大而复杂的机器,涵盖设计、生产、施工、运维等多个精密运转的齿轮。在模块化与标准化的推进过程中,各参与方对其认知与执行却存在着显著差异。设计单位就像充满灵感的艺术家,更关注设计方案的创意与美感,希望打造出令人眼前一亮的建筑作品;生产企业如同严谨的成本管理者,追求的是在保证质量的前提下实现成本效益最大化;施工单位则好比现场的指挥官,将安装便捷性作为首要考虑因素^[5]。这种目标上的差异,使得各环节之间的协同如同演奏一场节奏混乱的交响乐,难以和谐共鸣。

信息传递不畅更是加剧了这种矛盾冲突,就像信息在传递过程中遇到了层层阻碍的关卡。设计图纸所承载的信息与生产环节所需的数据无法精准对接,施工进度与构件供应常常出现脱节的情况,如同战场上调兵遣将却发现粮草无法及时跟进。由于产业链上下游缺乏统一、高效的协同机制,各环节无法形成强大的合力,导致装配式建筑原本具备的高效、优质等整体优势难以充分释放,成为制约行业迈向高质量发展的重要瓶颈。

6 结语

模块化与标准化策略是装配式建筑设计发展的核心驱动力,在提升建筑质量、控制成本、提高效率等方面发挥重要作用。当前策略应用仍存在标准体系不完善、产业链协同不足等问题。未来,需进一步完善标准体系,推动设计创新,加强产业链协同,促进模块化与标准化策略深度融合。借助数字化、智能化技术,拓展其应用边界,实现装配式建筑全生命周期的高效管理与可持续发展,助力建筑行业转型升级。

【参考文献】

- [1]赵勇.装配式建筑模块化设计研究[J].建筑技术开发,2020,47(12):16-17.
- [2]孙占琦.建筑工业化中标准化设计方法探讨[J].工程建设与设计,2021(5):23-25.
- [3]周铁军,谭文星.装配式建筑模块化设计策略[J].工业建筑,2022,52(1):116-121.
- [4]张守健,王欣怡.装配式建筑标准化设计研究[J].土木工程与管理学报,2021,38(3):118-124.
- [5]刘占省,王鹏.装配式建筑模块化建造技术研究[J].施工技术,2020,49(15):101-105.

作者简介:武梦磊(1986.4—),男,汉族,毕业学校:河北科技大学,现工作单位:河北天艺建筑设计有限公司。

实验室采用非隔热型防火玻璃时的防护冷却系统设计

王爽莉* 王冬月

中国中轻国际工程有限公司, 北京 100026

[摘要]实验室采用非隔热型防火玻璃时的防护冷却系统应根据消防规范中相关规定进行设计。此文对防护冷却系统相关的规范条文进行梳理, 结合某实验室的工程实例介绍防护冷却系统设计, 对今后的实验室采用非隔热型防火玻璃时的防护冷却系统设计具有参考价值。

[关键词]实验室; 防火玻璃; 防护冷却系统

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16882

中图分类号: TU545

文献标识码: A

Design of Protective Cooling System For Laboratory Using Non Insulated Fire-Resistant Glass

WANG Shuangli*, WANG Dongyue

China Light Industry International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100026, China

Abstract: When using non insulated fire-resistant glass in the laboratory, the protective cooling system should be designed according to the relevant provisions of the fire protection regulations. This article summarizes the relevant regulatory provisions for protective cooling systems and introduces the design of protective cooling systems based on an engineering example from a certain laboratory. It has reference value for the design of protective cooling systems when using non insulated fire-resistant glass in future laboratories.

Keywords: laboratory; fireproof glass; protective cooling system

引言

随着时代的变迁和我国科技日新月异的变化, 医疗水平的发展、化工生产技术的提高和科学研究息息相关。近年来, 在医药、化工等行业建设中, 实验室逐渐成为了不可或缺的一项。目前在实验室的消防设计中, 由于《建筑防火通用规范》为 2023 年新实施, 关于实验室设置防护冷却系统设计实例较少, 本文在整理相关规范的基础上, 结合实际工程进行分析说明。

1 防护冷却系统的用途及适用范围

1.1 防护冷却系统的用途

在实验室建筑设计上, 通常采用防火玻璃隔墙来替代防火隔墙。这样设计的目的是实验室内外的光线自由传播可以提供良好的采光环境, 同时光线透过玻璃, 实验室的空间感得到了增强。在消防设计时, 《建筑防火通用规范》GB 55037—2022 实施指南中对于替代防火隔墙的防火玻璃墙的耐火性能提出了更新的要求, 防火玻璃墙应同时具备要求的耐火完整性能和耐火隔热性能。防火玻璃按照耐火性能分为隔热型防火玻璃(A类)和非隔热型防火玻璃(C类)。规范中另外提到当采用非隔热型防火玻璃(C类)时, 应采用防护冷却自动喷水灭火系统等设施进行保护。在实际工程中, 由于隔热型防火玻璃的制作工艺特点导致防火玻璃的使用年限不能满足实验室的使用需求, 所以考虑到采用非隔热型防火玻璃并设置防护冷却系统, 既能满足使用需求, 又能起到冷却玻璃的作用, 保证火灾发生后被困人员和消防人员的通行。

1.2 防护冷却系统与防护冷却水幕系统的区别

阐述了防护冷却系统的功能后, 我们发现防护冷却系统与防护冷却水幕系统功能基本一致。但是防护冷却系统和防护冷却水幕系统在系统形式、系统组成方面都有着明显的区别, 如表 1 所示。

表 1 防护冷却系统和防护冷却水幕系统的组成及用途

系统类别	系统形式	系统组成	用途
防护冷却系统	闭式系统	闭式喷头	用于冷却防火卷帘、防火玻璃墙等防火分隔设施
		湿式报警阀组	
防护冷却水幕系统	开式系统	水幕喷头	用于冷却防火卷帘、防火玻璃墙等防火分隔设施
		雨淋报警阀组	

通过上表中的对比可知, 两个系统最大的区别就是防护冷却系统为闭式系统, 防护冷却水幕系统为开式系统, 另外在适用范围以及水力计算等方面也有所不同。

1.3 防护冷却系统的适用范围

根据《自动喷水灭火系统设计规范》GB 50084—2017 (以下简称自喷规范) 第 5.0.15 条第 1 款, 防护冷却系统喷头设置高度不应超过 8m。所以当喷头设置高度超过 8m 的场所, 可采用防护冷却水幕系统。

2 工程实例的防护冷却系统设计

2.1 工程概况

本工程为某化工园区内的实验楼, 承担整个园区贯穿生产过程的采样及产品的质检、实验。建筑性质为多层丙类厂房, 耐火等级为二级。建筑共三层, 每层一个防火分区。建筑呈一字型布局, 东西向走廊, 南侧和北侧实验室

均采用非隔热型防火玻璃与中间走廊隔断。

2.2 系统组成

供水设施：包括消防水池、消防水泵、稳压装置等，确保持续供水。

管网系统：报警阀、输水管道、阀门、水流指示器、喷头。

控制系统：联动火灾自动报警系统，火灾时自动启动水泵并报警。

2.3 工作原理

火灾发生时，系统通过温度感应（如喷头玻璃球破裂）或火灾报警信号自动启动。喷头向防火玻璃表面喷水形成水膜，吸收热量并降低玻璃温度，防止其因高温破裂导致火势蔓延。

2.4 喷头选型

根据“自喷规范”第 6.1.6 条，自动喷水防护冷却系统可采用边墙型洒水喷头。条文解释中提到，目前国内外还有一种专门用于保护防火分隔设施的窗式喷头等特殊类型喷头。窗式喷头是国外最先研发的一种用于保护热增强型玻璃或钢化玻璃的喷头，属于快速响应喷头的一种。公安部天津消防研究所曾开展过普通边墙型喷头和保护玻璃专用窗式喷头的洒水分布性能试验，以及以木垛火、油盘火和织物火等为火源的实体防护冷却性能试验。研究发现，在布水方面，由于窗式喷头溅水盘的特殊设计和喷头快速响应的热敏能力，使得其布水效果更好，能形成完全均匀的水膜，几乎能做到保护对象全覆盖。在实体火灾场景防护冷却方面，采用窗式喷头和普通边墙型喷头均没有出现较高温度情况下骤然降温而破裂的现象。因此，采用窗式喷头或普通边墙型喷头均可对玻璃分隔构件进行冷却保护。普通边墙型喷头的优点是应用较成熟，且在

保护玻璃的同时对其下方一定范围内火源兼具灭火功能，缺点是所保护玻璃上边缘左右两侧存在盲区，不能对玻璃进行完全保护。窗式喷头的优点是喷洒曲线要好于普通边墙型，缺点是目前尚无国家产品标准且无灭火功能。因此，本项目选择普通边墙型喷头，并通过增大普通边墙型喷头的安装密度和工作压力来减少自动喷水冷却系统保护中的死角范围。

2.5 喷头布置

根据“自喷规范”第 5.0.15 条第 3 款，喷头的设置应确保喷洒到被保护对象后布水均匀，喷头间距应为 $1.8\text{m} \sim 2.4\text{m}$ ，并参照图集《自动喷水灭火系统设计》19S910（以下简称自喷图集）中规定，喷头距墙距离为 $0.1\text{m} \sim 1.2\text{m}$ ，如图 1、图 2 所示；喷头溅水盘与防火分隔设施的垂直距离不应大于 0.3m ，与顶板的距离应符合“自喷规范”第 7.1.15 条的规定，如图 3、图 4 所示。

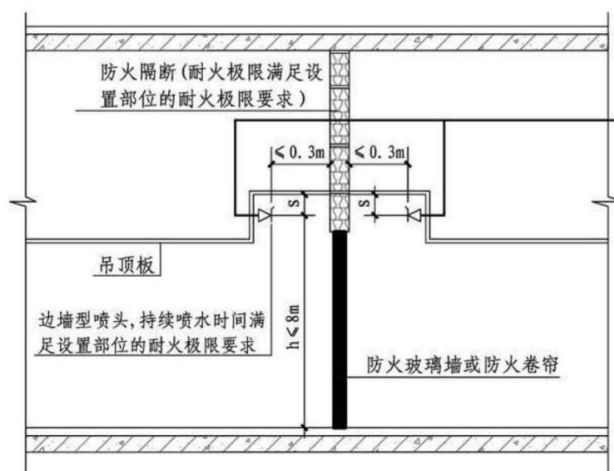


图3 防护冷却系统洒水喷头布置剖面图

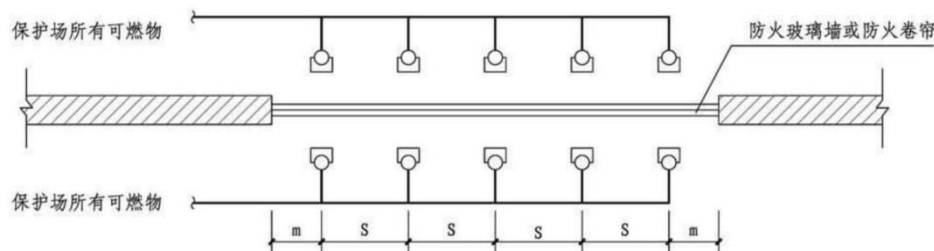


图1 防护冷却系统洒水喷头两侧布置平面图

图中： $1.8\text{m} \leq S$ （喷头间距） $\leq 2.4\text{m}$ ， $0.1\text{m} \leq m$ （距墙距离） $\leq 1.2\text{m}$ 。

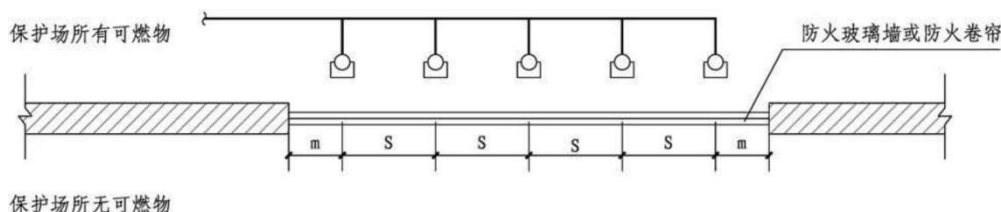


图2 防护冷却系统洒水喷头单侧布置平面图

图中: $1.8\text{m} \leq S$ (喷头间距) $\leq 2.4\text{m}$, $0.1\text{m} \leq m$ (距墙距离) $\leq 1.2\text{m}$ 。

喷头类型		喷头溅水盘与顶板的距离S (mm)
边墙型标准覆盖面积洒水喷头	直立式	$100 < s \leq 150$
	水平式	$150 < s \leq 300$
边墙型扩大覆盖面积洒水喷头	直立式	$100 < s \leq 150$
	水平式	$150 < s \leq 300$

图4 防护冷却系统洒水喷头与顶板的距离

由于普通边墙型喷头在玻璃墙上的喷水形式呈伞形,在玻璃的上边缘左右两侧角落均有少量盲区,应尽可能增大喷头密度,因此本项目设计喷头间距为2m。

根据“自喷规范”第7.1.17条,当防火卷帘、防火玻璃墙等防火分隔设施需采用防护冷却系统保护时,喷头应根据可燃物的情况一侧或两侧布置。规范中没有明确规定喷头布置,但参照美国消防协会标准《自动喷水灭火系统安装标准》NFPA13规定,当采用玻璃墙体代替防火墙时,应在玻璃墙体的两侧布置喷头。因此,本项目考虑建筑内走廊虽没有可燃物,但是走廊作为重要的人员疏散通道,所以采取在玻璃墙体两侧布置喷头。

2.6 水力计算

根据“自喷规范”第5.0.15条第1款,喷头设置高度不应超过8m;当设置高度为4m~8m时,应采用快速响应洒水喷头;

根据“自喷规范”第5.0.15条第2款,喷头设置高度不超过4m时,喷水强度不应小于0.5L/(s.m);当超过4m时,每增加1m,喷水强度应增加0.1L/(s.m)。

本项目实验室及走廊吊顶高度为3.6m,采用普通边墙型喷头,流量系数为K=80,喷水强度为0.5L/(s.m)。

根据《消防设施通用规范》GB 55036—2022第4.0.5

条第3款,系统水力计算最不利点处喷头的工作压力应大于或等于0.05MPa。根据公安部天津消防研究所试验,当喷头工作压力为0.05MPa时,难以在玻璃表面形成较好的保护水帘,当工作压力为0.1MPa时,防火玻璃上形成的水帘基本能够覆盖玻璃,当喷头工作压力为0.2MPa时,相比于0.1MPa,改善不明显。因此,本项目喷头工作压力取P=0.1MPa。

根据“自喷规范”第9.1.1条,喷头的流量为:

$$q = \sqrt{10P} = 80 \text{ L/min} = 1.33 \text{ L/s} \quad (1)$$

根据“自喷规范”第9.1.4条,保护防火卷帘、防火玻璃墙等防火分隔设施的防护冷却系统,系统的设计流量应按计算长度内喷头同时喷水的总流量确定。当设置场所设有自动喷水灭火系统时,计算长度不应小于本规范第9.1.2条确定的长边长度。

本工程考虑到使用功能为实验室,设有自动喷水灭火系统,危险等级为中危险II级,作用面积为160m²。防护冷却系统最小计算长度为:

$$L \geq 1.2 \times \sqrt{160} = 15.18\text{m} \quad (2)$$

本工程按照一侧走廊连通房间开启最多喷头考虑,喷头间距为2m,共设置9个喷头,防护冷却系统计算长度大于最小计算长度,喷头布置如图5所示。

经上述计算,系统的设计流量为:

$$Q = 1.33 \times 9 \times 1.15 = 13.8 \text{ L/s} \text{ (取 } 15 \text{ L/s)} \quad (3)$$

根据“自喷规范”第5.0.15条第4款,持续喷水时间不应小于系统设置部位的耐火极限要求。根据《建筑防火通用规范》GB 55037—2022第6.4.9条,用于防火分隔的防火玻璃墙,耐火性能不应低于所在防火分隔部位的耐火性能要求。根据《建筑设计防火规范》GB 50016—2014(2018年版)第3.2.1条规定,疏散走道两侧的隔墙耐火极限为1h。因此,本项目设计防护冷却时间为1h,系统的一次防护冷却用水量为54m³。

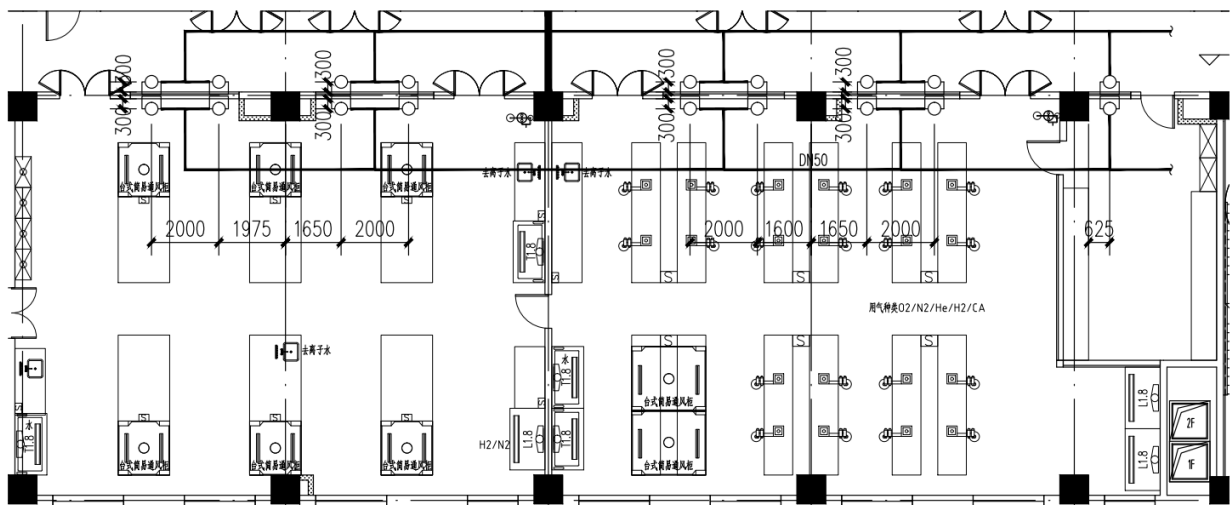


图5 实验室防护冷却系统洒水喷头布置平面图

2.7 系统供水方式

根据“自喷规范”第5.0.15条,当采用防护冷却系统保护防火卷帘、防火玻璃墙等防火分隔设施时,系统应独立设置。笔者认为由于自动喷水灭火系统与防护冷却系统的持续喷水时间不同、设计流量不同、压力不同,所以防护冷却系统的消防水泵和供水管网均应独立,不与自动喷水灭火系统合用。

2.8 排水设施

玻璃底部设置排水设施,如地漏、排水沟等,连接实验室排水系统,避免造成玻璃底部积水影响实验室设备安全。

2.9 与其他系统的协同设计

2.9.1 与火灾自动报警系统联动

防护冷却系统应与火灾自动报警系统联动。当火灾探测器检测到火灾信号后,将信号传输至火灾报警控制器,控制器发出指令30s内自动启动消防泵和开启报警阀组,使防护冷却系统开始工作。同时,系统的动作信号应反馈至消防控制室,便于消防人员及时掌握系统运行状态。

2.9.2 监测系统

设置水流指示器和压力开关对系统的水流状态和压力进行监测。水流指示器可实时监测管网内的水流情况,当系统启动喷水时,水流指示器动作并向消防控制室发送信号。压力开关用于监测管网压力,当压力低于设定值时,及时发出报警信号,提醒维护人员进行检查和维修,确保系统始终处于正常工作状态。

2.9.2 与实验室通风系统联动

系统启动时,自动关闭防火玻璃附近的通风管道防火阀,避免气流影响喷水效果。

2.9.3 与防火玻璃构造配合

玻璃安装框架需预留喷头安装孔,避免影响喷水角度。

3 施工过程存在问题及解决措施

3.1 存在问题

施工时喷头位置偏移,或喷头与玻璃之间的障碍物(如管道、设备)遮挡,导致水流无法覆盖玻璃边缘或拼接缝,形成冷却盲区,影响喷水效果。

3.2 解决措施

施工前应核对喷头布置图,确保安装位置与设计一致。当存在障碍物遮挡时,应清除障碍物,或调整喷头位置避开遮挡。安装后应进行喷水试验,检查水流覆盖范围。

4 后期系统维护与保养

定期对防护冷却系统进行维护保养是确保其正常运行的关键。首先应制定维护计划。每月应检查消防水泵的

运行情况,包括水泵的启动、停止、运行声音、振动等,确保水泵性能良好。每季度对管网进行检查,查看是否有漏水、锈蚀等情况,及时修复损坏的管道和配件。每年对喷头进行清理和检查,清除喷头堵塞物,检查喷头的喷洒性能是否正常。定期对火灾自动报警系统与防护冷却系统的联动功能进行测试,避免系统长期处于“休眠”状态,保证在火灾发生时系统能够可靠启动。在定期维护的同时,应建立维护记录档案,及时处理解决发现的问题并做好记录。

5 结语

实验室采用非隔热型防火玻璃时,应采用防护冷却自动喷水灭火系统进行保护。设置此系统的目的是既可以保证防火玻璃的耐火完整性能,同时又改善了非隔热型防火玻璃的耐火隔热性能。本文对相关规范进行了列举和汇总,并结合工程实例总结了防护冷却系统的设计要点。在设计过程中,需注意以下2点:

(1)应根据喷头的设置高度,选取合适的喷头类型。当选用普通边墙型喷头时,应增大普通边墙型喷头的安装密度和工作压力来减少自动喷水冷却系统保护中的死角范围。

(2)当设置场所设有自动喷水灭火系统时,计算系统的设计流量,计算长度应大于最小计算长度。

[参考文献]

- [1]GB50084-2017 自动喷水灭火系统设计规范.中华人民共和国城乡建设部,2017[Z].
- [2]GB50016-2014 (2018年版) 建筑设计防火规范.中华人民共和国城乡建设部,2018[Z].
- [3]GB55037-2022 建筑防火通用规范.中华人民共和国城乡建设部,2022[Z].
- [4]GB55037-2022 建筑防火通用规范实施指南.中华人民共和国城乡建设部,2022[Z].
- [5]GB55036-2022 消防设施通用规范.中华人民共和国城乡建设部,2022[Z].
- [6]GB55036-2022 消防设施通用规范实施指南.中华人民共和国城乡建设部,2022[Z].
- [7]19S910 自动喷水灭火系统设计.中国建筑标准设计研究院,2019[Z].

作者简介:王爽莉(1990—),女,汉族,北京人,本科,学士,工程师,工作单位为中国中轻国际工程有限公司,主要研究方向为给排水及消防;王冬月(1992—),女,汉族,辽宁黑山人,研究生,硕士,工程师,工作单位为中国中轻国际工程有限公司,主要研究方向为给排水及消防。

建筑节能技术在寒冷地区住宅中的应用研究

张 欣

河北大成建筑设计咨询有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]能源问题日益紧迫,寒冷地区住宅节能成为焦点。文中深入探究该地区建筑节能技术应用,综合分析墙体、门窗、屋面保温及太阳能利用等手段。通过阐述各技术节能原理、实施要点,对比应用前后能耗数据,展现其降耗实效,致力于为寒冷地区住宅节能提供科学指引,助力建筑迈向绿色低碳,提升居住品质,促进能源高效利用。

[关键词]寒冷地区;建筑节能;墙体保温;门窗节能;太阳能利用

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16877

中图分类号: TU201

文献标识码: A

Research on the Application of Building Energy-saving Technology in Residential Buildings in Cold Regions

ZHANG Xin

Hebei Dacheng Architectural Design Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Energy issues are becoming increasingly urgent, and energy conservation in residential areas in cold regions has become a focus. The article delves into the application of building energy-saving technologies in the region, comprehensively analyzing methods such as wall, door and window insulation, roof insulation, and solar energy utilization. By elaborating on the energy-saving principles and implementation points of various technologies, comparing energy consumption data before and after application, and demonstrating their effectiveness in reducing consumption, we are committed to providing scientific guidance for residential energy conservation in cold regions, helping buildings move towards green and low-carbon, improving living quality, and promoting efficient energy utilization.

Keywords: cold regions; building energy efficiency; wall insulation; energy-saving for doors and windows; solar energy utilization

引言

在全球能源紧张的大背景下,建筑能耗占比可观,寒冷地区尤甚。一方面,老旧住宅围护结构如同“筛子”,热量大量散失,居民采暖成本高企;另一方面,新建住宅节能落实不佳,影响居住舒适度与能源效益。改善这一现状迫在眉睫,探究适配寒冷地区住宅的高效节能技术,既能削减能源消耗、缓解供应压力,又能为居民营造温暖舒适且经济的居住环境,意义非凡,而如何精准施策是亟待攻克的难题。

1 寒冷地区住宅能耗现状

寒冷地区冬季低温持续时间长,住宅能耗主要集中在采暖方面。传统砖混结构住宅,墙体多为普通黏土砖砌筑,保温性能先天不足。普通黏土砖的导热系数相对较高,热量极易通过墙体向外传导,导致室内热量难以留存。据调查,不少老旧小区室内温度在采暖季高峰时也仅能维持在18℃左右,而一旦供热稍有波动,室温便急剧下降。在东北地区的一些老旧小区,居民常常反映在供热公司设备检修或遭遇极端低温天气时,室内温度会迅速降至15℃以下,严重影响生活舒适度。屋面构造简单,缺乏有效保温隔热层,热量从屋顶大量散失,如同房屋“敞着顶”散热。在屋面的热量散失过程中,没有保温隔热层的屋面,热量会以辐射和对流的方式快速向外界散发,导致室内热量大

量损耗。

在门窗部位,大量住宅仍使用单层玻璃铝合金窗,缝隙大、气密性差,室外寒风如“长驱直入”的大军,肆意灌入室内,不仅带走宝贵的热量,还让居住者深感寒冷。而且,部分住宅供热系统老化、管网失水严重,热水循环不畅,热量在输送途中就损耗大半,真正用于室内升温的能量所剩无几,整体能源利用效率极低,亟待全面优化升级。老化的供热管网,由于长期的水流冲刷和腐蚀,管道壁变薄,接头处容易出现渗漏,导致大量热水流失。据统计,一些老旧小区的供热管网失水率高达15%~20%,这不仅造成了能源的巨大浪费,还增加了供热企业的运营成本。从能源消耗数据来看,寒冷地区住宅单位面积采暖能耗远超同气候区节能标准要求,造成巨大能源浪费,给居民、社会带来沉重负担,扭转这一局面刻不容缓。在华北地区,部分老旧住宅的单位面积采暖能耗比节能标准要求高出50%以上,居民每年需要支付高额的采暖费用,同时也给当地的能源供应带来了极大压力。

2 关键节能技术应用剖析

新型保温材料是墙体节能的核心。岩棉板以其优异的保温隔热性能脱颖而出,它由玄武岩等天然矿石制成,纤维细长且交织紧密,内部孔隙多,空气导热系数低,如同给墙体穿上“保暖棉衣”。施工时,先清理墙面基层,确

保平整,再采用专用黏结剂将岩棉板逐块铺贴,板缝处用密封胶密封,防止空气渗透形成热桥。在清理墙面基层时,施工人员需要仔细铲除墙面的浮灰、油污等杂质,确保墙面干净平整,为后续的岩棉板铺贴打下良好基础。专用黏结剂的选择也至关重要,需要根据不同的墙面材质和环境温度进行合理调配,以保证岩棉板与墙面的牢固黏结。聚苯板同样应用广泛,它质轻、保温效果好,有 EPS 和 XPS 之分。EPS 聚苯板通过发泡成型,内部呈封闭蜂窝状结构,能有效阻止热量传递;XPS 聚苯板则在此基础上进一步提升了保温与抗压性能,适用于高层住宅外墙。合理的施工工艺要求从墙角开始铺贴,错缝拼接,保证保温层连续完整,如此可大幅降低墙体传热系数,室内温度更稳定,采暖能耗显著降低。在墙角铺贴 EPS 聚苯板时,需要特别注意板与板之间的拼接角度和缝隙处理,确保墙角部位的保温效果。

断桥铝窗框打破传统铝合金窗框的导热弊端,在铝合金型材中间嵌入隔热条,切断热量传导路径,宛如给窗框装上“隔热断桥”。塑钢窗框以聚氯乙烯树脂为原料,保温性能佳且价格亲民。搭配双层中空玻璃,中间空气层起到缓冲隔热作用,再加上 Low-E 玻璃,其表面镀有低辐射膜,能反射室内热量,阻挡室外低温,让阳光更多透入,实现光热平衡。断桥铝窗框中的隔热条,通常采用尼龙等高性能隔热材料制成,其导热系数极低,能够有效阻止铝合金型材内外热量的传导。塑钢窗框的聚氯乙烯树脂经过特殊配方和加工工艺,具有良好的保温性能,且成本相对较低,适合大规模推广应用。双层中空玻璃中间的空气层厚度一般在 12~16mm 之间,这个厚度范围能够提供最佳的隔热效果。Low-E 玻璃的低辐射膜能够反射 80% 以上的室内热量,同时允许大量可见光透过,有效提高室内的采光和温度舒适度。安装过程中,严格把控窗框与墙体间的密封胶条质量,确保气密、水密性。优质胶条富有弹性、耐老化,安装后有效阻挡冷风渗透。经测试,采用节能门窗的住宅,室内外温差在门窗处能保持稳定,冷风渗透量减少 70% 以上,大大提升室内热环境,降低采暖能耗。在选择密封胶条时,需要关注胶条的材质、硬度、拉伸强度等指标。三元乙丙橡胶胶条具有优异的耐老化性能和弹性,是目前门窗密封胶条的常用材料之一。安装时,要确保胶条与窗框和墙体之间紧密贴合,无间隙,避免出现漏风现象。

屋面节能关键在于保温隔热层设置。聚氨酯泡沫保温材料,现场发泡成型,能紧密填充屋面各角落,形成无缝隔热屏障,导热系数极低。珍珠岩保温板由珍珠岩矿石经高温焙烧膨胀制成,多孔结构具备良好保温与吸湿性能,可应对屋面结露问题。聚氨酯泡沫保温材料在现场发泡时,需要严格控制发泡剂的用量和发泡时间,确保泡沫均匀分布,填充屋面的每一个缝隙。珍珠岩保温板在铺设前,需

要对屋面基层进行清理和平整,保证保温板与基层之间的紧密结合。珍珠岩保温板的多孔结构能够吸收屋面空气中的水分,有效防止屋面结露现象的发生。施工时,先做好屋面防水处理,再铺设保温层,若采用倒置式屋面,将保温层置于防水层上方,可保护防水层,延长使用寿命,夏季阻挡太阳辐射热传入,冬季减少室内热量散失,使屋面成为调节室内温度的“调节阀”,让住宅冬暖夏凉,降低空调与采暖能耗。在进行屋面防水处理时,通常采用卷材防水或涂料防水等方式。卷材防水需要注意卷材的铺贴方向和搭接宽度,确保防水效果。涂料防水则要保证涂料的涂刷厚度和均匀度。采用倒置式屋面时,保温层的材料选择要考虑其抗压强度和吸水率等因素,以确保在长期使用过程中,保温层不会被压坏,同时也能保持良好的保温性能。通过屋面节能处理,住宅在夏季室内温度可降低 2~4℃,冬季室内温度可提高 2~3℃,空调和采暖能耗降低 15%~25%。

3 节能技术综合效益评估

当节能技术在寒冷地区住宅建筑中全方位铺开,其带来的能耗降幅可谓立竿见影。外墙保温系统采用新型保温材料,如石墨聚苯板,凭借其优异的隔热性能,有效阻断室内热量向室外传导;搭配断桥铝节能门窗,多道密封胶条和中空玻璃,大幅降低门窗的热量散失;屋面则铺设高效保温卷材,从顶层隔绝热量流失。三方协同作用下,室内犹如被一层无形的“保暖罩”包裹,热量得以高效留存。经实际测算,在采用此类节能技术的住宅中,采暖能耗平均可降低 30%~40%。这一数据转化到居民生活层面,便是实实在在的经济减负。以一套 100m² 的住宅为例,在未采用节能技术前,每年采暖费用约 3000 元,采用后,费用直降至 1800~2100 元,每年节省 900~1200 元。更重要的是,稳定舒适的室内温度常年维持在人体适宜区间,居民无需再为冬日严寒烦恼,工作学习时精力更集中,生活效率显著提升,真正实现居住体验的质的飞跃。

节能技术在寒冷地区的广泛应用,社会效益同样斐然。建筑节能产业宛如被注入一剂强心针,迎来蓬勃发展的黄金期。保温材料生产企业订单激增,不得不扩大生产线,采购先进设备,进而吸纳大量劳动力,从原材料加工到成品包装,各环节催生新的就业岗位。节能门窗制造企业不断创新工艺,研发智能门窗系统,在提升产品性能的带动下上下游产业链协同发展,创造大量就业机会。以一家保温材料生产企业为例,随着市场对节能材料需求的爆发式增长,企业规模迅速扩张,员工数量从起初的 100 人短时间内扩充至 300 人。节能技术的迭代升级还激励建筑材料、建筑设备等领域不断探索新技术、新工艺,为行业发展注入创新活力。

在环境效益层面,节能技术的推广堪称一场“绿色革命”。寒冷地区住宅能耗降低,直接减少了发电、供热等

能源生产过程中的化石燃料消耗。以煤炭供热为例,每减少 1t 标准煤的燃烧,便能削减约 2.6t 二氧化碳以及大量二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放。大规模应用节能技术后,城市上空的污染物浓度明显下降,蓝天白云的“出勤天数”显著增多,空气质量持续改善。这不仅为居民营造清新宜居的生活环境,更对区域生态平衡的维护、生物多样性的保护起到积极推动作用,助力生态可持续发展,让经济效益、社会效益与环境效益携手共进,迈向共赢的美好未来。

4 节能技术推广面临的挑战与应对策略

尽管建筑节能技术在寒冷地区住宅领域展现出极为显著的优势与巨大潜力,但在推广落地的进程中,依然横亘着诸多棘手的阻碍。首当其冲的便是初期建设成本过高这一严峻瓶颈。在当下,新型节能材料如具备卓越保温性能的真空绝热板、智能控制系统像能精准调控室内温度湿度的楼宇自控装置等,它们的购置与安装费用,相较于传统建筑模式呈现出大幅攀升的态势。这一高昂成本使得部分开发商在权衡利弊时望而却步,毕竟开发项目需考量资金投入与预期收益。而对于居民而言,购房时价格因素始终是关键考量,节能住宅因成本转嫁带来的价格提升,也让他们在做出决策时难免踌躇犹豫。以太阳能光伏系统为例,高效的太阳能光伏板及配套储能设备,前期投入金额相当不菲,回本周期更是漫长。一套功率为 10kW 的太阳能光伏系统,设备购置加上安装费用约在 8~10 万元区间。在当前电价水平以及该系统正常发电量的情况下,经过严谨测算,回本周期大致需要 8~10 年。如此漫长的资金回笼周期,无论是对于追求资金快速周转的开发商,还是资金储备有限、期望购房投入能尽快产生效益的居民来说,无疑都是一笔令人却步的高额投资。

另一方面,技术认知与人才短缺问题突出。施工人员对复杂节能技术的掌握程度参差不齐,若施工工艺不达标,易导致节能效果大打折扣,如保温层施工出现缝隙、门窗安装密封不严等问题。后期运维人才匮乏,难以保障节能系统长期稳定高效运行。在保温层施工过程中,如果施工人员没有按照规范要求进行操作,保温板之间的缝隙过大,就会形成热桥,导致热量散失,降低保温效果。在门窗安装时,密封胶条安装不牢固或密封不严,会使冷风渗透,影响室内温度。后期运维人才的短缺,使得节能系统在出现故障时,不能及时得到维修和保养,影

响系统的正常运行。

为攻克这些难题,政府应出台激励政策,给予采用节能技术的开发商财政补贴、税收优惠,降低建设成本,刺激市场积极性;设立专项科研基金,助力高校、科研机构培养专业技术人才,提升行业整体技术水平。加强对节能技术的科普宣传,通过社区讲座、线上推广等形式,让居民直观了解节能住宅的长期效益,转变消费观念,多方合力推动建筑节能技术在寒冷地区住宅的广泛普及,让绿色建筑真正走入千家万户。政府可以对采用节能技术的开发商给予每平方米 100~200 元的财政补贴,同时减免相关税收,降低开发商的建设成本。专项科研基金可以用于支持高校开设建筑节能相关专业课程,培养专业技术人才。社区讲座可以邀请专家为居民讲解节能技术的原理和优势,线上推广可以通过微信公众号、短视频等平台,发布节能住宅的案例和科普知识,提高居民对节能技术的认知和接受度。

5 结语

未来,建筑节能技术在寒冷地区住宅领域前景广阔。随着科研深入,新型保温、透光、储能材料将不断涌现,性能更卓越、成本更低廉。智能化控制系统将深度融入,依室内外环境实时调控能源分配,实现精准节能。建筑全生命周期管理理念强化,从设计源头优化,施工严格把关,运维持续监测,各方协同打造零碳住宅样板。居民节能意识提升,主动参与节能实践,合力推动寒冷地区住宅迈向绿色未来,畅享舒适低碳生活。

【参考文献】

- [1] 王有为.建筑节能技术与实践[J].建筑学报,2022,53(3):12-18.
- [2] 张玲玲.寒冷地区建筑围护结构节能策略[J].住宅科技,2021,41(6):35-40.
- [3] 李辉.太阳能在住宅建筑中的应用前景[J].新能源,2023,37(2):44-50.
- [4] 刘悦.门窗节能技术对建筑能耗的影响[J].建筑节能,2020,48(5):22-27.
- [5] 陈刚.屋面保温隔热技术发展综述[J].建筑技术开发,2024,51(1):1-6.

作者简介:张欣(1991.6—),女,汉族,毕业学校:河北工程大学科信学院,现工作单位:河北大成建筑设计咨询有限公司。

可持续建筑设计中的节能技术与应用研究

孟世杰

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]可持续建筑设计中节能技术应用意义重大。当前节能技术在建筑设计中普及不足,且面临成本高、与建筑设计融合难、技术性能不稳定等问题。通过优化节能技术选型,综合考虑多因素并评估性价比;加强与建筑设计协同,从设计初始融入节能理念;突破技术障碍,增加研发、完善标准等可促进应用。在低能耗住宅、商业建筑、公共建筑中有不同节能技术应用实例。未来,新型节能技术研发趋势多元,全生命周期应用将更广泛,标准化与规范化也将推动其发展。

[关键词]可持续建筑设计;节能技术;应用;建筑节能;建筑设计

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16874

中图分类号: TU8

文献标识码: A

Research on Energy-saving Technologies and Applications in Sustainable Building Design

MENG Shijie

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The application of energy-saving technology in sustainable building design is of great significance. The current popularization of energy-saving technologies in architectural design is insufficient, and it faces problems such as high cost, difficulty in integrating with architectural design, and unstable technical performance. By optimizing the selection of energy-saving technologies, considering multiple factors comprehensively and evaluating cost-effectiveness; Strengthen collaboration with architectural design and integrate energy-saving concepts from the initial design stage; Breaking through technological barriers, increasing research and development, and improving standards can promote application. There are different examples of energy-saving technology applications in low-energy residential, commercial, and public buildings. In the future, the research and development trends of new energy-saving technologies will be diverse, their full lifecycle applications will be more extensive, and the standardization and normalization will also promote their development.

Keywords: sustainable building design; energy-saving technology; application; building energy efficiency; architectural design

引言

在能源短缺和环保要求日益严格的当下,建筑行业的可持续发展迫在眉睫。节能技术作为实现建筑可持续发展的关键,其在建筑设计中的应用至关重要。然而,目前节能技术的应用状况并不理想,存在诸多问题制约其推广,如成本高昂、与建筑设计难以融合、技术性能不稳定等。为了提升建筑节能水平,降低建筑能耗,有必要深入研究节能技术在建筑设计中的应用,探索有效的解决策略,推动建筑行业向绿色节能方向发展。

1 可持续建筑设计节能技术应用现状

1.1 节能技术在建筑设计中的普及程度

节能技术在建筑设计领域的普及状况对建筑行业的可持续发展影响深远。目前,随着环保理念的不断深入以及能源危机的日益凸显,节能技术在建筑设计中的应用越来越受到重视。在新建建筑项目中,不少设计单位开始将节能技术纳入设计方案,从建筑的规划布局到围护结构的设计等方面都融入节能理念。然而,整体来看,节能技术在建筑设计中的普及程度仍存在较大提升空间,部分老旧建筑改造项目对节能技术的应用相对滞后,导致建筑能耗

居高不下。老旧建筑由于建造年代久远,结构改造难度大,且业主对节能改造的认知和投入意愿不足,使得节能技术难以有效应用。市场上针对老旧建筑节能改造的成熟技术和产品相对有限,也限制了节能技术的推广,进一步加剧了建筑能耗问题。

1.2 现有节能技术类型及应用情况

现有节能技术涵盖多个类型,在建筑设计中有着不同程度的应用。在围护结构节能技术方面,高效保温隔热材料的使用能够有效减少热量传递,降低建筑能耗。在暖通空调节能技术上,变频技术、地源热泵等技术的应用,提高了空调系统的能效。可再生能源利用技术如太阳能光伏发电、太阳能热水系统等,也逐渐在建筑中得到应用。但各类节能技术的应用情况参差不齐,一些成本较高或技术要求复杂的节能技术推广应用面临一定困难,限制了其广泛应用。

1.3 不同地区可持续建筑节能技术应用差异

不同地区的可持续建筑节能技术应用存在明显差异。气候条件是影响节能技术应用的重要因素之一,在寒冷地区,建筑的保温隔热需求更为突出,因而高效保温材料和

供暖节能技术应用较多；而在炎热地区，隔热降温及自然通风技术成为重点。经济发展水平也对节能技术应用产生影响，经济发达地区往往在节能技术的研发和应用上投入更多，能够采用更为先进和多样化的节能技术，而经济欠发达地区受资金和技术限制，节能技术应用相对较少且较为单一，多采用一些成本较低、技术简单的节能措施。

2 可持续建筑设计节能技术应用问题

2.1 节能技术应用的成本问题

节能技术应用的成本问题是制约其广泛推广的关键因素。一方面，许多高效节能技术设备本身价格高昂，如先进的可再生能源利用设备、高性能的保温隔热材料等，这直接增加了建筑项目的初始投资成本。另一方面，节能技术的安装、调试以及后期维护成本也不容小觑，一些复杂的节能系统需要专业人员进行操作和维护，人力成本和维护费用较高。这些成本因素使得一些建设单位在选择节能技术时有所顾虑，影响了节能技术在建筑项目中的应用普及。

2.2 节能技术与建筑设计的融合难题

节能技术与建筑设计的融合存在诸多难题。在设计理念上，传统建筑设计思维定式明显，过度聚焦建筑外观的独特性以及功能布局的合理性，却忽视了节能技术这一关键要素，使得节能技术难以自然且有效地融入整体设计蓝图。从技术层面剖析，各类节能技术特性各异，与建筑结构的契合度，和设备系统的兼容性均有差别，一旦协调不当，不仅建筑的保温、通风等性能会大打折扣，节能目标也难以达成。节能技术的应用常对建筑空间的灵活规划及外观的美学塑造形成约束，如何在确保节能成效的基础上，兼顾建筑的美观与实用，成为亟待破解的重要挑战。

2.3 节能技术应用的技术瓶颈

节能技术应用面临着一些技术瓶颈。目前，部分节能技术在实际运行中暴露出性能不稳定的问题，尤其是可再生能源利用技术，像太阳能、风能等，因受光照时长、风力大小等自然条件左右，难以持续稳定地供应能源，影响了建筑的能源供给稳定性。在节能技术集成应用领域，各技术间缺乏有机配合，如围护结构节能技术与暖通空调节能技术协同不佳，无法充分发挥整体节能优势。另外，新兴节能技术研发尚处初期，相关技术标准规范缺失，无统一技术指引，导致应用混乱，极大地阻碍了节能技术在建筑领域的深入发展。

3 可持续建筑设计节能技术应用策略

3.1 优化节能技术选型

在可持续建筑设计进程中，优化节能技术选型是实现建筑节能目标的核心环节。建筑功能多样，使用需求各异，地域环境条件也千差万别，这些因素都深刻影响着节能技术的选择。比如工业建筑与民用住宅对能源的需求和消耗模式不同，节能技术选型也应有所区别。在气候湿润且光

照丰富的地区，除太阳能利用技术外，还可考虑高效的除湿节能技术。对不同节能技术的成本投入、实际性能表现、使用寿命等多维度指标进行细致对比，全面评估其经济合理性和技术可行性，从众多技术中筛选出最契合项目实际状况的节能技术，确保以合理的成本实现最大化的节能效益。

3.2 加强节能技术与建筑设计协同

实现节能技术与建筑设计的深度协同是提升建筑节能水平的关键着力点。在建筑设计的构思发端之际，就需将节能理念全方位、深层次地融入其中。从宏观的建筑空间规划、朝向布局，到微观的围护结构细节设计，都要充分考量节能技术的适配性。例如在空间布局上，合理规划功能分区，为自然通风和采光创造有利条件，减少人工照明和通风设备的能耗。在结构设计时，精准预留节能设备的安装空间与接口，保障设备安装的便捷性和稳定性。大力促进建筑设计师与节能技术专家之间的深度交流与紧密合作，打破专业领域之间的隔阂，共同对设计方案进行反复优化，使节能技术与建筑设计完美融合，在保障建筑功能完备、外观美观的达成高效节能的目标。

3.3 突破节能技术应用的技术障碍

突破节能技术应用的技术障碍是推动其在建筑领域广泛且深入应用的必要前提。当前，节能技术性能不稳定的问题较为突出，严重制约了其应用效果。因此，必须大幅增加研发资金投入，组织专业科研力量深入探究技术原理，通过反复试验和数据分析，精细调整和优化技术参数，从而显著提升能源供应的稳定性与可靠性。在技术集成方面，积极组建由建筑、能源、自动化等多学科专业人才构成的跨学科技术团队，对不同节能技术之间的协同作用机制展开深入研究，整合各技术优势，开发出综合性强、效能高的节能技术解决方案。加快推进节能技术相关标准和规范的制定与完善工作，为节能技术的应用提供清晰、明确、统一的技术指导，营造规范有序的技术应用环境，为节能技术在建筑领域的大规模推广和应用筑牢坚实的技术基础。

4 可持续建筑设计节能技术应用案例

4.1 某低能耗住宅节能技术应用分析

某低能耗住宅在节能技术的选用与实施上颇费心思。围护结构作为建筑节能的关键屏障，选用的高性能保温隔热墙体材料，能极大程度地减缓热量的传递速度，双层中空玻璃门窗进一步增强了隔热与隔音性能，有效降低室内外热量交换。能源利用环节，太阳能热水系统的配备，充分利用清洁能源，稳定供应日常生活所需热水，显著减少了对传统能源的依赖。室内通风系统中的热回收装置，巧妙地在引入新鲜空气时回收排出废气中的热量，既保证了室内空气的清新流通，又实现了热量的高效利用。通过对住宅能耗数据的持续监测和深入分析，能够精准评估这些节能技术在降低能耗方面的实际效能与独特优势。

4.2 某商业建筑节能技术应用效果

某商业建筑为达成节能目标,全方位地应用了多种先进节能技术。空调系统所采用的智能变频控制技术,可依据室内外环境温度、湿度等参数的实时变化,灵活且精准地调制冷或制热功率,避免能源的不必要消耗。照明系统中,高效节能灯具配合智能照明控制系统,能够敏锐感知自然光照强度以及人员的活动情况,自动调整灯光亮度,在满足照明需求的同时最大程度节约电能。建筑外遮阳系统通过合理的设计与安装,有效阻挡大量太阳辐射热进入室内,减轻空调系统的负荷。通过对该商业建筑在节能技术应用前后详细能耗数据的对比分析,能清晰洞察其在降低能源成本、提升顾客与员工环境舒适度等方面所取得的切实成效。

4.3 某公共建筑节能技术综合应用

某公共建筑为实现可持续发展目标,综合运用了一系列先进节能技术。在可再生能源利用方面,太阳能光伏发电板的安装,将丰富的太阳能转化为电能,为建筑的部分用电设备提供绿色电力。地源热泵系统凭借其高效的供热和制冷性能,利用地下稳定的温度环境,实现能源的高效转换与利用。雨水收集系统对自然降水进行收集,经处理后用于建筑的绿化灌溉以及部分卫生用水,有效节约了市政供水资源。此外,智能化管理系统犹如建筑的“智慧大脑”,对各类设备进行24小时实时监测和精准调控,通过优化设备运行策略,提高设备运行效率,综合分析这些节能技术的协同运作情况,能深入了解其对建筑整体节能和可持续稳定运行所起到的关键作用。

5 可持续建筑设计节能技术发展方向

5.1 新型节能技术研发趋势

新型节能技术的研发正朝着多元且深入的方向前行。在建筑材料领域,科研力量不断挖掘新型材料的潜力,致力于研发出兼具更高保温隔热性能、卓越透光性以及超低能耗特性的产品。比如研发新型的气凝胶保温材料,其优异的隔热性能有望大幅提升围护结构的节能水平。在能源利用层面,高效的可再生能源转化与存储技术成为焦点。不断优化太阳能光伏板的光电转化效率,改进电池储能技术,增强风能发电的稳定性,让可再生能源更好地服务于建筑。智能控制技术借助物联网和大数据,实现对建筑设备的精准调控,根据实时能耗数据和环境参数调整设备运行状态。多学科的深度融合更是为节能技术创新注入活力,整合材料学、能源学、信息学等多领域知识,开拓节能技术新路径。

5.2 节能技术在建筑全生命周期应用

节能技术贯穿建筑全生命周期的各个阶段。规划设计时,综合考量建筑所处的地理位置、周边环境、气候条件

等,科学确定建筑的选址、朝向和布局,最大化利用自然采光和通风,合理选用节能技术,为后续节能工作筑牢根基。施工建造环节,对节能材料和设备的质量严格把关,规范安装工艺,保证节能技术的设计方案能够精准落地实施。在建筑的使用运营期,智能化管理系统实时监测设备的运行参数,依据实际需求进行优化调整,持续提升节能效果。到了改造与拆除阶段,对尚有利用价值的节能设备和材料进行回收处理,通过再加工或再利用,减少资源浪费,实现建筑全生命周期的节能减排,降低对环境的影响。

5.3 节能技术应用的标准化与规范化

节能技术应用的标准化与规范化是其广泛推广的重要保障。统一的节能技术标准明确了各类技术的性能指标、适用场景和安装操作规范,为建筑项目在节能技术选择和应用上提供清晰指引。规范化的节能技术认证体系,对符合标准的节能产品和技术予以认证标识,增强市场对节能技术的信任度,引导消费者和建设单位选用优质的节能产品。完善相关法律法规,加大对节能技术应用项目的监管力度,对违规行为进行严格惩处,确保建筑项目严格遵循标准和规范采用节能技术。通过这些措施,营造健康有序的节能技术市场环境,推动建筑行业朝着可持续方向稳步迈进。

6 结语

可持续建筑设计中的节能技术应用,对降低建筑能耗、实现建筑行业可持续发展意义重大。当前,节能技术在建筑设计中的普及程度有待提升,且面临成本、融合及技术瓶颈等问题。通过优化选型、加强协同、突破技术障碍等举措,能有效促进节能技术应用。从低能耗住宅、商业建筑到公共建筑的实践,展示了节能技术的应用效果。未来,新型节能技术研发将不断推进,在建筑全生命周期的应用会更广泛,同时标准化与规范化也将助力节能技术更好地发展与应用。

【参考文献】

- [1]陈宇.可持续建筑节能技术的应用与发展[J].建筑科技,2024,8(3):45-48.
- [2]林晓慧.建筑设计中节能技术的合理运用[J].绿色建筑,2023,15(4):67-70.
- [3]周睿.关于可持续建筑设计中节能技术的思考[J].工程建设与设计,2022(18):120-122.
- [4]吴珊.节能技术在现代建筑设计中的应用研究[J].住宅与房地产,2021(33):188-189.
- [5]郑泽涛.可持续建筑设计中节能技术的应用实践[J].建材发展导向,2020,18(16):106-107.

作者简介:孟世杰(1996.4—),男,汉族,毕业学校:华北理工大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司。

谈传统建筑设计元素在现代建筑中的应用

李媛媛

河北天艺建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着时代发展,现代建筑在追求功能性与创新性的同时,对文化内涵的挖掘愈发迫切。传统建筑设计元素蕴含深厚文化底蕴,将其融入现代建筑成为实现文化传承与创新的重要途径。探讨传统建筑设计元素于现代建筑中的应用,分析空间布局、装饰纹样、色彩体系、结构构造、材料工艺等元素在现代建筑中的转化与呈现,研究其如何在满足现代功能需求基础上,彰显传统文化魅力,为现代建筑设计注入文化灵魂,推动建筑领域文化传承与创新发展。

[关键词]传统建筑;设计元素;现代建筑;文化传承;创新应用

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16872

中图分类号: TU242

文献标识码: A

Discussion on the Application of Traditional Architectural Design Elements in Modern Architecture

LI Yuanyuan

Hebei Tianyi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the development of the times, modern architecture has become increasingly urgent in exploring cultural connotations while pursuing functionality and innovation. Traditional architectural design elements contain profound cultural heritage, and integrating them into modern architecture has become an important way to achieve cultural inheritance and innovation. Explore the application of traditional architectural design elements in modern architecture, analyze the transformation and presentation of spatial layout, decorative patterns, color systems, structural construction, material craftsmanship and other elements in modern architecture, and study how they can demonstrate the charm of traditional culture while meeting modern functional needs, inject cultural soul into modern architectural design, and promote cultural inheritance and innovative development in the field of architecture.

Keywords: traditional architecture; design elements; modern architecture; cultural inheritance; innovative application

引言

在全球化与现代化浪潮下,建筑风格渐趋同质化,地域文化特色逐渐流失。传统建筑作为文化的重要载体,承载着民族记忆与智慧结晶。将传统建筑设计元素应用于现代建筑,不仅能打破建筑同质化困境,还能增强建筑文化认同感。在此背景下,探索传统建筑设计元素如何与现代建筑有机融合,实现文化传承与创新发展,成为建筑领域亟待解决的重要问题。

1 空间布局融合

1.1 传统空间智慧的现代转译

传统建筑的空间布局,犹如一卷展开的立体哲学长卷,承载着古人对天地秩序的深刻理解与生活智慧的精妙诠释。以北京四合院为例,它那层层递进的院落结构,宛如一首韵律优美的空间交响曲。垂花门恰似乐曲中的休止符,以其精美的木雕装饰与庄重的形态,分隔着不同的空间领域;抄手游廊则如灵动的音符,串联起各个院落,将私密的居住空间与开放的社交区域巧妙分隔,完美诠释了“天人合一”的空间哲学。在现代建筑中,这种递进式布局得到了创新性的借鉴与发展。在鳞次栉比的商业综合体里,设计师们精心打造出层层退台的空中庭院,宛如悬浮于城市上空的空中花园。用通透的玻璃幕墙替代传统厚重的院墙,既保证了充足的采光与开阔的视野,又通过灰空间的

延续,保留了传统空间特有的含蓄之美。

1.2 围合与序列的当代演绎

现代建筑不再局限于传统围合式布局的固有模式,而是以一种更加开放、包容的姿态,对其进行重新解构与创新演绎,创造出更具时代特色的空间形态。苏州博物馆新馆便是这一创新的杰出代表。贝聿铭先生以现代几何语言为笔,以江南园林的空间秩序为墨,精心勾勒出一幅独具韵味的建筑画卷。片石假山宛如凝固的水墨,水院似明镜般倒映着天光云影,回廊则如灵动的线条串联起各个空间,共同构成了一幅极具视觉冲击力的序列。当参观者踏入博物馆,便开启了一场奇妙的空间之旅。沿着转折的连廊缓缓前行,视线在框景、漏景的巧妙设计中不断转换,每一次转角都仿佛是一个惊喜的等待。最终,当人们抵达开阔的中央庭院时,那种豁然开朗的感觉,与传统园林“步移景异”的游览方式一脉相承,让人不禁感叹传统与现代的完美融合。

1.3 内外交融的空间诗学

传统建筑一直以来都十分注重室内外空间的相互渗透与交融,这种理念在现代设计中得到了传承与升华,并且以更具科技感的手段得以实现。在大型公共建筑中,通高玻璃幕墙成为了消解室内外边界的魔法工具。它如同一面巨大的透明画布,将室外的自然景观毫无保留地引入室内,配合精心设计的水景、绿植,营造出“虽由人作,宛

自天开”的诗意意境^[1]。在居住建筑领域，可开合的玻璃幕墙系统与露台的完美结合，更是将这种内外交融的理念发挥到了极致。它模糊了居住空间与自然的界限，让使用者在享受现代生活便利的同时，也能在晨昏变换间，感受传统建筑“借景”的精妙之处。清晨，第一缕阳光透过玻璃洒入室内，唤醒沉睡的心灵；傍晚，夕阳的余晖映照在露台上，为忙碌的一天画上温馨的句点。

2 装饰纹样运用

2.1 纹样符号的抽象重生

传统装饰纹样犹如一本厚重的民族文化密码书，从象征皇权与祥瑞的龙凤呈祥皇家纹样，到充满生活意趣的鱼戏莲叶民间图案，每一个符号都被赋予了深刻的寓意，承载着祖辈的智慧与祈愿。在现代设计的语境下，这些古老纹样经历了一场华丽的蜕变，设计师们通过简化与解构的手法，将原本繁复的传统纹样转化为简洁的几何线条与抽象图形。以上海世博会中国馆的“叠篆文字”设计为例，设计师们从传统篆书纹样中汲取灵感，将其简化为富有立体感的网格造型。这些网格线条相互交织，既保留了篆书文字的基本识别特征，又借助现代金属材质的光泽与质感，营造出强烈的视觉冲击力。

2.2 工艺创新下的纹样新生

随着现代材料与技术的不断发展，传统纹样的再现方式也变得更加丰富多元。激光雕刻技术凭借其极高的精度，能够精准复刻传统木雕中那些令人惊叹的繁复细节，将木材上的花鸟鱼虫、人物故事栩栩如生地呈现出来；3D 打印技术则为陶瓷纹样的应用开辟了新的路径，使平面的陶瓷纹样能够以立体的形态应用于建筑表皮，赋予建筑独特的艺术魅力^[2]。在酒店大堂的设计中，透光云石上的祥云纹样在 LED 灯光的投射下，光影交错，虚实相生，营造出如梦如幻的空间氛围；商业建筑的外立面采用镂空金属板，将传统冰裂纹样巧妙转化为兼具通风与遮阳功能的构件，在满足建筑实用需求的同时，也让传统纹样以一种全新的姿态融入现代建筑之中。

2.3 文化符号的场景叙事

在现代建筑中，装饰纹样早已超越了单纯装饰的范畴，成为了文化叙事的重要载体。尤其是在文旅项目的设计中，设计师们常常将当地独特的传统纹样巧妙融入空间细节之中。比如在云南的一家特色酒店，客房隔断采用了神秘而富有韵味的东巴文纹样，这些纹样不仅起到了分隔空间的实际作用，更像是一个个娓娓道来的民族故事，向住客诉说着当地的文化与历史；在具有岭南建筑风格的商业街区，设计师将灰塑纹样提炼为金属装饰条，串联起整个空间，使每一处角落都浸润着岭南文化的独特脉络。

3 色彩体系传承

3.1 传统色谱的当代转译

传统建筑色彩深受地域文化与等级制度的深刻影响。

在北方，皇家建筑以红黄为主色调，彰显出庄严与威严；而在江南水乡，白墙黛瓦的民居则体现出文人雅士的清雅意趣。在现代设计中，设计师们从这些传统色谱中提取出核心色彩，通过降低色彩饱和度、调整明度等方式，使其更好地适配现代审美需求。以杭州的某文创园区为例，设计团队以灰砖、黛瓦为空间基底，搭配深木色窗框与浅米色墙面，既延续了江南建筑一贯的淡雅气质，又通过对色彩比例的精心调整，为整个空间注入了现代气息。这种色彩转译并非简单地复制，而是对传统色彩精神的深度提炼与升华，让古老的色彩美学在现代建筑中焕发出新的生机。

3.2 色彩层次的空间营造

现代建筑善于运用色彩的层次变化来塑造独特的空间性格。在博物馆的设计中，入口处选用深灰色石材，营造出庄重肃穆的氛围，让人未入馆内便能感受到历史的厚重；展览空间采用米白色墙面，以简洁纯净的背景凸显展品的魅力；而休息区则采用温暖的原木色，为参观者带来舒适惬意的放松环境。这种色彩序列的安排，巧妙呼应了传统建筑“前堂后寝”的功能分区逻辑，使空间在功能与美学上达到和谐统一。在商业空间的设计中，设计师通过红墙灰瓦的外立面吸引人流，展现出空间的独特魅力；进入内部后，则采用浅色系的颜色搭配，营造出舒适宜人的购物环境。

3.3 色彩记忆的情感唤醒

色彩作为一种强大的视觉语言，是唤醒文化记忆的重要媒介。在北京的胡同改造项目中，青灰色砖墙与朱红色门窗相互搭配，仿佛时光倒流，让老北京胡同特有的肌理在现代建筑中得以重现，勾起人们对往昔岁月的美好回忆；福建具有土楼风格的民宿，采用夯土墙自然的土黄色与木质构件温暖的棕色，营造出浓郁而亲切的乡土氛围，让人仿佛置身于熟悉的家乡^[3]。这些色彩运用不仅保留了地域特色，更通过视觉的冲击唤醒了人们对传统生活场景的情感共鸣，使建筑成为连接过去与未来的情感纽带，承载着人们对文化根源的眷恋与追寻。

4 结构构造创新

4.1 传统力学智慧的现代转化

传统木构架体系凭借榫卯连接的精妙构造，构筑起稳固的建筑骨架。这种“柔性连接”的智慧，恰似一首古老的力学诗篇，在现代建筑的舞台上被赋予全新的解读。于某文化中心，钢结构屋架巧妙地借鉴木构架形式，金属杆件仿若灵动的梁枋，在空间中交错穿插，勾勒出传统建筑的韵律。节点处精心雕琢的斗拱造型，宛如点睛之笔，不仅完美满足力学承载需求，更成为建筑空间中令人瞩目的视觉焦点。这般设计，将传统结构蕴含的力学原理与现代材料的特性深度融合，既为大跨度空间需求提供坚实保障，又淋漓尽致地展现出传统建筑结构之美，实现了技术理性与文化感性的完美交融，让古老智慧在现代建筑中重焕生机。

4.2 斗拱元素的抽象演绎

斗拱,作为传统建筑极具标志性的构件,宛如历史长河中璀璨的明珠,在现代建筑语境下被抽象转化为功能性节点。步入某高铁站的候车大厅,钢结构桁架末端的斗拱造型,不再仅仅是装饰,而是化身为默默承担传力重任的关键角色。其通过富有韵律的尺度渐变,在空间中编织出独特的节奏,仿佛奏响一曲建筑的乐章。在办公建筑的雨棚支撑结构设计中,斗拱被大胆简化为螺旋状金属构件,线条流畅且充满现代感。这一创新设计既精准契合力学原理,又赋予建筑别具一格的艺术表现力,使斗拱从传统的装饰符号华丽转身为现代建筑语言,成为传统与现代跨越时空对话的桥梁。

4.3 结构美学的文化表达

现代建筑以结构创新为画笔,在空间中勾勒出独特的文化表达。于某历史街区改造项目,保留的老砖墙承载着岁月的记忆,与新增的钢木混合结构形成鲜明对比。设计师巧妙地对钢构件表面进行木纹处理,使其与传统材料和谐共生,仿佛新旧时光在此刻温柔相拥^[4]。在某艺术场馆内,混凝土梁柱模仿木构架的优美曲线形态,粗糙的混凝土质感与流畅的结构线条相互碰撞,迸发出独特的艺术魅力。这种设计让建筑结构不再隐匿于幕后,而是勇敢地走向台前,成为彰显文化身份的显性语言,诉说着传统工艺与现代技术的奇妙邂逅。

5 材料工艺革新

5.1 传统材料的性能升级

传统的砖、瓦、木、石等材料,在现代技术的精心雕琢下,宛如破茧成蝶,焕发出全新的生命力。新型环保砖材通过改良配方,在提升强度与保温性能的同时,运用特殊的表面处理工艺,完美保留了传统青砖古朴厚重的质感,仿佛将历史的韵味凝固其中。改性木材经防腐、阻燃处理后,不仅延续了天然纹理带来的温暖质感,更满足了现代建筑严苛的防火规范要求,实现了实用性与美观性的统一。在某古建筑修复项目中,采用纳米涂层技术处理的瓦片,在维持传统形制的基础上,拥有了自清洁功能,让古老的建筑元素在现代生活中持续散发魅力,既延续了城市的文脉,又满足了现代实用需求。

5.2 工艺技术的数字转型

数字化加工技术的浪潮,为传统工艺带来了一场深刻的变革。传统木雕工艺借助数控雕刻机,能够高效地实现复杂纹样的批量生产,同时巧妙保留手工雕刻特有的细腻质感,让传统技艺在现代生产中得以传承与创新^[5]。石材

加工采用先进的水刀切割技术,能够精准复刻传统石雕的镂空效果,将工匠的巧思完美呈现。在某大型商业综合体的建设中,传统砖雕纹样通过 3D 建模与数控机床加工,以金属材质惊艳亮相于建筑外立面,这种工艺创新不仅大幅提高了生产效率,更极大地拓展了传统工艺的应用边界,让传统艺术在现代建筑中绽放异彩。

5.3 材料融合的创新实践

现代建筑大胆尝试材料融合,如同一场别开生面的艺术实验,创造出独特的美学效果。玻璃与木材的结合,让传统木构的温暖质朴与玻璃的通透轻盈相得益彰,营造出温馨且富有层次感的空间氛围;金属与石材的碰撞,既凸显了传统石材的厚重沉稳,又赋予建筑鲜明的现代工业气息,展现出刚柔并济之美。在某文化广场的景观墙设计中,将传统夯土工艺与彩色混凝土相结合,通过分层浇筑的巧妙手法,形成自然渐变的纹理,宛如一幅流动的艺术画卷,既有历史沉淀的厚重感,又充满现代艺术的灵动气息。这种材料创新打破了传统与现代的界限,为建筑设计注入了源源不断的灵感,提供了更加丰富多元的表达可能。

6 结语

传统建筑设计元素在现代建筑中的应用,是文化传承与创新发展的重要实践。通过空间布局、装饰纹样、色彩体系、结构构造、材料工艺等方面的融合,现代建筑在满足功能需求的同时,彰显传统文化魅力。未来,随着对传统文化认知的加深与建筑技术的进步,传统建筑设计元素将以更创新、多元的方式融入现代建筑,推动建筑设计在传承中创新,创造出更多兼具文化内涵与时代特色的建筑作品,为城市与社会发展注入文化活力。

[参考文献]

- [1]王其亨.中国传统建筑文化解析与传承[J].建筑学报,2018(9):1-7.
- [2]崔愷.传统建筑元素在现代建筑中的转译[J].建筑学报,2019(6):45-50.
- [3]张锦秋.地域建筑文化的传承与创新[J].城市建筑,2020,17(24):1-5.
- [4]彭怒,史永高.中国现代建筑中的传统性表达[J].时代建筑,2021(3):12-18.
- [5]常青.建筑遗产保护与当代城市设计[J].城市规划学刊,2022(4):33-40.

作者简介:李媛媛(1983.6—),女,汉族,毕业学校:河北建筑工程学院,现工作单位:河北天艺建筑设计有限公司。

地域文化在现代建筑外观设计中的传承与创新

靳献龙

河北大成建筑设计咨询有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]当今全球化促使建筑风格交融,现代建筑外观同质化日益显著。地域文化蕴含着特定地域的历史脉络、民俗风情与自然特质,是本土身份的象征。将其融入建筑外观设计,既能打破千篇一律,又可延续文化基因。文中聚焦于如何甄选地域文化素材,通过材质、造型、色彩等维度的精巧构思,探索出一条传承地域文化精髓、契合现代生活需求、展现创新性表达的建筑设计路径,助力建筑领域焕发多元生机。

[关键词]地域文化;现代建筑;外观设计;传承;创新

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16876

中图分类号: TU984

文献标识码: A

The Inheritance and Innovation of Regional Culture in Modern Architectural Exterior Design

JIN Xianlong

Hebei Dacheng Architectural Design Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Today's globalization promotes the integration of architectural styles, and the homogenization of modern architectural appearances is becoming increasingly prominent. Regional culture contains the historical context, folk customs, and natural characteristics of a specific region, and is a symbol of local identity. Integrating it into the exterior design of buildings can not only break the monotony, but also continue cultural genes. The article focuses on how to select regional cultural materials, exploring a path of architectural design that inherits the essence of regional culture, meets the needs of modern life, and showcases innovative expression through exquisite concepts in materials, shapes, colors, and other dimensions, to help the field of architecture unleash diverse vitality.

Keywords: regional culture; modern architecture; appearance design; inheritance; innovation

引言

在高速发展的当下,城市天际线不断被改写,建筑如复制粘贴般涌现,“千城一面”成为尴尬现实。在现代建筑浪潮里,其正逐渐失语。建筑作为文化重要载体,承载着城市记忆与民众情感。挖掘地域文化富矿融入建筑外观,不仅能重塑城市辨识度,更能满足人们对归属感的追求。探究如何化解传统与现代的矛盾,实现二者深度融合,成为建筑迈向未来的关键命题,亟待深入探寻。

1 地域文化元素提炼

地域文化元素恰似一座深邃而多元的宝库,其丰富性与独特性宛如取之不尽、用之不竭的灵感源泉,源源不断地为现代建筑外观设计输送着创意养分。自然环境,作为地域文化形成的基石,宛如一位默默耕耘的幕后巨匠,在建筑外观设计领域留下了浓墨重彩且深刻的印记。以沿海地区为例,海风裹挟着清新的咸湿气息,海浪不知疲倦地拍打着海岸,潮汐有规律地涨落,这些自然现象不仅日复一日地塑造了当地居民独特的生活方式,更成为建筑外观设计灵感的无尽宝藏。设计师可悉心观察贝壳那细腻且独一无二的纹理,贝壳历经岁月与海浪的摩挲,其纹理犹如大自然亲手绘制的精美图案,将其巧妙融入墙面装饰之中,运用浮雕、镶嵌等工艺手段,使建筑仿佛被赋予了大海的

灵动与柔美,每一处纹理都似在诉说着海洋的故事。海浪那优美的曲线,或舒缓或激昂,也可被巧妙应用于阳台造型的设计,通过曲线的弧度变化、高低错落,让建筑在静止中展现出流动的美感,与周边波澜壮阔的海洋景观相互呼应,共同营造出和谐共生、相得益彰的美妙氛围。在山地地域,建筑依地势起伏而建,山体轮廓犹如大地勾勒出的天然画卷,成为建筑外形的重要灵感来源。

人文历史作为地域文化的核心,恰似一颗璀璨的明珠,同样为现代建筑外观设计提供了丰富多元的素材。古老的防御性古堡建筑,以其厚重的墙体和狭小的瞭望窗,展现出强大的力量感。那厚重的墙体历经岁月洗礼,见证了无数风雨与故事,墙体的材质与纹理承载着历史的沧桑。设计师可以将这些元素精准提取出来,转化为现代建筑的局部装饰,如在建筑入口处设置厚重的石门,石门采用与古堡相似的石材,通过精湛的雕刻工艺,复刻古堡石门的庄重与古朴;或在窗户设计中借鉴瞭望窗的形式,缩小窗户面积、增加窗框厚度,不仅能够增添建筑的历史韵味,还能彰显其独特的个性,让建筑在现代的喧嚣中散发着历史的沉淀气息。传统祭祀建筑中的庄重仪式空间布局,经过简化和改良后,可应用于公共建筑的门厅设计。设计师通过对祭祀建筑空间布局的深入研究,保留其核心的空间秩

序与对称美感,采用现代的材料与照明设计,通过合理的空间规划和装饰手法,如运用大理石地面、高大的立柱以及柔和的灯光,营造出肃穆而庄重的氛围,使人们在进入建筑的瞬间,便能感受到地域文化的深厚底蕴,仿佛穿越时空,与古老的文化传统产生共鸣。

民间工艺作为地域文化的瑰宝,具有极高的艺术价值和独特的魅力。剪纸艺术的镂空花样,那是民间艺人用剪刀在纸张上创造的奇妙世界,每一个镂空图案都蕴含着民间的智慧与情感。通过激光切割技术精准地呈现在建筑表皮上,激光切割技术能够完美复刻剪纸的精细线条与复杂图案,当阳光穿透这些镂空部分时,光线在建筑内部发生奇妙的折射与散射,会在建筑内部洒下梦幻般的光影,光影随着时间与太阳角度的变化而灵动变幻,为建筑增添了一份神秘而浪漫的气息,使建筑宛如一座光影交织的艺术殿堂。竹编工艺的精巧编织纹理,那是竹条在民间艺人手中编织出的精美图案,可复刻于建筑围栏、遮阳构件等部位,通过新型的金属或塑料材质模拟竹条的质感与形态,不仅能够为建筑带来细腻的质感,还能体现出当地人民的智慧和创造力,让建筑在现代的简约中蕴含着民间工艺的温度与韵味。这些元素的提炼并非一蹴而就,需要设计师深入实地,用心去观察、去感受,用敏锐的感知捕捉地域文化的精髓,在与当地居民的交流中、在对古老建筑的研究中、在对传统工艺的体验中,积累素材、挖掘内涵,为后续的创新设计筑牢坚实的根基。

2 现代建筑外观创新策略

造型创新作为建筑外观变革的先锋力量,正以前所未有的姿态打破传统建筑的固有模式,犹如一股强劲的春风,吹散传统建筑的沉闷与刻板。传统建筑往往遵循对称、规整的设计原则,追求平衡与秩序之美,而现代建筑则大胆地突破了这些束缚,将目光投向了自然界的生物形态。以沙漠仙人掌为例,其多棱柱状的外形在沙漠强烈的阳光下呈现出独特的光影效果,每一个棱面随着太阳角度的变化而产生不同的明暗对比。设计师以此为原型,运用现代的建筑材料与结构技术,设计出的高层塔楼在不同时段能够折射出多样的光芒,塔楼的棱面采用反光玻璃或金属材质,在清晨的阳光下闪耀着柔和的光芒,在正午的烈日下则呈现出强烈的反光,为城市的天际线增添了一抹独特的色彩,使城市的轮廓更加丰富与生动。或者模拟云朵的飘浮感,通过轻盈的建筑材料、不规则的结构设计,打造出轻盈、不规则的建筑体量,建筑的形态仿若云朵在天空中随意飘荡,使建筑仿佛具有了生命力,在城市中灵动地穿梭,赋予城市以活力与生机,打破城市建筑的单调与刻板,为城市带来新的视觉冲击与活力。

在色彩搭配方面,现代建筑也告别了以往单调的灰黑白主色调,开始向更加丰富、多元的方向发展,宛如一幅逐渐丰富色彩的画卷。热带地区奔放的民族服饰色彩,那

是热情的阳光、繁茂的植被赋予人们的灵感,色彩鲜艳夺目、对比强烈,为建筑外观设计提供了丰富的灵感。设计师将高饱和度的红黄蓝等色彩大胆地运用到商业建筑外观中,通过大面积的色彩涂抹、色彩渐变与拼接等手法,瞬间激发了强烈的视觉冲击,仿佛点燃了整个街区的热情,使商业街区充满活力与吸引力,成为城市中热闹繁华的焦点。而在文化场馆的设计中,设计师则借鉴古老壁画的褪色质感与古朴色调,古老壁画历经岁月侵蚀,色彩变得柔和且富有历史感,通过特殊的涂料工艺、色彩调和,营造出一种历史的厚重感与静谧氛围,使人们在欣赏展品的同时,也能感受到建筑所传达出的文化底蕴,仿佛置身于历史的长河中,与古老的文化进行对话。

在材质运用层面,现代建筑致力于推动传统与现代的完美融合,宛如一场传统与现代的精彩对话。借助 3D 打印技术,设计师可以重塑本地黏土砖的复杂雕花,本地黏土砖承载着地域的记忆与温度,其雕花工艺蕴含着先辈们的智慧与技艺。3D 打印技术能够在保留手工制作温度的同时,极大地提升了制作精度,通过数字化建模、精准打印,使传统工艺在现代建筑中得以延续和发展,让古老的雕花艺术在现代建筑中绽放新的光彩。将透光性良好的新型塑料与本地特色的毛石相结合,是另一种创新的尝试。白天,毛石的粗粝质感尽显,毛石表面的凹凸纹理、自然色彩,展现出建筑的质朴与坚实,仿佛诉说着地域的历史与沧桑;夜晚,灯光透过塑料部分散发柔和光晕,塑料的透光性与可塑性使灯光呈现出温馨而浪漫的氛围,照亮建筑的同时,也为周边环境增添了一份温暖。

3 实践案例剖析

苏州博物馆新馆无疑是传统与现代融合的经典范例。其外观采用粉墙黛瓦,色调淡雅,恰似一幅徐徐铺展的水墨画,生动地再现了江南水乡民居的色彩与材质,粉墙那洁白无瑕的色调,黛瓦那古朴深沉的颜色,是对地域特色的深情致敬,宛如将江南水乡的温婉柔美凝练于建筑之上。步入馆内,庭院设计以水为脉络、以石为风骨,通过叠山理水的精妙布局,完美重现古典园林的精巧意境,蜿蜒的水系如灵动的丝带贯穿庭园,形态各异的假山石似自然生长于水中,极大地满足了人们对江南诗意生活的向往,让人们在城市的喧嚣中寻得一处宁静的诗意空间。在展现传统韵味的同时,新馆也巧妙运用现代科技。钢结构的使用支撑起大跨度的空间,钢结构的高强度与稳定性,提供了开阔、灵活的展示区域,满足现代展览对空间的多样化需求;玻璃幕墙则引入充足的自然光线,玻璃幕墙的透明质感与良好的采光性能,模糊了室内与室外的界限,营造出通透、明亮的氛围,使室内空间与室外景观相互交融。传统意蕴与现代科技在此和谐共生,相得益彰。

阿联酋的阿布扎比卢浮宫同样令人瞩目。其穹顶设计灵感源于阿拉伯传统的蜂巢式几何图案,阿拉伯传统建筑

中的蜂巢式几何图案蕴含着独特的美学与文化内涵,通过先进的参数化设计,这些图案被精密编排,参数化设计能够精准控制图案的大小、间距、排列方式,构成复杂而有序的结构。当阳光穿透穹顶,馆内便洒下繁星般的光影,阳光透过穹顶的几何图案,在馆内地面与墙壁上形成奇妙的光影效果,宛如将沙漠中的璀璨星空引入室内,完美融合了沙漠文化与艺术魅力,让人们在室内便能感受到沙漠文化的神秘与浪漫。建筑主体采用简洁流畅的线条和开阔通透的空间设计,简洁流畅的线条展现出现代建筑的简约之美,开阔通透的空间设计符合现代展览与公共活动对空间的需求,充分体现现代建筑理念的简洁与高效,与传统元素相辅相成。

阿布扎比卢浮宫以其独具匠心的设计,巧妙融合阿拉伯传统建筑元素与现代建筑理念,实现了跨文化的精彩碰撞与交融,成为建筑史上一座不朽的传奇之作。通过精妙的几何结构、光影运用以及材料选择,该建筑生动展现了地域文化的深邃内涵,为全球建筑领域如何有机融合地域文化提供了极具价值的范例。自建成以来,其独特的设计思路与创新实践,持续启发着无数设计师在地域文化与现代建筑融合的道路上不断探索、推陈出新,成为建筑设计领域的一座灯塔,指引着创新与融合的方向。

4 面临挑战与应对

在全球化的浪潮中,流行风格如潮水般涌来,地域文化常常面临被边缘化的困境。商业利益的驱使下,开发商往往追求速成与标准化,忽视了对本土特色的深入挖掘。在这种情况下,设计师肩负着重要的使命,需秉持对地域文化的热爱与初心,用专业的坚守唤醒沉睡的地域记忆。设计师应深入当地的历史街区、民俗村落,与当地居民深入交流,了解他们的生活方式、文化传承,通过深入地调研与分析,挖掘地域文化中独特的建筑符号、空间布局、色彩偏好等元素,将地域文化的独特元素融入建筑设计中,从建筑的整体形态到局部装饰,从空间规划到材料选择,都体现地域文化特色,使建筑成为地域文化的生动载体,而非千篇一律的工业化产物,让每一座建筑都成为地域文化的独特名片。

传统地域材料在应用过程中,常受限于耐久性、防火性等短板。例如古老的夯土材料,虽具有独特的质感与文

化内涵,夯土材料那质朴的颜色、粗糙的纹理,承载着地域的历史与记忆,但遇水易损,这在一定程度上限制了其应用范围,尤其是在多雨地区或对建筑耐久性要求较高的项目中难以广泛使用。为解决这一问题,现代科技为我们提供了有力的支持。借助纳米技术、复合材料等手段,可以对传统地域材料进行改良,纳米技术能够填充材料的微小孔隙,增强其防水性与耐久性;复合材料可以将传统材料与新型材料结合,提升其综合性能,拓展应用边界。通过这些技术手段,传统材料能够在现代建筑中继续发挥其独特的魅力,同时满足现代建筑对安全性和耐久性的要求,让传统材料在现代科技的加持下重焕生机,在现代建筑中展现新的活力。

面对文化误读的风险,设计团队应积极联合民俗学者、历史学家等多领域专家,深入开展调研工作。民俗学者能够提供地域文化中民俗活动、传统仪式等方面的知识,历史学家则能深入解读地域文化的发展脉络与历史背景。搭建起跨领域的沟通桥梁,确保对地域文化内涵的精准转译。在设计过程中,充分尊重地域文化的独特性与完整性,避免将地域文化元素简单地符号化、表面化。

5 结语

展望未来建筑之路,地域文化与现代建筑外观设计的融合前景无限。科技发展将助力挖掘更深层次文化密码,虚拟设计可提前预览融合效果,优化设计方案。设计师作为文化“摆渡人”,应以全球视野雕琢本土作品,让建筑成为行走大地的文化史诗。从古老城镇到新兴都市,每栋建筑都能凭借地域文化底蕴与创新设计,展现独特魅力,在岁月长河中沉淀为地域新地标,共同绘就缤纷多彩、底蕴深厚的世界建筑版图。

【参考文献】

- [1]王澍.造房子[J].建筑学报,2016(8):1-10.
 - [2]崔恺.本土设计[J].城市建筑,2009(10):10-15.
 - [3]彭一刚.中国古典园林分析[J].中国园林,1986(3):30-36.
 - [4]常青.建筑遗产的生存策略[J].时代建筑,2003(4):28-31.
 - [5]张锦秋.从传统走向未来[J].建筑创作,2001(1):6-11.
- 作者简介:靳献龙(1992.1—),男,汉族,毕业学校:石家庄铁道大学,现工作单位:河北大成建筑设计咨询有限公司。

建筑设计中通风采光条件对住宅健康性能的影响探讨

阿依谢姆·艾则孜

新疆恒泰工程设计有限公司, 新疆 喀什 844000

[摘要]住宅健康性能的重要设计因素是通风和采光,其直接影响室内空气流通、光环境质量以及居住者生理和心理状态,优良自然通风能降低室内污染物浓度且对细菌和病毒传播有抑制作用,科学采光设计利于昼夜节律调节可缓解视觉疲劳并提升生活舒适度,建筑设计中融合被动式通风策略和高效采光技术能有效改善热湿环境且降低能源负荷从而实现居住健康和节能环保协同发展,优化建筑朝向、布局和开窗形式就能提升整体健康性能与绿色建筑质量。

[关键词]建筑设计;通风采光;住宅健康;热舒适;绿色建筑

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16864

中图分类号: TU74

文献标识码: A

Discussion on the Influence of Ventilation and Lighting Conditions on the Health Performance of Residential Buildings in Architectural Design

AYIXIEMU Aizezi

Xinjiang Hengtai Engineering Design Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: The important design factors for the health performance of residential buildings are ventilation and lighting, which directly affect indoor air circulation, light environment quality, and the physiological and psychological state of residents. Excellent natural ventilation can reduce indoor pollutant concentration and inhibit the spread of bacteria and viruses. Scientific lighting design is conducive to regulating the circadian rhythm, which can alleviate visual fatigue and improve living comfort. The integration of passive ventilation strategies and efficient lighting technologies in architectural design can effectively improve the hot and humid environment and reduce energy load, thus achieving the coordinated development of residential health and energy conservation and environmental protection. Optimizing building orientation, layout, and window opening forms can improve overall health performance and green building quality.

Keywords: architectural design; ventilation and lighting; residential health; thermal comfort; green building

引言

人居环境质量需求提升了,健康住宅就成了建筑设计的重要导向,通风不顺畅、采光不充足之类的问题不但影响居住的舒服程度,还可能引发呼吸道疾病、情绪消沉等健康方面的隐患,在快速城市化的背景下,在有限空间实现高效通风和充足采光成了急需解决的技术难题,揭示通风采光和住宅健康的内在联系对推动绿色、宜居建筑的创新路径越来越重要了。

1 住宅建筑中通风采光设计的基本原则

1.1 通风设计原则

住宅建筑里,要实现健康的室内空气环境关键在于把自然通风和机械通风有效地结合起来,自然通风靠风压与热压差来驱动空气流动,有节能、环保等好处,而机械通风在没风或者封闭的情况下能提供稳定的通风保障,二者互补,能依据不同季节和气候条件灵活组合,让室内空气质量全年都有保障。

室内空气的流动路径与换气效率由风向组织和流线布置决定,合理设计开窗位置、通风井、走廊与中庭空间,有助于引导室外新鲜空气进入室内并有效排出污浊空气,采用“穿堂风”设计或者设置对流窗户,能让风速增强、通风死角减少,空气流通效率得以提升。

通风效果同样受开窗面积和窗型选择的重要影响,最小换气需求宜被开窗面积满足,不同窗型像推拉窗、平开窗、百叶窗等在风速、风向控制以及安全性上各有优势且窗高位置设计也对自然抽风能力有影响,高位排风与低位进风组合更有助于形成热压驱动有效改善通风效果。

1.2 采光设计原则

自然光在室内延伸能力如何,有效采光深度是个重要衡量指标,其表示自然光能达到基本照度需求的纵深距离,窗地比、窗户朝向、外部遮挡物高度等多种因素都会影响该指标,实际设计时要优先保障起居室、卧室等主要功能空间的采光质量,让这些空间有足够的光照时间和照度水平,一般来说窗地比不能低于1:6才能满足居住活动基本的视觉照明需求。

室内视觉舒适性被光线的均匀度直接影响,采光要是分布不均、明暗对比强烈,就容易导致视觉疲劳、情绪波动且可能产生眩光问题,影响居住者的日常生活与身心健康,想提升光环境质量,用折射型玻璃、调光百叶、外遮阳棚等控制光线进入角度和强度即可,这样室内光照会更柔和、稳定,能避免强烈日照带来的局部过热问题,兼顾节能和舒适性。

要实现良好采光效果,就得合理控制日照间距与朝向,建筑间距过小或者排布不合理时,自然光的引入就会受到

严重影响；设计的时候，要让主要房间朝向南面，这样能获取最佳光照资源且冬季还能提高室温、减少采暖能耗，并且建筑高度和间距科学匹配的话，整体采光效率能提高，住宅的通透感和空间舒适性也能增强。

1.3 健康导向的设计思路

健康居住环境，世界卫生组织（WHO）提出了系统性要求，明确指出室内空气质量、自然采光、有效通风是衡量居住空间健康与否的三大基本要素，若通风不畅、采光不足，室内空气污染物就会积聚，不但呼吸道感染风险增加，还可能引发“建筑相关疾病”综合征，住宅设计要从源头抓起，优化建筑开窗方式、朝向、空间组织结构，构建符合人体健康需求的通风采光系统，有效预防室内环境病的发生，提升居民的生活安全感和健康保障水平。

我国的住宅健康性能被绿色建筑评价标准体系明确提出了像“自然通风比例”“采光系数”“日照达标率”等技术指标，这些参数既展现建筑物理性能的合理性又反映出对使用者健康体验的关注，相关标准在设计、施工及验收阶段严格执行能推动绿色健康建筑发展还可显著增强项目的市场竞争力、提高用户满意度与房产附加值，是推动建筑行业向高质量发展转型的重要抓手。

当下，住宅设计全过程正深度融入“以人为本”理念，通风和采光已不只是达到技术参数那么简单，而是与人们的情绪调节、行为反应以及身心健康息息相关，设计者提升室内环境质量、增强空间互动性和通透性，就能从“功能合格”迈向“体验优良”，这种以用户健康感知为核心的设计取向，利于住宅建筑朝着更人性化、智能化、生态化发展，构建真正健康宜居空间。

2 通风采光对住宅健康性能的影响机制

2.1 对室内空气质量的影响

室内空气质量的保障基础环节在于良好的通风系统，这在高密闭性的现代住宅里格外重要，若二氧化碳（CO₂）、甲醛、PM_{2.5}等污染物不能及时排出，居住者的呼吸系统、神经系统甚至免疫功能会受到不良影响，科学布设窗户位置、风道走向与气流组织，借助风压与热压差能形成有效空气对流，让室内外空气快速置换，夏季高温或者烹饪活动频繁的空间里，自然通风除了快速排除废气和湿气，还能提升热舒适度，居住体验也能显著改善。

采光设计对改善室内空气微环境也有积极意义，自然光里的紫外线尽管强度不大，但也具备一定杀菌抑菌能力，有助于把控细菌、霉菌之类微生物滋生的风险，而且光照充足之处往往干爽洁净，对防止墙体发霉、家具受潮等情况很有利，尤其在湿润地区或者朝向不好的住宅单元里特别适用，温暖的日照能让室内温度升高，空气流动性变好，进而提升整体室内卫生状况，营造出更健康的居住环境。

2.2 对热舒适与能耗的影响

优化通风系统，在提升室内空气流通效率之际还会显著影响住宅的热舒适性，夏季时自然通风能有效引导低温气流

入室内，使热量和湿气排出、环境温度降低、空调负荷减轻，从而减少电力消耗与运行成本，冬季合理设计通风路径并设置热回收装置，既能避免冷风直接侵入，又可回收排出暖空气的热能，使室内温度得以稳定，达到节能与舒适两者兼顾的效果，这可是被动式节能建筑不可或缺的重要环节。

在节能降耗方面，采光设计的重要作用不容小觑，部分人工照明可由自然采光替代，像客厅、厨房这种白天照明需求大的功能区更是如此，合理布局光照能大幅削减照明能耗，并且冬季时，太阳辐射带来的热增益还有辅助采暖的作用，可减少供暖系统的能耗，科学配置窗户面积、朝向、玻璃材质和反射装置，能高效引导和分布光线，避免热损失与眩光干扰，提升室内视觉舒适度，推动住宅建筑朝着绿色低碳方向发展。

2.3 对心理健康的影响

日照作为维持人体昼夜节律的重要环境因素，其通过调节褪黑激素分泌影响睡眠质量、情绪状态与心理平衡，自然光照就是这样影响人体的，长期缺少阳光照射容易诱发季节性情绪障碍、抑郁和焦虑等心理问题，而充足且柔和的日光对情绪波动的缓解有益且能增强认知功能和免疫反应能力，若再有良好的通风条件相配合就会形成温湿适宜、气流流畅的居住环境，这可大大提升身体舒适度，促使深度睡眠和身心恢复，为心理健康构建有益的居住基础。

住宅环境的通风采光状况和居住者的满意度在主观体验角度关系密切，清新空气、适宜光照、空间通透这些因素共同营造出舒适安全的生活氛围，会使居民更易有归属感和幸福感，并且相关研究表明，自然光足、通风好的住宅更能激发积极情绪，提升日常生活满足感，这种心理满足不但影响居住者对居住环境的综合评价，还是衡量住宅设计质量的重要指标之一。

3 当前住宅建筑通风采光设计存在的问题

3.1 高层住宅通风受限

高层住宅受结构和用地效率的限制，户型往往被设计成进深大、开间小的布局，自然通风的有效路径由此缩短且空气流通速度跟着减缓，部分中间套型住宅只单面开窗而没有良好的穿堂风条件，室内通风换气能力便大幅下降，夏季尤其容易形成热滞留区，制冷负担增加且居住舒适性也降低了。

高层住宅的开窗设计常受相邻户型、外立面造型和邻里空间的限制，部分窗户为避开对视、遮挡隐私被设计在非主通风方向，自然风的引入能力被削弱了，并且为了建筑外观统一或者满足抗风压需求，窗型被限定为小开口或者封闭式，通风效率进一步受限，居住空间就出现空气质量不达标问题。

3.2 城市密集布局导致采光不足

城市高密度开发，住宅建筑常面临用地紧张、容积率高、建筑间距严重不足的状况，由于楼间距狭窄，满足不了日照间距标准要求，低楼层或北向房间长期有阴影，自然光照射时间大幅减少，且日照长期不足，不仅影响居住舒适性，还会使湿气易积聚、墙体易发霉，健康也受负面影响。

日照控制方面,东西向布置的住宅存在明显缺陷,早晚阳光直射时间短、中午时分角度偏低、容易眩光、热负荷剧增且热环境调节变难,建筑形态与朝向安排缺乏科学优化、采光时间和照度无法均衡分布,这不但难以保证全天光环境稳定,还加剧能耗波动,影响建筑节能目标的实现。

3.3 设计理念与用户实际需求脱节

不少住宅建筑当下还是以“标准化模数”和“统一立面风格”作核心导向,过度地追求形式上的整齐与审美的一致而忽视建筑所处地域的气候特征以及用户差异化生活需求。设计时缺乏对环境变化的动态响应机制,在不同季节风向、日照角度等自然条件下窗型、遮阳构造和空间布局没能合理调整,致使部分时段通风效率低,还出现采光过强、眩光刺眼之类的问题,难以满足居住者对健康舒适生活环境的实际期待。

当前住宅设计里通风和采光性能的评估大多还在定性判断阶段,缺乏量化支撑,CFD 风环境模拟、日照路径分析、光照均匀度仿真这些技术手段都没用上,这种靠经验的设计模式很容易使预期效果和实际使用有很大偏差,竣工交付之前通风和采光系统常没实地验证和性能测试,住进去之后就可能出现空气不流通且光照不是不足就是太强,这就带来改造需求,增加建设和使用成本,影响住宅品质长期保障和绿色可持续发展目标的实现。

4 优化通风采光条件的设计策略

4.1 基于气候适应的设计策略

现代建筑设计应对不同气候区域住宅通风需求时,把计算流体力学(CFD)等风环境模拟工具引入进来是很重要的手段,通过精确分析建筑周边风压分布、气流路径与风速变化,在设计阶段就能预测不同布局和窗型组合下的通风效果、优化风道组织,从而避免通风盲区与涡流区并提高自然通风效率,这种模拟策略有助于因地制宜构建“风环境友好型”住宅,进而提高室内空气品质与热舒适水平。

高密度住宅提升通风性能的重要方式是垂直方向的通风组织,利用天井、通风井等垂直开口能使建筑内部形成热压驱动以促使空气上下流通,在中庭式或者塔楼结构中竖向通风系统尤其能弥补横向通风的不足从而有效解决单面采光通风单元空气滞留的问题,合理设置风塔或者通风辅助装置还能激发自然气流主动进入室内进而使整体换气效率得以提升。

4.2 合理布局与开窗设计

住宅建筑平面布局优先采用“南北通透”式户型设计为佳,这样室内空气就能沿完整路径自然流动从而提升通风效率与居住舒适度。夏季,有效的对流通风利于快速排热降温以减少对空调的依赖,冬季可实现适度空气交换以避免室内湿气积聚和墙面结露,营造干燥健康的环境。南北通透户型还有双向采光的好处,能延长自然光照时间使光照更均匀以提升室内光环境质量,从而进一步改善居住

者的视觉体验和心理感受。

高效通风和科学采光直接靠开窗设计达成,要保证建筑节能可引入多种窗型组合,如角度能调节的百叶窗、有遮阳功能的凸窗、开合式天窗等以提高适应自然条件的能力,高层住宅或住宅在密集区设置高低错层窗或者双开口系统能使风压差小的时候气流也有效交换,采光通道里引入反光板或者导光结构可增加光的传播深度、让光分布更均匀从而提升自然采光整体效益。

4.3 智能控制与绿色技术应用

建筑智能化快速发展让通风与采光系统自动化控制成了提升使用体验和节能效率的重要方向,采光窗可装上自动感光调节装置,外部光照强度一有变化就能自动控制开启角度和遮阳状态,从而保障室内照度稳定并避免强光干扰和能源浪费,智能通风系统能与空气质量传感器、温湿度监控装置相结合实现按需换气、避免不必要的能耗并使居住环境一直保持健康状态。

住宅建筑通风采光的优化因绿色建材与新型采光技术的引入而有了更多可能,光导管能把屋顶自然光引入建筑内部深处以弥补底层、内向空间采光不足的问题,智能玻璃具有调光、隔热、防眩的功能可根据环境变化过滤光线、调节温度从而提高空间舒适度,可再生能源设备与通风采光系统相融合,将太阳能百叶和通风模块集成在一起,既节能又美观,促使绿色住宅朝着更高效、更可持续的方向发展。

5 结语

住宅建筑设计里,通风和采光是核心要素,它们直接影响居住环境的健康、安全与舒适性。科学合理的设计既能提升室内空气质量与光环境,又可优化热舒适性能、减少能源消耗,还对居住者心理健康有积极影响,然而城市住宅通风采光目前存在不少问题,急需气候适应性策略、合理布局、智能控制和绿色技术手段系统优化,未来要以人为本,推动住宅设计朝着健康、绿色、智能不断发展,构建更宜居的人居环境。

[参考文献]

- [1]张金贵.深圳超高层办公建筑的气候适应性设计研究[D].深圳:深圳大学,2023.
- [2]潘弼浩.绿色住宅建筑结构设计对居住舒适度的影响研究[J].居舍,2025(4):84-87.
- [3]杜莹.在绿色建筑设计中建筑理念、建筑特征的应用方法[J].中国建筑金属结构,2023,22(11):97-99.
- [4]马兆瑞,于庚新.绿色建筑设计理念在住宅建筑中的应用效果研究[J].居舍,2024(26):94-97.
- [5]霍振华.绿色建筑设计理念在工业建筑设计中的体现[J].建材发展导向,2025,23(7):124-126.

作者简介:阿依谢姆·艾则孜(1997.1—),毕业于:喀什大学,土木工程专业,就职于新疆恒泰工程设计有限公司,职务:建筑设计,职称职别:助理工程师:初级。

Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

官方网站

www.viserdata.com

