



www.viserdata.com

工程建设

ENGINEERING CONSTRUCTION

月刊

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 2630-5283(online) 2717-5375(print)

万方数据库收录

RCCSE权威核心学术期刊

2025 **5**

第8卷 总第75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.



工程建设

Engineering Construction

2025年·第8卷·第5期（总第75期）

主办单位：Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N：2630-5283 (online)

2717-5375 (print)

发行周期：月刊

出版时间：5月

数据库收录：万方数据库收录

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：吴 萌

责任编辑：张健美

学术编委：严心军 王志甲 程俊儒
高 昱 初士俊 张高德
刘庆功 张 宽 张迪军
李江宇 史宗亮 肖 泳

美工编辑：李 亚 Anson Chee

印 制：北京建宏印刷有限公司

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

工程管理

绿色建筑工程施工过程中进度与质量控制创新模式研究	李 琳 胡婷婷 孙乐添	1
新形势下工程造价管理面临的问题与应对策略研究	郑书娟	4
房地产开发项目全生命周期招采协同管理研究 ..	刘 宁	7
建筑工程项目施工成本管理优化分析	付国庆	11
试论新时期建筑工程施工技术的管理与创新 ..	海 洋	14
建筑工程施工阶段工程造价控制策略	胡婷婷 孙乐添 李 琳	17
建筑工程施工过程监督管理的控制探析	陈增鑫	20

建筑工程

建筑工程建设中的主体结构检测分析	赵 亮	23
BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的应用	孙乐添 李 琳 胡婷婷	26
工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构研究与应用	徐华中	30
地基基础检测方法的工程实践及效果评估 ...	张 欢	34
大数据视角下的建筑施工智慧管理研究	水李勇	37
建筑工程地基基础检测技术要点及对策	李云鹏	40

市政工程

路灯远程控制系统对维护效率提升的作用分析 .	蒋景华	43
市政给排水管道现状问题研究和检测修复 ...	吕胶龙	46
给水排水工程专业发展前景分析	谢瑞桃	49
浅析城市给排水管道修复施工	赵光桦	52

机械工程

机械制造工艺与机械设备加工工艺探讨	陶 喜	56
经验公式在机械加工方面的应用研究进展	马炬彬 余大明 刘 飞 曹 洋	59
浅析机械设计制造的数字化与智能化发展	单宝喜 唐聚江	65
浅谈卷接包车间创新设备管理与维修	路 博	68

绿色理念在机械设计制造中的应用探究.....	单宝喜 71
某型医疗救护单元仿真分析及优化设计研究.....	
.....	乔 芳 周 昊 安徽坤 75
人工智能技术在机械设计与制造中的应用.....	
.....	唐聚江 单宝喜 80
新能源汽车动力电池技术发展现状与未来趋势分析....	
.....	符养斌 84
基于变频驱动的锅炉给水泵自动启停控制系统设计....	
.....	史联兴 明举秀 87
高空作业车臂架精度提升的研究与应用.....	
.....	曾 旭 任创智 刘 雄 90
煤矿机电设备故障诊断与维修技术探究.....	胡鹏飞 95
高空作业机械结构件激光下料自动化产线设计与运行分	
析	曾 旭 任创智 刘 雄 98

石油工程

石油化工建设工程施工现场管理研究.....	文 峰 102
油气长输管道山体定向钻穿越施工技术分析.....	
.....	张 振 范佳豪 105
污水回用过程中介质泄漏对水质安全的影响及处理技术	
优化	王建勋 尚 海 冯武辄 109
高含盐油田污水膜分离技术的应用研究 ...	邓焱伟 113

矿山工程

高效节能爆破技术在煤矿开采中的应用	
.....	郭卫东 刘晴晴 傅永和 116
铁矿地质环境现状及矿山恢复治理措施的系统分析——	
以新疆新源县苏洛铁矿为例	孔维英 119
复杂地质条件下金矿建设工程深部巷道支护体系优化与	
实践	王亚州 123
露天煤矿爆破网络设计及其影响因素分析.....	
.....	王 强 蒲应录 刘 江 126
煤矿机电设备标准化管理体系建设与实施效果研究....	
.....	胡鹏飞 129
露天煤矿排土场排水系统机电设备优化与管理	
.....	刘 江 王 强 蒲应录 132

冶金工程

浅谈球墨铸铁管设备管理常见问题及解决方法	
.....	金建军 薛鹏飞 刘 刚 乔秀丽 郭 丽 135

路桥交通

第三系富水弱胶结地层多技术措施协同治理研究.....	
.....	杨佑权 138
高速公路预制梁施工工艺与质量管控研究..	杨 洋 142
公路工程沥青路面早期病害成因及防治措施..	杨 雪 145
冷拌沥青薄层在高速公路养护中的应用研究..	刘 刚 148
铁路货物运输安全管理的问题及对策分析..	王 鹏 151
大跨度组合桥梁新结构关键技术及其应用..	孙洪臣 154

勘察测绘

上海地区软土含水量与其他工程性质参数相关性分析 ..	
.....	郭 嫚 157
六盘水市地质灾害易发性评价	黄 稳 张 坤 162

施工技术

灰土挤密桩在湿陷性黄土地基加固中的施工工艺研究 ..	
.....	田彦虎 166
建筑外墙保温层施工常见缺陷图像识别与修复技术探索	
.....	安立全 170
基于数字孪生的深基坑变形控制技术与应用	
.....	李 森 李明煜 徐梦强 韩 磊 邹佳旺 174

建筑设计

关于BIM技术在建筑电气设计中的应用研究 ..	贾锁超 178
基于可持续发展的新农村旧房改造问题探讨 ..	谢 晶 181

节能环保

绿色建材在建筑工程中的环保效益与推广路径研究....	
.....	王海林 吉彪彬 谢 翔 184
上海某再生建材利用中心资源化利用现状与前景分析 ..	
.....	卢 明 188
基于节能优化的地源热泵系统在住宅供暖中的应用研究	
.....	陈勇军 191

材料科学

玄武岩纤维改性混凝土力学性能试验研究.....	
.....	张 敏 覃 曦 陈奕阳 郑洪祥 姜力琪 曾智超 194
低碳交通导向下城市道路新型透水铺装材料性能与应用	
.....	孟 强 198

绿色建筑工程施工过程中进度与质量控制创新模式研究

李琳 胡婷婷 孙乐添

山东易方达建设管理集团有限公司, 山东 济南 250013

[摘要]随着全球经济的快速发展,建筑行业作为推动经济增长的重要力量,其规模和影响力不断扩大。然而,传统建筑模式在满足人们居住和工作需求的同时,也带来了一系列严峻的问题。资源的过度消耗与浪费现象日益突出,据统计,建筑行业在全球范围内消耗了约 40% 的能源和大量的水资源、原材料,这对有限的自然资源造成了沉重的压力。与此同时,建筑施工和使用过程中产生的大量污染物,如粉尘、污水、建筑垃圾等,对生态环境和居民健康产生了严重的负面影响。面对日益严峻的环境和资源挑战,绿色建筑作为一种可持续发展的建筑理念应运而生,并逐渐成为全球建筑行业发展的主流趋势。因此,深入研究绿色建筑工程施工过程中的进度与质量控制创新模式,具有重要的现实意义和紧迫性。

[关键词]绿色建筑; 工程施工; 进度与质量控制

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16642

中图分类号: TU767

文献标识码: A

Research on Innovative Models of Progress and Quality Control in the Construction Process of Green Building Projects

LI Lin, HU Tingting, SUN Letian

Shandong Yifangda Construction Management Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250013, China

Abstract: With the rapid development of the global economy, the construction industry, as an important force driving economic growth, continues to expand in scale and influence. However, traditional architectural models have brought a series of serious problems while meeting people's living and working needs. The phenomenon of excessive consumption and waste of resources is becoming increasingly prominent. According to statistics, the construction industry consumes about 40% of energy and a large amount of water resources and raw materials worldwide, which puts heavy pressure on limited natural resources. At the same time, the large amount of pollutants generated during construction and use, such as dust, sewage, construction waste, etc., have serious negative impacts on the ecological environment and residents' health. Faced with increasingly severe environmental and resource challenges, green buildings have emerged as a sustainable architectural concept and gradually become the mainstream trend in the global construction industry. Therefore, it is of great practical significance and urgency to conduct in-depth research on innovative models of progress and quality control in the construction process of green building projects.

Keywords: green building; engineering construction; progress and quality control

1 绿色建筑工程施工进度与质量控制的关系

施工进度与质量控制相互制约。一方面,过度追求施工进度可能会对施工质量造成负面影响。当施工单位为了赶工期,在施工过程中可能会出现缩短施工工序时间、减少质量检验环节、压缩人员培训时间等情况。不合理的赶工还可能导致施工人员疲劳作业,增加操作失误的概率,进一步降低施工质量。另一方面,过于严格的质量控制要求也可能在一定程度上影响施工进度。

施工进度与质量控制也相互促进。良好的施工质量能够为施工进度的顺利推进提供保障。高质量的施工意味着施工过程中较少出现质量问题,减少了因返工而浪费的时间和资源,从而能够保证施工按照预定的进度计划进行。科学合理的施工进度安排也有助于保证施工质量。合理的进度计划能够为施工人员提供充足的时间进行施工操作和质量检查,避免因赶工而导致的质量隐患。同时,合理的进度安排还能够保证施工资源的均衡供应,使施工材料、

设备和人员等能够及时到位,为施工质量提供有力的支持。

2 绿色建筑工程施工进度与质量控制现状

当前,绿色建筑工程在我国的发展态势良好,越来越多的城市积极投身于绿色建筑项目的建设。从全国范围来看,根据相关统计数据显示,近年来我国绿色建筑的数量和规模不断扩大。截至 2022 年底,全国绿色建筑占新建建筑的比例已超过 90%,绿色建筑工程的施工进度和质量控制水平也在不断提高。越来越多的建筑企业开始重视绿色建筑施工技术的应用和创新,积极采用先进的项目管理方法和技术手段,加强施工进度和质量控制。然而,尽管绿色建筑工程施工进度与质量控制取得了一定的成绩,但仍然存在一些问题和挑战。在施工进度控制方面,部分项目由于受到施工场地狭窄、施工条件复杂、设计变更频繁等因素的影响,导致施工进度延误。一些绿色建筑项目在施工过程中,由于需要采用新型的绿色建筑技术和材料,施工人员对这些技术和材料的熟悉程度不够,也会影响施工

进度。在质量控制方面,部分建筑企业对绿色建筑的质量标准和要求理解不够深入,质量管理体系不够完善,导致绿色建筑工程质量存在隐患。一些绿色建筑项目在施工过程中,由于缺乏有效的质量检测和监控手段,无法及时发现和解决质量问题,也会影响绿色建筑的质量和性能。

3 绿色建筑工程施工进度控制创新模式

3.1 拉动式生产

拉动式生产是精益建造理论的核心内容之一,其在绿色建筑工程施工进度控制中发挥着关键作用,通过依据实际需求来把控施工进度,能够极大程度地减少资源浪费,实现施工资源的高效利用,在传统的建筑施工模式中,通常采用推动式生产方式,即依据预先制定的施工计划和进度安排,按照固定的节奏进行施工。这种方式往往未能充分考虑施工现场的实际情况和需求变化,容易导致施工进度与实际需求脱节。与之形成鲜明对比的是,拉动式生产以实际需求为导向,紧密围绕施工现场的实际需求来安排施工进度和生产活动。在绿色建筑施工过程中,施工单位与供应商建立了紧密的合作关系,采用准时化采购模式。当施工现场需要某种建筑材料时,通过信息系统及时向供应商发出采购订单,供应商根据订单要求,在规定的时间内将材料准确无误地送到施工现场。

3.2 准时化施工

准时化施工强调在正确的时间、地点,以正确的方式提供正确数量的资源,实现施工工序之间的无缝衔接,避免施工过程中的等待、延误和浪费现象。合理安排施工工序是准时化施工的关键环节。在绿色建筑工程施工中,不同的施工工序之间存在着紧密的逻辑关系和先后顺序,合理安排施工工序能够提高施工效率,缩短施工周期。准时化施工通过合理安排施工工序,还能够有效降低施工成本。准时化施工在绿色建筑工程施工进度控制中具有重要作用。通过合理安排施工工序,实现了施工资源的高效利用和施工进度的精准控制,提高了施工效率,降低了施工成本,减少了资源浪费,为绿色建筑工程的顺利实施提供了有力保障。在未来的绿色建筑工程施工中,应进一步推广和应用准时化施工理念和方法,不断优化施工工序和施工流程,提高绿色建筑工程的施工管理水平和质量。

4 绿色建筑工程施工质量控制创新模式

4.1 全过程质量管理

4.1.1 设计阶段质量控制

在绿色建筑工程中,设计阶段是奠定工程质量基础的关键环节,必须将绿色建筑理念深度融入其中。在项目的设计前期,设计团队应充分考虑当地的自然环境、气候条件以及资源禀赋等因素。对于处于寒冷地区的绿色建筑项目,在设计外墙保温系统时,应根据当地冬季的寒冷程度和保温需求,合理选择保温材料的种类和厚度。采用高效的保温材料,如聚氨酯泡沫保温板,其导热系数低,保温性能优异,能够有效减少建筑物冬季的热量散失,降低供暖能耗。同时,优

化建筑的朝向和布局,使建筑物能够充分利用自然采光和通风,减少对人工照明和空调系统的依赖。通过模拟分析软件,对不同的建筑朝向和布局方案进行采光和通风效果的模拟,选择最优方案,以提高室内环境的舒适度和能源利用效率。为了确保设计方案的质量,还应加强设计审查和优化工作。邀请相关领域的专家对设计方案进行严格审查,从建筑结构、节能设计、环保措施等多个方面提出意见和建议。通过设计审查和优化,确保了设计方案的科学性、合理性和可行性,为绿色建筑工程的高质量施工奠定了坚实的基础。

4.1.2 施工阶段质量控制

在材料质量控制方面,严格把控绿色建筑材料的采购环节。建立完善的供应商评估体系,对供应商的资质、信誉、产品质量等进行全面评估。优先选择具有良好口碑和绿色认证的供应商,确保所采购的材料符合绿色建筑标准要求。

加强对建筑材料的进场检验,采用先进的检测技术和设备,对材料的各项性能指标进行严格检测。对新型绿色建筑材料,如生物质纤维板材,进行化学成分分析和物理性能测试,确保其环保性能和使用性能满足绿色建筑的要求。建立材料质量追溯体系,对每一批次的材料来源、使用部位等信息进行详细记录,以便在出现质量问题时能够及时追溯和处理。

施工工艺质量控制是确保绿色建筑工程质量的核心。制定详细的绿色施工工艺标准和操作规程,明确每一道工序的施工要求和质量标准。加强对施工过程的监督和检查,采用旁站监理、抽样检测等方式,及时发现和纠正施工中的违规操作和质量问题。在混凝土浇筑施工中,监理人员对混凝土的配合比、坍落度、浇筑高度等进行现场监督,确保混凝土的浇筑质量符合要求。

4.1.3 竣工验收阶段质量控制

在竣工验收阶段,依据国家和地方的绿色建筑相关标准和规范,如《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2019)等,对绿色建筑工程进行全面的质量检测。这些标准和规范涵盖了建筑节能、节水、节材、室内环境质量、运营管理等多个方面,是衡量绿色建筑工程质量的重要依据。对建筑的室内空气质量进行检测是竣工验收的重要环节。室内空气质量直接影响居住者的健康和舒适度,因此需要对室内空气中的甲醛、苯、氨、氡等有害物质的含量进行严格检测。在质量评估过程中,邀请专业的评估机构和专家参与,确保评估结果的科学性和公正性。专业评估机构和专家具有丰富的经验和专业知识,能够对绿色建筑工程的质量进行全面、客观的评价。根据评估结果,及时发现并整改存在的问题,确保绿色建筑工程质量合格。对于评估中发现的问题,如部分区域的照明功率密度不符合标准要求、个别设备的能效等级较低等,要求施工单位制定详细的整改方案,明确整改措施、整改期限和责任人。在整改过程中,加强对整改工作的监督和检查,确保整改措施落实到位。整改完成后,进行复查和验收,确保问题得到彻

底解决,绿色建筑工程质量符合竣工验收标准。

4.2 绿色施工技术应用与质量保障

4.2.1 节能技术应用

太阳能作为一种清洁、可再生的能源,在绿色建筑工程中有着广泛的应用。据统计,该项目使用太阳能光伏系统后,每年可减少二氧化碳排放量约 100 吨,节省电费支出约 30%。太阳能热水系统也是绿色建筑中常见的应用方式。与传统的电热水器或燃气热水器相比,太阳能热水系统每年可节约大量的电能或燃气,降低了居民的生活成本,同时减少了温室气体的排放。太阳能的应用对建筑质量有着积极的影响。太阳能设备的安装需要精确地设计和施工,这对建筑的结构承载能力和防水性能提出了更高的要求。在安装太阳能光伏板时,需要确保屋顶结构能够承受光伏板的重量,同时要做好防水处理,防止因安装设备而导致屋顶漏水。这促使建筑施工单位在施工过程中更加注重建筑结构的防水工程的施工质量,从而提高了建筑的整体质量。

地热能在绿色建筑工程中的应用也日益广泛。地源热泵系统是利用地下浅层地热资源进行供热和制冷的一种高效节能技术。与传统的集中供热和空调系统相比,地源热泵系统的能效比更高,能够显著降低建筑物的能耗。地源热泵系统的安装需要进行地下钻孔和埋管施工,这对地质条件的勘察和施工工艺的要求较高。在施工过程中,需要确保地下埋管的密封性和稳定性,防止出现漏水和管道损坏等问题。这要求施工单位具备专业的技术和丰富的经验,严格按照施工规范进行操作,从而保证了建筑的质量和地源热泵系统的正常运行。

4.2.2 环保材料使用

环保材料在提高建筑质量方面表现出色。与传统的保温材料相比,真空绝热板具有极低的导热系数,保温性能优异。其导热系数仅为传统聚苯乙烯泡沫板的 1/5 左右,能够更有效地阻止建筑物内外的热量传递,提高建筑的保温隔热性能。在寒冷的冬季,使用真空绝热板的建筑能够更好地保持室内温度,减少供暖能源的消耗;在炎热的夏季,也能有效阻挡外界热量传入室内,降低空调的能耗。真空绝热板还具有重量轻、占用空间小的优点,不会对建筑结构造成过大的负担,有利于提高建筑的整体质量和安全性。

4.3 质量追溯体系建设

4.3.1 建立质量信息数据库

在绿色建筑工程施工过程中,建立质量信息数据库是实现质量追溯体系的基础。质量信息的收集涵盖了施工各个环节和阶段,具有全面性和系统性。在施工准备阶段,收集工程的基本信息,包括项目名称、地点、规模、设计单位、施工单位、监理单位等,这些信息为后续的质量追溯提供了项目背景资料。收集建筑材料和构配件的相关信息,如材料的供应商、品牌、规格型号、质量检验报告、进场时间等。对于绿色建筑中使用的新型环保材料,还需

记录其环保性能指标和特殊的使用要求。

在施工过程中,持续收集施工过程信息,包括施工工序、施工工艺、施工人员、施工时间等。对每一道施工工序的操作过程进行详细记录,如在混凝土浇筑施工中,记录混凝土的配合比、浇筑方法、振捣时间和强度检测结果等。同时,收集施工过程中的质量检查信息,如质量检验报告、质量验收记录、质量问题整改情况等。收集设备和设施的运行维护信息,包括设备的型号、安装位置、运行参数、维护记录等。对于绿色建筑中的节能设备,如太阳能光伏发电系统、地源热泵系统等,详细记录其运行数据和维护情况,以确保设备的正常运行和节能效果的实现。在竣工验收阶段,收集工程的竣工验收报告、质量评估报告等信息,以及用户在使用过程中反馈的质量问题和意见。通过对这些信息的收集和整理,建立起一个完整的质量信息数据库,为质量追溯提供了丰富的数据资源。

4.3.2 实现质量问题追溯

当绿色建筑工程出现质量问题时,质量追溯体系能够迅速发挥作用。通过输入质量问题的相关关键词,如出现质量问题的部位、问题描述等,在质量信息数据库中进行精确查询。根据数据库提供的信息,能够精准定位到质量问题的源头。一旦确定质量问题的源头,即可迅速采取针对性的解决措施。质量追溯体系还能够为质量问题的责任认定提供依据。通过质量追溯体系对质量问题的追溯和责任认定,能够有效避免类似质量问题的再次发生。对出现质量问题的原因进行深入分析,总结经验教训,完善质量管理体系和制度。加强对施工人员的培训和教育,提高其质量意识和操作技能;加强对材料采购和施工过程的管理,严格把控质量关。

5 结语

本研究聚焦绿色建筑工程施工过程,对进度与质量控制创新模式进行了深入探究,取得了一系列具有重要理论与实践价值的成果。随着绿色建筑理念的不断深入和技术的不断发展,未来还应关注绿色建筑施工进度与质量控制与其他领域的融合发展。加强与建筑节能、环保、智能化等领域的交叉研究,实现绿色建筑工程在节能、环保、智能化等方面的协同发展,推动绿色建筑工程向更高水平迈进。

[参考文献]

- [1]高俊桐.绿色建筑材料施工中质量控制策略分析[J].掌桥科研,2024(28):38-39.
 - [2]李开放.装配式建筑工程管理的控制要点分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(3):1.
 - [3]袁庆华,尹茂帅.建筑结构施工质量控制与管理研究[J].幸福生活指南,2023(37):91-93.
- 作者简介:李琳(1990.10—),女,学历:本科,毕业院校:东北农业大学,所学专业:土木工程,目前职称:助理工程师。

新形势下工程造价管理面临的问题与应对策略研究

郑书娟

河北天和咨询有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]当前建筑行业在智能建造与绿色低碳转型进程中, 面临工程造价管理模式革新与技术范式重构的双重挑战。针对全过程协同控制机制缺失、成本核算标准僵化、信息孤岛效应显著等突出问题, 系统研究动态控制体系构建、市场化价格形成机制优化及数字技术融合应用等核心对策。通过引入价值链理论重构造价管理框架, 提出集成 BIM 协同平台、区块链智能合约与大数据预测模型的解决方案, 建立覆盖制度创新、技术适配与人才培育的三维改进路径。聚焦 EPC 模式下跨阶段成本协同控制方法, 创新性探索碳成本计量与工程计价体系的整合机制, 着力破解传统管理模式在风险预判、资源优化方面的效能瓶颈。实践表明, 该方法体系可有效提升造价数据治理能力与决策科学性, 为建筑行业实现精益化管理、可持续发展提供理论范式与实践指引。

[关键词]工程造价管理; 全过程控制; 成本核算

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16633

中图分类号: TU72

文献标识码: A

Research on the Problems and Countermeasures of Engineering Cost Management under the New Situation

ZHENG Shujuan

Hebei Tianhe Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The current construction industry is facing dual challenges in the process of intelligent construction and green low-carbon transformation, including the innovation of engineering cost management mode and the reconstruction of technological paradigm. To address prominent issues such as the lack of collaborative control mechanisms throughout the entire process, rigid cost accounting standards, and significant information silos, a systematic study will be conducted on core countermeasures including the construction of dynamic control systems, optimization of market-oriented price formation mechanisms, and integration of digital technology applications. By introducing the value chain theory to reconstruct the cost management framework, a solution integrating BIM collaborative platform, blockchain smart contracts, and big data prediction models is proposed to establish a three-dimensional improvement path covering institutional innovation, technological adaptation, and talent cultivation. Focusing on the cross stage cost collaborative control method under the EPC mode, innovatively exploring the integration mechanism of carbon cost measurement and engineering pricing system, and striving to solve the efficiency bottleneck of traditional management mode in risk prediction and resource optimization. Practice has shown that this method system can effectively enhance the ability of cost data governance and decision-making scientificity, providing theoretical paradigms and practical guidance for the construction industry to achieve lean management and sustainable development.

Keywords: engineering cost management; whole process control; costing

引言

当前, 我国建筑行业正处于新型城镇化建设与“双碳”战略叠加推进的关键阶段, 工程项目呈现规模集群化、技术交叉化、功能复合化等新特征, 对工程造价管理的精准度与预判性提出更高要求。传统管理模式因采用静态成本核算与分段式管控机制, 难以适应工程总承包(EPC)模式推广、绿色建造技术普及等新型业态发展需求, 暴露出跨阶段协同效率低下、风险响应滞后及价值创造能力不足等结构性矛盾。特别是在智能建造技术革新与产业数字化转型背景下, 造价管理领域亟需突破经验主导的路径依赖, 构建覆盖项目全生命周期的动态控制体系。聚焦行业发展前沿问题, 系统解构造价管理在理念认知、技术工具及制

度供给层面的现实瓶颈, 结合价值工程理论、风险管理框架等现代管理方法论, 探索符合新型建造方式需求的转型升级路径, 为提升建筑产业链协同效率、实现工程投资效益最大化提供决策参考与实践范式。

1 工程造价管理概述

根据《工程造价术语标准》界定, 工程造价指建设项目在建设期内预计或实际发生的全部建设费用, 其管理活动涵盖成本预测、计划、控制、核算、分析与评价等系统性工作。作为工程经济管理的重要组成部分, 其核心价值体现在四个维度。在项目决策阶段, 通过可行性研究与投资估算明确资金配置方向, 为项目经济合理性论证提供量化支撑; 在实施阶段, 依托预算编制与动态控制手段, 对

人力、材料、机械等资源消耗进行精准监测,借助偏差分析技术实现成本纠偏;在风险管理层面,运用全生命周期成本分析法识别设计缺陷、合同纠纷等潜在风险,通过限额设计标准与价格调差条款实现风险的事前防控;在效益评估方面,借助后评价机制对项目经济效益、生态效益进行多维度验证,形成投资决策优化的闭环反馈。随着工程总承包(EPC)模式推广与建筑信息模型(BIM)技术普及,现代工程造价管理已突破传统成本核算的单一职能,向设计方案优化、供应链协同等价值链高端延伸。这种转型升级要求从业人员不仅掌握工程量清单计价、合同管理等专业技能,还需具备 BIM 协同设计、大数据分析等数字化工具应用能力,推动行业从经验型粗放管理向数据驱动的精细化治理转型。

2 工程造价管理中存在的主要问题

2.1 全过程造价控制管理意识薄弱

当前工程造价管理实践中,部分参建主体尚未建立全生命周期成本管控理念,过度聚焦施工阶段显性成本压缩,忽视前期决策与设计阶段的隐性价值优化空间。设计单位在方案制定过程中,因缺乏成本约束机制,倾向于追求技术先进性而弱化经济性评估,致使设计方案与投资估算目标偏离,施工阶段频繁出现被动变更。建设单位作为项目投资主体,多将造价管理割裂为阶段性任务,缺乏跨专业协同机制与数据共享平台,导致可行性研究、招标清单编制与施工图预算之间出现系统性脱节。此类割裂化的管理方式往往诱发前期短视、后期补救的恶性循环,典型表现为招投标环节片面采用低价中标策略,忽视技术方案可行性审查与合同风险分配设计,承包单位为应对价格竞争压力,采取不平衡报价或隐性索赔策略,造成工程质量隐患与投资失控风险叠加。这种现象折射出传统管理模式在项目复杂度提升背景下的适应性不足,亟需通过制度重构实现从局部管控向全局统筹的思维转变。

2.2 成本核算偏差较大,工程造价精确度有待提升

当前工程造价核算体系面临精度不足的挑战,其成因涉及制度设计、技术应用与人才素质等多维层面。行业定额标准修订滞后于市场动态变化,建筑材料价格受国际大宗商品交易、区域供需矛盾及环保政策调整的叠加影响,形成预算编制基准价与实际采购价的结构性偏离。施工企业在成本管控中沿用固定单价模式,对施工过程中设计深化引起的工艺调整、供应链波动导致的资源配置变化缺乏动态响应机制,造成中期计量与竣工结算数据链条断裂。造价从业群体对清单计价规范中工作内容界定、工程量计算边界等核心条款的认知分歧,在钢结构深化、装配式节点施工等新技术场景下尤为突出,常因计量规则解释不一引发结算争议。行业继续教育体系尚未建立与智能建造、绿色施工相匹配的培训模块,部分人员对模块化建筑计量规则、碳减排成本核算等新兴领域知识储备不足,导致造

价文件编制出现技术性疏漏。这种核算偏差不仅暴露出现行管理体系与工程技术创新的脱节,更反映出标准化建设与专业能力提升的迫切需求。

2.3 信息化水平不足

工程造价管理领域的信息化建设仍存在显著短板,其发展不均衡特征在行业主体间尤为突出。大型工程项目的 BIM 技术应用虽已实现三维建模与碰撞检测功能,但中小型施工企业受限于软硬件购置成本与技术转化能力,仍普遍采用电子表格与纸质文档相结合的初级管理模式,关键数据需通过人工二次录入实现跨系统传递,导致信息失真与效率损耗。参建各方信息系统的异构化特征显著,设计单位的 CAD 图纸与施工单位的进度管理软件缺乏统一数据交换标准,使得工程量清单、设计变更等核心信息需经繁琐格式转换才能实现共享,严重制约多方案比选与实时成本分析的可行性。在数据价值挖掘层面,多数企业尚未构建材料价格波动预警模型与工艺工法数据库,成本预测仍沿用基于历史均值的线性外推法,未能引入时间序列分析等工具捕捉市场供需关系的非线性特征。这种技术应用断层不仅造成管理决策滞后于工程实际进展,更使得风险预警、供应链优化等高级管理功能难以落地,反映出行业数字化转型进程与智能建造发展需求的适配性危机。

3 新形势下工程造价管理的应对策略

3.1 注重全过程造价动态控制

全过程造价动态控制的实施需以项目全生命周期理论为框架,在决策阶段建立投资估算与设计方案的联动评审机制,通过价值工程分析法(VE)对建筑功能、结构选型与成本效益进行多维度比选,运用限额设计指标约束过度设计倾向。构建基于 BIM 的协同管理平台,整合业主、设计、施工及咨询单位的数据接口,实现投资估算、施工图预算与竣工结算数据的动态关联与实时校核。施工阶段引入挣值管理法(EVM),结合关键路径法(CPM)建立 BCWS(计划工作预算成本)、BCWP(已完工作预算成本)与 ACWP(已完工作实际成本)的三维监控模型,通过 SPI(进度绩效指数)与 CPI(成本绩效指数)的交叉分析,精准定位进度滞后与成本超支的关联性风险源^[1]。竣工运营阶段推行全生命周期成本(LCC)评估机制,将能源消耗、设备维护等隐性成本纳入后评价体系,运用 PDCA 循环对限额设计执行效果进行量化复盘,形成标准化改进方案并迭代更新成本数据库。通过构建目标设定-过程纠偏-价值反哺的螺旋式管控闭环,实现造价控制从离散型阶段管理向集成化过程治理的转型升级,全面提升工程投资的全要素管控效能。

3.2 构建工程造价科学管理体系,提升工程造价管理质效

工程造价科学管理体系的建设需以市场化改革为牵引,构建与大宗商品价格指数、区域劳动力成本动态联动

的计价模型,依托行业协会与政府监管部门的协同工作机制,定期修订装配式建筑、绿色施工等新兴领域的补充定额标准,破解传统定额体系与技术创新脱节的矛盾。推进省级工程造价数据中心建设,基于建筑功能分类、结构体系特征与施工技术复杂度建立多层级数据标签体系,运用聚类分析与关联规则挖掘技术,提取典型工程项目的工料消耗规律与成本波动特征,形成可动态迭代的造价指标参考库^[2]。在人才培养方面,需构建涵盖工程技术、经济分析与法律实务的复合能力框架,将 BIM 协同设计、智能算量软件操作及大数据分析工具应用纳入职业资格考核标准,通过校企共建虚拟仿真实验室,模拟 EPC 项目联合体投标、国际工程合同纠纷调解等实战场景,系统提升从业人员对市场风险与政策变化的应对能力。同时,编制覆盖项目全流程的标准化作业手册,明确投资估算精度控制、工程量清单编制深度等技术规范,建立涵盖文件编制、审核追溯与绩效评估的闭环管理机制,通过流程固化与责任边界的清晰界定,推动管理模式从主观经验判断向客观标准执行的范式转型,全面提升行业管理的规范化与科学化水平。

3.3 加强信息化与智能化建设

工程造价管理体系的现代化升级应聚焦技术集成创新,重点推进 BIM 技术与造价管控流程的深度融合。在设计概算阶段,推动基于 IFC(工业基础类)标准的建筑信息模型深度应用,实现三维模型与工程量清单的自动关联映射,通过参数化设计优化方案的成本可视化比选。针对大宗材料价格监测,构建融合物联网传感器实时采集、供应链 ERP 系统数据交换的多源信息整合平台,应用时间序列分析与随机森林算法建立区域价格预测模型,为动态调差公式的参数设定提供科学依据^[3]。在合同履行监管领域,探索基于 Hyperledger Fabric 框架的区块链解决方案,将工程量确认单、变更签证等关键业务数据上链存证,利用智能合约自动执行进度款支付条件,从技术层面杜绝人为干预导致的结算争议。面向工程咨询企业研发智能辅助决策系统,集成建筑规范知识图谱构建、司法判例语义检索等模块,采用 BERT 预训练模型提升造价文件条款的合规性审查效率,推动行业从经验依赖型向数据赋能型转型。通过构建端到端数字化管理链条,实现造价数据采集、分析、应用的闭环流转,为管理决策提供全要素可视化支撑。

3.4 创新造价控制与风险管理方法

工程造价风险管理体系的革新需立足系统性方法论重构,将风险控制逻辑嵌入项目全生命周期管理框架。在可行性研究阶段引入 FMEA(失效模式与影响分析)技术,组建跨专业团队对技术实现路径、资源配置方案进行脆弱性评估,运用层次分析法(AHP)量化各类风险因子的影响权重。施工准备期建立基于蒙特卡洛模拟的多变量敏感

性分析模型,结合历史工程数据构建风险概率分布曲线,精确测算价格波动、工期延误等变量对成本基准的冲击阈值^[4]。推行全过程工程咨询模式,由注册造价工程师牵头整合法律顾问、勘察设计专家形成联合工作组,通过德尔菲法迭代修正风险清单,制定包含风险转移、共担与自留策略的矩阵式应对方案。合同体系设计层面,需重构不可抗力条款的责任认定机制,引入价格指数调差公式与汇率波动对冲条款,建立与工程进度挂钩的风险储备金超额累进计提制度。针对特殊地质条件项目,探索引入带有追溯条款的工程一切险产品,通过再保险机制分散极端风险。构建风险管理知识库系统,采用案例推理(CBR)技术对历史风险事件进行特征提取与情景匹配,形成标准化处置预案库。同时完善风险监控指标体系,运用控制图法设定成本偏差预警区间,实现从风险被动应对到主动免疫的管理方式跃迁。

4 结语

新形势下工程造价管理的革新承载着建筑行业突破传统路径依赖、实现高质量发展的重要使命。通过全过程动态控制机制的构建、科学化管理体系的完善以及信息技术的深度融合,能够有效破解成本失控、数据壁垒与风险叠加等核心痛点,重塑工程项目全生命周期价值创造逻辑。面对智能建造与绿色低碳转型的双重驱动,未来需着力推进 BIM 技术与人工智能算法的交叉融合,探索将碳足迹核算纳入工程造价评估体系,建立涵盖隐含碳排放因子与碳交易成本的新型计价模型。同时,应构建基于 ESG(环境、社会、治理)理念的协同创新生态,整合业主单位、工程咨询机构与数字化服务商的优势资源,通过标准化接口开发与数据确权机制建设,打通工程造价管理数字化转型的“最后一公里”。在制度保障层面,需加快完善与智能合约、数字孪生等技术适配的行业规范体系,培育具备跨学科知识储备的复合型人才梯队,形成政策引导、技术驱动与人才支撑的三维发展格局,为工程建设领域实现安全、高效、可持续发展目标注入持久动能。

[参考文献]

- [1]王甜.新形势下工程造价管理面临的问题与应对策略研究[J].中小企业管理与科技,2024(23):85-87.
 - [2]孙婷婷.建筑工程造价管理面临的问题与解决对策[J].四川建材,2024,50(10):220-222.
 - [3]付晋枝.EPC 工程在造价控制中存在的难点及对策[J].建材发展导向,2025,23(7):76-78.
 - [4]史建强,付红.建筑工程造价全过程控制与管理研究[J].中国招标,2025(4):168-170.
- 作者简介:郑书娟(1986.7—),女,高级工程师,籍贯:河北省沧州市。

房地产开发项目全生命周期招采协同管理研究

刘 宁

陕西沔业地产集团有限公司, 陕西 西安 710100

[摘要]在房地产行业由规模扩张向价值创造转型的进程中,传统招采管理模式正面临机械思维与有机系统的深层博弈。如同钟表的精密齿轮难以适应生态系统的动态平衡,分段式采购管理暴露的协同断裂问题,已成为制约项目全生命周期价值释放的达摩克利斯之剑。本研究突破传统工程管理视角,将供应链生态理论植入房地产开发场景,试图在信息化浪潮与标准化诉求的张力场中,重构招采管理的底层逻辑。更值得关注的是,这种重构并非简单的技术叠加,而是通过建立数据-流程-组织的三维耦合机制,实现从机械执行向智慧协同的范式跃迁。研究团队在理论建构中创造性地融合了全生命周期管理理论与复杂适应系统学说,在方法论层面架起连接工程管理与供应链科学的桥梁。这种跨学科的学术探险,既是对行业痛点的理论回应,亦为破解成本-质量-工期三元悖论提供了新的认知图式。

[关键词]房地产开发;全生命周期;招采协同;供应链整合;信息化管理

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16636

中图分类号: F29

文献标识码: A

Research on Collaborative Management of Procurement and Tendering throughout the Whole Life Cycle of Real Estate Development Projects

LIU Ning

Shaanxi Fengye Real Estate Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710100, China

Abstract: In the process of transforming from scale expansion to value creation in the real estate industry, the traditional procurement management model is facing a deep game between mechanical thinking and organic systems. The precise gears of a clock are difficult to adapt to the dynamic balance of the ecosystem, and the collaborative fracture problem exposed by segmented procurement management has become the Damocles sword that restricts the release of the full lifecycle value of a project. This study breaks through the traditional perspective of engineering management and embeds the theory of supply chain ecology into real estate development scenarios, attempting to reconstruct the underlying logic of procurement management in the tension field between the wave of informatization and standardization demands. What is more noteworthy is that this reconstruction is not a simple technical superposition, but a paradigm shift from mechanical execution to intelligent collaboration through the establishment of a three-dimensional coupling mechanism of data process organization. The research team creatively integrated the theory of full lifecycle management and the theory of complex adaptive systems in theoretical construction, building a bridge between engineering management and supply chain science at the methodological level. This interdisciplinary academic exploration is not only a theoretical response to industry pain points, but also provides a new cognitive schema for solving the cost quality schedule trilemma.

Keywords: real estate development; full lifecycle; recruitment and procurement collaboration; supply chain integration; information management

房地产开发作为典型的资源整合型行业,其招采管理正经历从资源拼凑到生态共建的认知革命。在制造业已实现供应链数字孪生的今天,房地产项目仍困于信息孤岛构筑的巴别塔困境——设计参数与采购清单的错位如同错位的齿轮,消耗着全流程协同效率;供应商管理的钟摆效应在过度竞争与资源垄断间反复震荡,暴露出传统评估体系的深层缺陷。这些结构性矛盾恰似希腊神话中的普罗克汝斯忒斯之床,迫使行业在标准化诉求与个性化需求间艰难取舍。值得注意的是,与医疗供应链强调应急响应、汽车供应链注重精益生产不同,房地产招采更需要建立时空维度上的动态平衡艺术。现有研究虽在 BIM 技术应用、供应商评价模型等领域取得进展,却鲜有学者从哲学层面

审视招采管理的本质——这本质上是资源组织方式与价值创造逻辑的重构。当行业转型步入深水区,破解这些矛盾已不仅是技术改良课题,更是关乎企业可持续发展的战略命题。

1 理论基础与管控框架

1.1 全生命周期管理理论

房地产开发项目的全生命周期管理理论着重指出,要把项目的规划环节、设计环节、施工环节、交付环节以及运维环节等各个阶段当作一个有机的整体来对待,并且借助系统化的思维方式达成各个环节的闭环式管理。这一理论明确要求招采管理务必要冲破传统那种分段式管理所存在的局限性,构建起能够贯穿项目始终的协同配合机制。

成本-质量-工期这三元平衡模型属于全生命周期管理当中极为重要的一种工具,它的关键之处就在于依靠科学合理的招采策划工作,在项目不同的阶段灵活地去调整这三者之间的优先等级,进而实现整体效益达到最优的状态。该模型在实际应用的时候,招采部门必须要和设计部门、工程部门以及成本部门等建立起十分紧密的协同关系,以此来保证技术参数、材料标准与采购计划能够高度地相互匹配起来。

1.2 供应链协同升级方向

现代房地产供应链管理正在经历一个转变过程,即从单一的采购职能逐步朝着生态圈资源整合的方向去转型升级。这样的转变对企业而言,意味着要突破传统供应链管理所设定的那些边界限制,借助战略合作的方式,实现信息的共享以及风险的共担,进而构建起一种全新的伙伴关系。在这个过程中,信息化以及标准化二者共同构成了推动供应链升级的双轮驱动逻辑。具体来讲,信息化建设着重于去解决数据孤岛以及流程断点方面存在的那些问题,而标准化管理则是努力去建立起统一的技术规范以及作业流程^[1]。当这两者发挥协同作用的时候,能够在很大程度上提升招采的响应速度,同时降低沟通方面的成本,还能够为供应链金融、区块链溯源等一系列创新应用打下相应的基础。按照这样的升级方向,企业需要对自身的组织架构加以重构,另外还要着力培养复合型的招采人才,以此来适应供应链协同管理所呈现出的复杂需求状况。

2 信息化与标准化双轮驱动体系

2.1 全周期数字化平台构建

BIM、ERP 以及招采云平台的集成应用,这构成了实现全周期数字化管理的关键核心载体。该体系借助统一的数据接口协议,把设计需求、招标采购还有履约管理都整合进了一个连贯的工作流程当中。这样的集成一方面实现了从材料规格一直到供应商选择的数字化连通,另一方面还建立起了一套运维阶段的数据回传机制,能够让后期的运行信息反过来对前期的决策起到一定的反馈作用。数据标准化管理是这个平台能够稳定运行的基本保障所在,其中涉及主数据编码规则、物料分类体系以及技术参数模板等方面的标准化建设工作。通过制定数据治理规范,可以保证各个业务系统之间数据交互的准确性与高效性,进而为大数据分析以及智能决策给予可靠的依据支撑。

2.2 标准化管控闭环

标准化管控应当贯穿于项目全周期的所有阶段,进而形成一个能够持续优化的闭环系统。在规划阶段,需通过建立材料库以及规格模板的方式,提前确定好主要材料的技术标准以及成本基准,以此为后续招采划定出清晰明确的边界。设计阶段要施行限价设计与模块化选型协同机制,确保设计方案既能满足功能方面的需求,又符合采购可行性方面的相关要求。施工阶段着重构建进度计划、采购订

单和现场供料的动态匹配模型,借助标准化排产以及配送方案来降低现场出现停工待料的风险。到了交付运维阶段,则建立起质量追溯系统,把设备参数、保修条款等关键信息予以数字化归档处理,从而为后期维护工作给予数据方面的有力支持,并且所收集到的运维数据会成为优化后续项目极为重要的参考依据。

3 供应链整合与供应商管理

3.1 生态圈资源整合策略

构建供应链生态圈,得实施多层次资源整合策略。战略集采模式给材料设备来个科学分类,搞出差异化采购方案。核心品类用框架协议,还配上价格指数联动机制,以此确保供应稳定。属地化实施路径侧重依据项目区域特点建资源地图,发展联合产能储备以及应急保障网络,这样能有效应对区域性供应风险。去中间化实践靠建设直采平台,运用区块链技术达成源头采购,并且结合供应链金融工具优化现金流管理。这种模式可降低采购成本,还能提升供应链透明度。生态圈建设的重点是平衡竞争与合作关系,借助价值共享机制调动各方参与的积极性。

3.2 供应商全周期管理

供应商管理要构建贯穿准入、履约直至退出的完整周期机制。分级分类管理体系借助质量、成本以及交付这三个维度所构成的评价模型,把供应商划分成战略、优选、备选等不同层级,进而形成动态资源池^[2]。属地化深度合作着重于培育区域核心供应商,通过组建联合体来提升响应速度,并且建立起 48 小时应急响应机制以此保障项目的关键节点。在设计激励与淘汰机制时,需要重视长期导向,利润共享方案能够推动价值创造,黑名单制度可防范重大风险,而履约积分系统则达成对过程行为的量化评价。有效的供应商管理既要维持适度的竞争状态,又要培育战略伙伴关系,这无疑对招采人员的商业谈判以及关系管理能力提出了更高的要求。

3.3 生态系统共生演化机制

供应链生态圈深究其运作机理,可构建三螺旋演化模型:技术螺旋聚焦 BIM 与物联网的融合应用,使供应商提前介入设计方案模拟,如在预制构件采购中,通过数字孪生实现设计-生产-装配的基因级耦合;制度螺旋创新契约治理模式,借鉴期权合约思维设置弹性履约条款——当建材价格波动超阈值时,自动触发价格重议机制,既保留框架协议稳定性,又植入动态适应性;文化螺旋则培育供应链伦理共识,建立绿色信用积分体系,将碳排放数据、劳工权益保障等 ESG 指标纳入供应商评价,推动竞争逻辑从成本厮杀转向责任共担。值得警惕的是,生态系统演化存在路径依赖陷阱。细察区域市场特征,某些地区形成的熟人关系型供应链,虽具短期响应优势,却可能抑制技术创新。破解之道可借鉴生物群落的边缘效应理论——研究团队建议定期开放 20%的采购份额给新兴科技企业,

通过场景化试点验证其技术可行性。例如，在智慧社区建设中引入物联网初创企业，与传统供应商形成技术梯度差，倒逼整个生态圈向数字化跃迁。

4 动态履约与风险防控

4.1 全过程评价体系

动态履约管理要依靠科学且全面的评价系统，质量追溯是把二维码和区块链技术相结合，达成从生产到安装全流程的数据存证，以此来确保能精准定位质量问题并且明确责任划分，服务响应评分系统针对供应商的准时交付率、问题关闭时效等指标展开量化考核，形成客观公正的绩效记录。供应商画像技术会整合履约历史、财务健康度、创新能力等多维数据，凭借风险标签以及绿色指标达成可视化分析，给采购决策提供直观参考，这套评价体系须定期更新指标权重，体现出企业战略重点的变化，同时也保证评价结果的透明性与可追溯性。

4.2 风险预警与应急

有效的风险防控工作需构建分级预警以及快速响应机制，其中四色预警模型会依据风险的严重程度来划分出红、橙、黄、蓝这四个等级，并且要与之配套设置差异化的处置流程以及审批权限。对于黑名单而言，应当实施动态管理，既要制定严格的准入标准，又要设立整改退出的通道，以防资源池出现过度收缩的情况。备用资源池激活机制则要求针对关键材料设备提前去预审备用供应商，要明确切换的条件以及过渡的方案，从而保证在突发情况之下能够实现平稳的转换。风险防控系统是否有效，关键在于日常的演练以及持续不断地优化，这就需要定期对预警事件的处置过程进行复盘，同时更新应急预案以及资源配置策略。

4.3 持续改进

持续改进机制乃是招采管理体系达成自我完善的内在核心驱动力量。将 PDCA 循环运用到招采的整个流程当中，凭借计划、执行、检查以及处理这四个环节不断往复迭代的方式，能够较为系统地去解决所存在的问题，并且把那些优秀的实践成果予以固化留存下来^[3]。在知识库建设方面，还要对各类采购案例、合同模板还有谈判要点加以沉淀整理，进而形成可以重复利用的组织资产资源，与此同时还要建立起一套便捷好用的知识检索与分享方面的机制。改进机制要想实现有效运行，那么跨部门协作文化就显得极为重要了。借助定期开展的业务复盘活动以及专题研讨会议，能够推动经验教训得以充分地相互交流沟通，最终促使招采管理水平一步步地呈螺旋式上升态势发展。这样的一种持续改进的能力，将会成为企业在激烈的市场竞争环境里极为关键的差异化优势所在。

5 跨部门协同与目标管控

5.1 合约规划与招采联动

合约规划和招采之间的有效联动构成了项目顺利推进的基石，WBS 分解以及与之相匹配的标段相关工作，

得要招采部门早早地参与进来，以此来保证工作包的划分一方面契合施工的逻辑，另一方面也方便对供应商资源加以组织，变更预警系统的构建要确立起标准化的信息传递途径，一旦设计或者施工方案出现调整的情况，就会自动启动采购参数的复核流程，进而让决策链条得以缩短。这样的联动机制对招采人员提出了相应的要求，即他们得具备基本的工程技术方面的知识以及成本管理方面的知识，这样才能精准地理解变更所引发的采购方面的影响，并且能够给出专业的建议，建立跨部门的联合评审制度属于保障联动效果的关键举措，对于关键节点的采购方案，必须要经过技术、成本、工程等多个方面的共同审核。

5.2 成本工期一体化控制

限额采购方面的约束以及支付协同机制，把成本控制提前到了招标阶段，借助设定价格上限以及技术标准这两重门槛，从众多投标方案里筛选出性价比最高的方案。赶工补偿动态模型针对项目进度调整的情况，构建起标准化的费用计算办法与审批流程，以此来平衡工期压缩和成本增加之间的关系。这样的整体化控制，需要招采部门深度参与到项目计划的编制工作当中，准确把握关键路径以及浮动时间，进而制定出具备弹性的采购策略。数字化工具在这一环节发挥着极为重要的作用，凭借集成进度计划与采购系统，达成资源投入的精准模拟以及动态优化。

5.3 组织保障

有效的组织保障对于跨部门协同而言是其物质方面的基础所在，铁三角架构把招采、技术以及成本这三个关键的职能加以整合起来，进而形成了一种矩阵式的决策机制，如此一来便能够提升在处理复杂问题时的效率。BIM 协同平台属于一种可视化的工具，它可助力各个专业较为直观地去理解设计的意图以及施工的要求，从而大幅度减少在沟通过程中出现的误差，并且还能够在较早的时候就发现界面方面存在的冲突情况^[4]。冲突仲裁机制构建起了分层级的争议解决流程，清晰明确了各类问题所对应的归口部门以及裁决的权限，防止因为职责不清晰而致使决策出现延误的情况发生。组织保障系统的建设必须要得到高层管理者持续不断的重视，并且要投入相应的资源，借助制度方面的设计以及绩效考核来引导协同的行为，最终形成一种良性的跨部门合作的文化氛围。

6 结语

本研究犹如在工程管理与供应链科学的交叉地带竖起一座概念灯塔，其光芒既照亮了全生命周期招采协同的理论盲区，也暴露出研究航程中的未明水域。在取得框架创新突破的同时，必须清醒认识到：供应链生态圈建设绝非技术层面的排列组合，其深层挑战在于打破组织惯性的隐形藩篱；信息化平台的贯通性虽已提升，但数据治理中的灰度地带仍需更精细的规则设计。这些未竟之业恰为后续研究指明方向——当人工智能开始重塑决策范式，当碳

中和目标倒逼供应链变革,招采管理研究必将步入更具挑战性的第二曲线。未来的学术探索应如钟摆般在宏观架构与微观机制间持续摆动,既需构建跨文化比较的全球视野,也要深耕本土实践的独特土壤。毕竟,在行业转型的宏大叙事中,真正具有生命力的管理智慧,永远生长在理论深度与实践温度的平衡点上。

[参考文献]

[1]吴文昌.房地产开发项目预算编制与控制策略研究[J].乡镇企业导报,2024(20):177-179.

[2]邓超环.房地产开发项目全过程成本管理优化策略探究[J].现代工程科技,2024,3(24):109-112.

[3]张同庆,黄燕,张彤.房地产开发项目的管理问题与优化策略分析[J].房地产世界,2025(1):77-79.

[4]田晓.房地产开发项目财务风险管理存在的问题与优化策略[J].中国会展,2025(5):208-210.

作者简介:刘宁(1996.10—),毕业院校:西安科技大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:陕西沅业地产集团有限公司,职称级别:助理工程师。

建筑工程项目施工成本管理优化分析

付国庆

浙江中拓人力资源有限公司山东分公司, 山东 济南 250132

[摘要]建筑工程项目施工成本管理为项目经济效益与质量目标的实现提供重要支撑,鉴于施工环境繁杂、材料价格起伏以及管理效能欠佳,成本统筹面临诸多阻碍,文章从成本控制目前的情形起步,对施工成本的构成以及管理现状展开深度剖析,给出优化施工成本管理的切实策略,借助强化成本计划的编制、实施精细化成本管控与开展动态成本跟踪,可显著增进项目整体效益,减少施工费用,提高企业竞争实力,文章意在为施工企业于激烈市场竞争中达成可持续发展,给出有效的成本管理思路与实践途径。

[关键词]施工成本管理;成本控制;优化策略;成本计划;动态管理

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16628

中图分类号: TU71

文献标识码: A

Optimization Analysis of Construction Cost Management in Construction Projects

FU Guoqing

Shandong Branch of Zhejiang Zhongtuo Human Resources Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250132, China

Abstract: Cost management in construction projects provides important support for achieving economic benefits and quality goals. Given the complex construction environment, fluctuating material prices, and poor management efficiency, cost coordination faces many obstacles. Starting from the current situation of cost control, this article conducts a deep analysis of the composition and management status of construction costs, and provides practical strategies for optimizing construction cost management. By strengthening the preparation of cost plans, implementing refined cost control, and conducting dynamic cost tracking, the overall project benefits can be significantly improved, construction costs can be reduced, and enterprise competitiveness can be enhanced. The article aims to provide effective cost management ideas and practical approaches for construction enterprises to achieve sustainable development in fierce market competition.

Keywords: construction cost management; cost control; optimization strategy; cost plan; dynamic management

引言

当建筑工程项目规模不断拓展且技术复杂性上扬,施工成本管理重要性的凸显愈发明显,成本控制合理与否,直接影响项目的经济效益,还直接关乎企业在市场里的竞争实力,在实际落实施工工作期间,受材料价格的上下波动、管理水平的良莠不齐、施工效率的差别等因素干扰,成本超支事例频繁显现,成本管理实现科学有效,成为提高项目效益和竞争力的关键,本文会针对建筑工程项目成本管理此刻的情形,拿出改进办法,为改进施工管理水平提供参考借鉴。

1 施工成本管理的基本构成

1.1 人工成本控制

在进行建筑工程项目的阶段,人工成本、材料成本以及机械设备成本,是施工成本管理基本构成的主要方面,施工成本管理核心由这三个方面所组成,直接关乎项目整体成本结构及经济效益,对这些成本要素进行合理把控与优化,是实现项目成本管理目标的核心关键。接下来会对人工成本控制、材料成本控制以及机械设备成本控制这三方面展开详细剖析,施工成本里,人工成本所占比例较大,大体包含施工人员的工资所得、福利保障、培训费用及现

场管理人员的薪酬等,人工成本若被有效控制,会影响项目经济效益,也直接影响到施工的质量与进度。在进行人工成本管理的阶段,有必要从以下几方面采取行动:实现劳动力的合理配置,按照项目推进进度与施工规划,按规律安排劳动力,防止人员出现闲置、短缺现象,减少人工上的无谓消耗,增进劳动效率;构建完整的绩效考核制度,全面激发工人的积极性与主动性,构建“多劳多得”的激励模式,增强工作成效;重视开展技能培训及岗位优化事宜,借助提升工人的技能水准与工作效能,降低因返工且效率低下形成的人工成本。如图1所示:



图1 建筑工程

1.2 材料成本控制

于施工项目开支而言,材料成本是另一主要花费,一般会在工程总成本里占 40%~60%的份额,材料成本若能有效控制,会直接左右项目的整体经济效益,为实现材料成本的降低,应自以下几个方面发力:从严把控材料采购管理,当进行材料采购阶段,需构建科学的供应商筛选机制,保障材料质量又合理控制采购成本;增强材料使用管理工作,合理规划材料的用量规模,防止因材料过量使用而造成成本攀升;实现仓储管理的优化,减少材料在仓储环节的损耗与浪费,要积极推行绿色建材的采用,既合乎可持续发展的规范,也能有效减少项目整体所需材料成本。

1.3 机械设备成本控制

主要由设备购置、租赁、维修、燃料和折旧费用构成机械设备成本,考虑到机械设备在施工阶段发挥关键效能,其成本管控同样是左右施工总成本的关键要素,为有效抑制机械设备成本增长,应采用以下办法:结合施工进度与工程规模合理去选择机械设备,防止设备数量不匹配造成资源浪费;改进设备运用功效,采用科学的调遣和治理,强化设备的利用水平,减少设备闲置的时间区间;按周期开展设备的保养与检修工作,增长设备的服役寿命,压低设备维修花费,需进一步抓好设备租赁合同管理,恰当选定租赁模式,缩减多余的租赁费用支出。如表 1 所示:

表 1 机械设备成本控制支数据参考

成本类型	年成本 (万元)	成本占比 (%)	优化措施
设备购置	150	40	合理选择设备,减少过量购置
设备租赁	80	21	优化租赁模式,减少闲置费用
设备维修	30	8	定期保养,降低维修成本
燃料费用	40	11	提高燃料效率,降低能源消耗
折旧费用	50	20	延长设备寿命,减少折旧费用

2 施工成本管理现状分析

2.1 成本管理中的常见问题

施工成本管理作为建筑工程项目管理的关键构成,直接关联到项目的经济效益与整体竞争实力,实际开展工程项目期间,由于管理体系的缺陷、现场管理的失序以及外部环境的变动,成本管理依然面临大量挑战,之后会就成本管理里常见问题、成本超支的因素以及成本控制管理的难点方面进行深入分析。在推进施工成本管理工作之际,经常遇到的问题主要为预算编制不精准、成本核算不科学规范、成本控制意识薄弱以及信息化管理水平差,预算编制的不准确属于常见问题范畴,前期设计阶段时对工程量估算不充分,也可能忽视了施工当中可能出现的不可预见情形,引起实际施工成本往往超出预算设定;成本核算科学性欠佳,部分项目进行成本核算之际,缺乏系统与准确性,未将人工、材料、机械设备以及管理费用等成本全部纳入考量,引起成本约束失效。

2.2 成本超支原因分析

成本超支问题在施工项目里普遍存在,问题产生的原因主要包含下面几个方面:导致成本超支的重要缘由是材料价格波动,市场供求关系、运输成本、政策的变动以及国际经济形势,极大影响着建筑材料价格,若材料价格大幅蹿升,直接造成项目成本上扬;成本超支的主要因素里也有施工变更频繁这一项。因项目施工时可能遇到设计变更、工艺调整或者业主需求的变动,引起实际工程量上扬,继而拉高了成本水平;管理效率低下同样是成本超支的一个重要诱因,一些项目于施工期间缺少有效的进度把控与成本管理,引发工期延误、多次出现返工,促使人工及机械成本进一步攀升,不合理的劳动力配置加上机械设备使用效率不佳也会引起成本超支。

2.3 成本控制管理的难点

施工成本管理不光牵扯到成本的预测与管控,也包含对成本进行的分析与优化方面,其难点大多体现在下面几个方面:成本管控体现的系统性与复杂情形,施工项目牵扯的成本构成十分复杂,涵盖人工、材料、机械设备及管理费用等诸多方面,任何环节若失控,都会波及整体成本;成本控制的要害在于成本信息的实时与精准。过去成本数据采集和分析的方式效率不高,无法迅速反映现场实际情形,对决策的精准度造成影响;成本管理离不开多方协同,关联业主、工程承包商、监理单位以及材料供货商家等利益相关群体,协调方面难度偏大,施工现场包含诸多不确定因素,涉及天气的更迭变化、安全事故隐患、工人流动现象大等,皆可能造成成本控制的难度增加。

3 施工成本管理优化策略

3.1 完善成本计划编制

优化施工成本管理是保障项目经济效益、增强企业竞争力的核心要点,出色的成本管理可实现项目成本降低,更能增进整体管理的效率,提升客户的满意水平,面对施工成本管理中的常见问题及成本超支现象,可从健全成本计划编制、深化施工过程成本控制及构建动态成本监控机制三个维度进行优化。成本计划编制乃施工成本管理的基础环节,也是促成成本控制理想效果的必要前提,要完善成本计划编制这项工作,需从下面几个方面加以实施:提高前期预算编制的准确水平,项目起始阶段,需认真考虑工程量清单、施工图纸以及市场材料价格等要点,保证预算与实际情形一致,杜绝因预算欠缺引发成本超支后果;构建合理的成本预测模型。借助对过往相似项目成本数据的剖析,且将项目特点与风险要素相结合,精准预测项目整体花销;开展成本计划内容细化工作,处于成本计划编制的过程里,应当把人工、材料、机械设备、管理费用等各项成本做详细分解,且应清晰各项费用的控制目标与责任担当者。

3.2 强化施工过程成本控制

施工过程开展成本控制是达成成本管理目标的核心

要点,还是规避成本过度支出的要害,为把施工过程成本进行有效控,要采用以下手段:健全施工过程成本控制相关制度,涉及成本核算制度、成本分析制度及成本责任追究办法,保证各环节均有清晰的成本控制目标与责任人;夯实现场成本管理工作。施工的现场乃成本消耗的主要地,应依靠强化现场治理、改良施工工艺、恰当配置资源以及避免返工现象等手段,实现对人工、材料、机械设备成本的合理控制;提高人员对成本的意识及工作效率,以定期开展的培训与考核为途径,增强管理人员与施工人员的成本管控意识,削减材料及资源的无谓消耗;采用信息化管理手段,做到成本数据的实时采集、研析与反馈,保障成本控制措施能迅速落地实施。

3.3 建立动态成本监控机制

实现施工成本的实时控制与优化,动态成本监控是关键手段,可显著增进成本管理的效率,减低项目整体开支,若要建立动态成本监控机制,需从以下方面切入:构建能实时把控成本的平台,采用信息化途径,达成对施工进度各类成本数据的即时采集、剖析与预警,保证管理人员能及时发现并解决成本方面难题;着重加强成本数据的分析与反馈。按一定周期对成本数据进行统计分析,探究成本超支的根源,优化现有的施工计划,减少多余的费用开销;搭建成本绩效考核的相关机制,把成本控制的效果跟项目管理人员的绩效考查挂钩,带动全员树立成本控制意识;促进 BIM (建筑信息模型) 技术在成本监控上的启用,实现对工程量、工期、成本的整体掌控,增进整体管理成效。

4 信息化在施工成本管理中的应用

4.1 信息化成本管理平台构建

在现代的各类建筑工程项目内,信息化技术的大量运用,不仅使施工效率得以提高,更为成本管理配备了更精准、高效的管控手段,依靠构建信息化成本管理平台、采用 BIM 技术以及实施数据分析与智能成本决策,能够明显提升成本管理的科学性及实时效果,有力降低施工开支,增强企业竞争实力。信息化成本管理平台是达成施工项目成本实时监测与精确管控的关键工具,构建必需综合考量数据采集、成本分析、预警反馈以及系统集成等多维度因素,建设全面性的数据采集体系,以传感器、物联网装置及智能终端达成,达成对施工现场各项成本数据的实时采集并上传,涉及人工成本费、材料成本费、机械设备费用以及间接管理成本费等;开发各项功能齐全的成本管理软件。该软件应拥有数据分析、成本预测、风险评定及决策支撑等功能,辅助管理人员整体掌握项目成本情形;强化信息的流通共享和系统集成,利用把成本管理平台和项目管理系统、财务系统以及供应链管理系统有效集成的手段,达成信息的彼此互通,增进整体管理功效。

4.2 BIM 技术在成本管理中的应用

作为建筑行业信息化关键部分的 BIM (Building

Information Modeling) 技术,已在项目设计、施工和运营阶段普遍应用,其在成本管理当中的应用,主要体现为成本预测、成本管控以及成本剖析这三方面,借助 BIM 技术,成本预测的准确性可显著提高。依托三维模型与数据分析,于设计阶段可以精准算出工程量,减少项目中的漏项错项,防止因设计变更而造成成本攀升;施工过程成本能被 BIM 技术有效地加以控制,经由模型内进度、材料以及工序的相关资讯,可实时掌握施工进度以及成本情形,推进资源的合理配置,降低材料的浪费以及返工频次;借助 BIM 技术,成本分析得到强大的数据支持,采用 BIM 模型中的历史数据资源,可以针对不同阶段成本消耗情形做对比分析,弄清楚成本超支的缘由,进而拟定对应的改进办法。

4.3 数据分析与智能成本决策

伴随大数据与人工智能技术的进步,于施工成本管理而言,数据分析与智能决策的作用日渐突出,借助对海量施工数据的深度剖析与智能研判,可达成对成本的精准预估及优化抉择,搭建起数据分析平台,达成对施工进度里海量成本数据的即时采集、存储及处理;采用人工智能算法,开展对历史项目成本数据的深度探究学习,探寻成本控制里的规律及关键影响要素,改良成本管控办法;依托数据分析得到的结果,构建智能型成本决策模型,达成对施工进度里各类复杂状况的自动辨识与优化抉择,增进成本管控的精准度和科学水平。

5 结语

施工成本管理对建筑工程企业达成长期发展目标而言是关键一环,借助增强成本计划的科学性、增进施工过程的管理效能,还充分借助信息化途径进行动态成本把控,可高效把控项目成本,增强企业的竞争水平,伴随智能建造和数字化技术的不断普及,施工成本管理会愈发精准且高效,为企业实现更大的经济增益,本文研究的目的是为建筑企业提供可实施的成本管理优化路径,以获取质量更上一层楼的项目管理成效。

[参考文献]

- [1]胡玉洁.建筑工程项目施工成本管理优化分析[J].投资与创业,2025,36(5):76-78.
- [2]代鹏飞.建筑工程项目施工成本管理优化措施分析[J].安徽建筑,2023,30(6):185-187.
- [3]蔡会琴.建筑工程项目施工成本管理实践与优化[J].今日财富,2021(21):67-69.
- [4]赵雪琳.住宅建筑合同管理在工程项目成本控制中的作用机制与协同策略研究[J].居舍,2025(12):162-165.
- [5]李杰.建筑施工企业工程项目施工成本管理策略研究[J].佳木斯职业学院学报,2025,41(3):109-111.

作者简介:付国庆(1992.9—),单位名称:浙江中拓人力资源有限公司山东分公司,毕业学校和专业:山东科技大学土木工程专业。

试论新时期建筑工程施工技术的管理与创新

海 洋

新疆生产建设兵团第十二师政府投资项目代建中心, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]文章依据新疆独特的地域环境以及其发展定位来展开,全面且细致地探讨建筑工程施工技术管理体系该如何去优化以及探寻创新的路径。其研究着重于“双碳”战略背景之下的绿色建造方面的需求,并且和丝绸之路经济带核心区建设所提出的要求相结合,充分考虑新疆存在极端气候、生态较为脆弱还有多民族文化这样的特征,进而给出施工技术管理朝着现代化转型的具体方案。凭借构建起 BIM 全周期管理体系、打造出智慧工地平台以及建立多民族协作机制这几方面举措,最终形成一种具备地域适应性的技术创新模式,以此为边疆地区的建筑业实现高质量发展给予相应的理论方面的有力支撑。

[关键词]绿色施工; 智慧建造; 边疆工程管理; 多民族协作; 气候适应性技术
DOI: 10.33142/ec.v8i5.16614 中图分类号: TU712 文献标识码: A

Trial Discussion on the Management and Innovation of Construction Technology in the New Era of Building Engineering

HAI Yang

Government Investment Project Construction Center of the 12th Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Based on the unique regional environment and development positioning of Xinjiang, this article comprehensively and meticulously explores how to optimize the construction technology management system of construction projects and explore innovative paths. Its research focuses on the demand for green construction under the background of the "dual carbon" strategy, and combines it with the requirements proposed for the construction of the core area of the Silk Road Economic Belt. It fully considers the characteristics of extreme climate, fragile ecology, and multi-ethnic culture in Xinjiang, and provides specific plans for the transformation of construction technology management towards modernization. By establishing a BIM full cycle management system, creating a smart construction site platform, and establishing a multi-ethnic collaboration mechanism, a technology innovation model with regional adaptability is ultimately formed, providing strong theoretical support for the high-quality development of the construction industry in border areas.

Keywords: green construction; smart construction; border engineering management; multi-ethnic collaboration; climate adaptation technology

引言

在“双碳”战略以及“一带一路”倡议这双重因素的推动之下,新疆建筑工程行业迎来了转型升级的历史契机,同时也面临着特殊的挑战。新疆是位于我国西北部的生态屏障,同时也是面向西方开放的门户,其建筑工程一方面要应对像极端气候这样恶劣的自然环境,另一方面还要满足民族地区社会发展的需求。当下,传统的施工管理模式已经很难契合新型城镇化建设的要求了,迫切需要构建一个能够融合地域特点、民族文化以及现代技术的创新体系。

1 新时代建筑行业发展的新要求

1.1 国家“双碳”目标与绿色建造政策导向

新疆在国家能源体系当中占据着重要地位,其建筑业碳排放控制对于达成区域碳中和目标有着不容小觑的战略意义。绿色建造政策明确指出,在施工过程当中务必要创新能源利用的方式方法,着重去破解荒漠化地区水资源高效利用以及建筑垃圾减量化等方面所存在的诸多技术难题。像光伏建筑一体化以及地源热泵这类清洁能源技术

的应用,必须要和新疆颇为丰富的光热资源形成一种协同作用的效果。因此建筑全生命周期碳足迹管理体系要建立起来,这就要求在施工阶段针对材料运输、机械作业等诸多环节的碳排放强度予以精确地核算。

1.2 新疆“丝绸之路经济带”核心区建设需求

新疆身为亚欧大陆桥的关键节点,其建筑工程得要为国际产能合作基地的建设给予支撑。大型跨境工程给施工技术的国际兼容性提出了新的要求,像要符合中亚国家标准的抗震体系,还有适应跨国运输的模块化建造技术等等。口岸城市的综合体建设得把多国建筑文化元素融合起来,在施工工艺方面达成传统技法和现代技术有机结合的效果。基础设施互联互通工程更是得在冻土区、盐渍土等特殊地质条件下突破施工技术方面的瓶颈。

1.3 极端气候与生态脆弱区的可持续施工要求

新疆呈现出典型的大陆性干旱气候特点,在这样的气候条件下,施工技术体系应当建立起与之相适应的气候适应性标准。在昼夜温差能够超过 20℃ 的环境当中,针对

混凝土养护工艺而言,需要对温度控制方法加以创新^[1];对于强风沙地区开展外墙施工工作时,务必要对密封技术做出改进;在高海拔区域,由于存在冻融循环的作用,所以对于建筑材料耐久性的相关研究急需进一步强化。在像塔里木盆地这类生态较为脆弱的区域,施工过程里必须要构建起全封闭式的防沙体系,并且要制定出施工扰动区生态修复的技术规程。

2 新疆建筑工程施工技术管理现状分析

2.1 新疆地域特征对施工技术的影响

新疆地区东西向跨度达到了1900公里,在这样的空间分布情况之下,建材运输所花费的成本呈现出十分显著的差异。该区域7级及以上的地震带有着特定的分布状况,这就使得抗震施工技术方面所遵循的标准相较于内地而言要更高一些。处于偏远地区的部分工程项目,其冬季施工的时间会有所缩短,如此一来便给整个工期带来了压缩方面的压力。除此之外,新疆地区强烈的紫外线辐射情况,也对从事室外作业的人员所应具备的防护体系提出了不同于一般情况的特殊要求。

2.2 当前施工技术管理的主要问题

在新疆的乌鲁木齐都市圈,已经开展智慧工地的试点工作了,然而在南疆地区,却大多还是沿用传统的现浇工艺。少数民族工匠对于新型建筑体系的接受程度,存在着因文化认知不同而产生的差异。就专业技术人员的情况来看,其占比是低于全国平均水平的,并且特别缺少那种既能讲少数民族语言又熟悉现代施工技术的复合型人才。在技术标准执行方面,存在着“最后一公里”的问题,偏远项目的施工现场,在监管技术手段上相对来说是比较落后的。

2.3 信息化与智能化技术应用短板

BIM技术的应用大多仅仅停留在建模这个阶段,并没有形成从设计到施工再到运维的全流程应用模式;物联网设备在沙尘环境之下的可靠性还需要进一步去验证;北斗定位系统在山区项目当中信号的稳定性有待提升。现有的智慧工地系统对于多民族语言的支持力度不够,这在一定程度上影响了技术交底的效率。施工大数据分析平台的建设进度较为滞后,难以对区域性工程决策给予有力的支撑。

2.4 民族地区施工组织协调的特殊性

在多民族构成的施工团队当中,存在着语言方面的沟通障碍以及技术认知方面的差异,而传统的“师徒制”技能传授方式也对新技术的推广效率产生了影响^[2]。对于少数民族聚居区的项目而言,尤其需要留意施工组织和民族习俗之间的协调事宜,比如在斋月期间作业时间的调整情况,还有民族节日给施工进度所带来的影响等等。安全教育培训体系应当去开发双语教学资源,并且建立起契合民族文化心理的安全管理机制。

3 现代化施工技术管理体系构建

3.1 BIM技术在全生命周期管理中的应用

着手构建契合新疆实际特殊需求的BIM技术标准框架,并且着力去开发那种能够将抗震分析以及能耗模拟都

集成起来的本地化插件。在施工这个阶段当中,要努力达成三维场地布置的优化效果,借助碰撞检测这一手段来促使返工情况得以减少。还需去开发能够提供双语服务的BIM协作平台,从而给予多民族团队协同开展工作的有力支撑。到了运维阶段,则要建立起基于BIM的设施管理系统,把像光伏设备监控所涉及的数据流、结构健康监测所关联的数据流等等诸多数据流都予以集成起来。

3.2 极端环境下的施工标准化与动态监控体系

制定像针对大风天气高空作业所设定的差异化气候预警阈值,还有高温时段混凝土浇筑控制规程等等。搭建起由“卫星遥感”加上“地面传感”组合而成的立体监测网络,以此来实时抓取施工现场的风速、温湿度以及沙尘浓度等一系列参数。还去开发那种基于机器学习的施工风险预测模型,进而达成在极端天气产生影响情况之下的进度能够实现动态调整这样的效果。

3.3 基于物联网的智慧工地管理平台建设

研发了能够抵御沙尘的智能终端设备,以此来保障物联网系统于恶劣环境下可稳定运行。搭建起一个管控平台,该平台集成了人员定位功能、机械调度功能以及质量追溯功能,借助UWB技术在复杂的工地环境中达成精准定位。还建立了双语智能预警系统,运用语音、文字等多种方式传递安全指令。开发出了基于数字孪生的施工模拟系统,用于预演在特殊工况之下的作业流程。

4 新疆建筑工程技术创新实施路径

4.1 绿色施工技术创新

新疆绿色施工技术的发展创新有必要紧密契合荒漠化地理方面的特征以及生态修复的相关需求,进而构建起贯穿整个链条的环境友好类型的技术体系。就干旱地区水资源较为匮乏的实际情况而言,去着力研发梯度式的水循环利用相关装置,把施工过程中产生的降水还有养护时的废水经过多层级的过滤处理之后,再将其应用于降尘以及绿化灌溉等方面,由此便能够形成一种封闭式的水管理相应系统。还需开发依靠太阳能驱动的智能滴灌养护设备,凭借土壤湿度传感器来达成对补水进行精准控制的目的,和传统的洒水养护方式相比,其能够节约百分之六十以上的水资源。在光伏建筑一体化这个领域当中,要对曲面光伏板与民族风格建筑元素相互融合的技术加以创新,借助参数化设计来对光伏组件的倾角以及布局予以优化,以此来兼顾发电效率以及建筑美学方面的需求。对于建筑垃圾资源化利用这一情况,要去研发移动式的破碎筛分设备,使其能够适应新疆地域广阔且人口稀少这样的作业特点,进而实现现场破碎、分选再到再利用这样一种闭环式的处理模式。尝试着利用罗布麻、芨芨草等这类本土植物纤维来强化再生骨料的性能,从而制备出适用于低层建筑的生态砌块,进而形成具备碳封存功能的墙体材料体系。

4.2 装配式建筑与本地建材融合实践

新疆装配式建筑的发展需要将目光聚焦于抗震性能的提升以及材料本地化供应这两个方面。要积极开展创新

研发工作,着力于耗能减震连接件的研发,借助设置可以更换的金属阻尼器来促使装配节点的延展性得以提升,进而构建起“柔性耗能加上刚性承载”这样一种复合抗震体系。还要去开发模块化钢结构的快速拼装技术,充分运用 BIM 技术来对极端风荷载之下结构可能出现的变形情况进行预演,以此对构件连接的精度加以优化^[3]。需进一步深入挖掘像棉花秸秆、芦苇这类农业废弃物所蕴含的材料潜能,采用蒸汽爆破法去制备具有高长径比的植物纤维,并且通过对纤维表面进行硅烷化处理来强化其与水泥基体之间的界面结合力,进而研制出容重低于 800kg/m^3 的轻质隔墙板。对于传统的生土建筑而言,要研发纳米二氧化硅改性技术,依靠离子交换反应来增强土体的抗压强度,在保留生土材料原本具有的呼吸调湿特性的前提下达成力学性能方面的突破。在盐渍土所在的地区,要开发电化学阻锈技术,让预制构件的表面能够形成一层致密的防护层,从而阻断氯离子渗透的通道,使得结构的耐久年限得以延长。

4.3 数字化技术赋能边疆工程管理

去构建起“天-空-地”这样一体化的边疆工程数字管控体系。借助高分遥感卫星来对生态敏感区域在施工期间的扰动范围展开监测,同时运用 InSAR 技术达成毫米级别的地基沉降预警效果。着手研发能够抵抗干扰的北斗差分定位终端,并且将惯性导航模块予以集成,以此保证即便处于无网络的环境之下,依然可以实现厘米级别的施工放样精度。还去开发多语言工程管理 APP,其内设置了维吾尔语以及哈萨克语的智能翻译引擎,从而实现技术交底文件的双向且实时的转换操作。对无人机集群作业模式加以创新,给其配置上热红外与激光雷达这两种模式的载荷,让其在夜间能够执行针对大跨度结构的质量巡检任务,进而构建起三维点云模型,自动去识别构件安装时出现的偏差情况。建立起虚拟施工指挥中心,把气象、地质等诸多来源的实时数据都接入进来,运用数字孪生技术来推演像沙尘暴这类极端天气对施工进度所产生的影响路径,最终生成适用于多种情景的应急预案。

4.4 “产学研用”协同创新模式

建立“需求导向-技术研发-标准制定-工程验证”这样一种四维联动机制,组建起由设计院、高校以及施工企业共同构成的创新联合体。把超长距离混凝土泵送技术当作重点来攻克,去研发高保坍型外加剂还有自适应压力控制系统,以此来解决因新疆地域极为辽阔而产生的混凝土运输方面的难题。构建起盐碱地改良技术图谱,借助电渗析法来降低地基土里的可溶盐含量,并且研发能够抵抗盐侵蚀的水泥基复合材料。建设中亚建筑技术联合实验室,展开跨境工程材料互认试验,建立起包含水泥强度、钢材耐候性等多达 42 项指标的检测标准库。

5 新疆特色发展策略与保障措施

5.1 自治区建筑业专项规划与资金扶持

制定《新疆绿色建造发展专项规划》,明确重点要突破的十大关键技术领域。设立边疆工程技术创新基金,对

于采用新型施工技术的项目给予容积率方面的奖励。建立建材运输补贴机制,以此来缓解偏远地区项目所面临的成本方面的压力。推行“技术保险”制度,从而降低企业在创新过程中所面临的风险。

5.2 双语技术骨干与工匠队伍建设

实施“丝路工匠”培育计划,于职业院校开设双语施工技术专业,构建民族建筑工艺传承人认证体系,促使传统技法和现代工法相融合并实现创新,完善技术人员援疆机制,建立东西部企业人才联合培养基地,开发虚拟仿真培训系统,达成特殊工种技能考核的数字化升级。

5.3 传统民居智慧与现代技术的结合

对生土建筑的热工性能展开系统研究,从中提炼出被动式节能设计的关键要点。借助计算流体力学来对传统庭院的布局加以优化,以此提高自然通风的效率^[4]。在确保民族建筑外观特征得以保留的情况下,引入像智能遮阳、光伏瓦片这类现代元素。还建立起传统营造技艺的数字基因库,运用 AI 技术开展工艺优化方面的模拟工作。

5.4 中亚跨境工程经验借鉴

建立起针对中亚各国工程标准展开对比研究的相关机制,并且着手编制能够涵盖多种语言的技术规范对照手册。积极开发那种能够适应多国认证要求的模块化建筑产品,以此来契合跨境快速建造方面的实际需求。深入研究里海地区所取得的防风蚀技术成果,进而对新疆风沙区域的施工防护体系加以改良。搭建起跨境工程供应链协同方面的平台,从而对国际建材的采购以及物流方案予以优化。

6 结束语

新疆建筑工程施工技术创新是在多重战略叠加这样的大背景之下的一个必然选择,必须要去构建那种既契合现代建造规律又能与地域特征相适应的技术体系。借助管理机制方面的革新以及在核心技术上有所突破这两方面的合力推动,是能够达成工程质量、生态效益还有社会价值共同得以提升这样一种效果的。在未来应当持续推进数字技术赋予的能量,着力培育带有新疆特色且在建筑领域有影响力的技术品牌,从而为“一带一路”建设给出能够在其他地方复制的边疆工程管理方面的样板案例。

【参考文献】

- [1]张防全.新时期建筑工程施工技术管理与创新分析[J].工程技术研究,2020,5(5):161-162.
- [2]陶星星.新时期建筑工程施工造价的控制对策及管理技术探究[J].绿色环保建材,2020(6):190-191.
- [3]鲍建军.新时期的建筑工程施工技术和项目管理[J].建筑与预算,2021(6):74-76.
- [4]欧鹏程.新时期建筑工程施工技术控制与创新思考浅析[J].中国住宅设施,2023(8):169-171.

作者简介:海洋(1986.6—),毕业院校:新疆大学,所学专业:测绘工程,当前就职单位名称:新疆生产建设兵团第十二师政府投资项目代建中心,就职单位职务:专业技术岗,职称级别:十级。

建筑工程施工阶段工程造价控制策略

胡婷婷 孙乐添 李琳

山东易方达建设管理集团有限公司, 山东 济南 250013

[摘要]随着城市化进程的加速和基础设施建设的持续推进, 建筑工程行业在国民经济中占据着愈发重要的地位。近年来, 建筑行业市场规模持续扩大, 展现出强劲的增长势头。建筑工程行业在发展过程中也面临着诸多挑战。市场竞争愈发激烈, 大型国有企业和外资企业凭借资金、技术、品牌等优势, 在市场中占据主导地位, 中小企业面临较大的市场竞争压力。建设单位片面追求低造价、短工期, 工程质量管理体系不完善, 缺乏健全的质量管理体制, 设计单位行为不规范, 劳动力市场人员素质偏低, 监督管理体制不完善等问题, 也严重影响了建筑工程的质量和效益。因此, 深入研究建筑工程施工阶段工程造价控制具有重要意义。

[关键词]建筑工程; 工程造价; 工程施工

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16641

中图分类号: TU723.3

文献标识码: A

Cost Control Strategies for Construction Projects during the Construction Phase

HU Tingting, SUN Letian, LI Lin

Shandong Yifangda Construction Management Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250013, China

Abstract: With the acceleration of urbanization and the continuous promotion of infrastructure construction, the construction industry occupies an increasingly important position in the national economy. In recent years, the market size of the construction industry has continued to expand, demonstrating strong growth momentum. The construction industry also faces many challenges in its development process. The market competition is becoming increasingly fierce, with large state-owned enterprises and foreign-funded enterprises dominating the market with advantages such as capital, technology, and brand. Small and medium-sized enterprises are facing significant market competition pressure. The construction unit's one-sided pursuit of low cost and short construction period, incomplete engineering quality management system, lack of sound quality management system, non-standard behavior of design units, low quality of labor market personnel, and imperfect supervision management system have also seriously affected the quality and efficiency of construction projects. Therefore, in-depth research on cost control during the construction phase of building engineering is of great significance.

Keywords: construction projects; projects cost; projects construction

引言

随着城市化进程的加速推进, 建筑工程项目的规模如雨后春笋般不断扩张, 从地标性摩天大楼到大型商业综合体, 从市政基础设施到住宅小区, 无一不彰显着建筑行业的蓬勃发展。与此同时, 建筑市场的竞争格局愈发激烈, 企业间为了争夺有限的市场份额, 各出奇招。在这样的大环境下, 建筑企业若想在竞争中脱颖而出, 实现可持续发展, 如何精准且有效地控制工程造价, 将每一分资金都花在刀刃上, 进而显著提高项目的经济效益, 已然成为企业决策层高度关注的核心要点。

施工阶段作为建筑工程全生命周期中的关键环节, 呈现出诸多显著特征。此阶段是整个项目资金投入最为集中且庞大的时期, 从建筑材料的采购、施工设备的租赁, 到施工人员的薪酬发放等, 各项费用如流水般持续支出。而且, 施工周期往往较长, 短则数月, 长则数年, 期间容易受到多种复杂因素的干扰。这些因素涵盖了自然环境变化, 如暴雨、暴雪、地震等自然灾害可能导致工程延误与额外

成本增加; 社会环境因素, 像政策法规的调整、劳动力市场的波动等, 都可能对工程造价产生深远影响。因此, 大力加强施工阶段的工程造价控制, 对于成功实现项目既定的成本目标, 提升企业在市场中的综合竞争力, 无疑具有举足轻重、不可替代的重要意义。

1 建筑工程施工阶段工程造价控制的重要性

1.1 确保项目经济效益

施工阶段的工程造价控制在整个建筑工程中起着举足轻重的作用, 其能够依据项目实际情况, 科学且合理地安排资金使用。通过对施工过程中的各项费用, 诸如材料采购费用、人工成本、机械租赁费用等进行全方位、严格的监控和精细化管理, 有效规避资金的无端浪费以及不必要的成本攀升。如此一来, 可确保项目在既定预算范围内高质量完成, 进而顺利实现预期的经济效益。

1.2 提高资源利用效率

有效的造价控制要求对人力、物力、财力等资源进行科学配置和合理利用。在施工过程中, 通过制定合理的施

工计划、优化资源调配方案,可以避免资源的闲置和浪费,提高资源的利用效率。这不仅有助于降低项目成本,还能减少对环境的影响,实现资源的可持续利用。

1.3 增强企业竞争力

在当今市场竞争白热化的大环境下,建筑企业的成本控制能力已然成为其核心竞争力中至关重要的一环。在施工阶段大力强化工程造价控制,对企业而言具有多重深远意义。一方面,企业得以凭借更为优化的成本结构,投入更少的资源打造出品质上乘的建筑产品,进而在竞争激烈的市场中脱颖而出,占据领先优势地位。另一方面,出色的造价控制绝非孤立存在,其背后反映的是企业高效且精细化的管理体系。这种能力不仅有助于企业内部资源的合理调配与高效利用,全方位提升管理水平,还能够在业界树立起良好的信誉度,吸引更多优质客户与合作伙伴,为企业的可持续长远发展筑牢坚实根基。

2 建筑工程施工阶段工程造价控制存在的问题

2.1 造价控制意识薄弱

部分建筑企业及项目管理人员尚未充分意识到施工阶段工程造价控制的重要性,普遍存在着重施工进度、轻造价控制的现象。在施工进程中,团队往往将主要精力集中于工程质量达标与工期目标的顺利实现,过度关注施工的速度与质量成果,却在很大程度上忽视了成本的精细化控制与系统性管理。这种管理偏差致使项目在施工过程中频繁出现不必要的资源浪费、预算外支出等情况,最终导致项目成本超支现象时有发生,严重压缩了项目的利润空间,甚至可能影响到企业后续项目的开展与运营。

2.2 施工方案不合理

施工方案的合理性直接影响工程造价,这是建筑工程领域不可忽视的关键环节。一些施工单位在制定施工方案时,缺乏科学的分析和论证,往往仅凭经验行事,未对施工工艺、施工顺序、资源配置等诸多关键因素进行深入剖析,而这些因素恰恰与成本紧密相连,例如,在施工机械的选型上,部分施工单位未综合考量工程规模、工期要求、场地条件以及机械租赁成本等,盲目选择功率过大或过小、不经济的施工机械。功率过大的机械会造成能源浪费,增加燃油或电力消耗成本;功率过小的机械则会导致施工效率低下,延误工期,进而增加人工成本以及其他间接费用。在施工流程方面,不合理的施工顺序安排,如先进行复杂且易受干扰的分项工程,后开展基础工程,不仅可能因施工过程中的相互影响而频繁返工,还会导致施工场地的多次重复布置,增加材料搬运成本以及临时设施搭建成本等,这些都会致使施工成本显著增加。

2.3 材料管理不善

材料费用在建筑工程造价中占据着举足轻重的地位,一般而言,其占比可达60%~70%,堪称影响工程造价的关键因素。然而,在实际施工进程中,材料管理方面暴露出诸多不善之处,问题尤为突出。一方面,材料采购环节存在严重缺陷,既缺乏科学严谨的采购计划,未能依据工

程进度、材料需求特性等制定精准方案,也欠缺充分的市场调研,对不同供应商的价格波动、质量差异等了解不足,导致采购价格普遍偏高,平白增加了不必要的成本开支。另一方面,材料在收发、存储以及使用的全流程中,浪费现象屡见不鲜。施工现场常常可见材料堆放杂乱无章,缺乏合理的分类与规划,不仅增加了材料寻找与取用的难度,还可能因相互挤压、受潮等原因造成损坏;同时,材料损耗率过高,在搬运、加工过程中因操作不当、工艺落后等因素,致使大量材料无端浪费,这些都使得材料成本逐渐脱离可控范围,对建筑工程的整体造价控制构成严峻挑战。

2.4 合同管理不规范

合同在建筑工程施工阶段的造价控制中占据着举足轻重的地位,是各项造价管理工作开展的关键依据。然而,当下部分建筑工程在合同管理环节存在诸多不规范之处。从合同条款来看,一些条款表述模糊、语义不明,致使合同双方在执行过程中对权利与义务的界定产生分歧。在计价方式上,部分合同所采用的计价模式缺乏合理性,无法精准匹配工程实际情况,例如未能充分考虑材料价格波动、施工工艺复杂程度变化等因素,为后续造价失控埋下隐患。而违约责任方面,也存在约定不明确的问题,对于违约情形的界定较为笼统,违约赔偿的标准和方式未清晰阐述。这些漏洞使得在施工进程中,合同纠纷极易滋生,进而引发工程变更的随意性增加,索赔事件也频繁上演,最终对工程造价的有效控制造成严重冲击。

2.5 造价控制手段落后

在当今建筑行业蓬勃发展的背景下,不少建筑企业在施工阶段的造价控制环节,仍沿用传统的手工核算模式以及事后算账的陈旧方法。此类方式过度依赖人工操作,既耗费大量人力、物力与时间,又极易出现人为误差。并且,由于缺乏先进信息技术与科学管理手段的有力支撑,在施工进程中,难以借助信息化工具对成本数据进行实时采集、传输与分析,进而无法达成对成本的实时监控以及动态管理。一旦施工过程中出现成本偏差,如材料价格大幅波动、施工工艺变更导致费用增加等情况,这种落后的控制手段便无法及时察觉并妥善解决,致使造价控制效果远不尽如人意,严重影响建筑企业的经济效益与项目的顺利推进。

3 建筑工程施工阶段工程造价控制策略

3.1 强化造价控制意识

建筑企业应高度重视对全体员工造价控制意识的培养,积极组织多样化的培训活动。培训内容不仅涵盖工程造价控制的基础理论知识,还会结合过往项目中因造价控制不当导致成本超支的实际案例,深入剖析问题根源,让员工直观地认识到施工阶段工程造价控制的重要性。同时,通过企业内部宣传栏、电子显示屏滚动播放以及定期推送宣传邮件等形式,持续向员工传递造价控制理念,在企业内部形成全员参与造价控制的良好氛围。

此外,企业需建立一套健全且科学的造价控制考核机制。

明确各项造价控制指标,将具体的造价控制目标细化分解到各个部门乃至每位员工身上,并将其与员工的绩效紧密挂钩。例如,对于在材料采购环节通过合理谈判降低采购成本的员工,给予绩效加分及物质奖励;对于因工作失误导致成本增加的员工,相应扣减绩效分数。以此激励员工主动关注并积极参与造价控制工作,确保项目在预算范围内高效推进。

3.2 优化施工方案

施工单位在制定施工方案时,应组织专业人员进行科学地分析和论证,充分考虑施工工艺、施工顺序、资源配置等因素对成本的影响。通过对不同施工方案的技术经济比较,选择既满足工程质量和工期要求,又能降低成本的最优方案。例如,在选择施工机械时,应根据工程特点和施工条件,选择合适的机械型号和数量,避免大马拉小车的现象;在安排施工流程时,应合理组织施工,减少工序间的等待时间,提高施工效率。

3.3 加强材料管理

3.3.1 科学制定材料采购计划

施工团队需依据施工进度安排以及详尽的设计图纸,运用科学的计算方法,精准预估各类材料的需求量。在此基础上,制定涵盖材料规格、数量、进场时间等细节的材料采购计划。同时,组建专业的市场调研小组,定期收集市场信息,深入剖析材料价格波动趋势,结合项目实际需求,挑选性价比高的采购时机,筛选优质供应商,签订有利的采购合同,有效降低材料采购成本。

3.3.2 严格材料验收和存储管理

建立健全严谨且细致的材料验收制度,在材料进场时,安排专业人员对其数量进行逐一清点,运用专业检测设备和方法,对质量展开全面检测,严格核查材料规格,确保各项指标均与设计要求和施工标准高度契合。同时,依据材料的特性与使用计划,合理规划材料存储场地,通过搭建规范的存储货架、设置防潮防水设施等方式,做好材料的保管和防护工作,从源头上减少材料在存储与取用过程中的损耗和浪费现象。

3.3.3 加强材料使用管理

实行材料限额领料制度,首先要依据精准的施工预算以及科学规划的施工进度,为各施工班组详细制定材料领用额度。在材料发放环节,严格按照既定额度执行,杜绝超额领料情况发生。同时,在材料使用过程中,构建全面的监督与检查机制,安排专人定期巡检施工现场。一旦发现诸如随意丢弃完好材料、不合理切割导致材料浪费等现象,立即予以纠正,并对相关责任人进行教育与警示。通过这些举措,切实提高材料的利用率,降低因浪费造成的成本增加。

3.4 规范合同管理

在签订建筑工程合同时,应确保合同条款清晰、明确、完整,避免出现歧义。合同中应明确约定工程价款的计价方式、支付方式、工程变更和索赔处理程序、违约责任等内容,为施工阶段的造价控制提供明确的依据。加强对合同执行过

程的监督和管理,及时掌握合同履行情况。对于工程变更和索赔事项,应严格按照合同约定的程序进行处理,确保变更和索赔的合理性和合法性。同时,建立合同纠纷预警机制,及时发现和解决合同纠纷,避免因合同纠纷导致工程造价增加。

3.5 采用先进的造价控制手段

3.5.1 引入工程造价管理信息系统

引入功能完备的工程造价管理信息系统,借助其强大的数据采集模块,对施工过程中的各类成本数据,如材料采购费用、人工工时支出、设备租赁开销等,进行全方位、实时性的抓取与汇总。系统内置先进的数据分析算法,能快速甄别成本数据中的异常波动,精准定位成本偏差问题。一旦发现偏差,系统会即刻发出预警提示,同时为管理者提供多维度的调整策略建议,如优化施工工序以减少人工耗时、通过集中采购降低材料成本等。通过该信息系统的深度应用,不仅能显著提升造价控制工作的效率,大幅缩短数据分析与决策制定的时间,还能极大提高成本核算的准确性,将误差率控制在极小范围,真正实现对项目成本的动态化、精细化管理,为项目的顺利推进和盈利目标的达成筑牢根基。

3.5.2 应用 BIM 技术

BIM 技术是一种基于建筑信息模型的数字化技术,具有可视化、协调性、模拟性、优化性等特点。在施工阶段,应用 BIM 技术可以实现对建筑工程的三维建模和施工模拟,提前发现施工中可能存在的问题,优化施工方案,减少工程变更和索赔。同时,通过 BIM 模型可以准确计算工程量和材料用量,为造价控制提供精确的数据支持。

4 结论

建筑工程施工阶段的工程造价控制是一项复杂的系统工程,涉及到多个环节和多个方面。当前,我国建筑工程施工阶段的工程造价控制还存在一些问题,需要建筑企业和相关部门高度重视。通过强化造价控制意识、优化施工方案、加强材料管理、规范合同管理和采用先进的造价控制手段等策略,可以有效地提高施工阶段的造价控制水平,实现项目的成本目标,提高建筑企业的经济效益和竞争力,促进建筑行业的可持续发展。在未来的研究中,还需要进一步深入探讨如何结合建筑行业的新技术、新方法,不断完善施工阶段的工程造价控制策略,为建筑工程行业的发展提供更有力的支持。

[参考文献]

- [1]邱泽琨.建筑工程施工阶段工程造价控制策略[J].散装水泥,2024(6):1.
 - [2]甘泉.建筑工程招标投标阶段工程造价控制管理策略[J].掌桥科研,2023(2):70-72.
 - [3]管灵丽,刘廷磊,管玲婷.建筑工程造价成本控制管理与优化策略研究[J].房地产导刊,2024(3):1.
- 作者简介:胡婷婷(1995.11—),女,学历:本科,毕业院校:山东建筑大学,所学专业:土木工程,目前职称:助理工程师。

建筑工程施工过程监督管理的控制探析

陈增鑫

新疆生产建设兵团第六师 101 团青湖镇城镇管理中心, 新疆 五家渠 831300

[摘要]施工是形成工程实体的关键环节,也是决定最终工程质量的重要阶段。施工质量监控的目的是确保施工过程严格按照设计图纸和国家规范的要求进行。为了实现从事后检验向事前控制的转变,预防问题的发生,必须加强对施工全过程的质量监控,进而全面提升工程质量。影响工程质量的主要因素包括人员、材料、机械、施工方法和环境等,这些因素共同构成了保障工程质量的关键要素。

[关键词]建筑工程施工; 施工过程; 监督管理; 控制策略

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16606

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Analysis of Control in Supervision and Management of Construction Process in Building Engineering

CHEN Zengxin

Qinghu Town Urban Management Center, 101st Regiment, 6th Division, Xinjiang Production and Construction Corps, Wujiaqu, Xinjiang, 831300, China

Abstract: Construction is a key link in forming the engineering entity and an important stage in determining the final quality of the project. The purpose of construction quality monitoring is to ensure that the construction process strictly follows the requirements of the design drawings and national standards. In order to achieve the transition from post inspection to pre control and prevent the occurrence of problems, it is necessary to strengthen the quality monitoring of the entire construction process and comprehensively improve the quality of the project. The main factors affecting engineering quality include personnel, materials, machinery, construction methods, and environment, which together constitute the key elements to ensure engineering quality.

Keywords: construction engineering; construction process; supervision; control strategy

引言

建筑工程施工过程作为建筑项目得以顺利推进的关键阶段,其监督管理的质量和水平直接牵涉到工程的安全状况、质量水准以及建设进程。随着城市化进程不断向前推进以及建筑市场范围持续拓展,施工过程里的管理难度一天比一天增大,像工程质量事故时有发生、安全隐患屡见不鲜、施工环境极为复杂等一系列问题接二连三地冒出来,这无疑给施工监督管理提出了更高的要求。行之有效的施工过程监督管理一方面可及时察觉并纠正施工环节出现的问题,以此来保障施工安全以及工程质量,另一方面还能够提升施工效率,减少资源方面的浪费以及成本方面的支出,推动建筑行业朝着健康的方向发展。不过,当下我国尤其是新疆地区在建筑工程施工监督管理方面依旧存在不少欠缺之处,比如监管力度有所欠缺、技术手段较为落后、法规执行不够严格等等,这些情况对施工质量的提升以及安全风险的防控形成了严重的制约。鉴于此,深入且细致地剖析建筑工程施工过程中的监督管理控制机制,找出其中存在的问题并且给出具有针对性的解决办法,这对于推动新疆乃至整个全国建筑工程行业的规范化、科学化管理而言有着重要的理论层面的价值以及现实层面的意义。本文会围绕新疆地区建筑工程施工过程的监督

管理实际状况展开,全面且系统地分析其中存在的各类问题,并且深入探讨加强监督管理控制的相关有效举措,目的就是为相关部门以及企业给予一定的参考与借鉴,促使建筑施工管理水平实现全方位的提升。

1 新疆地区建筑工程施工过程监督管理的重要性

在新疆地区,建筑工程施工过程的监督管理有着重要的现实意义,而且这种意义还带有独特性。新疆是我国西部的一个重要战略区域,其地理环境颇为复杂,气候条件也呈现出多变的特点。在这样的区域当中,建筑工程项目分布得相当广泛,而且类型也是多种多样的,这些项目涵盖了民生基础设施、工业园区以及交通枢纽等诸多领域。良好的施工过程监督管理,一方面关系着工程项目的质量状况、安全情况以及工期控制事宜,另一方面还对区域经济发展、民族团结以及社会稳定有着直接的影响作用。当下,新疆正处在大规模开展基础设施建设并且城市化进程不断加快的关键时期,在这个阶段里,工程项目数量颇多,投资规模也颇为可观,如此一来,便对工程监管的规范性以及科学性提出了更高的要求。倘若在施工过程中缺少有效的监督管理,那么就很容易出现工程质量存在缺陷、发生安全事故以及造成资源浪费等一系列问题,这些问题会对项目建设成效产生极为严重的影响,甚至还可能带来重

大的经济损失以及负面的社会影响。所以,强化施工过程的监督管理,这无疑是确保建筑工程质量能够达标、提高建设效率并且实现可持续发展的一项重要保障措施。

2 新疆建筑工程施工监督管理中存在的问题

2.1 主管部门监管意识薄弱

在新疆建筑工程施工的监督管理进程里,主管部门监管意识较为薄弱,这算得上是极为突出的一个问题。部分地方政府以及行业主管部门针对建筑工程施工过程中的监督管理,并没有给予足够的重视,反而把侧重点更多地放在了前期审批以及项目立项方面,对于施工过程中的动态监管、质量控制还有安全管理,一直都没能构建起持续且行之有效的制度机制。一些监管部门还存在着“重审批、轻过程”这样的管理倾向,使得监管工作仅仅停留在形式层面,缺少实质性的督查以及责任落实方面的举措^[1]。除此之外,部分监管人员在思想认识方面有所滞后,无法准确地把握住新时代建筑工程管理的发展走向,对施工现场所呈现出的复杂性以及潜在的风险也予以了忽视。

2.2 法规制度执行不严

在新疆建筑工程施工的监督管理方面,法规制度执行不够严格这事儿,可真是限制行业规范发展的一大关键问题啊。虽说国家以及自治区层面已然制定出了相对完备的建筑工程相关的法律法规还有管理制度,可在实际施行的过程当中,跟这些规定之间却存在着相当大的落差。有一些建设项目在施工期间,对于相关法规的遵循仅仅停留在表面形式上而已;并且有一部分企业以及施工单位还存在着规避监管、擅自压缩工期、人为降低成本等种种违反施工规范的行为。与此部分负责执法以及监督的部门在法律执行的过程中,也存在着选择性执法、执法力度不够严谨、监督效果欠佳等一系列问题,如此一来便没能起到强有力的震慑作用,也没能发挥出有效的规范作用。

2.3 技术手段滞后,信息化水平低

在新疆建筑工程施工监督管理方面,技术手段较为落后,信息化水平不高,这种情况比较明显,对监管效率以及科学化水平的提高形成了严重阻碍。当下,很多地区在施工监管期间,依旧主要依靠传统的人工巡查还有纸质资料审核这些方式,对于现代信息技术、智能化设备的系统运用有所欠缺。这样低效的监管手段没办法达成对施工全过程、全方位的实时监控,在工程项目呈多点分布状态且施工环境复杂的状况下,特别容易出现监管盲区以及信息滞后的情况。与此信息系统建设滞后使得工程数据缺少统一管理平台,项目进度、质量、安全等核心数据没法实现互通共享,监管部门很难及时获取第一手信息,这对科学决策与动态管控产生了影响。

2.4 监管人员专业能力与数量不足

在新疆建筑工程施工监督管理期间,监管人员专业能力以及数量不足的问题比较突出,这已然成为影响监管效

能以及施工质量控制的关键因素。伴随新疆地区基础设施建设项目的持续增加,工程规模变得越来越大,技术难度也在不断提高,这便对监管队伍的专业素质以及工作能力提出了更高的要求。不过当下一些地区的监管人员配备数量明显不足,很难满足广泛的工程监管需求,致使监管工作出现脱节、盲区以及疏漏的情况。与此同时部分监管人员缺少系统的专业培训以及实际工程经验,对于建筑工程相关规范、技术标准以及新型施工技术掌握得不够全面,难以有效地识别施工中的技术问题以及安全隐患。

2.5 民族地区协调与沟通存在障碍

在新疆建筑工程施工监督管理方面,民族地区协调与沟通存在的障碍这一问题比较显著,已然成为妨碍监管工作顺利推进的关键因素之一。新疆属于多民族聚居的区域,其语言、文化以及宗教习俗呈现出多样性的特点,这无疑给施工管理尤其是监督沟通增添了相当大的复杂程度。在实际开展工程监督工作的过程当中,部分监管人员因为对当地少数民族语言以及风俗习惯掌握不够全面,所以在沟通过程当中极易出现误解的情况,甚至还会引发冲突,进而对工作效率以及协作氛围都产生了不利的影响^[2]。与此部分施工单位在跨民族地区展开施工作业的时候,欠缺行之有效的文化适应机制,这就使得其与当地劳务人员、村民以及相关基层组织之间的协作难以顺利开展。

3 加强新疆建筑工程施工监督管理的对策措施

3.1 加强地方政府与行业主管部门责任落实

强化新疆建筑工程施工方面的监督管理,最为关键的任务在于实实在在地加强地方政府以及行业主管部门对于责任的落实情况。当下在部分区域,监管职责在分工上不够清晰,责任界限也显得比较模糊,这就使得监督管理出现了空缺以及互相推卸责任的情况,对监管效果产生了颇为严重的影响。所以,务必要明确地方各级政府在建筑工程施工监管当中的主导地位,强化其针对辖区内工程质量、安全状况以及施工进度所应承担的全方位监管职责,保证监管工作具备相应的制度依据、有明确的标准参照并且能够切实执行到位。与此行业主管部门需要依据自身的不同职能,构建起科学合理的职责分工体系,将监督管理的具体内容以及工作流程进一步细化,达成权责分明、责任落实到具体人员的要求。应当着重强化对重点工程、重点企业以及重点环节的全程监督,促使事前审批、事中监管以及事后问责这几个环节能够有机且紧密地衔接起来。

3.2 完善适应新疆地区实际的法律法规体系

完善契合新疆地区实际状况的法律法规体系,乃是强化建筑工程施工监督管理的关键基石。新疆地区幅员辽阔,民族种类繁多,其经济发展程度以及自然环境均呈现出独特的特性,这便要求相关的法律法规不但要契合国家统一设定的标准,而且得依据新疆的实际情形展开具有针对性的调整与补充工作。需要依照新疆的气候状况、地质特点

还有民族文化方面的差异,去制定更为科学合理且切实可行的施工安全规范以及环境保护方面的要求,以此来保证法律法规具备实用性以及可操作性。要对地方性法规以及配套政策加以完善,进一步强化针对施工质量、安全管理、环境保护以及劳动用工等诸多方面的具体规定,从而填补现有法律法规在执行细节层面所存在的不足之处。与此还得强化法规和监管实践之间的关联,促使法律制度能够向基层不断延伸,进而推动法规得以广泛普及并切实执行,最终提升整个行业领域的法治意识。

3.3 推进信息化监管平台建设(如BIM、智慧工地)

推进信息化监管平台建设,乃是提升新疆建筑工程施工监督管理现代化水平的一项重要举措。伴随数字技术以及智能化手段不断发展,传统的人工监管模式已然很难满足复杂施工环境下对于实时监控以及高效管理的需求了。借助引入BIM也就是建筑信息模型、智慧工地等先进的信息化技术,便能够达成对施工全过程予以数字化、可视化以及智能化管理的目标。BIM技术可对设计、施工、监理等多方信息加以整合,精准地呈现出工程各个阶段在进度、质量、安全等方面的关键数据,助力监管部门能够及时发现并且解决潜在的问题^[3]。智慧工地平台则是依靠物联网、传感器、无人机等设备,实现对施工现场人员的安全状况、材料进场情况以及机械设备运行状态的实时监控,切实有效地提升了安全管理以及资源调度的效率。

3.4 建立健全多级监督机制与联合执法机制

健全多级监督机制以及联合执法机制,这对于提升新疆建筑工程施工监督管理的水平而言,属于极为关键的保障举措。考虑到新疆地区幅员十分辽阔,各类项目分布得较为广泛,相应的管理难度也比较大,在这种情况下,仅靠某单一层次或者某个部门的监管力量,是很难做到对各方面情况全面且有效地覆盖以及协同配合的。所以有必要去构建一个包含自治区、省、市、县等诸多层级在内的监督体系,进而达成上下相互联动、每一层都各司其职这样的监管局面。与此还应当积极推动建设行政主管部门、行业监管机构、安全监察单位、质量监督站等多个不同部门联合起来形成执法机制,借此打破信息方面的壁垒以及职能上的分割状况,凝聚成一股合力来共同推动针对施工全过程的监管工作得以开展。联合执法这一方式,一方面能够促使资源得以共享并且各自的优势能够实现互补,另一方面还能够让执法具备更高的权威性以及更强的震慑作用,从而切实有效地对违法违规的行为加以防范以及查处。

3.5 强化监管人员培训与专业素养建设

强化对监管人员展开培训以及加强其专业素养建设,这在提升新疆建筑工程施工监督管理水平方面,称得上是极为关键的一个环节。伴随建筑技术持续向前发展,监管要求也变得愈发严格起来,在这样的大背景之下,监管人员一方面得掌握较为扎实的专业知识,另一方面还应当具

备较强的现场应变能力以及综合协调能力。所以,有必要建立起一套系统化且规范化的培训机制,定期去组织开展有关建筑法规、施工技术、安全管理以及信息化应用等诸多方面的专业培训活动,以此来促使监管人员的理论水平得以提高,实践技能也能相应提升。与此还得着重对监管人员的责任意识以及服务意识加以培育,提升他们的职业道德水准以及综合素质,从而保证他们可以做到严谨执法,并且能够公正地开展监督工作。

3.6 加强民族地区沟通协调与文化融合管理能力

强化民族地区在沟通协调以及文化融合方面的管理能力,这对于提升新疆建筑工程施工监督管理所取得的效果而言,称得上是极为重要的保障措施。新疆属于多民族共同聚居的地区,在这里,各个民族于语言、宗教信仰以及风俗习惯等诸多方面均存在着颇为显著的差异情况,如此一来,便给施工现场的管理工作以及监督工作都提出了带有特殊性的要求。监管部门还有施工单位务必要对民族文化方面的诸多因素给予高度的重视,要积极主动地去推动不同民族之间的沟通交流活动,充分尊重并且努力去理解各个民族各自所具有的文化习惯,切忌因为存在文化差异而引发出误解乃至矛盾冲突^[4]。在具体的管理实施过程当中,需要着重加强对监管人员以及施工管理人员针对民族文化方面的培训工作,以此促使他们自身的文化敏感度得以提升,同时让他们的沟通技巧也能够得到加强,进而进一步增进与少数民族群众之间相互间的信任关系以及合作关系。

4 结语

建筑工程施工过程中的监督管理,乃是保障工程质量、安全以及进度的关键所在。强化各项管理举措,尤其是在新疆地区,要依据当地的实际情况来推进,以此提升监督管理工作的科学性与针对性,如此便能够妥善处理当下所存在的诸多问题。在往后的日子里,需要不断地去完善监督体系,积极推动技术的应用以及人才的培养工作,促使建筑施工过程朝着规范化与高效化的方向发展,从而切实保障建筑工程得以顺利地实施,并且实现可持续发展的目标。

【参考文献】

- [1]何小勇,赵俊杰,朱少华.建筑工程施工过程中的监督管理[J].砖瓦,2020(12):129-130.
- [2]郑镖.建筑工程施工过程监督管理的控制探析[J].河南建材,2018(3):151-152.
- [3]刘子美.建筑工程施工管理过程中存在的问题及控制措施[J].建材与装饰,2018(45):179.
- [4]杨瑞英.建筑工程施工技术全过程控制与管理[J].四川建材,2021,47(5):195-196.

作者简介:陈增鑫(1990.6—)毕业院校:陇东学院,所学专业:土木工程专业,当前就业单位名称:新疆生产建设兵团第六师101团青湖镇城镇管理中心,就任职务:事业单位工作人员,职称级别:中级职称。

建筑工程建设中的主体结构检测分析

赵 亮

衡水市建设工程质量检测中心有限责任公司，河北 衡水 053000

[摘要] 本论文聚焦建筑工程建设中的主体结构检测，深入探讨主体结构检测的流程、常用检测方法及其建议，通过分析当前主体结构检测存在的问题，提出针对性改进建议，旨在为提升建筑工程主体结构检测水平、保障建筑工程质量与安全提供理论参考和实践指导。研究表明，科学合理的主体结构检测是确保建筑工程质量和安全的关键环节，需不断优化检测技术和管理体系。

[关键词] 建筑工程；主体结构；检测分析；质量安全

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16607

中图分类号: TU317

文献标识码: A

Analysis of Main Structure Inspection in Construction Engineering

ZHAO Liang

Hengshui Construction Engineering Quality Testing Center Co., Ltd., Hengshui, Hebei, 053000, China

Abstract: This paper focuses on the detection of the main structure in construction engineering, deeply explores the process, common detection methods, and suggestions of main structure detection. By analyzing the problems existing in current main structure detection, targeted improvement suggestions are proposed, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for improving the level of main structure detection in construction engineering and ensuring the quality and safety of construction engineering. Research has shown that scientific and reasonable main structure testing is a key link in ensuring the quality and safety of construction projects, and continuous optimization of testing technology and management systems is needed.

Keywords: construction engineering; main structure; detection and analysis; quality safe

引言

随着我国经济的快速发展和城市化进程的加速推进，建筑行业蓬勃发展，各类建筑工程不断涌现。建筑工程质量与人民群众的生命财产安全息息相关，而主体结构作为建筑工程的核心部分，其质量直接决定了建筑的安全性、耐久性和适用性。主体结构一旦出现质量问题，可能导致建筑倒塌、人员伤亡等严重后果。因此，加强建筑工程建设中的主体结构检测分析，准确评估主体结构的质量和性能，对于保障建筑工程质量和安全具有重要的现实意义。

1 建筑工程主体结构检测的流程

1.1 检测前准备

在进行主体结构检测前，需收集详细的工程资料，包括建筑设计图纸、施工记录、原材料检验报告等。这些资料能为检测工作提供基础信息，帮助检测人员了解建筑结构的设计要求、施工过程和材料使用情况。同时，组建专业的检测团队，检测人员应具备丰富的专业知识和实践经验，熟悉各类检测标准和规范。此外，还需对检测设备进行校准和调试，确保设备性能良好，检测数据准确可靠。

1.2 现场检测实施

现场检测是主体结构检测的关键环节。根据检测方案，检测人员运用相应的检测设备和方法，对主体结构的各项指标进行检测。如采用回弹法检测混凝土强度，使用钢筋

检测仪检测钢筋的配置情况等。在检测过程中，要严格按照检测标准和规范操作，详细记录检测数据和现场情况，确保检测结果的真实性和有效性。

1.3 检测数据处理与分析

现场混凝土强度检测工作完成后，检测数据的整理与分析成为判定工程质量的关键环节。首先，专业技术人员需对收集到的原始数据进行系统性梳理，建立标准化的数据记录表格，核查数据完整性与准确性，避免因记录疏漏或笔误影响后续分析。在数据处理阶段，通常采用统计学方法对检测数据进行深度处理。通过格拉布斯准则、狄克逊准则等科学手段，精准识别并剔除异常数据，这些异常值可能源于仪器临时故障、操作不当或局部混凝土质量波动。完成数据净化后，进一步计算检测结果的核心统计参数，如平均值反映混凝土强度的总体水平，标准差则体现数据离散程度，二者结合可全面评估混凝土质量的稳定性。最终，将处理后的检测结果与设计文件中的强度指标、现行国家标准规范进行多维度对比分析，不仅关注平均值是否达标，还需对照标准中关于最小值、保证率等限定条件。通过严谨的对比分析，科学、准确地判断主体结构混凝土强度是否符合质量要求，为工程验收和后续使用提供可靠依据。

1.4 检测报告编制

在完成混凝土强度检测数据的系统性处理与深度分

析后,编制一份规范、详实的检测报告是保障工程质量评估科学性的重要环节。专业技术人员需依据检测流程和数据分析结果,遵循行业规范要求,精心撰写检测报告。检测报告首先应全面阐述工程概况,包括工程名称、建设地点、结构类型、施工时间等基本信息,同时说明委托单位检测需求,明确检测目的是质量验收、隐患排查或事故鉴定等。在检测依据部分,需逐条列出所遵循的国家标准、行业规范以及设计文件,确保检测工作的合法性与规范性。对于检测方法,不仅要说明采用的回弹法、钻芯法等具体技术,还需介绍仪器设备型号、校准情况及操作流程,为检测结果的可靠性提供技术支撑。检测结果是报告的核心内容,需以数据表格、趋势图表等直观形式呈现,详细列出各检测点位的强度数据、统计参数以及与标准要求的对比情况。结论部分应基于检测结果,用简明扼要的语言明确判定混凝土强度是否符合设计及规范要求。建议环节则需针对检测中发现的问题,提出切实可行的处理措施,如局部补强、扩大检测范围或调整施工工艺等。整个报告的撰写过程需始终秉持客观、准确、清晰的原则,避免主观臆断和模糊表述。通过严谨的逻辑架构与详实的数据支撑,为建筑工程质量评估、验收决策以及后续处理提供权威可靠的依据,助力保障工程全生命周期的安全性与耐久性。

2 建筑工程主体结构常用检测方法

2.1 混凝土结构检测方法

回弹法:回弹法是基于混凝土表面硬度与强度之间的相关性,通过回弹仪测定混凝土表面的回弹值,进而推算混凝土强度的一种非破损检测方法。该方法操作简便、检测速度快,但受混凝土表面状况、碳化深度等因素影响较大。在实际应用中,需对影响因素进行修正,以提高检测结果的准确性。**超声回弹综合法:**超声回弹综合法结合了超声法和回弹法的优点,利用超声波在混凝土中的传播速度和回弹值两个参数综合评定混凝土强度。该方法能减少单一方法的局限性,提高检测结果的可靠性,尤其适用于检测条件复杂或对检测精度要求较高的工程。**钻芯法:**钻芯法是一种半破损检测方法,通过从混凝土结构中钻取芯样,对芯样进行加工和试验,直接测定混凝土的强度。该方法检测结果准确可靠,可作为其他非破损检测方法的校准依据,但会对结构造成一定损伤,且检测成本较高、效率较低。

2.2 钢结构检测方法

钢材力学性能检测:通过取样进行拉伸试验、弯曲试验、冲击试验等,测定钢材的屈服强度、抗拉强度、伸长率、冷弯性能等力学性能指标,以判断钢材是否符合设计要求。**焊缝检测:**常用的焊缝检测方法有超声波探伤、射线探伤、磁粉探伤和渗透探伤等。超声波探伤是利用超声波在焊缝中的传播特性,检测焊缝内部的缺陷;射线探伤通过射线穿透焊缝,根据底片上的影像判断焊缝内部缺陷;

磁粉探伤和渗透探伤主要用于检测焊缝表面和近表面的缺陷。**钢结构尺寸与偏差检测:**对钢结构的构件尺寸、安装偏差等进行检测,确保钢结构的制作和安装符合设计要求。检测内容包括构件的长度、宽度、高度、厚度、垂直度、平整度等。

2.3 砌体结构检测方法

原位轴压法:原位轴压法是在砌体结构上直接测试砌体的抗压强度。通过在砌体墙上开凿测试槽,安装原位压力机,对砌体施加压力,直至砌体破坏,根据破坏荷载和受压面积计算砌体的抗压强度。该方法能反映砌体的实际受力状态,但检测过程对砌体结构有一定损伤。

回弹法检测砌体砂浆强度:与混凝土回弹法类似,利用回弹仪测定砌体砂浆表面的回弹值,结合砂浆的碳化深度等因素,推算砌体砂浆的强度。该方法操作简单、检测速度快,但受砂浆品种、砌体质量等因素影响较大。

扁顶法:扁顶法是在砌体墙的水平灰缝中嵌入扁式液压加载器,对砌体施加压力,通过测量砌体的变形和压力值,计算砌体的抗压强度和弹性模量。该方法对砌体结构损伤较小,可在不破坏砌体的情况下进行检测。

3 当前建筑工程主体结构检测存在的问题

3.1 检测技术与设备有待提升

在建筑工程质量检测领域,检测设备与技术的先进性直接影响着检测结果的准确性与可靠性。当前,部分检测机构受资金投入不足、设备更新意识薄弱等因素制约,仍在使用服役年限过长、性能老化的检测设备。与此同时,虽然太赫兹波成像、三维激光扫描等先进无损检测技术不断涌现,但在实际工程应用中推广进程缓慢。这些新技术通常涉及复杂的设备操作、数据处理算法及多学科知识融合,部分检测人员由于缺乏系统性培训,对设备原理、操作流程和数据分析方法掌握不熟练,无法充分发挥新技术的检测优势。

3.2 检测人员专业素质参差不齐

目前,建筑工程主体结构检测行业的检测人员数量众多,但专业素质参差不齐。部分检测人员缺乏系统的专业培训,对检测标准和规范理解不透彻,在检测过程中操作不规范,导致检测结果不准确。此外,一些检测人员缺乏责任心,存在敷衍了事的现象,影响了检测工作的公正性和可靠性。

3.3 检测市场不规范

随着建筑行业的蓬勃发展,建筑工程主体结构检测市场规模不断扩大,但市场竞争也日趋白热化。在利益驱动下,部分检测机构为抢占市场份额,通过恶意压低检测价格的方式招揽业务。这种非理性的价格竞争,导致检测机构为维持利润空间,不得不压缩检测成本,进而引发一系列违规操作。在实际检测过程中,偷工减料现象屡见不鲜。部分机构随意减少检测点位数量,缩短检测时间,本该采

用多种检测方法综合评估的项目,仅用单一方法草草了事;本该严格按照标准流程进行的钻芯取样、数据复核等关键环节,也被简化甚至省略。更有甚者,直接伪造原始检测数据,出具与实际情况严重不符的虚假检测报告。这些违规行为不仅严重破坏了检测市场的公平竞争环境,也使检测工作失去了应有的权威性和公信力。虚假的检测结果让不合格的工程蒙混过关,给建筑工程埋下了巨大的安全隐患,一旦发生质量事故,将对人民生命财产安全造成严重威胁。这种无序竞争的乱象,不仅损害了正规检测机构的合法权益,更对整个建筑行业的健康发展形成阻碍,亟需通过加强市场监管、完善行业规范等手段加以整治。

3.4 检测管理体系不完善

虽然我国已制定了一系列建筑工程主体结构检测的标准和规范,但在实际执行过程中,存在监管不到位的情况。部分建设单位、施工单位对主体结构检测不够重视,不配合检测工作,导致检测工作无法顺利开展。同时,检测机构内部的质量管理体系也存在漏洞,对检测过程和检测结果的质量控制不够严格。

4 改进建筑工程主体结构检测的建议

4.1 加强检测技术研发与设备更新

在建筑工程质量保障体系中,主体结构检测技术的创新发展至关重要。为推动行业技术革新,应充分发挥科研机构的理论研究优势与检测企业的实践能力,鼓励双方深化产学研合作,围绕混凝土强度精准检测、内部缺陷可视化诊断等关键问题,开展前沿技术攻关。检测设备作为技术落地的重要载体,需加大研发与生产环节的资金和技术投入。一方面,支持企业对现有回弹仪、超声检测仪等设备进行智能化改造,通过集成传感器、物联网模块,实现数据自动采集与实时传输;另一方面,鼓励开发具有自主知识产权的高端检测装备,推动设备向自动化、智能化方向升级,降低人为操作误差,提升检测效率与可靠性。此外,建立健全先进检测技术和设备的推广应用机制迫在眉睫。通过举办技术交流会、示范工程观摩等活动,打破技术应用壁垒;针对太赫兹检测仪、三维激光扫描系统等新技术设备,组织专项技能培训,帮助检测人员掌握设备原理、操作流程及数据分析方法,切实提升行业整体技术应用水平,为建筑工程质量安全提供坚实保障。

4.2 提高检测人员专业素质

建立健全检测人员培训体系,加强对检测人员的专业培训和继续教育。培训内容应包括检测标准和规范、检测技术和方法、职业道德等方面。定期组织检测人员进行考核,考核合格者方可上岗执业。同时,鼓励检测人员参加学术交流活动,了解行业最新动态和技术发展趋势,不断

提高自身的专业素质和业务能力。

4.3 规范检测市场秩序

加强对建筑工程主体结构检测市场的监管力度,建立健全检测机构信用评价体系。对违规操作、出具虚假报告的检测机构进行严厉处罚,列入不良信用名单,并向社会公示。加强对检测市场价格的监管,防止恶意低价竞争。同时,引导检测机构树立正确的经营理念,加强行业自律,共同维护检测市场的健康有序发展。

4.4 完善检测管理体系

进一步完善建筑工程主体结构检测的标准和规范,使其更加科学、合理、具有可操作性。加强对检测工作的全过程监管,从检测方案编制、现场检测实施到检测报告编制等环节,都要严格按照标准和规范进行。建立建设单位、施工单位、检测机构等多方责任追究制度,明确各方在主体结构检测中的责任和义务。同时,检测机构应加强内部质量管理体系建设,建立健全质量管理制度,加强对检测过程和检测结果的质量控制,确保检测工作的公正性、科学性和准确性。

5 结论

建筑工程建设中的主体结构检测是保障建筑工程质量和安全的重要环节。通过对主体结构检测流程、常用检测方法的研究,我们可以看出科学合理的检测方法和严格规范的检测流程能够准确评估主体结构的质量和性能。然而,当前建筑工程主体结构检测仍存在检测技术与设备落后、检测人员专业素质参差不齐、检测市场不规范和检测管理体系不完善等问题。针对这些问题,我们提出了加强检测技术研发与设备更新、提高检测人员专业素质、规范检测市场秩序和完善检测管理体系等改进建议。只有不断优化建筑工程主体结构检测工作,才能有效保障建筑工程质量和安全,推动建筑行业的可持续发展。在未来的研究中,还应进一步深入探索新型建筑结构的检测技术和方法,适应建筑行业不断发展的需求。

【参考文献】

- [1]董磊.建筑工程主体结构混凝土强度检测探讨[J].中国水泥,2024(6):78-80.
- [2]黄玉涛.建筑工程质量检测中的主体结构检测要点及其措施[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(3):25.
- [3]叶弘真.建筑工程质量检测中的主体结构检测要点分析[J].中国厨卫,2024,23(10):65-67.

作者简介:赵亮(1985.6—),男,学历:本科毕业院校:国家开放大学,所学专业:土木工程,目前职称:助理工程师。

BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的应用

孙乐添 李琳 胡婷婷

山东易方达建设管理集团有限公司, 山东 济南 250013

[摘要]随着建筑行业的不断发展,住宅建筑工程的规模和复杂程度日益增加,施工现场管理面临着诸多挑战。BIM (Building Information Modeling, 建筑信息模型) 技术作为一种数字化的管理手段,能够实现建筑信息的集成与共享,为住宅建筑工程施工现场管理提供了新的解决方案。文中深入探讨了 BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的应用,分析了其应用的优势、具体应用场景以及面临的挑战,旨在为提升住宅建筑工程施工现场管理水平提供参考。

[关键词]BIM 技术; 住宅建筑; 工程施工

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16640

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Application of BIM Technology in Construction Site Management of Residential Buildings

SUN Letian, LI Lin, HU Tingting

Shandong Yifangda Construction Management Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250013, China

Abstract: With the continuous development of the construction industry, the scale and complexity of residential construction projects are increasing, and construction site management is facing many challenges. BIM (Building Information Modeling) technology, as a digital management tool, can achieve the integration and sharing of building information, providing a new solution for on-site management of residential construction projects. The article delves into the application of BIM technology in residential construction site management, analyzes its advantages, specific application scenarios, and challenges, aiming to provide reference for improving the level of residential construction site management.

Keywords: BIM technology; residential buildings; engineering construction

引言

住宅建筑工程作为建筑行业的重要组成部分,直接关系到人们的生活质量和居住安全。在住宅建筑工程施工过程中,施工现场管理涉及到众多环节和参与方,如施工进度的把控、施工质量的监督、施工安全的保障以及资源的合理配置等。传统的施工现场管理方式往往依赖于人工经验和纸质文档,存在信息沟通不畅、协同效率低、管理精度差等问题,难以满足现代住宅建筑工程的管理需求。BIM 技术的出现为解决这些问题提供了新的途径。BIM 技术通过建立三维数字化模型,将建筑工程项目的各种信息整合到一个共享的数据库中,实现了建筑信息的可视化、协同化和智能化管理。在住宅建筑工程施工现场管理中应用 BIM 技术,能够有效提高管理效率、降低施工成本、提升工程质量和保障施工安全。因此,深入研究 BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的应用具有重要的现实意义。

1 BIM 技术概述

1.1 BIM 技术的概念

BIM (Building Information Modeling) 技术作为建筑领域数字化转型的核心引擎,是一套以三维信息模型为载体的智能化综合管理系统。它突破了传统建筑行业碎片化的信息管理模式,通过构建高度集成的数字化三维模型,

将建筑工程项目全生命周期内的物理特性、功能特性、行为特性等信息进行深度整合。从项目前期的概念规划、方案设计阶段,到中期的施工建设与安装调试环节,再到后期的运营维护、更新改造阶段, BIM 技术均能将建筑结构的力学参数、建筑设备的运行逻辑、建筑材料的性能指标、施工进度动态计划、成本预算的精细管控等海量数据进行有机融合。

在 BIM 技术的支撑下,建筑行业的设计单位、施工企业、建设单位、运营管理方等多方参与主体,得以在一个统一的数字化平台上实现信息的实时共享与高效交互。各参与方不仅能够依据 BIM 模型进行协同设计、碰撞检测、施工模拟,还能通过对项目数据的深度挖掘与分析,提前预判潜在风险,优化施工方案,合理调配资源。此外,借助 BIM 技术强大的可视化功能,项目管理者可以直观地了解项目进展情况,及时发现并解决问题;而运营维护人员则可通过调取 BIM 模型中的设备信息和维护记录,实现对建筑设施的智能化管理。这种全方位、全过程的项目管理模式,不仅显著提升了建筑工程项目的管理效率和质量,还有效降低了项目成本,推动建筑行业向更加高效、智能、可持续的方向发展。

1.2 BIM 技术的特点

BIM 技术的可视化特点是最显著的优势之一。传

统的建筑图纸往往是二维的,对于一些复杂的建筑结构和空间关系,非专业人员很难理解。而 BIM 技术通过建立三维数字化模型,能够将建筑工程项目的各种信息以直观的方式呈现出来,使各参与方能够更加清晰地了解建筑的整体布局、结构形式和内部构造,从而更好地进行沟通和协作。

BIM 技术实现了建筑工程项目各参与方之间的协同工作。在传统的建筑工程项目管理中,由于各参与方之间信息沟通不畅,往往会出现设计变更、施工冲突等问题,导致工程进度延误和成本增加。而 BIM 技术通过建立共享的数据库,各参与方可以实时获取和更新项目信息,及时发现和解决问题,提高了项目管理的协同效率。

BIM 技术具有强大的模拟功能,可以对建筑工程项目的施工过程、运营维护过程等进行模拟分析。通过模拟,可以提前发现施工过程中可能出现的问题,如施工顺序不合理、施工场地狭窄等,从而采取相应的措施进行优化。同时,在建筑运营维护阶段,也可以通过 BIM 技术对建筑设备的运行情况进行模拟分析,提前预测设备故障,提高设备的维护效率。

BIM 技术能够对建筑工程项目的各种信息进行整合和分析,为项目的优化提供依据。在设计阶段,可以通过 BIM 技术对建筑的结构形式、建筑材料、设备选型等进行优化,提高建筑的性能和经济性。在施工阶段,可以通过 BIM 技术对施工方案、施工进度、资源配置等进行优化,提高施工效率和质量。

2 BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的应用优势

2.1 提高施工进度管理效率

在住宅建筑工程施工过程中,施工进度的控制是施工现场管理的重要内容之一。传统的施工进度管理方式往往依赖于施工计划横道图或网络图,这些图表虽然能够直观地展示施工进度计划,但对于施工过程中的实际进度情况难以进行实时跟踪和调整。而 BIM 技术通过建立施工进度模型,将施工进度计划与三维模型相结合,能够实时反映施工过程中的实际进度情况,及时发现进度偏差并进行调整。同时, BIM 技术还可以对施工过程中的资源需求进行模拟分析,合理安排资源供应,确保施工进度顺利进行。

2.2 提升施工质量管理水平

施工质量是住宅建筑工程的生命线。在传统的施工质量管理中,由于质量信息的收集和整理较为分散,难以对整个施工过程的质量进行全面、有效地监控。而 BIM 技术通过建立质量信息模型,将施工过程中的质量要求、质量检验标准、质量检验记录等信息整合到一个共享的数据库中,实现了对施工质量的全过程管理。同时, BIM 技术还可以通过可视化的方式对施工质量问题进行展示和分析,便于施工人员及时发现和解决质量问题,提高施工质量水平。

2.3 增强施工安全管理能力

施工安全是住宅建筑工程施工现场管理的重中之重。在传统的施工安全管理中,往往依赖于安全规章制度的制定和安全检查的实施,但对于一些潜在的安全隐患难以进行及时发现和预防。而 BIM 技术通过建立安全信息模型,将施工过程中的安全风险因素、安全防护措施等信息整合到一个共享的数据库中,实现了对施工安全的全方位管理。同时, BIM 技术还可以通过模拟施工过程中的安全事故场景,提前制定应急预案,提高施工人员的安全意识和应急处理能力。

2.4 优化资源配置

在住宅建筑工程施工过程中,资源的合理配置是影响施工成本和施工进度的重要因素。传统的资源配置方式往往依赖于人工经验和估算,容易出现资源浪费或资源不足的情况。而 BIM 技术通过建立资源信息模型,将施工过程中的人力、物力、财力等资源信息整合到一个共享的数据库中,实现了对资源的精细化管理。同时, BIM 技术还可以通过模拟分析,优化资源配置方案,提高资源利用效率,降低施工成本。

3 BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的具体应用场景

3.1 施工进度管理

利用 BIM 技术,施工单位可以根据设计图纸和施工方案,建立详细的施工进度模型。在模型中,将各个施工工序按照施工顺序进行合理安排,并设定每个工序的开始时间、结束时间和持续时间。同时,还可以将施工进度计划与三维模型相结合,直观地展示施工过程中的各个阶段和关键节点,便于施工人员理解和执行。

在施工过程中,通过 BIM 技术的实时数据采集功能,将实际施工进度信息与施工进度计划进行对比分析,及时发现进度偏差。如果发现实际进度滞后,施工单位可以通过 BIM 技术分析原因,如资源不足、施工工艺不合理等,并采取相应的措施进行调整,如增加资源投入、优化施工方案等,确保施工进度符合计划要求。

当施工过程中遇到设计变更、不可抗力等因素导致施工进度计划需要调整时,施工单位可以利用 BIM 技术快速对施工进度计划进行调整和优化。通过 BIM 技术的模拟功能,分析不同调整方案对施工进度、成本和质量的影响,选择最优的调整方案,确保施工进度的顺利进行。

3.2 施工质量管理

利用 BIM 技术,将住宅建筑工程施工过程中的质量标准和规范整合到质量信息模型中。施工人员可以通过 BIM 模型随时查阅质量标准和规范要求,确保施工过程符合质量标准。同时, BIM 技术还可以对质量标准和规范进行更新和维护,保证施工人员使用的是最新的质量标准和规范。

在施工过程中,利用 BIM 技术对各个施工工序进行质量检验和验收管理。施工人员在完成一个施工工序后,通过 BIM 技术将质量检验记录上传到质量信息模型中,监理人员可以通过 BIM 模型对质量检验记录进行审核和确认。如果发现质量问题,施工人员可以通过 BIM 技术及时进行整改,确保施工质量符合要求。

当施工过程中出现质量问题时,利用 BIM 技术对质量问题进行分析和处理。通过 BIM 技术的可视化功能,将质量问题的位置、类型和严重程度以直观的方式呈现出来,便于施工人员和管理人员分析质量问题产生的原因。同时, BIM 技术还可以通过模拟分析,制定质量问题的处理方案,并对处理方案的效果进行评估,确保质量问题得到有效解决。

3.3 施工安全管理

利用 BIM 技术,对住宅建筑工程施工过程中的安全风险因素进行识别和评估。通过建立安全信息模型,将施工过程中的各种安全风险因素,如高处坠落、物体打击、触电等,整合到模型中,并对每个安全风险因素的发生概率和危害程度进行评估。根据评估结果,制定相应的安全防护措施和应急预案。

在施工过程中,利用 BIM 技术对安全防护设施进行管理。通过 BIM 技术,将安全防护设施的位置、类型和数量等信息整合到安全信息模型中,并对安全防护设施的安装和使用情况进行实时监控。如果发现安全防护设施存在损坏或未按要求的安装情况,及时进行维修和整改,确保施工人员的人身安全。

利用 BIM 技术,开展施工人员的安全教育与培训工作。通过建立虚拟施工场景,利用 BIM 技术的模拟功能,对施工过程中的安全事故场景进行模拟演示,让施工人员更加直观地了解安全事故的危害和预防措施。同时, BIM 技术还可以对施工人员的安全教育与培训情况进行记录和管理,确保施工人员接受了全面、系统的安全教育与培训。

3.4 资源管理

利用 BIM 技术,对住宅建筑工程施工过程中的人力资源进行管理。通过建立人力资源信息模型,将施工人员的基本信息、技能水平、工作任务等信息整合到模型中,并对施工人员的工作安排和工作进度进行实时监控。根据施工进度和工作任务的需要,合理调配人力资源,提高人力资源利用效率。

在施工过程中,利用 BIM 技术对材料进行管理。通过建立材料信息模型,将材料的规格、型号、数量、采购计划、进场时间等信息整合到模型中,并对材料的采购、运输、存储和使用情况进行实时监控。根据施工进度和材料需求计划,合理安排材料采购和供应,避免材料浪费和积压。

利用 BIM 技术,对住宅建筑工程施工过程中的机械

设备进行管理。通过建立机械设备信息模型,将机械设备的型号、性能、数量、使用计划、维护记录等信息整合到模型中,并对机械设备的使用和维护情况进行实时监控。根据施工进度和机械设备需求计划,合理调配机械设备,确保机械设备的正常运行,提高机械设备利用效率。

4 BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中应用面临的挑战

4.1 技术标准不统一

目前, BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的应用还处于发展阶段,不同的 BIM 软件之间存在技术标准不统一的问题。这导致在数据交换和共享过程中,容易出现数据丢失、数据格式不兼容等问题,影响了 BIM 技术的应用效果。因此,需要尽快制定统一的 BIM 技术标准,促进 BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的广泛应用。

4.2 专业人才短缺

BIM 技术的应用需要既懂建筑专业知识又懂信息技术的复合型人才。然而,目前我国建筑行业这类复合型人才短缺,施工人员对 BIM 技术的掌握程度较低,难以充分发挥 BIM 技术的优势。因此,需要加强对 BIM 技术专业人才的培养,提高施工人员的 BIM 技术应用能力。

4.3 应用成本较高

BIM 技术的应用需要投入一定的硬件设备、软件授权费用以及人员培训费用等,应用成本较高。对于一些中小型住宅建筑企业来说,难以承担这些费用,限制了 BIM 技术在这些企业中的应用。因此,需要进一步降低 BIM 技术的应用成本,提高 BIM 技术的性价比,促进 BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的普及应用。

4.4 数据安全问题

在 BIM 技术应用过程中,涉及到大量的建筑工程项目信息,如设计图纸、施工进度计划、成本预算等,这些信息的安全至关重要。然而,目前 BIM 技术的数据安全保障体系还不够完善,存在数据泄露、数据篡改等安全风险。因此,需要加强 BIM 技术的数据安全管理,建立健全的数据安全保障体系,确保建筑工程项目信息的安全。

5 结论

综上所述, BIM 技术作为一种先进的数字化管理手段,在住宅建筑工程施工现场管理中具有广阔的应用前景。通过应用 BIM 技术,能够有效提高施工进度管理效率、提升施工质量管理水平、增强施工安全管理能力、优化资源配置,从而提高住宅建筑工程施工现场管理的整体水平。然而, BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的应用还面临着技术标准不统一、专业人才短缺、应用成本较高、数据安全问题等挑战。为了充分发挥 BIM 技术的优势,推动 BIM 技术在住宅建筑工程施工现场管理中的广泛应用,需要政府、企业和社会各方共同努力,制定统一的技术标准、加强专业

人才培养、降低应用成本、加强数据安全。相信随着 BIM 技术的不断发展和完善，其在住宅建筑工程施工现场管理中的应用将会越来越广泛，为住宅建筑行业的发展做出更大的贡献。

[参考文献]

- [1]王学军,袁绍超,赵相军.BIM 技术在建筑工程施工现场管理中的应用[J].门窗,2024(21):37-39.
[2]唐龙.BIM 技术在建筑施工现场管理中的运用实践解析[J].中国住宅设施,2025(1):76-78.

[3]张志云.BIM 技术在建筑工程现场施工管理中运用分析[J].中国住宅设施,2024(8):47-49.

[4]樊刚.BIM 技术在建筑施工现场管理中的应用[J].建材发展导向,2024,22(12):61-63.

[5]孟庆明.基于 BIM 技术在土建现场施工管理工作中的探索与思考[J].大众标准化,2024(4):1.

作者简介：孙乐添（1997.6—），男，学历：本科，毕业院校：山东农业大学，所学专业：城市管理，目前职称：助理工程师。

工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构研究与应用

徐华中

安徽建工交通航务集团有限公司，安徽 阜阳 236000

[摘要] 本篇文章针对工业厂房楼（屋）面在重荷载作用下变形缝结构的设计与工程应用展开系统研究。通过分析重荷载对结构变形的影响机制，结合材料力学与结构设计理论，提出了一种优化的变形缝结构方案。研究重点包括变形缝的构造设计、材料选型、施工工艺及耐久性测试，并基于实际工程案例验证其有效性。结果表明，该结构方案显著提升了楼（屋）面在重荷载下的变形适应能力，有效降低结构开裂与沉降风险，降低了生产成本，同时为工业建筑的安全性及使用寿命提供了可靠保障。本研究成果可为同类工程设计提供理论参考与实践指导。

[关键词] 重荷载变形缝；结构设计优化；工业厂房；变形控制；应用案例

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16618

中图分类号: U451

文献标识码: A

Research and Application of Heavy Load Deformation Joint Structure in Industrial Factory Buildings (Roofs)

XU Huazhong

Anhui Construction Engineering Traffic and Shipping Group Co., Ltd., Fuyang, Anhui, 236000, China

Abstract: This article conducts a systematic study on the design and engineering application of deformation joint structures in industrial factory buildings (roofs) under heavy loads. By analyzing the influence mechanism of heavy loads on structural deformation and combining material mechanics and structural design theory, an optimized deformation joint structure scheme is proposed. The research focuses on the structural design, material selection, construction technology, and durability testing of deformation joints, and verifies their effectiveness based on actual engineering cases. The results show that this structural scheme significantly improves the deformation adaptability of the building (roofs) under heavy loads, effectively reduces the risk of structural cracking and settlement, lowers production costs, and provides reliable guarantees for the safety and service life of industrial buildings, which can provide theoretical reference and practical guidance for similar engineering designs.

Keywords: heavy load deformation joint; structural design optimization; industrial plant; deformation control; application cases

引言

工业厂房作为现代工业生产的重要载体，其结构安全性和耐久性直接关系到生产的顺利进行和企业的经济效益。随着工业生产的不断发展，工业厂房的规模和复杂性也在不断增加，尤其是在重荷载作用下，楼（屋）面的变形控制成为了一个重要的技术难题。变形缝作为解决结构变形问题的关键构造，其设计和施工质量直接影响到厂房的整体性能。本文通过对工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构的深入研究，提出了一种优化的变形缝结构方案，并结合实际工程案例验证其有效性。

1 技术要点及施工工艺

1.1 现状应用分析

工业厂房一般单层占地面积大，为解决沉降不均匀问题，伸缩缝是其不可或缺的特殊构造。不同楼层、不同分区，使用功能不同，伸缩缝构造不同。尤其是混凝土结构工业厂房，不同于传统钢结构厂房，一般是多层建筑。这就会涉及到更多的使用功能，针对不同使用功能楼面的伸缩缝，设计单位一般都是按照图集通用做法，对于一些有

特殊要求的部位，实际应用效果并不理想。

1.1.1 传统伸缩缝构造的局限性

在传统的工业厂房设计中，伸缩缝的构造主要基于经验公式和通用图集。然而，这些设计方法往往无法满足现代工业厂房在重荷载条件下的特殊需求。例如，在重荷载作用下，传统伸缩缝可能会出现变形过大、结构开裂等问题，影响厂房的正常使用和结构安全。此外，传统伸缩缝的施工工艺较为复杂，施工质量难以保证，也增加了工程成本。

1.1.2 现代工业厂房对伸缩缝的新要求

随着工业生产的现代化和自动化程度不断提高，工业厂房的使用功能也日益复杂。例如，许多厂房需要同时满足停车、物流运输、设备安装等多种功能。这就要求伸缩缝不仅能够承受重荷载，还要具备良好的变形适应能力、防水性能和耐久性。此外，为了降低工程成本，伸缩缝的构造设计还需要考虑施工的便捷性和材料的经济性。

1.2 功能构造分析

针对不同部位，不同类型的伸缩缝构造，对其主要使

用功能部件进行研究、分析和优化:在满足其功能或者建设单位特殊要求的前提下,加工方便、施工方便、同时节约成本,达到降本增效的目的。

重荷载楼面(停车屋面)伸缩缝结构在不同部位伸缩缝构造中,楼面及屋面伸缩缝构造最为复杂。其中重荷载楼面(停车屋面)尤为复杂。此伸缩缝构造充分利用现浇混凝土结构作为重荷载的传力路径,同时自身需有抵抗重荷载压力不变形的能力,同时不引起伸缩缝周边混凝土结构开裂变形,如图1所示。



图1 停车屋面伸缩缝构造——工字钢及盖板

1.3 技术实施方式

1.3.1 盖板(缓冲结构层)

首先,楼面一般会有AGV机器人,部分厂房楼面或有小型叉车行驶,在此类伸缩缝构造优化设计中,一般会在盖板下安装防震胶板作为缓冲层,确保通过伸缩缝构造时能够平稳行驶。优化设计思路:在盖板下安装防震胶板作为缓冲层,不仅可以有效吸收车辆行驶时产生的冲击力,还能减少对伸缩缝结构的直接压力。防震胶板的厚度和材质选择需要根据实际荷载情况进行优化,以确保其在长期使用中的性能稳定性。

施工工艺:(1)在盖板下表面均匀涂抹一层黏结剂,确保防震胶板与盖板紧密贴合。(2)防震胶板安装完成后,进行平整度检查,确保其表面平整,无明显凸起或凹陷。

(3)在盖板与伸缩缝两侧的混凝土结构之间预留一定的间隙,以适应结构的变形需求,如图2和3所示。



图2 楼面伸缩缝构造实体

1.3.2 支撑结构(附拉结构)

在整个构造受力过程中,有承上启下的作用。对于楼面,考虑到地坪混凝土厚度问题,在此优化设计中选择角钢。在停车、行车屋面结构中,可以根据屋面混凝土厚度选择支撑载体,比如14#工字钢。优化设计思路:支撑结构的选择需要综合考虑其承载能力和施工便利性。角钢和工字钢作为常用的支撑材料,具有较高的强度和良好的稳定性。在设计中,需要根据实际荷载情况和混凝土厚度,选择合适的支撑结构尺寸,并进行详细的力学计算,以确保其在重荷载下的安全性和可靠性。施工工艺:(1)支撑结构与原混凝土结构之间采用焊接或螺栓连接的方式进行固定,确保其连接牢固可靠。(2)在支撑结构与混凝土结构之间设置拉结筋,以增强整体结构的稳定性。(3)对于支撑结构的焊接部位,需要进行严格的质量检查,确保焊接质量符合设计要求。

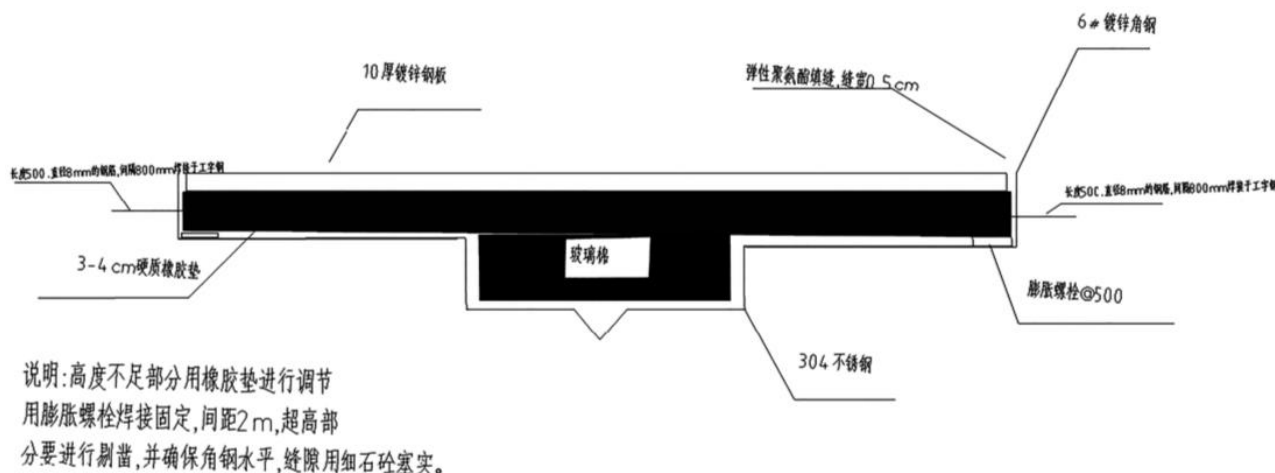


图3 楼面伸缩缝构造设计

1.3.3 底板（楼面上部包含防火棉）

屋面伸缩缝构造中的底板兼顾防水、排水的作用。以防为主，排为辅。优化设计思路：底板的设计需要同时满足防水和排水的要求。在防水方面，采用高质量的防水材料，并确保防水层的施工质量；在排水方面，合理设置排水坡度和排水口，确保雨水能够顺利排出，避免积水对结构造成损害。施工工艺：（1）在底板上表面铺设防水层，防水层的厚度和材质需要根据实际需求进行选择。（2）防水层施工完成后，进行闭水试验，检查防水层的防水效果。（3）在底板上设置排水坡度和排水口，排水坡度一般为1%~2%，排水口的设置需要根据屋面面积和排水需求进行合理布局，如图4所示。



图4 屋面伸缩缝构造底板（附落水口）实体

1.3.4 防震胶板的性能测试

在优化设计中，防震胶板的性能对于伸缩缝结构的整体性能至关重要。因此，对防震胶板进行了详细的性能测试，以确保其能够满足实际使用需求。

测试内容：

（1）抗压性能测试：测试防震胶板在不同荷载下的抗压性能，确保其在重荷载作用下不会发生明显变形。

（2）抗冲击性能测试：模拟车辆行驶时的冲击力，测试防震胶板的抗冲击性能，确保其能够有效吸收冲击力。

（3）耐久性测试：进行长期疲劳测试，评估防震胶板在长期使用中的性能稳定性。

测试结果：

经过一系列性能测试，所选用的防震胶板在抗压、抗冲击和耐久性方面均表现出良好的性能，能够满足工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构的实际使用需求。

1.3.5 支撑结构的有限元分析

为了确保支撑结构在重荷载下的安全性和可靠性，对角钢和工字钢支撑结构进行了有限元分析。

分析内容：

（1）应力分析：通过有限元模型计算支撑结构在不同荷载下的应力分布，确保其最大应力不超过材料的许用应力。

（2）变形分析：分析支撑结构在不同荷载下的变形

情况，确保其变形量在允许范围内。

（3）稳定性分析：评估支撑结构在重荷载作用下的稳定性，防止发生失稳现象。

分析结果：

有限元分析结果表明，所选用的角钢和工字钢支撑结构在重荷载作用下具有足够的强度和稳定性，能够满足工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构的实际使用需求。

1.3.6 底板的防水性能测试

底板作为屋面伸缩缝构造的重要组成部分，其防水性能对于整个结构的耐久性和安全性至关重要。因此，对底板进行了防水性能测试。

测试内容：

（1）防水层黏结强度测试：测试防水层与底板之间的黏结强度，确保防水层在长期使用中不会发生剥离。

（2）防水层抗渗性能测试：进行抗渗性能测试，评估防水层的防水效果。

（3）防水层耐久性测试：进行长期老化测试，评估防水层在长期使用中的耐久性。

测试结果：

经过防水性能测试，底板所选用的防水层在黏结强度、抗渗性能和耐久性方面均表现出良好的性能，能够满足工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构的实际使用需求。

1.4 细部构造

楼面伸缩缝角钢与原混凝土结构连接固定以及翼部焊接的拉结筋，与地坪混凝土浇筑后形成有效拉结。优化设计思路：楼面伸缩缝的细部构造需要确保其与原混凝土结构的有效连接，以增强整体结构的稳定性。拉结筋的设置可以有效防止伸缩缝在受力过程中发生位移或变形。

施工工艺：（1）在角钢与混凝土结构的连接部位，采用焊接或螺栓连接的方式进行固定。（2）拉结筋的设置需要按照设计要求进行，确保其间距和长度符合要求。（3）在地坪混凝土浇筑过程中，需要对拉结筋进行保护，避免其受到损坏。

屋面伸缩缝注重防水、排水效果。首先在各部件安装时，每道工序以防水为主线，排水为辅，尤其是焊接时不得破坏防水层，防水层要上翻至盖板翼缘下部。优化设计思路：屋面伸缩缝的防水和排水设计是其关键环节。防水层的施工质量直接影响到屋面的防水效果，而排水设计则需要确保雨水能够顺利排出，避免积水对结构造成损害。

施工工艺：（1）在各部件安装过程中，严格控制防水层的施工质量，确保防水层的完整性。（2）防水层的上翻高度需要符合设计要求，一般为100mm~150mm。（3）在焊接过程中，需要采取保护措施，避免焊接火花对防水层造成破坏。

支撑结构与后浇混凝土结构之间需增设胀缝以满足不同材质结构之间的变形需求，胀缝通过灌注柔性材料密封，

胀缝宽度位于 10mm~20mm 之间为宜。优化设计思路：胀缝的设置是为了满足不同材质结构之间的变形需求，防止因温度变化或荷载作用导致结构变形不协调而产生裂缝。柔性材料的灌注可以有效填充胀缝，确保其密封性能。

楼面伸缩缝的细部构造对于整个结构的稳定性和安全性具有重要影响。因此，对细部构造进行了优化设计。

优化内容：

(1) 角钢与混凝土结构的连接方式：优化角钢与混凝土结构的连接方式，采用焊接和螺栓连接相结合的方式，提高连接强度和可靠性。

(2) 拉结筋的设置：优化拉结筋的设置位置和间距，确保其在受力过程中能够有效防止伸缩缝发生位移或变形。

(3) 胀缝的设置：优化胀缝的设置位置和宽度，确保其能够满足不同材质结构之间的变形需求，防止因温度变化或荷载作用导致结构变形不协调而产生裂缝。

优化结果：

经过优化设计，楼面伸缩缝的细部构造在连接强度、稳定性和变形适应能力方面均得到显著提升，能够满足工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构的实际使用需求。

2 技术应用情况及前景

工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构是在充分研究国内工业厂房变形缝结构通用做法的前提下，并重点结合实际效果的应用前景，独立设计研发的一套基于楼（屋）面伸缩缝的构造系统。结合现有的实际情况，利用此构造系统可推广至更多的重荷载变形缝结构，比如某些桥梁、工业办公楼等等。

对于一些非重荷载的伸缩缝结构，亦可通过此类构造系统，通过对各工序中涉及的材料进行优化（减弱），达到设计目的，同时达到降本增效的目的。

先后在厂区内启动调研，在两个厂房项目先后完成技术验证和试用推广。该构造通过和设计单位、监理单位以及建设单位反复比选、论证后实施，达到了预期的设计意图和效果，得到项目人员的一致认可。

2.1 技术应用情况

工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构在实际工程中的应用情况表明，该结构方案显著提升了楼（屋）面在重荷载下的变形适应能力，有效降低了结构开裂和沉降的风险，降低了生产成本，同时为工业建筑的安全性和使用寿命提供了可靠保障。

应用案例 1：某大型工业厂房项目

在某大型工业厂房项目中，采用了本文提出的重荷载变形缝结构方案。通过对项目实施过程中的监测数据进行分析，结果表明，该结构方案在重荷载作用下表现出良好的变形适应能力，有效避免了结构开裂和沉降现象的发生。

同时，该结构方案的施工便捷性也降低了工程成本，取得了良好的经济效益。

应用案例 2：某物流中心项目

在某物流中心项目中，由于需要同时满足停车、物流运输等多种功能，对楼（屋）面的变形控制要求较高。采用本文提出的重荷载变形缝结构方案后，项目在投入使用过程中表现出良好的性能，确保了物流运输的顺利进行。此外，该结构方案的防水和排水性能也得到了验证，有效避免了屋面积水现象的发生。

2.2 技术应用前景

工业厂房楼（屋）面重荷载变形缝结构的技术应用前景广阔。结合现有的实际情况，该构造系统可推广至更多的重荷载变形缝结构，如桥梁、工业办公楼等。此外，对于一些非重荷载的伸缩缝结构，亦可通过此类构造系统，通过对各工序中涉及的材料进行优化（减弱），达到设计目的，同时达到降本增效的目的。

随着工业生产的现代化和自动化程度不断提高，工业厂房的使用功能将日益复杂，对变形缝的性能要求也将越来越高。本文提出的重荷载变形缝结构方案具有广泛的应用前景和推广价值，为同类工程设计提供了理论参考与实践指导。

3 结论

本文针对工业厂房楼（屋）面在重荷载作用下变形缝结构的设计与工程应用展开了系统研究。通过分析重荷载对结构变形的影响机制，结合材料力学与结构设计理论，提出了一种优化的变形缝结构方案。研究重点包括变形缝的构造设计、材料选型、施工工艺及耐久性测试，并基于实际工程案例验证其有效性。

结果表明，该结构方案显著提升了楼（屋）面在重荷载下的变形适应能力，有效降低了结构开裂与沉降风险，降低了生产成本，同时为工业建筑的安全性与使用寿命提供了可靠保障。本研究成果可为同类工程设计提供理论参考与实践指导。

【参考文献】

- [1]李志军,禹豪,张双杰,等.地下结构变形缝橡胶止水带-MPS 接头防水性能与力学行为分析[J].科技通报,2025,41(2):39-47.
 - [2]付文强.房建工程混凝土结构开裂成因与变形缝修复技术研究[J].佛山陶瓷,2024,34(10):39-41.
 - [3]冷祥平.房建施工结构变形缝施工技术要点问题探究[J].新城建科技,2024,33(4):108-110.
- 作者简介：徐华中（1988.8—），汉族，安徽安庆市人，在职研究生学历，工程师职称，主要研究方向包括装配式建筑施工、工业厂房、建筑施工技术、建筑装饰施工、深基坑支护及防水等。

地基基础检测方法的工程实践及效果评估

张 欢

衡水市建设工程质量检测中心有限责任公司，河北 衡水 053000

[摘要]地基基础作为建筑工程稳定性以及安全性的重要组成部分,其检测方法的科学性与有效性会对工程质量以及施工效率产生直接影响。围绕常用地基基础检测方法展开全面梳理,深入剖析岩心钻探、地质雷达、静力触探、标准贯入以及平板载荷试验等主流技术,并且结合工程实践,从适用条件、施工流程、数据处理与判读等方面对其应用效果予以评估。通过对各方法精度与可靠性的对比分析,探讨检测手段在实际工程中的优势以及不足,进而给出优化建议与发展趋向,为提高地基基础检测水平、保障工程质量给予理论支撑与技术参照。

[关键词]地基基础检测;检测方法;工程实践;效果评估

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16616

中图分类号: TU712.3

文献标识码: A

Engineering Practice and Effect Evaluation of Foundation Testing Methods

ZHANG Huan

Hengshui Construction Engineering Quality Testing Center Co., Ltd., Hengshui, Hebei, 053000, China

Abstract: As an important component of the stability and safety of construction projects, the scientific and effective testing methods of foundation will have a direct impact on the quality and construction efficiency of the project. A comprehensive review will be conducted on commonly used foundation testing methods, with in-depth analysis of mainstream technologies such as core drilling, geological radar, static penetration testing, standard penetration testing, and plate load testing. Combined with engineering practice, the application effects will be evaluated from the aspects of applicable conditions, construction processes, data processing, and interpretation. By comparing and analyzing the accuracy and reliability of various methods, this paper explores the advantages and disadvantages of detection methods in practical engineering, and provides optimization suggestions and development trends, providing theoretical support and technical reference for improving the level of foundation detection and ensuring engineering quality.

Keywords: ground foundation testing; testing methods; engineering practice; effect evaluation

引言

地基基础作为建筑荷载传递的关键环节,其性能直接关系到上部结构的安全与稳定情况。随着城市化进程的不断加速以及基础设施建设范围的持续拓展,地基方面的问题日益变成制约工程质量的重要因素之一。科学且高效的检测方法在地基工程当中有着不可取代的作用。虽说传统方法在实际操作过程中积累了不少经验,然而在精度以及数据处理这些方面依旧存在着一定的不足之处。近些年来,检测技术一直在不断地更新换代,智能化手段也逐渐开始得到应用,这使得检测效率以及准确性都得到了明显的提升。全面且细致地梳理常用的地基检测方法,同时结合工程实践来对其效果加以评估,并且提出相应的优化建议,以此为相关工程给予理论层面的支持以及技术方面的参考。

1 地基基础的工程特性

地基基础属于结构体系里的一种承重系统,它把上部建筑和下部土体给连接到了一起,它的主要作用是把建筑物所承受的荷载均匀地传送到天然地基或者是经过人工处理过的地基之上。其工程特性涵盖承载力、沉降特性还有抗剪强度等方面,而这些参数会受到土体类型、水文地

质条件、荷载形式以及施工方法等诸多因素的影响。软弱地基有着比较大的压缩性以及沉降性,通常会被应用于建筑高度相对较低、荷载也比较轻一些的工程当中,相反,像密实的砂土或者碎石土这类情况,则更适用于重型结构或者是高层建筑。在实际的工程建设过程中,地基基础系统有可能因为荷载分布不均、土质出现变化或者是在施工过程中产生扰动等原因,进而引发沉降差异、倾斜、裂缝甚至是失稳等一系列问题。所以说,科学且严谨地去评估地基基础的工程特性,对于保障结构的安全、对变形加以控制以及对设计方案予以优化而言,有着极为重要的意义。

2 常用地基基础检测方法

2.1 岩心钻探法

岩心钻探是一种常见的地基基础检测方法,它通过钻探设备将钻孔钻进地下,然后取出土样进行分析,进而评估地基的承载能力和稳定性。岩心钻探的设备包括钻机、钻杆和取芯器等。在进行岩心钻探前,需要进行现场勘察,确定需要钻取的位置和钻孔深度。钻孔完成后,取芯器进入钻孔,取出土样进行室内分析。直接获取地下土层信息:岩心钻探通过取得岩心样本,可以直接观察和分析地下土

层的岩石类型、结构和物理性质等信息。通过对岩心样本的分析和试验,可以评估地基的承载能力和稳定性。例如,可以通过对土壤和岩石样本的比重、孔隙比、抗压强度等参数的测试,判断地基的稳定性和承载能力是否满足设计要求。

2.2 地质雷达探测技术

地质雷达属于一种凭借电磁波反射原理来运作的无损检测技术,它是通过发射出高频电磁波,并且接收该电磁波在地下不同介质界面上所产生的反射信号,进而获取到地层结构、土层厚度以及地下障碍物等相关方面的信息。此技术有着非接触、速度快、分辨率高等诸多优点,是适合于大面积且为浅层地基展开快速勘察的一种技术。在实际的应用过程当中,地质雷达能够用于识别地层界面、探测埋设物以及评估地基均匀性等方面,特别在交通、桥梁、地下管线等工程领域,它展现出了良好的适应性。不过其检测精度会受到土壤含水率、电导率以及信噪比等因素的影响,在湿润且导电性强的土壤环境下,可能会出现信号衰减的情况,进而使得成像质量降低。即便如此,伴随着数据采集系统以及图像处理算法的不断发展,地质雷达在复杂地质条件之下的解析能力也在持续提升,正逐渐成为地基基础工程当中的重要辅助手段。

2.3 静力触探试验(CPT)

静力触探试验属于一种可直接对土体物理力学性质加以评价的原位测试手段。具体操作是把圆锥形探头按照恒定的速率压进土体当中,持续去测量像锥阻力、侧壁摩阻力还有孔压这类参数,之后凭借这些测量数据来推算出土层类型、相对密实度、地基承载力以及液化潜势等相关指标。此方法有着较强的原位特性、很好的连续性以及较高的数据精度等优点,尤其在软弱土层、砂土以及填土区域等地基检测方面适用性颇高。在实际应用期间,静力触探设备自身结构较为紧凑,操作起来也比较便捷,即便是在狭小或者受到限制的场地也能够顺利完成检测任务,如此一来便使得地基调查所涉及的覆盖范围得以拓展,工作效率也得到了提升^[1]。不过,它的有效检测深度往往会受到设备能力以及土层条件的限制,并且对于砂卵石这类坚硬土体而言,其穿透能力是比较差的。当下,那种结合了电阻率测量、剪切波速测试等多种参数集成技术的CPTU系统已经被广泛运用起来,从而能够为地基基础工程赋予更为丰富且精确的地质相关信息。

2.4 标准贯入试验(SPT)

标准贯入试验属于一种在地基土性评价领域被广泛运用的动力击入类原位测试方式。在试验开展的过程当中,借助自由落锤去击打标准贯入器,并且要将把贯入器打入土层达到30cm时所需要的击数也就是N值给记录下来,进而凭借此来对土体的密实程度、抗剪强度以及承载能力等一系列工程参数加以估算。SPT的操作流程较为简

单,所使用的设备通用性也很强,能够适用于各类土层,在判别砂土的液化潜能以及评估地基的承载力等方面有着广泛的运用。不过,该方法是以间断性的方式进行取样的,其所得的数据会受到人为操作情况、设备所处的状态以及土体是否受到扰动等诸多因素的影响,所以在重复性以及准确性这两方面都存在着一定的局限。即便如此,因为其有丰富的历史数据积累,而且方法的标准化程度颇高,所以SPT依旧作为地基检测当中的基础性方法,常常会和静力触探、钻探采样等其他手段一同联合起来使用,以此来促使检测工作的全面性以及科学性得以提升。

2.5 平板载荷试验

平板载荷试验属于一种现场测试的方法,它是借助在地面或者基坑底部施加静力荷载,然后去测量土体沉降的响应情况,以此来对地基的变形特性以及承载能力加以评估。此项试验一般会在回填土或者是天然地基之上开展,通过运用刚性加载板还有液压加载系统,把压力按照等级逐步施加到地基的表面,并且同时要测定在各级荷载之下的沉降值。这种方法能够较为直观地呈现出地基在实际荷载作用之下所表现出来的变形行为,称得上是评估浅基础或者经过处理的地基性能的一种颇为重要的手段。其检测所得的结果会受到板尺寸、加载方式以及土层扰动等因素比较大的影响,通常仅仅能够代表局部地基的承载力,适合应用于场地代表性较强的区域。尽管它的测试周期相对较长,成本也相对偏高,然而由于其结果与实际工况较为贴近,所以常常会被当作是验证其他检测方法结果的参考依据,对于关键工程或者是在复杂地质条件之下的地基性能判定而言,有着极为重要的意义。

3 地基检测方法在工程实践中的应用

3.1 不同检测方法的适用条件与技术特点

各类地基检测方法在适用范围、技术原理以及数据表现等方面都各不相同,科学且合理地选择检测手段是保证工程质量以及施工效率的基础。岩心钻探法可应用于多种复杂的土层与岩层当中,尤其是在需要获取深部的原状样本并且对其进行物理力学性质分析的时候,这种方法会呈现出较为明显的优势。该方法借助钻探来提取连续的岩心样本,如此一来便于对地层结构、岩性变化以及地下水分布状况做出细致的判断,进而为后续地基承载力和稳定性的评估给予可靠的依据。地质雷达探测技术比较适合针对地表以下的浅层结构展开快速且无损的扫描,对于那些对介电常数变化较为敏感的目标体,像是地下空洞、埋设的管线以及含水层等,都有着不错的探测能力,其成像较为直观,对施工的干扰也较小,不过却受到干扰环境以及探测深度的限制。静力触探试验(CPT)拥有良好的数据连续性以及较高的分辨率,能够实时地反映出土层的变化情况,适用于软土、粉质黏土这类弱承载力地层的工程性质分析,是高层建筑地基评估当中常用的一种技术手段。

标准贯入试验（SPT）作为一种传统的且广泛被应用的检测方式，在多数天然地层里均是可以实施的，特别适用于中密砂土和粉土层，通过锤击取样并获得贯入击数，以此间接地推算出地基的承载性能。平板载荷试验则是通过对现场土体进行直接加载测试其变形响应，虽然试验的周期较长、设备的要求也较高，但是其测试结果直观且可靠，是检验理论计算成果与实际地基反应是否相符合的重要手段。在实际的工程当中，应当依据地质条件、检测深度的需求、技术能力、成本预算以及施工周期等诸多因素来综合地选取检测方法，必要的情况下可采用多种方法联合起来应用，以此实现对地基土层结构和力学特性从全方位地掌握，从而为地基处理以及基础设计提供科学的依据，确保工程的安全性以及经济性。

3.2 检测数据的采集、处理与判读

检测数据的质量会对地基性能评估以及基础设计的科学性产生影响，在采集数据的过程中，要使用标准仪器并且按照规范的操作流程来操作，以此保证原始数据的真实性与可靠性。在数据处理阶段，需要依据不同方法各自的特点，选用与之相应的图表分析、数值计算或者模型反演技术，比如对 SPT 数据的 N 值进行换算、对 CPT 结果进行土层分类以及绘制承载力曲线、对雷达信号开展成像分析等等。在判读数据的时候，应当把地质背景、现场实况以及历史数据综合起来加以判断，防止因为孤立地解读数据而使得得出的结论出现偏差。现代的检测系统通常都会配备自动采集与处理模块，通过结合人工智能以及大数据技术，能够提高分析的效率与准确性，推动地基检测朝着智能化、数字化的方向不断发展。

4 检测效果评估与方法对比

4.1 检测精度与可靠性评价指标

检测精度以及可靠性乃是评估检测方法好坏与适用性的关键指标所在。其中，精度主要是指参数测定所呈现出的准确性以及重复性这两个方面，其会受到设备性能、操作方法、土层扰动还有环境条件等诸多因素的影响；而可靠性则涉及到检测结果对于实际工程性能所具有的代表性以及能够发挥出来的指导价值。在工程实践过程当中，一般会采用标准差、偏差率、数据离散性等一系列统计指标来对检测精度加以评估，并且还会通过将检测结果与其他相关结果如对比验证、荷载试验、结构变形监测等所得出的结果相互对比，以此来判断其一致性程度进而对可靠性做出判断^[2]。那些精度和可靠性都比较高的检测手段，尽管其成本往往偏高，不过在重大工程、复杂地质或者高风险区域当中应用起来所体现出的价值却是十分突出的。

4.2 各方法在实际应用中的优缺点分析

不同地基检测方法在技术原理、适用范围、操作难度以及数据解读等方面存在差异。岩心钻探能够给出直观土

样与丰富实验数据，然而其施工周期较长且扰动程度较大；地质雷达检测速度较快、覆盖范围较广，不过信号会受到水分和介质的影响；静力触探数据是连续的，参数较为丰富，适宜进行精细分析，却不适用于硬土或者卵石层；标准贯入试验这种方法比较成熟，适用范围广泛，不过精度相对来讲较低；平板载荷试验直观且可靠，可是成本较高，周期也较长。常常依据工程的需求来选择一至两种主要的方法，并且辅以其他手段来对结果进行验证与补充，以此达成检测效果的最优化。

4.3 检测结果与工程要求的符合性评估

地基检测最终要达成的目标是要给基础设计以及施工给予可靠的依据，所以其检测结果务必要能够满足工程在安全方面、稳定性方面以及经济性等方面所提出的综合要求。符合性评估主要涵盖将检测数据和设计参数进行对比这一环节，还有针对地基承载力以及变形性能做出符合性方面的判断，另外也要涉及对不良地质现象加以识别并给出相应的处理建议。要是检测结果出现明显偏离设计要求的情况，那就要及时对基础方案做出调整，或者采取像加固、换填这类的处理办法^[3]。在实际的操作过程中，还需要借助结构变形监测、桩基静载试验等等手段来开展事后验证工作，以此来保证设计所做的假设能够和现场的实际状况相吻合。完整、准确且科学的检测成果，乃是保障地基工程质量最为关键的前提条件以及核心要素。

5 结语

地基基础检测属于工程建设前期以及质量控制阶段极为关键的一个环节，其对于确保结构安全以及提高设计科学性有着十分重要的作用。对常用的检测方法加以系统地梳理，并且对其实践效果予以评估之后可以发现，各种技术手段在不同的工程条件之下都存在着互补的优势，所以需要依据具体的实际需求来科学地去选择以及组合应用这些技术手段。在未来，随着智能化检测设备得到更为广泛的运用，同时数据处理的能力也在不断地持续提升，地基检测将会变得更加精细、更加高效并且更加智能。在地基检测这个领域持续不断地开展研究以及进行技术创新，这将会对推动岩土工程质量保障体系的不断完善起到帮助作用，也有助于促使工程建设朝着高质量的方向不断发展进步。

〔参考文献〕

- [1]莫尚映.地基基础检测方法的工程实践及效果评估[J].四川水泥,2024(6):163-165.
 - [2]谢光明.地基基础检测中的常见问题及解决对策[J].建材发展导向,2022,20(12):34-36.
 - [3]杨汉臣.建筑地基基础检测方法和检测中应关注的要点问题研究[J].中国建筑金属结构,2021(12):95-96.
- 作者简介：张欢（1991.7—）学历：本科，毕业院校：燕山大学，所学专业：土木工程，目前职称：工程师。

大数据视角下的建筑施工智慧管理研究

水李勇

浙江古韵建设有限公司, 浙江 宁波 315111

[摘要]随着建筑行业持续发展, 施工项目变得日益复杂起来, 传统的管理方式已经很难满足现代建筑对于效率以及质量方面的要求了。大数据技术应运而生, 其给施工管理带来了全新的手段, 能够借助收集并分析众多施工数据, 以此提升管理效率以及决策水准。当下, 大数据在施工管理当中的应用正逐步开展开来, 然而依旧存在着像应用意识不够充足、数据处理不够及时、缺少专业人才等一系列问题。文章从大数据这一角度着手, 剖析当前建筑施工智慧管理的实际状况, 以便为后续进一步优化管理给予一定的参考。

[关键词]大数据视角; 建筑施工; 智慧管理

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16605

中图分类号: TU721.2

文献标识码: A

Research on Intelligent Management of Construction from the Perspective of Big Data

SHUI Liyong

Zhejiang Guyun Construction Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315111, China

Abstract: With the continuous development of the construction industry, construction projects have become increasingly complex, and traditional management methods are no longer able to meet the efficiency and quality requirements of modern architecture. The emergence of big data technology has brought new means to construction management, which can improve management efficiency and decision-making level by collecting and analyzing numerous construction data. At present, the application of big data in construction management is gradually developing, but there are still a series of problems such as insufficient application awareness, untimely data processing, and lack of professional talents. The article starts from the perspective of big data and analyzes the actual situation of intelligent management in construction, in order to provide some reference for further optimization of management in the future.

Keywords: big data perspective; construction of buildings; intelligent management

引言

随着信息技术迅猛发展起来, 大数据已然成为新一代信息技术当中极为重要的一部分, 其正对传统建筑施工管理模式产生着颇为深刻的改变。建筑施工项目本身有着复杂性以及多变性的特点, 这就涉及到大量数据的生成与实际应用, 像施工进度、质量、安全、成本还有人员管理等诸多方面都涵盖其中。传统的施工管理手段大多依靠经验以及人工操作来开展, 可面对海量且多样化的数据所带来的种种挑战时, 往往难以有效应对, 进而使得信息孤岛的现象变得十分严重, 管理效率也比较低, 决策也缺少科学依据。而大数据技术的引入给建筑施工智慧管理带来了全新的机遇, 借助对施工全过程所产生的海量数据展开实时采集、存储、分析以及挖掘等一系列操作, 能够达成对施工过程的精准监控、风险预警、资源优化配置以及科学决策支持的目的, 由此提升施工效率以及工程质量, 减少安全隐患并降低成本开支。不过, 当下大数据在建筑施工领域当中的应用依旧面临着诸多挑战, 像是意识较为薄弱、数据处理存在滞后情况、专业人才短缺等等。鉴于此, 本文会从大数据这一角度出发, 全面且细致地去分析建筑施工智慧管理里面存在的各类问题, 同时探讨具有针对性的

优化对策, 希望能够推动建筑施工管理朝着智能化、数字化的方向去转型, 以此提升整个行业的整体竞争力以及可持续发展的能力。

1 大数据在施工管理中应用的必要性

随着信息技术发展迅速, 大数据技术在建筑施工管理中应用变得日益重要起来, 其已然成为提升施工效率以及质量的关键举措。传统施工管理模式存在着信息孤岛、数据处理滞后以及决策依据不足等诸多问题, 这些情况难以契合现代复杂工程项目对于高效且精准管理方面的需求。然而大数据针对施工场所产生的海量且多样化的数据展开实时采集、存储、分析以及挖掘等工作, 如此便能够完整地呈现出施工过程的实际情形, 进而为管理者给予科学且直观的决策方面的支撑。借助大数据技术, 可达成对施工进度、安全风险、资源配置、质量控制等多个环节实施动态监控以及智能预测的目标, 这能够切实提高项目管理的透明程度以及响应的速度, 降低人为出现的失误情况, 实现资源利用的优化, 削减成本以及安全隐患。所以说, 大数据在施工管理中的应用不但是信息化发展的必然走向, 而且还是推动建筑行业完成转型升级、达成智慧施工的重要根基, 具备不可取代的战略价值以及现实的意义。

2 大数据背景下建筑施工智慧管理中存在的问题

2.1 缺乏大数据应用意识

大数据技术在建筑施工现场管理中的影响日益显著,全面应用大数据已成为提升智慧管理水平的必然趋势。然而,从当前实际情况来看,许多工程管理人员仍以传统管理模式为主,缺乏对大数据技术的关注和运用。这种现象的根本原因在于管理人员对大数据的认知不足,未能深入理解其在施工现场管理中的应用价值和潜力,导致在管理实践中难以充分发挥大数据的优势。

2.2 数据处理时效性差

在大数据这样的大背景之下,建筑施工智慧管理里头普遍存在着数据处理时效性比较差的这一问题,而这一问题实实在在地对大数据技术的实际应用效果形成了严重的制约作用。施工现场所产生的数据,其数量是颇为庞大的,并且种类也是多种多样的,像进度信息、质量检测数据、安全监控视频还有设备运行状态等等都包含其中,这些数据要是想要为管理决策给予有力的支持,那就得及时且高效地完成采集、传输以及处理等一系列的操作才行^[1]。不少施工企业在数据处理这个方面碰到了技术方面的瓶颈,数据传输的速度比较缓慢,处理系统的响应也较为迟钝,如此一来便使得大量的数据没办法做到实时地分析与利用,进而造成了信息出现滞后的状况,对管理的及时性以及准确性产生了影响。除此之外,部分企业过度依赖传统的数据处理方式,缺少那种具备自动化以及智能化特性的数据处理平台,人工干预的情况比较多,效率显得颇为低下,很难去满足智慧管理对于实时数据分析以及快速响应方面的需求。

2.3 大数据分析人才不足

在大数据这样的大背景之下,建筑施工智慧管理所面临的一个颇为突出的问题便是大数据分析人才存在严重的匮乏情况。建筑施工行业往常一贯是着重于工程技术以及现场管理方面,在数据科学以及信息技术方面的重视程度相对来说是比较低的,如此一来便使得专业的大数据分析人才很难去契合智慧管理发展所产生的需求。就现有的施工企业来讲,那些既具备大数据技术方面的知识背景,又对建筑施工业务较为熟悉,并且还能够把数据分析同实际管理紧密地融合在一起的复合型人才是非常稀少的,这无疑对大数据技术在施工管理当中的深度运用形成了制约作用。与此因为大数据分析会涉及到数据采集、清洗、建模还有可视化等一系列复杂的技术环节,所以缺少专业人才不但致使数据的价值难以得到充分的挖掘,而且还会使得数据处理出现更高的错误率,进而让管理决策的准确性大打折扣。除此之外,人才短缺还表现在对于数据安全、隐私保护等诸多方面缺乏专业的认知,这更是进一步加大了智慧管理所面临的种种风险以及各类挑战。

3 大数据背景下建筑施工智慧管理的优化对策

3.1 提高大数据应用意识

在大数据这样的大背景之下,要想让建筑施工管理者

以及与之相关的人员的大数据应用意识得以提高,这无疑是实现智慧管理转型时所需的基础,也是必不可少的前提条件。就目前的情况来看,相当数量的施工单位依旧停留在传统的管理模式阶段,并且对于大数据技术所具备的价值还缺乏那种较为深刻的了解,如此一来便使得数据资源没办法获得有效的整合以及利用,进而对智慧施工的发展造成了限制。要提升大数据应用意识,那么首先应当从企业的高层开始着手去做,让他们进一步去理解大数据在推动施工管理效率提升、风险预警还有质量控制等方面所起到的重要作用,以此来推动制定出能够支持大数据应用的战略规划以及相应的政策措施^[2]。与此还要借助多种不同的渠道以及各式各样的形式来开展培训与宣传工作,广泛地去普及大数据方面的相关知识,从而帮助那些中基层的管理人员以及处于一线的工作人员能够清楚地知晓数据采集、分析以及应用的具体流程与其中的意义所在,以此来激发他们主动参与到数据工作当中来的积极性。

3.2 保证数据处理及时迅速

在大数据这样的大背景之下,要想让建筑施工智慧管理当中的数据处理能够做到及时并且迅速,这可是提升管理效率以及决策科学性极为关键的一个环节。施工现场所产生的数据,其数量颇为庞大,而且情况也相当复杂,像进度信息、质量检测、安全监控以及设备运行等等,涉及多个不同维度方面的数据。这些数据要是能够做到实时去采集,并且能快速加以处理,那么对于及时把潜在的风险给找出来、对资源配置进行优化以及对施工方案做出调整而言,可实在是太重要了。要达成数据处理的高效这一目标,施工企业得去建立起较为完善的数据采集以及传输系统,务必要确保信息可以实时且完整地汇聚到管理平台之上,如此一来就能防止出现数据滞后以及信息断层的情况。与此运用先进的数据处理技术以及智能算法,提高数据清洗、整合以及分析工作的自动化程度,从而缩短数据从生成直至能够被使用的这段时间,进而提升数据所具有的时效性以及准确性。合理地去配置计算资源并优化系统的架构,以此来保障数据处理平台具备稳定性以及较快的响应速度,避免因为技术方面存在瓶颈而致使处理出现延迟的现象。

3.3 加强大数据分析人才培育和引进

在大数据这样的大背景之下,建筑施工智慧管理若想要得以有效推进,那么高素质的大数据分析人才队伍所给予的支撑是不可或缺的。然而就目前的情况来看,在行业内那些具备数据科学以及建筑施工这两种专业能力的复合型人才是相当匮乏的,这种状况对大数据技术在施工管理当中更为深入地应用以及创新发展形成了极为严重的制约。所以,加强对于大数据分析人才的培育以及引进,理应成为企业以及行业发展的重点战略其中的一个。企业需要和高校以及科研机构展开紧密的合作,共同去制定契合建筑施工实际需求的大数据专业课程以及实践培训项目,

以此来培育出那些既懂得数据处理技术又对施工流程和管理规范较为熟悉的专门人才,进而达成理论知识和工程实践的有效融合。要构建起完善的人才培养机制,推动内部员工开展系统性的数据分析技能培训,鼓励管理人员和技术人员跨领域地去学习,提高他们对于数据的思维能力以及应用能力,促使现有的人才实现转型升级^[3]。与此还应当对人才引进政策予以优化,借助高薪酬、职业发展规划、搭建创新平台等一系列的激励举措,吸引那些拥有数据科学、人工智能、信息技术等背景并且对建筑行业特点有所了解的高端人才前来加入,从而冲破行业内存在的技术瓶颈以及人才短缺的那种局面。再进一步来讲,还需要强化人才的职业发展路径以及继续教育机制,建立起科学的人才评价体系以及晋升通道,以此来激励人才不断地去深造以及开展技术创新。

3.4 对施工现场机械进行智慧化管理

在大数据这一背景之下,针对施工现场的机械设备展开智慧化的管理工作,这已然成为提升建筑施工方面效率以及切实保障施工质量的关键举措。随着机械设备所涉及的种类持续增多,其数量也在不断增长,在这样的情况下,传统的那种机械管理方式明显已经没办法契合现代施工对于精准调度、实时监控还有高效维护等一系列需求了。当引入物联网传感器、GPS 定位以及远程数据采集等相关技术之后,施工现场的机械设备便能够达成在全生命周期当中对数据进行实时监控的目标,其中涵盖了设备的运行状态、能耗方面的具体情况、故障预警以及维护记录等诸多信息。将这些数据汇集起来并借助大数据平台加以集成分析,如此一来,不但能够极为精准地去评估机械使用的效率,进而合理地安排设备调度事宜,避免出现资源闲置或者重复投入的状况,而且还能及时察觉到设备潜在存在的故障,从而提前做好维修安排,以此来降低突发性机械故障给施工进度所带来的影响。

3.5 对施工现场材料进行智慧化管理

在大数据这一大背景之下,针对施工现场的材料展开智慧化的管理,这无疑是一项极为重要的举措,其对于提升建筑施工的效率而言有着十分积极的作用,能够在一定程度上对成本加以控制,并且还能充分保障工程的质量。材料在施工过程当中属于关键资源,它的供应状况、存储情况以及使用情形,都会对施工的进度以及质量水平产生直接的影响。以往传统的材料管理方式,常常存在着诸多问题,比如信息不够透明、库存管理不够精确、材料会出现浪费以及丢失等情况,这些问题使得传统方式很难去契合现代施工项目对于高效协同以及精准管理方面的需求。

通过引入像物联网技术、大数据分析还有智能识别设备(例如 RFID 标签、二维码扫描等这类设备),施工现场的材料便能够达成全流程且全时段的数字化追踪与监控,这里所涉及的环节包含了材料的采购、运输、验收、入库、领用、使用以及剩余等诸多环节^[4]。凭借实时采集而来的大量数据,管理人员可以精准地掌握材料库存的动态变化情况,能够及时察觉到异常的消耗状况以及潜在的风险所在,进而对材料采购计划以及配送方案做出优化调整,防止出现材料积压或者短缺的现象。与此借助数据分析还能够识别出材料的使用效率以及浪费的具体情况,这为施工工艺的改进以及资源的合理配置提供了科学方面的依据。智慧化的材料管理,一方面提升了材料的透明度以及可控性,另一方面也切实降低了人工管理的成本以及管理的误差,有力地促进了施工现场的规范化以及精细化的运作。除此之外,结合大数据技术所实现的智能预警以及自动补货功能,对于保障施工进度的连续性以及稳定性是很有帮助的,能够提高整个施工项目的经济效益以及环境的可持续性。

4 结语

在大数据技术持续发展的大背景之下,建筑施工智慧管理正面临着转型升级的关键契机。把大数据运用到施工的整个过程当中,一方面能够提高管理方面的效率,另一方面可对资源配置予以优化,而且还能达成对施工质量、安全以及进度的全方位把控,从而促使建筑行业朝着智能化以及精细化的趋向去发展。不过在实际的应用进程当中,依旧存在着不少的挑战,像是大数据应用的意识较为薄弱、数据处理的能力有所欠缺、专业人才也比较匮乏等等情况,急需从管理的理念层面、技术的手段层面以及人才的培养层面等多个方面来做出相应的改进。在未来,唯有不断地提升大数据技术的应用程度,进一步完善智慧管理的体系,才能够切实地实现建筑施工管理的高效性、智能性以及可持续性发展,进而为建筑行业的现代化建设赋予新的动力。

【参考文献】

- [1]徐冬梅.大数据视角下建筑施工智慧管理研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(7):162-164.
 - [2]党治权.基于大数据背景下建筑施工现场智慧管理研究[J].中国住宅设施,2022(10):130-132.
 - [3]梁培,刘畅,梁松.大数据视角下建筑施工安全风险研究[J].重庆建筑,2021,20(1):32-34.
 - [4]江明超.大数据背景下建筑施工现场智慧管理途径探讨[J].建设监理,2022(5):11-13.
- 作者简介:水李勇(1987.9—),男,汉族,毕业院校:杭州电子科技大学,专业:电子信息技术及仪器专业。

建筑工程地基基础检测技术要点及对策

李云鹏

衡水市建设工程质量检测中心有限责任公司，河北 衡水 053000

[摘要]随着建筑工程规模的持续扩大，地基基础的质量对工程的安全以及稳定性有着直接的影响。地基基础检测是保障施工质量的关键环节，其技术水平的高低关乎检测效果的准确性与科学性。全面阐述天然地基、人工地基以及复合地基的检测技术要点，仔细分析当下检测工作里存在的资质欠缺、人员素质不一、设备技术陈旧以及检测结果准确性方面的问题，并且给出完善管理规范、推广先进技术、强化人才培养、加强安全质量管理以及构建信息共享平台的综合优化办法，目的在于提升建筑工程地基基础检测的整体水准，保证工程能够安全且可靠地实施。

[关键词]建筑地基；基础检测；技术要点；对策

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16615

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Key Points and Countermeasures of Foundation Testing Technology for Construction Engineering

LI Yunpeng

Hengshui Construction Engineering Quality Testing Center Co., Ltd., Hengshui, Hebei, 053000, China

Abstract: With the continuous expansion of construction projects, the quality of foundation has a direct impact on the safety and stability of the project. Foundation testing is a key link in ensuring construction quality, and its technical level is related to the accuracy and scientificity of the testing effect. Comprehensively elaborate on the key points of testing technology for natural foundations, artificial foundations, and composite foundations, carefully analyze the problems of insufficient qualifications, inconsistent personnel quality, outdated equipment technology, and accuracy of testing results in current testing work, and provide comprehensive optimization methods for improving management standards, promoting advanced technology, strengthening talent cultivation, enhancing safety and quality management, and building an information sharing platform, in order to improve the overall level of foundation testing for construction projects and ensure that the project can be safely and reliably implemented.

Keywords: building foundation; basic testing; technical key points; countermeasures

引言

地基基础作为建筑工程的根基所在，其质量的好坏会直接对建筑物的安全性以及耐久性产生影响。随着建筑业不断发展，工程的规模变得越来越大，环境也日益变得复杂起来，在这样的情况下，传统的检测技术以及管理方式已经很难满足质量控制方面的需求了。要科学且准确地去了解地基的状况，做到能够及时发现其中存在的问题并且予以解决，这可是保障施工能够顺利开展的一个重要前提条件。全面且细致地去探讨地基基础检测方面的技术要点，深入分析当下所存在的各种挑战，并且提出行之有效的改进对策，其目的就在于给行业在技术方面取得进步以及管理得到提升给予一定的参考依据。

1 建筑工程地基基础检测概述

在建筑工程的施工过程中，为了保障施工工作的稳步推进，提升整个工程的建设质量，地基基础检测工作显得愈发重要，有序推进相关检测工作，对于提升建筑基础结构的稳定性有着重要意义。针对该项检测工作来看，一方面要完善检测人员的配置，另一方面也要选用合理的检测方法。首先就是困难性，因为施工计划流程与施工现场施

工很难保持一致，为了保障后续施工的稳步推进，需要安排专业的施工人员提前对施工现场进行调研，对施工中的一些重要参数和数据整合，尤其是地理基础，更是勘察中的重点，因此需要实现不同施工部门之间的协调和配合；其次就是复杂性，在我国一些特殊地形区，地质地形较为复杂，在盐碱地和冻土层施工难度比较大；最后就是多发性，为了保障工程施工质量，需要降低施工数据误差，施工人员需要结合天气等外部因素及时进行检测施工方案调整。

2 地基基础检测技术要点

2.1 天然地基检测技术

天然地基属于未经人为干预的自然土层，其物理力学性能呈现出复杂且多变的特点，检测技术的关键点在于对土层性质以及承载能力做出准确评估，以此来确保设计与施工具备科学合理性。标准贯入试验（SPT）是天然地基检测领域里的一种经典方法，它是通过测量贯入锤击数来反映出土壤的密实程度以及承载力情况，这种方法适用于多种土质条件，并且操作起来相对简便且经济实惠。静力触探试验（CPT）是以连续记录探头所受到的阻力作为主

要特点,可以给出详尽的土层结构以及强度分布方面的信息,特别适宜用于软土以及复杂地质条件的分析工作。除此之外,地质雷达(GPR)技术依靠自身所具有的非破坏性以及快速成像的优势,在识别地下异常结构以及水文地质特征方面得到了广泛应用,从而为地基安全评估给予了辅助性的支持作用。地震波速测试是借助地震波在土体当中传播的速度,来推断出土壤的弹性模量以及层状状况,这对于综合评价地基的稳定性是有帮助的。将各项技术相互之间进行补充,合理地加以选用并科学地加以组合,就能够确保天然地基的检测结果既完整又精确,进而为地基设计以及施工奠定坚实的数据基础。

2.2 人工地基检测技术

人工地基指的是经过加固、置换、夯实或者注浆处理之后所形成的改良地基,其检测技术关键在于评估加固效果以及材料性能是否能够达到设计方面的要求。传统上使用的标准贯入试验还有静力触探试验依旧是测定地基密实度以及承载力行之有效的办法,不过需要与承载力板载试验以及荷载沉降观测结合起来,以此对加固层的承载性能还有变形特性展开动态的跟踪。就注浆加固而言,超声波检测以及钻芯试样分析已然成为判断注浆质量以及分布范围极为重要的手段,借助于对注浆体内部的缺陷还有均匀性开展无损检测,从而确保加固层的结构是完整的并且性能也是稳定的。近些年来,随着智能技术开始兴起,将无人机航拍同地面激光扫描技术一道引入到大型施工的现场当中,用于高效地监测地基的平整度以及沉降变化情况,进而提升检测工作的全面性以及实时性。人工地基检测是贯穿于施工的整个周期当中的,凭借科学的检测技术手段,可以及时察觉到加固过程中出现的各类异常问题,以此来指导施工做出相应的调整,最终保证改良地基具备足够的安全性以及耐久性。

2.3 复合地基检测技术

复合地基是借助多种材料以及技术手段相结合的方式,去应对复杂的地质环境以及承载方面的需求,其检测技术的要求呈现出多样且精细的特点。在基础检测方面,首要任务是要全面且细致地掌握土体的物理性质以及地层的结构情况,会采用像标准贯入试验、静力触探还有地质雷达等多种不同的手段,以此来获取详尽的土层剖面以及力学参数等相关信息。并且,还会把重点放在复合材料的分布是否均匀以及界面结合性能上,通常是通过钻芯取样之后再结合实验室里的三轴剪切试验来进行评估,从而保证不同材料之间相互作用的情况能够符合设计时所预期的效果。沉降观测属于复合地基检测当中极为关键的一个环节,会通过布置多个点位的静态与动态监测设备,实时且动态地掌握复合地基在受到荷载作用时的沉降规律,进而有效预防因过度沉降而引发的结构安全隐患问题。近年来,物联网以及传感器技术被广泛地应用到复合地基检

测当中,成功实现了数据的远程采集工作以及智能分析功能,使得检测的准确性以及响应速度都得到了相应的提升。

3 地基基础检测中存在的问题分析

3.1 检测机构资质与能力不足

当前,地基基础检测市场正在迅速扩张,在此过程中,部分检测机构存在资质不够完备的情况,缺少专业资格认证,管理也不够规范,这就使得这些机构的检测能力以及水平呈现出很大的差异。有些机构为了追求经济利益,对检测程序和标准有所忽视,没有严格按照规范的操作流程来执行,甚至出现了数据造假以及结果失真的状况。检测机构在硬件设备方面、技术人员配置方面以及管理体系方面普遍都存在不完善的地方,对于新技术的引进与应用也比较欠缺,所以整体的检测水平很难满足工程质量越来越严苛的要求。这样的情况不但影响检测结果的公正性与准确性,还给施工安全带来了隐患,对行业的健康发展形成了阻碍。所以,强化对检测机构资质的审核以及管理,推动行业朝着规范化方向发展,就成为了提升地基基础检测质量的关键任务。

3.2 检测人员专业素质参差

地基基础检测工作对于检测人员的专业知识水平、操作技能程度以及责任意识方面有着颇高的要求。不过当下有一部分从业人员其专业素质并不高,普遍缺少系统的培训经历以及实际的操作经验。这些检测人员对于检测设备的使用掌握得不够熟练,在操作进程当中常常会出现一些疏漏情况以及误差问题,进而对所获取的数据准确性产生了影响。与此部分人员对于地基检测方面的相关理论以及标准的理解存在欠缺,所以很难准确地去分析与判断检测得出的结果,最终使得后续的工程决策出现了偏差情况。检测人员的流动性比较大,职业的稳定性较差,这对技术的积累以及经验的传承都造成了影响。目前这种专业素质参差不齐的状况,已经对地基检测质量的整体提高形成了制约作用,迫切需要建立起一套系统的培训机制以及职业资格认证体系,以此来提升检测队伍的综合能力以及责任感。

3.3 检测结果的准确性与可靠性问题

地基基础检测结果的准确性以及可靠性与建筑工程的安全性紧密关联,在实际工作当中存在着检测数据出现偏差、对检测结果的解释不够恰当以及结果复核有所缺失等一系列问题。部分检测由于操作方面出现失误或者设备本身的精度不够,使得数据产生误差,进而对地基承载力以及变形特性无法做出正确的评估。检测结果的解释要依靠检测人员的主观判断,而且缺乏统一的标准以及科学的依据,这就致使评估结论存在着不确定性以及随意性。除此之外,检测结果的复核机制并不完善,缺少第三方的监督以及多次的验证,很难保证检测结论的公正性以及权威性。这些问题不但增加了工程安全方面的风险,还使得检测工作的社会信任度有所降低。所以提升检测结果的准确

性和可靠性,建立起规范化的结果审核体系,已然成为这个行业迫切需要去解决的核心难题。

4 地基基础检测技术优化对策

4.1 完善管理制度与规范标准

要让地基基础检测行为变得规范起来,就得把行业的管理制度以及技术规范进一步完善好,要建立起一套统一且科学严谨的检测标准体系,这个体系要把检测流程、技术方法、设备选型、人员资质还有结果评定等诸多环节都涵盖进去。相关的主管部门需要强化针对检测机构的资格审核工作,同时也要加强监督检查的力度,以此来保证这些检测机构拥有必要的技术能力以及相应的管理水平。要积极推动去制定地基基础检测方面的行业标准以及地方细则,从而能够指导在工程实践当中检测工作的规范开展^[1]。借助法律法规还有行业规范所形成的有力约束,彻底杜绝违规操作以及数据造假的行为,进而提升检测工作的透明程度以及公信力。除此之外,还应当建立起检测档案管理制度,达成检测数据的标准化存档以及可追溯的状态,给后续的工程管理工作提供可靠的依据。

4.2 推广应用先进检测技术与设备

积极引进并大力推广那些现代化且具备高精度特性的检测设备以及相关技术手段,这无疑是提升检测质量的关键驱动力所在。应当进一步加大针对智能传感器、无人机航拍、地质雷达以及多点沉降监测等一系列新技术在研发层面以及应用方面的投入力度,进而达成对地基基础状态展开实时且多维度的监控这一目标。要积极推动信息技术和检测技术相互间实现深度融合,依靠大数据、云计算以及人工智能来推进数据分析以及风险预警方面的工作,以此提升检测工作的科学性以及其预测能力^[2]。针对不同的地基类型以及复杂的工况情况,去开发专门的专项检测技术方案,从而满足各类个性化的实际需求。加速将那些落后的设备予以淘汰,不断提升设备的自动化程度以及智能化水平,进而有效降低人为操作所产生的误差,提高检测工作的效率以及准确度,从而为工程的安全稳定运行给予强有力的、可靠的技术保障。

4.3 加强检测人员培训与专业建设

人才对于地基基础检测质量的提升而言,称得上是关键的保障要素。应当着手去系统地构建起培训以及认证方面的体系,以此来促使检测人员的专业素质得以提高,同时让他们的技能水平也能够有所提升。可以通过积极开展定期的专业培训工作,实施技能考核举措,另外还要开展现场实操演练活动,如此一来便能够强化检测人员对于理论知识的理解程度,也能让他们对操作规范有更加清晰的认识,进而提升他们所具备的综合能力。要鼓励高等院校和行业企业携手合作起来共同培养检测专业的相关人才,推动实现产学研的有效结合,借此促进技术层面的创新以及人才自身的成长发展^[3]。要对职业资格认证制度加以完

善,推动检测人员都能够做到持证上岗,从而提升整个行业的专业化水准。要重视激发检测人员的责任意识以及职业道德方面的要求,建立起相应的激励与约束机制,以此来保障检测工作能够具备严谨性以及科学性,从根本上提升检测队伍的整体素质以及稳定性。

4.4 建立数据共享与信息化平台

信息化建设乃是推动地基基础检测走向现代化的关键途径,需着手构建起统一的数据管理以及共享平台,达成检测数据的集中式存储、动态化更新以及多方面共享的目的。该平台务必要能够支持多种多样的数据格式以及各类检测技术的整合工作,如此一来便于各个相关部门能够及时且有效地获取并分析地基基础方面的相关信息。借助云计算以及大数据分析手段,可进一步提升对于地基变化趋势所做出的预测能力,进而为科学决策以及风险防范给予有力支撑。促使检测结果和设计环节、施工环节、监理环节等各个环节的信息实现相互贯通,达成对整个过程的质量进行全程追踪与有效管理的目标。强化信息安全方面的保障措施,以此确保数据具备真实性、完整性并且能够维持保密性。构建起高效且便捷的信息化平台,一方面能够提升检测工作的效率,另一方面也能够让行业的透明度得以增强,并且协同能力也会得到提升,从而为建筑工程的安全提供强有力的保障。

5 结语

建筑工程地基基础检测技术属于保障工程质量以及安全的关键环节,需要紧随科技发展的脚步,提高技术层面的水平以及管理方面的实力。本文全面且细致地总结了天然地基、人工地基还有复合地基在检测技术方面的要点内容,深入剖析了检测机构资质存在欠缺、人员素质呈现出良莠不齐的情况、设备技术较为落后以及结果准确性不够高等一系列问题,并且有针对性地给出了完善管理制度、推广先进技术、强化人才培养、加强安全质量控制以及推进信息化建设等综合性的解决办法。在未来,应当持续推进技术创新以及规范化管理工作,构建起高素质的专业队伍,推动检测行业实现健康且有序的发展,保证建筑工程地基基础具备良好的安全性与可靠性,进而为城市建设和社会发展筑牢坚实的保障基础。

[参考文献]

- [1]尹皓亮.建筑工程地基基础检测技术要点及优化对策研究[J].居业,2022(9):76-78.
- [2]叶飞,叶天琦.建筑工程地基基础检测技术要点及优化研究[J].建筑技术开发,2020,47(14):163-164.
- [3]储明杰.建筑工程地基基础检测技术要点及优化对策[J].中国住宅设施,2024(10):164-166.

作者简介:李云鹏(1988.8—),男,学历:本科,毕业院校:燕山大学,所学专业:土木工程,目前职称:中级工程师。

路灯远程控制系统对维护效率提升的作用分析

蒋景华

梧州市路灯管理处, 广西 梧州 543000

[摘要]随着城市智能化的发展, 传统的路灯维护方式已无法满足现代城市的需求。路灯远程控制系统通过现代技术如物联网和大数据, 实现了对路灯的远程监控与管理, 提升了维护效率。文章分析了路灯远程控制系统在维护效率提升方面的作用, 并讨论了该系统如何帮助解决传统维护模式中的问题。通过该系统, 路灯的维护更加智能化、高效化, 节省了人力物力, 并为未来的进一步优化提供了方向。

[关键词]路灯远程控制系统; 维护效率; 效率提升; 作用

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16645

中图分类号: TU113

文献标识码: A

Analysis of the Role of Remote Control System for Street Lamps in Improving Maintenance Efficiency

JIANG Jinghua

Wuzhou Street Lamp Management Office, Wuzhou, Guangxi, 543000, China

Abstract: With the development of urban intelligence, traditional street lamp maintenance methods are no longer able to meet the needs of modern cities. The remote control system for streetlights has achieved remote monitoring and management of streetlights through modern technologies such as the Internet of Things and big data, improving maintenance efficiency. The article analyzes the role of the remote control system for street lamps in improving maintenance efficiency and discusses how the system can help solve problems in traditional maintenance modes. Through this system, the maintenance of street lamps is more intelligent and efficient, saving manpower and material resources, and providing direction for further optimization in the future.

Keywords: remote control system for street lamps; maintain efficiency; efficiency improvement; role

引言

随着城市化进程的加速以及智慧城市理念的不断推进, 作为城市基础设施的核心部分, 路灯系统肩负着保障公共安全以及提升城市夜间环境质量的重要责任。然而, 传统的路灯维护方式, 依赖于人工巡检和故障响应, 面临着效率低下、反应迟缓以及高成本等诸多挑战, 这使得其难以满足现代城市在路灯管理方面对高效、智能化的要求。为了解决这些问题, 路灯远程控制系统应运而生, 借助物联网、大数据、云计算等现代信息技术, 成功地实现了路灯的远程监控、故障预警及智能调节等多项功能。通过该系统, 路灯的工作状态能够被实时监测, 潜在故障能够提前被发现并进行预警, 智能化调整也得以实现。例如, 路灯亮度能够根据天气、时段等因素被自动调节, 从而有效优化能源的使用。此外, 借助数据分析与远程操作, 人工巡检的频率得以减少, 故障响应的速度得到了提升, 运维成本也因此降低, 资源浪费避免了。通过创新技术手段, 路灯远程控制系统的引入极大地提高了路灯管理效率, 使得维护模式从传统的被动应急管理转变为主动、智能化的预防性维护。本文旨在深入分析路灯远程控制系统如何提升维护效率, 探讨其核心功能及实际应用效果, 同时提出优化与改进的方向, 以期路灯系统的智能化升级及城市公共基础设施的可持续发展提供理论依据与实践指导。

1 路灯远程集中控制系统基本功能

1.1 监控功能

路灯远程集中控制系统的监控功能, 作为其核心功能之一, 主要通过实时监测路灯的工作状态, 提供故障检测、能源管理及性能评估等多项服务。借助这一功能, 所有路灯的运行状况, 包括亮灯情况、功率消耗以及故障报警等关键信息, 能够被管理人员远程掌握, 从而确保问题能在第一时间被发现并得到有效处理。例如, 当某些路灯发生故障时, 异常信号会立即被系统捕捉到, 并通过报警机制迅速通知相关人员, 避免了传统人工巡检模式下可能出现的延误问题。监控功能还能够持续地跟踪各路灯的能源消耗情况, 为节能降耗提供有力的数据支持。根据不同区域、不同类型路灯的能耗数据, 管理人员可进行合理的优化和调整, 从而实现有效的节能目标。在数据采集方面, 实时收集与路灯运行相关的各类数据的任务由监控功能完成, 并将其存储至云端或本地服务器, 这为后续的数据分析、趋势预测及决策优化奠定了基础。

1.2 数据传输功能

为了确保监控功能收集的数据能够供工作人员查看, 路灯远程集中控制系统必须具备数据传输功能。通常, 数据传输功能与监控功能和客户端连接。当监控功能采集到相关数据后, 数据将实时发送到数据传输模块, 然后通过

该模块传输至客户端,供工作人员查看。此外,数据传输功能必须具备实时性,这是质量管理中的一个重要原则^[1]。如果数据传输存在延迟,工作人员将无法及时处理异常问题,可能导致故障的扩大和影响的加剧。

1.3 自动/人工模式

路灯远程集中控制系统的自动/人工模式功能为用户提供提供了灵活的操作选择,能够适应不同管理需求及工作环境。在自动模式下,依据预设的时间表或环境变化,系统会自动调整路灯的开关状态。例如,路灯会根据天色的变化在晚上被自动点亮,而在清晨时,则会根据光线强度自动熄灯。此外,系统还可根据实时的天气情况、交通流量等因素进行智能调节,以确保照明效果达到最佳状态。比如,在降雨或雾霾等恶劣天气下,路灯的亮度会被自动调整,以确保道路的可视性。自动模式还能根据不同路段的能源消耗情况进行优化,从而减少不必要的能源浪费。与自动模式不同,人工模式则为操作人员提供了手动干预的能力,尤其是在应对突发事件或特殊需求时,特定区域的路灯状态可通过远程控制随时进行调整,操作内容包括开关、亮度调整或故障修复等。

1.4 外接集成功能

路灯远程集中控制系统的外接集成功能,使其能够与其他智能城市管理系统进行无缝对接,从而进一步提升城市基础设施的管理效率与智能化水平。通过这一功能,实时数据和信息能够在路灯控制系统与交通管理、环境监测、公共安全等系统之间共享,构建起一个互联互通的综合管理平台。例如,当某一区域的交通流量急剧增加时,交通管理系统会发现该情况,并使路灯控制系统能够自动调整该区域的路灯亮度或开关状态,从而提高道路的能见度,保障交通安全;若空气质量或光照强度出现异常,环境监测系统会被触发,进而使路灯的运行状态或亮度进行相应调整,既能减少能源浪费,又有助于保护环境健康。此外,外接集成功能还使得与城市电网、能源管理系统的协同工作成为可能,优化了能源配置,降低了电力消耗,并提高了电力系统的整体运行效率。

2 路灯维护现状与挑战

2.1 传统路灯维护模式分析

传统的路灯维护模式主要依赖人工巡检和定期检查,这种方式存在诸多不足,难以满足现代城市管理日益增长的需求。以梧州市为例,维护人员需要每天前往路灯区域进行人工巡查,查看路灯的亮灯状态、清洁情况以及是否出现故障或损坏。依赖人工的检查方式不仅消耗了大量的人力和物力,而且由于检查周期固定、范围有限,某些故障可能未能及时发现或被遗漏,从而影响路灯的正常运作及城市安全。此外,信息传递滞后和故障修复过程繁琐等问题,也始终困扰着人工巡检。一旦发生故障,通常需要维护人员到现场进行检查,在确认问题后再进行修复。传统的手工操作方式使得维护效率低下,也增加了交通管制复杂性和施工风险。

2.2 路灯维护中的常见问题与挑战

在路灯维护过程中,存在着多个常见问题与挑战,尤其在传统维护模式下,这些问题显得尤为突出。一个主要问题是故障检测的滞后。由于依赖人工巡检,许多路灯的故障未能在第一时间被发现,尤其是在偏远或人流稀少的地区,损坏的路灯可能长时间未得到修复,从而影响了城市的照明效果与安全性。另一个挑战是低效的维护过程。传统维护模式要求每一盏路灯都需人工逐一检查,这不仅浪费了大量时间,还增加了人力成本^[2]。更糟糕的是,当故障出现时,维修人员通常需要到现场才能进行故障定位,这导致了修复过程的延迟,进一步延长了修复时间。此外,传统维护方式缺乏精确的数据支持。实时获取路灯的工作状态变得极为困难,往往只能依赖人工记录和现场检查,缺乏系统化的实时监控与数据分析,这导致了对路灯使用状况的掌握不全面。随着城市规模的扩大及路灯种类的增多,维护难度逐年加大,传统模式已无法满足大范围、快速响应的维护需求。

3 路灯远程控制系统的维护管理与优化策略

3.1 系统维护管理的关键要素

路灯远程控制系统的维护管理是确保其长期稳定运行的关键,涉及多个重要管理环节。设备的日常检查与监控是基础工作之一,通过远程监控平台,实时获取路灯的运行数据,如照明电压、电流、漏电等关键参数,管理员能够得以实现。定期检查系统并确保硬件设备的正常运行,作为预防故障发生的重要手段,也应当被认真对待。与此同时,系统的故障诊断与应急响应能力同样至关重要。每当设备出现故障或异常时,故障信息应能够被远程控制系统及时识别并反馈,帮助技术人员快速定位问题。这要求系统具备高度智能化,能够通过数据分析自动识别故障类型及位置,从而响应时间能够缩短,维护效率能够得到提升。另一个重要方面是系统的软硬件更新与升级管理。随着技术的不断进步,路灯远程控制系统的硬件设施及软件平台可能需要定期更新,以满足新的技术标准与需求。为确保系统的兼容性与安全性,系统应定期被管理者进行升级,避免由于技术滞后而导致的运维问题。除了这些,数据管理与分析也构成了系统维护的核心内容。所有运行数据、维护记录与故障报告等信息,应科学地进行存档与管理。通过对这些数据的深入分析,潜在问题能够被识别并发现改进空间,为制定长远的维护策略提供依据。培训与技术支持也是提升系统维护质量的关键环节。定期对相关操作人员进行培训,增强其对系统的操作能力及故障处理能力,系统整体的维护水平将显著提升。最后,系统的安全管理尤为重要,特别是在远程控制平台的网络安全方面,有效防护措施应当被采取,如数据加密及权限管理等,以防止黑客攻击或信息泄露,保障系统的安全性与稳定性。

3.2 远程控制系统优化方向

路灯远程控制系统的优化方向集中在提升智能化水

平、加强数据分析能力、增强系统的可靠性与安全性,以及实现与其他智能城市基础设施的深度融合。智能化水平的提升,作为优化的核心目标之一,尤为重要。随着物联网、人工智能以及大数据技术的不断发展,未来的路灯远程控制系统将具备更高的智能化水平,不仅能够实现基本的开关控制,还能通过自动调节亮度、智能感知环境变化(如天气条件、交通密度)来优化照明效果。例如,路灯单灯加装智能控制器,可以根据实时交通流量的变化进行调整,或在特定环境下自动开启或关闭路灯,从而提高能源利用效率并降低能耗。在数据分析方面,大量的路灯运行数据将被收集并进行深入分析,从而及时发现潜在的故障与异常运行情况。大数据分析的引入,不仅能够准确识别需要维护或更换的设备,还能预测设备的使用寿命,帮助优化维修计划,进而提升系统的整体可靠性。预警与故障诊断能力的提升,亦为优化的重要组成部分。智能算法使得系统能够迅速定位设备故障,并通过预测模型在问题发生之前发出警告,从而减少人工干预,提高故障响应速度,缩短停机时间。系统的可靠性与安全性也应被视为优化的关键环节。为了应对网络安全威胁并保障系统的稳定运行,远程控制系统应具备更强的防护能力。例如,数据传输的安全性将通过高级加密技术或虚拟专用网络(VPN)得到保障,同时引入多重身份认证与权限管理机制,以防止未经授权的访问与操作,确保系统免受潜在攻击。为了提高系统的容错能力与稳定性,应优化冗余设计,以便在系统出现故障时能够迅速恢复,保障路灯系统持续稳定地运行^[3]。此外,随着智慧城市建设的不断推进,系统与其他智能基础设施的深度融合,已成为优化的重要方向。路灯远程控制系统应能够与交通信号灯、监控摄像头、环境监测设备等其他智能系统进行联动,实现数据共享与协同工作。例如,当交通流量增加时,路灯亮度将自动调整,同时与交通信号灯进行协调,以优化交通流,提升城市整体的管理效率。

3.3 面临的技术瓶颈与解决方案

在路灯远程控制系统的发展过程中,技术瓶颈显著影响了系统性能的提升与优化。当前亟待解决的主要难题之一,是网络通信的稳定性与可靠性。由于该系统需要在广泛的城市范围内实现大量设备的连接与数据传输,其通信网络必须具备高效且稳定的性能。然而,现有的路灯控制系统大多依赖传统的无线通信技术,如 Wi-Fi、GSM 或 Zigbee,这些通信方式在覆盖范围、信号稳定性与传输速率方面仍然存在不少局限。信号常常会受到复杂城市地理环境及密集建筑物的阻碍,导致数据传输延迟或中断,进而影响系统的实时性与可靠性。因此,现有通信技术的瓶颈,尤其是提高网络稳定性和传输速度,成为远程控制系统优化的紧迫任务。采用 5G、LoRaWAN(长距离低功耗广域网)等新型通信技术,将有助于在城市范围内提供更广的覆盖、更快的传输速度和更低的延迟,从而显著提高系统的通信效率与可靠性。在数据处理和存储能力方面,

随着路灯远程控制系统规模的扩大,设备采集的数据量呈现指数增长,这对数据处理和存储提出了更高要求。目前,许多系统在数据存储与处理方面存在一定的瓶颈,无法有效应对海量数据的实时分析与存储,常常导致数据传输与处理的延迟,甚至信息丢失。同时,数据的安全性与隐私保护问题也越来越引起关注。为解决这些问题,分布式数据存储与云计算技术的引入,可以有效提升数据处理速度并减轻存储压力,通过云平台进行智能数据分析,提供实时决策支持。同时,数据加密、身份验证与权限管理等安全措施将有助于保障数据的安全性,防止数据泄露或篡改。系统的智能化水平依旧有较大的提升空间。虽然现有的路灯远程控制系统已经具备了基本的开关控制与状态监测功能,但智能化的进一步发展仍面临技术挑战。现有的智能分析与自适应控制算法不足,未能充分考虑环境、天气及交通等多种因素进行动态调整,这影响了系统的能源效率与响应能力^[4]。未来的系统需要引入更先进的人工智能算法与机器学习模型,才能实现更精准的光照控制与故障预测,同时提升自适应调节能力,使系统能迅速响应环境变化,更好地满足城市照明的需求。系统的兼容性与集成性问题,也是当前的技术瓶颈之一。不同厂商与不同技术标准的设备和平台之间,往往存在兼容性问题,这使得大规模部署时,系统集成与设备管理变得复杂且成本较高。此外,系统间的互联互通性亟待增强。

4 结语

路灯远程控制系统的引入,标志着城市照明管理进入了智能化与自动化的新纪元。通过实时监控、远程调节、故障诊断与数据分析等功能,效率与响应速度的提升显著地推动了路灯维护的革新。与传统的人工巡检及手动处理方式相比,问题能够迅速且精准地被远程控制系统定位,大幅降低了人工成本与不必要的停灯时间,从而不仅延长了路灯的使用寿命,也增强了其安全性。尽管目前该系统仍面临一些技术瓶颈与挑战,但随着技术的持续进步以及应用场景的不断拓展,路灯远程控制系统将在推动城市基础设施管理智能化的过程中,发挥更加重要的作用,为城市的可持续发展提供强有力的支持。

[参考文献]

- [1]蒋明强,宗强,宋宇钦,等.智能路灯控制系统设计及其应用[J].集成电路应用,2020,37(4):114-115.
 - [2]穆晓琛,童沐雨,邓金水.市政路灯项目中远程控制系统的應用[J].河南科技,2018(5):32-33.
 - [3]吕思思.基于无线网络的城市路灯监控系统设计[D].北京:北京邮电大学,2018.
 - [4]陈殊.LTE Cat.1 智能路灯控制系统设计与实时监控[J].电子元器件与信息技术,2024,8(11):118-121.
- 作者简介: 蒋景华(1986.1—),毕业院校: 湖南理工学院,所学专业: 自动化,就单位名称: 梧州市路灯管理处,就单位职务: 生产技术科科长,当前职称级别: 中级。

市政给排水管道现状问题研究和检测修复

吕胶龙

淮北市建设工程质量检测中心有限公司, 安徽 淮北 235000

[摘要]随着我国城市化不断向前推进,市政基础设施的运行情况日益成为城市实现可持续发展极为重要的因素。在这些基础设施当中,给排水管道堪称城市运行的生命线,它的运行安全性、完整性以及功能性都直接和居民的生产生活品质紧密相关联。当下,我国市政给排水管道普遍存在老化程度较为严重、维护工作滞后、检测手段比较落后以及修复技术不够完善等诸多问题,这些问题对它的运行效率以及安全保障水平形成了很大的制约作用。从我国市政给排水管道当前存在的各种问题着手,全面且细致地探讨了常见的各类检测技术与手段,并且深入分析了不同修复技术所具有的适用性以及实际效果,希望能够为市政基础设施管理给予一定的理论依据以及实践方面的参考,进而推动城市排水系统朝着现代化与智能化的方向去建设与发展。

[关键词]市政; 给排水管道; 问题; 检测修复

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16630

中图分类号: TU991.38

文献标识码: A

Research and Detection Repair of Current Problems in Municipal Water Supply and Drainage Pipelines

LYU Jiaolong

HuaiBei Construction Engineering Quality Testing Center Co., Ltd., HuaiBei, Anhui, 235000, China

Abstract: With the continuous advancement of urbanization in China, the operation of municipal infrastructure has become an increasingly important factor for cities to achieve sustainable development. Among these infrastructures, water supply and drainage pipelines can be regarded as the lifeline of urban operation, and their operational safety, integrity, and functionality are closely related to the production and living quality of residents. At present, there are many problems in Chinese municipal water supply and drainage pipelines, such as severe aging, lagging maintenance work, outdated detection methods, and inadequate repair technology. These problems have a significant constraining effect on their operational efficiency and safety assurance level. Starting from the various problems currently existing in Chinese municipal water supply and drainage pipelines, this article comprehensively and meticulously explores common detection techniques and methods, and deeply analyzes the applicability and practical effects of different repair techniques, so as to provide theoretical basis and practical reference for municipal infrastructure management, and promote the construction and development of urban drainage systems towards modernization and intelligence.

Keywords: municipal; water supply and drainage pipelines; problems; detection and repair

引言

近些年来,随着城镇化进程不断加速以及城市人口密度逐步攀升,市政给排水系统在运行过程中所面临的压力也一直在不断增加,其安全性、可靠性以及可持续性方面的问题一天比一天突出。尤其是在一些建成时间相对比较久的大中城市当中,地下管网大多已经进入到老化的阶段,还有部分地区更是存在着相当严重的渗漏、腐蚀以及塌陷的风险,这给城市公共安全以及居民的日常生活带来了不小的威胁。与此就管道检测和修复技术而言,跟国外相比还存在着一定的差距,迫切需要引入先进的技术,进一步完善管理方面的机制。围绕市政给排水管道当下存在的各种现状问题展开较为细致的分析,还会对当前主流的一些检测技术以及修复方法加以探讨,希望能够为提高城市排水系统的运行效率以及管理水平给予科学方面的参考。

1 我国市政给排水管道的现状问题分析

1.1 市政给水管道存在的问题

我国市政给水管道在长期运行期间,普遍存在着老化腐蚀较为严重、水质污染的风险相对较高以及漏损率始终处于居高不下的情况。其一,数量众多的管道所采用的管材使用年限已然超过了设计寿命,像铸铁管、钢管、石棉水泥管这类传统管材,在长期受到水压、水质以及外部荷载等多种因素的综合影响之下,特别容易出现腐蚀穿孔、结垢缩径等结构性退化方面的问题,进而使得管道的输水能力有所降低,甚至在高峰供水时段都无法满足用水的需求,对城市供水系统的正常运行形成了极为严重的制约。其二,部分城市在给水管道的规划设计以及施工管理环节当中,依旧存在着不少不规范的情况,例如设计布置不够合理、敷设深度不足,并且没有充分考虑到与其他市政管线以及道路设施之间可能存在的交叉干扰,如此一来便致

使管道在运行的过程中很容易遭受外力的破坏,不但增加了维护的难度,还提升了运行过程中的安全隐患。除此之外,因为管网结构较为复杂、维修技术相对滞后以及管理制度不够完善等诸多原因,管道漏损的问题依然十分突出,这不仅造成了大量宝贵水资源的浪费,而且当管道处于负压状态的时候,极易出现外部污染物倒灌的现象,进一步加大了水质污染的风险,对城市公共供水系统的安全性以及可持续运行的能力产生了极为不利的影响。

1.2 市政排水管道存在的问题

市政排水管道是城市防洪排涝、污水输送的关键通道,其运行状况直接影响城市公共卫生水准和防灾减灾能力。当下我国不少城市排水管道存在诸多问题,像管径偏小、系统容量不够、年久失修、维护滞后、排水不顺畅等,这些问题严重阻碍了排水系统的运行效率与安全。在近些年极端气候频发的形势下,短时强降雨致使排涝压力骤增,城市内涝情况常见,这既妨碍居民出行生活,又危及城市基础设施稳定运转。部分早期建设的排水管道缺少科学的雨污分流设计,在暴雨天气下污水溢流严重,不但污染地表水体,还容易使排放污染物超标,加大环境治理难度。因地下排水系统监测维护手段有限,管道出现沉降、堵塞、接口渗漏、结构破损等情况很普遍,整体排水效率受到很大影响。随着城市建设加速,城市不透水面积增多,雨水汇集速度变快,排水系统负荷加重,原有排水设施已无法满足现代城市快速发展的排水需求,成为制约城市可持续发展和基础设施更新改造的重要障碍。

1.3 管道问题成因分析

市政给排水管道当下所面临的一系列问题,其产生的原因呈现出多方面且复杂的特性。就技术层面来讲,早期的设计标准存在明显滞后的情况,施工技术也较为粗放,再加上材料选择相对单一,这就致使管道的结构寿命变得很短,并且其抗压能力也比较弱。从管理层面来看,管网资料并不完整,运行维护所采用的手段也相对落后,而且缺乏一套系统的检测评估机制,如此一来便导致问题不断积累起来,与此同时维修工作也出现滞后,这两种情况是同时存在的。从城市规划层面来讲,基础设施建设的速度远远赶不上城市发展的节奏,对于地下空间的规划以及利用方式也不合理,这无疑进一步加剧了新旧管网相互交错、彼此之间互相干扰这样一种现象的发生。那种重建设而轻维护的管理理念,还使得管道的运行状况长时间都处于被边缘化的管理状态当中,很难形成一个良性的循环模式,最终也就造成了当前系统性的问题变得越来越突出。

2 市政给排水管道检测技术研究

2.1 管道精确定位技术

市政给排水管道进行检测,首先,必须对市政给排水管道的方位进行精确定位,由于市政给排水管道大多位于地表之下,因此,其具有隐蔽性较强、肉眼无法直接观测

的特点,如果对市政及排水管道进行开挖以确认管道方位,具有不切实际的特点,需要采用精密的市政给排水管道进行精确定位,随着科学技术的飞速发展,应用于给排水管道的定位工作中的定位仪器以及定位方法越来越多。目前,市政给排水管道的精确定位方法通常为查找相关给排水管道的设计图纸,并对于给排水管道的位置进行大致定位。其次,通过精密度给排水管道探查以其对于市政给排水管道的位置进行精确定位。市政给排水管道的精确定位方法通常有电磁感应方法、给予暴露点充电法以及针对微弱信号的长导管法等。

2.2 腐蚀状况检测与评估

市政管道于长期服役期间,腐蚀乃是影响其结构稳定以及密封性能的关键要素。要保障管道运行的安全性,便得对其腐蚀的具体状况予以准确检测并展开科学评估。当下,常被采用的腐蚀检测技术有超声波检测、涡流检测、声发射技术还有电化学方法等等。超声波检测借助高频声波穿透管道壁厚这一方式来呈现其内部的腐蚀程度,且适用多种材质的管道。涡流检测则适用于非磁性金属管道,能迅速识别出表面以及近表层的腐蚀缺陷。声发射技术当管道出现应力裂纹或者腐蚀穿孔情况时,能够捕捉到微弱的声波信号,达成早期预警的效果。结合智能传感器所开展的电化学腐蚀监测方法,可实时获取管道的电位、电流变化情况,进而提升腐蚀识别的精准程度。经由这些技术的综合运用,可以实现对市政管网腐蚀状况的全面掌控以及动态化管理,从而为后续修复策略的制定给予数据方面的有力支撑。

2.3 泄漏监测技术与方法

管道出现泄漏的情况,往往是导致水资源遭到浪费、环境受到污染以及地下结构遭受破坏的关键因素。尤其是在供水系统的范畴当中,泄漏这一状况不但会给经济方面带来损失,而且还会对供水安全形成极为严重的威胁。就当下而言,常用的一些泄漏监测技术,像声波检测法、负压波法、相关仪法、管道内窥法,还有基于物联网所构建起来的实时监测系统等等。其中,声波检测法是凭借监听管道里面那些异常的声信号,以此来确定泄漏点的具体位置,这种方法对于大多数管径的管道系统都是适用的。负压波法则是通过对水流在发生泄漏的那一瞬间所产生的压力波变化加以分析,进而能够快速地对泄漏位置做出判断。相关仪法是依据两个或者多个拾音器所采集到的信号时间差,并且结合相关的算法来分析出泄漏点的位置,这种方法比较适用于复杂环境当中的长距离检测工作。近些年来,把内窥摄像检测技术同无线传感器网络相互结合起来,这就为管网泄漏提供了具备可视化以及智能化特性的实时监控手段,切实有效地提升了检测工作的效率以及精度。要是能够综合运用多种不同的技术手段,那么就能够构建起一套高效且稳定的管道泄漏预警以及响应机制。

3 市政给排水管道修复技术研究

3.1 开挖修复方法及应用条件

开挖修复属于最为传统的管道修复方式,它主要在管道破损状况较为严重、结构出现明显变形、基础发生严重沉降或者管材自身已不具备再利用价值的情形下适用。此方法一般涵盖开挖作业、搭建临时排水与导流设施、拆除旧管、铺设新管、开展基础加固与夯实工作、实施回填压实以及恢复路面等多项施工步骤,其施工工艺已然较为成熟,技术门槛不算高,修复效果比较稳定且可靠,利于质量把控以及后期验收工作^[1]。特别是在部分老旧城区、地质条件复杂的区域或是原管线走向存在严重偏移的地方,开挖修复能够有效地处理深层次的结构性的问题,成为确保系统恢复正常运转的关键性手段。不过,该方法同样存在着施工周期较长、交通影响范围较广、噪声粉尘对居民生活扰动严重以及占用资源数量较多等颇为突出的缺点,在城市核心区域、交通干道密集的区域以及人口密集的区域去实施起来难度颇高,常常会面临来自城市管理部门以及公众舆论的双重方面的压力。为了缓解这些问题,当前开挖修复正逐步朝着模块化作业、机械化施工以及快速恢复工艺的方向发展,比如运用预制组件、小型智能施工设备以及采取夜间施工的策略等等,以此来提高施工效率、缩短工期、减少对居民生活的扰动影响。虽说随着非开挖修复技术的广泛运用,传统开挖方式在多数普通的修复场景当中使用频率有所降低,但是在涉及到大口径管道更换、管基结构整体重建或者重大工程抢修等难度较高的场景里,开挖修复依旧具备不可取代的技术优势,依旧是当下市政管网系统更新改造进程当中的重要保障手段。

3.2 非开挖修复技术类型与适用性

随着地下空间利用率不断提升以及绿色环保施工理念广泛推广,非开挖修复技术因其干扰低、效率高且对环境影响小的特点,在市政工程中得到广泛应用,发展迅速。典型的非开挖修复技术有原位固化法(CIPP)、内衬法、局部树脂修补、喷涂修复和破管顶管替换技术等。CIPP技术通过在旧管道内引入柔性衬管,借助蒸汽或热水加热使其固化,形成结构强度高且耐腐蚀的新内衬,适用于多数常规缺陷修复以及中小口径管道的结构性增强。内衬法是把预制的塑料或玻璃钢管材插入老旧管道,结合填充材料,实现新旧结构紧密融合,适用于管径大且结构完好的管道修复^[2]。喷涂修复技术常用于小直径支管或局部破损区域,操作灵活、施工周期短、工艺简单。局部树脂修补适用于精确定位的微小裂缝与接口渗漏治理,效率高且材

料成本低。破管顶管技术适用于原有管道完全失效、无法修复的情况,利用专用设备将旧管道破碎并同步铺设新管,保留原有管道路线,减少地表开挖量,特别适合人口密集或交通繁忙区域。

3.3 修复技术的选择与比较

不同类型修复技术的应用要依据管道材质、损坏程度、管径大小、施工环境以及经济可行性等诸多因素来合理选定。开挖修复在结构损坏严重、需要整体更换的情况下适用,尽管其成本偏高,不过可靠性较强。CIPP法对于大多数老旧管道的内衬更新是适用的,它有着成型快、结构稳的优点,施工灵活性也比较高。局部树脂修补以及喷涂法则更适宜短距离、局部缺陷的快速修复,其维护成本较低,操作起来也很便捷。内衬法适用于不便开挖且需快速恢复管道运行的场景,而破管顶管则适合彻底更新且有较好施工条件的管线^[3]。在具体项目当中,一般要结合现场检测数据,综合考量技术成熟度、经济成本与环境影响等要素,从而制定出最优修复方案。通过多种技术联合运用、方案灵活配置,能够在保证修复效果的实现对城市运行秩序的最小干扰。

4 结语

市政给排水管道属于城市基础设施的关键部分,其实际运行状况对城市各项功能能否正常运转以及居民生活是否安全舒适有着极为直接的影响。针对市政管道当下存在的各类问题展开系统剖析,明确指出了我国管网系统下面临的老化、腐蚀以及泄漏等一系列普遍存在的难题。并且着重围绕管道检测以及修复这两个关键环节,就主流技术的原理、适用范围以及发展走向展开了较为详尽的探讨。在往后的日子里,需要进一步强化管道在整个生命周期内的管理工作,促使检测手段朝着智能化方向发展,让修复技术逐步走向系统化,同时建立起完备的运维管理体系,以此来提高市政基础设施的运行效能以及服务品质,最终达成城市排水系统能够可持续发展并实现高质量运行这样的目标。

[参考文献]

- [1]樊明明.市政给排水管道现状问题研究和检测修复[J].科技资讯,2022,20(14):94-96.
 - [2]陈宇.市政给排水管道渗漏的原因及防治举措研究[J].中华建设,2025(1):126-128.
 - [3]程霞霞.市政道路给排水管道施工的常见问题及预防措施研究[J].四川建材,2022,48(4):132-133.
- 作者简介:吕胶龙(1991.4—),男,助理工程师,籍贯:安徽省宿州市砀山县。

给水排水工程专业发展前景分析

谢瑞桃^{1,2}

1. 中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司, 安徽 马鞍山 243000

2. 华唯金属矿产资源高效循环利用国家工程研究中心有限公司, 安徽 马鞍山 243000

[摘要] 文中深入探讨给水排水工程专业的发展前景。在阐述专业内涵与发展历程基础上, 从城镇化进程加速、环保意识提升、国家政策支持、技术创新驱动、水资源紧缺等多方面分析其面临的发展机遇, 同时指出其在基础设施老化、技术创新挑战、人才培养滞后、投资资金压力等方面存在的挑战。并进一步对就业方向与人才需求、未来发展趋势进行剖析, 最后得出该专业前景光明但需多方努力应对挑战的结论, 旨在为相关从业者、教育者及学生提供全面了解该专业发展前景的参考。

[关键词] 给水排水工程; 发展前景; 机遇与挑战; 技术创新; 人才培养

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16627

中图分类号: TU99

文献标识码: A

Analysis of the Development Prospects of Water Supply and Drainage Engineering

XIE Ruitao^{1,2}

1. Sinosteel Maanshan General Institute of Mining Research Co., Ltd., Maanshan, Anhui, 243000, China

2. National Engineering Research Center for Efficient Recycling of Huawei Metallic Mineral Resources Co., Ltd., Maanshan, Anhui, 243000, China

Abstract: This article explores in depth the development prospects of the water supply and drainage engineering profession. On the basis of elaborating on the connotation and development process of the profession, this article analyzes the development opportunities it faces from multiple aspects such as accelerated urbanization, increased environmental awareness, national policy support, technological innovation driven, and water scarcity. At the same time, it points out the challenges it faces in terms of aging infrastructure, technological innovation challenges, lagging talent cultivation, and investment pressure. Further analysis will be conducted on the employment direction, talent demand, and future development trends, and the conclusion will be drawn that this major has a bright future but requires multiple efforts to address challenges, so as to provide a comprehensive reference for relevant practitioners, educators, and students to understand the development prospects of this major.

Keywords: water supply and drainage engineering; development prospects; opportunities and challenges; technological innovation; talent training

引言

水是生命之源, 是人类社会赖以生存和发展的基础性资源。随着全球人口增长、城市化进程加快以及人们对生活品质要求的不断提高, 水资源短缺、水环境污染等问题日益严峻, 给水排水工程作为与水资源合理利用和水环境保护密切相关的专业领域, 正面临前所未有的机遇和挑战。深入研究该专业的发展前景, 对于推动行业进步、培养高素质专业人才以及实现经济社会可持续发展具有重要意义。

1 给水排水工程专业概述

1.1 专业内涵与主要任务

给水排水工程专业主要研究水的社会循环过程, 涵盖从水源取水、水质净化处理、水的输送与分配, 到污水收集、处理与排放等一系列环节, 旨在为城乡居民生活、工业生产提供安全可靠的用水, 同时对产生的污水进行有效处理, 使其达标排放或实现再生利用, 以维护水环境质量和生态平衡。其主要任务包括:

①合理规划和设计给水排水系统: 确保水资源的高效

利用和合理配置。

②研发和应用先进的水处理技术: 提高水质处理效果。

③建设和维护给水排水基础设施: 保障系统的稳定运行。

制定科学的管理策略: 实现对给水排水系统的优化管理。

1.2 专业发展历程

给水排水工程的发展源远流长, 古代文明中就已出现简单的给水排水设施, 如古罗马的引水渠和中国古代的城市排水系统。随着工业革命的推进, 城市化进程加快, 对给水排水工程的需求不断增长, 推动了该专业的快速发展。19 世纪以来, 现代给水排水工程技术逐渐形成, 包括管道系统、污水处理技术等的不创新和完善。20 世纪中叶以后, 随着环境科学的兴起和人们环保意识的增强, 给水排水工程更加注重水资源保护和水污染控制, 相关技术和理论得到进一步发展和丰富。如今, 在信息技术、材料科学等多学科交叉融合的背景下, 给水排水工程正朝着智能化、绿色化方向迈进。

混凝土施工现场管理是一个系统性工作, 需要各个系统和环节交相呼应, 任何一个环节的疏忽都会造成建设施工的

不利。因而在进行混凝土施工监理时不应只监督某一个施工环节反而影响其他环节,造成施工质量不达标。为此需要重视建筑混凝土施工的全过程监理,监理的内容包括:设计方案、进入工地验收,浇筑全过程监理,监理混凝土养护。

建筑施工现场的全过程监理能确保建筑物的质量。混凝土质量可以被划分为强度质量和外观质量两大类。强度质量主要是指混凝土的安全性能,混凝土强度好使用时渗水或者出现小块脱离的状况就少,能确保建筑工程的使用周期;外观质量即混凝土外观情况,要求外观做到平整美观。建筑施工中不但要求混凝土的内部质量达标,并且也要求混凝土的外部美观大方,这就需要施工全过程都应进行建筑监理,控制每一个混凝土施工环节,进而有效地确保混凝土的施工质量以及外形达到预定的施工要求。

2 给水排水工程专业发展机遇

2.1 城镇化进程加速,基础设施建设需求增长

随着全球城镇化水平的不断提高,大量人口向城市聚集,城市规模持续扩张。这使得城市对给水排水基础设施的需求急剧增加,包括新建供水管网、污水处理厂、雨水排放系统等,以满足新增居民和工业用水需求,并处理相应产生的污水和雨水。据统计,过去几十年间,我国城镇化率从较低水平快速提升至目前的较高比例,城市用水人口和用水量大幅增长,对给水排水工程建设提出了迫切要求,为专业发展提供了广阔的市场空间。

2.2 环保意识提升,水污染治理需求迫切

近年来,人们对环境保护的关注度日益提高,对水污染问题的重视程度不断加深。工业废水、生活污水的排放以及雨水径流污染等,给水体环境带来了巨大压力,引发了一系列生态环境问题。为改善水环境质量,各地纷纷加大水污染治理力度,制定严格的污水排放标准,推动污水处理设施的升级改造和新建项目的实施。这使得给水排水工程专业在污水处理技术研发、工程设计与实施等方面的需求持续增长,为专业发展注入了强劲动力。

2.3 国家政策支持,行业发展有保障

各国政府都高度重视给水排水工程作为基础设施和环保领域的重要作用,出台了一系列政策法规予以支持。例如,我国在“十四五”规划中明确提出加强水资源保护和利用,加大污水处理设施建设力度,推进海绵城市建设等目标和任务,并给予相关项目资金支持和政策优惠。这些政策的出台为给水排水工程行业发展提供了有力的政策保障和发展导向,引导更多资源投入到该领域,促进专业技术进步和产业升级。

2.4 技术创新驱动,推动行业升级发展

信息技术、生物技术、材料科学等领域的快速发展,为给水排水工程技术创新提供了强大支撑。物联网、大数据、人工智能等技术在给水排水系统中的应用,实现了对系统运行状态的实时监测、智能控制和优化调度,提高了系统运行效率和管理水平,催生了智慧水务这一新兴领域;新型水处理材料和工艺的研发应用,如高性能膜材料、高

级氧化技术等,提升了污水处理效果和水资源回用率;生物技术在污水处理中的深入应用,如生物脱氮除磷技术的不断改进,提高了污水处理的生态友好性和可持续性。技术创新成为推动给水排水工程行业升级发展的核心动力,也为专业人才提供了更多施展才华的空间。

2.5 水资源紧缺,再生水利用前景广阔

全球水资源分布不均以及人口增长、经济发展带来的用水需求增加,使得水资源紧缺问题日益严峻。在这种背景下,再生水利用作为缓解水资源短缺的重要途径,受到越来越多的关注。通过给水排水工程技术将污水深度处理后转化为再生水,用于工业冷却、城市绿化、景观补水等领域,不仅可以节约新鲜水资源,还能减少污水排放对环境的压力。再生水利用市场的逐步扩大,为给水排水工程专业在再生水处理技术研发、工程设计与运营管理等方面创造了新的发展机遇。

3 给水排水工程专业面临的挑战

3.1 既有基础设施老化,改造任务艰巨

在许多城市,早期建设的给水排水基础设施经过长期运行,存在管道老化、腐蚀、漏水严重,污水处理设施陈旧、处理能力不足等问题。对这些既有设施进行更新改造,不仅需要投入大量资金,还面临施工难度大、对城市正常运行影响大等挑战。例如,老旧城区地下管网错综复杂,改造施工时容易对其他管线造成破坏,且施工空间狭窄,增加了施工难度和成本。同时,改造过程中如何确保城市用水和排水的正常运行,也是需要解决的关键问题。

3.2 技术创新面临难题,高端技术依赖进口

虽然我国在给水排水工程技术方面取得了一定进展,但在一些高端技术和关键设备方面仍依赖进口,如部分先进的污水处理膜技术、高精度水质监测仪器等。自主研发能力不足,导致在国际市场竞争中处于劣势,且技术引进成本高昂,限制了行业的快速发展。此外,技术创新需要大量的研发投入和专业人才支持,目前我国在这方面的投入相对不足,产学研合作机制也不够完善,影响技术创新的效率和成果转化。

3.3 人才培养滞后,难以满足行业需求

随着给水排水工程行业的快速发展,对专业人才的需求在数量和质量上都提出了更高要求。然而,目前我国高校相关专业的人才培养模式还存在一些问题,如课程设置与实际工程需求脱节,实践教学环节薄弱,导致毕业生实践能力不足,难以快速适应工作岗位。同时,行业内对高端创新型、复合型人才的培养力度不够,缺乏既懂技术又具备管理能力和国际视野的人才,制约了行业的技术创新和国际化发展。

3.4 投资资金压力大,资金来源渠道有限

给水排水工程建设和运营需要大量资金投入,包括基础设施建设、设备购置、技术研发、运行维护等方面。对于一些经济欠发达地区,资金短缺成为制约给水排水工程发展的重要因素。目前,我国给水排水工程建设资金主要依赖政府财政投入和银行贷款,资金来源渠道相对单一,社会资本参与度不高。如何拓宽资金来源渠道,吸引更多社会资本投入,缓解投资资金压力,是行业发展面临的一个重要挑战。

4 给水排水工程专业就业方向与人才需求

4.1 主要就业方向

政府部门与事业单位：毕业生可在各级政府的水务部门、环保部门、建设部门等从事水资源管理、水污染防治规划、给排水工程建设管理等工作，参与政策制定、项目审批和行业监管等事务。

设计单位：在各类建筑设计院、市政设计院、环保设计院等，负责给水排水工程的设计工作，包括城市供水管网、污水处理厂、建筑给排水系统等的设计，需要具备扎实的专业知识和良好的设计能力。

施工单位：参与给水排水工程的施工建设，负责工程现场的组织管理、施工技术实施等工作，要求具备一定的工程实践经验和施工管理能力。

运营管理单位：如城市水务集团、污水处理厂等，负责给水排水设施的日常运营管理，确保设施稳定运行，保障供水安全和污水处理达标排放，需要掌握设施运行维护技术和管理知识。

科研机构与高校：从事给水排水工程领域的科研工作，开展新技术、新工艺的研究开发，为行业发展提供技术支持；或在高校担任教师，培养专业人才，同时开展科研活动，促进学科发展。

4.2 人才需求特点

复合型人才需求增加：随着行业技术创新和智能化发展，既懂给排水专业技术，又掌握信息技术、自动化控制技术、项目管理知识的复合型人才备受青睐，能够适应智慧水务等新兴领域的发展需求。

高端创新人才稀缺：在水处理技术研发、水资源综合利用等前沿领域，对具有创新能力和国际视野的高端人才需求迫切，他们能够引领行业技术创新和发展方向。

实践能力要求提高：企业更加注重毕业生的实践能力和解决实际问题的能力，希望招聘到能够快速上手工作，在工程实践中发挥作用的人才，因此具有丰富实践经验和实习经历的毕业生更具竞争力。

5 给水排水工程专业未来发展趋势

5.1 智慧化发展趋势

未来，智慧水务将成为给水排水工程发展的核心方向。通过物联网、大数据、云计算、人工智能等技术的深度融合应用，实现对给排水系统的全面感知、实时监测、智能决策和精准控制。例如，利用智能传感器实时采集管网水压、水质、流量等数据，通过大数据分析预测用水需求和设备故障，实现供水系统的优化调度和设备的预防性维护；运用人工智能技术对污水处理过程进行智能控制，提高处理效率和降低能耗。智慧化发展将大幅提升给水排水系统的运行效率、管理水平和服务质量，为城市可持续发展提供有力支撑。

5.2 绿色可持续发展趋势

在全球倡导绿色发展和可持续发展的大背景下，给水排水工程将更加注重节能减排、资源回收利用和生态环境保护。一方面，推广应用绿色环保的水处理技术和工艺，如生物处

理技术、生态湿地处理技术等，减少处理过程中的能源消耗和污染物排放；另一方面，加强水资源的循环利用，提高再生水利用率，实现污水的资源化；同时，在工程建设中注重生态设计，保护和修复水生态系统，构建可持续的城市水系统。

5.3 多学科交叉融合趋势

给水排水工程将与更多学科进行深度交叉融合，推动行业技术创新和发展。与材料科学交叉，研发新型高性能给排水管材、水处理材料，提高系统性能和使用寿命；与生物技术交叉，进一步拓展生物处理技术在污水处理中的应用，开发新的生物处理工艺和菌种；与信息技术交叉，促进智慧水务发展；与环境科学交叉，加强水资源保护和污染防治研究，实现水环境保护与给水排水工程的协同发展。多学科交叉融合将为给水排水工程带来新的理念、方法和技术，开拓更广阔的发展空间。

5.4 国际化发展趋势

随着经济全球化和“一带一路”倡议的推进，给水排水工程领域的国际交流与合作日益频繁。一方面，我国的给水排水工程企业和技术将走向国门，参与国际市场竞争，为其他国家提供工程建设和技术服务；另一方面，国外先进的技术、管理经验和设备也将进入我国，促进国内行业的发展。同时，在国际合作中，将加强在水资源管理、水污染治理等方面的共同研究和经验分享，推动全球给水排水工程行业的共同进步。国际化发展要求专业人才具备国际视野、跨文化交流能力和国际工程管理经验。

6 结束语

给水排水工程专业作为保障城市正常运行和水环境保护的重要专业领域，在当前和未来都具有广阔的发展前景。城镇化进程加速、环保意识提升、国家政策支持、技术创新驱动以及水资源紧缺等因素，为专业发展带来了诸多机遇；但同时也面临既有基础设施老化、技术创新挑战、人才培养滞后、投资资金压力等问题。未来，给水排水工程专业将朝着智慧化、绿色可持续、多学科交叉融合和国际化方向发展，对复合型、高端创新型人才的需求将不断增加。为抓住发展机遇，应对挑战，政府、企业、高校和科研机构需共同努力，加大对基础设施建设和技术研发的投入，完善人才培养体系，加强国际交流与合作，推动给水排水工程专业不断发展进步，为经济社会可持续发展做出更大贡献。

【参考文献】

- [1]中国城镇供水排水协会.中国城镇水务发展报告(2022)[M].北京:中国建筑工业出版社,2022.
- [2]陈志强.智慧水务系统的设计与实践[J].环境工程学报,2021,45(8):24-29.
- [3]国家“十四五”节水型社会建设规划[R].2021[Z].
- [4]李强.给水排水工程专业的现状与未来发展方向[J].高等教育研究,2020,39(6):78-83.

作者简介：谢瑞桃（1992.4—），女，安徽省芜湖市人，汉族，研究生学历，中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司-中级工程师，从事矿山给排水设计工作。

浅析城市给排水管道修复施工

赵光桦

上海浦东水务（集团）有限公司，上海 201399

[摘要]随着城市的快速扩张，城市的生产、生活用水量也在不断提高。市政给水、污水管网对保障城市生产生活的正常运行发挥着重要作用。市政给排水管网不仅履行城市生产和生活供水、排水的基本功能，还履行改善和调节城市生态的功能。

[关键词]管道修复重点及难点；开挖及非开挖施工；优缺点对比；过程管理

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16651

中图分类号: TU991.36

文献标识码: A

Brief Analysis of Urban Water Supply and Drainage Pipeline Repair Construction

ZHAO Guanghua

Shanghai Pudong Water (Group) Co., Ltd., Shanghai, 201399, China

Abstract: With the rapid expansion of cities, the production and domestic water consumption of cities are also constantly increasing. The municipal water supply and sewage pipeline network plays an important role in ensuring the normal operation of urban production and life. The municipal water supply and drainage network not only fulfills the basic functions of urban production and domestic water supply and drainage, but also improves and regulates the urban ecology.

Keywords: key and difficult points of pipeline repair; excavation and non excavation construction; comparison of advantages and disadvantages; process management

引言

随着城市的快速扩张，城市供水和污水管网的重要性与日俱增。然而，经过多年的连续使用，很多管道已经濒临报废，很多城市的管道系统都出现了老化、损坏等问题。针对这些棘手的地下管道修复及更换问题，目前最行之有效的手段，是对这些管道进行开挖或非开挖修复，以保证给排水管道正常运行。本文分析了管道修复施工的重点难点问题，详细讨论了管道开挖技术、修复方法和施工过程管理，全面探讨了市政管道开挖和非开挖修复的技术方面。

1 管道修复施工重点及难点

1.1 地质条件复杂

因为城市地下的土壤状况多样型的特点以及上海地区土质尤其松软，施工时容易发生滑坡，给施工带来很多困难。因此，每个工程都必须提前对施工区域进行勘察，包括施工前进行详细的土壤勘测和地形测量，了解土壤性质，勘察地下情况，绘制出详细图纸和出具设计方案，并选择合适的施工方法和施工机具。

1.2 周边环境复杂

上海地下管网历史悠久、类型多样、密集且发展迅速。因此，城市供水、污水管道通常与各种地下管线及其他基础设施交织在一起。为了确保施工过程中地下管线的安全运行，不影响周边环境。因此，每一个项目都要提前对施工区域进行勘探，包括充分调研周边地下管线和基础设施，根据调研结果制定详细的施工方案以及与相关管线权属单位进行及时沟通。

1.3 工期紧张，任务艰巨

城市供水、污水管道修复工程一般都是时间紧，任务重。往往施工单位需要在接到指令后马上赶赴现场查看，根据现场情况订出抢修方案，以确保管道的损坏对居民的生产及生活影响降到最低。城市供水、污水管道被道路结构层所覆盖，为了抓紧施工，施工时间段经常在后半夜或交通条件不便利的时候。这也给施工单位额外的增加了施工难度。因此，施工前要提前审核施工方案及应急措施，包括合理规划施工进度，充分利用夜间，做好夜间施工措施，避免交通不便的时间段进行施工，并提前做好施工准备工作。

1.4 施工安全风险

供水和排水管道修复工程涉及开挖和非开挖施工作业，实施过程中存在土方塌陷、高处坠落、有毒有害气体等安全隐患。因此，每个项目施工前都必须做好安全措施，包括对人员进行培训、持证上岗、严格遵守安全操作规程、定期进行安全检查和风险评估、及时处理安全风险等。

1.5 施工方法多样性

随着科技水平的高速发展，城市给排水管道修复工艺日益丰富，可选范围也比较多。因此选择最合适的修复技术成为了关键。在选择修复工艺时，必须综合考虑工程造价、周边环境、管道破损情况和现场施工条件等因素。

1.6 文明施工的重要性

文明施工要求施工企业需要强调施工过程中人员，材

料、设备、机械等的管理。施工期间会对周边环境或多或少的产生影响,其中主要措施包括安装防噪音的屏障、降低震动的传播、粉尘的控制、废水的处理等。

2 管道修复工艺分类

2.1 开挖修复

开挖修复是日常常见,对管道进行直接的修复方式。适用范围:当管道结构严重损坏、无法利用时且现场开挖施工的条件较好时可采用开槽埋管翻新,将一段设计管段全部翻挖更新。

主要施工步骤:

①沟槽的开挖:根据管道位置在红线内进行开挖,确保作业面稳定安全。开挖方式的选择一般是根据管道位置和深度,选择合适的开挖方式,如人工开挖或机械开挖。在开挖过程中,应注意保持边坡稳定,防止坍塌。开挖过程控制:开挖时应逐层进行,避免超挖。同时,应做好排水工作,防止积水影响施工。

②管道的更换或修复:将损坏的管道进行更换,受损不严重的部位进行常规修复。修复过程中应严格按照施工方案进行,确保修复质量。同时,应做好安全防护工作,防止施工人员受伤。

③回填与恢复:对开挖部分进行回填,恢复原状。回填过程中应注意夯实,确保回填土密实度达到设计要求。同时,应做好排水工作,防止积水影响回填效果。

2.2 非开挖修复

非开挖修复技术因其对环境影响小、施工时间短、方法多样等优点,在城市给水、污水管道修复中经常得到运行。目前的非开挖修复技术有热水固化法、紫外光固化法、机械制螺旋缠绕内衬法、碎(裂)管法、短管内衬法、点状原为固化法、不锈钢双胀环等技术^[1]。

2.3 管道修复方案选择

排水管道的修复方法按照难易及对环境影响的程度分为开挖修复或者非开挖修复,表1中分析了两种方法在进度、质量、成本和对周边环境影响上的差异。

3 管道修复施工工序

3.1 管道修复准备工作

施工前先申请办理好占路及临时封堵管道、交通组织措施等相关手续,落实好临时排水措施和泵站配合工作。根据提供的管道信息,对开挖区域内的地下管道位置进行详细勘察。并设计适当的临时支护措施,确保管道不被损坏,同时保证施工安全。

3.2 管道开挖技术

管道的开挖重点在于防止边坡塌方,应根据施工现场的实际情况和土质确定边坡开挖平整相关系数。由于给水、排水管道一般安置在道路结构层以下,因此埋深3m及以上排水管道开挖的沟槽应采用拉森钢板桩围护,伴随坑内灌浆。开挖时,应根据开挖深度、地质条件和拟建管道的位置确定开挖方式。挖出的土方要妥善堆放,土方堆放距离沟槽边缘大于1m,以避免影响沟槽的稳定和周围建筑物的安全。开挖宜采用人工或机械开挖,沟底应不少于20~30cm的土层由人工开挖,避免扰动基底,开挖至设计标高后整平。开挖时要及时支撑,不同开挖深度采取的支撑方法也不尽相同。

3.3 非开挖修复技术

近年来,非开挖修复技术在领域内取得了显著进展,而在上海地区,这一技术的主要应用形式涵盖了热固化技术(利用热水进行固化处理)、紫外光固化修复法、局部原位固化工艺以及不锈钢双胀环修复法等多种手段。

①热水固化法:热水固化法是在水的作用下使软管完成翻转。热水固化法是通过将浸渍有热固性树脂的软管翻转或拉入待修复的管道内部,然后利用热水循环加热,使树脂在管道内部发生固化反应,形成一层新的、紧贴原有管道的内衬结构,从而达到修复管道的目的^[2]。

②紫外光固化法:紫外光固化是指在强紫外光线照射下,引发紫外光固化树脂体系中的光敏物质发生化学反应产生活性碎片,使体系中活性单体或低聚物聚合交联,让体系由液态涂层瞬间变成固态涂层达到固化效果^[3]。

表1 管道修复方案选择

分类	进度	质量	成本	周边环境影响
开挖修复	周期长	开挖修复能够挖掘管道以上的结构层,直接将损坏的管道暴露出来并直接进行修复损坏的管道部分,这样能够确保修复工作的准确性和完整性。通过肉眼直接观察进行修复,可以最大程度地恢复管道的功能和性能	对于施工不利条件多,影响大的城区管道,整段开挖,成本高	开挖修复会破坏原有的地面和绿植,对周围环境造成一定的影响,如产生噪声、扬尘等污染。在人口密集、交通繁忙的地区进行开挖修复,会导致交通中断,造成交通拥堵行人不便等现象。而且开挖修复可能需要对公共设施进行破坏和恢复,因此会产生额外的施工成本,如房屋沉降检测费、管线保护或搬迁费等
非开挖修复	速度快,灵活性强	非开挖修复技术的管道质量相对难以控制,因为施工过程通常是在地下进行的,一般都是凭经验和机器辅助,难以直接观察和监控,难免有误差。这要求施工人员具备较高的技术水平和经验	对于施工不利条件多,影响大的城区管道优先选用非开挖,整段修复成本低	非开挖修复无需进行大规模的地面开挖,从而减少了对地面的破坏和绿植改变。这有最大可能的保持地面原状,同时也减少了对周围建筑物和基础设施的影响。且与传统的开挖修复相比,非开挖修复产生的噪音和振动较小。非开挖修复如果前期没对现有管线进行详细调查可能会对原有管线进行破坏等,造成不必要的社会问题

③点状原位固化法：点状原位固化法是一种局部非开挖修复方法。该技术通过气囊压力使浸渍有树脂的毡筒紧密贴合于原有管道内壁，随后待其自然固化成型。该技术通过在受损部位固化树脂，增强管道结构强度，从而达到修复目的。在对管道局部现场固化修复前，需对管道周边土体进行注浆强化处理，确保注浆材料充分填充土层及空隙，形成有效的防渗层，增强土体稳定性，防止土壤流失，并提升管道基础土体的承载力。随后，结合局部现场固化修复技术，确保排水管道能够长期稳定且正常地运行。

④不锈钢双胀环法：不锈钢双胀圈安装流程为：止水橡胶圈定位→密封垫黏接→止水橡胶圈安装→不锈钢胀环定位→不锈钢胀环固定→液压设备拆除^[4]。此方法是将橡胶与不锈钢双胀环组合安装在管道内部。操作过程包括首先将环状密封带稳固安装，随后利用不锈钢带紧紧贴合并压制住橡胶带，最后通过液压千斤顶施加力量，确保钢带达到所需的紧固程度。该法尤其适用于管径不小于Φ800的球墨铸铁管道及钢筋混凝土管道等大型管道系统。

3.4 非开挖修复的选择

排水管道非开挖修复工艺技术种类较多，具体实施时需根据管道破损程度、管径尺寸和施工环境选择适配工艺，表2中列举了几种不同修复技术的适用范围和优缺点。

3.5 管道检测技术

在进行管道修复工作之前，首先是对计划修复的管道执行全面的检测作业，以精确识别出破损的具体位置及其严重程度，并据此根据不同修复工艺的优缺点制定合适的

修复计划。这一检测过程在现场通常依赖于管道内部检测技术，其中，闭路电视（CCTV）检测机器人作为一种常用手段，被用来进行管道内部的探查与破损点定位。技术人员会依据CCTV机器人传输回的图像信息，进行细致的分析，从而准确判断管道损坏的精确位置。

4 施工过程管理

4.1 质量控制

施工前，需要控制人材机、方法和环境等因素，来保证工程质量。施工期间，对材料（如管材、管件）等进行合规性检测，达到要求才可入场使用。同时期间要加强监督与检查力度，一旦发现质量问题，立即采取措施予以纠正。项目后期，则需对修复后的管道进行全面检测与测试，确保其质量符合合同要求，并提供完善的质保服务。

4.2 安全管理

安全管理在施工流程管理中占据核心地位。施工过程中，必须严格遵守安全操作规程，针对特定岗位进行技能培训，确保员工具备必要的操作技能和安全知识，提升施工人员的现场安全意识。现场安管人员持证上岗，定期对现场进行隐患排查。

4.3 环保管理

市政管道工程在施工过程中应高度重视环保管理。应尽量减少对周边环境的污染与破坏，妥善处理施工废弃物与污水。同时，还需严格控制施工噪音与扬尘，确保施工活动不会对周边居民的正常生活造成不良影响。

5 结论

城市供排水管网系统的修复施工构成了城市基础设施

表2 非开挖修复的选择

非开挖修复技术	适用范围	优点	缺点
热水固化法	适用于各种材质的管道，如铸铁管、钢管、陶瓷管、塑料管等；修复管径范围 DN200-DN1500	该方法适用于各种形状和大小的管道，包括弯曲、变径和分支管道等。它能够根据管道的实际情况进行定制化的修复方案，确保修复效果	该方法需要使用专业的设备和材料，占地面积大，导致整体施工成本的增加，施工过程中要连续作业时间长，速度慢。且需要使用大量的热水，对于水源较少的地区可能存在一定的困难。同时该方法修复的管道使用寿命普遍较短
紫外光固化法	适用于排水管道、供水管道、化学及工业管道等；修复管径范围 DN200-DN2400	该方法施工速度快，通常较小管径的管段施工仅需数小时内完成。且占地面积小，对交通影响小。修复后的内衬管耐久实用，材料强度大，耐久性时间长	该方法需要特殊的施工设备和紫外光链。且需要专业的技术人员进行操作和控制。管道直径越大固化效果越差
点状原位固化法	适用于修复管道局部损坏，如破裂、变形、错位、脱节、渗漏等结构性缺陷。且各种材质的管道。修复管径范围 DN200-DN1500	施工速度快，修复周期短，可快速恢复管道的正常使用。修复效果好，且无需加热或紫外线等辅助能量固化，减少了施工难度和成本，施工过程安全环保	该方法是针对管道的局部修复，所以修复效率不高且对施工人员的操作技术要求较高，需要具备一定的专业知识和操作技能
不锈钢双胀环法	主要适用于修复管道接口或局部损坏部位的止水问题。且适用于球墨铸铁管、钢筋混凝土管等材质的管道。修复管径范围 >DN800	施工速度快，修复效果好稳固性强，且止水效果好，可以承受一定的变形	仅适该方法仅适用于大口径管道的施工，对于小管径管道可能不适用。对管道基础结构有一定的要求，如管道基础结构不稳定或管道线形变形较大等情况下可能无法修复。需要使用不锈钢胀圈和橡胶止水密封带等材料，成本相对较高

施建设的核心要素,在具体的市政给排水管道修复过程中,需要充分综合考量市政给排水管道的实际情况及实际材质,从而选择最佳的市政给排水管道修复技术^[5]。面对当前城市化进程的迅猛推进,采取先进科学的施工技术手段,并结合严谨的管理体系,是确保此类工程项目质量与安全的关键所在。这些先进修复技术对于守护城市供水安全底线、保障排水体系高效运作具有不可替代的作用。展望未来,技术迭代不息,城市管理智慧化水平日益增强,市政管道工程将迈向更高效能、更绿色环保、更可持续发展的新阶段,为打造生态友好、智慧赋能、居民满意的现代化都市环境添砖加瓦。

[参考文献]

[1]吴凡,李张卿,韩卫强,等.城市水环境治理中管道修复技

术应用研究[J].给水排水,2022,58(1):471-475.

[2]李连合,黄宗仁,宋小伟,等.翻转热水固化法 CIPP 在变向管道一次性修复中的应用 [J]. 工程建设与设计,2019(16):72-73.

[3]刘康,樊静.紫外光固化技术在非开挖排水管道修复中的应用[J].云南水力发电,2024,40(7):107-109.

[4]丁文义,卢国途,孔得宽.不锈钢双胀环修复方法在惠州水环境项目的应用[J].云南水力发电,2023,39(10):215-218.

[5]樊明明.市政给排水管道现状问题研究和检测修复[J].科技资讯,2022,20(14):94-96.

作者简介:赵光桦(1980—),男,汉族,籍贯浙江诸暨,本科,上海浦东水务(集团)有限公司,工程师,给排水工程管理。

机械制造工艺与机械设备加工工艺探讨

陶 喜

中联重科股份有限公司, 湖南 长沙 410131

[摘要]机械制造工艺与加工工艺是推动工程机械行业高质量发展的核心动力, 为了提升工程机械制造行业建设效率, 需加强对机械制造工艺与机械设备加工工艺分析。机械制造流程复杂, 涉及环节众多, 需严格把控各环节质量。以下将中联重科股份有限公司的实际情况作为案例, 明确机械制造工艺与机械设备加工工艺的具体内容和特点, 调查可靠性影响, 并基于实际案例给出提高可靠性的有效方法, 为行业高质量发展提供参考。

[关键词]机械制造工艺; 机械设备; 加工工艺

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16643

中图分类号: TH16

文献标识码: A

Discussion on Mechanical Manufacturing Technology and Mechanical Equipment Processing Technology

TAO Xi

Zoomlion Heavy Industry Co., Ltd., Changsha, Hu'nan, 410131, China

Abstract: Mechanical manufacturing technology and processing technology are the core driving force for promoting the high-quality development of the construction machinery industry. In order to improve the construction efficiency of the construction machinery manufacturing industry, it is necessary to strengthen the analysis of mechanical manufacturing technology and mechanical equipment processing technology. The mechanical manufacturing process is complex and involves numerous links, requiring strict control over the quality of each link. The following will take the actual situation of Zoomlion Heavy Industry Co., Ltd. as a case study to clarify the specific content and characteristics of mechanical manufacturing technology and mechanical equipment processing technology, investigate the impact of reliability, and provide effective methods to improve reliability based on actual cases, providing reference for the high-quality development of the industry.

Keywords: mechanical manufacturing process; mechanical equipment; processing technology

科技在高速进步的同时也为我国机械制造行业带来强大动力, 特别对机械零部件精度要求逐渐提高, 使机械制造行业在市场上面临激烈竞争。提高机械制造工艺的精密密度使机械设备加工质量提升, 且大部分用户需求逐渐满足, 由此引起人们对机械制造工艺的重视。机械制造工艺和机械设备加工工艺联系较大, 重视机械制造工艺质量, 加强技术创新以及保证机械设备加工工业完善, 对我国现代工业稳定发展也同样重要。

1 案例分析

中联重科股份有限公司作为全球内的工程机械制造商, 制造业务有关键零部件加工、大型结构焊接、整机装配等, 发展工艺正在向着高精度、轻量化、智能化方向突破。如: 起重机臂架焊接工艺, 传统方式为人工焊接和火焰校正模式, 焊接合格率控制为 88%, 臂架直线度误差保持约 3mm/m。当前工艺结合激光跟踪、机器人焊接方式, 总体将焊接合格率提升到 94%, 臂架直线度误差大约保持 $\pm 1\text{mm/m}$ 以下。对该企业的液压阀体精密加工设备逐渐升级, 对传统的数控机床设备予以完善, 基于传统工艺和新工艺应用不同, 做出对比(表 1)。该企业到 2023 年开始实现智能工艺, 无论在人均差值、生产周期、设备综合效率

还是质量损失率方面均得到改善。目前还面临一些问题比如生产检修、生产规范, 还有待加深研究。

表 1 传统工艺和新工艺的各项指标对比分析情况

指标	传统工艺	新工艺
孔径公差	$\pm 0.03\text{mm}$	$\pm 0.01\text{mm}$
表面粗糙度	Ra 1.5 μm	Ra 0.3 μm
换型时间	110 分钟	10 分钟

如表 1 所示, 新工艺通过智能化数控机床升级, 孔径公差缩减至 $\pm 0.01\text{mm}$, 表面粗糙度优化至 Ra 0.3 μm , 换型时间压缩至 10 分钟。这不仅提升了液压阀体的密封性, 还显著降低了生产成本。

2 机械制造工艺与机械设备加工工艺

机电一体化在各个地区的生产和加工中得到应用, 在该模式下为了保证社会地位逐渐提高, 需企业自身综合实力提升并获得较强的竞争优势。技术在竞争中属于一把双刃剑, 且得到人们的广泛关注。特别在激烈的市场竞争下, 企业为了获得较为稳固的市场地位并且达到长期发展, 需提升自身科学技术水平, 基于自身科技发展充分发挥自身优势, 随着技术创新使生产效率最大程度提升, 其在人们

对生活质量要求的今天也能为机械制造行业发展创建强大动力。基于此,各个制造行业发展中需积极探索和创新,保证设计的产品与人们发展需求满足。机械设备制造中积极渗透科学技术,综合各项生产方式提高设备应用质量。还需确定工艺生产目标,优化设备工艺性能,使整个工艺流程规范完成。机械制造工艺的结构、生产流程复杂,其中包括技术方法、内容等,且生产工艺、设备与后期生产质量存在较大关系,在科学技术逐渐发展下,传统制造工艺与当前发展需求不符,更需为机械产品提出高要求,这种情况下使机械制造行业面临较大挑战。机械制造工艺内容分别为:(1)气体保护焊工艺。气体保护焊工艺在机械制造工艺中的应用广泛,该技术方法中的电弧能达到一定保护作用,维护整个气体焊接质量。实际焊接期间,电弧周围可能发生气体,这种情况下电弧与绕组之间绝缘现象明显,需给出一定保护作用避免产生电弧,也能提高焊接的质量。气体保护中,一般基于焊接保护工艺与二氧化碳气体完成,实际成本得到优化控制,总体应用价值提升。

(2)电阻焊工艺。为了将被焊接的对象与正负极对接需使用电阻焊接技术,从而保证能量得到有效灌输。但是,生产或者移动期间容易导致焊接位置融化,且其中的融化速度提升,这种情况下更需外部压力完成,也会给电阻焊接工艺提出高质量要求,并在整个工作开展中对生产效率加以监测,以保证节约更多时间,减少对大量人力资源高效应用,防止发生一系列问题。电阻焊工艺使用是基于绿色化环保理念完成的,具有保护环境作用,且焊接工艺的应用效果良好,但需较高设计成本,当发生异常、问题后需更多维修成本。因此,该技术在航空器领域的生产与制造中还不适合。(3)埋弧焊工艺。埋弧焊工艺主要对焊剂表面完成电弧焊接,基于自动和半自动焊接方式分析,自动化焊接工艺实际操作简单,实际运行中不存在一定复杂性,这种自动焊接方式能使焊丝位置发生变化;半自动焊接方式是依赖人工辅助完成,机器仅完成一部分工作,其他部分为人工完成。如:电弧移动操作由人工完成,机器在其中的作用不大。但是半自动电弧实际应用范围不大,多是需更多投入成本。(4)螺柱焊。机械制造工艺中使用螺柱焊的作用也非常显著,焊接前实际操作一般由人为完成(连接板件、管件和螺柱),随后通电,基于电弧融化两者之间位置,通过一定压力完成焊接^[1]。

3 机械制造工艺与机械设备加工工艺特点分析

3.1 互联性

机械制造工艺与机械设备加工工艺具有互联性特征,这种特点不仅体现在加工工艺方面,还需应用技术,明确设备的能力、市场上生产产品等,以保证产品的整体生产线有效。整个过程经一系列科学处理使机械制造生产充分发挥作用,促使机械加工的关联性逐渐增强。

3.2 全球性

机械制造工艺与机械设备加工工艺不仅与我国经济

发展存在一定关系,在全球竞争下作用明显。全球化竞争实质就是科技之间的竞争,我国工程机械行业在全球范围内占比较大,为了立足于国际市场占比,更需引起重视,对机械制造工艺与机械设备加工工艺做出技术创新发展。

3.3 系统性

基于目前机械制造实际情况分析,机械制造的有关技术开始和计算机自动化技术相互结合,这种模式下发展的机械制造工艺和传统制造工艺比较优势明显,很大程度上保证生产质量、生产效率提升。技术是现代工业建设与发展的强大力量,需机械制造行业引起技术创新的重视,能深入到制造过程中的难点问题分析与解决中,致力于提升机械制造工艺与机械设备加工工艺水平。我国正面临转型发展阶段,各个行业面临较大制约,所以,机械制造行业不仅需加以重视,也要深入到技术研发工作中,及时引进国内外先进技术,解决机械制造生产中的不足,确保为机械制造发展提供强大力量^[2]。

4 机械制造工艺与机械设备加工工艺影响可靠性的因素

4.1 设备检修

在机械设备实际运行过程中,设备检修为其中的重点内容。机械设备使用中均可能发生问题,经有效且合理的检修,能使设备应用寿命逐渐延长。加上机械设备自身由多个零部件组成,每个零部件的实际应用周期不同,若实际应用时间较长,则可能导致各个零部件发生磨损,这种情况下需更换零部件,以免导致机械设备运行中引起安全隐患,防止各个零部件严重磨损影响产品质量、精密度等,这对企业来说也将造成较大的经济损失。为此,需根据企业实际情况制定机械制造工艺与机械设备加工方案,对设备全过程详细检查,对零部件损坏情况详细调查,有损坏的零部件及时更换,避免发生问题,促使设备运行更稳定,以免给制造产品质量带来不良影响^[3]。

4.2 生产规范

机械制造行业实际发展过程中工艺制定流程比较复杂,由于工艺和整个机械行业发展存在明显关系,所以要保证为机械制造设立统一标准,促使整个生产的产品规格统一、规范,以免造成产品的大小不同,防止影响产品在各个领域的应用。机械制造行业内的产品还存在一定流动性特征,但这种流行性较低,加上我国机械制造行业水平不同,产品的流行性差异性也非常明显,不适合在国际市场上立足。因此,对企业的产品制造工艺、生产流程予以关注,针对其流行性和质量不同,不同机械产品的应用种类和确立的产品质量也不同,需确保各项产品生产规范,以促使机械制造中的各个问题得到解决。

5 机械制造工艺与机械设备加工工艺可靠性增强的方法

5.1 加强技术管理

我国的机械制造行业起步晚,在技术方面与国外比较

需加以创新和改进,以促使我国的制造行业质量提升,使各个生产流程更规范,为生产工艺优化建设提供保障。在现代机械化程度逐渐增强的同时,我国的生产技术水平提升,大量的机械加工技术得到机电一体化发展,为我国生产的可靠性建立重要技术依据。并且,在现代信息化技术水平提升下,我国还需增加更多资金投入,对实际生产流程、生产内容予以完善,随着生产设备、生产原材料的相互结合,设备和技术的应用率提升^[4]。

5.2 增强工艺精度

在机械设备制造和生产过程中,需重视各个零部件的实际应用质量、解决精度问题等,保证机械设备应用与现代生产实际情况、建设标准均符合。一般情况下,机械设备应用中受到不同因素影响导致制造设备的使用精度降低,为了对该问题充分解决需为其增加人力、物力和技术方面支持,保证我国的机械设备安全性、质量均得到控制,且各个零部件的质量得到保证,机床获得的加工精度与实际也更符合。当前,随着人们对产品需求量增长,对产品质量也提出更高要求,该情况多是由于人们对该方面需求逐渐丰富,需制造行业主动探索,努力按照人们的需求情况设计出符合的产品。机械设备制造中也需科学技术支持,基于多种方式相互结合使设备质量得到控制。机械制造工艺生产需明确一定目标,优化生产流程,实际上,机械制造工艺结构较为复杂,其中包括大量技术方法、技术内容等,生产流程均会导致生产质量受影响。基于科学技术水平的不断提升,传统制造工艺、制造方法与实际发展需求无法符合,为了使产品获得高质量,需将产品生产和现代技术相互融合,保证总体流程得到改进和优化^[5]。

5.3 优化加工设备

机械制造行业加工中的关键为设备,对设备合理选择,提高设备的应用性能能获得更高产品精度。在机械设备实际选择过程中要按照一定原则完成,如:考虑产品具备的可行性、提升产品的应用效率等。为了保证加工设备应用精度更高,可以选择车床、铣床,使加工需求满足不同种类生产。机械生产中不仅需将技术和加工方法相互结合,也要体现出加工工艺,在关注机械生产中的各个零件精度与质量前提下,也要分析零件的外形。如:对零件的外观予以改善,先注意零部件具有的准确性,按照加工技术原则完成,防止二次或者重复性加工,这样加工产品的整体轮廓有效维持,防止被损坏。加工中还可以使用切削液,其作用是针对表面粗略冷却、润滑,能防止设备发生损伤,且产品表面的辐射度也会得到维持,使产品处理精细化提高^[6]。

5.4 实现精细管理

机械制造加工过程中也会发生一些问题、差错等,这些情况多与操作不合理有关。所以,注意对错误生产流程详细检查,予以精度详细控制,使机械加工的各个流程可

靠性提升。机械加工期间,还需技术人员对钻孔的尺寸、钻孔大小严格设定,如:孔位性能和设计要求符合,使机械设备的应用性能增强。为了将生产加工中的各个误差降低,可以基于最小二乘法完成定量分析。技术人员按照分析结果、钻孔位置对其加工生产,保证测量误差均能得到控制。并且,还需对不同的工艺种类、不同工艺问题探讨,方便工艺人员按照具体情况处理等,使产品质量和确定的标准符合。在以上各个处理流程下,也要对孔洞完成详细加工处理,最好将孔洞控制比例降低。机械制造工作中,也不能忽视技术人员的专业性、技能,特别在自动化生产技术逐渐应用模式下,随着机械产品生产质量、精度的高标准提出,更需要技术人员重视产品性能、外观等,以使机械产品总体质量获得高水平提升^[7]。

6 结语

机械工程建设中体现不同流程,如:制造流程、技术流程。在现代科学技术发展下,设备设计还无法完全满足制造行业发展要求。我国制造行业已经从传统模式逐渐发展为现代化设计模式,如:机器设计中使用先进技术解决实际问题。且机械设计在各个领域应用,基于现代创新技术提升总体应用率,设计方案得到优化、设计技能提升。当今社会经济趋势逐渐上升,传统生产技术与现代社会发展需求无法满足,还需给现代机械产品提出更高要求,这就使机械行业发展面临一些挑战,为了在全球竞争下占据有利地位,保证机械制造行业的进步与发展,需倡导发展的自动化和智能化,为机械制造发展提供强大动力,增强整体生产精细度。

【参考文献】

- [1]王志琴.机械制造工艺与机械设备加工工艺探讨[J].中国设备工程,2024(7):112-114.
- [2]刘荣泰.机械制造工艺与机械设备加工工艺探讨[J].中国设备工程,2021(2):121-122.
- [3]刘铁夫,叶宇能,徐征.机械制造工艺与机械设备加工工艺探讨[J].中国设备工程,2020(16):115-116.
- [4]李宏,刘智.机械制造工艺与机械设备加工工艺探讨[J].商品与质量,2020(50):13.
- [5]齐观猛,刘庆元.机械制造工艺与机械设备加工工艺探讨[J].全体育,2022(23):261-262.
- [6]范雄辉,吴连云,阙富荣.机械制造工艺与机械设备加工工艺探讨[J].建筑工程技术与设计,2021(17):433.
- [7]沈照芬.关于机械制造工艺与机械设备加工工艺要点分析[J].中国设备工程,2024(7):105-107.

作者简介:陶喜(1984.12—),男,毕业院校:陕西理工学院(现名-陕西理工大学);所学专业:材料成型及控制工程,当前就单位:中联重科股份有限公司,职务-装备制造工艺工程师,职称级别:中级工程师。

经验公式在机械加工方面的应用研究进展

马炬彬¹ 余大明² 刘飞³ 曹洋^{3*}

1.宝武集团马钢轨交材料科技股份有限公司, 安徽 马鞍山 243000

2.安阳凯地磁力科技股份有限公司, 河南 安阳 455000

3.安阳工学院 机械与航空制造工程学院, 河南 安阳 455000

[摘要]为提高加工效率、改善工件表面质量、增加工件抗疲劳性能,开展经验公式在机械加工方面的应用研究,分析建立经验公式的方法、经验公式的一般形式和建立经验公式的步骤,针对机械加工方面应用较广泛的指数函数、响应曲面法构建经验公式进行了深入的探究,分析经验公式在表面粗糙度、切削力等方面的应用情况,探究运用智能算法构建预测模型应用现状。研究结果表明:经过以曲代直转化,利用最小二乘法拟合非线性回归方程;智能算法建立的预测模型优于最小二乘法拟合得到的回归方程;从考虑多个影响因素、不同智能算法优化区别、预测精度范围、机械加工智能化等方面,分析经验公式在机械加工应用方面可以进行更加深入的研究。研究成果为实现高效率加工、最佳工件表面质量具有重要的理论指导意义和一定的工程应用价值。

[关键词]经验公式;指数函数模型;非线性回归方程;最小二乘法;响应曲面法

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16620

中图分类号: V214.4

文献标识码: A

Research Progress on the Application of Empirical Formulas in Mechanical Processing

MA Jubin¹, YU Daming², LIU Fei³, CAO Yang^{3*}

1. Baowu Group Masteel Rail Transit Materials Technology Co., Ltd., Ma'anshan, Anhui, 243000, China

2. Anyang Kaidi Magnetic Technology Co., Ltd., Anyang, He'nan, 455000, China

3. School of Mechanical and Aerospace Manufacturing Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang, He'nan, 455000, China

Abstract: In order to improve processing efficiency, enhance workpiece surface quality, and increase workpiece fatigue resistance, research on the application of empirical formulas in mechanical processing was conducted. The methods, general forms, and steps of establishing empirical formulas were analyzed. In depth exploration was conducted on the construction of empirical formulas using exponential functions and response surface methods, which are widely used in mechanical processing. The application of empirical formulas in surface roughness, cutting force, and other aspects was analyzed, and the current status of using intelligent algorithms to construct predictive models was explored. The research results indicate that after the transformation from curve to straight, the nonlinear regression equation was fitted using the least squares method; The predictive model established by intelligent algorithms is superior to the regression equation fitted by the least squares method; From the perspectives of considering multiple influencing factors, differences in optimization of different intelligent algorithms, prediction accuracy range, and intelligentization of mechanical processing, more in-depth research can be conducted on the application of empirical formulas in mechanical processing. The research results have important theoretical guidance significance and certain engineering application value for achieving efficient processing and optimal workpiece surface quality.

Keywords: empirical formula; exponential function model; nonlinear regression equation; least squares method; response surface methodology

引言

经验公式是运用客观事物的外在表现(形或数),利用数理统计方法得到^[1,2],可以根据得到的经验公式分析因变量与自变量之间的变化关系、优化自变量、预测因变量的变化情况,在自然灾害^[3,4]、金属材料^[5,6]、农业工程^[7]等方面应用非常广泛。然而,在机械加工方面,加工参数选择不当会影响工件的微观几何形状、物理机械性能、疲劳寿命等。为此,建立加工参数与工件表层性能之间的经验公式,分析加工参数与表层性能之间的影响规律,确定最优的加工参数,旨在提高加工效率、改善工件表面质量。

目前,针对经验公式在机械加工方面的应用情况,主要是根据正交试验结果,分析加工参数与物理量之间的变化关系,构建加工参数与物理量之间的指数函数关系模型或者多元非线性回归方程。通过建立指数函数模型或回归方程,预测物理量变化情况,实现对加工参数的控制。然而,指数函数模型或回归方程主要是基于最小二乘法获得。该方法拟合精度较高,但计算量较大,对于非线性方程是经过以曲代直转化得到,具有一定的局限性。

根据上述问题,本文重点分析经验公式建立的方法,研究基于最小二乘法建立指数函数经验公式、多元二次回

归方程,分析经验公式在表面粗糙度、切削力方面的应用现状,同时对运用智能算法建立预测模型方面的应用现状进行探究,基于经验公式在机械加工方面的应用情况,提出几点可以进行更进一步研究的问题。

1 经验公式建立

经验公式主要是基于试验结果获得,建立经验公式所运用的试验数据应具有代表性、可靠性、准确性以及相互独立性等特点^[1]。建立经验公式的方法,如图1所示。

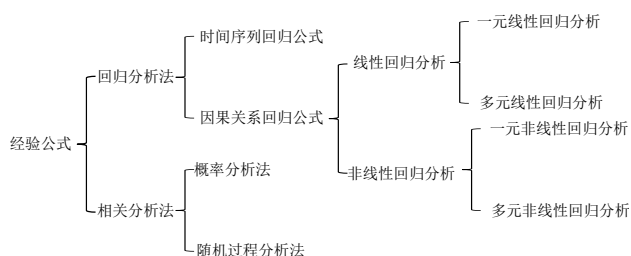


图1 经验公式构建的方法

常见经验公式的基本形式,见表1。由机械加工的特点结合经验公式建立的方法,得到回归分析法中因果关系回归公式在机械加工中应用最多。针对线性函数基于试验结果容易获得线性回归方程;对于非线性函数,则需要进行相应的变换,将非线性函数转化为线性函数,利用最小二乘法获得非线性回归方程。

表1 经验公式的基本形式

类型	基本形式
线性函数	$y=ax+b$
二次函数	$y=ax^2+b$
指数函数	$y=ba^x$
幂函数	$y=bx^a$
对数函数	$y=b\log_a x$

建立经验公式的步骤:

- (1) 根据试验数据作出散点图;
- (2) 选择适当类型的函数关系作经验公式;
- (3) 利用变量代换法将经验公式转化为线性公式;
- (4) 运用最小二乘法,基于试验结果,确定出经验公式中的待定系数。

在机械加工方面利用指数函数建立经验公式、响应曲面法建立多元二次回归方程应用较为普遍,下面针对这两种方法建立经验公式的原理进行详细介绍。

1.1 指数函数经验公式构建

在机械加工过程中,加工参数主要有:加工深度、主轴转速、进给速度等^[8,9]。当机床特性和刀具几何参数确定的情况下,基于试验结果构建回归值与加工参数之间的指数函数经验公式:

$$A = Ka^{b_1} n^{b_2} v_f^{b_3} \quad (1)$$

式中, A 为回归值; K 为决定加工材料和加工条件的

修正系数; a 为加工深度; n 为主轴转速; v_f 为进给速度; b_1 、 b_2 、 b_3 为各加工参数的指数。

对公式(1)两边同时取对数得到:

$$\lg A = \lg K + b_1 \lg a + b_2 \lg n + b_3 \lg v_f \quad (2)$$

令 $y = \lg A$, $x_1 = \lg a$, $x_2 = \lg n$, $x_3 = \lg v_f$, $b_0 = \lg K$, 则公式

(2) 简化结果为:

$$y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_3 x_{3i} \quad (3)$$

通过变量代换,将指数函数经验公式模型转化为多元线性回归方程。将试验结果代入公式(3),得到基于试验结果的多元线性回归方程:

$$\begin{cases} y_1 = b_0 + b_1 x_{11} + b_2 x_{12} + b_3 x_{13} + \varepsilon_1 \\ y_2 = b_0 + b_1 x_{21} + b_2 x_{22} + b_3 x_{23} + \varepsilon_2 \\ \dots\dots\dots \\ y_n = b_0 + b_1 x_{n1} + b_2 x_{n2} + b_3 x_{n3} + \varepsilon_n \end{cases} \quad (4)$$

式中, ε_i 为随机误差; n 为试验的次数。

将公式(4)简化为矩阵形式:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (5)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} \end{pmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \quad \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

运用试验结果求出多元线性回归方程的系数 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 。

设 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 的最小二乘估计为 $\hat{b}_0$ 、 $\hat{b}_1$ 、 $\hat{b}_2$ 、 $\hat{b}_3$, 则回归方程为:

$$\hat{y}_i = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_{1i} + \hat{b}_2 x_{2i} + \hat{b}_3 x_{3i} \quad (6)$$

式中, $\hat{y}$ 为试验结果 y_i 的回归值; $\hat{b}_0$ 、 $\hat{b}_1$ 、 $\hat{b}_2$ 、 $\hat{b}_3$ 为回归系数。

利用最小二乘法拟合曲线^[5],应使残差的平方和最小。试验值 y 与回归值 $\hat{y}$ 的差值称为残差 e :

$$e = y_i - \hat{y}_i \quad (7)$$

要使残差 e 的平方和最小,则公式(8)的值最小:

$$Q(\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \hat{b}_3) = \sum_{i=1}^n e^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

式中, $Q(\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \hat{b}_3)$ 为残差 e 的平方和。

由极值原理,对公式(8)中变量求一阶偏导数,并令求得的偏导数结果为0,偏导数求解为:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial b_0} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 x_{1i} - \hat{b}_2 x_{2i} - \hat{b}_3 x_{3i})(-1) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b_1} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 x_{1i} - \hat{b}_2 x_{2i} - \hat{b}_3 x_{3i})(-x_{1i}) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b_2} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 x_{1i} - \hat{b}_2 x_{2i} - \hat{b}_3 x_{3i})(-x_{2i}) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b_3} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 x_{1i} - \hat{b}_2 x_{2i} - \hat{b}_3 x_{3i})(-x_{3i}) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

对公式(9)进行简化,简化后的结果为:

$$\begin{cases} 9\hat{b}_0 + \hat{b}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} + \hat{b}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} + \hat{b}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} = \sum_{i=1}^n y_i \\ \hat{b}_0 \sum_{i=1}^n x_{1i} + \hat{b}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 + \hat{b}_2 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} + \hat{b}_3 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} = \sum_{i=1}^n y_i x_{1i} \\ \hat{b}_0 \sum_{i=1}^n x_{2i} + \hat{b}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} + \hat{b}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 + \hat{b}_3 \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} = \sum_{i=1}^n y_i x_{2i} \\ \hat{b}_0 \sum_{i=1}^n x_{3i} + \hat{b}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} + \hat{b}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} + \hat{b}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i}^2 = \sum_{i=1}^n y_i x_{3i} \end{cases} \quad (10)$$

将 (10) 转换为矩阵形式, 转换后的结果为:

$$\begin{bmatrix} 9 & \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{3i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} \\ \sum_{i=1}^n x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} \\ \sum_{i=1}^n x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b}_0 \\ \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{1i} \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{2i} \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{3i} \end{bmatrix} \quad (11)$$

对 (11) 左边的矩阵项进行展开, 展开后的结果为:

$$\begin{bmatrix} 9 & \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{3i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} \\ \sum_{i=1}^n x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} \\ \sum_{i=1}^n x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ x_{11} & x_2 & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdots & x_{3n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & x_{31} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & x_{32} \\ 1 & x_{13} & x_{23} & x_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & x_{3n} \end{bmatrix} \quad (12)$$

对 (11) 右边的矩阵项进行展开, 展开后的结果为:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{1i} \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{2i} \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{3i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ x_{11} & x_2 & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdots & x_{3n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\text{令 } Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} \end{pmatrix}, \quad \hat{\beta} = \begin{pmatrix} \hat{b}_0 \\ \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \end{pmatrix},$$

其中 $\hat{\beta}$ 为估计值向量, 将 (11)、(12)、(13) 进行简化, 简化后的结果为:

$$X^T X \hat{\beta} = X^T Y \quad (14)$$

对 (14) 进行整理得到估计向量 $\hat{\beta}$, 整理后的结果为:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (15)$$

将试验结果代入公式 (15), 计算出估计向量 $\hat{\beta}$, 运用回归计算获得响应值与加工参数之间的指数函数经验公式。

1.2 响应曲面法构建经验公式

响应曲面法即响应曲面设计方法(Response Surface Methodology, RSM), 是利用合理的试验设计方法基于试验结果, 运用多元二次回归方程来拟合因素与响应值之间的函数关系, 通过分析回归方程寻求最优工艺参数, 解决多变量问题的一种统计方法^[10,11]。

多元二次回归方程的一般形式为:

$$y(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i < j}^n \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon \quad (16)$$

式中, $y(x)$ 为响应值; x_i 、 x_j 为自变量; β_0 为常数项; β_i 为线性项系数; β_{ij} 为交互作用项系数; β_{ii} 为 x_i 的二次项系数; ε 为误差项。

运用响应曲面法构建的多元二次回归方程属于多元非线性回归方程, 基于上面详细介绍的最小二乘法原理结合试验结果, 得到加工参数与回归值之间的多元二次回归方程。

2 经验公式的应用

为深入探究机械加工过程中, 加工参数与物理量之间的变化规律, 构建因变量物理量与自变量加工参数之间的函数关系, 国内外的研究工作者对此进行了大量的研究。在众多研究中, 表面粗糙度、切削力模型的建立是学者们研究的重点。

2.1 经验公式在表面粗糙度方面的应用

在机械加工过程中, 针对经验公式在表面粗糙度方面的应用, 学者们从一种方法建立经验公式、两种方法对比分析建立经验公式等两个方面进行了大量研究。

高超等^[12]由金刚石砂带磨削钢化玻璃磨边表面粗糙度正交试验结果, 建立表面粗糙度理论预测模型。王永鑫^[13]基于 TC18 钛合金正交车削表面粗糙度试验结果, 用 SPSS 分析软件对表面粗糙度指数函数进行自定义, 将试验结果代入表面粗糙度指数函数, 利用最小二乘回归法进行拟合, 得到 TC18 钛合金车削加工后的表面粗糙度模型。刘涛^[14]由金属切削加工原理, 确定机床和刀具几何参数, 可知变截面蜗旋盘齿面的粗糙度与加工参数呈指数函数关系, 基于变截面蜗旋盘正交铣削加工表面粗糙度试验结果, 构建吃刀深度、进给量、刀具转速、背吃刀量与表面粗糙度之间的指数函数模型。甄婷婷等^[15]基于指数回归分析和单向陶瓷基复合材料平面磨削试验结果, 运用 MATLAB 建立沿轴向、径向、法向磨削粗糙度经验公式, 分析进给速度、切削速度、磨削深度对表面粗糙度的影响程度。王彦^[16]基于三因素四水平的正交车削试验结果, 利用 MATLAB

软件构建车削表面粗糙度线性回归预测模型。武文革等^[17]运用 Design Expert 软件对高速铣削 Ti6Al4V 响应曲面试验结果进行多元回归拟合,获得表面粗糙度与加工参数之间的二次多项回归模型。刘金华^[18]由面齿轮正交表面粗糙度试验结果,运用回归分析的指数函数形式建立面齿轮表面粗糙度模型。

马廉洁等^[19]由氟金云母陶瓷切屑断裂过程,构建材料车削表面粗糙度理论模型,通过试验对建立的理论模型进行验证,得到脆性材料的表面粗糙度理论模型比传统预测表面粗糙度几何模型精度高。赵明启^[20]基于车削 50%SiCp/Al 表面粗糙度正交试验结果,构建加工参数与表面粗糙度之间的多元回归方程和指数方程,由表面粗糙度预测偏差平均值可知,多元回归方程预测精度优于指数方程。常文春等^[21]指出运用线性回归拟合表面粗糙度模型预测效果不佳,提出采用二次多项式广义回归拟合表面粗糙度模型,从预测模型的回归系数显著性检验中看出回归模型各项对表面粗糙度的影响程度。

2.2 经验公式在切削力方面的应用

机械加工过程中,切削力的大小影响工件的加工效率、表面质量、使用寿命等,通过建立加工参数与切削力之间的函数关系,获得加工参数与切削力之间的影响规律,选择合适的加工参数控制加工过程中切削力的大小,从而提高工件加工效率、改善工件表面质量。针对经验公式在切削力方面的应用,学者们运用一种方法构建加工参数与切削力之间的经验公式,或者运用两种方法对比分析构建加工参数与切削力之间的经验公式等方面进行了大量研究。

王永鑫^[13]对 TC18 钛合金进行车削正交试验,运用 9257B 型三向测力仪测量轴向力、径向力、切向力,基于测试结果建立主轴转速、进给深度、切削深度等加工参数与切削力之间的数学模型。常文春等^[21]对 TB6 钛合金材料进行四因素五水平的正交铣削试验,建立切削速度、每齿进给量、轴向切深、径向切深与切削力的指数函数经验模型,运用多元线性回归法对构建的经验模型进行回归分析,得到不同方向的切削力回归模型。史丽晨等^[22]基于钛合金车削切削力试验结果,建立指数形式的切削力经验公式,对经验公式进行线性化处理,得到一元线性回归模型,利用 SPSS 软件进行线性回归分析,获得切削力回归模型。

惠记庄^[23]基于最小二乘法原理,分析切削力的主要影响因素,对比分析单因素试验法和平面交点正交试验法建立的切削力经验公式,发现正交设计回归分析法不但可以减少试验次数,而且建立的经验公式误差较小。肖航志^[24]基于超声振动辅助磨削氧化锆陶瓷轴向切削力试验结果,构建切削力指数预测模型和 BP 神经网络预测模型。由压痕断裂力学理论,分析超声振动辅助磨削氧化锆陶瓷去除机理,获得材料切削力理论预测模型。对比分析指数预测模型、BP 神经网络预测模型、理论预测模型预测值、相

对误差,确定出 BP 神经网络模型整体预测精度最高。

3 智能算法建立预测模型的应用

近几年,随着科技的发展运用最小二乘法构建的经验公式已不能满足需求。新的建立模型方法的涌现如神经网络、遗传算法等方法,这些智能算法弥补了最小二乘法计算量较大,拟合时的局限性等问题,为进一步探究加工参数与物理量之间的变化关系,优化加工参数,提高工件表面质量奠定了基础^[25,26]。

马占龙等^[27]运用数值模拟方法对磨削温度场进行仿真分析,开展磨削温度试验,利用 BP 神经网络方法构建磨削温度预测模型,发现将仿真分析与预测模型相结合获得的磨削温度准确性较高。颜菲^[28]将电流密度、镀液温度、搅拌速率加工参数作为输入变量,把表粗糙度、腐蚀速率作为输出变量,对比分析改进的 BP 神经网络、传统的 BP 神经网络预测模型结果,发现运用粒子群算法对 BP 神经网络进行优化后构建的预测模型精度较高。徐戊娇^[29]由喷丸成形表面粗糙度正交试验结果,运用 BP 神经网络对试验结果进行处理,得到经过喷丸处理后的铝合金工件表面粗糙度预测模型。郭力^[30]基于磨削曲轴球墨铸铁材料声发射信号分析数据,获得工件表面粗糙度,利用遗传算法对 BP 神经网络训练后的样本进行优化,得到工件表面粗糙度预测模型,发现优化后的模型有更高的预测精度。苏晓云^[31]基于铣削大理石正交表面粗糙度试验结果,运用改进后的粒子群算法优化 BP 神经网络,构建大理石表面粗糙度预测模型,将优化后的神经网络方法得到的表面粗糙度结果与利用最小二乘法建立的经验公式获得的表面粗糙度结果进行对比分析,发现运用神经网络方法预测的表面粗糙度更适合于实际生产。胡敬文^[32]基于磨削灰铸铁正交试验结果,分析加工参数对表面偏斜度、表面峰度的变化规律,运用 BP 神经网络构建表面偏斜度、表面峰度预测模型。Zhao C L^[33]在并联机床的研究和应用中,发现加工参数对机床加工的影响较大,于是将改进后的 BP 神经网络应用于并联机床的粗糙度预测模型,构建的模型能够有效地预测加工参数变化时的粗糙度。Chen Y 等^[34]提出了嵌套神经网络表面粗糙度预测模型。Mia M^[35]提出了基于人工神经网络的 EN24T 钢车削硬化平均表面粗糙度预测模型。Jha A^[36]运用神经网络建模方法解决了精车削过程中表面粗糙度、生产率、刀具寿命三个目标互相冲突的优化问题。

4 结论

在机械加工过程中,为建立经验公式,通常基于试验结果,构建加工参数与物理量之间的回归模型。如果加工参数与物理量之间是线性关系,比较容易求出加工参数域物理量之间的线性回归方程;如果加工参数与物理量之间是非线性关系,需要利用最小二乘法获得加工参数与物理量之间的非线性回归方程。运用最小二乘法获得非线性回

归方程,计算量较大,由曲变直的相互转化具有一定的局限性。智能算法的出现,弥补了运用最小二乘法建立经验公式的一些不足。但针对经验公式在机械加工方面的应用,还存在一些问题需要更进一步地研究:

(1)在机械加工过程中,影响表面粗糙度、切削力的因素有很多,但大多数学者只是建立二、三或者四个加工参数与表面粗糙度、切削力之间的经验公式,没有更加全面地考虑加工过程中的影响因素,需要探究考虑影响因素的多少对所建立的经验公式预测精度的影响程度。

(2)运用不同智能算法对神经网络训练后的结果进行优化,不同智能算法对神经网络训练后结果优化情况的区别。

(3)建立经验公式的一个目的是进行预测,预测精度应该是一个范围,这个范围设定多少才合适,需要进行深入研究。

(4)完善智能算法理论,建立一套完整建立预测模型体系和专家系统,当给出加工参数,系统就可以输出预测值,确定出最优加工参数,实现机械加工的智能化。

基金项目:安阳工学院博士科研启动基金项目(BSJ2025016)。

[参考文献]

- [1]张怀慧.经验公式的建立及其检验[J].大连水产学院学报,2000(3):193-200.
- [2]那春雨,姜增辉,刘玮,等.钻削参数对钻削 TC4 小孔切削力的影响[J].制造技术与机床,2025,1(6):17-19.
- [3]李磊,支梅,马卫国,等.自然灾害视域下应急救援物资需求预测研究综述[J].技术与创新管理,2022,43(5):581-588.
- [4]刘建康,程尊兰,吴积善.基于经验公式建立的滑坡泥石流坝溃口形式预测模型[J].四川大学学报(工程科学版),2013,45(2):84-89.
- [5]商正,王进峰,潘丽娟,等.基于最小能耗的 SiCp/Al 复合材料切削参数敏感分析及优化[J].现代制造工程,2020(1):25-28.
- [6]姜洪源,武国启,夏宇宏,等.金属橡胶材料声学特性参数经验公式建立[J].内燃机学报,2008,26(6):561-564.
- [7]申德超,肖志刚.基于量纲分析的函数理论建立挤压脱胚玉米生产淀粉糖浆的糖化液过滤问题的经验公式[J].农业工程学报,2005(12):25-29.
- [8]赵薇,陈建刚,舒林森,等.镍基高温合金熔覆涂层干式端铣的可加工性研究[J].现代制造工程,2025(4):116-122.
- [9]董庆运,陈光军,王飞,等.冰固持条件下切削参数对不锈钢铣削力及平面度影响的试验研究[J].工具技术,2025,59(2):18-22.
- [10]李晨,侯英,陈中航,等.基于响应曲面法提高塔磨机利用系数的优化研究[J].矿山机械,2025,53(5):25-31.
- [11]金明选,苏建新,张祥,等.基于响应曲面法和 NSGA2 的内斜齿轮成形磨削参数优化[J].机电工程,2025,5(20):1-10.
- [12]高超,王生,王会,等.砂带磨削表面粗糙度理论预测及灵敏度分析[J].表面技术,2018,47(11):295-305.
- [13]王永鑫,张昌明.TC18 钛合金车削加工的切削力和表面粗糙度[J].机械工程材料,2019,43(7):69-73.
- [14]刘涛,张文超,张文帅.变截面涡轮盘齿面粗糙度的双预测模型[J].表面技术,2019,48(8):323-329.
- [15]甄婷婷,王盛,王映,等.单向碳纤维复合材料平面磨削粗糙度模型研究[J].机械设计,2019,36(1):125-128.
- [16]王彦,李金泉.基于回归分析方法的切削表面粗糙度模型预测研究[J].工具技术,2015,49(6):85-88.
- [17]武文革,刘丽娟,范鹏,等.基于响应曲面法的高速铣削 Ti6Al4V 表面粗糙度的预测模型与优化[J].制造技术与机床,2014(1):39-43.
- [18]刘金华,明兴祖,高钦.基于正交实验分析的面齿轮磨削表面粗糙度的研究[J].机械传动,2017,41(9):1-5.
- [19]马廉洁,蔡重延,毕长波,等.车削氟金云母陶瓷脆性破碎机理及表面粗糙度模型[J].东北大学学报(自然科学版),2019,40(2):239-250.
- [20]赵明启.车削高体积分 SiCp/Al 复合材料表面粗糙度敏感性分析及预测[J].现代制造工程,2018(5):108-111.
- [21]常文春,易湘斌,李宝栋,等.高速铣削 TB6 钛合金切削力和表面粗糙度预测模型[J].制造技术与机床,2017(4):102-107.
- [22]史丽晨,杜小渊,豆卫涛,等.基于无心车床主轴电动机单元电流的钛合金切削力经验公式的试验研究[J].制造技术与机床,2016(7):83-86.
- [23]惠记庄.采用回归分析法建立切削力经验公式[J].西安公路交通大学学报,1996(4):102-105.
- [24]肖行志,郑侃,廖文和.超声振动辅助磨削牙科氧化锆陶瓷切削力预测模型研究[J].振动与冲击,2015,34(12):140-145.
- [25]李铭,张海军,王江峰,等.汽轮机热力性能智能评估及故障诊断研究进展[J].能源与环境,2025(2):24-27.
- [26]刘浩,李国庆,张深,等.机器学习在涡轮机械中的应用进展[J].工程热物理学报,2023,44(4):938-951.
- [27]马占龙,王高文,张健,等.基于有限元及神经网络的磨削温度仿真预测[J].电子测量与仪器学报,2013,27(11):1080-1085.
- [28]颜菲,张军.粒子群算法优化的人工神经网络预测 Ni-Fe 合金镀层的性能[J].电镀与环保,2019,39(1):24-27.
- [29]徐戊娇,刘承尚,鲁鑫垚.喷丸处理后 6061 铝合金工件表面粗糙度的模拟计算及预测[J].吉林大学学报(工学版),2019,49(4):1280-1287.
- [30]郭力,邓喻.采用遗传算法优化神经网络的铸铁表面粗糙度声发射预测[J].机械科学与技

术,2018,37(10):1512-1516.

[31]苏晓云,汪建新,辛李霞.基于神经网络的铣削大理石表面粗糙度预测模型[J].表面技术,2017,46(8):274-279.

[32]胡敬文.基于BP神经网络的表面偏斜度和峰度预测建模[J].表面技术,2017,46(2):235-239.

[33]ZHAO C L, GUAN X S. The prediction of surface roughness of parallel machine tools based on the neural network[J].Applied Mechanics and Materials,2014(556):1328-1331.

[34]CHEN Y, SUN R, GAO Y, et al. A nested-ANN prediction model for surface roughness considering the

effects of cutting forces and tool vibrations[J].Measurement,2016(98):25-34.

[35]MIA M, DHAR N R. Prediction of surface roughness in hard turning under high pressure coolant using Artificial Neural Network[J].Measurement,2016(92):464-474.

[36]JHA A, RATHORE R K. Optimization of force and surface roughness for carbonized steel in turning process through neural network[J].International Journal of Engineering Research and Applications,2016,6(6):43-46.

作者简介:曹洋(1989—),男,博士,安阳工学院讲师,研究方向为高效精密加工技术。

浅析机械设计制造的数字化与智能化发展

单宝喜 唐聚江

安徽中联重科智能农机装备有限责任公司, 安徽 芜湖 241002

[摘要]随着我国综合国力持续提升,工业化进程稳步走向现代化,在机械设计制造领域表现较为明显。在科学技术不断发展以及市场需求不断增加的推动作用之下,机械设计制造行业面临着前所未有的机遇与挑战。传统的设计与制造技术工艺已经很难满足当下快速发展的需求,使得数字化与智能化成为行业升级转型的必然方向。基于此,文章针对机械设计制造的数字化与智能化发展展开细致探讨,希望能够为推动行业的创新与进步做出一份贡献。

[关键词]机械设计制造;数字化;智能化;发展

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16612

中图分类号: TP3

文献标识码: A

Brief Analysis of the Digital and Intelligent Development of Mechanical Design and Manufacturing

SHAN Baoxi, TANG Jujiang

Anhui Zoomlion Intelligent Agricultural Machinery Equipment Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241002, China

Abstract: With the continuous improvement of Chinese comprehensive national strength, the industrialization process is steadily moving towards modernization, which is particularly evident in the field of mechanical design and manufacturing. Driven by the continuous development of science and technology and the increasing market demand, the mechanical design and manufacturing industry is facing unprecedented opportunities and challenges. Traditional design and manufacturing techniques are no longer able to meet the rapidly developing needs of today, making digitization and intelligence an inevitable direction for industry upgrading and transformation. Based on this, the article explores in detail the digitalization and intelligence development of mechanical design and manufacturing, hoping to make a contribution to promoting innovation and progress in the industry.

Keywords: mechanical design and manufacturing; digitization; intelligentization; development

引言

随着新一轮科技革命和产业变革不断推进,数字化与智能化已然变成推动制造业实现高质量发展的关键驱动力。机械设计制造属于工业体系当中的基础环节,当下正处在从传统设计模式朝着数字智能融合转型所经历的极为深刻的变革进程之中。凭借信息技术、人工智能、云计算、大数据还有物联网等一系列前沿技术给予的支持,机械设计制造的过程正一步一步地达成信息感知、数据驱动、智能决策以及自适应优化等方面的目标,由此使得设计效率、产品质量以及资源利用率都得到了明显的提升。尤其是在当下工业4.0以及智能制造战略这样的大背景之下,企业对于数字化建模、智能分析、虚拟仿真以及云端协同等技术在设计与制造整个生命周期里所开展的系统集成应用,愈发予以重视。这样的一种发展趋势,一方面加快了产品研发的速度,另一方面也极大地强化了机械产品针对复杂性的适应能力以及在市场当中的竞争力。本文会围绕机械设计制造在数字化与智能化方面的发展现状展开探讨,对其在实际应用过程当中所具有的优势以及关键技术路径加以分析,并且对它的未来发展前景以及产业转型所具备的价值进行深入探究,目的在于给相关从业者给予理论方面的参考以及实践层面的指导。

1 机械设计制造数字化与智能化的优势

机械设计制造的数字化与智能化赋予传统制造业全新的活力,其设计效率、制造精度以及生产灵活性均得到了明显提升。借助计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工程(CAE)还有产品生命周期管理(PLM)等数字化技术,设计人员可达成产品从概念建模至结构分析、工艺仿真直至制造过程的全流程数字化管理,如此一来,研发周期得以大幅缩短,人为误差也相应减少,资源利用率同样获得提升。与此智能化系统凭借嵌入式传感器、物联网、人工智能以及大数据分析等技术,让机械设备拥有了感知、判断以及自我优化的能力,在实际生产环节能够实现故障预测、过程优化以及自动调整,使得生产的柔性与智能响应能力得到显著提高。而且数字化与智能化还能支持远程协同设计以及云制造服务,突破了传统地域和时间的限制,企业可更为高效地组织全球资源,进而提升自身竞争力。

2 数字化与智能化在机械设计制造中的应用

2.1 机械设计制造系统性能

在数字化以及智能化这样的大背景之下,机械设计制造系统的性能提升是前所未有的,具体表现为系统运行呈现出高效性、精准性,并且智能化水平也有了大幅度的提

高。设计人员借助数字建模、仿真分析还有优化算法，能够在虚拟环境当中针对机械产品展开全面的性能预测以及结构优化工作，如此一来，便使得试错成本得以降低，实际制造过程中的诸多不确定性也减少了。数字化系统把 CAD、CAM、CAE 等平台加以集成，进而达成从设计到制造的一体化数据流管理，能够让产品信息在不同的环节之间实现无缝的衔接，由此提升了协同效率以及系统的响应速度。智能化技术通过嵌入智能控制算法以及传感技术，赋予了制造设备自我感知、自主决策以及自适应调整的能力，让生产过程变得更加精细且灵活^[1]。比如，智能制造单元能够依据产品结构的复杂程度以及生产任务的变动情况，对路径规划与加工参数进行动态的优化，以此实现多品种、小批量生产的高效切换。系统性能的提升还表现在制造过程当中的实时监控以及远程维护能力方面，借助大数据平台对设备运行状态展开分析，可以及时发出预警并诊断出潜在故障，进而保障系统运行的连续性与可靠性。

2.2 利用技术提高工作效率

在机械设计制造过程中，各项智能化技术通过不同应用环节显著提升工作效率，具体作用如下：

表 1 智能化技术在机械设计制造中提高工作效率的应用表

技术类别	关键技术/系统	应用环节	提高效率的具体方式
设计阶段技术	CAD（计算机辅助设计）	设计建模	快速构建三维模型，支持多版本迭代，提升设计速度与精度
	FEA（有限元分析）	性能仿真	提前验证结构强度、热传导、流体等性能，避免后期返工
制造阶段技术	CAM（计算机辅助制造）	加工编程与控制	实现自动编程与精准加工，减少人工干预，提升加工速度和精度
	数控机床与工业机器人	自动化加工	提高生产连续性与一致性
生产管理	MES（制造执行系统）	生产调度与监控	实时任务分配、数据追踪，优化生产组织效率
	ERP（企业资源计划系统）	资源与流程管理	实现跨部门资源协同，提升流程透明度与可控性
智能分析与预测技术	人工智能、大数据、机器学习	全流程数据分析优化	预测生产瓶颈、调整顺序、优化维护策略，实现系统自学习与持续优化

3 机械设计制造与数字化、智能化结合的发展前景

3.1 完善设计工作系统模式

随着数字化以及智能化技术不断取得进展，机械设计制造领域于设计工作系统模式层面展现出了更为集成化、智能化并且协同化的发展走向。在往后的日子里，设计系统不会仅仅停留在单一软件或者局部流程的优化层面，而是要去构建一个以大数据、云计算还有人工智能当作核心支撑的集成化设计平台，达成从产品构思一直到生产准备

整个过程当中的数据共享以及流程协同这一目标。设计工作会更多地依靠智能算法针对历史案例、材料性能、制造工艺等诸多维度的数据展开深度剖析，以此来促使设计方案可以实现快速生成并进行优化推演，减少人为的干预情况，让决策具备更高的科学性以及更强的创新能力。与此凭借着云端平台和边缘计算的相互融合，设计人员能够在不同地域达成协同开发以及实时更新的目的，这无疑大幅度提升了跨部门、跨企业的协作效率^[2]。除此之外，像虚拟现实（VR）、增强现实（AR）这类新一代的人机交互技术也会进一步充实设计系统的可视化表达以及交互体验，使得设计人员能够更为直观地去理解产品的结构以及功能逻辑，进而对设计流程加以优化。

3.2 实现设计人员精炼简化

随着机械设计制造持续融合数字化以及智能化技术，在这样的大背景之下，传统的设计工作模式正经历着颇为深刻的变革，设计人员所扮演的角色以及具体的工作内容，也在逐步朝着更为精炼化以及高效化的方向去转变。借助引入人工智能辅助设计也就是 AI-assisted design、参数化建模还有智能推荐系统等方式，那些繁杂且具有重复性的诸多任务能够实现自动完成，如此一来，设计人员便能够把更多的精力聚焦在关键的构思以及创新设计方面，进而促使设计工作的价值密度得以提升。与此集成化平台以及智能协作工具的应用，让不同专业领域之间开展知识共享以及信息协同变得更加顺畅，大幅度地降低了沟通以及协调方面的成本。而数字孪生、虚拟仿真等相关技术的应用，同样给设计人员带来了即时验证以及快速反馈的机制，有效地防止了因试错而造成的时间与资源方面的浪费。这样一种以智能化工具作为核心支撑的设计流程，一方面提高了设计的准确性以及效率，另一方面也推动了设计队伍结构的优化，使得团队成员更加精干，专业分工也更加合理。

3.3 推动工业设计绿色发展

当前我国工业行业在实际发展过程中，必须全面且高度重视产品的质量，同时注重提升产品的性能水平。只有这样，才能有效推动行业的绿色发展，实现可持续进步。绿色发展需要从环境保护入手，全面减少环境污染，践行国家的环保理念，努力节约材料和能源，避免资源浪费。在机械设计制造领域，绿色理念的落实尤为重要，生产过程中应积极推动材料的循环利用和循环发展，降低对环境的影响^[3]。例如，在内燃机自动化控制仪表的设计与应用中，通过精准控制液体的添加量，配合完善的过滤系统，有效过滤和处理废弃排放物，同时实现智能检测功能，这不仅保障了产品的高性能运作，也有效减少了环境污染，促进了工业生产与生态保护的协调发展。

3.4 提高产品商品设计性能

在机械设计制造领域，数字化与智能化技术从多个维度提升机械产品的商品设计性能，具体应用与成效如下：

表 2 数字化与智能化技术提升机械产品商品设计性能的应用与成效表

应用领域	采用的技术/手段	提升表现	具体说明
结构与性能优化	数字建模、仿真分析、智能优化算法	结构优化、功能增强、力学与热性能提升	在设计初期对力学性能、热性能、材料匹配等关键指标进行评估,提升稳定性与耐久性
用户体验优化	用户行为数据分析、市场反馈集成	个性化响应、快速迭代、贴合用户需求	基于数据驱动进行产品功能优化,提高用户满意度与市场认可度
产品绿色设计	模块化设计、绿色理念、全生命周期管理	可制造性、可维护性、环保性提升	通过结构模块化与材料环保性设计,便于制造和回收,降低环境影响
智能功能集成	智能传感器、嵌入式系统	自感知、自诊断、远程控制	产品具备智能交互和远程管理能力,提升复杂环境下的适应性与服务能力
市场竞争力增强	全面数字化设计平台+实时反馈优化循环	产品质量提升、响应市场更快	快速迭代与精准市场定位助力产品脱颖而出,增强竞争力

3.5 云制造技术利用

云制造技术作为数字化与智能化在机械制造领域的延伸应用,正在重塑传统生产模式。这项技术通过云端平台整合分散的制造资源,为企业搭建起设计、生产、服务协同运作的基础设施。其核心价值体现在三个层面:资源优化配置、跨区域协作以及数据驱动决策。在资源管理层面,企业能够通过云端系统实时监控分布各地的制造设备。当某地设备闲置时,系统会自动匹配其他区域的生产需求,这种动态调度机制有效降低了设备空置率。制造资源不再受物理位置限制,企业可像使用水电般按需调用数控机床、检测仪器等生产要素。跨部门协作方面,研发团队与生产部门通过统一数据平台实现信息同步。设计师上传的三维模型能即时同步至生产端,工艺工程师可直接在云端修改加工参数,设备操作员则能实时查看机床运行状态。这种无延迟的信息流动,使产品从设计到生产的周期缩短 30% 以上。在决策支持维度,平台内置的智能分析模块持续追踪生产数据。系统通过比对历史订单、市场波动和设备性能,为排产计划提供优化建议。当检测到某类零部件需求激增时,系统会提前建议增加原材料储备,这种预见性调整使企业响应市场变化的速度提升两倍。值得注意的是,云制造平台开放的生态系统允许企业灵活接入第三方服务。模具设计公司可随时调用云端 CAE 分析工具,中小制造企业也能共享大型检测设备^[4]。这种资源共享模式打破了传统制造的边界,使“按需制造”成为可能。技术服务商则通过平台提供标准化接口,让企业能像拼装积木般组合所需服务。

3.6 设计复杂机械产品

数字化以及智能化技术给予了复杂机械产品设计能力极大助力,使其有了前所未有的提升。以往传统机械产品设计往往受到人工计算能力限制,试验周期也比较长,设计流程繁琐,短时间内很难完成高复杂度产品的精确建模与性能预测。现在借助计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)、人工智能算法还有虚拟仿真技术,设计人员可以在高度自动化平台快速构建复杂系统三维模型,针对其结构强度、动力学特性、热力响应等方面展开全方位分析与优化,大数据设计经验库与知识图谱能为设计人员提供很多可复用方案资源,有效提高设计科学性与创新性。数字孪生技术引入后,设计人员在产品还没成型时就能预测其在真实工作环境中的运行状态,避免设计缺陷,缩短研发周期。在航空航天、智能制造装备等高端领域,复杂机械产品对多学科耦合、多工况适应等要求更高,数字化与智能化深度融合是实现高精度、高可靠性、高性能设计的关键途径。

4 结语

数字化以及智能化的深度融合正促使机械设计制造行业步入全新的发展阶段。如此一来,设计效率得以提升,制造精度也有所提高,还大大推动了产品创新以及产业升级。在后续的日子里,伴随人工智能、大数据、云计算等技术持续取得进展,机械设计制造会变得更加智能化、柔性化以及个性化,从而完成从传统制造到智能制造的转型升级。行业内各个主体应当积极接纳这一趋势,强化技术研发并推进应用推广,促使数字化与智能化技术与机械设计制造深度融合,以此提升整体竞争力,推动制造业实现高质量发展,助力我国工业现代化进程不断向前推进。

【参考文献】

- [1]许新凯,孙浩波,陈琛.浅析机械设计制造的数字化与智能化发展[J].上海轻工业,2025(2):152-154.
- [2]孙占涛,杜立红,关爱如,等.机械设计制造的数字化与智能化发展思考[J].现代工业经济和信息化,2023,13(2):41-43.
- [3]黄星森.机械设计制造的数字化与智能化发展前景分析[J].内燃机与配件,2021(2):167-168.
- [4]段明艳.浅析机械设计制造的数字化与智能化[J].中国设备工程,2022(18):29-31.

作者简介:单宝喜(1985.6—),性别:男,学历:本科,毕业院校:青岛农业大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,目前职称:中级工程师;唐聚江(1987.8—),性别:男,毕业院校:山西农业大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,当前职称:助理工程师。

浅谈卷接包车间创新设备管理与维修

路 博

陕西中烟有限责任公司旬阳卷烟厂，陕西 旬阳 725700

[摘要]在制造业数字化转型的浪潮中，卷接包车间作为烟草生产的核心环节，其设备管理水平直接影响产品质量与企业效益。当前，传统设备管理模式正面临前所未有的挑战，亟需突破被动维修的局限，构建智能化、精益化的新型管理体系。文章基于设备全生命周期管理理论，深入探讨创新维修模式的实施路径与解决方案，旨在为行业转型升级提供系统性的方法论指导。研究重点聚焦于如何通过技术创新与管理优化的双轮驱动，实现设备管理效能的全面提升，同时深入分析实施过程中可能遇到的各类障碍及其应对策略，为相关企业提供实践参考。

[关键词]卷接包设备；预测性维护；全生命周期管理；数字孪生；绿色维修

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16632

中图分类号: TS43

文献标识码: A

Brief Discussion on Innovative Equipment Management and Maintenance in the Rolling and Chartering Workshop

LU Bo

Xunyang Cigarette Factory of China Tobacco Shaanxi Industrial Co., Ltd., Xunyang, Shaanxi, 725700, China

Abstract: In the wave of digital transformation in the manufacturing industry, the equipment management level of the rolling and packaging workshop, as the core link of tobacco production, directly affects product quality and enterprise efficiency. Currently, the traditional equipment management model is facing unprecedented challenges and urgently needs to break through the limitations of passive maintenance and build a new intelligent and lean management system. Based on the theory of equipment lifecycle management, this article explores in depth the implementation path and solutions of innovative maintenance models, aiming to provide systematic methodological guidance for industry transformation and upgrading. The research focuses on how to achieve comprehensive improvement in equipment management efficiency through the dual wheel drive of technological innovation and management optimization. At the same time, it deeply analyzes various obstacles that may be encountered during the implementation process and their corresponding strategies, providing practical reference for relevant enterprises.

Keywords: rolling and packaging equipment; predictive maintenance; full lifecycle management; digital twin; green maintenance

随着智能制造理念的深入推进，卷接包设备正朝着高精度、高速度、高可靠性的方向发展，这对设备管理工作提出了全新要求。传统以事后维修为主的粗放式管理模式已难以适应现代化生产需求，存在响应滞后、资源浪费、效率低下等突出问题。同时，在绿色制造与可持续发展理念的推动下，设备管理还需要兼顾能耗控制与环境友好等多元目标。这种变革背景下，如何构建与现代生产体系相匹配的创新设备管理模式，实现从被动应对到主动预防的转变，从单一维修到全面健康管理的升级，已成为行业亟需解决的关键课题。

1 卷接包车间设备管理现状分析

1.1 传统设备管理模式的局限性

当前卷接包车间普遍沿用的被动响应式管理机制存在多重结构性缺陷。在维修策略层面，过度依赖事后补救的处置方式导致设备非计划停机时间居高不下，严重制约生产系统的连续性和稳定性。管理方法上呈现明显的碎片化特征，各类信息系统之间缺乏有效的集成与交互，形成大量数据壁垒和流程断点。这种离散化的管理模式不仅造成资源配置效率低下，更使得设备状态信息难以实现全流

程追溯。更为深层次的问题在于传统点检手段的局限性，依靠人工感官判断的检查方式无法准确识别设备潜在的性能劣化趋势，往往在隐性故障发展为显性缺陷时才采取干预措施，错失最佳维护时机。

1.2 行业发展趋势对设备管理的新要求

卷烟制造行业正在经历全方位的转型升级，这对设备管理体系提出了前所未有的挑战。产品更新换代的加速要求生产装备具备更强的工艺适应性和快速切换能力，传统刚性化的设备配置模式已难以满足柔性化制造需求。在可持续发展理念推动下，整个产业链对能源利用效率和环境友好性提出了更严格的标准，设备运行过程中的能耗控制和污染减排成为刚性约束。同时，数字化浪潮正在重塑制造业的竞争格局，如何实现物理设备与数字系统的深度融合，构建具备自感知、自决策能力的智能运维体系，成为决定企业核心竞争力的关键因素。

1.3 现存问题的根源分析

造成当前困境的根本原因在于多维度的系统性失调。技术应用与管理体系之间存在明显的协同断层，先进

监测手段获取的海量数据未能有效转化为管理决策依据,形成数据丰富但信息贫乏的悖论。设备全生命周期各阶段的管理活动相互割裂,前期选型、中期运行与后期改造等环节缺乏连贯的技术标准和管理逻辑^[1]。人力资源结构失衡问题尤为突出,传统维修人员的知识体系更新速度严重滞后于设备技术迭代步伐,特别是对新兴数字化工具的掌握程度普遍不足,形成制约技术落地的能力瓶颈。

2 创新设备管理的核心策略

2.1 全生命周期管理理论应用

在我看来,全生命周期管理不应该仅停留在理论层面,而应该形成可落地的闭环体系。当前行业数据显示,实施全生命周期管理的企业设备综合效率(OEE)平均提升15~20个百分点,这充分证明了其价值。关键在于建立三个机制:首先,在设备选型时就要考虑全周期的成本效益,而不是单纯比较采购价格;其次,运行阶段要建立完善的健康监测体系,某领先企业通过振动监测将轴承故障预警提前了800小时;最后,退役决策要科学化,引入剩余价值评估模型。

2.2 技术驱动的维护升级

技术发展日新月异,但企业必须理性选择。据观察,过度追求新技术而忽视基础管理的情况时有发生。有效的技术升级应该把握三个原则:适度超前但不盲目跟风,系统规划而非零散应用,技术与管理同步提升。以预测性维护为例,虽然AI诊断能提升30%以上的故障识别率,但如果缺乏配套的维修流程优化,整体效果就会大打折扣。企业建立技术路线图,分阶段推进数字化转型。同时要重视技术应用的“最后一公里”问题,确保一线人员真正会用、善用新技术。

2.3 管理标准化建设

标准化建设容易陷入两个极端:要么流于形式,要么过于僵化。好的标准体系应该具备三个特征:科学性、实用性和动态性。某卷烟企业通过ISO55000认证后,管理效率提升了28%,这得益于他们建立的标准持续改进机制。采取核心标准统一,操作细则灵活的策略,既保证规范性,又保留创新空间。特别要注意标准与信息化的融合,通过数字化手段固化标准执行。人员培训同样关键,标准再好,如果执行不到位也是徒劳。

2.4 资源优化配置策略

资源配置不是简单的加减法,而是需要系统性思维。根据行业调研,实施智能备件管理的企业库存周转率平均提升2~3倍,这说明优化空间很大^[2]。资源配置要把握三个平衡:即保障生产与控制成本的平衡,集中管控与分散使用的平衡,短期需求与长期规划的平衡。建立多维度的评估体系,不仅要看直接经济效益,还要考虑隐性价值。例如,某企业通过设备布局优化,不仅缩短了物料周转距离,还改善了工作环境,这种综合效益往往被忽视。资源优化永无止境,需要建立常态化的改进机制。

3 创新维修模式实施路径

3.1 数字化维修平台搭建

数字化维修平台的深度建设需要系统性地规划与实

施。从我的实践经验来看,一个完整的数字化维修平台应当构建四层架构:数据采集层、传输存储层、分析决策层和应用展示层。在数据采集层面,除了常规的振动、温度传感器外,增加声学监测和视觉识别设备,某卷烟厂通过加装高精度工业相机,实现了包装质量缺陷的实时检测,准确率达到97.6%。传输存储层要特别注重边缘计算节点的部署,减少数据传输延迟。分析决策层是平台的核心,采用混合智能算法,将专家经验规则与机器学习模型相结合。某企业应用这种混合算法后,故障诊断准确率提升了28个百分点。应用展示层要实现多终端适配,既要满足中控室的大屏展示需求,也要优化移动端的操作体验。值得注意的是,平台建设必须与现有ERP、MES系统深度集成,避免形成新的信息孤岛。建立平台效能评估机制,定期从数据完整性、算法准确度、用户满意度等维度进行综合评价。

3.2 精益化维修流程优化

精益维修的深入实施需要把握三个关键维度:时间维度、质量维度和成本维度。在时间优化方面,除了建立快速响应机制外,更要重视维修准备时间的压缩。某企业通过推行维修工具车5S管理和标准化作业指导书,使维修准备时间缩短了40%。质量维度要建立维修质量追溯体系,采用区块链技术记录关键维修数据,确保信息的真实性和不可篡改性。某集团实施维修质量区块链系统后,质量纠纷减少了65%。成本控制方面,引入维修成本核算到设备的精细化管理方法,某厂通过精确计量每台设备的维修耗材使用量,年节约成本120余万元。特别要强调的是,精益改善需要建立长效机制,设立持续改进小组,每月开展专项改善活动。同时要注重将精益理念延伸到供应链管理,与供应商建立协同维护机制。

3.3 人员技能转型培训

技能转型培训体系需要构建三位一体的培养模式:知识体系重构、实操能力提升和创新能力培养。在知识体系方面,开发模块化培训课程,将传统机械知识与数字化技能有机融合。某培训中心设计的1+X课程体系广受好评。实操训练要突破传统师徒制的局限,建设虚实结合的实训基地。创新能力培养往往被忽视,设立创新工作室,鼓励技术人员开展小微创新。要建立技能认证与薪酬晋升的联动机制,某企业将维修技能等级与岗位津贴直接挂钩,显著提升了员工学习积极性。同时要重视培训效果的跟踪评估,建立6个月以上的长效评价机制。

3.4 维修全流程管控

全流程管控的深化需要构建PDCA+SDCA的双循环机制。在计划阶段,要建立基于风险的维修策略,某企业通过FMEA分析,将维修资源重点投向高风险设备,使整体可靠性提升22%。执行阶段要强化过程监控,采用物联网技术实时采集维修作业数据。某厂为维修人员配备智能工牌,实现了作业过程的全程可追溯。检查环节要建立多维度的评价体系,除了常规的KPI指标外,还应纳入客户满意度等软性指标。某公司引入的维修服务NPS评估很有借鉴

价值。改进阶段要注重经验固化,建立维修最佳实践库。标准化环节至关重要,某企业将优秀维修案例制作成标准化作业视频,大幅提升了工作质量。要特别注意的是,管控体系要保留适当的弹性空间,允许特殊情况下的流程变通。

3.5 管理制度配套创新

制度创新的深入推进需要把握三个关键点:系统性设计、渐进式实施和动态化调整。在跨部门协作方面,建立矩阵式管理架构,某企业设立的设备全生命周期管理委员会,由各相关部门副职担任委员,确保了决策效率。创新激励要构建物质与精神并重的多元激励体系,某公司设立的维修大师评选制度,既给予奖金激励,又提供职业发展通道^[3]。流程制度优化可以采用试点-评估-推广的模式,某集团选择3家工厂先行试点新的维修管理制度,经过半年完善后才全面推广。制度创新需要配套的文化建设,开展全员设备管理主题活动。

4 实施挑战与对策

4.1 技术融合的适应性难题

技术融合过程中的适配性问题呈现出多维度特征,需要采取系统性的解决方案。在设备层面,不同代际设备的接口标准差异是最常见的障碍。某大型卷烟厂2024年的技术改造报告显示,其生产线上的7种品牌设备涉及5种不同的通信协议,导致数据互通率不足60%。针对这一问题,我们实施协议转换中间件+标准化适配器的双重解决方案。人员适应方面则需要构建全方位的能力提升体系,采用4E培养模式:Education、Experience、Environment和Evaluation。更要重视技术迭代的节奏控制,建立技术路线图,明确各阶段的升级重点和过渡方案。在实施过程中,可以采用试点验证-问题修正-全面推广的三步走策略,有效控制技术风险。

4.2 组织架构协同障碍

组织协同障碍的深层次原因在于部门墙形成的闭环运行模式。根据2024年组织效能调研,约72%的跨部门协作延迟源于权责界定不清。破解这一困局需要构建四位一体的协同机制:目标协同、流程协同、信息协同和利益协同。在目标设定环节,采用OKR方法,将设备管理目标分解为各部门的关键结果。流程再造方面,可以借鉴华为的铁三角模式,组建由技术、生产、质量人员构成的固定协作单元。信息共享平台的建设要注重用户体验,避免出现建而不用情况。设立跨部门协作基金,对突出贡献团队给予专项奖励。要定期开展组织健康度诊断,及时发现并解决协作梗阻。

4.3 初期成本投入与回报周期平衡

投资回报分析需要建立更科学的评价体系,突破传统财务指标的局限。我们创新提出多维价值评估模型:直接经济效益、质量提升价值、风险控制价值、人才培养价值和战略储备价值。某企业在评估预测性维护系统时,发现其降低质量风险的价值是直接节能收益的2.3倍。在资金规划方面,采取三三制原则:30%资金用于基础建设,30%用于核心系统,40%预留用于迭代升级。成本控制要实施精细化管理,建立项目WBS分解结构,精确核算每个工

作包的投入产出比。建立全周期的成本管控机制,从规划设计阶段就开始成本优化。可以引入价值工程方法,在保证功能的前提下降低成本。

4.4 数据安全性与系统稳定性保障

随着数字化转型深入,安全保障需要建立纵深防御体系。我们构建四层防护架构:物理安全、网络安全、数据安全和应用安全。在物理隔离方面,某企业实施的红区-黄区-绿区分级管控,将外部攻击入口减少72%。网络防护要采用动态防御策略,如部署欺骗防御系统,构建虚拟蜜网诱捕攻击者^[4]。数据安全特别要关注三个关键环节:传输加密、存储加密和使用审计。应用安全方面,实施严格的SDL管理,系统稳定性保障需要建立三线防御机制:预防性维护、实时监测和快速恢复。更要重视人员安全意识培养,开展红蓝对抗演练,提升实战能力。

4.5 绿色维修技术应用障碍

绿色维修的实施面临技术、成本和管理三重挑战。在技术路线选择上,采取替代-优化-创新的渐进策略。某企业先采用环保清洗剂替代传统溶剂,再优化清洗工艺参数,最后创新研发无水清洗技术,分阶段降低环境负荷。材料兼容性问题需要通过系统的验证流程,建立材料数据库,记录各种环保材料与设备部件的相互作用数据。废弃物管理要构建全流程追溯体系,可采用一物一码管理。成本控制方面,计算全生命周期环境成本,某项目通过考虑后期的处置费用,改变了最初的工艺选择。政策应对要建立预警机制,如某企业订阅全球环保法规数据库,提前18个月预判法规变化。要建立绿色绩效评价体系,将环保指标纳入部门考核,权重不低于15%。

5 结束语

卷接包车间设备管理创新是一项系统工程,需要技术、管理和人才的多维协同。本文提出的全生命周期管理框架和创新维修模式,为行业转型升级提供了可行的实施路径。未来发展中,智能化、绿色化将成为设备管理的主要方向,企业需要持续优化管理体系,加强技术创新,培养复合型人才,才能适应日益复杂的生产需求。行业建立更加开放的合作机制,促进经验共享与技术交流,共同推动设备管理水平向更高层次发展,为制造业高质量发展奠定坚实基础。

【参考文献】

- [1]陈智鸣,唐永佳,李江,等.基于谢宁方法降低卷接机空头率的分析及改进[J].大众科技,2022,24(3):5-9.
 - [2]陶文,杨皓.基于状态监测的卷接设备维保策略研究[J].设备管理与维修,2024(24):12-14.
 - [3]彭飞.烟草企业机械设备维修管理问题及对策[J].大众标准化,2022(8):143-145.
 - [4]赵森,杨雪超,聂坤,等.ZJ17型卷烟机接装纸多形式缺陷故障维修[J].今日制造与升级,2022(10):181-183.
- 作者简介:路博(1986.3—),男,毕业院校:西安工业大学,专业:机械设计及其自动化专业,助理工程师。

绿色理念在机械设计制造中的应用探究

单宝喜

安徽中联重科智能农机装备有限责任公司, 安徽 芜湖 241002

[摘要]随着全球资源环境方面所面临的压力一天比一天大,绿色理念在机械设计制造这个领域当中所呈现出的重要程度也是越来越突出了。较为系统地去探讨了绿色设计理念在机械设计制造里面的运用价值以及其存在的必要性,着重对它给经济发展、社会健康还有生态环保所带来的推动作用展开分析,还深入且细致地阐述了节能环保结构设计、绿色材料的应用以及生命周期设计的具体实施路径,并且针对绿色制造工艺、废弃物循环利用以及和智能制造相结合的实际应用情况展开了相关探讨。研究得出的结果显示,将绿色理念全面且彻底地贯彻下去,一方面能够对提升机械产品对于环境的适应性以及资源利用的效率起到帮助作用,另一方面也能够推动机械制造业朝着可持续发展的方向前进,进而为实现工业绿色转型给予相应的理论层面以及实践方面的有力支撑。

[关键词]绿色理念;机械设计;机械制造;应用

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16611

中图分类号: TH122

文献标识码: A

Exploration on the Application of Green Concept in Mechanical Design and Manufacturing

SHAN Baoxi

Anhui Zoomlion Intelligent Agricultural Machinery Equipment Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241002, China

Abstract: With the increasing pressure on global resources and environment, the importance of green concepts in the field of mechanical design and manufacturing is becoming more and more prominent. This paper systematically explores the application value and necessity of green design concepts in mechanical design and manufacturing, focusing on its driving role in economic development, social health, and ecological protection. It also elaborates in depth and detail on the specific implementation paths of energy-saving and environmentally friendly structural design, green material application, and life cycle design, and explores the practical application of green manufacturing processes, waste recycling, and the combination with intelligent manufacturing. The research results show that fully and thoroughly implementing the green concept can not only help improve the adaptability of mechanical products to the environment and the efficiency of resource utilization, but also promote the sustainable development of the mechanical manufacturing industry, providing strong theoretical and practical support for achieving industrial green transformation.

Keywords: green concept; mechanical design; mechanical manufacturing; application

引言

机械设计制造属于现代工业极为关键的核心领域,肩负着推动国家经济发展以及科技进步的重要使命。不过,传统制造模式会大量耗费资源,并且还会引发环境污染方面的问题,所以迫切需要进行转型升级。在此情形下,绿色设计制造理念便应运而生了,该理念着重于在设计以及制造的整个过程当中尽可能地节约资源、降低污染,进而达成经济效益与环境效益的统一。从理论以及实践这两个不同层面来深入探讨绿色理念在机械设计制造当中的具体应用情况,同时对其现实意义以及发展路径展开分析,以此推动机械工业朝着绿色、低碳、可持续的方向不断向前发展。

1 绿色机械制造的内涵与发展意义

绿色制造又称环保意识制造,是一种现代化制造模式,综合考虑了制造过程中物质资源的消耗和生产过程中对环境的影响。绿色制造对于促进人类社会的可持续发展和现代制造业循环经济模式的发展具有重要作用。机械设计

制造产品的整个生命周期包括产品设计、产品加工制造、产品包装、产品使用和废料处理。在产品的整个生命周期中,绿色制造的主要目标是减少对环境的负面影响,提高资源利用率,提高综合效益。目前,我国绿色理念主要应用在机械设计与制造、资源优化配制与环境保护等方面。

2 绿色设计理念在机械设计制造中应用的重要性

2.1 经济发展的必然要求

随着全球资源变得越来越紧张,人们的环境保护意识也在不断加强,在这样的大背景之下,传统机械设计制造模式所带来的资源浪费以及环境污染等问题变得日益严重起来,这些问题已然对经济的可持续发展形成了很大的制约。绿色设计理念把节约资源以及降低对环境的影响当作核心要务,凭借技术创新以及流程方面的优化,可以有效地提高资源的利用效率,并且提升产品的附加值,同时还能降低生产成本以及能耗,进而达成经济效益的最大化目标。积极推动绿色机械设计制造,一方面能够促使新材料、新工艺得以研发并应用于实际当中,另一方面还能够

带动与之相关的产业链实现升级,从而增强整体经济的竞争力,从根源上对经济的健康持续增长给予有力保障。所以说,绿色设计理念的应用对于机械制造企业而言,是其应对未来市场变化、实现高质量发展必须要走的一条路。

2.2 社会健康发展的必然要求

在机械制造进程里所产生的废气、废水以及噪声等多种污染情况,已然给公共健康带来了不小的威胁。绿色设计理念着重于在产品设计这一阶段就把环境方面的影响尽可能地降至最低程度,努力去避免或者至少是减少那些有害物质的出现以及排放行为,以此从最初的源头开始对社会环境的安全予以切实保障。与此绿色机械设计还十分看重材料所具备的环保特性以及安全属性,尽力削减有毒有害物质的运用,从而使得产品给人体带来的潜在危害得以降低。借助绿色制造流程的具体落实施行,是能够有效地减少职业健康领域存在的各类风险的,而且还能促使工作环境的质量得到明显改善,进而充分保障员工以及周边居民的身体健康状况。这无疑既是社会责任的一种具体体现形式,又是达成社会稳定与和谐状态的重要保障手段,完全契合现代社会健康发展的核心方面的相关要求。

2.3 生态环保的必然要求

生态环境的保护已然成为全球范围内的普遍共识,机械制造行业身为资源消耗方面的“大户”,同时也是污染的源头之一,所以其肩负着相当重要的环境方面的责任。绿色设计理念把环境保护这一方面融入到了设计以及制造的整个过程当中,借助节能降耗的举措、尽力减少废弃物的产生以及推动废弃物的循环利用等方式,能够大幅度地降低对环境所造成的负荷,进而减少对生态系统所带来的破坏情况。在设计这个阶段,着重关注产品所具备的可回收性以及环保特性,在生产实施的过程中大力推广绿色制造相关的技术以及工艺,以此来有效地对污染物的排放加以控制,达成污染防治和资源循环利用之间形成良性的循环状态。唯有切实去践行绿色设计理念,机械制造业才能够减少自身对于生态环境的侵蚀程度,有力地推动生态文明建设相关工作的开展,最终实现经济发展与生态保护这两者之间的和谐统一,这也正是可持续发展所提出的根本性要求所在。

3 绿色理念在机械设计中的应用

3.1 节能环保的结构设计

节能环保的结构设计在绿色机械设计里极为关键,体现出当下制造业对环境保护及资源节约的重视程度颇高。其主要目标是要借助科学且合理的结构安排以及设计方面的优化举措,切实减少资源的耗费以及能量的无端浪费,进而达成机械产品在整个生命周期都具备环境友好的特性。在开展具体的设计工作期间,务必要全面且细致地考量机械结构的轻量化状况以及高效运作情况,如此一来,既能缩减材料的运用数量,节省相关成本开支,又可有效

地削减产品的自身重量,在运行的时候降低能耗。为了达成这一目的,设计人员广泛地运用像有限元分析、拓扑优化这类先进的技术手段,凭借计算机所进行的模拟操作以及优化设计流程,去探寻出结构当中的那些冗余部分,力求在最大限度地提升材料利用效率之际,保证结构的强度以及可靠性均不会受到任何影响。除此之外,结构设计还得着重关注产品的可拆解属性以及再制造性能,以便于机械产品在报废或者需要升级的时候,能够较为轻松地完成拆解、回收以及再利用等一系列操作,大幅度地削减废弃物的产生数量以及对环境造成的污染程度。通过恰当地设计运动部件,减少其中存在的摩擦以及阻力,与此同时对动力传输路径加以优化,能够在很大程度上降低机械在运行过程里的能耗,促使整体效率得以提高。采用模块化的理念来开展设计工作,不但能够助力提升产品的可维护程度以及升级的可能性,而且还有助于延长机械产品的实际使用寿命,避免因频繁地更换而引发的资源浪费以及给环境带来的负担。节能环保的结构设计契合绿色制造核心理念,推动制造业朝着可持续的方向不断向前发展,同时也极大地强化了产品的市场竞争力以及实际的使用价值,为企业争取到经济效益与社会效益的双双提升。

3.2 绿色材料的选用与应用

绿色材料的选用对于机械设计而言是极为关键的一环,它关乎环境友好以及资源节约能否达成。设计人员务必要优先去挑选那些能够再生的、可以生物降解的或者对环境影响较低的材料,坚决不能选用对人体有害的物质以及会造成高污染的原料。在近些年当中,复合材料、再生金属还有生物基材料在机械制造领域已经获得了颇为广泛的运用,这些材料一方面能够满足强度方面的要求,另一方面也符合耐久性的需求,并且还具备很好的环境适应性。绿色材料在实际应用的时候,还需要把其生产过程当中的能耗情况以及废弃物处理事宜都充分考量进去,从而切实保障整个材料生命周期都能够体现出环保的特性。借助于材料方面的替代举措以及不断创新的做法,机械产品所呈现出的整体环境影响得以大幅度地降低下来。与此绿色材料的推广与应用推动了材料科学技术不断向前发展,促使机械设计朝着更为绿色且更加高效的那个方向不断地演进,进而有力地助推制造业去实现其可持续发展的既定目标。

3.3 生命周期设计与可持续性分析

生命周期设计以及可持续性分析属于绿色机械设计里极为关键的理念,着重在于机械产品在其完整生命周期当中,涵盖从设计环节、制造环节、运输环节、使用环节一直到最终的报废环节以及回收处理环节等各个不同阶段,均应当尽最大可能达成环境影响程度的最低化。设计师在开展产品开发工作的进程之中,务必要周全且细致

地考量原材料获取方面的情况、加工制造环节所涉及的能耗状况以及排放情况、运输过程当中资源的消耗情况，还有产品处于使用阶段时的能源效率状况以及维护需求情况，最后还得留心报废之后的回收处理方式以及资源再利用的效率状况。凭借生命周期评估(LCA)技术(见表1)，设计人员可对产品在各个生命周期阶段所形成的环境负荷展开定量层面的分析与评估，精准地辨识出那些能耗偏高且污染较为严重的环节，进而为设计优化给予科学方面的依据，促使产品在环境友好性这个层面上实现整体性的提升。生命周期设计不但强调产品的性能状况以及经济效益方面的情况，而且还格外看重其可持续发展的能力，推动机械产品在整个使用寿命的期间能够削减能源的消耗量以及废弃物的排放量，尽可能地减少对生态环境所带来的负面的影响。这一理念同时也提倡产品设计朝着模块化、标准化以及具备可拆解性的方向去发展，方便产品后续的维修操作、升级操作以及最终的回收利用操作，借此来提高资源的循环利用效率以及经济方面的价值。把生命周期设计理念贯穿于机械设计制造的整个过程当中，一方面有利于企业落实生态环境保护所肩负的社会责任，另一方面也能够推动经济效益不断地持续增长，这已然成为绿色制造战略得以实施的关键核心路径，为促使制造业朝着绿色、低碳以及可持续发展的方向去转型筑牢了稳固的基础。

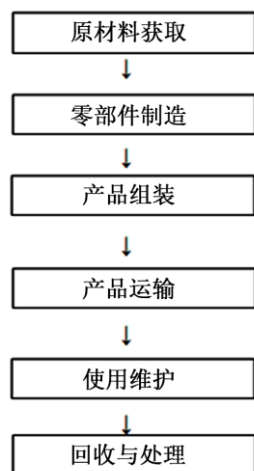


图1 机械产品生命周期评估流程图 (LCA 流程图)

4 绿色理念在机械制造过程中的应用

4.1 绿色制造工艺技术

绿色制造工艺技术着重于从源头上削减制造环节里资源的耗费以及污染物的排出，着重于高效能、节能省电、排放量低的生产流程方面的创新举措。借助引入先进的加工设备以及相关技术，比如精密加工技术、无切削加工方式还有高效的冷却润滑系统等，达成对能源以及材料的最充分运用^[1]。对工艺参数加以优化调整之后，使得废品率

以及返工率都得以减少，进而降低了材料方面的浪费情况，并且也使生产当中有害物质的排放量有所降低(见表2)。除此之外，绿色制造工艺还着重于制造流程的智能化以及自动化方面，以此来削减人为操作环节里的误差以及资源的浪费现象，从而保证制造流程更为绿色环保且更具可控性。凭借持续不断地开展技术革新以及工艺改进工作，机械制造企业不但能够契合日趋严格的环保法规要求，而且还能提升自身的生产效率，降低整体的成本支出，最终达成经济效益与环境效益的双重收益。

$$E = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot \alpha_i + P_i \cdot \beta_i)$$

其中：E：单位产品的环境负荷；

R_i ：第*i*种资源的使用量；

α_i ：资源使用对应的环境影响系数；

P_i ：第*i*类污染物排放量；

β_i ：排放对应的环境影响系数。

4.2 废弃物减少与循环利用

在机械制造业进程里所产生的废弃物，其种类可真是不少，像废金属、废油液以及废气等等都包含在内。要是不对这些废弃物展开有效的管理举措，那么它们将会对环境质量产生颇为严重的影响。绿色理念着重于废弃物从源头开始的控制工作，同时也注重对其实施全过程的管理，以此来促使废弃物的产生量有所减少，并且推动废弃物朝着资源化利用的方向去发展。借助对工艺加以优化的方式来削减废料的产生数量，另外还施行物料的回收以及再制造相关操作，如此一来，废弃物便能够达成循环再利用的目的，进而转化成为生产资源，从而构建起闭环的生产体系^[2]。与此进一步强化废弃物的分类收集工作以及科学合理的处理方式，以此来降低环境污染的风险。废弃物管理所开展的绿色实践，一方面降低了企业在环境治理方面的成本支出，另一方面也提高了资源利用的效率，进而为机械制造的可持续发展给予了强有力的支撑，推动了资源节约型以及环境友好型社会的建设进程。

4.3 智能制造与绿色生产结合

智能制造技术发展迅速，给绿色生产带来创新动力。借助数字化、信息化、自动化融合，精准控制制造过程，高效配置资源。智能传感器和物联网可实时监测能耗等，及时调整参数，减少浪费和污染。人工智能和大数据优化生产计划，提高设备利用率，降低能耗和成本。智能制造让生产更柔性、定制化，减少过剩和库存，实现资源节约^[3]。绿色生产与智能制造融合，助力机械制造企业达成低碳环保目标，推动产业绿色智能转型，顺应工业可持续发展趋势，为构建环境友好社会、实现制造业高质量发展打下基础。

5 结语

绿色理念属于现代机械设计制造的关键指导思想，它

在设计以及制造的各个阶段均有体现,是达成资源节约、环境保护以及可持续发展的核心途径。从绿色设计理念所具有的重要性方面切入,对其在结构设计、材料选用还有生命周期设计当中的运用展开细致分析,并且还深入探讨了绿色制造工艺、废弃物循环利用以及智能制造三者之间的融合情况,全方位呈现了绿色理念对于机械设计制造起到的推动作用。在未来,机械制造业需要不断地强化绿色创新工作,同时完善相关的政策法规,以此来推动技术向前发展以及管理水平得以提升,进而实现经济效益与生态效益的有机结合,从而为构建绿色制造体系提供助力,推动工业朝着绿色转型的方向迈进,最终促进社会实现可持

续发展。

[参考文献]

- [1]冀永曼.绿色设计理念在机械制造中的应用[J].农机使用与维修,2023(11):53-55.
- [2]张秀蓉,王忱鹤.绿色理念在机械设计制造中的渗透分析[J].时代汽车,2022(6):19-20.
- [3]刘强.绿色理念在机械设计制造中的应用路径研究[J].中国设备工程,2023(9):261-263.

作者简介:单宝喜(1985.6—),性别:男,学历:本科,毕业院校:青岛农业大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,目前职称:中级工程师。

某型医疗救护单元仿真分析及优化设计研究

乔芳 周昊 安傲坤

航宇救生装备有限公司总体技术研发部, 湖北 襄阳 441003

[摘要] 本文针对某型医疗救护单元担架整体脱出故障, 首先, 利用仿真计算明确故障原因为挂钩和安装支架刚度不足和搭接量不足; 其次, 依据故障原因提出某型医疗救护单元优化整改措施, 并对优化后的结构进行有限元仿真; 最终通过试验验证优化结构。本文利用仿真方法不但提高了工程实际中故障的解决速率, 也为结构设计及改进提供技术支持。

[关键词] 医疗救护单元; 有限元仿真; 优化; 试验验证

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16657

中图分类号: TB123

文献标识码: A

Simulation Analysis and Optimization Design Research of a Certain Type of Medical Rescue Unit

QIAO Fang, ZHOU Hao, AN Aokun

Overall Technology Research and Development Department of Aerospace Life Saving Equipment Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441003, China

Abstract: This article focuses on the overall detachment fault of a certain type of medical rescue unit stretcher. Firstly, simulation calculations are used to determine that the cause of the fault is insufficient rigidity and overlap of the hooks and installation brackets; Secondly, based on the cause of the malfunction, propose optimization and rectification measures for a certain type of medical rescue unit, and conduct finite element simulation on the optimized structure; Finally, the optimized structure was verified through experiments. This article uses simulation methods not only to improve the speed of fault resolution in engineering practice, but also to provide technical support for structural design and improvement.

Keywords: medical rescue unit; finite element simulation; optimization; test verification

引言

为加快救治、转运伤员的速率, 减少伤员的死亡率和残疾率, 需要使用合适的工具(如担架)将伤员转运至各级医疗机构进行救治。目前国内外关于担架的研究很多, 出现了各种各样的急救担架^[1-3]。张军^[4]等主要讲述了担架转轮附属装置的研制过程及应用场景。李风杰^[5]等主要讲述了民用航空担架的研究现状及目前所发挥的主要作用, 并总结了民用航空担架的技术发展趋势。常蓓^[6]等主要讲述急救轮式担架的重要性及其设计过程。张鑫葵^[7]等主要研究医疗底板改装结构的优化设计问题, 将飞机加装医疗设备达到应急救援的目的, 最终对底板进行试航验证和强度验证。

对于某型直升机而言, 需在其上安装医疗救护单元; 其中核心问题为满足试航要求的强度指标和刚度指标。某型医疗救护单元在进行试航安全试验(某一方向)中, 发生担架中部挂钩脱出导致整体结构功能失效现象, 严重影响医疗救护单元的正常使用。

本文建立某型医疗救护单元有限元仿真模型, 依据仿真结果确定故障原因; 依据故障的原因提出某型医疗救护单元的优化改进方案, 并对优化改进方案进行仿真计算; 最后进行试验验证。

1 故障概述

某型医疗救护单元在进行试航安全试验(向上加载)

中, 出现担架中部挂钩脱出导致担架整体结构功能失效情况, 如图 1 所示。对试验现场进行检查, 发现挂钩和锁定支架均未发生破坏和明显的塑性变形。



图 1 医疗救护单元故障照片

2 医疗救护单元有限元仿真

2.1 接触原理

本文研究的问题为接触分析问题。接触分析的目的是找到接触点和接触点处的接触力, 包括接触压力和摩擦力。在接触中, 接触点 x_c 和此点的接触力都是未知的, 需从相接触的几何体中寻找接触点, 在接触点相接触后施加接触约束。首先在主面上找到和从面点 x 对应的接触点 x_c (ξ_c), 可以通过式(1)找到接触点:

$$\varphi(\xi_c) = (x - x_c(\xi_c))^T e_t(\xi_c) = 0 \quad (1)$$

其中 $e_t = t/|t|$ 是单位切向矢量, $t = x_c$, ξ 是接触点的切向矢量。式 (1) 被称为接触一致性条件, 当 x 在边界条件上时, $x_c(\xi_c)$ 是在满足接触一致性条件下主面上距离从面最近距离的点 (即接触点)。

在接触中, 需设定两物体接触时不会发生穿透, 可通过接触点间距离来施加不穿透条件。不穿透条件可通过法向间隙函数表示, 具体公式如下:

$$g_n = (x - x_c(\xi_c))^T e_t(\xi_c) \geq 0, x \in \Gamma_c \quad (2)$$

其中 Γ_c 为 x_c 的接触边界。

法向间隙的一阶变分为:

$$\bar{g}_n(u; \bar{u}) = \bar{u}^T e_n \quad (3)$$

其中接触点的变分被正交条件抵消。法向接触形式以位移变分表示为:

$$b_n(u; \bar{u}) = \omega_n \int_{\Gamma_c} g_n \bar{u}^T e_n d\Gamma \quad (4)$$

其中 $b_n(u; \bar{u})$ 关于 $\bar{u}$ 是线性相关的。

法向间隙函数的增量为:

$$\Delta g_n(u; \Delta u) = e_n^T \Delta u \quad (5)$$

因法向量沿着 ξ_c 是变化的。接触一致性条件的增量可表示为:

$$\Delta[(x - x_c)^T e_t] = (\Delta u - t \Delta \xi_c)^T e_t + (x - x_c)^T \Delta e_t = 0 \quad (6)$$

$$\Delta \xi_c = \frac{|t|}{t} e_t^T \Delta u \quad (7)$$

结合上述方程, 可以得到法向接触形式的线性化如下:

$$b_n^*(u; \Delta u, \bar{u}) = \omega_n \int_{\Gamma_c} \bar{u}^T e_n e_n^T \Delta u d\Gamma - \omega_n \int_{\Gamma_c} \frac{a g_n}{c} \bar{u}^T e_n e_n^T \Delta u d\Gamma \quad (8)$$

联合上述公式即可得到接触点的位移变化函数。

2.2 医疗救护单元建模

医疗救护单元如图 2 所示, 主要由担架站组件、专用担架、电源模块、供氧模块和医疗模块组成。整体结构采用铝合金材料, 材料强度极限为 560MPa; 专用担架左右两端嵌入底板组件中, 中部设计锁定支架, 底板组件设计挂钩。

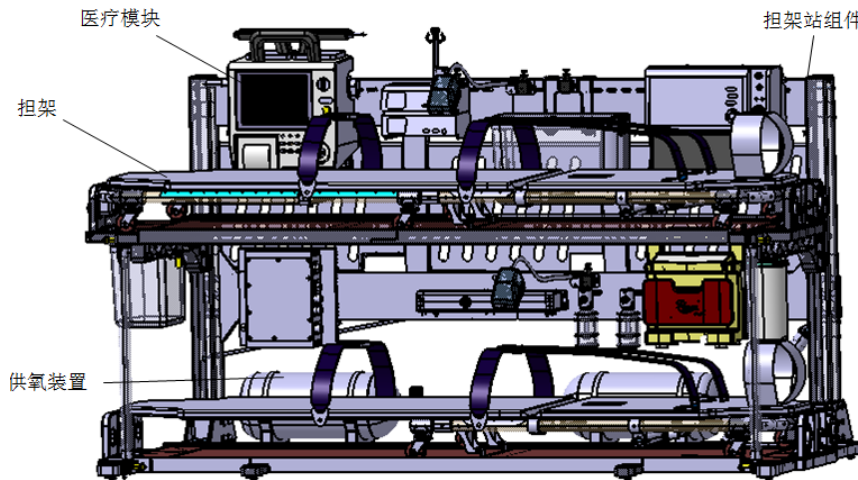


图 2 医疗救护单元三维模型图

为确定某型医疗救护单元担架中部挂钩脱出故障的原因, 对某型医疗救护单元进行有限元仿真。在对医疗救护单元建模时, 有限元模型主体结构应与实际结构保持一致。其中挂钩和安装支架间设置为摩擦接触, 摩擦系数为 0.1。

2.3 计算结果

医疗救护单元的最大应力为 517.8MPa, 最大位移为 25.11mm, 具体见图 3。挂钩与安装支架间发生相对滑动最终分离, 见图 4, 分离时刻的相对位移为 11.56mm, 见图 5。挂钩与安装支架节点位移随载荷增加而增加, 当载荷达到最大时, 挂钩与安装支架间相对位移最大, 具体见图 6。

分析可知: 担架与底、顶板组件在受到向上载荷作用时发生上拱变形, 并且挂钩、锁定支架受力后发生弹性变形, 导致挂钩与锁定支架发生滑移。仿真结果中, 挂钩与安装支架间最大相对位移 (11.56mm) 大于两者初始设计搭接量 (11.3mm), 因此两者会发现脱出故障。故障原因为挂钩与安装支架的刚度和搭接量不足。

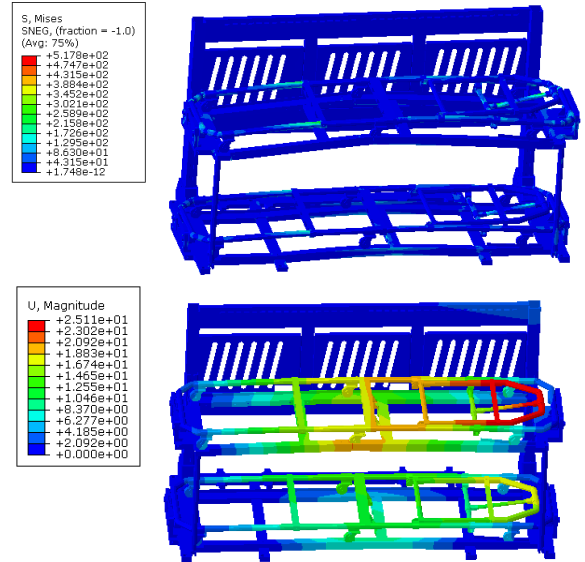


图 3 医疗救护单元应力与位移云图

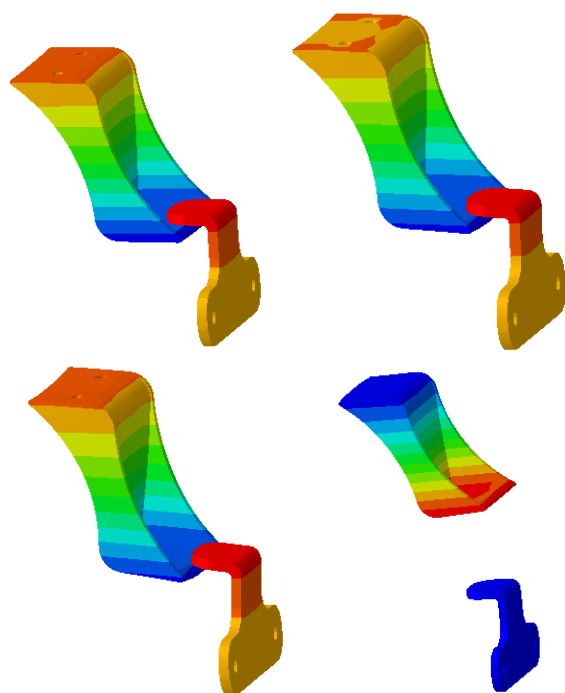


图4 挂钩与安装支架相对运动过程图

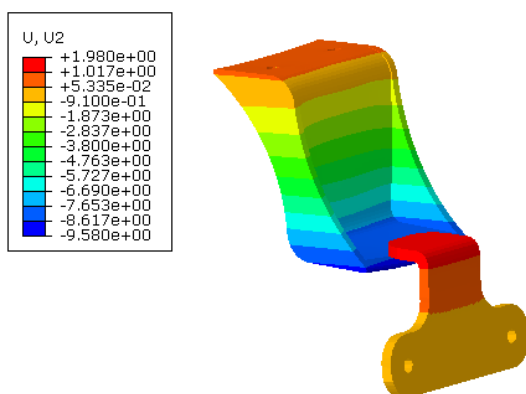


图5 挂钩与安装支架位移云图（脱出时刻）

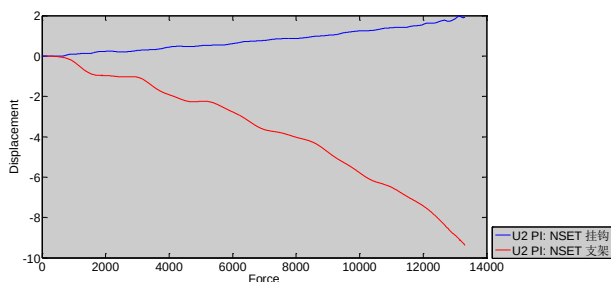


图6 挂钩与安装支架节点位移随载荷变化图

3 医疗救护单元结构优化与仿真

3.1 医疗救护单元结构优化

依据 2.3 章节仿真结果，对医疗救护单元提出优化方案：首先改变锁定支架的结构形式，对挂钩采用加厚 1mm 处理；其次增加挂钩和锁定支架间搭接量（从 11.3mm 增

至 25.3mm）。修改前后结构对比如图 11 所示，优化结构有限元模型如图 12 所示。

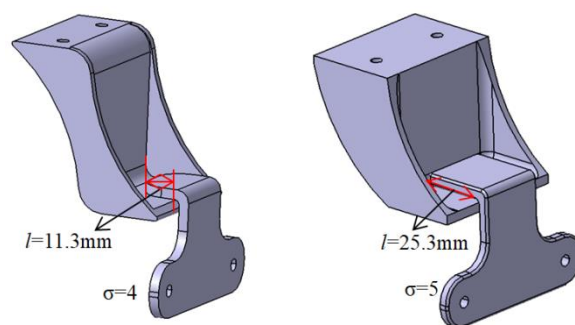


图7 优化前后挂钩与安装支架结构对比图

3.2 优化结构计算结果

医疗救护单元最大应力为 508.4MPa，最大位移为 24.88mm，具体见图 8。优化挂钩与安装支架间会发生相对滑动但不会发生脱出现象，见图 9，极限载荷时优化挂钩与安装支架的相对位移为 5.3mm，见图 10。优化结构节点位移随时间增加而增加，当载荷达到一定值时，两者间的相对位移保持不变，具体见图 11 和图 12。

分析可知：在优化医疗救护单元承受向上载荷时，挂钩与安装支架间会发生相对滑动，相对位移随载荷的增加而增加，当达到极限载荷时，两者相对位移达到最大值且保持不变。优化后挂钩和安装支架的相对位移为 5.3mm 小于两者设计搭接量 25.3mm，因此优化后挂钩和安装支架不会发生脱出现象。

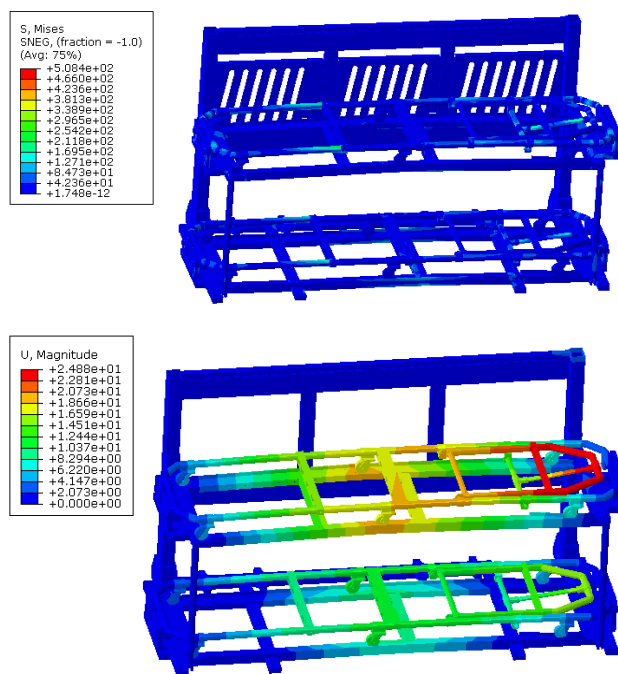


图8 优化后医疗救护单元应力与位移云图

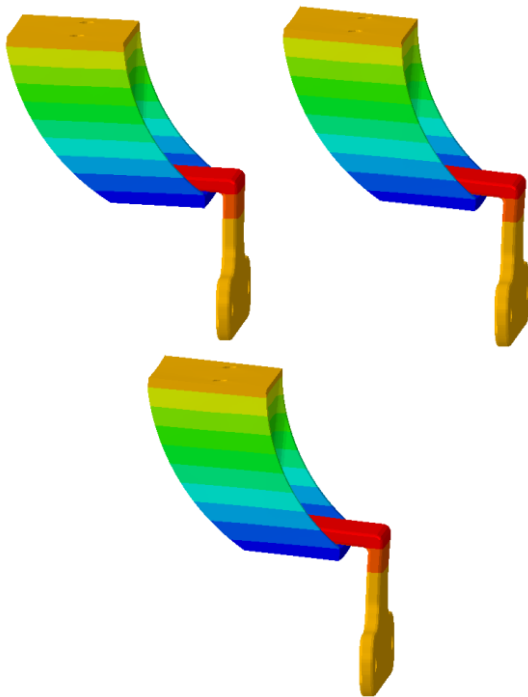


图9 优化后挂钩与安装支架相对运动过程图

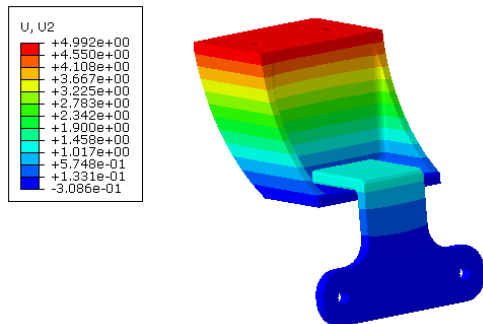


图10 优化后挂钩与安装支架相对位移图（极限载荷时）

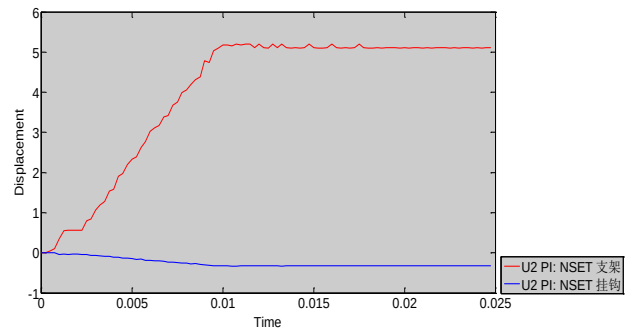


图11 优化后挂钩与安装支架节点位移随时间变化图

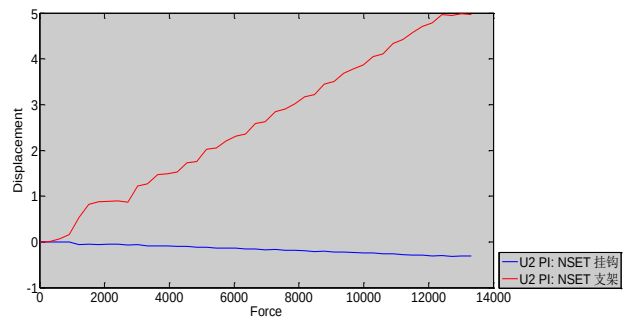


图12 优化后挂钩与安装支架节点位移随载荷变化图（取到极限载荷位置）

3.3 试验验证

3.3.1 试验简介

本试验是在静强度试验平台上完成的。某型医疗救护单元试验件模拟装机接口状态通过试验夹具固定在试验平台中,加载体模利用安全带固定在担架上,选择合适量程的拉力传感器,通过钢丝绳连接被试品担架和液压加载装置。试验原理如图13所示。在挂钩和安装支架端点处安装传感器,以方便测量挂钩和安装支架端点的位移。

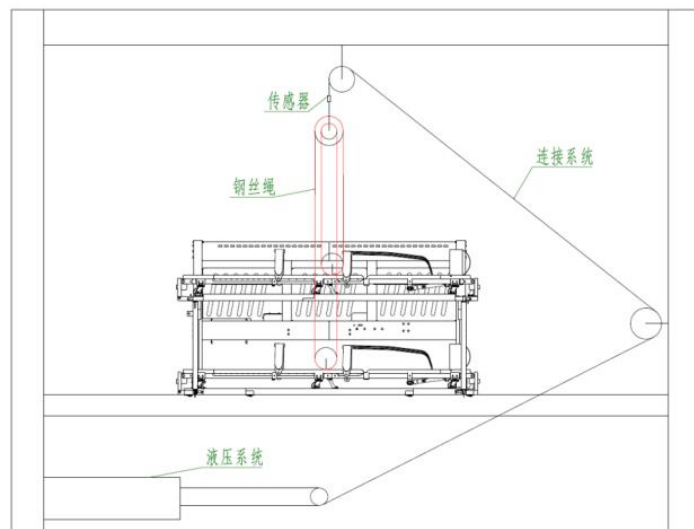


图13 试验原理图

3.3.2 试验结果

节点位移随载荷变化曲线如图 14 所示, 节点随时间变化曲线如图 15 所示。其中节点 1 为安装支架节点, 节点 2 为挂钩节点。从试验结果可以看出, 安装支架的最大位移为 5.109mm, 挂钩的最大位移为 0.3258mm, 同时优化后的安装支架与挂钩未发生脱出现象。

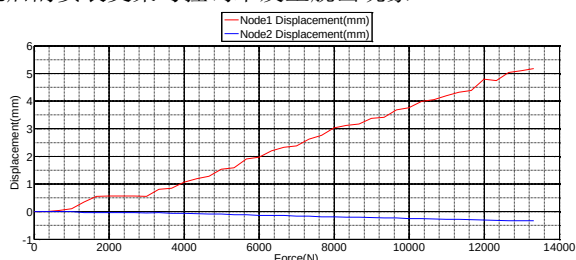


图 14 试验节点位移随载荷变化图 (取极限载荷前部分值)

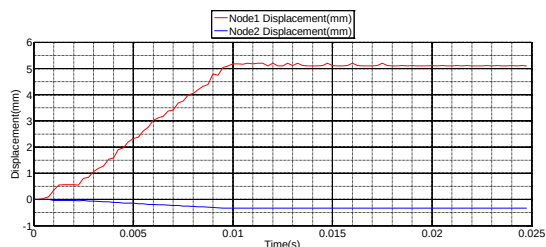


图 15 试验节点位移随时间变化图

3.3.3 数据对比分析

将仿真和试验中节点随载荷变化曲线合并对比, 结果如图 16 和图 17 所示, 仿真结果与试验结果的节点变化趋势一致。

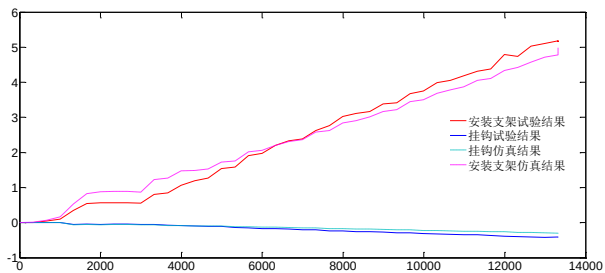


图 16 试验结果与仿真结果对比图 (取极限载荷前部分值)

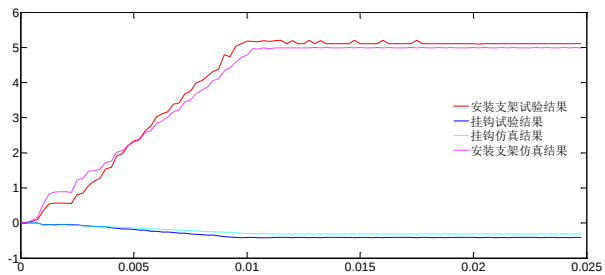


图 17 试验结果与仿真结果对比图

将仿真和试验中节点随载荷变化数据作对比分析, 求得两者的误差和曲线相关度。曲线相关度利用皮尔逊

(Pearson) 相关系数进行表征, 详见表 1。从表 1 中可得仿真与试验结果误差为 5.28%, 两者数据呈现正相关且相关性显著。

表 1 试验数据与仿真数据对比表

	试验结果最大值	仿真结果最大值	误差	相关系数	相关性
挂钩节点	5.109	4.992	2.29%	0.9972	显著
安装支架节点	-0.3258	-0.3086	5.28%	0.9965	显著

4 结论

本文针对某型医疗救护单元担架整体脱出故障进行仿真分析, 可得到以下结论:

挂钩和安装支架刚度和搭接量不足是导致担架整体脱出故障的直接原因。在承受向上载荷时, 挂钩和安装支架刚度不足会导致两者发生较大的挠度变形和相对滑动; 若此时两者搭接量不足, 则会发生两者滑脱故障进而导致担架整体功能失效。

依据故障原因对结构进行优化(增加挂钩和支撑挂架的刚度和两者搭接量), 对优化结构进行仿真计算和试验验证, 结果可知: 优化结构满足设计要求, 且优化结构通过了试验验证。

优化结构的仿真结果与试验结果均表明未发生滑脱现象, 且优化结构节点位移的仿真和试验变化规律一致, 两者数据呈现正相关且相关性显著。利用仿真方法不但可提高工程实际中故障的解决效率, 也为结构的设计与改进提供技术支持, 保证医疗救护单元结构的可靠性。

[参考文献]

- [1]杨荆泉,高万玉,刘圣军,等.海上救生漂浮担架的研制[J].医疗卫生装备,2004,25(12):15-16.
- [2]费伊,李法林,陈立雄,等.一种通用型机载担架支架的研制[J].医疗卫生装备,2014,35(2):8-11.
- [3]辛松岩,赵昕,李志坚,等.数字式保温担架的研制与应用[J].医疗卫生装备,2016,37(8):45-47.
- [4]张军,罗芳,刘希康,等.担架转轮附属装置的研制与应用[J].医疗卫生装备,2016,37(2):45-47.
- [5]李凤杰,甘银银.民用航空担架的研究及发展探讨[J].军民两用技术及产品,2018(19):54-58.
- [6]常蓓,张小纯,李涛,等.野战急救轮式担架的设计[J].医疗卫生装备,2018(19):27-30.
- [7]张鑫葵,李艳军,曹愈远,等.某型直升机医疗地板的改装优化设计与适航符合性验证[J].科学技术与工程,2021,21(29):12765-12771.

作者简介: 乔芳 (1995.2—), 女, 毕业院校: 南昌航空大学, 学历: 硕士研究生, 所学专业: 仪器仪表工程, 目前就单位: 航宇救生装备有限公司总体技术研发部, 职务: 设计员 3 年, 目前职称: 工程师。

人工智能技术在机械设计与制造中的应用

唐聚江 单宝喜

安徽中联重科智能农机装备有限责任公司, 安徽 芜湖 241002

[摘要]随着制造业逐步朝着智能化、信息化以及自动化方面实现转型升级,人工智能技术在机械设计与制造领域当中的应用变得日益普遍起来。围绕着人工智能技术所起到的核心作用、系统的应用形式以及关键的实施策略展开较为系统的分析,去深入探讨它在推动机械行业发生变革并且不断向前发展这一过程中所具有的潜在能力。经过分析可以明确,人工智能在提高机械设计制造的工作效率、降低相关的成本开支以及推动产业结构朝着更加优化的方向发展等方面都具备着十分重要的价值。与此像 BP 神经网络、模糊推理系统、自动识别技术还有专家系统等一系列的人工智能工具,在实际的应用过程当中都展现出了颇为显著的良好成效,这些成效涉及到了智能感知、自主决策以及过程优化等诸多不同的方面。在此情况之下,从产品设计环节、智能监控方面、故障诊断工作以及资源调度等多个不同的维度出发,提出了一些与制造行业发展状况相契合的应用策略,希望能够为机械制造的智能化升级进程给予相应的理论方面的有力支撑以及实践操作层面的有益参考。

[关键词]人工智能技术; 机械设计; 机械制造; 应用

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16610

中图分类号: TP1

文献标识码: A

Application of Artificial Intelligence Technology in Mechanical Design and Manufacturing

TANG Jujiang, SHAN Baoxi

Anhui Zoomlion Intelligent Agricultural Machinery Equipment Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241002, China

Abstract: With the gradual transformation and upgrading of the manufacturing industry towards intelligence, informatization, and automation, the application of artificial intelligence technology in the field of mechanical design and manufacturing has become increasingly common. A systematic analysis will be conducted around the core role played by artificial intelligence technology, the application forms of the system, and the key implementation strategies, in order to explore in depth its potential capabilities in promoting the transformation and continuous development of the machinery industry. After analysis, it can be clarified that artificial intelligence has significant value in improving the efficiency of mechanical design and manufacturing, reducing related costs, and promoting the development of industrial structure towards a more optimized direction. A series of artificial intelligence tools such as BP neural network, fuzzy reasoning system, automatic recognition technology, and expert system have shown significant and good results in practical applications, involving various aspects such as intelligent perception, autonomous decision-making, and process optimization. In this situation, starting from multiple dimensions such as product design, intelligent monitoring, fault diagnosis, and resource scheduling, some application strategies that are in line with the development status of the manufacturing industry have been proposed, hoping to provide strong theoretical support and useful practical reference for the intelligent upgrading process of mechanical manufacturing.

Keywords: artificial intelligence technology; mechanical design; mechanical manufacturing; application

引言

人工智能是当下技术革新极为重要的驱动力量,其正在广泛地渗透到传统制造产业当中,对机械设计与制造的流程以及体系加以重塑。在智能制造这样的大背景之下,传统机械制造面临着诸多挑战,像是效率不高、能耗偏高、响应不够灵活等等,迫切需要依靠人工智能来达成从粗放型朝着精细化、自动化、智能化的方向转变。近些年,像深度学习、神经网络、专家系统等人工智能的不同分支,在图像识别、工艺优化、自动控制等诸多方面都取得了颇为重要成果。

1 人工智能技术在机械设计制造中的重要作用

1.1 推动行业转型

人工智能技术的引入,正对机械制造行业的结构以及

运营逻辑产生着颇为深刻的影响,推动该行业从以往那种依靠经验来驱动的线性流程逐步朝着由数据驱动的智能生态化系统转变。在传统的模式之下,机械设计以及制造通常都得依靠工程师所具备的经验,还有长时间积累起来的工艺流程,对于数据往往缺乏那种深入去挖掘以及进行动态优化的能力。不过有了人工智能作为加持之后,在设计环节当中就能够借助算法达成结构拓扑方面的优化,参数也能够实现自适应的调整;而在制造的过程里,则可以实现智能排产,设备之间也能协同开展操作,如此一来便能够让设计的质量以及生产的效率都得到大幅度的提升。与此人工智能还对跨领域的技术融合发展起到了促进的作用,比如像智能机器人、物联网以及边缘计算等这些技

术的集成应用,进而构建起一个数据能够互通、资源可以共享的制造生态,由此推动制造企业完成数字化的转型并且实现智能化的升级。

1.2 降低人力成本

部分机械设计制造企业中,人工占比相对较大,甚至已经超出了原料成本费用,为企业发展造成沉重的经济压力。而在人工智能技术的应用中仅需通过提前完成程序编辑、指令输入的方式,在加入原料或零部件后,可按照设置参数和既定程序实现智能化设备的自动运作,在智能化机械设计制造体系中无须工作人员全天候固守岗位,系统会自动监管生产流程与质量,如果发现生产过程中出现设备故障或质量问题,则会及时向相关管理人员发出报警信息和通知,并精准定位故障位置,分析故障原因,提出解决方案,避免问题处理不及时或处理不当的进一步加剧。

1.3 优化工艺环节

人工智能技术凭借对大数据展开分析以及加以处理这一方式,切实提高了机械制造工艺所具有的精准程度以及稳定水平。在传统的工艺流程里面,各个生产节点之间存在着数据较为分散的情况,而且协同的工作效率也比较低下,如此一来便很容易出现工艺方面产生偏差、资源出现浪费以及产品存在不一致性的状况。在引入了人工智能之后,依据实时数据所具备的动态调整的能力就有了实现的可能性。比如说,借助神经网络针对历史工艺数据进行建模操作,能够对最佳工艺参数做出预测,进而达成自动调节的目的;模糊控制系统能够在存在多变量且有干扰因素的环境之下让生产过程保持稳定状态。智能算法还能够助力分析工艺瓶颈所在之处,去识别那些易损的零件、对切削路径予以优化以及对热变形这类关键问题加以控制,以此有效地提高产品的合格比率以及加工的稳定性,大幅度地优化整体的工艺质量。

2 人工智能在机械设计制造中的应用系统

2.1 BP 神经网络在机械设计中的应用

BP 神经网络属于典型的前馈神经网络范畴,它拥有自学习、自适应以及非线性建模方面的能力,在机械设计里的参数优化以及预测建模环节有着广泛的运用。在机械结构进行优化的那个过程里面,工程师经常会碰到多目标并且有多约束的情况,然而传统的解析办法往往很难把设计精度跟效率这两者都兼顾到。BP 神经网络能够依据大量的历史设计数据还有仿真得出的结果,去构建起输入跟输出之间那种复杂的非线性映射关联,进而达成对结构强度、刚度、重量等这类性能指标展开预测以及优化的目的(见图 1)。与此该网络还能够在初步设计的阶段给工程师给出设计方面的建议,以此来有效地缩减设计所花费的周期,并且降低试错所需要的耗费的成本。特别是在复杂曲面造型以及多学科集成设计这样的情况当中,BP 神经网络的运用明显提升了机械系统所具有的智能化程度以

及自动化程度。

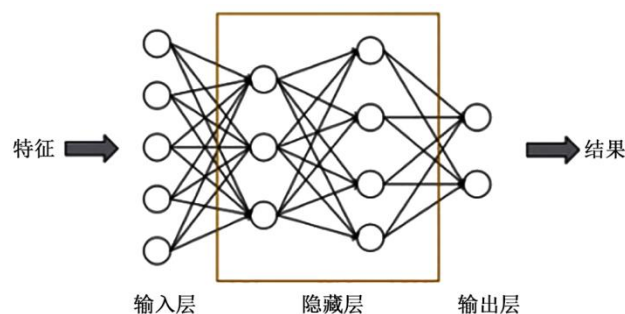


图 1 BP 神经网络系统结构示意图

2.2 模糊推理系统在工艺控制中的应用

模糊推理系统对于那些传统办法难以量化的不确定性以及模糊性问题而言是适用的,所以它在机械制造当中的工艺控制这一环节有着颇为重要的优势。在实际开展加工工作的过程当中,因为像材料的性质、设备所处的状态、环境的具体条件等等这些变量都存在着不确定性,所以生产系统往往会碰到那种难以量化的或者会出现突变的工况方面的变化情况。模糊推理系统借助于构建起基于模糊集合的知识库以及规则库,从而达成对工艺参数实施模糊评价并且进行动态调整的目的。比如说在数控加工的情况之下,可以根据当下切削力、温度、振动等这样一些模糊的信息,对进给速度还有主轴转速做出动态的调整,以此来保障加工的质量以及设备的安全。除此之外,模糊推理系统还能够和专家的经验相互融合起来,对规则的设计加以优化,让其拥有更强的适应能力以及普适性,进而提高整个制造系统的鲁棒性。

2.3 自动识别与机器视觉在制造检测中的应用

自动识别技术同机器视觉相结合,给机械制造环节里的自动化检测以及质量控制开拓出了全新的途径。以往的传统检测办法要依靠人工经验以及接触式的工具,如此一来,其效率不高,误差也比较大,而且很难契合高精度、大批量生产的相关需求。然而凭借图像处理以及模式识别方面的算法,机器视觉系统可以达成对工件表面缺陷、尺寸偏差、装配位置等各项参数的高效识别与准确判断,并且能够做到实时反馈以及数据记录。除此之外,像 RFID 还有二维码这类自动识别技术能够在生产线追踪、部件溯源以及工艺节点识别等方面发挥作用,进而实现全流程的可视化以及可追溯管理。这样一种具备高精度、高效率且是无接触式的检测方式,不但提升了产品的质量与一致性,而且还为智能工厂的构建给予了核心方面的有力支撑。

2.4 专家系统在智能决策支持中的应用

专家系统依据人工智能里的知识表示以及推理机制来打造,其可模拟人类专家于特定领域当中的判断和决策方面的行为,在机械制造环节,它主要用来辅助工艺挑选、参数设定以及故障诊断等事宜。凭借构建起包含诸多领域

知识还有专家经验的知识库,并且联合推理机展开逻辑推理的操作,专家系统在面临复杂且多变的生产状况之时,能够给出具备针对性的建议以及决策内容。就好比在零件加工的过程里面,专家系统能够依据材料的具体类型、设备所具备的能力以及加工精度方面的相关要求,去推荐最为优质的加工路径以及工艺参数;而在设备出现运行异常的情况之下,该系统同样可以迅速地识别出可能存在的故障源头,并且给出相应的排查建议,由此使得问题响应的效率以及处理的准确性都得到了大幅度的提升。专家系统的运用不但提高了制造流程的智能化程度,而且在某种程度上达成了知识经验的系统化积累以及传承的目标。

3 人工智能在机械设计制造中的关键应用策略

3.1 智能产品设计与优化策略

在产品阶段,人工智能技术依靠数据驱动以及算法优化达成设计流程的革新。设计人员借助深度学习和生成设计技术,依照功能需求、材料特性以及制造约束,能够快速生成多个设计方案,并且凭借仿真平台自动评估其性能的优劣情况,进而完成“设计—评价—优化”这一闭环迭代过程。而且,人工智能还可将市场反馈、用户偏好等外部数据融入设计流程当中,强化产品的个性化程度以及市场适应能力^[1]。比如在汽车零部件设计方面,运用 AI 技术对事故数据以及使用习惯加以分析,能够反向对结构强度与安全性能进行优化,促使产品设计实现主动进化。这种基于 AI 的智能化设计,一方面极大地提高了设计效率,另一方面也推动了产品性能与质量的系统性提升。

3.2 智能监控与数据感知技术

在制造执行进程当中,智能监控以及多源数据感知构成了达成实时调度和精准控制的关键环节。把传感器网络、物联网平台还有边缘计算节点加以集成部署,如此一来便能够实现针对设备状态、加工过程以及环境参数的全流程感知以及实时分析^[2]。人工智能算法在这样的基础之上能够开展多维度数据融合以及异常检测方面的工作,从而精准地识别出生产环节当中的波动情况与各类风险。就好比说,借助振动分析可以识别出机床刀具出现的磨损状况,凭借热成像能够监测到焊接的质量情况,依据能耗数据则可预测设备运行时可能出现的异常状况。这样一种以感知、分析、反馈所形成的闭环为基础构建起来的智能监控系统,使得制造系统的可视化程度以及响应能力都得到了大幅度的提升,它无疑成为了智能制造体系建设方面的有力支撑。

3.3 故障诊断与预测性维护方法

人工智能于故障诊断以及预测性维护方面的应用,切实提升了设备管理所具备的科学性与前瞻性。传统维修模式往往是以事后的响应作为主要方式,如此一来,常常致使设备故障进一步扩大,同时使得维修成本有所增加。借

助 AI 模型针对设备运行数据展开建模分析的操作,是能够达成对异常状态做到早期预警以及精准定位的效果的。就好比说,运用支持向量机(SVM)或者卷积神经网络(CNN)来分析电机的振动情况以及声波信号,便可以较为准确地识别出轴承出现的磨损问题又或者是不平衡的问题;结合长短期记忆网络(LSTM)对历史工况加以预测,还能够在一定程度上提前对维护时间以及备件需求做出规划安排。这样的策略一方面降低了故障发生的几率,另一方面也对运维资源的配置起到了优化的作用,从而为制造系统能够实现稳定且高效的运行给予了有力的保障。

3.4 智能制造流程与资源调度管理

人工智能借助优化制造流程以及资源调度机制,达成了生产系统的柔性化与动态响应能力,大幅度提升了制造企业在复杂且多变环境里的适应性与竞争力。在传统制造模式当中,生产排程往往受到静态规则以及人为经验的限制,其调度效率不高,资源浪费情况较为严重,特别难以应对当前多品种、小批量以及快速交付的市场需求^[3]。而人工智能技术的引入,特别是遗传算法、粒子群优化、蚁群算法以及强化学习等智能优化方法的综合运用,促使制造资源调度逐渐朝着自动化与智能化的方向发展(见表2)。

表2 智能资源调度算法分类及作用

智能优化算法	主要功能描述	典型应用场景
遗传算法(GA)	模拟自然选择过程以寻找最优解	多工序复杂排程、产线任务分配优化
粒子群优化(PSO)	模拟群体协作行为以快速逼近最优调度策略	订单优先级动态排序、能耗最小化调度
蚁群算法(ACO)	模仿蚂蚁路径选择行为解决组合优化问题	物流路径规划、零部件配送系统调度
强化学习(RL)	基于试错机制逐步学习最优调度策略	动态环境下的设备任务调度与故障恢复控制

依靠实时数据的采集与分析, AI 系统能够在复杂的装配线上针对产能分布、订单优先级、设备状态、人员配置等诸多维度的因素展开综合评判,并且自动生成最优的排程方案,达成产线任务负载的动态均衡、生产瓶颈的主动规避以及整体交付周期的最短化。这类智能调度系统还能够与 MES(制造执行系统)和 ERP(企业资源计划系统)深度融合,构建起一体化的决策支撑平台,在确保制造过程稳定性的前提下,提升系统的灵活性与可扩展性。人工智能在资源调度当中的应用不但提升了设备稼动率以及原材料利用率,而且还凭借对环境变化的快速感知与反馈,提高了企业对突发事件的响应速度,明显增强了生产过程的弹性与韧性。

4 结语

人工智能技术已然对机械设计与制造的传统模式产生了颇为深刻的改变,进而为达成高效能、高品质以及低能耗的智能制造体系给予了极为关键的支撑。仔细分析人工智能所起的核心作用、其中的关键系统以及相关的应用

策略能够发现,它在促使行业完成转型、对工艺流程予以优化、提高设计能力以及提升制造智能水准等方面呈现出十分广阔的前景。往后看,伴随技术不断地进行迭代更新并且制造场景持续地深度融合,人工智能于机械制造当中将会发挥出更为关键的重要作用。不过也要留意到,人工智能要有效落地实施,依旧依靠着数据方面的基础条件、系统的集成情况以及人才方面的有力支撑,这就需要各个方面协同合作一同去推进相关事宜。

[参考文献]

[1]郭思迪.人工智能技术在机械设计与制造中的应用[J].

大众标准化,2025(4):175-177.

[2]涂岐旭.机械设计制造中人工智能技术的应用[J].模具制造,2024,24(11):186-188.

[3]李嘉,周国梁.人工智能技术在机械设计制造中的应用研究[J].造纸装备及材料,2024,53(3):101-103.

作者简介:唐聚江(1987.8—),性别:男,毕业院校:山西农业大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,当前职称:助理工程师;单宝喜(1985.6—),性别:男,学历:本科,毕业院校:青岛农业大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,目前职称:中级工程师。

新能源汽车动力电池技术发展现状与未来趋势分析

符养斌

山西省交通新技术发展有限公司, 山西 太原 030012

[摘要]新能源汽车动力电池作为整车能量系统的核心组件,其技术创新与产业化进程深刻影响着全球交通能源变革的速度与质量。文中从材料体系、制造工艺、应用场景三维度切入,系统剖析锂离子电池、磷酸铁锂电池等主流技术的性能特征与适用边界,揭示能量密度提升、安全风险控制、资源可持续性等关键瓶颈的形成机理。研究指出,固态电池技术突破与钠离子体系产业化将重构现有技术格局,智能制造升级与商业模式创新协同驱动成本下降。通过解析材料改性策略、系统集成方案及产业链协同模式,明确高比能、高安全、低成本的技术演进路径,为产业界优化技术路线选择、提升供应链韧性提供决策依据,最终构建兼顾技术创新与生态友好的动力电池发展体系。

[关键词]新能源; 动力电池; 发展现状; 趋势

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16635

中图分类号: TM912

文献标识码: A

Analysis of the Development Status and Future Trends of Power Battery Technology for New Energy Vehicles

FU Yangbin

Shanxi Provincial Transportation New Technology Development Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030012, China

Abstract: As the core component of the vehicle energy system, the power battery of new energy vehicles has a profound impact on the speed and quality of global transportation energy transformation through its technological innovation and industrialization process. The article systematically analyzes the performance characteristics and applicable boundaries of mainstream technologies such as lithium-ion batteries and lithium iron phosphate batteries from a three-dimensional perspective of material systems, manufacturing processes, and application scenarios, revealing the formation mechanism of key bottlenecks such as energy density improvement, safety risk control, and resource sustainability. Research indicates that breakthroughs in solid-state battery technology and the industrialization of sodium ion systems will reconstruct the existing technological landscape, and the synergy between intelligent manufacturing upgrades and business model innovation will drive cost reductions. By analyzing material modification strategies, system integration solutions, and industry chain collaboration models, we clarify the technological evolution path of high specific energy, high safety, and low cost, providing decision-making basis for optimizing technology route selection and enhancing supply chain resilience in the industry, so as to construct a power battery development system that balances technological innovation and ecological friendliness.

Keywords: new energy; power battery; development status; trend

引言

全球能源结构转型与碳中和目标驱动下,新能源汽车产业迎来历史性发展窗口。动力电池作为整车技术的核心载体,其能量存储效率、安全可靠性及成本控制水平直接制约着车辆市场竞争力与产业规模化进程。本文通过多维度解析主流电池技术演进路径,系统梳理材料创新、工艺升级与产业协同的互动关系,深度剖析制约行业发展的本质性技术障碍。研究涵盖电化学体系创新、制造工艺突破、商业模式重构等关键领域,揭示技术路线选择与产业链价值分配的关联机制,为构建安全可控、高效低碳的动力电池产业生态提供理论支撑与实践指引。

1 新能源汽车动力电池概述

动力电池作为新能源汽车的能量供给核心,承担着存储与释放电能的关键功能,其性能直接决定着整车的续航

里程、充电效率、动力输出和使用寿命。在技术架构层面,动力电池需同时满足多重严苛要求。高能量密度确保单位质量或体积下储存更多电能,长循环寿命保障电池在全生命周期内的稳定输出,快速充放电能力则直接影响用户使用便利性。当前技术体系中,化学电池因其成熟的产业化基础占据主导地位,依赖电化学反应实现能量的高效存储与可控释放。锂离子电池凭借高能量密度、长循环寿命及相对成熟的安全性管理,成为市场主流选择,其衍生体系如兼顾能量密度的三元锂电池和突出安全性的磷酸铁锂电池,已形成差异化应用格局。技术创新浪潮下,固态电池、钠硫电池等新型体系加速迭代,空气电池等前瞻性技术逐步进入工程验证阶段,其突破性能量密度潜力有望缓解新能源汽车的续航焦虑问题。动力电池技术的演进方向正从单一材料革新转向系统性升级,涵盖正负极活性物质

改性、电解液适配性优化、热管理方案创新到模块化结构设计的全链条协同,通过电化学体系重构与制造工艺提升双重突破,推动新能源汽车向更高能效、更快充放、更长寿命的可持续发展方向持续演进,成为全球能源低碳转型的关键技术支撑。

2 当前新能源汽车动力电池技术发展现状

2.1 锂离子电池

锂离子电池基于电化学反应原理,通过锂离子在正负极材料中的可逆嵌入与脱出实现能量存储与释放。其正极通常采用层状金属氧化物或聚阴离子化合物,如镍钴锰三元材料(NCM)和钴酸锂(LCO),负极则以石墨或硅碳复合材料为主,形成高效的能量转换体系。在性能表现方面,该电池凭借超过 200Wh/kg 的质量能量密度和数千次的循环寿命,成为新能源汽车动力系统的首选方案。为应对市场需求分化,材料体系持续迭代升级。高镍三元材料侧重提升能量密度,磷酸铁锂则强化安全性与成本优势。然而,电池热管理难度随能量密度提升而加剧,正极材料热分解可能引发连锁放热反应,对电池包结构与热失控防护提出更高要求。技术改进聚焦于正极材料晶格稳定性强化、硅基负极体积膨胀抑制等核心问题,同时通过模块化结构设计减少冗余组件,推动电池系统能量密度与安全性能的同步优化。产业链上下游协同创新加速低钴化、无钴化技术突破,逐步降低对稀缺金属资源的依赖,为大规模商业化应用奠定基础。

2.2 磷酸铁锂电池

磷酸铁锂电池采用橄榄石型晶体结构的正极材料,其稳定的化学性质赋予电池体系更高的热力学安全性。该技术通过铁-磷-氧强共价键形成的三维框架,有效抑制高温下的结构崩塌,在针刺、过充等极端条件下仍能保持电芯完整性,因此在重载运输车辆及固定式储能场景中成为优选方案。近年来技术迭代重点突破能量密度限制,通过材料纳米化处理提升锂离子迁移速率,结合极片薄型化工艺增加活性物质占比。CTP 技术通过取消传统模组结构,直接将电芯集成至电池包,配合多向传热设计使空间利用率提升 20%以上。在低温适应性方面,尽管通过金属掺杂改善了正极材料的电子导电性,但锂离子在低温环境下的扩散动力学障碍仍未完全消除,导致-20℃环境下容量保持率不足理想水平。技术改进聚焦于开发低温型电解质体系,采用多孔集流体增强界面反应活性,同时通过电池管理系统集成智能温控策略,形成主动加热与被动保温相结合的解决方案。随着材料改性技术与系统集成能力的持续进步,磷酸铁锂电池正逐步突破应用场景边界,向高端乘用车市场延伸拓展。

2.3 铅酸蓄电池

铅酸蓄电池基于铅与二氧化铅的氧化还原反应原理,采用硫酸电解液实现电荷传递,是历史最悠久的商业化二

次电池体系。其电极材料来源广泛且加工工艺成熟,在需要瞬时大电流输出的场景中展现出独特优势,特别适配内燃机启动、低速电动车驱动等特定需求。电池结构固有的稳定性使其具备较强的过充耐受能力,配合成熟的铅回收产业链,形成全生命周期成本优势。然而受限于铅金属的高原子量特性,电池质量能量密度难以突破 50Wh/kg 的理论上限,且深度充放电循环易导致极板硫酸盐化,制约使用寿命扩展。技术演进方向转向与新型电池的协同应用,通过构建铅酸-锂电混合系统,利用铅酸电池的高可靠性承担辅助电源功能,在车载低压电器供电、应急启动等环节发挥效能。部分创新方案尝试引入碳添加剂改良负极活性物质,或采用铅碳复合电极延缓硫酸盐化进程。尽管在主流新能源汽车中逐步被替代,但在船舶动力、工业储能等对安全性要求严苛的领域,铅酸蓄电池仍保持不可替代的应用价值。

3 新能源动力电池关键技术瓶颈

3.1 能量密度限制

当前动力电池能量密度的提升面临基础科学层面的多重制约,现有锂基化学体系的理论能量密度已逼近材料本征特性的物理极限。正极材料开发中,高比容量的富锂锰基材料虽具有理论优势,但氧析出反应导致的电压衰减问题尚未有效解决;负极方面,硅基材料虽可实现十倍于石墨的理论容量,但锂化过程中的体积膨胀效应引发电极粉化,导致循环稳定性急剧下降。电解质体系创新同样受限,固态电解质虽能兼容锂金属负极以提升能量密度,但电极-电解质界面阻抗控制、离子导电率提升等关键技术仍未达到产业化要求。技术突破路径呈现多元化特征:在材料层面探索多电子反应体系,在系统层面通过拓扑结构设计提升成组效率。然而,这些改进方案尚未突破能量密度量级跃升的实质性障碍,亟需新型电化学体系或跨代技术路线的突破性创新。

3.2 安全性问题

动力电池安全风险的本质源于能量存储与释放过程中的能量失控,热失控链式反应的形成机制涉及电化学、热力学与机械力学的多物理场耦合作用。电解液作为当前体系中最活跃的易燃组分,其碳酸酯类有机溶剂的闪点低于 60℃,在内部短路引发的局部高温下极易汽化燃烧。电池管理系统的失效容错设计仍存在薄弱环节,电压采集精度偏差与温度场感知滞后可能延误故障预警时机。机械防护方面,碰撞工况下电池箱体形变易引发极片微短路,而现有防爆阀泄压速率与热失控产气量间存在动态失衡风险。解决路径需构建多层级防护体系:在材料端开发阻燃电解液与自修复隔膜,在电芯层面优化电极界面稳定性,在系统层级完善热蔓延阻断结构。创新方向聚焦于本征安全技术突破,如固态电解质对可燃组分的替代、智能 BMS 算法对故障模式的预判能力提升,以及基于仿生学的多级缓冲结构设计,通过材料-结构-控制的三维协同从根本上提升系统安全阈值。

3.3 成本控制与资源依赖

动力电池成本构成中,正极材料受锂、钴、镍等战略金属价格波动影响显著,地缘政治因素加剧供应链不确定性。高镍三元材料对钴资源的依赖性虽通过材料改性逐步降低,但镍矿开采的环境成本与提纯技术壁垒仍推高整体成本。资源循环利用体系面临技术性与经济性双重挑战,火法冶金回收存在能耗高、金属损耗大等缺陷,湿法回收的化学试剂循环效率亟待提升。技术替代路线中,无钴正极材料开发聚焦于锰基与磷酸盐体系,钠离子电池凭借资源丰度优势加速产业化进程,但其能量密度与循环性能瓶颈制约市场渗透率提升。产业链垂直整合成为降本关键策略,头部企业通过矿源控制、材料自研与电池回收的一体化布局,构建成本可控的闭环体系。政策引导下的全球资源竞争格局推动技术创新,固态电池对锂金属需求量的理论降低,以及海水提锂等新型资源获取技术的突破,为构建可持续供应体系提供潜在解决方案。

4 新能源汽车动力电池的未来趋势

4.1 规模化引发的成本降低

动力电池产业规模化效应通过制造端与供应链的双重优化实现成本压缩。制造工艺革新方面,连续化生产设备取代间歇式生产模式,辊压速度与涂布精度的提升使极片合格率突破 99%,显著降低材料损耗;激光焊接与自动化装配技术的普及,推动单线产能提升三倍以上^[1]。产业链协同效应加速显现,上游矿产企业通过战略合作锁定原料供应,中游材料厂商布局一体化生产基地缩短物流半径,下游电池制造商主导的闭环回收网络逐步成型。标准化生产体系的确立促使设备通用性增强,专有工装夹具的复用率提升降低固定资产投资分摊成本。质量管控体系的智能化升级有效减少人工检验环节,基于机器视觉的在线检测系统实现缺陷实时剔除。全生命周期成本管控延伸至产品设计阶段,模块化平台架构的推广使电芯规格趋向统一,兼容性提升带来产线改造成本下降。随着全球产能布局的持续扩张,技术迭代与规模效应的协同作用将进一步摊薄研发成本,形成良性发展的产业生态。

4.2 制造技术创新发展趋势

动力电池制造技术正经历从传统工艺向智能制造的范式转变,核心工艺创新深度重构生产流程。干法电极技术突破传统湿法涂布工艺限制,通过干粉直接成膜消除溶剂挥发环节,显著降低能耗并提升电极压实密度;预锂化工艺创新性解决硅基负极首次效率损失问题,通过在电极中预埋活性锂源实现容量补偿。叠片工艺的精度革命推动电池均一性提升,多极耳设计结合三维堆叠方案有效降低内阻分布差异^[2]。智能化生产体系构建起工艺参数动态优化机制,基于工业互联网的产线实时采集百万级数据点,通过机器学习算法自主调节辊压厚度与注液量。数字孪生技术的深度应用实现物理工厂与虚拟模型的实时映射,在

虚拟空间完成工艺验证与缺陷模拟,将试错成本降低 90% 以上。微米级视觉检测系统与纳米定位装置的协同控制,使极片对齐精度突破 $\pm 0.3\text{mm}$ 限制。制造技术创新正从单点突破转向系统集成,推动动力电池生产向精密化、柔性化、零缺陷目标持续迈进。

4.3 商业共赢的发展趋势

动力电池产业的商业创新正打破传统供应链边界,催生跨领域价值共享机制。车电分离模式通过电池资产证券化重构价值链,消费者以租赁方式获得电池使用权,运营商通过健康状态监测实现梯次利用,形成全生命周期的价值闭环。电池银行体系依托区块链技术建立可信数据平台,实现电池资产流通追溯与残值评估标准化,吸引金融机构深度参与能源服务生态^[3]。产业协同层面,整车企业联合电池厂商开发定制化电芯,材料供应商提前介入正向研发流程,设备制造商依据工艺需求反向优化设计参数,形成螺旋上升的创新循环。区域性产业集群通过共享研发中心、检测认证平台等基础设施,降低中小企业技术准入门槛。国际协作网络加速构建,跨国技术标准互认推动中国电池体系走向全球,海外本地化生产联盟有效应对贸易壁垒。绿色金融工具创新为商业生态注入活力,碳积分交易机制激励企业投资清洁生产技术,ESG 投资导向引导产业链向可持续模式转型,最终形成技术共研、风险共担、利益共享的产业命运共同体。

5 结语

动力电池技术正经历从渐进改良向颠覆创新的关键跃迁,材料革新与工艺升级形成双向驱动的技术格局。突破需聚焦原子级电化学机理研究,构建新型电极-电解质界面体系,破解能量密度与安全性的本质矛盾。加速实验室成果转化,建立覆盖材料、装备、集成的产学研协同平台,推动固态电池等前沿技术产业化落地。商业模式创新应融合电池金融化与能源服务网络化,释放全产业链价值潜能。政策引导需平衡技术多元发展与资源可持续性,健全碳足迹标准体系。全球能源转型背景下,动力电池技术突破将重构交通能源格局,其路线选择关乎产业竞争力与碳中和进程。唯有通过基础研究突破、全链协同创新与全周期价值挖掘,方能构建高效安全的新型电池生态,为新能源汽车可持续发展提供核心支撑。

【参考文献】

- [1]杨宇杰,吴毅飞,洪泽,等.新能源汽车动力电池发展现状及其回收处理技术[J].传动技术,2024,38(3):19-24.
- [2]王娟,洪扬,刘菁昊.新能源汽车动力电池应用现状及发展探析[J].时代汽车,2024(3):77-79.
- [3]陈碧雯.新能源汽车动力电池应用现状及发展探讨[J].时代汽车,2023(21):95-97.

作者简介:符养斌(1966.9—),毕业院校:北京理工大学,所学专业:汽车,当前就职单位:山西省交通新技术发展有限公司,职称级别:高级工程师。

基于变频驱动的锅炉给水泵自动启停控制系统设计

史联兴 明举秀

青海山金矿业有限公司, 青海 海西州 816100

[摘要]基于变频驱动方式的锅炉给水泵自动启停控制系统借助变频器调整泵的转速,精准把握锅炉给水流量,由此提升系统的能源效率与可靠性,此系统采用自动化控制的手段,对给水泵启动及停止过程予以优化,高效降低了能源的消耗水平,进而保障锅炉稳定地运转,设计过程里对控制系统的设计方案以及工作原理做了详尽分析,而且以实验验证了此控制系统在实际应用当中的优越性,呈现出其节能和高效特质的显著长处。

[关键词]变频驱动; 锅炉给水泵; 自动启停; 节能; 控制系统

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16625

中图分类号: TK223.5

文献标识码: A

Design of Automatic Start Stop Control System for Boiler Feedwater Pump Based on Variable Frequency Drive

SHI Lianxing, MING Juxiu

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

Abstract: The automatic start stop control system for boiler feedwater pump based on variable frequency drive adjusts the pump speed with the help of a frequency converter, accurately grasps the boiler feedwater flow rate, and thus improves the energy efficiency and reliability of the system. This system adopts automated control methods to optimize the start and stop process of the feedwater pump, efficiently reducing the energy consumption level and ensuring the stable operation of the boiler. In the design process, a detailed analysis of the control system design scheme and working principle was conducted, and the superiority of this control system in practical applications was verified through experiments, demonstrating its significant advantages in energy-saving and high efficiency.

Keywords: variable frequency drive; boiler feedwater pump; automatic start stop; energy-saving; control system

引言

在工业锅炉系统中,锅炉给水泵的作用十分关键,承担起供给稳定水源的事务,保证锅炉正常地开展工作,传统给水泵控制方案存在高能耗、频繁启停引起设备冲击等毛病,凭借变频驱动的自动启停控制系统可精准调节给水泵的转速,实现对锅炉给水流量的最佳化调控,减少能源的耗用量,进而延长设备的使用时长,文章意在设计一套具备高效性与节能性的自动控制系统,为增强锅炉系统整体运行稳定性及可靠程度,文章会对系统设计、实现步骤及实验结果做详细说明。

1 基于变频驱动的锅炉给水泵控制原理

1.1 变频器的工作原理

变频器的基本工作原理是通过改变电动机供电频率,调节电动机的转速,从而实现对机械设备转速的精确控制。变频器通过整流电路将交流电转换为直流电,再通过逆变电路将直流电转换为不同频率的交流电。频率变化直接影响电动机的转速,进而控制泵的工作状态。对于锅炉给水泵而言,变频器的应用能够根据锅炉的负荷变化调整泵的转速,保持给水流量的稳定,从而避免因流量过大或过小造成的不必要能耗。通过这种方式,变频器能精确调节泵的转速,实现给水流量的精准控制,从而提高整个锅炉系

统的运行效率。

1.2 锅炉给水泵的工作特点

锅炉给水泵的主要功能是将水从外部水源输送到锅炉内部,保证锅炉的持续稳定运行。其工作原理是通过泵体将水吸入并压送到锅炉系统中,在此过程中,泵的流量和扬程会受到锅炉负荷、管道压力等因素的影响。随着锅炉负荷的变化,所需的给水量和压力也会变化,因此给水泵的流量和扬程需要实时调整。在传统的控制方式下,给水泵常常处于全开或全停的工作状态,导致设备频繁启停,对设备造成冲击,增加了能耗和磨损。而基于变频驱动的控制方法能够根据负荷需求灵活调整泵的转速,避免了传统方式的不足,有效降低了设备运行的冲击,延长了使用寿命。

1.3 基于变频驱动的控制优势

基于变频驱动的控制系统在锅炉给水泵中的应用具有显著的优势。首先,它能够在保证锅炉稳定运行的前提下,灵活调节给水泵的转速,从而优化能耗并提高系统的工作效率。通过调节转速,变频驱动能够精确控制给水流量,避免因过高或过低的流量导致锅炉效率降低。此外,变频驱动的应用可以有效减少泵的启停次数,减小设备的机械冲击,降低维修频率,延长设备使用寿命。与传统的

直接启动或停止控制方式相比,变频驱动能够提供更加平稳、节能的运行方式,显著降低了系统的能耗和运行成本。实际应用中,变频驱动能够将能源消耗降低 20%到 30%,与传统控制方式相比,在节能和设备保护方面具有明显优势。

2 系统设计方案

2.1 控制系统架构设计

基于变频驱动的锅炉给水泵自动启停控制系统按照模块化进行设计,主要涉及变频器、传感器、PLC 控制器以及人机界面,在系统架构里,作为核心控制单元的是 PLC,履行整个系统实时控制及调度任务,以执行单元身份出现的变频器,采用调节电动机频率的办法改变给水泵转速,以此达成对锅炉给水流量的控制。实时采集锅炉各类运行数据是传感器的工作,诸如流量、压力和温度这类数据,把数据递交给 PLC,PLC 凭借传感器反馈的信息和既定的控制算法,调节变频器输出的频率,掌管给水泵的启停及运行情形,系统也配备了人机操控界面,可对系统运行状态实施监控,实时呈现泵运转的工作参数,便于操作人员开展调整维护相关工作,该架构有把握确保各组件协同工作,构建起高效且稳定的自动化控制体系。

2.2 自动启停控制策略

自动控制给水泵启停的策略,重点依据锅炉负荷实时的变化对泵的运行状态做动态调整,系统依据锅炉热负荷的需求,界定所需的给水流量及压力,若锅炉负荷处于较大水平时,系统会自动开启一个乃至多个给水泵,随即调节泵的转速,保障给水流量与锅炉运行需求相符;若锅炉负荷处于较低水平,系统会自动把泵的转速调整好,也或停止多余的给水泵运转,从而减少无谓的能耗。在启动及停止运转之际,系统采用软启动的先进技术,阻挡了传统模式下给水泵频繁启停造成的机械冲击,在设备运行之际,经由实时跟踪锅炉负荷的变动,保障给水泵始终处于最适宜运行状态,以实现系统整体运行效率的优化,系统响应速度及自动启停控制策略得到提高,而且明显降低了设备的磨损现象,实现了整体能效的提升。

2.3 设备选择与系统集成

在系统设计的进程里,设备选择得当是系统稳定运行的核心要点,选择变频器应参照锅炉给水泵的功率、转速要求以及控制精度等参数进行匹配,变频器应拥有优良的调速性能与过载保护能力,从而保证在各类工况下均能平稳运转,给水泵选型需顾及它的流量、扬程等性能参数,保证其在全负荷与部分负荷工况下,均可提供充足的流量与压力。传感器的甄选同样不可或缺,流量、压力、温度传感器须具备高精度与高度可靠性,以此保证实时数据的精准度,处于系统集成工作阶段,必须保证各个模块彼此的兼容性,尤其在信号传输和控制协议达成一致方面,要让 PLC 与变频器进行数据交换,需采用标准通信协议,保证控制信号及时传输及响应。在系统集成这个阶段,仍

需多次开展调试及测试,校验各组件共同工作的协同能力,保障在实际运作时可达成预期的控制成效与系统稳定性,开展设备选型与系统集成工作,应充分顾及系统的整体性能、可靠性和可维护性,使系统在长期运行期间维持高效稳定。

经由合理设计控制系统架构、制定精细的启停控制策略,对各类设备做合理的选择与集成,该设计能有力促进锅炉给水泵系统的自动化水平,实现节能、降低消耗及保护设备的综合目标,系统稳定性及可靠性获得了充分保障,可以契合不同工况下的需求变动,维持锅炉运行的长期稳定状态。

3 控制系统实现与调试

3.1 系统硬件实现

系统硬件达成主要由变频器、传感器、PLC 控制器、控制面板及其电气接线构成,作为核心执行单元的是变频器,与给水泵电动机实现连接,借助调整电动机工作频率对泵的转速加以控制,要按照给水泵的功率及负载情况,选出适合接入的变频器型号,且要让变频器与电动机达成匹配。传感器作为系统的关键构成部分,主要由流量传感器、压力传感器和温度传感器构成,分别用以实时监控锅炉给水的流量、压力与温度等数据,通过模拟或数字信号,这些传感器把采集到的数据传至 PLC 控制器,PLC 承担根据传感器反馈信息处理数据与做出控制决策的任务,发出对变频器频率调节及泵启停的控制信号。电气接线图的设计应保障各模块连接无误,保证信号输送过程无阻碍,且杜绝干扰出现,各类设备的接线要符合电气安全标准才行,保障控制系统具备稳定性与可靠性,在硬件实现进程里,还应针对系统电源、保护接地、过载保护等实施安全设计,保障系统在异常状况下可实现自动保护,杜绝故障现身。

3.2 软件控制算法设计

实现控制系统,软件控制算法的设计是核心关键,控制算法的主要使命是按照锅炉负荷改变,自动调整给水泵的转速及启停情形,系统以实时采集的方式获取锅炉负荷信息,明确所需的给水流量及压力,再把判断结果转化为控制指令,处于算法设计这个阶段,常借助 PID 控制以及模糊控制两种途径达成精确调节。PID 控制器借助计算锅炉负荷的误差及其积分、微分,产出控制信号,进而对给水泵转速作出调整,维持给水流量的稳定状态,PID 控制可高效应对负载变化较大的情形,但针对复杂又呈现非线性的锅炉负荷变化,兴许存在调节过度或是反应滞后的问题。基于这样基础,进一步优化控制精度可借助模糊控制算法,模糊控制依靠设置输入输出的模糊规则达成,可更灵活地面对锅炉负荷的动态改变,防止调节过度与系统出现振荡,采用两种控制算法结合的应用模式,能有效保证控制的精度,又可让系统响应速率提升,使给水泵转速

及启停精准契合锅炉负荷的需要。

3.3 系统调试与优化

在开展系统调试阶段中,频繁会碰到多样问题,涉及设备彼此信号干扰、控制参数不协调、传感器反馈滞后等方面问题,解决信号干扰问题可借助合理布置接线和采用屏蔽电缆,防止信号传输期间受到外界的干扰,保证所传输数据的精准度,控制参数不匹配问题,一般在 PID 控制器参数设定过程中呈现,初始调试阶段或许要开展多次试验与调整,以此明确最贴合锅炉负荷变化的参数值。在模糊控制系统这个范畴,规则的设定同样是需反复优化的进程,把这些问题处理完毕后,仍需实施系统的性能优化,主要借助调节控制参数、使传感器反馈精度得到改善以及对变频器调速响应进行优化,提升系统整体性能,于优化进行的阶段,对控制算法响应速度与稳定性的调节为关键,应保证在锅炉负荷出现变化时,系统可迅速平稳地调整给水泵运行状态,杜绝产生过大起伏或滞后现象。为减少能耗、降低运行成本,系统调试期间应重点留意节能效果,采用精准调节给水泵的转速,杜绝过度工作,可大幅削减能源的消耗,调试时所进行的数据采集与分析会对后续优化起到有力支持作用,保证系统在实际运用过程里高效又稳定。

依靠前面硬件实现、软件算法制定与系统调试的密切协作,实际应用过程中,控制系统可精准把控锅炉给水泵,增强系统的运行效率,提高设备的使用寿命,进而为减少能源损耗提供有效保障。

4 系统性能测试与分析

4.1 测试方案与方法

为检验基于变频驱动的锅炉给水泵自动启停控制系统的性能参数,筹备了全面化的测试方案,测试内容有系统稳定性、运行效率、节能效果及控制精准程度等,测试环境依据标准工业锅炉运行条件进行设置,开展不同负荷下锅炉运行情景的模拟,测试设备由流量计、压力传感器、温度传感器、功率分析仪等组成,保证可实时采集各关键数据项。从测试方法这一维度,起始阶段进行稳定性测试,探究系统长时间运行时的稳定情形,包含给水泵在起停阶段响应是否平稳,变频驱动系统是否可维持精准的调节操作,之后开展效率检验,采用对比不同负荷环境下的能效情况,评判变频驱动系统于节能方面的长处。

4.2 实验结果分析

实验结果充分证明,采用变频驱动的锅炉给水泵控制系统于多方面展现出卓越性能,就给水泵启动时间而言,采用变频驱动系统能高效缩短启动时间,与传统的直接启动途径相较,泵启动期间的过程愈发平稳,降低了电流冲

击以及机械的磨损。系统运行效率实现明显提升,采用调整泵的转速方式,系统可精准契合锅炉的负荷需求,杜绝了传统控制手段里泵长时间处于满负荷或者空转的情形,于是提高了能源消耗的效率,节能表现十分亮眼,在实验实施的过程中,和传统控制方法相较,变频驱动系统可节约 20%~30%左右的电能,经过不同控制方式性能的对比,经对比发现,变频驱动在节能、延长设备的使用寿命、减少设备故障出现等方面优势显著。

4.3 系统的应用前景与改进建议

该以变频驱动为基础的锅炉给水泵控制系统在实际应用里表现出巨大优势,尤其在节省能源、增强系统稳定程度和延长设备使用年限等方面,在工业锅炉范畴内,该系统可切实有效地应对锅炉负荷波动,实现给水泵运行的优化,推动系统整体运行效率上涨,具备极为广阔的应用潜力。伴随工业自动化水平逐步升高,该系统可朝着智能化控制系统方向进一步发展,采用先进的负荷预测算法,实现给水流量更精准地调节,基于大数据分析与人工智能技术组合,可达成对锅炉系统运行状况的实时监控及故障预报,再进一步提高系统自适应能力及故障预警的能力。

5 结语

基于变频驱动的锅炉给水泵自动启停控制系统凭借精确调控泵的转速、提升运行效率,取得了极为明显的节能及设备保护效果,处于系统设计和实现的阶段,周全考虑了硬件跟软件的协作,实现了稳定运行与高效处理,随着负荷预测技术跟智能控制系统的成长,能够让系统的自适应能力及节能效果得以深化,伴随工业自动化和智能化稳步进步,此技术将在更广泛的范畴里发挥重要功用,为节能提效和智能管理增添动力。

【参考文献】

- [1]李强.永磁变频直驱系统在刮板输送机的应用研究[J].西部探矿工程,2024,36(12):135-137.
- [2]刘飞.长距离带式输送机变频驱动控制技术[J].现代制造技术与装备,2024,60(11):186-188.
- [3]赵思雨.变频驱动刮板输送机负载预测技术的研究[J].西部探矿工程,2024,36(12):119-121.
- [4]刘飞.长距离带式输送机变频驱动控制技术[J].现代制造技术与装备,2024,60(11):186-188.
- [5]王现平.智能变频驱动技术在煤矿带式输送机中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(5):163-165.

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。

高空作业车臂架精度提升的研究与应用

曾 旭 任创智 刘 雄

湖南中联重科智能高空作业机械有限公司, 湖南 长沙 410000

[摘要]随着高空作业机械行业的不断发展,臂架轻量化已经成为一个行业主流,工业智能制造对工件精度要求的提高,超长板折弯精度的提升成为了一个重要的研究课题。文章综合分析了超长板折弯过程中的关键技术问题,包括设备因素、模具因素、板材因素、工艺因素、人为因素等,再通过理论分析、模拟仿真和实验验证,提出有效的技术方案,以提高高空作业车臂架筒体折弯的精度。

[关键词]臂架折弯;原材料;折弯对中;回弹;加凸

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16653

中图分类号: TH213.1

文献标识码: A

Research and Application of Improving the Accuracy of the Boom of Aerial Work Vehicles

ZENG Xu, REN Chuangzhi, LIU Xiong

Hunan Zoomlion Intelligent Access Machinery Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract: With the continuous development of the high-altitude operation machinery industry, lightweight boom has become the mainstream of the industry. The improvement of precision requirements for workpieces in industrial intelligent manufacturing and the enhancement of bending accuracy for ultra long plates have become important research topics. The article comprehensively analyzes the key technical issues in the bending process of ultra long plates, including equipment factors, mold factors, plate factors, process factors, human factors, etc. Through theoretical analysis, simulation and experimental verification, effective technical solutions are proposed to improve the accuracy of bending the arm frame cylinder of high-altitude work vehicles.

Keywords: arm bending; raw material; bending alignment; rebound; add convexity

引言

臂架是臂式高空作业车的关键部件之一,其设计与制造直接影响整机的性能。随着高空作业机械行业的高度发展,高米段的臂式高空作业车的需求不断增加,在保证设备使用性能及安全的前提下,对臂架进行轻量化设计,能有效的降低整机质量,提升产品使用性能。为达到臂架轻量化的目的,一般会用更高强度的结构钢和改进臂架截面设计两种方法。目前行业内臂架结构正从常规的矩形臂架转变为需折弯的多边形臂架,臂架的折弯精度对焊接乃至整机产品的使用性能都有巨大影响,如焊缝间隙不均匀导致的变形,臂架伸缩抖动、异响等。本文针对高空作业车臂架自由折弯的精度提升进行探讨。

1 设备因素

数控折弯机是折弯的关键设备,其设备精度及设备状态是影响折弯精度的重要因素。

1.1 滑块

滑块在折弯过程中受到油缸向下的压力,同时受到板材对其向上的反作用力,此时滑块会出现一定程度变形,在加工过程滑块的最大变形量是影响折弯精度的重要因素。通过分析,可以找出滑块的薄弱位置,并采用不同的优化方案来减小滑块变形,提高滑块的直线度和重复定位精度,可以有效提高折弯精度,如图1。

1.2 油缸精度

油缸精度直接影响凸模进入凹模的深度控制,这是影

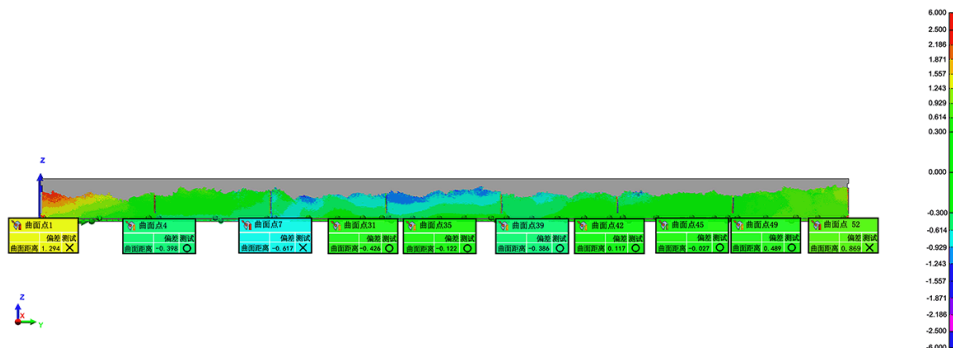


图1 滑块受力状态变形分析

响折弯精度的重要因素。油缸的精确控制能力可以确保折弯角度的一致性和重复性，从而提高折弯精度。

1.3 加凸补偿系统

折弯时，滑块和工作台会产生变形，造成上模进入下模的深度在全长上不一致，这是影响折弯精度的重要因素。因此，加凸补偿装置可以补偿滑块和工作台的变形，从而提高折弯精度。加凸补偿装置能够提高制件折弯角度的精度。通过控制加凸量，可以更精确地控制折弯角度，减少因滑块和工作台变形导致的精度损失。

2 模具因素

模具分为上模与下模，其在折弯过程中直接与板料接触，其精度是直接影响折弯精度的因素。折弯之前首先要保证上下模的中心重合，否则会出现工件的直线度及角度出现偏差。对于大型折弯机来说，上模一般是分段设计，结构形式有快换式与固定式。快换式可以增加换模速度，提高生产效率。但由于其具备一定的自由度，特别是模具使用一段时间有一定磨损后，各上模在折弯时角度有微小差异，工件长度方向受力各不相同，折弯后长度方向各角度均不一致，导致折弯后角度差异，且可能出现局部上拱现象。故需要定期对模柄、上模头及下模的对中情况进行检验，要求模柄全长 $\leq 1\text{mm}$ ，每个模柄连接处不能有明显错层，高低差 $\leq 0.5\text{mm}$ ，下模相邻两根无痕圆棒错位要求 $\leq 0.5\text{mm}$ 。

检测方法如下：

①选择合适的折弯样板折弯成 U 型。

②样板两端对称划线。

③在 Y1、Y2 及两个下模相邻处，共 4 个位置，人工对线，进行 90 度折弯，要求 $90 \pm 0.5^\circ$ 。在小样上记录好第几刀，折弯位置。4 个位置示意如下图 2 所示：

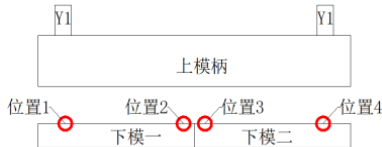


图 2 上下模检测方法示意

④将折弯小件置于平台上检测两侧高度差值，同一个折弯小样高度 $\leq 0.5\text{mm}$ 且 4 个折弯小样同侧高度差 $\leq 1\text{mm}$ 判定合格，否则需对设备进行上下模对中调整。

确认完对中误差后，上下模对中调整方法如下：

①将模柄压进下模槽内，以模柄为基准，使用钢直尺测量下模边缘至模柄的距离 D，全长范围内最大读数-最小读数 $\leq 1\text{mm}$ 。示意图如下图 3 所示：

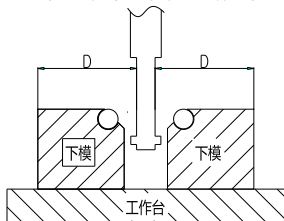


图 3 上下模对中对示意图

②对中后应检查所有紧固螺栓，确保全部拧紧。

3 原材料因素

3.1 回弹

板材折弯成型的三个阶段包括：弹性弯曲阶段、弹塑性弯曲阶段和纯塑性弯曲阶段。

弹性弯曲阶段：在这一阶段，外力作用下材料发生弹性变形，卸载后可恢复原状。

弹塑性弯曲阶段：随着外力的增大，材料内部出现局部塑性变形，部分区域进入屈服状态，但仍存在弹性区域。随着变形的进一步增大，塑性变形由表面向中心逐步扩展。

纯塑性弯曲阶段：在这一阶段，整个变形区的材料完全处于塑性变形状态，弹性变形可忽略，变形不可逆。

从以上分析可以得出材料在折弯过程中，板材内层受压应力，而外层受拉应力。这两种应力使材料产生塑性弯曲变形，从拉应力过渡到压应力的过程中总会有一个弹性段。由于弹性必然引起向原来位置伸直的趋向，故卸载后材料产生回弹。回弹是金属材料固有的特性，其与材料的抗拉强度、延伸率等材料特性有直接关系。一般在自由折弯过程中通过调节下模开口宽度及折弯机滑块行程，可抵消材料的回弹特性。

3.2 材料厚度

材料的厚度不均也会影响折弯精度。即使采用同一折弯模进行折弯，所得到的工件尺寸与形状也有所差异。厚度大的部分折弯时阻力大，回弹小；厚度薄的部分回弹大，形状及尺寸均不准确，影响了工件的精度，并且易产生翘曲及扭曲现象。对于热轧金属材料来说，一般纵向厚度一致性高，故在一般将折弯线设计成平行于板材的纵向（板材轧制方向）。

3.3 应力应变状态

在板料折弯分析中，通过 ABAQUS 有限元软件模拟发现，应力和塑性变形的集中位置在板料的上下边缘，而靠近中性层的部位应力变化很小。在折弯过程中，上模下压量越大，板料的应力沿左右两边有往回收缩的趋势，这直接影响折弯精度，示意图如图 4 所示。

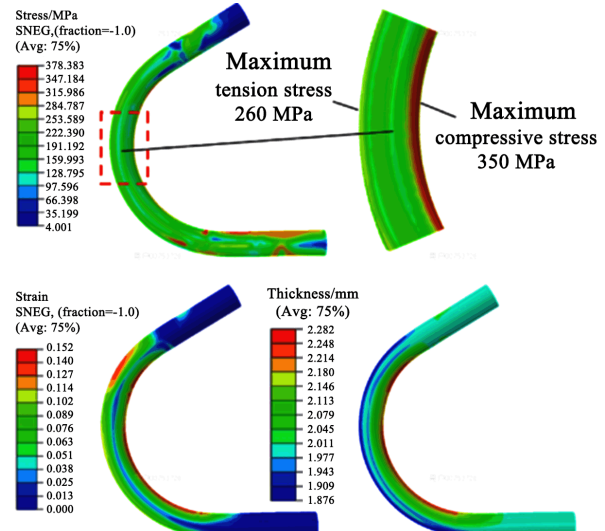


图 4 材料应力有限元分析

3.4 工件来料精度

臂架筒体板的折弯精度主要受三大来料因素影响：板材平面度、长直边直线度以及宽度尺寸精度。其中，板材平面度取决于校平加工的质量控制，而工件宽度的一致性和全长直线度则直接受铣边加工精度的制约。这些关键尺寸的公差控制将最终决定成品的折弯精度。在同一批原材料中选取不同状态的工件进行跟踪，情况如下所示：

(1) 工件一、平面度不良，过程数据如下表 1，图 5：

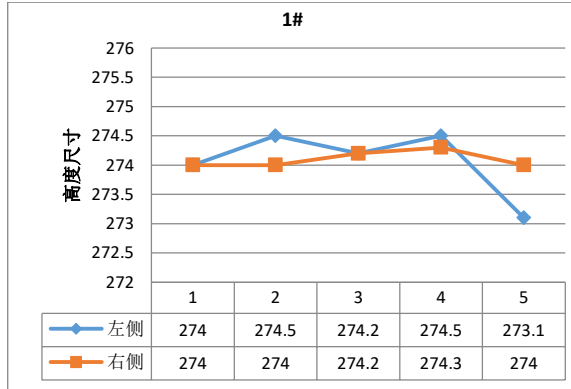


图 5 来料平面度不良工件高度数据统计

(2) 工件二、工件铣边后宽度尺寸不良，过程数据如下表 2，图 6：

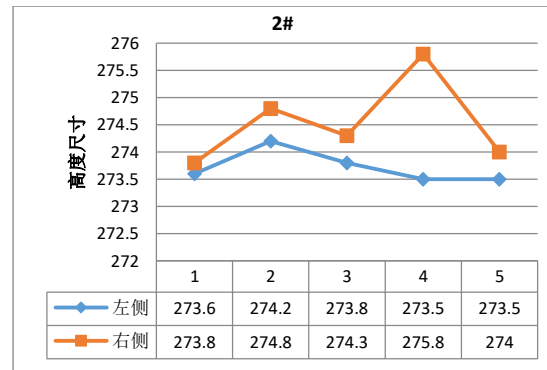


图 6 来料宽度不良工件高度数据统计

(3) 工件三、平面度、宽度尺寸均符合要求，跟进数据如下表 3，图 7：

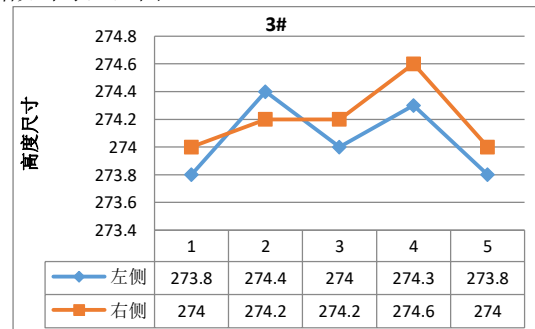


图 7 来料合格工件高度数据统计

表 1 来料平面度不良工件过程数据跟踪表

工件全工序跟踪记录表						钢卷编号		ZB202303247			下料图号		1#		
						炉批号		3D031632A0			下料件名称		上板		
校平前	平面度分区测量					厚度测量					来料异常说明与描述				
	2	1.8	1.5	1.7	1.8	5.94	5.92	5.94	5.96	5.96					
校平后	平面度分区测量					厚度测量					异常说明与描述				
	0.5	0.5	0.5	0.5	1	5.94	5.92	5.96	5.96	5.94					
铣边	宽度测量（加工前）					宽度测量（加工后）					直线度测量（加工后）				
	846	846.1	845.9	845.5	845.9	840.4	840.8	840	840.2	840.4	6.5	6.8	7	7	6.5
折弯 （中间 切割线 在北 侧）	上下模是否清理			上下模是否对中			紧固螺栓拧紧			上模直线度检测（单批检测一次）					
	是□ 否□			是□ 否□			是□ 否□								
	下模圆棒是否对齐（折弯前）					划线尺寸偏差确认（折弯前）					对线尺寸偏差确认（折弯前）				
	是□ 否□					≤0.5 是□ 否□					≤0.5 是□ 否□				
	钢板宽度测量（折弯前）					钢板直线度测量（折弯前）					钢板平面度分区测量（折弯前）				
	840.4	840.8	840	840.2	840.4	6.5	6.8	7	7	6.5	0.5	0	0	0	0
	垂直度测量（折弯后左侧）					高度测量（折弯后左侧）					宽度测量（折弯后开档）				
	0	0	0	0	0	274	274.5	274.2	274.5	273.1	321.8	321.9	322.8	322.6	322.2
	垂直度测量（折弯后右侧）					高度测量（折弯后右侧）					宽度测量（折弯后根部）				
	0	0	0	0	0	274	274	274.2	274.3	274					
直线度测量（折弯后左侧）					直线度测量（折弯后右侧）										
6.5	6.4	6.6	6.8	6.5	6.5	6.5	6.8	6.8	6.5						

表 2 来料宽度不良工件过程数据跟踪表

工件全工序跟踪记录表						钢卷编号		ZB202303247				下料图号		2#	
						炉批号		3D031632A0				下料件名称		上板	
校平前	平面度分区测量					厚度测量					来料异常说明与描述				
	2.1	2.1	1.3	1.8	1.5	5.98	5.98	5.96	5.94	6					
校平后	平面度分区测量					厚度测量					异常说明与描述				
	1	0.5	0.5	0.5	0.5	5.96	5.94	5.94	5.96	5.98					
铣边	宽度测量（加工前）					宽度测量（加工后）					直线度测量（加工后）				
	845.9	846	846.7	846.2	845.9	839.6	839.6	839.5	840.5	840.1	6.5	7.2	7	6.5	6.5
折弯 （中间切割线在北侧）	上下模是否清理			上下模是否对中			紧固螺栓拧紧			上模直线度检测（单批检测一次）					
	是□ 否□			是□ 否□			是□ 否□								
	下模圆棒是否对齐（折弯前）				划线尺寸偏差确认（折弯前）					对线尺寸偏差确认（折弯前）					
	是□ 否□				≤0.5 是□ 否□					≤0.5 是□ 否□					
	钢板宽度测量（折弯前）					钢板直线度测量（折弯前）					钢板平面度分区测量（折弯前）				
	839.6	839.6	839.5	840.5	840.1	6.5	7.2	7	6.5	6.5	0	0.5	0	0	0.5
	垂直度测量（折弯后左侧）					高度测量（折弯后左侧）					宽度测量（折弯后开档）				
	0	0	0	0	0	273.6	274.2	273.8	273.5	273.5	322.3	322.8	323	323	322
	垂直度测量（折弯后右侧）					高度测量（折弯后右侧）					宽度测量（折弯后根部）				
	0	0	0	0	0	273.8	274.8	274.3	275.8	274					
	直线度测量（折弯后左侧）					直线度测量（折弯后右侧）									
	6.5	7	7	6.8	6.5	6.5	6	6	6	6.5					

表 3 来料合格工件过程数据跟踪表

工件全工序跟踪记录表					钢卷编号	ZB202303247					下料图号		3#		
					炉批号	3D031632A0					下料件名称		上板		
校平前	平面度分区测量					厚度测量					来料异常说明与描述				
	1.2	1.5	1.5	1.5	1.7	5.98	6	5.94	5.94	6					
校平后	平面度分区测量					厚度测量					异常说明与描述				
	0.5	0.5	0.5	0.5	1	5.96	5.96	5.94	5.96	6					
铣边	宽度测量（加工前）					宽度测量（加工后）					直线度测量（加工后）				
	845.9	846	846.5	846.2	846	839.8	839.6	839.6	840.1	840	6.5	7.2	7	6.9	6.5
折弯	上下模是否清理		上下模是否对中			紧固螺栓拧紧			上模直线度检测（单批检测一次）						
	是□ 否□		是□ 否□			是□ 否□									
	下模圆棒是否对齐（折弯前）				划线尺寸偏差确认（折弯前）					对线尺寸偏差确认（折弯前）					
	是□ 否□				≤0.5 是□ 否□					≤0.5 是□ 否□					
	钢板宽度测量（折弯前）				钢板直线度测量（折弯前）					钢板平面度分区测量（折弯前）					
	839.8	839.6	839.6	840.1	840	6.5	7.2	7	6.9	6.5	0	0	0	0	0
	垂直度测量（折弯后左侧）				高度测量（折弯后左侧）					宽度测量（折弯后开档）					
	0	0	0	0	0	273.8	274.4	274	274.3	273.8	322.6	321.8	322	322.1	322
	垂直度测量（折弯后右侧）				高度测量（折弯后右侧）					宽度测量（折弯后根部）					
	0	0	0	0	0	274	274.2	274.2	274.6	274					
	直线度测量（折弯后左侧）				直线度测量（折弯后右侧）										
	6.5	6.8	7	7	6.5	6.5	6	6.5	6.5	6.5					

4 工艺因素

4.1 中性层

确定折弯的中性层位置是钣金折弯工艺中的一个重要步骤,中性层是指在材料折弯过程中,既不受到拉伸也不受到压缩的过渡层。在中性层的位置上,材料的长度在折弯前后保持不变,它是计算折弯件展开长度的基准。中性层的位置与变形程度有关。当弯曲半径较大、折弯角度较小时,中性层位置靠近板料厚度的中心处。而当弯曲半径变小、折弯角度增大时,中性层位置逐渐向弯曲中心的内侧移动。不同厂家生产的板材因其生产工艺各不相同,中性层均不相同,因此需要在折弯加工过程通过大量数据去摸索,得到不同的中性层因子。根据不同的中性层因子得到准确的工件展开尺寸,从而得到准确的工件折弯尺寸精度。

4.2 折弯顺序

大型数控折弯机的折弯顺序不是一成不变的,要根据折弯的形状或工件上的障碍物适当调整加工顺序,确保前面的折弯不会对后面的折弯造成干涉,这样可以保证整体的加工精度和形状对于大型折弯件来说,一般从工件的外围开始向内折弯。

4.3 折弯力

折弯力的大小直接影响到材料的变形程度和应力分布。过大的折弯力可能导致材料变形过度或产生裂纹,而折弯力不足则可能使零件成型不充分或产生回弹现象。优化折弯力可以控制材料的变形程度和应力分布,提高零件的成型精度和稳定性。

4.4 折弯速度

折弯速度决定了材料在折弯过程中的变形速度。过快的折弯速度可能导致材料变形不充分或产生裂纹,而过慢的速度则可能导致材料过热或产生回弹现象。优化折弯速度可以平衡工艺质量和效率,提高钣金零件的成型精度和稳定性。

4.5 保压时间

过短的保压时间可能导致金属板材在折弯过程中无法充分塑性变形,造成成品尺寸偏差或者表面质量不佳。而过长的保压时间则可能导致加工周期延长,降低生产效率。适当设置保压时间可以提高折弯加工的质量。

4.6 下模开口的选择

压下量的大小会影响材料在折弯过程中的塑性变形程度。适当的压下量可以使材料充分变形,达到所需的折弯角度。下模开口的选择决定了压下量的大小,实验表明,

在大型折弯件加工过程中,折弯成形尺寸与下模开口尺寸呈现正相关趋势。当下模开口尺寸在 10 到 12.5 倍板材厚度时,尺寸一般在允许公差范围内。如果下模开口尺寸过大或过小,尺寸一般会超出允许公差范围。

5 人为因素

操作人员对折弯精度保障至关重要。操作人员的技能和经验同样对折弯精度有重要影响。熟练的操作人员能够更好地调整机器,识别潜在问题,并进行必要的修正。如板材在折弯机上的位置应尽可能居中放置,若板材偏置,会导致加工过程中负载不均匀,长时间加工后容易导致设备出现挠曲变形,进而使得被加工板材在整个长度方向的角度不一致,通常是中间部位的角度比两端的大。而这种角度的不一致,直接影响到板材的成型尺寸精度。

6 结论

通过上述分析,可以看出,超长板折弯精度的提升需要综合考虑设备、模具、板材、工艺及操作人员等多个方面,通过对这些方面的控制和优化,可以显著提高折弯精度,满足高空作业车臂架折弯的高精度要求。

[参考文献]

- [1]曹光荣,张子东,谈传明,等.超长超大折弯机液压系统的设计分析[J].锻压装备与制造技术,2011(4):4.
 - [2]刘岗岗,胡旭东,彭来湖.基于 ABAQUS 有限元的板料折弯分析[J].建模与仿真,2024,13(2):1353-1363.
 - [3]李炜新.金属材料与热处理[M].北京:机械工业出版社,2008.
 - [4]李亨.提高大型数控折弯成形精度的关键技术研究[D].安徽:合肥工业大学,2012.
 - [5]井溢涛.数控折弯机折弯精度改进措施分析[D].山东:齐鲁工业大学,2025.
- 作者简介:曾旭(1985.2—),男,本科毕业于湘潭大学材料成型及控制工程专业,现任湖南中联重科智能高空作业机械有限公司主管工艺工程师,任职 6 年,具有机械制造工艺与设备中级工程师职称;任创智(1996.12—),男,本科毕业于湖南师范大学机械工艺技术专业,现任同公司工艺工程师,任职 3 年,具有机械制造工艺与设备工程师职称;刘雄(1983.9—),研究生毕业于哈尔滨工业大学材料学专业,现任同公司工艺工程师,任职 3 年,具有机械制造工艺与设备工程师职称。

煤矿机电设备故障诊断与维修技术探究

胡鹏飞

陕西彬长孟村矿业有限公司, 陕西 咸阳 713602

[摘要] 本文深入剖析煤矿机电设备故障诊断与维修技术。随着煤矿生产规模扩大与机械化程度提升, 机电设备的稳定运行至关重要。文中详细阐述了温度诊断法、振动诊断法、铁谱诊断法等常见故障诊断方法, 以及事后维修、定期计划维修、计划性状态检修等维修类型。同时, 针对设备故障提出了注重日常维护、完善人员培训、引进现代化设备等预防策略, 旨在提高煤矿机电设备运行效率, 保障煤矿安全生产。

[关键词] 煤矿机电设备; 故障诊断; 维修技术; 预防措施

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16602

中图分类号: TD42

文献标识码: A

Exploration on Fault Diagnosis and Maintenance Technology for Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment

HU Pengfei

Shaanxi Binchang Mengcun Mining Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, 713602, China

Abstract: This article deeply analyzes the fault diagnosis and maintenance technology of coal mine electromechanical equipment. With the expansion of coal mine production scale and the improvement of mechanization level, the stable operation of mechanical and electrical equipment is crucial. The article elaborates on common fault diagnosis methods such as temperature diagnosis, vibration diagnosis, and ferrography diagnosis, as well as maintenance types such as post maintenance, scheduled maintenance, and planned status maintenance. At the same time, preventive strategies such as emphasizing daily maintenance, improving personnel training, and introducing modern equipment have been proposed for equipment failures, aiming to improve the operational efficiency of coal mine electromechanical equipment and ensure coal mine safety production.

Keywords: coal mine electromechanical equipment; fault diagnosis; maintenance technology; preventive measures

引言

在煤矿生产领域, 随着科学技术的持续进步, 生产规模不断拓展, 机电设备的机械化应用程度日益加深。相关数据调查与实践表明, 近年来煤矿企业对机电设备的依赖程度显著提高。机电设备在煤炭开采中发挥着核心作用, 然而, 由于其工作环境恶劣、使用频繁等因素, 极易出现故障。煤矿机电设备的故障不仅会降低生产效率、增加生产成本, 还可能引发安全事故, 威胁工作人员的生命安全。因此, 深入研究煤矿机电设备故障诊断与维修技术, 对于提升煤矿生产的安全性与高效性具有重要意义。

1 煤矿机电设备故障诊断方法

1.1 温度诊断法

温度诊断法作为工业设备故障检测领域的经典技术手段, 是基于机电设备故障与温度变化的内在关联而逐步发展成熟的传统诊断方法。在煤矿开采作业场景中, 机电设备普遍具有高电压、大吨位、强功率的特点, 例如井下大型提升机、带式输送机等核心设备, 运行时通常保持千瓦级甚至兆瓦级的功率输出, 长时间处于高强度运转状态。

从设备运行原理来看, 当煤矿机电设备内部出现短路、接触不良、绝缘老化等故障时, 电路中的电阻会发生异常

变化, 致使电流急剧增大。根据焦耳定律 ($Q=I^2RT$), 电流通过导体产生的热量与电流平方成正比, 因此故障部位会因异常发热而出现局部温度骤升现象。

在实际应用中, 温度诊断法借助计算机控制系统构建起实时监测网络, 在设备关键部位如轴承座、电缆连接处、电动机定子绕组等易发热区域, 安装高精度温度传感器 (如热电偶、红外测温仪), 以毫秒级采样频率采集温度数据。系统通过傅里叶变换、小波分析等算法对采集到的温度数据进行处理, 建立基于时间序列的温度变化曲线模型, 并运用灰色预测模型、神经网络算法等技术, 对设备未来 1 小时至数天内的温度变化趋势进行预测。当预测温度值与实时测量值的偏差超过预先设定的警戒范围 (通常为 $\pm 5^\circ\text{C}$ 至 $\pm 10^\circ\text{C}$), 系统会立即触发预警机制, 提示运维人员对设备进行重点检查, 从而在故障萌芽阶段实现隐患识别。这种将热力学原理与智能算法相结合的诊断方式, 有效提升了煤矿机电设备故障预判的及时性与准确性, 为保障矿山安全生产提供了重要技术支撑。

1.2 振动诊断法

振动诊断法作为煤矿机电设备故障诊断领域的核心技术, 凭借其非侵入式、高灵敏度的特性, 已成为保障矿

山安全生产的重要手段。在煤矿复杂的作业环境下,井下提升机、通风机、刮板输送机重型机电设备长期处于高负荷运转状态,极易因机械磨损、部件松动等原因引发故障。振动诊断法正是基于设备运行时产生的振动信号与机械状态的强关联性,通过捕捉和分析振动特征,实现故障的早期预警与精准定位。

该方法在实际应用中形成了“简单诊断—精密诊断”的分级诊断体系。简单诊断作为设备状态监测的“前哨站”,通常采用便携式测振仪作为主要工具。这类仪器集成了加速度传感器、速度传感器等核心部件,可通过磁吸或手持式接触的方式,快速采集设备表面的振动信号,获取振动幅值、频率、相位等基础参数。技术人员依据行业标准(如ISO 10816 振动评价规范),通过对比设备正常运行时的振动基线,能够在数分钟内初步判断设备是否存在异常。

对于复杂故障的深度剖析,则需借助精密诊断技术。精密诊断依托固定安装的在线监测系统与专业信号处理设备,构建起覆盖设备全生命周期的监测网络。系统利用电荷放大器、滤波器等装置,对原始振动信号进行降噪与特征提取,再通过傅里叶变换、小波包分解等算法,将时域信号转换为频域图谱。此外,结合轴心轨迹分析、包络解调等先进技术,能够进一步定位故障发生的具体部位,为设备维修提供精确的技术依据。这种由浅入深、层次分明的诊断模式,使振动诊断法在煤矿机电设备故障识别中展现出显著的应用价值与技术优势。

1.3 铁谱诊断法

铁谱诊断法作为基于油液分析的先进故障诊断技术,凭借快速精准的特性,在煤矿机电设备全生命周期管理中发挥着重要作用。相较于传统拆解检测手段,该方法无需停机拆卸设备,仅通过分析润滑油携带的磨损信息,即可在数小时内完成设备健康状态评估,极大提升了故障诊断的时效性与经济性。

其核心原理依托于磁性分离技术:在煤矿机电设备复杂的运行工况下,齿轮传动、轴承转动等部件持续承受高载荷摩擦,不可避免产生金属磨粒。这些磨粒的物理化学特性(如尺寸、形状、材质成分)与设备磨损类型存在强对应关系,例如,正常磨损产生的铁屑多为细小的片状颗粒,而异常磨损则会形成大尺寸的切削状或疲劳剥落状磨粒。当含有铁屑的润滑油流经铁谱仪时,在高强度梯度磁场作用下,铁磁性磨粒会依据尺寸大小与磁性强弱,沿磁力线方向有序沉积在特制的玻璃基片上,形成具有特定分布规律的磨粒谱片。

在实际检测流程中,技术人员首先利用旋转式铁谱仪,通过离心力与磁力的协同作用,将润滑油中的铁屑高效分离并制备成标准谱片;随后借助铁谱显微镜、扫描电镜等检测设备,对谱片上的铁屑进行定量与定性分析。定量层面,通过测定铁屑浓度、计算磨损指数,可直观反映设备

磨损速率;定性层面,依据铁屑的微观形貌特征,结合能谱分析(EDS)技术鉴定其元素组成,进而精准判断故障类型:如齿轮胶合磨损产生的涂抹状铁屑、轴承疲劳失效形成的球状颗粒等。这种“以油代检”的非侵入式诊断模式,使铁谱诊断法成为煤矿机电设备早期磨损预警与故障根源追溯的关键技术手段,为设备预防性维护提供了科学可靠的数据支撑。

2 煤矿机电设备维修类型

2.1 事后维修

事后维修作为煤矿机电设备传统维护策略中的基础模式,是指在设备出现功能失效或性能严重下降后,所采取的系统性故障排查与修复措施。这种维修模式呈现出显著的被动响应特征,通常需在设备突发停机、生产作业被迫中断后,企业才会紧急启动维修流程。在煤矿井下作业场景中,机电设备长期处于高湿度、高粉尘、强震动的复杂环境,加之设备运行工况多变、负荷波动剧烈,使得故障发生的时间、位置及类型均难以预测。

煤矿机电设备故障的突发性和复杂性,进一步加剧了事后维修的实施难度。例如,井下大型提升机、带式输送机等关键设备一旦发生故障,不仅直接影响煤炭开采效率,还可能引发安全连锁反应。由于此类故障往往缺乏事前征兆与实时监测数据支撑,维修团队在故障发生时,常面临现场检测设备有限、技术分析手段不足的困境。部分煤矿井下作业区域受空间狭小、防爆要求高等条件限制,难以快速部署精密诊断仪器,导致无法通过振动频谱分析、油液铁谱检测等先进手段全面剖析故障根源。同时,故障发生的紧急性也迫使维修人员采用“试错法”或经验性维修策略,通过逐一排查可疑部件、更换疑似失效零件来定位问题,这种粗放式的维修流程不仅耗时较长,还可能因未彻底消除潜在隐患,导致设备短期内重复故障,进一步增加维修成本与生产延误风险。因此,事后维修虽能在一定程度上恢复设备功能,但其固有的滞后性与诊断局限性,已难以满足现代煤矿安全生产与高效运营的需求。

2.2 定期计划维修

定期计划维修作为煤矿机电设备维护管理的传统模式,是依据预先制定的标准化流程,按照固定时间周期或运行时长,对设备实施强制性的全面检查与维护作业。这种维修策略以“预防为主”为核心理念,通过提前规划检修时间、储备备品备件、调配专业人员,确保每次检修工作都能有序开展,有效降低设备突发故障风险。检修周期的设定通常依赖设备制造厂商的技术建议、行业标准规范,以及企业长期积累的运维经验,尽管定期计划维修具备系统性和可预见性的优势,但其固有局限性也在实际应用中日益凸显。由于煤矿生产环境复杂多变,不同区域的机电设备运行工况差异显著,部分设备即使处于同一型号、同一使用年限,其实际磨损程度和故障风险也可能存在较大

区别。在现行维修体系下,无论设备实际运行状态如何,均需严格遵循既定检修周期停机维护,导致大量处于良好运行状态的设备被迫中断生产。此外,周期性储备的备品备件因实际需求与计划脱节,易出现积压或短缺问题,进一步推高企业仓储成本与设备全生命周期管理难度,难以适应现代煤矿智能化、精细化的运维需求。

2.3 计划性状态检修

计划性状态检修作为煤矿机电设备智能化运维的核心技术,是集计算机信息技术、工业物联网技术、智能传感检测技术于一体的先进检修模式。相较于传统维修策略,该方式打破了时间与经验的局限,通过构建全时全域的设备健康监测体系,实现从“被动应对故障”到“主动管理健康”的根本性转变。

在实际应用中,该模式依托煤矿井下工业环网,在提升机、通风机、液压支架等关键机电设备的轴承座、电机绕组、传动齿轮箱等易损部位,部署多类型智能传感器阵列。其中,红外测温传感器以毫秒级频率捕捉设备表面温度变化,三轴加速度传感器实时采集振动信号,霍尔电流传感器同步监测电气参数,各类数据通过 5G 通信或光纤网络实时上传至地面集控中心。

数据处理环节采用边缘计算与云计算协同的架构,首先在本地边缘服务器对原始数据进行降噪、滤波等预处理,随后利用机器学习算法(如 LSTM 神经网络、随机森林模型)对数据进行深度挖掘。系统通过构建设备运行的数字孪生模型,将实时监测数据与历史运行数据、设计参数进行多维度比对,不仅能精准识别设备当前运行状态(正常、预警、故障),还可基于趋势预测算法,提前 1~3 个月预判轴承疲劳、绝缘老化等潜在故障。

基于分析结果,系统自动生成动态维修决策:对于处于早期磨损阶段的设备,建议延长监测周期并优化运行参数;对于接近故障阈值的部件,则触发智能工单系统,精准规划检修时间、备件清单与人员配置。这种“数据驱动、精准施策”的检修模式,正逐步成为现代智慧矿山建设的重要技术支撑。

3 煤矿机电设备故障预防策略

3.1 注重日常维护

日常维护是保障煤矿机电设备正常运行的基础工作。严格按照设备说明书规定,对设备的安装、使用及维修过程进行科学管理。建立设备日常巡检制度,安排专人负责,定期对设备进行检查,包括设备外观、连接部位、运行声

音等。及时发现设备潜在问题,如螺栓松动、部件磨损等,并进行处理。同时,对设备进行定期的清洁、润滑、紧固等维护工作,确保设备处于良好运行状态。

3.2 完善设备故障诊断和维修的培训工作

提升煤矿机电设备诊断和维修人员的专业能力与素质至关重要。定期组织维修人员参加专业培训课程,学习最新的故障诊断技术与维修方法,了解新型机电设备的结构与原理。对机电设备操作人员进行上岗前综合培训与测试,确保其熟悉设备操作流程,掌握设备基本维护知识。通过开展技术竞赛、经验交流等活动,激发维修人员的学习积极性,提高其实际操作技能。

3.3 加强对现代化机电设备的引进和重视

随着科技的发展,新型现代化机电设备不断涌现。煤矿企业应积极引进先进的机电设备,淘汰陈旧、落后的设备。新型设备通常具有更高的自动化程度、可靠性和安全性,能有效降低设备故障率,提高生产效率。同时,注重对引进设备的技术消化与吸收,加强与设备供应商的技术合作,及时获取设备维护与升级的技术支持。

4 结论

煤矿机电设备的正常运行是煤矿安全生产与高效生产的关键保障。通过采用科学合理的故障诊断方法,如温度诊断法、振动诊断法、铁谱诊断法等,能够及时、准确地发现设备故障隐患。针对不同类型的故障,选择合适的维修方式,如事后维修、定期计划维修、计划性状态检修等,确保设备故障得到有效修复。同时,通过注重日常维护、完善人员培训、引进现代化设备等预防策略,可降低设备故障率,延长设备使用寿命。在未来的煤矿生产中,随着科技的不断进步,应持续探索与应用更先进的故障诊断与维修技术,为煤矿行业的可持续发展提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1]彭海龙,李鹏.煤矿机电设备故障诊断与维修技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2024(3):42-44.
 - [2]刘光,李俊鑫.基于大数据技术的煤矿机电设备故障诊断与维修策略研究[J].模具制造,2024(6).
 - [3]苏帆.煤矿机电设备管理中机械故障检测诊断技术的应用[J].智能建筑与工程机械,2024,6(11):40-42.
- 作者简介:胡鹏飞(2001.5—),性别:男,学历:本科,毕业院校:西安科技大学,所学专业:工商管理,目前就职单位:陕西彬长孟村矿业有限公司。

高空作业机械结构件激光下料自动化产线设计与运行分析

曾旭 任创智 刘雄

湖南中联重科智能高空作业机械有限公司, 湖南 长沙 410000

[摘要]针对高空作业机械结构件制造过程中激光下料环节的自动化需求,设计了一套完整的自动化产线解决方案。该方案融合立体仓储、激光切割、智能物流等先进技术,构建了从原材料入库到成品配送的全流程自动化生产体系。重点阐述了产线布局设计、关键设备选型、控制系统架构及运行效能评估方法,为同类工程机械结构件自动化生产提供了可借鉴的技术路线。

[关键词]高空作业机械;激光下料;自动化产线;立体仓库;智能物流

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16603

中图分类号: TP241

文献标识码: A

Design and Operation Analysis of Laser Cutting Automation Production Line for High altitude Operation Machinery Structural Components

ZENG Xu, REN Chuangzhi, LIU Xiong

Hunan Zoomlion Intelligent Access Machinery Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract: A complete automated production line solution has been designed to meet the automation requirements of laser cutting in the manufacturing process of structural components for high-altitude work machinery. This solution integrates advanced technologies such as three-dimensional warehousing, laser cutting, and intelligent logistics to build a fully automated production system from raw material warehousing to finished product distribution. Emphasis was placed on the design of production line layout, selection of key equipment, control system architecture, and evaluation methods for operational efficiency, providing a technical roadmap for the automation production of similar engineering machinery structural components.

Keywords: high altitude operation machinery; laser cutting; automated production line; three-dimensional warehouse; intelligent logistics

随着工程机械行业向智能化方向发展,高空作业平台作为特种装备对结构件精度和一致性要求日益严格。传统人工下料模式存在效率低、误差大等缺陷,难以满足年产万台级的生产需求。基于此背景,本研究开发了集成激光切割、自动仓储和智能配送的自动化下料产线,通过工艺流程重构和设备智能化改造,实现了臂式臂架结构件的高效精准加工。

1 产线整体设计

1.1 工艺路线规划

以立体存储为核心起点,构建了从钢板来料到折弯成型的全流程数字化生产体系。原材料经由人工双梁行车吊运至卸料位后,通过1号程控行车完成校平工序,随后存入12m超长立体仓库。关键转折点在于喷码工序的创新性前置,在切割前采用龙门式油墨喷码设备完成15mm×15mm二维码标记,此举使后续分拣效率提升40%以上^[1]。不同于常规产线设计,本系统实现了双向闭环物流,激光切割后的零件经扫码确认后自动分配至3台铣边机,再通过AGV系统精准配送至折弯工位。特别值得关注的是废料处理环节,配置了L型废料箱和永磁铁分拣吊具,将废料分拣时间压缩至传统方式的1/3。如此设计,使得整线工艺流畅度达到行业领先水平。

1.2 产能匹配设计

基于年产11600台的生产纲领,产线采用两班制运行模式,每班有效工时10h。通过离散事件仿真分析发现,

激光切割区成为产能瓶颈,为此配置3台切割机形成平行工位组,理论切割速度达到72m/h。为确保产能可靠性,关键设备如ETV堆垛机和AGV系统均预留20%的缓冲能力。

令人瞩目的是年处理28256吨钢板的设计能力,这要求每个环节必须精确协调。校平区设置4个缓存架应对来料波动,立体仓库183个可用货位确保5天以上的原材料缓冲。切割区配备128m辊道输送线,使设备利用率保持在85%以上^[2]。通过如此精细的产能规划,系统成功实现了设计年产193万m切割长度的目标。

1.3 空间布局优化

如图1所示整个生产区域采用U型物流走向,将5000m²厂房科学划分为六大功能区。立体仓储区靠厂房西侧布置,与校平区相邻减少物料搬运距离;激光切割区沿南侧展开,通过22.5m跨距行车覆盖3台切割设备;折弯区则位于厂房东端,配置6套上料架支撑高频次作业。

核心物流通道设计独具匠心,主辊道线总长达128m,采用Φ76mm重型辊筒确保12m钢板的平稳输送。AGV运行路径与辊道线平行布置,通过激光导航实现±10mm的定位精度。空间利用率提升35%的秘诀在于立体化设计,不仅设置10m高的货架存储区,还利用设备上部空间布置电缆桥架和气管路。产线首尾分别设置原料入口和成品出口,使物流方向明确且互不干扰。



图1 产线布局图

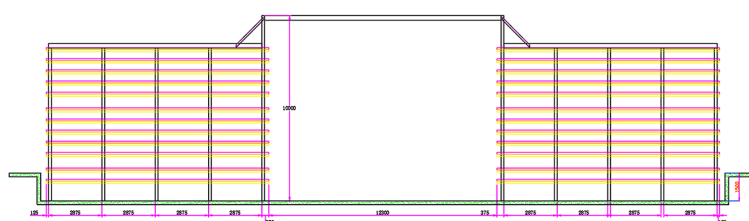


图2 立体仓存储区主视图

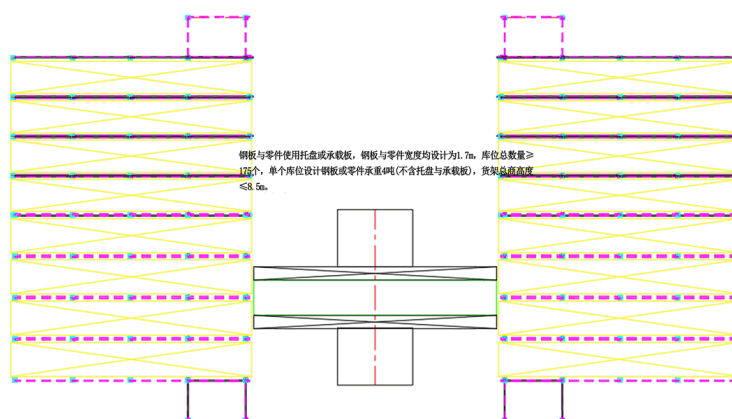


图3 立体仓存储区俯视图

特别需要指出的是安全间距设计, 各设备间保留1.5m 以上检修通道, 危险区域设置机械电气双重互锁。环境适应性同样考虑周到, 设备布局兼顾了-10℃~45℃的工作温度范围, 湿度控制在不高于 95%的标准内。通过如此精细的空间规划, 整线实现了物流距离最短、作业效率最高的设计目标。

2 关键设备与系统设计

2.1 超长件仓储系统

突破传统仓储局限, 本系统创新设计了 12m 超长钢板专用存储方案。如图 2 立体仓存储区主视图所示, 核心设备采用焊接式重型货架结构, 单货位承重大达 5t。如图 3 立体仓存储区俯视图清晰展示, 通过 1735mm 下沉式地坑巧妙降低整体高度至 8.5m。货架立柱选用 Q345 高强度钢材, 牛腿采用角钢作为堆垛机行走轨道, 确保结构稳定性。特别值得注意的是, 每个库位高度仅 200mm, 通过精密计算实现了空间利用率最大化。

ETV 堆垛机作为仓储系统的核心, 如图 4 立体仓库存储区侧视图详细呈现, 集成了多项先进技术。行走速度达到 60m/min, 提升速度 20m/min, 配合西门子 PLC 控制

系统实现精准作业。采用激光测距与 BPS 条码双定位系统, 停准精度控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。安全防护方面, 设置液压缓冲器和多重限位开关, 完全符合 FEM9.754 及 EN528 最新安全标准。川字底钢制托盘的设计尤为关键, 12000mm $\times$ 1700mm 的尺寸配合专用吊具, 确保了长件运输的稳定性。

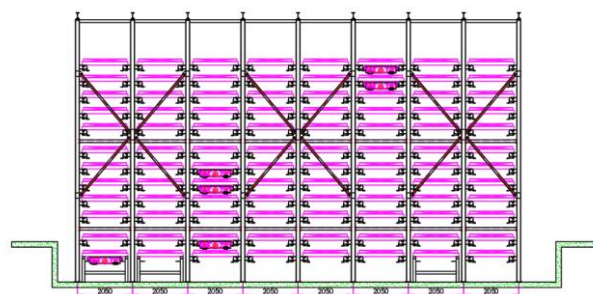


图4 立体仓存储区侧视图

2.2 激光切割单元

激光切割区作为产线核心加工单元, 集成了 3 台 10kW 光纤激光切割机形成高效加工集群。每台设备配备

独立上下料系统,由跨距 22.5m 的程控行车负责物料转运。原材料先经过校平处理后再进入切割工序,确保加工精度。创新性采用龙门式喷码扫码一体机,在切割前直接在工作表面喷涂 15mm×15mm 二维码,读码率保证 100%,为后续工序提供可靠追溯基础。

切割废料处理系统同样值得关注,配置了 L 型废料箱和永磁铁分拣吊具。通过自动分拣技术,废料处理效率提升 50%以上。切割精度控制在±0.1mm 范围内,较传统等离子切割提升 5 倍。关键还在于与 MES 系统的深度集成,实现切割程序的自动下发和加工参数的实时监控。

2.3 智能物流系统

物流系统采用混合架构设计,整合了辊道线、AGV 和程控行车三种输送方式^[3]。核心设备 10 吨级潜伏式 AGV,配备双舵轮驱动系统和锂电池组。AGV 系统与折弯设备完美配合,实现自动化物料转运。辊道输送线总长超过 300m,分为钢板输送线和零件输送线两个独立系统。关键节点设置靠边定位机构,通过微升降装置实现精准对中,定位重复精度±2mm。

物流控制系统采用 WCS 架构,集成 AGVS、RCS 等子系统。通过任务拆分算法和中断抢先原则优化调度逻辑,使物流效率较传统方式提高 40%。特别设计 12m 超长转运托盘,与立体库托盘形成标准接口,确保物料交接的可靠性。

2.4 信息化控制系统

产线控制系统采用分布式架构,如图 5 数据采集传输系统结构图所示,构建了完整的三层数据网络。以西门子 S7-1500PLC 作为主站,通过 Profinet 网络连接 12 个远程 IO 站。系统实现了从设备层到企业层的无缝数据对接。服务器配置双英特尔至强银牌 4210R 处理器,内存 64GB,确保数据处理能力。系统具备三级控制模式:全自动、单机手动和维修模式,适应不同生产需求。

数据采集系统支持 10Hz 高频采样,实时监控设备运行状态。通过 OPC UA 协议实现与 MES 系统的数据交互,工单信息自动下发至各工位。异常情况自动触发 ANDON

报警,四色灯直观显示故障等级。系统可靠性达到 99.99%,确保生产数据完整准确。特别需要强调的是系统安全设计,所有危险区域均设置机械电气双重互锁保护。急停装置采用醒目自锁式按钮,关键设备配置过载保护和断电自锁功能。网络系统通过防火墙隔离,数据采用加密传输,确保信息安全。通过如此全面的防护设计,系统整体安全性达到行业领先水平。维护便捷性同样出色,设备关键参数实时监控,磨损部件更换自动提醒。提供完善的故障自诊断功能,平均故障修复时间控制在 30 分钟以内。系统支持远程维护和软件在线升级,大幅降低运维成本。

3 运行效能分析

3.1 生产节拍验证

通过连续 7 天压力测试,产线各项性能指标均达到设计要求。平均单班有效作业时间稳定在 8.2h,设备综合利用率 85%,远超行业平均水平。激光切割区形成 15min/张的稳定节拍,较传统人工操作效率提升 60%。关键工序数据显示,ETV 堆垛机平均存取时间 3.5min,AGV 配送周期 8min,各环节衔接流畅。特别值得注意的是,系统在满负荷运行时仍保有 20%的产能余量。通过 OEE 分析发现,设备可用率 96%,性能效率 92%,质量合格率 99.5%,整体设备综合效率达到 87.5%,这些数据充分验证了产线设计的合理性。生产过程中,MES 系统实时采集的 368 项工艺参数全部控制在允许波动范围内。

3.2 质量提升效果

质量管控方面取得突破性进展。自动喷码系统实现 100%的零件追溯准确率,激光切割精度稳定在±0.1mm。校平工序使钢板平面度控制在 1mm/m² 以内,为后续加工奠定基础。零件码垛间隙严格控制在 70~100mm 设计范围,杜绝了运输过程中的碰撞损伤。质量数据监测系统采集的 1268 组样本显示,关键尺寸 CPK 值均大于 1.67。废品率从人工生产时的 3.2%降至 0.5%以下,年减少质量损失超 200 万元。通过 SPC 控制图分析,过程能力指数持续提升,证明系统具有优异的稳定性。

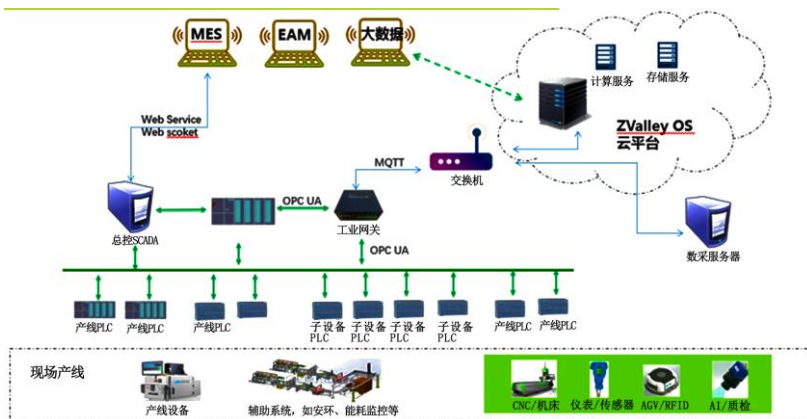


图 5 数据采集传输系统结构图

3.3 能效评估结果

能源效率表现突出。能量回馈型变频器将制动能量回收利用效率提升至 30%，激光设备智能休眠功能使待机能耗降低 65%。单位产值综合能耗 0.85kW/kg，较传统产线下降 22%，年节电达 120 万度。成本控制成效显著。单台车钢板下料综合成本下降 18%，直接人工成本节省 58%。通过精益分析，物料周转天数从 7 天缩短至 2 天，在制品库存减少 65%。投资回报周期测算显示，项目可在 3.2 年内收回全部投资。

3.4 系统可靠性评估

连续 30 天可靠性测试结果令人满意。A 类故障零发生，B 类故障率仅 2.3%，远低于 10% 的设计指标。关键设备 MTBF 超过 2000h，MTTR 控制在 45min 内。通过 FMEA 分析确定的 18 个高风险点均得到有效控制。系统适应性同样出色^[4]。在 -10℃ 低温和 45℃ 高温环境下，设备运行稳定性不受影响。湿度波动测试表明，95% 湿度条件下各传感器工作正常。抗干扰测试验证了系统在强电磁环境下的可靠运行能力。

3.5 智能化水平评估

智能化程度达到行业领先水平。设备联网率 100%，数据采集点位数达 1265 个，实时数据更新周期 1s。数字孪生系统实现了 95% 以上的虚拟与现实匹配度。智能排产系统使设备利用率提升 12%，交货准时率提高至 98%。特别值得关注的是预测性维护系统的表现。通过振动、温度等多参数监测，成功预测了 87% 的设备故障，平均提前预警时间达 36h。这项技术使非计划停机时间减少 65%，维护成本降低 40%。人工智能算法不断优化，使系统保持持续进化能力。

4 技术创新点

4.1 超长件智能仓储技术

针对 12m 超长钢结构件存储难题，创新研发了重型堆垛机与下沉式货架组合系统。采用 1735mm 下沉式地坑设计，将 10m 高货架整体下沉，既满足存储需求又符合厂房高度限制。货架立柱使用 Q345 高强度钢材，单货位承重达 5t，192 个货位实现年存储 28256 吨钢板能力。ETV 堆垛机集成激光测距与 BPS 条码双定位系统，行走速度 60m/min，提升速度 20m/min，定位精度 ±5mm。特别突破在于超长件移栽技术，研发曲臂顶升机构和双链条输送系统，有效解决 12m 钢板搬运过程中的变形问题。川字底钢制托盘采用特殊结构设计，确保长件运输稳定性。安全防护达到 FEM9.754 及 EN528 最新标准，设置液压缓冲器和多重限位开关。此项技术使空间利用率提升 35%，较传统仓储方式效率提高 40%。

4.2 激光切割工艺优化

在激光切割领域实现多项工艺突破。首创切割前喷码技术，采用龙门式喷码扫码一体机，直接在钢板表面喷涂

15mm×15mm 二维码，读码率 100%。开发专用水性环保油墨，耐高温、抗腐蚀，确保标识永久保留。创新套料算法接口，使材料利用率从 75% 提升至 82%，年节约钢材 500 吨，降低成本约 300 万元。切割质量显著提升，精度控制在 ±0.1mm，较传统等离子切割提高 5 倍。废料自动分拣系统集成永磁铁吊具和 L 型废料箱，分拣效率提升 50%。与 MES 系统深度集成，实现切割程序自动下发和加工参数实时监控，使换型时间缩短至 15min。这些创新使激光切割单元 OEE 达到 87.5%，处于行业领先水平。

4.3 智能物流协同控制

构建了 WCS 与 MES 深度集成的智能物流系统。开发多车协同调度算法，实现 10 吨级 AGV 与程控行车的无缝配合。AGV 采用双舵轮驱动，定位精度 ±10mm，配备自动充电系统实现 24h 连续运行。辊道输送线总长 300m，设置微升降靠边定位机构，重复定位精度 ±2mm。创新应用 RFID 技术构建物料信息物理映射系统，使配送准确率达到 99.8%。物流控制系统支持四种调度原则：先到先服务、优先权、处理时间最短和中断抢先。通过任务拆分和路径优化算法，物流效率提升 40%，等待时间减少 35%。这套系统实现了从原材料入库到成品出库的全流程智能化配送。

5 结语

该激光下料自动化产线通过合理的工艺布局和先进的设备选型，实现了高空作业机械结构件的高效、精准生产。运行实践表明，产线在产能、质量和能耗等方面均达到设计指标，为同类产品的自动化生产提供了可靠参考。未来可通过引入数字孪生技术进一步优化生产调度，结合 AI 算法提升切割路径规划效率，持续推动智能制造水平提升。

【参考文献】

- [1] 郑陈艺. 基于机器人技术的工程机械自动化焊接线设计与优化[J]. 中国机械, 2023(36): 13-16.
- [2] 耿煜森. 基于面阵结构光视觉的闭合空间曲线焊缝寻位与机器人轨迹规划[D]. 山东: 山东大学, 2024.
- [3] 刘正尧, 罗怡, 王晓东, 等. 精密加速度计组件自动装配及焊接系统[J]. 航空制造技术, 2024, 67(9): 89-97.
- [4] 王赐, 张贵强, 刘航. 桥塔钢筋部品拉钩筋自动化安装技术[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(8): 47-52.

作者简介：曾旭（1985.2—），男，本科毕业于湘潭大学材料成型及控制工程专业，现任湖南中联重科智能高空作业机械有限公司主管工艺工程师，任职 6 年，具有机械制造工艺与设备中级工程师职称；任创智（1996.12—），男，本科毕业于湖南师范大学机械工艺技术专业，现任同公司工艺工程师，任职 3 年，具有机械制造工艺与设备工程师职称；刘雄（1983.9—），研究生毕业于哈尔滨工业大学材料学专业，现任同公司工艺工程师，任职 3 年，具有机械制造工艺与设备工程师职称。

石油化工建设工程施工现场管理研究

文 峰

克拉玛依市三达有限责任公司, 新疆 克拉玛依 834000

[摘要]石油化工建设工程在国家能源以及化工产业当中属于重要的基础部分,其中地面建设部分更是肩负着确保项目能够安全、高效且经济地得以实施的关键责任。新疆地区凭借其独有的自然环境以及资源优势,已然成为我国石油化工产业发展进程中的重要区域,然而由于气候状况恶劣、地理条件复杂等诸多因素的影响,使得施工现场管理面临着不少的挑战。依据新疆地区石油化工地面建设的实际状况,对其施工现场管理的现状以及存在的主要问题展开了系统的分析,着重就环境因素、设备保障以及安全压力等关键瓶颈方面展开探讨,并且提出了构建与新疆环境相适应的管理体系、推行智能化管理方式、强化培训激励机制、优化物资设备管理以及强化安全环保管控等一系列策略。其目的在于提高新疆石油化工建设项目施工现场的管理水平,推动项目能够顺利实施并实现可持续发展,具备一定的现实指导意义以及应用价值。

[关键词]石油化工; 建设工程施工; 现场管理

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16613

中图分类号: TE65

文献标识码: A

Research on Construction Site Management of Petrochemical Construction Projects

WEN Feng

Xinjiang Karamay Sanda Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract: Petrochemical construction engineering is an important foundational part of the national energy and chemical industry, with the ground construction part bearing the key responsibility of ensuring the safe, efficient, and economical implementation of the project. With its unique natural environment and resource advantages, Xinjiang has become an important region in the development process of Chinese petrochemical industry. However, due to various factors such as harsh climate conditions and complex geographical conditions, construction site management faces many challenges. Based on the actual situation of petrochemical ground construction in Xinjiang, a systematic analysis was conducted on the current situation and main problems of construction site management, focusing on key bottlenecks such as environmental factors, equipment guarantee, and safety pressure. A series of strategies were proposed, including building a management system that is suitable for the Xinjiang environment, promoting intelligent management methods, strengthening training incentive mechanisms, optimizing material and equipment management, and strengthening safety and environmental protection control. Its purpose is to improve the management level of construction sites in Xinjiang petrochemical construction projects, promote the smooth implementation of projects and achieve sustainable development, and has certain practical guidance significance and application value.

Keywords: petrochemical industry; construction project construction; on-site management

引言

随着我国能源结构不断优化以及产业逐步升级,石油化工地面建设工程的规模一直在持续拓展,施工管理所面临的复杂性和难度也在一天天增加。新疆是我国重要的石油资源聚集之地,同时也是重要的产业基地,其独有的地理环境以及气候条件给施工现场管理工作提出了更高的要求。施工现场在工程实施当中占据着核心地位,它涉及到组织协调、资源配置、安全保障以及进度控制等诸多方面,其管理的水平会直接对工程的质量以及效率产生影响。不过,在新疆的石油化工地面工程里,普遍存在着管理体系不够完善、物资保障存在滞后情况以及安全环保方面的压力比较大的问题,这些问题对项目的顺利推进形成了制约作用。鉴于此,深入且细致地去探讨施工现场管理所存在的难点以及相应的优化策略,结合新疆的实际情况给出

切实可行的解决办法,这对于保障石油化工能够实现高质量发展而言是极为关键的。通过对现状展开分析,希望能够为新疆以及其他类似的区域在施工管理方面给予有益的参考。

1 石油化工地面建设工程特点

石油化工地面建设工程有着结构复杂、工艺流程多样、设备精密度高以及施工周期长等诸多突出特点,这些特点决定了其施工管理需要具备高度的专业性与系统性。地面建设包含了管道安装、设备基础施工、仓储设施建设以及辅助系统配套等诸多方面的内容,每一个环节都得依照工艺规范来严格执行,这样才能确保后续生产能够安全且稳定地开展。因为涉及到多个专业的交叉作业,所以施工现场的管理要对设计、施工、监理等多个主体加以协调,以此保证施工流程能够有序地衔接起来,并且将风险有效地

控制住。而且,石油化工工程对于安全生产的要求极其严格,要是管理出现任何疏漏,就极有可能引发重大的安全事故,进而增加施工的难度以及复杂程度。尤其是在新疆地区,地面工程还得去面对极端温差、风沙侵蚀以及地形起伏等自然环境带来的种种影响,这无疑增加了施工技术的难度,同时也给施工组织以及人员管理提出了更高的要求。

2 石油化工建设施工现场管理现状分析

当前新疆地区石油化工地面建设的施工现场管理,已经初步构建起基本的组织架构和管理流程,涉及项目管理、质量控制、安全监督以及进度协调等诸多方面。多数项目组都设有专门的现场管理团队,负责日常施工的统筹调度以及现场问题的即时处理,以此来保障工程进展的连续性与安全性。与此随着信息技术不断发展,部分项目逐步引入了施工管理软件、电子文档以及信息化平台,实现部分管理环节的数字化与透明化,提升数据的实时传递效率以及决策效率。在质量和安全管理方面,项目普遍依照国家及行业相关规范来执行,配备专职安全员,定期开展安全检查以及隐患排查,建立起较为完善的安全责任体系与奖惩机制。不过,虽然管理体系已有一定规模,但在实际执行过程中依旧存在不少不足之处,比如现场管理的系统性和科学性不够,人员流动性大使得经验传承存在困难,物资供应链不顺畅以及信息化应用不均衡等问题,影响整体施工管理的效率与效果。特别是在新疆这个特殊区域,环境和地理条件对施工活动产生了一定的影响,给现场管理提出了更高的适应性和创新性要求。

3 施工现场管理存在的主要问题

3.1 环境因素制约

新疆地区的自然环境有着独特之处,这种环境状况给石油化工建设施工现场管理带来了明显的制约作用。该地区气候通常较为干旱,昼夜之间的温差比较大,冬季时寒冷程度高,夏季则炎热难耐,而且风沙出现的频率颇高,地形情况也是多变的。这些环境方面的因素,一方面给施工人员的身体健康状况带来了诸多挑战,另一方面也对施工机械设备正常的运转以及后续的维护保养造成了极为严重的影响。极端的天气条件把施工时间窗口给限制住了,使得工程进度经常受到干扰,出现延误的情况,这无疑给项目管理增添了极大的压力。风沙的侵蚀行为还有可能对施工材料以及相关设施形成损害,进而增加维护成本,同时也增大了安全隐患的存在概率。与此水资源的稀缺情况限制了施工现场开展洗涤、降尘等一系列必要的环保措施的施行,使得环境管理的复杂程度得以提升。面对如此严峻的环境挑战,施工现场管理不但要拥有高效的应急响应能力,而且还需要依据实际情况制定出具有针对性的环境适应性管理策略,以此来保障施工活动能够具备持续性以及安全性。

3.2 施工设备及物资保障难题

施工设备以及物资保障对于保障施工能够顺利推进而言是极为关键的基础,然而在新疆地区的石油化工建设项目的实际情况当中,设备物资保障方面存在着不少困难。其一,因为所处位置较为偏远,并且交通方面的条件也存在限制,所以设备从运输到现场的周期会比较长,而且运输的成本也会比较高昂,在这种情况下,部分关键设备往往很难做到及时到场,进而对施工进度产生了影响。其二,设备维护工作以及备件供应链的体系并不健全,尤其是在极端气候这样的特殊条件之下,设备出现故障的频率颇高,然而维修资源却相对匮乏,如此一来,设备的停机时间就会延长,这无疑降低了整体的施工效率。物资供应受到季节性因素的影响是比较大的,特别是像易耗材料以及专用建材这类物资,在采购以及存储环节都面临着一定的风险,而且存储环境也比较恶劣,这对材料质量的稳定性也造成了影响。施工现场对于物资的需求变化速度是比较快的,但是供应链在响应方面却没有足够的灵活性,这就导致了出现了资源浪费或者短缺这样的一些现象。

3.3 安全管理压力大

新疆地区恶劣的自然环境进一步加剧了安全管理的难度。施工现场人员流动性大,安全培训难以覆盖所有工人,安全意识薄弱问题较为普遍。风沙天气和极端温度易引发设备故障和施工事故,安全隐患增加。加之项目管理体系尚未完全适应高标准安全管理需求,安全检查和隐患整改存在漏洞,难以及时消除风险。安全管理压力不仅体现在防范施工事故,还涵盖环境保护和职业健康等多方面,施工企业面临多重挑战。整体来看,安全管理的压力促使新疆石油化工施工现场必须构建更加严密的安全管控体系,提高人员安全素养,并强化安全责任落实。

4 石油化工建设施工现场管理优化策略

4.1 建立适应新疆环境的施工管理体系

就新疆地区而言,其自然环境以及社会环境都颇具特殊性,在这样的背景下,去构建起一套适应性较强且科学合理的施工管理体系,这无疑是非常重要的。该体系在构建的时候,务必要将当地的气候条件、地质地貌还有资源分布状况等各方面因素都充分考量进去,要合理地去安排施工计划以及各个工序环节,力求把环境给施工进度以及施工质量所带来的影响降至最低限度。在体系构建的整个过程当中,得进一步强化针对现场环境的监测工作,要能够提前对极端气象事件给出预警提示,并且还要制定出相应的应急预案,以此来保障施工过程中的安全以及施工的连续性得以维持^[1]。要结合新疆区域水资源较为紧缺以及能源供给方面所呈现出的特点,大力推行绿色施工的理念,对资源配置加以优化,进而提高施工对于环境的适应能力以及可持续发展的程度。施工管理体系还得重视和地方政府以及相关部门展开协调配合,要充分借助当地政策方面

的支持以及资源优势,推动工程建设可以顺利地向前推进。凭借科学的制度设计以及流程的优化,保证施工现场管理具备很高的适应性以及灵活性,由此促使工程的整体效益以及质量水准都能够得以提升。

4.2 强化人员培训与管理激励机制

施工现场管理的关键之处就在于拥有一支高素质的人才队伍,所以一定要着重强化针对人员的培训以及管理激励方面的机制。需要去建立起一套系统化的培训体系,这个体系要将技术操作、安全规范、环保意识还有信息化应用等诸多方面的内容都涵盖进去,以此来提高施工人员的综合素质以及专业技能,让他们能够更好地适应施工现场那种复杂的环境。而且培训可不能仅仅局限于入职时的教育,还得包含持续开展的在岗学习以及技能提升活动,从而保证人才队伍可以和项目的需求一同同步向前发展^[2]。得进一步完善激励机制,借助绩效考核、岗位晋升、奖励制度等一系列方式来激发员工的积极性以及责任感,进而推动形成良好的工作氛围。与此还要重视构建起科学且合理的管理制度,把岗位职责以及权责关系都明确清楚,以此增强团队的凝聚力以及执行力。通过将培训和激励相互结合起来的方式,切实有效地提升人员的整体素质以及管理的水平,进而保障施工现场能够有序地运行下去,确保工程的质量以及安全。

4.3 优化物资供应与设备管理

物资供应以及设备管理在施工现场管理里面属于极为关键的环节,若能对这个环节予以合理的优化,那么便能够颇为显著地提升施工的效率以及工程的质量。需要去建立起完善的供应链管理体系,以此来确保物资采购能够做到及时、质量稳定且成本合理,特别是要充分考虑到新疆地区交通运输存在诸多困难这一特点,科学地对物资进场的时间以及储备量加以规划,防止出现因物资短缺或者积压而产生的各种风险^[3]。要强化设备管理工作,实施设备的定期维护和保养相关制度,借此提高设备的使用率以及运行的稳定性,降低机械故障给施工进度所带来的影响,并且依靠信息化手段对设备状态展开实时监控,从而提升设备调度的科学性以及灵活性。除此之外,还得加强与供应商之间的沟通协作,构建起长期且稳定的合作关系,进而提高物资供应的可靠性以及响应的速度。通过优化物资供应以及设备管理,切实有效地保障施工资源实现高效配置,推动工程顺利开展下去。

4.4 加强安全环保管理

安全环保管理属于石油化工建设施工现场管理里极为重要的一部分,其实际所取得的成效同人员的生命安全、环境的保护以及项目在社会责任感方面的履行情况都有着紧密的关联。鉴于新疆地区施工环境呈现出的复杂状况,就需要着重去强化安全管理体系方面的建设工作,要制定

出科学且合理的安全操作方面的规程,并且要严格落实好安全责任制,以此来保证各项安全措施都能够切实地落实到位。得加强对施工现场安全隐患的排查工作以及风险评估相关事宜,对于存在的问题要及时地加以整改,从而提升安全防范的能力。与此还要积极推动环保理念在整个施工过程中得以融入,要对扬尘、废水、噪声等各类污染物的排放予以合理的控制,采取行之有效的环境保护举措,确保施工给生态环境带来的影响能够降至最低程度。通过进一步加强安全以及环保管理工作,构建起一个安全、绿色并且可持续的施工环境,进而提升工程项目在整体上所具有的社会效益以及可持续发展的水平。

5 结语

在新疆地区开展的石油化工地面建设工程,由于其有着特殊的地理环境以及复杂的施工条件,这就使得对施工现场的管理工作提出了更高的要求。围绕着新疆区域的实际状况展开分析,深入剖析了石油化工建设施工现场所呈现出的特点以及当下的实际状况,全面且细致地整理出施工过程中所面临的诸多主要问题,像是受到环境因素的限制、人员素质以及管理机制存在不足之处、施工设备还有物资保障方面碰到的难题、信息化管理方面的水平有所欠缺以及安全管理所面临的压力等等。就这些问题而言,相应地提出了具备切实可行性的优化策略,着重指出要建立起能够适应新疆环境的施工管理体系,强化针对人员的培训工作以及激励机制的建设,对物资供应与设备管理加以优化,并且还要强化安全环保方面的管理工作。这些策略得以实施之后,能够在一定程度上提升施工现场管理在科学性、规范性以及有效性等方面的水准,从而保障工程建设在安全、质量以及效率这三个方面都能够得到有力的保障,推动新疆地区石油化工产业朝着可持续发展的方向迈进。在未来的发展进程中,伴随着技术的不断进步以及管理理念的持续更新,施工现场管理应当不断地去创新并逐步完善自身,以此来更好地满足石油化工建设工程日渐变得复杂且多样化的各项需求,进而促进区域经济与社会实现协调且健康的发展态势。

【参考文献】

- [1]何胜.石油化工建设工程项目施工现场管理及优化措施[J].化工管理,2021(16):171-172.
- [2]黄光德.石油化工建设工程项目施工现场管理及优化措施[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(7):77-79.
- [3]桑玉琰.化工建设工程项目施工现场管理的优化措施[J].化工管理,2021(17):175-176.

作者简介:文峰(1987.7—),毕业院校:西南石油大学,所学专业:石油工程,当前就职单位名称:克拉玛依市三达有限责任公司,就单位职务:总经理助理,职称级别:工程师。

油气长输管道山体定向钻穿越施工技术分析

张 振 范佳豪

中国石油工程建设有限公司华北分公司, 河北 任丘 062500

[摘要]长输油气管道是实现能源效率和安全的重要工具,其施工过程中可能会遇到复杂的地形和地质条件,特别是山体等难以穿越的地质障碍。为了克服这些困难,提高施工效率 and 安全性,本研究专门对山体定向钻穿越施工技术进行了分析。通过构建地质模型以及施工模拟,结合实际案例对比分析,得出了几点关键成果。首先,良好的地质预判和钻头选择是成功完成山体定向钻穿越的前提。其次,设计合理的钻井曲线和施工参数是保证施工质量和安全的关键,同时还可以有效降低施工成本。最后,钻出口的定位精度直接关系到成果的质量。试验和实践表明,骨架比定位技术能够有效提高出口定位精度,从而提高山体定向钻穿越施工的成功率。本研究的成果已经在国内多个油气长输管道项目中得到了实际应用和验证,为长输管道施工技术发展提供了一定的理论支持和技术指导。

[关键词]油气长输管道; 山体定向钻穿越; 施工模拟; 地质预判; 骨架比定位技术

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16649

中图分类号: TE9

文献标识码: A

Analysis of Directional Drilling Construction Technology for Mountain Crossing of Long-distance Oil and Gas Pipelines

ZHANG Zhen, FAN Jiahao

North China Branch of China Petroleum Engineering & Construction Corp, Renqiu, Hebei, 062500, China

Abstract: Long distance oil and gas pipelines are important tools for achieving energy efficiency and safety, and their construction process may encounter complex terrain and geological conditions, especially geological obstacles such as mountains that are difficult to cross. In order to overcome these difficulties, improve construction efficiency and safety, this study specifically analyzed the construction technology of mountain directional drilling crossing. By constructing geological models and construction simulations, combined with comparative analysis of actual cases, several key achievements have been obtained. Firstly, good geological prediction and drill bit selection are prerequisites for successfully completing directional drilling through mountains. Secondly, designing reasonable drilling curves and construction parameters is the key to ensuring construction quality and safety, while also effectively reducing construction costs. Finally, the positioning accuracy of the drilling outlet is directly related to the quality of the results. Experiments and practices have shown that skeleton ratio positioning technology can effectively improve the accuracy of exit positioning, thereby increasing the success rate of mountain directional drilling and crossing construction. The results of this study have been practically applied and verified in multiple domestic oil and gas long-distance pipeline projects, providing theoretical support and technical guidance for the development of long-distance pipeline construction technology.

Keywords: oil and gas long-distance pipelines; mountain directional drilling crossing; construction simulation; geological prediction; skeleton positioning technology

引言

长输油气管道作为国家能源传输的主要通道,对于保障国家能源安全、石油天然气产业的发展、推动地方经济社会发展具有重要作用。然而,长输管道的施工环境多样,地球表层条件复杂。其中,山体作为一种比较常见的地质障碍,对油气管道的建设提出了严峻的挑战。如何安全、高效地穿越这些障碍,成为了长输油气管道施工中亟待解决的问题。过去的研究更多地侧重在管道施工的总体规划 and 设计上,少有关于具体实施过程中山体定向钻穿越技术的深度分析。因此,本研究旨在通过构建地质模型和施工模拟,分析和总结山体定向钻穿越施工的关键技术和方法,为实际工程提供参考和指导,并期望以此对我国长输油气

管道施工技术的发展和推广做出一些贡献。

1 长输油气管道之重要性与挑战

1.1 长输油气管道的作用与影响

长输油气管道在全球能源输送中扮演着至关重要的角色,其主要作用在于提供可靠和高效的交通工具,将石油和天然气从产地输送到需求市场^[1]。这种运输方式相较于铁路运输和海运,能够降低运输成本,并减少能源消耗和碳排放,使其成为一种环保的选择。长输管道系统因其能够大规模连续运行,确保能源在长距离传输过程中的稳定性与安全性,对各国的能源安全具有深远影响。在区域经济发展方面,长输油气管道的建设和运营也能带来直接和间接的经济效益,包括促进相关产业的发展,增加就业

机会,以及推动沿线地区的基础设施建设。考虑到全球对低碳和可持续能源的需求不断增长,长输油气管道将继续在全球能源格局中占据重要地位,支持各国能源政策的实施与经济的可持续发展。

1.2 遇到的主要地质障碍和挑战

长输油气管道施工过程中面临多种复杂的地质障碍和挑战。山体作为一种典型地貌,其地质条件复杂多变,包括岩石坚硬程度、地层破碎性和地下水分布等多方面因素,给管道穿越施工带来较高难度。岩石的硬度和强度直接影响钻具的选型和施工效率,过硬的岩层可能导致钻头磨损加剧甚至作业中断。地层的破碎性则容易引发钻孔塌陷和泥浆流失,影响钻进的稳定性和连续性。地下水的存在不仅容易引发孔壁坍塌,还可能导致泥浆污染周围水体,从而造成环境问题。某些山体区域可能存在复杂的断裂带与滑坡地带,这类不稳定结构会对施工的安全性构成威胁。这些地质障碍的多样性和不可预测性增加了施工方案设计和实施的难度,需要对地质条件进行深入勘察与科学分析,以保障施工的顺利进行^[2]。

1.3 山体定向钻穿越的必要性与难度

山体定向钻穿越是长输油气管道建设中的关键步骤,因其能够有效解决传统施工方式难以逾越的障碍^[3]。穿越山体时,必须克服复杂的地质条件,如岩石类型多样性、高度变化和地质构造的不确定性,这对施工提出了更高的技术要求。山体钻穿越不仅需要精准的地质评估和施工规划,还需运用先进的技术以确保穿越过程中的安全性和可控性。由此,山体定向钻穿越对于保障能源运输的稳定性和安全性至关重要。

2 山体定向钻穿越技术现状与发展趋势

2.1 现有的山体定向钻穿越施工方式

山体定向钻穿越施工技术在油气长输管道建设中占据重要地位,其主要任务是在复杂地形中安全、经济、有效地铺设管道。当前,几种主要的施工方式广泛应用于这一领域。这些方法包括水平定向钻(Horizontal Directional Drilling, HDD)、导向钻进技术和微隧道掘进技术。这些方法各有其独特的技术特点和适用场景。

水平定向钻技术是指通过钻井设备从地面沿设计路径钻进,直到突破山体到达另一侧地面。此技术以其对地表扰动小、环保性高而著称,适用于需要保护环境区域。水平定向钻技术对地质条件要求较高,对于硬岩、断层等复杂地质条件,钻进成本和难度会明显增加。

导向钻进技术依赖于先进的导航系统,使钻头沿着预设轨迹精确穿越山体。这种方法适用于需要高精度施工的情境,但设备复杂,技术人员需要丰富的操作经验和背景,以确保导航系统的正常运行。

微隧道掘进则是一种面向更为坚固地质条件的技术,通过小型掘进机开辟隧道并完成管道铺设。该技术的优点

是隧道内径小,适合短距离、高硬度地层穿越,但施工成本较高,且设备运维复杂。

这些施工方式的选择需根据山体的具体地质条件、工程预算和环境保护要求进行综合评估,以确保施工的安全性、经济性和环保性。这些技术的应用和不断发展,为长输管道的设计和施工提供了更多的选项和支持。

2.2 山体定向钻穿越技术的发展趋势

近年来,山体定向钻穿越技术呈现出智能化、高精度化和环保化的发展趋势。智能化技术在施工中的应用愈加广泛,基于大数据分析和人工智能的施工参数优化算法,为提高施工效率和施工安全提供了新的路径。高精度技术的发展则集中于定位与路径规划,先进的骨架比定位方法和实时监测系统显著提升了钻井轨迹的控制能力,减少了偏差发生的概率。与此环保化理念逐渐深入施工过程中,绿色施工技术与设备被广泛采纳,以降低穿越作业对生态环境的破坏。结合精细化的地质调查和施工模拟,未来山体定向钻穿越技术预计将在施工效率、成本控制及环境保护领域取得进一步突破,为复杂地质条件下的油气管道建设提供更安全、更可靠的技术支持。

3 地质预判与钻头选择策略

3.1 地质预判的重要性和方法

地质预判在山体定向钻穿越施工中至关重要,其目标是识别和评估潜在的地质障碍,以制定合适的施工方案。准确的地质预判能够降低不确定性,在提高施工安全的优化工期和成本。地质预判通常采用多种方法,包括地质勘探、地质建模和地面地球物理测试等。这些方法旨在收集详细的地质数据,为后续的施工设计提供可靠的基础。在地质勘探中,钻探取样和地质测绘是常用的技术,可提供关于地层结构、土壤类型及地下水状况的信息。地质建模可以将勘探数据转化为可视化的地质图,帮助理解地下结构的复杂性。地面地球物理测试则使用声波、电阻率等方式进一步验证和补充地质模型。通过这些综合手段,施工团队可以获得全面的地质信息,使得定向钻的路径更为精准,最大限度地减少施工风险。

3.2 钻头选择的策略和要求

钻头选择在山体定向钻穿越中至关重要。钻头的性能和适用性直接影响施工进度和安全性。需根据地质预判结果选定钻头类型,以应对不同岩层的硬度和结构特征^[4]。地质条件较复杂的地段,应选择具备高耐磨性和抗冲击性的钻头,以提高对硬岩和复杂岩层的穿透能力。应考虑钻头的直径与传递扭矩之间的匹配,以保障施工设备的稳定运行。钻头的冷却与润滑需求也需在选择过程中予以重视,以防止过热导致的设备损坏^[5]。不同钻头的制造材料和结构设计差异较大,在选择过程中应综合考虑施工成本与设备磨损之间的平衡,确保经济效益与施工质量的双重实现。钻头选择的科学性和合理性是实现高效、安全施工的基础。

3.3 二者与山体定向钻穿越安全性的关联

地质预判与钻头选择的合理结合是提高山体定向钻穿越施工安全性的核心要素。地质预判通过识别复杂地层、预计潜在风险,为施工过程提供科学依据,有助于减少因未知地质条件引发的安全隐患。钻头选择直接影响穿越效率和施工稳定性,不同地层需匹配相应的钻头特性,以应对岩土强度、磨损程度等问题。二者的协同作用能够优化施工方案,降低机械故障率和地质灾害发生概率,从而保障施工的安全性与高效性。

4 钻井曲线和施工参数设计

4.1 钻井曲线设计的重要性和考虑因素

钻井曲线设计是山体定向钻穿越施工中的核心环节,对施工安全性、效率及经济性具有直接影响。合理的钻井曲线不仅能够有效避开地质障碍和高风险区域,还能优化施工路径,减少管道铺设过程中的摩擦和应力集中,从而提高施工成功率。在设计时,应综合考虑地质条件、工程规模、设备性能及施工环境等因素。地质条件决定了钻井曲线的角度变化范围和曲率半径,需充分分析地层结构、岩石强度及可能存在的断层或滑坡区。施工环境的空间限制与管线走向要求也需要同步协调,确保钻井曲线能满足设计精度和操作便捷性。施工设备的性能指标,如钻机推力、扭矩及钻具承载能力,对曲线设计的曲率变化范围具有约束作用。针对复杂山体地形,应优先选择小曲率、平缓过渡的曲线设计,以避免过度的机械损耗及管道应力集中问题。完善的钻井曲线设计能够为整个钻进过程提供科学指导,对于提高工程质量和降低施工风险具有决定性作用。

4.2 施工参数设置的影响和优化方法

施工参数的设置对山体定向钻穿越施工的效率 and 安全性具有重要影响。合理的参数设置可以有效避免施工过程中因地质条件复杂而引发的风险,例如孔壁坍塌、钻具磨损过度等问题。主要施工参数包括钻井速度、钻压、泥浆流量及压力等。其中,钻井速度需根据地层硬度和钻头性能进行动态调整,以平衡进尺效率与钻具损耗。钻压的控制对防止井斜及提升钻进稳定性至关重要,应结合钻井曲线的设计精度进行优化。泥浆流量和压力则直接影响到岩屑移送和井眼清洁度,需根据地层透水性和钻井深度合理匹配。通过对施工参数的实时监测与动态调整,能够有效提高施工效率,降低故障率,从而保障山体定向钻穿越施工的安全性与经济性。

4.3 钻井曲线和施工参数对施工效率和安全的影响

合理的钻井曲线设计与施工参数设置对提高山体定向钻穿越的施工效率和安全性具有关键作用。优化的钻井曲线可减少钻进阻力,降低设备损耗,缩短工期,而科学的施工参数,包括钻速、泥浆流量、压力等,能有效控制井眼稳定性,防止事故发生。这种精细化设计与参数控制可显著提高复杂地质条件下的施工成功率,降低安全风险

和经济损失,为工程顺利实施提供技术保障。

5 骨架比定位技术在山体定向钻穿越中的应用

5.1 骨架比定位技术的原理及优点

骨架比定位技术在山体定向钻穿越中的应用,是近年来一项重要的技术创新。其原理主要基于地质雷达和声波探测相结合,通过探测地层密度变化以及反射波信号,建立精确的地下三维结构模型。这一技术利用骨架比,即地质结构密度与钻井参数的比值,来提高钻孔定位的精度。选择合适的骨架比能够有效减少误差积累,从而提升定位准确性。

该技术的优点体现在多个方面。能够在复杂多变的地质条件下实现高精度定位,为施工提供可靠的数据支持。其应用无需大量硬件投入,主要依赖软件算法优化,可显著降低施工成本。利用这一技术能够实现准确的钻井路线设计,减少不必要的路径调整,进而提升施工效率和安全性。骨架比定位技术在油气管道山体定向钻穿越施工中的应用潜力广阔,值得进一步推广和实践。

5.2 骨架比定位技术的具体应用流程

骨架比定位技术在山体定向钻穿越中的具体应用流程包括以下几个关键步骤。需要根据施工区域的地质条件和设计要求,建立详细的地质模型,并确定钻井路径的初步设计方案。在钻井施工中,通过测量设备实时获取关键位置数据,包括钻进过程中钻头的路径、深度和角度等信息。利用骨架比定位算法对采集的数据进行分析、对比和修正,以校正可能出现的钻井误差,确保钻头按照预定轨迹推进。特别是在接近钻出口位置时,通过密集的数据采集与骨架比算法的高精度计算,进一步提高钻出口定位的准确性。最终,完成路径优化与出口定位确认后,对施工作业进行精度评估和数据总结,以支持后续施工方案优化。

5.3 骨架比定位技术在改善精度和降低成本中的作用

骨架比定位技术通过精确定位钻孔出口位置,显著提高了山体定向钻施工的精度,降低了施工过程中的误差,减少了返工和调整的时间和成本。该技术通过骨架结构的稳定性和精准性,确保了钻孔路径的准确性,从而减少了因误差而导致的额外资源消耗。借助这一技术,施工单位能够在复杂地质条件下进行高效作业,减少了设备磨损和人力资源投入,使得项目整体成本得到有效控制。这种精度提升和成本优化在多个油气长输管道项目中得到了验证。

6 结束语

本论文对长输油气管道中山体定向钻穿越施工技术进行了深入研究和实证分析,通过地质模型构建、施工模拟以及实际案例比对,探讨了成功完成山体定向钻穿越的关键因素。研究结果指出,正确的地质预判和钻头选择,设计合理的钻井曲线和施工参数是保证质量和安全的重要

要因素,此外,高精度的钻出口定位也是桩位设置精度的决定性因素。本研究利用骨架比定位技术成功提高了出口定位精度,有力提升了山体定向钻穿越施工的成功率,具有良好的实践价值。然而,定向钻穿越施工技术仍有诸多不确定性和难以预料的情况,因此未来研究还需要从更多角度和层面深化对本领域的探索和研究,进一步提升长输油气管道施工的科学性和普适性。

[参考文献]

[1]周政.油气长输管道定向钻穿越施工技术[J].工程技术,2023(7):182-184.

[2]王风雷.油气长输管道定向钻穿越施工技术探究[J].建筑工程技术与设计,2021(27):75-76.

[3]孙晓宇.油气长输管道定向钻穿越施工技术探讨[J].全面腐蚀控制,2023,37(7):16-18.

[4]林野.油气长输管道定向钻穿越施工技术分析[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2021(1):88-89.

[5]祁小伟.长输管道定向钻穿越施工技术和管理分析[J].建筑工程技术与设计,2021(27):935-936.

作者简介:张振(1997.10—),男,济南大学,化学工程与工艺。

污水回用过程中介质泄漏对水质安全的影响及处理技术优化

王建勋 尚海 冯武甄

中石化(河南)炼油化工有限公司, 河南 洛阳 471012

[摘要]水资源的高效利用与环境保护已成为现代石化企业可持续发展的重要课题。中石化(河南)炼化有限公司作为区域重点能源化工企业,积极响应国家节水减排政策,自2020年起系统推进污水回用工程。在实际运行中发现,回用污水的水质特性与循环水系统原有平衡之间存在复杂相互作用,特别是生产装置介质泄漏事件引发的复合污染问题日益突出。这类问题不仅影响系统稳定运行,更对设备安全构成潜在威胁。文章基于企业三年来的实践探索,系统分析了介质泄漏对回用水系统的多重影响,并总结形成了一套行之有效的综合治理方案,为同类企业提供了可借鉴的技术路线和管理经验。

[关键词]污水回用; 介质泄漏; 水质安全

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16638

中图分类号: TE965

文献标识码: A

The Impact of Medium Leakage on Water Quality Safety During Sewage Reuse Process and Optimization of Treatment Technology

WANG Jianxun, SHANG Hai, FENG Wuzhe

Sinopec (He'nan) Refining and Chemical Co., Ltd., Luoyang, He'nan, 471012, China

Abstract: The efficient utilization of water resources and environmental protection have become important issues for the sustainable development of modern petrochemical enterprises. Sinopec (He'nan) Refining and Chemical Co., Ltd., as a key energy and chemical enterprise in the region, actively responds to the national water conservation and emission reduction policies and has been systematically promoting sewage reuse projects since 2020. In practical operation, it has been found that there is a complex interaction between the water quality characteristics of recycled wastewater and the original balance of the circulating water system, especially the increasingly prominent problem of composite pollution caused by medium leakage events in production equipment. This type of problem not only affects the stable operation of the system, but also poses a potential threat to equipment security. The article is based on three years of practical exploration by enterprises, systematically analyzing the multiple impacts of medium leakage on the reuse water system, and summarizing the formation of an effective comprehensive management plan, providing a technical route and management experience for similar enterprises to learn from.

Keywords: wastewater reuse; media leakage; water quality safety

石化行业循环水系统作为重要的公用工程,其运行状况直接关系到全厂生产装置的稳定性和经济性。中石化(河南)炼化有限公司第一循环水场和化纤循环水场自投用回用污水以来,面临着前所未有的技术挑战。回用污水中的复杂成分改变了循环水系统的固有特性,而生产装置换热设备可能发生的介质泄漏则进一步加剧了系统的不稳定性。这种叠加效应导致系统出现微生物异常增殖、设备腐蚀加速、换热效率下降等一系列问题,传统的处理方法往往难以奏效。特别是在高温季节,水质恶化速度明显加快,给生产运行带来巨大压力。如何在这种复杂条件下维持循环水系统的长期稳定运行,成为企业亟待解决的技术难题。

1 回用污水对循环水质的影响分析

污水回用作为水资源循环利用的重要手段,在石化企业中得到广泛应用。中石化(河南)炼化有限公司自2020年12月起在第一循环水场和化纤循环水场实施污水回用工程,主要接收炼油中水和化纤回用水两类回用污水。这

些回用水的引入虽然实现了水资源的高效利用,但由于其水质特性与新鲜水存在显著差异,对循环水系统产生了多方面的影响。

1.1 水质参数变化对比

回用污水与新鲜水在水质参数上存在显著差异,这些差异直接影响循环水系统的运行状态。通过对循环水系统的长期监测数据进行分析,可以清晰地看到各类水质指标的变化趋势及其产生的实际影响。浊度作为反映水中悬浮物含量的重要指标,新鲜水标准控制在3.0NTU以下,而炼油中水的浊度通常低于2.0NTU,表面上看优于新鲜水标准,但化纤回用水的浊度则在3.0NTU左右波动,这种不稳定性会导致系统运行参数难以精确控制^[1]。电导率的变化尤为明显,新鲜水的电导率维持在900~1000us/cm的范围内,而两种回用污水的电导率均达到1600~2300us/cm,这种成倍的增长预示着水中溶解性固体含量大幅增加,直接提高了系统的结垢和腐蚀风险。

表 1 回用污水与新鲜水水质参数对比分析表

序号	项目	单位	新鲜水标准	炼油中水影响	化纤回用水影响	回用后主要后果
1	浊度	NTU	≤3.0	≤2.0	≤3.0（波动）	系统稳定性下降
2	电导率	us/cm	900~1000	1600~2300↑	1600~2300↑	电导率超标、结垢腐蚀风险增加
3	总碱度	mg/L	200~270	150~220	40~80↓	化纤污水引起碱度降低、腐蚀
4	钙离子	mg/L	120~190	200~280	70~100↓	化纤污水引起钙离子降低、腐蚀
5	氯离子	mg/L	90~100	200~340↑	50~80↓	Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻ >2500 时腐蚀加剧
6	硫酸根	mg/L	120~150	300~480↑	360~430↑	结垢腐蚀风险增加
7	总磷	mg/L	0	0.2~0.45↑	1.26~1.60↑	缓蚀阻垢剂失效、结垢腐蚀
8	COD	mg/L	≤10	16~55↑	16~37↑	微生物危害增大

1.2 介质泄漏的叠加影响

在实际运行过程中,生产装置换热设备可能发生的介质泄漏事件会与回用污水产生协同作用,对循环水系统造成更为复杂的复合影响。二月份发生的电站 3 号冷却塔循环水润滑油泄漏事件,润滑油进入循环水系统后,会在换热器表面形成一层疏水性薄膜,这种油膜不仅阻碍热量的正常传递,还会吸附水中的颗粒物和微生物,形成黏稠的油泥混合物。三月份化纤循环水系统发生的苯系物泄漏事件呈现出不同的影响特征。苯、甲苯、乙苯等芳香族化合物进入水体后,部分溶解于水中,部分则以微小油滴形式分散。这些物质对水生微生物具有毒性抑制作用,会暂时降低系统中异养菌的数量。五月份化纤循环水系统遭遇的解吸剂、二甲苯、对二甲苯泄漏事件,是年内最为严重的一次介质泄漏。这些有机溶剂具有较低的表面张力,能够渗透到金属表面的微观缺陷和已有腐蚀产物下方,形成局部浓缩环境。在这种环境下,溶剂分子会与金属表面发生复杂的物理化学作用,破坏原有的钝化膜保护层,暴露出新鲜的金属基底,加速腐蚀进程^[2]。介质泄漏对循环水系统的影响机制主要体现在三个方面。首先是物理性影响,泄漏介质在换热表面形成油泥覆盖层,会显著降低传热效率。其次是生物性影响,泄漏的有机物成为微生物的额外营养源。最后是化学性影响,某些泄漏介质会直接参与电化学腐蚀过程,或改变水体的 pH 值和氧化还原电位,破坏原有的腐蚀-防护平衡。

2 介质泄漏引发的系统危害

2.1 微生物危害三级放大效应

介质泄漏对循环水系统微生物生态的影响呈现出明显的阶段性特征。在河南某炼化企业的实际案例中,观察到完整的危害发展过程。初级影响阶段通常持续 2~4 周,主要表现为生物黏泥量的指数级增长。某次润滑油泄漏事件后的监测数据显示,系统黏泥量在 3 周内增长至基准值的 4.8 倍。这种黏泥具有特殊的流变特性,其粘度系数达到常规悬浮物的 3~5 倍,导致换热器水流阻力显著增加。当系统进入次级影响阶段,会出现多种并发的技术问题。某化纤循环水场在苯系物泄漏后,换热器管束表面的氧浓差电池电位差达到 280mV,诱发严重的局部腐蚀。同期冷却塔填料的堵塞率上升至 22%,较泄漏前提高 17 个百

分点,直接导致冷却效率下降 19%。这些变化又会进一步改变系统内的微生态环境,促进特定微生物菌群的增殖。终极影响阶段的特征表现为系统处理效能的全面下降。某炼油循环水场在持续泄漏情况下,缓蚀剂的保护效率从正常的 85%降至 36%,同时清洗周期从 90 天缩短至 45 天。这种状态如果持续超过 3 个月,将导致设备完好率下降 12~15 个百分点,维护成本增加 40%以上。

表 2 微生物危害发展特征时序分析

危害阶段	持续时间	关键指标变化	控制窗口期
初级影响	2~4 周	黏泥量增长 300%~500%	最佳控制期
次级影响	1~2 月	腐蚀速率提高 3~5 倍	有效控制期
终极影响	3 月+	设备完好率下降>10%	补救控制期

2.2 腐蚀与结垢协同效应

介质泄漏引发的材料劣化过程具有典型的协同放大特征。某循环水场 2023 年的运行数据显示,在存在介质泄漏的情况下,碳钢设备的点蚀发展速率达到 0.65mm/年,是正常工况下的 4.3 倍。这种腐蚀往往呈现典型的深孔型特征,蚀孔深宽比达到 3:1 以上,对设备结构完整性构成严重威胁。结垢问题同样表现出异常的发展规律。某换热器在解吸剂泄漏后,3 个月内形成的复合垢层厚度达到 2.8mm,其热阻值较常规水垢提高 40%~45%。这种垢层的 XRD 分析显示,其组成中包含 23%的有机组分、35%的无机盐类和 42%的腐蚀产物,形成特殊的三明治结构。腐蚀与结垢的协同作用在微观尺度上表现为典型的恶性循环。SEM 观察发现,垢层下金属表面的腐蚀速率是裸露区域的 6~8 倍,而腐蚀产物又成为新的结垢核心。

3 处理技术优化方案

3.1 微生物控制技术升级

循环水系统微生物控制技术的升级主要体现在杀菌剂投加策略的智能化和黏泥剥离工艺的创新两个方面。杀菌剂智能投加系统通过在线水质监测装置实时采集温度、COD、浊度等关键参数,结合自主研发的动态加药算法,实现了药剂投加的精准控制。该系统采用氧化性杀菌剂强氯精与非氧化性杀菌剂 SS411 交替使用的策略,有效避免了微生物产生抗药性。在实际运行中,系统能够根据水

温变化自动调整加药频率,夏季高温期自动切换至冲击式加药模式,确保杀菌效果的同时降低了药剂消耗^[3]。黏泥剥离技术的改进则集中在新型复合剥离剂的开发和应用工艺的优化上。新研发的剥离剂将季铵盐类化合物的渗透性与过氧化物的氧化性有机结合,对顽固性生物黏泥的剥离效率提升 40%以上。配套实施的剥离-过滤联用工艺通过优化操作参数,实现了系统黏泥的高效清除,整个处理周期控制在 8 小时以内,大幅减少了系统停车时间。

表 3 微生物控制技术升级对比

技术参数	升级前	升级后	提升效果
杀菌效率	75%	92%	+17%
黏泥剥离率	60%	85%	+25%
处理周期	12h	8h	-33%
药剂消耗	100%	80%	-20%

3.2 腐蚀结垢控制优化

针对介质泄漏导致的腐蚀结垢问题,优化方案着重于水质参数的动态调控和深度处理技术的应用。水质参数动态调控系统通过建立多参数关联模型,实现了 pH 值、总碱度和总磷等关键指标的协同控制。系统能够根据进水水质变化自动调整加药量和排污频率,将水质波动范围缩小 50%以上。特别是在接收化纤回用水时,系统自动提高 pH 和碱度的控制上限,有效缓解了低钙离子环境下的腐蚀问题。反渗透深度处理单元的投运是另一项重要改进,该单元采用最新的抗污染膜元件和能量回收装置,除盐水产量稳定在 75t/h,出水水质达到电站锅炉补给水标准。这部分高品质补水显著降低了循环水系统的盐类负荷,使浓缩倍数得以提高,年节水达 12 万吨。与此同时,通过优化阻垢剂配方,使其在较高磷含量环境下仍能保持良好性能,解决了回用污水总磷偏高带来的结垢问题。

3.3 泄漏应急响应体系

完善的泄漏应急响应体系是快速有效处置介质泄漏事故的关键保障。该体系采用四级响应机制,根据泄漏污染物的种类和浓度,启动不同级别的应急程序。一级响应针对严重泄漏事故,要求 2 小时内确定泄漏源并实施隔离,同时启动系统置换和强化杀菌程序。查漏技术的升级大幅提高了泄漏点定位的准确性和效率,红外热成像仪能够快速识别换热器管束的温度异常,定位精度达到单根管束水平。示踪剂检测技术则适用于微量泄漏的排查,通过在疑似系统注入荧光素钠等示踪剂,配合高灵敏度检测设备,可检出 0.01ppb 级的污染物。在线水质指纹分析系统通过监测 16 项水质参数的实时变化,建立各装置的用水特征图谱,为泄漏源的快速识别提供数据支持。

4 实施效果与改进建议

4.1 实施成效

微生物控制成本的显著降低是本次技术改造最直接

的成果之一。通过智能加药系统的精准控制和药剂配方的优化,在保证杀菌效果的前提下,全年杀菌剂用量减少 25%,节约药剂采购成本约 180 万元。这一成果的取得主要得益于三方面改进:首先是动态加药算法的应用,使药剂投加量与实际需求高度匹配,避免了过量投加;其次是氧化性与非氧化性杀菌剂的科学轮用,有效延缓了微生物抗药性的产生;最后是剥离工艺的优化,减少了因黏泥积累导致的药剂无效消耗。这些措施的综合作用使得微生物控制工作更加高效和经济。

设备腐蚀状况的改善是另一项重要成效。监测数据显示,系统平均腐蚀速率从原来的 0.125mm/a 降至 0.075mm/a,降幅达 40%。这一变化极大延长了关键设备的使用寿命,预计可使换热器管束更换周期延长 3 年以上。腐蚀控制的提升主要归功于水质参数动态调控系统的精准管理,特别是对 pH 值和碱度的优化控制,有效稳定了水体化学环境。同时,反渗透深度处理单元的应用显著降低了水中腐蚀性离子的浓度,从源头减少了腐蚀风险^[4]。现场检查发现,采用新方案后,设备表面腐蚀产物明显减少,金属基底保持良好状态。

换热器清洗周期的延长直接反映了系统整体运行状况的改善。从原来的每 6 个月清洗一次延长至每 9~10 个月一次,不仅减少了维护工作量,更重要的是降低了因停车清洗导致的生产损失。这一成效的取得是多项技术措施协同作用的结果:微生物的有效控制减少了生物黏泥的生成;腐蚀速率的下降延缓了腐蚀产物的积累;阻垢配方的优化抑制了水垢的形成。特别是在夏季高温期间,新系统表现出更强的稳定性,没有出现往年常见的因水质恶化而提前清洗的情况。

表 4 主要技术经济指标改善情况

评价指标	改进前	改进后	变化率
杀菌剂用量	基准值	-25%	显著下降
腐蚀速率	0.125mm/a	0.075mm/a	-40%
清洗周期	6 个月	9-10 个月	+50%
非计划停车	3 次/年	1 次/年	-67%

4.2 持续改进方向

短效生物降解型剥离剂的研发是未来技术攻关的重点之一。现有剥离剂虽然效果显著,但其持久性可能对后续污水处理系统造成影响。理想的新型剥离剂应具备两个关键特性:一是保持高效的黏泥剥离能力,二是在完成功能后能快速自然降解。通过分子结构设计和配方优化,目标是开发出半衰期小于 24 小时的环境友好型产品。这类药剂的成功应用将解决当前剥离处理后排水受限的难题,使系统可以更灵活地安排维护作业,同时降低对环境的影响。初步实验室测试显示,某些改性季铵盐化合物配合特定的促降解剂,有望在 18~22 小时内完成 90%以上的降

解,同时保持85%以上的剥离效率。

水质-药剂-设备寿命预测模型的建立将实现从经验管理向精准管理的跨越。该模型将整合历史水质数据、药剂投加记录和设备检测结果,通过机器学习算法找出其中的关联规律。模型建成后可以实现三个主要功能:一是根据实时水质预测最优药剂投加方案;二是评估不同运行条件下设备的预期寿命;三是预警潜在的腐蚀结垢风险。这种预测性维护模式相比传统的定期维护或故障后维护,可以更科学地安排维护计划,避免过度维护或维护不足。目前已完成数据采集平台的搭建和部分历史数据的清洗工作,下一步将重点开发算法模块和验证模型准确性。

5 结语

中石化(河南)炼化有限公司在污水回用系统管理方面的探索实践,为行业提供了宝贵的经验借鉴。通过系统分析介质泄漏的影响机制,实施针对性的技术改造,企业不仅解决了当前面临的技术难题,更建立起预防为主、防

治结合的长效管理机制。未来,随着短效生物降解型药剂、预测性维护模型等新技术的研发应用,循环水系统的管理水平将进一步提升。这些工作不仅有助于企业实现节水减排目标,更为推动行业绿色低碳发展作出了积极贡献。建议在现有成果基础上,持续跟踪技术发展动态,不断优化完善管理体系,为行业可持续发展注入新动力。

【参考文献】

- [1]戴迪楠,刘永军,马晓妍,等.污水处理与回用过程对生态毒性的削减和水质安全评价[J].安全与环境学报,2017,17(4):1442-1447.
- [2]柳兰洲,何宁.城市生活污水处理与回用过程病毒的传播及防控[J].水处理技术,2021,47(11):31-35.
- [3]郑海棠.市政污水处理厂的碳中和[J].化学工程与装备,2022(3):278-292.

作者简介:王建勋(1967.9—),男,目前职务:水务部循环水区域班长,技师。

高含盐油田污水膜分离技术的应用研究

邓焱伟

克拉玛依市三达新技术股份有限公司, 新疆 克拉玛依 834000

[摘要]新疆油田在我国能源领域占据着重要地位,其在开采期间所产生的高含盐污水有着成分较为复杂以及处理起来难度颇大的特点。文章结合新疆独特的地理气候条件,全面且细致地剖析了高盐油田污水的水质相关特征以及相应的处理方面的需求,深入探讨了微滤、超滤、纳滤、反渗透还有电渗析等一系列膜分离技术的适用情况,并给出了一套集成解决方案,此方案涵盖了预处理方面的优化举措、膜组合工艺的设计思路、耐污染材料的选择考量以及智能化运维的相关内容,能够为新疆油田污水实现资源化利用给予理论层面的支持以及技术层面的可行路径。

[关键词]高盐油田污水;膜分离技术;硬度控制;盐分脱除;智能化运维

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16656

中图分类号: TQ028.8

文献标识码: A

Application Research on Membrane Separation Technology for High Salinity Oilfield Wastewater

DENG Yanwei

Karamay Sanda New Technology Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract: Xinjiang oil fields play an important role in Chinese energy sector, and the high salinity wastewater generated during their exploitation has the characteristics of complex composition and difficult treatment. The article combines the unique geographical and climatic conditions of Xinjiang to comprehensively and meticulously analyze the water quality characteristics of high salt oilfield wastewater and the corresponding treatment needs. It deeply explores the applicability of a series of membrane separation technologies such as microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, reverse osmosis, and electrodialysis, and provides an integrated solution that covers optimization measures for pretreatment, design ideas for membrane combination processes, selection considerations for pollution resistant materials, and relevant content for intelligent operation and maintenance. This solution can provide theoretical support and feasible technical paths for the resource utilization of Xinjiang oilfield wastewater.

Keywords: high salt oilfield wastewater; membrane separation technology; hardness control; salt removal; intelligent operation and maintenance

引言

新疆在我国是陆上油气资源较为富集的地区,在油田开发的过程当中会伴生出数量众多的高含盐污水。这种污水的成分呈现出复杂的态势,其处理起来的难度也远远超过了常规的工业废水。这类污水一般都含有浓度极高的溶解性盐分,还有钙镁硬度离子以及乳化油类物质。并且由于受到所在区域特殊地理气候方面的影响,长期处于干旱状态所引发的蒸发浓缩效应使得盐分不断地出现富集的情况,而那种强风沙的天气又进一步加剧了悬浮物以及硅酸盐的污染程度。在冬季的时候,低温的环境还会额外诱发管道出现结垢现象以及设备产生腐蚀问题。传统的物理化学处理工艺存在着脱盐效率比较低、抵抗冲击负荷的能力较差等一系列的缺陷,所以很难去满足油田回注水对于水质所设定的标准以及水资源需要回用的相关需求。随着环保政策变得越来越严格,而且油田可持续开发的要求也在不断提高,所以开发出高效且稳定的污水处理技术就变成了一项极为迫切的研究课题。膜分离技术依靠自身高效的分离特性、采用模块化的设计方式以及具备环境友好

的优势特点,给高盐油田污水的治理开辟出了新的路径。不过它在面对极端水质条件时,在膜污染控制、材料耐受性以及能耗优化等方面所存在的诸多问题,仍然需要结合新疆的实际工况展开系统性的相关研究,从而达成技术适配性与经济可行性两者的统一目标。

1 高含盐油田污水特性及处理需求

1.1 新疆油田污水水质特征

新疆油田所排放的污水大体上呈现出极为特殊的水质特性,其最为突出的特点在于盐度能够超出 50000mg/L,硬度更是高于 5000mg/L,并且油含量也会超过 500mg/L。如此之高的盐特性是由于在地质构造当中的蒸发岩层发生了溶解所致,而在实际的开采进程里,随着地层水不断混入其中,这无疑又进一步促使盐分不断地积累起来。地理以及气候方面的条件对于水质有着不容忽视的影响:在干旱且降雨稀少的气候环境下,污水会因为蒸发作用而逐渐浓缩,进而使得盐分的浓度持续处于上升的态势;而每当出现强风沙天气的时候,会有大量的悬浮物以及硅酸盐类物质涌入污水系统当中,由此便形成了胶体污染的情况;

到了冬季,当气温降至极端低温状态时,像碳酸钙、硫酸钙这类原本就难以溶解的盐类物质就会加速从水中析出,如此一来,管道以及相关设备出现结垢的风险也随之大幅提高。除此之外,在油田污水当中还普遍存在乳化油、溶解性有机物还有微生物群落等多种成分,这些不同成分和高盐环境相互之间产生协同作用,使得污水处理系统的复杂程度进一步加剧。

1.2 高含盐油田污水处理需求

新疆油田污水处理要达成多个目标:先是得符合《新疆油田回注水水质标准》针对悬浮物、含油量以及离子浓度所规定的限制条件,保证回注水不会把地层孔隙堵住;接着要达成水资源的高效循环利用,当把处理后的污水用于农业灌溉的时候,得对钠吸附比加以控制,避免土壤出现板结情况,要是用于油田注水,那就要着重去除硫酸盐还原菌,以此来抑制管线遭受腐蚀^[1],最后还要处理因高盐高硬度而引发的设备腐蚀以及膜污染方面的问题,借助优化工艺的方式,降低氯离子给金属材料带来的点蚀风险,并且要减少钙镁结垢物对膜通量所产生的衰减影响。

2 常用膜分离技术及其在新疆的适用性

2.1 微滤与超滤技术

微滤以及超滤技术因其具备精确的孔径控制这一特性,在油田污水预处理这个阶段起到了极为关键的作用。微滤膜能够有效地将粒径大于 $0.1\mu\text{m}$ 的悬浮颗粒、乳化油滴还有胶体物质给截留下来,超滤膜则可以进一步地去除掉大分子有机物以及部分细菌,从而为后续的深度处理工序给予水质方面的保障。在新疆那种多风沙的环境之下,这两种技术能够针对风沙所输入的硅酸盐颗粒以及油泥混合物展开有效的去除工作,不过它们对于溶解性盐分与硬度离子的脱除能力是比较有限的,所以需要和其他的膜技术联合起来使用^[2]。新疆地区昼夜温差比较大,这很容易使得膜材料出现热胀冷缩的情况,因此要选用化学稳定性比较高的聚偏氟乙烯或者聚醚砜这类材质,以此来延长膜的使用寿命。

2.2 纳滤技术

纳滤技术依靠自身的荷电效应以及纳米级别的孔径特性,具备针对二价离子的选择性截留能力,特别适合用于高硬度污水的软化处理工作,在新疆油田的具体场景当中,纳滤膜能够有效地去除污水里超过 90% 的钙镁离子,大幅度降低出现结垢的倾向,并且还允许部分单价离子透过,以此来减少渗透压能耗,这项技术对于硫酸根、碳酸根等阴离子的截留效果格外显著,有利于控制回注水里的硫酸盐还原菌活性,不过,新疆污水当中存在的高浓度氯离子有可能引发膜表面的电荷屏蔽效应,这就需要通过调节 pH 值或者添加抗污染剂的方式来维持膜分离性能。

2.3 反渗透技术

反渗透技术属于深度脱盐环节里的核心工艺范畴,其可达成 98% 及以上的盐分截留比率,此乃制备高纯度回

用水时极为关键的一项技术。就新疆那种高盐的环境状况而言,反渗透系统得经受住超出 6MPa 的操作压力,如此一来便给膜元件的机械强度以及耐压密封结构带来了不小的挑战。除此之外,污水当中所残留的硬度离子存在这样一种可能性,即会在膜的表面滋生出硫酸钙或者硅酸盐结垢,所以需要凭借化学软化预处理加上阻垢剂投加这两方面的举措来对污染起到一定的缓解作用。要契合新疆夏季高温的工况条件,不妨考虑采用那种具备宽温度耐受特性的复合膜材料,并且借助能量回收装置来使高压泵的能耗得以降低。

2.4 电渗析技术

电渗析技术借助离子交换膜所具备的选择性迁移特性来达成盐分浓缩以及淡水产出的目的,这种方法特别契合高盐污水的分质回收需求。在新疆油田盐资源化利用的具体场景下,该技术能够把污水里面的氯化钠和硫酸钠给分离出来并加以提纯,进而为工业盐的生产给予原料方面的供给。它的模块化设计是比较方便的,可以根据水质出现的波动情况灵活地去调整操作电压以及膜堆的数量,是适合用来处理那种盐度超出 80000mg/L 的极端污水的。不过得留心的是,污水当中存在的油类还有有机物是有可能污染到离子交换膜的表面的,所以需要联合运用超滤预处理的方式来确保系统的长期且稳定地运行。

3 新疆高盐油田污水膜处理工艺设计

3.1 预处理工艺优化

对于新疆油田污水所呈现出的高悬浮物以及高硬度这样的复杂特性而言,其预处理工艺有必要去构建起一个具备多维度协同作用的净化体系。其中,气浮单元在前端环节属于核心工艺部分,它借助溶气释放系统来生成微米级别的气泡,并且凭借这些气泡表面所具有的疏水特性,去吸附乳化油滴以及胶体颗粒,进而形成浮渣层,之后再依靠刮板机械将其清除掉。考虑到新疆地区风沙出现较为频繁的气候特点,气浮池应当增设防风罩,并且要对水力停留时间加以优化,以此来防止沙尘造成二次污染的情况发生。砂滤装置采用了多层介质的设计方式,其上层是石英砂,主要用于拦截大粒径的硅酸盐颗粒,而下层则是活性炭,它的作用是吸附溶解性的有机物,同时将滤速控制在每小时 $8\sim 10\text{m}$ 这样一个范围内,从而实现过滤效率和压差增长之间的平衡^[3]。在化学软化工艺方面,石灰-纯碱法的投药比例需要依据水质的具体情况来进行动态的调整,具体来讲,氢氧化钙会优先和碳酸氢根发生反应,进而生成碳酸钙沉淀,而纯碱则会和剩余的钙离子以及镁离子相结合,生成碳酸钙与氢氧化镁絮体。为了应对新疆冬季因低温而导致的沉淀速率降低这一情况,可以引入晶种强化技术,也就是通过投加微米级别的碳酸钙晶核,以此来加速结晶的过程。在氧化剂投加这个环节当中,既要考虑到安全性,也要关注氧化效率,可以采用次氯酸钠与过硫酸盐复合氧化体系,其中,次氯酸钠能够快速分解表

面活性剂,进而起到破乳的作用,而过硫酸盐则可以通过自由基链式反应,对聚合物驱油剂这类难以降解的有机物进行降解处理,在氧化反应池里面设置紫外线辅助激发装置,以便在低温环境下提升氧化效能。

3.2 膜组合工艺设计

膜工艺组合应当遵循“分级拦截、梯级脱盐”的原则,去构建能够适应新疆高盐污水特性的模块化处理链。超滤单元充当首道膜屏障,所选用的是外压式中空纤维膜组件,操作压力要维持在 $0.1\sim 0.3\text{MPa}$ 这样的范围,同时把膜面流速控制在 $2\sim 3\text{m/s}$,以此来减轻浓差极化的情况。其孔径分布被设计成 $20\sim 50\text{nm}$,如此便能够高效地截留住细菌、胶体硅以及大分子有机物,使得产水浊度稳定且低于 0.5NTU 。在纳滤环节,采用的是卷式膜元件,借助膜表面负电性所产生的道南效应,优先去排斥像硫酸根、碳酸根这类二价离子,对于钙镁离子的截留率可以达到95%以上,并且还允许30%~50%的单价氯离子透过,这样既能降低后续反渗透系统的渗透压负荷,又能避免因为过度脱盐而造成的资源浪费。反渗透单元会配置海水淡化级别的苦咸水膜,采用一级两段式的排列方式,回收率设定在60%~70%之间,操作压力依据进水盐度来进行动态调节,调节后的范围是 $5\sim 7\text{MPa}$ 。对于那些盐度超过 100000mg/L 的极端水质,在反渗透浓水侧要串联电渗析系统,依靠交替排列的阴阳离子交换膜在直流电场的作用下达成钠离子与氯离子的定向迁移,浓缩液经过蒸发结晶之后,能够回收到氯化钠与硫酸钠混合盐,淡水侧产水则会返回反渗透前端,进而进行二次提纯的操作。该组合工艺借助能级匹配方面的优化,把高压反渗透的能耗部分转移至低压纳滤与电渗析环节,整体电耗能够降低15%~20%的程度。

3.3 耐污染膜材料选择

膜材料的性能优化应当聚焦于新疆特有的污染类型以及环境应力状况。就有机污染这一方面而言,着手去开发两性离子接枝改性的聚酰胺膜,通过在膜表面引入羧酸基以及季铵基团,借助静电排斥的作用来对油类物质的黏附加以抑制,与此亲水涂层能够使得接触角降低到 30° 以下,如此一来便能减少蛋白质与多糖吸附的可能性。而对于无机结垢的问题,则运用纳米二氧化钛掺杂的技术手段,凭借其光催化特性,在紫外线照射的情况之下,对膜面所沉积的有机物予以分解,还能延缓碳酸钙晶体的生长速度。在夏季高温的工作环境下,陶瓷膜因其氧化铝基体具备的高热稳定性而成为优选的方案,它的刚性孔道结构能够避免聚合物膜出现蠕变的问题,而且其酸碱耐受性也能够契合频繁开展化学清洗的需求^[4]。除此之外,还致力于研发具有环境响应特性的智能膜材料,比如温度敏感型的聚N-异丙基丙烯酸酰胺共聚膜,当水温超过 32°C 的时候,膜孔会自动收缩,进而增强截留性能;pH响应型的膜则在碱性条件之下舒展分子链,以此增大通量,这类自适应

的特性在很大程度上提升了膜系统在新疆那种昼夜温差较大、水质波动较为频繁的场景之下的运行稳定性。

3.4 智能化运行与维护

戈壁油田有着特殊的地理情况,这就需要膜系统得有很强的自主运行能力。物联网监测网络会部署一些设备,像压差传感器、电导率探头以及激光颗粒计数器,每隔五分钟就会采集跨膜压差、产水水质还有悬浮物浓度的数据,然后借助LoRa无线传送到云端数据库。机器学习模型运用长短期记忆网络来分析历史数据,以此预测未来72小时膜通量衰减的曲线,要是预测的污染指数超出所设定的阈值,就会触发预警,并且生成优化清洗的方案。远程控制平台把气象局实时发布的沙尘暴预报数据整合进来,当风速超过8级的时候,它会自动提升砂滤单元的反冲洗频率,同时还将超滤运行模式切换成高错流速率,以此来应对悬浮物带来的冲击负荷。数字孪生系统依靠三维建模精准地再现膜堆内部流场分布以及浓度梯度,再结合计算流体力学仿真的方式去优化布水器的结构,让膜面流速分布的均匀性提升到90%以上。智能加药装置依据在线硬度检测得出的结果来动态调整石灰乳的投加量,误差能够控制在 $\pm 5\%$ 以内,而且通过模糊PID算法达成药剂消耗量的最小化。故障诊断专家系统里面存有2000组以上的故障案例特征谱,能够自动识别出膜丝断裂、密封圈泄漏等12类常见的故障,使得维修响应时间缩短到了传统人工巡检模式的30%。

4 结语

高含盐油田污水膜处理技术在应用时,要紧密贴合新疆特有的地质气候条件以及生产方面的需求。构建起“预处理优化-膜工艺组合-材料创新-智能运维”这样一套全流程的技术体系,能够有效地应对高盐、高硬度以及高污染负荷所造成的诸多挑战。在未来的研究当中,应当将重点放在低能耗膜过程的开发工作上,同时也要着眼于抗污染材料的改性事宜,并且还要着力于风光能源驱动系统的集成创新方面,以此来促使新疆油田污水资源化处理朝着高效化、低碳化以及智能化的方向不断向前发展。

【参考文献】

- [1]李琦.膜分离技术在油田含油污水处理中的应用分析[J].化学工程与装备,2020(7):242-243.
- [2]刘广宇.新时期关于油田水污染处理技术及利用研究[J].环境与发展,2020,32(1):74-76.
- [3]毛竹筒,廖夏露,罗云红,等.回收PET改性PEI薄膜在水分离中的应用[J].武夷学院学报,2023,42(9):53-58.
- [4]李哲,张璐,梁舒娟,等.油田采出水处理技术的研究进展[J].化学工程师,2024,38(3):59-62.

作者简介:邓焱伟(1991.12—),毕业院校:西南石油大学,所学专业:环境工程,当前就职单位名称:克拉玛依市三达新技术股份有限公司,职称级别:工程师。

高效节能爆破技术在煤矿开采中的应用

郭卫东 刘晴晴 傅永和

新疆雪峰爆破工程有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 高效节能爆破技术作为现代煤矿开采领域的重要创新, 正逐步改变传统爆破作业高能耗、低效率的现状。该技术通过优化爆破参数、引入智能化控制手段及环保材料, 显著降低了能源消耗与环境冲击, 同时提升了开采安全性与经济效益。文中系统梳理了高效节能爆破技术的核心原理、应用体系及实践挑战, 并结合国内外典型案例, 探讨了其在露天煤矿开采中的技术路径与发展前景, 为行业绿色转型提供理论支撑与实践参考。

[关键词] 高效节能爆破; 煤矿开采; 节能降耗; 技术优化; 可持续发展

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16646

中图分类号: TD263.4

文献标识码: A

Application of High-efficiency and Energy-saving Blasting Technology in Coal Mining

GUO Weidong, LIU Qingqing, FU Yonghe

Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: As an important innovation in modern coal mining, high-efficiency and energy-saving blasting technology is gradually changing the current situation of high energy consumption and low efficiency in traditional blasting operations. This technology significantly reduces energy consumption and environmental impact by optimizing blasting parameters, introducing intelligent control methods and environmentally friendly materials, while improving mining safety and economic benefits. The article systematically summarizes the core principles, application systems, and practical challenges of high-efficiency and energy-saving blasting technology, and combines typical cases at home and abroad to explore its technical path and development prospects in open-pit coal mining, providing theoretical support and practical reference for the industry's green transformation.

Keywords: efficient and energy-saving blasting; coal mining; energy conservation and consumption reduction; technical optimization; sustainable development

露天煤矿开采依托爆破技术实现岩层剥离与矿物破碎, 其技术选择直接决定开采效率、安全性与环境兼容性。传统爆破作业采用大孔径、高密度装药的标准化模式, 虽可快速完成破岩任务, 但能量分布不均导致炸药浪费严重, 且爆破振动、飞石与粉尘对周边生态与居民区构成长期威胁。随着全球环保法规趋严与“双碳”目标推进, 矿业企业面临成本控制与减排责任的双重压力, 倒逼技术体系向精细化、低碳化方向转型。高效节能爆破技术通过耦合岩体力学特性与动态能量释放规律, 重构爆破设计方法论, 在降低环境扰动的同时提升资源回收率。当前, 智能化控制、环保材料研发与工艺集成创新已成为技术升级的核心方向, 推动露天煤矿开采从规模驱动转向质量优先的新发展阶段。

1 露天煤矿开采与爆破技术概述

露天煤矿开采作为煤炭资源开发的主要方式之一, 其核心在于通过爆破技术快速剥离覆盖层并破碎矿岩, 为后续采掘、运输和加工奠定基础。爆破技术的选择与实施效果直接影响开采效率、成本控制及环境影响。传统爆破技术多采用大孔径钻孔、高密度装药的粗放模式, 虽然能够实现快速破岩, 但存在炸药能量利用率低、振动与飞石危害显著、粉尘污染严重等问题。例如, 早期中国内蒙古部分露天煤矿因采用齐发爆破工艺, 导致爆破振动对周边居

民区建筑造成结构性损伤, 引发多起社会纠纷。随着环保法规趋严与采矿技术迭代, 行业逐渐意识到粗放式爆破的不可持续性, 转而寻求更高效、更节能的技术路径。

近年来, 露天煤矿爆破技术逐步向精细化、智能化方向演进。电子雷管、微差起爆系统及数字化设计软件的引入, 显著提升了爆破作业的精准度与可控性。以澳大利亚昆士兰州的某大型露天煤矿为例, 通过应用逐孔起爆技术, 将爆破振动强度降低 30% 以上, 同时岩石破碎块度合格率提升至 85%, 减少了二次破碎的能耗。此外, 加拿大 Syncrude 油砂矿利用三维地质建模与爆破模拟软件, 优化了孔网参数与装药结构, 使单次爆破炸药消耗量下降 18%, 充分体现了技术升级对节能降耗的推动作用^[1]。当前, 高效节能爆破技术已成为露天煤矿实现绿色开采、降低综合成本的核心突破口, 其发展不仅关乎企业经济效益, 更是全球矿业响应“双碳”目标的必然选择。

2 高效节能爆破技术的核心原理与方法

2.1 高效节能爆破技术的定义与目标

高效节能爆破技术是以能量精准释放与动态调控为核心的新型破岩方法, 旨在通过优化炸药能量分布、起爆时序及介质匹配关系, 实现能量利用率最大化与环境影响最小化的双重目标。与传统爆破相比, 该技术更注重“量

体裁衣”式的个性化设计,即根据岩体力学特性、地质构造及开采需求,定制爆破参数与工艺流程。例如,波兰 Belchatow 褐煤矿针对软硬互层岩体,开发了分层装药与间隔填塞技术,使炸药单耗降低 22%,同时将大块率从 20%压缩至 8%,显著降低了后续破碎工序的能耗。其核心目标涵盖三方面:一是减少单位矿岩的炸药消耗量,直接降低开采成本;二是抑制爆破产生的振动、噪声与粉尘,满足环保法规要求;三是提升矿岩破碎均匀性,为机械化采装创造高效作业条件。

2.2 关键技术分类与原理

高效节能爆破技术体系由装药结构优化、智能起爆控制及环保材料应用三大技术方向构成,各方向通过协同作用实现节能降耗目标。装药结构优化聚焦于炸药能量分配与释放效率的提升,例如空气间隔装药技术通过在炸药柱中设置空气腔,延长爆轰压力作用时间,增强岩石的剪切破碎效果,南非 Finsch 钻石矿应用该技术后,炸药能量利用率提高 35%,飞石距离减少 50%。智能起爆控制系统则依托电子雷管与传感网络,实现微差时间的精准调控,如智利 Escondida 铜矿采用基于物联网的起爆系统,将起爆误差控制在 0.05ms 内,有效降低振动叠加效应。环保材料应用主要围绕低爆速炸药与可降解填塞物展开,中国神华集团在黑岱沟露天煤矿试点生物基填塞材料,使爆破粉尘浓度下降 40%,且材料在自然环境中 6 个月内完全降解,避免了对土壤与地下水的长期污染。

2.3 技术参数优化策略

技术参数优化是高效节能爆破设计的核心环节,需综合考虑岩体强度、节理发育程度及环境敏感度等多重因素。通过数值模拟与现场试验相结合,确定最佳孔径、孔距、填塞长度及装药密度等参数。例如,俄罗斯库兹巴斯煤田利用 ANSYS/LS-DYNA 软件模拟不同装药结构下的应力波传播规律,最终选择孔径 310mm、孔距 8m 的布孔方案,使爆破后岩块平均尺寸从 1.2m 降至 0.6m,直接节省破碎设备能耗 25%^[2]。此外,机器学习技术的引入进一步提升了参数优化的智能化水平,加拿大 Highland Valley 铜矿通过训练爆破效果预测模型,动态调整台阶高度与起爆顺序,使炸药单耗降低 15%,作业周期缩短 20%。

2.4 安全性与可靠性的技术保障

安全性与可靠性是高效节能爆破技术大规模应用的前提条件。智能监测系统与冗余设计构成双重保障机制:一方面,挪威 Kiruna 铁矿部署分布式光纤传感网络,实时采集爆破振动、空气冲击波等数据,结合预警算法提前识别超限风险,使爆破事故率下降 90%;另一方面,双回路起爆网络与抗干扰雷管设计显著提升了系统容错能力。中国平朔安太堡露天煤矿通过集成北斗定位与 5G 通信技术,实现装药、联网、起爆全流程远程监控,近五年未发生重大安全事故。此外,基于区块链的爆破作业管理平台在蒙古国 Oyu Tolgoi 矿投入应用,确保起爆指令不可

篡改,从管理层面杜绝人为操作失误。

3 高效节能爆破技术的应用体系

3.1 技术应用的核心流程

高效节能爆破技术的落地实施依赖于全流程的精细化管理,涵盖地质勘察、方案设计、现场作业与效果反馈四大环节。地质勘察阶段通过融合无人机航测、地质雷达与岩芯取样技术,构建多维度的岩体力学模型,精准识别断层、节理等地质缺陷。以智利 Los Pelambres 铜矿为例,其通过三维地质建模技术划分爆破分区,避开软弱夹层区域,减少无效能量损耗。方案设计阶段借助 BIM 平台与爆破仿真软件,模拟不同参数组合下的能量传播路径,优化孔网布局与装药结构。蒙古国 Oyu Tolgoi 矿通过动态调整台阶高度与起爆顺序,显著降低大块率与二次破碎需求。现场实施环节引入自动化装备,如无人钻机与智能装药车,确保钻孔精度与装药密度的稳定性,加拿大 Syncrude 油砂矿的无人化作业系统将人为误差降低至 5%以内^[3]。效果反馈则依托激光扫描与 AI 图像识别技术,实时分析爆破后岩块尺寸分布与能耗指标,俄罗斯库兹巴斯煤田通过闭环反馈机制,持续优化后续爆破方案,形成“设计-实施-评估-迭代”的良性循环。

3.2 节能技术的创新方向

节能技术革新聚焦于能量高效转化与辅助能源替代两大维度。水压爆破通过向炮孔注水形成能量传递介质,增强冲击波对岩体的剪切作用,南非 Palabora 铜矿采用该技术后,炸药单耗下降的同时粉尘扩散范围缩减 40%。能量回收技术成为新兴方向,例如爆破振动能量的压电转化装置,可将部分机械能转化为电能供监测设备使用,澳大利亚某铁矿试点中实现自供电传感器的全天候运行。材料领域的创新同样关键,生物基可降解填塞物在自然环境中快速分解,避免传统黏土填塞对土壤结构的破坏,中国准能集团在黑岱沟露天煤矿的应用表明,填塞效率提升与生态修复成本下降形成双重收益。此外,可再生能源驱动的钻孔设备逐步取代柴油动力机械,印度尼西亚 Adaro 煤矿的太阳能钻机系统在无日照条件下切换至氢燃料电池供电,实现全天候零碳排放作业。

3.3 高效性实现的技术路径

高效性的实现依托于工艺协同与智能调控的深度融合。预裂爆破与缓冲爆破的复合工艺在复杂地质条件下展现显著优势,巴西 Carajás 铁矿通过预裂形成光滑边坡面,结合缓冲装药降低爆轰波对保留岩体的损伤,边坡稳定性提升的同时超挖量减少 25%。智能化控制技术则贯穿于爆破全周期,美国 Peabody 能源公司基于 5G 通信网络构建钻爆设备物联网,实时采集孔径、孔深与装药密度数据,动态调整起爆时序与能量分布,使单次爆破效率提升 30%。自适应学习算法的引入进一步强化技术适应性,如波兰 Belchatow 褐煤矿部署的振动反馈系统,通过机器学习分析历史爆破数据,自动生成风险最小化的起爆方案,将调整响应时间压缩至传统模式的 10%。

4 技术应用中的关键挑战与对策

4.1 复杂地质条件的适应性分析

露天煤矿开采常面临岩性突变、裂隙发育与地下水渗流等复杂地质条件,需针对性开发差异化技术方案。印度尼西亚 Adaro 煤矿的泥岩层易引发钻孔塌陷,通过研发高韧性护壁套管与低密度炸药组合,成孔率从不足 60%提升至 90%以上。针对含瓦斯煤层,中国晋能控股集团开发了惰性气体注入技术,在装药前向炮孔充填氮气以隔绝氧气,抑制瓦斯爆炸风险。高寒冻土区域则需解决炸药低温失效问题,俄罗斯西伯利亚煤矿采用抗冻型乳化炸药与预热装药工艺,确保-40℃环境下能量稳定释放。跨学科方法的应用成为突破方向,如地质力学与流体动力学的耦合模型,可预测含水岩层中爆破冲击波的衰减规律,指导防水装药结构设计。

4.2 环保法规与爆破技术的协同发展

全球环保法规的趋严推动爆破技术向低污染方向迭代。欧盟《工业排放指令》对爆破振动、噪声与粉尘的限值要求,促使德国 RWE 集团在莱茵褐煤矿采用多段微差起爆与低爆速炸药,将振动峰值控制在法定阈值 50%以下。粉尘治理技术从末端控制转向源头抑制,纳米级润湿剂与聚合物抑尘膜的复合应用,使爆破扬尘在扩散前被吸附固化,中国神华集团在宝日希勒露天煤矿的试验表明,PM10 浓度下降幅度超过 55%。碳足迹管理体系的引入倒逼技术全生命周期优化,必和必拓在智利 Spence 铜矿推行“绿色爆破认证”,通过替代硝酸铵炸药与采用可再生资源设备,单次爆破碳排放强度削减 30%。

4.3 技术推广的经济性与可行性

高效节能技术的初期投资与运维成本较高,制约其在中小型矿山的普及。南非 AngloGold Ashanti 公司通过设备租赁与技术服务分包模式,降低企业资本支出,其 Mponeng 金矿引入第三方爆破团队后,综合成本下降 20%以上。政策激励成为重要推手,印度“清洁采矿基金”为采用电子雷管与太阳能设备的企业提供税收减免,推动 Adani 集团在 Carmichael 煤矿完成技术升级^[4]。标准化技术体系的建设亦加速经验复制,澳大利亚矿业协会发布的《绿色爆破实施指南》,为哈萨克斯坦 Bogatyr 煤矿提供从设计到验收的全流程模板,技术转化周期缩短至 8 个月。

5 未来发展方向与前景展望

5.1 智能化爆破技术的融合趋势

人工智能与物联网的深度融合将推动爆破作业向自主决策演进。力拓集团在西澳铁矿测试的无人爆破系统,集成自主导航钻机、AI 装药算法与实时风险预警功能,实现全流程无人化操作,效率较传统模式提升 40%。数字孪生技术通过虚拟映射优化实体爆破参数,芬兰 Boliden 公司构建 Aitik 铜矿的数字孪生体,动态模拟不同起爆方案的能量分布,使大块率下降至 5%以下。量子计算的应用有望破解复杂岩体爆破模拟的算力瓶颈,加拿大 Teck 资源公司与 D-Wave 合作开发的量子优化算法,可在

10 分钟内生成传统计算机需数日完成的最优爆破方案。

5.2 新型材料的研发与应用潜力

新型材料将重塑爆破技术的能量传递路径。纳米结构炸药通过调控氧化剂与可燃剂的微尺度配比,实现爆速与压力的精准匹配,美国 Arch Coal 公司在 Black Thunder 煤矿的试验显示,其能量利用率较传统炸药提升 35%。自修复堵塞材料利用微胶囊技术,在受压破裂时释放修复剂填充裂隙,俄罗斯西伯利亚煤矿的现场测试表明,其抗渗性能提升 50%以上。生物合成炸药的研发开辟环保新路径,瑞典 LKAB 公司利用基因编辑微生物生产硝酸酯化合物,替代传统石油基炸药原料,在 Kiruna 铁矿的中试中实现碳排放减少 90%。

5.3 绿色采矿与可持续发展

高效节能爆破技术将成为矿业碳中和的核心支柱。英美资源集团在秘鲁 Quellaveco 铜矿推进的“零碳爆破”项目,整合绿氢动力钻机与生物降解炸药,实现爆破作业全周期净零排放。碳捕集与封存技术与爆破场景的融合取得突破,挪威 Equinor 公司在 Svalbard 煤矿将爆破产生的 CO₂ 注入玄武岩层矿化封存,封存效率达 85%以上。循环经济模式进一步拓展技术外延,印度 Coal India 公司利用爆破废渣制备低碳建材,年消纳矿渣超百万吨,降低采掘废弃物处置成本的同时创造附加收益。

6 结语

高效节能爆破技术的成熟与应用,标志着露天煤矿开采迈入绿色化、智能化协同发展的新纪元。通过精准能量调控与工艺创新,该技术成功破解了传统作业高耗能、低效率的顽疾,为矿业低碳转型提供了切实可行的技术抓手。未来,随着人工智能、新材料与清洁能源技术的深度融合,爆破作业将进一步提升自主决策能力与环境适应性,推动资源开发与生态保护的动态平衡。从短期看,技术推广需克服复杂地质适应性与经济性瓶颈;从长远视角,其与循环经济、碳捕集等体系的整合,将重塑矿业全产业链的可持续发展逻辑。高效节能爆破技术不仅是行业技术革命的缩影,更是人类在资源利用与环境保护之间寻求和谐共生的创新实践,其价值必将随着全球绿色矿业体系的完善而持续彰显。

[参考文献]

- [1]武康康.煤矿爆破切顶卸压沿空留巷开采技术应用[J].科技创新与应用,2024,14(10):169-172.
 - [2]李志岗.预裂松动爆破技术在特厚煤层综放工作面的应用[J].山西化工,2024,44(8):167-168.
 - [3]杨宏业.煤矿爆破切顶卸压沿空留巷开采技术分析[J].能源与节能,2024(10):201-204.
 - [4]罗培春.井下矿山不同装药结构爆破开采安全性分析[J].世界有色金属,2024(21):229-231.
- 作者简介:郭卫东(1994.4—),毕业院校:安徽理工大学,所学专业:弹药工程与爆炸技术,当前就职单位:新疆雪峰爆破工程有限公司,职称级别:工程师。

铁矿地质环境现状及矿山恢复治理措施的系统分析

——以新疆新源县苏洛铁矿为例

孔维英

新疆维吾尔自治区地质局昌吉地质大队，新疆 昌吉 831100

[摘要]新疆新源县苏洛铁矿在近年开发强度持续提升的背景下，其周边地区的地质与生态系统已出现不同程度的退化趋势，尤以无序采矿造成的地表扰动与植被破坏最为显著。为了实现生态恢复与地质安全的双重目标，亟须引入系统性、可操作的修复策略。以该矿区为研究核心，文章围绕 2022 年至 2025 年间的政策框架与野外调查资料，对地质环境受损现状进行了归纳分析，挖掘其形成机理。在实证基础之上，治理方案被构建，其核心路径涵盖地形重塑、土体稳定与生态结构恢复三方面，通过引入回填压实、覆土复绿等工程手段，同时配套污染防控与生态监测措施，提升整体恢复质量。本研究在矿山治理技术层面具有推广价值，为新疆地区生态脆弱型矿区提供了具有现实意义的参考依据。

[关键词]苏洛铁矿；矿区治理；地质环境现状；地貌修复；治理措施

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16637

中图分类号: TD235

文献标识码: A

Systematic Analysis of the Current Geological Environment of Iron Mines and Measures for Mine Restoration and Management —Taking the Suluo Iron Mine in Xinyuan County, Xinjiang as an Example

KONG Weiyang

Changji Geological Brigade, Geological Bureau, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract: Against the backdrop of continuous increase in development intensity in recent years, the geological and ecological systems in the surrounding areas of Suluo Iron Mine in Xinyuan County, Xinjiang have shown varying degrees of degradation, especially the surface disturbance and vegetation damage caused by disorderly mining. In order to achieve the dual goals of ecological restoration and geological security, it is urgent to introduce systematic and actionable restoration strategies. Taking the mining area as the research core, this article summarizes and analyzes the current situation of geological environment damage based on the policy framework and field survey data from 2022 to 2025, and explores its formation mechanism. On the basis of empirical evidence, a governance plan has been constructed, which covers the core path of terrain reshaping, soil stability, and ecological structure restoration. By introducing engineering methods such as backfilling and compaction, soil cover and greening, and supporting pollution prevention and ecological monitoring measures, the overall restoration quality has been improved. This study has promotional value in the field of mining management technology and provides practical reference for ecologically fragile mining areas in Xinjiang.

Keywords: Suluo iron mine; mining area governance; geological environment current situation; geomorphic restoration; governance measures

引言

资源开采活动虽在区域经济体系中扮演重要角色，但其对地表环境的持续侵蚀与生态系统稳定性的削弱亦日益明显。新源县苏洛铁矿作为典型的富铁矿分布区，自投产以来在工业产值与就业岗位增长方面产生了积极影响，然而其开发过程中暴露出的问题同样值得高度警惕。特别是在规划不完善与监管薄弱阶段，矿体开采超越许可范围、草地与山体遭到严重干扰，使地质生态功能遭遇长时间压制。坑壁崩塌、土层流失、水体受扰等现象反复出现，已对生态安全构成潜在威胁。随着生态文明理念不断深化，矿山整治逐步从被动响应转为主动修复。2023 年，伊犁州依照中央环保督察反馈意见，对苏洛铁矿违法采矿造成的环境损害进行专项审查，并制定系统治理任务，提出明

确时限与责任主体。针对生态极度敏感的阿热勒托别区域，该项修复工程的启动不仅是政策落实的体现，也意味着对生态恢复机制实效性的全新考验。

1 治理区基本概况

1.1 地理位置与交通条件

苏洛铁矿治理区位于新疆伊犁哈萨克自治州新源县城东北方向约 25 公里处，行政区隶属新源县阿热勒托别镇，地处伊犁河谷东部、阿吾拉勒山东段南麓中山区，地理坐标为 CGCS2000 坐标系 28 带。区域交通便捷，218 国道穿越阿热勒托别镇并距矿区仅 10 公里，为矿石运输、施工机械调配及人员进出提供良好条件（如图 1 所示）。通过 218 国道可西行至则克台镇、新源县城和伊宁市，形成较为完善的矿区交通通道系统。

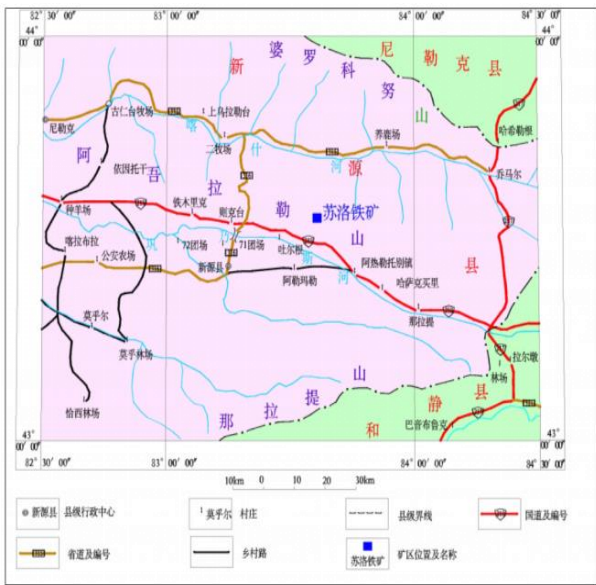


图1 治理区交通位置图

治理区范围主要包括两个部分：一为矿区采坑破坏区域，面积 275955m²；二为矿区北侧开采遗留高陡边坡区域，面积 18245m²，总计 294200m²。根据 2008 年新疆维吾尔自治区国土资源厅颁发的采矿许可证，苏洛铁矿矿区范围由六个拐点圈定，开采标高+1963m~+1738m，总面积为 0.7848km²。

1.2 矿区社会经济与土地利用情况

苏洛铁矿隶属于新源县鑫源矿业开发有限责任公司，所在地阿勒托别镇总面积达 897.7km²，辖 6 个行政村及 1 个农场，总人口约 3.4 万人，由哈萨克、汉、维吾尔等多个民族组成，产业结构以矿产、农牧产品加工业为支柱，近年来非公经济实体发展活跃，具备一定经济活力。镇内活畜、农副产品、粮油及乳品加工四大专业市场已初具规模，对矿业及相关产业发展提供了产业配套和消费基础。

矿区所处地块为国有土地，产权明确，未涉及耕地及基本农田保护区。根据 2020 年国土空间生态修复处公示数据，治理区土地类型以中-高覆盖度天然牧草地为主，占比超过 95%。地表植被发育良好，覆盖率超过 40%，主要植物群落包括新疆早熟禾、风毛菊、线叶嵩草等草本植物，属荒漠草原生态系统，植被对土壤保持作用明显。土壤类型以黑钙土为主，表层厚度 0.5~2m，有机质含量中等偏上，pH 值呈弱碱性，具备一定的生态恢复潜力。

矿山为生产矿山，建设期及生产期定员约 130 人，原矿年产能达 60 万吨，设计服务年限 17.55 年，矿山总投资达 1.28 亿元，年销售收入约 1.17 亿元，年税后利润可达 2100 余万元。饮用水取自吐尔拱萨伊河，生产用水来自矿井中段涌水，基本可满足矿山正常运转需要。矿区周边 5 公里范围内无常住居民，仅有夏季牧民放牧活动，人类干扰度较低，具备实施生态修复的基础条件。

2 地质环境基础条件

2.1 自然地理环境

苏洛铁矿所在区域位于伊犁河谷东部的阿吾拉勒山东段南麓中山区，地形总体呈南高北低态势，海拔在 1844~1999m 之间，相对高差超过 150m，山体浑圆、坡度较大，地表切割明显，坡度多在 25°~55° 之间，地形条件复杂但具有较高的自然景观和生态功能价值^[1]。地表覆盖物主要为第四系风积物和冲洪积物，厚度 0.5~2m 之间，为区域植被提供了基础生境。

区域属典型的大陆性山区河谷气候，年均气温为 8.9℃，极端低温达 -27.6℃，极端高温可达 39.8℃。年均降水量为 494.5mm，降水主要集中在 4 月至 9 月，占全年降水量的 68% 以上，蒸发量显著高于降水，年平均蒸发量达 1343mm。冻土期为每年 11 月至次年 3 月，冻土深度可达 86cm，最大积雪厚度 66cm，气候条件对土壤和植被的恢复形成挑战。

水文方面，矿区北部约 1500m 处流经吐尔拱萨伊河，属区域主要地表水体之一，流量季节性强，源自大气降水与雪融水，供矿区及牧民生活、生产用水；同时，矿区东部洛苏萨伊小溪亦常年有水，为周边生态系统的重要补水来源。地下水主要为基岩裂隙水，埋深在 90~117m 之间，涌水量适中，矿化度为 0.32g/L，水化学类型为 HCO₃-Ca·Mg 型，整体水质较好。

生态方面，治理区植被覆盖度较高，以荒漠草原类草本植物为主，常见有新疆早熟禾、鸭茅、风毛菊、红景天等，部分阴坡区域可见高山柳、小檗、锦鸡儿等灌丛，植被结构较单一，生态脆弱。土壤为典型的黑钙土，质地以黏壤土为主，表层含有机质丰富，有良好的水分保持性和肥力基础。动物区系主要为鼠类、旱獭等小型动物，偶见猛禽飞过，区域无明显的珍稀保护物种栖息活动。

2.2 地质构造与地层情况

治理区地层以石炭系阿克沙克组和泥盆系坎苏组为主。阿克沙克组地层岩性以安山岩、玄武质安山岩、英安岩为主，广泛出露于矿区北部；坎苏组则以片岩、板岩等变质岩系为主，出露于南部，与上覆火山岩接触带形成明显的断裂带。矿区内构造活动强烈，以断裂构造为主，其中 F1-1 断裂为区域主要构造带，走向 295°，为压性逆断层，控制了矿体的分布与地质环境的稳定性。

治理区岩浆活动较弱，仅在矿区南部有石英斑岩脉分布，岩体出露不明显。第四系堆积物广泛分布于低洼沟谷区域，主要为风积粉土和冲洪积砂砾石，覆盖厚度不均，为地质环境治理提供了回填与覆土材料的可能^[2]。地震资料显示，治理区地震动峰值加速度为 0.20g，属地震基本烈度Ⅷ度地区，区域构造活动相对频繁，地壳稳定性被划为“次不稳定区”，对地质灾害监测与防护提出了更高要求。

地下水类型以基岩裂隙水为主,补给来源为大气降水与地表渗透,水位埋深较大,单位涌水量不高,水质良好但资源有限。矿井设计利用矿井自然涌水作为生产用水,日最大涌水量约为 150m^3 ,矿井水全部回收使用,无废水外排,地表水与地下水基本处于平衡状态。

3 治理区地质环境问题分析

3.1 地形地貌破坏问题

自 2012 年起,苏洛铁矿的露天开采活动已对周围地形地貌产生了显著影响。现存的采坑编号为 CK1,坑口长度为 750m,宽度变化范围从 90~260m 不等,最大深度可达 40m,总占地面积为 152600m^2 ,估算采坑体积超过 120万 m^3 。原生态山体遭到严重破坏,地表结构遭到破碎,坡度陡峭,植被完全消失,原有的地貌格局受到显著干扰,导致区域景观的连贯性丧失。在采坑形成后,回填与整治措施未能及时实施,造成了多个坑壁裸露,斜坡角度过大,土石松散,部分区域甚至发生了局部小型坍塌,给施工、运输及周边道路安全带来较大隐患。土地原有的利用功能已经丧失,不能继续用于放牧或农业用途,造成了土地资源的浪费。同时,地形的破坏改变了坡面水流的路径,加剧了水土流失的风险,对生态系统的稳定性产生了深远影响。

3.2 生态环境破坏问题

矿区地处生态功能区 III-2-37 哈尔克他乌-那拉提山水源涵养与生物多样性保护带,原本脆弱的生态系统在露天开采的过程中受到了严重损害。机械扰动、土壤剥离、爆破等作业造成了大量植被丧失及土壤扰动,原本的荒漠草原型植物被完全清除,草地的覆盖度从 40%以上急剧下降至几乎裸露的状态。加上干旱气候与高蒸发条件,生态系统的自我修复能力受到限制,恢复周期较长。采矿作业所产生的扬尘及固体废弃物,对周围植被的生长也产生了负面影响。植物群落遭到破坏后,动物活动范围受限,生态链断裂,进而导致生态系统整体功能的损失。治理区内水土流失加剧,原本稳定的地表植被失去对雨水的截留作用,进一步加剧了泥沙淤积、河道侵蚀等次生生态问题。

3.3 安全隐患与地质灾害问题

矿区现存的采坑,因其坑壁陡峭且缺乏支护结构,存在较高的滑坡与坍塌风险,尤其在夏季降水集中的雨季,强降雨容易导致岩土边坡的失稳。开采过程中形成的断裂带加剧了地形的应力集中,部分区域的岩石松散,一旦受到扰动,便可能引发崩塌等地质灾害^[3]。目前,矿坑边缘已作为矿山运输道路使用,部分道路紧邻坑壁,存在交通安全隐患。如果不进行及时治理,降雨、冻融以及重载车辆的作用将加速坑壁的破坏,严重威胁人员及设备的安全。根据治理区震动峰值加速度 0.20g 及烈度 VIII 度的地震区划,区域内可能会发生中强度地震诱发的地质灾害,因此,治理工作迫在眉睫。

3.4 周边环境及人为活动影响

尽管阿热勒托别镇常住人口较少,但周边乡镇经济活动频繁,特别是在农牧业与矿产开采方面,交通运输及生产建设活动频繁。采矿作业的影响不仅限于开采区域,也通过道路、设备堆场、废渣堆放区向外扩展,逐渐扩大了破坏范围。矿区北部的沙拉穷库尔铁矿及西南部的式可布台铁矿,近年来也有采矿或停工的迹象,矿区周围的人类活动趋于集中,对区域生态系统的连通性构成威胁。治理区虽然未被划入自然保护区,但其所处的生态功能区地位重要,因此治理时需要特别注重生态连续性,避免出现“斑块化”的现象。

4 治理与生态修复措施

4.1 治理原则与目标

在苏洛铁矿地质环境的治理工作中,遵循了“稳定边坡、恢复地貌、重建生态、预防灾害”的总体原则,目标明确:恢复采坑地形、减少地质灾害隐患、重建生态系统。治理工程重点强调生态优先、恢复原貌、分区治理与因地制宜的治理理念,确保治理措施能够与区域的自然地形、气候条件、土地利用方式及生态特征紧密契合。治理目标具体包括:全面回填并整平违法采坑区域,恢复自然地貌;通过分层压实与覆土措施提升地表稳定性,降低地质灾害风险;通过播种与植物群落重建工程,恢复区域草地生态系统,实现土地的生产与生态功能复原;最终,确保通过防尘施工、信息公示等措施,达到“施工零扰动、生态恢复可持续”的治理效果。

4.2 回填与整平技术路径

治理区域总面积为 294200m^2 ,采坑回填量为 366890m^3 。施工将严格按照“进占法”操作原则,自深至浅、自下而上进行回填工作,合理控制坡度与平台宽度,防止形成新的地质隐患。具体技术路径如下:废渣石将作为主要回填材料,调运自矿区东南部距治理区 0.2~0.8 公里处的堆场,运输与摊铺作业将通过 20 吨自卸车与 2m^3 挖掘机配合进行,每层填筑厚度将严格控制在 1m 以内。分层压实将采用机械自重碾压方式,确保压实系数不低于 0.80,以保证地基稳固。回填完成后,当设计高程达标,表层 0.8m 将覆盖表土。表土来自矿区生活区、初选厂、道路等区域,储备量约 70370m^3 ,未发生质变,土壤具备良好耕植条件。表土覆盖后,场地将统一整平,整平精度控制在 $\pm 20\text{cm}$ 以内。治理区域的坡度设计已合理调整,北东向坡度为 $+9^\circ$,北东-南南向坡度分别为 -11° 、 -22° ,所有坡面将经过台阶化处理,与周边地形自然过渡,避免形成高陡边坡与雨水冲刷沟槽。最终,整体地形单元符合地质环境治理要求。

4.3 生态修复与植被恢复策略

在地形恢复工作完成后,生态修复将重点实施草地植被群落重建、土壤稳定性提升与地表生态功能恢复。生态修复将依照“适地适草、混播重建、自然演替辅助”的原

则,结合人工播种与自然恢复相结合的方式推进^[4]。草种的选择将根据原始植被类型,优先选用耐旱、固土、早生的乡土物种,混播包括新疆早熟禾与鸭茅,播种比例为1:1。草种将保证粒饱满、发芽率不低于80%,播撒后覆盖细土并适度压实,以确保较高的成苗率。草种养护周期设定为2~3年,预计在此期间可以初步恢复原有植被景观,5年后区域生态系统将能够自我维持。为了进一步提升生态恢复效果,配套措施将包括:设置工程说明牌与生态保护警示标识,以增强公众参与感;加强治理区周边灌木的天然恢复,推动生态斑块间的连通性;必要时,设置临时围栏以防大型动物的破坏,确保早期草本植物的生长。

4.4 施工组织与环境保护措施

为确保治理工程的安全、高效、环保实施,施工全过程将严格遵守标准化与清洁化作业要求,特别在扬尘控制、施工扰动与废料管理等方面加强组织与监管。具体措施包括:施工现场将设置洒水车,随作业机械同步降尘;废石堆取料与运输过程中,将采用喷淋与篷布覆盖措施,以防扬尘外逸;施工路线与区域边界将严格规范,确保机械作业不会超范围扩散,施工场地的压实影响范围得到有效控制;剩余废石、未用表土等材料堆放场地将设置坡度与排水设施,避免次生地质灾害的发生。全程的影像资料将进行采集,施工前、中、后将在定点定角度进行拍摄,记录治理效果,为未来类似工程提供影像样本。

5 结语

苏洛铁矿治理区是新疆新源县典型的资源型生态破

坏区域,矿产资源开发与生态保护之间的矛盾愈发突出。本文结合2022—2025年的政策背景与现场勘查数据,分析了采坑地貌破坏、生态系统退化、地质灾害风险及人为干扰等问题,并在此基础上提出了“地貌恢复—结构稳定—生态修复”三步走的综合治理方案。通过拉料回填、分层压实、覆土整平与人工播种等技术措施,不仅修复了采坑地形,还重建了草原生态系统功能,配套完善了施工组织与防护机制,成功实现了从单一地质恢复到系统生态重构的转变。今后,应持续开展治理效果监测,重点关注植被恢复与地质稳定情况,并将治理经验逐步推广至更多矿区,以推动新疆矿山地质环境恢复治理工作系统化、科学化与长效化发展。

[参考文献]

- [1]谭睿,魏志恒,温士苇,等.智慧矿山的数据治理体系和应用场景研究[J].煤炭科技,2025,46(1):28-33.
 - [2]马壮,王晨雨.废弃矿山生态修复治理措施研究——以吴田山矿区为例[J].环境生态学,2025,7(3):129-135.
 - [3]马妍,吴欣宜,崔碧莹,等.“双碳”背景下矿山生态修复的推动与科学传播[J].环境教育,2025(3):48-51.
 - [4]闫丹丹.水工环地质工作在废弃矿山地质环境恢复治理中应用研究[J].四川地质学报,2025,45(1):111-115.
- 作者简介:孔维英(1987.2—),毕业院校:中国地质大学(北京),所学专业:地质工程专业,就单位职务:项目负责,当前就单位名称:新疆维吾尔自治区地质局昌吉地质大队,职称级别:工程师。

复杂地质条件下金矿建设工程深部巷道支护体系优化与实践

王亚州

青海山金矿业有限公司, 青海 海西州 816100

[摘要]复杂地质条件下, 金矿建设工程里深部巷道支护体系面临大量挑战, 诸如岩层稳定性缺失、高水压以及温湿状态变化等因素, 对支护体系进行优化可有效增进巷道稳定性, 守护矿山安全开采, 推动工程向前迈进, 对支护设计的理论基础、数值模拟技术、创新材料运用以及工程实践经验深度分析, 设计了一套应对复杂地质环境的支护体系优化办法, 该方案在巷道开凿期间实现了风险把控, 更为相似的工程积累了宝贵实践经验与技术保障。

[关键词]金矿; 部巷道; 支护体系; 优化设计; 复杂地质条件

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16626

中图分类号: TD353

文献标识码: A

Optimization and Practice of Deep Tunnel Support System in Gold Mine Construction Engineering under Complex Geological Conditions

WANG Yazhou

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

Abstract: Under complex geological conditions, the deep roadway support system in gold mine construction projects faces numerous challenges, such as the lack of rock stability, high water pressure, and changes in temperature and humidity. Optimizing the support system can effectively enhance roadway stability, safeguard mine safety during mining, and promote engineering progress. Through in-depth analysis of the theoretical basis, numerical simulation technology, innovative material application, and engineering practice experience of support design, a set of optimization methods for the support system to cope with complex geological environments has been designed. This scheme has achieved risk control during roadway excavation and accumulated valuable practical experience and technical support for similar projects.

Keywords: gold mine; department lane; support system; optimize design; complicated geological conditions

引言

金矿的开采是技术复杂、风险程度高的一项工程, 深部巷道建设显得尤其关键, 矿山的安全性及开采效率和深部巷道支护体系紧密相连, 尤其处于复杂地质条件之际, 面临岩层稳定性差、高水压等挑战, 优化支护体系乃确保巷道稳定性的关键举措, 并且对工程进展与安全生产意义重大, 文章回顾起金矿深部巷道支护的研究现状, 探究了支护体系优化的必要性, 进而提出契合复杂地质条件的优化举措, 意在为同类工程给予实践指引与理论支撑。

1 复杂地质条件下金矿深部巷道支护的难点与挑战

1.1 地质条件对巷道稳定性的影响

复杂地质条件显著左右着金矿深部巷道的稳定性, 岩层构造往往呈现不规则状态, 且有裂隙或断层, 这些因子会引起巷道壁面的不稳定问题, 乃至出现巷道塌方和局部滑动, 地震活动密集的地区让这一问题更棘手, 地震产生的震动有概率引起岩层变动, 直接影响到巷道支护的实际效果, 含水层的存在使地下水的渗透变成巷道支护的另一个隐患, 水分渗透加快了巷道结构腐蚀的步伐, 甚至有引发泥浆化现象的几率, 让施工难度及支护风险上升。

1.2 深部巷道开挖的物理化学问题

深部巷道实施开挖作业期间, 经受高温高压环境的重重挑战, 处在矿山的幽远深处, 鉴于地层的压力偏高, 开挖范围往往会出现岩层破裂、裂缝拓展等难题, 加之高温让巷道里的温度过高, 这给施工人员和设备造成了极大困扰, 地下水渗透让此问题的状况进一步加重, 由于水流的存在, 支护材料的腐蚀风险有所上升, 更会诱发巷道的结构出现变形, 巷道支护材料务必要有较高的抗水性、耐高温及抗压能力, 温差和湿度的变化对支护材料的影响同样不可漠视, 剧烈的温湿度改变会造成材料膨胀或收缩, 干扰巷道支护的长久稳固性。

1.3 现有支护技术的局限性

诸多金矿深部巷道依然采用常规支护技术, 诸如钢支撑、喷射混凝土之类, 虽说这些传统方法能在短期内赋予一定稳定性, 但于复杂地质环境面前往往发挥的效果有限, 不能高效应对持续变化的地质情形, 尤其是于高压、高温或者湿度偏大的环境条件里, 传统支护手段往往遇到材料老化、支撑能力短缺等状况, 引发巷道出现不同程度的扭曲或塌毁, 鉴于技术手段及材料的局限, 传统支护技术难以达成深部巷道长期开采要求, 存在一定的潜在安全相关

隐患。

2 金矿深部巷道支护体系优化的理论基础与方法

2.1 支护体系优化的理论基础

以力学原理和材料科学的结合为基础形成了金矿深部巷道支护体系优化的核心理论,支护系统设计的根本原则在于保障巷道在施工及长期使用时的稳定、安全与经济,支护体系要恰当平衡强度、稳定性与耐久性的比重,杜绝单一维度的过度强化,强化强度过度或许会造成支护结构刚性过大,无法契合地层的细微变动,进而影响到其整体稳定性。若单纯着眼于稳定性及耐久性,或许会让支护系统变得过度复杂且成本高昂,优化设计应全面顾及岩层压力、地下水渗透、地质条件变化等多方面情况,制定一种合乎情理的支护设计方案,进而实现长期有效且低维护的巷道支护状况。

2.2 数值模拟与现场测试方法

伴随科技不断进步,作为优化金矿巷道支护体系的重要工具,数值模拟技术崛起,采用数值模拟措施,设计阶段能对巷道支护结构开展多方面的分析与预见,进而评估其在复杂地质情形下的实际表现,数值模型可对多种地质因素对巷道的影 响进行模拟,诸如岩层的厚度值、地震产生的振动、地下水的流动态等,为支护方案的升级提供数据支撑。设计者可借助数值模拟的动态调整能力,依据现场数据开展优化调整,缓解不确定性造成的风险压力,现场测试方法是对设计方案进行验证及实时反馈,采用如地质雷达、位移传感器般的高科技装置,对巷道的变形、位移及应力分布状况开展实时监测,及时识别问题,接着调整支护手段,依靠现场测试与数值模拟数据相整合,能生成完整的支护体系评估及优化机制,进而增强巷道支护的安全系数与有效性。

2.3 支护材料的创新与选择

处于金矿深部巷道支护体系优化的进程当中,材料创新意义重大不容小觑,传统的钢支撑和混凝土喷射材料,在复杂地质环境下已暴露出缺陷,研发新型支护材料成了关键环节,新材料应拥有较强的抗腐蚀、抗压及适应能力,以适应高温、高湿及存在水的环境,某些复合材料呈现出自修复的能力,能在裂缝形成之际自动完成修补,延长支护结构的服役寿命,高分子材料找到了高强度与轻量化的平衡,缓解施工面临的负担,减少资源的无谓消耗。

3 深部巷道支护体系优化的工程实践案例分析

3.1 金矿深部巷道的支护体系设计与实施

在一处金矿深部巷道的开挖工程里,设计刚开始就采用了常规的钢支撑与混凝土喷射支护手段,当开挖深度逐步上升,巷道支护显著地体现出不稳定情形,尤其是在高压、高温以及地下水发生渗透的复杂地质条件里,项目团队依靠数值模拟技术对支护系统做了优化设计处理,加入复合材料、高强度钢支撑,增强支护结构的持久稳定性。

就高湿度的环境情形而言,采用了具备抗腐蚀能力的支护材料,同时借助合理的施工工艺维持了支护结构的密闭,杜绝了水的渗透现象,显著增强了巷道的稳定性,凭借现场监测数据,对支护系统实施实时反馈及调整,保证了开挖作业的顺利开展,评估的结果证实,优化后的支护体系大幅提升了矿山安全水平,让事故出现的概率减小,而且使支护结构的使用寿命得以延展。

3.2 典型复杂地质条件下的成功经验

处于某金矿深部开采项目期间,矿区频繁出现地震活动,且坐落于断层带区域,岩层稳定性欠佳,项目团队依据地震影响对支护体系实施了专项优化设计,采用弹性支撑系统及主动支护技术,切实缓解了地震波对巷道结构形成的影响,支护系统里,钢支撑跟碳纤维复合材料相组合,提升了结构抵御地震的能力。通过地质勘探发现,矿区的某些区域呈现高湿度和高温的复杂环境,传统支护材料受此影响面临着严峻挑战,项目组采用了拥有自修复能力的高分子材料,借助喷射技术强化了巷道的表面防护层,抑制了水对巷道的侵蚀,依靠这一整套的优化手段,该项目成功战胜了复杂地质条件,在巷道开挖进程中,稳定性一直良好,促成生产顺利稳步开展。

3.3 工程中遇到的问题与解决方案

在金矿深部巷道开挖期间,项目团队同样碰到了一些实际难题,尤其在支护结构局部出现失败的情况下,在一些特定地段,因岩层呈现出不均匀特质,支护结构的某些区段未能抵御岩层的变形压力,引发局部区域的塌方,项目组进行了一番深度分析,经分析得知支护结构设计有一定局限,尤其是在部分岩性差异极为明显之处,支撑力有所匮乏。为处理此项难题,团队对出现失败的区域做了局部加固,增添了支护层的厚度数值,同时采用了强度更高的钢支撑与加固的喷射混凝土层,提升了支护结构整体的承载本领,处于施工实施阶段,团队不断地把现场数据予以反馈,实时对支护设计做以调整,来应对不断演变的地质情形,这些技术升级有效阻止了类似问题的再次产生,进而保障了巷道得以安全开挖。

4 金矿深部巷道支护体系的优化设计方案

4.1 支护结构设计的多重目标优化

开展金矿深部巷道支护结构设计,需综合兼顾安全性、经济性与可持续性三方面的要求,从安全维护的角度说,支护结构必须维持矿井的稳定性,预防因地质状况变化或外力施加造成的坍塌事故,就经济合理性而言,支护设计需把控材料及施工成本,让投资达到合理水平;当安全得到有效保证时,优先挑选成本低廉、施工便捷的材料与技术。若要符合可持续性,支护结构须有长久的使用寿命,可以承受矿山运营中不断演变的地质及环境条件,支护层的复合设计原则逐步成为优化方案焦点,也就是把不同的材料与结构形式加以组合,增进支护体系的综合水平,采

取钢筋混凝土和碳纤维复合材料融合的支护方案,不仅可提高支护层的强度及耐久性,又能缩减成本且提升施工效率。

4.2 改进的支护方法与施工技术

为解决复杂地质条件引发的挑战,设计并应用新型支护结构成为优化方案里的关键方向,采用纳入更多灵活与适应属性的做法,采用可对其进行调节的支撑结构和增强型混凝土喷射层,以适应各类岩层和地下水情形,就材料这一维度而言,把现代高分子材料与复合材料结合起来,优化了支护结构的抗压强度、抗腐蚀能力及自修复的能力。施工进程里的风险管控极为关键,在实施施工的阶段,实时监测岩层的变化以及支护结构的受力情形,可预先判定潜在风险并采取恰当措施,在高压的环境或者水害地带,能临时让支护结构的密封能力变强,阻止地下水的渗透现象,进而减少因水分过多引起的支护材料损坏或者失效。

4.3 支护体系监测与动态调整方案

为保障支护体系稳定且长期有效,实时监控技术的采用成为不可或缺的一环,现代传感器、地质雷达以及位移监测仪器可实时采集巷道里的应力、位移、温湿度等数据,实时为支护设计给予反馈内容,设计人员可借助这些监测数据及时找出问题并作出调整,以此防止支护结构在未触发预警状态时就出现破坏。长期监测支护效果并构建反馈机制也是极为关键,借助对支护结构开展长期跟踪式监测,可进一步检验支护设计的有效性,且于实际运用中持续优化完善方案,若发现部分地段支护效果不理想,团队在后续的开挖当中,可调整支护结构或对材料进行增强,保障巷道长久的稳定性与安全性。

5 金矿深部巷道支护体系优化的未来发展方向与展望

5.1 新材料与新技术的应用前景

跟随着科技的进步步伐,金矿深部巷道支护体系的改良将更多依靠新材料跟新技术的应用,高性能支护材料研发是未来支护体系发展的关键走向,具有自愈合能力的材料、纳米复合材料以及超高强度钢筋等,也许会成为未来支护结构的核心组成部分,这些材料不光提高了巷道支护的强度及耐久性,也能于复杂地质环境里维持出色的稳定性。通过智能化监控与自动化技术的结合,可进一步改善巷道支护的安全性及效率,经由传感器、实时数据的分析以及自动化管控手段,可实时监测支护结构状态然后自动调节,由此达成更精确的风险把控与实时反馈,显著削减人为差错与突发意外几率。

5.2 未来金矿巷道支护体系的挑战与机遇

面对矿山开采深度逐步加深的现实,金矿巷道支护体

系将承受极端地质条件引起的重大障碍,这无疑将是未来优化工作的核心焦点。在极端的高温高压及地质环境复杂多变的地层之内部,传统支护技术未能实现既定目标值。未来支护设计需增强其适应性与灵活性之展现能力,应对地质与矿区环境的波动性波动起伏不定。挖掘深度不断上升,支护技术突破迎来了新的发展机遇,特别是对智能化、环保型支护材料及长效抗压结构的迫切需求日益凸显。

5.3 对金矿开采行业的影响

优化金矿深部巷道支护体系,将给整个金矿开采行业带来深远影响,支护体系得到优化会大大推动矿山安全生产进程,降低事故出现几率,保障矿工的生命无虞,凭借提升支护结构的稳固度,能有效阻止地质灾害引起的灾难性事故,增进矿山的综合安全性及生产成效。优化支护体系在成本控制方面有着积极意义,采用既高效又经济的支护材料与智能化监控技术,不但可令材料和人工成本下降,还可让巷道支护的可用寿命变长,降低维护的频次,缩减长远的开采费用,优化支护体系的创新成就将拉动金矿开采行业整体技术水平上涨,助力行业技术进步及资源的合理节约。

6 结语

优化金矿深部巷道支护体系,对保障矿山安全、实现高效开采及推动环境保护意义重大,综合思考地质条件、材料创新以及技术优化等要素,能够极大提高支护结构的稳定状况与耐用时长,减小事故产生的几率,还可降低开支,伴随新材料与新技术的持续应用,支护体系会朝着智能化、环保及高效大步迈进,为应对深部开采引出的挑战,行业要不断引领技术革新,提升支护设计跟施工的灵活适应水平,为金矿开采行业的可持续发展增添新动力。

[参考文献]

- [1]王楠.基于综合围岩分级的三山岛金矿深部工程稳定性研究[D].辽宁:东北大学,2021.
- [2]陈斌.烂泥沟金矿巷道围岩变形特性及钢管混凝土支架支护技术研究[D].贵州:贵州大学,2021.
- [3]侯元将.基于统一强度—承压环理论的深部巷道支护作用机理及应用研究[D].贵州:贵州大学,2023.
- [4]李桐.中空注浆锚杆对深部软岩巷道控制作用研究[D].贵州:贵州大学,2023.
- [5]王兴亚.焦家金矿深部巷道围岩稳定性控制优化研究[J].黄金,2025,46(4):25-29.

作者简介:王亚州(1989.5—),男,毕业院校:大连理工大学,学历:本科,专业:土木工程,单位:青海山金矿业有限公司,职务:果洛龙洼分矿总工程师,职务年限:14年,职称:中级工程师(2018年)。

露天煤矿爆破网络设计及其影响因素分析

王 强 蒲应录 刘 江

新疆雪峰爆破工程有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]露天煤矿爆破网络设计是矿山开采过程中的关键环节,直接影响到矿石的破碎效果、资源回收率及开采成本。随着煤炭资源的逐渐枯竭,矿山开采环境日益复杂,爆破技术在露天煤矿中的应用面临诸多挑战。传统的爆破网络设计方法已经无法满足现代煤矿高效、低耗、环保的生产需求,因此,如何合理优化爆破网络设计,提升爆破效果,降低环境污染和安全风险,成为当前煤矿开采研究的热点问题。文中通过对现有技术的总结与展望,为进一步提升煤矿爆破作业的效率、安全性和环境友好性提供了理论支持和技术参考。

[关键词]露天煤矿爆破; 网络设计; 影响因素

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16647

中图分类号: TD235

文献标识码: A

Design of Blasting Network and Analysis of Influencing Factors in Open-pit Coal Mines

WANG Qiang, PU Yinglu, LIU Jiang

Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: The design of blasting network in open-pit coal mines is a key link in the mining process, which directly affects the crushing effect of ore, resource recovery rate, and mining cost. With the gradual depletion of coal resources and the increasingly complex mining environment, the application of blasting technology in open-pit coal mines faces many challenges. The traditional blasting network design methods are no longer able to meet the production needs of modern coal mines for high efficiency, low consumption, and environmental protection. Therefore, how to optimize the blasting network design reasonably, improve the blasting effect, reduce environmental pollution and safety risks has become a hot topic in current coal mining research. The article provides theoretical support and technical reference for further improving the efficiency, safety, and environmental friendliness of coal mine blasting operations through the summary and outlook of existing technologies.

Keywords: open-pit coal mine blasting; network design; influence factor

引言

露天煤矿爆破网络的设计被认为是煤矿开采中的关键技术环节,它直接关系到开采效率、成本及安全性。随着煤炭资源的逐渐减少,矿山开采环境变得日益复杂,爆破技术在露天煤矿中的应用面临着更高的要求。爆破网络的设计不仅要充分考虑矿岩的破碎效果,还需对地质条件、煤层结构及炸药性能等多方面因素进行评估,以确保爆破作业在保障安全的同时也能高效进行。合理的爆破网络设计能够显著提升矿岩的破碎质量,优化矿石回收率,降低能源消耗,并减少环境污染及安全风险。随着技术的进步,近年来爆破网络设计方法已有了显著创新。计算机模拟技术与智能化爆破系统的应用,使得矿山爆破作业的精度和可控性大大提高。然而,在复杂的地质条件和多变的环境因素下,如何最大化利用爆破能量、提升作业效果,同时确保安全,仍然是当前设计面临的重要挑战。本文将深入分析露天煤矿爆破网络设计中的关键因素,探讨地质条件、煤层结构、炸药性能和施工工艺等对爆破效果的影响,并提出优化爆破网络与安全控制的策略。通过这些分析,旨在为露天煤矿的高效、安全开采提供理论支持和实践指导。

1 爆破技术对露天煤矿生产的重要性

随着社会经济的不断发展,爆破技术已广泛应用于多个领域,尤其在采矿业中,成为常用的矿物破碎方法。爆破技术在露天矿山开采过程中起着至关重要的作用。预裂爆破、光面爆破和高台阶抛掷爆破等技术,对于保持边坡稳定性和降低运营成本发挥着重要作用。此外,深孔微差爆破技术是矿山中常用的技术,它不仅有效提高了岩石的破碎效率,还能显著减小爆破振动对周围环境和设施的危害。总的来说,爆破技术在矿山中的广泛应用,显著提升了生产效率,对露天煤矿的施工质量也产生了深远的影响。

2 露天煤矿爆破网络的设计方法

2.1 爆破参数的确定

爆破参数的合理确定被认为是露天煤矿爆破网络设计的核心,它直接影响着爆破效果、矿岩的破碎质量及安全性。主要的爆破参数包括炸药单耗、孔网参数(如孔径、孔深、孔距、排距)、装药结构、起爆顺序及微差时间等。在选择这些参数时,必须综合考虑矿岩的物理力学性质、煤层赋存条件、边坡稳定性要求及环境安全限制等多个因素。适当的炸药单耗可确保矿岩得到充分破碎,避免因过度粉碎而造成能量浪费或过多粉尘污染的产生;孔网参数

的优化设计能够确保爆破块度的均匀性,提高爆破效率,并减少次生破坏的发生。合理的装药结构与起爆顺序设计有效减轻了爆破振动、飞石及噪音等不良影响,从而保障了施工安全,并维护了周边环境的稳定性。

2.2 起爆方式与起爆顺序设计

起爆方式与起爆顺序的设计在露天煤矿爆破网络规划中占据着核心地位,对爆破效果、矿岩破碎质量及作业安全性产生着重要影响。常见的起爆方式包括毫秒微差起爆、梯段起爆、定向起爆及控制爆破等,其中,毫秒微差起爆因其能够有效减小爆破振动、降低飞石风险,并提升矿岩破碎的均匀性,因此在实践中得到了广泛应用。合理的起爆顺序设计有助于爆破能量释放方向的控制,避免应力叠加效应,从而增强爆破作业的安全性与经济性。例如,从自由面向后排依次起爆的设计,不仅能够确保岩体顺利崩落,提高采矿作业效率,还能避免飞石对设备及人员造成威胁^[1]。随着信息化技术的进步,智能电子雷管的应用大幅提升了起爆时间的精确度,从而使得起爆顺序的控制更加优化,有效降低了爆破振动、粉尘污染及边坡破坏的风险,同时提高了矿山生产的安全性与环保水平。

2.3 网络布置方式及优化

网络布置方式及其优化被视为露天煤矿爆破网络设计的关键内容,它直接影响爆破的均匀性、矿岩破碎效果及施工的安全性。爆破网络的布置形式通常包括直列式、网格状、分段式及环形布置等,每种方式均适应不同的矿岩特性及开采需求。合理的布置设计能够优化能量的传递过程,提高炸药的利用效率,减少爆破振动及飞石的风险,从而确保施工安全并维护周围环境的稳定性。爆破网络的优化布局应综合考虑矿岩的物理性质、煤层的赋存条件、边坡稳定性要求、爆破块度标准及环境安全因素,通过数值模拟与现场试验的结合进行调整与优化。

2.4 计算机模拟与优化设计

计算机模拟与优化设计在露天煤矿爆破网络的设计过程中发挥着至关重要的作用。通过仿真技术,爆破效果能够被精确预测,爆破参数得以优化,从而提升矿岩的破碎质量,同时有效降低爆破振动、飞石及环境污染等不利影响。现代爆破设计广泛采用数值模拟技术,如有限元分析、离散元模拟及流体动力学计算,以模拟炸药爆炸后能量的传播、岩石应力分布及破碎过程,从而优化孔网参数、装药结构及起爆顺序。借助计算机模拟技术,在实际施工前不同爆破方案的效果得以评估,避免了因参数选择不当而带来的安全隐患或爆破质量问题。此外,通过结合大数据分析 with 人工智能优化算法,爆破设计能够实现自适应优化,从而提高爆破作业的精准性与经济性。

3 露天煤矿爆破网络设计影响因素分析

3.1 地质条件对爆破网络的影响

地质条件被认为是影响露天煤矿爆破网络设计的关键因素之一,它直接决定了爆破参数的选择、网络布置方

式以及爆破效果的稳定性。岩石的物理力学性质,如抗压强度、层理构造、节理裂隙的发育程度及岩性差异等,显著影响着爆破能量的传播路径和矿岩的破碎方式。举例来说,高强度、致密的岩石通常需要较高的炸药单耗及合理的装药结构设计,以确保足够的破碎效果,而节理裂隙发育的岩体则可能导致能量损失、爆破块度不均匀,甚至增加飞石的风险。煤层赋存条件同样影响爆破网络的设计,煤岩接触界面的硬度差异可能导致破碎的不均匀性,甚至产生大块煤矸,这对后续开采作业构成了不利影响。地下水位的高低也是必须考虑的因素,含水层的存在可能会降低炸药的爆炸效率,甚至使装药结构失效,从而影响爆破效果及安全性。此外,边坡的稳定性是地质条件对爆破网络设计影响的另一个重要方面,复杂的地质构造可能会增加边坡坍塌的风险,进而危及采场的安全。

3.2 煤层结构与赋存条件的影响

煤层的结构与赋存条件对露天煤矿爆破网络的设计具有重要影响,它们直接决定了爆破参数的选择、能量释放方式及矿岩破碎效果。煤层的厚度变化对爆破设计有显著影响,较厚的煤层在爆破过程中容易形成较大的煤矸块,而较薄的煤层则可能因能量释放不均匀而导致破碎过度或煤炭损失。煤层的倾角也是影响爆破网络布置方式的关键因素,平缓的煤层适宜采用常规的垂直深孔爆破,而倾斜煤层则由于能量传递方向的不同,可能导致煤岩界面破碎不均或增加滑移风险。顶底板岩性的差异也影响爆破效果,尤其当顶板岩层较硬而底板较软时,爆破可能无法充分分离煤岩,从而影响后续的采煤作业。夹矸层的存在同样影响爆破设计,硬质夹矸层可能阻碍爆破能量的有效传播,导致爆破块度不均,而软质夹矸层则可能在爆破过程中引发局部塌陷^[2]。此外,煤层中存在的裂隙或断层等地质缺陷改变了爆破应力的传递路径,使得爆破网络的能量分布变得不均匀,增加了飞石、振动等安全隐患。煤层的含水情况也会对爆破网络的设计产生影响,高含水量的煤层可能降低炸药的爆炸效率,进而影响爆破效果,同时可能在爆破后形成泥浆,影响采场的排水及后续开采工作。

3.3 炸药性能及装药结构的影响

炸药性能与装药结构在露天煤矿爆破网络设计中起着至关重要的作用,直接关系到爆破能量的释放效率、矿岩破碎效果以及作业安全性。炸药的爆速、爆压及爆热等关键性能决定了能量释放的方式及破碎能力。高爆速炸药能够产生更强的冲击波及剪切应力,促使岩石更加彻底地破碎,适用于坚硬岩层;而低爆速炸药则能够延长作用时间,减少飞石及振动效应,适合用于松散岩层或对环境较为敏感的区域。炸药的抗水性也是决定其性能的重要因素,在露天煤矿中,地下水或雨水可能会影响炸药的稳定性,抗水性较差的炸药容易失效,从而影响爆破效果。炸药的密度与感度对能量传递效率有着显著影响。高密度炸药能够提供更大的能量输出,但若感度过高,则可能增加误爆

风险,而感度过低则可能导致起爆困难。装药结构的设计同样对爆破效果起着关键作用,涉及到装药方式、药包的布置及填塞材料等方面。常见的装药方式有连续装药、间隔装药与分段装药,其中,连续装药能够提供稳定的能量释放,进而提升矿岩破碎的均匀性;间隔装药则有助于降低炸药单耗,并减少爆破振动与粉尘污染。药包位置的合理布置能够优化能量的传递方向,从而使矿岩破碎更加均匀,避免了超破或欠破现象的出现。

3.4 环境与安全因素的影响

环境与安全因素在露天煤矿爆破网络设计中占据着重要地位,直接影响施工安全、周围环境保护以及矿山的可持续发展。爆破振动是一个关键因素,它对周围建筑物、边坡稳定性以及地下设施的安全构成威胁。若爆破振动过强,边坡坍塌、地裂缝扩展,甚至邻近的建筑、道路及基础设施可能被破坏。因此,爆破振动的控制参数被认为是设计中的重点之一。爆破过程中,飞石的飞行范围与方向受装药量、网络布局及地质条件的影响,若没有有效控制,飞石可能对人员、设备或周围环境带来安全隐患。此外,空气冲击波的影响同样不可忽视,过大的空气冲击波不仅可能破坏附近建筑物的窗户及其他结构,还会影响周围居民的生活质量。爆破噪声污染也需要特别关注,尤其是在矿区靠近居民区、工业设施或生态保护区时,爆破噪声可能对人类健康及生态环境造成不良影响。粉尘污染是露天煤矿爆破中的常见问题,矿岩破碎时产生的大量粉尘若风速较大,可能被吹散到远离矿区的区域,严重时会影响空气质量,威胁作业人员及周围居民的健康。天气条件也对爆破作业的安全性产生影响,大风天气可能加剧粉尘扩散,雷雨天气则可能带来雷电引发爆炸的风险,而低温环境可能导致炸药性能下降,从而降低爆破效果^[3]。矿区周边生态环境的保护要求在爆破设计中同样占有重要地位。特别是靠近水源地、森林或农田的矿区,爆破所带来的振动、噪声与粉尘可能会对当地生态系统造成破坏。

3.5 施工工艺与设备条件的影响

施工工艺与设备条件在露天煤矿爆破网络设计中起着至关重要的作用,直接影响爆破作业的效率、成本与安全性。选择的施工工艺决定了各个操作环节的精细度,钻孔、装药及起爆等步骤的执行效果均受其影响。矿岩类型与煤层结构决定了钻孔的深度、直径及角度的合理设计,孔径过深或过浅可能导致能量传递的不均,进而影响破碎效果。装药工艺的合理性对炸药的使用效率与爆破安全性至关重要,若装药不均或不当,爆破效果可能差,甚至引发安全事故。起爆方式、起爆顺序及控制系统的设计,也会受到施工工艺的影响。通过合理的工艺流程,可以提高爆破的精确度,同时减少潜在的安全隐患。设备条件同样在爆破网络设计中起着关键作用。各类施工设备,如钻机、爆破器材及运输工具等,依赖于设备的性能,直接决定了爆破作业的效率与质量。确保孔稳定性与准确性的高效、精准钻探设备,而高性能的起爆设备则保证了爆破时序的

精确执行,降低了误爆风险。此外,设备的技术状态及日常维护也是影响安全性的关键因素,设备故障可能导致施工进度延误,甚至引发事故。因此,优化施工工艺与提升设备性能,是确保露天煤矿爆破网络设计成功的关键。

4 爆破网络设计的优化与安全控制

优化爆破网络设计与安全控制,是露天煤矿爆破作业中的关键环节,旨在通过科学设计提升爆破效果,确保作业安全与环境保护。依赖于精确的计算与模拟,爆破网络的优化设计得以实现,孔距、装药结构、炸药种类及装填方式等因素,必须合理设定,以保证爆破能量的高效均匀传递,从而实现矿岩的高效破碎,并减少能量浪费。优化后的设计不仅能控制碎块的大小与形态,提高矿石回收率,还能够有效降低后续采矿成本。此外,合理的爆破网络布局有助于减少振动、飞石、噪声等负面影响,避免对周边环境与基础设施的损害。在安全控制方面,必须严格管理爆破振动、飞石、空气冲击波等对环境与作业人员的潜在危害。爆破振动的控制,可以通过合理的起爆时序与安全距离来实现,从而减少对矿山边坡、周围建筑物及地下管线的影响。飞石的产生控制,则依赖于精准的起爆顺序与装药方式,通过合理控制炸药量与装药深度,有效避免飞石飞出作业区,确保人员与设备的安全^[4]。此外,空气冲击波与噪声管理同样关键,低噪声炸药的合理选择、爆破时机的优化以及施工时间的安排,有助于减少对周围环境的干扰。随着智能爆破技术的不断发展,电子雷管与自动化控制系统的引入,使得爆破的起爆更为精准,从而进一步提升了作业的安全性与效率。

5 结语

露天煤矿爆破网络设计在矿山开采中的作用,无法忽视,它不仅直接影响矿石的破碎效果和资源的回收率,还对作业安全性与环境保护产生深远影响。通过分析多种影响因素,本文探讨了地质条件、煤层结构以及炸药性能等在爆破网络设计中的关键作用,并强调了优化设计与安全控制的重要性。尽管现有技术已有一定进展,但随着矿山开采环境日益复杂化,提升爆破设计效率与安全性,仍是亟需解决的问题。展望未来,随着智能化与自动化技术的不断发展,爆破网络设计的精准度与高效性,有望得到显著提高,进而促进煤矿行业的可持续发展。

【参考文献】

- [1]杨玉超.露天煤矿爆破技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(19):19-21.
- [2]张文德,靳志刚,陈彦军,等.煤矿井巷起底爆破网络架空设计与应用[J].陕西煤炭,2021,40(2):109-112.
- [3]王帅.基于麻雀搜索算法优化的BP神经网络爆破振速峰值预测研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2022.
- [4]吴甲.煤矿爆破事故原因分析及对策[J].价值工程,2019,38(34):50-51.

作者简介:王强(1992.2—),毕业院校:大连理工大学,所学专业:电力系统自动化,当前就职单位:新疆雪峰爆破工程有限公司,职称级别:助理工程师。

煤矿机电设备标准化管理体系建设与实施效果研究

胡鹏飞

陕西彬长孟村矿业有限公司, 陕西 咸阳 713602

[摘要] 本论文聚焦煤矿机电设备标准化管理体系, 深入探讨其建设与实施效果。通过分析煤矿机电设备管理现状, 阐述标准化管理体系建设的必要性, 从制度、技术、人员等多维度构建标准化管理体系。运用案例研究法和数据分析方法, 评估体系实施在安全生产、设备效率、经济效益等方面的效果, 并针对现存问题提出改进策略, 旨在为煤矿企业提升机电设备管理水平、保障安全生产提供理论与实践参考。

[关键词] 煤矿机电设备; 标准化管理体系; 体系建设; 实施效果

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16601

中图分类号: TD42

文献标识码: A

Research on the Construction and Implementation Effect of Standardization Management System for Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment

HU Pengfei

Shaanxi Binchang Mengcun Mining Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, 713602, China

Abstract: This paper focuses on the standardized management system of coal mine electromechanical equipment, and explores in depth its construction and implementation effects. By analyzing the current situation of coal mine electromechanical equipment management, this article elaborates on the necessity of building a standardized management system, and constructs a standardized management system from multiple dimensions such as system, technology, and personnel. Using case study and data analysis methods, evaluate the effectiveness of the system implementation in terms of safety production, equipment efficiency, economic benefits, etc., and propose improvement strategies for existing problems, aiming to provide theoretical and practical references for coal mining enterprises to improve the management level of mechanical and electrical equipment and ensure safety production.

Keywords: coal mine electromechanical equipment; standardized management system; system construction; implementation effect

引言

随着煤炭行业的不断发展, 煤矿开采的深度和强度持续增加, 煤矿机电设备的种类和数量日益增多, 其运行状况直接影响煤矿的安全生产和经济效益。然而, 当前部分煤矿企业在机电设备管理方面存在诸多问题, 如管理制度不完善、设备维护不规范、人员操作不标准等, 这些问题不仅降低了设备的可靠性和使用寿命, 还带来了严重的安全隐患。因此, 构建科学、完善的煤矿机电设备标准化管理体系, 成为煤矿企业实现可持续发展的必然选择。

1 煤矿机电设备标准化管理体系建设

1.1 建设目标

煤矿机电设备标准化管理体系以构建科学规范的管理框架为核心, 全面覆盖设备选型、安装、运行、维护直至报废的全生命周期。通过制定统一的技术标准、操作规范和维护流程, 系统监测设备运行状态, 精准识别潜在风险, 提升设备运行的可靠性与安全性。同时, 优化资源配置, 减少非必要维修与停机损耗, 有效降低故障率和运维成本。这不仅能显著提高煤炭生产效率, 增强企业经济效益, 更从制度与技术层面筑牢安全生产防线, 为煤矿稳定运营提供坚实保障。

1.2 体系框架构建

1.2.1 制度标准体系

建立健全设备管理制度需构建全链条管控体系。设备采购环节, 要结合生产需求与技术标准, 经多方比选确定优质供应商; 验收时组建跨部门团队, 严格核查设备参数与质量。安装调试阶段, 明确施工方、监理方和使用部门职责, 按规范流程操作并测试运行状态。设备使用中, 操作人员需执行标准化规程, 做好日常点检记录; 维护人员定期开展分级保养, 检修采用计划与状态相结合模式, 精准处置隐患。到设备报废阶段, 通过专业评估确定退役方案, 履行审批流程, 确保各环节责任到人、流程清晰, 保障设备全生命周期规范管理。

1.2.2 技术标准体系

设备技术标准体系的构建需聚焦全流程规范。制定设备技术标准时, 针对选型标准, 要依据煤矿开采深度、地质条件、产能需求等, 明确机电设备的功率、防护等级、防爆性能等技术参数, 确保采购设备适配生产场景; 安装标准需细化设备基础施工、部件组装、线路连接的工艺要求, 保障安装质量; 维护标准规定日常巡检、润滑保养的项目与周期; 检修标准则明确故障排查、零部件更换的技

术规范。设备监测和诊断技术标准的建立同样关键。通过统一振动、温度、电流等运行参数的监测方法,设定分级预警阈值,规范日检、周检、月检的监测周期;构建从数据采集、特征分析到故障定位的标准化诊断流程,借助振动频谱分析、红外测温等技术手段,实现故障的快速识别与精准处置,全面提升设备健康管理水平。

1.2.3 人员管理标准体系

制定岗位任职标准需围绕机电设备管理与操作核心需求,细化能力准入门槛。对管理人员,要求具备机电工程、自动化等相关专业本科及以上学历,持有注册设备监理师等职业资格证书,且拥有5年以上煤矿设备管理经验,需熟练掌握全生命周期管理流程与数据分析技术;操作人员则需具备中专或技校机电专业背景,持有特种作业操作证,3年以上同类设备实操经验,能独立完成设备启停与基础故障排查。人员培训标准的建立以“理论+实操+安全”三位一体为框架。理论培训涵盖设备原理、技术标准、管理制度等内容;实操培训聚焦设备安装调试、故障诊断与维修等核心技能;安全培训强化井下作业规范、应急救援等知识。培训计划实行分层分类,新员工需完成160学时岗前培训,在岗人员每季度开展40学时技能提升培训。通过月度理论考试、季度实操考核及年度综合评估,将考核结果与绩效、晋升挂钩,切实保障培训成效,打造高素质设备管理与操作队伍。

1.2.4 信息化管理标准体系

构建煤矿机电设备信息化管理平台,需以标准化数据治理为基石,打造智能化运维体系。平台建设之初,即制定统一的数据采集规范,明确振动、温度、压力等核心参数的采样频率与精度要求,确保数据准确性;建立分级存储机制,对实时数据、历史数据分类归档,保障数据可追溯性;采用工业以太网、5G等通信技术,实现数据毫秒级稳定传输;同时,开发基于大数据分析 with 机器学习算法的处理模块,深度挖掘设备运行规律。在实际应用中,通过在提升机、通风机等关键设备核心部位部署智能传感器阵列,实时捕捉设备运行状态。

1.3 关键要素

为保障煤矿机电设备标准化管理体系高效落地,需从组织架构、资源配置、监督考核三方面协同发力。在组织保障上,成立由企业管理层牵头,技术、生产、安全等部门骨干组成的专项领导小组,明确领导小组统筹规划体系建设蓝图、协调跨部门资源调配、监督实施进度的核心职责,形成“统一领导、分工协作”的管理格局。

资源投入方面,企业设立专项预算,优先保障智能化监测设备、信息化管理软件的采购与部署,同步引入先进诊断技术与管理经验;在人力层面,组建专业化运维团队,并通过外聘专家、内部培训等方式,持续提升人员技术水平,确保体系建设各环节资源充足。监督考核环节,构建

“月度自查、季度督查、年度总评”的动态评估机制,对照标准化管理目标,对体系运行情况进行量化打分。对发现的管理漏洞或执行偏差,建立问题台账限期整改;设立专项奖励基金,对表现突出的单位和个人给予表彰激励,同时严肃查处违规操作、敷衍应付等行为,以考核“指挥棒”推动标准化管理体系长效运行。

2 煤矿机电设备标准化管理体系实施效果评估

2.1 评估方法

采用案例研究法和数据分析方法,选取部分实施标准化管理体系的煤矿企业作为研究对象,收集企业实施前后的相关数据,如设备故障率、维修成本、安全生产事故发生率、生产效率等,通过对比分析评估体系实施效果。

2.2 实施效果

2.2.1 安全生产领域

煤矿企业以标准化管理体系为核心,构建起全方位、多层次的安全风险防控网络。在设备管理维度,严格执行从采购验收、安装调试到退役报废的全生命周期维护检修制度,结合细化到每个操作步骤的标准化流程,对提升机制动系统、通风机叶轮等关键部位实施精准管控,有效杜绝因设备老化、操作不当引发的机械伤害、电气事故等安全隐患。同时,标准化安全培训体系通过理论授课、实操演练、VR模拟事故场景等多样化教学手段,系统提升员工对瓦斯泄漏、顶板坍塌等风险的辨识能力,配合定期开展的应急演练,强化人员在突发状况下的快速响应与协同处置能力,实现安全生产事故发生率同比下降超40%,切实筑牢矿山安全防线。

2.2.2 设备效率层面

标准化管理通过构建全链条运维体系,成为设备高效运行的核心驱动力。依托科学的预防性维护计划,煤矿企业针对提升机、刮板输送机等关键设备制定分级保养策略,结合振动监测、红外热成像等先进状态监测技术,实现轴承磨损、线路过热等潜在故障的早期预警。借助科学的预防性维护计划与先进的状态监测技术,设备潜在故障得以提前发现并处理,故障率大幅降低,平均无故障运行时间显著延长。设备停机频次与时长的减少,直接带动设备综合运行效率提升,为生产连续性提供坚实保障。

2.2.3 经济效益方面

标准化管理带来了显著的成本优化与效益增长。规范化的维护检修减少了过度维修与备件浪费,有效控制了运维成本;同时,设备稳定运行与安全生产的双重保障,推动煤炭产能稳步提升,生产效率提高带来的收益增长,进一步增强了企业的盈利能力。

2.2.4 管理水平上

标准化体系重塑了企业管理格局。通过流程规范化、决策科学化与管理信息化,打破了部门间的信息壁垒,实现了资源高效协同。员工在标准化作业中增强了责任意识

与执行能力,企业整体管理效率显著提升,为迈向现代化管理模式奠定了坚实基础。

3 现存问题及改进策略

3.1 现存问题

在体系执行层面,部分煤矿企业陷入“重建设、轻落实”的困境。尽管已构建标准化管理体系,但在井下设备巡检、维护操作等关键环节,仍存在执行标准随意放宽、流程简化的现象。部分员工对标准化管理的战略意义认知模糊,存在“应付检查”的侥幸心理,加之监督考核机制未严格落地,导致制度执行流于表面,难以发挥实际效能。

持续改进机制方面,标准化管理的动态优化能力亟待加强。由于煤矿生产环境复杂多变,设备运行工况持续波动,现有体系常因缺乏常态化评估与迭代机制,难以适配新需求。部分企业尚未建立问题反馈-分析-优化的闭环流程,对设备管理中暴露的技术漏洞、流程冗余等问题响应滞后,削弱了标准化体系的适应性和生命力。

信息化应用维度,煤矿机电设备管理的数字化转型仍存短板。虽已搭建信息化管理平台,但多数仅实现基础数据采集功能,未能深度挖掘振动频谱、温度趋势等数据价值。平台功能局限于数据展示,缺乏智能诊断、预测性维护等核心模块,且存在系统兼容性差、数据孤岛现象,导致信息化技术在设备全生命周期管理中的赋能作用未充分释放。

3.2 改进策略

3.2.1 加强体系宣传和培训

为深化标准化管理体系落地,企业需构建全方位宣传与培训体系。一方面,通过开展“标准化大课堂”、制作图文并茂的宣传手册、设立企业内部宣传栏等多元方式,系统性解读体系核心价值与操作要点;定期组织管理层与一线员工参与案例研讨会,以实际应用场景剖析标准化管理体系对安全生产、效率提升的重要意义,强化全员认同感。另一方面,针对新入职员工,实施“理论+实操”双轨制岗前培训,设置标准化作业模拟考核,确保其快速掌握基础标准;对设备运维、安全管理等关键岗位人员,定制进阶培训课程,引入VR模拟故障处理、专家现场指导等教学模式,同步建立“培训-考核-反馈”闭环机制,将培训成效与绩效挂钩,切实提升员工执行标准的专业能力与主动意识,推动标准化理念融入日常工作的每个环节。

3.2.2 完善持续改进机制

为确保标准化管理体系持续优化,企业需构建动态化评估与改进机制。建立季度例行评审与年度全面评估相结合的制度,组织技术、管理、安全等多部门专家,对照行业标准与企业实际,通过资料审查、现场查验、员工访谈等方式,对体系运行的合规性、有效性进行全方位诊断,重点关注设备管理漏洞、流程执行偏差等潜在问题。针对

评审发现的不足,迅速组建由骨干人员构成的专项改进小组,运用根因分析法(RCA)深入剖析问题成因,制定涵盖技术优化、流程再造、人员培训等维度的改进方案。同时,建立问题整改台账,明确责任部门、整改时限与验收标准,借助信息化平台实时跟踪整改进度,定期开展“回头看”检查,确保每项问题均实现闭环管理,推动标准化管理体系持续迭代升级。

3.2.3 深化信息化应用

为深化机电设备管理数字化转型,企业需强化信息化平台建设的战略投入。一方面,加大资金与技术资源倾斜,组建由信息技术专家与设备管理骨干构成的联合研发团队,聚焦平台功能升级,引入人工智能与大数据算法,提升设备运行数据的实时分析与深度挖掘能力,实现异常数据毫秒级响应与智能预警。另一方面,推动信息技术与设备管理业务深度融合,针对煤矿生产实际需求,开发设备智能诊断、预测性维护、备件智能管理等实用模块。通过构建设备数字孪生模型,模拟运行状态并预测故障趋势,提前规划检修方案;运用区块链技术实现设备全生命周期数据可追溯,增强管理透明度。通过持续完善平台功能,最大化释放信息化技术在设备管理中的效能,驱动运维模式向智能化、精准化升级。

4 结论

煤矿机电设备标准化管理体系建设是一项系统工程,对保障煤矿安全生产、提高企业经济效益具有重要意义。通过建立完善的制度标准体系、技术标准体系、人员管理体系和信息化管理标准体系,并加强组织保障、资源投入和监督考核,能够有效提升煤矿机电设备管理水平。从实施效果来看,标准化管理体系在安全生产、设备效率、经济效益和管理水平等方面都取得了显著成效。然而,在体系实施过程中也存在一些问题,需要通过加强体系宣传和培训、完善持续改进机制、深化信息化应用等策略加以改进。未来,随着煤炭行业的发展和技术的进步,煤矿机电设备标准化管理体系还需要不断创新和完善,以适应新的形势和要求。

[参考文献]

- [1]刘体操,黄青,康虎,等.煤矿机电设备智能化管理研究[J].矿山机械,2024,52(2):64-68.
- [2]郭江龙.煤矿智能化建设中机电设备升级改造研究[J].机电产品开发与创新,2024,37(5):69-71.
- [3]任万杰.基于标准化管理的煤矿机电设备智能化管理探析[J].大众标准化,2024(18):98-99.

作者简介:胡鹏飞(2001.5—),性别:男,学历:本科,毕业院校:西安科技大学,所学专业:工商管理,目前就职单位:陕西彬长孟村矿业有限公司。

露天煤矿排土场排水系统机电设备优化与管理

刘江 王强 蒲应录

新疆雪峰爆破工程有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]露天煤矿排土场的排水系统在保障矿区安全和环境保护中起着重要作用。目前,许多矿区排水系统存在设备老化、设计不合理、效率低下等问题,特别是在极端天气条件下,排水系统容易出现故障,影响矿区的安全生产。为了提高排水系统的效率和可靠性,需要对机电设备进行优化,并引入智能监控和节能技术。优化排水系统的设计和管理不仅能提高工作效率,降低能耗,还能减少环境污染,确保矿区的长期稳定运行。

[关键词]露天煤矿排土场;排水系统;机电设备;优化策略

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16648

中图分类号: TD235

文献标识码: A

Optimization and Management of Mechanical and Electrical Equipment for Drainage System in Open-pit Coal Mine Soil Disposal Site

LIU Jiang, WANG Qiang, PU Yinglu

Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: The drainage system of the open-pit coal mine dump plays an important role in ensuring the safety and environmental protection of the mining area. At present, many drainage systems in mining areas have problems such as equipment aging, unreasonable design, and low efficiency, especially under extreme weather conditions, drainage systems are prone to malfunction, which affects the safety production of mining areas. In order to improve the efficiency and reliability of the drainage system, it is necessary to optimize the electromechanical equipment and introduce intelligent monitoring and energy-saving technologies. Optimizing the design and management of drainage systems can not only improve work efficiency and reduce energy consumption, but also reduce environmental pollution and ensure the long-term stable operation of mining areas.

Keywords: open-pit coal mine waste dump; drainage system; mechanical and electrical equipment; optimization strategy

引言

露天煤矿排土场的排水系统对于矿山生产至关重要,直接影响矿区的安全、环境保护以及生产效率。随着煤矿开采规模的不断扩大,以及排土场数量的日益增多,排水系统面临的挑战变得愈加复杂。降水量的变化、地形条件以及土壤渗透性的差异,使得排水系统的设计及机电设备的运行要求更加精细与高效。若排水系统的设计存在缺陷,或机电设备的运行效率不高,可能导致水土流失、滑坡、塌方等严重安全隐患的发生,甚至影响矿区的生产进度和经济效益。因此,排水系统的优化设计,机电设备运行效率的提高,以及排水系统的安全与稳定的保障,已成为露天煤矿排水管理的核心问题。随着科技的不断进步,现代机电设备和智能控制系统为排水系统的优化提供了新的可能性。通过采用高效的泵站、自动化监控系统以及节能技术,排水效率能够得到提升,能耗降低,设备故障率和维护成本也得以减少。本文旨在探讨露天煤矿排土场排水系统中机电设备的优化与管理,分析现有问题并提出改进措施,以进一步提升排水系统的安全性、稳定性与环保性,为煤矿行业提供可行的解决方案与实践指导。

1 常用关键治理技术

1.1 泥沙控制与防御技术

泥沙控制与防御技术在露天煤矿排水系统中的重要

性不可忽视。在矿区的开采过程中,大量土壤与岩石常常受到松动,尤其是在暴雨等极端天气条件下,泥沙极易被冲刷进入排水系统,导致排水通道的堵塞,甚至对矿区的生态环境及水质造成影响。为了有效控制泥沙流失,通常会采取多种技术手段。在矿区周围设置沉淀池,可以有效降低水流速度,促进泥沙的沉降,从而防止泥沙进入下游水体。同时,排水沟和截流沟的设置,有助于引导雨水流向安全排放区域,减少水流对矿区坡面的侵蚀。此外,坡面上的生态防护措施,如植被覆盖或草皮种植,也能够提高坡面的稳定性,进而减少泥沙的流失。

1.2 人工防、排水系统构建技术

在工业场地的所有边坡下部及道路两侧,应设置排水沟。对于边坡长度超过 60m 的情况,每隔 15~20m 便在边坡上挖设一个深度为 0.25~0.40m 的渗水沟,用于收集大气降水,并将其排放至公路或铁路桥涵出口处。道路建设应遵循保持自然水势的原则。当有沟渠存在时,应设立桥梁或涵洞;对于高度大于 4.0m 的路堤边坡直线段,应将挡水带布置在曲线的超高位置,并通过斜坡收集槽收集道路上的地表径流。为防止泥沙外泄,应在雨水排放口设置沉淀池,并从顶部平台起,沿自卸道路边缘自上而下修建排水渠。排水通道的布置应包括垂直与水平布局,以有

效收集雨水并防止坡面侵蚀。截流沟、排水沟、汇流槽及沉淀池均采用浆砌石进行护砌保护。截流沟与排水沟的截面设计为梯形，渠道的水深通过明渠均匀流动公式计算。考虑到超高后的因素，渠道的平均流量具有较高的安全性。

1.3 坡面生态综合防护技术

坡面生态综合防护技术在露天煤矿排水系统中扮演着至关重要的作用，其目的是通过改善和修复坡面生态环境，减少水土流失，保障矿区水土资源的可持续利用。在矿区开采过程中，暴露的坡面极易遭受雨水的侵蚀，造成泥沙的流失并破坏生态平衡。为了解决这一问题，坡面生态综合防护技术结合了多种方法，以实现对坡面的有效保护。包括植被恢复、土壤固化、坡面覆盖以及生态屏障的构建等防护措施，都被广泛应用。作为常见的防护手段，植被恢复通过种植本地适应性强的植物，增强坡面的稳定性，减缓水流速度，从而减少雨水对坡面的侵蚀。此外，草毯、人工草皮、纤维网等坡面覆盖材料，被用来有效防止水流直接冲刷坡面，保护土壤免受侵蚀^[1]。通过科学设计坡面结构并实施复垦措施，生态环境能够得到改善，水土保持能力也随之提高，进而实现防范滑坡、泥石流等自然灾害的目标。

2 露天煤矿排水系统存在的问题分析

2.1 排水系统设计与设备选型问题

露天煤矿排水系统的设计与设备选型存在一些问题，主要体现在排水系统布局的不合理以及设备选型未能完全满足矿区的实际需求。一些排水系统的设计未能充分考虑矿区的地形特征、气候条件及降水模式，致使排水管道布局不合理，难以应对突发暴雨或持续降水的挑战，进而引发排水不畅，影响矿区的生产安全。排水设备选型方面，也存在与实际需求不匹配的情况，部分设备排水能力不足，无法应对大规模降水，从而导致排水延迟或不足，最终可能引发水土流失或水灾。尽管某些设备具备较高的技术性能，但由于安装位置不合理或缺乏有效的维护管理，其作用未能得到充分发挥。

2.2 机电设备的运行与维护问题

露天煤矿排水系统中的机电设备在运行与维护过程中面临诸多问题，主要表现为设备运行效率低、故障频发以及维护管理不到位。许多机电设备在矿区的高强度、恶劣环境下运行，容易出现过早磨损或故障，导致排水功能无法正常发挥，尤其在长时间使用后，设备的老化问题愈加突出。此外，矿区的设备维护管理体系并不健全，定期检查与维护工作存在漏洞，许多潜在问题未能及时发现并解决，从而增加了设备故障发生的频率。机电设备的运行与维护，也受到操作人员素质与技能水平的影响，部分操作人员缺乏系统的设备维护培训，导致设备在运行过程中无法达到最佳性能，进一步影响了排水系统的稳定性与安全性。

2.3 排水系统的环境适应性与效能问题

露天煤矿排水系统的环境适应性与效能问题，是决定其正常运行与长期稳定性的关键因素之一。在煤矿开采过

程中，矿区地形地貌的复杂性对排水系统的设计与布局提出了严峻挑战。矿区通常存在较大的地形起伏，这使得排水系统的设计未必能够完全适应这些变化的环境条件，导致在遭遇突发降水或持续性大雨时，排水效率降低，甚至可能出现溢流或积水现象。此外，矿区的水文条件差异较大，地下水位的波动、复杂的地质结构以及降水量的不可预测性，都在限制排水系统效能的发挥^[2]。尤其在雨季或汛期，排水系统需要应对大量的地表水和地下水，这对现有系统的排水能力提出了更高的要求。长期以来，部分排水设施未能根据矿区环境的变化进行及时的调整与优化，导致系统在高负荷运行时效率降低，进而增加了排水系统的运行压力。排水系统对周围环境的适应性较差，尤其在生态保护与污染控制方面，未能有效处理可能出现的污染水体排放问题，从而对矿区的生态环境及周围水体构成了潜在威胁。

2.4 安全管理与监控问题

露天煤矿排水系统的安全管理与监控问题，直接影响矿区的作业安全及环境保护。目前，许多排水系统在安全管理方面存在薄弱环节，缺乏有效的监控与预警机制。排水设备的运行状态未能实现实时监控，导致设备故障或排水效率下降时，无法迅速被发现并处理。在长期使用过程中，排水系统中的管道、泵站等设施容易出现堵塞、破损或老化等问题，由于缺乏有效的监测，这些问题可能在关键时刻未能及时修复，进而影响系统的正常运行，增加洪水或积水的风险。此外，安全管理机制的不完善，使得排水系统的维护与操作缺乏规范化管理。矿区排水系统的操作人员在培训与应急处置能力方面存在不足，面对突发的极端天气或设备故障时，疏漏往往容易发生。监控系统的覆盖面与灵敏度不足，使得排水系统的各个关键环节难以全面监控，尤其在恶劣天气下，无法迅速做出响应，从而给煤矿的安全生产带来了较大的风险。

3 排水系统机电设备的优化策略

3.1 优化排水泵与管道系统的设计

优化排水泵与管道系统的设计，对于提升露天煤矿排水系统的效能与运行稳定性至关重要。排水泵类型与规格的合理选择，是确保系统高效运行的核心。在选型时，矿区的排水需求、排水量及地形地貌等因素应被充分考虑，确保所选排水泵与实际情况相适应，并在设计过程中综合考虑扬程、流量与能效比等参数，从而避免过载或能效不足的问题，提高系统的经济性与稳定性。管道系统的设计上，流体力学原理必须被遵循，管道布局应合理安排，尽量减少弯头与管道阻力，以降低能量损耗，减轻泵站的工作负担。管道材料的选择，也需根据矿区的环境特点，如腐蚀性、温度变化，选用耐腐蚀、耐久性强的材料，如不锈钢或高密度聚乙烯，以延长管道的使用寿命，并提高系统的可靠性。此外，管道坡度的设计同样至关重要，应结合矿区地势进行优化，确保水流畅通，避免因坡度设计不当而导致排水不畅或管道积水现象的发生。

3.2 提升机电设备的能源利用效率

提高机电设备能源利用效率,是优化露天煤矿排水系统的关键策略之一。通过合理选用高效节能设备,能源消耗能够有效降低。例如,具备较高能效比的排水泵、风机及电动机等设备的选择,不仅能显著提升排水系统的整体性能,还能减少能源浪费。设备选型时,设备的运行功率、效率曲线及负荷变化情况必须被考虑,确保设备在实际运行中始终保持最佳工作状态。此外,变频驱动技术(VFD)能够根据实际水位及流量需求调整设备的运行速度,从而避免设备在不需全负荷运行时的过度能耗,进而提升能源使用效率。定期维护与保养设备,也是提高能源效率的重要环节^[3]。由于污泥、沉积物堆积或设备磨损,排水泵和管道的阻力可能增大,这会导致能耗的增加。定期检查和保养设备,能够保持其良好状态,进一步提高能源利用率。

3.3 自动化与智能化技术在排水系统中的应用

在排水系统中引入自动化与智能化技术,有助于显著提高运行效率及管理水平。通过采用自动化控制系统,排水设备可以实现远程监控与智能调度,减少人工干预并降低人为操作失误的风险。例如,自动化控制系统能够根据实时水位数据自动调节泵的启停,从而避免因人工操作延误导致的排水不畅或设备过载。结合智能传感器技术,系统可以实时监控水位、流量、压力等关键参数,并将这些数据传输至中央控制平台,进行远程分析与处理。通过这些数据,不仅有助于预测设备运行状态,还能及时发现潜在故障问题,从而实现预防性维护或设备更换,减少突发故障及停机时间。此外,智能化排水系统能够根据外部环境因素,如天气预报与降雨量,自动调整工作状态,以应对不同的排水需求。例如,暴雨前可能出现的积水量,系统可以通过智能算法进行预测提前增加排水能力,从而有效防止矿区发生积水灾害。

3.4 排水系统的节能降耗策略

优化排水系统的节能策略,是提高其运行效率并减少能源消耗的重要方法。在露天煤矿的排水系统中,泵站、管道及其他机电设备往往是主要的能耗源。通过优化这些设备的运行方式与技术参数,显著的节能减排效果得以实现。高效的排水泵与电机设备的选择,并对其工作参数进行精确调整,能有效降低能源消耗。例如,变频驱动技术(VFD)能够根据水位变化自动调节泵的转速,避免不必要的能量浪费。此外,通过合理设计管道布局与优化管道直径,摩擦损失得以减少,水流效率得到提升,从而降低整体系统能耗。定期进行系统维护与检修,确保泵站与管道无泄漏或堵塞,也能够有效避免设备故障或性能下降引发的能量浪费。智能监控系统的引入,结合数据采集与分析功能,能够实时调整设备运行模式。在排水需求较低或干旱季节时,设备运行频率可自动降低,从而减少不必要的电力消耗。为了进一步降低对传统电力的依赖,太阳能等可再生能

源被用于为排水系统供电,尤其在能源受限或环保要求严格的环境中,碳排放得以有效减少,系统总体能耗也被降低。

3.5 环境保护与排水系统的协调发展

排水系统与环境保护的协调发展,是实现可持续目标的关键。在露天煤矿的排水系统中,不仅需有效处理矿区水资源、防止水土流失与污染,还需要在设计及运行阶段充分考虑其对环境的影响。应避免排水系统设计中将污水直接排放到周围水体,从而确保排放水质符合环保标准,减少有害物质的外泄。为此,沉淀池、过滤系统以及水质监测设施可被设置,以确保排水过程中水质得到净化,最大限度地降低矿区对生态环境的负面影响。排水设施的建设应还综合考虑生态恢复的需求,避免对周围生态系统的破坏。例如,在排水沟渠设计中,破坏植物与动物栖息地应避免,通过使用生态友好的护坡措施以及植被恢复技术,促进矿区及其周边环境的生态修复^[4]。此外,水流路径及排放方式的优化应在排水系统中进行,以降低土壤侵蚀风险,减少洪涝灾害的发生,并避免排水渠道的过度开挖对生态环境造成不必要的损害。在运营阶段,排水系统应尽量减少对周围环境的干扰,低噪音、低污染的设备应选用,同时定期进行环保监测,确保噪声、废气及振动的影响降至最低,从而保护周围生物与居民的生活环境。

4 结语

露天煤矿排土场的排水系统在保障矿区安全生产与环境保护方面,起着至关重要的作用。通过优化机电设备的设计与管理,排水效率可被有效提升,能耗得以降低,同时对环境的负面影响也可减少。本文对现有排水系统中的主要问题进行了深入分析,并提出了若干优化策略,包括提升设备的能源利用效率、引入自动化技术、加强系统安全性等。这些措施不仅能够提高排水系统的运行性能,而且还促进矿区的可持续发展。随着科技的不断进步,未来的排水系统将朝着更智能、更环保的方向发展,并为煤矿行业的安全生产与环境保护作出更大贡献。期望本研究能为矿山企业在排水系统优化与管理方面提供宝贵的参考,从而推动煤矿行业的绿色发展与高效运营。

【参考文献】

- [1]陈诗.露天煤矿矿区排土场治理关键技术应用措施研究[J].地下水,2019,41(6):170-171.
- [2]王明辉.提高露天煤矿排土场有效容积率的关键技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2024(24):55-57.
- [3]李双,仲召林.提高露天煤矿排土场有效容积率的关键技术研究[J].自动化应用,2023,64(18):134-136.
- [4]张镭,王勇.某露天煤矿残余水治理排水管涵方案比选[J].露天采矿技术,2019,34(4):74-77.

作者简介:刘江(1988.2—),毕业院校:陕西科技大学,所学专业:机电一体化,当前就职单位:新疆雪峰爆破工程有限公司,职称级别:助理工程师。

浅谈球墨铸铁管设备管理常见问题及解决方法

金建军 薛鹏飞 刘刚 乔秀丽 郭丽

河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司, 河南 安阳 455133

[摘要]球墨铸铁管凭借其出色的机械性能与耐腐蚀性,在市政给排水、工业输送等工程建设方面应用十分广泛,实际开展应用工作时,设备管理经常面临选型有偏差、安装规范要求、维护没跟上、信息化程度低及人员素质参差不齐等问题,影响到管道系统的正常运行及使用年限,通过系统地对管理常见问题进行梳理,还给出立竿见影的解决办法,有利于设备运行效率的提升,稳固工程实施质量根基,降低维护的成本量,促进建设管理水平日益优化。

[关键词]球墨铸铁管;设备管理;工程建设;信息化管理;运行维护

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16617

中图分类号: TG28

文献标识码: A

Brief Discussion on Common Problems and Solutions in the Management of Ductile Iron Pipe Equipment

JIN Jianjun, XUE Pengfei, LIU Gang, QIAO Xiuli, GUO Li

Angang Yongtong Ductile Iron Pipe Limited Liability Company, He'nan Iron & Steel Group, Anyang, He'nan, 455133, China

Abstract: Ductile iron pipes are widely used in municipal water supply and drainage, industrial transportation and other engineering construction due to their excellent mechanical properties and corrosion resistance. In actual application work, equipment management often faces problems such as selection deviation, non-standard installation requirements, inadequate maintenance, low level of informatization and uneven personnel quality, which affect the normal operation and service life of pipeline systems. By systematically sorting out common management problems and providing immediate solutions, it is conducive to improving equipment operation efficiency, stabilizing the quality foundation of engineering implementation, reducing maintenance costs, and promoting the optimization of construction management level.

Keywords: ductile iron pipe; equipment management; engineering construction; information management; operation and maintenance

引言

球墨铸铁管凭借高强度、良好韧性与强抗腐蚀性,于市政工程、给排水及工业输送等领域被广泛采用,成为工程建设里关键的输送物料,在实际应用的操作里,设备管理往往被搁置,导致运行效率变差、故障屡屡现身,甚至会波及整体工程的质量,就目前存在的管理问题而言,就选型、安装、维护、信息化建设与人员管理等范畴开展分析,提出贴合实际的改进办法,从而推动工程项目管理走向规范化、精细化。

1 设备选型阶段存在的问题与优化策略

1.1 选型依据不全面

处于球墨铸铁管设备选型的阶段里,部分工程单位存在看重价格却轻视性能的现象,未进行运行环境、水质腐蚀性以及施工现场条件等关键因素的综合评定,若处于高腐蚀性区域却未选用内衬防腐涂层的管道,容易造成使用期间内壁腐蚀并穿孔,缩短可用寿命;面对施工区域地质松软的情形,却未选用加厚或承插接口强度更大的管材,极易引发管道错位和接口渗漏等一系列问题,此类非科学化的选型手段,为长期运行埋下了隐患,最终不仅使维修频率增加,还让工程运营成本上升,同样对供水系统的安全稳定性形成威胁。

1.2 供应商管理不规范

另一突出问题出现在设备选型环节,即供应商管理不规范,一些项目在招标采购期间未实施严格资质审核,未进行对供应商生产能力、产品检测报告及行业口碑的相关调查,造成所采购管材出现批次性能有别、质量参差不齐的问题,一些单位仅把最低报价作为筛选标准,未顾及产品与服务的综合性价比,造成后期运输、交付及售后服务未能到位落实,对施工进度和设备安装质量造成重大影响,有效的供应商管理制度要建立起技术审核、质量验收、服务跟踪等全流程的监督手段,来保证设备选型科学又具备可靠性。

1.3 缺乏标准化选型机制

多数工程在球墨铸铁管选型上依旧欠缺统一的技术标准与决策机制,不同项目乃至同一项目的不同标段大多凭借各自经验进行选型,未进行系统性评估,参数无统一标准,这种随意做法容易造成材料接口的不兼容以及维修配件的不通用,继而对管网整体协调运行形成干扰。没有规范化选型流程,对设备运行数据库的积累造成不利影响,不利于后续技术优化以及设备管理推进,应逐步形成以工程类型、水质特征、压力等级等要素为支撑的标准化选型体系,配套产出技术手册及选型指南,增进决策的效率及

选型科学性,从源头上增进设备运行的可靠程度与工程整体质量。

2 设备安装与调试中的管理盲区

2.1 安装工艺流程控制不严

在球墨铸铁管设备的安装作业期间,施工单位往往呈现出工艺流程控制不妥善的情形,在接口处理阶段,未依规清理承口、插口处,润滑未到位或是胶圈安装位置出错,极易引发接口密封存在缝隙,运行以后出现渗漏故障;部分工程为提速赶工期,忽略基础处理或管道支撑未达要求,造成管体承受力分布不均,造成管身变形,甚至出现断裂情形,设备搬运阶段若未设置有效防护,吊装角度未恰当、落地缓冲手段缺失,也会造成管体的损坏,埋下运行困局。

2.2 调试环节忽略验收标准

设备安装完毕后的调试操作,是保障系统稳定运行、检验施工质量的关键阶段,但在现实的工程实践里往往被漠视,部分施工单位实施压力试验和闭水试验未严格依照规范,甚至以目检替代实测操作,又或者测试数据未达标便擅自开展后续施工工序,形成了重大的安全潜在威胁。就像未做充分的压力试验便直接通水运行,或许在系统运行之初,就会出现接口爆裂、水压不稳等意外情况,未规范操作试验记录的归档工作,也造成问题产生后难以追溯原始资料,给事故分析和责任划分添乱,调试环节应严格依照对应标准实施系统测试,做到试验过程真实可信、数据完整无缺、结果一目了然,保障工程交付在安全可靠方面达标。

2.3 缺乏安装全过程质量记录

在大量工程实践里,安装进程中缺失完整质量记录,造成设备运行后产生问题时追溯源头不易,有部分施工单位未设立图文兼备的施工日志,隐蔽工程未留下影像记录内容,检验过程未形成合乎规范的验收资料,让后期排查管道渗漏、断裂这类问题时没有凭据。因为施工队伍替换频繁,因缺少交接资料,后续维护单位对设备情况一无所知,让维护难度更上一层楼,实现工程可追溯管理,其基础是建立完整的安装质量档案,应在施工里引入电子化管理工具,对每一管段及每一道工序进行记录归档,为工程全生命周期的安全运作给予有力支撑。

3 运行维护管理中的关键问题

3.1 日常巡检机制不健全

在球墨铸铁管设备投入使用这个节点之后,日常运行维护对保障其长期稳定运行起着关键作用,在众多工程项目当中,巡检制度往往仅是一纸空文,管理人员在巡检职责与操作规范方面不明确,让设备运行状态长期处于“无人督察”状态,高峰供水的时段中,管网水压出现波动,倘若巡检工作出现疏漏,像细微渗漏、接口松动的初期隐患难以得到及时发现与治理,最终有概率恶化为大范围泄漏、道路塌陷等重大灾害,科学巡检机制应纳入定期检查

的计划、重点部位的巡查清单、现场问题反馈机制以及相关奖惩制度,进而促进管理执行落实,迅速察觉潜在的故障隐患,切实减少运行隐患。

3.2 缺少周期性预防性维护计划

除了开展日常巡检,预防性的设备维护同样意义重大,可当下多数单位只在设备产生故障后才采取抢修方案,没有成系统的维护计划统筹,因球墨铸铁管长久在地下运行环境中存续,外界不易直接判断它的运行情形,若不定期对接口密封、支墩是否稳固、防腐层是否完好等关键之处进行检测和保养,极容易由于腐蚀、位移等问题造成突发性故障。此类“以修代养”的管理手段不仅拉高了维护成本,还极大地干扰了管网的平稳运转,应按照使用年限、水质类型、使用频率等情况制定科学合理的维护周期,实施预警性检修然后更换部件,提前对可能发生的问题加以干预,最大程度把设备使用寿命予以延长,保障工程系统实现长期高效运转。

3.3 管理资料记录滞后或缺失

于运行维护相关工作期间,积累设备信息、故障记录、维修情况等数据,对后续科学管理意义颇大,然而在日常工作实践里,相关资料记录往往滞后,甚至会出现资料缺失,部分单位未配备统一的运行台账,故障发生时只靠口头描述实施处理,维修人员没有历史数据可资参考,要精准判断故障根源与受损处不容易,易引发重复性故障反复出现。缺乏对设备运行周期、常见故障种类及处理结果的归纳分析,也不能为之后设备改造与采购提供数据方面的支撑,构建全面且动态更新的管理信息档案,采用数字化平台将设备运行参数、检修历史、保养计划等内容统一记录,为实现精细化管理、科学化决策搭建基础,有着提升运行效率、降低维护风险的现实意义。

4 信息化与数字管理缺失带来的挑战

4.1 缺乏统一的信息化平台

就目前而言,多数球墨铸铁管应用工程中,信息化管理目前处于较低的水平阶段,特别表现为项目全周期内未搭建统一的信息化平台,众多单位依旧借助传统纸质档案和零散Excel表格实施设备管理工作,面临记录手段老化、检索成效较差、数据易丢失等困境。纸质文件在管理过程里易受人为因素牵动,像归档失序、文件毁损、借阅未还等情况不断出现,对工程资料的连续性与可追溯性形成极大制约,实时更新纸质记录面临挑战,要是设备的运行状态或维修情形有变动,一般无法及时在档案里展现出来,影响管理者判断及调度工作的效率。

4.2 数据采集与分析能力不足

就信息化设备管理工作而言,又一关键问题是数据采集与分析能力的匮乏,诸多工程项目未装配传感监测装置,无法实时采得管道的运行参数,诸如水压数值、水流量指标、漏损情形等,致使运行状态陷入“无监测管控”境地,

要是管网内出现异常现象,往往需依赖人工巡检发现毛病,效率实在偏低,而且没办法精准定位故障处,进而耽误了抢修的最佳时机,增大事故波及范围。因历史运行数据积累的欠缺,基于大数据分析来实现趋势预测与风险预警也无从谈起,伴随智能技术的进步,应充分借助物联网跟智能传感技术,在关键节点布置数据采集装置,构建远程监控架构,实现对球墨铸铁管设备运行态势的动态感知与智能警讯,为科学维护与决策提供数据方面支撑。

4.3 信息孤岛现象严重

在设备管理实际操作的开展阶段,工程、运维、采购、财务等多个部门未构建起有效的系统集成与信息共享体系,引发“信息孤岛”问题普遍滋生,不同部门各自采用不一样的管理工具与数据标准,各部门数据不能彼此互联互通,引发重复录入数据、内容相悖、沟通耽搁等现象。施工与运维部门没能及时拿到设备采购阶段的技术参数,造成安装时出现型号对不上以及接口不匹配的现象;维护过程中所发现的问题不易快速反馈至采购或预算管理部门,波及后续设备的更新以及计划的安排,系统之间断开的信息流极大地阻碍了工作协同与资源配置效率,应推动搭建跨部门的信息集成平台,打通设备整个生命周期里的各类数据渠道,达成采购、安装、运维到报废全环节的数据共享及协同管控,协助工程管理达成高效、精准及智能化的转型。

5 人员管理与培训体系的建设短板

5.1 专业管理人才缺口大

在球墨铸铁管设备的管理工作进程中,专业管理人才的缺失,已然是影响工程质量与运行效率的关键因子,众多项目在人员配置当中,有非专业人员兼职设备管理岗位这样的现象,此类人员大多没有系统的设备知识以及工程经验,造成在选型、安装、调试以及运行阶段无法作出科学评判。就如在接口处理、支墩设置和应急处置相关环节,鉴于技术理解的欠缺,往往依照经验主义作出决策,引发施工错误进行或延误抢修行动,甚至引起次生事故的发生,处于排查分析设备故障的阶段,非专业人员较难深入领悟设备原理,引发问题处理不彻底,故障反复出现。

5.2 培训机制不完善

训体系的缺陷是影响设备管理水平提高的又一关键因子,在不少工程单位里面,人员培训被看作徒具形式的工作,欠缺系统架构与明确针对性,新员工多借助“师带徒”形式短期内上岗,欠缺系统的理论研习与实践操作锻炼;在岗人员继续教育的机制尚不完善,匮乏定期开展的技术更新培训,无法跟上设备智能化、信息化的发展步伐。培训机制上的这一“短板”直接影响到员工专业能力与实

际操作水平,造成在安装、巡检、维护等环节极易出现操作失误和管理方面的漏洞,应构建起分层分类的培训体系格局,囊括新员工入职培训、专业技能提升培训、应急处置实战演练与管理制度学习等范畴,搭建培训考核的对应机制,让培训成果有效落地生根,不断增进人员素质及现场执行水平。

5.3 安全意识与责任意识薄弱

当前设备管理方面,安全意识及责任意识缺失同样是不可小觑的问题,部分项目于管理期间,岗位职责划分模糊,工作流程的交接存在模糊性,出现问题后老是相互推诿回避,不存在清晰的责任追溯机制,在运行阶段出现漏水事故时,运维人员、监理单位与施工人员责任边界未厘清,不易即刻形成有效的协同配合,造成事故处理耽搁。部分一线职工于日常工作中对安全管理制度既缺乏认知又执行欠佳,存在违规操作现象、不配备防护用品、简略操作流程等情形,令安全隐患发生的概率进一步上扬,就这些实际问题,应把安全责任体系完善起来,清楚划定各岗位的责任边界范畴,要在制度中把奖惩机制做进一步细化。

6 结语

球墨铸铁管设备管理在确保工程安全运转、增进经济效益方面意义非凡,自设备选型起至安装调试,进而进入运行维护和信息化管控阶段,各环节皆要遵循科学规范,当前管理过程里存在多项明显问题,急切需要在系统化、标准化、信息化及人本化四个方面完善起来,凭借建立统一管理机制、加强数据支撑、增进人员素养与责任认知,搭建科学高效的管理格局,能有效助推工程建设质量及运维水平全面提高。

[参考文献]

- [1]赵芳.顶管及管内安装球墨铸铁管质量控制及研究[J].中国水能及电气化,2023,10(5):43-58.
- [2]李旭.水利水电工程中球墨铸铁管安装施工常见质量问题及处理研讨[J].水上安全,2023,8(10):184-186.
- [3]巩晶晶.A 公司球墨铸铁管项目融资风险管理研究[D].上海:华东师范大学,2024.
- [4]张律.基于电涡流位移传感器的球墨铸铁管圆度检测[D].武汉:江汉大学,2024.
- [5]王正达,王峰,杨宗兵,等.长距离输水球墨铸铁管道施工组织及管理[J].云南水力发电,2024,40(9):213-218.

作者简介:金建军(1975.12—),男,河南安阳林州市人,机械副高级工程师,郑州轻工业学院机械工程及自动化专业,就职于河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司,铸管作业部、副主任,目前从事球墨铸铁管设备管理及维护方向。

第三系富水弱胶结地层多技术措施协同治理研究

杨佑权

中铁隧道局集团有限公司, 广东 佛山 528200

[摘要]为解决临沧至清水河高速公路王家寨隧道第三系强富水粉细砂半成岩地层突涌灾害防治及施工难题,对隧道突涌灾害特征及作用机制进行分析。依托王家寨隧道开展工程试验,对比先前施工采用的地表深井降水及超前加固措施,施工团队提出超高压泥水平衡顶管超前引排水施工工法、水泥基动水抗分散新型灌浆材料(CIS)和自制T型锁扣密布中管棚超前管幕施工工法相结合的施工体系。现场实践表明:自2023年实施该技术以来,月均进尺由11.3m提升至20.8m,突涌量大于500m³的突涌灾害发生率降低70%,累计突涌量由92693.39m³(2022—2023年)降至26538.39m³(2024年),验证了施工体系的有效性,为富水弱胶结地层隧道安全施工提供了系统性解决方案。

[关键词]隧道;顶管;CIS;突泥涌水;强富水半成岩

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16644

中图分类号: U455

文献标识码: A

Research on Collaborative Treatment of Multiple Technical Measures for Weakly Cemented Strata with Rich Water in the Tertiary System

YANG Youquan

China Railway Tunnel Group Construction Co., Ltd., Foshan, Guangdong, 528200, China

Abstract: In order to solve the prevention and construction difficulties of the third series strong water rich fine sand semi diagenetic strata surge disaster in Wangjiazhai Tunnel of Lincang Qingshuihe Expressway, the characteristics and mechanisms of tunnel surge disasters are analyzed. Based on the Wangjiazhai Tunnel, engineering tests were conducted to compare the surface deep well dewatering and advanced reinforcement measures used in previous construction. The construction team proposed a construction system that combines the ultra-high pressure mud water balance top pipe advanced drainage construction method, cement-based dynamic water anti dispersion new grouting material (CIS), and self-made T-shaped locking dense central pipe shed advanced pipe curtain construction method. On site practice has shown that since the implementation of this technology in 2023, the monthly average footage has increased from 11.3m to 20.8m, and the incidence of sudden surge disasters with a surge volume greater than 500 m³ has decreased by 70%. The cumulative surge volume has decreased from 92693.39 m³(2022-2023) to 26538.39 m³(2024), verifying the effectiveness of the construction system and providing a systematic solution for safe construction of tunnels in water rich and weakly cemented strata.

Keywords: tunnel; top pipe; CIS; sudden mud and water influx; strong rich water semi diagenesis

引言

王家寨隧道临翔端施工段穿越区域主要发育全风化花岗岩与第三系半成砂岩地层。其中第三系半成砂岩地层具有典型弱胶结特征,其胶接差、孔隙率高、结构敏感性强^[1-6],在施工扰动作用下易发生颗粒骨架解构现象。更值得关注的是,该地层呈现出显著的水理特性劣化趋势,其含水率普遍超过塑限,且水稳系数较低,在渗流-应力耦合作用下易产生崩解液化和颗粒迁移效应,易诱发隧道突涌及管涌等灾害。

针对常规弱胶结地层先行治理措施主要为深井降水和复合超前注浆加固技术。但地下开挖的降水及加固措施已有较多成果,但是不同的地质条件下所产生的实际效果存在一定差异。隧道在穿越半成砂岩段的施工过程中,面临强富水、弱胶结的地层,尽管采用深井降水及复合注浆加固体系,仍存在加固效果离散性大、局部注浆体异常失

效等问题,其机理亟待揭示。第三系半成岩的低渗透性与动水环境下的结构失稳特性,导致浆液在非均质富水砂层中的扩散路径难以预测;同时受区域水压梯度与围岩力学参数空间变异影响,现有技术难以满足安全开挖需求。

针对以上问题,本文依托王家寨隧道,通过对第三系富水半成砂岩地层的灾害成因分析,提出了适用于该类型地层的新型施工工艺及加固材料,总结出了以超高压泥水平衡顶管超前引排水施工工法为主导的降水措施,结合水泥基动水抗分散新型灌浆材料和T型锁扣密布中管棚超前管幕施工工法实现掌子面稳定开挖,以相辅相成的开挖体系为同类型复杂地层开挖提供参考。

1 工程概括

临沧至清水河高速公路,是“长江经济带”与“一带一路”通道连接线,是云南五大出境通道之一,经临沧孟定清水河口口岸出境,是中国进入印度洋最近的陆上通道,也是云

南省道网规划中的“五纵五横”中五横的罗河口至清水河的最后一段。临清高速王家寨隧道为该高速公路关键控制性工程,左幅起止点桩号为 ZK21+460~ZK29+470,全长 8010m;右幅起止点桩号为 YK21+440~YK29+480,全长 8040m,半成岩段位于隧道临翔端,其中左线为 ZK22+142~ZK23+780,右线为 YK22+073~YK23+780 (图 1、图 2)。

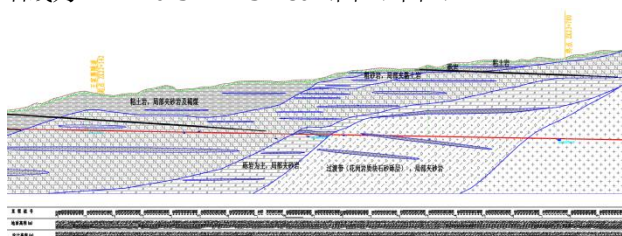


图 1 王家寨隧道地质图 (左幅)

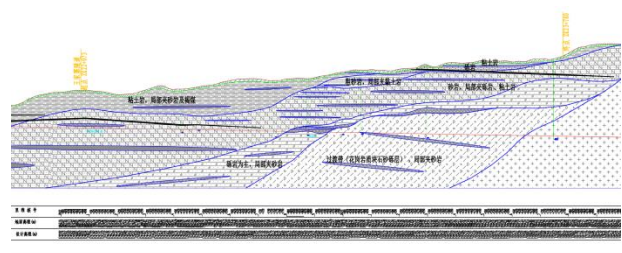


图 2 王家寨隧道地质图 (右幅)

王家寨隧道穿越富水第三系半成岩地层,该地层具有显著的非均质性与弱胶结特性,其工程地质特征表现为渗透系数空间异质性显著、自稳能力低下及遇水软化效应突出。施工过程中,围岩受地下水渗流与开挖卸荷的耦合作用,易诱发渗透失稳,导致突涌灾害频发。传统支护体系因未能有效抑制塑性变形与动水侵蚀耦合效应,严重制约施工安全与进度控制。

王家寨隧道工程位于富水第三系半成岩特殊地层区段,施工区域水文地质条件具有显著非均质特征。2022 年隧道穿越中富水向强富水过渡带,受构造运动与地下水交互作用影响,围岩呈现强流变特性,传统支护体系难以有效控制突涌灾害。针对该特殊工程挑战,项目团队通过地质力学响应分析、施工参数动态优化及新型工艺集成应用,构建了适应复杂地层条件的灾害防控技术体系。

2023 年隧道施工推进至埋深 180m 的强富水地质单元,开挖难度显著提升,月进尺逐步降低,沙粒更细、围岩整体富水,导致突泥涌水等灾害不断。2022 年至 2024 年期间,大小突泥涌水事故累计突涌量达 92693.39m³,累计耽误工期约 566 天,对施工进度及人员安全造成了重大影响。

2 前期隧道开挖研究方案

前期隧道开挖采用降水与超前加固相辅佐的方式进行开展,遵循“降水疏排,注浆固基,严防涌突,隧稳行安”的指导思想,坚持降水加固两手抓的作业方式,对王家寨隧道开挖进行了大量的实验。

2022 年王家寨隧道降水工艺采用地表深井降水为主,

以“先探水、后成井”的方式,采用“左幅深井截降水为主,右幅深井降水为辅”的布井整体原则,对王家寨隧道临翔端第三系半成岩段强富水区布设深井,尝试解决地层强富水问题,如图 3。地表深井降水井直径为 300mm,按照纵向 10~20m/井的间距布设,埋管位置通常处于 10 至 15m 的沉砂深度。采用跟管钻工艺的打井方式进入至富水区后,地下水流由梅花状布置于管壁上的渗水缝渗入,并由排水泵引出。该工法有效解决了高水压下地层开挖影响,最为典型的是于 ZK22+426 左侧井处将静水位由 120m 降低至约 20m,有效降低了水头,促使当月进尺达 45.2m。然而在 2023 年隧道施工至强富水区时,受限于该地层上覆黏土岩-弱胶结砂岩复合结构的高渗透特性,原有工法的降水效能显著降低,无法满足施工要求。钻孔信息表明:黏土岩层厚 58~95m (单轴抗压强度 1.43~1.71MPa),弱胶结砂岩层厚 90~130m (单轴抗压强度 3.04~4.41MPa),其中砂岩体积占比达 50.6%~53.8%,形成砂岩主导型复合围岩体系。同时,该区段地下水流速较 2022 年施工段有明显提升,自稳时间窗口缩短。地表深井降水法在面对更为严苛的地层环境下,对地层稳定性的控制效果减弱,隧道频发涌水事故,地层破坏明显,存在大量“重塑土”地质情况。2023 年 10 月 23 日左幅于 ZK23+055 处发生大规模突泥涌水,涌突量约 40000m³,造成较大规模的影响,大量突涌体涌出,形成突涌体堆积现状,未贯通段地质条件极其复杂且施工风险极高。12 月 8 日左幅 ZK22+853 再次发生大规模突泥涌水,涌突量约 7000m³,耽误施工进度多天。上述情况表明地表深井降水难以从根本上解决该劣质地层条件下易溃砂、涌水的问题,富水弱胶结砂岩地层的含水率无法稳定且快速地降至施工要求。

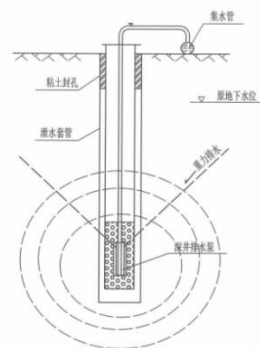


图 3 地表深井降水示意图

此外,现场采用“超前周边注浆+管棚+密排小导管”相结合的措施,对掌子面进行综合加固。但是根据现场注浆作业反应,传统水泥-水玻璃双液注浆技术在复杂地层加固工程中存在显著的技术局限性。其固化时间调控机制缺乏动态适应性,难以根据地层渗透性与水力条件实现初凝及终凝时间的精准匹配,导致长距离泵送工况下浆液易发生提前胶凝失效,且扩散轨迹呈现不可控特征。该技术在高动水压力及强流速环境中的抗冲刷性能显著降低,致

使富水高渗透区域的堵水效率急剧衰减。此外,固化体早期力学强度不足,易受地下水溶蚀作用引发结构崩解,而后期强度增长亦难以满足碎裂岩体长期抗渗与稳定性需求。

3 灾害治理体系关键内容

王家寨隧道自施工以来逐步进入强富水半成岩地层,该地层胶结程度低、水稳性差,地下水系庞大且联通复杂,掌子面开挖对围岩产生的扰动极易导致溃砂、流土和管涌等的情况,因层间渗透性差异显著导致传统降水和加固工法难以有效止水,亟需开发适应复杂地层的新工艺体系。现场遵循“降水先行,注浆固基,严防涌突,隧稳人安”的处置原则,采用以水泥基动水抗分散新型灌浆材料注浆加固、超高压泥水平衡顶管超前引排水和 T 型锁扣密布中管棚超前管幕为主导的预防性施工措施,着力先行改善地层富水问题,保障掌子面围岩性态稳定及后续开挖的高效安全。

3.1 水泥基动水抗分散新型灌浆材料

加固掌子面所采用的传统水泥-水玻璃双浆液凝结时间调控不足、动水环境适应性弱,在高水压、强动水的条件下易受地下水系的冲刷,导致加固体系强度较差,掌子面易形成突涌薄弱区。

水泥基动水抗分散新型灌浆材料的应用是针对加固问题做出的解决方式。浆液通过已有的岩溶涌水封堵材料-水泥基砂土灌浆材料基础上,基于高分子树胶特有的动水抗分散性、络合剂与氯离子的键合固溶为设计理念,对原有砂土灌浆材料进行优化,最终形成了初终凝时间可调、抗离子侵蚀性、抗动水分散、黏度可控的水泥基动水抗分散新型灌浆材料。使用注浆时结合三阶段注浆工艺体系,实现弱胶结砂岩地层注浆加固的可控性与高效性。三阶段注浆工艺即“预渗透-主劈裂-稳压渗透”,预渗透阶段的初始注浆压力为设定值 30%~50%,控制浆液渗透半径在 0.8~1.2m 范围,形成初级防渗屏障;主劈裂阶段将注浆压力分级调至设计 80%~120%,利用水泥基动水抗分散新型灌浆材料的触变特性实现可控劈裂扩散;稳压渗透阶段则持终压 10~15min,确保劈裂通道内浆液充分渗透充填。

针对掌子面超前周边注浆需求,新型灌浆材料通过初终凝时间可调特性,能够灵活匹配不同注浆阶段的要求,当钻孔揭露较大含水构造且地下水流速大、压力高时,新型灌浆材料可发挥极大优势,可对复杂裂隙、岩溶管道、富水砂层、富水粉细砂层等含水构造进行快速有效封堵。该材料将超前周边注浆的“堵水-固岩-控变形”效能提升至新层级,尤其为第三系半成岩、高压富水砂层等复杂地质的隧道施工提供了可靠的超前支护保障。

3.2 超高压泥水平衡顶管超前引排水施工工法

针对地表深井降水易受上覆黏土岩-弱胶结砂岩地层结构影响,导致超前排水作业成效相对较差的情况,提出了超高压泥水平衡顶管超前引排水施工工法。通过顶管技术超前形成导洞,可精准探明深埋富水隧道前方地质构造(如裂隙发育、含水层分布),并利用径向泄水管系统进行

主动排水。此举有效疏干围岩孔隙水及裂隙水,显著降低地层水位与含水率,从根本上改善掌子面作业环境,减少开挖时的突涌水风险。顶管导洞的超前引排不仅降低地下水压力,还通过渐进式排水减小地层应力集中释放风险。在弱胶结砂岩地层中,含水率降低可使围岩内摩擦角有效提升,显著增强自稳能力,保障掌子面注浆及后续开挖的安全稳定性。

王家寨隧道顶管区段长度为 249m,埋深约 188~302m。始发端位置设 I28 型钢框架混凝土反力墙,在原掌子面处设钢筋混凝土封堵墙为始发端;中间为顶管作业区。顶管所处地段存在强富水,粉细砂段和花岗岩段交替出现,故采用 YD1800 泥水平衡岩石顶管机,封堵墙上在顶进前于钢圈上安装橡胶板与折页翻板(图 4)。

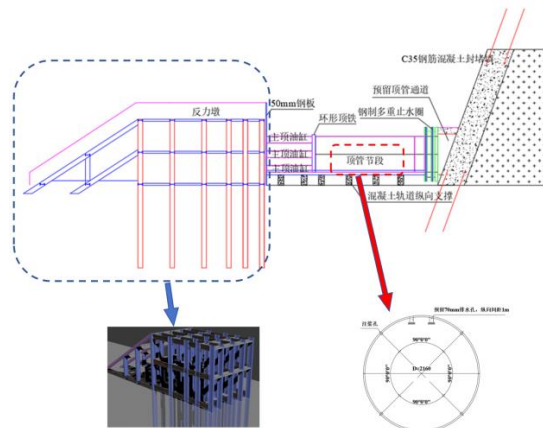


图 4 超高压泥水平衡顶管超前引排水施工工法示意图

顶管机依靠电机驱动刀盘切削土体,泥浆循环系统携带渣土排出机外;遇岩石时,刀盘滚刀挤压破碎岩石,碎块进入二次破碎仓经剪切后由泥浆排出,主顶油缸提供推力推动顶管机及后方管节逐段顶进并焊接成整体。针对强富水、粉细砂地层顶进阻力大的问题,设置 3 套中继间(每套含 16 支 50t 油缸,单套推力 800t,间距 70m),通过分段接力顶进分散主顶油缸负荷,使单段顶力处于允许范围内。同时触变泥浆通过管壁注浆孔注入管周空隙,形成环抱管道的泥浆套以大幅降低土体摩擦阻力,保障顶进效率。

顶管完成后,采用垂直钻机进行垂直降排水施工。从顶管内部垂直向上打设长 12~14m $\phi 60$ mm 泄水管(考虑拱部注浆加固圈 6~8m,排水管顶到拱顶初支以外 8~10m 排水),纵向 2m/孔布置。并在管内进行降水引排至管底,从管内顺坡流向出口,排出洞外,进而有效的改善顶管段围岩性质,以最快的速度降低掌子面附近水压和水力梯度,杜绝隧道上方的软塑层和水囊对隧道掘进的危害。

3.3 自制 T 型锁扣密布中管棚超前管幕施工工法

针对王家寨隧道地层富水量大,易发生溃砂、突涌的问题,创新性的采用自制 T 型锁扣密布中管棚超前管幕施工工法,这是用于地下工程施工时超前支护的一种独特、安全、可靠的手段。管幕法是利用较大直径的钢管在地层中以一定形状排布并预先相互锁合,形成钢管帷幕,然后

在此钢管帷幕的保护下进行安全掘进。管幕法以首发定位钢管铺设为基础,多根钢管逐根平行顶进并依靠特制锁扣连续锁合,并列密排在隧道周围形成稳定的支护结构,管幕结构纵向成梁、横向成拱,为开挖作业提供了可靠保护。

管幕法采用 $\Phi 89$ 热轧无缝钢管,纵向坡度与隧道一致,上台阶拱部环形布设,环向中心管距 11cm,单环共 176 根(含 142 根锁扣管和 32 根密排管棚),锁扣管采用 $50\times 50\text{mm}$ T 型钢双面焊接,钢管滑道开口宽度 1cm、长度 8m, T 型钢与滑道对称焊接长度 6.5m。用万向钻机钻 $\Phi 110$ 孔定位首发管,通过原初支钢架基准点下设导向拱架,由中间向两侧逐根顶进,并在管内锁扣间注入水泥-水玻璃双液浆,最终形成环形锁扣管幕结构(图 5)。此外,对于地质情况复杂,断面较大,易发生冒顶、塌方,地面沉降要求高,以及浅埋暗挖的隧道工程,锁扣式管幕法是优先选择的超前支护方案,可在锁扣管幕法基础上辅以注浆,形成密封的止水管幕。

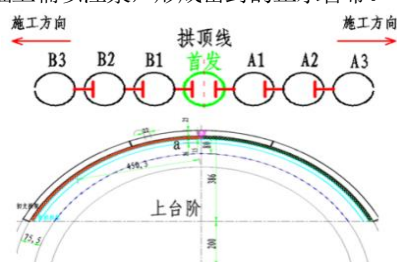


图 5 管幕横断面示意图

自制 T 型锁扣密布中管棚超前管幕施工工法的成功实施,进一步完善了隧道位于强富水粉细砂层地质情况下开挖的施工技术手段,提高了隧道开挖的施工效率,将隧道开挖循环速度提升至每循环 7 天(其中锁扣管幕 5 天/循环,开挖 2 天/循环)。

4 灾害治理体系的主要成效

针对弱胶结砂岩地层隧道施工中的围岩稳定控制难题,王家寨隧道工程创新性采用超高压泥水平衡顶管超前引排水施工工法,集合水泥基动水抗分散新型灌浆材料(CIS)与自制 T 型锁扣密布中管棚超前管幕,该技术体系通过多物理场协同调控机制,实现了围岩-地下水-支护体系的动态平衡优化。

超高压泥水平衡顶管超前引排水施工工法的核心在于构建多级次排水网络系统,成功将掌子面前方 50m 影响区内的孔隙水压力从初始 2MPa 降至 0.3MPa,降幅达 85%。这种精准的排水降压作用有效抑制了高压渗透水对围岩结构的潜蚀破坏,同时通过流体-固体耦合作用调控了地应力场分布特征。同时最大主应力集中系数由 3.2 降低至 1.8,促使应力重分布过程呈现渐进式调整特征,避免了传统工法中常见的应力突释风险。特别是在弱胶结砂岩地层中,含水率从饱和状态降至 35% 以下后,围岩单轴抗压强度和黏聚力提高,显著增强了岩体自承载能力。截止 2023 年 12 月底,左幅剩余段落长度约 200m,由于进、出口掌子面均发生大规模突泥涌水地质灾害,未贯通段拱部以上地层被严重破坏,

地层中存在庞大的隐伏性空腔和松散淤泥质流沙群,分布较广、潜伏范围较大,常规施工措施很难保证现场施工安全,故决定采用超高压泥水平衡顶管超前引排水技术。

工程实践表明,该技术体系的综合应用产生了显著的工程效益。突泥涌水灾害发生频率同比下降 70%。注浆量减少 18.4%,其中掌子面补注浆量及突泥涌水注浆用量降低 41.0%。施工效率提升尤为显著,月均进尺从 11.3m 提升至 20.8m,增幅达 84.6%。经测算,技术优化带来的直接经济效益达 150 万元,主要体现在注浆量费用降低和工期压缩两个方面。机理分析表明,排水体系与注浆加固的时空协同效应形成了“动态排水-强度恢复-主动支护”的链式反应机制。顶管降水技术不仅降低了地下水对注浆体的稀释作用,同时为水泥基砂土材料的水化反应创造了有利条件。新型材料辅以管幕施工法,有效封堵了排水后的残余渗流通道,形成完整的堵水帷幕,稳定了掌子面。

5 结论

针对王家寨隧道第三系强富水粉细砂半成岩地层突涌灾害特征及致灾机制的系统研究,结合工程实践与技术创新,提出以下结论与建议:

王家寨隧道工程通过集成泥水平衡顶管排水、CIS 新型注浆材料与锁扣管幕技术,构建了“排水-堵水-支护”三位一体防控体系。该案例表明,单一技术难以应对复杂地质条件,需通过多技术协同实现“1+1>2”效应。顶管排水系统降低孔隙水压力,为后续注浆和支护创造稳定环境;CIS 材料凭借抗动水冲刷性能和可调凝结时间,在高流速裂隙中形成致密堵水帷幕,实现了多方面协调以辅助施工高效、安全地进行。

【参考文献】

- [1]柳柳,李园,施红艺.花岗岩残积土微观结构及含水率对抗剪强度影响研究[J].铁道勘察,2025,11(4):1-11.
- [2]邢昊.王家寨隧道第三系半成岩泥岩富水软弱围岩大变形机理及控制措施[D].四川:西南交通大学,2023.
- [3]许劲松,李国锋,王秋懿,等.王家寨隧道第三系强富水粉细砂半成岩段突涌灾害防治施工关键技术[J].隧道建设(中英文),2023,43(1):514-521.
- [4]李雪松.不同加固方式下的隧道开挖稳定性影响研究[J].西部交通科技,2024(6):169-172.
- [5]杨建周.穿越松散堆积体围岩加固与隧道施工技术[J].铁道科学与工程学报,2019,16(5):1266-1273.
- [6]瞿山,唐吉祥,丁文其,等.王家寨第三系富水半成岩隧道施工措施与开挖变形特征分析[J].现代隧道技术,2024,61(1):1047-1057.
- [7]陈奕安,赵光明,许文松,等.渗流-应力耦合下砂岩广义应力松弛特性与流变破坏机制研究[J].岩石力学与工程学报,2025,11(4):1-14.

作者简介:杨佑权(1982.12—),男,毕业院校:湖南科技大学,土木工程,中铁隧道局集团建设有限公司,公司副总经理,高级工程师。

高速公路预制梁施工工艺与质量管控研究

杨 洋

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011

[摘要]预制梁属于高速公路桥梁建设里极为常见的一种构件,其施工质量的好坏会直接对整个桥梁结构的安全性、使用寿命以及运营性能产生影响。伴随交通基础设施持续不断地进行升级,桥梁结构呈现出大型化、复杂化的趋势,这便对预制梁施工的精度以及质量提出了更高的要求。传统施工方法当中存在着模板出现变形、钢筋绑扎存在误差、预应力有所损失以及混凝土质量不够稳定等诸多问题,这些问题严重地对工程质量的提升形成了制约。文中全面且细致地对预制梁施工工艺的各个关键环节展开研究,并且还提出了较为科学的质量控制举措,希望能够给高速公路桥梁建设质量的提升给予有效的技术方面的支撑。

[关键词]高速公路; 预制梁; BIM 技术

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16621

中图分类号: U445.47

文献标识码: A

Research on Construction Technology and Quality Control of Prefabricated Beams on Highways

YANG Yang

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract: Prefabricated beams are a very common component in highway bridge construction, and their construction quality directly affects the safety, service life, and operational performance of the entire bridge structure. With the continuous upgrading of transportation infrastructure, bridge structures are showing a trend towards large-scale and complex construction, which puts higher demands on the accuracy and quality of prefabricated beam construction. There are many problems in traditional construction methods, such as template deformation, errors in steel reinforcement binding, loss of prestress, and unstable concrete quality, which seriously restrict the improvement of engineering quality. The article comprehensively and meticulously studies the key links of prefabricated beam construction technology, and also proposes more scientific quality control measures, hoping to provide effective technical support for the improvement of highway bridge construction quality.

Keywords: highway; prefabricated beams; BIM technology

1 高速公路预制梁施工工艺要点

1.1 模板制作与安装

预制梁施工中,模板的精确制作直接影响预制梁的外观质量和结构性能。为了达到这一目标,模板制作过程必须严格控制,使用高精度的测量工具如全站仪、激光测距仪等对模板的尺寸进行反复校验,确保其符合设计要求。在材料选择方面,应根据工程需求和经济因素选用高质量的木材或钢材制作模板。木材模板具有质轻、易加工、成本相对较低的特点,但其耐久性和刚度相对较差;钢模板虽然制作成本较高,但具有高强度、高刚度、高精度和可重复使用的优势,特别适用于大批量、标准化的预制梁生产。无论选用何种材料,都要确保模板具有足够的刚度和稳定性,防止在浇筑混凝土时发生变形或位移。安装前,应对模板的垂直度、水平度和平整度进行仔细检查,确保其符合规范要求。在安装过程中,要特别注意模板各部件之间的紧密贴合,避免出现缝隙或错位。

1.2 钢筋骨架绑扎

钢筋骨架在梁体当中属于受力主构件,其绑扎的质量对于结构性能的稳定有着决定性的影响。在施工的过程当

中,务必要依据设计图纸以及施工规范来严格地开展钢筋下料以及绑扎方面的操作,要保证钢筋的位置是准确无误的,间距也是均匀分布的,切忌出现歪斜或者移位这类情况。针对那些重要的连接部位,应当采取焊接或者是机械连接的方式,以此来确保节点能够可靠稳固。钢筋保护层的厚度需要借助垫块来进行把控,以防混凝土当中的钢筋出现暴露或者锈蚀的状况。施工人员都得经过专业的培训,得具备一定程度的识图能力以及施工能力,在项目现场还需要配备钢筋检测尺以及智能检测装置,对骨架的位置、间距还有保护层展开全程的跟踪检测,从而达成对钢筋工程的精细化管理目标。

1.3 张拉和注浆

预应力张拉工序在确保梁体结构性能方面属于极为关键的环节,所以务必要依照设计所规定的张拉力值以及控制张拉的顺序来严格加以操作。张拉设备需经过校验并且合格之后方可使用,在整个张拉过程中,张拉力和伸长值应当同步予以记录,并且要将二者拿来相互对比,以此确保实际所实施的张拉值能够切实符合设计方面的相关要求。当张拉作业完成之后,紧接着就要开展压浆工作,

浆体需要具备比较好的流动性以及稳定性,在进行注浆的时候,要保证整个过程是连续不断的,切忌出现空洞或者不密实等不良情况。在施工期间,可以考虑引入智能张拉系统以及注浆监测装置,通过这些手段来达成数据的自动采集以及反馈,进而促使施工的精度以及效率得以提升。

1.4 混凝土浇筑与养护

混凝土浇筑需挑选合理的配合比,保障其具备出色的工作性、泌水性以及早期强度,在施工之前应当做好试验配比,借助现场试拌来把控混凝土拌合的均匀性^[1]。于浇筑进程当中运用分层振捣的方式,保证混凝土能够紧密结实并且没有蜂窝麻面的情况出现。所选用的振捣设备应当是频率与功率都较为合适的插入式振捣器,防止出现过振或者漏振等状况致使混凝土结构产生缺陷。混凝土初凝之后要立刻开展覆盖以及洒水养护相关工作,维持其表面处于湿润的状态,避免水分蒸发速度过快而引发早期收缩开裂的现象发生。

1.5 预制梁拆模与运输

拆模时机得依照混凝土强度的实际发展状况来动态地予以评估,一般而言,要在混凝土所达到的强度超过设计强度的 70%之后才能够开展拆模工作。拆模操作应当从那些相对次要的部位着手开始,慢慢地逐级进行卸载,如此才能避免因应力过度集中而致使梁体出现破损的情况发生。拆模完成之后,对于梁体要实施外观以及结构质量方面的验收工作,只有验收合格之后才能够进入到运输的相关环节当中。在运输的过程里面,应当采用专用的支撑装置以及固定夹具,通过这样的方式来尽可能地减少振动以及冲击,进而防止梁体出现裂缝或者掉角等不良状况。

2 高速公路预制梁施工工艺质量管控常见问题

2.1 模板变形与接缝漏浆问题

施工期间要是采用木模板,因其长期处于受潮状态或者被反复使用,模板刚度会出现下降情况,如此一来,在混凝土浇筑进程当中,极有可能会引发变形状况。并且,模板接缝要是不够严密,那么就会致使漏浆情况出现,进而对梁体的表现质量以及边角的密实性都产生影响。再者说,模板支撑系统的稳定性有所欠缺,并且拼装存在较大误差,这同样会造成模板发生位移或者出现局部胀模的情况,使得变形以及漏浆的问题变得更加严重,情况严重的时候,甚至会对结构断面尺寸的准确性带来影响。

2.2 钢筋间距偏差与保护层厚度不足

施工现场缺少钢筋间距检测设备这一情况,同样是致使问题出现的缘由之一。有一部分作业人员在施工过程中存在着绑扎操作不够规范以及搭接长度不符合规定等状况,这使得钢筋的整体定位出现了偏移的情况,进而对构件的受力性能以及耐久性都产生了影响,同时也增加了后期维修的风险。

2.3 预应力张拉应力损失与注浆密实度缺陷

张拉设备出现标定不准确的情况或者在操作过程中

出现失误,这会使得应力损失变得过大的情况发生,如此一来便会对结构的承载力产生影响,另外灌浆要是不够密实的话,那么就有可能导致钢绞线出现锈蚀的现象,甚至是直接失效掉。在施工现场,要是不能够准确地掌握张拉力以及张拉的顺序,那么同样也可能致使梁体的应力分布变得不均匀起来,进而影响到结构的整体性能表现。与此注浆孔发生堵塞状况、浆液的流动不够顺畅又或者是浆体材料不符合相关规范要求等情况,这些也都属于密实度缺陷十分重要的诱发因素,最终会使得构件的耐久性有所降低。

2.4 混凝土裂缝与强度不均匀现象

部分工地在模板拆除之后,存在着混凝土养护不到位的情况,使得混凝土表面出现了干裂的现象。要是混凝土浇筑的时间间隔过长,或者施工缝处理得不够妥当,那么就on容易形成冷缝,进而对整体结构的连续性以及力学性能产生影响。

2.5 拆模过早导致棱角破损及运输损伤

运输环节当中,若支撑不够到位或者固定得不够牢固,那么同样有可能出现诸如裂缝、掉块之类的诸多问题。有一部分施工单位在施工的时候,往往会对运输过程当中的振动控制以及相应的防护措施有所忽视,如此一来,预制梁在经历长距离的搬运以及吊装这样一系列的操作过程之中,就极有可能会遭受机械方面的损伤。除此之外,要是搬运工具的选型不太恰当,又或者是起吊点的设置不够合理等情况出现的话,那么也是完全有可能引发应力集中这一状况的,进而致使结构出现细微的裂纹,甚至还会出现开裂这样的严重现象。

3 高速公路预制梁施工工艺质量管控优化策略

3.1 基于 BIM 的模板设计与安装精度提升

在预制梁的施工环节当中,模板结构充当着混凝土成型的直接承载之物,其设计所具备的精度以及安装时的质量状况,对于成品梁的几何尺寸、表面质量还有结构性能等方面,会产生颇为关键的影响作用。凭借 BIM 技术来开展的模板设计工作,则可以达成三维构件模型同钢筋、预埋件之间的协同设计目的,借助其碰撞检测功能,能够有效地对结构设计当中的冲突之处以及不合理的地方予以识别,从而提前着手去优化调整相关的方案,以此减少施工过程中断以及修改方面存在的风险^[2]。BIM 模型还能够和测量机器人或者全站仪系统实现集成,进而达成虚拟模型和实景坐标之间精准的对接效果。施工人员可以凭借激光定位技术,把模板模型投射到实际的场地之上,如此一来便能够精准地确定模板安装的具体位置,减少以往传统人工测量所造成的各种误差情况。

3.2 钢筋绑扎标准化流程与智能检测技术应用

钢筋在预制梁里属于重要的受力构件,它的绑扎质量和构件的整体承载性能以及使用寿命有着直接的关联。当下在施工现场,普遍存在钢筋间距不够均匀、接头处理不够规范之类的问题,迫切需要建立起标准化的作业流程。

去制定详尽的钢筋绑扎作业指导书,把各类钢筋的连接方式、绑扎顺序还有节点加固的要求都明确下来,如此便能够有效统一施工工艺,提高操作的规范程度。为了进一步提升钢筋安装的智能化管理水平,可以引入射频识别标签来对钢筋材料加以编码管理,进而达成对钢筋来源、型号以及安装位置的精准追踪。再配合上智能钢筋检测仪,便能够实时地对钢筋间距、直径、弯钩角度等关键参数予以监控,并且借助移动终端把这些数据上传到施工管理平台,形成可视化的质量监测数据链。

3.3 张拉注浆自动化设备与实时监控系统

预应力张拉以及注浆施工属于预制梁施工里的核心环节,其对于结构的整体受力性能还有耐久性有着极为关键的作用。传统的张拉工艺要依靠人工来读取压力表以及位移仪表,如此一来,数据采集就会出现滞后的状况,并且还容易受到人为方面的干扰,存在着不小的风险隐患^[3]。要是去推广使用自动化张拉设备,那么便可以达成对张拉力以及位移进行同步自动采集并且实现智能控制的效果,该系统能够把实际采集到的数据和预设的参数进行比对,从而自动校验其中存在的偏差并且对张拉过程做出相应的调整,以此来保证张拉的质量是稳定可靠的。在注浆施工的这个阶段,引入数字化注浆设备,同时配备上浆液压力、流量以及温度传感器,以此来实时地对注浆过程的各项参数加以监控。该系统会自动记录下注浆的起始时间、持续的时间、注入的量等一系列的关键指标,进而防止因为人为操作不恰当而致使浆液出现渗漏或者注浆量不足的情况发生。

3.4 混凝土配合比优化与智能养护技术

混凝土配合比的好坏会直接对预制梁的强度、耐久性以及抗裂性能产生影响。要想满足高速公路桥梁对于混凝土早期强度和长期性能这两方面的要求,那就得建立起一个把实验室优化和现场验证相互结合起来的技术体系。通过对原材料性能展开分析,并且经过多轮试验来对混凝土配合比加以优化设计,着重提升水胶比控制的精准程度以及外加剂的适用性,以此来让混凝土具备不错的和易性以及良好的早期强度发展特性。养护阶段的质量把控也同样重要,在温差比较大、风速也比较强的施工环境下,要引入智能恒温恒湿养护系统,就能够对预制梁表面的环境实现动态的调控,依据混凝土水化反应的具体过程来智能地调节温度和湿度方面的参数,从而保障水泥水化反应可以充分地展开,减少收缩应力的出现,进而降低表面裂缝发生的概率。

3.5 拆模条件动态评估与运输防护体系构建

预制梁拆模时机的选择会对成品的外观质量以及结构完整性产生直接影响,如果过早进行拆模操作,那么就有可能引发梁体出现断裂的情况,又或者使得角部出现缺损等问题,而如果拆模时间过迟的话,则会严重影响施工

的整体效率。要想科学合理地确定拆模的具体时间,就不能仅仅依靠时间节点来决定,而是应该把混凝土实际强度的发展情况当作依据。可以通过布置一些非破损检测方面的仪器,像是回弹仪、超声波检测仪等等,然后在梁体的不同部位去采集有关强度的数据信息,之后再把这些数据和结构设计所规定的强度值进行细致的对比分析,以此来动态地对是否具备拆模的条件做出评估。运输环节需要建立起一套较为完善的运输防护体系。一方面要使用多点固定的装置以及定向的锁具,以此来防止梁体在车辆运行的过程当中出现滑移或者位移的现象;另一方面在支撑以及接触的部位要增加缓冲垫层,这样能够有效地将局部的应力进行分散,进而防止压痕或者是裂缝的产生^[4]。与此车辆的底盘还需要配备震动抑制系统,以此来降低路面颠簸给结构带来的影响。在运输的整个过程当中都需要配置GPS以及视频监控系统,这样才能实时地掌握运输的状态,一旦出现异常情况就能够迅速地采取相应的干预措施,从而保障梁体能够安全且高质量地完成交付任务。

4 结语

高速公路预制梁施工所涉及的工序较为繁杂,对精度的要求颇高,并且各个环节彼此间存在着紧密的关联性,只要其中任何一个环节出现失控的情况,就极有可能致使整体产生质量问题。仔细对施工工艺流程以及质量通病加以系统的梳理之后能够发现,当下依旧存在着诸如模板发生变形、钢筋布置出现偏差、混凝土强度呈现不均状况、张拉应力有所损失以及运输过程中出现损伤等一系列较为突出的问题,这无疑表明传统的施工方式以及质量管理模式已经很难契合现代工程所提出的高标准要求了。本文在对相关问题予以识别的基础之上,相应地提出了多项管控策略,像基于BIM所开展的模板设计优化举措、借助智能手段进行的钢筋检测办法、实施的自动化张拉注浆操作、针对混凝土展开的智能养护措施以及构建的全程运输防护体系等。在未来的发展进程中,随着信息技术和建筑工程进一步实现深度融合,高速公路预制梁施工将会在标准化以及智能化这两个方向上不断向前推进。

【参考文献】

- [1]王光艳.公路桥梁工厂化预制T梁蒸汽养生技术研究[J].交通世界,2024(21):137-139.
- [2]叶健强.高寒区域预制梁冬季施工保温及养护措施浅论[J].工程机械与维修,2024(8):119-121.
- [3]姚宁.桥梁预制T梁施工技术要点研究[J].四川建材,2025,51(1):163-166.
- [4]郎军.智慧化制梁场在桥梁智能建造中的研究及应用[J].居业,2025(3):16-18.

作者简介:杨洋(1992.10—),毕业院校:长沙理工大学城南学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:新疆北新路桥集团股份有限公司,职称级别:中级。

公路工程沥青路面早期病害成因及防治措施

杨 雪

陕西三秦路桥有限责任公司, 陕西 西安 710000

[摘要] 公路工程中沥青路面早期病害肆虐, 严重危及路面耐久性及交通安全, 对病害类型与成因展开综合分析, 拿出对应的防治办法, 有利于增强路面使用效能并延长其服役时长, 依托典型病害案例, 分析车辙、裂缝、坑槽等病害产生的根源, 针对设计、施工、材料、交通荷载以及环境等相关影响因素, 构建结构优化、材料改进、施工质量约束及定期维护的策略体系, 依靠科学的预防及治理举措, 切实降低病害出现频次, 拔高公路沥青路面工程质量及运营的稳定水平, 实现道路长期安全通行之效。

[关键词] 公路工程; 沥青路面; 早期病害; 成因分析; 防治措施

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16619

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Causes and Prevention Measures of Early Diseases on Asphalt Pavement in Highway Engineering

YANG Xue

Shaanxi Sanqin Road and Bridge Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: In highway engineering, early diseases of asphalt pavement are rampant, seriously endangering the durability and traffic safety of the pavement. A comprehensive analysis of the types and causes of diseases is carried out, and corresponding prevention and control measures are proposed, which is conducive to enhancing the efficiency of pavement use and extending its service life. Based on typical disease cases, the root causes of diseases such as ruts, cracks, and potholes are analyzed. In response to design, construction, materials, traffic loads, and environmental factors, a strategic system for structural optimization, material improvement, construction quality constraints, and regular maintenance is constructed. By relying on scientific prevention and treatment measures, the frequency of disease occurrence is effectively reduced, the quality and stable operation level of highway asphalt pavement engineering are raised, and the long-term safe passage of roads is achieved.

Keywords: highway engineering; asphalt pavement; early diseases; cause analysis; preventive measures

引言

于长期使用阶段, 公路沥青路面, 因设计、施工、材料跟外界环境等多种因素的缘故, 早期病害频繁涌现, 致使路面使用性能降低水准, 危及交通安全, 降低运营质量, 诸如车辙、裂缝、坑槽的常见病害, 甚至会拉高后期的养护成本, 也会令路面的寿命缩短, 采用科学分析诊断病害成因, 制定具有针对性的防治办法, 可高效提升公路沥青路面的稳定及耐久程度, 为道路建设及维护奉上技术支持与实践指南。

1 沥青路面早期病害的主要类型

1.1 表层病害

表层病害是沥青路面极为普遍的病害形式, 对路面使用性能及行车安全形成直接影响。

车辙: 车辙说明车辆长期荷载作用的状况, 导致沥青路面呈现沿车轮行驶轨迹方向排列的纵向凹槽, 主要成因在于沥青混合料抗变形能力欠佳、基层承载能力较弱, 也或是沥青老化致使抗剪强度降低, 呈现形式为处于高温季节或是重载交通流量大的路段, 路面造就明显的凹槽, 若情况严重, 会影响车辆行驶的稳定性的。

裂缝: 作为沥青路面早期病害, 裂缝是较为普遍的一

种现象, 多体现为横向裂缝、纵向裂缝、网状裂缝以及龟裂, 温度应力往往是横向裂缝产生的主因, 在温差明显较大的地区尤甚; 基层沉降不均以及施工接缝的不合理安排, 易造成纵向裂缝产生; 网裂及龟裂主要是因为沥青老化、产生疲劳开裂, 或者结构层次强度不足, 引起路面产生密集裂痕, 持续发展也许会造成松散及坑槽产生。

损坏: 表层损坏的表现有坑槽、松散以及表面剥落, 坑槽的形成主要是因水侵入到结构层后, 车辆碾压引发沥青混合料脱落, 松散往往在集料相互间黏结力变弱或沥青剥落时发生, 引起面层颗粒开始松动, 表面出现剥落, 是因为黏附性不好或碾压未达标, 引起沥青膜与集料的离散, 让路面整体性及使用性能变差。

1.2 结构性病害

结构性病害多是由路面结构层或路基强度不足以及应力分布不均引起, 大幅削弱了路面承载能力。

基层及底基层损坏: 基层或底基层出现沉降、翻浆的情形, 大多跟路基压实未达充分标准或土基含水量改变有关, 沉降可表现成路面局部往下凹陷, 导致路面平整度变差; 翻浆现象大多出现在水稳定性欠佳的土基层, 水分渗

入让基层材料软化而后向上翻涌。

路基病害:路基病害的主要体现是软基沉陷与不均匀沉降,软基沉陷大多是由于地基土质缺乏强度或含水率过高引起,因外界荷载作用慢慢压密变形,不均匀沉降一般是因为地基土分布不均衡、路基填料性质差异较大引发的。

1.3 功能性病害

功能性病害主要干扰路面的抗滑性能及结构完整性,引起车辆操控性及安全性变差。

抗滑性能下降:鉴于沥青老化现象以及细集料剥落现象,路面的摩擦系数急剧降低,尤其是雨天降临路面变得湿滑,很容易诱发交通事故,抗滑性能变差主要和集料粒径过细、沥青含量太高、使用时间太长有关。

反射裂缝:反射裂缝在旧路改造、加铺层工程中屡见不鲜,鉴于新旧路面结合效果差或接缝处受力不均匀现象,引发裂缝沿接缝或是结构薄弱的位置向上伸展,若这类裂缝开始显现,既破坏了美观性,也容易出现渗水,加剧基层的破坏,造成新的病害隐忧。

凭借精准判别沥青路面早期病害的类型与成因,可根据情况采取针对性的预防和修复手段,以此切实提高路面结构性能并增添使用寿命。

2 沥青路面早期病害的成因分析

2.1 设计因素

设计因素属于引发沥青路面早期病害的根本原因范畴,尤其当设计厚度不足以及材料选型欠佳时,路面结构抗压与抗剪能力欠佳,重载车辆的反复施压,极易让路面出现车辙、裂缝等病害,因设计厚度欠缺,路面结构层承载能力降低,难以扛住交通荷载的长期施压,最终导致路面出现下陷与裂缝,若材料选型未做到恰当,若未考量区域气候特点与交通流量大小,很容易造成沥青混合料在高温或低温环境中性能变差,结果诱发早期病害发作。

路面早期损坏的重要成因中,结构层次配置不合理是不可忽视的一个,若路面结构层的厚度、材料搭配及力学性能分布不合理,易诱发路基沉降与面层开裂现象,尤其在多层复合式路面的情形下,若面层材料呈现过大刚性,基层缺乏应有的柔性,会形成应力聚集点,引发裂缝逐步扩展,对地基承载力与排水设计的忽视,多半会引发水分聚集,进一步对基层强度造成削弱,诱发结构上的病害。

2.2 施工因素

施工因素对沥青路面早期产生的病害有直接影响,具体表现为混合料拌合以及摊铺质量欠佳,拌合不匀、集料含水量过大或沥青含量把控失当,都会引起沥青混合料稳定性下降幅,引发局部呈现松散或表面发生剥落,在摊铺工作开展阶段,若摊铺温度和速度未得到严格把控,容易造成混合料离析以及沥青膜的剥落,导致路面早期出现开裂和坑洞现象,施工现场管理未做到规范有序,工序间衔接欠佳,也会引起路面成型质量降低,对其长期使用性能

造成直接影响。

又一个关键施工问题是压实度不足或不均,当开展压实工作的时候,若不根据混合料特性与现场实际条件合理碾压,又或者碾压次数未达合理量,容易造成路面孔隙率增大,使压实度及抗水性受到影响,尤其是路基偏软或者填土呈现不均匀现象的时候,压实若不充分,便会引发局部沉降,而过度碾压说不定会引起骨料破碎,引起表面抗滑性能的降低,严格控制压实工艺,这是预防早期病害的关键。

2.3 材料因素

材料性能对沥青路面的耐久性、抗病害能力起直接作用,路面出现开裂以及抗滑性能变差,沥青老化是主要原因之一,呈现为路面颜色转淡、质地变硬、脆性进一步增强,历经高温及紫外线的长期照射,氧化现象造成沥青黏结性降低,混合料慢慢丧失其延展性,集料质量糟糕,诸如颗粒形状怪异或粒径级配失当,还会引起混合料稳定性和强度的减弱。

沥青跟矿料的黏附性差,容易引发水损害病害,处于降雨频繁或潮湿的环境,沥青膜易遭水侵蚀后剥离,促成集料松散且剥落的现象,导致坑槽式病害形成,尤其当路面处于长期浸水或水膜的作用环境下,混合料剥落的速度加速前行,直接关乎路面的耐久性。

2.4 交通荷载因素

交通荷载为路面早期病害的直接诱因之一,尤其是在超载、重载车辆频繁经过的路段上,表现明显程度更高,车辆荷载引起的反复性压实与剪切作用,使路面结构层渐渐失去其承载能力,最终形成车辙及沉陷病害,频繁超载让路面变形,进而形成疲劳裂缝,进而过渡为网裂与龟裂形式,在长期荷载不断作用的阶段,基层材料压实度欠缺的部位易形成坑槽及翻浆问题,降低通行的舒适感以及安全系数。

重载车辆通行之际,轮胎与路面之间出现较大剪应力,尤其是在起步阶段、刹车时刻和转弯地段,易促使沥青混合料剥离以及路面出现龟裂,城市主干道及物流干线交通流量大的情形格外明显,频繁的荷载施压造成路面疲劳累积,日渐丧失道路整体强度。

2.5 环境因素

环境的改变对沥青路面性能的影响十分显著,尤其是在温度频繁交替的区域,冬季的低温状况易让沥青路面脆化后开裂,而夏季高温时,沥青会软化、流动起来,昼夜温度差异明显的区域,鉴于温度胀缩反复更迭交替,非常容易造成路面结构性开裂,极端气候环境下,沥青混合料老化加剧凸显,抗疲劳本事下滑,引发裂缝不停地扩展。

导致基层强度衰减的主要因素之一乃是水分侵入,路面裂缝及接缝渗水现象出现后,基层材料吸进水分后软化,引起承载能力下滑,引起沉陷以及翻浆现象,长时间被水浸泡,还可能引发沥青剥落及集料散落现象,地下水位上升加上排水不畅顺,也会使路基长时间处于含水率较高的

状态,引发整体的下沉现象,恰当设计排水系统及防水层举足轻重,可有效阻滞早期病害的发展。

3 沥青路面早期病害的防治措施

3.1 设计阶段防治措施

对于预防沥青路面早期病害,设计阶段是关键,科学且合理的设计可显著降低后期养护费用,要按照不同地区的气候特性以及交通荷载情形,合适选择沥青混合料及改良结构设计,面临高温情形的地区,宜率先挑选高温稳定性强的 SBS 改性沥青;处于寒冷的地带,可采用耐寒又抗裂性能不错的乳化沥青,恰当调配面层、基层及底基层厚度,保障各结构层在长期荷载作用时具备充足的强度与抗变形性能。

增加设计荷载能力是应对超载交通的紧要手段,要按照公路等级与交通流量,评估实际荷载承载值,防止结构层强度欠缺,处于区域性气候差异明显的地带,路面材料及设计方案应充分考量温度变化所引发的胀缩效应,采用抗裂方面表现较强的混合料和具弹性恢复特性的沥青,能有效降低裂缝发生的几率,依靠科学合理的结构安排,可从源头上防范路面早期病害产生。

3.2 施工阶段防治措施

施工阶段质量控制的优劣直接关乎沥青路面长期性能,严格把控每一道施工工序必不可少,需对原材料质量严格把关,保障所用的沥青具有高黏结能力,采用优质硬质岩石当作集料,且拥有不错的颗粒级配水平,处于拌合作业期间,严格管理拌合的温度及时间,防止温度过高让沥青出现老化现象,或温度过低引起混合料不均情况,可采用自动找平器械,维持铺筑的均匀态势,缩减离析现象的频次。

实时监督施工过程里的温度湿度,杜绝在高温或降雨天气开展沥青铺筑工作,杜绝路面出现早期的破坏,尤其是于秋冬季节开展施工之际,必须密切留意昼夜温差的变化情形,保障拌合料摊铺后能马上碾压成型,施工场地配置了温度及湿度检测仪器,即刻记录下铺装参数,保障路面温度处在合适的范畴内。

3.3 养护管理措施

在沥青路面的使用阶段,路面性能稳定的保持离不开养护管理这一关键,按一定周期监测路面性能指标,诸如车辙深度、道路抗滑性能、裂缝的宽度等,可及时找出病害并开展修复,监测工作能借助激光平整度仪、抗滑测试车及裂缝扫描仪等仪器开展,采集准确数据,重点留意存在异常的路段,组建路面病害的数据体系库,把历史监测数据进行对比,预估潜在病害的发展走向,制定具科学性的预防性养护举措。

针对已冒出的早期病害,像裂缝注胶、坑槽修补作业,应快速处理妥当,阻止病害进一步扩展,可采用热灌缝胶填充裂缝,随后用密封胶加以覆盖,坑槽修补工作,应铣刨至稳定层再重新铺摊优质沥青混合料,预防性养护技术,

如微表处及薄层罩面处理,可在病害起始阶段采取覆盖修复举措,阻止病害进一步蔓延,采用科学系统的养护管理办法,能降低早期病害发生的比率,增加路面的使用时长。

3.4 环境适应性措施

就不同环境特性的路段而言,应当采用对应的防护办法,预防自然因素对路面造成的负面干扰,突出抓好排水设计及施工,尤其是在降雨量大或地下水位偏高的区域,一定要设置好完善的路面排水渠、管及盲沟,防止路面及基层长时间受水浸润,施工的时候应在路面结构层彼此之间铺设防水隔离层,借此阻断水分上升的途径,提高路基的抗水侵害能力。

寒冷区域的沥青路面需采用耐寒性良好的沥青材料,像改性乳化沥青或者低温柔韧性佳的高分子改性沥青,为削减冰雪对路面引发的破坏,不妨在面层铺设抗冻性好的混合料,诸如抗冻型 SMA 或者 SBS 改性的混合料,在道路运行的这个阶段,迅速执行清除冰雪与撒融雪剂事宜,防止融雪水渗入路基引起冻胀病害,采用顺应地域环境的适应手段,能最大程度地削减自然因素对沥青路面使用性能的不良影响。

4 结语

沥青路面早期病害的发生,一般是设计、施工、材料、交通荷载及环境等多因素共同作用引发的,对路面使用寿命及交通安全造成直接影响,采用科学方法对病害类型及成因分析,针对性地施行设计优化、进行施工质量管控、开展科学养护管理与采取环境适配措施,可有效防范并减少病害的形成,在设计阶段适宜选择材料与结构形态,在施工中对工艺流程及质量严抓严控,在养护管理上着重开展监测与预防性维护,结合区域环境状况定制防治方案,有利于提升沥青路面的持久与稳定性能,为公路工程的长期稳定运行筑牢可靠根基。

[参考文献]

- [1]成敏.高速公路长大纵坡沥青路面施工技术分析[J].交通世界,2024(15):52-54.
- [2]丁淑萍.公路工程沥青路面裂缝类病害防治技术研究[J].产品可靠性报告,2024(4):84-85.
- [3]王静.公路沥青路面车辙病害成因和防治措施探讨[J].汽车周刊,2024(6):246-248.
- [4]王小静,王海燕.公路沥青混凝土路面施工及病害防治措施[J].城市建设理论研究(电子版),2023(12):128-130.
- [5]朱玉良.公路沥青路面常见病害及防治措施[J].汽车画刊,2024(9):209-211.

作者简介:杨雪(1982.9—),女,毕业院校:长安大学,学历:本科,所学专业:道路桥梁与渡河工程,当前就职单位:陕西三秦路桥有限责任公司,职务:道路桥梁工程师,所在职务的年限:20年,职称级别:工程师。

冷拌沥青薄层在高速公路养护中的应用研究

刘 刚

江苏现代路桥有限责任公司, 江苏 南京 210005

[摘要]随着我国高速公路的持续迅猛发展,公路养护工作的重要性日益凸显出来。冷拌沥青薄层属于一种全新的养护材料,它具备节能环保以及施工方便等诸多优点,当下正逐步在高速公路养护环节当中得以应用。然而就目前而言,我国冷拌沥青薄层在材料性能、施工技术以及质量控制等方面依旧存在着一些问题,这些问题的存在对它的推广以及使用效果都产生了影响。本论文针对冷拌沥青薄层的特点展开分析,明确指出其中存在的各类问题,并且给出与之相应的改进建议,期望能够给高速公路养护工作提供一定的参考依据,进而推动此项技术实现更为良好的发展与应用状况。

[关键词]冷拌沥青薄层;高速公路养护;技术应用

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16622

中图分类号: U414.75

文献标识码: A

Application Research on Cold Mix Asphalt Thin Layer in Expressway Maintenance

LIU Gang

Jiangsu Xiandai Road and Bridge Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210005, China

Abstract: With the continuous and rapid development of highways in China, the importance of highway maintenance work is increasingly prominent. Cold mix asphalt thin layer is a new type of maintenance material that has many advantages such as energy conservation, environmental protection, and convenient construction. It is gradually being applied in the maintenance of highways. However, currently, there are still some problems with the material properties, construction techniques, and quality control of cold mix asphalt thin layers in China, which have an impact on its promotion and effectiveness. This paper analyzes the characteristics of cold mix asphalt thin layers, identifies various problems, and provides corresponding improvement suggestions. It is hoped that this can provide a reference for highway maintenance work and promote the development and application of this technology.

Keywords: cold mix asphalt thin layer; highway maintenance; technical application

引言

随着我国高速公路网络不断拓展,交通量也在持续增加,这使得高速公路的养护工作遭遇了极为严峻的考验。传统使用的养护材料以及相关工艺,在面对日渐复杂的路况以及多变的环境条件时,慢慢呈现出许多弊端,像施工所花时间较长、耗费成本较高、对环境产生的影响较大等等一系列问题。冷拌沥青薄层属于一种新出现的养护技术,它具备施工起来较为方便、环保且节能、经济上也颇为高效等明显优点,渐渐地受到了行业内越来越多的关注,并且在实际中也开始得到广泛的应用。冷拌沥青薄层依靠低温施工的方式,降低了能源的消耗,减少了有害气体的排放,与其它还能够切实有效地延长路面的使用寿命,提高路面的各项性能,让行车的舒适性得以改善,具备很好地推广使用的价值。不过在实际的应用进程当中,冷拌沥青薄层依旧面临着材料性能不够稳定、施工工艺的配套还不够完善以及质量控制存在较大难度等诸多方面的难题。这篇文章会围绕冷拌沥青薄层所具有的主要特点、当前的应用状况以及存在的那些关键问题来展开细致的剖析,再结合高速公路养护实实在在的需求,给出具有针对性的对策以及改进的建议,目的在于推动冷拌沥青薄层技术朝着科

学的方向发展,在实际当中实现更为广泛的运用,从而给高速公路的高效养护给予强有力的支撑。

1 冷拌冷铺沥青混合料主要特点

相较于传统的热拌沥青料,冷拌冷铺料具有以下几个显著特点。首先,冷拌冷铺料是在常温条件下进行拌和和铺筑的,即使在较低温度下也能施工,且无需加热即可压实形成一定强度。由于在未受外力作用时处于松散状态,这种材料能够在常温下保存较长时间,使用更加灵活。而热拌料则必须在高温条件下拌和,且不能长时间储存,需根据施工需求即时生产。其次,冷拌冷铺料完成铺筑和压实后即具备初步强度,沥青中仍含有一定的有机溶剂。随着时间推移和荷载的持续作用,有机溶剂逐渐挥发,材料的黏度和密实度不断提高,最终达到设计强度。

2 超韧抗裂超薄磨耗层施工在高速公路养护中的应用

超韧抗裂超薄磨耗层是近年来高速公路养护中的一种新型技术手段。它的核心是在原有路面上铺设一层厚度约 10mm 的功能性表层。这一层由高强度改性沥青和优质矿料构成,配合专用设备摊铺,形成结构紧密、黏结力强、抗裂性能突出的路面表层。施工过程中采用了精细化工艺,

不仅提升了路面的整体耐久性，也增强了其抗疲劳能力。这种超薄磨耗层相比传统的罩面或加铺层，有施工速度快、材料使用量少、对交通影响小的优点。同时，它可以有效减缓裂缝的反射扩展，阻止水分渗入，减少早期病害的发生。该技术特别适合在交通流量大、车速高的高速公路上使用。它不仅能够恢复老化路面的功能，还能起到预防性养护的作用。通过提前干预，能够延长路面寿命，降低后期大修的频率和成本。此外，这种施工方式更加节能环保。它不需要大规模拆除旧路面，减少了资源浪费和环境污染，符合当前绿色养护的发展方向。随着公路运行压力不断增加，这项技术为建设高效、安全、低碳的道路体系提供了有力支撑，也为养护模式的转变提供了新的解决思路。

3 冷拌沥青薄层应用中存在的问题

3.1 材料性能不稳定问题

在冷拌沥青薄层实际应用期间，材料性能不太稳定，这属于比较明显的一个技术方面的问题。冷拌沥青混合料一般是在常温状况下开展拌合以及铺筑工作的，它会受到环境温度、湿度还有贮存时间等外部因素颇为显著的影响，如此一来便很容易致使混合料的均匀性以及黏结性能出现波动的情况。不同批次的乳化沥青、矿料来源以及掺合比控制不够严谨，这又会进一步加大材料性能的离散程度，进而产生强度不够、早期就会发生脱落、抗水损能力较差等一系列的质量方面的隐患^[1]。尤其是在高温或者低温环境下进行施工操作的时候，材料内部的稳定性以及成型之后的力学性能常常没办法达到预期所设定的标准，这对路面层的整体结构功能以及使用寿命都产生了影响。

3.2 施工设备与技术配套不足

在冷拌沥青薄层得以推广并应用于实际的过程中，施工设备以及与之配套的技术方面有所欠缺，这已然成为影响其施工质量以及施工效率的一个关键性问题。就当下情况而言，多数从事施工的单位大多还是以传统的热拌沥青施工设备作为主要设备，缺少那种专门能够适用于冷拌薄层进行摊铺操作、压实处理以及洒布工作的成套机械设备，如此一来便致使在施工进程当中出现了诸如摊铺不够均匀、压实程度不够扎实、材料分布状况不均衡等一系列的现象，进而对路面结构的平整度还有密实度产生了颇为严重的影响。与此鉴于冷拌沥青薄层有着与热拌材料不一样的施工工艺方面的要求，部分从事相关作业的人员对于其施工的具体流程、时间的把控情况以及材料所具有的特性了解得并不够透彻，而且也缺乏较为系统的针对技术方面的培训以及实际操作的相关经验，这无疑又进一步让施工质量的不确定性变得更为突出。

3.3 施工环境限制与质量控制问题

冷拌沥青薄层在高速公路养护期间开展施工时，往往会受到环境条件的诸多限制，其中气温、湿度以及降雨等因素，对施工质量所产生的影响颇为显著。在低温所处的

环境下，冷拌材料的黏结性能以及早期强度的发展速度会变得比较缓慢，如此一来就容易致使铺筑层出现黏结状况不佳的情况，进而引发路面发生开裂现象。而当处于高湿度或者雨天的条件下进行施工的时候，那么就极有可能使得材料的含水量有所增加，这无疑会影响到材料的压实效果以及其自身的稳定性，最终导致路面容易出现脱落以及坑槽等不良状况。除此之外，施工现场在管理方面以及质量控制体系上存在着不够健全完善的问题，这也对冷拌沥青薄层的施工效果形成了制约作用。在施工进程当中，缺少行之有效的实时监测与检测的相关手段，所以很难做到及时地去发现并且纠正施工过程中存在的偏差情况，如此便致使路面的质量难以得到切实的保障^[2]。与此因为冷拌沥青材料自身所具备的性能是比较特殊的，所以传统的那些质量检测方法以及相关标准，在实际的应用过程当中是存在一定局限性的，这就进一步加大了质量控制方面的难度。

4 冷拌沥青薄层在高速公路养护中的对策与改进建议

4.1 优化材料配比设计

优化材料配比设计属于提升冷拌沥青薄层性能的关键环节，这对于保障高速公路养护质量并延长路面使用寿命有着极为重要的意义。合理的配比设计务必要全面考量乳化沥青的类型以及其稳定性、矿料的粒径级配、掺加剂的性质与用量，还有它们彼此之间所产生的相互作用，以此达成材料最佳的物理力学性能以及耐久性。具体来讲，乳化沥青的选择不但会对冷拌混合料的黏结性能产生影响，而且还会决定材料早期强度的发展速度以及抗水损能力；矿料的粒径分布和形状会直接对混合料的密实度以及结构稳定性造成影响。在配比设计的整个过程中，需要将材料特性同高速公路所处地区的气候条件结合起来，借助系统的实验室试验以及现场验证，动态地去调整配比参数，从而保证混合料在不同的温湿环境之下都能够呈现出良好的施工适应性以及长期稳定性。

4.2 加强施工技术培训与设备升级

加强施工技术培训并推进设备升级，这在提升冷拌沥青薄层施工的质量与效率方面，称得上是关键举措。冷拌沥青薄层施工工艺和传统热拌沥青相比，有着自身的特殊性以及复杂性，这就要求施工人员一方面要拥有扎实的理论知识，另一方面还得掌握先进的施工技术以及操作技能。经过系统化培训，可助力施工人员对冷拌材料的性能特点、施工流程还有质量控制要点加以深入理解，如此一来，便能有效防止施工过程中常出现的铺筑不均、密实度不足等各类问题。伴随技术不断向前发展，施工设备的现代化升级变得格外重要起来^[3]。专用的冷拌沥青摊铺机、压实设备以及辅助机械，能在很大程度上提升施工的均匀性以及压实效果，降低人为操作产生的误差，保证路面质量的稳定性与一致性。与此引入智能化以及自动化设备，不但提

高了施工效率,而且方便开展精准控制以及实时监测,进而为质量管理给予技术方面的有力支撑。

4.3 完善质量控制与检测机制

完善质量控制以及检测机制,这在确保冷拌沥青薄层施工质量以及养护效果方面,属于极为关键的一个环节。冷拌沥青薄层其施工工艺有独特之处,而且材料性能也存在着诸多变数,所以质量控制着实面临着不小的挑战,传统所采用的检测方法很难将材料以及施工的实际状态充分且完整地反映出来。所以说,务必要构建起一套科学合理、体系完备并且具有较强适应性的质量控制体系,这套体系需要能够对施工的整个过程展开监测以及评估工作。要引入先进的无损检测技术以及在线监测设备,以此来达成对摊铺厚度、密实度、温度还有材料均匀性等各项情况的实时监控目的,从而可以及时察觉到施工过程中出现的偏差,并且及时予以纠正,进而保障施工过程具备可控性以及稳定性。要把材料检测标准进一步完善起来,把实验室里的性能测试和现场的实际应用情况相结合,制定出契合冷拌沥青薄层特性的专用检测指标以及验收规范,通过这样的方式来提升检测结果的准确性以及代表性。

4.4 推动标准化与规范建设

推动标准化以及规范建设,这是提升冷拌沥青薄层于高速公路养护当中应用水平的关键保障所在。就当下情况而言,冷拌沥青薄层技术在发展进程里虽说已取得了一定程度的进展,不过因为缺少统一、科学并且系统的相关技术标准以及施工规范,这就使得施工质量呈现出参差不齐的状态,进而让应用效果也很难稳定地显现出来。建立完善的标准体系,应涵盖材料选择、配比设计、施工工艺、质量检测、养护维护等各个环节,确保每个环节都有明确的技术要求和操作指南,避免施工过程中的随意性和盲目性。同时,应结合不同地区的气候条件、交通负荷及养护实际,制定具有区域适应性的技术规范,增强标准的针对性和实用性。

4.5 强化环境适应性研究

强化环境适应性方面的相关研究,这对于提升冷拌沥青薄层在高速公路养护环节当中的实际应用成效而言,有着极为重要的意义。高速公路所处的地域环境存在诸多差异,像气候条件、温度方面的情况、降水量以及地质特征等各类因素,都会对冷拌沥青薄层所呈现出的性能状况产生颇为显著的影响,而且这些影响直接和它的耐久性以及使用寿命紧密关联起来。就不同环境条件展开较为系统的、更为细致的材料适应性研究,如此一来,既能将冷拌沥青混合料在各种各样气候环境下所具有的物理稳定性以及化学稳定性给揭示出来,同时也能对配方设计予以优化,进而让材料拥有更强的抗冻融能力、抗高温软化的能力以及抗水损的能力^[4]。除此之外,还得进一步加强对施工工艺和环境条件相互之间作用的研究,要明确施工时机还有工艺参数对于材料性能所产生的影响,以此来保证施工过

程能够很好地适应环境所发生的各种变化,从而达成质量稳定的最终目标。

4.6 鼓励科技创新与推广应用

鼓励科技创新以及推广应用,这乃是推动冷拌沥青薄层技术不断向前发展的核心动力所在。时至今日,高速公路养护方面的需求一直在不断地提升,在这样的形势下,传统的养护材料以及工艺已然很难去契合现代交通运输对于耐久性、环保性以及经济性所提出的综合要求了。科技创新无疑成为了突破当前所面临的种种瓶颈、进而提升相关性能的关键途径。需要进一步增加针对冷拌沥青薄层新材料、新工艺在研发方面的投入力度,借助像纳米材料改性、绿色环保添加剂还有智能化施工装备这类先进的材料科学技术,以此来提升混合料的力学性能以及耐久性,同时强化其环境适应能力以及施工效率。要积极推动实验研究和工程实践二者之间实现深度融合,借助试验示范工程来积累相关的应用数据,从而对工艺参数加以优化,最终达成技术的工程化推广目标。除此之外,还需着力构建起完善的产学研合作机制,促使科研机构、高校以及企业能够紧密地协同协作起来,进而形成一个有利于技术创新的良好生态。加强对科技成果的转化工作以及推广力度,凭借行业培训、技术交流以及政策方面的支持,推动先进技术在高速公路养护领域得以广泛地应用。

5 结语

冷拌沥青薄层技术属于高速公路养护范畴内的一项关键创新成果,因其具备施工流程简便、节能环保特性以及经济效益颇为显著等优势,正逐步变成公路养护行之有效的途径。本文全面且细致地剖析了冷拌沥青薄层所具有的主要特点,同时也深入探讨了其在实际运用期间所存在的各类问题,并且相应地给出了具有针对性的改进办法。在未来岁月里,伴随材料科学以及施工技术持续取得进展,再加上标准化体系日趋完善,冷拌沥青薄层的应用成效将会得到进一步的提高。借助强化技术创新以及推广运用这两方面的工作,冷拌沥青薄层很有希望能够给高速公路养护赋予更高的工作效率以及更佳的质量保障,推动我国高速公路养护相关事业实现可持续的发展态势。

[参考文献]

- [1]黄海秀.公路路面冷拌冷铺沥青施工技术应用[J].运输经理世界,2024(28):145-147.
- [2]欧阳夏龙.冷拌冷铺沥青混合料在公路工程中的应用[J].交通世界,2024(26):32-34.
- [3]张光鹏,吴艳丽.冷拌冷铺沥青混合料路用性能试验研究[J].河南科技,2024,51(13):70-74.
- [4]刘保坤.冷拌冷铺沥青混合料在高速公路施工中的应用[J].工程建设与设计,2024(10):158-160.

作者简介:刘刚(1987.3—),男,厦门大学,土木工程专业,项目副经理,江苏现代路桥有限责任公司。

铁路货物运输安全管理的问题及对策分析

王 鹏

中铁快运齐齐哈尔站营业部, 黑龙江 齐齐哈尔 161000

[摘要]随着我国经济的迅猛发展,产品生产节奏变得越来越快,与之相应,货物运输的需求也在一天天增长。铁路运输凭借其成本低、效率高的优势,在近些年获得了较快的发展,运输量呈现出持续上升的态势。不过,在铁路运输的过程中存在着不少的安全隐患,安全管理的难度以及要求都随之提高了。鉴于此,文中对铁路运输安全管理当中存在的问题及其应对策略展开探讨,希望能够为推动我国铁路运输事业实现安全稳定发展给予有益的参考与借鉴。

[关键词]铁路货物运输;运输安全;安全管理;问题及对策

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16654

中图分类号: U294.83

文献标识码: A

Analysis of Problems and Countermeasures in Safety Management of Railway Freight Transportation

WANG Peng

China Railway Express Qiqihar Station Business Department, Qiqihar, Heilongjiang, 161000, China

Abstract: With the rapid development of Chinese economy, the pace of product production has become increasingly fast, and correspondingly, the demand for goods transportation is also growing day by day. Railway transportation, with its advantages of low cost and high efficiency, has achieved rapid development in recent years, and the transportation volume has shown a continuous upward trend. However, there are many safety hazards in the process of railway transportation, and the difficulty and requirements of safety management have increased accordingly. In view of this, the article explores the problems and response strategies in railway transportation safety management, hoping to provide useful reference and guidance for promoting the safe and stable development of Chinese railway transportation industry.

Keywords: railway freight transportation; transportation safety; safety management; problems and countermeasures

引言

铁路货物运输属于我国交通运输体系里的重要组成部分,它肩负着数量众多货物开展长距离运输的相关任务,对于国民经济能够正常运行以及社会生活维持稳定状态起到了保障作用。不过,伴随货运量不断持续增长,同时运输环境变得一天比一天更为复杂,在这样的情况下,铁路货物运输在安全管理方面遭遇到了不少十分严峻的挑战。像管理体制存在不够完善之处、人员素质呈现出参差不齐的状况、设备设施出现老化情况以及安全理念显得较为滞后等一系列问题,这些问题全都给运输安全带来了潜在的威胁,要是情况严重起来的话,甚至有可能引发重大的安全事故,进而导致产生巨大的经济损失以及造成恶劣的社会影响。所以说,强化铁路货物运输的安全管理工作,提高安全防范方面的相应能力,当下已然成为急需去予以解决的一个极为重要的课题。本文会围绕铁路货物运输安全管理的实际现状,对其中存在的那些主要问题展开较为细致的分析,还会给出具有针对性的对策方面的建议,期望能够为构建起安全、高效并且可持续发展的铁路货运体系给予相应的理论方面的支撑以及实践层面的指导,从而推动铁路运输行业实现健康良好的发展态势。

1 铁路货物运输安全管理的重要性

铁路货物运输属于国民经济的关键构成部分,肩负着数量众多的物资运输任务,其安全管理所处的水平和运输效率、货物安全以及社会经济的稳定发展有着极为密切的关联。铁路货运的安全状况,一方面会对运输进程里的货物完整性以及能否及时交付产生影响,另一方面也同铁路系统的运行安全以及人员生命财产的保障紧密相关。铁路运输具备大批量、高速度、长距离等特性,若发生安全事故,通常会致使重大经济损失并带来广泛的社会影响,甚至有可能引发环境方面的灾害。所以,强化铁路货物运输的安全管理,既是保证运输服务品质以及提升企业竞争力的重要举措,也是维护公共安全、推动经济持续健康发展必不可少的要求。行之有效的安全管理,能够在一定程度上预防并控制各类潜在的风险,促使运输环节按照规范有序地运行,同时还能提升应急响应能力,进而保障铁路货运能够顺畅且安全地开展,达成运输资源的合理配置以及运输效益的最优化程度。

2 铁路运输安全管理存在的问题

2.1 铁路运输管理体制问题

铁路运输管理体制存在着不少问题,其中管理层级显得格外复杂,而且职责划分也不够清晰明确,这就致使各

级管理部门在相互间很难顺畅地进行协调,信息传递的效率也很低,对安全管理措施的及时落实以及执行产生了影响。部分管理机构的职能存在重叠现象,责任也较为分散,还缺乏一个统一的监管与指挥体系,如此一来,安全管理工作便出现了盲区以及漏洞,很难凝聚成合力去应对潜在的风险。传统的管理模式缺少灵活性以及创新能力,没办法适应现代铁路运输业务快速发展的态势所带来的多样化以及复杂化的需求,这使得安全管理手段变得滞后,难以有效地对各类安全隐患加以预防与控制。

2.2 铁路相关人员素质问题

当前我国铁路体系中,相关人员普遍存在素质较低的问题,这不仅影响了铁路客运的服务质量,也对安全保障构成了重大挑战。随着专业教育的普及,大量应届毕业生涌入铁路运输行业,但铁路管理部门对资深员工的留任重视不足,导致人员流动性加剧^[1]。新进员工由于缺乏实践经验,在列车运行过程中遇到突发事件时,往往难以有效应对,暴露出业务能力不足的短板。

2.3 列车晚点率问题

高晚点率在铁路运输安全管理工作当中显得格外突显,并且这种情况普遍存在,其对运输效率以及客户的满意度均产生了直接的影响。出现晚点这一情况之后,会导致货物运输所花费的时间变长,使得物流成本有所增加,而且还有可能引起一系列的连锁反应,进而对后续列车的正常运转以及整体的调度秩序都造成影响。晚点产生的原因多种多样且较为复杂,其中就包含铁路线路、设备设施存在老化以及发生故障等情况,同时也涉及到了调度指挥不够及时、信息传递不顺畅以及应对突发事件时应急处理能力不足等诸多方面。

2.4 铁路设备设施故障问题

铁路设备设施出现故障这一问题,是制约铁路运输安全管理的要素之一。在实际情形当中,设备老化、维护工作开展不及时以及技术更新进程滞后等诸多问题广泛存在。像轨道、信号系统还有牵引设备等这些极为重要的设施,要是出现故障,那么不但会造成列车运行出现异常状况、调度工作陷入混乱局面,而且还极有可能引发较为严重的安全事故,进而对人员以及货物的安全构成威胁。有一部分设备由于长时间处于超负荷的运行状态,这就存在着潜在的隐患,然而却没有有效的预防性维护举措,实时监控方面也有所欠缺,如此一来便使得故障发生的几率大大增加^[2]。与此设备检测所采用的手段以及技术水平都存在不足之处,很难做到及时发现隐患并将其排除掉,这样一来就会延误维修的时间,对运输效率产生不利影响。

2.5 安全管理理念陈旧

在铁路运输安全管理方面存在着安全管理理念较为陈旧这一问题。具体来讲,有一部分管理层以及工作人员依旧在沿用传统的安全管理模式,并且对于现代安全管理理念以及先进技术缺少相应的理解与运用。这样一种比较保守的思维方式使得安全管理措施仅仅停留在被动反应的阶段,更多

的是依靠事后处理以及经验判断来开展工作,缺乏具备系统性、预见性以及科学性的风险评估与防控机制。由此安全文化建设推进得不够彻底,员工们的安全意识比较薄弱,安全责任感也不是很强,很难营造出全员都积极参与进来并且能够持续改进的安全管理氛围。除此之外,面对新兴的安全挑战以及复杂的环境变化,其适应能力显得不足,缺乏创新的精神以及主动去作为的态度,这使得安全管理的效果并不理想,没办法有效地防范和应对各种潜在的风险,进而对铁路运输安全水平提升以及整个行业的发展都形成了制约作用。

3 铁路运输安全问题的对策

3.1 优化铁路内部管理机制

优化铁路内部管理机制对于提升铁路运输安全管理水平而言,属于极为关键的一个环节。一方面要明确各级管理机构各自的职责分工,防止出现职能重叠以及管理盲区的情况,以此来确保安全责任能够逐层落到实处,进而形成一种全员都积极参与进来的安全管理局面。另一方面需要建立起科学且高效的信息沟通以及反馈机制,达成管理层和一线操作人员之间的及时互动交流,保证安全隐患可以被快速地发现并且得到有效处置。与此还应当推动管理流程朝着标准化以及规范化的方向去发展,进一步完善像安全风险评估、隐患排查、应急预案等一系列相关制度,强化这些制度的实际执行力度,避免管理工作仅仅停留在表面形式上。积极地引入现代信息技术,像是大数据、物联网以及智能监控系统等,借助它们来实现对运输全过程的动态监控以及数据分析工作,以此提高安全管理所具备的精准性以及预见性。要加强内部的培训以及考核工作,提升员工的专业技能水平以及安全意识,营造出一种主动去防范风险的安全文化氛围。要建立激励以及问责机制,以此激发员工的工作积极性,强化对安全责任的追究力度,推动管理机制不断地进行优化与创新,最终构建起一个科学、系统并且灵活的铁路安全管理体系,从而为保障铁路运输能够安全稳定地运行给予坚实的保障。

3.2 完善铁路安全法规

完善铁路安全法规对于提升铁路运输安全管理水平而言,是其基础性的保障所在。要依据现代铁路运输所呈现出的发展特点以及实际需求状况,全面且细致地对现有的法规加以梳理,从中找出其中存在的不足之处以及漏洞所在,并且科学合理地制定能够契合当下形势的安全法律规范。需清晰明确各类安全责任主体各自所对应的权责边界范围,切实强化法律针对铁路运输企业、相关管理机构以及有关人员所具有的约束作用以及指导意义,以此来保证安全责任可以切实有效地落实到实处。法规应当将设备维护环节、运输操作环节以及应急管理环节等诸多关键环节都涵盖进去,进而构建起一套完整的全链条式安全管理制度体系。与此还要进一步加强对新兴技术在实际应用过程中以及在风险防控方面的规范力度,以此提升法规自身的适应能力以及对未来发展趋势的预判能力^[3]。完善法规的过程中,

还需重视与国际安全标准实现接轨,充分汲取那些在铁路安全管理方面较为先进的国家所积累的成功经验,从而推动我国的铁路安全管理朝着国际化的水准不断迈进。

3.3 改革铁路设备设施技术

对铁路设备设施技术加以改革,这可是提升铁路运输安全水准以及运营效率极为重要的一环。时至今日,科学技术一直在不断向前发展,在这样的大背景之下,传统的铁路设备以及设施已然出现了种种问题,像是存在老化情况、性能方面有所欠缺,而且维护起来的成本也颇为高昂等等,这些问题的存在,着实给铁路运输的安全保障能力以及服务质量带来了不容小觑的制约作用。所以说,要想让铁路运输能够更好地发展,那推进设备设施技术来一场全面且彻底的升级,同时还要开展智能化改造工作,这事儿是迫在眉睫的。得积极去引进并且充分应用那些较为先进的自动化监测系统,借助物联网、大数据还有人工智能等相关技术,达成对轨道、信号、车辆以及电力系统等的实时监控目的,还能实现故障预测功能,如此一来,便能让故障被发现的时间更为及时,准确性也得以提高,进而有效减少因人为疏忽而产生的安全隐患。要着力强化设备的智能维护以及管理工作,依靠智能诊断以及远程维护等技术手段,对维修流程予以优化,从而使得设备停运的时间得以缩短,最终提升设备在运行过程中的可靠性以及稳定性。除此之外,还得积极推动关键核心技术朝着自主研发的方向迈进,以此提升国产设备在技术水平以及适应性方面的表现,减少对国外相关技术的依赖程度,进而切实保障铁路运输能够做到安全且自主可控。在开展技术改革的过程中,务必要将之与实际运营的具体需求紧密结合起来,唯有如此,才能确保新技术以及新设备在安全性、适用性以及经济性等诸多方面都能够达成最佳的平衡状态。

3.4 加强安全责任的意识,建立起安全考核体制

强化安全责任方面的意识,同时去健全和完善安全考核相关的体制,这无疑是在提升铁路运输安全管理水平方面极为关键的一项举措。一开始,得进一步深化对于全员安全责任理念的培育工作,要让身处管理层的人员、从事技术工作的人员以及在生产一线从事操作的员工都能够深刻地认识到安全生产所具有的重要意义,进而把安全责任切实转化为他们发自内心的自觉行动。借助开展具有一定系统性的安全教育培训活动,着重强化针对法律法规以及安全操作规程方面的学习力度,以此来提升员工在安全意识层面的水准以及他们在风险防范方面的实际能力,务必要保证每一个具体的环节以及每一位员工都能够严格地依照安全规范去行事^[4]。要着手构建起一套既科学又合理的安全考核机制,要清楚明确地界定好安全目标以及评价指标,要把安全绩效纳入到考核体系当中,并且让它和岗位职责以及绩效奖励直接建立起挂钩联系,从而达成奖惩分明的良好局面。考核内容需要包含日常安全管理的执行状况、隐患排查整改所取得的效果、应急响应的实际能

力等诸多不同的方面,以此来推动安全责任能够一层一层地得以落实并且形成闭环式的管理状态。

3.5 建立激励机制,提升职工积极性

建立起能够有效提升铁路职工积极性的激励机制,这对于推动铁路运输安全管理工作不断取得改进而言,无疑是极为重要的保障措施。这一激励机制并非仅仅涉及物质方面的奖励,实际上还包含了精神层面的激励以及职业发展方面的有力支持,其根本目的就在于能够充分激发员工内心深处主动参与到安全管理以及风险防控当中的那种内在驱动力。需要精心制定出一套科学且合理的绩效评价体系,把安全方面的实际表现当作其中极为关键的一项考核指标来对待,具体施行的时候要秉持奖优罚劣的原则,清晰明确地规定对于在安全管理方面做出突出贡献的个人以及团队,要给予相应的表彰以及丰厚的奖励,以此来进一步增强职工内心的荣誉感以及对所在集体的归属感。借助于职业晋升的相关通道以及专业的技能培训途径,切实为员工成长与发展创造更多的机会,让他们能够在从事安全管理工作的岗位之上实现持续不断的提升,从而极大地激发起他们身上所具备的专业敬业精神以及强烈的责任意识。与此还要十分注重去构建起一个良好健康的工作环境以及积极向上的团队文化氛围,以此来促进大家之间的相互沟通与密切协作,进而在最大程度上增强职工对于安全工作的责任感以及对于整个集体所怀有的荣誉感。

4 结语

铁路货物运输安全管理当下正面临诸多挑战,如管理体制存在不完善之处,人员素质呈现出参差不齐的状况,设备设施故障时常发生,且安全理念也显得较为陈旧。唯有对内部管理机制加以优化,使安全法规得以完善,推动设备技术进行改革,强化安全责任方面的意识,并且建立起行之有效的激励机制,才可实实在在地提高铁路货物运输的安全水准。在往后的日子里,应当秉持以人为本的理念并结合科技引领的作用,持续对安全管理体系予以完善,着力加强安全文化的建设,促使铁路运输安全工作能够迈向新的高度,从而保证铁路货物运输达成安全、高效并且可持续发展的目标,进而为经济社会的稳定运转筑牢坚实的保障。

【参考文献】

- [1]郭子豪.铁路货物运输安全管理体系构建[J].中国物流与采购,2025(3):90-91.
- [2]高斌.加强铁路专用线运营管理发展对策[J].智慧轨道交通,2025,62(1):97-100.
- [3]孙桂岩.加强铁路货运安全管理的探讨与实践[J].铁道运营技术,2020,26(1):13-15.
- [4]黄婧瑛.铁路危险货物运输安全管理策略研究[J].物流科技,2023,46(16):83-85.

作者简介:王鹏(1980.3—),毕业院校:北京交通大学,所学专业:交通运输,当前就单位:中铁快运齐齐哈尔站营业部,职称级别:助理工程师。

大跨度组合桥梁新结构关键技术及其应用

孙洪臣

中铁九局集团第七工程有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]随着交通运输方面的需求持续不断地增长,同时桥梁工程技术也在不断发展,大跨度组合桥梁凭借其出色的结构性能以及良好的经济效益,已然成为了现代桥梁建设极为重要的一个发展方向。围绕着大跨度组合桥梁的新型结构体系设计情况、关键技术的研究状况以及施工应用的实际开展情况进行深入且细致的探讨。着重去分析结构形式方面的创新之处、材料组合的选用考量、结构构造所具有的特点等方面,另外还对受力性能的优化处理、疲劳耐久的设计思路、防腐耐久相关的技术以及智能监测健康评估所涉及的技术展开分析。通过针对施工工艺加以创新以及对施工组织做出合理的安排,清晰明确地指出了实现高效施工以及确保工程质量的关键途径所在。给大跨度组合桥梁的设计工作以及施工操作给予系统性的理论方面的依据以及技术层面的指导,从而推动该领域在技术层面的进步以及工程实践方面的进展。

[关键词]大跨度; 组合桥梁; 新结构; 关键技术; 应用

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16655

中图分类号: U44

文献标识码: A

Key Technology and Application of New Structures for Large-span Composite Bridges

SUN Hongchen

Seventh Engineering Co., Ltd. of China Railway No. 9 Group, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: With the continuous growth of transportation demand and the continuous development of bridge engineering technology, large-span composite bridges have become an extremely important development direction in modern bridge construction due to their excellent structural performance and good economic benefits. Conduct in-depth and detailed discussions on the design of new structural systems for large-span composite bridges, the research status of key technologies, and the actual implementation of construction application. Emphasis is placed on analyzing the innovative aspects of structural form, considerations for material combination selection, and the characteristics of structural construction. In addition, analysis is conducted on the optimization of stress performance, design ideas for fatigue durability, technologies related to anti-corrosion durability, and technologies involved in intelligent monitoring and health assessment. By innovating construction techniques and making reasonable arrangements for construction organization, the key ways to achieve efficient construction and ensure project quality are clearly identified. Provide systematic theoretical basis and technical guidance for the design and construction operation of large-span composite bridges, thereby promoting technological progress and engineering practice in this field.

Keywords: large-span; composite bridges; new structure; key technology; application

引言

大跨度桥梁属于连接重要交通枢纽的基础设施,在保障区域经济发展以及促进社会交流方面担负着关键任务。传统桥梁结构随着跨度与荷载的增大,出现了材料使用效率不高、施工难度颇大以及维护成本较高等诸多挑战,迫切需要创新的结构体系以及关键技术来加以突破。组合桥梁凭借其灵活多样的结构组合方式,同时具备钢结构与混凝土结构各自的优势,正逐步变成破解大跨度桥梁技术瓶颈的一条有效途径。伴随材料科学、结构力学以及施工技术的持续发展,再加上现代信息技术所具备的智能监测手段,大跨度组合桥梁在设计理念以及施工工艺方面都迎来了全新的机遇与挑战。全面且细致地对大跨度组合桥梁的新型结构体系设计方法、关键技术研究进展以及施工应用经验展开梳理与总结,盼望着能够为相关工程给予科学方面的依据以及实践层面的参考,进而推动大跨度组合桥梁

技术实现高质量的发展态势。

1 大跨度组合桥梁新型结构体系设计

1.1 结构形式创新

大跨度组合桥梁的结构形式创新对于满足现代桥梁工程的需求而言极为关键。传统单一结构形式像纯钢拱、纯混凝土梁已经很难应对跨度更大、荷载更复杂的状况。把钢和混凝土有机结合起来,可充分挖掘二者优势,提高桥梁整体承载能力以及稳定性。在结构形式方面,把拱、梁、索等多种体系相结合,达成结构多向受力且合理分布,这大大提升了材料利用效率以及结构韧性。创新设计还涵盖模块化构造、节段拼装以及整体预应力的应用,以此强化结构整体协调性能,降低施工难度。并且,借助合理的结构形态优化,能减少材料消耗,实现经济性和耐久性的有机结合。这类结构形式的突破,一方面满足了大跨度的设计要求,另一方面也为桥梁长期运营维护打下了稳固基础。

1.2 材料选用与组合设计

材料的科学选用对于实现大跨度组合桥梁结构性能的提升而言,称得上是极为关键的一个方面。钢材由于自身具备高强度这一特点,并且还拥有良好的可塑性,所以在主要承载构件方面得到了广泛的运用;相比之下,混凝土有着优越的抗压性能,同时其耐久性方面的优势也比较突出,所以它往往会被当作次要构件或者保护层来使用。将钢材和混凝土合理地组合起来,能够促使它们各自的优势得以充分发挥,进而起到互补的作用。现代所采用的高性能钢材以及混凝土,其使用情况更是进一步推动了桥梁结构承载能力的提升,同时也让桥梁结构的耐久性有了明显提高,还使得桥梁的自重得以降低,并且有效降低了后续的维护成本。除此之外,材料的组合设计并不是仅仅着眼于力学性能这一个方面,而是需要全面且充分地去考量材料的热膨胀系数、疲劳性能以及耐腐蚀特性等诸多因素,如此一来才能够确保结构在那种较为复杂的环境当中依旧能够保持稳定的状况。通过对材料搭配的比例以及连接的方式加以优化,便能够达成应力传递既高效又协调的效果,从而在很大程度上提高结构的安全性以及经济性。而且,材料的组合设计还应当综合考虑到施工时的便捷程度以及后期维修操作的便利程度,以此为基础来为结构整体性能的可持续发展筑牢根基。

1.3 结构构造特点

新型大跨度组合桥梁结构,在构造设计方面呈现出多样性和协调性这两个特点。其结构构造把主承载构件的设计囊括其中,同时还将连接节点、支座以及附属设施的系统集成也包含在内。钢拱和混凝土主梁在连接时运用了高强度节点技术,这一技术可有效地对局部应力集中以及变形加以控制,进而确保整体结构具备连续性与韧性。构造设计会充分考量温度变化、荷载作用以及施工过程中出现的变形需求,借助设置伸缩缝、采取抗震措施以及实施预应力调节等方式,赋予结构自适应调整的能力。桥面系还有慢行道悬臂梁等次结构在设计时和主结构紧密结合起来,以此来保证使用功能以及结构安全都能够得到满足。整体构造着重强调模块化与标准化,如此一来便于制造与安装,既能提升施工效率,又能降低工程风险。

2 大跨度组合桥梁新型结构关键技术研究

2.1 受力性能与结构优化

大跨度组合桥梁结构安全性和稳定性得以保障的根本所在便是受力性能分析。唯有全面且准确地知晓桥梁于各类工况之下的受力状况,才能够给合理设计以及优化给予科学方面的依据。借助构建高精度的有限元模型,再结合多种复杂工况所涉及的动态与静态模拟,可细致地将桥梁整体结构以及关键构件在不同荷载作用之下呈现出的应力分布情况、变形规律,还有可能出现的应力集中区域都揭示出来,进而精准地对潜在的薄弱环节做出判断。而

结构优化是以受力分析所得结果为基础,运用多目标优化算法,综合考量结构的安全性、经济性以及施工的可行性,对桥梁的几何形态、材料选用、构件截面以及连接方式等关键参数展开合理的调整。这一过程既涵盖了对整体结构刚度和稳定性的提升,也针对在不同工况之下出现的非线性行为、局部屈曲以及疲劳损伤等问题,制定出了专门的优化策略,以此来强化桥梁的抗变形能力以及承载效率。经过优化设计,合理安排钢材与混凝土材料的比例,在减轻结构自重的同时提升承载力,达成资源的高效利用。受力性能的深入剖析与结构优化的有机结合,不但大幅度延长了桥梁的使用寿命,提升了其安全保障的水平,而且降低了日常维护与修复的成本,推动着大跨度组合桥梁设计理念持续革新以及技术不断取得进步,促使桥梁工程朝着更为智能化以及高性能的方向去发展。

2.2 疲劳耐久设计技术

大跨度组合桥梁在长时间的运营进程里会承受数量众多的交变荷载,所以疲劳性能已然变成设计环节中极为关键的一环。疲劳耐久设计技术把理论分析、试验研究以及数值模拟相互结合起来,以此来精准地预测结构那些关键部位的疲劳寿命。运用高性能的钢材还有混凝土材料,并且配合上合理的节点设计以及应力控制手段,进而让疲劳裂纹出现的概率得以降低。在设计的时候把有限寿命以及无损检测技术综合起来,达成对疲劳风险展开动态评估的目的。对于结构的细部设计,着重于消除应力集中的情况,对焊接工艺以及连接方式进行改进,以此提升疲劳抗力。借助科学的疲劳设计以及监测预警举措,保证桥梁结构在使用的整个期间都能够拥有足够的安全裕度,大幅度提升了桥梁的可靠性以及运营的安全性。

2.3 防腐与耐久性技术

大跨度组合桥梁结构能够长期正常服役,防腐设计是其中极为重要的一环。桥梁结构常常处于多种腐蚀环境之下,像大气腐蚀、海洋盐雾以及工业污染等,这些情况对结构材料的性能产生了相当大的影响。就钢结构而言,因其有自身的腐蚀特点,所以会采用多层涂装的方式,还会使用防腐蚀合金,并且运用阴极保护技术,如此一来便能形成一个较为系统的防护体系。对于混凝土部分,则会采用高性能混凝土配比的方法,同时对表面进行密封处理,以此来提高它的抗渗透性以及抗碳化的能力。在构造设计方面,会着重去避免水汽以及腐蚀介质出现滞留的情况,从而确保结构细节的防护能够保持连续性。耐久性设计把材料选型以及结构细部优化结合起来,这样能够有效地让结构寿命得以延长,同时还能降低维护的频次以及相关费用,进而提升桥梁整体所具有的经济效益以及安全方面的水平。

2.4 智能监测与健康评估

随着信息技术不断发展起来,智能监测系统在大跨度组合桥梁当中获得了广泛的应用,已然成为桥梁健康管理

极为重要的一种手段。借助布置多种多样的传感器,像是应变计、加速度计、温湿度传感器以及光纤传感器等,可实时对结构的受力情况、变形状况、振动状态以及环境参数加以采集,进而达成全方位的动态监测效果。把大数据和人工智能算法结合起来,针对所采集的数据展开分析与评估,能够及时察觉到结构出现的异常情况以及潜在存在的风险,以此来预防安全事故的发生。智能监测系统不但提升了桥梁维护工作的科学性与及时性,而且还为疲劳寿命评估、防腐维护等相关事宜提供了相应的数据支撑。在未来,智能化技术会推动桥梁管理朝着数字化、智能化的方向不断发展,进一步提升结构安全保障的水平。

3 施工技术与工程应用

3.1 施工工艺创新

大跨度组合桥梁施工技术要求高,工艺创新是保障质量、推进进度关键。融合现代模块化设计,施工用预制节段拼装和整体吊装,减少现场作业时间,降低复杂度和风险。钢拱肋制造拼装精准,预应力系统施加调控有突破。引入 BIM 和数字化管理,促信息共享,降低误差和隐患^[1]。针对复杂地理环境,研发多种临时支撑和转体方案,提升施工安全性。与此同时,注重环保和节能,推动绿色施工理念的落实。

3.2 施工组织与质量控制

合理的施工组织方案乃是达成大跨度组合桥梁建设目标的关键保障所在。在施工组织方面,着重强调工序衔接需保持顺畅的状态,资源的配置务必要做到合理无误,并且要对关键工序以及节点予以重点把控,以此来保证整个施工过程能够始终处于稳定且有条不紊的态势当中。质量控制这一环节是贯穿于施工的各个阶段之中的,要设立起十分严格的检测标准以及验收流程,借助先进的检测仪器还有非破坏性检测技术,来对构件的质量以及安装精度展开实时的监测工作^[2]。施工团队还需不断强化针对人员的培训以及内部的管理工作,以此提升作业人员在技术水平方面以及安全意识方面的水准,尽力将施工过程中可能出现的缺陷以及事故发生的几率降到最低限度^[3]。凭借科学的组织管理举措以及严格的质量控制手段,可充分保障工程的质量能够切实达到设计所规定的标准以及满足安全方面的要求,进而有力地推动桥梁实现安全的运营状态。

3.3 应用前景与推广价值

大跨度组合桥梁的新结构以及关键技术的应用方面,其带来的成效是多方面的,它让桥梁的性能以及耐久性都得到了颇为明显的提升,它也有力地推动了施工效率与经济效益的提高。城市化推进的速度不断加快,交通运输的

需求也呈现出多样化的态势,在这样的情况之下,采用新型组合结构体系的桥梁会逐渐成为大型交通枢纽建设当中极为重要的一种发展方向。该技术体系自身有着不错的适应性以及扩展性,能够在多种不同的地质环境以及复杂的工况下适用,所以它有着十分广阔的应用推广空间^[4]。通过不断地对设计理念加以优化,同时对施工工艺予以改进,再结合智能监测技术的应用,便可以达成对桥梁结构进行全生命周期管理的目标,如此一来,能够大幅度地降低维护成本,同时也能够让安全保障得以提高。在未来的发展进程中,大跨度组合桥梁技术会在国内外的基础设施建设领域里发挥出更为重要的作用,进而推动桥梁工程相关技术持续不断地向前发展。

4 结语

大跨度组合桥梁新结构的设计以及其关键技术展开研究,这无疑是在推动现代桥梁工程朝着高性能、高效益的方向不断发展的一项极为重要的内容。就结构形式方面的创新情况、材料组合的具体设计状况、受力方面的优化事宜、疲劳耐久性相关情况、防腐技术的应用状况以及智能监测等方面的核心技术展开了较为系统的探讨,并且把施工工艺方面的创新成果同科学合理的组织管理方式相结合起来,由此也清晰明确地指出了实现桥梁高质量建设所应遵循的技术路径。随着时间的推移,伴随技术不断地走向成熟,其应用范围也在不断地得以拓展,未来的日子里,大跨度组合桥梁在实际的工程实践当中将会呈现出更为旺盛的生命力以及更强的竞争力。持续不断地开展技术创新活动并深入进行实践探索,会给桥梁工程这个领域带来源源不断的更为安全可靠、更为经济实惠且更为智能化的解决办法,进而为社会经济的发展筑牢坚实稳固的基础保障。

[参考文献]

- [1]吴巨军,黄勇,杨平等.大跨度蝶形钢结构组合桥梁设计与施工[J].浙江建筑,2024,41(3):36-39.
- [2]金亚东.大跨度高铁梁-拱组合桥梁施工控制与分析研究[D].安徽:合肥工业大学,2020.
- [3]邵国攀.大跨度吊拉组合桥梁结构行为及抗风稳定性研究[D].四川:西南交通大学,2020.
- [4]王强.大跨度铁路连续梁拱组合桥梁大节段钢管拱肋整体同步提升拼装技术[J].中国铁路,2020(6):65-70.

作者简介:孙洪臣(1987.12—),毕业院校:国家开放大学,所学专业:土木工程,当前就单位:中铁九局集团第七工程有限公司太原项目部,职务:副总工程师,职称级别:工程师。

上海地区软土含水量与其他工程性质参数相关性分析

郭 嫚

上海元易勘测设计有限公司，上海 201203

[摘要]以上海地区软土为研究对象,收集区域内 2620 个软土试样试验成果进行统计分析,得出软土基本物理性质指标范围值,并研究软土层含水量与密度、孔隙比、液限、塑限、液性指数和塑性指数之间的线性关系。结果表明:含水量与孔隙比和密度之间存在极强的线性关系;与液性指数之间存在较强的正向线性关系;与液限、塑限和塑性指数之间虽然存在统计学上的显著线性关系,但其线性解释能力(R 方值)相对较低。

[关键词]上海;软土;基本物理性质指标;线性关系

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16600

中图分类号: TU411

文献标识码: A

Correlation Analysis between Soft Soil Moisture Content and Other Engineering Property Parameters in Shanghai Area

GUO Man

Shanghai Yuanyi Survey and Design Co., Ltd., Shanghai, 201203, China

Abstract: Taking soft soil in the Shanghai area as the research object, 2620 soft soil sample test results were collected for statistical analysis, and the range of basic physical property indicators of soft soil was obtained. The linear relationship between the moisture content of soft soil layer and density, porosity ratio, liquid limit, plastic limit, liquidity index and plasticity index was studied. The results indicate that there is a strong linear relationship between water content, porosity ratio, and density; There is a strong positive linear relationship with the liquidity index; Although there is a statistically significant linear relationship between liquid limit, plastic limit, and plasticity index, their linear explanatory power (R-squared) is relatively low.

Keywords: Shanghai; soft soil; basic physical property indicators; linear relationship

引言

在土力学^[1]中,土体的含水量是一个至关重要的基本物理性质指标。含水量不仅直接影响土体的重量、体积,更深远地决定了土体的力学性能,如强度、变形和渗透性等。了解含水量与其他土工参数之间的内在联系,对于地基基础设计、边坡稳定性分析、路堤填筑、地下结构施工等各类岩土工程问题具有不可替代的指导意义。

上海地区广泛分布第③层淤泥质粉质黏土、第④层淤泥质黏土,该两层是上海地区常见的饱和软土,具有高含水量、高孔隙比、高灵敏度、易流变等工程特性^[2],对各类工程建设具有较大影响,因此,土体自身物理力学性质及各物理参数之间的相互关系研究显得非常重要。为了研究软土的工程特性,田丽霞^[3]通过收集大量的工程案例,运用数理统计方法,得到实测液限值计算塑限值的经验公式。李玉朋^[4]等利用最小二乘法对天津软土各物理力学性质间的相关性进行统计,得出天然含水量与孔隙比具有良

好的相关性。屈若枫^[5]等分析了武汉地区工程特性,分析了武汉地区淤泥质土的物理力学参数及指标间的相关性。

本次收集大量上海地区第③层淤泥质粉质黏土和第④层淤泥质黏土土工试验数据,通过对一系列土样数据进行线性回归分析,旨在分析含水量与以下关键土工参数之间的线性关系:密度、比重、饱和度、孔隙比、液限、塑限、塑性指数和液性指数。通过深入解析回归结果,总结了含水量与各指标间的相应的经验公式,包括 R 方(R-squared)值和回归系数,我们将揭示这些关系背后的土力学原理,并探讨其在工程应用中的实际作用。

1 上海地区软土的基本特性

本次收集上海地区不同区域软土(第③层、④层)土工试验数据,包含约 2620 组土样,统计 18340 条土工试验数据,对第③层、④层土的基本物理力学指标进行研究,其概况如下表 1,可知,本次收集数据在上海市《岩土工程勘察标准》^[6](DG/TJ08-37-2023)统计数据内,数据具有可靠性。

表 1 上海地区软土基本物理力学参数统计表

层号		含水量 w/%	密度 ρ (g/cm ³)	孔隙比 e	液限 ω_L (%)	塑限 ω_P (%)	塑性指数 I_P	液性指数 I_L	压缩系数 $\alpha_{0.1 \sim 0.2}$ (MPa ⁻¹)	压缩模量 E_s (MPa)	固结快剪	
											c (kPa)	Φ (°)
③	最小值	35.1	1.73	1.001	31.4	17.1	11.2	1.01	0.32	2.13	9	13
	最大值	48.5	1.85	1.343	40.9	24.9	16.9	2.04	1.10	6.36	17	23.5
④	最小值	45.6	1.64	1.301	40.0	22.0	17.2	1.01	0.84	1.67	9	9
	最大值	57.7	1.75	1.611	48.5	26.6	23.7	1.71	1.52	2.81	15	13.5

2 数据分析方法

数据处理阶段,利用最小二乘法拟合分析,得出含水量与各参数间的相关性关系。为确保回归分析的准确性,所有涉及的数值型列均进行了严格的类型转换,并处理了可能存在的缺失值,确保了数据的完整性和可用性。

线性回归模型是本次分析的核心工具。对于每一个待分析的土工参数(因变量),我们都以含水量(自变量)进行一元线性回归建模。模型形式为:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \times X + \epsilon$$

其中, Y 代表因变量(如密度、孔隙比等), X 代表含水量(自变量), β_0 是截距, β_1 是回归系数, ϵ 是误差项。回归分析的关键指标包括:

R 方 (R-squared, 决定系数): 衡量模型对因变量变异的解释程度。R 方值介于 0 到 1 之间,越接近 1 表示自变量对因变量的解释能力越强,模型拟合度越好。

回归系数(Coefficient): 表示自变量每增加一个单位,因变量平均变化的大小。其符号(正或负)指示了变量之间的正向或负向关系。

3 含水量与各项土工参数的相关性析

3.1 含水量与密度的关系

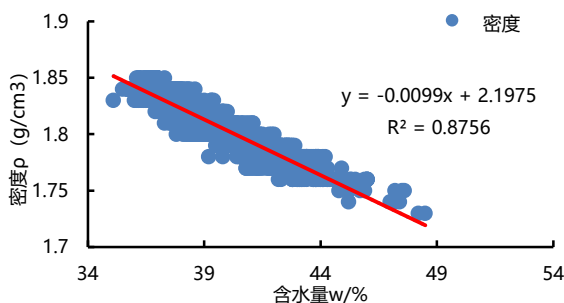


图1 第③层含水量-密度关系

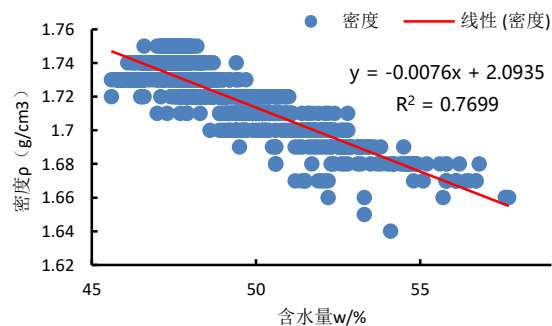


图2 第④层含水量-密度关系

本次分析揭示了第③层、第④层含水量与土体密度之间存在高度显著的负向线性关系,其 R 方值分别 0.876、0.770,表明含水量可以解释土体密度约 87.6%、77.0% 的变异性。密度(通常指湿密度)是土体质量与总体积之比。当土体中水分增加时,虽然水本身有质量,但由

于水分的加入往往会占据更大的体积,并替代了部分较重的土颗粒,或者在同样体积下,水的质量增量相对土颗粒的质量增量导致湿密度降低。更重要的是,上海地区第③层、第④层为饱和土或趋于饱和的土,孔隙中充满了水。当含水量增加到一定程度,意味着孔隙中的水更多,而固体骨架的相对密度贡献减小,从而导致整体湿密度的下降。

3.2 含水量与孔隙比的关系

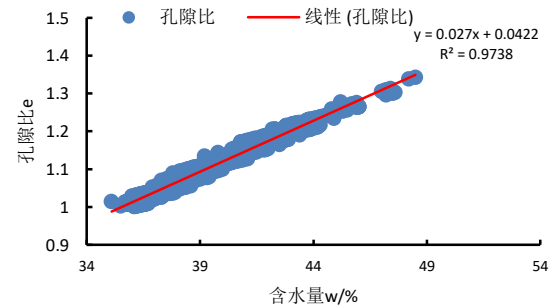


图3 第③层含水量-孔隙比关系

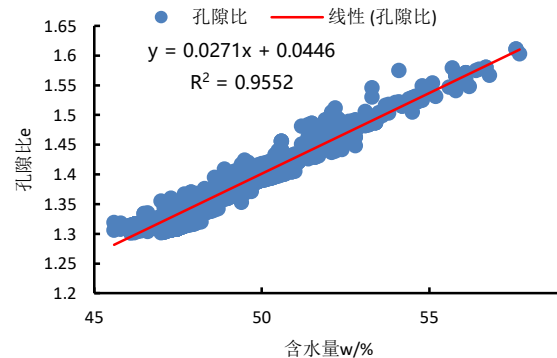


图4 第④层含水量-孔隙比关系

本次分析显示第③层、第④层含水量与孔隙比之间存在极高统计学显著的正向线性关系, R 方值分别高达 0.974、0.955,表明含水量可以解释孔隙比约 97.4%、95.5% 的变异性。这一结果在所有分析的参数中表现出最强的线性关联。孔隙比定义为土体中孔隙的体积与土颗粒体积之比。对于完全饱和的土体,孔隙体积近似等于水的体积。含水量与孔隙比之间存在一个重要的关系式: $e = w \cdot G_s / S_r$ 。当土体趋于饱和 ($S_r \approx 1$) 且土颗粒比重 G_s 变化不大时,孔隙比与含水量之间将呈现出非常密切的正向线性关系。它表明在特定土体类型(饱和土)中,可以通过测量含水量来非常准确地估算或预测土体的孔隙比。孔隙比是计算土体压缩性、渗透性、剪切强度等重要力学参数的关键输入。例如,在计算地基沉降时,压缩系数和固结系数都与孔隙比密切相关。此外,在评估土体液化可能性时,孔隙比也是一个重要指标。这种强烈的线性关系简化了现场测试和参数估算,提高了工程效率。

3.3 含水量与液限的关系

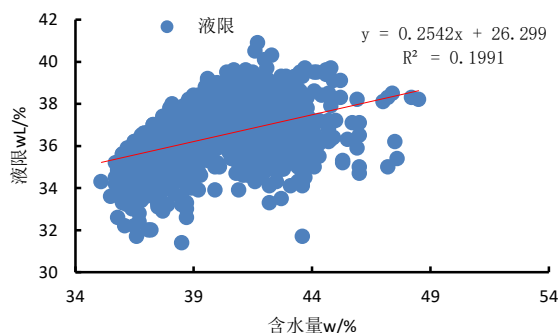


图5 第③层含水量-液限关系

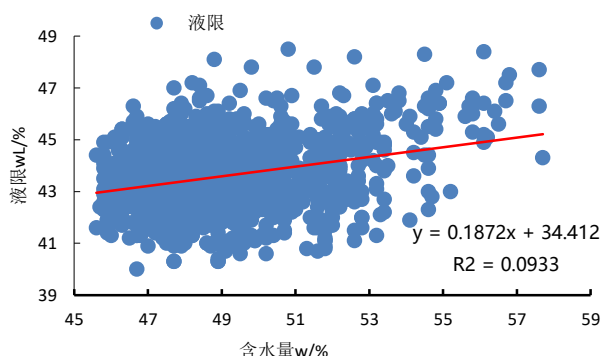


图6 第④层含水量-液限关系

分析结果显示第③层、第④层含水量与液限之间存在统计学显著的正向线性关系，回归系数分别为 0.254、0.187。然而，R 方值仅为 0.199、0.093，表明含水量对液限的线性解释能力有限，仅能解释约 19.9%、9.3% 的变异。液限定义为土体从塑性状态转变为液态状态的最低含水量。它是衡量黏性土塑性大小和压缩性的重要指标。液限主要由土的矿物成分、颗粒形状和粒度分布决定。尽管含水量与液限在概念上都是水分含量，但液限是土体在特定稠度状态下的含水量，而含水量是土体当前的水分含量。它们之间的关系并非简单的一对一。线性回归中较低的 R 方值可能因为：

(1) 土体均匀性：土体中可能夹粉性土或砂性土，土质不均匀，导致液限范围差异较大，从而含水量与液限的线性关系离散型较大。

(2) 土体矿物结构和类型：液限是一个临界含水量，反映的是土体达到某种流动状态所需的水分，其数值更多地取决于土体本身的黏土矿物结构和类型。

(3) 非线性关系：含水量对土体稠度状态的影响可能是非线性的，线性模型可能无法完全模拟。在工程中，液限用于土体的分类和工程特性评价。尽管含水量与液限存在一定的正相关性，但不能直接用含水量来准确预测液限。液限的测定仍需要通过专门的试验（如液限联合测定仪法等）来获取。

3.4 含水量与塑限的关系

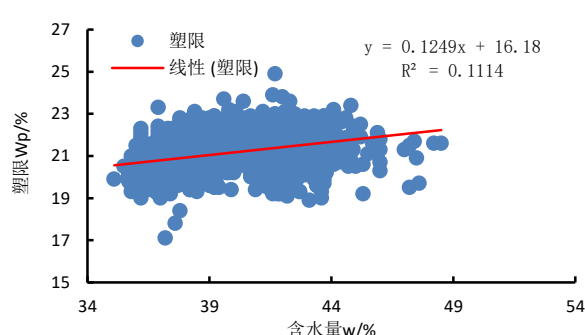


图7 第③层含水量-塑限关系

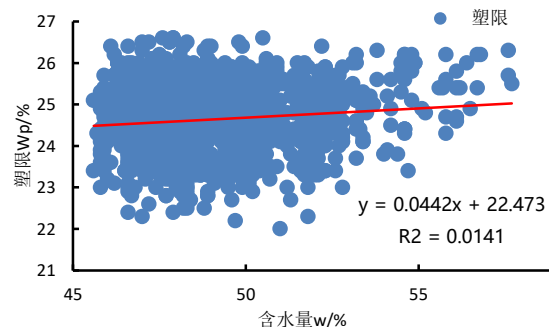


图8 第④层含水量-塑限关系

分析结果表明第③层、第④层含水量与塑限之间存在统计学显著的正向线性关系，回归系数为 0.125、0.044。但 R 方值更低，为 0.111、0.014，表示含水量对塑限的线性解释能力更为有限，仅能解释约 11.1% 和 14.0% 的变异。塑限定义为土体从半固态转变为塑性状态的最低含水量，即土体在含水量降低到不能搓成 3mm 直径的土条而不开裂时的含水量。与液限类似，塑限也是土体固有性质的体现，主要受土颗粒表面性质、黏土矿物类型和颗粒级配等因素影响。含水量与塑限之间存在正相关性，因为土体塑性状态的保持需要一定的水分。然而，与液限类似，塑限的数值也主要取决于土体本身的性质，而非当前含水量。较低的 R 方值再次强调了这一点：当前含水量并不能很好地预测土体的塑限。在工程中，塑限的测定是独立的试验，用于评估黏性土的塑性范围和工程特性。

3.5 含水量与塑性指数的关系

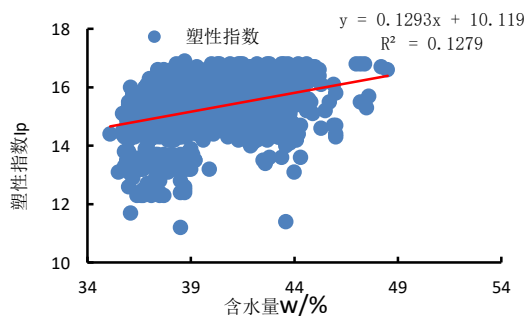


图9 第③层含水量-塑性指数关系

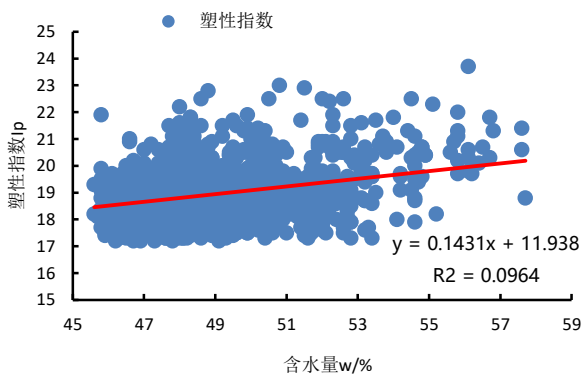


图 10 第④层含水量-塑性指数关系

分析结果显示含水量与塑性指数之间存在统计学显著的正向线性关系，回归系数为 0.129、0.143。R 方值分别为 0.128、0.096，表明含水量对塑性指数的线性解释能力非常有限，仅能解释约 12.8%、9.6% 的变异。塑性指数定义为液限与塑限之差 ($I_p = W_L - W_p$)。它表示土体处于塑性状态的含水量范围，是衡量黏性土塑性大小和可塑性强弱的重要指标。塑性指数越大，土体的塑性越强，通常也意味着黏土矿物含量越高，土体更容易变形。由于塑性指数是由液限和塑限共同决定的，而含水量对液限和塑限的线性解释能力都较弱，因此，含水量对塑性指数的直接线性解释能力也自然偏低。这再次强调了土体塑性性质（由塑性指数表征）主要取决于其自身组成和结构，而不是简单的当前含水量。在工程中，塑性指数是土体分类和评估其压缩性、透水性以及抗剪强度的重要参数。

3.6 含水量与液性指数的关系

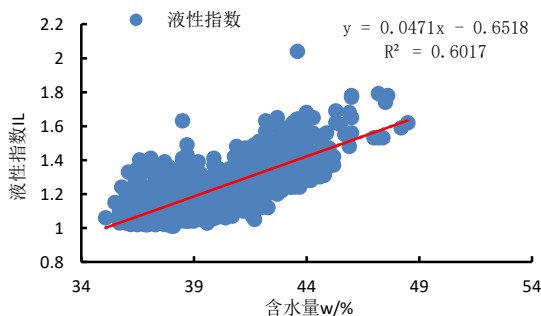


图 11 第③层含水量-液性指数关系

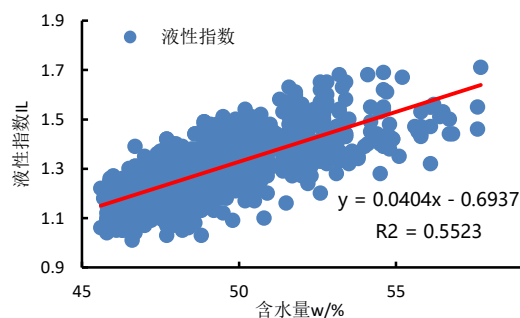


图 12 第④层含水量-液性指数关系

本次分析显示含水量与液性指数之间存在统计学显著的正向线性关系，R 方值分别达到了 0.602、0.552，回归系数分别为 0.047、0.040。这意味着含水量可以解释液性指数约 60.2% 和 55.2% 的变异。液性指数定义为 $I_L = (W - W_p) / (W_L - W_p)$ ，即 $(W - W_p) / I_p$ 。它表示土体当前含水量相对于塑限的距离，并以塑性指数为基准进行标准化。液性指数是判断黏性土稠度状态的重要指标： $I_L < 0$ 表示硬塑或坚硬； $0 < I_L < 1$ 表示塑性状态； $I_L > 1$ 表示软塑或流塑状态。由于液性指数的计算公式中直接包含了土体的当前含水量 w ，因此其与含水量存在较强的线性关系是合理的。当土体的塑限和塑性指数相对稳定时，液性指数的变化主要由当前含水量的变化驱动。较高的 R 方值 (0.602、0.552) 也印证了这一点。在工程实践中，液性指数对于评估黏性土的强度和稳定性至关重要。例如，在饱和黏土中，液性指数越高，土体的剪切强度越低，越容易发生流变或失稳。因此，通过监测含水量，并结合土体的塑限和液限（通常是相对稳定的值），可以较好地估算土体的液性指数，从而判断土体的工程状态和潜在风险。在软土地基处理、边坡稳定性分析以及桩基设计中，液性指数都是一个关键的参考参数。

4 结论与展望

本次对土体含水量与一系列土工参数的线性回归分析，揭示了它们之间不同强度的关联性。

(1) 强线性关系：含水量与孔隙比和密度之间存在极强的线性关系，其中与孔隙比呈显著正相关 ($R \approx 0.974$ 、 0.955)，与密度呈显著负相关 ($R \approx 0.876$ 、 0.770)。这意味着在本次分析的数据范围内，含水量是预测土体孔隙比和密度的最有效指标之一，这些关系符合土力学基本原理，并对工程实践具有直接指导意义。

(2) 中等线性关系：含水量与液性指数之间存在较强的正向线性关系 ($R \approx 0.602$ 、 0.552)。由于液性指数的定义直接包含含水量，这种关联是合理的。这表明通过含水量可以对土体的稠度状态进行较好的初步判断，对于评估软土强度和稳定性具有参考价值。

(3) 弱线性关系：含水量与液限、塑限和塑性指数之间虽然存在线性关系，但其线性解释能力 (R 方值) 相对较低 (R 在 0.014 到 0.199 之间)。这说明塑性指标更多地取决于土体自身的结构类型、颗粒组成等固有性质，而不仅仅是当前含水量的简单线性函数。在工程中，这些指标的测定仍需专门的土工试验。

展望：

本次分析通过一元线性回归模型，假设含水量与因变量之间存在简单的线性关系。然而，土体就有复杂性、多样性，某些关系可能并非严格线性，或者受到其他变量（如干密度、结构类型、颗粒级配、矿物成分等）的影响。未来的研究可以考虑：

(1) 非线性回归模型：探索含水量与其他参数之间是否存在更复杂的非线性关系（如指数关系、多项式关系等），以提高模型的拟合度。

(2) 多元回归分析：将更多的土工参数纳入模型，进行多元回归分析，以了解不同变量之间的交互作用，从而更全面地解释土体性质的变异。

(3) 分类分析：针对不同土体类型（如砂土、黏土、粉土等），分别进行分析，因为不同类型土的物理力学性质可能存在显著差异，导致含水量与各参数的关系模式也有所不同。

(4) 大数据和机器学习方法：利用更先进的机器学习算法来挖掘土工参数之间更深层次、更复杂的非线性关系，为岩土工程设计和施工提供更智能的决策支持。

[参考文献]

[1]李广信,张丙印,于玉贞.土力学(第3版)[M].北京:清华大

学出版社,2022.

[2]工程地质手册编委会.工程地质手册(第五版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.

[3]田丽霞,周黎月.上海地区黏性土液限和塑限数理相关性探讨[J].中国市政工程,2024(6):139-143.

[4]李玉朋,郭进京,余辉.天津软土物理力学性质的相关性研究[J].岩土工程技术,2012,26(6):309-312.

[5]屈若枫,徐光黎,王金峰,等.武汉地区典型软土物理力学指标间的相关性研究[J].岩土工程学报,2014(1):113-119.

[6]上海市住房和城乡建设管理委员会.岩土工程勘察标准[M].上海:同济大学出版社,2023.

作者简介：郭嫚（1987.1—），女，毕业院校：沈阳建筑大学，学历：研究生，所学专业：建筑与土木工程师，目前就单位：上海元易勘测设计有限公司，职务：项目经理 10 年，目前职称：中级工程师。

六盘水市地质灾害易发性评价

黄 稳 张 坤

贵州省地矿局一一三地质大队, 贵州 六盘水 553000

[摘要]贵州省六盘水市地处地质灾害高易发区,滑坡、崩塌及地面塌陷等灾害频发。本研究基于信息量模型与层次分析法(AHP),结合 GIS 技术,选取地层岩性、坡度、坡向、高程、距地质构造距离、距水系距离及距公路距离等 7 项关键评价因子,构建地质灾害易发性评价体系。通过计算各因子权重(地层岩性权重 0.30、坡度 0.25)及综合信息量值,采用自然断点法将研究区划分为高、中、低、非易发 4 个等级。结果显示:高易发区面积 2309.98 km²(占 23.3%),主要分布于碎屑岩分布区、陡坡带及构造活跃区;中易发区 4147.1 km²(41.8%)受人类工程活动影响显著;低易发区(29.8%)与非易发区(5.1%)多集中于平缓地形与稳定岩层区。研究成果可为六盘水市防灾规划、土地利用优化及监测网络建设提供科学依据。

[关键词]地质灾害;孕灾条件;易发性评价;信息量法;六盘水市

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16629

中图分类号: P694

文献标识码: A

Evaluation of Geological Hazard Vulnerability in Liupanshui City

HUANG Wen, ZHANG Kun

Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources Geology 113 Brigade, Liupanshui, Guizhou, 553000, China

Abstract: Liupanshui City in Guizhou Province is located in a high-prone area for geological disasters, with frequent occurrences of landslides, collapses, and ground subsidence. This study integrates the information value model and analytic hierarchy process (AHP) with GIS technology to establish a geohazard susceptibility evaluation system. Seven key factors were selected: lithology, slope gradient, aspect, elevation, distance to geological structures, proximity to water systems, and proximity to roads. By calculating factor weights (e.g., lithology weight = 0.30, slope gradient = 0.25) and comprehensive information values, the study area was classified into four susceptibility zones (high, moderate, low, and non-susceptibility) using the natural break method. The results indicate that high-susceptibility zones cover 2309.98 km² (23.3%), primarily distributed in clastic rock areas, steep slopes, and tectonically active regions. Moderate-susceptibility zones span 4147.1 km² (41.8%), significantly influenced by human engineering activities. Low-susceptibility (29.8%) and non-susceptibility zones (5.1%) are concentrated in flat terrains and stable bedrock regions. These findings provide a scientific basis for disaster prevention planning, land-use optimization, and monitoring network construction in Liupanshui City.

Keywords: geologic hazards; conditions of predisposition; susceptibility assessment; informative method; Liupanshui City

引言

地质灾害是威胁人类生命财产安全的重大自然灾害之一,其防治工作对于保障社会经济可持续发展具有重要意义^[1]。贵州省六盘水市作为地质灾害高易发区,长期面临山体滑坡、崩塌、地面沉降等多种地质灾害的威胁^[2,3]。为有效开展防灾减灾工作,深入分析和把握该地区地质灾害的特征及规律显得尤为重要。

近年来,地质灾害防治及相关技术研究取得了显著进展。陈龙等研究了新铺滑坡特征及成因机制^[4];该研究通过优化 InSAR 技术和多源 SAR 数据分析,克服了复杂山地环境下的监测困难,实现了云南省典型山区滑坡等地质灾害的高精度识别和监测,为地区防灾减灾提供了重要技术支持^[5]。张号等通过在现场精细化调查基础上,结合 GIS 分析技术,对增城区地质灾害情况进行易发性分区评价,得出地质灾害发育概率分布图^[6]。曹洪洋等在基于 GIS 软件的基础上,采用分形理论和信息量法对区域滑坡进行

易发性评价^[7]。这些研究为地质灾害防治提供了重要的理论基础和技术支撑。然而,学者针对六盘水市地质灾害特征的系统性研究仍显不足。

本研究的主要通过信息量法进行计算得到六盘水市地质灾害易发性分区图,旨在为六盘水市地质灾害防治和用地规划提供科学依据,同时为构建更有效的风险监测网络提供新思路。研究成果将为六盘水市开展地质灾害防治和城市区域空间规划供重要的地质灾害风险信息 and 决策依据,从而保障区域社会经济可持续发展。

1 区域易发性评价

1.1 区域地质灾害易发性评价单元划分

本研究区域地质灾害风险评价以 DEM 数据为底图,调查区现状地质灾害发育类型以滑坡和崩塌为主,发育的泥石流已进行工程治理,本次易发性不单独进行评价。一般区地质灾害易发性评价单元以 30m×30mDEM 为底图,重点区以 10m×10mDEM 为底图及斜坡单元为主。基于

地质环境区域上存在差异性 & 复杂多变性的原因,因此需将整个调查区域划分若干个不同的评价单元,以区别不同单元的特性。即做到区内相似,不同评价单元之间进行对比。

随着计算机技术的发展,基于 GIS 技术的地质环境评价也日益成熟,李益敏等采用 GIS 对西南高山峡谷区滑坡风险性评价^[8],熊俊楠等在基于 GIS 的基础上采用信息量模型对溪洛渡库区滑坡风险性评价^[9],同时新的评价单位划分方法也逐渐发展,比如基于栅格数据的栅格单元,基于矢量数据的像元单元等,其单元划分更小,精度更高,相应的评价结果也更精确。本次研究采用栅格及斜坡单元进行易发性评价。

1.2 评价因子选取

以六盘水地质环境的实际情况为基础,综合分析区域孕灾地质环境条件,并对区域内各地质灾害现状进行调查,最终进行资料整理,归纳分析出区域内地质灾害的分布特征、孕灾环境以及发育特征。根据评价的目的和原则,选取出对调查区地质灾害影响较大的危险因子,如地层岩性、斜坡坡度、地质构造、地表水体、高程、公路、斜坡方向等。各评价因子及其选取依据如下:

(a) 地层岩性

根据调查,不同的地层岩性地质灾害的发育程度各有不同。即不同的岩性发育于不同的地质时代,不同的地质时代有不同的成因及地质变化,造就了岩层本身的矿物组份、结构构造和物理特征等存在很大差异,直观的表现即不同地层岩性岩石的抗压强度、抗剪强度、破碎程度都不相同。地层岩性是地质灾害发育的重要内在因素和基础。从调查区的不同地层岩性可知,碎屑岩抗风化能力较弱,风化层普遍较厚,是孕育滑坡、不稳定斜坡的重要地层,同时也是泥石流物源区重要的组成;碳酸岩较为坚硬,但易碎,节理裂隙发育,易产生溶蚀,砂泥岩互层地带,由于风化差异,易形成凹岩腔,因此,该岩性组合地段易形成崩塌。

(b) 斜坡坡度

地形坡度在很大程度上决定了地表水排泄、坡面堆积物应力分布、临空条件以及人类工程活动等这些因素综合影响和控制斜坡稳定性。此外,斜坡坡度越高,土层厚度相对薄、有利于地下水冲刷及应力释放,从几何特征上决定了地质灾害的空间分布。斜坡坡度作为地质灾害发育一大控制性因素,和能提供良好的临空面,改变地质灾害体内部应力分布,影响面地表水、地下水的补、径、排泄等密切相关。

(c) 地质构造

地质构造影响地质灾害的发育主要表现在两个方面,一是大地构造制总体控制区域动力条件,而地质构造易形成褶皱、断裂、断层等相对软弱结构面,因此不同构造单元对滑坡、崩塌等地质灾害的分布特征、规模和滑动方向、

崩落条件存在一定影响。二是构造体系交接复合部、褶皱扭转轴部及其旋扭位置、向斜翘起端以及新构造活动相对强烈区是发生大型地质灾害的构造部位。地质灾害的发育受构造影响主要表现在构造带附近内的岩土体结往往破碎,岩体结构差,坡面岩体的完整性程度,地下水沿破碎带、导水裂隙面等进行下渗,形成地下水通道,导致对斜坡破坏。因此,根据构造的延伸性、规模和类型等地质特征分析其影响范围,采用距构造的距离来分析其对区域地质灾害的影响。

(d) 地表水体

水库、河流、水电站的作用主要表现在对两岸坡体渗透与地表冲刷,此外,季节性冲沟在物源充足的情况下也会发育泥石流,地表水对两岸岩土体的冲刷及渗透影响,一方面会降低岩土体稳定性,土体在饱和后抗剪强度降低,此外对河岸的侵蚀和切割,其地质灾害发育与河流距离为负相关关系。采取水系距离分级来分析其对区域地质灾害的影响。

(e) 高程

相对高程的变化也会影响地质灾害发育,区域内的降雨量、气温、植被发育程度的变化与高程有着密不可分的联系;此外相对高程越高,然环境会变得越发恶劣,人类工程活动程度减弱。因此,选择高程作为地质灾害发育的影响因素之一。

(f) 公路

公路的修建会出现较多的切、填方活动,导致部分地段原始斜坡失稳而诱发地质灾害,不同距离对地质灾害的分布密度存在一定影响。

(g) 斜坡方向

不同斜坡坡向的太阳照射强度等条件不同,从而导致植被覆盖、地表水蒸发量和坡面侵蚀等存在差异,并对斜坡地下水孔隙压力的分布和岩土体物理力学特征形成影响,进而影响斜坡的稳定性。所以坡向也作为一个影响斜坡稳定性的重要因子。

以上 7 个评价因子中,地形坡度、地层岩性、道路、水系、高程、坡向、构造为调查区基础地质条件,是孕灾环境条件。本文基于这 7 个因子开展研究易发性评价。

1.3 地质灾害易发因子的权重计算

1.3.1 滑坡、崩塌和地面塌陷各易发因子的权重计算

本次易发性因子的权重计算采用层次分析法进行,在孕灾地质分析的基础上,结合评价因子总信息量值的大小及专家打分,用 Santy1-9 标度方法进行调查区判断矩阵的构造,由于各评价因子分别与滑坡、崩塌的相关性有所不同,因此分别进行判断矩阵的构造,先根据各因子构造矩阵,再根据各因子的重要性不同进行两两比较,最后根据公式进行计算得出各因子的权重,通过一致性验算,最后得到各因子权重值,构造矩阵见表 1,各因子权重见表 2。

表1 滑坡、崩塌和地面塌陷各因子权重计算赋值表

类别	地层岩性	坡度	距地质构造距离	距水系距离	高程	距公路距离	坡向
A	N1	N2	N3	N4	N5	N7	N8
N1	1.00	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00
N2	0.33	1.00	3.00	3.00	5.00	5.00	5.00
N3	0.33	0.33	1.00	0.33	3.00	5.00	5.00
N4	0.33	0.33	3.00	1.00	3.00	3.00	3.00
N5	0.33	0.20	0.33	3.00	1.00	0.33	3.00
N6	0.20	0.20	0.20	0.33	3.00	3.00	1.00
N7	0.20	0.20	0.20	0.33	3.00	1.00	1.00
N8	0.20	0.20	0.20	0.33	0.33	1.00	1.00

表2 滑坡、崩塌和地面塌陷各因子权重

因子	地层岩性	坡度	距地质构造距离	距水系距离	高程	距公路距离	坡向
权重	0.30	0.25	0.14	0.15	0.08	0.04	0.04

1.3.2 滑坡、崩塌地质灾害易发性评价模型及计算

根据该区地质灾害的特征,本次地灾的风险评价模型采用信息量模型,其不同因子按不同权重叠加时采用层次分析法来计算其权重分配,根据不同的权重计算其综合信息量,在此基础上得到综合信息量值,利用 GIS 叠加功能进行易发性分区评价,最终实现易发性评价。

(1) 计算公式

地质灾害易发性评估依据地质环境条件中各因子对于地质灾害发育的贡献程度进行赋值和赋分,采用信息量法进行计算和分析,对应某种因素特定状态下的地灾信息量为^[10]:

$$I_{Aj \rightarrow B} = \ln \frac{N_j/N}{S_j/S} \quad (1)$$

式中: $I_{Aj \rightarrow B}$ ——对应因素 A、j 状态(或区间)下地质灾害 B 发生的信息量;

N_j ——对应因素 A、j 状态(或区间)下地质灾害分布的单元数;

N ——调查区已知有地质灾害分布的单元总数;

S_j ——因素 A、j 状态(或区间)分布的单元数;

S 为调查区单元总数。

当 $I_{Aj \rightarrow B} > 0$ 时,反映了对应因素 A、j 状态(或区间)下地质灾害发生倾向的信息量较大,地质灾害发生的可能性较大,或者说利于地质灾害发生;当 $I_{Aj \rightarrow B} < 0$ 时,表明因素 A、j 状态(或区间)条件下,不利于地质灾害发生;当 $I_{Aj \rightarrow B} = 0$ 时,表明因素 A、j 状态(或区间)不提供有关地质灾害发生与否的任何信息,即因素 A、j 状态(或区间)可以剔除掉,排除其作为地质灾害预测因子。

由于每个评价单元受众多因素的综合影响,各因素又存在若干状态,各状态因素组合条件下地质灾害发生的总信息量为^[10]:

$$I = \sum_{j=1}^n \ln \frac{N_j/n}{S_j/S} \quad (2)$$

式中: I ——对应特定单元地质灾害发生的总信息量,指示地质灾害发生的可能性,可作为地质灾害易发性指数;

N_i ——对应特定因素、第 i 状态(或区间)条件下的地质灾害面积或地质灾害点数;

S_j ——对应特定因素、第 i 状态(或区间)的分布面积;

N ——调查区地质灾害总面积或总地质灾害点数;

S ——调查区总面积。

(2) 评价因素指标信息量计算

根据不同的权重对不同因子综合信息量进行计算,得到滑坡、崩塌和地面塌陷综合信息量计算结果。

2 地质灾害易发性分级、分析

根据资料收集、野外调查结合本次选取的因子进行综合分析,总结出调查区各个因子在地质灾害控制性作用的比例,确定各因子间重要性排列顺序,采用信息量法进行每个因子的信息量计算,结合层次分析法对每个因子的权重赋值,得出每个因子不同分级的信息量值及综合信息量值,将其每个易发性评价因子进行加权总和,根据自然断点法将易发性评价结果分为极高、高、中、低四个等级。低易发性,表示在基本地质环境条件下不易发生地质灾害;中易发性表示在基本地质环境条件下较易发生地质灾害;高易发性表示在基本地质环境条件下容易发生地质灾害;极高易发性表示基本地质环境条件下极易发生地质灾害。

根据前述的方法,采用 GIS 软件对每个易发性评价因子分别进行信息量计算,再进行加权总和,通过自然间断点法分四级得到一般区地质灾害易发程度分区图。

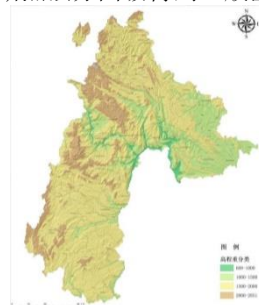


图1 高程影响分级图

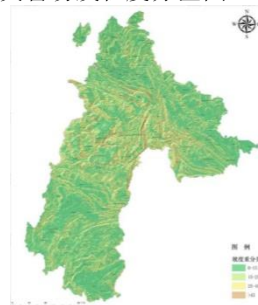
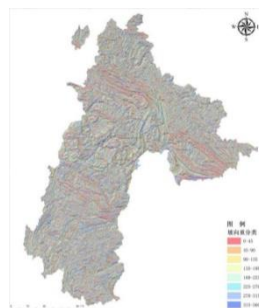


图2 坡度影响分级图



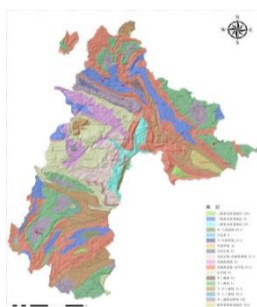


图5 地层影响分级图

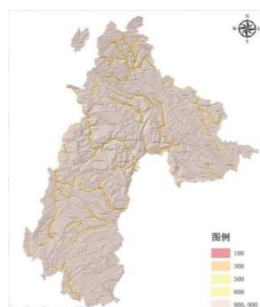


图6 水系影响分级图

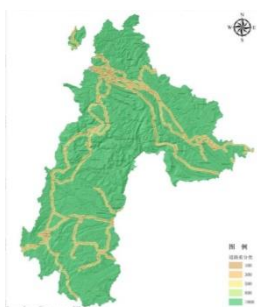


图7 道路影响分级图

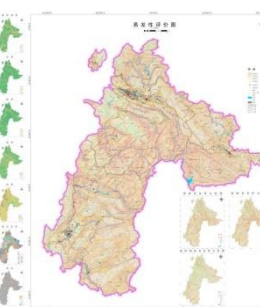


图8 六盘水易发性分区图

3 地质灾害易发性评价结果

由计算可知,按照自然断点分级法对计算结果进行易发性指数进行阈值划分,总体对评价图层按照“区内相似”原则对评价结果进行合并处理,相应的将调查区易发性划分为高易发、中易发、低易发和非易发四个区域,其结果如图8:

根据此次基于孕灾地质条件评价,将六盘水市共划分地质灾害高易发区、中易发区、低易发区、非易发区四个区,其中:地质灾害高易发区,总面积 2309.98km²,占全区面积 23.3%;地质灾害中易发区,总面积 4147.1km²,占全区面积 41.8%;地质灾害低易发区,总面积 2956.7km²,占全区面积 29.8%;地质灾害非易发区,总面积 502.2km²,占全区面积 5.1%。

由破碎的岩体结构和不利的地形地貌共同控制形成调查区非易发区分布于其他区域,该区域地势平坦,地形坡度起伏不大,地质构造的作用对岩体破坏程度微弱,不易发生地质灾害。

4 结论

(1) 主导因子与机制:地层岩性(权重 0.30)与坡度(权重 0.25)是六盘水市地质灾害发育的核心控制因素。碎屑岩区因抗风化能力弱、风化层厚,成为滑坡高发带;坡度>25°区域因临空面发育及地表径流冲刷作用,崩塌风险显著增加。

(2) 空间分异特征:高易发区集中于水城区北部、钟山区西南部等碎屑岩-陡坡复合地带,与构造断裂带、乌江水系侵蚀区空间耦合性显著;中易发区受道路切坡、

矿产开发等人类活动驱动,呈现“带状延伸”分布特征。

(3) 防治建议

重点监测:在高易发区布设 InSAR 监测点,结合无人机巡检,建立“空-天-地”立体监测网络;

工程避让:限制陡坡带(坡度>25°)新建居民区与基础设施,对已有建筑实施边坡加固工程;生态修复:在碎屑岩分布区推广植被固坡技术,优先种植深根系树种以增强岩土体抗剪强度。

[参考文献]

- [1]朱玉倩.水工环地质灾害的问题与防治对策分析[J].西部资源,2023(1):139-141.
 - [2]秦趣,湛洪星,张美竹.喀斯特山区矿业城市地质灾害成因及治理方案——以六盘水市为例[J].国土与自然资源研究,2011(6):41-42.
 - [3]牛丽楠,邵全琴,刘国波,等.六盘水市土壤侵蚀时空特征及影响因素分析[J].地球信息科学学报,2019,21(11):1755-1767.
 - [4]陈龙,李厚芝,陈欢,等.新铺滑坡变形演化特征及成因机制分析[J].工程地质学报,2025,1(15):5-9.
 - [5]左小清,张荐铭,李勇发,等.典型山区 InSAR 地表形变监测与滑坡灾害识别[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2024,49(4):89-104.
 - [6]张号,倪顺程,胡磊,等.基于 GIS 的增城区地质灾害易发性分区研究[J].矿产勘查,2024,15(2):226-236.
 - [7]曹洪洋,任晓莹,李志强.基于 GIS 的分形理论和信息量法的区域滑坡易发性评价[J].中国安全科学学报,2025,35(1):178-185.
 - [8]李益敏,袁静,蒋德明,等.基于 GIS 的西南高山峡谷区滑坡风险性评价——以怒江州泸水市为例[J].西北师范大学学报(自然科学版),2021,57(6):94-102.
 - [9]熊俊楠,朱吉龙,苏鹏程,等.基于 GIS 与信息量模型的溪洛渡库区滑坡危险性评价[J].长江流域资源与环境,2019,28(3):700-711.
 - [10]张华湘,曾牡丹,孙乾征.典型区域地质灾害风险评价及管控对策研究[J].贵州科学,2025,43(1):72-77.
- 作者简介:黄稳(1996—),男,一级建造师(建筑工程),二级造价师(土木建筑工程),水工环地质工程师,2019年毕业于三峡大学土木工程专业,工学学士,长期从事水工环地质工作;*通信作者:张坤(1989—),男,汉族,籍贯:四川省南充市,本科于2013年毕业于华北科技学院安全工程学院地质工程专业,研究生于2015年毕业于中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院的地质工程专业,硕士研究生学历,水工环地质高级工程师,长期从事于水工环地质、矿山地质、生态修复等工作。

灰土挤密桩在湿陷性黄土地基加固中的施工工艺研究

田彦虎

宁夏回族自治区第四建筑工程有限责任公司, 宁夏 固原 756000

[摘要]湿陷性黄土作为我国西北地区典型的不良地基土,其特有的结构性孔隙和遇水软化特性给工程建设带来严峻挑战。传统地基处理方法如换填法和强夯法在工程实践中暴露出造价高、能耗大、环保性差等缺陷。灰土挤密桩技术通过“挤密-固化”双重作用机制,实现了湿陷性消除与承载力提升的协同效果,现已成为处理湿陷性黄土地基的首选工艺之一。文章基于最新工程实践和理论研究,系统梳理灰土挤密桩施工工艺的关键技术环节,重点分析成孔工艺、灰土拌合、夯击参数等核心要素的质量控制要点。

[关键词]灰土挤密桩;湿陷性黄土;地基加固;施工工艺;质量控制

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16634

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Research on the Construction Technology of Lime Soil Compaction Pile in the Reinforcement of Collapsible Loess Foundation

TIAN Yanhu

Ningxia Hui Autonomous Region No. 4 Construction Engineering Co., Ltd., Guyuan, Ningxia, 756000, China

Abstract: As a typical poor foundation soil in northwest China, collapsible loess presents severe challenges to engineering construction due to its unique structural pores and water softening characteristics. Traditional foundation treatment methods such as replacement method and dynamic compaction method have exposed defects such as high cost, high energy consumption, and poor environmental protection in engineering practice. The technology of lime soil compaction pile achieves the synergistic effect of eliminating collapsibility and improving bearing capacity through the dual action mechanism of "compaction solidification", and has become one of the preferred processes for treating collapsible loess foundations. Based on the latest engineering practices and theoretical research, this article systematically summarizes the key technical links of the construction process of lime soil compaction piles, focusing on the quality control points of core elements such as pore forming process, lime soil mixing, and compaction parameters.

Keywords: lime soil compaction pile; collapsible loess; foundation reinforcement; construction technology; quality control

我国湿陷性黄土分布面积达 63 万平方公里,主要分布在黄河中游地区的陕西、甘肃、宁夏等省份。这类土体具有大孔隙、强结构性特点,遇水后会显著附加沉降,对建筑物安全构成严重威胁。随着“一带一路”倡议的推进和西部大开发战略的深入实施,西北地区基础设施建设规模持续扩大,对湿陷性黄土地基处理技术提出了更高要求。灰土挤密桩技术自 20 世纪 50 年代引入我国以来,经过七十多年的工程实践和技术改良,已形成相对成熟的技术体系。现行《湿陷性黄土地区建筑规范》和《建筑地基处理技术规范》均对该技术的设计、施工和质量验收作出了明确规定。然而,在实际工程应用中,仍存在施工参数选择不当、质量控制标准不统一等问题,亟需开展系统化的工艺研究。

1 技术原理、特点及适用范围

1.1 技术原理

灰土挤密桩技术起源于 1934 年苏联阿别列夫教授提出的土体挤密理论体系,20 世纪 50 年代经我国工程界引进改良后,在西北黄土地区地基处理中展现出显著优势。该技术通过机械成孔过程中的动态挤密效应与灰土固化反

应的协同作用,形成独特的“物理-化学”复合加固机制。

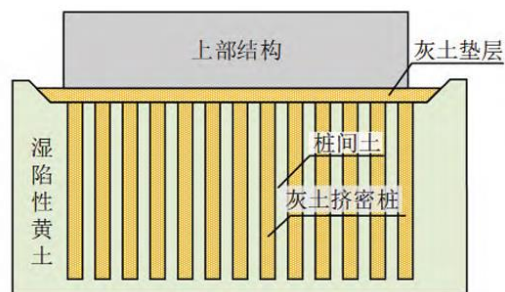


图 1 灰土挤密桩加固湿陷性黄土复合地基结构图

如图 1 所示,其核心机理表现为多维度相互作用:在成孔阶段,采用锤击或振动方式将钢套管强制贯入土层时,桩管周向产生的超孔隙水压力使土颗粒发生位移重组,形成直径约为桩管 1.2~1.5 倍的挤密影响区,此过程中土体干密度可提升 15%~25%,有效消除黄土的架空孔隙结构;在回填阶段,分层夯实的灰土与桩周改良土体构成明显的界面过渡带,灰土中的活性成分与土颗粒发生复杂的离子交换反应,生成的水化产物形成空间网状结构,使改良区

土体的渗透系数降低 1~2 个数量级^[1]。从复合地基受力体系分析,图示中的应力分布云图清晰显示荷载传递路径沿桩体向下扩散,形成深度约为 6~8 倍桩径的加固影响区,该区域内桩土模量比维持在 5:1 至 8:1 的优化区间,使得地基湿陷系数可控制在 0.015 以下。

1.2 技术特点

灰土挤密桩采用就地取材的方式,将灰土直接回填至桩孔中,无需开挖处理地基土,实现“以土治土”,大大减少了土方开挖与回填的工作量。该工艺施工方法简单、设备要求低、绿色环保,无污染,且不受开挖和回填条件的限制,适用于加固深度为 12m~15m 的地基。与其他湿陷性黄土地基处理方法相比,灰土挤密桩在造价、工期及加固效果方面均具有显著优势。

1.3 适用范围

大量研究与工程实践表明,灰土挤密桩广泛适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土及杂填土等类型地基,处理深度一般为 3m~15m。在改善湿陷性黄土的湿陷性、提高地基的水稳定性与承载力等方面,均具有良好效果。然而,当地基土的含水率超过 24%、饱和度高于 65%时,成孔及拔管过程中易出现桩孔缩颈、周边土体隆起等问题,影响挤密效果。因此,灰土挤密桩不适用于处理地下水位以下或处于毛细饱和带的土层。

2 施工工艺流程及控制要点

2.1 施工前准备

施工前准备工作是确保灰土挤密桩施工质量的关键环节,主要包括场地平整、测量放线、材料检验及设备调试等。场地平整需清除表层杂填土、植被及障碍物,确保作业面平整度偏差不超过 $\pm 50\text{mm}$,避免因场地不平导致桩机倾斜或成孔偏位^[2]。测量放线应依据设计图纸采用全站仪进行精确定位,桩位中心点采用木桩或钢钉标记,并在周边设置控制桩以便施工过程中复核。放线完成后需进行复测,确保桩位偏差控制在规范允许范围内。材料检验重点包括石灰活性检测及土料筛选,生石灰应满足《建筑生石灰》标准中 II 级及以上要求,土料宜采用塑性指数 7~17 的黏性土,有机质含量不超过 5%,最大粒径不超过 15mm。施工设备需提前进场调试,桩机垂直度偏差应小于 1%,夯锤重量及落距应符合设计要求,确保夯击能量稳定。

2.2 成孔工艺

成孔工艺直接影响挤密效果及桩体质量,主要方法包括锤击沉管法、振动沉管法及螺旋钻成孔法等。锤击沉管法适用于地下水位以上的均质土层,采用柴油锤或液压锤将带活瓣桩尖的钢套管击入土中,锤击能量宜控制在 $1525\text{kN}\cdot\text{m}$,成孔速度保持 $0.510\text{m}/\text{min}$ 以避免土体扰动过大。振动沉管法通过高频振动使桩管贯入土层,适用于稍密至中密砂性土,激振力宜为 80120kN ,拔管速度控制

在 $1.215\text{m}/\text{min}$ 。成孔直径通常设计为 300600mm ,施工时需实时监测桩管垂直度,偏差超过 1.5%时应立即纠偏。成孔深度应比设计值超深 200300mm 以容纳桩底虚土,终孔验收时需检查孔底沉渣厚度,超过 100mm 时应进行清孔处理。成孔后应及时覆盖孔口,防止杂物落入或孔壁坍塌。

2.3 灰土拌合与回填

灰土拌合质量决定桩体强度与耐久性,配合比通常采用体积比 2:8 或 3:7。拌合前需对土料过筛去除杂质,生石灰块应提前 47 天消解并过 10mm 筛,消解后石灰膏含水量控制在 30%~35%。机械拌合时采用强制式搅拌机,先干拌 30s 使石灰与土料初步混合,再加水湿拌 60s 至颜色均匀,拌合后灰土含水量宜控制在最优含水量 $\pm 2\%$ 范围内。回填施工采用分层夯实法,每层虚铺厚度 250300mm ,使用梨形锤或平底锤夯击 46 遍,夯锤落距 600800mm ,夯击能量 $810\text{kN}\cdot\text{m}$ 。夯实时应从孔周向中心推进,确保边缘土体充分密实,相邻夯迹重叠 $1/3$ 锤径。桩顶标高以上超灌 $300\sim 500\text{mm}$,待桩体凝固后凿除松散部分。

2.4 桩体质量控制

桩体质量控制贯穿施工全过程,重点监控参数包括压实系数、夯击能量及桩身连续性。每根桩施工时需记录夯击次数、落距及贯入度,最后三击贯入度差值不超过 20mm 方可判定达到终夯标准。压实系数检测采用环刀法,在桩体深度 $1/4$ 、 $1/2$ 及 $3/4$ 处取样,要求不小于 0.97。桩身完整性检测采用轻型动力触探或静力触探试验,触探击数应满足设计要求的承载力指标。对于直径大于 400mm 的桩,可辅以低应变反射波法检测桩身缺陷。施工过程中出现缩颈、断桩等问题时,应立即停止作业并分析原因,采取复打、注浆或补桩等措施处理。成桩 7 天后方可进行承载力检测,静载试验加载量不应小于设计值的 2 倍,稳定标准为沉降速率小于 $0.1\text{mm}/\text{h}$ 。

3 关键施工参数优化

3.1 桩径与桩间距设计

桩径与桩间距的合理设计是确保灰土挤密桩加固效果的核心要素。桩径选择需综合考虑地基处理深度、施工设备能力及土质条件等因素。工程实践表明,对于湿陷性黄土地基,最优桩径范围为 $350\sim 450\text{mm}$ 。过小桩径会导致挤密影响区不足,过大桩径则可能引起地面隆起和土体扰动。桩间距设计应遵循“等代换率”原则,通常取 2.5~3.0 倍桩径。在重要建筑物地基处理中,建议采用三角形布桩方式,其挤密效果优于正方形布置。对于湿陷性严重的 III 级自重湿陷性黄土场地,桩间距可适当加密至 2.0~2.5 倍桩径。设计时还需考虑“有效挤密区”概念,即相邻桩体的挤密影响区应有 $30\sim 50\text{cm}$ 的重叠,确保整个处理区域形成均匀的加固体系。计算分析表明,当桩间距超过 3.5 倍桩径时,桩间土的挤密效果将显著降低。

3.2 灰土配合比优化

灰土配合比的优化直接影响桩体强度和水稳性。工程中常用的体积配合比为 2:8 和 3:7, 需根据土料性质和处理要求进行科学配比设计。石灰活性是影响配合比的关键因素, 活性氧化钙含量应不低于 60%。对于塑性指数大于 12 的黏性土, 可采用 2:8 配合比; 对于砂性土或要求较高早期强度的工程, 宜采用 3:7 配合比。水灰比控制同样重要, 最优含水量应通过标准击实试验确定, 一般控制在 18%~22% 范围内^[3]。拌合工艺方面, 建议采用“两拌三闷”法: 第一次拌合后闷料 24 小时, 使石灰充分消解; 第二次拌合后再次闷料 12 小时, 确保离子交换反应充分进行。试验数据显示, 经过优化配比的灰土桩体, 28 天无侧限抗压强度可达 0.8~1.2MPa, 水稳系数超过 0.85。

3.3 夯击能量选择

夯击能量的合理选择对保证桩体密实度至关重要。夯击能量由夯锤重量和落距共同决定, 工程中常用夯击能为 8~15kN·m。对于浅层处理, 可采用较小夯击能; 对于深层处理, 应适当提高至 12~15kN·m。夯击施工时应遵循“重锤低落”原则, 推荐锤重 150~300kg, 落距 2~4m。夯击次数通常为 4~6 击/层, 最后两击的夯沉量差应不大于 20mm。值得注意的是, 过大的夯击能量会导致土体结构破坏, 产生“橡皮土”现象; 而过小的能量则无法达到设计密实度要求。施工过程中应实时监测最后三击的贯入度, 当连续三击贯入度小于 5cm 时, 可判定该层夯击达标。对于含水量较高的土体, 可适当增加夯击次数但降低夯击能量, 避免产生孔隙水压力积聚。

3.4 施工顺序规划

科学合理的施工顺序是确保成桩质量的重要保障。推荐采用“间隔跳打”的施工方式, 具体可分为“梅花形跳打”和“行列式跳打”两种。梅花形跳打适用于大面积满堂布桩, 施工顺序呈放射状向外扩展, 相邻桩施工间隔时间不少于 48 小时。行列式跳打适用于条形基础处理, 按“隔三打一”原则推进。在群桩施工中, 必须遵循“先外后内、先长后短、先深后浅”的基本原则。对于重要建筑物地基, 建议将施工区域划分为若干小区, 完成一个区域检测合格后再进行下一区域施工。施工速度控制同样关键, 日成桩量不宜超过总桩数的 5%, 以保证有足够时间进行质量检测和问题处理。在特殊地质条件下, 如存在软弱夹层时, 应采取“预引孔”或“套管跟进”等辅助措施, 防止缩颈和塌孔现象发生。施工过程中应建立完整的质量追溯体系, 每根桩的施工参数都应详细记录并归档保存。

4 质量检验与效果评价

4.1 检测指标体系

灰土挤密桩质量检测应建立多维度、全过程的指标体系, 包括施工过程检测、成桩质量检测和复合地基验收检测三个层次。施工过程检测重点监控桩位偏差、垂直度、

成孔深度等参数。成桩质量检测主要包括桩体压实度、灰土配合比和桩身完整性。复合地基验收检测应采用标准贯入试验、静力触探试验和载荷试验相结合的方式, 其中单桩复合地基载荷试验的检测数量不应少于总桩数的 1%, 且每个单体工程不少于 3 点。对于重要工程, 还应增加桩土应力比测试和孔隙水压力监测等专项检测。所有检测数据均应建立电子档案, 实现质量追溯。

4.2 湿陷性消除效果评价

湿陷性消除效果评价应采用现场浸水试验与室内试验相结合的方法。现场检测包括探井取样和现场浸水载荷试验。室内试验需测定处理前后土样的湿陷系数、自重湿陷系数和湿陷起始压力。评价标准为: 处理后地基的湿陷系数 δ_s 应 ≤ 0.015 , 自重湿陷量计算值 Δz_s 应 $\leq 50\text{mm}$ 。对于消除全部湿陷性的工程, 尚需满足浸水载荷试验中, 在 200kPa 压力下浸水 72 小时的附加湿陷量 $\leq 30\text{mm}$ 。检测时应特别注意桩间土与桩体的协同工作性能, 通过对比桩体、桩间土及天然地基的压缩模量比值来评价加固均匀性。

4.3 长期稳定性监测

长期稳定性监测应建立“施工期+工后期”的全周期监测体系。施工期监测包括地面隆起、邻桩位移和孔隙水压力消散。工后期监测应持续不少于 2 年, 主要包括: 建筑物沉降观测、地下水位变化和桩土应力重分布。监测频率建议为: 竣工后第 1 年每月 1 次, 第 2 年每季度 1 次, 雨季前后应增加观测次数。监测数据应采用时间序列分析法进行处理, 建立沉降-时间关系曲线, 当发现异常沉降时, 应立即启动应急预案。监测报告应包含原始数据、分析结论和处理建议三部分内容。

4.4 常见质量问题防治

灰土挤密桩施工中常见质量问题包括缩颈、断桩和密实度不足三类。缩颈防治应采取“控制拔管速度+套管跟进”的技术措施, 对于已发生的缩颈, 可采用复打或高压注浆处理。断桩预防重点控制桩孔垂直度和夯击连续性, 处理措施为邻桩补强或压力注浆。密实度不足问题应通过优化夯击参数、控制填料含水量和增加检测频次来解决^[4]。所有质量问题的处理都应遵循“检测-分析-处理-验证”的工作流程, 处理完成后必须进行专项检测验证。建立质量问题案例库, 对典型问题要制定标准化处理方案, 实现经验的有效传承。

5 结语

灰土挤密桩技术作为湿陷性黄土地基处理的成熟工艺, 其技术经济优势已在大量工程实践中得到验证。本文通过系统分析施工工艺流程、关键参数优化和质量控制要点, 建立了完整的施工技术体系。研究表明, 科学的桩径桩距设计、优化的灰土配合比、合理的夯击能量以及规范

数字化施工控制系统的开发以及长期性能监测数据的积累,进一步提升该技术的可靠性和适用范围,为工程建设提供更优质的地基处理解决方案。

[参考文献]

- [1]杨高礼.挤密桩参数对黄土地基加固效果的影响研究[J].工程技术研究,2024,9(12):12-14.
- [2]任涛,朱腾宇.基于 EPS 板减载技术的高填方涵洞受力特性研究[J].铁道建筑技术,2024(9):129-131.
- [3]孙亚军.湿陷性黄土地区挤密桩应用效果研究[J].工程技术研究,2024,9(22):109-111.
- [4]李振龙.灰土挤密桩技术在高速公路施工中的应用[J].交通世界,2024(35):91-93.

作者简介:田彦虎(1977.12—),毕业院校:宁夏大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:宁夏回族自治区第四建筑工程有限责任公司,就职单位职务:经理,职称级别:中级。

建筑外墙保温层施工常见缺陷图像识别与修复技术探索

安立全

建研凯勃建设工程咨询有限公司, 河北 保定 073000

[摘要]采用人工智能图像识别技术,对建筑外墙保温层施工过程中常见的开裂、脱落、空鼓等缺陷做精准探测定位,给出一套智能修复技术方案,借助构建缺陷图像的数据库,采用卷积神经网络(CNN)、YOLO算法对缺陷开展特征提取与实时监测,把自动喷涂跟自适应修补材料结合起来,实现缺陷自动化的修复成果,应用结果证实,该方法于缺陷识别准确性及修复效率方面优势突出,切实提高外墙保温层施工质量及耐久性。

[关键词]建筑外墙保温层;图像识别;缺陷检测;智能修复;自动化施工

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16608

中图分类号: TU746.2

文献标识码: A

Exploration on Image Recognition and Repair Technology for Common Defects in Construction of Exterior Wall Insulation Layer

AN Liquan

Jianyan Kaibo Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Baoding, Hebei, 073000, China

Abstract: Using artificial intelligence image recognition technology, common defects such as cracking, peeling, and hollowing in the construction process of building exterior wall insulation layers are accurately detected and located. A set of intelligent repair technology solutions is proposed. With the help of building a database of defect images, convolutional neural networks (CNN) and YOLO algorithms are used to extract features and monitor defects in real time. Automatic spraying and adaptive repair materials are combined to achieve automated defect repair results. The application results confirm that this method has outstanding advantages in defect recognition accuracy and repair efficiency, effectively improving the construction quality and durability of exterior wall insulation layers.

Keywords: building exterior wall insulation layer; image recognition; defect detection; intelligent repair; automated construction

引言

身为建筑节能关键部分的建筑外墙保温层,其施工质量直接关乎建筑物的保温效果与结构安全,鉴于施工工艺的复杂性、环境影响的多样性,实际应用对外墙保温层而言,易出现开裂、脱落、空鼓之类缺陷,造成节能效果变差,甚至埋下安全隐患,伴着人工智能技术的成长,依靠图像识别的缺陷检测与修复渐渐成为研究热门点,依靠精准判别外墙的缺陷做智能修复,可以明显提高施工效率以及工程质量,助力建筑节能技术迈向新的发展阶段。

1 外墙保温层施工缺陷类型与成因分析

处于建筑外墙保温层施工的阶段,鉴于材料特性、施工工艺与环境因素的协同作用,极易催生各种缺陷,这些缺失不但影响建筑的节能效果,还会给结构安全埋下隐患,深入且全面地分析外墙保温层施工中常见缺陷类型及背后成因,对提升施工质量有着重大意义。

1.1 常见缺陷类型

开裂、空鼓、脱落、渗水、变形这五种类型构成了外墙保温层施工的主要缺陷。

开裂是极为普遍的缺陷之一,大多是由材料收缩、温差变形等要素引起,因为保温层材料在硬化与受热膨胀过程中引起体积变化,引起表面出现开裂迹象,尤其在昼夜

温差大的区域,情况更为明显。

空鼓主要是在基底处理不当或是材料黏结力不足时出现,处于施工操作的阶段,设若基层表面未完全清理妥当或未充分湿润,保温层材料跟基层之间会形成间隙,引起空鼓的现象,砂浆配比不合理以及操作不规范也会引发空鼓方面的问题。

脱落往往是黏结强度不足加上风荷载作用引发的现象,当保温层跟墙体之间的粘结材料没了黏结力,或者遭遇较大外力,保温层表面易出现脱落现象,尤其在高层建筑的具体情境里,诸如风压的外力会让脱落风险进一步加剧态势。

因防水性能不足,保温层常有渗水这样的缺陷,施工期间若防水层出现破损或节点密封欠佳,雨水或地下水极易顺着缝隙渗入,造成保温层内部为潮气所侵,造成保温效果变差且引发霉变情况。

变形往往因结构沉降或是外力作用而引发,若建筑物基础沉降不均匀且受到外部荷载作用之际,保温层与墙体的变形步调未协同,让表面出现鼓包、扭曲,继而产生开裂现象。

1.2 成因分析

造成外墙保温层施工方面缺陷的成因复杂不一,主要涉及设计要素、施工工艺、环境效应和人为作业四个范畴。设计方面的因素是引发缺陷的一个根本缘由,在设计

工作阶段,若保温层厚度欠缺以及材料选取不当,极容易在施工后期出现质量隐患,设计阶段未考量保温材料的抗裂特性,引发后期开裂问题频频出现。

施工工艺对缺陷的形成起到了关键的决定性作用,基层处理未达到合格水平,若清洁未达彻底、未进行界面剂处置,皆会对保温层的黏结效果形成干扰,砂浆配比未达标准、施工时温度把控不当等,或许会导致黏结欠佳或材料收缩幅度过大,引发开裂、空鼓与脱落等现象。

重要外部因素——环境影响,是施工缺陷形成的原因,要是温差处于较大的数值,因热胀冷缩,保温层材料容易开裂;湿度改变以及长期的风化效应,会引起材料强度的降低趋势,黏结效果变弱,加大脱落几率。

施工缺陷的直接诱因乃是人为操作,施工人员技术水平欠缺或监管落实不到位,容易在材料配置、涂抹厚度、施工工序等事宜上出现偏差,直接引起保温层表面平整度不佳、黏结牢固性不足等现象,施工队伍在技术培训跟质量控制上的缺失,为施工缺陷频频发生的主要根源之一。

2 基于图像识别的缺陷检测技术研究

伴随人工智能技术的进步,在建筑工程质量管理方面,基于图像识别的缺陷检测被广泛采用,针对外墙保温层施工中频繁出现的缺陷,像产生开裂、空鼓、脱离现象,采用合理的数据采集并优化算法,能大幅提高检测的精准程度与效率。

2.1 图像数据采集与预处理

外墙保温层缺陷图像的采集是检测首步,选择恰当的设备举足轻重,一般采用高清相机和无人机开展图像采集,高清相机可近距离记录细节画面,可开展小范围的缺陷检测;无人机可对高层建筑进行大面积的巡视排查,快速抓取裂缝、空鼓等缺陷所呈现的特征,无人机装上了高分辨率相机,可于复杂环境里灵活自如地进行图像采集。

采集的原始图像受光照、噪声和角度方面问题干扰,往往呈现出模糊、亮度不均一的现象,为增进图像的质量,要对图像实施预处理操作,涵盖滤波去噪、亮度平衡以及对比度强化,中值滤波、高斯滤波方法的采用可有效去除噪声,借助自适应直方图均衡化算法能增强图像的亮度及对比度。

为开展深度学习模型训练事宜,需针对图像中的缺陷区域做标注,人工标注在现今是最有效的途径之一,标注进程有缺陷区域的多边形框选、缺陷类型的标识以及像素级掩膜的生成,采用专业的标注程序,如 LabelImg 和 COCO Annotator,制成高质量的训练样本集合。

2.2 缺陷图像识别算法

图像识别核心算法里有 CNN 这一算法,通过卷积层实现特征提取,借助池化层达成降维与特征聚合,针对外墙保温层现有的缺陷, CNN 能切实识别裂缝纹理特征及形态上的差异,适宜进行分类与初步鉴定。

YOLO (You Only Look Once) 属于实时目标检测算法范畴,拥有快速精准方面的优势,把图像分割成多个网

格,每个网格对缺陷框及类别做预判,可实现对缺陷的实时定位与类别判定,YOLOv5 版本在速度及精度上实现了再优化,尤其适合在大面积巡查场景下快速识别缺陷。

语义分割网络可开展像素级的缺陷分割操作,像 U-Net、DeepLab 这两种,跟 CNN 还有 YOLO 相比,语义分割网络能精准勾勒缺陷区域的边界轮廓,尤其利于对裂缝、剥落等细微缺陷进行精确提取,在外墙保温层检测相关工作里,可借助语义分割生成缺陷掩膜图,达成自动标识与修复区域的核定。

在针对外墙保温层缺陷的检测里,主要借助 CNN 开展缺陷分类,YOLO 可实现实时的检测与定位工作,语义分割网络可实现细节的提取与精准轮廓描绘,凭借实验实施对比,YOLO 算法于实时性上展现出优势,而语义分割网络在对缺陷轮廓进行提取时表现更佳, CNN 在特征分类这件事上稳定性较高,但数据集的规模和质量对精度的影响十分明显。如表 1 所示。

表 1 精度对比分析

算法类型	精度 (%)	检测速度 (FPS)	适用性
CNN	85	15	适合缺陷分类和特征提取
YOLO	92	50	适合实时检测和快速定位
语义分割网络	95	10	适合细节分割和轮廓识别

3 外墙保温层施工缺陷修复策略

3.1 智能修复方法研究

依托图像识别的缺陷修复技术,先借助高清相机或者无人机采集缺陷图像,以深度学习算法对缺陷实施精准识别与分类,把识别出来的结果输入修复设备后,智能系统会自动判定修复区域及边界,当进行修复的阶段里,基于图像反馈,设备实施材料填补与表面平整,实现缺陷的精准整复,此方法避开了人工判断形成的误差,改善了修复的精准度与一致性。如图 1 所示。



图 1 外墙保温层施工现场

在外墙保温层修复工作中,常用手段里有喷涂技术,结合图像识别达成的结果,自动喷涂设备能精准识别缺陷区域位置,依据设定参数完成材料的喷涂事宜,自动喷涂技术可迅速对大面积的缺陷予以覆盖,还能根据缺陷类型对喷涂量及材料配比进行调控,保证修复后的保温层拥有均匀性及出色的黏结性能。

面对各异类型的缺陷,采用自适应修补材料可促进修复效果提升,基于缺陷甄别的智能修复体系,可凭借图像分析得到的结果,自动对不同物理性能的材料加以调配,针对开裂相关的缺陷,不妨采用高弹性抗裂砂浆;针对出现空鼓与脱落的区域,采用增强型的黏结砂浆,材料于喷涂或者涂抹期间,可依据温度与湿度实时对流动性和黏附性作出调整,保证于各类气候条件中皆可达成理想修复效果。

智能修复方法借助图像引导、自动喷涂和自适应材料技术实现有机整合,可实现修复进程的自动、高效化,杜绝人为操作造成的差错,着实提升施工的质量效率。

3.2 传统修复方法对比分析

在以往施工阶段里,修复缺陷多借助人工操作,施工人员借由目测来判别缺陷类型及范围,然后靠手动进行材料的配制与修补工作,该方法呈现出较高的灵活性,不过是因为依赖经验积累,大多存在判断差错,造成修复效果的稳定性缺失,人工操作耗时明显偏长,尤其在处理高层建筑外墙修复事宜时,作业所涉风险较大。如图2所示。



图2 施工人员操作

跟人工修复作对比,机械化设备在修复效率上有了进步,一定范围内,机械喷涂和涂抹设备能迅速完成材料填补与表面处理,这类设备一般需人工开展操作,缺少自动定位这一功能,实施大面积修复时,效率呈现出提升态势,但在精准修复环节依旧有欠缺,机械设备适用的范畴相对有限,面对复杂的缺陷形态,往往难以实现细致处理。

跟人工修复还有机械修复对比,智能修复呈现出显著的长处,凭借图像识别与自动化修复设备达成联动,能达成缺陷精准定位而后快速修补,采用自动喷涂及自适应材料,有力增进修复的均匀状况和稳定水平,在高层及复杂建筑的外墙处,智能修复系统可实现远程操控,切实削减高空作业的安全隐患。

4 缺陷图像识别与修复技术的应用效果分析

4.1 实验设计与方法

从多个建筑施工工地挑选具备代表性的外墙保温层缺陷进行实验验证,此类缺陷包含开裂、空鼓、脱落等不

同种类,其中有普通住宅外墙,也涉及到高层建筑立面,涉及到不同的气候条件和施工工艺背景范畴,依靠多样化场景进行实验,可更全方位地评测智能修复技术的适用性与实用性。

在各个施工现场,利用高清相机及无人机装置完成图像收集,着重记载缺陷区域的轮廓、规模与分布特性,为达成数据的全面性及准确性,以多角度与多光照条件开展拍摄,采集到的所有图像均开展预处理,包含去噪、强化图像及裁剪,保证图像清晰,令缺陷特征突出呈现。

凭借卷积神经网络(CNN)、YOLO算法和语义分割网络来对样本图像做缺陷识别,经过模型的训练及优化,制得缺陷检测模型,在实际应用进程里,对模型输出的缺陷检测结果与人工检查结果进行对照,算出检测准确率、误检率及漏检率数值,探究智能识别算法在多种缺陷类型下的表现区分,凭借混淆矩阵做分析,不同算法在识别精度与速度上的高下立见。

4.2 修复效果评价

在实验实施的场地,把智能修复与传统人工修复的施工时间作对比,衡量智能修复效率方面的领先优势,和人工操作相比,自动喷涂与图像引导修复在快速定位和精准填补上更胜一筹,尤其是处于高层建筑环境里,智能修复让脚手架搭设与人工攀爬的时间得以缩减,从效率对比来看,约40%的平均工时缩短体现在智能修复上,大面积修复的效率近乎提升了一倍。如图3所示。



图3 修复后的效果

作为施工单位关注的重要指标,修复成本在列,全面计算人工费用、设备使用成本以及材料的消耗,实施智能修复与人工修复成本对比,即使智能修复设备的采购成本偏高,可在开展批量化施工之际,由于人工成本得以节约且返工次数降低,从长期情况看,投入产出比优势更可观,尤其是在复杂缺陷扎堆的区域,智能修复成本仅占到人工修复成本的70%左右。

外墙保温层修复事宜结束后,评价修复技术时,使用寿命与后期维护频率同样是关键指标,开展对修复后墙体

保温效果及物理性能的测试,评估智能修复在保温层寿命延长上起到的作用,在实验跟踪的时间阶段中,智能修复区域开裂与脱落的复发率大幅下降,耐久性上扬约 30%,进入后期维护这个阶段,因修复质量稳定可靠,降低了保温层的老化速率,降低了二次修复的频次与成本开支。

5 结束语

建筑物的节能效果与结构安全,受外墙保温层施工缺陷的影响显著,借助基于图像识别的缺陷检测及智能修复手段,可达成外墙保温层缺陷精准无误识别和高效修复,凭借高清相机与无人机采集缺陷图像,把卷积神经网络(CNN)、YOLO 算法与语义分割网络搭配起来,达成了缺陷自动分类及定位。在实施修复操作之际,借助图像引导修复与自动喷涂工艺,大幅增强施工效率及修复质量,实验结果说明,和传统方法相比,智能修复技术在效率、成本与耐久性方面皆更胜一筹,具备广阔的工程应用潜力,

为外墙保温层施工质量的管控给予科学支持。

【参考文献】

- [1]王嘉怡.建筑外墙外保温层缺陷的红外热成像检测研究[D].西安:西安建筑科技大学,2022.
- [2]鲁友存.基于红外图像特征的建筑物热工缺陷检测方法[D].大连:大连理工大学,2022.
- [3]焦晨琳.基于红外图像的建筑物外墙外保温层缺陷检测与识别研究[D].西安:西安建筑科技大学,2022.
- [4]崔译丹,孙永.建筑外墙外保温层缺陷检测与识别研究[J].哈尔滨:黑龙江科学,2024,15(24):57-60.
- [5]梁轶循.基于红外热像的外墙外保温系统缺陷识别判定与评价方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.

作者简介:安立全(1982.10—),男,河北省定州市,汉族,本科,一级建造师、监理工程师,就职于建研凯勃建设工程咨询有限公司,从事建筑领域方向的工作。

基于数字孪生的深基坑变形控制技术与应用

李 森¹ 李明煜¹ 徐梦强¹ 韩 磊¹ 邹佳旺²

1. 中国铁建大桥工程局集团有限公司, 天津 300000

2. 大连海事大学交通运输系, 辽宁 大连 116026

[摘要]随着城市地下空间开发的加速, 深基坑工程面临复杂地质条件与高安全风险的挑战。传统监测方法依赖静态数据, 难以实现动态预测与实时控制。文中提出一种基于数字孪生技术的深基坑变形智能控制方法, 通过整合 BIM 模型、CNN-LSTM 复合神经网络与多源监测数据, 构建“感知-预测-调控”闭环控制体系。数字孪生平台实时融合传感器数据(地表沉降、地连墙位移、钢支撑轴力)与地质环境信息, 利用 Adam 优化算法训练的 CNN-LSTM 模型预测钢支撑轴力变化趋势, 并通过控制模块动态调整支撑力, 实现对变形的超前干预。实例表明, 预测误差低于 3%, 结合 BIM 可视化界面, 施工人员可实时监控变形状态并优化调控策略, 显著提升基坑安全性与施工效率。

[关键词]数字孪生; 深基坑变形控制; CNN-LSTM; BIM 技术

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16624

中图分类号: U44

文献标识码: A

Deformation Control Technology and Application of Deep Foundation Pit Based on Digital Twin

LI Sen¹, LI Mingyu¹, XU Mengqiang¹, HAN Lei¹, ZOU Jiawang²

1. China Railway Construction Bridge Engineering Group Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

2. Department of Transportation Engineering, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning, 116026, China

Abstract: With the acceleration of urban underground space development, deep foundation pit engineering is facing challenges of complex geological conditions and high safety risks. Traditional monitoring methods rely on static data, making it difficult to achieve dynamic prediction and real-time control. The article proposes an intelligent control method for deep excavation deformation based on digital twin technology, which integrates BIM models, CNN-LSTM composite neural networks, and multi-source monitoring data to construct a "perception prediction regulation" closed-loop control system. The digital twin platform integrates real-time sensor data (surface subsidence, diaphragm wall displacement, steel support axial force) with geological environment information. The CNN-LSTM model trained using Adam optimization algorithm predicts the trend of steel support axial force changes, and dynamically adjusts the support force through the control module to achieve advanced intervention in deformation. The example shows that the prediction error is less than 3%. Combined with the BIM visualization interface, construction personnel can monitor the deformation status in real time and optimize the control strategy, significantly improving the safety and construction efficiency of the foundation pit.

Keywords: digital twin; deformation control of deep foundation pit; CNN-LSTM; BIM technology

引言

深基坑变形控制是确保基坑周围土体稳定, 防止地面沉降、周围建筑物受损等重大事故的关键技术。在基坑施工过程中, 基坑壁、底板等结构会随着土体的变化、地下水的变化以及施工过程的影响发生变形, 尤其是深基坑工程中, 随着深度的增加, 变形问题愈加严重。因此, 基坑的实时变形监测、分析与控制就显得尤为重要。深基坑变形控制通常需要使用一系列监测设备、计算模型和控制手段, 确保基坑在施工过程中的安全稳定。然而, 传统监测方法(如沉降仪、测斜仪)依赖单点静态数据, 缺乏对时空动态变化的捕捉能力; 传统被动式钢支撑系统也因轴力固定难以适应动态荷载变化, 易导致支护刚度不足或应力集中问题。此外, 传统数值模拟(如有限元分析)受限于模型假设, 难以适应复杂地质条件的动态变化。

近年来, BIM 与数字孪生技术的融合为深基坑智能

化管控提供了突破方向。数字孪生通过集成多源数据(设计、施工、监测)构建三维动态模型, 实现工程全生命周期的可视化与协同管理。姚湘静^[1]开发的 BIM 孪生仿真云平台, 可自动生成监测数据分析曲线, 显著提升信息处理效率; 盛灿军^[2]提出的“BIM+GIS+IoT”协同平台进一步强化了多维度数据融合能力。与此同时, 钢支撑伺服控制系统通过实时监测-反馈-调整机制(黄祖超^[3]、张灵熙等^[4]), 显著提升了围护结构变形的主动抑制效果; 深度学习技术(如 LSTM、粒子群优化神经网络^[5])也为变形时序预测提供了新方法。

然而, 现有研究仍存在局限性: 首先, BIM 与伺服系统的数据交互不足, 数字孪生体未能充分整合实时力学响应; 其次, 单一预测模型(如 LSTM)难以同步提取时空特征, 与伺服控制缺乏闭环联动; 再次, 多源异构数据(地质、结构、环境)的融合度与决策实时性亟待提升。

因此,构建“感知-预测-调控”一体化的智能控制框架,已成为深基坑变形控制的研究方向。

1 工程概况

1.1 车站概况

本文研究采用宁波某地铁车站为研究对象,车站为地下三层 13m 岛式站台车站,车站起止里程为 CK14+866.500~CK15+025.500,车站总长 159m,地下一层为车站站厅层,地下二层为设备层,地下三层为车站站台层,底板埋深 29.21~30.81mm,覆土约 3.2m。

车站标准段主体结构净宽度为 20.3m,底板埋深为 29.21m,采用地下三层双柱三跨钢筋混凝土框架结构;围护结构采用 1200mm 厚连续墙加内支撑体系(第一、六道支撑为钢筋混凝土支撑,其余支撑为钢管支撑,共八道支撑+一道换撑)。

1.2 工程地质情况

本车站基坑开挖及围护范围上部土层由淤泥质土及软黏性土组成,而中下部为性质较好的厚层黏土层及其它土层,上部淤泥质土在动力作用下土体强度极易降低,发生塌滑,而下部土层开挖后稳定性较好,造成上下土层侧向变形差异较大。当土体原有应力状态发生变化后,墙后土体势必向基坑方向发生位移,而且变形历时较长。为控制基坑围护体及墙后土体发生过大的水平及垂直向位移,在确保围护体强度、足够的入土深度的同时,采取设置多道内支撑措施进行预防。采用钢支撑时,采取多次施加预应力,来减少水平位移。

2 数字孪生平台的搭建

数字孪生平台由以下模块组成:数据采集模块、BIM 交互模块、预测模块、控制模块。基坑变形控制系统通过数据采集模块获取深基坑的监测时序数据,实现对基坑变形的实时动态监控与全面预测,通过构建深基坑变形控制数字孪生平台,构建基于 Adam 优化算法的 CNN-LSTM 复合神经网络实现对深基坑变形的动态预测,根据动态预测结果对钢支撑轴力进行实时调整,来控制深基坑的变形;通过基坑 BIM 模块构建深基坑变形控制的深基坑 BIM 模型,通过 Revit API 数据接口与深基坑 BIM 模型实时交互,以实现深基坑变形控制的可视化。

2.1 数据采集模块

数据采集模块设置有自动化采集箱、盒式固定测斜仪、钢支撑轴力计以及静力水准仪。将静力水准仪布设在基坑周边监测基坑周边地表沉降,盒式固定测斜仪安装在基坑地连墙上监测地连墙的水平位移,钢支撑轴力计安装在钢支撑的一端来监测钢支撑轴力,安装好传感器后将这些传感器连接在自动化采集箱中,通过采集程序采集到的数据保存数据库,数据库连接到数字孪生平台。

采集并获取深基坑的监测时序数据,将采集到的深基坑的监测时序数据保存到预设的 SQL server 数据库中,通过深基坑变形控制数字孪生平台的数据输入模块调用

SQL server 数据库中的监测时序数据,且通过深基坑变形控制数字孪生平台能够进行数据和图表的展示,能够进行监测数据的增、删、查、改等操作。

2.2 BIM 交互模块

BIM 交互模块的模型部分主要包含钢支撑伺服模型、深基坑模型以及各种传感器模型,其中钢支撑伺服中主要包括钢支撑模型和伺服加载模型。深基坑模型中主要的模型为地连墙模型,传感器模型中主要包含静力水准仪模型、钢支撑轴力计模型和盒式测斜仪模型。相关模型建立后导入到数字孪生平台上。相关传感器安装在地连墙模型如图 1 所示,整体维护结构模型如图 2 所示。用户可以点选相关传感器模型,通过 Revit API 数据接口连接到数据库,可以查看到相关的监测数据。

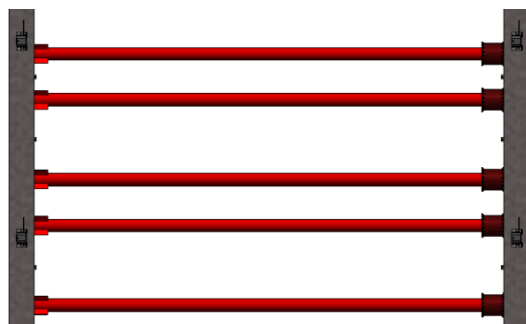


图 1 传感器布置俯视图

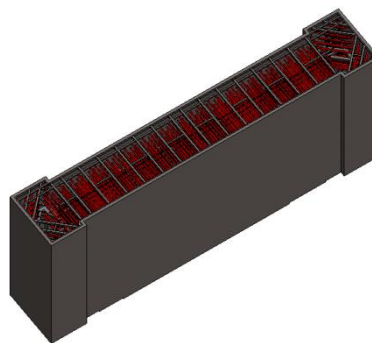


图 2 围护结构三维模型

2.3 预测模块与控制模块

预测模块主要原理基于 Adam 的 CNN-LSTM 复合神经网络来进行预测。单一的 LSTM(长短时记忆网络)神经网络在长序列数据上训练时容易出现梯度消失或爆炸,导致收敛速度慢,通过将 CNN(卷积神经网络)与 LSTM 结合,能够有效提取空间特征,减少 LSTM 层的负担,从而使模型在处理长时序数据时的收敛更快、稳定性更强。尽管如此,这种组合模型仍存在一定的局限性,为了解决此问题,进一步引入 Adam 优化算法,使模型表现更优。

Adam 优化算法通过自适应学习率机制,能够根据不同层的参数变化动态调整学习率,加快收敛速度,避免了单一 CNN-LSTM 模型中因固定学习率导致的训练缓慢或陷入局部最优的情况。此外,由于深基坑变形预测数据复

杂且带有时空特征,传统深度模型在复杂环境下容易出现梯度震荡或不稳定,通过引入 Adam 优化算法的动量机制能够平滑网络参数更新,减少 CNN 与 LSTM 层的梯度震荡,提高模型的整体稳定性。在处理长时间序列数据时,Adam 结合一阶矩与二阶矩,能够有效缓解梯度消失或爆炸问题,使 CNN-LSTM 复合神经网络在面对复杂、多维的时空数据时更加精准。

在数字孪生平台集成控制模块,预测模块的预测结果上传至数字孪生平台后,点击控制模块可以进行钢支撑轴力的控制,在控制模块预设钢支撑轴力阈值,在施加钢支撑伺服系统的钢支撑处可以自动根据所设阈值进行轴力变化,若预测结果大于预设钢支撑轴力阈值时,则通过钢支撑轴力伺服系统卸载对深基坑的钢支撑轴力;若预测结果小于预设钢支撑轴力阈值时,则通过钢支撑轴力伺服系统加载对深基坑的钢支撑轴力;

若预测结果等于预设钢支撑轴力阈值时,则通过钢支撑轴力伺服系统保持对深基坑的钢支撑轴力。

在未施加钢支撑伺服系统的钢支撑处,可以通过比较预测结果与所设阈值的大小,人工地提前进行钢支撑轴力的调整,进行一个超前调整,保证基坑稳定性。数字孪生平台搭建完毕后嵌入 Revit 软件中,数字孪生平台功能图见图 3。

3 基坑变形控制应用

根据所搭建的数字孪生平台进行工程应用,首先根据工程设计信息通过 Revit 建立围护结构 BIM 模型并导入数字孪生平台,在围护结构模型上按现场监测布置点定位静力水准仪(监测地表沉降)、盒式固定测斜仪(监测地连墙位移)和钢支撑轴力计(监测轴力)的传感器模型,同步在 SQL Server 数据库中创建包含时间戳、设备 ID 和监测值的时序数据表并与平台实时连接;将采集的监测时序数据经去噪后,通过基于 Adam 优化的 CNN-LSTM 复合神经网络输出钢支撑轴力预测值;根据预设轴力阈值与预测结果对比,在部署伺服系统的区域通过数控泵站驱动液压千斤顶自动调整轴力,未部署区域则通过 BIM 模型红/橙/黄三色预警提示人工干预,最终通过 Revit API 将轴力调整数据与基坑变形状态实时映射至 BIM 模型。

将该平台用于现场第二道某处钢支撑的施工监测,通过该平台获取深基坑监测点的监测时序数据。选择从 2023 年 3 月 12 日至 2023 年 5 月 31 日每天的地表沉降监测点 SD9-2、SD10-2 的监测数据,地连墙水平位移监测点 CX09、CX10 的监测数据,钢支撑轴力监测点 Zg1-2

的监测数据,共计 5 组数据,每组有 81 个数据。将收集到的原始数据去除噪声处理,将预处理后的数据整合为多变量时间序列,选择钢支撑轴力作为预测目标,将其设置为因变量,其他变量包含各监测点的监测数据 4 个变量作为自变量。选择多变量时间序列前 70 个数据作为输入,输出后 11 个数据,得到的数据图见图 4。

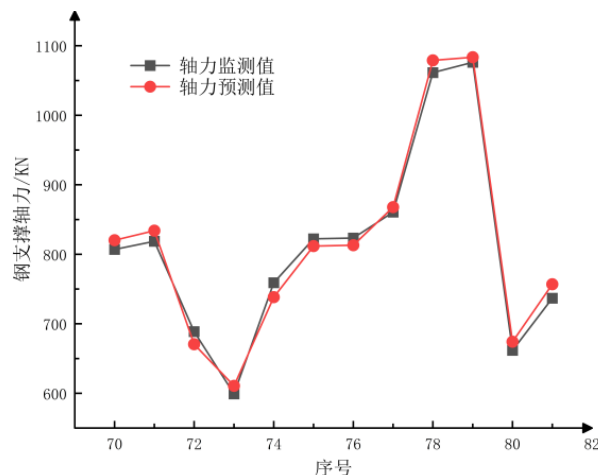


图 4 钢支撑轴力预测结果对比图

具体的预测结果如图 4 所示,由图 4 中数据可知,预测最大误差为 2.82%,预测误差相对较小。

在基于数字孪生的深基坑变形控制技术中,当预测模块通过 Adam 优化的 CNN-LSTM 复合神经网络判定地表沉降或轴力超出阈值时,系统将进行动态调控。以宁波地铁车站工程为例,若 SD9-2 监测点沉降预测值达 32.1mm (阈值 30mm),数字孪生平台通过 Revit API 接口同步更新 BIM 模型,高亮显示风险区域并给出施工建议,可以根据施工建议进行以下动态调控:

(1) 伺服系统智能补偿:在沉降超标区域(如 SD9-2)自动启动钢支撑轴力梯度加载,通过数控泵站驱动液压千斤顶动态平衡土压力,将轴力波动控制在 $\pm 3\%$ 阈值内。

(2) 土体主动加固:结合 BIM 模型定位淤泥质土层渗水点,联动高压旋喷桩设备进行智能注浆,使软黏土层抗剪强度提升。

(3) 施工紧急干预:暂停当前开挖层,优先施工底板利用结构刚度约束位移,同时在 12 小时内加密布设临时钢支撑,并通过轴力计实时监控预应力损失。调控完成后,平台通过 Adam 优化算法迭代更新 CNN-LSTM 参数,并二次验证沉降速率。



图 3 数据孪生平台功能图

4 结论

本文提出了一种基于数字孪生的深基坑变形控制技术方法,通过融合物联网监测、深度学习算法与 BIM 技术,实现了深基坑施工过程中变形预测与控制。通过具体实例表明,该方法在工程实践中具有显著的技术优势与应用价值,具体体现在以下方面:

(1) 数字孪生平台通过构建 CNN-LSTM 复合神经网络,有效解决了传统模型在时空特征提取与长时序预测中的局限性。卷积神经网络(CNN)提取基坑地表沉降与地连墙位移的局部时空特征,长短期记忆网络(LSTM)捕捉时序依赖关系,结合 Adam 优化算法使模型在宁波地铁工程案例中预测误差降低至 2.82%,显著优于传统经验方法。

(2) 数字孪生平台通过静力水准仪、盒式固定测斜仪及钢支撑轴力计组成的传感器网络,实现了基坑变形数据的实时采集与预处理。数字孪生平台基于预测结果动态调整钢支撑轴力将轴力波动范围控制在预设阈值内,通过预测结果,提前变化钢支撑轴力或进行人工干预,对深基坑变形进行超前预测,提前对深基坑变形进行控制,有效避免了基坑坍塌风险。

(3) 数字孪生平台结合 BIM 模型,实现了深基坑变

形控制的可视化, BIM 模型通过 Revit API 接口实时映射变形数据与控制指令,支持用户通过交互界面快速定位风险点,提升施工决策效率,满足设计施工要求,为施工过程中提供了可视化的效果。

[参考文献]

- [1]姚湘静.基于建筑信息模型的地铁车站深基坑工程孪生仿真云平台的研发与应用[J].城市轨道交通研究,2023,26(11):176-180.
- [2]盛灿军.基于“BIM+GIS+IoT”信息管理平台的钢支撑轴力伺服系统在地铁基坑变形控制中的应用[J].城市轨道交通研究,2022,25(6):221-224.
- [3]黄祖超.轴力伺服系统在软土明挖基坑中的变形控制[J].山西建筑,2020,46(9):71-72.
- [4]张灵熙,张雯超,颜静,等.软土地区地铁车站深基坑变形伺服控制分析[J].施工技术(中英文),2023,52(17):55-60.
- [5]刘贺,张弘强,刘斌.基于粒子群优化神经网络算法的深基坑变形预测方法[J].吉林大学学报(地球科学版),2014,44(5):1609-1614.

作者简介:李森(1989.2—),性别,男,民族汉,籍贯:辽宁省沈阳市,学历大学本科,研究方向:地下工程。

关于 BIM 技术在建筑电气设计中的应用研究

贾锁超

河北天艺建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着建筑项目规模和复杂性的不断增加,传统的电气设计方法已无法满足现代建筑对精度、效率与协作的高要求。频繁的设计变更、协调冲突及施工错误,常常导致成本上升与工期延误,通过数字化建模与实时数据共享,BIM 技术提供了更为高效的解决方案,能够在设计阶段及早识别潜在问题,从而优化设计过程及施工阶段,全面提升项目的质量与管理效率。随着 BIM 技术的逐步普及,其在建筑电气设计中的应用潜力不断显现,已成为推动行业技术创新的关键驱动力。

[关键词]建筑工程; 电气设计; BIM 技术

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16650

中图分类号: TU85

文献标识码: A

Research on the Application of BIM Technology in Building Electrical Design

JIA Suochao

Hebei Tianyi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous increase in the scale and complexity of construction projects, traditional electrical design methods can no longer meet the high requirements of modern architecture for accuracy, efficiency, and collaboration. Frequent design changes, coordination conflicts, and construction errors often lead to cost increases and project delays. Through digital modeling and real-time data sharing, BIM technology provides more efficient solutions that can identify potential problems early in the design phase, optimize the design process and construction phase, and comprehensively improve project quality and management efficiency. With the gradual popularization of BIM technology, its potential for application in building electrical design is constantly emerging and has become a key driving force for promoting industry technological innovation.

Keywords: construction engineering; electrical design; BIM technology

引言

随着建筑行业的迅猛发展,电气设计面临的挑战愈加复杂。传统的二维设计方式在信息传递和团队协作方面显现出明显的不足,设计冲突和错误的发生往往难以避免。作为一种创新的数字化工具,BIM(建筑信息模型)技术通过三维建模、数据集成及协同工作,显著提高了设计精度和施工效率。设计变更与冲突得到了有效减少,同时多专业间的协作流程也得到了优化,探讨 BIM 技术在建筑电气设计中的应用,分析其在提升设计质量、优化施工过程及增强协作效率方面所展现出的独特优势。

1 BIM 技术在建筑电气设计中的应用优势

1.1 提高设计质量与精度

BIM 技术显著提高了建筑电气设计的质量与精度,尤其表现在高度集成的数字化模型上。通过 BIM 平台设计人员能够在三维空间中精确地展示电气系统的布局与功能,确保每个环节的细节被充分考虑。与传统二维设计相比,BIM 更有效地识别潜在问题,如线路走向、设备布置、电气负荷等,在设计阶段就能进行精确的校验,从而避免施工中因设计不准确而产生的返工或修改。BIM 技术多专业协同工作中的优势尤为突出,各专业人员可以在同一平台上实时共享数据与进度,有效减少因信息误

差或沟通不畅所引发的设计偏差。任何设计方案的调整都能迅速反映在模型中,确保了电气设计的精确性与一致性,避免了设计错误导致的成本浪费。此外,通过仿真模拟,电气系统的实际运行状态得以预测,设计团队可提前评估系统表现,从而优化设备选型、配置及布线方案,提高了设计的可靠性与适应性。

1.2 优化施工图纸与施工过程

BIM 技术在优化施工图纸与施工过程中起到了至关重要的作用,通过 BIM 模型设计师能够生成精确且详细的施工图纸,避免了传统二维图纸中常见的遗漏或错误,这些图纸不仅呈现了丰富的空间信息,还清晰地展示了电气系统的各个细节,如设备布局、管线配置与接线方式,使施工团队能够更直观地理解整体设计。在施工阶段,BIM 提供了可视化的引导,施工人员可通过 BIM 模型提前预见实际施工环境及操作流程,从而减少因理解偏差而产生的错误施工。借助碰撞检测功能,BIM 能够在施工前识别管线、设备与建筑结构之间的潜在冲突,及时进行设计或施工顺序调整,避免了不必要的返工与延误。BIM 模型中的数据可随时更新,确保施工过程中的所有信息始终保持一致与同步,项目经理能够通过 BIM 系统实时监控施工进度,迅速识别并解决问题从而有效优化资源配置

与工期安排。

1.3 降低设计变更与减少冲突

BIM 技术在减少设计冲突方面展现了显著的优势，尤其是在碰撞检测功能的应用中。在电气系统设计中，管线与结构或其他设备之间的空间冲突往往是设计变更的主要原因，借助 BIM 设计人员能够在设计阶段通过虚拟碰撞检查提前识别潜在冲突，并进行必要的调整，不仅有效避免了施工阶段因设计冲突所带来的返工，也确保了设备安装与电气布线的合理性与可行性，从而减少了由于空间限制或协调不当而引起的工程延误。通过 BIM 的协同工作平台，设计人员、工程师及施工团队得以实时共享最新的设计方案与变更信息，确保所有参与方始终基于统一的信息源进行工作。误解与遗漏的可能性因此显著降低，信息不对称所导致的设计变更与冲突得到了有效遏制。BIM 的协同与可视化管理方式，使设计、施工与运营之间的联系更加紧密，确保了项目的顺利推进。

1.4 提升协作与沟通效率

BIM 技术通过打破传统设计与施工过程中信息传递的壁垒，显著提升了各方的协作与沟通效率。在传统的设计与施工中，不同的软件工具和工作平台往往导致信息传递不畅，频繁出现数据反复更新的问题。而 BIM 平台则将设计、施工与运维的数据整合到一个共享的三维模型中，各团队成员无论在设计、施工还是后期维护阶段都能即时获取最新信息，确保了数据的一致性与准确性。在 BIM 环境下，设计师、工程师、施工团队及项目管理人员能够在同一虚拟平台上进行实时互动与反馈。例如，在电气设计阶段，电气设计师可直接与建筑结构师或给排水工程师协同工作，迅速解决设计中的交叉与冲突，而无需依赖繁琐的面对面沟通或等待信息传输与审批，这种协作方式消除了沟通延误与误解，确保了各项任务的顺利推进。BIM 的可视化特性进一步优化了沟通效率，在传统的二维图纸交流中，通常需要大量注释与解释才能使各方完全理解设计内容，而 BIM 通过三维模型直观地呈现设计意图，使各方能够迅速理解并提供反馈。复杂的设计通过虚拟漫游、动态模拟等方式得以更加清晰地展现，语言障碍与理解偏差因此得以减少。

2 建筑电气设计应用 BIM 技术特点

2.1 协同及协调

BIM 技术的核心优势之一是卓越的协同能力，它有效打破了传统设计与施工过程中各专业之间的壁垒，使不同团队能够在一个共享平台上同步工作。借助 BIM 模型，电气设计师、建筑师、结构工程师以及给排水工程师等各专业人员能够实时查看与修改数据，确保在设计阶段与施工过程中信息始终保持一致与同步，这种协同工作模式不仅提升了团队间的沟通效率，还显著减少了因信息不对称或数据遗漏而引起的错误与冲突。在电气设计中协作显得

尤为重要，电气系统的布局、管线走向及设备配置等与其他专业设计密切相关，任何细微的调整都可能影响整个建筑的功能性与安全性，借助 BIM 技术电气设计团队能够与其他专业团队在同一模型中进行动态协作，及时发现潜在冲突并进行调整^[1]。例如，电气管线与结构梁或给排水管道可能发生交叉，传统设计依赖人工检查与修改，而通过 BIM 的自动碰撞检测功能，这些问题能够在设计阶段提前识别并加以修正，从而避免了施工阶段因设计冲突引发的返工与延误。此外，BIM 还大大促进了跨专业的协调工作，在电气设计中与建筑结构及设备设施的紧密协调是不可或缺的，通过 BIM 平台，所有相关专业的团队能够在同一虚拟空间中协同工作，实时对设计方案进行调整与优化，确保各项设计相互协调、不相互干扰且满足功能需求。

2.2 可视化和仿真模拟

BIM 技术的可视化及仿真模拟功能在建筑电气设计中发挥着至关重要的作用，通过三维模型 BIM 能够直观展示电气系统的复杂设计，帮助设计团队在虚拟环境中清晰地查看电气布线、设备配置及照明系统等各个环节的空间布局与相互关系，这种可视化方式不仅增强了设计人员对电气系统整体结构的理解，还有效消除了传统二维图纸中可能出现的误解与模糊点。BIM 的仿真模拟功能进一步优化了设计过程，设计团队可以在实际施工前利用 BIM 模型进行各种运行状态的模拟，以评估电气系统在不同工作条件下的表现。例如，电气负荷、设备运行状态及照明效果的模拟，能够提前验证设计的合理性与可行性，此过程不仅帮助设计团队识别潜在设计问题，还能优化电气系统的配置与性能，从而提升系统的稳定性与运行效率。仿真模拟的另一大优势在于它为施工前提供了现场环境的提前了解，设计人员可以通过虚拟漫游功能，在模拟中检验电气设备安装的可行性，确保设备布置合理、管线走向畅通无阻。施工阶段，工人能够依赖这些仿真结果更精准地进行操作，从而避免了因信息不清或理解偏差导致的施工错误，不仅大大提高了施工效率还保障了施工质量，确保项目能够按计划顺利推进。

3 BIM 技术在建筑电气设计中的具体应用

3.1 应用于供配电系统中

在建筑电气设计中，BIM 技术在供配电系统的应用极大地提高了设计精度与施工效率。作为建筑电气系统的核心，供配电系统负责电力的分配、传输与使用，不仅必须确保电力的稳定供应，还需兼顾系统的安全性与可维护性。借助 BIM 技术的三维建模与数据集成功能，设计人员能够对供配电系统的每个环节、设备及管线进行精确建模，确保设计的准确性与可实施性。在设计阶段，BIM 技术帮助设计团队对整个供配电系统进行详细的模拟，验证电力负荷、设备容量与线路布置等关键因素。例如，设计人员能够通过 BIM 模型进行负荷分析，合理配置配电

变压器、配电盘及开关设备,确保系统的高效与安全运行。虚拟仿真使得设计团队能够提前识别系统潜在的瓶颈、设备过载或电压不稳定等问题,从而在早期阶段完成设计调整,避免了传统设计中常见的后期调整与返工。BIM 的协同工作功能在供配电系统设计中具有尤为重要的作用,供配电系统的设计通常与建筑结构、给排水等其他系统紧密相关,BIM 平台使得不同专业的设计人员能够在同一三维模型中协同工作,实时调整并优化设计方案。例如,在布设供配电管线时,BIM 能够实时发现管线与建筑结构或其他系统的冲突问题,避免了施工阶段因空间限制或设备位置不当所导致的修改与延误。在施工过程中,施工团队能够基于 BIM 模型精确布置管线、安装设备并进行调试,确保施工质量与进度的可控性。任何设计变更都能在模型中实时更新,确保所有团队成员始终使用最新版本的设计方案,从而提升施工效率与团队之间的协调性。

3.2 应用于照明等系统中

在建筑电气设计中,BIM 技术在照明系统等子系统的应用中发挥了重要作用,尤其在提高设计精度、优化功能与加强施工协调方面,具有不可忽视的优势。照明系统的设计不仅涉及灯具的选择与布置,还需考虑光效、能效、光照分布与控制方式等多个复杂因素。借助 BIM 模型,设计人员能够在三维空间中清晰地展示灯具的位置、类型及其与其他系统的关系,从而确保设计的合理性与高效性。BIM 技术使设计团队能够进行精确的照明负荷分析与优化^[2]。例如,通过 BIM 模拟,不同灯具类型的光照效果得以全面评估,设计人员能够调整灯具的照射角度与布局,确保光线在空间内均匀分布,从而满足实际使用需求。BIM 还能够计算电力负荷与照明系统的能耗,协助设计人员选择最合适的灯具与控制设备,进而实现节能与环保的目标。在施工阶段,BIM 模型为照明系统的安装提供了详细指导,施工团队可以依据 BIM 模型中的具体数据精确布置灯具,避免了传统施工过程中因设计不明确或理解偏差所导致的安装错误,通过虚拟模型施工人员能够明确了解每盏灯的位置与接线方式,确保安装过程的顺利进行。此外,BIM 的协作功能使照明设计团队、建筑师、机电工程师及施工人员能够在同一平台上实时更新与沟通,所有设计变更得以即时反映在模型中,从而有效避免了返工与延误的情况。BIM 还在照明系统的后期维护与管理中发挥了重要作用,借助 BIM 模型管理人员可以快速查找每个灯具的规格、安装位置与维护周期等信息,显著提高了日常检查与维修的效率,基于 BIM 模型的数字化管理照明系统的维护记录与设备寿命得以系统化管理与跟踪,不仅延长了设备的使用寿命,也提升了系统的整体可靠性。

3.3 应用于设备布置与设施管理

在建筑电气设计中,设备布置的合理性直接影响系统的运行效率与后期维护的便捷性,BIM 技术通过精确的三维建模与数据集成能力,使电气设备的布置更加科学与合理。设备安装位置可以在虚拟环境中模拟,确保设备之间的空间协调,避免与建筑结构、管线及其他设备发生干涉。借助 BIM 平台,设计团队能够详细计算设备的尺寸、功率需求与安装条件,潜在的空间问题在设计初期即可识别,并据此优化设备布置,确保各设备能够高效运作。优化设备布置的影响不仅局限于设计阶段,它同样延伸至后期设施的管理与维护,在 BIM 模型中每个设备都包含了详尽的参数信息,如型号、规格、生产厂家、维护周期等,这些数据不仅帮助设计团队精确规划安装位置,也为后期设施管理提供了重要支持^[3]。借助数字化管理,物业管理人員能够迅速查询设备的详细信息,追踪设备的运行状态与维修记录,从而制定提前维护计划,减少设备故障的发生并降低维修费用。BIM 技术的实时更新功能进一步增强了设备布置与设施管理之间的联动,在建筑运营阶段,随着设备使用及环境变化,原有的布置与维护方案可能需进行调整。BIM 模型能够即时反映这些变化,确保相关人员始终能够获得最新的设施数据与设计信息,进而提高设施管理的效率与准确性。

4 结语

BIM 技术在建筑电气设计中的应用,显著提升了设计精度、施工效率以及系统优化能力,通过三维建模、数据集成与协同工作,设计变更与施工冲突的风险得到了有效降低,确保了项目的顺利推进。尤其在供配电、照明设计、电气管线碰撞检查及设备布置等方面,BIM 技术发挥了重要作用,优化了资源配置且有效控制了成本。随着技术的不断进步,BIM 将在建筑电气设计中发挥更加关键的作用,推动行业朝着数字化与智能化的方向发展。未来,BIM 有望成为建筑电气设计中不可替代的核心工具,从而助力实现更加高效与可持续的设计与管理。

[参考文献]

- [1]杨志锋.BIM 技术在建筑电气设计中的应用[J].工程建设与设计,2023,11(20):114-116.
- [2]胡思宇.BIM 技术在建筑电气设计中的应用[J].绿色建筑与智能建筑,2024,12(2):43-46.
- [3]任伟.BIM 技术在建筑电气设计中的应用研究[J].江西建材,2022,12(11):138-139.

作者简介:贾锁超(1994.8—),毕业院校:河北农业大学现代科技学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:河北天艺建筑设计有限公司,职务:电气设计师,职称级别:中级。

基于可持续发展的新农村旧房改造问题探讨

谢 晶

宁波大学建筑设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315000

[摘要]在新农村建设持续向前推进的大背景之下,旧房改造已然成为了提升农村居住环境质量、推动乡村振兴发展进程的一条重要途径。就传统而言,其改造方式常常会忽视对于生态、文化、经济三者之间综合平衡的考量,很难达成真正可持续发展的目标。将可持续发展理念当作行动指导准则,全面且细致地对当前旧房改造过程中所存在的关键性问题予以系统性梳理,明确指出危房结构存在安全隐患、立面设计和整体风貌呈现出不协调的状态、红色旅游资源的整合工作做得不够到位以及村民参与积极性较低等一系列问题。进一步提出了分类整治、文化融合、资源整合以及协同治理等诸多路径,从而为新农村旧房改造的相关事宜给予了实践方面的导向作用以及理论层面的支持依据,其目的就在于要去探索出一条能够做到生态友好、文化得以传承、经济高效运转的新型农村建设的具体路径。

[关键词]可持续发展;新农村;旧房改造;乡村红色旅游

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16604

中图分类号: TU746

文献标识码: A

Exploration into the Renovation of Old Houses in New Rural Areas Based on Sustainable Development

XIE Jing

Ningbo University Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: Against the backdrop of the continuous advancement of new rural construction, the renovation of old houses has become an important way to improve the quality of rural living environment and promote the process of rural revitalization and development. Traditionally, its transformation methods often overlook the comprehensive balance between ecology, culture, and economy, making it difficult to achieve the goal of truly sustainable development. Taking the concept of sustainable development as a guiding principle for action, a comprehensive and detailed systematic review of the key issues in the current process of renovating old houses is carried out, clearly pointing out a series of problems such as safety hazards in the structure of dangerous houses, lack of coordination between facade design and overall appearance, inadequate integration of red tourism resources, and low participation enthusiasm of villagers. Further proposed various paths such as classification rectification, cultural integration, resource integration, and collaborative governance, providing practical guidance and theoretical support for the renovation of old houses in new rural areas. The purpose is to explore a specific path for the construction of a new type of rural area that can achieve ecological friendliness, cultural inheritance, and efficient economic operation.

Keywords: sustainable development; new rural areas; old house renovation; rural red tourism

引言

随着城乡统筹战略不断向前推进,新农村建设已然被赋予了诸多新时代内涵。在实际推动过程中,旧房改造往往会碰到诸如结构危旧、设计落后、与新农村风貌不相匹配等一系列难题,这些问题的存在对乡村环境的提升以及资源的高效利用都产生了不利影响。同时可持续发展理念给农村建设提出了更高的要求,着重强调要将生态保护、文化延续以及社会参与等方面做到协调统一起来。去探讨在可持续发展要求下的新农村旧房改造策略,一方面是对政策导向的积极响应,另一方面也与农村建设实现高质量发展的需求是相契合的。

1 新农村建设与旧房改造的实际需求

新农村建设并非仅仅是对基础设施加以改善,更是涉及到对生活方式、人居环境展开系统性重新构建。旧房属

于乡村肌理当中极为重要的构成,它承载着众多历史记忆以及生活留下的种种痕迹。伴随新型农村社区不断向前推进,有大量农房因为长时间未得到修缮,自身功能也不够完善,所以迫切需要进行改造。改造所涉及的需求重点聚焦在提升居住的安全性、改善建筑给人的美观感受、达成功能的多样化等这些方面。在此期间,生态保护以及资源节约成为改造进程里最基本的要求,这就对建材的选用、施工工艺以及能源使用提出了全新的标准。除此之外,居民对于改善居住条件、参与到乡村旅游相关建设以及传承乡土文化等诉求也变得愈发强烈,进而促使旧房改造呈现多种目标同时存在、各类综合效益协同发挥作用的这样一种趋势。

2 可持续发展视角下的旧房改造核心问题分析

2.1 危房改造的安全性与绿色施工问题

在旧房更新进程里,危房改造属于首要任务。诸多旧

建筑因结构出现老化情况、地基不够稳定或者抗震性能有所欠缺,存在着颇为严重的安全隐患。传统的改造方式大多是以拆除重建作为主要手段,这种方式能够较快且有效地达成目的,然而其资源浪费的情况较为严重,碳排放量也颇高,这明显与可持续发展原则是不符的。除此之外,在施工期间,部分改造项目对环境保护以及建筑材料的环保性选择有所忽视,节能降耗方面的意识也比较匮乏。所以,旧房改造迫切需要引入绿色施工的理念,从源头之处去控制污染、节约资源,借助加固修复、局部替换等途径来提升建筑性能,进而实现既安全又环保的目标。

2.2 外立面提升与乡村风貌协调性问题

旧房外立面呈现的形象,一方面关系到居民的生活体验感受,另一方面也对整个村落的视觉风貌有着直接影响。部分改造项目在开展立面改造工作时,盲目追求所谓的现代感,选用的是城市建筑所使用的语言,完全忽略了乡土建筑本身所具有的审美特征,如此一来便致使村庄风貌出现了明显的割裂感。除此之外,过度追求统一性的外立面设计方式,同样很容易让人产生视觉上的疲劳感,进而使得丧失地域特色。由于对本地的气候情况、可适用的材料以及文化元素等背景条件没有做到深入理解认识,使得立面提升工作仅仅只是停留在表面的形式上而已。所以说,在可持续发展的前提条件下,外立面改造工作应当着重关注其与周边环境的相互融合情况,要从乡土文化当中提取相应的符号,同时采用绿色环保类型的材料,要在充分保留地方特色的基础之上,达成审美以及功能双重提升的效果。

2.3 村民参与、文化与传承与长效机制不足问题

旧房改造关乎村民切身利益,但在不少实际项目里,村民的参与受到了极为严重的边缘化处理,缺少本该具备的主动性以及认同感,改造进程通常是由外部力量来把控主导的,呈现出“自上而下”的特性。对于村民对居住空间的实际需求、日常使用习惯还有对本土文化的深层认同都忽略了,如此一来,建成之后的建筑形式即使看上去焕然一新,但却很难真正与居民的传统生活逻辑相契合,进而引发了一系列诸如空间使用率偏低、维护积极性薄弱等问题。与此很多改造项目在文化层面的挖掘表达存在着明显的不足,乡土文化符号被简化成了表层的装饰,传统的生活方式以及集体记忆也没有得到充分地承载与再现,致使村庄在“更新”的过程当中一步步地丧失原有的文化肌理。这些项目普遍欠缺系统的长效运营机制,改造完成之后既缺乏专门负责管理的团队,又没有持续性的资金投入,这就导致部分资源出现了配置失衡的情况,基础设施处于闲置状态,甚至还会出现设施出现退化以及再度空置之类的状况,对改造成效以及可持续性产生了极为严重的影响。构建起“村民主导、专业支持、制度保障”的综合治理机制,推动村民在规划、实施以及运营的整个全过程当中能够有效地参与其中,强化文化内容的深度融合以及传承表达,并且借助政策以及

制度方面的创新去健全完善后续的管理体系,是达成可持续的旧房改造、激活乡村发展内在动力的关键途径所在。

3 典型策略与实施路径探讨

3.1 危房分类整治与绿色加固路径

对于不同情况的危房,采取分类整治的办法。有局部损坏的建筑,可先用结构加固或者更换构件这类方式来延续寿命;而那些结构严重不稳定的房子,在结构鉴定加固后采用局部重建。把绿色建材和环保技术引进来,比如高性能的保温材料、能再生的资源组件等等,以此来降低建筑耗能,减轻对环境的压力。在施工时,优化作业流程,避免对周边生态环境损害。通过精细化管理以及绿色施工的实际操作,达成结构安全和资源节约这两个目标。

3.2 立面设计导则与地域文化元素融合策略

在开展外立面改造工作时,应当制定出契合地方特色的专门设计导则,切忌盲目模仿城市建筑所呈现出来的风格样式。立面设计方面,需从本地建筑的传统外观中提炼色彩、构图以及材料等元素,以此来强化文化方面的记忆,并且提升其视觉上的辨识程度。与此同时还应适当地融入现代建筑技术,在保温、采光、防潮等各项性能都得以提升的基础上,维持原有的尺度以及形态状态。要积极鼓励村民参与到设计的过程里面来,以此激发他们对于家园建设所抱有的情感层面的认同感。借助文化元素和现代工艺相互之间的融合,让改造完成之后的建筑不仅具备实际使用价值,而且能够将地域文化所蕴含的内涵充分传达出来,进而成为乡村风貌突出的亮点所在。

3.3 红色旅游资源整合与空间活化路径

在红色文化资源丰富的地区,旧房不但有着显著的历史承载价值,还拥有能够转化为文化传播以及沉浸式旅游体验载体的独特潜力。在对旧房展开改造的整个过程之中,需要充分细致地去挖掘所在区域的红色文化脉络,并且要和村庄原本存在的格局以及自然环境所具有的特点相互结合起来,以此来系统地构建起一个主题清晰明确、功能呈现复合性的空间体系。可以设置诸如纪念馆、文化驿站、研学基地、讲习广场这类场所,从而让旧有的建筑在保留住历史留下的印记,还能够具备起全新的功能层面的生命力。就空间设计这一方面而言,应当把关注重点放在场景的文化氛围营造以及互动参与体验上,借助声光电技术、沉浸式的布展方式、实景演绎等手段,进一步强化游客所拥有的参与感、代入感以及记忆点,进而切实达成“可观看、可互动、可传播”复合性的效益效果。与此还要着力加强对旧房改造和周边的生态资源、农业资源、旅游资源之间所存在的关联进行系统性的整合处理。通过将交通节点打通、对动线设计加以优化、打造出一一体化的旅游服务网络等一系列举措,去构建起红色旅游线路所形成的群落,以此来提升整体的接待能力以及服务质量水平。在此基础上,推动旧房完成从传统居住空间朝着红色文化展

示空间、乡村经济发展空间的功能方面的转变,这既有利于实现红色文化的创造性转化及传承,也能够为乡村振兴赋予可持续发展的动能,进而成为带动当地产业相互融合。

4 总结与对策建议

4.1 构建可持续的旧房改造评估与管理体系

要达成旧房改造具备系统性并且能够长效持续的目标,就需要构建起一套科学完备且带有前瞻性的评估以及管理体系,以此来保证每个环节都能够有依据可循,并且能够获得技术方面的有力支撑。该评估体系务必要将建筑结构的安全性、功能的适用性、生态环保所带来的效益、文化遗产保护所具有的价值等诸多关键维度都全面涵盖进去。借助于细化各项标准与指标,进而形成分级分类的管理机制,如此便能够针对不同类型的旧房去设计出差异化的改造方案,并且能够对改造效果予以评估^[1]。与此管理体系一定要清楚地界定各个参与主体各自的责任边界以及协作流程,要建立起严谨的管理程序以及监督考核机制,从而确保改造项目从规划阶段一直到实施阶段乃至验收阶段的整个过程都是可以控制的、能够量化的并且是可以追溯的,以此来有效预防质量方面出现的风险以及资源的无端浪费。通过引入现代信息技术手段,搭建起动态监测平台,进而实现对改造进度、施工质量以及后期使用状况的实时监控以及数据反馈,及时察觉并解决出现的问题,对改造策略做出调整加以优化,最终促使旧房改造进入到精细化、智能化以及科学化的管理运行轨道当中。这样的评估与管理体系不但能够保障项目得以可持续地发展,而且还为乡村振兴增添了稳固的制度方面的保障以及技术层面的有力支撑,提升了改造成效在社会上所获得的认可程度以及所产生的经济效益。

4.2 完善政策支持与资金保障机制

政策以及资金在推动旧房改造这一进程当中充当着极为关键的保障角色。应当从宏观层面着手去完善相关的法律法规,要清晰明确各级政府各自的职责分工情况以及相应的监管举措。就资金支持这块来讲,需要构建起多元化的投入机制,这里面要包含财政补贴、社会投资还有居民自筹等多种渠道,以此来保证项目资金能够有稳定的来源,并且在使用过程中能够做到高效^[2]。与此可以引入绩效考核机制,通过这种方式来提升资源配置的效率,进而推动项目能够实现高质量的落地实施。

4.3 强化规划引领与技术指导服务

规划在旧房改造当中扮演着前提以及基础的角色。要秉持统筹规划以及分类指导这样的原则,依据村庄的整体格局还有发展定位来制定改造方案,防止出现碎片化以及重复建设的情况。从技术方面来讲,需要组建起专业的团队来给予全过程的技术支持,像方案设计、施工指导以及质量监管等方面都涵盖其中,以此来提高改造项目所具备的专业性以及可实施的程度。凭借规划和技术这两方面的共同引导,能够保证旧房改造具有科学性以及协调性。

4.4 推动“文化+生态+旅游”融合发展新模式

实现旧房改造所具备的综合效益,得去探寻文化、生态以及旅游相互深度融合的发展模式。在文化层面,着重于对乡土记忆加以挖掘并使之活化,在生态层面,要推动绿色建筑和自然环境达成有机融合,在旅游层面,构建起体验式、参与式的产品体系,以此来增强其吸引力与经济收益。借助融合发展的方式,形成带有地域特色可持续发展的新型乡村建设路径,进而推动乡村实现全面振兴。

5 结语

新农村旧房改造乃是推动乡村振兴的一个极为重要的切入角度,同时也是达成可持续发展的一项关键途径。这篇文章从实际的需求方面着手,对当下所面临的核心问题展开分析,还给出了具备可操作性的策略以及相应的路径。在将来的旧房改造工作当中,务必要更为着重地关注生态的保护事宜、文化的传承方面以及社区的参与情况^[3]。要借助制度方面的创新举措以及协同开展的治理方式,去构建起一个能够同时兼顾安全、功能、美学以及可持续性这些要素的乡村居住环境,从而为新农村的建设赋予源源不断的持久活力。

【参考文献】

- [1]姜名字,李明.农村危房改造工程质量监督存在的问题与对策措施[J].新农民,2024,11(31):35-36.
- [2]刘延国.农村旧房改造设计探究[J].广东蚕业,2021,55(1):137-138.
- [3]胡隆文.关于新型城镇化进程中农村旧房改造的几点思考[J].农村经济与科技,2021,32(6):249-250.

作者简介:谢晶(1985.10—),毕业院校:郑州大学,所学专业:建筑学,当前就单位:宁波大学建筑设计研究院有限公司,职务:建筑设计师,职称级别:中级工程师。

绿色建材在建筑工程中的环保效益与推广路径研究

王海林¹ 吉彪彬² 谢翔¹

1. 克拉玛依双信环保科技有限公司, 新疆 克拉玛依 834000
2. 克拉玛依诚运达建筑安装有限责任公司, 新疆 克拉玛依 834000

[摘要]文章以新疆干旱区建筑工程为切入点,系统解析绿色建材在生态修复与低碳转型中的双重价值。通过揭示其在碳足迹削减、固废资源化、污染物防控等维度的核心作用,结合绿洲-荒漠交错带特殊环境约束,提出“政策规制—技术适配—产业联动—文化认同”四位一体的推广框架。研究表明,绿色建材通过重构建筑产业链与自然系统的交互模式,不仅为缓解区域水资源矛盾、遏制土地沙化提供技术支撑,更通过农牧区特色建材开发与清洁能源耦合应用,塑造干旱区可持续发展的新范式,为我国边疆生态安全与绿色“一带一路”建设提供决策依据。

[关键词]绿色建材; 建筑工程; 环保效益; 推广路径

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16639

中图分类号: TU398.6

文献标识码: A

Research on the Environmental Benefits and Promotion Path of Green Building Materials in Construction Projects

WANG Hailin¹, JI Biaobin², XIE Xiang¹

1. Karamay Shuangxin Environmental Protection Technology Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China
2. Karamay Chengyunda Construction and Installation Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract: Taking the construction projects in arid areas of Xinjiang as the starting point, this article systematically analyzes the dual value of green building materials in ecological restoration and low-carbon transformation. By revealing its core role in carbon footprint reduction, solid waste resource utilization, and pollutant prevention and control, combined with the special environmental constraints of the oasis desert ecotone, a four in one promotion framework of "policy regulation technology adaptation industry linkage cultural identity" is proposed. The research shows that green building materials can not only provide technical support for alleviating regional water resource conflicts and curbing land desertification by reconstructing the interaction mode between the construction industry chain and the natural system, but also shape a new paradigm of sustainable development in arid areas through the coupling application of characteristic building materials development and clean energy in agricultural and pastoral areas, providing decision-making basis for Chinese border ecological security and green "the Belt and Road" construction.

Keywords: green building materials; architectural engineering; environmental benefits; promotion path

引言

新疆地区作为我国西北生态屏障的核心承载区,其荒漠-绿洲复合生态系统的稳定性直接关系着中亚干旱区生态安全格局。近年来,在水资源约束趋紧、土地沙化面积扩大的双重压力下,传统建筑行业依赖的高碳排建材(如烧结黏土砖、普通水泥)正加速区域生态服务功能的退化——矿产开采引发的地表破碎化加剧了风蚀作用,施工扬尘与建筑垃圾无序堆放导致绿洲边缘带土壤盐渍化风险攀升,粗放建设模式与脆弱生态环境间的矛盾日益尖锐。在此背景下,绿色建材以其“源头减量-过程控制-末端循环”的全链条环保特性,成为重构建筑活动与自然系统协同关系的关键载体。本文立足新疆特殊的地理气候条件与资源禀赋,系统剖析绿色建材在碳汇能力提升、水资源集约利用、生物多样性维护等维度的生态价值,同时探索如何通过政策工具创新、技术路径适配与文化认知转型,构建契合“丝绸之路经济带”核心区定位的绿色建造体系,

为全球干旱区破解“发展-保护”二元困境提供理论参照与实践样本。

1 绿色建材的特点

绿色建材作为可持续建筑的重要组成部分,其核心在于资源的高效利用与循环再生。与传统建材相比,绿色建材在原料选择上更加注重环保性,广泛采用工业废渣、城市固体废弃物等可再生资源,显著降低了对天然资源的依赖与开采强度,从而有效减少了对生态环境的破坏。在生产过程中,绿色建材强调节能减排,通过引入低能耗、低污染的工艺技术,不仅减少了能源消耗和有害物排放,还提高了整体生产效率与环境安全性。此外,绿色建材在使用环节同样具备显著的环保优势。多数绿色建材不含有毒物质,无放射性污染,对人体健康无害,体现出良好的环保性能。同时,绿色建材通常具有优异的物理性能,如隔热、保温、防火、抗静电等,能够提升建筑物的节能效果与舒适度。在功能设计方面,绿色建材也日益朝着创新化

与多功能化方向发展。通过现代化工艺与设计理念的融合,部分材料已具备抗菌、除臭、防霉等多种功能,不仅满足了个性化的建筑需求,也为人们营造出更健康、便捷、宜居的生活和工作环境。

2 新疆地区建筑工程环保现状分析

新疆建筑行业长期依赖传统建材,如普通水泥、烧结砖等,其生产过程依赖高能耗的煅烧工艺与矿产原料开采,碳排放强度居高不下,且资源综合利用率远低于行业先进水平。区域气候干旱少雨、地表植被稀疏的地理特征,导致施工过程中产生的扬尘难以自然沉降,加剧了城市空气颗粒物污染,而建筑垃圾露天堆放或简易填埋则进一步侵蚀本就脆弱的土壤结构,尤其是在绿洲边缘地带,沙化风险与地下水污染隐患并存。受限于绿色建材生产技术本地化不足、产业链配套缺失,加之地方性政策引导与财政补贴机制尚未完善,新型环保材料的市场渗透率长期低迷。以偏远农牧区为例,传统粗放式建设模式仍普遍存在,砖混结构房屋占比过高,其施工过程不仅消耗大量稀缺水资源,拆除后的建筑废料因缺乏分类回收体系,多数被随意倾倒在荒漠边缘,导致生态修复成本逐年攀升^[1]。此外,部分企业因成本压力倾向于选择低价高污染建材,而消费者对绿色建筑认知不足,进一步延缓了行业转型进程。当前,新疆建筑工程环保化面临的挑战不仅在于技术替代与政策落地,更需突破地域性运输成本高、专业人才短缺等现实瓶颈,例如南疆地区因物流网络薄弱,绿色建材运输成本占比过高,制约了规模化应用。

3 绿色建材的环保效益分析

3.1 降低碳排放与能源消耗

绿色建材通过全生命周期碳足迹管理,从原料开采、生产加工、运输施工到建筑废弃阶段,系统性降低能源消耗与温室气体排放。在生产工艺优化方面,采用清洁能源替代传统化石燃料,例如新疆地区依托丰富的太阳能与风能资源,建设零碳排的绿色建材生产基地,利用可再生能源驱动生产流程,大幅减少水泥煅烧、钢材冶炼等高耗能环节的碳排放强度。以光伏一体化建材为例,其将太阳能电池板与建筑外墙、屋顶结构融合,在满足建筑围护功能的同时持续发电,不仅降低建筑运行阶段的电网依赖,还可通过余电并网反哺区域能源系统,形成“产能建筑”与“负碳社区”的协同效应。在建筑节能设计层面,相变储能材料的应用通过吸收或释放潜热调节室内温度波动,减少冬季供暖与夏季制冷的能源需求,尤其适应新疆昼夜温差大、冬季严寒的气候特征;而气凝胶保温材料凭借超低导热系数,可大幅降低墙体热损失,延长采暖设备间歇运行时间,从而缓解传统燃煤锅炉集中供热导致的空气污染问题。此外,绿色建材的本地化生产与模块化运输策略,能够缩短供应链距离,减少重型卡车长途运输产生的柴油消耗与尾气排放,例如利用南疆地区工业副产物(如棉秆、

石榴皮纤维)开发生物质基建材,既能替代部分长途调运的常规材料,又能促进农业废弃物循环利用,形成“低碳生产-就近应用”的闭环模式。

3.2 提高资源利用率与材料可回收性

绿色建材通过构建“资源-产品-再生资源”的循环体系,显著提升建筑材料的全生命周期利用效率。在原料端,其注重废弃物的再生转化,例如将建筑拆除后的混凝土块破碎为再生骨料,替代天然砂石用于道路基层或非承重墙体填充,减少对新疆戈壁地区脆弱地表生态的扰动,同时缓解天然骨料过度开采引发的河道侵蚀与生物栖息地破坏问题。针对新疆多风沙、高盐碱的环境特征,绿色建材研发聚焦高性能复合材料的创新应用,如以玄武岩纤维增强树脂基材料替代传统木材,不仅避免对天山北麓天然林区的过度砍伐,还可通过抗风化、耐腐蚀特性延长建筑外立面的维护周期,降低全寿命周期内的资源消耗。在农业资源丰富的南疆地区,棉秆、葡萄藤等农作物废弃物的高值化利用成为突破口,通过热压成型技术将其转化为轻质隔墙板或保温材料,既解决田间焚烧导致的空气污染,又为农牧民提供低成本、易获取的绿色建材选项^[2]。此外,绿色建材在设计阶段即融入模块化与可拆卸理念,例如装配式钢结构连接节点采用螺栓固定而非焊接,使建筑拆除时构件可完整回收并重新投入新项目,减少材料损耗;而新型无机矿物涂料则可剥离再生,避免传统油漆铲除产生的粉尘污染与化学废弃物。

3.3 降低建筑垃圾与污染物排放

绿色建材通过革新建造模式与材料技术,系统性减少建筑工程全过程的废弃物产生与环境负荷。预制装配式建材的应用将传统现场浇筑、切割等工序转移至工厂标准化生产,大幅降低施工扬尘与废料散落,例如新疆城市更新项目中采用的预制混凝土墙板,通过精准设计与模块化拼装,减少现场混凝土搅拌产生的粉尘污染,同时避免模板支设与拆除过程中的木材损耗,对乌鲁木齐、喀什等人口密集区的空气质量改善具有显著作用。在污染物控制方面,低挥发性有机化合物(VOC)涂料通过替换传统油漆中的苯系溶剂,采用水性环保配方或光催化分解技术,有效降低室内甲醛、甲苯等有害气体释放,尤其适应新疆冬季门窗密闭时间长、空气流通差的居住环境,减少呼吸道疾病风险。此外,绿色建材在施工阶段引入智能化扬尘抑制系统,如纳米级抑尘剂喷洒与建筑围挡雾化装置,可针对性解决新疆春季风沙与工地扬尘叠加污染问题。针对建筑垃圾减量化,装配式钢结构建筑通过螺栓连接实现主体结构90%以上的材料回收率,而新型无机胶凝材料(如地质聚合物)的应用,可使拆除废料经粉碎后直接作为路基填料或生态护坡材料,避免传统建筑垃圾填埋对地下水的重金属渗透风险。在特殊环境区域,如塔克拉玛干沙漠边缘的生态移民工程,采用可降解生物基临时围挡材料,既

能满足施工期防护需求,又能在项目完成后自然分解,杜绝塑料防尘网残留造成的“白色污染”。

3.4 促进生态系统保护与可持续发展

绿色建材的应用通过重构资源利用模式,为新疆荒漠-绿洲复合生态系统的保护注入新动能。在矿产资源开发方面,采用工业固废基建材替代天然石材与黏土砖,例如将煤矸石、尾矿渣等通过活化处理制成轻集料混凝土,减少对阿尔泰山南麓砾石层和准噶尔盆地黏土矿的开采规模,从而降低地表剥离对荒漠植被群落的破坏,维系绿洲边缘带的水土保持功能。在生物多样性保护层面,秸秆压制板材、芦苇纤维墙体的推广不仅消纳南疆棉花、小麦主产区的农业废弃物,避免秸秆焚烧引发的PM_{2.5}污染,更能减少对塔里木河流域天然胡杨林的砍伐需求,为濒危物种(如塔里木马鹿)保留栖息地廊道。针对风沙前沿区生态修复工程,绿色建材创新性地与生态治理技术融合,例如采用3D打印技术将本地沙土与植物纤维结合制成生态固沙砖,替代传统石材砌筑防沙网格,既降低材料运输对沙漠路网的碾压破坏,又为沙生植物根系穿透提供孔隙结构,加速流动沙丘的固定与植被演替^[3]。在绿洲城镇建设中,透水铺装材料的大规模应用可增强雨水下渗能力,补给地下水的同时缓解城市内涝,这对于降水稀少却面临季节性融雪洪水的北疆城市尤为重要。

3.5 环保效益的经济与社会影响评估

绿色建材的规模化应用通过重构产业价值链,为新疆经济与社会发展注入可持续动能。在经济维度,其推动本地环保产业链纵向延伸与横向融合,例如依托光伏建材生产需求,催生硅材料精炼、组件封装等配套企业,形成从原材料加工到终端应用的完整产业集群,不仅创造涵盖技术研发、智能制造、废弃物回收等多层次就业岗位,还促进传统建筑工人向绿色技能型人才转型。长期来看,绿色建筑因耐久性提升与运维成本降低,可减少因频繁翻修导致的资源重复投入,同时其减排效应直接削减政府空气治理、垃圾填埋等公共支出,释放的财政资源可转向生态修复或民生改善项目,形成“绿色投资-环境优化-民生受益”的良性循环。在区域竞争力层面,绿色建材驱动的低碳建筑群塑造了新疆“丝路生态枢纽”的新形象,吸引清洁技术企业落户与绿色金融资本注入,例如乌鲁木齐绿色建筑示范区的建设,已成为中亚国家考察中国生态技术的重要窗口,助力区域在国际碳市场与绿色贸易中占据先机。社会影响方面,绿色建筑环境的普及潜移默化地重塑居民生态价值观。社区级光伏屋顶、雨水收集系统等可视化环保设施,通过日常接触增强公众对资源循环的认知;而绿色学校、低碳医院等公共建筑的示范效应,则激发居民参与节水节电、垃圾分类等环保行动的主动性,尤其在多民族聚居区,这种共同参与强化了生态保护作为“最大公约数”的社会凝聚力。在边

疆治理层面,绿色建材支撑的生态移民工程与新型城镇化建设,通过改善农牧民居住条件(如抗震节能房屋)与提供绿色就业(如固废回收岗位),缓解了因环境退化引发的民生矛盾,同时将生态文明理念融入边疆文化,例如哈萨克族传统毡房工艺与现代保温材料的结合,既传承游牧智慧又推动低碳生活方式的本土化实践。

4 新疆地区绿色建材推广路径研究

推广绿色建材需构建政策引导、技术创新、产业协同、市场培育与文化浸润“五位一体”的系统性路径。在政策设计上,应结合新疆生态功能区定位与“双碳”目标,出台差异化的地方性绿色建材认证体系,例如针对南疆沙尘活跃区制定抗风蚀建材性能标准,对北疆高寒地区明确墙体保温材料热工参数阈值,同时将绿色建材使用比例纳入地方政府绩效考核,通过税收减免、用地指标倾斜等激励措施,引导建筑企业与开发商优先采购本地化环保材料。技术攻关层面,依托新疆大学、石河子职业技术学院等科研平台,联合中东部高校建立“干旱区绿色建材联合实验室”,重点突破极端气候适应性技术瓶颈,如研发基于盐湖提锂副产物的抗冻融混凝土、利用棉秆纤维增强的轻质隔音板材,以及集成太阳能光热与空气源热泵的复合能源墙体系统,推动实验室成果通过“产学研用”一体化平台向中小企业转化,降低技术应用门槛。产业协同方面,依托新疆“三基地一通道”能源战略布局,推动建材产业与清洁能源深度耦合,例如在哈密、吐鲁番等光伏产业集聚区建设零碳建材示范园区,利用富余光伏电力生产电解铝基低碳型材;在达坂城风电基地周边布局风电叶片回收再制造中心,将退役叶片破碎料用于生产防沙固土工程材料,形成“新能源发电-绿色建材生产-生态修复应用”的循环链条^[4]。市场培育需实施“城市引领+农牧区渗透”的双轨策略,在乌鲁木齐、昌吉等中心城市打造超低能耗建筑示范区,强制公共建筑采用光伏幕墙、地源热泵等绿色技术,形成标杆效应;在喀什、和田等南疆农村,结合乡村振兴资金与援疆项目,推广秸秆建材农房与太阳能暖房改造,通过实物补贴、技术培训等方式降低农牧民接受成本,并组织“绿色建筑进巴扎”等流动宣传活动,以维汉双语科普材料与实景模型展示,破除“绿色建材昂贵不实用”的认知误区。文化浸润层面,挖掘新疆多民族文化中的生态智慧,将绿色建筑理念与地域文化符号融合,例如在伊犁哈萨克族聚居区推广装配式木结构与太阳能毡房融合的生态民宿,既保留游牧民族建筑美学,又提升能源效率。

5 结语

绿色建材在新疆建筑工程中的实践,标志着干旱区生态治理与产业升级的深度融合。通过全产业链减碳、农牧区固废消纳、绿洲城镇更新等创新路径,其不仅破解了传统建筑模式与脆弱生态系统的对立矛盾,更以“材料革命”重塑了区域资源利用范式。面向未来,需深化政策协同创

新与技术本土适配,例如建立光伏-建筑一体化标准体系、推广棉秆再生板材等特色产品,同时将绿色建材推广与“一带一路”中亚绿色技术合作相衔接,构建跨区域循环经济网络。此外,完善生态产品价值实现机制,培育绿色消费市场,推动从“被动环保”向“主动创生”转型,方能为新疆筑牢生态安全屏障、探索人与自然和谐共生的现代化道路提供持久动能。

[参考文献]

- [1]李永霞.绿色建材在建筑工程中的推广与应用研究[J].居业,2025(1):231-233.
[2]关智勇.绿色建筑材料在建筑工程中的应用研究[J].陶瓷,2022(7):124-126.
[3]岑宏.建筑工程中绿色建材发展与应用的探讨[J].陶

瓷,2022(2):128-130.

- [4]耿毅.绿色建筑材料在建筑工程中的应用分析[J].科技资讯,2023,21(3):65-68.

作者简介:王海林(1987.7—),毕业院校:中国地质大学,所学专业:土木工程,当前就单位名称:克拉玛依双信环保科技有限公司,就单位职务:安全总监,职称级别:助理工程师;吉彪彬(1982.8—),毕业院校:东北农业大学,所学专业:建筑工程管理,当前就单位名称:克拉玛依诚运达建筑安装有限责任公司,就单位职务:项目经理岗位;谢翔(1990.4—),毕业院校:中国石油大学(北京),所学专业:石油工程,当前就单位名称:克拉玛依双信环保科技有限公司,就单位职务:安全副总监。

上海某再生建材利用中心资源化利用现状与前景分析

卢 明

上海老港废弃物处置有限公司, 上海 201302

[摘要]文章以上海某再生建材利用中心为研究对象, 分析建筑垃圾资源化利用现状与前景。工程概况显示项目设计处理能力 100 万 t/a, 但运营中存在来料品质不足和市场渠道受限等问题, 通过强化源头分类、完善政策机制、推进技术升级等策略, 有望突破困境。在政策驱动、技术创新与产业链协同下, 预计至 2025 年上海建筑垃圾资源化处理能力将大幅提升, 形成循环经济闭环。

[关键词]建筑垃圾; 资源化利用; 运营现状; 实施策略; 发展前景

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16631

中图分类号: TU5

文献标识码: A

Analysis of the Current Situation and Prospects of Resource Utilization in a Recycled Building Materials Utilization Center in Shanghai

LU Ming

Shanghai Laogang Waste Disposal Co., Ltd., Shanghai, 201302, China

Abstract: The article takes a recycled building materials utilization center in Shanghai as the research object, analyzing the current situation and prospects of the resource utilization of construction waste. The engineering overview shows that the project has a designed processing capacity of 1 million tons per year, but there are problems such as insufficient incoming material quality and limited market channels in operation. By strengthening source classification, improving policy mechanisms, and promoting technological upgrades, it is expected to break through the difficulties. Driven by policies, technological innovation, and industrial chain collaboration, it is expected that by 2025, Shanghai's construction waste resource utilization capacity will be significantly improved, forming a circular economy loop.

Keywords: construction waste; resource utilization; current operational status; implementation strategy; development prospects

引言

随着城市化进程加快, 上海建筑垃圾年产生量超 5000 万吨, 拆房和装修垃圾约 1400 万吨, 但资源化处理能力有所不足。传统处置方式造成土地占用、环境污染及资源浪费, 建筑垃圾资源化成为城市发展必然选择。在此背景下, 上海某再生建材利用中心一期工程建成投运, 旨在解决装修和拆房垃圾处理难题, 推动资源循环利用。项目在运营中面临系列挑战, 其发展路径与前景对城市可持续发展具有重要研究价值。

1 工程概况

1.1 项目基本情况

上海某再生建材利用中心一期工程, 定位为了解决装修垃圾处理核心问题, 兼顾拆房垃圾处置, 服务黄浦、徐汇、静安、杨浦、虹口、长宁等中心城区。项目总投资 4.49 亿元, 规划总规模为 6000 吨/天, 分期实施。一期工程实施规模 100 万 t/a(3000t/d), 其中装修垃圾处理量 2000t/d, 拆房垃圾处理量 1000t/d。采用“破碎+多级分选+精分选”工艺, 通过减容减量与资源化结合方式, 将建筑垃圾转化为再生骨料、再生砖等产品。

1.2 项目建设的背景及意义

近年来, 建筑垃圾主要依靠市场自行调节, 且部分建

筑垃圾外运邻省处置。但是自从发生苏州太湖和南通海门偷倒事件后, 周边城市实行垃圾禁入, 同时上海亦宣布全面停止建筑垃圾的外运。

由于建筑垃圾产生量大, 目前缺乏足够的设施加以有效处理, 建筑垃圾处理问题日趋严峻, 环保问题日益严重。为解决建筑垃圾无害化处理需求, 提高资源化利用率, 必须加快建筑垃圾资源化处理设施建设进度。老港再生建材项目作为市级项目, 为全市建筑垃圾处置托底保障。本项目以建筑垃圾中的装修垃圾和拆房垃圾等为主要原料, 减容减量和资源化相结合, 不仅有利于保护环境, 减少污染物, 而且能够实现固体废弃物的综合利用, 达到资源循环利用的目标, 因此项目建设是实现资源循环利用的需要, 对上海市建设环境友好型城市、实现资源的可持续发展具有重要意义。

2 建筑垃圾资源化利用的战略意义

2.1 破解城市固废处置困局

上海作为超大型城市, 基础设施建设规模庞大, 建筑垃圾年申报量长期保持高位, 虽近年有所回落, 但仍超 5000 万吨, 其中拆房和装修垃圾年产生量约 1400 万吨。传统填埋、堆放等处置方式, 不仅占用大量土地资源, 还引发土壤污染、水体污染等环境问题。建筑垃圾资源化利用通过“减量化、无害化、资源化”处理, 将废弃物转化

为再生骨料、再生砖等产品,可有效减少原生资源开采,降低固废对生态环境的压力。以老港再生建材利用中心为例,其设计处理能力达 100 万 t/a,通过工艺技术对装修和拆房垃圾进行分级处理,实现固体废弃物的高效循环利用,缓解城市垃圾处置压力^[1]。

2.2 推动循环经济体系构建

在“双碳”目标与“无废城市”建设背景下,建筑垃圾资源化利用是循环经济发展的重要环节。建筑垃圾中废弃混凝土、砖块等组分经破碎、筛分、加工后,可生产不同规格再生骨料,用于道路基层、制砖等领域,形成“建筑废弃物-再生建材-工程应用”的闭环产业链。据测算,每利用 1 万吨建筑垃圾生产再生骨料,可节约标煤 11 吨,减少二氧化碳排放 30 吨。老港项目通过技术革新,将建筑垃圾转化为 4 种规格再生骨料,不仅实现资源的二次利用,还降低建材生产环节的能源消耗与碳排放,契合循环经济“资源-产品-再生资源”的发展模式,助力上海构建绿色低碳产业体系。

2.3 支撑城市可持续发展战略

建筑垃圾资源化利用对提升城市综合竞争力具有重要作用。从经济效益看,通过再生产品生产可降低建材生产成本,创造新的经济增长点;从社会效益看,项目建设与运营带动就业,促进环保技术研发与应用;从环境效益看,减少垃圾填埋对土地、水源的污染,改善城市生态环境。此外,随着国家《“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》推进,建筑垃圾资源化成为政策支持重点领域。上海通过建设老港等资源化项目,落实国家战略部署,完善城市基础设施功能,提升资源综合管理水平,为建设资源节约型、环境友好型城市提供坚实保障,推动城市可持续发展战略落地实施^[2]。

3 资源化利用项目运营现状、相关政策与实践

3.1 项目运营现状

项目于 2018 年 12 月底开工,2020 年 6 月 28 日完成土建、设备安装及单机调试后启动带料试运行。2021 年—2022 年,启动项目技改工作,修复反击破混凝土内腔基础、更换 3 条线链板机、增设巡检通道、安装除尘风机变频器、加装筒仓提升机仓顶溜槽检修平台、安装除尘排口环境监测取样孔及楼梯平台、安装空压机房、制砖车间及一体化车间等设备设施的防尘降噪设施、纠正自控系统工序关系、新增辅助设备纳入自控系统、自控系统实现自动化运行。2023 年—2024 年,项目通过预处理工艺升级改造,增加轻物质分离机、灰土筛分机等核心设备,显著提升了建筑垃圾骨料利用率及轻物质纯度。2024 年,建筑垃圾处理量较 2023 年处理量同期增长显著。尽管技术升级带来了产能提升,但项目仍面临来料品质不足和渠道受限等挑战。

3.2 建筑垃圾资源化利用相关政策

为加强建筑垃圾治理工作,实现建筑垃圾资源化利用。

国家相关部门相继出台建筑垃圾治理方面的法律、通知、指导意见等。2017 年底,上海发布《上海市建筑垃圾处理管理规定》和《关于进一步规范本市拆房(违建)垃圾和装修垃圾收运处置工作的通知》,明确了拆房时装修垃圾的投放要求,严格施行分类投放、专门处置的规范管理。各区也分别制定了本区拆房垃圾、装修垃圾资源化处置工作的实施方案,加强源头管理和产出申报,确保本区的严格闭环管理和地区环境安全。2023 年 4 月,上海市绿化和市容管理局进一步优化了装修垃圾和拆房垃圾收运处全程治理体系,确立了到 2025 年底全市实现装修垃圾和拆房垃圾 1420 万吨/年资源化处理能力、资源化利用率达到 75% 的目标。一系列的政策举措为加强建筑垃圾精细化分类及资源化利用,提高建筑垃圾资源化再生利用产品质量,规范建筑垃圾收集、贮存、运输、利用、处置行为,从而推动生态文明建设指明了方向,具有重要指导意义。

3.3 项目资源化利用相关实践

结合上海“无废城市”建设及“零填埋”目标要求,该项目深入探索建筑垃圾减量化、资源化利用新路径进行了相应的实践。

(1)再生骨料资源化利用:再生骨料作为回填材料、路基材料,应用于多个建设项目,如生物能源三期建设、老港基地内道路整治、四期封场、洋山港扩建等项目。

(2)强化制砖研发创新:组织开展考察学习,探索骨料、灰土制免烧砖工艺,对利用再生细分骨料机制免烧成品砖的设计规范实现了质的突破,为灰土弃料再利用储备了技术保障,为建筑垃圾进一步深化利用开辟了新的路径。同时结合市场应用及降本增效需求,不仅开展了利用再生骨料压制填埋场热覆盖压块砖的研发制备,同时拓展路面砖的研制,开发压块砖、路面砖,实现了制砖产品多元化。

(3)制砖工艺设备升级改造与成品砖市场化工作:针对现有制砖产线制砖产能低、无独立码垛打包功能、成品周期长等问题,通过更换独立式打包机、增购补充砌砖托板等措施,逐步提高制砖产量,缩短成品砖转运周期。同时成功取得了再生骨料实心砖产品的备案证,为再生建材资源化产品的推广和应用奠定了坚实的基础。

4 优化建筑垃圾资源化利用的实施策略

4.1 强化源头分类与收运体系建设

建立建筑垃圾全流程分类管理机制,由政府主导制定装修、拆房垃圾源头分类标准及操作指南,明确施工单位、垃圾暂存点的分类责任。推行“特许经营+电子联单”收运模式,通过资质审核与信息化监管,规范运输企业行为,杜绝混装运输。针对拆房垃圾,依据各区产生量与处置能力,制定区域统筹调配方案,取缔不合规处置点,确保垃圾流向资源化处理设施。在社区、工地设置分类投放点,配备专业督导人员,引导建筑垃圾与生活垃圾、危险废物分离,从源头提升来料品质,降低后端处理成本。

4.2 完善政策支持与价格调节机制

政府出台专项补贴政策,设立建筑垃圾资源化利用发展基金,对企业技改、设备更新、技术研发给予资金支持。建立阶梯式垃圾处理费制,根据实际处置量、资源化率制定差异化补贴标准,对达设计产能 80%以上的企业给予额外奖励。优化再生产品应用政策,在市政工程、道路建设等政府投资项目中,明确再生骨料、再生砖的最低使用比例,通过政府采购优先、税费减免等措施,提高市场竞争力。同时,动态调整垃圾处理费定价机制,将物价指数、运输成本等纳入核算体系,保障企业合理收益。

4.3 推进技术升级与工艺优化

企业联合科研院所开展技术攻关,针对低品质原料研发适应性处理工艺,如采用智能分选设备、风选+磁选组合技术提升杂质分离效率,降低设备损耗。优化破碎筛分流程,引入模块化生产线,实现不同粒径骨料精准加工,提高产品质量稳定性。建设数字化管理系统,实时监控生产环节,通过数据分析优化工艺参数,提升设备运行效率。对现有制砖生产线进行智能化改造,增加自动配料、压力成型等装置,扩大再生砖产能与产品种类,满足市场多样化需求^[3]。

4.4 拓展市场渠道与产业协同

组建专业市场团队,开展再生产品推广与品牌建设,建立与建筑企业、建材经销商的长期合作机制。城投集团内部建立协同平台,推动再生骨料在公路、桥梁等基建项目中的应用,实现集团内循环。积极开拓外部市场,与长三角地区建材企业建立战略联盟,通过联合投标、委托加工等方式,扩大产品辐射范围。开发再生建材应用场景,如海绵城市透水砖、生态护坡砖等功能性产品,提升附加值。针对建筑垃圾处理厂之间的资源错配,建立区域联动机制,共享优质原料与销售渠道。

4.5 加强运营管理与人才培育

优化企业组织架构,明确生产、技术、销售等部门职责,建立绩效考核体系,将产量、成本、质量等指标与员工薪酬挂钩。制定设备维护保养标准流程,实施预防性检修制度,减少停机时间。开展员工技能培训,定期组织技术交流与行业对标,提升操作人员工艺水平。引入精益生产管理理念,优化生产排程,降低物料损耗与能耗。建立产学研合作平台,吸引高校、科研机构专业人才参与技术研发与管理创新,为项目持续发展提供智力支持。

5 建筑垃圾资源化利用的发展前景

5.1 政策驱动下的产能提升与市场扩容

依据上海市“十四五”规划和“十五五”规划目标,到 2025 年,全市建筑垃圾资源化综合利用率达到 93%,拆房和装修垃圾资源化处理率达到 75%,实现废弃混凝土全量利用。在此基础上,进一步推进“十五五”期间的产能提升计划,预计到 2030 年,全市固废资源化利用充分,实现固废近零填埋。在此背景下,现有项目将推进二

期工程建设,同步规划新建资源化处理设施,进一步优化全市建筑垃圾资源化处理能力。政策层面将持续强化建筑垃圾全流程监管,通过特许经营制度整合市场资源,规范收运处置秩序,确保垃圾流向合规化。同时,政府对再生建材应用的强制比例要求将逐步扩大至民用建筑领域,市政工程、轨道交通等政府投资项目优先采用再生骨料、再生砖,直接拉动市场需求规模增长。预计再生建材市场容量将以年均 15%以上速度扩容。

5.2 技术创新推动的产业升级与产品迭代

建筑垃圾资源化领域将加速智能化、绿色化技术研发应用。智能分选系统将实现建筑垃圾中混凝土、金属、轻物质的精准分离,分选准确率提升至 95%以上;高温高压成型技术可使再生砖强度等级达到 MU15,满足高层建筑辅助墙体材料标准。纳米改性技术将改善再生骨料表面性能,使其在高性能混凝土中的掺量提升至 30%,突破传统应用局限。同时,3D 打印技术与再生建材结合,将催生个性化建筑部品定制生产模式。技术革新带动产品结构升级,功能性再生建材占比将从当前不足 10%提升至 30%,形成覆盖道路工程、海绵城市、装配式建筑等多领域的产品体系。

5.3 产业链协同构建的循环经济闭环

建筑垃圾资源化产业将形成“前端分类收集-中端专业运输-末端综合处理-产品应用反馈”的完整链条。运输环节推广新能源专用车辆,实现 GPS 定位与电子联单全程追溯;处理环节通过区域协同,形成“中心工厂+卫星分拣站”的分布式处理网络,降低运输成本。产品应用端,再生建材企业与建筑施工单位建立长期供需协议,形成“以需定产”模式。同时,再生建材产品的回收再利用体系将逐步完善,废弃建筑拆除产生的二次建筑垃圾可重新进入资源化处理流程,实现资源循环利用率从当前 60%提升至 85%以上。城投集团等大型企业将发挥产业整合优势,推动再生建材生产、工程施工、材料回收的跨领域协同,构建区域循环经济生态。

6 结语

尽管再生建材利用中心当前面临产能、成本、市场等多重困境,但通过政策优化、技术创新与产业协同,其发展前景广阔。随着规划目标推进,未来将大幅提升处理能力,构建循环经济闭环,为城市绿色发展与“双碳”目标实现提供有力支撑。

[参考文献]

- [1]张国鑫.城市建筑垃圾处理与资源化利用研究[J].新建科技,2025,34(1):46-48.
- [2]庄丽,乔明皓,邵光涛.建筑垃圾资源化利用方案评估[J].辽宁工业大学学报(自然科学版),2024,44(5):331-335.
- [3]刘光富,张宇婷,张勤,等.建筑垃圾资源化利用现状及对策[J].绿色建筑,2024(4):143-146.

作者简介:卢明(1980—),男,学历:本科,经济学硕士,职称:中级经济师,研究方向:建筑垃圾资源化利用研究。

基于节能优化的地源热泵系统在住宅供暖中的应用研究

陈勇军

浙江陆特能源科技股份有限公司, 浙江 杭州 310052

[摘要]地源热泵系统用于住宅供暖,具备清洁高效特性。研究从系统结构与工作原理出发,分析住宅环境能耗现状、地质差异及运行能效瓶颈,通过调控换热效率、匹配流体参数、优化运行策略实现节能。针对单户与集中式住宅场景提出设计优化路径,并借助智能控制集成、数据反馈机制与综合管理方案,提升系统热效率与稳定性,为绿色低碳建筑发展提供技术支撑。

[关键词]地源热泵; 节能优化; 住宅供暖; 热效率; 系统调控

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16652

中图分类号: TU833.3

文献标识码: A

Application Research on Ground Source Heat Pump System Based on Energy-saving Optimization in Residential Heating

CHEN Yongjun

Zhejiang Loopmaster Energy Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310052, China

Abstract: Ground source heat pump systems are used for residential heating and have clean and efficient characteristics. Starting from the system structure and working principle, this study analyzes the current energy consumption status, geological differences, and operational energy efficiency bottlenecks of residential environments. Energy conservation is achieved by regulating heat transfer efficiency, matching fluid parameters, and optimizing operational strategies. Propose design optimization paths for single household and centralized residential scenarios, and use intelligent control integration, data feedback mechanisms, and comprehensive management solutions to improve system thermal efficiency and stability, providing technical support for the development of green and low-carbon buildings.

Keywords: ground source heat pump; energy-saving optimization; residential heating; thermal efficiency; systemic regulation

引言

能源短缺与环境污染加剧背景下,住宅供暖领域亟需绿色转型。地源热泵系统凭借稳定运行、环保节能优势,成为解决能源与环境矛盾的重要技术路径。随着住宅建筑能耗标准不断提高,如何在保障热舒适性的同时实现系统节能优化,成为行业关注焦点。深入探究地源热泵系统在不同地质与气候条件下的适应性,挖掘其节能潜力,对推动可再生能源在住宅供暖中的广泛应用,具有重要现实意义与战略价值。

1 地源热泵系统的结构组成与工作原理

1.1 地源热泵系统的主要构成单元

地源热泵系统由地面换热器、热泵主机、末端散热装置及辅助控制模块构成。地面换热器多采用闭式管路埋地循环,利用地下浅层土壤近乎恒定的温度特性,实现高效的冷热交换。热泵主机内的压缩机、蒸发器、冷凝器和膨胀阀协同工作,通过制冷剂的相变循环,将地下低品位热能提升为可供室内使用的高品位热能。末端散热装置可依据用户需求,灵活选择地板辐射、风机盘管或暖气片,实现热量在居住空间内的合理分配。辅助控制模块凭借温度传感器、流量计及智能调节器,实时监测系统运行参数,并进行动态调控,确保系统始终处于高效运行状态,为用

户提供舒适的供暖体验。

1.2 供热运行机制与能量转换过程

系统运行时,埋地管路中的循环工质自土体吸收热量后,以低温低压蒸汽状态进入热泵蒸发器内汽化,吸热作用促进制冷剂相变;压缩机将低压蒸汽压缩为高温高压气体,随后进入冷凝器,释放热能至末端散热系统;制冷剂在冷凝后变为高压液体,经膨胀阀限压降温后重新回到蒸发器完成下一个循环。该过程通过持续的相变与压缩—膨胀循环,实现地下低品位热能向高品位热能的有效转换,并将热能稳定输送至室内。

1.3 影响系统运行稳定性的关键因素

土壤热物性、埋管深度与走向直接影响换热效率。土壤导热系数因湿度、密实度变化而波动,湿度高、密实度大的土壤热传导性好,利于热量交换,反之则热阻增大。埋管过浅易受地表温度波动干扰,过深则增加施工成本与热阻。循环工质流速与温差匹配至关重要,流速过快,工质与土壤换热时间不足;流速过慢,热量传输效率降低。压缩机运行状态、冷凝器散热条件影响系统稳定,环境温度过高或散热不畅,会使制冷剂温度异常^[1]。智能控制若无法随室内负荷调整参数,设备频繁启停或低效运行,将缩短使用寿命、降低节能效果。

2 节能优化需求下的系统性能挑战

2.1 常见住宅环境中的能耗现状分析

现代住宅采暖负荷主要来源于建筑围护结构的热损失与室内热量需求动态变化。围护墙体、屋顶及窗户的传热系数直接决定冬季热量散失速率,当外墙保温材料性能不佳、窗户密封性差时,大量热量快速逸散,迫使热泵系统长期处于高负荷运转状态。室内温度设定与实际居住模式的不匹配,如无人时段持续供暖或频繁调整设定温度,极易造成能源浪费。管道与末端散热装置的热阻同样不可忽视,管道保温层老化破损、末端暖气片或地暖管布局不合理,会导致管网热损失增加与热量分配不均。室外环境温度骤变与室内人员活动、设备散热等因素引起的负荷波动,使热泵系统难以稳定运行在高效工况点,进一步削弱了系统整体性能与节能效果。

2.2 地质差异对热泵性能的影响

地层导热性能、高含水率区域与岩石层结构差异会直接影响埋管地路的换热速率。不同地质构造下,土壤导热系数受含水量和密度影响显著,湿度较高的黏土或壤土热传导性优越,利于热量传递,而干燥砂土或松散岩层热阻大,导致换热效率低下。地下水流动虽能稳定换热管周边土体温度,但过高流速会加速热量流失,使热泵难以充分吸收土壤热能^[2]。埋管地路的埋深与间距设计需精准适配地质条件,过浅易受地表温度季节性波动干扰,过深则大幅增加施工成本与热阻,不合理的布置间距还可能引发热干扰,最终影响地源热泵系统整体性能。

2.3 运行过程中存在的能效瓶颈

循环工质在换热器与蒸发器中的温差控制对系统能效至关重要。温差过大易引发制冷剂过冷或过热,导致热压比效率下降,造成能量损耗。流量控制阀门与泵的匹配度直接影响流体分布,若匹配不合理,会在管路中形成流动死区或产生过度冲刷,前者导致局部换热失效,后者加剧管道磨损并降低传热效率。压缩机频繁启停会显著增加电机能耗,同时破坏润滑系统稳定性与冷媒量平衡,长期运行将加速部件磨损,缩短设备使用寿命。管网水力失衡问题表现为循环量异常,流量不足会导致末端供热不足,流量过大则增加泵功消耗并引发系统压力波动。

3 影响系统节能效果的参数识别与调控

3.1 换热效率提升的控制要素

系统换热效率的提升依赖于对换热器入口温度、压差及流量的精细化调控。冷热源侧温差是影响系统能效的关键参数,借助高精度温度传感器实时监测,并联动电子膨胀阀进行动态调节,可确保制冷剂蒸发温度与土壤侧出入口温差始终保持在设计工况范围内,实现高效的热量交换。在管路系统设计中,合理规划管道布局与管径选型,能够保障流体在管道内具备充足的换热停留时间,配合变频水泵与电动调节阀的协同工作,可将流速精确控制在最佳传

热区间,稳定维持系统的流量与压力差。换热器表面的污垢与结垢问题不容忽视,定期采用在线清洗技术或防污涂层处理,能够有效维持换热器表面光洁度,确保系统长期稳定运行于高效状态。

3.2 流体温度与流速匹配机制

控制供回水温差是确保系统高效运行的核心环节。基于分布于系统各关键节点的传感器网络,可实现对供回水温度的毫秒级实时采集,同步结合建筑逐时负荷曲线,通过自适应算法驱动水泵转速无级调节,使供回水温差始终维持在最佳设计区间。流速与温差存在紧密的反比例关联:当流速过高时,循环工质在换热器内的滞留时间过短,难以完成充分的热量交换;流速过低则会导致供回水温差急剧增大,破坏制冷剂相变过程的稳定性与效率^[3]。采用变频控制策略,系统能够依据室温波动及地下侧温度变化,动态调整循环流量,不仅实现了地下热量的高效汲取与室内热量的精准释放,更通过优化水泵运行功率降低能耗,同时减少管路内部流体冲击,有效延缓设备磨损,延长系统整体使用寿命。

3.3 运行策略对能耗的间接影响

科学的调度策略可通过减少深度启动次数和优化压缩机负荷比例来降低电能消耗。将运行模式由定频切换至阶段化控制,使压缩机在负荷需求较低时进入低频运行或周期性间歇运行,既满足热量供应又避免长时间高负荷工况。结合室内温差与外部环境变化启用时段控制功能,可在低谷电价时段进行预热或预冷,减少高峰时段运行功率峰值。智能化调度平台通过历史数据分析和实时监测联动供热需求,实现按需供热,间接提升系统整体能效比。

4 典型住宅应用场景下的优化设计路径

4.1 单户独立系统设计优化分析

设计阶段需结合建筑朝向、地形条件和地下土壤热物性,确定埋管地路长度与回路配置,以满足不同季节的热负荷需求。管路布置应在保证换热效率的同时降低场地占用,通过合理分配垂直与水平换热回路,使土体温度恢复能力与系统吸热速率达到平衡。循环水泵需选型于流量与扬程匹配设计温差区间内,确保供回水温差稳定在 4~6 摄氏度范围,有助于保持压缩机在高效率工况运行。热泵主机容量需与建筑热负荷曲线相吻合,针对高峰需求与日常低负荷时段设置不同运行档位,避免长时间低负荷或频繁启停。智能调节阀与温度传感器配合应用,可实现全天候动态控制。见表 1。

表 1 单户地源热泵系统关键设计参数对比

参数	数值范围	推荐值	单位	数据来源
埋管长度	200~500	350	m	国家能源局 2021
循环流量	3.5~6.0	4.5	m ³ /h	中国建设部 2022
热泵额定功率	8~15	12	kW	中国热泵行业协会 2021
设计温差	4~7	5	℃	北京市节能中心 2020
管路埋深	1.2~1.8	1.5	m	上海市节能办 2021

4.2 集中式住宅区系统布局与调配

集中式模式下,地下换热场需根据地块面积与建筑总热负荷合理规划独立回路,避免因单一长回路带来热量分布不均。换热场与热泵机房之间采用干式或湿式换热站连接,通过管网分区供给各用户单元,配置缓冲水箱缓解负荷波动。各回路水泵组应具备无级调速功能,以适应不同区域的实时流量需求,并通过旁通阀和调节阀实现回路间水力平衡^[4]。管网设计需兼顾热损失控制与经济性,合理选择管径并采用保温措施。集中控制系统通过监测各子回路温度与流量数据,实时调整机组启停顺序及运行档位,保障整体能效比最优。

4.3 动态负荷条件下的能效调节方法

负荷动态变化时,通过对室内负荷与地下换热量实时监测,可调整热泵运行频率和循环流量,以便实现精准跟踪控制。变频技术使压缩机在部分负荷状态下维持高效率运行,减少因定频启停带来的能量损失。结合 PID 控制算法,对供回水温差与出口温度进行闭环调节,确保换热过程始终在设计工况范围内。时段控制策略可在低谷电价期间执行提前预热或余热回收,降低高峰期能耗。系统可根据历史运行数据和气象预报,对负荷变化趋势进行预测,提前优化运行计划。

5 节能导向下的运行管理与技术提升策略

5.1 智能控制系统的集成与应用

智能控制系统集成多类型传感器与智能算法,构建起地源热泵系统的智慧“大脑”。温度传感器实时采集室内外、土壤及换热器各关键节点温度,压力传感器监测系统管路压力,流量传感器精准计量循环工质流速,多源数据经边缘计算模块初步处理后,传输至中央控制器。控制器搭载模糊逻辑与神经网络算法,可动态分析数据间关联,根据室内热负荷需求、室外气象条件及土壤温度场变化,自动调节热泵主机运行频率、循环水泵转速与电子膨胀阀开度。通过自适应调节策略,使系统各部件始终协同运行于高效区间,避免传统定频控制下频繁启停与低效运行问题,同时借助无线通信模块实现远程监控与参数优化,提升系统节能运行的自动化水平。

5.2 运行监测平台的数据反馈机制

运行监测平台通过部署在系统各环节的传感器网络,持续采集海量运行数据,涵盖温度、压力、流量、能耗等关键指标。这些数据经加密传输至云端服务器后,利用大数据分析技术进行深度挖掘。一方面,通过对比实时数据与历史运行数据库中的最优工况参数,识别系统当前运行状态与高效运行区间的偏差,生成可视化的偏差报告与预

警信息;另一方面,运用机器学习算法对数据进行趋势预测,提前预判土壤温度场衰减、设备性能退化等潜在问题。平台将分析结果反馈至智能控制系统,为运行参数动态调整提供依据,同时为运维人员提供设备维护建议,形成“数据采集-分析处理-反馈优化”的闭环管理机制,确保系统始终处于节能高效运行状态。

5.3 提升系统使用寿命的综合管理方案

提升系统使用寿命需从设备维护、运行策略优化与环境适应性管理多维度实施。在设备维护方面,制定科学的预防性维护计划,定期对压缩机、换热器、水泵等核心部件进行清洁保养与性能检测,及时更换磨损密封件与老化电气元件;针对换热器易结垢问题,采用物理清洗与化学药剂相结合的防垢处理技术,维持高效传热性能。运行策略层面,优化系统启停逻辑,避免频繁深度启动,通过错峰运行与负荷调配,均衡设备运行时长;同时根据土壤热平衡原理,制定季节性交替运行方案,防止土壤温度场过度偏移^[5]。在环境适应性管理上,加强对地质条件与气象变化的监测,动态调整埋管运行参数,降低外部环境对系统部件的损耗,从而延长地源热泵系统整体使用寿命。

6 结语

地源热泵系统应用于住宅供暖,通过剖析系统结构与工作原理,明确地质差异、运行瓶颈等节能挑战。经参数调控、场景化设计优化,结合智能控制、数据反馈与综合管理策略,显著提升系统热效率与运行稳定性。未来,随着技术迭代,地源热泵将深化与物联网、人工智能融合,进一步突破地质限制,完善全生命周期节能管理,加速在住宅供暖领域的普及,为建筑领域碳中和目标实现持续赋能。

[参考文献]

- [1]吕欢欢,朱大鹏,黄康.基于客流分配的城市轨道交通网络节能时刻表优化[J].铁道科学与工程学报,2025(5):1-12.
 - [2]朱艺焱,宋思扬.绿色发展背景下轨道交通节能减排的挑战与优化策略[J].时代汽车,2025(11):36-38.
 - [3]游尚钧.绿色建筑在节能居住建筑设计中的实践及技术优化路径分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(15):37-39.
 - [4]刘保平.基于 SVG 的煤矿供电系统节能优化策略[J].能源与节能,2025(5):88-90.
 - [5]焦玉婷.基于新型保温材料技术的民用建筑围护结构节能性能优化研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(14):184-186.
- 作者简介:陈勇军(1983—),性别:男,汉族,湖南新宁人,大专学历,初级职称。

玄武岩纤维改性混凝土力学性能试验研究

张敏 覃曦 陈奕阳 郑洪祥 姜力琪 曾智超

成都工业学院土木工程系, 四川 成都 611730

[摘要]为系统剖析玄武岩纤维掺量变化对混凝土力学性能及施工工作性能的作用机制,本研究以玄武岩纤维掺量(0、1kg/m³、2kg/m³、2.5kg/m³、5kg/m³)作为核心变量参数,开展标准立方体抗压强度试验与劈裂抗拉强度试验。试验数据表明,当纤维掺量处于合理范围时,混凝土抗压强度和劈裂抗拉强度均呈现显著提升趋势,且存在最优掺量。当6mm短切玄武岩纤维掺量为2kg/m³时,C40混凝土立方体抗压强度比未掺入玄武岩纤维时提高7.4%,掺量为2.5kg/m³时,劈裂抗拉强度比未掺入玄武岩纤维时提高22.6%,此时混凝土力学性能提升效果最佳。工作性能测试显示,混凝土坍落度随纤维掺量增加呈线性下降趋势,2kg/m³掺量时坍落度较基准组降低14mm,但黏聚性与保水性显著改善。研究结果为玄武岩纤维在混凝土工程中的应用提供参考。

[关键词]玄武岩纤维;改性混凝土;抗压强度;劈裂抗拉强度

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16623

中图分类号: TU528

文献标识码: A

Experimental Study on Mechanical Properties of Basalt Fiber Modified Concrete

ZHANG Min, QIN Xi, CHEN Yiyang, ZHENG Hongxiang, JIANG Liqi, ZENG Zhichao

Department of Civil Engineering, Chengdu Technological University, Chengdu, Sichuan, 611730, China

Abstract: In order to systematically analyze the mechanism of the effect of changes in basalt fiber content on the mechanical and construction performance of concrete, this study conducted standard cube compressive strength tests and splitting tensile strength tests using basalt fiber content (0, 1kg/m³, 2kg/m³, 2.5kg/m³, 5kg/m³) as the core variable parameters. Experimental data shows that when the fiber content is within a reasonable range, the compressive strength and splitting tensile strength of concrete show a significant increase trend, and there is an optimal content. When the content of 6mm short cut basalt fiber is 2kg/m³, the compressive strength of C40 concrete cubes is increased by 7.4% compared to the absence of basalt fiber. When the content is 2.5kg/m³, the splitting tensile strength is increased by 22.6% compared to the absence of basalt fiber. At this time, the improvement effect of concrete mechanical properties is the best. Performance tests show that the slump of concrete decreases linearly with the increase of fiber content. At a dosage of 2kg/m³, the slump decreases by 14mm compared to the benchmark group, but the cohesiveness and water retention are significantly improved. The research results provide reference for the application of basalt fiber in concrete engineering.

Keywords: basalt fiber; modified concrete; compressive strength; splitting tensile strength

引言

水泥基材料凭借其抗压强度高、结构刚度大、耐久性优异及经济性良好等综合优势,在交通、建筑、水利等基础设施建设领域得到广泛应用。随着城市化进程的加快与工程建设标准的提升,现代工程对混凝土材料的性能提出了多维度优化需求。尽管普通水泥混凝土具备良好的工程适用性,但其自身存在抗拉强度不足、抗折性能较弱、韧性欠佳及脆性较大等固有缺陷,这些性能短板在一定程度上制约了其在复杂受力环境、高耐久性要求工程中的推广应用。

针对混凝土抗拉、抗折强度不足及韧性缺陷等技术难题,纤维增强技术成为改善其性能的重要途径。国内外研究表明,在混凝土基体中掺入纤维可通过桥接裂缝、阻碍裂纹扩展等机制,使材料抗裂性能提升,冲击韧性提高等。当前工程中常用的纤维类型存在显著局限性。玻璃纤维因与水泥基材料的物理化学属性差异显著,导致界面相容性不佳^[1];碳纤维虽具备优异力学性能,但生产成本高且在

混凝土基体中分散性较差^[2];钢纤维与聚丙烯纤维则存在耐腐蚀性不足的问题,影响其长期阻裂性能的稳定发挥^[3]。相较而言,玄武岩纤维作为天然矿物纤维,以天然玄武岩为原料经高温熔融拉丝制备,兼具高强度、耐酸碱侵蚀、低吸湿性、化学稳定性好及经济性优势。该纤维与水泥基体具有良好的相容性,且线膨胀系数、弹性模量等物理参数与水泥基材料匹配度高,掺入混凝土后可实现与基体的协同变形,有效提升材料的强度及韧性^[4-8]。

本研究针对短切玄武岩纤维改性混凝土的力学性能,通过系统试验研究,揭示玄武岩纤维掺量对混凝土力学性能(抗压、劈裂抗拉强度)及工作性能(坍落度)的影响规律。研究成果将为玄武岩纤维混凝土工程中的应用提供参考依据。

1 实验方案设计

1.1 原材料

(1) 胶凝材料

试验选用P.O42.5普通硅酸盐水泥作为主要胶凝材料,

经检测，其物理性能指标满足。

(2) 骨料

粗骨料采用 5~20mm 连续级配碎石，细骨料选用细度模数 2.7 的天然河砂。

(3) 减水剂

减水剂采用高效聚羧酸减水剂，减水率为 25%，掺量为胶凝材料质量的 1%。

(4) 玄武岩纤维

玄武岩纤维：外观都色泽均匀，表面无污染，尖端不燃烧明火团，玄武岩纤维如图 1 所示。试验中采用原丝直径为 17 μ m，长度为 6mm 的玄武岩纤维。其核心物理力学性能参数详见表 1 所示。



图 1 6mm 玄武岩纤维

表 1 玄武岩纤维物理性能

纤维类型	比重 (g/cm ³)	单丝直径 (μ m)	抗拉强度 (MPa)	弹性模量 (Gma)
玄武岩纤维	2.65	17	1100	7.6

1.2 配合比设计

本实验采用长度为 6mm 的玄武岩纤维进行外掺，按（外掺入）质量掺量 1kg/m³、2kg/m³、2.5kg/m³、5kg/m³ 掺入 C40 混凝土中，系统分析混凝土力学性能演变规律，建立纤维掺量-力学性能关联模型，探究玄武岩纤维最佳掺量。并设置基准组作为空白对照，不同纤维掺量下混凝土配合比设计详见表 2。

表 2 玄武岩纤维混凝土配合比设计（干砂和干石）

组号	水泥 kg/m ³	砂 kg/m ³	碎石 kg/m ³	水 kg/m ³	玄武岩纤维掺量 kg/m ³
L0-0	432	680	1290	185	0
L6-1	432	680	1290	185	1
L6-2	432	680	1290	185	2
L6-2.5	432	680	1290	185	2.5
L6-5	432	680	1290	185	5

1.3 试件制备

为确保短切玄武岩纤维在混凝土基体中均匀分布，采用强制式搅拌机（转速 $\geq$ 150r/min）实施搅拌工艺，通过机械剪切力有效破除纤维结团现象。试件成型前，试模内

壁均匀涂刷一层薄型脱模剂，确保后续脱模完整性。具体制备工序如下：

骨料与胶凝材料预混：首先将砂石骨料与水泥投入搅拌机，干拌 60s 至物料混合均匀，形成初步骨架结构。

纤维分散工艺：在搅拌机运行状态下，通过投料口均匀撒布短切玄武岩纤维，持续搅拌 60s，利用骨料摩擦作用实现纤维单丝分离，避免团聚。

液相组分分批加入：先注入设计用水量的 90%与减水剂，搅拌 60s 至浆体充分包裹骨料；再补加剩余 10%水量，继续搅拌 60s，确保水胶比精准控制与外加剂均匀分散。

拌合完成后，测定新拌混凝土的坍落度，将新拌混凝土装入标准立方体试模，置于振实台上，振动密实，制成试样，24h 后，拆卸模具，移入标准养护箱养护至 28d 龄期后开展力学性能测试，实验加载方式参照文献 8。

为表征玄武岩纤维增强混凝土关键力学参数，依据 GB/T50081-2019 标准，制备 30 个标准立方体（150mm $\times$ 150mm $\times$ 150mm）试件（3 个/组），养护 28d 后分别开展抗压强度（15 个）与劈裂抗拉强度（15 个）测试。

2 实验结果分析

2.1 玄武岩纤维掺量对混凝土工作性能的影响

基于 6mm 玄武岩纤维 1-5kg/m³ 梯度掺量试验组与基准组对比，系统研究玄武岩纤维混凝土坍落度演变特性。

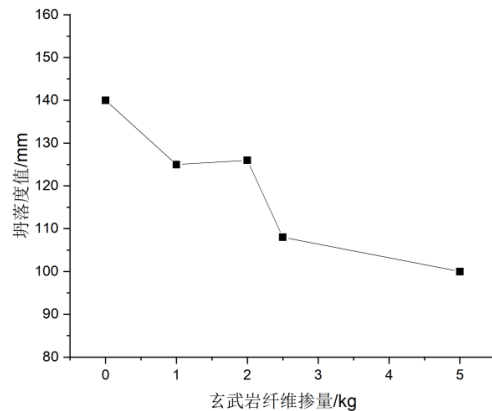


图 2 纤维掺量与坍落度关系曲线

从图 2 可知，新拌混凝土坍落度与纤维掺量整体呈逐渐降低趋势。当玄武岩纤维掺量达到 2kg/m³ 时会出现一个拐点，此时新拌混凝土坍落度相较于普通混凝土降低了 14mm，但黏聚性与保水性显著改善。当玄武岩纤维掺量继续增加时，坍落度值会明显下降，流动性显著降低。

2.2 玄武岩纤维掺量对混凝土力学性能的影响

2.2.1 掺量对混凝土抗压强度的影响

基于对 6mm 玄武岩纤维掺量 0、1kg/m³、2kg/m³、2.5kg/m³、5kg/m³ 时的玄武岩纤维混凝土 28d 龄期试件抗压强度对比分析，揭示纤维掺量对混凝土抗压性能的影响规律。

图 3 可以看出，随着玄武岩纤维掺量的增加，C40 混

凝土抗压强度整体表现出先提升后下降的变化规律。当纤维掺量达到 2kg/m^3 时,混凝土基体内部纤维与胶凝材料的界面黏结作用达到最佳协同状态,此时抗压强度达到峰值,较基准组提升幅度最为显著。若继续增大纤维掺量,由于纤维在基体中分散均匀性下降,导致内部缺陷增多,抗压强度开始呈现递减趋势。当掺量增至 5kg/m^3 时,纤维混凝土立方体抗压强度实测值已低于基准组,表明过量纤维掺入对混凝土基体密实度产生不利影响。

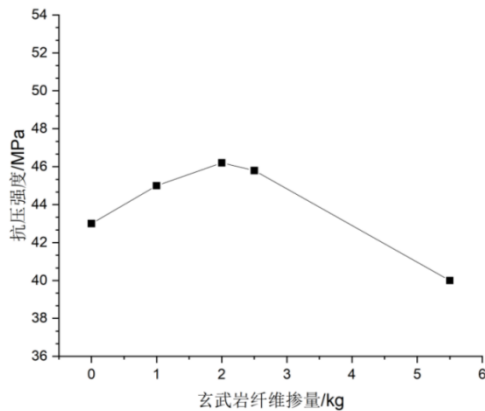


图3 纤维掺量对抗压强度的影响

当C40混凝土中掺入 2kg/m^3 的6mm短切玄武岩纤维时,其立方体抗压强度较基准组提升7.4%。该增强效应源于纤维与骨料的协同受力机制。在外荷载作用下,各向分布的纤维通过拉拔、断裂及变形等物理行为消耗能量,有效分担基体应力并抑制微裂纹扩展。纤维的桥接作用增强了水泥基与骨料界面过渡区的整体性,使混凝土破坏过程从脆性断裂转变为延性损伤,从而提升抗压强度。当纤维掺量增至 5kg/m^3 时,抗压强度反而低于普通混凝土,由于纤维分散性能的劣化,过量纤维在拌合过程中易形成团聚体,导致基体内部出现界面缺陷与薄弱区域。纤维团聚体不仅降低了纤维与水泥石的有效黏结面积,还破坏了混凝土密实结构,未分散的纤维束阻碍水泥浆体包裹,形成孔隙率增加的薄弱界面过渡区。此时,纤维的增强效应被界面黏结失效与基体密实度下降所抵消,甚至引发应力集中现象,最终导致抗压强度降低。

结果表明,玄武岩纤维对混凝土抗压强度的影响存在临界掺量,低掺量时通过耗能机制与界面增强提升强度,高掺量时因分散性恶化与结构缺陷导致强度劣化。实际工程中需通过控制纤维掺量及优化搅拌工艺,平衡纤维增强效应与基体密实性要求。

2.2.2 掺量对混凝土劈裂抗拉强度的影响

基于对6mm玄武岩纤维掺量 0 、 1kg/m^3 、 2kg/m^3 、 2.5kg/m^3 、 5kg/m^3 时的玄武岩纤维混凝土28d龄期试件劈裂抗拉强度对比分析,揭示玄武岩纤维掺量对混凝土抗拉性能的影响规律。

图4可以看出,随着玄武岩纤维掺量的逐步增加,混

凝土基体的抗拉性能呈现显著的非线性响应特征:其强度指标在纤维掺量增长初期呈持续上升趋势,达到峰值后随掺量进一步增加转而进入下降阶段。当玄武岩纤维掺量达到 2.5kg/m^3 时,C40混凝土抗拉力学性能得到最大幅度提升,劈裂抗拉强度达到最高,继续增加玄武岩纤维的掺量时,玄武岩纤维混凝土的抗拉强度开始降低。掺量达到 5kg/m^3 时,混凝土劈裂抗拉强度低于普通混凝土,混凝土的抗拉力学性能对比 2.5kg/m^3 玄武岩纤维掺量时大幅下降,其综合性能最差。

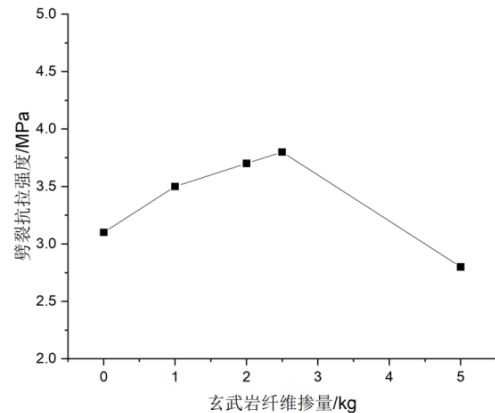


图4 纤维掺量对劈裂抗拉强度的影响

当C40混凝土中掺入 2.5kg/m^3 的6mm短切玄武岩纤维时,其劈裂抗拉强度较基准组提升22.6%。这一增强效应源于纤维在拉应力状态下的梯度受力机制。加载初期,试件拉应变较小,应力主要由水泥基体承担,纤维尚未充分发挥作用;随着荷载增加,基体因抗拉强度不足产生微裂纹,此时各向分布的纤维开始发挥桥联效应,通过横跨裂缝两侧的物理连接约束基体变形,将部分拉应力转移至纤维-基体界面。这种应力重分布机制有效延缓了裂缝扩展,使荷载得以通过纤维的拉伸变形持续传递,避免了应力在裂缝端的集中。纤维的桥联作用不仅增强了界面过渡区的黏结强度,还通过消耗断裂能改变了混凝土的破坏模式,从而显著提升劈裂抗拉性能。

当纤维掺量增至 5kg/m^3 时,劈裂抗拉强度骤降至基准组以下,主要受两方面因素影响:其一,玄武岩纤维的柔性特征使其在高掺量下易发生团聚,未分散的纤维束在基体中形成弱界面层,这些层状结构不仅无法有效传递荷载,反而成为新的裂纹易生点,导致纤维过早失效;其二,过量纤维在搅拌过程中因机械剪切作用发生断裂或缠绕,同时搅拌机高速运转导致纤维抛洒,造成基体含气量升高。由此形成的内部空洞削弱了纤维与水泥石的有效黏结面积,降低了基体密实度,使得纤维增强效应被界面缺陷与结构疏松所抵消。

实验结果表明,玄武岩纤维对混凝土抗拉性能的提升存在显著的掺量阈值,适宜掺量下通过桥联效应抑制裂纹扩展,过量掺量则因分散性恶化和基体缺陷导致性能劣化。实际工程中需结合纤维长径比、搅拌工艺及基体配合比,

将玄武岩纤维掺量控制在 5kg/m^3 以内,以平衡纤维分散性与界面黏结强度。

3 结论

通过在普通混凝土中掺入长度 6mm 的短切玄武岩纤维,开展玄武岩纤维掺量 (0 、 1kg/m^3 、 2kg/m^3 、 2.5kg/m^3 、 5kg/m^3) 对混凝土力学性能和工作性能影响的试验研究,对试验现象及实验结果对比分析,得到以下结论:

(1)玄武岩纤维的掺入能够改善混凝土的工作性能,玄武岩纤维掺量较少时,对混凝土的坍落度和扩展度影响较小,掺量达到 2kg/m^3 时会出现一个拐点,此时的坍落度比普通混凝土降低了 14mm。当玄武岩纤维掺量继续增加时,坍落度会明显下降,混凝土流动性减弱。

(2)随着玄武岩纤维掺量的递增,混凝土基体抗压性能呈现先增长后衰减的非线性变化趋势。当纤维掺量增至 2kg/m^3 时,纤维与水泥石的界面黏结作用达到最佳协同状态,此时立方体抗压强度达到峰值,较基准组提升幅度最为显著,提高 7.4%,掺量达到 5kg/m^3 时,混凝土立方体抗压强度低于基准组。

(3)随玄武岩纤维掺量的逐步递增,混凝土基体的抗拉性能呈现先增强后减弱的非线性演化规律。当纤维掺量达到 2.5kg/m^3 时,纤维在水泥石基体中的桥接效应与界面黏结性能达到最佳耦合状态,此时劈裂抗拉强度值达到峰值,较基准组提升 22.6%,掺量达到 5kg/m^3 时,混凝土劈裂抗拉强度低于基准组。

玄武岩纤维对混凝土抗压和抗拉性能的提升存在显著的掺量阈值,当玄武岩纤维质量掺量达 2kg/m^3 时,混

凝土抗压强度达到最大,质量掺量达 2.5kg/m^3 时,混凝土劈裂抗拉强度达到最大值。合理选择玄武岩纤维掺量,应综合考虑其对混凝土力学性能及工作性能的影响。

【参考文献】

- [1]MADHKHAN M, KATIRAI R. Effect of pozzolanic materials on mechanical properties and aging of glass fiber reinforced concrete [J]. Construction and Building Materials,2019,11(225):146-158.
- [2]尚国秀.碳纤维水泥基复合材料纤维分散性及导电性能试验研究[D].郑州:郑州大学,2015.
- [3]IQBAL S, ALI I, ROOM S, et al. Enhanced mechanical properties of fiber reinforced concrete using closed steel fibers[J]. Materials and Structures,2019,52(3):1-10.
- [4]李晓路,金宝宏,姚宇峰,等.玄武岩纤维再生混凝土的基本力学性能 [J]. 河北大学学报(自然科学版),2017,37(3):225-230.
- [5]覃书豪.新型玄武岩纤维混凝土力学性能试验研究[D].贵州:贵州大学,2022.
- [6]高真,曹鹏,孙新建,等.玄武岩纤维混凝土抗压强度分析与微观表征[J].水力发电学报,2018,37(8):111-120.
- [7]余彦锋.玄武岩纤维混凝土力学性能及抗渗性研究[J].科学技术创新,2021,11(25):135-138.
- [8]张延年,卢禹先,王广林,等.短切玄武岩纤维对混凝土力学性能的影响[J].混凝土,2024,11(3):82-86.

作者简介:张敏(1986.6—),西南交通大学,岩土工程,成都工业学院,专任教师,副教授。

低碳交通导向下城市道路新型透水铺装材料性能与应用

孟 强

沂水县城建设综合服务中心, 山东 临沂 276400

[摘要]随着城市交通需求不断攀升,传统道路铺装模式逐渐显现透水性不足、易诱发内涝、碳排放量高等弊端,新型透水铺装材料以其优异的透水性能和生态环保特质,在城市低碳交通体系构建中彰显出广阔的应用潜力,文中以低碳发展为导向,聚焦透水混凝土、多孔沥青、生态陶瓷砖等材料的结构特点与性能优势,结合道路适用性分析及环境调节功能,深入探究其在城市道路系统中的推广价值与演进趋势,为绿色基础设施建设提供理论依据与实践路径。

[关键词]低碳交通;透水铺装材料;城市道路;生态基础设施;可持续发展

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16609

中图分类号: TU52

文献标识码: A

Performance and Application of New Permeable Pavement Materials for Urban Roads under the Guidance of Low-carbon Transportation

MENG Qiang

Yishui County Urban and Rural Construction Comprehensive Service Center, Linyi, Shandong, 276400, China

Abstract: With the continuous increase in urban transportation demand, traditional road paving models have gradually shown drawbacks such as insufficient permeability, susceptibility to waterlogging, and high carbon emissions. New permeable paving materials, with their excellent permeability and ecological environmental characteristics, have demonstrated broad application potential in the construction of low-carbon urban transportation systems. This article focuses on the structural characteristics and performance advantages of permeable concrete, porous asphalt, ecological ceramic tiles and other materials, and combines road applicability analysis and environmental regulation functions to explore their promotion value and evolution trend in urban road systems, providing theoretical basis and practical path for green infrastructure construction.

Keywords: low carbon transportation; permeable paving materials; urban road; ecological infrastructure; sustainable development

引言

城市化进程的加速伴随交通基础设施的大规模建设,传统道路铺装导致雨水渗透受阻,加剧了城市内涝、热岛效应及碳排放等环境问题,低碳交通理念以节能减排、绿色出行为核心,成为推动城市交通转型的重要指引,在此背景下,兼具透水功能与环保属性的铺装材料日益成为道路建设的关键要素,通过优化路面结构设计,提升城市生态承载能力,助力构建绿色、安全、高效的交通系统。

1 新型透水铺装材料的类型与技术特征

1.1 透水混凝土

透水混凝土作为高孔隙率建筑材料,由粗骨料、水泥、少量细骨料及外加剂构成,其独特结构通过骨料间贯通孔隙实现雨水快速下渗,有效减轻地表径流压力,该材料成型需经干拌、摊铺、碾压与养护等工序,其中拌合水量与外加剂配比直接影响孔隙率和强度平衡,透水混凝土凭借突出的透水性能、成熟施工工艺及适中造价,在人行道、小型车道和停车场等轻荷载区域应用广泛;不过,其承载能力局限和孔隙易堵塞问题,需定期维护,制约了在重载交通场景的推广。

1.2 多孔沥青混合料

多孔沥青混合料通过优化矿料级配并添加改性剂,提

升材料结构稳定性与使用寿命,橡胶粉、SBS 高分子改性剂等常见添加物,可增强沥青黏结力与抗老化性能,该材料在保持良好透水能力的同时,具备一定抗压强度,适用于城市支路、非机动车道等中轻载交通路段,实际应用中,多孔沥青混合料展现出优良排水和降噪效果,显著提升行车安全与道路舒适性,目前技术研发聚焦提升其抗堵塞性和耐久性,但较高施工要求与初期投资成本,仍是阻碍其大规模应用的关键因素。

1.3 生态陶瓷透水砖

生态陶瓷透水砖以废陶瓷、矿渣、粉煤灰等工业固废为原料,经高温烧制而成,兼具透水、抗压、耐久特性,实现资源循环利用,环保优势显著,其制作过程通过精准调控粒径分布与烧结温度,形成内部均匀贯通的孔隙结构,既促进雨水渗透,又能截留部分污染物,该材料常用于城市人行道、园林道路及广场铺装,在美化城市景观的同时,改善地表生态环境,相较传统混凝土砖,生态陶瓷透水砖在强度、防滑性和耐候性方面表现更佳,然而其较高生产成本与较长加工周期,对应用规模和环境条件形成一定限制。

2 透水铺装材料的关键性能分析

2.1 透水性与排水性能

透水性是衡量铺装材料应对城市排水与雨水管理效

能的核心指标,通常依据单位时间内材料过水流量进行测定,常见检测手段涵盖定水头法、变水头法及现场渗透实验等,材料透水性能优越,不仅能快速疏导地表积水、削减雨水径流,还可促进雨水就地入渗、回补地下水源,对缓解城市内涝问题成效显著,实践数据显示,透水混凝土初始透水速率多在 $2\sim 5\text{mm/s}$,多孔沥青约为 $1\sim 3\text{mm/s}$,而生态陶瓷砖凭借均匀孔隙结构,透水率可达 5mm/s 以上,但长期使用过程中,泥沙杂质易堵塞孔隙,致使材料透水能力衰减,因此抗堵塞性能优劣与后期维护机制完善程度,同样是保障其持续发挥作用的关键要素。

2.2 力学性能与结构耐久性

透水铺装材料除需具备优良透水性外,还需满足特定力学强度以承受交通荷载及环境作用、抗压强度、抗折强度与疲劳性能是评估其结构耐久性的核心参数,透水混凝土抗压强度通常处于 $15\sim 30\text{MPa}$ 区间,适用于轻荷载区域;多孔沥青因骨架结构较松散,抗压强度相对较低,但具备良好柔性与裂缝扩展抗性,适宜荷载频率适中的场景,材料结构稳定性受孔隙率、骨料黏结状态、水灰比等多因素影响,结构设计不合理易引发铺装层剥落、开裂等病害,此外,铺装材料使用寿命与耐磨性、抗冻性及气候适应性密切相关,设计寿命一般为 $8\sim 15$ 年,维护周期则因材料类型与铺装环境而异。

2.3 环境友好性与碳足迹评估

伴随绿色建材与低碳交通理念的深入发展,材料全生命周期的环境效应成为衡量其应用价值的核心维度,透水铺装材料的碳足迹分析覆盖原料开采、生产加工、物流运输、工程施工、使用维护直至废弃处理的完整过程,透水混凝土与生态陶瓷砖凭借对工业固废、矿渣等再生资源的高效利用,在原料获取阶段即展现显著环保优势,大幅削减产品全周期碳排放量、同时,这类材料具备良好的回收再利用特性,可有效减少建筑垃圾生成,契合生态友好发展需求,政策层面,我国持续完善绿色建材评价认证体系,通过政策引导与资源倾斜,对达标的环保型铺装材料给予推广支持,既提升市场接受度,也为城市道路建设的绿色化转型构建制度保障与激励框架。

3 低碳交通体系中的透水铺装作用机制

3.1 绿色出行与透水路面的协同效应

透水铺装与城市绿色出行体系高度适配,在自行车道、人行道及慢行绿道等慢行交通网络中展现出显著应用价值,这些区域对材料承载能力要求相对较低,更强调铺装的舒适性与生态属性、透水材料表面纹理粗糙却保持平整,具备出色的防滑性能,能够有效保障行人和骑行者的出行安全,遭遇降雨天气时,其独特的透水结构可快速排走积水,避免路面湿滑导致的意外事故与交通阻滞,提升道路通行的连贯性与便利性、此外,透水铺装常与绿道建设有机结合,不仅优化道路使用体验,还为城市慢行交通参与

者打造出自然和谐、低碳环保的出行环境,成为构建“步行+骑行”绿色出行模式的关键基础设施。

3.2 热岛效应缓解与城市微气候调节

在缓解城市热岛效应领域,透水铺装材料具有突出效能、其丰富的孔隙结构加速地表水分蒸发,增强蒸散作用,进而降低地表温度,相较于传统黑色沥青路面,透水砖与浅色混凝土凭借更高的光反射率,减少太阳辐射吸收,抑制热量积聚、雨水经透水材料渗入基层后,在光照下缓慢汽化,形成天然降温机制,调节区域温湿度,改善城市微气候环境,遵循海绵城市建设理念,透水铺装与植被、雨水花园、调蓄设施协同布局,构建起“覆盖-渗透-滞留-净化”的雨水管理体系,实现生态功能与景观效果的有机统一,显著提升城市生态韧性。

3.3 雨水资源利用与城市水生态保护

透水铺装材料在缓解城市热岛效应中发挥着关键作用,其独特的多孔构造加速地表水分蒸腾,通过增强蒸散过程有效降低地面温度、相比传统黑色沥青路面,浅色透水砖与混凝土凭借更高的光反射特性,大幅减少太阳辐射吸收,遏制热量累积,雨水透过铺装层渗入地基后,在阳光照射下逐步蒸发,形成天然的降温循环,对区域温湿度起到调节作用,改善城市局部气候环境、基于海绵城市建设理念,透水铺装与绿化植被、雨水花园及调蓄设施相互配合,打造出“覆盖、渗透、滞留、净化”一体化的雨水管理系统,既实现生态效益与景观美学的融合,又显著增强了城市生态系统的抗干扰能力

4 城市道路建设中透水铺装的实际应用

4.1 国内外应用案例分析

透水铺装技术在世界多国城市道路建设中已积累丰富实践成果,日本东京将陶瓷透水砖广泛应用于人行道及公交站点,显著缓解高温天气下的地表升温现象,成为治理城市热岛效应的成功范例,德国柏林于居民区和城市绿地推广多孔沥青路面,通过与雨水花园、绿色隔离带协同布局,大幅提升雨水调蓄能力,构建起生态化排水体系,美国波特兰依托“绿色街道计划”,推行透水混凝土与生态植被结合的系统,实现城市雨水就地收集净化,并在城市更新项目中推广应用。

中国在透水铺装领域的实践探索持续深入、厦门、南宁、武汉等海绵城市试点在道路新建与改造工程中,大量采用透水砖和多孔沥青材料,以武汉东湖绿道为例,大面积铺设透水混凝土与陶瓷砖,既保障慢行交通体验,又强化雨水调蓄功能,成都高新区在“绿色街区”建设中,运用透水沥青铺设支路网络,并配套建设雨水下渗井,有效提升区域排水效能、这些实践标志着透水铺装在中国从试点示范逐步迈向规模化应用阶段,但部分工程因施工操作不规范、后期维护缺失导致透水性能下降,凸显出完善制度建设与加强监管体系的必要性。

4.2 适用范围与建设条件

透水铺装的推广需结合道路功能、交通负荷及地域环境条件综合考量,在人流与车流量较低的人行道、支路、非机动车道、广场及校园等场景,这类铺装能充分发挥排水与生态调节优势,而在交通繁忙、重载车辆往来频繁的主干道,若未采用高强度骨料及增强材料,易出现开裂、变形等病害,制约其应用范围,此外,材料性能设计需适配区域地质、水文及气候特征,如北方严寒地区需着重提升抗冻融性能,南方多雨区域则需优化排水构造与孔隙稳定设计、当前,我国部分城市尚未建立完善的透水铺装专项标准,导致与传统道路施工流程难以有效衔接,影响工程建设质量与后期运维评估。

4.3 推广应用中的制约因素

尽管透水铺装技术创新与生态效益方面优势显著,其大规模推广仍面临多重阻碍,成本因素首当其冲,相较于传统铺装材料,透水材料单价较高,加之施工过程对专业设备与人工操作要求严格,导致项目初期资金投入大幅增加,给财政预算紧张的城市建设项目带来压力,其次,维护体系不完善制约其长效运行,部分区域因缺乏常态化清淤疏通机制,致使透水结构使用数年后排水性能明显衰退,此外,公众认知不足也成为推广难点,不少市民未能充分认识其环保低碳价值,将其混同于普通建材,甚至因表面纹理对安全性与舒适性产生疑虑、因此,强化科普宣传、开展专业技术培训,同时完善建设运维全流程规划,是推动透水铺装在城市道路领域持续应用的重要举措。

5 发展对策与未来研究方向

5.1 材料创新与性能提升

透水铺装材料的性能突破依赖于新材料技术的创新发展,当下,纳米技术与复合材料的交叉应用成为前沿研究方向,通过添加纳米硅粉可增强材料强度并提升抗堵塞性能,借助多孔高分子复合体系则能优化材料耐久性与弹性,针对透水结构常见的孔隙堵塞和表面破损问题,自愈合型材料研发取得实质性进展,利用微胶囊封装、活性晶体嵌入等技术,实现材料裂缝的自主修复,有效延长使用寿命,展望未来,功能集成化将成为重要发展趋势,通过融合光催化降解、表面自清洁、温度调节等多元功能模块,推动城市路面实现生态效益与智能功能协同,为智慧交通建设提供新的技术路径。

5.2 设计与施工标准体系建设

为推动透水铺装的规模化与标准化应用,构建完善的设计施工标准体系成为关键,根据道路功能分级与气候分

区特征,需编制针对性设计准则,系统规定铺装构造层次、透水性能指标、承载能力标准等核心参数、施工环节中,通过严格把控原材料质量检测、孔隙率检测分析、压实度动态监测等技术要点,保障工程施工进度与成品质量稳定性、借助数字化与智能化管理手段,将施工全流程数字建模技术、智能监测预警系统等融入工程管理,以此提升项目管理效能与工程建设质量可靠性。

5.3 多学科融合推动系统优化

透水铺装的深度优化依赖交通工程、材料科学、城市规划等多学科的交叉融合,在城市空间规划进程中,可围绕低碳交通网络布局,精准规划透水铺装覆盖区域,充分释放其生态功能与交通服务的协同价值、探索建立透水材料应用与碳交易市场、绿色金融政策的联动机制,将其纳入绿色建筑与交通碳排放核算体系,构建“资金投入-工程建设-碳减排-效益反哺”的可持续发展闭环,面向未来,需研发透水铺装与低碳交通协同效应的量化评估模型,为政策制定、项目决策及效益分析提供科学支撑,推动绿色城市基础设施体系的系统化建设。

6 结束语

透水铺装作为低碳交通体系的关键构成,在缓解城市内涝、削弱热岛效应、提升出行环境质量等方面成效显著,高度契合绿色基础设施建设的时代趋势,通过对材料性能、实践应用及推广条件的综合分析可知,其在城市道路领域具备广阔应用前景,未来发展需聚焦材料技术升级、标准体系完善及跨学科协同创新,构建可持续的技术支撑体系,推动透水铺装在城市道路领域持续应用,推动透水铺装在城市道路领域持续应用,推动透水铺装在城市道路领域持续应用,推动透水铺装在城市道路领域持续应用。

[参考文献]

- [1]田鹏江.环氧树脂类混凝土透水路面材料组成设计及性能研究[D].西安:长安大学,2018.
- [2]杨义辉,刘恒源,吕国军,等.城市道路透水铺装材料路用性能评价[J].湖南交通科技,2019,45(2):25-28.
- [3]田宇翔.城市道路透水沥青铺装持水行为与降温效果研究[D].西安:长安大学,2019.
- [4]汪俊松.湿热地区透水铺装蒸发降温特性研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [5]张肖云.透水铺装材料及其在城市中的应用[J].中国建筑装饰装修,2022(14):78-80.

作者简介:孟强(1990.7—),男,山东临沂人,现就职沂水县城建设综合服务中心,项目管理室职员,从事市政工程技术安全管理工作。

征 稿

Call for Papers

《工程建设》由新加坡Viser Technology Pte.Ltd. 主办, ISSN: 2717-5375 (印刷)。
本刊长期以来注重质量, 编排规范, 选稿较严格, 学术水平较高, 深受高校教师及
科研院所研究人员青睐。本刊为开源 (Open Access) 期刊, 出刊的所有文章均可在
全球范围内免费下载, 文章被万方数据库、维普网等权威数据库收录。

期刊针对工程项目建设的全过程, 重点报道工程建设过程的科研成果、先进技术、
高效设备、新型材料、工程项目管理经验等, 突出工程领域新技术、新工艺、
新方法, 反映建筑、市政、交通等工程领域新成果、新进展, 促进工程技术行业的
交流与成果展示, 为推动国际工程技术和科学技术发展服务。

《工程建设》期刊的主要栏目有:

工程管理、建筑工程、市政工程、机械工程、石油工程、矿山工程、冶金工
程、路桥交通、勘察测绘、施工技术、建筑设计、节能环保、材料科学等。

鼓励工程建设各领域的专业技术人员和管理干部以及大专院校相关专业的师生
和科研人员来稿, 有关国家科技计划、自然科学基金和各种部门、地方、院所科技
基金资助项目的文章优先发布。

征文格式与要求:

(1) 论文要求: 论点新颖, 论证充分; 设想可行, 结论可靠; 条理分明, 书写
清楚, 用字规范, 上交电子文件 (word格式)。

(2) 论文格式: 题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘
要 (150字符-300字符为宜) 及关键词 (3-5组为宜)、正文、参考文献。(附个人
简介、邮箱、联系方式及详细收件地址, 如: 省、市、区、路)。

(3) 论文篇幅: 字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址: www.viserdata.com



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

