



www.viserdata.com

工程建设

月刊

ENGINEERING CONSTRUCTION

■ 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 11

第8卷 总第81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11期(总第81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: 11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: 195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,

Singapore 168976

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 张高德

刘庆功 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

信息通信工程 EPC 总承包项目常见问题分析及对策建议

尹训锋 11

绿色建筑工程造价构成特点与成本控制策略研究

杨 璐 王玉瑶 5

水利工程安全监测信息平台构建方法研究

唐绘馨 8

建筑工程

信息化背景下建筑工程管理的优化路径研究

魏婷婷 11

低碳理念下现代物流园区规划设计研究

李曙光 14

BIM 结合 720 云全景渲染助力南昌市人民医院项目一次

成优

谭克璇 17

建筑工程管理中质量控制与进度控制的协同策略研究

周 霏 21

基于物联网的给排水系统泄漏预警设计与智能控制技术

研究

赵青琳 24

装配式建筑工程管理影响因素及对策研究

马英超 28

BIM 技术在建筑管理中的应用与效果评估

姜 茹 32

机械工程

智能化电气自动控制技术在集装箱制造中的实践应用

洪连辉 36

筑路机械新能源化发展及充换电技术研究

郭 涛 40

化工机械轻量化与节能化协同设计技术

牛天芳 43

高压差阀门抗气蚀结构优化与流体动力学分析

王晓峰 47

矿山工程

复杂水文地质条件下矿井探放水技术研究

薛路伟 50

矿山井下测量中测量精度控制与优化探讨

张 伟 54

路桥交通

高速公路拓宽新建收费站工程施工管理的优化路径探讨

李春香 57

勘察测绘

测绘新技术在测绘工程中的应用研究..... 刘雨川 60

施工技术

模块化装配式建筑在复杂场地施工的应用..... 朱增瑞 63

河堤护岸桩板式挡墙施工技术.....

.....蔡路 龚巍 康学太 67

公路工程施工技术与质量控制研究..... 杨宪坡 71

土建施工中现浇板裂缝的预防与控制..... 张广军 74

水利水电施工中混凝土施工技术的应用..... 周鲁鹏 78

土木工程施工中节能绿色环保技术探究..... 赵彦博 81

桩基施工技术在岩土工程中的应用分析..... 傅嘉伟 85

建筑设计

剧院舞台机械系统结构设计与工程应用研究.... 朱超尘 88

高层建筑给排水加压系统节能设计..... 刘姣姣 92

节能环保

焦炉化产品回收过程能耗控制与节能研究..... 刘馨月

侯雨辰 于淼 郭天赐 赵猛 孙宇 鞠奥

孟德鑫 96

车间给排水管网优化布置的实践研究..... 丛明 99

热泵技术在暖通空调系统中的集成设计与节能潜力评估

..... 王旭斌 103

工业园区生活污水与工业废水分流处理研究.. 吕占涛 107

材料科学

弹性体改性沥青防水卷材质量检测的探讨..... 谢放 112

信息通信工程 EPC 总承包项目常见问题分析及对策建议

尹训锋

北京房山区拱辰大街, 北京 102401

[摘要]EPC 总承包作为工程建设领域一体化管理的重要模式, 凭借其资源整合、缩短工期、控制成本的优势, 已成为国内信息通信工程建设项目的主流选择。EPC 总承包项目虽具有先天优势, 但国内 EPC 总承包模式起步较晚, 在实际推行过程中, “发包人要求”作用模糊、合同和设计责任界定不清、工程量清单误用等问题时有发生。文中针对信息通信工程 EPC 总承包项目的常见问题分析了原因, 从“发挥发包人要求”的引领作用、设计施工深度融合等方面, 提出可实施的意见建议, 为信息通信工程 EPC 总承包建设管理提供实践参考。

[关键词]信息通信工程; EPC 总承包; “发包人要求”; 设计施工融合

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18601

中图分类号: F623

文献标识码: A

Analysis of Common Problems and Countermeasures for Information and Communication Engineering EPC General Contracting Projects

YIN Xunfeng

Beijing Fangshan District Gongchen Street, Beijing, 102401, China

Abstract: EPC general contracting, as an important mode of integrated management in the field of engineering construction, has become the mainstream choice for domestic information and communication engineering construction projects due to its advantages of resource integration, shortened construction period, and cost control. Although EPC general contracting projects have inherent advantages, the domestic EPC general contracting model started relatively late. In the actual implementation process, problems such as vague role of "employer requirements", unclear definition of contract and design responsibilities, and misuse of engineering quantity lists often occur. The article analyzes the common problems in information and communication engineering EPC general contracting projects, and proposes feasible suggestions from the leading role of "fulfilling the employer requirements" and the deep integration of design and construction, providing practical reference for the construction management of information and communication engineering EPC general contracting.

Keywords: information and communication engineering; EPC general contracting; "the employer requirements"; design construction integration

引言

EPC(Engineering, Procurement, Construction)总承包, 即“设计、采购、施工”总承包, 是一种集工程设计、设备材料采购、施工安装、试运行、验收等于一体的工程总承包模式, 具有责任主体集中的核心优势。EPC 总承包商作为项目总负责方, 向发包方承担整体工程的质量、安全、进度、成本等全流程责任, 发包方仅需通过合同约定对项目关键节点进行管控, 实现流程协同、风险集中管控和效率提升, 从而能够减轻发包方的负担, 降低管理成本和风险, 大大缩短工期, 提升效率, 节约成本。EPC 总承包适用于基础设施建设、信息通信工程建设等大型复杂工程。

信息通信工程是一个复杂的系统工程, 具有技术深度耦合、快速迭代的特点, 一个完整的信息通信工程项目可能涉及传输网、无线网、动力动环系统、土建机房、通信天线等多个高度专业化的子系统, 而通信技术更新迭代速度快, 信息通信工程建设必须跟上技术发展。信息通信工程采用传统的总承包模式, 存在设计周期长, 承包商多,

协调困难等问题, 而 EPC 总承包商作为单一责任方, 可实施“边设计、边采购、边施工”的并行工程, 能大幅缩短建设周期, 有能力从全局出发进行系统集成和协同设计, 确保各子系统之间接口匹配、技术兼容, 避免出现“各自为政”的混乱局面。信息通信工程建设项目大都点多面广线路长, 路由选址充满不确定性, 而 EPC 总承包商可以将此风险纳入整体管理, 通过灵活的方案调整来化解风险, 保证整体进度。此外, 受芯片供应、国际贸易政策影响, 信息通信核心设备存在供应链风险, 有实力的 EPC 总承包商通常与设备商有战略合作, 能更好地保障供应链稳定, 并获得有竞争力的价格。虽然信息通信工程 EPC 总承包具有较强的优势, 但 EPC 总承包在我国起步较晚, 整体还处于“成熟与完善并行”阶段, 仍有一些系统性的问题需要解决。

1 信息通信工程 EPC 总承包项目常见问题及原因分析

1.1 “发包人要求”未起到全过程指导作用

现阶段, 大部分信息通信工程 EPC 总承包项目是以

初步设计招标的,发包方往往重视初步设计而忽略了“发包人要求”,导致“发包人要求”模糊不清,要求不明,甚至是不完整的,可能引起成本超支、工期延误、质量隐患等风险问题,造成预期与实际不符的隐患问题。产生问题的原因一是认为 EPC 总承包是交钥匙工程,承包商负总责,对“发包人要求”不重视,编制内容失准,编制流程不专业,技术参数界定缺失量化标准,仅提出功能性描述却未明确通信行业专属指标,功能边界划分混乱,对信息通信系统的核心功能与拓展功能界定不清,系统协同需求覆盖不全,忽视通信工程“设备-链路-网络”的联动特性。二是信息沟通不畅,核心要求逐层衰减。“发包人要求”在 EPC 总承包方传递及实施过程中,易因技术信息不对称出现理解错位和执行偏差,如交底环节形式化,多数项目仅通过书面文件传递要求,未针对信息通信工程复杂技术点组织专项技术交底,导致总承包方设计团队与施工团队对需求的解读出现偏差,执行校验机制缺失,未在设计方案评审、设备采购验收等关键节点设置需求符合性审查,导致设计方案偏离发包人核心诉求,未建立常态化的需求澄清机制,总承包方对需求的疑问无法及时得到明确答复,只能凭经验推断。三是责任约束缺失,缺乏倒逼发包人提升要求质量的约束机制,导致发包人对需求编制的重视程度不足。四是调整无序,变更风险失控。信息通信工程受技术迭代、政策调整等影响显著,但“发包人要求”的动态管理机制普遍缺失,变更触发随意性强,发包人常因业务拓展或政策变化临时提出需求调整,却未通过正式变更流程明确;变更内容不完整,仅提出调整结果却未说明技术依据与约束条件;责任划分模糊,未在变更文件中明确费用增加、工期延长的承担方式,导致变更后引发成本争议。

1.2 合同责任界定不清

信息通信工程具有技术密集、设备集成度高、系统关联性强的特性,合同责任一旦界定不清,易引起质量责任模糊,成本责任混乱,工期责任错位、维保衔接责任断层,多方推诿、成本失控等连锁问题。产生问题的主要原因一是通用条款编制粗放,未适配信息通信工程特性。EPC 工程合同的通用条款的基础框架多沿用建筑工程领域的标准化模板,未针对信息通信工程的特殊性进行调整,形成责任界定的盲区。责任划分过于笼统。通用条款通常以原则性表述界定责任,未聚焦信息通信工程“设计-采购-施工-联调”全链条的关键节点,未明确责任主体,出现问题时设计方、设备供应商、施工方易相互推诿,价款与支付责任模糊。通用条款中“按进度付款”的约定未结合信息通信工程“设备占比高、付款节点与技术节点关联性强”的特性,未明确设备到货验收、系统联调合格、试运行达标等关键技术节点对应的付款比例,易引发施工方停工维权。二是专用条款补充功能缺失与细节约定空白,技

术方面的责任约定脱节于行业标准,专用条款未结合信息通信行业规范,明确技术参数偏离、系统兼容性、运维接口等关键责任。信息通信工程设计变更频繁,但专用条款未明确“发包人需求变更”与“设计方缺陷变更”的责任差异,导致发包人需求变化引发的设计返工,与设计方未考虑系统兼容导致的变更混为一谈,引起导致工期延误和投资混乱。三是专业认知错位,责任主体协同失衡。发包人与 EPC 总承包方对“责任边界”的认知存在偏差,且缺乏专业协同,履约过程责任跟踪缺位,缺乏“合同责任-履约行为-考核结果”的联动机制,削弱了条款约束力;EPC 总承包方责任转嫁,利用发包人技术认知不足,在合同中模糊“设计缺陷”与“施工偏差”的责任,将设计问题导致的返工成本转嫁为“施工增量”。

1.3 设计责任混淆

与传统施工总承包的线性责任不同,EPC 总承包模式下,设计可以根据采购到的设备型号、施工方法的便利性进行优化和调整,但当这种优化后的设计出现问题时,责任难以界定,容易产生设计责任混淆的问题,其根源在于对设计优化、设计深化与设计变更的界定模糊、责任划分缺失,一是概念相近,责任边界模糊。信息通信工程行业内对设计优化、深化与变更的内涵及适用场景缺乏统一标准,导致各方认知偏差。设计优化是在满足核心需求前提下的技术升级或成本优化,本质是设计方的主动增值服务,设计深化是将初步设计转化为可施工图纸的细化过程,属于设计责任的核心范畴,设计变更是因发包人需求调整或客观条件变化导致的设计方案修改,需明确责任发起方与承担方。实际操作中,发包人常将设计深化所需的技术细化等同于“优化义务”,将自身需求调整引发的设计变更归咎为“设计方考虑不周”,设计方则将优化不足导致的变更风险转移给施工方,概念混淆直接引发责任推诿。二是合同条款缺失针对性,责任划分无据可依。未明确设计优化的责任边界,多数合同仅约定“设计需符合规范”,未说明优化的触发条件及成果归属,导致设计方因缺乏激励而弱化优化意识,或过度优化引发额外成本争议。将设计深化责任笼统归于“设计范围”,未细化主体设计与专项深化的分工,常因责任未明确而出现设计脱节。三是设计方专业能力不足,责任履行存在短板。部分设计单位缺乏信息通信工程全生命周期思维,专业能力缺陷导致责任边界模糊,表现为深化设计能力不足,对信息通信工程的新技术、新规范掌握不及时,优化设计缺乏系统性,仅针对单一环节优化而非全系统统筹。

1.4 把模拟工程量清单当作工程量清单

信息通信工程 EPC 总承包项目多采用总价合同模式,有些项目会提供模拟工程量清单,但此清单列出的工程量,是估算量,非要求承包人实施工程的准确数量,但在实际操作过程中,有时直接作为确定合同价款、规范结算的正

式依据,违背清单使用的阶段适配性原则,造成结算纠纷。问题产生的主要原因一是认知错位,混淆两类清单的本质属性。模拟工程量清单与工程量清单虽同属造价管理工具,但在编制依据、精度要求、功能作用上存在本质区别。模拟工程量清单以初步设计或方案设计为依据,仅对项目规模、大致工艺、主要设备类型进行估算,核心功能是“提供招标参考、锁定投标竞争基准”,适用于设计深度不足的项目前期阶段;工程量清单则以完整施工图设计为基础,需精确标注通信设备型号、施工工艺等细节,核心功能是“确定合同价款基数、规范结算依据”。二是责任风险转移,利用模拟清单“技术参数不明确、工程量暂估”缺陷,避开“发包人要求”,默认清单所列内容即为固定承包范围,以已按清单履约为由拒绝承担设计深化、技术适配导致的工程量增减风险,利用设计深化权,将模拟清单的模糊参数按“低成本、易施工”原则细化,而非最优技术方案。

2 解决信息通信工程 EPC 总承包项目常见问题的对策建议

2.1 构建 EPC 总承包适配性管理体系

传统施工总承包方式形成的“重施工轻设计”“重进度轻协同”的惯性思维,是 EPC 总承包模式落地的主要障碍,传统模式下,设计、采购、施工环节各自独立,无法做到一体化协同和全周期管控。信息通信工程 EPC 总承包需摒弃传统模式下各负其责的碎片化思维,树立项目全生命周期责任理念,明确 EPC 总承包方需统筹从前期设计优化、设备选型采购,到施工安装、系统联调,再到验收交付及运维衔接的全流程工作,一是要打破“设计与施工脱节”惯性,建立协同融合机制,构建“设计-施工双向嵌入”体系。在设计阶段,安排施工技术骨干参与方案评审,重点审核设计的可施工性,在施工阶段,设计团队派驻现场代表,实时解决施工中的技术偏差,避免设计图纸难落地的问题。二是打破重进度轻风险惯性,建立风险预判、过程管控、应急处置全流程管控机制。项目启动前,联合通信技术专家研判政策变化、设备兼容性、技术标准迭代等行业特有风险,施工中设置技术复核节点,重点核查设备型号与设计一致性等关键指标,针对突发情况,制定专项变更预案,明确责任划分与费用调整规则。三是构建复合型能力体系,EPC 总承包方具备“技术、管理、商务”复合能力。通过“内部培养、外部合作”方式提升团队素养,与通信技术专业机构合作,弥补设计优化与造价管控短板。

2.2 充分发挥“发包人要求”的核心指导作用

“发包人要求”作为信息通信 EPC 总承包项目的起点文件,“发包人要求”的好坏直接决定了项目后续风险的大小。发挥好“发包人要求”的指导作用,将“发包人要求”贯穿信息通信 EPC 总承包项目全周期。一是施工前,组织 EPC 承包商进行“发包人要求”精确交底。采

用文档解读、技术演示等方式,向 EPC 总承包方明确需求细节,确保各方认知一致,对复杂技术要求可要求设计制作演示模型,确保施工理解到位,避免理解偏差导致的问题。二是施工中,每道关键工序需对照“发包人要求”进行复核,强化过程管控,在设计、采购、施工各阶段设置需求符合性审查节点,设计阶段审核方案是否满足技术参数要求;采购阶段核对设备型号与需求清单的一致性,避免以次充好;施工阶段检查工艺是否符合规范。三是联动竣工验收结算,将“发包人要求”作为验收与结算的核心依据,建立指标对照式验收清单,逐一核实指标是否达标。

2.3 精准界定合同和设计责任界限

责任界定是信息通信工程 EPC 总承包管理的重心,需结合信息通信工程的技术特性,从合同条款与设计管理实现精准划分,一是合同责任范围从模糊表述到量化界定,通用条款适配化调整,基于通信工程特点修订通用条款,明确核心责任边界,明确责任承担方式,如因政策导致的设备升级,由发包人承担费用;因承包方未跟踪标准导致的偏差,由承包方负责整改。专用条款精准化补充,针对通信工程全流程设置专项条款,设计阶段明确主体设计与专项设计责任分工,采购阶段明确设备溯源与质量责任,施工阶段明确系统联调责任,EPC 总承包方需牵头协调设备供应商完成联动测试。二是变更责任清晰化区分,在专用条款中明确变更的责任归属,发包人需求变更,需出具正式变更函,承担费用增加与工期延长责任;设计缺陷变更,由 EPC 总承包方无偿整改并承担延误损失;客观条件变更费用明确按比例分摊,避免争议。三是明确设计责任范围从成果交付到全周期负责。明确 EPC 总承包方的设计责任覆盖施工图设计、施工配合、验收的全环节。施工图设计阶段避免仅提性能要求、未明确参数的模糊表述;施工配合阶段需派驻设计代表,解决现场技术问题;验收阶段需提交完整的竣工图纸、设备参数手册,确保后续运维维保无盲区。在合同中明确“优化是义务、深化是责任、变更需审批”的原则,设计优化是总承包方的增值义务,设计深化是核心责任,未达要求需无偿修改;设计变更需履行“申请-论证-审批”流程,未经发包人同意不得擅自调整。明确设计与采购、施工的协同责任,设计方需向采购部门提供精准的设备参数清单,避免选型偏差,对采购设备的技术符合性进行审核,发现与设计不符时及时提出退换要求。

2.4 推进工程设计与施工的深度融合

设计与施工的深度融合是破解 EPC 总承包一体化管理瓶颈的关键举措,一是打破部门壁垒与流程分割,构建人员互通、流程互联、责任互绑的一体化协同体系,实现组织架构一体化,明确设计与施工人员的双向协作职责,设计人员需参与施工关键技术节点的技术验收,施工人员需全

程介入设计方案的评审论证,形成跨专业的协同工作格局。将施工需求前置嵌入设计全流程,形成“方案设计-施工可行性论证-初步设计-施工工艺匹配-施工图设计-施工技术交底”的闭环流程。二是建立设计与施工融合的成本、工期、质量保障体系。建立成本联动管控机制,推行设计、施工、造价三方联动,设计方提供精准设备参数清单,施工方参与设备选型评审,重点核查设备安装兼容性与施工便捷性,造价方同步核算成本。针对通信工程设备到货、安装调试、系统联调的关键节点,设计与施工方联合验收,避免因设计偏差导致返工延误。构建全过程质量管控体系,设计方在图纸中标注“强制检验项”,施工方严格按设计要求执行,设计代表现场监督检验。设计方派驻专职工程师全程参与施工,针对技术难点问题及时调整方案。三是完善深度融合的协同保障措施。实行统一计划、统一协调、统一考核,每周召开协同例会,解决成本、工期、质量的交叉问题。按设计方与施工方的协同贡献度进行绩效分配,对因协同不足导致的成本超支、工期延误、质量问题,双方共同承担责任,倒逼融合落地。完善风险共担与利益共享机制,在 EPC 合同中明确设计与施工的协同责任,约定因协同不到位引发的损失由联合团队共同承担,对通过设计与施工融合实现的成本节约、工期缩短等成果,由设计方与施工方按约定比例分配收益,激发协同积极性。

3 结束语

EPC 总承包模式作为工程建设领域的先进管理模式,在整合资源、提升效率、控制成本等方面具有显著优势,

已成为国内信息通信工程建设项目的选择。然而,信息通信工程 EPC 总承包项目实施中仍存“发包人要求”作用发挥不足、合同责任界定不明、设计责任混淆、模拟工程量清单误用等问题,这些问题制约了信息通信工程 EPC 总承包优势的发挥。加强信息通信工程 EPC 项目建设管理,需构建合适的适配性管理体系,充分发挥好“发包人要求”的指导作用,精准界定合同和设计责任界限,明确项目功能定位和技术标准,从源头减少变更风险,推进设计施工深度融合,不断提升信息通信工程 EPC 项目实施效率和质量。

[参考文献]

- [1]张水波.国际 EPC 工程项目风险分担机制研究[J].国际经济合作,2023(3):68-75.
 - [2]李启明.工程总承包模式下的项目管理创新研究[J].建筑经济,2023,44(5):32-37.
 - [3]郭文高,李文源.浅析 EPC 通信工程总承包施工管理[J].通信与信息技术,2021(4):79-80.
 - [4]严敏强.通信工程现场施工管理措施探讨[J].中国新通信,2018,20(10):15.
 - [5]王友乐,缪正建,冯静静等.设计牵头的 EPC 项目沟通协调机制研究[J].建筑经济,2024,45(4):22-29.
 - [6]赵浩凯.基于全过程多目标的 EPC 通信工程建设项目协同模型构建研究[J].数字通信世界,2025(4):188-191.
- 作者简介:尹训锋(1982.2—),男,山东泗水人,汉族,硕士研究生,高级工程师,从事通信工程建设管理工作。

绿色建筑工程造价构成特点与成本控制策略研究

杨璐¹ 王玉瑶²

1.青岛青特产城集团有限公司, 山东 青岛 266000

2.青岛万科房地产有限公司, 山东 青岛 266000

[摘要]随着我国城市化进程不断加快,人们对建筑行业的发展越发重视。绿色建筑理念的提出让建筑行业对建筑工程管理提出了更高要求。绿色建筑提倡节约资源、保护环境,在与自然和谐相处的基础上促进建筑行业的长足发展。文章基于绿色建筑全生命周期理念,分析工程造价构成特点,并据此提出各阶段成本控制策略,为绿色建筑造价管控与投资效益提升提供指导。

[关键词]绿色建筑;工程造价;构成特点;成本控制;全生命周期

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18586

中图分类号: TU723.3

文献标识码: A

Research on the Characteristics of Cost Composition and Cost Control Strategies for Green Building Projects

YANG Lu¹, WANG Yuyao²

1. Qingdao Qingte Chancheng Group Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000, China

2. Qingdao Vanke Real Estate Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000, China

Abstract: With the continuous acceleration of urbanization in China, people attach increasing importance to the development of the construction industry. The proposal of green building concept has raised higher requirements for construction project management in the construction industry. Green buildings advocate resource conservation and environmental protection, promoting the sustainable development of the construction industry on the basis of harmonious coexistence with nature. Based on the concept of the full lifecycle of green buildings, this article analyzes the characteristics of engineering cost composition and proposes cost control strategies for each stage, providing guidance for green building cost control and investment efficiency improvement.

Keywords: green building; engineering cost; composition characteristics; cost control; full lifecycle

引言

传统建筑模式资源消耗大、污染严重,难以满足发展需求^[1],绿色建筑设计成为建筑行业转型关键^[2]。绿色建筑设计旨在全生命周期内,实现节能与资源高效利用、打造舒适居住环境、保护环境^[3]。相较于传统建筑,在材料选择、技术应用、运营管理等方面均存在显著差异,这直接导致其工程造价构成呈现独特性,成本控制难度也相应增加,对建设单位有较大挑战。我国绿色建筑产业发展快,但推广过程中仍面临诸多瓶颈,造价高、成本控制不当是重要制约绿色建筑产业化发展的因素。部分建设单位对造价构成认识不清、缺乏科学方法,导致项目投资超出预期,影响市场竞争力。因此,研究绿色建筑工程造价构成特点,并制定有效、科学的成本控制措施,对于控制项目的造价支出、推动绿色建筑产业高质量发展意义重大。

1 绿色建筑与工程造价相关概念界定

1.1 绿色建筑的定义与内涵

根据《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2019),绿色建筑指全生命周期内节约资源、保护环境、减少污染,为人们提供健康、适用、高效的空间,实现人与自然和谐共生。“四节一环保”(节能、节地、节水、节材与环保)

是其核心,不仅重点关注建筑的制造过程,而且更加关注建筑运营使用阶段。

绿色建筑具有以下特征:一是节能高效利用资源,采用高效保温隔热材料(如真空绝热板)降低建筑热量传递,减少冬夏能源消耗;合理设计建筑的朝向与布局,利用自然采光通风,减少人工照明和空调使用^[4];设置雨水收集系统,把收集的雨水用于景观灌溉、道路冲洗等非饮用场景,提升水资源重复利用率。二是注重建筑的舒适性与健康性,绿色建筑空间的设计上注重合理的空间尺度和功能分区。此外,选用环保的装修材料,减少室内空气污染,为使用者提供良好的室内环境质量;三是环保与减少污染,在建筑材料选择上,摒弃含有害物质的传统材料,如含甲醛的板材和挥发性有机化合物超标的涂料,选用环保型材料,如以竹纤维为原料的板材,其天然环保且强度高。同时,推广使用可降解材料以减少建筑废弃物长期污染环境;施工时采取防尘降噪举措,如设防尘网、定期洒水降尘,降低扬尘对空气质量的影响;运营阶段优化能源结构,多用太阳能等清洁能源,减少化石能源使用,降低污染物排放^[5]。

1.2 绿色建筑工程造价的定义与构成范围

绿色建筑工程造价是项目全生命周期(从前期决策到报

废拆除)内产生的全部费用总和^[6]。相比传统建筑,其构成范围更广,除传统工程建设投资外,还涵盖运营维护阶段的能源、水资源消耗及环保处理费用,以及全生命周期的环境与社会成本。依据全生命周期理论,绿色建筑工程造价分为四部分:前期决策与设计阶段成本(含可行性研究、勘察设计、绿色技术咨询等费用);施工阶段成本(含建筑安装、绿色材料设备购置、施工技术措施等费用);运营维护阶段成本(含能源、水资源、设备维护、环保处理等费用);报废拆除阶段成本(含拆除、建筑垃圾处理、土地恢复等费用)。

1.3 绿色建筑工程造价与传统建筑工程造价的差异

绿色建筑工程造价与传统建筑工程造价差异如下:一是成本构成,传统建筑主要关注施工阶段工程的建设投资,绿色建筑工程造价涵盖全生命周期费用;二是投入侧重点的差异化,传统建筑关注施工进度与成本控制,而绿色建筑前期决策设计及绿色材料设备采购投入大;三是效益评价的差异,传统建筑的成本效益评价以经济成本为核心,而绿色建筑的成本效益评价兼顾经济、环境和社会效益;四是影响因素的差异,传统建筑工程造价主要受建材、人工、施工工艺等影响,而绿色建筑工程造价主要受到绿色技术、材料价格、政策等相关因素影响较大^[7]。

2 绿色建筑工程造价构成特点

2.1 前期决策与设计阶段:高投入性与前瞻性

前期决策阶段,为符合绿色建筑标准,要开展涵盖场地环境评估、绿色技术选型等内容的详细可行性研究,投入大,可行性研究费和绿色技术咨询费远超传统建筑项目,如全面调研场地生态与资源,均会增加前期成本。设计阶段,绿色建筑融合多种技术,需多专业协同,优化系统、选用绿色材料设备,在一定程度上提高了设计的难度与费用;还进行能耗模拟、室内环境质量模拟等绿色建筑性能模拟分析,产生额外设计成本。此外,绿色建筑设计前瞻性强,需考虑全生命周期能源消耗与环境影响,前期设计投入对项目全生命周期成本起决定性作用。

2.2 施工阶段:绿色材料与技术的溢价性

施工阶段是绿色建筑工程造价形成的关键,其造价构成有绿色材料与技术的溢价特点。绿色建筑对材料环保、节能性能要求高,需选用新型绿色材料,如节能门窗、保温隔热材料等。这些材料生产工艺复杂、技术含量高且市场供给少,价格普遍高于传统材料,形成材料溢价。比如,节能门窗价格比传统门窗高,绿色混凝土成本也高于传统混凝土。同时,绿色建筑施工要采用先进技术,如装配式施工、扬尘控制技术。应用这些技术需专业设备与人员,增加了设备购置费和人工费。例如,装配式施工用大型吊装设备且对人员技术要求高,扬尘控制要设监测设备、喷洒降尘剂等,都产生额外成本。此外,绿色建筑施工对现场环保要求高,要处理建筑垃圾、污水、废气等,均增加环保处理成本。

2.3 运营维护阶段:低成本协同性与长效性

与前期决策设计、施工阶段的高投入不同,绿色建筑运营维护阶段造价呈现低成本协同性与长效性特点。绿色建筑采用大量节能技术与设备,如太阳能光伏发电、雨水回收利用系统等,能降低运营中的能源与水资源消耗。太阳能光伏发电可降低电费支出,雨水回收利用能减少水费支出。同时,绿色建筑选用的绿色材料耐久性与环保性佳,可减少建筑构件维修更换频率,降低设备维护与维修费用。这种低成本协同性能长期持续,为使用者带来长期经济收益。

2.4 全生命周期:成本的动态平衡性

绿色建筑工程造价在全生命周期有动态平衡性。短期里,其前期决策设计与施工阶段投入高,项目初始投资超传统建筑;但长期而言,运营维护成本显著低于传统建筑,随运营时间延长,运营阶段节省的成本可逐步抵消前期高投入,实现成本动态平衡^[8]。此外,这种动态平衡性还体现在环境与社会成本平衡上。绿色建筑建设运营减少能源消耗、碳排放,降低环境治理成本;还能为使用者提供健康舒适环境,提高工作效率与生活质量,带来社会效益。这种经济成本、环境成本与社会成本的动态平衡,让绿色建筑全生命周期综合效益更高。

3 绿色建筑工程造价控制策略

3.1 前期决策阶段:科学规划与精准评估

新型绿色建筑的工程造价特点与传统建筑有显著不同,其预算制定需要综合考虑材料、技术、设计和认证等多方面因素。通过科学合理的预算制定和精细化管理,可以有效控制绿色建筑的整体成本,为实现可持续发展目标做出贡献。不同等级对技术、材料要求及造价投入存在差异,明确等级,可避免盲目追求高等级而造成的成本浪费,实现成本效益平衡。首先,建设单位需依据项目定位、使用功能及所处区域环境条件等,合理明确绿色建筑等级目标。其次,在项目前期,组织专业的咨询团队,对绿色建筑材料和技术的市场价格进行详细调查,了解市场动态和价格波动趋势。并对各种绿色技术进行可行性分析,选择性价比最高的技术方案。同时考虑市场价格波动对造价的影响,制定应对策略,如签订固定价格合同。随着绿色建筑市场需求的不断增长,政府出台相关政策鼓励企业扩大绿色建筑材料的生产规模,如给予税收优惠、财政补贴等支持。因此,关注国家和地方的环保政策变化,及时调整预算和技术方案。通过精细化采购管理,选择优质供应商,争取批量采购优惠。通过精细化施工管理,减少材料浪费和工期延误,控制施工成本。

3.2 设计阶段:优化设计与技术集成

设计阶段是绿色建筑造价控制的关键,设计方案合理性影响全生命周期成本,可采取以下策略优化设计、控制造价:绿色设计贯穿全过程,优化建筑布局等,减少能耗与资源浪费;同时按投资估算明确各专业设计限额,控制

成本,加强专业协同,避免设计变更而增加成本。设计人员结合等级目标与成本预算,技术选型优先成熟可靠、性价比高的,避免成本过高;材料选型在满足环保要求下,优先选择价格合理、供应足的材料,尽可能使用再生和本地化的材料,减少采购与运输成本,还要加强市场调研掌握价格波动,为选型提供准确的成本信息。设计阶段是绿色建筑工程造价控制的关键环节,设计方案的合理性直接影响项目的全生命周期成本。因此,应采取以下策略优化设计,控制造价。同时,可以通过建筑信息模型(BIM)技术进行精确建模,提前发现设计中的冲突和问题,减少施工过程中的变更。

3.3 施工阶段:精细化管理与成本管控

施工阶段对绿色建筑工程造价形成至关重要,需加强精细化管理控制成本,具体策略如下:施工企业要完善采购制度,通过集中、招标采购降低成本;严格审核供应商资质与产品质量,确保符合设计与绿色标准。结合项目特点和绿色施工要求,优化方案工艺,减少能源与资源浪费。如采用装配式工艺缩短工期、减少现场作业,降低人工和材料成本;同时加强技术交底与质量控制,避免返工增加成本。加强材料运输与存储管理,减少损耗和成本。还可与供应商建立长期合作,争取优惠价格和付款条件。建立动态管控体系,实时监控成本发生情况。定期核算分析,及时找出超支原因并采取措施。加强对人工、材料、机械等主要成本项目管控,合理安排资源,提高利用率。此外,加强进度管理,确保按时完工,避免因工期延误而增加成本。

3.4 运营维护阶段:高效运维与成本优化

运营维护阶段是绿色建筑全生命周期成本控制的关键环节,高效管理可降低成本、提升效益。建立完善运营维护管理制度,明确部门与人员职责,规范流程,加强设备巡检维护,做好能源与水资源消耗计量管理,及时处理浪费问题。同时加强节能节水技术运行管理,确保设备系统高效运行,如定期清洁维护太阳能光伏发电系统、合理调节地源热泵参数、维护雨水回收利用系统,降低能源与水资源费用。另外,开展全生命周期成本动态评估与优化,定期评估成本,分析变化及影响因素,总结经验不足,据此调整策略、优化方案,实现成本最小化。

3.5 全生命周期视角下的成本协同控制

绿色建筑工程造价控制需贯穿项目全生命周期,实现各阶段成本协同管控。建设单位将成本控制贯穿项目各阶段,明确各阶段目标与责任主体,加强沟通协同,如前期决策阶段设计、造价人员共保方案经济性,施工阶段企业

与设计单位及时沟通防成本增加。绿色建筑成本控制需多方参与,应健全协同机制,明确权责,加强信息共享与沟通,如建设单位提供成本目标信息,设计单位交底方案与成本要求,施工企业反馈成本问题,运营单位提供运营成本数据与建议,形成成本控制合力。此外,利用大数据、云计算、物联网等构建全生命周期成本管控平台,集成共享各阶段成本数据,实时监控、分析预测成本,为决策提供依据,如大数据分析预测成本趋势,物联网监测设备能耗浪费,并提前做好提前防控。

4 结论

本文基于全生命周期理念研究绿色建筑工程造价,得出主要结论:绿色建筑工程造价构成具有阶段性特点,并采取一系列成本控制策略,如科学规划评估、绿色限额设计、施工精细管理、运营维护制度建设等,同时建立管理体系、加强协同合作、利用信息技术,进而实现综合效益最大化,推动绿色建筑产业高质量发展。随着绿色建筑理念的深入和技术的不断进步,未来应持续完善优化策略,推动建筑行业朝着可持续发展方向迈进,实现经济效益、环境效益和社会效益的有机统一。

[参考文献]

- [1]王婧.绿色建筑工程造价管理的影响因素及解决方法[J].房地产世界,2023(12):88-90.
 - [2]马旭峰.新型绿色建筑工程造价预算编制与成本控制管理要点[J].住宅与房地产,2024(5):200-202.
 - [3]吴俊明.新型绿色住宅建筑工程造价预算与成本控制策略分析[J].居舍,2023(18):158-160.
 - [4]张东霞.新型绿色建筑工程造价预算与成本控制策略分析[J].陶瓷,2023(1):164-166.
 - [5]蔡丹红.新型绿色建筑工程造价预算及成本控制的分析[J].居舍,2022(19):118-121.
 - [6]栗明鲁,赵宇哲.装配式建筑工程施工技术与工程造价关系研究[J].新城建科技,2024(12):118-122.
 - [7]张翌,李晨.高层建筑工程设计中的绿色建筑设计研究[J].鞋类工艺与设计,2024,4(16):150-152.
 - [8]任鲁娜.建筑工程设计中的生态城市与绿色建筑研究[J].新城建科技,2024,33(3):56-58.
- 作者简介:杨璐(1991.11—),毕业院校:山东建筑大学,所学专业:工程造价,职务:成本工程师,职称级别:中级工程师;王玉瑶(1988.12—),毕业院校:青岛理工大学,所学专业:工程造价,当前就职单位:青岛万科房地产有限公司,职务:成本工程师,职称级别:中级工程师。

水利工程安全监测信息平台构建方法研究

唐绘馨

广西农投八桂现代农机服务有限公司, 广西 南宁 530000

[摘要]随着水利工程规模不断拓展以及运行环境日益变得复杂起来, 工程所面临的安全风险也呈现出多样性和隐蔽性的特点, 传统的那种主要依靠人工巡查以及凭借经验来做出判断的安全管理模式, 已经很难契合现代水利工程在精细化以及信息化管理方面的需求了。构建水利工程安全监测信息平台, 借助对多源监测数据加以集中采集、统一实施管理以及开展综合分析等方式, 达成对工程运行状态能够做到实时感知以及发出风险预警的效果, 这对于提高水利工程安全运行的水准而言, 有着颇为重要的意义。文章就水利工程安全监测信息平台的构建方法展开相关的研究工作, 在对平台建设需求予以分析的前提下, 给出了总体架构的设计思路, 并且着重对多源数据集成、监测数据分析、预警决策以及系统运行保障等一系列关键技术方法展开探讨, 希望能够给水利工程安全监测信息化平台的建设以及应用提供一定的参考依据。

[关键词]水利工程; 安全监测; 信息化平台

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18575

中图分类号: TV698

文献标识码: A

Research on the Construction Method of Water Conservancy Engineering Safety Monitoring Information Platform

TANG Huixin

Guangxi Rural Investment Bagui Modern Agricultural Machinery Service Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: With the continuous expansion of the scale of water conservancy projects and the increasingly complex operating environment, the safety risks faced by the projects have also shown diversity and concealment. The traditional safety management model that mainly relies on manual inspection and judgment based on experience is no longer suitable for the needs of modern water conservancy projects in terms of refinement and information management. Building a water conservancy engineering safety monitoring information platform, utilizing centralized collection, unified management, and comprehensive analysis of multi-source monitoring data, can achieve real-time perception of engineering operation status and issue risk warnings. This is of great significance for improving the level of safe operation of water conservancy engineering. The article conducts relevant research on the construction method of the water conservancy engineering safety monitoring information platform. Based on the analysis of the platform construction requirements, the overall architecture design idea is proposed, and a series of key technical methods such as multi-source data integration, monitoring data analysis, early warning decision-making, and system operation guarantee are discussed, so as to provide some reference basis for the construction and application of the water conservancy engineering safety monitoring information platform.

Keywords: water conservancy engineering; safety monitoring; information platform

引言

水利工程属于国民经济以及社会发展范畴内的关键基础设施, 它的安全运行和防洪减灾、水资源调配以及人民生命财产安全紧密相关。近些年来, 由于极端气候出现频繁、工程逐渐老化以及运行工况变得复杂等多种因素的作用, 水利工程所面临的安全风险一直在不断增加, 这也就对水利工程的安全监测以及运行管理提出了更高的要求。在信息技术发展速度较快的当下, 把传感技术、通信技术还有信息系统集成技术运用到水利工程安全监测这个领域当中, 进而构建起统一的信息化平台, 已然成为提升工程安全管理能力的一个十分重要的发展方向。借助信息化平台来对监测数据展开系统化的管理以及智能化的分析, 既能提升安全监测工作在时效性方面的表现, 又能提升其在准确性方面的表现, 同时还能够为工程运行决策

给予科学方面的依据。所以说, 针对水利工程安全监测信息平台的构建方法展开系统的研究, 具备较强的现实方面的意义以及工程应用方面的价值。

1 水利工程安全监测与信息化平台建设概述

水利工程安全监测以及信息化平台的建设, 对于保障水利工程能够安全地运行起来、促使工程管理水平得以提升而言, 称得上是极为重要的支撑要素。随着水利工程本身的规模在不断地扩大开来, 其运行所处的环境也變得一天比一天更为复杂, 在这样的情况之下, 以往那种单纯依靠人工去巡查并且采取较为分散的方式来实施管理的做法, 已经很难契合安全监测方面以及科学决策实际工作中的那些具体需求了。就在这样的一种大背景之下去推进相关事宜, 水利工程信息化平台便逐渐地演变成为了水利工程管理领域里头相当重要的一个技术承载平台。水利工

程信息化平台是指以水利工程为核心,运用现代信息技术,实现信息资源的集成、共享、分析和利用,为水利工程规划、设计、建设、运行和维护提供全方位支持的信息系统,该平台主要包括数据采集与处理、信息共享与交换、业务应用系统、综合服务平台等模块。借助信息化平台的建设这一途径,是能够达成对水利工程实际运行状态予以全面感知以及进行动态监控这样的效果的。如此一来,便可以为水利工程在安全管理工作方面以及风险防控工作方面给予较为可靠的关于数据方面的有力支撑,同时也能带来相应的技术层面的坚实保障。

2 水利工程安全监测信息平台构建需求分析

2.1 水利工程安全监测业务需求分析

水利工程安全监测业务包含工程结构安全、运行状态监控、环境条件变化等方面,存在监测内容多样、数据来源分散、业务关联性强等特点,在实际运行管理中,要对工程关键部位的变形、渗流、应力、水位等信息持续跟踪与综合分析,及时掌握工程运行状态,发现潜在风险,所以安全监测信息平台在业务层面需实现对各类监测业务的统一支撑,满足数据实时采集、动态展示、历史查询、综合分析等功能要求,为工程安全管理提供连续、稳定的技术保障。

2.2 监测对象与监测指标体系需求

水利工程种类繁多,不同工程在结构形式以及运行特性方面存在着较为明显的区别,与之相对应的安全监测对象以及指标体系同样具备针对性。在平台构建的这个过程中,要依据工程的实际状况来合理地确定监测对象的范围,同时构建起科学且完整的监测指标体系,让监测指标可以如实反映出工程的运行状态以及其变化的发展趋势。监测指标体系一方面要涵盖工程安全的关键要素,另一方面还要兼顾到数据获取的可行性以及长期运行的稳定性,以此为后续开展的数据分析以及安全评估打下可靠的基础。

2.3 数据采集、传输与处理需求分析

水利工程安全监测数据有连续性强、数据量大以及实时性要求高等明显特点,这使得信息平台在数据层面的稳定性、可靠性以及处理效率都面临较高要求。平台在数据采集环节得能兼容多种类型、多个来源的监测传感设备,达成对工程运行期间关键参数的持续获取,以此保证监测数据的完整性、连续性以及准确性,给安全评估提供真实可靠的初始信息。在数据传输方面,要依靠稳固的通信网络以及完善的数据传输机制,确保监测数据在复杂工程环境下具备安全性与时效性,尽可能降低数据传输进程中可能出现的丢失、延迟或者中断等问题。在数据处理环节,平台应当拥有对原始监测数据展开清洗、校验、整理以及规范化存储的能力,借助提升数据质量,为后续的数据分析、状态评估以及预警应用给予高质量的数据资源支持。

2.4 平台用户角色与管理需求分析

水利工程安全监测信息平台所涉及的用户包含运行管理人员、技术分析人员还有管理决策人员等众多不同角色,而这些不同的用户在使用该平台的时候,其关注的内容以及功能侧重点是不一样的,所以平台在开展设计工作的过程中,务必要充分考量用户角色呈现出的多样性,妥善地去设置权限管理机制以及操作界面,从而让各类用户都能够依据自身的职责高效地获取到所需的各类信息,并且还要借助规范化的管理功能,达成对监测数据、系统运行状况以及用户行为的统一管理,以此提升平台运行的规范性与安全性。

3 水利工程安全监测信息平台总体架构设计

3.1 平台建设原则

水利工程安全监测信息平台在建设之时,需遵循将实用性、可靠性以及可扩展性相互融合起来的原则。要充分满足当下工程安全监测方面的各类需求,并且要为后续可能开展的功能拓展事宜以及技术升级工作留出相应的空间。在设计该平台的过程中,务必要紧密贴合水利工程实际的运行特点,把系统的稳定运行情况以及长期的维护事宜都重视起来。与此还得兼顾对数据安全的防护以及对系统安全的保障,以此来保证平台能够在复杂的运行环境当中,可以持续不断地发挥出其应有的支撑作用。

3.2 平台总体技术架构设计

就总体技术架构设计而言,水利工程安全监测信息平台应当选用层次清晰且结构合理的分层架构模式,借助科学合理划分数据采集层、数据管理层以及应用服务层,达成系统功能的模块化组织状态以及协同运行效果。其中,数据采集层负责将各类监测设备和传感终端予以统一接入,以此来保障监测数据获取所具备的及时性与准确性;数据管理层针对采集所得的数据展开集中存储、处理以及管理工作,从而给系统运行给予稳定的数据方面的支撑;应用服务层则是依据实际业务需求情况,实现监测信息展示、分析评估以及预警服务等一系列功能。各层之间依靠标准化接口以及统一协议来完成交互操作,这不但有益于系统的集成建设工作,而且在后期的维护、扩展以及技术升级等方面也较为便利。凭借统一且规范的技术架构设计,能够有效地实现多源监测数据的集中管理以及高效利用,进而提升平台整体运行的稳定性以及服务能力。

3.3 平台功能结构与运行模式

平台的功能结构需紧扣水利工程安全监测的核心业务需求来展开设计,要全面且系统地包含数据采集管理、监测数据处理与存储、运行状态分析、安全预警、辅助决策以及综合服务等诸多功能模块,达成各模块间的有机协同以及信息共享。平台在运行模式方面,会持续不断地接收各类监测设备以及传感终端所传来的实时数据,同时借助自动化处理技术针对数据开展清洗、校验、分析以及存

储等一系列操作,以此让工程的运行状态可获得实时且动态的监控^[1]。平台凭借可视化界面以及交互式分析工具,把复杂的监测信息以直观且易于理解的形式展现给管理人员,方便其迅速获取关键数据与风险提示,进而为工程的安全生产管理给予高效且科学的技术助力,实现监测、分析、预警与决策的闭环运行,保证水利工程在各种运行工况之下均能维持安全、稳定以及高效的管理水平。

4 水利工程安全监测信息平台构建方法

4.1 多源监测数据采集与集成方法

水利工程安全监测涵盖诸多类型的数据,像水位、流量、渗压、结构变形还有环境参数等,这些数据来源颇为复杂,格式也存在很大差异,这就给信息平台的建设提出了不低的要求,在平台设计与施行进程里,得运用科学且行之有效的数据采集与集成手段,针对不同监测设备、传感终端以及信息系统所涉及的数据接口展开统一标准化的操作,以此保证数据格式、时间戳以及数据精度的统一性,把分散的、异构的数据资源整合至统一的平台当中,如此一来,既能大幅度提升数据的存储与调用的效率,又能为后续开展的多维度分析、状态评估以及风险预警给予更为完整且可靠的数据根基,进而强化平台于安全监测以及决策支持方面整体的性能与应用的价值。

4.2 安全监测数据管理与分析方法

安全监测数据管理对于水利工程安全监测信息平台能够稳定且高效地运行而言,无疑是极为重要的基础所在^[2]。其关键目标是要借助对监测数据展开科学合理的分类存储操作,依照规范来加以管理,并且实施统一的维护举措,以此来保证数据在整个生命周期里面都能够维持完整性、准确性以及具备可追溯性的特点。在这样的基础之上,平台得要综合考量水利工程自身的结构特性、所处的运行环境以及相关的管理需求等方面的情况,针对监测数据去开展多维度的分析工作,像趋势分析、关联分析还有异常识别这类方法都包含在内,进而能够及时察觉到工程在运行过程当中所存在的潜在风险点以及出现的异常变化情况。通过构建起系统化、规范化的数据管理流程,同时建立起智能化的数据分析机制,一方面可以为工程安全评估给予科学且可靠的依据支撑,另一方面还能够助力预警决策以及运行优化相关事宜,达成从数据采集环节开始一直到分析环节再到最终的决策支持环节这样一个全流程的闭环管理效果,以此来进一步促使安全监测工作的技术水平以及应用价值得以提升,从而给水利工程实现长期的安全稳定运行给予稳固有力的保障。

4.3 安全监测预警与辅助决策方法

安全监测预警功能属于水利工程安全监测信息平台诸多重要应用目标其中的一个,其通过对所采集到的监测

数据展开多维度的综合分析、针对趋势加以判断以及依据阈值做出判定等操作,如此一来便可以及时察觉到潜在存在的工程运行方面的风险,进而给风险防控给予预先的警示提示。在这样的基础之上,该平台还进一步赋予了辅助决策支持的功能,具体而言就是把经过分析所得出的结果转变成成为具有可操作性的管理方面的建议,以此来为工程管理人员在运行调度工作、设备维护事宜以及应急处置相关事项等多个方面给予科学且直观的参考依据,最终达成大幅提升工程安全管理所具备的前瞻性以及决策所具有的科学研究的目的。与此凭借数据可视化以及智能分析的相关手段,平台能够把复杂繁杂的监测信息以一种更为直观的形式展现出来,从而助力管理人员能够更加迅速地去理解工程实际的运行状况,进而对资源配置以及应急响应方案予以优化处理,实现安全监测和管理决策的有机融合,切实有效地保障水利工程能够实现长期稳定的运行状态。

4.4 平台系统集成与运行保障方法

就系统集成以及运行保障来讲,水利工程安全监测信息平台应当着重关注软硬件系统协同运行这一情况^[3]。借助较为完善的运行维护方面的机制以及相关安全保障举措,以此来保证该平台能够实现长期且稳定的运行状态。通过进一步强化针对系统的监控工作以及运维管理工作,是能够在很大程度上降低系统在运行过程中所面临的风险的,进而保障平台于工程安全监测环节当中始终具备持续的支撑能力。

5 结语

构建水利工程安全监测信息平台,是提升工程安全管理水准的一项重要途径。仔细去研究平台建设的具体需求、总体架构以及那些关键的构建方法,如此一来便能够给水利工程安全监测信息化建设给予相应的技术思路,同时也可作为实践方面的参考依据。信息技术一直在持续发展着,在这样的大背景之下,水利工程安全监测信息平台于工程运行管理当中将会发挥出越发重要的作用,进而为水利工程能够安全且稳定地运行筑牢坚实的保障屏障。

[参考文献]

- [1]宋漫利.基于数字孪生技术建设水库管理平台[J].中国科技信息,2025(12):120-122.
- [2]马新江.智能传感技术在水利工程安全监测及数据管理中的应用[J].大众标准化,2025(6):48-50.
- [3]颜彦,曹金鑫.大坝安全监测体系构建及其在水利工程中的应用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(17):205-207.

作者简介:唐绘馨(1997.9—),男,苗族,湖南怀化,助理工程师,本科,水利水电信息工程。

信息化背景下建筑工程管理的优化路径研究

魏婷婷

新疆兵团市政轨道交通（集团）有限公司，新疆 乌鲁木齐 830063

[摘要]随着信息技术的飞速发展，各行各业都迎来了数字化转型的浪潮，建筑工程行业作为国民经济的支柱产业，其传统管理模式中存在的效率低下、信息壁垒、协同不畅等问题日益凸显。信息化技术的融入为建筑工程管理的优化升级提供了全新契机。文中基于信息化背景，剖析当前建筑工程管理的现状及存在的问题，从技术应用、流程重构、人才培养、保障机制等多个维度，探究建筑工程管理的优化路径，旨在为提升建筑工程管理水平、推动行业高质量发展提供理论参考与实践借鉴。

[关键词]信息化；建筑工程管理；优化路径；数字化转型；协同管理

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18598

中图分类号: TU71

文献标识码: A

Research on the Optimization Path of Construction Project Management under the Background of Informatization

WEI Tingting

Xinjiang Bingtuan Municipal Rail Transit (Group) Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830063 China

Abstract: With the rapid development of information technology, various industries have ushered in a wave of digital transformation. As a pillar industry of the national economy, the construction industry has increasingly highlighted problems such as low efficiency, information barriers, and poor collaboration in its traditional management mode. The integration of information technology provides a new opportunity for the optimization and upgrading of construction project management. Based on the background of informatization, this article analyzes the current situation and existing problems of construction project management, explores the optimization path of construction project management from multiple dimensions such as technology application, process reconstruction, talent cultivation, and guarantee mechanism, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for improving the level of construction project management and promoting high-quality development of the industry.

Keywords: informationization; construction project management; optimization path; digital transformation; collaborative management

引言

近年来，我国建筑行业规模持续扩大，工程建设项目呈现出投资规模大、建设周期长、参与主体多、技术复杂度高特点，传统以人工为主、纸质化流转的管理模式已难以满足现代工程管理的需要。与此同时，大数据、云计算、物联网、人工智能、BIM（建筑信息模型）等信息化技术的成熟与普及，为建筑工程管理的变革提供了技术支持。2020年住房和城乡建设部发布的《关于推动智能建造与新型建筑工业化协同发展的指导意见》中明确提出，要加快推动信息技术与建筑工业化技术协同发展，提升工程建设数字化、智能化水平。在此背景下，探索信息化背景下建筑工程管理的优化路径，成为建筑行业转型升级的必然选择。

1 信息化背景下建筑工程管理的现状与问题

1.1 管理现状

目前，我国建筑行业对信息化技术的重视程度不断提升，信息化管理已在部分工程建设项目中得到应用。一方面，BIM技术在大型公共建筑、轨道交通等项目的设计阶段得到广泛使用，能够有效减少设计误差，提升设计效

率；另一方面，大数据、物联网技术开始应用于工程施工过程的进度管理、质量监控、安全监管等环节，例如通过传感器实时采集施工数据，实现对施工设备、人员的动态管理。此外，部分建筑企业搭建了企业级管理信息系统，实现了对项目成本、合同、物资等基础信息的数字化管理。但从整体来看，信息化技术在建筑工程管理中的应用仍处于初级阶段，普及程度不高，应用深度不足。

1.2 存在的主要问题

信息化技术应用碎片化，协同性不足。当前，建筑工程管理的信息化应用多集中于单一环节或单一部门，例如设计部门使用BIM软件进行设计，施工部门使用进度管理软件进行进度控制，但各部门之间的信息系统相互独立，数据格式不统一，难以实现数据的实时共享与协同联动。这导致信息传递滞后、信息失真等问题，增加了沟通成本，影响了管理效率。

传统管理流程固化，难以适配信息化发展。传统建筑工程管理流程繁琐、层级较多，以纸质化审批为主，流程的灵活性与高效性不足。信息化技术的应用需要相应的管理流程进行适配，但许多建筑企业仍沿用传统的管理流程，

未能对流程进行重构与优化,导致信息化技术的优势无法充分发挥,甚至出现“技术与流程脱节”的现象。

专业信息化人才匮乏。建筑工程管理信息化需要既掌握建筑工程专业知识,又熟悉信息化技术的复合型人才。当前,我国建筑行业从业人员多为传统工程技术人员,对信息化技术的理解与应用能力不足;而信息化专业人才又缺乏建筑工程管理的实践经验,难以精准把握行业需求。人才的匮乏导致信息化技术在工程管理中的应用难以深入推进,制约了管理优化的进程。

信息安全保障体系不完善。建筑工程涉及大量的商业机密、工程图纸、施工数据等敏感信息,信息化管理过程中,这些信息通过网络进行传输与存储,面临着数据泄露、黑客攻击、系统故障等安全风险。目前,许多建筑企业缺乏完善的信息安全保障体系,未建立健全数据加密、身份认证、应急响应等安全机制,信息安全隐患较大。

信息化投入与产出失衡。部分建筑企业对信息化建设的投入较大,但由于缺乏科学的规划、技术选型不合理、应用深度不足等原因,信息化建设未能带来预期的管理效益,出现了“重投入、轻产出”的现象。这使得部分企业对信息化建设产生质疑,进一步影响了信息化技术在建筑工程管理中的推广与应用。

2 信息化背景下建筑工程管理的优化路径

2.1 构建一体化协同管理平台,打破信息壁垒

整合现有信息系统,统一数据标准。建筑企业应梳理现有各部门的信息系统,对功能重复、数据不兼容的系统进行整合,建立统一的数据标准与接口规范。例如,以 BIM 技术为核心,将设计、施工、运维等各阶段的信息融入统一的模型中,实现数据的集中管理与共享。同时,采用云计算、大数据等技术,搭建企业级一体化协同管理平台,实现各参与方、各管理环节之间的信息实时传递与协同联动。

强化多方协同管理,提升管理效率。一体化协同管理平台应涵盖建设单位、施工单位、设计单位、监理单位等所有参与方,为各方提供专属的操作权限与功能模块。通过平台实现工程图纸的在线审核、施工方案的协同编制、进度计划的实时同步、质量问题的在线反馈与整改等功能,打破“信息孤岛”,减少沟通成本,提升管理效率。例如,在施工过程中,施工单位可通过平台实时上传施工进度数据,监理单位通过平台进行在线验收,建设单位通过平台实时掌握项目进展情况,实现对项目的动态管控。

2.2 重构管理流程,适配信息化发展需求

简化管理流程,消除冗余环节。结合信息化技术的应用特点,对传统管理流程进行全面梳理,剔除繁琐、冗余的审批环节,优化流程节点。例如,将传统的纸质化审批流程改为线上审批,实现审批流程的自动化与高效化;简化合同签订、物资采购等流程,通过信息化手段实现流程

的快速流转。

建立柔性化管理流程,提升应变能力。建筑工程具有不确定性强的特点,需要建立柔性化的管理流程,以应对施工过程中的各种突发情况。借助信息化技术,实现管理流程的动态调整与优化,例如通过大数据分析预测施工过程中可能出现的风险,提前调整进度计划与资源配置,提升管理的应变能力。同时,强化流程的标准化,确保信息化技术在流程中的规范应用。

2.3 加强人才培养与引进,打造复合型人才队伍

开展针对性培训,提升现有人员信息化素养。建筑企业应制定完善的人才培训计划,定期组织现有工程管理人员参加信息化技术培训,内容涵盖 BIM 技术、大数据分析、协同管理平台操作等方面。同时,邀请行业专家进行现场指导,分享信息化管理的实践经验,提升管理人员对信息化技术的理解与应用能力。此外,鼓励管理人员主动学习信息化知识,通过线上课程、行业交流等方式不断提升自身素养。

加大人才引进力度,优化人才结构。企业应制定优惠的人才引进政策,重点引进既掌握建筑工程专业知识,又熟悉信息化技术的复合型人才。同时,加强与高校、职业院校的合作,开展校企联合培养,根据行业需求设置相关专业课程,培养具备信息化素养的专业人才,为建筑工程管理信息化提供人才支撑。此外,建立合理的人才激励机制,鼓励人才发挥自身优势,推动信息化技术在工程管理中的创新应用。

2.4 完善信息安全保障体系,防范安全风险

建立健全信息安全管理度。建筑企业应制定完善的信息安全管理度,明确各部门、各岗位的信息安全职责,规范数据的采集、传输、存储、使用等环节的操作流程。例如,建立数据分级分类管理机制,对敏感信息进行加密处理;制定身份认证与权限管理规则,严格控制信息的访问权限;建立信息安全应急响应机制,应对突发的信息安全事件。

加强技术防护,提升安全保障能力。采用先进的信息安全技术,加强对协同管理平台、数据中心等关键环节的安全防护。例如,部署防火墙、入侵检测系统、数据备份与恢复系统等,防范黑客攻击、数据泄露等安全风险;定期对信息系统进行安全检测与漏洞修复,确保系统的安全稳定运行。同时,加强对从业人员的信息安全培训,提升其信息安全意识,避免因人为操作失误导致的信息安全问题。

2.5 科学规划信息化建设,实现投入与产出平衡

制定差异化信息化建设规划。在建筑行业数字化转型加速推进的背景下,建筑企业制定差异化信息化建设规划,是实现降本增效、提升核心竞争力的关键举措。企业需立足自身实际,紧密结合发展规模、业务特点、管理需求以

及战略目标,科学谋划信息化建设路径,坚决摒弃盲目跟风、照搬照抄行业标杆的粗放模式,确保信息化建设与企业发展同频共振。针对大型建筑企业而言,其往往具备项目分布广、业务链条长、管理体系复杂的特点,可依托雄厚的资金实力与技术储备,搭建全面的一体化协同管理平台。该平台需深度整合项目立项、招投标管理、施工组织、成本管控、质量安全监督、竣工验收、运维服务等全流程业务模块,打通各部门、各项目之间的数据壁垒,实现从项目前期策划到后期运营维护的全生命周期信息化管理,以此提升企业的集约化管理水平与决策效率。而对于中小型建筑企业,受限于资金、技术和人才等资源,无需追求“大而全”的信息化架构,应秉持“实用为先、分步实施”的原则,优先推进关键环节的信息化应用。例如聚焦施工阶段的进度管理,通过数字化工具实时跟踪施工节点、调配人力物力;落地质量监控信息化系统,实现质量隐患的线上排查、整改与闭环管理;同时辅以劳务管理、物料管理等轻量化模块,在解决企业核心痛点的基础上,逐步积累信息化建设经验与数据资产,待条件成熟后再向全面信息化平稳过渡。与此同时,无论企业规模大小,在信息化建设过程中都需审慎选择信息化技术与服务商。技术选型要兼顾先进性、适用性与经济性,既要关注云计算、大数据、BIM等前沿技术的应用价值,也要考量技术与企业现有管理模式的适配度,避免为追求技术领先而造成资源浪费;在筛选服务商时,需综合评估其技术实力、行业经验、服务口碑以及售后保障能力,通过实地考察、方案对比、试点验证等方式,选择能够提供定制化解决方案的合作伙伴,为企业信息化建设的稳步推进筑牢坚实基础。强化信息化建设的过程管控与效益评估。在信息化建设过程中,加强对项目进度、质量、成本的管控,确保项目按计划推进。同时,建立信息化建设效益评估机制,从管理效率、工程质量、成本节约、安全保障等多个维度,对信息化建设的成效进行定期评估。根据评估结果及时调整信息化建设方案,优化技术。

2.6 推动技术创新应用,提升管理智能化水平

深化 BIM 技术的全生命周期应用。除了在设计阶段的应用,还应将 BIM 技术拓展到施工、运维等全生命周期环节。例如,在施工阶段,通过 BIM 模型进行施工模拟,优化施工方案,规避施工冲突;利用 BIM 技术进行工程量精确计算,实现成本的精准管控;在运维阶段,借助 BIM 模型实现对建筑设施的可视化管理,提升运维效率。引入人工智能、物联网等新兴技术。结合建筑工程管理的需求,引入人工智能、物联网等新兴技术,提升管理的智能化水平。例如,利用物联网技术部署传感器网络,

实时采集施工过程中的温度、湿度、沉降等数据,通过大数据分析实现对工程质量的实时监控与预警;借助人工智能技术实现对施工人员安全行为的识别与规范,减少安全事故的发生;利用智能机器人进行高危作业区域的巡检,提升安全管理的可靠性。

3 结语

信息化背景下,建筑工程管理的优化升级是行业高质量发展的必然趋势。当前,我国建筑工程管理信息化应用仍存在技术应用碎片化、管理流程固化、专业人才匮乏、信息安全保障不完善、投入产出失衡等问题。通过构建一体化协同管理平台、重构管理流程、加强人才培养与引进、完善信息安全保障体系、科学规划信息化建设、推动技术创新应用等优化路径,能够有效解决上述问题,提升建筑工程管理效率与质量,降低成本与安全风险。案例分析表明,这些优化路径具有较强的实践可行性,能够为建筑企业带来显著的管理效益。

未来,随着信息技术的不断创新与发展,建筑工程管理的信息化水平将不断提升。一方面,BIM、大数据、人工智能、物联网等技术将进一步融合应用,推动建筑工程管理向智能化、自动化方向发展;另一方面,随着数字孪生、区块链等新兴技术的引入,将为建筑工程管理的信息共享、信任构建、风险管控等提供新的解决方案。此外,随着国家对智能建造的政策支持力度不断加大,建筑行业的信息化标准体系将不断完善,推动信息化技术在建筑工程管理中的普及与深度应用。建筑企业应抓住机遇,积极推进信息化建设,不断优化管理模式,提升核心竞争力,为推动我国建筑行业的高质量发展贡献力量。

[参考文献]

- [1]刘红梅.信息化背景下建筑工程档案管理路径探索[J].四川建筑,2025(1).
- [2]王维韬.信息化技术在建筑工程施工管理中的应用研究[C].2025年第五届:工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会议论文集,2025.
- [3]姚渭云.数字化设计与信息化融合下的建筑工程管理现代化与精细化路径探索[J].数码设计(电子版),2024(6):552-554.
- [4]张京兰.建筑工程建设管理中信息化的应用探究[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2024(3):55-57.
- [5]吕孝东.基于建筑工程管理的现状分析及控制措施探讨[J].微型计算机,2024(4):3:45-47.

作者简介:魏婷婷(1985.2—),性别:女,学历:本科,毕业院校:新疆农业大学,所学专业:生物科学,目前职称:助理工程师(建筑施工管理)。

低碳理念下现代物流园区规划设计研究

李曙光

华商国际工程有限公司, 北京 100069

[摘要]现代物流业一直被认为是能源消耗及碳排放的主要领域之一,在“双碳”目标的大背景下,其发展模式需切需要向绿色低碳的方向去转型升级。现代物流园区属于物流活动高度聚集的空间载体,其前期的规划设计会直接对落地运营后物流运行的效率、能源利用的方式、碳排放总量等形成直接影响。文章在低碳理念起到的指导作用下,从园区选址以及空间布局、交通组织方式、能源利用结构等诸多方面切入,深入地探讨在低碳导向之下的规划设计关键策略,希望能够给现代物流园区的绿色转型以及可持续发展一定的理论参考以及实践方面的借鉴。

[关键词]低碳发展;物流园区;规划设计

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18587

中图分类号: TU984

文献标识码: A

Research on the Planning and Design of Modern Logistics Parks under the Low-carbon Concept

LI Shuguang

Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

Abstract: The modern logistics industry has always been considered one of the main areas of energy consumption and carbon emissions. In the context of the "dual carbon" goal, its development model needs to be transformed and upgraded towards a green and low-carbon direction. Modern logistics parks are highly concentrated spatial carriers for logistics activities, and their early planning and design will directly affect the efficiency of logistics operations, energy utilization methods, and total carbon emissions after landing and operation. Guided by the low-carbon concept, this article delves into key strategies for planning and design under the low-carbon orientation from various aspects such as park site selection, spatial layout, transportation organization, and energy utilization structure, so as to provide theoretical and practical references for the green transformation and sustainable development of modern logistics parks.

Keywords: low-carbon development; logistics park; planning and design

引言

随着我国经济结构不断优化以及物流需求规模持续扩大,现代物流园区在区域产业体系以及综合交通体系里的地位愈发突出。不过,传统物流园区在规划设计阶段大多注重功能集聚以及规模扩张,对于能源消耗、碳排放还有生态环境方面的影响关注不够,使得园区在运行时出现交通组织效率不高、能源利用较为粗放、环境负荷偏重等状况。在低碳发展理念逐渐推进的形势下,把低碳、零碳目标融入现代物流园区规划设计整个过程,已经成为促使物流行业实现高质量发展的必要条件。鉴于此,需要对现代物流园区规划设计的实际情况进行全面梳理,剖析其低碳发展所面临的真实问题,并在此基础上给出针对性且可操作的规划设计引导以及实施路径。

1 现代物流园区发展状况及合理规划设计的重要性

现代物流园区作为为现代物流产业量身打造的专业化载体,其战略价值日益凸显,已成为驱动区域经济高质量发展的核心引擎。正因如此,相关市场主体对物流园区规划设计的科学性与前瞻性愈发重视物流园区在某些方

面被认为是物流组织节点,其具备多功能的运输方式与完善的基础设备。物流园区合理规划设计能够对入驻园区的物流企业进行专业化的管理,有效避免物流运输的分散性,且在物流运输过程中能够显著降低运输成本。

2 现代物流园区规划设计现状及低碳发展问题分析

2.1 园区选址与空间布局存在的问题

在当下物流园区规划的实际操作当中,园区选址时会着重关注土地获取成本、交通便利程度以及短期内能获得的经济收益等方面,然而对于区域生态环境所能承受的能力、能源供应的具体条件以及长远来看碳排放所产生的影响却鲜少展开系统的分析与全面的评估,这就使得部分物流园区在区位安排上和城市整体发展的目标未能很好地契合起来,甚至还跟生态敏感区域、重要的水源保护区以及居民日常生活的区域产生隐形冲突,给城市的可持续发展以及生态安全带来了相应的风险。从空间布局的角度来讲,部分园区存在采用较为粗放的规划理念,其功能分区的层次并不清晰明确,用地在集约化以及复合利用方面的程度都比较低,不同物流作业单元之间的衔接也不是

很紧密顺畅,作业流程在组织过程中存在着一些多余的环节及重复的步骤,这无疑增加了园区内部的运输距离,也让车辆的运行频次有所提高,进而使得能源消耗量以及碳排放的强度都有所上升。此外,园区在配套设施的布局方面也没有进行系统的考量,比如仓储区、装卸区、办公区以及辅助设施彼此之间相距甚远,这样的情况致使作业效率下滑,同时也对低碳运输方式以及智能化物流技术的应用形成空间限制。

2.2 交通组织与运输系统高碳化问题

交通组织方式和物流园区运行效率以及碳排放水平有着极为密切的关系。然而当下有不少物流园区在开展规划设计工作的时候,并没有构建起科学且高效的综合交通体系。它们对于外部的交通条件以及内部的运输需求缺乏足够的统筹考虑,多式联运的衔接也显得不够顺畅,运输结构大多是以能耗比较高的公路运输作为主导形式,而像铁路、水运这类低碳运输方式,在园区的物流体系当中并没有得到充分的发挥。与此园区内部的道路系统规划不够细致,道路等级的划分也比较模糊,主次干道、货运通道还有人行道路之间的界限并不清晰,车辆流线的组织不够合理,货运车辆、管理车辆以及人行交通混行的现象普遍存在,这很容易引发交通拥堵、车辆出现怠速等待以及空驶等问题,进而导致物流作业效率降低,运营成本增加,并且在不知不觉当中使得能源消耗和碳排放都有所提升。另外还缺少智能交通调度以及实时流量监测的相关手段,如此一来,交通组织在面对高峰作业以及突发状况的时候,其效率就会变得很低,这也进一步对物流园区实现低碳发展的目标以及园区整体运行的可持续性造成了制约。

2.3 能源利用效率低与设施配置不足问题

就能源利用的实际状况而言,部分现代物流园区在规划设计这个阶段,对于能源系统缺少整体性的统筹安排以及具有前瞻性的布局规划,其能源供应的方式也比较单一,大多还是依靠传统化石能源当作主要的能源来源,而可再生能源以及清洁能源的应用所占的比例是比较低的,能源结构的优化程度也不够理想。与在建筑以及设施方面,园区对于节能标准的落实力度不足,在仓储建筑以及配套设施上,围护结构性能、照明系统设计还有设备选型等诸多方面都存在着能效偏低的情况,在实际运行的过程当中,能源浪费的现象是比较显著的。并且,园区普遍缺少统一的能源管理与监测相关体系,很难实时地掌握能耗方面的变化情况以及碳排放的具体状况,这就不利于开展更为细致的能源管理工作以及持续不断地进行改进,进而对物流园区低碳运营水平的整体提高形成了制约作用。

3 低碳理念下现代物流园区规划设计关键策略

3.1 低碳导向的园区选址与用地布局优化

在低碳理念的指引下,现代物流园区在选址的时候,应当从区域的整体发展状况、产业布局的协调程度以及长

期运行所能获取的效益等方面来着手考虑,要综合地去考量像交通区位方面的条件、产业协同所具备的基础、生态环境的敏感程度、能源供给的具体结构还有水资源以及土壤的承载能力等诸多方面的因素,切忌仅仅把土地成本以及短期收益当作做出决策的依据。要优先去选择那种靠近综合交通枢纽的地方,而且该区域得具备铁路或者水运能够接入的条件,其道路以及相关的配套设施也得是完善的,生态环境的承载能力还要比较强,另外可再生能源的条件也要十分优越。如此一来,便能够较为有效地减少物流运输的距离,也能降低运输过程中耗费的能源,与此同时还能保障园区得以实现可持续发展。就用地布局来讲,需要借助功能的整合、空间的重组以及流程的优化等方式,提升土地利用的集约化程度以及复合化水平,要合理地去组织仓储、分拨、加工、配送以及配套服务等各个功能单元在空间上的相互关系,要充分考虑到作业流程的连续性、车辆流线的顺畅性以及低碳运输方式接入的便利性等因素,从而缩短园区内部物流运输的距离,减少出现重复作业以及无效运输的行为,从规划的源头开始降低能源的消耗以及碳排放的水平,并且为后续实施智能化管理、建设绿色建筑以及构建多式联运体系等事宜提供良好的空间基础。

3.2 绿色交通组织与多式联运体系构建

优化交通组织结构对于物流园区达成低碳运行而言,属于极为关键的环节,并且还是提高园区整体运行效率以及物流作业连续性的关键所在。在开展规划设计相关工作的时候,需要着重去构建起一套以铁路、水运这类低碳运输方式当作骨干,而把公路运输作为补充的多式联运体系^[1]。充分考量不同运输方式在时空方面的衔接情况、货物流向以及装卸效率等方面的情况,增加低碳运输方式在园区物流组织当中的所占比例,进而对运输结构予以优化调整。并且,应当依据园区物流作业的具体特点,针对内部的道路系统展开细致入微的设计,清楚界定主次干道、货运通道还有人行道路各自所属的等级以及它们的功能分工情况,按照科学的方式去组织车辆的行驶路线,尽力削减不同类型交通之间相互产生的交叉干扰,减少车辆出现等待、空驶以及运行冲突等情况。此外,应当推动新能源物流车辆、智能运输装备以及信息化调度系统广泛运用起来,借助车路协同以及实时动态调度的方式来优化运输路径,既能使单位物流活动的能源消耗以及碳排放量都得以降低,又能提高园区整体的运行效率,增强其应对高峰作业的能力,从而给予物流园区低碳、智能化以及可持续发展相应的技术支撑。

3.3 低碳建筑设计与绿色基础设施配置

物流园区建筑属于园区能源消耗以及碳排放的关键载体,需要在规划设计环节将低碳建筑理念予以系统融入,达成建筑性能同物流功能协同优化的效果。借助合理地确

定建筑朝向、体量还有间距,充分地利用自然采光以及通风条件,提高围护结构的保温隔热性能,能够切实有效地降低建筑在运行阶段的能耗水平^[2]。与此在绿色基础设施配置层面,应当依据园区的实际需求情况,对节能照明系统、雨水收集与再利用设施以及绿色景观系统的建设加以完善,积极推动绿色建材以及高效节能设备的应用,进而在满足物流功能需求之际,为园区低碳运行给予稳定且可靠的基础支撑。

4 低碳理念下现代物流园区综合保障与实施路径

4.1 可再生能源与低碳技术集成应用

在物流园区朝着低碳方向发展的进程当中,得从对整体能源系统加以优化这样的角度来着手推进相关事宜。要积极推动可再生能源以及低碳技术的集成性应用工作,把清洁能源的开发事宜同园区的功能布局情况还有其运行方面的实际需求紧密结合起来考虑。可以通过依据不同地域的具体情况来合理布局光伏发电项目、分布式能源系统等这类方式,以此来提升园区自身供应清洁能源的能力,减少其对于传统化石能源的依赖程度^[3]。与此要充分结合物流作业所呈现出的高强度且连续运行这样的特点,引入节能型仓储设备、智能分拣系统以及低能耗的制冷与照明技术等。力求达成设备选型跟作业需求之间的协同优化效果,从而从技术这个层面上去提升能源的利用效率,进而为园区能够实现长期且稳定的低碳运行给予较为可靠的支撑保障。

4.2 智能化管理与物流运行效率提升

信息化与智能化水平的提高对于保障物流园区低碳运行而言是一条重要途径,同时也是达成精细化管理以及可持续运营的关键助力。通过构建统一的园区智能管理平台,针对物流作业流程、能源消耗情况、交通运行状况以及设备运行效率展开实时监测、数据采集并加以综合分析,可使资源配置的科学性得以全面提升,决策响应速度也能有效加快,进而切实减少由于管理较为粗放或者信息存在滞后所引发的能源浪费以及运营效率偏低的情况。依靠智能调度系统、人工智能算法以及大数据分析技术,对物流作业节奏、运输路径、车辆调配还有装卸作业实施动态优化,能够大幅降低车辆空驶率、缩短等待时间并且缓解作业冲突现象,在提升物流运行效率之时也降低了碳排放强度。智能管理能实现预测性维护、能源使用趋势分析以及作业负荷动态调节,让园区即便处于高峰作业或者出现突发状况的情况下,依旧可以维持高效、低碳且稳定的运行状态,从管理方面促使园区朝着高效化、集约化以及绿色低碳化的方向发展。

4.3 碳排放控制机制与运营管理保障

要保证低碳规划设计目标于实际运行当中能够切实得到落实,物流园区需要在运营管理阶段构建起一套系统完备且具备可操作性的碳排放控制机制,要把低碳方面的要求全方位地融入到园区的日常管理里,融入到企业的准入规定以及考核体系当中。在制度设计这块,应当制定出清晰明确的能源消耗以及碳排放管理标准,像运输作业环节、仓储设备使用的环节、建筑运行期间还有园区公共设施的能耗控制等方面都要有相应的规范,以此来引导入驻企业在物流组织工作、设备选型事宜以及运营管理各个环节协同一致地推动低碳行动。与此还应当配套建立起动态监测方面的机制、数据分析的相关机制以及反馈方面的机制,要及时精准地掌握园区各个环节的能耗情况以及碳排放状况,及时发现高能耗和高排放的行为,并且予以纠正,从而达成实时调控的目的以及实现持续改进的效果。结合信息化平台以及智能管理系统,可以把碳排放数据和运营绩效关联起来,进而形成定期开展评估、发出预警以及给出优化建议的机制,逐步去构建起规划、建设以及运营相互衔接起来的低碳管理体系,从制度层面、技术层面以及管理层面来保障物流园区低碳发展所具有的长期性、稳定性以及可持续性,给园区的绿色转型给予可靠的支撑。

5 结语

在低碳发展理念不断深化的形势下,现代物流园区在规划设计环节正处于一个关键时期,即从规模导向逐步转向质量导向。仔细分析当下规划设计里存在的低碳相关问题,再从空间布局、交通组织、建筑设计以及管理机制等不同方面给出具有针对性的策略,这对于促使物流园区达成资源高效利用和环境友好发展两者协同一致的目标是很有促进作用的。往后,伴随低碳技术以及智能管理方式持续取得进展,现代物流园区在规划设计层面将会朝着更加系统化、精细化以及可持续的方向不断演变,给予物流行业绿色转型强有力的支撑。

[参考文献]

- [1]汪世乐.有关现代物流园区规划设计的几点思考[J].中国物流与采购,2023(18):78-79.
 - [2]刘浩.绿色物流园区的建筑设计及布局规划探究[J].工程抗震与加固改造,2024,46(6):194.
 - [3]阮志琦.物流园区规划设计的关键问题研讨[J].智能建筑与智慧城市,2023(2):95-97.
- 作者简介:李曙光(1984.9—),女,民族:汉,籍贯:河北张家口,职称:工程师,学历:硕士研究生,研究方向:物流园区规划与设计、物流产业研究。

BIM 结合 720 云全景渲染助力南昌市人民医院项目一次成优

谭克璇

南昌市政公用工程项目管理有限公司, 江西 南昌 330000

[摘要]现如今, BIM 技术在建筑施工中应用越来越广泛, 以 BIM 模型为基础, 通过 720 云导出二维码, 实现工程质量、安全、进度的可视化管理; 此外, BIM 建模可对工程建设成本进行监督控制, 简化施工环节, 降低施工难度。同时借助信息模型呈现三维可视化模型, 能辅助施工人员作业, 提高施工的准确性。

[关键词]BIM; 720 云; 施工应用

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18603

中图分类号: TU24

文献标识码: A

BIM Combined with 720 Cloud Panoramic Rendering Helps Nanchang People's Hospital Project Achieve Excellence in Once Achieved Excellence

TAN Kexuan

Nanchang Municipal Public Works Project Management Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China

Abstract: Nowadays, BIM technology is increasingly widely used in construction. Based on BIM models, QR codes can be exported through 720 cloud to achieve visual management of project quality, safety, and progress; In addition, BIM modeling can supervise and control construction costs, simplify construction processes, and reduce construction difficulty. At the same time, using information models to present three-dimensional visualization models can assist construction personnel in their work and improve the accuracy of construction.

Keywords: BIM; 720 cloud; construction application

引言

BIM 技术经过多年的发展逐渐被工程建设行业专业人士所熟悉, 成为建筑行业内的热词。目前 BIM 等信息技术在工程设计、施工和运营维护全过程的应用, 大大提高了综合效益。^[1]为提高精益建造管理水平, 强化“超前策划、过程管控、一次成优、打造精品”的理念, 提升质量一次成优深化设计水平, 不断提升工程质量策划精细水平, 助推一次成优和降本增效, 对项目进行一次成优深化设计。

1 项目背景

南昌市人民医院建设项目位于江西省南昌市。建筑主基调色为素雅的中性色系, 根据建设用地位置、建筑现状、周边环境、交通组织、气候特征以及功能要求, 遵循“以人为本”的设计思想, 引入现代化医院的建设模式, 采用高效节能的半集中式建筑布局方式, 创造引人入胜的公共空间, 营造舒适优美的室内外环境, 体现时代气息的建筑

造型。以本项目为例, 通过 BIM 深化—输出图纸—可视化交底三步助力项目一次成优, 如表 1 所示。

2 BIM 深化

2.1 BIM 简述

BIM(Building Information Modeling, 建筑信息模型)是以建筑工程项目的各项相关信息数据作为基础, 管理三维建筑模型, 通过数字信息仿真模拟建筑物所具有的真实信息。^[2]它将建设单位、设计单位、施工单位、监理单位等项目参与方在同一平台上, 共享同一建筑信息模型。利于项目可视化、精细化建造。

2.2 一次成优深化

2.2.1 上人屋面深化设计

(1) 深化设计内容

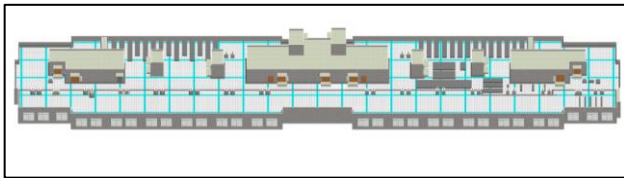
上人屋面深化设计主要包括平面布置、屋面砖、屋面门、屋面设备基础、屋面天沟等, 如表 2 所示。

表 1 项目简介

项目名称	南昌市人民医院建设项目
建设单位	南昌市第三医院
设计单位	中国电子工程设计院有限公司
施工单位	中国建筑第八工程局有限公司
项目地址	南昌市经济技术开发区双港西大街以南、青岚大道以西, 松雾路以北, 芙蓉路以东。
项目规模	规划占地面积约 79000m ² , 总建筑面积约 174000m ² , 主要建设按综合性三级甲等综合医院 1000 张床位规模设计, 总投资约 16 亿。

表 2 上人屋面深化设计

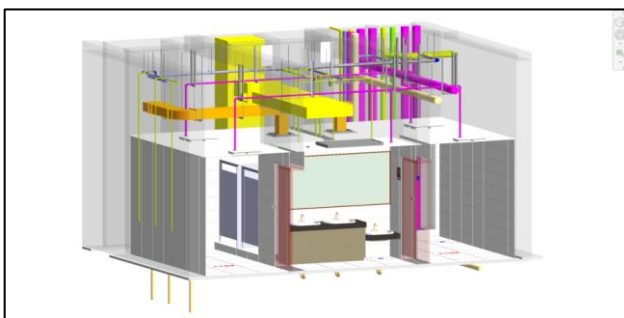
平面布置	①出屋面构筑物、管道支架及设备基础、避雷设置、屋面排水沟、管线布置、饰面层排布等需进行深化设计，综合布局，统一策划，在满足使用功能的前提下达到整齐美观布局合理的效果。 ②平屋面雨落口边缘距最近的墙、柱均大于 250mm。
屋面砖	①砖缝宽度 1cm，分隔缝宽度 2cm。 ②分隔缝两边的砖颜色与广场砖分色设计，广场砖为白色，分缝砖为蓝色。
屋面设备基础	①屋面设备基础造型美观、排列整齐。设备基础做到四周与屋面砖对缝或者二分之一对缝并整齐顺直。 ②屋面设备基础根部四周分缝，缝宽 20mm；屋面的设备基础防水卷材泛水高度不小于 250mm。
屋面天沟	①天沟、檐沟纵向坡度不小于 1%。 ②屋面天沟上方加盖板。 ③天沟与屋面砖之间留好分隔缝，缝宽为 20mm。

(2) 深化设计 BIM 模型

图 1 上人屋面 BIM 模型
2.2.2 卫生间深化设计
(1) 深化设计内容

卫生间深化设计主要包括卫生间排版、地漏安装、便器、无障碍卫生间等。

表 3 卫生间深化设计

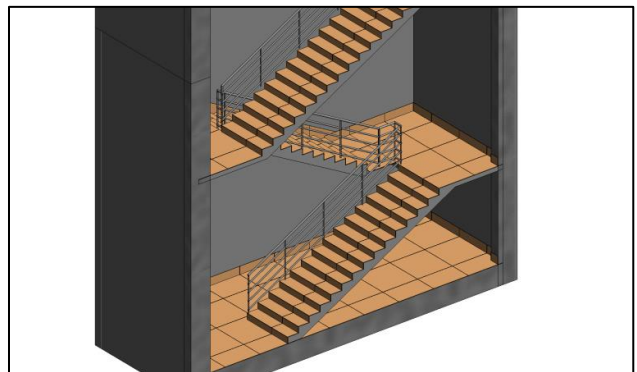
卫生间排版	①墙砖、地砖、吊顶对缝对齐，顺直贯通。 ②洗脸台与墙砖对齐；开关、插座面板与砖缝对齐；卫生间隔断与砖缝对齐；残疾人扶手与砖缝对齐。 ③卫生间整体地面低于其外部地面 20mm，地砖与蹲便器外边沿严密贴合。
地漏安装	地漏设置在卫生间内侧且在地板砖中心，地砖应 45° 对角切割。
便器	便器间距均匀、高度一致，与墙面砖排版协调一致。

(2) 深化设计 BIM 模型

图 2 卫生间 BIM 模型
2.2.3 楼梯间深化设计
(1) 深化设计内容

楼梯间深化设计主要包括楼梯间地面、踢脚线、净高等。

表 4 楼梯间深化设计

楼梯间地面	①楼梯踏步和台阶板块的缝隙宽度一致、齿角整齐、色调一致。 ②滴水线顺直，宽度一致。
踢脚线	①地面面砖与踢脚线对缝，踢脚线界面清晰、顺直。 ②与地面阴角、转角处的阴阳角平直、方正。 ③表面与柱、墙面结合牢固、高度一致，出墙厚度 10mm。
净高	楼梯平台上部及下部过道处的净高不小于 2.0m，梯段净高不小于 2.2m。

(2) 深化设计 BIM 模型

图 3 楼梯间 BIM 模型
3 输出图纸

参照公司统一制定的出图标准，结合项目自身特点，制定项目 BIM 出图标准化手册，从 BIM 模型视图名称、系统颜色、视图可见性，到导出平面图、剖面图、预留洞口图等图纸编号、字号、比例、图层统一管理。根据各深化模型输出平立面以及节点图纸 573 张，具有指导性、针对性、可操作性，如图 4。

4 可视化交底

模型处理完成后，导入到 Twinmotion 中对其进行渲染设置，设置完成后导出所需要的全景效果图，之后在 720 云中编辑全景效果图，最终导出二维码进行交底，指导现场施工。

4.1 渲染设置

本项目运用的渲染软件为 Twinmotion，Twinmotion 为 Abvent 公司旗下，是一款致力于建筑、城市规划和景观可视化的专业 3D 实时渲染软件。与传统的漫长渲染过程相比，Twinmotion 极快的渲染速度可在几秒钟内导出高质量图像、视频和 360 度全景文件。

(1) 将处理好的病房模型在 Twinmotion 中打开，在库一材质中选择合理的材质，将其拖到地面、墙面和顶板等对象上，调整材质的颜色、反射、透明度等属性，以增加模型的真实感。

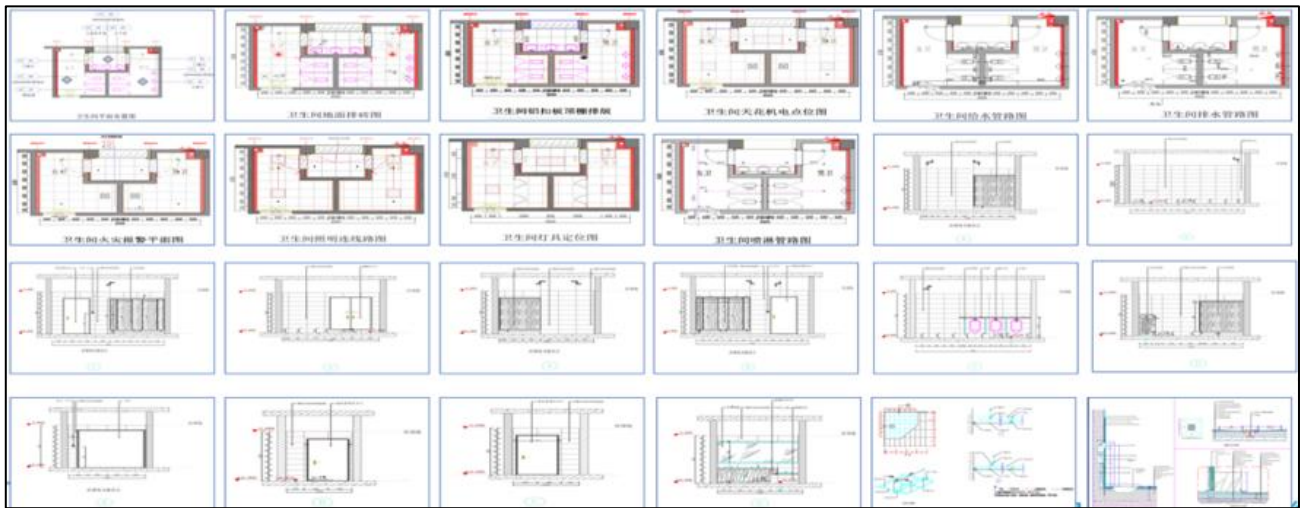


图4 平立面图纸

(2) 材质设置完成后, 调整场景的光照和阴影, 调整光源的位置、方向和强度, 以及使用阴影来增加模型的细节和层次感。

(3) 之后对环境进行设置。环境设置是模型渲染中不可忽视的一部分, 选择适当的背景天空和环境设置, 创造出更真实的外观和氛围。

(4) 最后一部分是创建和导出全景图片。在页脚中, 选择第四个媒体里面的全景图片, 选择合适的角度和位置, 点击创建图片。图片创建完成后是导出图片, 在页脚第五个导出选项, 选中要导出的全景图片, 选择分辨率, 之后点击开始导出, 选择要将图片导出到的位置, 然后点击选择文件夹, 等待全景图片导出。

4.2 720 云设置

720 云, 作为专注于虚拟现实 (VR) 全景内容制作与展示的领先技术平台, 提供了一站式的解决方案, 涵盖从拍摄、精心编辑到便捷发布的全过程。以本项目的全景图片为例, 说明 720 云设置。

(1) 创建全景图片。在导航栏开始创作-720 漫游, 进入作品发布页面; 鼠标移动到“从本地文件添加”, 弹出下拉菜单, 可以选择上传 Twinmotion 导出的全景图片; 添加完图片后, 在右侧填写作品信息, 点击蓝色按钮“创建作品”, 即可成功发布作品。

(2) 编辑作品。720 云有多种在线编辑工具, 包括添加热点、文字说明、背景音乐和多媒体内容等。热点有多种类型, 常用的有场景切换、添加 PDF、添加图文。在场景切换中选择目标场景后, 可以在场景之间自由切换; 在添加 PDF 中可以上传导出的图纸, 随时查看; 在添加图文中可以对某部分特别注释。

(3) 分享作品

作品可以通过链接和二维码的形式分享到微信、qq、

朋友圈等社交媒体, 也可用代码形式嵌入到网站、app 中展示。

4.3 交底形式

720 云可视化交底包括一对一交底、会议交底、二维码交底等。其中二维码交底相较前两种有许多方面的优势:

①通过将施工图纸、技术资料、安全教育资料等整合到一个二维码中, 现场人员可以快速扫码获取所需信息, 无需翻找书面材料, 提高了信息获取的效率。

②二维码内容可以随时更新和修改, 这意味着施工过程中的任何变更都可以即时反映在二维码中, 确保信息的时效性和准确性。

③技术交底二维码的使用可以实现逐级落实、责任到人, 后台自动保存的数据记录不会丢失, 方便后期查阅和追溯。

5 结构

基于 BIM 技术的协同工作模式, 为工程项目的建设方、设计方、施工方等各参与方提供了一个高效的信息共享平台。在这个平台上, 各方可以随时复制与编辑模型中的各个构件建筑信息, 确保了项目各参与方以及各专业设计师之间的实时沟通、交流与信息共享。从建筑全生命周期的视角出发, 对各建筑信息进行科学分析, 以便及时做出精准决策, 大大提升了工程项目在各阶段的管理效率。相较于传统的二维 CAD 设计, 基于 BIM 技术的三维设计模式展现出诸多显著优势。^[3]

随着建筑行业的发展, BIM 技术的应用日益普及, 其在行业中的重要性不断提升。BIM 与 720 云全景技术相结合, 以其独特的视角, 全面呈现了双 360 度球型范围内的景象, 为观者带来沉浸式的三维立体空间体验, 仿佛置身于场景之中。该技术将传统的二维平面图转化为三维模型, 使得视觉效果更加直观、易于理解。^[4]此外, 720

云全景技术的运用在成本节约方面也表现出显著优势,例如通过虚拟样板制作,大幅减少了场地和材料的消耗。项目全景展示不仅能够实时反馈现场临时建筑布局 and 施工进度,还推动了交底方式的创新。720 云全景技术实现了交底的多元化,取代了传统的纸质资料,仅需通过手机扫描二维码,即可轻松查看交底内容和相关图纸,极大提升了信息传递的便捷性和效率。

最终项目通过 BIM 深化、质量管控、拓展应用等方面,实现快速建造和精细化管理,节约工期 75 天,减少成本 835 万元。BIM 应用的创新,为后期同类项目的实施积累了宝贵的经验。技术成果得到了业主、政府的一致好评,为企业赢得了荣誉,提升了企业形象,为企业进一步开拓市场增加了影响力。

[参考文献]

- [1]谭胜,王剑宾,吴涟,等.BIM+VR 技术在建筑施工中的应用[J].建筑安全,2018(1):74-776.
- [2]路曦.BIM 结合 VR 技术在土建类专业中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2017(10):141-142.
- [3]董婉婉.BIM+VR 在施工管理中的应用研究[J].绿色环保建材,2020(1):179.
- [4]官庆文.基于 BIM 和虚拟现实技术的建筑工程设计优化[J].住宅与房地产,2021(5):112-113.

作者简介:谭克璇(1998.7—),男,毕业院校:宝鸡文理学院,所学专业:环境设计,当前就职单位:南昌市政公用工程项目管理有限公司,职务:项目副经理,职称级别:助理工程师。

建筑工程管理中质量控制与进度控制的协同策略研究

周 霁

新疆兵团市政轨道交通（集团）有限公司，新疆 乌鲁木齐 830063

[摘要]在建筑工程管理体系中，质量控制与进度控制是保障工程建设有序推进、实现项目综合效益的核心环节。二者既存在相互制约的矛盾关系，又具有协同共进的内在逻辑。文中基于建筑工程管理的实践需求，先阐述质量控制与进度控制的核心内涵及相互关系，再深入分析当前工程管理中二者控制工作存在的问题，最后提出针对性的协同控制策略，旨在为提升建筑工程管理水平、保障项目优质高效完成提供理论参考与实践借鉴。

[关键词]建筑工程管理；质量控制；进度控制；协同策略

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18599

中图分类号: TU712

文献标识码: A

Research on the Collaborative Strategy of Quality Control and Schedule Control in Construction Project Management

ZHOU Pei

Xinjiang Bingtuan Municipal Rail Transit (Group) Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830063, China

Abstract: In the construction project management system, quality control and schedule control are the core links to ensure the orderly progress of engineering construction and achieve comprehensive project benefits. The two have both a contradictory relationship of mutual restraint and an inherent logic of collaborative progress. Based on the practical needs of construction project management, this article first elaborates on the core connotations and interrelationships of quality control and schedule control, then deeply analyzes the problems existing in the control work of the two in current engineering management, and finally proposes targeted collaborative control strategies, aiming to provide theoretical and practical references for improving the level of construction project management and ensuring high-quality and efficient project completion.

Keywords: construction project management; quality control; progress control; collaborative strategy

引言

随着我国城镇化进程的持续推进与建筑行业的快速发展，建筑工程项目规模不断扩大、技术复杂度日益提升，对工程管理水平提出了更高要求。建筑工程的质量直接关系到人民生命财产安全与社会公共利益，而进度则直接影响项目的投资回报与市场效益，二者共同构成了建筑工程管理的核心目标。在实际工程建设中，部分项目存在“重进度、轻质量”或“重质量、拖进度”的片面认知，导致工程质量隐患频发或项目成本大幅增加。因此，厘清质量控制与进度控制的关系，破解二者协同管控的难题，构建科学高效的协同控制体系，成为当前建筑工程管理领域亟待解决的重要课题。

1 建筑工程管理中质量控制与进度控制的核心内涵及相互关系

1.1 核心内涵

建筑工程质量控制是指在工程建设全过程中，通过制定质量标准、实施质量监督、排查质量隐患等一系列措施，确保工程产品符合设计要求、施工规范及使用功能需求的管理活动。其覆盖范围贯穿项目决策、设计、施工、竣工验收等各个阶段，核心目标是规避质量缺陷，保障工程的安全性、耐久性与适用性。

建筑工程进度控制则是指根据项目合同约定的工期目标，制定科学的进度计划，并对施工过程中的进度执行情况进行动态监测、调整与管控，确保项目按时竣工交付的管理活动。其核心任务是合理调配人力、物力、财力等资源，优化施工流程，规避进度延误，实现工期目标与资源利用效率的平衡。

1.2 相互关系

制约关系: 质量控制与进度控制存在天然的制约性。若盲目追求施工进度，压缩施工工序时间、减少质量检测环节，极易导致工程质量隐患，如混凝土养护不达标、钢筋绑扎不规范等问题，最终可能引发返工，反而延误整体进度；反之，若过度强调质量控制，采用过于严苛的施工标准或重复开展不必要的检测工作，会增加施工流程的繁琐性，降低施工效率，导致进度滞后。

协同关系: 质量控制与进度控制的最终目标具有一致性，均为保障项目顺利完成、实现项目综合效益。科学合理的进度计划是质量控制的基础，能够为各工序的质量管控提供充足的时间保障；而严格的质量控制则能有效避免因质量问题导致的返工延误，为进度目标的实现提供支撑。二者协同推进，才能实现“优质、高效”的工程建设目标。

2 当前建筑工程管理中质量控制与进度控制存在的问题

2.1 质量控制存在的问题

部分建筑企业尚未构建起覆盖项目全周期、权责清晰的健全质量管控体系，既缺乏系统化、规范化的管理制度作为支撑，也未对各部门、各岗位的质量责任进行精准划分与明确界定，导致施工全流程的质量管控缺乏刚性约束，一旦施工过程中出现各类质量问题，相关责任主体极易出现权责模糊、推诿扯皮的情况，难以快速定位问题根源、推进整改闭环。与此同时，企业内部质量检测流程缺乏标准化规范，部分质量检测人员专业能力不足、责任意识淡薄，在开展原材料进场检验、构配件质量核验及施工工序过程检测等关键工作时，常流于表面、走过场，难以按照规范标准完成细致检测，无法及时精准识别隐藏的质量隐患，为后续工程质量埋下风险。

建筑工程一线施工人员多以农民工群体为主，人员流动性较强，专业技能水平与质量责任意识参差不齐，多数人员未经过系统专业的技能培训与质量教育，对施工规范标准、质量管控要点缺乏全面认知。部分施工人员在作业过程中片面追求施工进度、忽视施工质量，违规操作、偷工减料等问题屡有发生，诸如墙体砌筑时砂浆填充不饱满、抹灰层厚度不达标，防水层施工偷减遍数、厚度不足，钢筋绑扎间距不符合设计要求等违规行为时有发生，此类操作不仅违背施工规范，更直接影响工程结构稳定性与使用安全性，给整体工程质量带来不可逆的负面影响。

设计环节作为工程质量的源头关口，部分项目在前期设计阶段缺乏严谨论证，设计方案存在内容不完善、细节考虑不周等问题，易出现设计漏洞，部分设计与施工现场地质条件、周边环境及实际施工工艺不匹配，难以直接指导现场施工。加之项目设计交底工作开展不充分，设计单位未能就设计核心要点、施工注意事项、技术难点等内容，与施工单位、监理单位进行全面细致的沟通对接，施工人员对设计意图理解不到位，进而导致施工过程中设计变更频繁发生。这不仅打乱正常施工节奏、延误整体施工进度，增加额外的人力物力成本，更可能因仓促调整设计方案、施工衔接不当等问题，引发一系列连锁反应，滋生新的工程质量隐患，影响工程整体质量达标。

2.2 进度控制存在的问题

部分建筑项目的进度计划编制工作缺乏严谨性与针对性，整体方案过于粗放笼统，未能充分结合项目具体情况开展细化设计，诸如施工场地的空间布局条件、项目所在地的季节气候特点、各类施工资源的实际供应能力、工序衔接的逻辑顺序等关键影响因素均未纳入考量范围，导致制定出的进度计划与现场施工需求脱节，缺乏切实的可操作性，难以对施工推进形成有效指导。同时，这类进度计划普遍弹性不足，缺乏灵活的应对预案与调整空间，面对施工过程中各类突发状况，诸如极端恶劣天气导致施

工暂停、核心机械设备故障停机、关键原材料供应延迟短缺等问题时，往往难以快速适配调整，极易打乱原有施工节奏，进而引发连锁反应，造成整体施工进度延误。

建筑工程施工工序繁杂、周期较长，全程需要大量人力、物力、财力等各类资源高效协同、精准配合，资源调配的科学性直接影响施工进度推进效率。部分项目未建立健全系统化的资源调配机制，缺乏对资源需求的精准预判与动态统筹，极易出现各类资源配置失衡问题：施工关键阶段人力补给短缺、专业工种人员配比不合理，核心施工机械设备闲置浪费与局部设备紧缺并存，原材料采购规划不当导致供应不及时、库存积压等情况频发。各类资源无法按需精准供给、高效流转，直接造成施工各工序间衔接不畅、衔接断层，施工推进频频受阻，最终引发整体进度滞后，难以按计划推进。

进度动态监测是保障施工按计划推进的关键环节，而部分项目对此重视不足，对施工进度执行情况的监测仅流于表面形式，未搭建起覆盖各施工环节、各工序节点的动态监测机制，缺乏标准化的监测流程、量化的监测指标与高效的监测手段，无法实时、精准掌握各工序的实际进度完成情况，也难以第一时间察觉进度偏差问题。即便后期发现施工进度与计划出现偏离，也未能及时组织专业人员深入分析偏差产生的核心原因，更无法快速制定并落实针对性的调整补救措施，导致小偏差不断累积扩大，进度滞后问题愈发严重，最终难以达成既定工期目标，还可能引发成本增加、资源浪费等连锁问题。

2.3 二者协同管控不足

当前多数建筑项目的质量控制与进度控制工作相互独立，缺乏协同管控机制。质量管理人员与进度管理人员沟通不畅，信息共享不及时，导致在处理质量与进度的矛盾时，无法统筹兼顾，往往顾此失彼。例如，当出现进度延误时，为追赶进度而忽视质量控制；或在质量整改时，未考虑对进度的影响，导致进度进一步滞后。

3 建筑工程管理中质量控制与进度控制的协同策略

3.1 构建协同管控体系，明确责任分工

着力搭建质量与进度协同联动的一体化管控机制，打破传统管理模式中质量控制与进度控制部门各自为战的壁垒，整合两大核心部门的管理职能，统筹组建专业化协同管控小组，吸纳质量、进度管理相关骨干人员及技术骨干纳入小组核心架构。同时进一步细化权责清单，清晰界定各参与部门、各岗位职责权限与协同工作要求，杜绝权责交叉或缺位问题，推动质量管控与进度管控工作深度融合、无缝衔接。在此基础上，科学制定标准化、规范化的协同管控全流程细则，将各施工环节的质量检测验收、工序质量复核、进度节点监测、进度动态跟踪等关键工作，全面纳入统一的一体化管理体系当中，打通部门间信息流通渠道，搭建高效信息共享平台，确保质量与进度相关数

据实时互通、工作同频部署、推进同步落实，实现两项核心工作统筹兼顾、协同推进。

健全并落地权责对等的质量与进度协同责任追究制度，构建权责清晰、奖惩分明的“质量与进度双重责任”追究机制，将项目既定的质量达标核心目标、各阶段质量管控细化要求，以及整体工期目标、分部分项工序进度节点等关键指标，全面纳入项目管理人员、技术人员及一线施工人员的绩效考核体系，实现责任层层分解、逐级落实，确保人人有责、责任到岗。在考核执行中坚持奖惩并举，对于因违规操作、履职不到位、责任落实不力等主观因素，引发工程质量隐患、质量不达标问题，或是造成施工进度滞后、工期延误的相关责任主体，依规依制严格追究其对应责任，严肃落实惩处举措；对于严格落实管控要求、高效达成阶段及整体质量与进度协同目标的管理团队与个人，给予物质奖励与荣誉表彰双重激励，以正向引导与反向约束相结合的方式，充分调动全员参与质量与进度协同管控的主动性与积极性，筑牢全员共管的责任防线。

3.2 科学制定计划，夯实协同管控基础

编制协同化计划：在项目前期，结合项目规模、技术难度、资源条件等因素，编制兼具质量要求与进度节点的协同化计划。将质量控制要点融入各进度节点，明确各工序的质量标准、完成时间及资源需求，确保质量控制与进度推进同步规划、同步实施。例如，在混凝土浇筑工序中，明确浇筑时间节点的同时，严格规定混凝土强度等级、振捣工艺等质量要求。

增强计划弹性：在编制进度计划时，充分考虑施工过程中的突发情况，预留合理的缓冲时间。同时，针对关键工序和重点环节，制定专项质量与进度保障方案，确保在出现偏差时能够及时调整，避免质量与进度相互影响。

3.3 强化施工全过程管控，实现质量与进度协同推进

加强设计环节管控：在设计阶段，组织设计、施工、质量、进度等多方人员参与设计评审，优化设计方案，避免设计漏洞。完善设计交底制度，确保施工人员准确理解设计要求，减少施工过程中的设计变更。若确需变更，需同步评估对质量与进度的影响，制定相应的调整方案。

严格原材料与施工工序管控：建立原材料进场检验制度，对钢筋、水泥、混凝土等主要原材料进行严格检测，不合格材料严禁进场。在施工工序管控中，推行“三检制”（自检、互检、交接检），每道工序完成后，需经质量检测合格后方可进入下一道工序，确保质量合格的同时，避免因返工导致进度延误。

优化资源调配：建立动态资源调配机制，根据进度计划与质量要求，合理调配人力、物力、财力资源。加强与供应商的沟通协作，确保原材料及时供应；合理安排施工机械设备的使用与维护，提高设备利用率；优化施工人员配置，加强对施工人员的专业技能与质量意识培训，提高

施工效率与质量水平。

3.4 运用信息化技术，提升协同管控效率

搭建协同管控信息平台：利用 BIM 技术、物联网、大数据等信息化技术，搭建建筑工程质量与进度协同管控信息平台。通过平台实现设计图纸、质量检测数据、进度完成情况等信息的实时共享，方便管理人员实时掌握项目进展，及时发现并解决质量与进度问题。

实现动态监测与智能预警：借助信息化设备（如传感器、摄像头等）对施工过程进行实时监测，采集质量与进度数据。通过大数据分析技术对数据进行处理，当出现质量隐患或进度偏差时，系统自动发出预警，提醒管理人员及时采取措施，实现质量与进度的动态管控。

3.5 加强沟通协调，化解协同矛盾

建立定期沟通机制：协同管控小组定期组织质量、进度、施工等部门召开沟通会议，通报项目质量与进度情况，分析存在的问题，共同探讨解决方案。同时，加强与建设单位、监理单位、设计单位等多方主体的沟通协调，争取各方支持，形成协同管控合力。

灵活处理质量与进度的矛盾：当质量与进度出现矛盾时，坚持“质量优先、统筹兼顾”的原则，避免盲目追求进度而忽视质量。若因质量问题需延误进度，应及时向建设单位说明情况，制定科学的整改方案与进度调整计划，在保障质量的前提下，最大限度减少进度损失。

4 结论

建筑工程管理中，质量控制与进度控制并非相互对立，而是辩证统一、协同共进的关系。当前工程管理中存在的质量管控体系不完善、进度计划不科学、协同管控不足等问题，严重影响了项目的综合效益。因此，需通过构建协同管控体系、科学制定计划、强化全过程管控、运用信息化技术、加强沟通协调等策略，实现质量控制与进度控制的有机融合。只有这样，才能有效提升建筑工程管理水平，保障工程质量安全，确保项目按时竣工交付，推动建筑行业高质量发展。

【参考文献】

- [1]马银霞.建筑工程管理中施工质量控制与进度控制策略[J].中国地名,2024(7):0175-0177.
- [2]严利良.建筑工程施工管理过程中质量控制与进度控制相关研究[J].城市建筑与发展,2024,5(3):79-81.
- [3]梁兆兴,郑堃.建筑工程施工进度管理及控制[J].Urban Architecture & Development,2025,6(17).
- [4]雨舒姚.试论装配式建筑工程钢结构施工技术和施工管理策略[J].工程施工技术,2024,2(5):19.
- [5]刘娇娇,于晓焕.建筑工程管理及施工质量控制的有效策略探讨及研究[J].葡萄酒,2024(17):0007-0009.

作者简介：周霏（1991.8—），性别：女，学历：本科，毕业院校：新疆农业大学，所学专业：工程管理，目前职称：工程师。

基于物联网的给排水系统泄漏预警设计与智能控制技术研究

赵青琳

石家庄市万成民用建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]文章设计“感知-传输-平台-控制”四级架构体系,利用多种传感技术对管道的压力、流速以及振动信号进行采集,并采用 NB-IoT 和光纤相结合的方式确保信息传递的有效性,在此基础上使用 LSTM-Attention 模型来进行泄漏检测。实现泄漏的精准预警及定位,并设计自适应智能控制策略完成泵站启动、关闭以及阀门开合度等联动控制;仿真结果表明,所设计系统泄漏识别准确率高,泄漏定位误差小,响应快,相比传统系统漏损控制效率提高,能耗降低,可为给排水系统智能化运行维护提供有效技术手段支持。

[关键词]物联网;给排水系统;泄漏预警;智能控制;LSTM-Attention 算法;传感器融合

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18578

中图分类号: TU991

文献标识码: A

Research on Leakage Warning Design and Intelligent Control Technology of Water Supply and Drainage System Based on Internet of Things

ZHAO Qinglin

Shijiazhuang Wancheng Civil Architecture Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The article designs a four level architecture system of "perception - transmission - platform - control", which uses multiple sensing technologies to collect pressure, flow velocity, and vibration signals of pipelines, and combines NB-IoT and fiber optics to ensure the effectiveness of information transmission. Based on this, the LSTM-Attention model is used for leak detection. Realize precise warning and positioning of leaks, and design adaptive intelligent control strategies to achieve linkage control of pump station startup, shutdown, and valve opening and closing; The simulation results show that the designed system has high accuracy in leak identification, small leakage positioning error, fast response, improved efficiency in leak control compared to traditional systems, and reduced energy consumption, which can provide effective technical support for the intelligent operation and maintenance of water supply and drainage systems.

Keywords: Internet of Things; water supply and drainage system; leakage warning; intelligent control; LSTM-Attention algorithm; sensor fusion

引言

供水、污水处理是城市建设的重要环节之一,与人们的生活、环境以及用水息息相关。由于我国水文资源在时间上存在差异性,在空间上也存在差异性,并且部分管道的质量较差,管理方式较为落后,因此经常出现漏水情况。据统计,2023年中国供水管网漏损量为118亿t,漏损率超过14%,平均每供应7t水就有1t漏水,既造成严重水资源浪费,也容易导致路面塌陷、水质污染等一系列连锁灾害的发生,危及城市的公共安全。传统的给排水系统主要依靠人工巡检以及事后的抢修来完成,具有检测泄露滞后性大、定位精度差、耗费人力物力多、响应不及时等特点,难以适应新时代城市对供水安全及智能管理的要求。

随着物联网的发展,在给排水领域可通过各种类型的传感器、通信设备及计算机操作管理平台,实时采集信息进行数据分析,并作出反馈调节,以达到实时监控、自动分析以及远程操控的目的^[1]。利用物联网建立管网泄漏预

报及自控系统可以将管网“事后维修”的管理模式转变成“提前预报、及时控制”。因此,有效地降低漏损量,提高系统的可靠性和有效性,对于解决缺水、保证城市的供水安全有着重要的实际意义。

1 物联网技术概括以及在给排水系统中的应用

1.1 物联网

物联网的目的在于借助网络建立起物与物、人与物、人与人之间的连接^[2],从真正意义上实现信息高效交互、系统智能化管理以及自主化处理,其系统架构主要如下:

(1)感知层。位于物联网系统架构中的底层,主要功能为对物体基本信息进行感知、获取及识别,通常通过对无线传感器网络、射频识别、传感器等进行部署而实现^[3]。

(2)网络层^[4]。在物联网数据信息的交互过程中发挥着桥梁的重要作用,在感知层完成对数据信息的获取任务以后,该层会借助有线或无线传输方式,在既定通信协议的支持下形成 ZigBee、Wi-Fi 等通信网络系统,以此完成人与人、人与物、物与物之间信息的高效交互^[5]。(3)应用

层。位于物联网系统架构中的顶层，主要用于处理与应用感知到的各类信息，为用户提供人机交互平台，实现终端设备应用等智能化控制^[6]。

1.2 物联网技术在给排水系统中的应用

目前，物联网技术在给排水系统中的应用已经取得了显著进展，通过将传感器和智能设备部署在管网、泵站和污水处理厂等关键位置，实现了对给排水系统的实时监测和远程控制^[7]。这些传感器可以收集水质、水位、流量等多种数据，通过物联网平台将数据实时传输至中心控制系统，而借助物联网技术，管理者可以随时监测系统运行状态，及时发现异常情况并采取相应措施。物联网技术还支持对给排水设备的远程监控与维护，提高了设备的利用率和管理效率^[8]。总体而言，物联网技术为给排水系统带来了智能化、自动化的管理手段，提升了系统的稳定性、安全性和运行效率，为城市水务管理注入了新的活力^[9]。

2 系统总体架构设计

(1) 感知层：相当于整个系统的“神经末梢”。用来获取管道的重要信息，布置了声振传感器、压力传感器、流量传感器及温度传感器以完成对泄露声音、管内压力、流速流量以及周围温度的数据采集。其中声振传感器为阵列式的传感器来接收泄露声音频率范围在 300~2500Hz 的声音；压力传感器选用压阻式传感器，压力：0~1.6MPa，精度±0.5%；流量传感器采用电磁流量计，适用于大管径，无阻流损失。

(2) 传输层：实现感知数据与控制指令的双向传输。采用“LoRa 为主、NB-IoT 为辅”的融合通信方案：LoRa 用于地下管网深层节点数据传输，通信距离≥3km，功耗低至 2μA；NB-IoT 用于城市主干道管网节点传输，依托运营商基站实现广覆盖，适用于信号遮挡较少区域。两种协议通过网关融合，保障数据传输的稳定性与覆盖率。

(3) 数据层：进行数据的存储、预处理及融合分析。建立分布式数据库，保存原始传感数据、历史泄漏案例以及管网 GIS 数据；对数据进行清洗（去除异常值）、标准化（统一数据格式）、融合分析（多源数据互补验证），给预警算法提供良好的数据入口。

(4) 应用层：主要功能层，包含预警功能子系统和控制功能子系统。其中，预警功能子系统负责对漏损进行检测，并提供不同的预警级别；控制功能子系统则结合预警信息制定相应的控制方案，驱动阀门、泵等执行机构动作；此外还设置有 GIS 展示平台，用于查看管道运行状况及显示漏损位置。

4 核心技术实现

4.1 多源传感器数据融合技术

传感器对给排水系统基本数据进行采集，主要采集的指标有水位、管路流量、水质及压力等。其中，水位主要指给排水系统管道或水体内部液体的实际高度，通过对水位

变化情况的监测，能够有效规避溢流、水灾等风险，单一传感器监测易受干扰致数据不准，多源传感器数据融合可整合多维度数据提升泄漏检测可靠性。本研究用基于 D-S 证据理论的方法，步骤如下：

(1) 数据预处理：用 Z-score 公式标准化各传感器数据。

(2) 特征提取：针对不同传感器数据提取泄漏特征。

(3) 证据构建：以特征提取结果为独立证据，建立与泄漏状态映射，算出 BPA。

(4) 证据融合：用 D-S 合成规则融合多源证据，得最终泄漏状态判断，提升检测可靠性准确性。

以上均通过布设在给排水系统关键位置的传感器进行采集，经过数据传输由中心控制系统接收，在数据处理后为给排水系统实际运行状态监测及预警提供技术支持。基于对各类数据变化情况及其关联性的实时采集与精准分析，能够在尽可能短的时间内确定给排水系统运行问题，避免事故发生，为系统安全运行提供保证。

4.2 基于改进 LSTM-Attention 的泄漏识别算法

给排水管道泄漏信号具非线性、非平稳特点，本研究提出改进的 LSTM-Attention 泄漏识别算法，引入注意力机制增强对泄漏特征感知，提升识别精度。

LSTM 可捕捉时间序列数据长短期依赖、解决梯度消失问题，但难突出关键特征。注意力机制能增强关键特征贡献、抑制无关干扰，提升模型性能。

改进算法结构：

(1) 输入层：以预处理多源传感器时间序列数据（样本数，时间步长，特征数）为输入。

(2) LSTM 层：2 层，神经元数 64、32，用 Dropout (0.2) 防过拟合，提取时间序列特征。

(3) 注意力层：用 Bahdanau 注意力机制计算权重。

(4) 全连接层：拼接注意力层与 LSTM 层最后时间步输出，经 ReLU 处理输出特征向量。

(5) 输出层：用 Softmax 输出泄漏状态分类结果（正常、轻微、严重泄漏）。

4.3 泄漏点精准定位技术

基于多源传感器数据与管网水力模型，提出“声纹特征匹配+水力计算”融合定位法实现泄漏点精准定位，步骤如下：

(1) 建声纹特征库：实验采集不同工况（泄漏程度、管道材质、埋深）的泄漏声纹信号，提取特征（峰值频率等）建库。

(2) 初步定位：实时声纹信号与库匹配，结合传感器位置确定大致区域，利用分布式光纤传感器缩小范围至 50m 内。

(3) 精准定位：基于管网水力模型，输入实时压力、流量数据，依压力传播规律建数学模型求解得精准位置，

误差小于 1m。

4.4 自适应智能控制策略

4.4.1 泄漏应急控制

在发生泄漏时，自动执行紧急控制：①根据泄漏点定位结果，下发控制指令至泄漏点上下游的智能阀门，关断上流阀门减少泄漏量，调节下流阀门维持管网压力平衡；②如泄漏量大，则联动变频泵站降低水泵转速，减小供水压力，防止泄漏扩大；③待泄漏控制住后，缓慢开启阀门及泵房设备，恢复管网供水。

4.4.2 日常运行优化

在历史运行数据的基础上，利用在线监测的数据进行模型预测控制（MPC），以改善系统的日常运行状况：①依据用水负荷的变化情况，对将来一段时间内所需用水量做出估计，相应地调节泵站的运行台数及转速；②考虑电力价格的不同，在电价低的时候将水蓄存起来，在电价高的时候降低泵站的负载率，节能降耗；③动态掌握管网压力变化情况，并根据管网压力的变化及时调节阀门的开启程度，在保证管网压力在合理范围内（0.3~0.6MPa）的情况下避免管网压力过大而发生渗漏。

5 系统性能测试与验证

5.1 测试平台搭建

为了检测系统对管道泄漏报警准确度、报警延迟时间以及自动调控能力，在 MATLAB/Simulink 中建立试验环境，并设计出一个虚拟城市给水管网系统作为被测对象，该管网长度 5km，管径范围在 300~800mm 之间，管网中有 10 处压力传感点、3 台加压泵及 15 个电动阀门。具体实验条件如下：压力传感器采集时间为 1s；通信响应时间≤200ms；渗漏量为 0.5~5m³/h；正常状态、微量渗漏、大渗漏。测试指标包括：泄漏识别准确率、定位误差、响应时间、漏损率降低幅度、能耗降低幅度。

5.2 泄漏预警性能测试

在不同泄漏工况下测试系统预警性能，每种工况重复测试取平均值，本系统在轻微与严重泄漏工况下识别准确率高于单一传感器组，定位误差小，响应时间短，且相较于单一传感器监测模式，识别准确率、定位精度、响应速度均有显著提升，验证了多源传感器融合与改进 LSTM-Attention 算法的有效性。

5.3 智能控制性能测试

将物联网技术引入建筑给排水系统，在模拟管网泄漏场景下，测试系统的智能控制效果，本系统通过泄漏应急控制与日常运行优化，漏损率、单位水量能耗降低，泄漏处置时间缩短，验证了自适应智能控制策略的有效性，可提升系统运行效率，降低漏损与能耗。

5.4 系统稳定性测试

排水系统引入物联网可提升运行可靠性与稳定性，能

提前预警设备故障、准确评价设备状况、降低事故概率^[9]。通过设置临界值实现事故预警，避免经济损失；还能识别影响设备效能的关键因素并优化，提升系统稳定性与效率^[10-11]。对系统开展 72h 连续运行稳定性测试，监测传感器数据采集、传输及设备运行状态。结果显示，传感器数据采集精准，数据传输稳定无丢失，设备运行稳定无故障停机；平台层响应及时，预警信息推送准确、控制指令执行成功率高，验证了系统的稳定性与可靠性^[12]。

6 结论与展望

在给排水系统监测及预警中应用物联网技术，能够在显著程度上提升给排水系统监测及预警准确性，为系统智慧安全运行提供重要保证。本文提出一种基于物联网技术的给排水系统的漏损预报及智能控制系统，并搭建“感知-传输-平台-控制”四级模型框架，对整个给排水管网进行在线监控、漏损预测报警以及自动调节。具体的研究成果包括：提出多源传感器融合部署方案，整合压力、流量、振动、声纹等多维度数据，采用 D-S 证据理论实现数据融合，提升了泄漏检测的可靠性。优化 LSTM-Attention 泄漏识别算法，在 LSTM 基础上增加 Attention 以提高模型对重要信息的关注度，泄漏识别准确率高；泄漏定位误差小；泄漏响应时间小于 5s；相比传统的泄漏识别方法大大提高了泄漏预警的速度及准确性。设计自适应智能控制策略，实现泄漏应急控制与日常运行优化，漏损率降低，能耗降低，泄漏处置时间缩短，提升了系统运行效率与经济性。搭建的系统运行稳定可靠，数据传输成功率提高，控制指令执行成功率提高，能够满足给排水系统智慧化运维的需求。本研究虽取得一定成果，未来可引入数字孪生技术，建立给排水管网的数字孪生模型，实现物理空间和虚拟空间中给排水管网实体和模型的一一对应和动态同步，增强系统仿真分析及预测能力，实现泄漏风险预警。优化传感器部署方案，结合管道老化程度、运行年限等因素，建立动态部署模型，实现传感器资源的最优配置，降低系统建设成本。

[参考文献]

- [1]金涛.GPS 技术在数字孪生中的应用研究[J].中国管理信息化,2025,11(6):173-175.
- [2]艾晓燕.数字孪生在建筑智慧运维系统中的应用探讨[J].科技创新与生产力,2024,12(9):36-40.
- [3]Marc BAADEN.Deep inside molecules-digital twins at the nanoscale[J].Virtual Reality&Intelligent Hardware,2022,11(4):324-341.
- [4]贺洪煜.大数据在建筑智慧运维系统中的应用[J].建筑施工,2021,12(12):2600-2603.
- [5]吴学伟,黄穗虹,黄艳雄,等.广州海绵城市建设之智慧排水实践[J].环境工程,2023,41(11):110-114.

- [6]罗茜平,何宗苾,景袁媛.基于物联网的重庆市智慧排水建设体系探讨[J].智能城市,2022,8(8):72-74.
- [7]刘玉涛.基于物联网等技术的城市智慧排水系统建设应用研究[J].仪器仪表用户,2022,29(2):21-24.
- [8]裴燕.智慧工地视域下房屋建筑给排水施工技术创新[J].中国建筑金属结构,2024,23(12):49-51.
- [9]胡烈诚,黄月红,李健勇.城市轨道交通给排水专业智能运维应用[J].现代信息技术,2024,8(24):116-120.
- [10]杨录林.基于物联网技术的智能给排水设备自动监测方法研究[J].科技创新与生产力,2024,45(10):107-109.
- [11]张雨童.建筑智能化技术在建筑给排水工程中的应用初探[J].中国住宅设施,2024,11(4):34-36.
- [12]唐仁刚.建筑给排水设备智能化控制与监测技术研究[J].中国设备工程,2024,10(7):28-30.
- 作者简介:赵青琳(1993.7—),毕业院校:唐山学院,所学专业:建筑环境与设备工程,当前就职单位:石家庄市万成民用建筑设计有限公司,职务:给排水设计,职称级别:工程师。

装配式建筑工程管理影响因素及对策研究

马英超

西南石油大学土木工程与测绘学院, 四川 成都 610000

[摘要]装配式建筑是建筑工业化的代表形式之一,它以标准化、模数化、快速建造等优点成为提高质量,缩短工期与节能减排的一个重要措施。但实际管理中水平却良莠不齐,在很大程度上受规章制度、设计、施工以及人才的影响。文中在总结当前工程管理状况和问题的基础上,梳理主要原因并给出相应解决措施,具体有健全管理制度、加强设计管理、抓好现场管理和提升人员素质四个方面。研究成果能够对装配式建筑工程管理水平的提升,保证项目质量及促进建筑业工业化进程有所借鉴意义。

[关键词]装配式建筑; 工程管理; 影响因素; 管理对策

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18573

中图分类号: F407.9

文献标识码: A

Research on the Influencing Factors and Countermeasures of Prefabricated Construction Project Management

MA Yingchao

School of Civil Engineering and Geomatics, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: Prefabricated construction is one of the representative forms of building industrialization, which has become an important measure to improve quality, shorten construction period, and reduce energy consumption and emissions due to its advantages of standardization, modularization, and rapid construction. However, in actual management, the level varies greatly, largely influenced by regulations, design, construction, and talent. On the basis of summarizing the current situation and problems in engineering management, the article identifies the main reasons and provides corresponding solutions, including improving management systems, strengthening design management, strengthening on-site management, and enhancing personnel quality. The research results can provide reference for improving the management level of prefabricated construction projects, ensuring project quality, and promoting the industrialization process of the construction industry.

Keywords: prefabricated building; project management; influencing factors; management strategies

引言

随着城镇化的加快以及建筑工业化的到来,装配式建筑因其节能环保,施工快捷,品质可靠的特点备受瞩目,装配式建筑的应用与发展颠覆了传统的建造方式,同时也对建设工程项目的管理提出了新的挑战。现存管理体制存在漏洞、设计方面不够完善、现场管控不利以及人员能力水平参差不齐等问题,都会造成工期滞后、出现质量问题、成本上升的情况的发生。文章力求找出在装配式建筑工程中对项目工程管理的主要影响要素,并给出相应的改进措施,以供提升工程建设管理水平的相关人士参考借鉴。

1 装配式建筑工程特点

为了确保所采取的工程管理措施合理,应当对装配式建筑工程的特征进行分析,从而能够了解工程管理工作开展需求,从而制定合理的管理方案。装配式建筑的施工采用的是构件的方式进行,由工厂统一制作运输到施工现场,在施工现场只需要进行构件的吊装作业就可以了,对周围的环境影响很小,并且能源消耗较少,更加绿色环保。而且因为装配式建筑采用的都是成品的建筑构件,在施工现

场的操作工序得到了精简,工程施工难度降低,不需要太多的劳动力就可以快速地完成建设任务,工期较短。但是装配式建筑的施工机械设备化强,施工内容发生了变化,对于建造者的要求变得严格起来,原有的管理模式已经不太适合了,必须找到制约工程管理的因素有哪些,根据分析得出的结果来制定更加合理的解决办法,使得在以后的工作当中可以更好的做好工程管理工作,这样建造出来的装配式建筑的质量才能够达到验收的标准,没有质量安全问题。

2 装配式建筑工程管理现状及问题分析

2.1 装配式建筑工程管理现状

近几年来随着建筑工业化的思想日益深入人心,装配式建筑越来越多的应用在我国的城市建设当中去,并且在施工方法、技术水平以及管理模式上都有很大的进步。在工程现场的实际管理过程中,各个管理主体基本上都能建立起相对完整的施工组织系统及项目管理体系。项目的现场调度规划、工程施工质量和建设速度把控的能力得到了较大的改善。目前现代化的信息技术特别是 BIM (建

筑信息化模型)技术与施工现场的智能化管理平台的应用,使得装配式建筑的设计过程、建造过程以及项目管理过程之间的连接变得更加紧密,相关各方传递信息的速度变快,管理成效有所提升。同时一些大型施工单位也有着一套自己成熟的标准预制件生产和运输安装工艺,机械化的施工程度加深,有利于加快施工速度并保证施工安全。综上所述如今在我国关于装配式建筑工程项目的管理方面无论是在管理体制还是在技术手段上乃至整个施工组织上都已经有了较好的基础可以进行进一步的优化管理提升工程质量。

2.2 工程管理中存在的主要问题

虽然国内装配式建筑工程管理已有一定发展,但其在实际应用时还受到各种阻碍条件限制。首先是管理制度已经建立,但是在落实实施的过程中存在随意性大、责任分配不清以及联动不够等问题,在整个施工现场管理较为混乱低效;其次是设计文件部分工程项目存在适用性较差和预制构件标化程度低,以及施组设计和方案跟设计衔接较粗,使得项目在后续施工时容易发生重复作业或者延误工期的现象;再次是施工管理手段比较传统落后,缺乏一套完整科学的信息管理系统以及智能化措施手段,在现场施工情况不能有效掌握,管理者很多时候依靠自身经验和感觉来进行决策;然后是在施工现场管理还不够规范严谨,例如预制构件的运送存放,吊装过程以及机械设备的操作使用等都没有进行严格的管理和约束,施工现场的安全问题和工程质量隐患都比较大;接着是对管理人员与劳务工人技术水平能力欠缺,无论是项目经理还是生产经理再到一线工人,人员的技术能力和业务素养都达不到满足装配式建筑高精度和高效率建造的要求,很多都需要进一步的学习培训;最后就是面对复杂动荡的市场形势还有外界环境的影响下,像供货商供应不稳定、相关政策变动还有成本上升等因素都会对项目的整体建设造成不同程度的影响。由此可知当前我国装配式建筑工程管理还存在着包括体制、技术和组织还有现场和人员等方面的障碍条件,要对其进行深入地剖析并找出相应解决方案。

3 装配式建筑工程管理影响因素分析

3.1 管理制度及政策环境因素

对装配式建筑工程管理成效而言,在很大程度上需要制度及政策的良好背景作为支撑。制度是工程管理工作有序进行的根本保障,其中涉及施工组织架构、工程质量管控、工期计划安排以及风险管理措施等方面。现有部分工程项目中管理制度存在问题有分工不清、程序混乱、监督力度薄弱的现象,进而使得项目实施过程中出现推诿扯皮、效率低下的现象;此外,在政策背景方面,在一定程度上决定着装配式建筑的发展,同时也在很大层面上影响着整个工程的管理水平。从国家乃至各级地方部门所颁布的相关规定来讲,诸如装配式建筑的技术标准、优惠政策、财

政补贴以及产业发展引导等内容都对企业方的管理活动与实际建造有着巨大影响。若政策不够全面或不能及时更新,则施工企业在具体的管理活动中就会缺少参照指标与行为准则,进而加大了施工风险以及管理复杂度。所以说完善的管理制度、有利的政策措施是对装配式建筑进行合理化、标准化和高效化的管理的前提条件。

3.2 设计方案及技术因素

设计文件的合理性以及施工的技术水平对于装配式建筑工程项目的管理有着决定性的作用。装配式结构依赖于标准预制构件的生产和装配而建立起来的,整个装配过程的效果好坏取决于设计内容是否合理可行,所采用的技术能否成功实施。设计人员在编制设计文件时若忽视了对施工条件的了解、预制构件尺寸误差、连接节点做法、施工工序等问题考虑不够周全,在后期施工现场就会出现难以安装、频繁返工等问题,进而使得工期延误的情况发生。此外,施工方的技术实力薄弱,不熟悉掌握施工工艺方法,不具备先进的施工器具以及 BIM 等信息技术的应用支撑,由此也会造成现场施工中的监管力度薄弱、工程质量管理不到位以及工程的安全风险系数提高等问题。由此可见,设计文件的科学性以及技术的应用水平都是影响装配式建筑工程管理的关键要素。

3.3 施工现场管理因素

施工现场管理直接影响着项目的工程质量,安全和项目完成工期,它是整个装配式建筑工程管理中重要的一环,现场管理涉及到构件的运输和存放,构件的起吊安装过程,施工现场机器使用情况以及整个施工现场的管理等诸多环节,而一旦施工现场缺乏相应的管理就会导致现场出现构件损毁,安装出现误差,甚至施工现场还会发生一些安全事故以及工程质量问题,而且装配式建筑工程中的构成大多都是预制好的标准件一旦在施工现场出现失误就会影响到整个工程的质量,此外施工现场管理还包含对参与施工工作人员的安全教育培训,合理的施工工序安排以及施工环境管理等几个方面,一旦现场管理水平不到位那么就不仅仅关系着工程质量的好坏也会影响到整个项目的拖延和建设投入成本的提升,所以说一个工程项目的施工现场管理是否有序,有据可循,这也是决定着整个装配式建筑工程项目建筑工程管理工作能否顺利完成的关键所在。

3.4 人员素质及能力因素

人员能力和素质是能否落实好装配式建筑工程管理的有效保证。装配式建筑施工需要参与的人具有较高的技术水平、施工经验和管理水平。一个项目的管理人员若不懂专业知识、不了解施工技术或不具备先进的管理手段,则会导致整个工程的施工安排难以落实、问题解决不及时和各种物资调配失衡的情况出现;而现场施工的操作人员若是技术水平有限,对于标准件的拼装、机器的操作和施

工工序不懂不了解的话也会导致整个工程建设的施工速度下降、工程质量降低的问题。人员的素质同时还包括协调能力和团队精神以及责任心等一系列的管理软实力,这些对于工地现场协调情况、安全生产和工程质量都具有很大的影响。因此说人员的素质和技术水平也是决定着装配式建筑工程管理成败的一个重要因素。

4 装配式建筑工程管理对策研究

4.1 完善管理制度体系

健全管理制度体系是提高装配式建筑工程管理水平的基本保证。首先要确立项目管理的目标以及划分管理任务,把涉及的项目的设计、建造、质量、安全生产、工期等方面的所有管理工作分配到具体的岗位上去,做到有规可依。其次还要构建沟通联系制度以及监督管理制度,使得承包商、设计师、材料设备提供商与监理单位之间能有效地合作。通过制定统一的标准管理制度和标准作业程序,工地现场各方面的工作都能依照规章制度有序开展,避免了由于无人负责或者疏于管理而带来的管理漏洞^[1]。再者需要经常性的审查及更新管理制度,在工程的实际应用过程中加以完善,保证管理制度与时俱进,适合蓬勃发展的装配式建筑新技术。完善的管理制度不仅可以对工程项目的管理工作起到指导作用,而且也能在实际项目当中发挥限制与鼓励的作用,使管理更加合理化以及规范化,进而可以确保工程质量和工程的按时完成。

4.2 强化设计管理与技术支持

加强设计管理和技术支持也是装配式建筑工程顺利进行的前提条件之一。装配式建筑工程基于标准预制件,因此设计方案是否合理直接影响到工程能否顺利进行以及施工的质量。在设计过程中应该综合考虑施工现场情况、预制件安装顺序、连接节点方式等影响因素,在此基础上做出的设计才是可以被实施并且成本低廉的设计。同时也要鼓励使用 BIM 技术即信息化模型设计,通过设计信息模型化,施工过程模拟化以及施工流程优化,用虚拟化的施工来检测设计方案的合理性,从而可以提早发现可能存在的问题以便减少后期现场再加工浪费人力物力的情况发生^[2]。另外建设单位也应当加大技术支持力度,给予详细的施工指南,施工工艺指导以及技术服务支持让施工方真正了解领会设计理念并且严格按照设计图纸施工。通过设计管理和技术支持可以使设计和建造之间更好的配合衔接,提升工程项目管理水平,避免或降低在施工过程中出现的风险和损失。

4.3 创新管理模式

创新管理模式也是解决装配式建筑施工管理难度大与高要求标准的关键措施之一,传统施工管理注重经验与“眼见”,而这些显然跟不上装配式建筑预制化、工厂化的节奏,需借助信息化手段对施工计划、进度以及质量和安全等进行全过程管理,将它们置于同一个信息平

台上实现实时录入、监测、反馈以及数据分析等操作以增强项目的管理决策水平,提高其科学性以及时效性^[3];此外也可尝试使用智能化的施工管理方式包括但不限于:构件自动吊装、无人机巡查、施工现场布设各种探测器、传感器并通过物联网技术对其进行联网实时了解工地的各项动态情况等。施工过程透明化可视化便于对其进行精准管理;管理模式创新更体现在打破部门壁垒构建跨部门沟通渠道组建项目协调小组确保设计者、承包商、监理单位乃至供货商都处于同一频道上,彼此间互通有无权责清晰配合度高。管理模式的革新不仅加快了工程项目管理速度,也降低了工程施工中质量和安全隐患发生的概率,是装配式建筑发展以及推行标准化施工强有力的支撑点。

4.4 提升现场管理水平

施工现场管理是装配式建筑企业管理中的重中之重,它与项目的工程质量以及建设进度息息相关。首先要加强构件管理,在预制构件的运输储存过程以及吊、装配整个过程中严格按照规定对其进行管理和监督,保证预制构件在使用时无破损,且装配精确度满足设计标准;其次是对机械设备的管控,需对其合理规划安排,对机器的调配、检修等事项和机械操作流程做出具体明确的规定,以保障工程施工机械能够良好有序高效的运作,进而避免由于机械设备故障导致的工期拖延;再次是要重视工程质量,整个施工过程都要加强对工程质量的重视程度,制订详细的质检制度,记录每一项施工作业内容并对整个施工现场进行巡视检查等方式确保每一施工步骤都处在全程监控之下,以便及时发现错误并加以改正;最后是对施工现场的安全保障,环境治理和文明施工也是必不可少的,它们都是施工现场管理不可或缺的一部分,构成了一个完善有序的管理体系。只有做好了施工现场管理工作才有可能在确保工程质量与安全生产的前提下加快施工进度、节省管理人员开支进而真正意义上提升了装配式建筑工程企业施工管理水平。

4.5 人员能力提升策略

人员能力是装配式建筑工程管理是否有效推进的重要因素,故而加强对人员的能力培养也是工程管理改进的主要对策。首先应该组建专业化的项目经理班子。引进优秀的管理人才、细化工作岗位、整合队伍结构,增强对项目的组织协调以及决策制定水平。其次应当对施工技术人员以及管理人员进行有规划的学习培训工作。其培训范围应当全面覆盖施工流程工艺方法、统一化施工标准、BIM 软件运用知识以及质量管理和安全防护等,保证所有涉及到的相关人员掌握必需的知识技术储备。并且除了学习相关的知识之外还应当对其加强责任心教育、培养良好的交流习惯、提升解决问题困难的能力素质,使之达到装配式建筑高质量快速度的建造管理水平需求。此外还应

制定合理的考核奖励制度。通过绩效评估、证书考试认证以及职位晋升来激发人们的主观活力、提升工作效率质量。通过对相关人员能力的培养提升以及合理化的管理手段,可以保证装配式建筑工程中的管理规章条例和技术方案以及施工现场的各项举措顺利实施,从而达至整个工程项目管理的目的有效完成。

5 结语

装配式建筑是建筑工业化的代表趋势之一,在此背景下,其对于工程管理的要求也进一步升级,基于目前装配式建筑在工程管理方面存在的一些问题与关键影响因素,本文认为管理制度缺失、不合理的项目方案、落后的施工现场管理水平和较低的人力水平都是阻碍工程质量和建设速度的关键瓶颈点,为此,我们建议应该从加强制度建设,严格把控设计阶段、优化管理方式方法并全面提升相关人员水平的能力入手来解决问题,通过这些方法,我们

可以使得整个工程建设过程更加规范化、加快工程建设进度并且确保工程质量,在此基础上使得装配式建筑的管理工作向着更加系统化,规范化、信息化的目标不断靠近,今后随着建筑工业化和相关技术的发展和应用,装配式建筑工程的管理工作仍然需要不断完善才能满足行业的发展与现场施工情况的变化。

[参考文献]

- [1]李颖菲,庄先鹏,宋艳.装配式建筑工程管理的影响因素与对策[J].城市建设理论研究(电子版),2024(31):43-45.
- [2]吕勇辉.影响装配式建筑工程管理的因素与对策研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(2):37-39.
- [3]曹洁.装配式建筑工程管理影响因素与对策[J].中国住宅设施,2024(1):10-12.

作者简介:马英超(1997.1—),单位:西南石油大学土木工程与测绘学院。

BIM 技术在建筑管理中的应用与效果评估

姜茹

新疆兵团市政轨道交通(集团)有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830063

[摘要]随着建筑行业数字化转型的深入,建筑信息模型(BIM)技术以其可视化、参数化、协同的主要优势,逐渐成为更新建筑管理模式、提高项目管理效率的关键支柱。基于BIM技术的关键特征,本文系统地定义了BIM在建筑项目生命周期管理(设计阶段,施工阶段,运营和维护阶段)中的具体应用场景,构建涵盖技术指标、经济指标、管理指标的多维度效果评估体系,研究表明,BIM技术能够有效优化设计方案、降低施工风险、提升运维效率,显著增强建筑项目的全周期管理水平,但在技术应用深度、协同机制完善性等方面仍存在提升空间。本文的结论可以为建筑企业合理应用BIM技术和科学评价应用效果提供理论参考和实践指导。

[关键词]BIM技术;建筑管理;全生命周期;应用场景;效果评估

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18597

中图分类号: TU201

文献标识码: A

Application and Effect Evaluation of BIM Technology in Building Management

JIANG Ru

Xinjiang Bingtuan Municipal Rail Transit (Group) Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830063, China

Abstract: With the deepening of digital transformation in the construction industry, Building Information Modeling (BIM) technology, with its main advantages of visualization, parameterization, and collaboration, has gradually become a key pillar for updating building management models and improving project management efficiency. Based on the key features of BIM technology, this article systematically defines the specific application scenarios of BIM in the lifecycle management of construction projects (design phase, construction phase, operation and maintenance phase), and constructs a multidimensional effect evaluation system covering technical indicators, economic indicators, and management indicators. Research shows that BIM technology can effectively optimize design schemes, reduce construction risks, improve operation and maintenance efficiency, and significantly enhance the full cycle management level of construction projects. However, there is still room for improvement in terms of technical application depth and collaborative mechanism perfection. The conclusion of this article can provide theoretical reference and practical guidance for the rational application of BIM technology and scientific evaluation of application effects in construction enterprises.

Keywords: BIM technology; building management; full lifecycle; application scenarios; effect evaluation

引言

目前,我国建筑业正处于从传统广泛管理向精细智能管理过渡的关键时期。传统建筑管理模式存在信息割裂、沟通低效、决策滞后等诸多痛点,导致项目设计变更频繁、施工冲突多发、工期延误、成本超支等问题时有发生。在此背景下,BIM技术作为一种集成化的数字技术,能够将建筑项目的几何信息、功能信息、管理信息等进行全面整合与可视化表达,实现项目全生命周期各参与方的协同工作,为建筑管理的革新提供了全新路径。

1 BIM技术的核心特性与建筑管理的适配性

1.1 BIM技术的核心特性

可视化是BIM技术的核心特性之一,通过构建三维数字模型,将建筑项目的设计方案、施工过程、运维状态等以直观的三维形式呈现,打破了传统二维图纸的信息壁垒,便于各参与方快速理解项目信息。参数化设计使得模型中的各构件具有关联属性,当某一构件参数发生变更时,相关构件参数会自动更新,有效减少了设计变更带来的信

息错漏。协同特性实现了施工单位、设计单位、施工单位、运营和维护单位等多个实体的实时信息交互和协同工作,为信息交换提供了一个统一的平台,提升了管理效率。此外,BIM技术还具有模拟性与可优化性,能够对施工过程、灾害场景等进行模拟分析,为项目决策提供数据支撑,进而优化管理方案。

1.2 BIM技术与建筑管理的适配性分析

建筑管理的核心目标是实现项目全生命周期的质量、进度、成本、安全的有效管控,而BIM技术的核心特性与建筑管理的需求高度契合。在质量控制领域,BIM技术的可视化和参数化可以提前识别设计和施工中的潜在问题,从而降低质量风险;在进度管控方面,通过将三维模型与进度计划关联,实现施工进度可视化模拟与动态跟踪,便于及时调整进度方案;在成本管控方面,基于BIM模型的工程量自动计算与成本动态分析,能够提升成本核算的准确性与时效性;在安全管理领域,通过建模施工过程和风险识别,提前制定预防措施,以减少安全事

故的发生频率。因此，BIM 技术为楼宇管理提供了全新的技术手段，可以有效地解决传统楼宇管理的难题。

2 BIM 技术在建筑管理中的全生命周期应用场景

2.1 设计阶段的应用

在设计阶段，BIM 技术主要用于设计优化，协同设计和碰撞检测。在项目开发阶段，开发人员可以使用 BIM 技术创建三维模型，可视化项目的空间效果，结合分析建模工具对建筑物的照明、通风和能耗进行建模，以优化设计，提高建筑物的环境节能水平。借助 BIM 信息平台，建筑、结构、电气和其他领域的专业人员可以实时交换项目信息，同步开展设计工作，避免了传统设计模式下各专业独立设计导致的信息脱节问题。碰撞检测是 BIM 技术在设计阶段的核心应用之一，通过将各专业模型整合，利用 BIM 软件进行碰撞分析，能够提前发现管线、结构构件等之间的碰撞冲突，在施工前完成设计优化，减少施工阶段的设计变更与返工。

2.2 施工阶段的应用

施工阶段是建设项目实施的关键环节，BIM 技术的应用主要体现在施工进度管理、成本管理、质量管理和安全管理四个方面。在施工进度管理中，通过将三维 BIM 模型与图形(如甘特图)相匹配，创建 4D 图形模型，实现可视化建模和施工进度动态跟踪。管理人员可通过模型直观掌握各施工工序的时间节点与逻辑关系，及时发现进度偏差，并结合实际施工情况调整进度计划，确保项目按期完工。成本管理方面，基于 BIM 模型的工程量自动计算功能，能够快速准确地完成工程量统计，为投标报价、成本核算提供数据支撑。同时，通过动态跟踪施工过程中的材料消耗、人工费用等信息，实现成本的动态管控，降低成本超支风险。在质量管理中，使用 BIM 技术对施工过程进行建模，并澄清施工标准和要求。通过移动终端设备将施工现场的质量问题与 BIM 模型联系起来，以精确定位质量问题、跟踪修复并管理闭环。安全管理方面，通过 BIM 技术对高风险施工环节(如深基坑、高支模、吊装作业等)进行模拟分析，确定安全风险点，并提前制定专门的安全保护计划；使用 BIM 模型进行技术安全访问并提高建筑工人的意识；实时监控和施工安全预警通过现场监控设备和 BIM 模型之间的通信来实现。

2.3 运维阶段的应用

运营和维护阶段是建筑项目生命周期中最长的阶段，BIM 技术的应用可以大大提高运营和维护管理的效率和水平。在设备设施管理方面，将建筑内各类设备设施的信息(如型号、参数、安装位置、维护记录等)整合到 BIM 模型中，构建运维管理信息平台。管理人员可通过模型快速定位设备位置，查询设备相关信息，制定科学的维护计划，实现设备设施的全生命周期管理，降低设备故障率与维护成本。在能源管理领域，基于 BIM 模型和物联网技

术的结合，建筑物的能源消耗数据(如电力，水，天然气等)。实时采集，利用建模分析工具对建筑能耗进行分析和评估，找出能源浪费点，优化能源管理方案，提高建筑节能水平。在应急管理方面，利用 BIM 模型构建建筑应急疏散模型，模拟火灾、地震等灾害场景下的人员疏散路径，为应急演练与应急处置提供数据支撑；当发生突发事件时，管理人员可通过 BIM 模型快速掌握建筑内的人员分布、设备位置等信息，制定精准的应急救援方案，提升应急处置效率。

3 BIM 技术在建筑管理中应用效果的评估体系构建

3.1 评估体系构建原则

科学性原则：评估指标的选取应基于 BIM 技术的核心特性与建筑管理的核心目标，确保评估方法与评估标准的科学性、合理性。全面性原则：评估体系应涵盖 BIM 技术在建筑项目全生命周期管理中的应用效果，兼顾技术、经济、管理等多个维度，避免评估的片面性。可操作性原则：评估指标应简洁明确，数据易于采集与量化，评估方法应简单可行，便于建筑企业实际应用。动态性原则：建筑项目的全生命周期具有阶段性特征，评估体系应根据项目不同阶段的管理需求进行调整，确保评估结果的时效性与针对性。

3.2 评估指标体系构建

基于上述建设原则，本文构建了 BIM 技术应用效果评价指标体系，包括一级技术效率、经济效益和管理效益三项指标，以及若干二级、三级指标，具体如下：

3.2.1 技术效益指标

技术效益主要反映 BIM 技术在提升建筑管理技术水平、优化技术流程方面的效果，包括以下二级指标和三级指标：

(1) 设计优化效果：包括设计冲突解决率、设计方案优化次数、设计图纸准确率等三级指标。设计冲突解决率=(提前解决的设计冲突数量/设计冲突总数量)×100%；设计图纸准确率=(准确的设计图纸数量/设计图纸总数量)×100%。

(2) 施工技术水平提升效果：包括施工工艺优化次数、复杂工序施工成功率、施工技术创新数量等三级指标。复杂工序施工成功率=(成功完成的复杂工序数量/复杂工序总数量)×100%。

(3) 运维技术水平提升效果：包括设备故障诊断准确率、能耗监测精度、应急处置响应时间等三级指标。设备故障诊断准确率=(准确诊断的设备故障数量/设备故障总数量)×100%；应急处置响应时间=从事故发生到应急处置措施实施的时间。

3.2.2 经济效益指标

经济效益主要反映 BIM 技术在降低项目成本、提升

项目经济效益方面的效果,包括以下二级指标和三级指标:

(1) 成本节约效果:包括设计阶段成本节约率、施工阶段成本节约率、运维阶段成本节约率等三级指标。成本节约率=(采用 BIM 技术后的成本节约额/未采用 BIM 技术的预计成本)×100%。

(2) 工期缩短效果:包括设计周期缩短率、施工工期缩短率等三级指标。工期缩短率=(采用 BIM 技术后的工期缩短天数/未采用 BIM 技术的预计工期天数)×100%。

(3) 投资回报率:投资回报率=(采用 BIM 技术带来的总经济效益/BIM 技术应用总投资)×100%。其中,采用 BIM 技术带来的总经济效益包括成本节约额、工期缩短带来的经济效益等。

3.2.3 管理效益指标

管理效益主要反映 BIM 技术在提升建筑管理效率、优化管理流程方面的效果,包括以下二级指标和三级指标:

(1) 协同管理效率:包括多方协同沟通时间缩短率、信息传递效率提升率等三级指标。多方协同沟通时间缩短率=(采用 BIM 技术后的协同沟通时间缩短量/未采用 BIM 技术的预计协同沟通时间)×100%;信息传递效率提升率=(采用 BIM 技术后的信息传递效率-未采用 BIM 技术的的信息传递效率)/未采用 BIM 技术的的信息传递效率×100%。

(2) 质量安全效果:包括工程质量合格率、安全事故发生率、质量安全隐患整改率等三级指标。工程质量合格率=(合格的工程检验批次数量/工程检验总批次数量)×100%;安全事故发生率=(发生的安全事故数量/项目总施工天数)×100%;质量安全隐患整改率=(已整改的质量安全隐患数量/发现的质量安全隐患总数量)×100%。

(3) 运维管理效率:包括设备维护响应时间、运维工单完成率等三级指标。设备维护响应时间=从接到设备维护需求到维护人员到达现场的时间;运维工单完成率=(已完成的运维工单数量/运维工单总数量)×100%。

3.3 评估方法选择与应用流程

本文使用层次分析法(AHP)确定每个评估指标的权重,并结合模糊综合评估方法对应用的有效性进行评估。层次分析通过构建层次结构,将复杂的评估问题分解为不同层次的指标,通过比较两个指标来确定每个指标的相对重要性,然后计算出每个指标的权重,以保证科学的权重分配。模糊综合评价法通过建立模糊综合评价矩阵,对各指标的评价结果进行综合分析,得出适用于评价指标模糊情景的 BIM 技术应用效果综合评价水平。

评价的应用过程包括以下几个步骤:一是确定评价对象和评价阶段,确定评价领域;二是收集评估数据,按照评估指标体系的要求,在项目设计、施工、运营和维护阶段收集相关数据;三是确定指标权重,运用层次分析法计算各指标权重;四是开展模糊综合评价,构建评价矩阵,

计算综合评价结果;五是分析评估结果,总结应用 BIM 技术的优缺点,提出优化建议。

4 BIM 技术在建筑管理应用中存在的问题与优化建议

4.1 存在的问题

虽然 BIM 技术在楼宇管理中的应用取得了显著成效,但在实际应用中仍存在诸多问题。一是技术应用深度不足,部分建筑企业对 BIM 技术的应用仍停留在设计阶段的碰撞检测、三维建模等基础层面,未能在整个生命周期内实现深度应用,特别是在运行和维护阶段。二是协同管理机制不完善,虽然 BIM 技术为多方协同提供了技术平台,但各参与方的协同意识不足,信息共享不及时、不充分,导致协同管理效率未能充分发挥。三是专业人才短缺, BIM 技术的应用需要综合性的人才,结合建筑和数字技术的经验,目前行业人才不足,难以满足企业对技术应用的需求。四是标准体系不健全,我国 BIM 技术应用相关的标准规范仍不完善,在模型构建标准、信息交换标准、数据安全标准等方面存在缺失,不同项目和计划之间模型不兼容,信息传递的障碍。

4.2 优化建议

针对上述问题,提出了以下优化建议:一是深化技术应用深度,促进 BIM 技术与大数据、物联网、人工智能等新技术的融合,拓展 BIM 技术在运营和维护阶段的应用场景,实现建设项目全生命周期的数字化管理。二是完善协同管理机制,建立健全多方协同管理规范,明确参与者间信息交流的职责和要求,加强协同学习,提高协同管理效率。三是加强人才培养,构建高校、企业和行业协会人才培养协同体系,增加相关 BIM 专业课程,加强企业人才技术培训,行业协会搭建人才交流平台,提升行业整体人才素质。四是完善标准体系,加快制定 BIM 技术应用的相关标准和规范,明确模型建设、信息共享和数据安全要求,推动 BIM 技术应用标准化,提高信息传递的效率和安全性。

5 结语

本文系统地研究了 BIM 技术在建筑物管理中的应用,并对其效率进行了评估,得出以下结论:首先, BIM 技术的主要特征,如可视化,参数化和协同化,对建筑物管理的要求具有很强的适应性,可以有效地优化建筑项目整个生命周期的管理过程。其次,设计阶段的 BIM 技术在电路优化,碰撞检测,施工进度管理,成本管理,安全管理,设备管理,运行和维护阶段的能耗管理等场景中具有广泛的应用,可以大大提高管理效率和质量。第三,构建了涵盖技术、经济、管理三个维度的评价体系,能够科学、全面地评价 BIM 技术应用效果,层次分析与模糊综合评价相结合的评价方法具有较高的可行性和实用性。

未来,随着数字技术的不断发展, BIM 技术在楼宇

管理中的应用将呈现以下发展趋势：一是与新技术深度融合，BIM 技术将继续与大数据、物联网、人工智能、数字双胞胎等技术融合，构建更加智能高效的楼宇管理平台，实现建筑项目的智能化管理。其次，在整个生命周期的综合应用中，未来的 BIM 技术将继续贯穿建筑项目的设计、施工和运营的整个生命周期，实现各阶段的无缝交互和深入的信息交流，提高项目管理的整体水平。第三，随着行业应用的普及，随着标准体系的完善，人员的增加和技术成本的降低，BIM 技术将广泛应用于中小型建筑项目，促进建筑行业整体数字化水平的提高。后续的研究可以集中在 BIM 技术与新技术的整合机制上，以及建立针对不同类型建设项目的差异化效果评价体系，为 BIM 技术的深度应用提供更强有力的理论和实践支持。

[参考文献]

- [1]代绪龙.BIM 技术在建筑管理中的应用与效果评估[J].城市开发,2025(8).
- [2]李卫红.BIM 技术在建筑工程造价管理中的应用与效益评估[J].数字化用户,2024(34).
- [3]徐普.建筑施工中的 BIM 技术应用与效益评估[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(03):000.
- [4]李萨.BIM 技术在绿色建筑工程中的集成应用与效果评估[J].绿色建造与智能建筑,2025(2):101-103.
- [5]路焊铎,杨国威.BIM 技术在绿色建筑设计中的应用[C].第十届:全国 BIM 学术会议论文集,2024.

作者简介：姜茹（1992.12—），性别：女，学历：本科，毕业院校：沈阳建筑大学，所学专业：工程管理，目前职称：工程师。

智能化电气自动控制在集装箱制造中的实践应用

洪连辉

天津中集集装箱有限公司, 天津 300461

[摘要]全球制造业智能化发展势头强劲,这股浪潮给集装箱制造业带来了重大影响,集装箱制造业是贸易的根基所在。在生产效率、质量控制以及绿色发展等诸多方面都面临着严峻挑战,而以物联网、人工智能还有数字孪生为核心要素的智能化电气自动控制技术,已然成为破解这些难题的关键之处。本文先是全面梳理了该技术体系的构成情况以及所具备的特点,接着又对集装箱制造全流程的自动化需求展开系统分析,囊括了切割环节、焊接环节、涂装环节一直到装配检测环节。

[关键词]电气自动控制;集装箱制造;智能制造;数字孪生;AI;IOT系统;MES

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18593

中图分类号: U653

文献标识码: A

Practical Application of Intelligent Electrical Automatic Control Technology in Container Manufacturing

HONG Lianhui

China International Marine Containers (Group) Ltd. Container Co., Ltd., Tianjin, 300461, China

Abstract: The global trend of intelligent development in manufacturing is strong, and this wave has had a significant impact on the container manufacturing industry, which is the foundation of trade. There are severe challenges in production efficiency, quality control, and green development, and intelligent electrical automatic control technology with the Internet of Things, artificial intelligence, and digital twins as core elements has become the key to solving these problems. This article first comprehensively outlines the composition and characteristics of the technology system, and then conducts a systematic analysis of the automation requirements for the entire container manufacturing process, including cutting, welding, painting, and assembly testing.

Keywords: electrical automatic control; container manufacturing; intelligent manufacturing; digital twin; AI; IOT system; MES

集装箱作为全球物流体系的核心载体,其标准化尺寸、高强度结构及良好的耐久性等优势,为海运、陆运及多式联运提供了有效的解决方案。在全球经济一体化与国际贸易规模扩大的双重驱动下,集装箱的制造质量已成为影响船舶运输安全、物流效率及运营经济性的关键变量。第四次工业革命技术当中,像人工智能、大数据这类技术,给这个传统的产业带来了全新的动力,促使它实现升级。智能化电气自动控制技术,并不是简单地用机器去取代人力,而是要打造一个完整的智能生产生态系统,这个系统有感知的能力、分析的能力、做决策的能力以及执行任务的能力。

1 智能化电气自动控制技术概述

1.1 技术基本原理与构成

智能化电气自动控制技术属于一个将多学科融为一体的综合体系。它的关键之处在于会广泛地部署各类传感器以及智能设备(IED),以此来实时且全面地采集有关安全生产要素方面的数据。而这些所采集到的数据,会借助高速工业网络汇聚到中央处理平台^[1]。这个中央处理平台依靠大数据分析手段以及人工智能算法,能够形成具备智能化特性的决策,并且能够精准地驱动像机器人、智能物流这类执行单元,进而形成一个完整的“感知-分析-决策

-执行”的闭环流程。在这一体系当中,数字孪生技术有着极为重要的作用。它通过构建起与物理生产情况完全对应的虚拟模型,达成了对工艺优化、故障预测等方面进行超前仿真以及有效管控的目标。整个系统是依靠类似于ABB Ability™ System 800xA 这样的集成化架构来搭建的,该架构支持开放协议,这便保证了不同系统以及设备之间能够实现互联互通,同时也能确保对它们进行全生命周期的高效管理操作。

1.2 在制造业中的应用特点

在集装箱这种离散制造业领域当中,该技术呈现出十分突出的特点。其一便是有着相当高的生产柔性。借助软件来定义工艺流程,并且采用模块化的方式去开展设计工作,如此一来,系统便可以极为迅速地对多品种以及小批量的订单做出响应,能够灵活地对生产路径以及程序加以调整,切实有效地化解了传统生产线在转产时速度过慢的这一难题。其二是整个生产流程都是由数据来驱动的。从原材料一直到最终的成品,在这个过程当中,每一个物料以及每一项工序都会被赋予相应的数字身份,它们的状态会在整条产业链路之中得到实时的追踪以及详尽的记录,进而使得生产过程彻底实现透明化。最后是该系统具有持续不断进化的特性。凭借机器学习算法,系统可以从以往

的历史数据当中自主地展开学习活动,不断地对控制参数予以优化,同时还能对设备状态做出预测,由此便具备了一定程度上的自优化以及自适应的能力。

2 集装箱制造工艺流程及自动化需求

2.1 主要工艺流程分析

标准干货集装箱的制造流程是连续且复杂的,其中涵盖了诸多环节,像钢材预开卷这一项,还有矫平操作、打砂处理,部件切割以及冲压工序,另外焊接工作也包含在内,涉及箱体总装焊接,之后还要进行整体打砂,接着是喷涂作业,烘干步骤也不能少,最后得完成地板铺设、附件安装以及水密测试等工作。这些工序彼此紧密关联,物料在各个环节间频繁流转,要是哪个环节出现瓶颈情况,那么势必会对整体产出效率以及成本产生直接影响。

2.2 生产中的关键控制环节

在这些环节当中,有几个环节对于控制精度以及稳定性的要求是相当高的。就焊接工艺而言,其质量会直接对箱体结构强度和密封性起到决定性的作用。而采用传统的手工操作方式来进行作业的话,就很容易会出现变形、气孔之类的种种缺陷。再看涂装工艺,涂层的均匀程度以及厚度这两方面的情况,将会直接影响到产品的使用寿命。并且传统喷涂这种方式还存在着 VOCs 排放量偏高、工作环境状况较差等一系列问题。还有装配与紧固工艺,比如说像大量螺钉的锁固这类工作,其性质往往是重复且单调的,所以就特别容易出现漏打或者是扭矩分布不均等这样一些质量问题。

2.3 自动化与智能化需求

经过上述分析能够看出,集装箱制造业对于自动化以及智能化方面的需求是明确而又紧迫的。就效率和质量而言,该行业迫切需要用机器来取代人力,以此来应对因人口红利消失而带来的种种挑战,进而达成稳定且高效能的标准化生产状态。就好比说,有些企业已然设定了“每30s 便要生产出一个标准集装箱”这样的极为苛刻的生产节拍目标。从过程控制这个层面来讲,得针对焊接电流、电压、速度这些方面,还有喷涂的流量、压力、雾化效果这些情况,以及装配的定位精度、锁固扭矩等关键工艺参数展开毫秒级别的实时监测与闭环调节操作,借以确保产品的高度一致性^[2]。在能源与成本方面,随着“双碳”目标不断向前推进,企业务必要对电力、压缩空气这类能源的消耗实施精细化的管理举措,并且依靠预测性维护手段来削减非计划停机的情况发生,最终实现降低综合运营成本的目的。在系统管理这个层面,得把信息孤岛彻底打通,达成从订单下达一直到产品交付的全流程数字化管控效果,以此提高企业针对市场变化所具备的快速响应的能力。

3 智能化电气自动控制技术在集装箱制造中的具体应用

3.1 自动化切割与成型控制

在钢材的切割以及成型相关环节中,智能化控制技

术已然获得了较为深入的应用。激光切割机在接收到由上层生产管理系统所发出的排产指令还有图纸数据之后,便能够自主地去完成板材的定位工作,并且还能开展高精度的切割操作。它的控制系统把视觉识别以及 PID 调节算法给整合到了一起,如此一来便能够在实际运行过程中实时对因板材温度或者材质存在细微差异而产生的切割误差加以补偿,进而保证每一个零件的尺寸公差都能够被严格地控制在毫米级别的范围之内。就复杂的型材弯曲以及冲压成型这一情况而言,在 EtherCAT 总线等具备高速实时通信功能的网络的控制之下,伺服压力机和折弯机是可以达成多轴之间高度协同运动的状态的。

3.2 焊接过程的智能监控与调控

焊接领域乃是智能化应用最为集中的场景所在。就天津中集集装箱有限公司的实际践行情况来看,该公司的焊接车间安排部署了接近 100 台焊接机器人,并且借助中央系统来开展集群调度方面的相关工作。每一台机器人均集成了多种多样的传感器,能够实时对焊接参数以及熔池图像加以采集。这些所采集到的数据经过边缘计算或者云端 AI 算法的分析处理之后,便能够自动对焊缝予以识别并且进行跟踪操作,同时还能依据实际情况动态地对机器人姿态以及参数做出相应调整,进而达成自适应焊接的效果。

3.3 涂装与烘干系统的精确控制

在绿色制造的发展趋势之中,涂装环节的智能化改造显得格外重要。以中集环科所建成的行业首条全自动粉末喷涂线作为例子来看,它成功地达成了从源头上开展的“油改粉”工作。整个喷涂房的环境温度、湿度以及送排风压力,都是依靠安装在现场的各类传感器来展开实时监测的,并且还由 PLC 和 DCS 系统组合而成的双层控制网络来进行细致的调节操作,以此来保证房内能够形成稳定且均匀的空气流场。对于粉末喷涂机器人而言,其运动轨迹以及出粉量,会由数字孪生系统提前进行仿真实验并加以优化处理。在实际的生产过程当中,数字孪生模型和物理产线能够实现实时的同步状态,可以持续不断地对实际喷涂效果和仿真预期进行比对,并且还能依据实际情况动态地调整相关参数,进而能够在复杂形状的罐箱表面上形成厚度较为均匀的涂层,这不仅极大地提升了粉末的利用率,而且几乎将 VOCs 排放给彻底消除了。

3.4 装配与检测的自动化集成

在最终的装配以及检测这个阶段,智能化技术达成了从部件分配一直到最终检验的集成效果。当生产线发出拖箱拉箱需求方面的指令之后,系统会自动对 AGV 小车进行调度,依照由最优路径算法(LES)所规划出来的最为高效的那条路线,把集装箱托举运送到相应的工位上。在木地板铺装紧钉工位上,专门的智能机器人结合了视觉定位、扭矩传感以及 EtherCAT 总线伺服控制等一系列技术。该机器人能够自主地移动并精准定位,依靠图像识别来确

定螺孔的具体位置,并且能够实时对螺丝锁入时的扭矩以及深度加以监控。要是碰到了工具出现磨损或者螺丝发生浮锁这类异常情况,它可以根据预先设定好的逻辑来自动进行处理,像是补偿扭矩又或者是更换螺钉,以此保证每一颗螺钉的装配质量都能够既可靠又可以被记录下来。完成装配之后的集装箱,它的水密性测试所得到的数据、关键尺寸检测的结果等,都会自动录入到“云箱管理系统”当中,进而生成独一无二的“数字身份证”,从而实现了对产品整个生命周期的质量追溯以及智能化的管理。

4 应用效果与优化策略

4.1 生产效率与质量提升分析

智能化转型能够促使效能以及质量实现质的飞跃。以宁波中集为例,在2025集装箱多式联运亚洲展上所披露的信息显示,借助于大规模机器人应用以及产线集成,其单条产线的人均生产效率得以提升,提升幅度超过了50%,并且还达成了每30s便能下线一个标准集装箱这样的高节拍状态^[3]。质量方面的提升也是颇为显著的,机器执行所具备的稳定性让焊接、涂装的一次合格率这一关键指标得到了大幅度的改善。而全过程的数据采集则促使质量管控从原本的事后抽检转变为了实时且全数的预防性管理方式。具体的应用效果可参考表1。

表1 智能化电气控制技术在集装箱制造关键环节的应用效果分析

应用环节	核心控制技术	关键性能指标提升
焊接	机器人集群控制、多传感器融合、AI焊缝识别与自适应调节	焊接精度达毫米级;单线人均生产效率提升超50%
涂装	全自动粉末静电喷涂、闭环温湿度与风压控制、数字孪生仿真优化	VOCs排放接近零;涂料利用率大幅提高
装配与物流	AGV调度系统(LES最优路径算法)、视觉引导机器人、RFID全流程追踪	物流效率提升;实现30s/箱的生产节拍
能源管理	电气数字化平台、AI能耗预测与优化调度	系统抗干扰能力增强;实现碳足迹精准核算

4.2 能源管理与成本控制优化

智能化乃是精细化成本控制极为关键的一环。那覆盖整个厂区的电气数字化平台,能够对各级能耗展开实时的监控工作,而AI能源管理系统则可开展负荷预测以及智能调度等相关操作,进而达成“削峰填谷”的效果。在涂装烘干等诸多环节当中,精准温控模型把热能浪费的情况给减少了。并且更为重要的是,预测性维护模型借助对设备运行数据所呈现出的趋势加以分析,能够在故障发生之前发出预警,使得维修方式从原本的被动维修转变成了主动计划,如此一来便大幅度降低了非计划停机所带来的损失以及维修成本。像中集环科等重点打造的碳管理数字化平台试点,更是把成本控制的范围延伸到了碳资产领域,从而为企业的绿色转型奠定了相应的数据基础。除此之外,

像以“数”造质量管理模式这类全流程数字化管理方式,能够在设计周期、生产成本等多个方面都带来综合效益的优化,具体的情况如表2所示。

表2 智能化转型中的系统可靠性与综合效益分析

关注维度	传统模式面临的挑战	智能化控制策略与改进	预期效益
生产效率	生产节拍慢,人均产出低	机器人、机器人集群协作、精益化生产管理	实现30s/箱节拍,人均生产效率提升超50%
质量与成本	质量波动大,设计生产周期长,成本控制粗放	全生命周期数据链管理、数字孪生仿真优化	设计周期压缩22%,生产成本下降12%,产品不良率下降26.83%
系统可靠性	硬接线复杂,故障点多;设备状态未知,突发故障多	采用IED互联、状态监测与预测性维护体系	提升生产连续性保障能力,降低突发停机风险与维修成本
绿色低碳	VOCs排放高,能耗大,碳管理缺失	源头“油改粉”、能源精细化管理、碳足迹平台	VOCs排放接近零,实现精准碳核算,支撑绿色转型

4.3 系统可靠性与维护策略

复杂智能系统能够可靠地运行,这是实现成功转型的重要基础。通过采用智能电气设备也就是IED,同时运用工业互联网协议,如此一来便取代了大量的硬接线,把故障点的数量减少了,并且还让系统的扩展性得到了增强。对于关键设备而言,其具备的“故障主动上报”机制,可以依据状态监测所获取的数据来对性能出现的劣化情况发出预警,进而促使运维模式从以往的“故障后响应”逐步转变为如今的“故障前干预”^[4]。基于数字孪生打造的设备全生命周期管理系统,能够在虚拟的空间当中针对维修、换型等一系列作业展开仿真验证的操作,借此对维护方案加以优化,同时也使得管理的标准化程度得以提升。

4.4 未来技术融合与发展方向

未来,技术融合的发展会更为深入,“AI+数字孪生”将会成为标配,让工厂变成一个可以持续学习并且自主优化的“数字生命体”,5G技术在不断普及,这能支持更高精度的实时控制以及更大规模的设备无线互联,给极致柔性制造打下基础,智能化和绿色化这两个方面的驱动作用会越来越突出,电气控制系统会和光伏、储能等清洁能源高度融合起来,达成生产用能的智慧微网管理,最后凭借工业互联网平台,构建起一个透明、高效且有韧性的全球集装箱智能制造生态。

5 结束语

智能化电气自动控制技术正在带领集装箱制造业达成一场颇为深刻的范式变革。从实际运用的情况来讲,该技术借助数据驱动以及智能决策的方式,在效率方面、质量方面、能耗方面还有系统可靠性等诸多不同维度都创造出了实实在在的价值。虽说转型的过程是需要不断地投入

资源以及智力的,然而在全球竞争以及可持续发展这双重的压力情况之下,坚定且毫不动摇地去走一条以“硬件+算法+数据”当作核心的智能化并且绿色化的发展道路,这无疑是集装箱制造企业在构筑未来的核心竞争力时所做出的战略性选择。

[参考文献]

[1]王永壮.岸边集装箱起重机制造项目的全生命周期管理研究[J].模具制造,2025,25(12):271-273.

[2]杜兴民.基于改进遗传算法的集装箱制造生产线布局自

动优化方法[J].现代制造技术与装备,2025,61(5):189-191.

[3]魏少鹏,高颂庆,马龙飞,等.铁路集装箱专用平车配件制造偏差分析及控制措施[J].金属加工(冷加工),2025(2):57-60.

[4]吕勤晓.基于自动化技术的轨道式集装箱龙门起重机制造工艺研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(6):204-206.

作者简介:洪连辉(1979—),男,汉族,天津人,学士,天津中集集装箱有限公司,研究方向:智能制造,低碳节能。

筑路机械新能源化发展及充换电技术研究

郭涛

山西省交通新技术发展有限公司, 山西 太原 030012

[摘要]随着能源结构的转型以及绿色发展理念不断向前推进, 新能源技术在工程机械领域当中的应用变得日益重要起来。筑路机械属于道路建设的核心装备, 其朝着新能源化进行转型, 一方面能够提升施工的效率, 另一方面也能够降低相关的成本, 同时还对环境保护以及可持续发展起到了助力的作用。文中较为系统地去分析设备管理所具有的重要性、当前的技术现状以及未来的发展趋势, 同时也涉及充换电技术还有基础设施的建设情况, 还对电动与混合动力筑路机械的应用特点进行了梳理, 并且深入探讨了充换电技术方面的创新以及优化布局的相关事宜。研究得出的结论显示, 科学合理的管理方式、先进的动力技术以及完善的充换电体系, 能够在很大程度上提升施工的效率、增强施工的安全性以及提高经济方面的效益, 并通过对封闭施工场景下充电与换电模式的对比分析, 为不同施工环境下的能源管理提供优化参考, 从而推动整个行业朝着绿色化以及智能化的方向不断发展前行。

[关键词]筑路机械; 新能源化; 充换电技术

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18596

中图分类号: U45

文献标识码: A

Development of New Energy for Road Construction Machinery and Research on Charging and Swapping Technology

GUO Tao

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

Abstract: With the transformation of energy structure and the continuous advancement of green development concept, the application of new energy technology in the field of construction machinery has become increasingly important. Road construction machinery belongs to the core equipment of road construction, and it is transforming towards new energy. On the one hand, it can improve construction efficiency, and on the other hand, it can reduce related costs. At the same time, it also plays a supportive role in environmental protection and sustainable development. The article systematically analyzes the importance of equipment management, current technological status, and future development trends, as well as the construction of charging and swapping technology and infrastructure. It also sorts out the application characteristics of electric and hybrid road construction machinery, and explores in depth the innovation and optimization of charging and swapping technology layout. The conclusion drawn from the research shows that scientific and reasonable management methods, advanced power technology, and a perfect charging and swapping system can greatly improve the efficiency, safety, and economic benefits of construction. Through comparative analysis of charging and swapping modes in closed construction scenarios, it provides optimization references for energy management in different construction environments, thus promoting the continuous development of the entire industry towards green and intelligent direction.

Keywords: road construction machinery; new energy transformation; charging and swapping technology

引言

我国基础设施建设发展速度较快, 道路施工对于筑路机械的需求也在持续增加。传统燃油机械存在着能耗偏高、污染情况较为严重、维护成本相对较大以及施工效率受到限制等一系列问题。新能源技术不断发展, 带来了电动与混合动力等多种不同的选择, 能够达成节能减排的目的, 使运营成本得以降低, 并且对施工流程起到优化作用。与此新能源化对于设备管理提出了更高的要求, 通过科学的管理方式, 可以充分挖掘出机械性能的优势, 以此来保障施工的质量与安全。本文综合国内外的发展现状以及充换电技术方面的创新成果, 深入探讨其在工程实践当中的应用价值以及未来的发展趋势, 从而为实现绿色高效的施工

给予一定的理论以及实践层面的参考依据。

1 新能源筑路机械管理的重要作用

1.1 提高施工效率

新能源筑路机械, 像电动压路机、混合动力摊铺机这类设备, 借助电池管理系统(BMS)以及智能控制技术, 在施工现场能够达成连续作业的状态, 以此来确保施工效率得以维持。就好比北京市地铁沿线改造项目的案例, 其采用了电动压路机, 在每天长达8h的作业时段里, 仅仅需要大约1h的时间来进行充电操作, 便可以确保施工高效且连续地开展下去, 其摊铺效率还提升了大概20%。通过对机械设备予以合理的调度安排, 并且对充换电策略加以优化, 那么就能降低因充电导致停机而产生的效率方

面的损失，进而使得施工周期得以缩短。

1.2 降低能源消耗与运营成本

和传统的燃油机械相比较而言，新能源机械在燃料消耗以及尾气排放这两方面都有着十分突出的降低效果。借助夜间充电这一方式，还有换电模式以及能量回收系统，是能够对能源的利用情况进行有效优化的，进而促使经济效益得以提升。就好比在上海市政道路开展施工的时候，运用了混合动力摊铺机以及移动换电站，如此一来便让燃油消耗降低了大约百分之十二，维修成本也下降了大概百分之十，并且还能确保施工的连续性，从而达成节能和高效二者兼顾的目标。

2 新能源筑路机械技术现状与发展

2.1 新能源动力类型及应用

2.1.1 电动筑路机械

电动筑路机械把电池当作主要的动力来源，在施工现场能够达成纯电动作业，如此一来，噪声污染以及尾气排放得以大幅降低。在城市道路、居民区还有地铁施工这类封闭的环境当中，电动机械所具备的低噪声以及零排放的优势显得格外明显。就好比北京市地铁沿线开展的改造工程里，电动压路机在每天平均工作 8h 的时候，其噪声水平降低了大约 25%，尾气排放几乎接近于零，并且还确保了连续作业的能力。近些年来，随着锂电池能量密度的逐步提升，其成本也在不断地降低，电动筑路机械在摊铺机、压路机以及铣刨机等设备当中的应用变得越来越普遍。和传统的燃油机械相比，电动设备的结构变得更加简单，故障点相应地减少了，维护的成本也有所降低，作业的可靠性得到了提升。在封闭的施工场景之下，借助配套的充电基础设施或者换电系统，能够进一步对续航以及连续作业的能力予以保障。比如上海市政道路施工项目，其采用了夜间慢充的方式来补充能量，并且在施工高峰期还配备了移动换电站，如此便实现了连续的白天作业，作业效率提升了大约 20%，这为绿色施工以及可持续发展给出了切实可行的技术方面的方案。

2.1.2 混合动力筑路机械

混合动力筑路机械把内燃机跟电动系统融合到一起，能够达成动力的高效输出以及能量的优化回收，在施工期间，系统能够依据作业负荷来智能地切换动力模式：在高负荷的状态之下，是由内燃机占据主导地位；而在低负荷或者空载的状态当中，则是由电动系统来驱动，如此一来便能够降低燃料的消耗还有尾气的排放。比如说，广东的某个高速公路扩建项目就采用了混合动力摊铺机展开连续施工，同时配合着制动能量回收系统，其燃油消耗降低了大约 12%，日均作业效率提高了 15%。在封闭施工的场景之中，可以结合夜间充电或者换电模式来优化能源管理，达成作业连续性与节能减排这两个目标。

2.2 国内外发展现状

在全球范围内，新能源筑路机械的发展呈现出快速增

长的态势。欧美一些发达国家在电动以及混合动力机械的研发以及应用方面起步相对较早，由此形成了比较完善的技术标准以及产业链。就好比德国的 BOMAG 公司，其已经在高速公路开展施工工作的过程当中，大规模地去运用电动压路机了。从该公司的数据来看，在作业条件相同的情况之下，电动压路机能够使得能源消耗降低大概 15%~20%，而且其噪音水平相较于传统的燃油机械来讲，还降低了差不多 30%。再看法国，LIEBHERR 公司所开发出来的电动摊铺机，已经能够在城市道路展开建设工作的过程中投入使用了。与之相比，我国的新能源筑路机械起步是比较晚的，不过近些年在政策引导、技术研发以及市场推广等方面都收获了显著的进展。就像徐工集团那样，在城市道路以及市政工程领域积极去推广电动压路机还有混合动力摊铺机，如此一来便达成了施工现场实现零排放的试点目标。再看中联重科，在开展大型高速公路施工相关工作的时候应用混合动力机械，这一举措使得燃油消耗能够降低大约百分之十至百分之十五，并且还确保了连续作业的能力得以维持。

2.3 技术发展面临的挑战与机遇

虽然新能源筑路机械于施工效率、环境保护以及经济效益等方面有着明显的优势，不过其发展依旧面临着技术、经济以及管理等诸多方面的挑战。动力电池还有氢燃料电池的能量密度、寿命以及安全性都还需要进一步提升，这在很大程度上对设备的续航能力以及高负荷作业性能形成了制约。充换电基础设施不够完善，并且加氢站的布局也存在不足之处，如此一来，设备在开展远程或者大规模施工的时候就会碰到能源供应方面的瓶颈。与此新能源机械在初期的购置成本是比较高的，其经济可行性得依靠长期的运营效益来加以平衡。不过，随着电池技术、燃料电池技术以及智能控制技术不断地取得突破，新能源筑路机械迎来了从来没有过的好发展机遇。借助政策方面的支持、技术层面的创新以及产业链的协同合作，新能源动力装备在未来施工项目当中，其普及率将会得到大幅度的提升，进而为绿色施工以及道路基础设施建设给予可靠的保障。

3 充换电技术与基础设施研究

3.1 充电技术及应用模式

随着电动筑路机械不断推广开来，充电技术已然变成保障施工连续性以及作业效率极为关键的一个环节。就当下而言，充电技术主要涵盖直流快充还有交流慢充这两种模式。其中，直流快充可以在相对较短的时间内完成高功率充电操作，进而让设备可快速恢复作业的能力，它比较契合工期较为紧张或者需要连续作业的那种场景。与之不同的是，交流慢充是以低功率且长时间充电作为主要特点，更适宜于夜间或者施工间歇期间进行能量的补充。伴随智能控制技术持续发展，充电系统逐步达成了智能化管理的

状态^[1]。借助电池管理系统对充电状态、温度以及电压加以监控，如此便能对充电策略予以优化，提升能量利用的效率，同时也能延长电池的使用寿命。与此无线充电技术也在部分施工试点当中得到了实际的应用，其是通过感应耦合的方式来达成机械设备的非接触式充电，从而给施工现场带来更为便捷的一种能源补给方案。不论是哪种充电模式，其核心所追求的目标都是要保证设备在施工进程当中能够拥有充足的能量供应，进而实现连续、高效并且安全的作业状况。

3.2 换电技术及应用模式

换电技术是解决续航以及充电时间方面限制的关键手段，其在新能源筑路机械领域正逐步受到重视。模块化电池换电系统借助统一标准的电池模组，达成机械设备在较短时间里迅速完成电池更换的目的，不必像传统方式那样长时间停机充电，如此便提升了施工的连续性以及作业的效率。移动换电站还有远程换电系统，能给大型施工项目给予灵活的能源补给方案，可在施工现场或者远程工区快速布置到位，保障多台设备开展高效的作业^[2]。并且，换电技术跟智能管理系统相结合之后，能够做到对电池状态加以监测、出现故障时发出预警以及对调度予以优化，凭借实时数据展开分析，以此来引导换电操作，进而提升机械设备的使用效率以及安全性。换电模式一方面可以缓解施工现场电能供给方面的压力，另一方面还能减少对高功率充电桩的依赖程度，从而为新能源筑路机械在大规模工程项目当中进行推广给予技术层面的有力支撑。

3.3 充换电基础设施建设与优化布局

充换电基础设施的建设属于新能源筑路机械可持续应用的基石保障范畴。合理的基础设施布局应当综合考量施工项目规模、施工周期以及设备使用频率等要素展开科学规划，以此来确保能源供应具备连续性与可靠性。在城市道路施工场景下，可把固定充电桩布置于施工场地周边，进而达成集中充电以及能量管理的目的；而在高速公路、大型桥梁以及偏远工区施工情形中，移动充换电站和远程供电设施能够满足设备开展远程作业的相关需求^[3]。除此之外，借助智能化管理系统的运用，可实现对充换电资源的优化调度，即通过实时监控各个充换电站的使用状况以及电池库存情况，达成动态分配与高效利用的效果，从而提升整体施工效率以及资源利用率。凭借基础设施建设和技术管理的协同发展，新能源筑路机械在施工现场的应用便能实现持续、高效且安全的能源供给，进而为行业迈向绿色转型给予有力保障。

3.4 封闭施工场景下充电与换电模式对比分析

在城市道路改造以及地铁施工这类封闭场景当中，新能源筑路机械所采用的充能方式会对施工效率以及连续作业的能力产生直接影响。其主要的充能方式包含充电模式还有换电模式这两种。充电模式能够借助直流快充或者

交流慢充的方式来达成能量的补充，这种方式比较适合在施工的间隙时段或者是夜间设备停机的时候使用；而换电模式则是凭借模块化电池又或者是移动换电站来快速地更换电池，以此能够确保实现连续且高频的作业。实际操作情况显示，直流快充大概能够在1~2h的时间里补充大约80%的电量，不过还是会存在着间断性的停机状况，就好比在北京市的市政道路改造工程项目里，电动压路机在长达8h的作业期间，其中有差不多1h的时间是用来进行充电的。换电模式仅仅只需要5~10min便可以完成电池的更换工作。移动换电站能够灵活地对电池进行调度安排，进而适应多台设备同时开展作业的需求（见表1）。在封闭施工的现场，一般会采用“充电+换电”的组合策略：也就是在夜间利用慢充的方式来来进行能量的补充，在白天依靠换电的方式来保障施工能够连续进行下去，如此一来便能够提升施工的效率、减少设备停机的时间并且对能源管理工作加以优化。

表1 两种模式的主要指标对比

指标	充电模式	换电模式
补能时间	1~8h	5~10min
连续作业能力	中	高
初期投入	较低	较高
电池管理难度	低	中高
适用场景	夜间或作业间隙	高密度连续作业

4 结语

新能源技术持续发展并不断深化应用，同时充换电技术也得以应用，这给筑路机械行业实现绿色转型给予了可靠的助力。在设备管理方面做到科学合理，在动力系统方面具备先进水平，并且充换电基础设施也较为完善，如此一来，施工效率、安全性以及经济效益便能够同步地得到提升。仔细分析国内外技术当前的实际状况、应用的具体实践以及未来的发展趋势，就能够清楚地知晓新能源筑路机械在未来工程项目当中所具有的重要价值。在未来，伴随技术不断取得突破以及管理持续进行优化，新能源筑路机械会在施工效率、环境保护以及可持续发展等诸多方面发挥出更大的作用，进而为道路建设行业达成高质量发展给予稳固有力的保障。

[参考文献]

- [1]王艳.公路工程施工中筑路机械设备管理要点的探析[J].汽车周刊,2025(11):179-181.
- [2]李银刚.筑路机械信息化管理在公路工程养护中的应用[J].运输经理世界,2025(8):145-147.
- [3]白海全.筑路机械管理存在的问题及改进措施[J].运输经理世界,2024(13):79-81.

作者简介：郭涛（1988.9—），毕业院校：太原科技大学，所学专业：机械设计制造及其自动化，当前工作单位：山西省交通新技术发展有限公司，职称级别：副高级工程师。

化工机械轻量化与节能化协同设计技术

牛天芳

河北科防治金安全评价有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]针对化工行业普遍存在的高耗材、高能耗的发展痛点, 提出轻量化与节能化深度融合的协同设计技术体系, 通过多维度的优化策略, 提高资源利用效率与系统的性能。通过多学科建立协同设计的理论框架, 对材料结构以及能耗的耦合关系进行清晰明确, 基于实际情况构建优化措施, 整合轻量化与节能化目标。研究结果显示, 协同设计技术的应用可以有效降低能量损耗, 文章研究为化工机械的绿色化升级就够提供了切实可行的技术路径, 以供参考。

[关键词]化工机械; 协同设计; 轻量化; 节能化; 多目标优化; 多场耦合仿真

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18581

中图分类号: TU201

文献标识码: A

Collaborative Design Technology for Lightweight and Energy-saving of Chemical Machinery

NIU Tianfang

Hebei Kefang Metallurgy Safety Evaluation Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In response to the common pain points of high consumables and high energy consumption in the chemical industry, a collaborative design technology system that deeply integrates lightweight and energy-saving is proposed. Through multidimensional optimization strategies, resource utilization efficiency and system performance are improved. Establish a theoretical framework for collaborative design through multiple disciplines, clarify the coupling relationship between material structure and energy consumption, construct optimization measures based on actual situations, and integrate lightweight and energy-saving goals. The research results show that the application of collaborative design technology can effectively reduce energy loss. This article provides a practical and feasible technical path for the green upgrading of chemical machinery for reference.

Keywords: chemical machinery; collaborative design; lightweight; energy-saving; multi objective optimization; multi field coupling simulation

引言

化工行业在实际的生产过程中, 涵盖一系列复杂的物理与化学反应过程, 对化石能源的消耗比较大^[1], 且在生产过程中伴随着材料消耗以及大量的碳排放。现代化工工艺迅速演变, 传统化工机械设备的性能、安全和效率逐渐难以与之匹配。特别是在精细化工、高端材料合成和绿色反应工程中, 对于设备的需求已经不限于反应的基本承载, 而是更加注重其对于复杂反应体系的调控能力、极端工况适应性以及其长时间工作可靠性。化工机械承载着整个生产过程的关键载体, 其设计水平的高低接决定着行业的资源利用率以及能耗效率。我国十分重视节能降耗问题, 从化工机械设计制造的角度进行分析, 自动化技术的应用可以提高化工机械设计制造的节能性, 有助于相关资源的充分利用, 有助于保证化工机械制造经济效益最大化^[2]。然而常规的化工机械设计将安全作为核心的考量目标, 在设计方面通常采用“经验冗余”设计模式, 这种设计模式不仅导致设备重量较大, 而且在运行过程中能耗较高, 在一定程度上大大提高了设备的制造、运输成本, 同时也加剧了能源的浪费, 对环境造成污染。伴随着绿色制造理念的深度渗透, 以及在双碳战略的引领下, 化工机械升级进程中轻量化与

节能化尤为关键^[3]。鉴于此, 为了达成两者的平衡优化目标与有机融合, 本文研究致力构建一套轻量化与节能化协同设计技术体系, 助力产业转型升级。

2 化工机械轻量化与节能化协同设计理论基础

2.1 协同设计的核心内涵

轻量化与节能化协同设计策略的核心目标主要是确保化工机械全生命周期综合性能最优, 通过多学科协同与多目标的优化, 进而实现减少材料的使用量, 以及降低化工机械在运程过程中的能耗^[4]。其中目标协同主要是突破轻量化设计与节能化设计各自孤立优化的传统范式, 构建“减重-节能”双向驱动、协同共进的目标体系架构; 学科协同主要是通过融合材料科学、热力学、结构力学等学科的前沿理论体系, 拓展设计的思路, 解决单一学科的局限性流程协同主要是基于实际情况构建一个贯穿设计初始阶段到性能验证阶段的全流程协同框架, 在此框架下动态监测和优化设计。

2.2 材料-结构-能耗耦合机制

化工机械的轻量化与节能化性能主要源自于结构形态设计、材料的固有属性以及能耗的传递机制的相互作用, 共同形成了多维度的耦合关系。

(1) 材料-结构耦合: 材料固有的属性是影响结构在

实现轻量化目标过程中的关键因素，如强度、密度等直接影响结构设计的轻量化与可行性。

(2) 结构-能耗耦合：结构形态对能量的传递效率有着直接性的影响。通过科学合理的优化结构布局，既能提高能源利用效率，又可达到节能降耗的目标。

(3) 材料-能耗耦合：材料的热导率、阻尼特性等参数对设备的振动能耗状况，热损耗有着直接性的影响，其中低导热材料应用可以减少热交换过程中能量的散失，可以提高设备的能源利用率，高阻尼材料可以有效抑制振动过程中能量的无谓损耗。

基于上述耦合机制，建协同设计理论模型框架(图1)。

3 化工机械轻量化与节能化协同设计的基本原则

3.1 安全优先原则

通常化工机械工作主要处于强腐蚀性、高压高温等极端工况环境中，因此在化工机械设计过程中需要优先考虑安全因素。在化工机械协同设计的过程之中，无论是推行何种高效的节能方案，还是采用何种轻量化的材料，均要全面满足安全运行的标准。在确保设备密封性能强度的前提下，实现减重或节能效果。

3.2 目标平衡原则

在化工机械的设计优化进程中，轻量化与节能化的目标常常呈现出一定程度的矛盾。部分高强度轻量化材料虽然具备出色的减轻设备重量的特性，但是应用成本比较高，在设计过程中将侧重点放于轻量化目标，可能导致前期项目成本提高。基于上述情况，在化工机械设计的过程中应该追寻目标平衡的原则，全面考量节能化与轻量化所带来的效率，结合工况的实际状况、设备的使用场景合理优化轻量化与节能化各自的优化权重。

3.3 全生命周期原则

在化工机械领域协同设计需全面且深入地贯穿化工机械的全生命周期，在设计阶段不仅要考虑材料的轻量化选用先进的新型材料，还需要兼顾动力的节能化，在设计方案时需要全面分析现有的制造工艺、设备能力，考虑制造过程的可行性与经济性；设备进入运行阶段挖掘轻量化设备的节能潜力，对设备的运行状态进行实时监测，自动调整设备的运行参数。在维护阶段，协同设计需要充分考虑轻量化结构的维护便利性，降低维护成本。在化工机械协同设计中全生命周期原则持续不断地贯穿于设备的整个使用过程，可以有效避免了因某一阶段的疏忽无法实现预期的设计目标，导致整体效益下降。

3.4 简洁实用原则

在化工机械协同设计方案务必遵循简洁可行这一核心准则，避免嵌入过多不必要的零件等过度复杂的设计增加制造难度，提高运维成本。因此，为了确保设备整体的可靠性与稳定性，在确保能够达成轻量化的前提下，尽量采用成熟的材料、结构与技术，降低设计与实施过程中的成本。简单合理的结构优化方案可提升协同设计方案的可操作性，相较于复杂的异形罐体与多层次的内部结构可以加快技术落地速度。

4 轻量化与节能化协同设计关键技术

4.1 轻质高性能材料选型与调控技术

4.1.1 多维度材料性能评估

材料选型是协同设计基石，关键要平衡轻量化潜力、节能特性与性能可靠性。需构建科学完备的材料评估指标体系(见表1)，评估时用归一化处理转化指标，全面筛选材料。

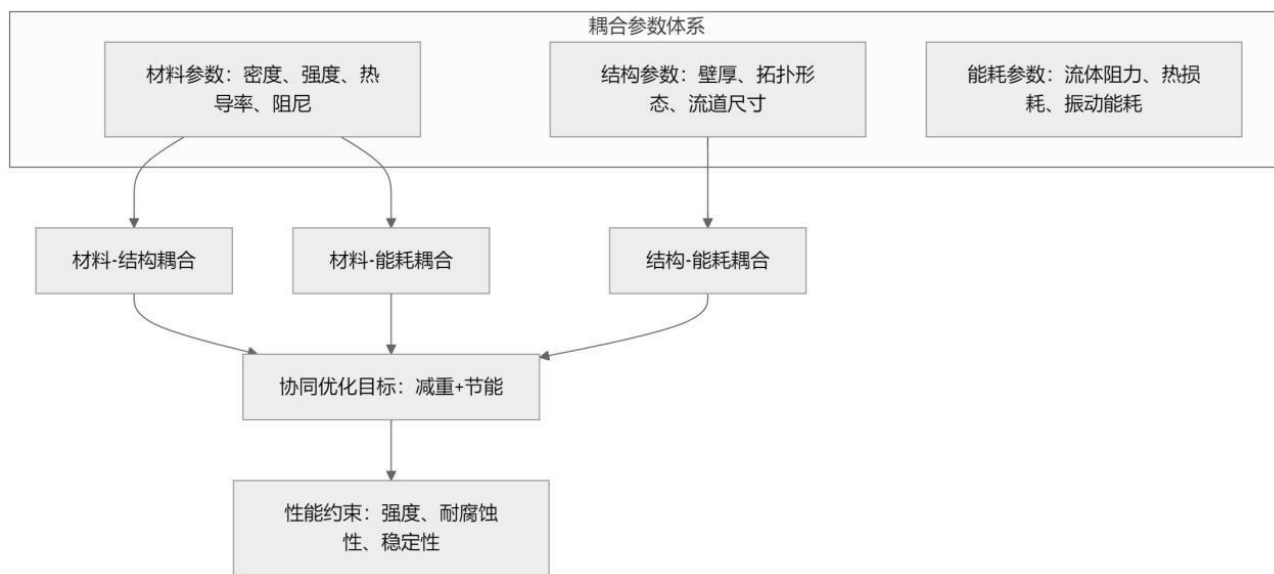


图1 材料-结构-能耗耦合机制框架

表 1 材料性能多维度评估指标体系

评估维度	核心指标	量化方法
力学性能	比强度、比刚度、疲劳强度	指标值/行业标准值
热性能	热导率、热膨胀系数	标准值/指标值（热膨胀系数）；指标值/标准值（热导率）
耐腐蚀性	PREN 值、腐蚀速率	PREN 值/35（临界值）；标准腐蚀速率/实际腐蚀速率
能耗特性	阻尼损耗因子、摩擦系数	指标值/基准材料指标值

4.1.2 材料改性与复合调控技术

对于单一材料所存在的性能不足问题，可以采用改性与复合技术。一方面对于金属材料而言，通过应用表面强化、热处理、合金化等干预措施，以提高金属材料的性能。通过对不锈钢实施氮合金化加工工艺处理，可以提高不锈钢的屈服强度，可达到 650MPa 量级，不仅可以达成材料减重的目标，而且增强不锈钢材料的耐腐蚀性^[5]。另一方面通过运用纳米复合纤维增强等前沿技术手段制备高性能的复合材料，借助科学的铺设设计实现性能定向调控。石墨烯改性环氧树脂在经过特殊的工艺处理之后可以提升阻抗模量，并且在耐腐蚀性方面展现出良好的提升效果。以碳纤维增强聚合物（CFRP）为例，通过 $\pm 45^\circ$ 铺层，可以提高其抗剪切的性能，同时，降低材料的密度。石墨烯改性环氧树脂可使阻抗模量提升 2 个数量级，显著增强耐腐蚀性。

4.2 结构优化与轻量化集成设计技术

结构优化作为实现轻量化与节能化协同增效的核心手段，过科学合理的结构重构设计也可提升节能效益。这种协同设计框架下的结构优化通过整合结构功能、优化结构形态达成质量效率与能源效率的双重优化。一方面，集成化结构设计通过拓扑优化方法将离散型部件重构为多功能一体化结构体系，减少部件数量与连接部位，种设计范式变革降低设备重量，同时减少装配误差，降低能量损耗。在化工装备创新设计实践中将电机、泵体、底座整合为一体化结构，采用多物理场耦合拓扑优化方法减少连接部件的重量，降低能量损耗。用拓扑优化法在满足性能约束下建立包含结构强度、刚度及动态响应的多目标优化模型实现材料最优分布与能量损耗最小，在满足结构强度与刚度要求的前提下，去除结构中的冗余部分，优化结构的受力分布，通过优化设计策略提升结构的可制造性。热交换、液体输送等关键工艺过程在化工机械领域中广泛存在，针对这些过程开展流固热耦合结构优化工作可以有效实现系统能源损耗的控制。流道结构的优化设计借助计算流体力学（CFD）仿真系统对流道内部的三维速度场、湍流特性分布规律以及压力场展开全面且深入的分析^[6]，通过参数化建模，对流道截面形状进行优化，在兼顾结构强硬要求的前提下，从而可以有效降低流体沿程阻力损失。

4.3 能耗与协同调控技术

将化工机械能耗细分为制造、运行、运输三阶段，构建全生命周期能耗管理措施。对于运行能耗过程中的关键核心环节进行针对性的靶向调控干预策略，对于驱动能耗优化调控方面，主要采用轻量化的设计理念，同时辅以高效传动结构的深度优化，可以有效降低旋转部件的惯性力矩，减少驱动功率的需求。当结构重量降低 10% 时，驱动能耗也相应降低。在热损耗的调控方面，除了优化材料导热率，同时进行保温结构的设计，该设计策略可以有效抑制设备与环境之间的热交换过程^[7]。在振动能耗调控方面主要应用高阻尼材料，并配合结构阻尼优化，从而可实现降低振动能量损耗的目的。

4.4 动力系统与轻量化设备的协同匹配技术

在化工机械体系中动力系统作为能耗核心，其与轻量化设备的协同匹配是达成节能化目标的关键所在。协同匹配技术的核心主要是以工况实际需求、轻量化设备的重量变化为依据，对动力系统的选型与控制策略进行不断的优化，通过这种优化手段确保动力输出与设备负载精准匹配，避免因动力不足而引发的设备运行效率低下等能耗浪费现象，防止因动力过剩而造成的能源无端损耗。当电机驱动的化工机械完成轻量化改造后，此时，必须重新对设备的运行负载进行精确核算，并基于核算结果选择功率更适配的电机，实现能源的高效利用。结合应用变频控制技术，以设备的实际运行负荷动态为依据，对电机转速进行合理调节，从而实现系统的节能运行。对于液压或气动驱动的设备，在实现轻量化改造后负载降低，此时需要对液压泵、气动泵的排量及压力参数进行优化调整，减少液压油，降低压缩空气的消耗。同时，采用节能型液压阀、气动阀，提升动力传输效率，实现动力系统与轻量化设备的协同节能^[8]。

5 协同设计性能验证方法

5.1 性能评价指标体系

构建协同设计性能评价指标体系，从轻量化、节能化、可靠性三维度量化评估（如表 2）。以实测或仿真得指标数据，对比基准方案评估协同设计效果。

表 2 协同设计性能评价指标体系

评价维度	核心指标	评价标准
轻量化性能	重量降低率、材料利用率	重量降低率 $\geq 15\%$ ，材料利用率 $\geq 85\%$
节能化性能	运行能耗降低率、热损耗降低率	运行能耗降低率 $\geq 10\%$ ，热损耗降低率 $\geq 20\%$
可靠性	最大应力安全系数、疲劳寿命、振动幅度	安全系数 ≥ 1.8 ，疲劳寿命 \geq 设计寿命，振动幅度 $\leq 5\mu\text{m}$

6 结论与展望

在化工行业不断发展过程中，新型化工机械装备的设计和应用的不断创新至关重要，本文研究成功构建了关于化工机械轻量化与节能化协同设计的技术体系，该体系通

过多学科技术的深度融合理论。首先对材料-结构-能耗的耦合机制进行了详细的阐述,构建系统性的理论框架,为后续的多目标协同优化研究奠定了理论基础。成功开发了拓扑优化与结构协同设计技术、轻质高性能材料选型与精准调控技术、能耗建模与动态调控技术三大关键技术,达成了轻量化技术与节能化技术的有机融合。同时,提出了层次分析法的方案决策方法,借助该方法可对众多设计方案进行精准的筛选,实现设计方案的全局优化。除此之外,本文研究还完善了性能评价体系,反复验证设计方案并加以改进,这种闭环优化迭代机制确保了设计方案的有效性与可靠性,可实现重量降低、运行能耗下降的协同效益。未来可引入数字孪生技术,紧密结合循环经济理念,构建化工机械的虚拟仿真模型体系与探索生物基轻质复合材料与可降解材料,进而提升协同设计的精准度与效率,降低设备全生命周期的环境负荷。

[参考文献]

- [1]张子彪.智能制造背景下机械设计制造及其自动化技术发展趋势分析[J].大众标准化,2023,11(11):140-142.
- [2]陈威.机械设计制造及其自动化的优势及发展趋势探讨[J].机电产品开发与创新,2023,36(2):162-164.
- [3]王子健,汤浩淼,陈献策.化工机械设计制造及其自动化的特点、优势和发展趋势[J].当代化工研究,2022(3):20-22.
- [4]祖锡华.机械设计制造及其自动化特点与优势以及发展趋势研究[J].产业创新研究,2021,11(8):89-91.
- [5]赵粉菊.机械设计制造及其自动化的发展趋势研究[J].内燃机与配件,2021(6):187-188.
- [6]李翔宇.机械设计制造及其自动化发展趋势探讨[J].湖北农机化,2020(3):64.
- [7]孙杰.机械设计制造及其自动化的特点与优势及发展趋势研究[J].科技风,2019,11(18):159-160.
- [8]王冬寒.基于机械设计制造及其自动化特征分析的发展趋势研究[J].电子测试,2019,11(8):132-133.

作者简介:牛天芳(1985.6—),毕业院校:河北工业大学,所学专业:化学工程与工艺,当前就职单位:河北科防冶金安全评价有限公司,职务:安全评价师,职称级别:中级。

高压差阀门抗气蚀结构优化与流体动力学分析

王晓峰

石特阀门股份有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]在工业管路系统中高压差阀门主要承担着压力的控制流量调节相关职能,然而在具体的工况中,一旦出现气蚀现象,会引发一系列严重的问题,例如震动幅度加剧,导致阀门内部逐渐磨损,提高噪声水平,均会对系统的稳定性运行造成严重的影响,同时也会缩短阀门的使用寿命。因此,为了进一步提高高压差阀门抗气蚀性能,基于流体动力学的基本原理探讨阀芯、阀座及流道等关键结构的优化与设计思路,从而避免气蚀对阀门运行产生的严重干扰,旨在为高压差阀门抗气蚀结构设计提供基础理论参考。

[关键词]高压差阀门; 气蚀; 结构优化; 流体动力学

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18579

中图分类号: TE357

文献标识码: A

Optimization of Anti-cavitation Structure and Fluid Dynamics Analysis for High Pressure Differential Valve

WANG Xiaofeng

Shite Valve Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In industrial pipeline systems, high-pressure differential valves mainly undertake the functions of pressure control and flow regulation. However, in specific working conditions, once gas turbidity occurs, it can cause a series of serious problems, such as increased vibration amplitude, gradual wear and tear inside the valve, and increased noise level, all of which will have a serious impact on the stable operation of the system and shorten the service life of the valve. Therefore, in order to further improve the anti gas turbidity performance of high-pressure differential valves, based on the basic principles of fluid dynamics, this paper explores the optimization and design ideas of key structures such as valve cores, valve seats, and flow channels, in order to avoid serious interference from gas turbidity on valve operation, which provides a basic theoretical reference for the design of anti gas corrosion structures for high-pressure differential valves.

Keywords: high pressure differential valve; cavitation; structural optimization; fluid dynamics

1 概述

1.1 研究背景

高压差阀门广泛应用于石油石化、电力能源、水利水电等行业,在这些行业的生产过程中,阀门经常承受较大的压力波动及高流速的冲击^[1]。在阀门前后存在较大压力差的情况下,流体在阀门内部某些部位产生的压力将低于对应温度下液体的饱和蒸汽压,从而使流体中所含水分汽化产生大量气穴,它们随着介质流向高压区,在压力增高后被击碎,并产生很高的局部压强作用在阀门的内表面以及阀芯和阀座上,这种现象称为气蚀^[2]。气蚀对阀门的破坏是逐渐发生的,它会使阀体内表面和阀芯、阀座受到冲刷腐蚀并脱落下来,造成阀门关闭不严和节流特性变坏^[3]。还会导致管路系统的震动和噪音产生,甚至会导致系统故障的发生,影响到工业生产安全稳定的进行。因此对高压差阀门开展抗气蚀结构优化的研究是具有工程现实意义的。

1.2 研究目的与意义

本文研究首先深入剖析了高压差阀门气蚀现象产生的流体动力学机制,在此基础上,结合具体的工况,提出

相应的阀门结构优化策略,通过本文的研究,能够充实与完善相关理论基础,进而为工程实践过程中优化设计阀门结构策略,提供有价值的理论参考,进一步提升高压差阀门的抗气蚀性能,确保系统的长期稳定高效进行,同时可降低工业生产过程中的设备维护成本。

2 高压差阀门气蚀产生的流体动力学机制

2.1 气蚀现象的基本原理

气蚀是一个复杂的过程,其实质是在流体流动中随着压力的变化发生汽化和冷凝的现象。对于高压差阀来说,在流体流经阀节流口处时,由于通道截面积骤然减小,由流体力学连续性方程式及伯努利方程式可知,该处流体流速急剧增加,压力显著下降^[4]。在流体中,当液体的压力降到该温度下的饱和蒸汽压值时,液体中的溶剂开始析出,并且有水蒸气蒸发产生大量的充满蒸汽的空隙即气泡,这是气蚀产生的初始阶段。

2.2 高压差阀门内气蚀的发展过程

高压差阀门气蚀分四阶段:初生气蚀阶段,压力降至饱和蒸气压,仅有少量的微小气泡产生,影响不明显且难

检测。在发展气蚀阶段，压差逐渐增大，更多气泡聚集长大并破裂，阀门有轻微振动噪声，材料现微小侵蚀。在稳定气蚀阶段，压力场稳定，气泡产破动态平衡，冲击波强，振动噪声加剧，气蚀坑扩大，密封性能下降。在严重气蚀阶段，气泡的产生与破裂规模扩大，流场紊乱，振动噪声达峰值，材料剥落，调节准确度降低，出现严重故障影响运行^[5]。

2.3 影响高压差阀门气蚀的流体动力学因素

造成和影响高压差阀门中气蚀产生的原因有很多，主要的因素有流体速度、压力及流道形状。流体的速度对气蚀产生有很大的影响，在流体流速越大，则节流处的压力下降越多，就越容易达到饱和蒸汽压，而产生气泡；此外，由于流体速度较快也会加快气泡的运动及破裂，增强气蚀破坏的程度；而压力场则决定着气蚀发生的部位及程度，阀内压力梯度越大，则节流处低压区范围越广、压力越小，气蚀越严重。

3 高压差阀门抗气蚀结构优化思路

高压差阀门气蚀源于阀内流体压力骤降和流动紊乱，结构优化核心是改进内部关键结构形态尺寸，优化流场，降低局部压力降，减少气泡产聚及破裂对材料的冲击。阀芯、阀座和流道是关键结构与气蚀主要受损部位，不同结构传统设计与抗气蚀优化设计差异明显，详见下表：

表1 传统设计与抗气蚀优化设计差异对比

关键结构	传统设计	抗气蚀优化设计	优化核心目标
阀芯	圆柱形结构，流道截面突变	流线型结构、带导流槽、多级节流台阶	引导流体平稳流动，分解压力降
阀座	平面/锥形密封面，无缓冲流道	圆弧过渡密封面、带缓冲流道、镶嵌耐磨材料	减少涡流，降低局部压力降，提升表面抗蚀性
流道	直角转弯，截面突变	全流线型设计、优化进出口角度、设导流叶片	优化流场分布，避免流动紊乱

以下将针对这三个核心结构的优化方向展开详细探讨。

3.1 阀芯结构优化

阀芯是高压差阀门的主要调节部件，阀芯的结构形状决定着流体的节流过程及压力变化情况，故而阀芯结构设计也是提高阀门抗气蚀能力的重要途径之一。传统圆柱形阀芯，在节流过程中流体经过阀芯与阀座间的环状间隙时，由于流道截面突然变化，很容易产生流体速度增加、压力降低的情况，进而引起气蚀。对此可通过应用流线型阀芯结构加以改善，其在阀芯上以平滑的曲线构成，可以促使流体稳定地运行，防止流道断面面积骤然变更的情况出现，并以此来降低流体速度增加程度，减小压差，降低气泡生成量。此外还可于阀芯表面设置导流槽，导流槽可以对流场进行进一步整理，使其有序地流动，防止涡旋及回流的发生，减少出现局部低压的概率。

3.2 阀座结构优化

阀座是与阀芯配合以达到密封与节流作用的重要零

件，同时也是发生气蚀破坏的主要部位之一，所以对阀座结构进行改进对其提高阀门抗气蚀能力也具有重要意义。传统的阀座的密封面形式均为平面或是锥型，在流体经过密封面时易形成涡旋及局部高压降而加剧气蚀破坏的发生。针对此问题可以改进阀座的密封面形式，将原来的密封面改为圆弧过渡型密封面，圆弧过渡可以使流体平稳地流过密封面，减少涡流的形成，并减小局部压力降，减弱气蚀作用。此外，还可在阀座内部设置缓冲流道，缓冲流道能够延长流体在阀座内的流动路径，降低流体流速，使流体压力逐渐变化，避免压力骤降，从而减少气泡的产生。同时，还可适当增大阀座的流通面积，在保证阀门调节精度的前提下，增大流通面积能够降低流体流速，减小压力降，从根本上抑制气蚀现象的发生。

3.3 流道结构优化

阀门流道结构形式及尺寸直接影响着阀门内的流动情况和压力状况，流道不合理会引起流体在阀内产生严重的乱流，加重气蚀现象的发生，所以流道结构优化是提高高压差阀门抗气蚀能力的重要保证。流道结构优化主要是为了实现流道的圆滑过渡，防止流道截面突然增大或减小，让其能够顺利地进行流动。传统的阀门流道中大多有直角转弯以及截面出现突然变化的情况，在流体流动的过程中会出现涡旋和低压区域，促使汽蚀现象发生。对此可以考虑使用全流线型流道的方式，把阀门中的进水口流道、节流流道以及出水口流道用圆弧形光滑地连接起来，使流道截面渐变，不突变，以诱导流体平缓流动，减少涡流发生，降低局部压损，并可对流道进出口角进行优化设计，使流体顺畅地进入和离开阀内，减少流体在进出口处的冲击和混乱程度，进一步改善了流场状况。此外，还可适当增大流道的最小流通截面，在保证阀门调节性能的前提下，增大流通截面能够降低流体流速，减小压力降，抑制气泡的产生。同时，还可在流道内部设置导流叶片，导流叶片能够进一步梳理流场，引导流体有序流动，避免回流与涡流现象的发生，优化压力场分布，减轻气蚀作用。

4 高压差阀门抗气蚀设计的流体动力学分析方法

流体动力学分析是研究高压差阀门流场、预测气蚀的有效方法，能为抗气蚀结构优化提供理论依据。通过分析可了解阀门内流速、压力分布及流动状态，识别气蚀危险区，评估不同方案抗气蚀性能，以指导结构优化。下文将从分析流程、核心指标、应用价值三方面阐述其在高压差阀门抗气蚀设计中的应用。

4.1 流体动力学分析流程

针对高压差阀门抗气蚀设计的流场模拟过程主要包含以下四部分内容：（1）模型构建，首先依据阀门的结构特点，采用三维造型软件创建阀门的结构模型，具体包括在建模时对阀芯、阀座、流道等部件的形状及大小进行描述，然后为方便后续计算，阀门的非关键结构可以适当简

化,去掉一些不必要的细节特征;(2)网格划分,将所建几何模型导入到流体动力学分析软件中,并对其进行网格划分,网格划分质量的好坏决定着分析结果是否准确可靠,在阀芯、阀座等易出现气蚀的关键部位,需使用加密网格,一是划分模型网格大小,在流道的关键部位应尽量使用较小的网格来提高分析精度,而在流道的非关键部位则可以使用较大的网格尺寸,以提高分析效率;(3)边界条件设置,根据阀门实际的工作工况,设置流体的进口压力、出口压力、流体介质属性等边界条件,并设置阀门的开度的参数,模拟不同的工作状态下流场分布;(4)仿真计算及结果分析,开始进行仿真计算,利用分析软件对流体动力学控制方程进行求解,并获得阀门内部分布的流速分布云图以及压力分布云图等一系列结果,结合气蚀发生的条件,识别易发生气蚀的危险区域,评估阀门结构的抗气蚀性能。

4.2 核心关注指标

在高压差阀门抗气蚀的流体动力学分析中,核心关注指标主要包括压力分布、流速分布与气蚀系数。压力分布是判断是否会发生气蚀的重要依据,根据压力分布云图可以得出阀门内出现的低压区,当低压区的压力小于流体的饱和蒸汽压力时,则可能发生气蚀现象,所以应关注节流处的压力分布状况;流速分布能反映出流体在阀内所处的状态,流速大的地方压降大,易产生气蚀,故应限制关键部位介质流速在一定范围之内^[6];气蚀系数是用来表示阀的抗汽蚀能力的一个综合性参数,它的大小与阀的形式及使用条件有关,汽蚀系数愈大,表明阀的汽蚀能力愈强,通过计算不同结构设计下的气蚀系数,可以直观地比较各个结构设计之间的抗气蚀性能情况,并以此指导结构优化设计。在具体分析过程中,应当综合考虑以上三个方面的参数,对阀门结构的抗气蚀性能进行综合判断,从而找出结构设计中存在的一些问题,以便于进一步开展优化设计工作。

4.3 分析方法的应用价值

基于流体力学的方法对高压差阀门抗气蚀进行设计有较大的使用价值,可实现对气蚀危险区的准确定位,利用仿真计算能直观显示阀门内流场情况,并能准确找出易产生气蚀的低压区,从而为后续改进目标指明方向。传统阀门的设计主要依靠经验和试凑法完成,不仅设计周期长,而且试验成本高,而利用流体动力学仿真分析可在设计过程中快速评价不同结构方案的抗气蚀性能,选出最优的设计方案,大大缩短设计周期,降低试验成本;流体动力学分析是建立在严格的流体力学基础上的,其根据求解控制方程所得分析结果准确度较高,可为阀门结构优化提供科学合理的理论指导,克服经验设计的不足之处,提高阀门设计的可靠性和合理性;同时利用流体动力学分析可以对不同工作工况下阀门的流场进行模拟,并判断阀门在极限

工况下的抗气蚀能力,为阀门选型及使用提供借鉴。

5 结论与展望

5.1 研究结论

本文围绕高压差阀门抗气蚀结构优化与流体动力学分析展开研究,得出以下主要结论:一是高压差阀门内气蚀现象的产生是流体在节流区域压力降至饱和蒸气压后发生汽化与冷凝交替的结果,其发展过程可分为初生、发展、稳定与严重四个阶段,流体流速、压力场分布与流道形态是影响气蚀的核心流体动力学因素;二是阀芯、阀座与流道是提升阀门抗气蚀性能的关键优化结构,采用流线型阀芯、多级节流阀芯、圆弧过渡型阀座、全流线型流道等优化设计,能够有效优化阀内流场分布,降低局部压力降,减少气泡的产生与聚集,减轻气蚀破坏;三是流体动力学分析方法是阀门抗气蚀设计的有效工具,通过模型建立、网格划分、边界条件设置与仿真计算,能够精准识别气蚀危险区域,评估不同结构方案的抗气蚀性能,为结构优化提供科学的理论依据,同时还能降低设计成本与周期,提升设计的可靠性。

5.2 未来展望

虽然本文提出的高压差阀门抗气蚀结构优化思路与流体动力学分析方法为阀门设计提供了基础参考,未来的研究可从以下几个方向进一步深入:一是结合新型材料技术,开展抗气蚀结构与新型耐磨抗气蚀材料的协同优化研究,通过材料与结构的双重改进,进一步提升阀门的抗气蚀性能;二是考虑多因素耦合作用,开展不同介质、不同温度、不同压力差等复杂工况下的阀门气蚀特性研究,完善气蚀预测模型。

[参考文献]

- [1]张勇巍.发电厂高压差阀门气蚀问题的解决办法[J].中国设备工程,2006,13(11):108-109.
 - [2]缪克在,吴超俊,孙志民,等.高压阀门压力自密封结构设计与分析[J].石油化工设备,2024,53(6):48-51.
 - [3]周亚群,徐天池,尤童平,等.高温高压环境下阀门材料的可靠性分析[J].阀门,2024,11(11):1392-1396.
 - [4]任明强.控制阀气蚀产生的原因及避免方法[J].控制工程,2014,21(S1):118-120.
 - [5]罗伟.控制阀的系统参数及其流量特性探析[J].科技视界,2012(30):269-271.
 - [6]兰向军.神华宁煤 MTP 项目急冷水系统阀门振动原因分析及解决方案[J].仪器仪表用户,2017,24(6):60-63.
- 作者简介: 王晓峰(1985.3—), 毕业院校: 河北科技大学, 所学专业: 机械设计制造及其自动化, 当前就职单位: 石特阀门股份有限公司, 职务: 技术部长, 职称级别: 工程师。

复杂水文地质条件下矿井探放水技术研究

薛路伟

陕西彬长孟村矿业有限公司, 陕西 咸阳 713602

[摘要]随着我国煤炭开采深度与强度持续增加, 矿井所面临的水文地质条件日益变得复杂起来, 水害防治已然成为制约煤矿安全生产的关键瓶颈所在。本文着重聚焦于复杂水文地质条件这较为系统地剖析了其多场耦合以及隐蔽性强等核心特征, 同时也指出了其带来的诸如精准探查难度大、安全控制难度高等技术方面的诸多挑战。在这样的基础之上, 构建起了一套包含有立体综合探查、富水区智能预测以及高压钻孔高效成孔等一系列关键技术在内的探放水技术体系。研究还提出了基于多参数动态监测以及时空演化规律分析而得出的效果评价方法, 并且阐述了涉及工程设计、应急预案以及标准化管理等方面的综合保障措施。

[关键词]复杂水文地质; 矿井水害; 探放水技术; 定向钻进

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18595

中图分类号: TD745

文献标识码: A

Research on Mine Exploration and Drainage Technology under Complex Hydrogeological Conditions

XUE Luwei

Shaanxi Binchang Mengcun Mining Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, 713602, China

Abstract: With the continuous increase in the depth and intensity of coal mining in China, the hydrogeological conditions faced by mines have become increasingly complex, and water hazard prevention has become a key bottleneck restricting coal mine safety production. This article focuses on the complex hydrogeological conditions and systematically analyzes their core characteristics such as multi field coupling and strong concealment. At the same time, it also points out the many technical challenges they bring, such as the difficulty of precise exploration and high safety control. On this basis, a set of exploration and drainage technology system has been constructed, including a series of key technologies such as three-dimensional comprehensive exploration, intelligent prediction of water rich areas, and efficient drilling of high-pressure boreholes. The study also proposed an effectiveness evaluation method based on multi parameter dynamic monitoring and analysis of spatiotemporal evolution laws, and elaborated on comprehensive guarantee measures related to engineering design, emergency plans, and standardized management.

Keywords: complex hydrogeology; mine water damage; water exploration and drainage technology; directional drilling

我国地域辽阔且水文地质环境复杂, 正因如此, 地域气象、地质构造等因素都会密切关系到矿井水害的发生。在水文地质极复杂的情况下, 矿井出现水害的隐患也相对较大, 因此在矿井作业过程中, 往往要注意做好水害的防范与处理。随着矿井探放水技术的快速普及, 施工探放水成为应对矿井水害的有效途径, 学者们的相关讨论研究也在持续增多。

1 复杂水文地质条件特征及探放水难点分析

1.1 复杂水文地质条件的主要类型与特征

复杂水文地质条件指的是那些在空间分布方面呈现出高度的不均匀特性, 在时间推移过程中动态变化十分明显, 并且会给矿井的安全生产带来极为严峻威胁的一系列水文地质状况的整体集合。依据相关的规范标准来看, 矿井水文地质类型要是被划分成“复杂”或者“极复杂”的情况, 往往是依照若干个关键的判定依据来确定的, 比如受采动影响的主要含水层其补给条件特别好, 单位涌水量的数值较大, 存在数量众多且具体情况不明的老空积水区

域, 矿井出现突水的频次比较频繁并且所造成的威胁程度较为严重等。具体来讲, 其主要的类型以及相应的特征主要体现为以下几种情形: 第一种是深部高压高渗型, 这种类型主要存在于华北型煤田的奥陶系灰岩含水层当中, 它具备水压比较高、水量颇为丰富以及补给来源距离较远等诸多特点, 只要一发生突水的情况, 就很容易引发淹井这类严重的事故。第二种是老空水隐蔽分布型, 这是指在历史发展的进程当中逐步形成起来的错综复杂的呈网络状分布的老空区, 其中所积存的水量以及具体的位置都显得较为模糊不清, 而透水往往呈现出瞬间爆发的特性。第三种是特殊地质结构致灾型, 像薄基岩地层出现的强耦合溃涌现象、采动离层空间所蓄积的水源以及构造“天窗”补给型突水等情况都属于此类, 它们所涉及的致灾机理是比较复杂且多变的。

1.2 当前探放水工作面临的主要技术难点

上述复杂特征给探放水工作带来了前所未有的技术挑战, 精准探查与靶区定位存在难度, 地下含水构造隐蔽

性较强,传统地面物探分辨率有限,井下常规钻探如同“一孔之见”,难以对远距离、小尺度的富水异常体进行精准空间定位^[1];钻孔安全高效施工存在困难,在高压、高应力、软岩等复杂地层中施工探放水钻孔,面临钻孔易塌、卡钻、喷孔等一系列成孔难题,对放水效果和施工安全产生严重影响;放水过程动态控制与效果评价存在难点,放水过程中,水量、水压及围岩应力状态处于动态变化之中,如何建立有效的实时监测系统,科学分析疏放规律,并准确评价工程效果,缺乏系统化的方法和标准。

2 复杂条件下探放水关键技术体系构建

2.1 地面与井下相结合的立体综合探查技术

为突破单一探查手段所存在的局限性,应当着手构建起“空-地-井”一体化的立体综合探查技术体系。在地面层面,能够运用高精度三维地震以及瞬变电磁法等各类手段,以此来对大范围区域内的含水构造展开初步的圈定工作。而在井下方面,其关键之处在于要着力发展以定向长钻孔当作载体的孔中综合物探技术。举例来讲,把钻探同钻孔瞬变电磁、钻孔雷达等相关技术相互结合起来,便能够达成对钻孔径向数十米范围以内含水异常体的立体成像探查目的,进而使得针对隐伏水害的探测精度以及探测距离都得以大幅提升。这样的一种立体探查体系,已然实现了从宏观层面逐步过渡到微观层面的逐级聚焦效果。

2.2 基于多源信息融合的富水区精准预测与靶区定位技术

所探查得到的海量且来源多样的信息,得借助智能融合以及建模方面的技术,将其转变成针对富水区较为精准的认知成果。此项技术最为关键之处就在于要去建立起一个可以实现动态更新的所谓“透明化”水文地质模型。通过将三维地质建模、岩石力学、多源监测所获取的数据还有 AI 算法加以融合的方式去构建矿井的数字孪生体,如此一来便能够实时且动态地呈现出在开采进程当中地质条件以及应力场所发生的种种变化,并且依据力学模型来开展相关计算进而对应力的重新分布情况进行预测。这样一种依托多源信息融合以及数字孪生而形成的预测技术,促使富水区以及突发水危险区的预测从原本单纯的定性层面逐步迈向了定量层面,同时从以往那种静态的推断状态逐渐过渡到了能够进行动态预警的状态。

2.3 高压高应力环境下安全高效钻孔施工与成孔关键技术

在完成精准定位之后,怎样做到既安全又高效地开展施工钻孔作业,使其能够顺利直达靶区,这无疑属于技术得以切实落地实施的极为关键的一个环节。面对复杂多变的地质情况,就必须对传统的钻孔工艺做出相应的优化调整。其一是要充分应用先进的钻探装备。就高地应力软岩地层而言,可以去选用那种扭矩相对较大的新型螺旋钻机,

并且要对排渣的方式加以优化改进,以此来有效降低出现塌孔的风险。其二是得掌握钻孔轨迹的精准控制技术。在那些需要对老空水展开远距离探查的特定场景之下,近水平定向钻进技术便自然而然地成为了极为重要的一种选择方案。借助合理的轨迹设计安排,同时配合上随钻测量系统,就能够达成对钻孔轨迹的实时动态监控以及精确的导向操控目的。其三是钻孔加固以及护孔方面的相关技术。在开孔的那段区域以及处于破碎状态的地层当中,务必要采用那种较为可靠稳固的孔口管固管技术,并且还要对孔壁实施注浆加固处理操作,进而形成一个较为稳定牢靠的“防护壳”,以此来促使成孔率得以提升,同时也能够让钻孔的使用寿命得到相应延长。

3 探放水过程监控与效果评价技术

3.1 放水过程多参数动态监测与时空演化分析

放水工程正式实施之后,得着手建立起一个能够对水量、水压以及水质等诸多参数加以集成的多参数动态监测系统,进而达成数据的自动化且连续的采集工作,同时还要能够实现远程的数据传输功能。借助工业环网这一途径,像钻孔方位、深度等方面的数据是能够实时地上传到地面中心的,并且在此基础上还能够自动生成出相应的监测曲线来。该系统还应当进一步拓展其应用范围,延伸至对围岩应力以及微震进行监测的领域当中,从而精准地捕捉到岩体力学所呈现出的各类响应情况。将所有的这些数据都汇集到同一个统一的平台上,以此来实现数据的可视化展示功能,同时也能够在出现数据超限的情况时及时发出警报提示。

依照所获取的监测数据,要去剖析水量以及水压呈现出的时空演化方面的规律。通过去绘制“流量-时间”所对应的衰减曲线,还有“水压-时间”呈现出来的下降曲线,进而能够构建起相应的数学模型,以此来对静储量以及补给量展开估算。对水压在不同孔之间传递的规律加以分析,这对于判断含水层的联通状况以及边界条件是很有帮助的。出现流量异常缓慢衰减或者水压回升的情况,或许是在预示着存在新的补给源,所以这时候就需要及时地对相关策略做出调整。

3.2 探放水效果综合评价

要构建起将定性方面和定量方面相互融合在一起的综合评价指标体系,以此来针对探放水工程所取得的效果展开系统的评判工作。这一指标体系应当包含有多个方面的内容:像水文效应指标,其中就包括总放水量这样的情况,还有水压降幅等;安全效应指标,比如说突水威胁系数降低的程度等;工程经济指标,例如钻孔成孔率这类情况,以及工期控制等方面;另外还有环境效应指标,像是对围岩稳定性产生的影响,还有对水资源影响的评估等。在评价的方法上,可以综合地去运用层次分析法来确定各个指标的权重,然后参照工程设计所设定的预期目标来进

行综合性的评分操作,从而为后续工程的优化积累下可供参考的经验依据。

3.3 关键技术协同与集成优化

复杂状况下探放水所取得的成效,一方面依靠单项技术实现突破,另一方面则要看探查、预测、施工、监控以及评价等关键技术能否在系统层面协同配合并达成集成优化。未来开展相关工作时,需要着重关注两点:其一,要实现数据流与工作流的连通,保证从立体探查所获取的基础数据可以顺畅地对接至富水区预测模型,从而为钻孔轨迹设计以及安全施工给予精准的靶区定位;施工与放水过程中产生的动态数据,又可实时反馈回来并对地质模型以及预警阈值加以修正^[2]。其二,得对技术环节实施闭环优化,效果评价得出的结果应当直接应用于指导后续探查重点做出调整、钻孔工艺进行改进以及放水方案予以优化,进而构建起“探查-治理-评价-再探查”这样一个动态优化的闭环模式。

3.4 智能决策平台展望

要达成上述所提及的协同以及集成这一目标,去构建一个具备“探-放-评-控”功能的一体化智能决策平台,这无疑是一个极为重要的发展趋向。此平台能够把地质模型、实时监测所获取的数据、施工方面的各项参数还有评价算法都整合到一起。借助大数据相关的分析手段、机器学习领域的方法以及数字孪生方面的技术,该平台便可以达成对水害风险展开动态且可视化的模拟呈现、针对工程方案进行智能的比对与优化处理、在施工进程当中对出现的异常情况予以智能诊断以及提前对安全风险做出预警等效果。智能决策平台会充当技术体系里的“智慧大脑”,促使矿井水害防治从那种分散式的、依靠经验来开展的管理模式朝着集中化且科学化决策的方向来实现根本性的转变。

4 技术应用的安全保障与工程管理措施

4.1 探放水工程设计原则与安全技术措施

先进技术的应用需以稳固的安全设计作根基。在复杂条件下开展探放水工程设计时,要严格遵循“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采“这十六字原则,同时落实”物探先行、钻探验证、综合研判”的工作流程。在具体的设计环节当中,依据探查所得到的结果来科学地确定钻孔的布置形式、数量、角度、深度以及终孔的具体位置,并且要对套管的结构、长度以及固管耐压试验的标准做出详尽的规定。安全技术方面的措施务必要详尽完备,像要安装牢固可靠的孔口安全闸阀以及相应的控制装置,还要构建起完整的排水系统并且保证其排水能力能够大于最大预计的放水量,另外还需划定出清晰明确且做好警戒的安全撤退路线,还得针对全员开展安全技术方面的培训工作。所有的设计都得经过由煤矿企业总工程师来组织安排的严格审查环节。

4.2 钻孔施工突发异常情况应急处理预案

由于施工环境存在极高风险,所以针对可能出现的突发状况,得制定出具备较强可操作性的应急预案。预案要包含几种主要异常情形:其一,钻孔突水,此时要立刻关闭孔口防喷装置,开启强排水系统,若有必要还需进行注浆封堵;其二,钻孔出现喷孔、卡钻情况,须马上停钻,对钻压以及排渣方式进行调整,可尝试反钻或者借助解卡工具来处理^[3];其三,围岩有明显变形或者发出异常声响,应立即停止作业,将人员撤离出去,同时评估其稳定性;其四,监测系统发出警报,比如水量突然增多、水压出现异常等,要立刻启动应急响应程序。预案需要清楚说明不同险情的报告流程、决策指挥体系、现场处置办法以及后勤保障措施,并且定期开展演练活动。

4.3 放水过程的水资源与环境保护考量

探放水工程绝不能以损害环境作为代价。对于矿井水的排放问题,得秉持“煤水生态多目标齐抓共管”这样的绿色理念来对待。要提前针对放水水源去做水质化验,依据不同水质状况采取相应的分类处理办法:对于水质比较好的情况,要尽可能规划将其用于井下的防尘工作、地面的绿化事宜,或者经过深度处理之后当作水资源来加以利用;对于含有很多悬浮物的情况,需要开展沉淀过滤方面的操作;而对于高矿化度或者是含有有害物质的酸性水,那就必须实施严格的处理流程,只有达到相关标准之后才可排放出去,以此防止对地表以及地下水体造成污染^[4]。在工程规划的阶段,就要去评估大规模疏水给区域地下水资源平衡、地表植被以及建筑物基础可能带来的影响。

4.4 探放水工程组织管理与标准化流程

高效且可靠的技术执行需要依靠严密的组织管理以及标准化流程。矿井需设立专门负责防治水的机构,并且要配备专业的技术人员。整个探放水工程应当达成流程化管理,从地质分析环节开始,经过设计审批阶段,再到现场施工环节,接着是过程监控方面,最后到效果验收阶段,形成一个完整的闭环。与此务必要依照国家相关规定,去健全完善并且持续更新矿井各类防治水的基础图件以及台账,确保每一项技术工作都能够有依据可以查询、有规范可以遵循,从而为矿井水害的长期防治累积下宝贵的数字资源。

5 结束语

随着复杂水文地质条件方面的挑战变得日益严峻起来,矿井水害防治工作已然进入到一个全新的阶段,在这个阶段里,其开展得怎么样得依靠科技创新以及系统管理来推动。通过本文的研究可以发现,要突破技术方面存在的瓶颈,关键是要去构建起一个完整的链条,这个链条是从立体智能探查开始,接着是靶向精准预测,然后是安全高效施工,之后还要有全过程动态监控以及科学评价这些

环节,要把这样的链条融入到由严谨的工程设计、应急管理、环保考量以及标准化流程所构成的保障体系当中。在未来的发展过程中,会更加着重关注地质条件的“透明化”探测预警的“智能化”以及防治决策的“科学化”这几个方面。只有坚持把技术攻坚和管理规范放在同等重要的位置上,才能够在复杂的条件下真正达成矿井水害的可探、可防、可控,进而为我国煤炭工业在深部开发以及安全发展方面筑牢生命防线。

[参考文献]

[1]成飞.矿井掘进工作面探放水技术及装备的应用效果分

析[J].矿业装备,2025(10):148-150.

[2]郭强,赵奇,罗鹏,等.煤矿探放水施工问题分析及优化[J].内蒙古煤炭经济,2024(24):43-45.

[3]李亚胜.矿井探放水孔施工中定向钻进技术探究[J].能源与节能,2024(12):127-129.

[4]梁吉智.矿井探放水施工存在主要问题及技术优化措施[J].西部探矿工程,2024,36(6):156-158.

作者简介:薛路伟(1995.5—),男,学历:本科,毕业院校:西安石油大学,所学专业:地质学,目前职称:助理工程师,目前就职单位:陕西彬长孟村矿业有限公司。

矿山井下测量中测量精度控制与优化探讨

张伟

陕西地矿第三地质队有限公司, 陕西 宝鸡 721300

[摘要] 矿山测量工作直接影响着矿井的安全和生产的推进。随着采矿行业的持续发展, 采矿工程项目的地质条件也逐渐复杂化, 这对前期的测量工作提出了更高的要求和挑战, 需引起高度重视。文中深入剖析影响测量精度的人为、仪器、环境及方法关键因素, 提出了相应的优化措施, 采用实地测量数据, 结合现代测量技术和数据处理方法, 对矿山井下测量工作的研究有着更深远的意义和影响。

[关键词] 矿山井下测量; 精度控制; 误差分析; 数字化测量; 智能化优化

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18591

中图分类号: TD175

文献标识码: A

Discussion on Measurement Accuracy Control and Optimization in Underground Mining Surveying

ZHANG Wei

Shaanxi Geological and Mineral Third Team Co., Ltd., Baoji, Shaanxi, 721300, China

Abstract: Mining surveying work directly affects the safety of mines and the promotion of production. With the continuous development of the mining industry, the geological conditions of mining engineering projects are gradually becoming more complex, which poses higher requirements and challenges for the preliminary measurement work and requires high attention. The article deeply analyzes the key factors that affect measurement accuracy, including human factors, instruments, environment, and methods, and proposes corresponding optimization measures. By using field measurement data and combining modern measurement technology and data processing methods, it has a deeper significance and impact on the research of underground measurement work in mines.

Keywords: underground measurement in mines; precision control; error analysis; digital measurement; intelligent optimization

引言

随着我国科技的不断进步, 国家对稀土、金属、稀有金属的需求, 出现了各种类型的矿山工程项目, 对于测量的需求也有所区别。因此, 测量工作将会遇到更多的机会与挑战^[1]。在进行矿山采掘过程之中, 矿山测量的地位是不可替代的, 测量的方式也与日俱增^[2]。现阶段我国的技术水平得到了快速的发展, 在此背景下矿山测量技术类型划分的更加细化, 对测量精度提出了更高的要求。但对于井下测量环境复杂、外界干扰因素多、智能化程度低, 给测量精度带来了很多挑战, 亟需进一步加强技术创新^[3]。鉴于此, 本研究将深入分析矿山井下测量精度的控制与优化技术, 对于提升矿山开采的安全性、高效性、经济性和具有重要的现实意义和工程价值。

1 影响矿山井下测量精度的关键因素分析

1.1 人为因素

人为因素是影响矿山井下测量作业精度的主观因素之一, 其影响贯穿于从观察准备到成果处理整个全流程阶段。在井下恶劣环境中, 测量人员的生理与心理也会发生变化, 进而对测量的准确度造成影响。例如井下环境潮湿, 测量人员容易出现疲劳的状态, 导致在测量工作时观察不够细致。同时, 因为井下光线比较昏暗因素的影响, 导致测量人员在读取仪器观测数据时出现错误。

1.2 仪器因素

测量数据是否准确度高是由测量仪器所决定的^[4]。不同精度等级的测量仪器, 其测角、测距、测高差的精度存在显著差异。如 DJ6 型光学经纬仪的方向中误差为 $\pm 6''$, 相比之下, DJD2 型电子经纬仪的方向中误差能够达到 $\pm 2''$ ^[5]。同时, 测量仪器在长期使用过程中, 由于部件磨损、老化、振动等原因, 其性能会逐渐衰减, 精度会不断下降。另外, 若未按照规范要求定期对仪器进行校准和检定, 仪器的精度指标可能超出允许范围, 导致测量误差增大, 影响测量结果。

1.3 环境因素

井下巷道狭窄、弯道多、交叉口多, 井下环境会影响测量的精度。井下温度通常随深度增加而升高, 通常在 20°C 以上, 部分区域甚至达到 30°C, 每下降 100m 温度升高约 2°C~3°C, 同时相对湿度普遍在 85% 以上。高温环境会导致测量仪器的电子元件性能不稳定, 也会影响测量人员的工作状态。矿山爆破产生的冲击波、地质构造、电机车运行、机械设备运转等作业产生的震动借助地层传播, 导致测站和仪器产生细微位移, 使测量数据失真。特别是在巷道掘进、采场回采等区域, 震动的影响程度更为突出。此外, 井下电机车、变压器、水泵等电气设备运行时会产生强烈的电磁辐射, 对电子经纬仪、全站仪等精密

仪器的测量结果产生干扰,导致测量数据异常。尤其在变电所、水泵房等大功率设备集中区域,干扰强度更大。

1.4 方法因素

测量方法包括测量方案设计、控制点布设、观测程序、数据处理方法等,是控制测量精度的关键环节。在导线测量方案设计中,根据井下巷道的实际情况选择合适的导线布设形式,采用支导线进行长距离控制测量,由于缺乏检核条件,误差累积过快,导致测量精度下降,导致测量精度降低。控制点布设不当直接影响测量成果的精度。此外,数据处理是将观测数据转化为测量成果的关键环节,其方法的合理性直接影响测量成果的精度,若数据处理过程中出现计算偏差,将直接导致测量成果,偏离真实值。

2 矿山井下测量精度控制策略

2.1 强化人员管理,提升专业素养

矿山企业定期组织测量人员开展专业培训,培训过程中着重讲解测量方案设计、仪器操作、数据处理等相关内容,融入井下实际测量案例展开实操技能方面的训练,进一步提高测量人员的专业素质水平。加强完善井下测量操作规程,对测量环节的质量控制要求与操作标准进行明确,以确保操作规程的严格执行。将测量精度指标纳入测量人员的绩效考核体系,对于因责任心不强、操作不当而导致测量错误的人员给予相应的处罚;反之,对于工作认真负责的人员给予相应的鼓励,提高测量人员的工作严谨性,确保测量数据的准确性和可靠性。

2.2 加强仪器保障,确保设备精度

测量仪器的精度和性能是保障测量成果质量的基础,根据井下测量的精度要求、环境条件和测量任务,科学选用合适精度等级和性能测量仪器。需要根据不同地质环境随时调整测量设备的性能。使用仪器之前,测量人员需要仔细全面的检查仪器,确保仪器处于正常运作状态;在使用完成之后及时进行清洁与保养,确保仪器表面无污渍、粉尘。为了维持测量仪器的性能稳定性,及时对活动部件进行润滑。除此之外,加强完善仪器校正标准与维护制度,按照国家相关规范和仪器说明书的要求,定期对测量仪器进行校准和维护。此外,为了避免仪器受到震动、碰撞等因素的影响,在运输仪器的期间采用专用运输箱进行包装;同时,注重仪器的储存工作,将仪器放置在干燥、通风、恒温的库房内,远离磁场、粉尘和腐蚀性气体。

2.3 导线网优化设计与观测方法

井下导线网是矿山测量过程中最基础的控制网络,其精度直接影响着整个采掘工程的施工质量。例如,以陕西省凤县庞家河东庙沟金矿详查项目 PD1 中段巷道为例,进行导线网测量时,工程人员采用 Leica TS60 全站仪实施观测操作。在设计导线网的阶段,选择环线结构作为整体的布局方案,从而有效确保导线网的空间分布高效、科

学。另外,为了减少测量结果的误差。在测量导线期间严格采用双面观测法采集测量数据,水平角的观测采用 6 次对向观测的方式。

2.4 高程传递精度控制技术

在矿山井下测量作业中,高程传递是尤为关键的一个环节,其精准程度对后续生产活动的安全性、矿山的精准挖掘有着直接性的影响。在实际开展测量作业时,需要以井下的深度状况、断截面尺寸特征为依据,合理规划并制定科学的测量方案。与此同时,为了确保测量数据的准确性与稳定性,加强管控制量环境,关注井下的温度与气压,确保关键参数处于稳定状态。还要注重测量仪器的管理,定期对测量仪器进行检查和维修,确保测量仪器性能保持在良好状态。此外,为了提高测量的精度,采取对向观测、往返测量等科学的观测方法。在测量过程中,环境温度保持在 18℃~22℃,相对湿度维持在 65%左右。与此同时,开展测站布设的合理化设计工作,确保各测站间的通视状况良好。

2.5 巷道贯通测量精度控制

巷道贯通度的精确控制是矿井施工中一个重要的技术步骤,保证巷道能够顺利地进行,并且达到设计要求,这是它的核心目的。实际应用中,应从测量基准、观测方法、仪器选用、资料处理等方面综合考虑,实现对测量精度的控制。同时,在导线布设环节,要根据矿井地质条件,对测点进行合理的布设,使得导线的走向要尽可能的避开采空区、形变区域,并且要保证一定的测点间距。观测过程除了要采用精密的设备仪器,同时要严格落实操作规范。另外,为了减少仪器误差,在监测的过程中采用对向观测、待定交会等方法。同时,为了提高观测的精确度,在具体测量工作中可采用多种举措,例如精准控制照准的距离,适当增加测回数等策略。除此之外,在实施贯通测量工作的过程中,必须要充分考量沿层走向、地质结构对贯通测量结果所造成的潜在影响,并与地质数据相结合,对贯通误差进行合理预测。

2.6 采空区变形监测精度控制

要确保矿山井下生产的安全,采空区变形监测是一项重要保障策略,因此,必须要有一套完整的监测体系。主要结合采空区域典型的变化特点,地质条件以及开采方式,开展科学且合理的监控工作,以此保障矿山井下的安全生产。地表沉降监测一般通过高精度水准测量,定点观测、定时测量来实现。针对大面积采空区,可以使用 GNSS 测量技术进行测量,通过全自动化全天候的监测进而获取高精度的三维变形数据。为了保证监测结果的可靠与完整,将各类传感器布设在重要位置,对采空区的变形进行实时监测与预警,对安全隐患、重要建构物周围、变形敏感区进行重点布设,加密监测点。此基础上针对矿山监测数据过程中存在的主要问题,制定分级预警机制。

3 矿山井下测量数据处理与优化

3.1 井下控制网平差计算方法

矿山井下测量中,为了确保测量结果的可靠度,必须进行控制网平差计算。常规的间接平差法尽管计算相对简便,但对其精度的综合评估却很低。目前,采用附有限制条件的间接平差方法不仅能够反映观测值的随机误差,而且能满足已知数据的约束条件。在具体的测量过程中,观测值权重的合理分配直接影响着平差结果的可靠性。在权值的选取上,应该把握三条准则:第一,对于具有较高准确度的观测值,应该给予较大的权重;其次,对于同一类型的观察,权重应该与它的计算结果的平方成反比;在选择权重时,应充分考虑各种其量纲影响。

3.2 巷道断面数据处理方法

在矿山井下测量时,巷道断面数据处理是一个关键步骤。近年来,伴随着三维激光扫描技术的快速发展与广泛普及应用,为数据处理提供了更加便捷的工具。传统的断面处理方法以手工测量、手工绘图为主,既费时费力,又影响测量的精确度。而在使用了三维激光扫描技术后,其数据处理过程包含了点云的预处理、配准、特征提取以及结果的四个步骤。点云预处理是对数据进行滤波、去噪等过程的一部分。配准处理是指将不同测站采集的点云数据统一到同一坐标系下进行,通常采用特征点配准和整体配准相结合的方法。

3.3 变形监测数据分析与预警

为了确保矿山的安全生产,对矿山实施变形监测,数据分析以及风险预警干预措施尤为关键,作为一项关键的技术支撑加强完善数据处理流程。数据的预处理阶段,核心任务主要是对所采集的数据进行检验,同时展开筛查,及时发现异常数据;在误差处理环节,主要是细致分析,导致误差形成的主要原因,基于实际情况建立科学、合理的数据模型对误差进行校正,以此提高数据处理的可靠性与精准性。在监测数据处理领域方面,变形分析作为一个重要的核心环节,主要从时间序列、空间分布两个关键维度进行系统性的分析。时间序列分析需要重点探究变形发展趋势与变形速率,随着时间演变之间的内在联系,通过构建时间序列模型,可以精准预测变形未来的发展趋势。在空间维度分析层面,主要评估变形区域的界定范围以及其影响范围,在具体的应用过程中采用先进的空间插值算法,基于实际情况构建变形场模型,生成具有工程指导意义的变形等值线图,直观反映变形分布规律。另外,为了预防事故的发生,基于实际情况,加强完善应急反应机制,确保在发生意外事故时,可以高效及时的采取相应的

措施,确保人员的安全,降低财产损失。

3.4 定向测量数据处理技术

井下定向测量数据处理作为一项重要的系统工程,需要对各种因素进行全面的分析,包括环境误差、仪器误差以及人为误差。定向测量数据处理的核心是建立科学的数据处理模型,并对其进行系统性的矫正,剔除粗大误差。然后,根据不同误差源的特点,分别进行相应的误差改正,包括零位误差改正、漂移误差改正、温度改正等。对系统误差,应采用数学建模的方法,进行有效地消除;对随机误差,应采用合理的观察计划,并采用统计分析的手段,尽量减小其影响。在实践中,还需结合具体情况加以适当的调整与优化。

4 结语

综上所述,本文通过对矿山井下测量精度控制与优化问题进行了深入的研究,形成了一套较为完善的精度控制体系。实践表明,为了提高井下测量的精确度,结合实际情况优化测量方案,并在测量过程中使用现代测量技术,同时,加强对人员的培训工作、加强质量管理等措施。另外,伴随着智能化测量技术的快速发展与进步,积极引入和应用现代数字化测量技术,在井下环境中完成测量任务,进一步推动井下测量精度控制将向着更加自动化、智能化的方向发展,提升测量精度控制的科学性。未来,应重点加强探索数字孪生、云计算、物联网等新技术与井下测量技术的融合应用、开展多学科融合研究、研发适应深部恶劣环境的高精度、智能化测量仪器,不断提升测量精度控制水平,大幅缩短测量时间并提高效率,为矿山安全生产提供更可靠的技术支撑。

[参考文献]

- [1]魏彦恒,薛伟.矿井测量中测量精度控制与优化对策研究[J].中国科技投资,2018(11).
- [2]张军超.井下测量技术及其精度控制措施[J].世界有色金属,2024(15):214-216.
- [3]吉飞飞.提高矿山井下全站仪导线测量精度的方法探讨[J].山西冶金,2022,45(7):209-210.
- [4]刘兵,冯玉龙.正常水准面不平行改正对矿山井下水准测量精度的影响[J].世界有色金属,2022(20):143-145.
- [5]程龙龙.在矿山测量中现代测绘技术的应用分析[J].市场调查信息:综合版,2022(11).

作者简介:张伟(1983.10—),男,湖北国土资源职业学院,工程测量技术,长期从事地质测绘、地籍测量和地理信息系统等方面的研究。

高速公路拓宽新建收费站工程施工管理的优化路径探讨

李春香

江苏沿江高速公路有限公司, 江苏 苏州 215523

[摘要]随着高速公路路网不断加密以及容量持续扩大,与之相配套的收费站新建以及改扩建工程项目已然变成提升路网整体效能极为关键的一个环节。这类工程有着技术界面较为复杂、工期方面压力颇大、对于质量的要求很高并且安全风险相互交织等诸多明显特征,给施工管理在系统性、精细化以及前瞻性等方面带来了十分严峻的考验。本论文依据针对某高速公路拓宽项目里的收费站改扩建工程展开的实地监管情况,对其在施工组织、工艺流程、质量控制还有协同作业等方面所呈现出的具体管理问题进行了细致剖析,像工序执行出现失序状况、质量偏差处于失控状态、关键节点管理变得虚化等情况。

[关键词]高速公路拓宽;收费站工程;施工管理;精细化管理;全流程管控

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18594

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

Discussion on the Optimization Path of Construction Management for the Widening and Construction of Toll Stations on Highways

LI Chunxiang

Jiangsu Yanjiang Expressway Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215523, China

Abstract: With the continuous encryption and expansion of the highway network, the construction, renovation, and expansion projects of toll stations have become a crucial link in improving the overall efficiency of the road network. This type of project has many obvious characteristics, such as complex technical interfaces, significant pressure on construction schedules, high requirements for quality, and intertwined safety risks, which pose a severe challenge to the systematic, refined, and forward-looking management of construction. This paper conducts a detailed analysis of the specific management issues presented in the construction organization, process flow, quality control, and collaborative operation of a toll station expansion project in a certain highway widening project, based on the on-site supervision situation. These issues include disorderly process execution, quality deviation being out of control, and virtualization of key node management.

Keywords: highway widening; toll station project; construction management; refined management; whole process control

引言

交通运输是实现国家现代化产业发展的基础,是牢固国家经济循环的底盘,对于创造国家新发展格局有十分重要的意义。未来,全国高速公路新建、改建会迎来快速发展时期,大量新建、改建高速公路将陆续通车,新建收费站也会在未来几年内陆续开通。与单纯的新建工程有所不同,拓宽背景之下的收费站施工往往处于“边运营、边施工”这样复杂的环境之中,这里面涉及到和既有道路以及设施在结构上的衔接问题,还有交通组织方面的诸多事项以及系统的集成工作,其管理的复杂程度呈现出几何级数般的增长态势。就当下而言,在部分项目的管理实际操作当中,依旧普遍存在着对传统经验过度依赖的情况,管理方式较为粗放,并且在施工过程中常常出现失控的状况,这些问题进而致使工程质量方面频现通病情况,安全风险也处于潜在状态,工程所能够带来的效益也受到了一定程度的折损。

1 施工管理现状与深层次问题剖析

1.1 当前主流管理模式及其局限性分析

当下,高速公路收费站工程建设大多运用以合同作为

纽带、依靠监理来实施监督的线性管理模式。此模式在宏观层面的协调方面有着一定长处,然而其弊端也逐渐变得明显起来。其管理重点过度偏重于进度里程碑以及事故性安全方面,对于“过程质量”这个核心要素的把控呈现出间歇性的特点且较为表面化。监理所具备的职能受到人力资源以及授权范围的限制,常常变成“事后查验”以及“文件签批”的形式,很难对施工的整个过程展开深度且嵌入式的监督工作^[1]。各个参与建设的单位、设计单位、施工单位以及分包单位之间存在着信息壁垒以及管理方面的断层,它们之间的协同多半是被动式的、依靠会议来进行的,而不是主动式的、按照流程去开展的。

1.2 基于调研的典型管理问题深度诊断

“土工顶部土未清理,冲刷绑扎钢筋”这种情况,这可不只是简单的操作层面出错了,它还清楚地暴露出这样一个问题:就是“上一道工序还没经过验收确认合格,就擅自进入到下一道工序”,这种基本的管理流程已经失灵了。究其根本原因,就在于整个流程里缺少那种有着强制约束力的闭环控制机制,同时也缺乏能够及时叫停不当行

为的手段。“钢筋图纸规定的是 15×25 尺寸，但抽检的时候却发现都是 18、30 这样的尺寸”，如此严重的偏差情况，说明从技术交底环节开始，一直到下料加工、过程自检以及监理验收等整个链条上，质量控制都存在着漏洞。说到底，是因为质量标准没能有效地传达到作业的最末端，并且还缺乏那种能够连续追踪、有迹可循的检验记录，也缺少相应的纠正办法。“收费岛头切断处钢筋布局没有按照图纸来安排”“与主体衔接处的沥青路面不够规整”这类问题，恰好指出了在新旧结构衔接以及不同专业工种交叉的地方所存在的管理盲区。要是缺乏一个具有权威性的界面协调负责人，同时又没有预先制定好详细的界面技术与管理协议，那么在这个情况下，就特别容易出现互相推卸责任的情况，而且还会出现质量方面的一些瑕疵。“大棚的排水、收费亭处的排水、称重系统的排水是需要重点关注的”这一点虽然已经被明确指出来了，但是要是没能在管理工作中把它们提升为必须要进行专项设计评审、工艺试验、隐蔽验收以及满水试验的“关键质量控制点”，那么这种预见性的管理就只能停留在口头上的提醒阶段，没办法真正转化成具体的管控举措以及相应的资源投入。

2 指导施工管理优化的核心理论框架

2.1 精细化管理：从宏观到微观的穿透性控制

精细化管理理论讲求把管理目标予以分解、细化并切实落实，着重于数据化、精准化以及具备可操作性。就施工管理而言，其具体的应用表现为：把“打造优质工程”这一总体目标，进一步细化成每一仓混凝土所对应的配合比、每一根钢筋应有的间距、每一处接缝需进行的防水处理等一系列数量众多且具体的、能够加以测量以及检查的微观标准，同时借助制度方面的设计来保障这些标准能够在每一次操作环节当中都得到严格的执行。

2.2 全流程控制：构建质量与安全内生机制

全流程控制理论秉持这样的观点，即原材料、材料的质量乃是通过“制造”这一环节打造出来的，并非依靠“检验”来实现的。当把这一理论运用到施工管理当中时，那就表示得要把质量以及安全控制的重心向前移一移，从原本的事后检验模式转变成过程控制模式。得要细致地去识别从原材料进入到施工现场直至最终成品完成交付的整个链条里的每一个子过程，要清楚明白每个过程的输入项、输出项、所采用的控制方法以及负责的相关责任人，进而建立起能够覆盖整个过程且不留任何死角的管理网络，从而确保问题能够在刚刚冒头的时候就被及时识别出来并予以消除掉。

2.3 协同管理：实现复杂系统整体最优

协同管理理论着眼于工程项目所具备的多主体以及多目标这一特性，着重指出要借助构建起行之有效的沟通平台、冲突解决的相关机制以及利益协调方面的规则，促使各个参与方能够从单纯的“物理叠加”状态逐步迈向更

为紧密的“化学融合”状况^[2]。在收费站工程方面，对于建设单位的“总集成”角色应当予以进一步强化，由其来牵头带领设计单位、施工单位、监理单位以及运营单位或者交通管理单位，围绕重大技术界面、施工时序以及交通组织等诸多方面展开深入的协同合作，进而凝聚成强大的管理合力。

3 构建精细化、全流程的施工管理体系优化路径

3.1 建立刚性的“工序报验与许可”流程管控机制

制定详尽的《工序划分与报验清单》，明确每一分项工程，如基础开挖、垫层浇筑、钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑、养护、拆模等的报验节点、验收标准、所需文件和验收人员，严格执行“施工班组自检→施工项目部复检→监理工程师旁站终检”的三级检查制度，终检合格后，监理工程师在信息化管理平台，如专用移动应用中签发电子《工序质量验收许可单》，并上传关键部位验收影像资料，带水印、时间、地理位置信息，该单据作为进入下一工序的唯一凭证，平台自动锁闭未经验收工序的后续流程报审，赋予现场监理工程师对不合格工序的“一票否决权”及要求立即整改的指令权，将流程执行符合率与施工单位工程款支付、监理单位服务费结算挂钩。

3.2 推行标准化与数据化的作业规范管理

把复杂的施工图纸以及技术规范转变成既有图片又有文字且通俗易懂的《标准化作业指导卡》，或者制作成三维交底动画，并在现场的关键工点竖立起来展示。其内容要涵盖工艺步骤、质量标准、安全要点、常见错误示例以及纠正方法等方面。针对钢筋间距、保护层厚度、混凝土坍落度、路面平整度等关键质量指标，去建立起动态数据台账。运用像钢筋扫描仪、激光测距仪、数字回弹仪这类智能工具展开检测，把检测所得的数据实时上传到管理平台，从而自动生成质量波动趋势图，达成从“定性判断”到“定量分析”的转变。

3.3 实施动态化与信息化的实时监控手段

对于收费岛、排水系统以及结构衔接等这些关键部位，去推行“监理工程师驻点办公”这样的模式，要让监理人员的主要办公地点处在现场项目部或者关键施工点，以此来达成“全过程旁站、零距离监督”的效果。综合运用高清视频监控系統，使其能够覆盖所有的作业面，还有利用无人机定期进行航拍巡检，适用于土方、场平以及大棚屋面等大范围作业，同时设置关键部位传感器，比如基坑变形、支架应力等情况，进而构建起全方位且立体化的远程监控网络。把所有的数据都汇集到智慧工地指挥中心，从而实现风险预警以及决策支持的功能。

3.4 完善基于清晰权责的激励与约束机制

编制了《项目管理责任分解矩阵》(RAM)，把每一项管理活动都明确地对应到具体的岗位，比如排水管材验收、钢筋隐蔽验收、界面协调会组织等，以此来确保每一

件事都有人负责。还建立了以质量安全流程执行率、实体抽检合格率、问题整改及时率、协同配合度等作为核心的量化履约评价体系。这个评价结果会直接和施工单位的信用评价、后续项目投标资格，还有监理单位的服务评级以及续约情况挂上钩。

4 关键施工环节的专项精细管控策略

4.1 排水系统工程：作为生命线的专项管控

组织设计单位、施工单位、监理单位以及运营单位一道，针对排水系统设计开展施工图深化方面的联合评审工作。在评审期间，着重去审查排水路径是否合理、管径和坡度是否匹配、检查井位置是否便于操作以及与既有系统是否能够兼容等情况。要先施工一段包含所有典型节点，像管道接口、检查井、出水口等在排的排水系统“样板段”。在组织各方进行验收并确认工艺以及质量标准之后，才能够在全线予以推广^[3]。在整个施工进程当中，需对所有的排水管口实施临时封堵措施，以此来防止杂物进入其中。当系统完成之后，务必要分段开展严格的闭水或者通水试验，并且采用管道内窥镜（CCTV）针对主要管路展开内部检查，从而确保管道保持畅通的状态，不存在渗漏以及破损的情况。

4.2 钢筋工程：从下料到安装的精准控制

推广钢筋数控加工技术，以此来从源头上确保尺寸精度。对于加工完成后的钢筋构件给予数字化标识，像二维码这样的标识，其中包含了该构件的型号、尺寸以及使用部位等相关信息，从而达成从加工环节一直到运输环节再到安装环节的全流程都具备可追溯性。在钢筋安装之前，需要测量工程师与质检员一同在垫层或者模板之上放出主要控制轴线、边线还有钢筋位置线，经过复核确认没有错误之后才能够开展绑扎工作。在绑扎的过程之中以及完成之后，务必要对照放线来再次对位置进行复核。针对收费岛头、新旧结构连接处以及预应力锚固区这些受力情况较为复杂的区域的钢筋，要开展专项隐蔽工程验收，着重对钢筋的规格、数量、间距、锚固长度、连接质量以及保护层厚度等方面加以检查，并且留存 360 度全景影像资料。

4.3 界面衔接工程：系统性协同与预控

组建起一个由建设单位项目负责人来牵头引领的界面协调专项小组，其成员包含设计代表、土建以及路面施工单位负责人还有监理工程师等，此小组专门负责去处理所有的界面衔接方面在技术与管理层面所存在的问题。要制定出《界面衔接技术与管理手册》，该手册得详细地规定各类不同界面的相关情况，像路基和路面之间、新建结构跟旧结构之间、土建与机电预埋等，涉及它们的处理工艺、材料的具体要求、施工的先后顺序、检验的标准以及双方责任如何分工等内容都得明确。在施工开始之前，务

必要组织好相关的各方人员开展联合技术交底工作。对于与既有路面的衔接处理，采取诸如精密铣刨的方式、铺设应力吸收层的操作、使用高黏高弹改性沥青等举措，以此来确保接缝能够平顺且牢固，进而防止出现开裂以及跳车等情况的发生。

4.4 高风险作业：程序化与本质安全化管控

对于起重吊装、高大模板、深基坑以及临时用电这类存在高风险的作业，要严格按照规定执行作业许可证制度。在正式开展作业之前，务必要实施工作安全分析（JSA），全面且细致地识别出所有潜在的风险，并且据此制定出相应的控制措施。还需加大在安全防护设施方面标准化工地建设方面的投入力度，比如采用承插型盘扣式脚手架、标准化配电箱以及定型化临边防护等设备，借助这些可靠且稳固的硬件设施来减少因人为失误而引发的风险^[4]。管理层应当定期组织开展安全行为观察以及相关的沟通活动，以此及时纠正那些不安全的行为。可充分利用虚拟现实（VR）技术来开展沉浸式的安全体验教育培训，进而有效提升从业人员特别是劳务工人的安全风险感知能力以及应对风险的能力。

5 结束语

高速公路拓宽新建收费站工程在施工管理方面的优化，并不是简单的局部修补或者单纯的技术叠加，而是一场涵盖管理理念、组织方式、流程制度以及工具方法的系统性变革，其关键在于把精细化管理的理念贯穿到项目整个生命周期当中，借助构建一个权责清晰、流程闭环、标准化、监控动态且协同高效的管理体系，达成对工程实体形成过程的精准把控，本文所探讨的优化路径，从体系构建一直到专项策略，都指向这一目标，尤其是像排水系统、钢筋工程这类决定工程长期耐久性与使用功能的关键环节，必须要采取超出常规的专项管控举措。未来，随着 BIM 技术、物联网、人工智能等新一代信息技术的广泛应用，施工管理将会朝着更加智能化、透明化以及预见性的方向去发展。

【参考文献】

- [1]段飞飞.高速公路收费站收费车道数优化方案研究[J].山西交通科技,2022(3):120-123.
 - [2]卓建影,戈洪彪,陈月平.高速公路低碳收费站评价方法与指标体系构建[J].中国交通信息化,2025(12):31-36.
 - [3]赵飞,籍宏扬,王洁.基于元胞自动机模型的高速公路收费站车道配置研究[J].节能,2025,44(11):135-138.
 - [4]郭靖宇.高速公路收费站混合车道通行能力影响因素及优化设计研究[J].交通科技与管理,2025,6(21):51-53.
- 作者简介：李春香，毕业院校：苏州科技大学，职称级别：副高级工程师。

测绘新技术在测绘工程中的应用研究

刘雨川

辽宁省自然资源事务服务中心, 辽宁 沈阳 110032

[摘要]随着信息技术、空间技术以及智能装备的不断发展, 测绘工程测量正从传统人工测量转向数字化、信息化和智能化。新技术在数据获取、处理手段、成果表达等方面都有了很大的突破, 同时也提升了工程质量、提高了工作效率。文中分析新技术在测绘中的应用价值, 探讨 GNSS、GIS、RS、无人机测绘、三维激光扫描等关键技术的应用形式与成效, 指出存在问题并给出对策, 为测绘技术合理应用和发展提供参考。研究表明, 测绘新技术的综合应用不仅优化了工程测量流程, 也为工程管理和决策提供了科学依据。

[关键词]测绘新技术; 测绘工程; 技术应用

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18600

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on the Application of New Surveying and Mapping Technologies in Surveying and Mapping Engineering

LIU Yuchuan

Liaoning Natural Resources Affairs Service Center, Shenyang, Liaoning, 110032, China

Abstract: With the continuous development of information technology, space technology, and intelligent equipment, surveying and mapping engineering measurement is shifting from traditional manual measurement to digitization, informatization, and intelligence. New technologies have made significant breakthroughs in data acquisition, processing methods, and expression of results, while also improving engineering quality and work efficiency. The article analyzes the application value of new technologies in surveying and mapping, explores the application forms and effects of key technologies such as GNSS, GIS, RS, unmanned aerial vehicle surveying, and 3D laser scanning, points out existing problems and provides countermeasures, and provides reference for the rational application and development of surveying and mapping technology. Research has shown that the comprehensive application of new surveying and mapping technologies not only optimizes the engineering surveying process, but also provides scientific basis for engineering management and decision-making.

Keywords: new surveying and mapping technologies; surveying and mapping engineering; technology application

引言

测绘工程属于国民经济建设和工程项目实施当中极为重要的一项基础性工作, 其技术水平的高低直接影响到工程规划、设计、施工以及运营管理方面的科学性与安全性。传统测绘方式在特定的历史阶段里确实发挥了相当重要的作用, 然而伴随着工程规模变得越来越大、建设环境一天比一天复杂, 再加上精度要求也在不断地提高, 传统的测绘方法在效率、精度以及安全性等诸多方面渐渐地凸显出了明显的局限性和不足。在这样的大背景之下, 像 GNSS、GIS、RS、无人机测绘以及三维激光扫描这类测绘新技术得到了极为快速的发展, 并且在测绘工程领域当中获得了十分广泛的应用。这些新技术借助于多源数据的获取手段、自动化的处理流程以及信息的集成分析方式, 切实有效地推动了测绘工程从依靠经验来驱动转变为依靠数据来驱动。对测绘新技术在测绘工程当中的应用展开系统的研究, 这对于提升工程测绘的水平、保障工程建设的质量而言有着十分重要的现实意义。

1 测绘新技术概述

测绘新技术属于在现代信息技术、空间技术以及智能装备持续融合这一背景之下所形成的综合性技术体系, 它的核心特征主要呈现为数字化、自动化还有智能化这几个方面。跟传统测绘技术作比较的话, 测绘新技术对于卫星定位、传感器网络以及计算机系统有着更为倚重的情况, 依靠着对空间信息展开快速获取以及高效处理的操作, 达成对地理空间要素进行精确表达的目的。当下较为常见的测绘新技术涵盖了 GNSS 全球导航卫星系统、GIS 地理信息系统技术、RS 遥感技术、无人机测绘技术以及三维激光扫描技术等。这些技术在数据采集精度、作业效率以及信息整合能力这些方面都具备着十分突出的优势, 给测绘工程在复杂环境当中得以实施给予了可靠的保障。与此测绘新技术的发展还促使测绘成果从二维平面朝着三维乃至多维信息表达的方向去转变, 使得测绘工程能够更好地契合工程建设与管理方面的实际需求。

2 测绘新技术在测绘工程中的应用价值

2.1 提高测绘精度与工作效率

在先进技术持续发展进步的背景下, 测绘技术也随着

经济的建设不断更新换代,新兴技术如 GPS、GIS 等在一定程度上使得测绘工程测量更加精确、快速。这些技术可以实时获取大量地理信息数据,并通过计算机进行处理分析,提高了测量的准确性和工作效率。同时,这些技术的应用能够减少人工操作环节,降低人为误差对测量结果的影响,提高数据的一致性和可靠性。此外,借助现代测绘技术,工程测量过程能够实现远程监控和实时调整,进一步优化测量流程,节省施工时间,提高整体工作效率。

2.2 降低测绘工程实施成本

测绘新技术对于测绘工程领域有着广泛的应用,这一切有效地降低了工程实施进程里的综合成本。其一,新技术借助提升测量的效率,使得测绘作业所需要的人力投入以及作业时间都得以减少,如此便让人工成本以及设备使用成本有所降低。其二,依靠自动化与信息化的相关手段,测绘新技术能够在一次作业期间获取到多种类型的、不同精度的数据,如此一来便避免了出现重复测量以及返工这样的现象,进而又减少了资源方面的浪费情况。测绘新技术在数据处理以及成果输出这些环节当中,对计算机系统有着极高的依赖性,这使得其对人工经验的依赖程度得以降低,有效地减少了由于人为误差而引发的质量问题以及经济损失情况。总体来讲,测绘新技术在确保测绘质量的状况下,达成了对测绘工程成本的合理把控。

2.3 提升测绘作业安全性

测绘工程常常会涉及到地形比较复杂、环境颇为恶劣或者施工条件受到限制的作业区域,在这样的情况下,传统测绘方式在实际的操作过程当中是存在着一定安全风险的。而测绘新技术的应用则明显地改善了这种状况,其借助远程测量、非接触式测量等手段,使得测绘人员在危险区域从事直接作业的频次得以减少。就好比说,凭借无人机以及遥感技术,不用进入现场便能完成大范围的测绘任务,如此一来,就能够有效地规避高空、滑坡、塌陷等一系列潜在的风险。与此测绘新技术依靠实时监测以及数据反馈机制,能够让作业人员及时知晓环境变化的具体情况,进而提升风险预判的能力,从整体方面来讲,也就提高了测绘工程的作业安全程度。

2.4 促进测绘工程管理信息化

测绘新技术的应用已然改变了测量手段,而且还推动了测绘工程管理模式发生转变。把测绘数据和信息系统相互融合起来之后,测绘工程便达成了从数据采集环节、处理环节一直到成果管理环节的全过程信息化状态。GIS 平台在工程测绘当中的应用情况,使得空间数据能够实现统一管理,并且还能做到动态更新,进而给工程规划方面、施工组织方面以及决策分析方面都提供了既直观又准确的数据方面的有力支持。与此信息化管理模式对于实现测绘成果的共享以及协同应用是很有帮助的,这也在一定程度上提升了工程各个参与方之间在信息沟通方面的效率。

测绘工程管理信息化水平不断得到提升,这就为工程建设开展精细化管理以及做出科学决策筑牢了稳固的基础。

3 测绘新技术在测绘工程中的具体应用

3.1 GNSS 技术在工程测绘中的应用

GNSS 技术属于当下测绘工程里应用颇为广泛的一种新技术。它凭借全球导航卫星系统来运作,能够精准且连续地获取测点的空间位置,进而给工程测绘给予了一个可靠的坐标基准。在工程测绘的实际操作当中,GNSS 技术在控制测量、工程放样还有变形监测这些关键环节都得到了广泛应用。它可以在相对较短的时间内完成针对较大范围且需高精度的定位作业,由此有效地提高了测绘工作整体的效率。相比于传统那种依赖通视条件的测量办法而言,GNSS 技术在作业进程里受到地形以及环境的影响是比较小的,其适应能力更强,特别适合地形复杂、测区范围比较大的工程项目。与此 GNSS 技术还能够和其他像 GIS 地理信息系统技术、RS 遥感技术以及三维激光扫描这类测绘手段相互协同配合起来,去构建起一个由多种数据来源融合而成的测绘体系,以此达成对空间信息展开综合性的分析与应用的目的,进而进一步提升测绘成果所具有的可靠性、完整性以及实用价值,为工程建设以及后续的管理工作给予稳定且精确的空间基准方面的有力支撑。

3.2 GIS 技术在工程测绘中的应用

GIS 技术就是我们常说的地理信息系统,对于测绘工程当中的应用情况,主要呈现出诸多方面的体现,像空间数据的集中管理事宜、综合分析相关操作以及可视化表达等方面均有所涉及。把测绘所获取到的各种各样的地理空间数据全都统一到 GIS 平台当中来,如此一来便能够达成工程区域信息的集中式存储目的、实现统一化的管理要求以及完成动态性的更新工作,进而切实保证数据具备完整性以及准确性这两方面的特质。GIS 技术一方面可针对地形、地貌、管线、建筑物以及其他工程设施等各类信息展开多维度的综合分析,以此给工程选址、方案比选、施工组织以及管理工作给予科学层面的决策依据;另一方面还能对历史测绘数据实施空间方面的对比操作以及变化层面的分析工作,进而为工程后期的维护以及管理工作给予数据方面的有力支持。除此之外,GIS 技术在测绘成果的展示这一方面有着较为明显的优点,它的图形化功能以及可视化功能可将复杂的测绘数据以一种更为直观的方式来加以呈现,使得管理人员以及相关的决策者能够更为清晰明确地去理解工程空间信息的具体结构以及分布方面的特征,提升数据的可读性以及应用的效率,同时也给工程信息化管理以及智能化决策给予了强有力的技

3.3 遥感与无人机测绘技术的应用

遥感以及无人机测绘技术在测绘工程领域有着极为突出的特点,其效率颇高,灵活性也相当不错,特别适合那种测区面积小、地形状况复杂或者人工测量实施起来颇

为困难的工程项目。遥感技术凭借获取并分析地表目标所反射或者辐射的信息,可达成对区域地形特点、地表变动以及环境情形的宏观层面的监测,能给工程初期的规划工作以及整体的判断事宜给予关键性的依据。而无人机测绘技术依靠低空飞行平台以及高分辨率的传感设备,在精细化的数据采集环节明显占据优势。把这两者结合起来运用,能让测绘工程在相对较短的时间内完成地形测绘、工程调查还有施工过程监测等诸多任务,大幅缩减了测绘所需周期,并且提升了数据的时效性^[1]。与此无人机测绘在作业期间对于地面通行条件的依赖程度不高,能够减少人员进入到复杂或者存在危险的区域的必要性,如此一来,既降低了测绘工作的难度,又提升了测绘工程的适应能力、安全性以及实际应用的价值。

3.4 三维激光扫描技术的应用

三维激光扫描技术借助高速激光测距这一手段,可获得目标物体表面的高密度点云数据,进而达成对空间结构的精准建模以及三维重构。在测绘工程领域当中,此项技术被广泛运用到复杂结构测量、工程变形监测、既有建筑信息采集还有大型设施建模等诸多方面,能够如实且完整地呈现出目标物体的空间形态。三维激光扫描技术不但具备较高的测量精度,而且所具有的数据完整性也很强,还能够迅速采集大量的空间信息,这使得测绘效率得以大幅提升,为工程设计、施工以及后期运维都提供了较为可靠的三维基础数据^[2]。随着与之相关的数据处理软件功能不断地完善起来,同时硬件设备性能也在持续提高,三维激光扫描技术在测绘工程里面的应用范围以及精度也都获得了进一步的强化,在复杂工程测绘、数字化建模以及智慧城市建设等方面所呈现出来的前景也变得日益宽广,它极有可能成为未来工程测绘当中不可或缺的核心技术之一。

4 测绘新技术应用中的问题与发展对策

4.1 测绘新技术应用中存在的主要问题

虽然测绘新技术于工程测绘实践当中呈现出了较为显著的技术优势以及应用潜力,然而在推广与应用的进程里,依旧难以避免地会碰到一些实际存在的问题。测绘新技术对于高性能仪器设备以及专业软件有着较高的依赖性,其前期所投入的成本相对来说是比较大的,对于那些资金实力受到限制的中小测绘单位来讲,这很容易在经济方面产生不小的压力,对技术的全面推进势必也会造成一定影响。测绘新技术在操作环节、数据处理方面以及成果分析等方面,针对人员的综合素质提出了更高的要求,技术人员不但要拥有扎实的测绘专业基础,而且还需要掌握信息化以及数字化技术,然而当下具备这种复合能力的

人才数量相对匮乏,在某种程度上对新技术应用效果的充分展现形成了制约^[3]。除此之外,因为不同的测绘技术与系统在数据格式、技术标准以及接口规范这些方面还没有达成完全统一的状态,所以在数据共享以及系统集成过程中仍旧存在着阻碍,这对测绘成果的协同利用以及整体应用效率都产生了影响。

4.2 测绘新技术在测绘工程中的发展对策

就测绘新技术应用所存在的诸多问题而言,得从技术、管理以及人才等不同层面来着手改进。在技术这个层面上,需要积极推动测绘新技术方面的标准化建设工作,同时还要强化多种技术融合应用的情况,以此来提升系统的兼容性以及数据的共享程度^[4]。从管理层面来讲,应当依据工程的实际需求状况,去合理地选定测绘技术方案,切忌盲目地去追求那些高端设备。而在人才培养这那么就需要进一步加大针对测绘专业人员展开培训的力度,从而促使他们能够更好地掌握新技术,并且提高其应用新技术的能力。唯有通过多个方面的协同推进,才能够切实有效地提升测绘新技术在测绘工程当中的应用水准。

5 结语

综上所述,测绘新技术于测绘工程当中的应用,给工程测量的方式以及管理模式都带来了颇为深刻的变革。借助对 GNSS、GIS、遥感还有无人机测绘以及三维激光扫描等技术加以合理的运用,一方面提升了测绘工程的精度以及效率,另一方面在成本控制、安全保障以及信息化管理等诸多方面也都发挥出了十分重要的作用。当下,尽管测绘新技术在推广应用的过程当中依旧面临着一些问题,不过伴随技术不断取得进展并且管理水平也在持续提升,其在测绘工程里的应用前景将会变得更加宽广。往后的日子,需要进一步强化针对测绘新技术展开的研究以及相关实践,以此来推动测绘工程朝着更为智能、更有效率且更具可持续性的方向去发展。

[参考文献]

- [1]方少涛.测绘新技术在测绘工程测量中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(26):142-144.
- [2]陶茜.测绘新技术在测绘工程测量中的应用分析[J].工程与建设,2024,38(1):57-59.
- [3]李贵柱.测绘新技术在测绘工程测量中的应用探究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(23):181-183.
- [4]谭正文.测绘新技术在测绘工程中应用的常见问题探究与讨论[J].世界有色金属,2023(11):130-132.

作者简介:刘雨川(1974.9—),毕业院校:沈阳理工大学计算机科学与技术,当前就职单位:辽宁省自然资源事务服务中心,职务:高级工程师。

模块化装配式建筑在复杂场地施工的应用

朱增瑞

枣庄中汇城市建设有限公司, 山东 枣庄 277100

[摘要]为了探索模块化装配式建筑在复杂场地条件下的应用效果,采用工厂化构件加工、参数化施工方案设计与全过程监测控制的方法,以实际工程为例,研究施工组织、吊装拼装及质量管控的实施过程。结果表明,该方法在工期缩短、人工投入减少、机械利用率提升及施工精度控制方面均表现出显著优势,关键指标满足设计要求,为复杂场地施工提供了可行的技术路径。

[关键词]模块化装配式建筑;复杂场地施工;工程应用

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18589

中图分类号: TU756

文献标识码: A

Application of Modular Assembly Building in Complex Site Construction

ZHU Zengrui

Zaozhuang Zhonghui Urban Construction Co., Ltd., Zaozhuang, Shandong, 277100, China

Abstract: In order to explore the application effect of modular modular buildings in complex site conditions, the methods of factory component processing, parameterized construction scheme design, and full process monitoring and control were adopted. Taking actual engineering as an example, the implementation process of construction organization, hoisting and assembly, and quality control was studied. The results showed that this method has significant advantages in shortening the construction period, reducing labor input, improving mechanical utilization, and controlling construction accuracy. The key indicators meet the design requirements, providing a feasible technical path for complex site construction.

Keywords: modular assembly building; complex site construction; engineering application

引言

复杂场地条件下的施工对传统建造方式提出了更高要求,空间受限、地质复杂及周边环境敏感性均限制了常规工艺的适用性。模块化装配式建筑凭借工厂化生产与现场快速拼装的结合,为解决上述问题提供了新的技术路径。本研究以模块化构件的结构特性和工艺流程为切入点,构建施工方案设计、吊装拼装技术与安全质量管控的系统框架,并结合案例工程开展应用验证,形成基于实测数据的效果评估,为装配式建筑在复杂场地的推广应用提供方法参考与技术支撑。

1 模块化装配式建筑技术概述

模块化装配式建筑以标准化构件为核心,依托工厂化加工确保结构精度和性能稳定。构件在受控环境下完成钢筋配置、混凝土浇筑及表面处理,避免了现场施工受气候和场地限制所带来的不确定性。标准化生产还使构件在强度、耐久性 & 尺寸精度方面保持一致性,为后续快速拼装奠定基础^[1]。构件生产过程的精细化管控,如混凝土拌合物坍落度控制在 $180 \pm 20\text{mm}$, 养护温度维持在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 确保早期强度与耐久性。同时在工厂环节应用 RFID 标签,为后续运输与安装提供信息追溯。在运输环节,构件需考虑尺寸、重量与吊装能力的匹配。大型模块多采用分段运输与现场拼接方式,而中小型构件则凭借整体运输直接进场,以减少二次加工与临时拼装工序。合理的运输路径规

划和专用支撑措施,可降低构件在运输过程中的损伤风险,并提高现场施工效率。运输安全与监测措施,例如在运输车辆上设置应力传感器监控受力状态,确保构件振动幅值 $\leq 0.5\text{g}$, 防止微裂缝产生。对于超限构件,需配合交通管理部门制定夜间专线运输方案。施工工艺流程遵循“吊装-定位-拼接-固定-验收”的顺序。构件就位后,依靠高强螺栓、焊缝或灌浆套筒实现节点连接,确保整体稳定性和承载力。拼装节点的施工工艺细节,如高强螺栓分两级拧紧,终拧扭矩控制在 $130 \sim 145\text{N} \cdot \text{m}$; 灌浆套筒采用低收缩高强灌浆料,流动度保持在 $320 \sim 360\text{mm}$, 保证节点密实度与连接强度。吊装作业需结合起重能力、作业半径及场地空间进行精确计算,以减少二次调整^[2]。拼装完成后,开展结构精度检测和强度校核,保证施工质量满足设计标准。

2 模块化装配式建筑的施工应用

2.1 施工方案设计关键节点控制

施工方案设计需将模块吊装、拼装、固定等环节进行节点化分解,并凭借参数化方法控制精度。节点划分以构件吊装顺序为主线,结合起重机作业半径和吊点布置进行优化。吊点布置需凭借有限元分析模拟构件受力状态,确保起吊过程中各吊索受力均衡,单点受力不超过额定载荷的 70%。对于非对称构件,需采用四点吊装并辅以电子平衡器,实现受力自动调节。为保证整体工期,可采用关

键路径法计算施工时间:

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{P_i} \quad (1)$$

其中, T 为总工期 (d), Q_i 为第 i 工序工作量 (m^3 或 t), P_i 为相应作业效率 (m^3/d 或 t/d)。在实际应用中, 将吊装、拼接、灌浆等工序量化为 Q_i , 并根据设备能力与人员配置确定 P_i , 从而得到关键节点的时间约束。在关键路径法应用中, 需将施工顺序转化为逻辑网络图, 利用软件进行时差分析。凭借计算关键工序的最早开始时间与最晚完成时间, 识别出影响总工期的控制节点, 避免资源分配不均导致的停工。

节点控制需依托测量基准线和临时支撑系统^[3]。吊装前凭借全站仪建立基准坐标, 拼装过程中采用激光测距仪校正偏差, 误差控制在 $\pm 3 \text{ mm}$ 以内。灌浆套筒节点则凭借水泥浆流速和凝结时间参数进行实时监控, 确保承载力达到设计值。对于大跨构件, 需在吊装前设置可调节支撑架, 并在拼装完成后实施二次校核, 二次校核包括标高、垂直度及节点刚度检测。标高允许偏差 $\leq 5 \text{ mm}$, 垂直度误差控制在 $H/1000$ (H 为层高) 以内; 节点刚度凭借加载试验进行抽检, 偏差值不得超过设计刚度的 $\pm 5\%$ 。校核结果需同步录入信息化平台, 实现全过程可追溯。以保证整体结构稳定^[4]。

2.2 模块化吊装拼装技术

吊装环节需结合构件自重、吊点布置和起重机性能进行精确计算。吊装荷载可按式确定:

$$F = G \times K \quad (2)$$

其中, F 为吊装总荷载 (kN), G 为构件自重 (kN), K 为安全系数, 一般取 $1.1 \sim 1.3$ 。实际操作中, 若构件自重为 25 kN , 取 $K=1.2$, 则吊装荷载为 30 kN , 据此选择起重机型号与吊索具规格。吊点位置凭借有限元模拟确定, 以减少受力不均导致的倾斜^[5]。在荷载计算中, 还需考虑动载系数与风荷载影响。当吊装高度超过 30 m 时, 动载系数取 $1.05 \sim 1.10$; 风速大于 6 m/s 时, 应在计算中加入附加风荷载修正项, 以保证吊装过程稳定性。

吊装操作流程包括吊具安装、构件起吊、平衡调整、缓慢落位四个步骤 (见图 1)。吊具安装环节需采用双重防脱装置, 并凭借扭矩扳手对吊钩连接螺母进行校核; 平衡调整阶段配置电子倾角仪, 确保倾角 $\leq 2^\circ$, 超过阈值立即凭借电动平衡器进行自动修正。起吊前使用电子测力计监控受力, 保持起升速度 $\leq 0.3 \text{ m/s}$; 落位时凭借激光对点系统将构件定位在 $\pm 5 \text{ mm}$ 范围内。拼装阶段采用高强螺栓、焊接或灌浆套筒作为主要连接方式, 其中螺栓预紧力需满足设计值, 推荐扭矩范围为 $120 \sim 150 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。拼接完成后, 利用全站仪进行整体校核, 确保相邻模块的高差不大于 2 mm 。灌浆节点需凭借压力泵进行均匀注浆, 浆液流速控制在 $0.8 \sim 1.2 \text{ L/min}$, 注浆完成后设置 24 h 临

时支撑, 直至强度达到 70% 设计值再拆除。灌浆作业完成后, 需在节点位置布置温度与应变传感器, 实时监测水化放热与收缩应变, 数据采集频率不低于 $1 \text{ 次}/10 \text{ min}$; 当温升超过 20° C 或应变偏差超出 $\pm 200 \mu \text{ e}$ 时, 应立即采取二次养护措施。全过程需在吊装监控系统下进行记录, 以保证可追溯性。

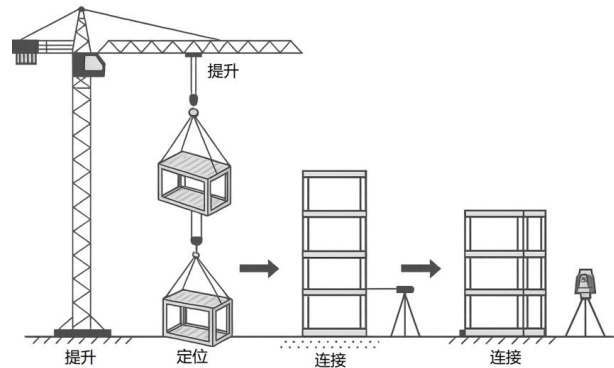


图 1 模块化构件吊装流程示意图

2.3 施工安全质量管控

施工安全管理需在吊装、拼装、焊接及灌浆各环节设置实时监测与控制措施^[6]。在施工过程中, 安全与质量指标需进行量化检测, 以确保各关键环节均符合设计标准。凭借对现场吊装、拼装、焊接及灌浆工序的监测, 获得的参数数据如表 1 所示。

表 1 施工质量控制检测参数表

检测项目	控制指标	实测数据范围	合格率 (%)	允许偏差
吊装偏移量 (mm)	$\leq \pm 5$	$-3.2 \sim +4.6$	98.5	± 5
构件轴线偏差 (mm)	$L/1000$ ($\leq 8 \text{ mm}$)	$2.1 \sim 6.8$	97.3	≤ 8
螺栓终拧扭矩 (N·m)	$120 \sim 150$	$122 \sim 148$	99.2	± 5
灌浆压力 (MPa)	$0.4 \sim 0.6$	$0.42 \sim 0.59$	96.7	± 0.05
灌浆饱满度 (%)	≥ 95	$95.3 \sim 98.7$	97.8	≥ 95

从表 1 可见, 吊装作业前, 起重设备需完成额定载荷校核, 吊索具拉力监测值不大于额定强度的 80% , 并凭借电子测力计实时采集。作业区域设置自动报警系统, 当位移传感器检测到构件偏移超过 $\pm 5 \text{ mm}$ 时立即触发停机指令^[7]。拼装精度控制依赖全站仪和激光测距仪双重校核。节点高差允许偏差 $\leq 2 \text{ mm}$, 轴线偏差控制在 $L/1000$ (L 为构件长度) 以内。螺栓连接采用扭矩扳手分级拧紧, 分两次加力, 最终扭矩值需达到设计要求的 95% 以上。灌浆节点采用压力泵均匀注浆, 压力稳定在 $0.4 \sim 0.6 \text{ MPa}$, 灌浆饱满度凭借红外成像检测, 确保无空鼓。质量管控环节建立全过程信息化记录, 传感器数据、检测报告与施工日志同步上传至监控平台, 实现节点闭环管理。凭借数据比对, 实时校核施工质量是否满足设计标准。

3 工程案例与应用效果

3.1 案例工程背景

该工程位于城市中心区,场地周边交通密集,施工区域受限,基坑边线距既有道路不足 8m,施工净空高度仅 45m。场地地质条件以粉质黏土为主,承载力特征值约为 180kPa,地下水位埋深 2.3m,对基坑开挖及模块吊装均形成约束。基坑开挖过程中设置井点降水系统,抽水能力为 120m³/h,保证基坑底部稳定;同时在支护结构周边布设监测点,监控沉降速率不大于 2mm/d。由于施工场地紧邻高层建筑群,振动和噪声控制标准严格,要求吊装设备与运输车辆的作业时间和路径需提前规划。项目总建筑面积约 2.6 万 m²,采用标准化模块单元,每个模块尺寸 6.0m×3.2m×3.0 m,单体重量约 22t,需配置额定起重量 ≥50t 的履带式起重机。为满足场地受限条件,施工组织方案将模块运输划分为夜间分批进场,白天集中吊装。基坑周边设置临时钢平台作为构件堆放区,最大储存量不超过 6 个模块,以减少占地^[8]。运输车辆采用液压平板车,车厢承载能力 60t,配合防滑支撑装置固定模块;运输过程中加装 GPS 定位与应力传感器,实现位置与受力实时监控。为保证施工安全,现场布置激光测距仪和全站仪监控吊装精度,同时在模块拼装区域布设临时支撑系统。吊装作业设定警戒半径 25m,区域内安装高清摄像头与位移传感器,实时采集构件偏移数据;监控系统将数据传输至中央控制室,当偏差超出 ±5mm 时自动报警。由于工程周期要求紧凑,工期限定在 120d 内,施工方案需在空间受限、工序紧凑及监测严控条件下完成。

3.2 模块化装配式施工过程

施工过程以流水作业方式推进,完成模块运输与现场堆放。运输车辆按照预设路线进入场地,经重量监测后将构件置于临时钢平台,堆放高度控制在两层以内,平台承载力按 ≥200kN/m² 设计,确保后续吊装安全。模块入场后按吊装顺序编号,堆放区设置防滑橡胶垫层,防止构件底面损伤;同时在堆放区布置承载力传感器,实时监测平台变形量,控制值 ≤2mm,以保证安全储存。吊装阶段由履带式起重机实施模块提升,吊点位置经有限元模拟确定,避免偏心受力。起吊速度控制在 0.25~0.3m/s,构件离地后凭借测力传感器实时监控荷载,确保不超过额定值的 80%。构件起吊前在四角加装电动平衡器,凭借自动调节钢索张力消除倾斜;同时在吊装过程中布设风速传感器,当风速超过 8m/s 时自动暂停作业,避免摇摆风险。模块就位过程中,激光对点系统用于控制水平偏差在 ±3mm 以内,定位完成后立即插入临时固定销,保持拼装稳定。拼装节点采用高强螺栓和灌浆套筒两种方式。螺栓连接分两级拧紧,终拧扭矩保持在 130~145N·m;灌浆作业由压力泵实施,压力稳定在 0.45~0.55MPa,浆液饱满度凭借红外成像检测,控制值 ≥95%。螺栓安装完成后随机抽检

20%的节点,检测扭矩保持在允许偏差 ±5% 范围内;灌浆完成后采用超声检测确认饱满度,检测合格率需 ≥97%。检测数据与图像同步上传至云端平台,便于溯源。拼装完成后,利用全站仪对整体轴线和标高进行复核,高差允许值 ≤2mm。各环节完成后,施工数据同步上传至监控平台,形成全过程记录。

3.3 应用效果评估

为验证施工方案的可靠性,在工程竣工后,对施工周期、人工投入、机械利用率、施工成本、安装精度及节点强度等关键指标进行了对比评估,具体结果如表 2 所示。

表 2 工程应用效果对比表

指标类别	设计/传统施工工值	模块化施工实测值	差异情况
工期(天)	120	116	缩短 4d
人工用工量(工日)	18,200	11,300	减少 38%
机械利用率(%)	70	85	提高 15%
施工成本(万元)	2,950	2,715	降低 8%
水平偏差(mm)	≤±5	±2.8	在范围内
轴线偏差(mm)	≤8	6.7	在范围内
节点灌浆强度(MPa)	45.0	46.5	提高 3.4%

从表 2 可以看出,工期方面现场统计数据显示,从基坑支护完成到主体结构封顶共计用时 116d,相较于计划工期 120d 提前完成 4d,关键路径上的吊装与拼装工序未出现延误。成本控制以人工与机械费用为核心,模块化施工的人工用工量为传统现浇方式的 62%,主要体现在钢筋绑扎与模板支设环节的减少。机械作业集中在吊装设备和运输车辆,设备使用率保持在 85% 以上,闲置率显著下降,综合施工成本较预算降低约 8%。施工精度检测结果表明,模块拼装的水平偏差均值为 ±2.8 mm,轴线偏差控制在 ≤7mm,均满足设计规范要求。节点灌浆强度 28d 实测值为 46.5MPa,较设计值提高 3.4%,说明连接强度稳定可靠。施工监测数据凭借数字化平台实时归档,形成完整的质量追溯体系,为后续运维提供依据。

4 结语

模块化装配式建筑在复杂场地条件下的应用,凭借标准化构件加工、精确的吊装拼装工艺以及全过程质量监控,展现出在工期、成本与施工精度方面的显著优势。案例工程的实测数据验证了施工方案的可行性与稳定性,关键指标均满足设计要求。未来研究可进一步聚焦于多工况条件下的施工信息化监测体系构建,结合数字化建模与智能调度优化,实现对施工全过程的动态控制与风险预警,为装配式建筑在更广泛场景下的推广提供技术支撑。

[参考文献]

- [1]罗永健.带剪力墙的模块化装配式整体式建筑结构研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(15):80-82.
- [2]张婷婷.模块化装配式钢结构建筑施工技术应用[J].大

众标准化,2025(11):140-142.

[3]刘雅琳.模块化装配技术下的生态建筑材料集成应用[J].佛山陶瓷,2025,35(5):137-139.

[4]张晓明.模块化装配式钢结构建筑施工技术应用研究[J].新城建科技,2025,34(1):10-12.

[5]李明明.模块化装配式的房屋建筑体系施工技术研究[J].佛山陶瓷,2024,34(12):142-144.

[6]李文浩.装配式建筑在兰州中川机场的应用研究[J].工

程与建设,2024,38(5):1159-1161.

[7]李天琪,陈美合,谢东霖,等.模块化钢结构体系在低多层建筑中的应用研究[J].工程与建设,2024,38(4):844-847.

[8]张嘉迪.模块化装配式建筑结构设计研究[J].住宅与房地产,2024(9):64-66.

作者简介:朱增瑞(1992.4—),男,毕业于青岛理工大学,所学专业:土木工程,就职于枣庄中汇城市建设有限公司,科员。

河堤护岸桩板式挡墙施工技术

蔡路 龚巍 康学太

中铁二十二局集团第五工程有限公司, 重庆 400711

[摘要]随着经济社会的发展,对防洪安全保障,生态环境保护等提出了越来越高的要求,而城区及农村的河道因年代久远及设计问题,已无法满足需要。本篇文章结合巴中市张家河生态修复项目实际工程施工案例展开分析,重点介绍了该市政工程中河堤护岸及道路回填支挡采用桩板式挡墙的施工技术。主要技术要点包括场地平整、边坡修整、孔口淤泥清理、钢护筒埋设、安装钢筋笼、灌注混凝土、挡土板等工艺。

[关键词]市政道路;河堤支护;挡墙

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18637

中图分类号:

文献标识码: A

Construction Technology of Pile Plate Retaining Wall for River Embankment Protection

CAI Lu, GONG Wei, KANG Xuetai

Fifth Engineering Co., Ltd. of China Railway 22nd Bureau Group Corporation Limited, Chongqing, 400711, China

Abstract: With the development of the economy and society, higher and higher requirements have been put forward for flood control safety guarantee, ecological environment protection, etc. However, urban and rural rivers can no longer meet the needs due to their age and design issues. This article analyzes the actual construction case of Zhangjiahe Ecological Restoration Project in Bazhong City, focusing on the construction technology of pile plate retaining walls used for river embankment protection and road backfilling support in the municipal engineering. The main technical points include site leveling, slope finishing, cleaning of silt at the hole opening, embedding of steel casing, installation of steel cage, pouring of concrete, retaining plate and other processes.

Keywords: municipal roads; river embankment support; retaining wall

1 工程概况

该道路位于巴中市巴州区张家河右侧,是城市道路支路,拟建桩板式挡墙右侧存在已有小区住宅,且地基基础形式不明确。该区域河床水位标高以上土层为原有小区素回填土,河床水位标高以下依次为粉质黏土和漂石层,下伏基岩为泥岩、砂岩,根据河堤堡坎特点及主要岩土层力学性质以及项目的重要性,河堤桩板式挡墙的持力层选取中等风化泥岩、砂岩,基础埋深考虑冲刷系数影响^[1]。

2 工程特点及总体思路

本工程位于现有张家河河道内,河床水位标高以下有淤泥等不良地质,水位标高以上又有原小区施工倒置废弃渣土,考虑到此工程施工难度较大的特点,需考虑桩基开挖保证措施,且不能影响既有房屋结构的稳定性。应在施工前对河床水位标高以下淤泥清理干净,并设置围堰阻挡河道水流入施工区域范围内。

另外孔口周围边坡为回填素土,回填土方高度约7.5m,回填年限较久,且不曾压实。故在孔口开挖前须将原有坡体进行修整。孔口周围两米范围内坡体修整,按照1:0.5坡率放坡并对坡面进行轻夯。

施工桩基挡墙时需对边坡进行修整,防止坡面松散土掉落。根据地勘报告提前制作好钢护筒,每节钢护筒1.5m,旋挖一次钻进深度为1.1m,每开挖一节,焊工焊接一节,防止一次性开挖超深,钢护筒安放不及时导致塌孔、滑坡

等现象发生,从而影响既有房屋结构稳定性,直至钢护筒穿过中风化岩层。河道水位及岩层示意图见图1。

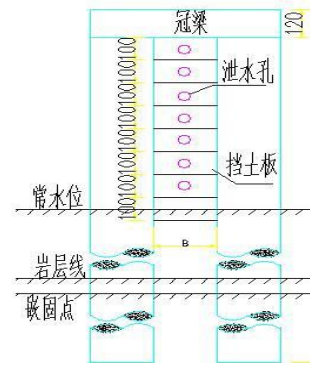


图1 河道水位及岩层示意图

3 施工工艺及操作要点

3.1 技术参数

表1 桩技术参数表

部位(里程)	桩径/m	数量	桩间净距/m	嵌岩深度/m
河道西侧 HK4+128-HK4+460	2	58	1	≥7

3.2 操作要点

3.2.1 场地平整及坡体修整

根据现场实际情况,所有桩基均位于河道内。施工前

需将河道内场地平整提供机械操作平台。场内回填土方量较大且高度约 7.5m 左右，若不对边坡处理，开挖后会出现孔口和孔内大面积垮塌，造成塌孔现象，故对边坡进行 1:0.5 坡率刷坡处理并夯实。开挖前先将领坡面松散的土体轻微刷掉，再根据测量放样位置精准开挖，因土体为回填土体且不曾压实，开挖不得大面积且必须边开挖边夯实坡体土层。为防止后续桩基施工中下雨对坡体产生扰动，坡体处理后对坡面及坡顶采用彩条布全面覆盖。

3.2.2 孔口淤泥清理及孔口护筒埋设

桩位淤泥较多，一次性开挖会产生坡体滑坡现象，现场按淤泥厚度分层次清理淤泥，桩基施工采取跳孔形式开挖，施工时先将孔口淤泥清除干净后立即安装钢护筒，钢护筒周围 50cm 内采用级配碎石回填，待桩位校正无误后，将其夯实处理。桩基直径 2m，挖机开孔宽度不得小于 3m，深度不应大于 0.7m，钢护筒厚为 10mm。

3.2.3 桩基开挖及钢护筒埋设

按照设计要求，回填区域段必须增设钢护筒，但现场土体均为素填土，且高度较高，体积较大，使用泥浆护壁作业不满足作业要求，若一次性开挖至填方区域以下安设钢护筒，孔内会出现大量河水流入以及坡体土方垮塌，因此在旋挖桩施工中开挖 1.1m 后立即安装 1.5m 高钢护筒，并调整好垂直度，振动锤配合旋挖从上至下依次对接焊接连接，直至穿过回填区域。

3.2.4 钢筋笼运输及安装

整根钢筋笼制作完成后，经自检合格后报监理工程师检查认可，然后在钢筋加工场内用 30t 吊车吊至平板式运输车上^[2]或直接用吊车转运至工地。钢筋笼安装前应清除黏附的泥土和油渍，保证钢筋与混凝土紧密黏结，吊车吊运、下放钢筋笼。

3.2.5 灌注混凝土

桩身混凝土采用 C30 混凝土灌注，混凝土灌注前提前做好串筒及孔口接料漏斗的安装。根据桩孔深度，人工在平地上将漏斗、串筒挂设成型，安装完毕后由吊车吊入孔内。串筒安装时应注意尽量使串筒位于桩孔中心，不得碰撞已定位完毕的钢筋骨架，桩基位于河道内，灌注方式采用水下灌注法灌注。

3.2.6 挡墙设计与验算

本工程根据地质勘察报告，通过使用理正岩土软件 9.0，采用水利工程模块对河堤桩板式挡墙进行验算。桩位嵌固点允许位移小于 10mm 控制，桩顶位移允许位移小于 100mm 控制，土压力安全系数采用 1.35，结构重要系数采用 1.1。桩嵌岩段嵌入深度不小于桩长的三分之一，桩嵌土段嵌入深度为桩长的二分之一控制。具体参数及结果详见以下内容：

桩板式挡墙剖面图见图 2。

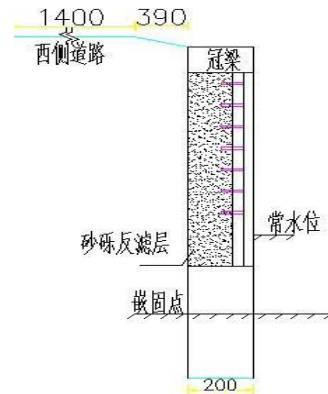


图 2 桩板式挡墙剖面图

表 2 墙身尺寸

桩总长 (m)	20.000
嵌入深度 (m)	10.000
截面形状	圆桩
桩径 (m)	2.000
桩间距 (m)	3.000
挡土板的类型数 (<=5)	1
嵌入段土层数 (<=20)	3
桩底支承条件	铰接
计算方法	K 法
初始弹性系数 A (MN/m ³)	-
初始弹性系数 A1 (MN/m ³)	-

3.2.7 一般情况

土压力计算：计算高度为 10.000m 处的库仑主动土压力。破裂角：44.226°。

$E_a=474.550kN$ $E_x=463.302kN$ $E_y=102.712kN$ 。

作用点高度 $Z_y=3.342m$ 。

背侧-为挡土侧；面侧-为非挡土侧。背侧最大弯矩 = 9107.461kN·m。

距离桩顶 13.030m。

面侧最大弯矩 = 0.000kN·m 距离桩顶 0.000m。

最大剪力 = 1651.448kN 距离桩顶 10.000m。

桩顶位移 = 39mm。

3.2.8 地震情况

土压力计算：计算高度为 10.000m 处的库仑主动土压力。破裂角：45.540°。

$E_a=508.461kN$ $E_x=496.409kN$ $E_y=110.051kN$ 。

作用点高度 $Z_y=3.356m$ 。

背侧-为挡土侧；面侧-为非挡土侧。背侧最大弯矩 = 9607.102kN·m。

距离桩顶 13.030m。

面侧最大弯矩 = 0.000kN·m 距离桩顶 0.000m。

最大剪力 = 1725.527kN 距离桩顶 10.000m。

桩顶位移 = 42mm。

结论：经过对桩板式挡墙弯矩、剪力、位移、土压力等计算，嵌固段 $\geq 1\text{cm}$ ，悬臂段 $\geq 0.8\text{cm}$ ，结构满足设计 50 年使用要求。

3.2.9 冠梁施工

放出轴线及冠梁内边线，并定好水平控制标高→冠梁碗扣钢管脚手安装→架设冠梁底木方龙骨于脚手架顶托板上→冠梁底模及侧模安装→冠梁钢筋绑扎铺设→冠梁混凝土浇筑→混凝土养护→达到设计强度等级→拆下碗扣钢管脚手架可调顶托→拆除冠梁侧模及底模模板→拆除水平杆、剪刀撑及钢管脚手架立杆。

4 建设工程项目河道清淤处理案例分析

4.1 巴中市张家河生态修复（一期）工程建设项目概况

本工程位于现有张家河河道内，河床水位标高以下有淤泥等不良地质，水位标高以上又有原小区施工倒置废弃渣土，现有的河道清淤装置在实际清理工作的应用中，还存在着一定的不足之处，如淤泥从出口处喷出时较为散乱，淤泥出口处固定不能调节，导致喷出的淤泥严重污染船体和河堤，不易收集整理，并且现有的河道清淤装置操作较为复杂，使用不便，不能根据实际的泥浆深度来调整清淤范围等。为改善人民群众的生活与居住环境，研究一种新型的河道清淤断流拦截装置技术并推广应用至河道清淤流浚工程，使河道通过治理变深、变宽，河水变清，是当前迫切要解决的问题。

鉴于以上问题，中铁二十二局集团第五工程有限公司以巴中市张家河生态修复（一期）工程建设项目施工（三）标段为工程背景，根据设计图纸及施工规范要求，经改进创新形成了“市域河道清淤断流新型拦截装置施工工法”，并在本项目得到了应用。成功解决了项目水利工程河道内清淤施工的诸多弊端，取得了显著的经济效益和社会效益。同时，对生态环保方面得到了极大的提升及改观，具有良好的推广运用价值。

4.2 工程特点

4.2.1 工程质量得到保障

传统的河道机械清淤施工技术，存在常见的河道水面水体污染、淤泥不易收集整理、清淤装置操作较为复杂、使用不便等施工问题。而市域河道清淤断流新型拦截装置施工技术，采用调节组件将输送筒与输送浆的远离驱动电机的一端调节至河道的底部后，即可将淤泥抽送至排淤组件上的排淤管处进行清淤，该设备具有对河道及两岸破坏小，清淤范围广、量大，淤泥可直接输送进罐车等优势。较传统河道机械清淤施工技术施工质量好且操作方便，使用时间更长。

4.2.2 工序转换快，操作简单

采用传统河道机械清淤施工技术，施工工序多，工序间歇时间长，采用本工法通过转动环与连接杆的配合，通过握杆旋转转动环即可带动连接杆向套杆内侧或外侧移

动，来带动挡架在排淤管外侧转动，进行导向淤泥，使淤泥排出的位置得到调节，降低淤泥堆积过高而污染船体的可能。极大地减少了施工工序，提升施工进度。

4.2.3 节约成本

本工法的投入使用，可以减少操作人员的数量及大型机械设备的投入，节约了大量人力物力所带来的施工成本。同时，河道清淤装置可进行二次循环利用，极大的提高了购买材料所带来的成本。

4.2.4 节省工期

与传统的河道清淤施工技术相比，工人的劳动强度被大大降低，工序时间大大压缩，可以更加快速便捷地完成河道清淤的施工作业，减少工期。

4.2.5 绿色环保

市域河道清淤断流新型拦截装置施工采用通过调节组件将输送筒与输送浆的远离驱动电机的一端调节至河道的底部后，即可将淤泥抽送至排淤组件上的排淤管处进行清淤，基本做到零污染，相比于传统清淤更加绿色环保。

4.3 施工工艺流程

施工准备→基础场地平整→测量放线→设备组装→材料进场→设备调试验收→设备就位→清淤→输送泥浆→导向调节→清理外运→环保检测→验收。

具体施工工艺流程见图 3。

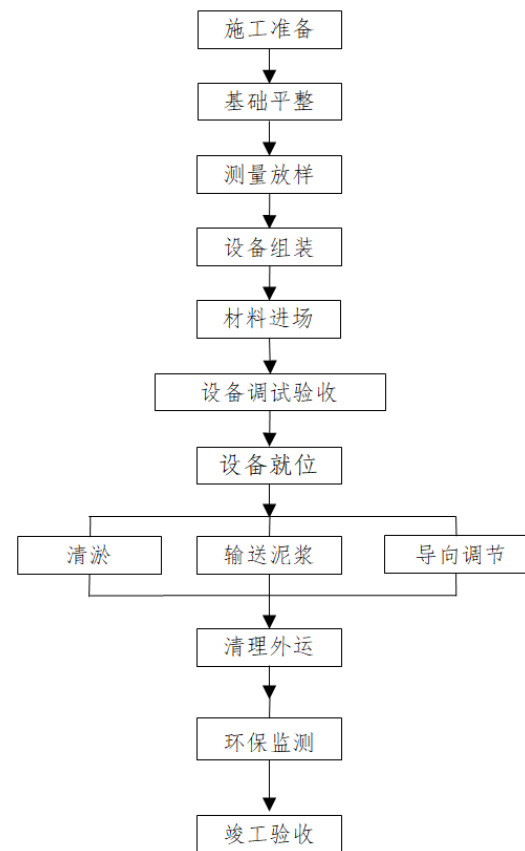


图 3 施工工艺流程图

4.4 操作要点

4.4.1 施工准备

施工前,应对清淤区域的淤泥成分、地形条件、地质条件、清淤层厚度等进行调查分析。进场施工前的准备工作是施工管理中的一个重要的环节,准备工作的好坏,直接影响到本工程的顺利展开。为了避免施工管理中的盲目性,提高计划性和科学性,准备工作的根本目的是:组织和指定管理工作所必须的数据和资料。

4.4.2 基础平整

将河道沿岸上的垃圾杂物、杂草等平整后清理干净,以达到施工条件的要求,如表面有回填基础区域应平整碾压夯实后确保清淤设备正常安放。

4.4.3 测量放样

施工人员于施工前,由施工技术人员现场进行技术交底,依据设计图纸确定清淤设备组件安装的位置,经技术人员勘查无误后方可进行施工,一切尺寸准确性以图纸设计为准。放样项目包括:设备安装基础标高;河床清淤范围;河堤标高等。

4.4.4 设备调试验收及注意要点

新型河道清淤设备组件进场并在施工现场完成组装后首先进行调试运转及验收,清淤设备的选择主要考虑以下原则和相关因素:(1)适应施工现场条件,满足工程实施需要,配备方案合理。(2)满足工程质量、进度、安全和环保要求。(3)能充分发挥设备性能和特长。(4)能合理利用泥土资源,有利于保护生态与自然环境。(5)清淤和淤泥处理衔接应紧密,效率应匹配。(6)施工区的地理位置、地形、地貌、水文、气象、工程地质等自然条件。(7)清淤工程类型、规模,开挖深度、精度、输送距离、淤泥处理要求等设计条件。(8)清淤土质的类别、污染等情况。(9)设备调遣方式及其可行性。

4.4.5 清淤工作

新型设备河道清淤装置通过调节组件将输送筒与输送浆的远离驱动电机的一端调节至河道的底部后,即可将淤泥抽送至排淤组件上的排淤管处进行清淤。

河道清淤装置设备在清淤作业中,施工区域和储泥堆放点之间出现距离,需要有中转设备将淤泥转运到岸上的储存堆放点,即采用清淤设备进行清淤,再配合混凝土输送泵将流塑性淤泥进行输送,输送距离可以达到 200~300m,利用皮带机进行短距离的输送,采用水力冲挖清淤机组的高压水枪冲刷底泥,将底泥扰动成泥浆,流动的

泥浆汇集到事先设置好的低洼区,由泥泵吸取、管道输送,将泥浆输送至岸上的堆场或集浆池内。

4.4.6 环保监测

在河道清淤淤泥处理环节,从环保和经济两个角度出发,主要做到淤泥无害化、资源化利用。监测是否达到改善水环境效果,清淤可以有效去除河道内的污染物,改善水质,为鱼类等水生生物创造良好的生存环境,促进生态平衡。河道清淤有助于恢复河道的正常功能,提高灌溉、供水、通航等基础设施的运行效率,为区域经济社会发展提供有力支撑。河道清淤后,河道环境得到改善,有助于提升城市形象和居民生活质量,促进生态文明建设。

5 结束语

针对此次河道回填土方较大且淤泥较多等问题,通过分节焊接,逐节下放钢护筒施工方法,保证旋挖施工中周围不会大量水土流入孔内,减少了塌孔及边坡下沉的现象的发生,使得桩板式挡墙质量以及安全得到很好的保障。河道清淤处理技术进一步提高了河道汛期防洪能力,增加储水量,提高河道的排水、泄洪能力,降低洪水灾害的风险,保障人民群众生命财产安全。具有广泛的水利工程领域推广应用价值和实际指导价值,也可对类似工程提供借鉴和参考。

基金项目:中铁二十二局集团有限公司科技研究开发计划项目(23-10B)。

[参考文献]

- [1]秦海东.黄河中下游骨干水库联合运用多维效益综合评估[J].郑州:郑州大学.硕士(水文学及水资源),2020(1):10.
 - [2]卫瑞霞.建筑工程施工中钻孔灌注桩技术的应用[J].建材发展导向(上),2022(6):2.
 - [3]重庆市渝东新区管理委员会.一种适用于高边坡的桩板式挡墙:202221344329.6[S].2022-09-23.
 - [4]山东枣建建设集团有限公司.盘扣直插式快捷安拆支撑架及其施工方法:201610529160.4[S].2016-10-12.
- 作者简介:蔡路(1987.9—),男,四川理工学院,土木工程,中铁二十二局集团第五工程有限公司,项目经理,高级工程师;龚巍,男,(1992.2—),山西职业技术学院,建筑工程管理,中铁二十二局集团第五工程有限公司,工程部副部长,工程师;康学太(1990.1—),男,,甘肃农业大学,园林工程,中铁二十二局集团第五工程有限公司,工程部负责人,工程师。

公路工程施工技术与质量控制研究

杨宪坡

肥城市路兴经营有限公司, 山东 肥城 271600

[摘要]近年来我国交通运输网络体系建设力度不断加大,公路工程对我国国民经济及社会发展发挥着重要支撑作用。公路工程施工建设具有工期时间较长、工艺较繁琐、涉及单位较多及受外界环境干扰因素较复杂的特点,其施工工艺水平及质量管控效果直接决定了工程项目的适用性、安全性能以及使用寿命等。目前部分公路工程施工过程中仍存在着施工工艺落实不到位、施工管控松懈、质量保障体系缺失等情况,在一定程度上导致了工程项目的整体质量难以得到有效保证。鉴于此,本研究就公路工程施工工艺与质量控制问题开展了深入探讨,从施工工艺因素分析、施工工艺的基本要求、施工质量控制对策等方面入手,理清主要的工艺控制要点及质量管控思路,以为提高公路工程施工质量和工程质量提供有一定实用价值的相关理论指导及实践借鉴。

[关键词]公路工程; 施工技术; 管理策略

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18588

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

Research on Construction Technology and Quality Control of Highway Engineering

YANG Xianpo

Feicheng Luxing Operation Co., Ltd., Feicheng, Shandong, 271600, China

Abstract: In recent years, the construction of Chinese transportation network system has been continuously strengthened, and highway engineering plays an important supporting role in Chinese national economy and social development. The construction of highway engineering has the characteristics of long construction period, complicated process, involving many units, and complex external environmental interference factors. The level of construction technology and quality control directly determine the applicability, safety performance, and service life of the engineering project. At present, there are still problems in the construction process of some highway projects, such as inadequate implementation of construction technology, lax construction control, and lack of quality assurance system, which to some extent makes it difficult to effectively guarantee the overall quality of the project. In view of this, this study conducted in-depth exploration on the construction technology and quality control issues of highway engineering. Starting from the analysis of construction technology factors, basic requirements of construction technology, and construction quality control measures, the main process control points and quality control ideas were clarified, in order to provide practical theoretical guidance and practical reference for improving the construction quality and engineering quality of highway engineering.

Keywords: highway engineering; construction technology; management strategy

引言

道路是整个综合运输网络中的一环,它是地区经济和社会联系以及城乡发展一体化必不可少的基础设施之一。近年来随着我国公路建设朝着高级化、优质化和长寿命化的方向不断发展,其工程建设规模也越来越大,结构也越来越复杂,对公路建设施工技术和工程质量的要求也就越来越高。因为一个公路工程不仅有路基路面工程还有排水防护工程等多个专业的系统组成,而且还受地质状况、气象条件以及施工组织方式、建筑材料与机械等方面影响,在建设施工当中只要其中某个方面没做好就会出现质量问题从而导致工程项目整体使用功能降低甚至使用寿命缩短等情况发生。综上所述,在当前公路工程建设形势下,对施工技术要素进行系统分析,并在此基础上构建科学、规范和可操作的质量控制体系,对公路工程项目的顺利实施和工程质量保障有着非常重要的意义。

1 公路工程施工技术管理与质量控制的必要性

公路工程建设质量关系着千家万户的生命财产安全,应该强化对公路工程施工作业技术上的管理和控制,科学分配工作任务,安排高素质的技术人才以及先进的仪器设备,共同推动工程建设。除此之外还要节约材料使用,贯彻成本节约理念。而在管理和控制这两个步骤当中,则必须要增进各个单位之间的职责联系,不能让所有的工作负担都落在同一个人身上,要将任务分摊到每一个单位身上,团结协作,有问题大家一起解决,把公路工程质量放在首位,找到最有效的解决方案,才能够保证公路工程能够在高质量的情况下顺利完成^[1]。

2 公路工程施工技术要素分析

2.1 路基工程施工技术要素

路基是公路工程的基础承重结构,路基施工的质量好坏关系到路面是否稳固、耐用以及使用年限的长短,所以

路基施工技术要点在整个工程体系中居于中心环节的地位。工程施工时应应对地质、水文、地下水情况、交通负载等多种情况进行全面的研究分析,在考虑了工程大小、线路特点、周围环境的基础上科学选取填充材料和建造方式,使路基具有相应的强度、硬度、抗形变的能力。简要说就是路堤施工必须严格控制填料颗粒级配、含量、每层厚度并采取分层夯实、振动夯实或者机械碾压等方式保证压实度指标。另外做好排水的设计和施工也是很重要的,比如路基内部排水、路旁边沟排水和截水沟的布置等都是为了不让雨季降水或者地下水渗入路基引起松软塌陷。若遇到软地质质还需要用更换填充良好填料、加固基础或复合地基处理等措施来提升地基承载力,并辅之以压实观测和实验测试的方式对路基施工情况进行监控以便保证路面结构坚实稳固的基础,保障整个公路构造满足设计标准。

2.2 路面工程施工技术要素

路面是直接承受车辆荷载与自然因素影响的重承层面,路面施工的技术要素关系着汽车行驶的舒适度、安全性和路面的使用年限。对于不同的路面类型,例如沥青混凝土路面和水泥混凝土路面,在所用原材料、施工方法及施工中的质量把控重点都各有侧重,不管采取哪种路面形式都需要对其基层的施工、面层的铺设、接缝的施工等方面进行严格的技术管控。而在整个路面的施工当中,混合料的配比状况,拌合情况,摊铺厚度,碾压的方式都会对路面的密实度及其质量有着重要的影响,一旦施工温度掌控不好或者压实度不够就会出现路面松散、开裂以及早期破坏的情况。所以要想保证路面结构的性能良好就必须要有合理科学的路面工程施工的技术安排并且严格落实到位。

2.3 排水与防护工程技术要素

排水及防护工程也是保证公路长期正常使用的不可或缺部分,它的施工技术元素涉及到了路基路面的安全性和耐久性。良好的排水工程可以很好的排出地表水及地下水,避免了水进入路基而造成的路基软化、冻胀、冲刷等病害的发生;防护工程通过对边坡防护、挡土建筑物等措施使得公路沿线构造物更加稳固。排水沟、渗沟、涵洞等排水设施的断面大小、几何坡度、衔接形式都必须严格按照设计规定进行,同时对防护工程质量来讲材料选用、施工方法也都是由地质情况决定的,一旦选用错误就不能起到防护作用。因此必须要将排水及防护工程的施工技术同主体工程有机结合,才能真正提高整个公路项目的安全性和耐久性能。

3 公路工程施工技术基本要求

3.1 施工测量与放样技术要求

工程施工测量及放样是整个公路工程建设中一项最基本的技术活动,它的精确性关系着整个工程的各个构筑物的位置、线型与高程是否符合图纸规定的要求,在具体建设过程中,要利用高精度的测量设备与标准化的操作程序来严格控制路线的中心线、边线以及各项建筑物的位置,使每个施工环节都能顺利衔接起来。若出现测量放样的失误,

则不但会造成构筑物本身的尺寸、定位失准,并且还会随着下道工序的继续施工而逐渐扩大误差,从而导致工程质量不合格。为此,承建单位一定要制定一套严谨的测量复查机制,经过反复检验与施工过程中的监督检查等方式保证所测数值的真实性,并为以后的施工作业提供正确可靠的参考数据。

3.2 路基与路面施工工艺控制要求

路基路面施工技术合理性、标准化是影响公路工程质量的基础性要素,其主要控制要点在于对施工工序、原材料性能、施工技术指标和施工现场条件等各方面的良好协调。对于路基填筑而言需要严格按照分层填筑分层压实的原则并根据土质情况、含水率和地基强度选择不同的压实技术和施工机械参数,同时还应对施工顺序加以合理安排以免造成路基局部超载或不均匀沉降的情况出现;而对于路面施工则应注意保证用于沥青或者水泥混凝土材料的拌合质量和运输温度、摊铺厚度、碾压工艺参数的稳定并保持各环节之间的连续性,避免出现温度波动、层次分离、接口不紧密的现象;而且在整个施工过程当中还应注意根据施工现场检测情况和取样检查结果不断优化所采取的施工方式和技术指标参数确保每一步都处于可控状态之下。承包商单位应当在开工之前拟定好具体的工艺流程、施工技术和操作规程并在整个施工过程当中得到全面落实,保证路基路面结构性能能够达到相关的设计标准,使公路项目具备更加可靠的质量安全性和良好的使用品质。

3.3 关键工序技术控制要求

在公路工程建设中有一些施工环节对工程质量有着至关重要的作用,像软土地基处理、路面基层的建设、路面表面层的铺设及构造物接头处的施工等都是属于一些关键性的施工工序,必须要列入到技术管控的关键项目当中来。要想做到有效的管控就要针对不同的施工步骤设定出具体的管控指标,比如对于原材料的要求、采用什么样的方式进行施工作业、施工程序是什么样的,还有就是在什么条件下能够组织施工等一系列的具体规定。并且要在施工之前做好相关的技术交底工作,让施工人员熟知施工工序和步骤进行作业,以及这个步骤的具体的质量指标是什么样的,在整个施工的过程当中要做好全程巡视与监测的工作,要结合压实度指标、平整度、厚度、温度等方面的试验结果来对一些重点的部位进行实时监控,如果出现偏差就要及时进行纠正,比如改变施工方式、重新碾压或者更换不合格材料以确保每个施工步骤都符合规范规定。以此来规避工艺缺陷所带来的风险,使得每一项关键工序都能够高水准的完成,从而给整个公路项目的总体结构性能与使用年限带来有力保障。

3.4 施工技术标准与规范执行要求

施工技术标准及规范是公路工程施工活动的基本准则,对它们严格执行是工程质量可控的前提条件,在工程建设中,各种施工作业都要遵循国家和行业的有关技术标准,保障施工技术,材料和检验流程等达到规范规定,若

放松技术规范的落实,任意调整工艺或者放宽控制指标,会引发工程质量失去控制,建设单位和监理单位要加强规范实施情况的检查监督,严格规章制度与技术审核方式,保障各个施工环节都在规范范围内顺利进行。

4 公路工程施工质量控制措施

4.1 施工材料与设备质量控制

建筑材料和机械是公路工程施工的物质条件,建筑材料的质量影响着工程结构的质量以及工程的使用寿命。为了使公路工程的整体质量达到标准要求,在材料采购、进场检验及材料使用各个环节中都要进行严格管控,利用检验和核对的方式使得材料的各项指标符合设计标准以及相关规范的要求。此外机械设备的状态也需要良好,需要经常性的对其进行维修保养,使其在施工时能保持良好的技术状态。如果建筑材料或机械有问题,那么无论你的施工技术有多好都无法保障最后工程的质量,由此可见建筑材料和机械设备的质量管理也是属于整个施工质量管理的一部分。

4.2 施工现场质量管理与过程控制

建设工地是公路工程质量形成的第一线,强化工地质量管理及过程管控是杜绝质量缺陷、保证工程合格的重要手段,在施工中应对施工作业人员的行为、工艺落实情况以及施工现场状况予以全程监控,保证各道工序均按有关的技术标准和实施方案的要求来组织实施。并制定严格的过程管控制度,使质量管理贯穿整个施工过程,从施工前的技术交底到施工中的巡视检查与观测、重要节点的过程控制及施工后的工序检验^[2]。通过施工日志、质量台账、观测资料等发现的偏离应及时加以纠偏,如改进施工工艺、重新碾压、替换不合格原材料等,做到问题不过夜、不过站。把质量的管控由事后监督转为事中的防范,不仅可加快施工进度而且可以有效增强整体工程质量的一致性、可信性和持久性,为公路工程安全使用提供坚实的质量支撑。

4.3 路基与路面关键工序质量控制

路基路面是整个公路工程主要承重结构体,而其中的关键施工工序质量直接影响着项目的整体质量和使用寿命,在路基施工方面必须严格把控路基回填料粒径大小,含水量,均质化情况,层层压实、振动碾压等工艺必须符合相关标准,对路基排水横坡度、排水沟、截水沟等的尺寸也必须严格按照图纸精确定位并加以测量检验以保证路基稳定。而在路面施工方面,则需要严格监督沥青混合料或者水泥混凝土的配比、温度、摊铺厚度以及碾压方式,再辅之以路面平整度、密实度、接缝施工等方面的单独检测与全程检查^[3]。同时要设立工序质量台账和检测核验程序,对出现的各种偏差予以修正,例如加厚摊铺层、重新碾压或替换不合格建材等使得路基路面结构能够符合标准并且具备良好的服役性能,进而进一步提高整个工程质量品质和耐久度。

4.4 施工技术文件与质量资料审核

工程的施工技术文件和质量资料是对项目建设过程

以及项目质量情况的一个重要体现,它的真实性以及可靠性关乎着对工程质量评判是否精准,在建设的过程中应对各种技术交底资料以及施工记录检验报告等进行严格的把关,保证其所载信息真实可靠,所记载的数据精确无误。若资料混乱,则不仅会导致质量问题无法追踪,难以找到责任人还会导致一些质量缺陷被隐藏起来,因此应重视对于施工的技术文件以及质量资料的审核管理工作,这是提高整个工程质量水平的一种方式方法。

4.5 建设监理与质量监督机制完善

工程监理及质量监督是公路工程质量强有力的外在保证,其意义在于借助第三方独立而专业的技术对工程施工行为加以监控和限制。有效的监理及监督制度能够很好地制止施工方任意降低工程质量要求、违反技术规定的现象发生,进而保证建设项目的严肃性及规范性。有必要通过确立监理义务、赋予监督权力、完善问责程序等措施使监理和质量监督切实起到必要的限制和导向功能。

4.6 质量检测与验收制度健全

质量检验及验收作为公路工程质量管控的最后一环,其合理程度以及严格程度关乎着整个工程能否达到交付使用的条件。通过对原材料、半成品以及成品结构检测来对工程质量做出真实的反映,并且能够及时地暴露问题;在验收过程中应该依照相关技术指标与设计规定来进行判定,杜绝不合格工程进入下一道工序或者投入使用的现象发生,进而为日后公路工程的安全使用保驾护航。

5 结语

总而言之,公路工程施工技术和质量控制是相辅相成相互影响的一个系统的工程,必须建立在充分了解工程施工技术因素、严格遵守技术标准条件及健全的质量保障体系之上才能够使整个工程质量有所提高。通过路基路面及排水防护等主要技术因素的系统分析,配合合理有效的质量管控方法,能够降低工程建设过程中的各种质量问题的出现几率,提高项目的安全性能、使用寿命及经济效益。今后随着新技术新工艺的应用及管理方式进一步优化,工程质量控制也会越来越好,为我国交通运输建设高质量发展做出更大的贡献。

[参考文献]

- [1]罗捍国,于健.公路工程施工的技术要点及质量控制措施[J].汽车画刊,2025(3):197-199.
- [2]张琳洁.公路工程施工技术要素及公路工程质量控制[J].建材发展导向,2023,21(24):33-35.
- [3]孙吕红.公路工程施工技术管理与质量控制[J].工程建设与设计,2023(15):232-234.

作者简介:杨宪坡(1977.6—),男,第一学历:中专,毕业于山东省交通学校,交通运输管理专业;函授毕业于山东农业大学,本科学历,土木工程专业,当前就职于肥城市路兴经营有限公司,职务:副科长,工作年限29年,职称级别中级。

土建施工中现浇板裂缝的预防与控制

张广军

歌山建设集团有限公司, 浙江 东阳 300220

[摘要]建筑工程中, 土建工程作为其中的重要组成部分之一, 土建工程施工质量的好坏也直接决定了整个建筑物的质量以及使用性能。但土建工程施工受建筑材料的质量以及性能和施工技术水平和周围环境等多种因素的影响, 使得土建工程施工中的现浇板裂缝等质量问题屡见不鲜, 并且产生的现浇板裂缝不但影响着建筑物外观及使用, 甚至会降低建筑物的承载能力、减弱建筑物的整体性进而给工程竣工后的建筑安全带来隐患, 直接涉及到建筑使用者的人身和财产安全问题。因此, 文中分析土建工程施工中现浇板裂缝产生的原因并结合施工实际给出合理的防治对策以促进土建工程施工的可靠性和安全性, 使建筑工程投入使用后能拥有一个可靠地结构和持久的寿命, 进而最大限度保证人们的生命财产安全。

[关键词]土建施工; 现浇板裂缝; 预防与控制

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18584

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Prevention and Control of Cracks in Cast-in-place Slabs during Civil Construction

ZHANG Guangjun

Geshan Construction Group Co., Ltd., Dongyang, Zhejiang, 300220, China

Abstract: In construction engineering, civil engineering is one of the important components, and the quality of civil engineering construction directly determines the quality and performance of the entire building. However, the construction of civil engineering is affected by various factors such as the quality and performance of building materials, construction technology level, and surrounding environment, which makes quality problems such as cracks in cast-in-place slabs common in civil engineering construction. The cracks in cast-in-place slabs not only affect the appearance and use of buildings, but also reduce the bearing capacity of buildings, weaken the integrity of buildings, and pose hidden dangers to the safety of buildings after completion, directly involving the personal and property safety of building users. Therefore, the article analyzes the causes of cracks in cast-in-place slabs during civil engineering construction and provides reasonable prevention and control measures based on the actual construction situation to promote the reliability and safety of civil engineering construction, so that the building project can have a reliable structure and a long-lasting life after being put into use, which maximizing the safety of people's lives and property.

Keywords: civil construction; cracks in cast-in-place slabs; prevention and control

引言

土建施工行业中, 现浇板是建筑中主要承重构建以及整个建筑结构的主要组成部分, 在整个建筑物中占有重要的地位, 现浇板的质量好坏直接影响着建筑物的整体的安全性、适用性以及耐久性。但是现浇板在施工过程以及后期使用过程中非常容易形成各种各样的裂缝, 导致板体出现不同程度的破坏, 不仅影响着板体自身的美观性以及使用性能, 而且还会降低混凝土结构本身的承载力和使用寿命, 更严重的会导致建筑结构发生安全事故。而裂缝的发生往往是多种原因综合造成的, 有混凝土原材料的塑性收缩、干燥收缩、热胀冷缩等因素的影响, 也有施工流程安排上的不合理, 交叉作业时的相互干扰及现场留设施工缝和变形缝不合理等多种原因, 在板体初期硬化阶段直至后期长期使用的过程中, 以上各种因素不断累积, 综合作用于现浇板上导致其出现裂缝, 因此如何有效的预防并控制裂缝的发生和发展就成为了高标准施工管理中的重中之重。尤其是在高层建筑以及大跨度板体结构复杂的建筑施

工当中, 混凝土的浇筑方式、振动方式、养护方法以及施工缝的位置选择都会影响到板体的内部应力分布情况以及裂缝的产生与发展, 一旦某个步骤出现问题都将可能诱发裂缝的形成或者加剧已存在裂缝的程度。随着目前建筑工程对于结构性能和施工进度要求越来越高, 结构耐久性的逐渐受到重视, 深入的研究现浇板裂缝的成因及其防治措施已经成为一个系统的课题。不仅能为此类工程项目的施工工序顺序制定、原材料选取和施工工艺等方面提供理论参考, 更为高层建筑及大型土建工程的安全可靠和经济寿命提供了保证, 实现施工技术管理同结构性能提升有机结合的目的, 使得现浇板在其整个使用寿命内都能保持良好的结构完整性及功能可靠性。

1 土建施工中现浇板裂缝的主要形式

土建工程现场浇筑楼板裂缝类型主要有以下几种, 一般可以根据产生原因以及外观特征来划分。第一种就是塑性收缩裂缝。这种类型的裂缝经常发生在混凝土刚刚浇筑完成强度还没有完全形成的时候, 在表面大量失水或急剧

升温的情况下导致混凝土本身发生体积收缩,裂缝比较细小而且也比较薄,呈现龟裂或者直线形状,主要分布在板面的表面或者是转角位置。第二种是干缩裂缝,该种裂缝在混凝土经过一段时间以后完全凝结的过程中出现,是因为混凝土内部分泌水慢慢流失还有水泥自身水化过程中的收缩造成的体积上的改变,常常表现为纵向或者横向贯穿的形式,开裂的程度视养护的好坏会有不同的宽度跟深度。第三种为温度裂缝,是由混凝土浇筑之后本身内部和外表温差悬殊,再加上昼夜之间的温差过大,使得板体热胀冷缩造成的裂缝,往往沿着板长向或者板宽向延伸,裂纹比较宽也较深,大面积的板以及高层建筑较为普遍。第四种是结构性应变裂缝。主要跟板体所受应力有关,比如活荷载分布不均匀、支点设置不合理,在施工时交叉作业带来的局部过载等情况,在板的支撑点附近、孔洞周围以及薄弱环节处很容易产生裂缝,走向大多顺着受力的方向。

2 现浇板裂缝产生的原因

2.1 未设定伸缩缝

土建工程现场浇筑板产生裂缝的原因之一是没有科学性的设置伸缩缝,在混凝土硬化过程和养护过程中会产生一定的体积上的变化,这些主要表现为由于温度的变化而产生的热胀冷缩现象以及由水泥水化收缩引发的缩水干燥的情况,当板体比较长或者受到较强的约束时,板体内产生的应变不能得到有效的自由伸缩,则会在板体表面形成裂痕。而在施工图的设计方面忽略了伸缩缝的留设或者伸缩缝分布不合理的情况会导致板体变形应力过于集中,特别是在板端头,转角部分以及跨度大的地方应力过于集中的情况会更加严重,这就导致了裂缝的发生和发展^[1]。同时现浇板与其它构件比如梁柱或者是墙体相交的地方如果没有伸缩缝进行隔断缓冲的话,那么此处就会产生很大的应力集中现象,导致裂缝沿着交汇线延伸,影响到板体的整体性能和结构寿命。

2.2 混凝土的配比

混凝土的原材料中含有砂、石颗粒等,若未经科学配比会使得混凝土强度下降,因此拉应力也变小了,这样就增大混凝土开裂的可能性。市场上普遍使用的商品混凝土大多都具有很好的流动性,可以采用泵车运送。但是在运送的过程中若是停留时间太长,则会出现失水硬化的情况,在一定程度上会影响后期的浇筑效果。在对混凝土进行作业时,若振动时间过长会导致大粒径骨料沉降,表层失水,很容易在混凝土现浇板收缩过程中出现裂缝。同时不当的外加剂配比也会造成混凝土迅速失水而引起裂缝。

2.3 交叉作业问题

而在土建工程施工中,现浇板开裂的原因还与穿插施工有着密不可分的关系,所谓穿插施工是指在同一施工作业面上或者是相邻的施工作业区段上同时穿插着几个施

工环节,例如:钢筋的绑扎、模板支设、砼浇筑以及机电管路的铺设等,一旦各个环节衔接处理不好或者相互之间排布过于紧密的时候就会引起板体受力不平衡或者某个地方受到过大的约束力。而在浇筑混凝土的同时若模板及其支架体系还没有固定好,亦或是施工人员在对其进行材料运输,机械振动的时候都会在板体某部位形成临时性的荷载并增加其内部应力^[2]。而不同的施工单位对于施工时间、先后次序以及具体工艺的理解有所偏差,则会导致出现的浇筑中断、振捣不足或者上下两层之间的混凝土粘力度不够等情况而使得板体应力过于集中。

3 土建施工中现浇板裂缝的预防与控制措施

3.1 优化混凝土运输方式,控制混凝土水灰比

土建工程中,合理选择混凝土运输工艺,以及严格的控制好混凝土水灰比也是避免现浇板出现裂缝的关键步骤,主要目的是保障混凝土自拌合至运输直至浇筑整个过程中的性能稳定性与均一性。混凝土在运输途中较易受气温条件、颠簸震动、运距长短与待摊时间等多个方面的影响,一旦运输手段不合理,比如长距离敞口运输或者暴晒风吹等情况下,其表面的游离水就会快速散失,造成混凝土坍落度减小、局部分离或者提前干燥收缩,应力集中从而诱发微裂隙,尤其是在大体积板体或者是高层建筑中较为常见。此外,水灰比大小直接决定着混凝土的收缩情况与其抗裂能力,如果水灰比较大,则混凝土内部毛细孔隙率较高而且塑性收缩增大,在板体早期硬化过程中因收缩产生拉应力致使容易开裂;相反若是水灰比较低,则会导致混凝土流动性与可操作性较差,不易进行浇筑振捣,部分位置不够密实就成为了薄弱点,裂缝产生的概率也就随之提升了。所以在施工时一定要通过合理配合比与准确称量来确保水灰比符合设计规定值,必要时配合一些外加剂调节混凝土的保水特性与泵送性能,以维持混凝土运输和浇注过程中的稳定性。

3.2 安排混凝土现浇板工序

而在土建建筑工程当中,如何科学有序地对现浇板的混凝土进行施工工序上的安排也是影响着现浇板是否会出现裂缝问题的关键因素之一,这是因为现浇板的施工工序是否合理也会关系着板体的受力状况及整个混凝土结构的整体性。一般情况下现浇板的施工都会涉及到钢筋骨架的绑扎、模板支设、混凝土浇灌、振动密实及后期的保湿养护等步骤,一旦施工过程当中的各个步骤之间的顺序编排不当就会很容易引起施工干扰的情况发生进而造成板体的受力过于集中。比如大面积的板体浇筑时若是浇筑的一次跨度太大则会导致板体中心部分与周边边缘部分在受力上差距过大,从而使得混凝土在早期硬化的过程中其自身的干缩与温差所产生的应力不能够均一分散而导致开裂;再如若是绑扎钢筋或者支设模板未能及时跟上浇筑步骤的进度,则会导致板体部分区域出现支撑缺失或者

振动不够充分的情况而使得混凝土浇灌后容易在这些位置产生裂缝。除此之外,混凝土浇灌时的先后顺序、每次浇筑层厚以及连续两次浇筑之间的时间间隔都会对现浇板内部所承受的应力大小有着重要的影响。因此若是一次铺设太厚或者两次浇筑间隔时间太长的话就有可能使板体上下层间的黏结质量下降甚至出现层面之间的应力过于集中的现象,这样也会增大混凝土板体产生裂缝的可能性^[3]。对于高层建筑或是复杂构造的现浇板来说,在对其进行施工工序方面的规划时除了要考虑上述因素之外,还要注意各施工班组之间的配合程度及其各自的施工速度,要尽量避免各班组交叉作业时造成的板体受力点上的局部超载或者因震动而导致的扰动问题的发生以确保该板体在其浇筑成型并初凝的过程当中能够保持一个相对平均的应力状态进而使整个板体在整体性方面得到增强并且其抗裂性能也有所提高。

3.3 确定土建工程设计重点

土建工程施工中土建工程建设的设计要点确定对预防现浇板裂缝有很重要的指导意义,因为在设计环节就直接关系着板体结构所承受力状态,可实施性及预防开裂的风险程度。所以在现浇板的设计上就要充分注意到板体的跨度尺寸,板体厚度,支座情况,荷载特征等因素来科学地布置钢筋,选取合适的板厚及配筋方案,以此来分散传递板体内所承受应力,降低由于应力过于集中而产生的裂纹出现几率。并且要在设计方案中注意温度变化和砼收缩的影响,在设计时要考虑到留设合适的伸缩缝,施工缝,控制缝的位置,以保证板体在初期硬化过程和后续使用期间可以满足外界环境和所处荷载的变化要求。除此之外还要在设计过程中兼顾施工工艺和材料的选用,对砼标号,水灰比,振实方法,养护措施等加以规定使得设计理念和施工实际相协调,防止出现由于设计缺陷导致难以进行施工或者板体应力过于集中的现象发生。特别针对高层建筑,大跨度板以及复杂结构的设计重点的选取直接影响着板体的防裂效果。

3.4 强调质量管理,优化高层建筑施工监控

在土建工程中,注重质量管理和加强高层建筑施工监测也是防止现浇板开裂的主要对策,主要是通过对整个过程的质量把控与合理的施工检测来保证板体在施工、硬结、养护过程中的每一个步骤均满足设计标准与规范的规定。在施工阶段应当树立一个完善的质量管控制度,在混凝土材料选择、配合比、浇筑方案、振动质量、养护方式等方面进行全方位监管,以便第一时间发现并解决可能造成楼板开裂的不良操作问题。而且有必要借助先进的施工监控设备来对高层建筑楼板的施工步骤予以实时观测记录诸如温度、湿度情况,砼坍落度大小,振动状况及支架体系受力情况等,以期尽早察觉到板内出现应力聚集或者存在不当施工行为的情况并以此避免

裂缝的形成。再者针对高层建筑所特有的施工难题例如大体积板面、超长跨度、风压或温度变化所带来的温度应力等问题施工监测能给予最真实的数值参考。这样承建商就可以依据监测数据合理安排施工进度、砼浇筑流程、振动方式,确保砼内部密实均匀板体应力分布合理进而降低裂缝的发生概率。

3.5 合理设置施工缝和伸缩缝

土建施工当中,科学合理的设置施工缝与伸缩缝属于防止现浇板开裂的一种关键技术措施,其目的是给板体提供一定的应变空间,并避免板体由于收缩,温度因素以及结构限制所造成的应力过于集中。对于现浇板来说,混凝土在其浇筑硬化后乃至长期使用过程中会产生塑性收缩与干缩,而高层建筑板体则会由于气温变化、所受荷载及支承约束等因素而在内部形成不均匀应力^[4]。一旦没有科学合理地设置施工缝或者伸缩缝,则板体内部累积的应力就会在板端、转角以及跨中等处过分积聚,从而很容易导致出现贯穿性裂缝或龟裂网状裂缝等问题,进而损害到结构的整体性能及其耐久性。为此,在设计和建造时一定要针对板体的跨度大小、支承情况、荷载特征以及周围空气温湿度状况合理安排施工缝、伸缩缝的位置和分布间距,并通过配合止水带、柔性填充物或者适当增强局部构造等方法来对缝端加以妥善处置,从而使板体能够在收缩和温度应力的作用之下自由伸缩,自由释放内力。

3.6 采用适当养护措施,控制温湿度

土建工程施工中合理的养护及相关温湿度管理是对现浇板裂缝发生的有效管控手段,其本质是对混凝土进行有效的湿度及温度管理,以降低混凝土早期的收缩应力,进而提升板的整体寿命以及结构的完整程度。混凝土在实施浇筑以后,其中的水泥发生水化作用必须要满足一定的湿度和一定的温度要求才可以使它的强度均匀上升以及混凝土内细微裂缝自我修复。而一旦混凝土养护不到位或者其周围环境中的湿度与温度波动较大例如高温、强干风或是昼夜温差过大都会使其板表面失水速度过快,造成塑性收缩和干缩应力过于集中,引发裂缝出现。因此我们需要根据不同环境因素及板体的不同,采取覆盖保湿、喷淋养护、覆盖湿麻袋或蒸养等方式,来保证板体表面处于湿润状态并对其养护时间以及温度梯度加以控制保证板体在早期硬化的过程中受力均匀。除此之外还要注意高层建筑以及大面积板体所出现的温度应力问题,应该对其进行分区养护、分层浇筑以及阶梯式升降温,以此来减少由于板体内部温差而导致的应力分布过高的情况出现,在现场当中,我们需要将现浇板的养护工作同现场的施工进度联系在一起,保证每层板体在其初凝阶段都能够得到有效的防护,尽量避免由于失水和温度变化造成的现浇板的开裂情况的发生,进而增加现浇板的结构连续性以及使用寿命。

4 结语

现浇板裂缝是土建工程施工中较普遍的一类影响工程质量问题,它的形成同混凝土的材质特性、施工技术手段、结构设计及周围环境因素等都有紧密联系。基于此对施工方案进行合理的设计,正确设置施工缝和伸缩缝、严格控制混凝土配合比中的水灰比,合理规划浇筑顺序,同时做好施工各环节的质量检查和后期养护工作,均可在一定程度上减少开裂的概率,保证板体良好的结构性和耐用度。总之,上述各项举措的有效实施不仅可以改善土建项目的整体建造水平,而且为房屋建筑的安全稳定长久使用提供了有力的保障,从而达到工程建设优质化,使用安全化的最终目的。

[参考文献]

- [1]王建林.土建施工中现浇板裂缝的预防及控制探究[J].中国住宅设施,2024(9):7-9.
 - [2]丛培建,程鑫,骆万佳.土建施工中现浇板裂缝的预防与控制[J].中国住宅设施,2022(12):72-74.
 - [3]陈镇城.土建施工中现浇板裂缝的预防与控制[J].散装水泥,2024(4):23-25.
 - [4]何幸福.土建施工中现浇板裂缝的预防与控制[J].建材与装饰,2020(20):18-21.
- 作者简介:张广军(1982.2—),毕业院校:天津城市建设学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:歌山建设集团有限公司,职务:项目经理,职称级别:中级工程师。

水利水电施工中混凝土施工技术的应用

周鲁鹏

山东郓城天元建筑工程有限公司, 山东 菏泽 274700

[摘要]水利水电工程是涉及国民经济和社会发展的重大基础设施,在防洪治涝、调水供水、清洁发电等方面具有不可替代的战略支撑作用。混凝土作为这些工程中最大量使用、最广泛采用的工程材料,其施工技术是否合理、规范、先进,是决定工程结构安全、影响工程寿命长短的基础。当前随着我国水利水电工程建设朝着高坝、大库、长隧洞等复杂化方向发展,混凝土施工面临规模更大、环境更恶劣、标准更高的新挑战。文中基于工程经验,围绕“材料-工艺-控制-发展”的思路脉络,对于水利水电施工中的混凝土技术的应用进行全面阐述,希望能够为从事该领域工作的广大工程技术人员、研究人员提供一份条理清晰、内容丰富的参考读物。

[关键词]水利水电工程;混凝土施工技术;关键工艺

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18583

中图分类号: TV7

文献标识码: A

Application of Concrete Construction Technology in Water Conservancy and Hydropower Construction

ZHOU Lupeng

Shandong Yuncheng Tianyuan Construction Engineering Co., Ltd., Heze, Shandong, 274700, China

Abstract: Water conservancy and hydropower engineering is a major infrastructure related to national economic and social development, and plays an irreplaceable strategic support role in flood control, water diversion and supply, clean power generation, and other aspects. Concrete, as the most widely used and widely used engineering material in these projects, its construction technology is reasonable, standardized, and advanced, which is the basis for determining the safety of engineering structures and affecting the length of engineering life. With the development of water conservancy and hydropower engineering in China towards complex directions such as high dams, large reservoirs, and long tunnels, concrete construction is facing new challenges of larger scale, harsher environment, and higher standards. Based on engineering experience, the article comprehensively elaborates on the application of concrete technology in water conservancy and hydropower construction around the concept of "materials - process - control - development", which can provide a clear and informative reference for engineering technicians and researchers engaged in this field.

Keywords: water conservancy and hydropower engineering; concrete construction technology; key process

水利水电工程是国民经济中的重要基础设施之一,工程广泛采用的混凝土结构关系着整个项目的防洪、发电、灌溉以及供水等作用能否得以充分发挥。这些混凝土建筑物主要分布于包括大坝、水闸等在内的主要位置,然而它们却时刻遭受着复杂的水文条件影响容易出现损坏而危及到整个工程的安全。所以说保证混凝土建筑的安全和可靠是非常重要的。

1 混凝土施工技术概述

1.1 混凝土材料的基本要求

混凝土的质量从本质上讲是由其所使用的原材料质量决定的。水泥是胶凝材料,它的强度等级、安定性和化学成分都必须严格执行国家标准和行业标准并保证有可靠的胶结作用。骨料分为粗骨料和细骨料,它们充当着混凝土的骨架角色,骨料的粒径大小、粒径分布情况、含泥量多少,针片状颗粒所占的比例以及坚固程度等都必须精挑细选、严格把控因为它们关系着混凝土最终具有的强度、和易性以及体积的稳定性^[1]。拌和用水必须干净清澈

有害微量元素含量不能超过限值否则会影响水泥正常的水化进程或对内部的钢筋造成侵蚀。再则就是出于优化混凝土某项性能或者节省造价的目的掺入的粉煤灰、矿粉等矿物掺合料和一些像减水剂、引气剂这样的化学外加剂,这些掺合料和外加剂的选择使用及其掺杂比例都需要经过一系列的试验测定必须保证它们能与水泥相兼容并达成想要获得的施工性能、强度指标以及耐久性。

1.2 混凝土施工技术特点

水利水电工程中混凝土的施工也显示出与其他一般的工民建项目不同的突出特征。一是工程规模通常非常巨大,例如大坝坝体混凝土量常达数百上千万立方米,这就给施工组织带来极大的挑战,使得浇筑速度非常高、温控变得异常困难。二是施工条件比较艰苦,经常遭受酷暑、寒冬、暴雨等恶劣天气影响或者面临深基坑、高边坡等不利地形地质状况,这就要求施工技术必须具备较强的应用性和稳定性。三是工艺流程相互依赖性强而且前后衔接紧凑,搅拌-运输-浇筑-振动-养护,整个操作过程一气呵成,

任何一个步骤出现差错都会给最终的质量带来无法弥补的损失。四是质量标准极为严厉,水利水电工程大多是永久性建筑,要经受来自水压、渗流、磨损、冰冻等诸多持续反复作用的荷载,这就对混凝土的致密度、均质程度、防水性能、抗冻能力和长时间工作下的坚固耐用程度提出了近乎偏执的要求。

2 混凝土施工关键技术环节

2.1 配合比设计与拌和运输

配合比的设计相当于混凝土生产的“配方”,它的职责是在已知需要达到的设计强度等级和耐久性的基础上,结合对混凝土的工作性和经济性的要求合理计算出每一方混凝土所需的水泥,水,骨料以及外加剂等各个组成材料具体的数量。这个过程需要经过大量试验的配制,调整校正来探索各个组分之间的最优搭配组合。一个好的混凝土配合比就是在同时满足各项性能参数的同时还能使所使用的原材料的成本最低。而拌和就是将这个设计好的“配方”变成一种均质混合物的过程。当前几乎所有工程项目都使用自动控制的强制式拌和楼来进行拌和作业,它可以准确把控上料次序,拌和时间以及搅拌力度从而保证了混凝土拌合物的色泽和质量的一致。运输的任务就是在混凝土初凝前将其从拌和站运送到浇注部位并尽量保持混凝土原有的均匀状态而不出现明显的分层离析和坍落度下降过多的现象。运输方法的选择取决于运送距离,路况的好坏以及浇注速度等多个因素,不论是采用搅拌运输车还是自卸汽车或者说是泵送和皮带机运输它们共同的原则就是要让混凝土在进入仓面的时候仍然有很好的可泵送性和流动性。

2.2 浇筑与振捣技术

浇筑指的是将混凝土拌合物流入到模板内去的操作。对于水工建筑物而言经常使用的是分层分块浇筑的方式,每一层的厚度要视混凝土的振捣能力和结构特性以及温控的要求来定,浇筑过程中应力求连续,不得产生冷缝,如因故中断,其间歇时间不得超过前层混凝土的初凝时间,否则应按施工缝处理。混凝土进入仓内之后要及时的对它进行平仓,把混凝土分布均匀^[2]。紧接着的就是振捣,是保证混凝土能够得到较高密实度的重要操作步骤。它借助于插入式或者是平板式等振捣器所产生的机械振动来消除混凝土内部颗粒之间的摩擦阻力和黏聚力,排除混掺其中的空气从而使拌合物得以布满整个模腔并与钢筋充分接触。对于振捣来说必须要控制好它的“火候”,如果振捣不够,那么混凝土内部就会残留有孔洞从而导致其结构疏松;倘若振捣过分又会造成石子沉降水泥浆上溢而引起不均质离析。一个经验老道的振捣工人应该能够在依据混凝土的坍落度、浇筑层厚度等条件的前提下灵活把控振捣棒的间距布置、插入的位置和振捣时长等。

2.3 温度控制与裂缝防治

对大体积混凝土而言,温度控制是施工的关键,也是

裂缝防治的重点。水泥水化放出大量的热能导致混凝土内部温度迅猛上升,但是外表却容易散热,在这样的情况下就会造成混凝土内部与表层存在较大的温差而在混凝土内形成拉应力,若此时混凝土所受的拉应力大于其此时具有的抗拉强度的话,那么裂缝也就产生了。而温度控制的目的是要使混凝土内部的最高升温有所下降,同时也要让混凝土内部与外面的最大温差有所缩小,并且还要尽量放缓混凝土的冷却速度。那么要达到这个目标就要采取一系列的措,而这些措又是方方面面的:就原材料而言可以选择使用低热或者中热水泥或者是掺加一些粉煤灰来减少水泥用量;预冷粗细骨料或者掺冰拌合,从而降低混凝土的入模温度。就混凝土的浇筑方式来说可以采用分层的方式来加速散失热量并且可以在混凝土内部埋设水管,在其中通循环水来进行人工降温。除此之外,在后期养护时要做好表面覆盖保温保湿工作,避免混凝土表面温度降得过快。但是其实防治裂缝并不是单单控制好温度就可以了,这是一个系统工程,除了要控制好温度之外我们还需要从改进结构方案、改变约束情况、严格地加以养护以及预留合理的后浇带或伸缩缝等方面入手才行。

3 混凝土施工质量控制

3.1 原材料质量控制

品质管控必须从根源上做起,也就是说对于进入现场的所有原材料都必须经过严格的检测。水泥、外加剂等要有产品合格证书以及出厂的质量检测报告,并要按照要求的批次及频率取样检验产品的强度、初终凝时间、安定性等情况。而骨料则要在料源处就实施源头把控,并对其筛分情况、含泥量、压碎值等进行进场检查。拌合水也要按时做水质化验。凡不符合标准的所有原料都必须坚决拒之门外,一律不得投入使用。此外,对于原材料的存储问题也是不容忽视的,例如水泥要防水,而骨料需隔仓堆放避免混合污染,一些添加剂要注意保质期等。健全原材料进场记录台账及质量追踪体系,是做好源头治理的基本保障。

3.2 施工过程监控

施工工序是工程质量形成的最关键环节,需要对整个施工过程进行动态全面的管控。主要监控的内容包括:拌和楼称量系统的准确性以及拌合的时间、拌合均匀度;混凝土从搅拌机出口到仓面入口时的坍落度、含气量等施工性能指标是否达到规定要求;浇筑分层厚度、层间歇时间、振捣质量;模板及钢筋位置、保护层尺寸;冷却水管过水量、进出水温度等是否满足设计标准等。随着现代化施工,越来越多采用信息化技术手段来进行监控管理,例如采用各类传感器对大体积混凝土内部的温度场分布情况进行全程实时跟踪。监控的过程要有记录,形成可追溯性的施工作业日记。

3.3 养护管理

振捣结束后,混凝土的凝结过程并没有停止,养护是

为了保证混凝土强度能继续、稳定的提升,避免出现不利裂缝的一项重要后续工作。养护的关键是要给混凝土一个适合的温湿度环境。常用的养护方式有:用浸湿的麻袋、草帘覆盖并在上面不间断浇水,或者喷洒养护剂,在混凝土面上形成一层保湿膜。对于一些重要的地方或者遇到恶劣气候时还要使用覆盖塑料薄膜、搭建保温棚等方式来进行保温保湿养护^[3]。养护要尽早开始,而且延续时间也要足够长,一般对用硅酸盐水泥拌制而成的砼来说,养护期不能低于 14d。养护不到位的混凝土,表面失水速度过快,不但强度的发展收到阻碍,而且容易引起干缩裂缝,使表层混凝土的耐久性能受到严重的危害。一定要树立起“养护也是混凝土施工不可或缺的一个必要环节”的牢固意识。

3.4 质量检测与评定

质量检测是混凝土成品质量的最后检验,是质量评判的基础。检测工作伴随整个施工过程:拌合站要随机取样制备混凝土试块,经过标养后再对其抗压、抗拉、抗渗、抗冻等各种性能指标进行试验;结构本体可以通过回弹法、超声波法、钻芯法等各种无损或者微损手段对其检测强度及内部缺陷情况。同时外观也是需要检查的重要一环,查看是否有裂痕、蜂窝、麻面、露筋等情况出现,量测结构物外形尺寸偏差情况等。所有的检测结果都要依照相应质检评定规程计算汇总,对混凝土工程的质量水平做出一个真实合理的判定。而质量检测评定不仅作为验收基础,它所反映出来的信息还为下步更好的施工提供宝贵参考。

4 混凝土施工技术发展展望

4.1 绿色高性能混凝土应用

以节能减排、绿色环保为宗旨的绿色高性能混凝土是未来的发展趋势,采用大量的粉煤灰、矿渣、钢渣等工业废渣取代部分水泥,既可大量利用废弃物,又减少了水泥生产的 CO₂ 排放量,而且可以优化混凝土内部孔结构,提高混凝土的长期耐久性和体积稳定性能;大力发展超高强度、超高性能、自密实、自修复等功能性的高性能混凝土来适应各种极端苛刻环境条件的要求也是当前的研究重点。绿色高性能混凝土的使用,贯彻了工程基础设施建设与自然环境和谐相处的绿色可持续发展观念。

4.2 智能化施工技术

物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术交叉融合下,混凝土施工迎来了智慧化新时代。智慧拌合系统可根据原材料含水量等指标在线检测数据,实时调控配合比、加水量。基于传感网的施工过程管理系统可实现混凝土温度、应变、振捣情况等 24h 无缝隙实时监测及智能化处理,提前告知质量隐患^[4]。机器人可用于自动振捣、收面甚至危险环境下施工。智能化施工技术的应用会大大提高施工环节精确性、可靠性和高效性,是打造工程质量“可知、可控、可溯”的利器。

4.3 预制装配化技术

把混凝土结构件在工厂里模块化、流水化的制造好后运送到工地现场拼装链接的预制装配化方式越来越多的应用到了水利水电工程建设上,如预制砼模板、预制廊道、预制生态护坡块等。装配式施工的优势明显:车间式生产条件恒定,产品更容易得到质量保障;施工现场湿作业大量降低,工期大大缩减,环境友好型项目;便于推行标准化设计和精细化建造。将来随着链接技术的进步以及设计理论的发展,更大体量和更为复杂的砼结构也完全有可能以部分或者整体装配式来进行建设。

4.4 耐久性提升技术

保障水利水电工程混凝土结构在整个设计使用年限内可靠运行,是永远的主题。耐久性提高技术将继续深化:对于原材料,研究新型防腐阻锈剂、纳米改性材料、内养护材料等;对于结构构造,改进钢筋配置方式、施加预应力、阴极保护等;对于保护层,研制高性能防护涂料、衬砌系统等。同时全寿命周期的耐久性设计理念、健康监测及寿命评估方法也将获得更加广泛的运用。

5 结束语

混凝土施工技术是整个水利水电工程的基础性和战略性技术。本文通过梳理混凝土材料需求、技术特性、主要工艺步骤、质量保证措施以及发展方向等内容,描绘了此项技术的基本轮廓及其应用要领,可以看出当前水利水电混凝土施工已经成为了涉及众多领域知识和技术集成的复杂工程项目。既需要我们尊重严格的科学技术法则和行业规则,做好每一项最基础的工作;也需要我们树立创新发展理念,敢于接纳新材料、新方法、新思路。唯有如此,坚守品质至上、追求自我革新,才能使混凝土施工技术向着更环保、更智慧、更高寿命的目标持续进步,为我国乃至全球水利水电建设事业打造出越来越多的安全稳定、坚固耐用和生态友好的优质工程产品,进而更好满足社会经济的优质高效发展和人民大众幸福美好生活的现实需求。

[参考文献]

- [1]邢晨阳.水利水电工程施工中大坝混凝土浇筑技术优化策略[J].大众标准化,2025(24):66-68.
 - [2]温雷雷.水利水电施工中混凝土施工技术应用研究[J].现代工程科技,2025,4(14):153-156.
 - [3]陆朝友.水利工程施工中混凝土防渗墙施工技术的应用分析[J].科技资讯,2025,23(12):156-158.
 - [4]丛洁,靳伟,弓振铭.水利水电施工中混凝土施工技术的应用[J].价值工程,2025,44(8):128-131.
- 作者简介:周鲁鹏(1985.6—),毕业院校:山东科技大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:山东郓城天元建筑工程有限公司,职务:项目经理。

土木工程施工中节能绿色环保技术探究

赵彦博

上思县农业技术推广中心, 广西 防城港 535500

[摘要]随着社会经济的不断发展,城市建设规模也在持续扩大,在这样的情况下,土木工程施工给能源以及环境带来的影响变得日益明显起来。节能绿色环保技术在施工过程中加以应用,一方面可以有效地降低能源的消耗程度,另一方面能够提升资源利用的效率,除此之外,它还能够一定程度上减少对环境造成的污染,进而改善施工区域的生态环境状况,从而为实现可持续发展给予强有力的支撑作用。本文把当前土木工程施工的实际开展情况作为依托,对绿色建材的应用技术展开分析,同时也对节能施工工艺与方法以及工地环境保护技术进行剖析,并且进一步去探讨其优化的策略以及未来的发展趋势走向,以此来为相关领域后续的相关工作提供一定的参考价值 and 可供借鉴之处,推动土木工程施工朝着绿色化方向实现转型。

[关键词]土木工程;节能绿色;环保技术

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18582

中图分类号: TU74

文献标识码: A

Exploration of Energy-saving, Green and Environmental Protection Technologies in Civil Engineering Construction

ZHAO Yanbo

Shangsi County Agricultural Technology Extension Center, Fangchenggang, Guangxi, 535500, China

Abstract: With the continuous development of the social economy and the expansion of urban construction scale, the impact of civil engineering construction on energy and the environment has become increasingly evident. The application of energy-saving, green and environmental protection technologies in the construction process can effectively reduce energy consumption and improve resource utilization efficiency. In addition, it can also reduce environmental pollution to a certain extent, thereby improving the ecological environment of the construction area and providing strong support for achieving sustainable development. This article takes the actual situation of current civil engineering construction as a basis to analyze the application technology of green building materials, as well as the energy-saving construction technology and methods, and the environmental protection technology of construction sites. It further explores the optimization strategies and future development trends, in order to provide certain reference value and reference for the subsequent work in related fields, and promote the transformation of civil engineering construction towards green direction.

Keywords: civil engineering; energy-saving and green; environmental technology

引言

近些年来,随着可持续发展这一理念逐渐被大众所熟知并得以广泛传播,节能以及环保已然变成了土木工程施工当中极为重要的追求目标。传统的施工模式在大量耗费能源、消耗诸多材料之际,通常还会伴有噪声、粉尘还有废弃物的排放情况出现,给环境带来了不小的负担。土木工程属于城市基础设施建设的关键环节,其施工活动在资源消耗方面以及对环境产生的影响方面都有着很强的普遍性与典型性特点,所以绿色施工技术的应用就显得格外重要了。借助于采用节能方面的建筑材料、对施工工艺加以优化以及强化针对工地的环境管理工作,不但能够让施工能耗得以降低,使运营成本有所减少,而且还能让居民的生活环境得到改善,区域的生态状况也能够得以好转。除此之外,绿色施工技术的大力推广对于推动整个行业的规范化发展是很有帮助的,同时也有助于提升施工企业在社会责任感方面的意识以及在市场当中的竞争能力。本文围绕着土木工程施工里面的节能绿色环保技术来展开相

关的分析,着重去探讨它的应用当前实际状况、优化的相关策略以及未来的发展趋势,从而给行业实践给予较为系统的指导内容。

1 土木工程建设中节能绿色环保技术的应用价值

应用节能环保技术,是新时期土木工程行业发展的新趋势。首先,有利于减少能源损耗,缓解资源短缺现状。经济发展中,各类工程项目层出不穷,但在大量建筑工程、水利工程、公路工程中,建造过程损耗大量施工资源,并且多数构筑物使用期间同样会消耗电力资源、水资源。土木工程作为各类工程项目的基础工作,节能环保技术的应用可以有效控制施工期间资源、能源损耗,提升资源利用率,满足新时期工程建设中节能减排的根本要求。其次,有利于改善居民生活环境。国民生活质量的提升,对居住环境提出更多要求,绿色、健康是新时期城市居民生活的主要需求。绿色节能环保技术与土木工程施工作业的相互融合,可以将更多绿色材料、节能技术、环保手段应用在工程建设中,为居民打造低碳、绿色、环保、宜居的生活

环境。最后,有利于减少环境污染,促进生态环境的修复。在绿色节能环保技术的支持下,相关单位可优化施工设计,控制对自然环境的破坏。同时用绿色、环保的技术手段,预防各类粉尘污染、噪声污染,减少垃圾,降低施工中的污染分线,从而使土木工程建设区域的生态系统逐渐修复,推进社会生态文明建设。

2 土木工程施工中主要节能绿色环保技术

2.1 绿色建材的应用技术

绿色建材属于节能环保技术的关键部分,对于达成土木工程施工的可持续发展而言极为重要。它的核心思想是在确保结构性能以及施工质量的基础之上,尽可能地削减材料的能耗以及给环境带来的负荷。低碳混凝土以及再生骨料的运用,不但能有效地减少水泥的消耗量以及建筑废弃物的累积情况,而且还能借助利用像粉煤灰、矿渣这类工业副产品的方式,降低对自然矿产资源的依靠程度,进而减少因开采而对环境所造成的破坏。节能保温材料在建筑围护结构当中的应用,一方面能够大幅度提升建筑物的热工性能以及能源利用的效率,另一方面还能让室内的温湿环境得以改善,使得居住和使用的舒适度得以提高,并且能够让建筑物的使用寿命得以延长,达成全生命周期的节能目标(见图1)。可再生与环保型材料,比如可降解复合材料、生物基材料还有轻质隔墙板等,在施工实践里正获得越来越广泛的运用,这些材料在减轻建筑自重、降低运输能耗、减少施工过程中产生的粉尘以及废弃物等方面都呈现出较为明显的优点。除此之外,对绿色建材进行合理的选型以及优化组合的时候,需要充分地结合工程所在的区域的气候条件、施工环境、结构功能以及使用要求等情况,通过针对材料性能展开评价、对施工适用性加以分析以及开展成本效益评估等方式,达成施工资源的高效利用以及环境影响的最小化效果。在实际工程的应用过程当中,大力推广使用绿色建材,还能够促使施工企业构建起可持续采购体系、提升自身的环保意识,与此同时也能为项目争取到绿色建筑认证以及政策方面的支持创造相应的条件,进而使得在工程建设当中切实体现出绿色低碳、可持续发展的理念。

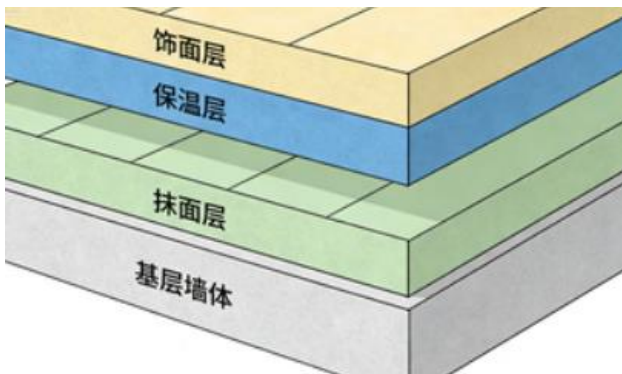


图1 外墙保温层构造剖面图

2.2 节能施工工艺与方法

节能施工工艺和方法属于土木工程绿色施工的关键技术手段,其重点在于借助优化施工流程、施工组织以及机械设备使用等方式,达成能源的合理配置以及高效利用。就施工机械来讲,运用高效节能设备、智能化控制系统还有作业负荷优化调度等举措,可大幅降低燃料消耗以及机械磨损,同时也可削减因设备低效运行所引发的二氧化碳排放以及环境污染情况。施工进度当中的能源管理同样极为重要,这涵盖了施工用电、燃料以及水资源的动态监控与科学调配,凭借实时数据的分析以及智能控制系统的运用,让施工活动在契合工程质量和进度要求的基础之上,尽可能地减少能源的浪费现象。水资源循环利用以及节水技术在施工当中有着广泛的运用,比如混凝土搅拌用水的回收再利用、施工冲洗废水的处理与循环使用,还有雨水收集以及利用系统的安装,既降低了施工用水量,又减少了废水排放给环境所带来的负面作用,推动施工现场的生态可持续性发展。与之施工工艺优化还包含作业顺序合理化、材料运输及堆放方式科学化安排等方面,以此来减少二次搬运以及施工能耗开支,提升施工效率。在大型复杂工程里,采用模块化施工、预制构件装配以及施工机械智能化调度等办法,能够进一步缩短施工周期、降低能源消耗,还可提升施工精度以及安全性。借助系统化、科学化的施工工艺设计与施工管理,土木工程施工不但能够达成节能减排的目标,而且能够保障工程质量以及施工效率,为绿色施工给予可靠的技术支撑以及实践经验,为建筑行业的可持续发展筑牢坚实的基础。

2.3 工地环境保护技术

工地环境保护技术对于施工活动契合可持续发展要求而言,是极为重要的保障手段,其关键目标是要尽力削减施工给周边环境带来的干扰以及对生态造成的破坏,达成施工过程的绿色、安全且可持续的管理状态。就尘土和噪声污染控制来讲,运用喷雾抑尘方式、对堆料加以覆盖、设置隔声屏障、合理安排施工时间以及施工顺序等举措,能够有效减少施工过程中产生的颗粒物以及噪声给周边居民、交通还有生态环境所产生的影响,在靠近学校、医院以及居民区这类敏感区域的时候,更是能够切实保障公众的生活品质以及身心健康状况(见图2)。施工废弃物的处理以及资源化同样属于关键环节,借助构建严格的分类回收体系,把可再生材料再次加工加以利用,针对不可再用的废弃物实施规范填埋或者无害化处理,如此一来,既降低了施工垃圾给环境所带来的压力,又达成了建筑材料的循环利用,节约了资源并且减少了环境负荷^[1]。生态保护与绿色施工措施需要在施工方案设计阶段充分考量场地自然环境的承载能力,合理规划施工道路、排水系统以及堆料区域,保护原有的植被和水土结构,与此通过优化土方作业范围、采用缓坡作业以及生态护坡等方式,减

小施工对生态系统的扰动程度。凭借环境监测与实时管理技术，像是布设监测传感器对粉尘、噪声、水土流失等指标展开实时跟踪，能够及时察觉潜在的环境风险并采取有效的防控举措，从而实现施工全过程的环境安全管理。综合运用污染控制、废弃物管理、生态保护以及智能监测技术，土木工程施工不但能够满足可持续发展以及环境保护的要求，而且还能为绿色施工实践给予经验以及数据方面的支撑，促使施工企业建立起系统化的环境管理体系，提升行业整体的绿色施工水平，达成经济效益、社会效益与环境效益的协调统一。



图2 喷雾抑尘设备作业现场图

3 节能绿色施工技术的优化策略

3.1 技术创新与科研支持

技术创新以及科研支持乃是推动土木工程施工走向绿色化发展的重要驱动力。借助于持续不断的科研投入以及技术研发活动，可以不断地对施工材料以及工艺加以优化，进而提升绿色施工技术所具有的实用性以及经济性。就好比说新型的低碳材料、高性能的节能设备还有智能施工系统的研发工作，其能够给施工节能以及环保方面给予可靠的技术保障。

3.2 管理制度与标准化建设

管理制度和标准化建设对于节能绿色施工的顺利开展起着制度层面的保障作用。制定科学合理的管理规程以及施工标准，可清晰界定各个环节的节能环保责任以及操作规范，保证技术措施在施工进程中得以切实执行。标准化建设还有助于统一施工方法以及评价指标，给节能效果和环保绩效提供量化的依据。比如，借助施工能耗监测标准、绿色建材选用规范以及施工现场环境管理制度，能够有效规范施工行为，降低资源浪费以及环境污染情况^[2]。施工企业需要在管理制度里明确节能目标以及考核机制，推动全员参与到其中并且持续改进，构建起技术与管理相结合的绿色施工体系，达成施工活动的系统化、规范化以及高效化状态。

3.3 信息化与智能化技术在绿色施工中的应用

信息化以及智能化技术的引入，给土木工程施工节

能还有环保赋予了全新的手段。凭借 BIM 也就是建筑信息模型、物联网传感器以及智能施工管理系统，能够达成对施工全过程的数字化监控以及精细化管理。比如，施工机械的运行状况、电力以及水资源的使用量、施工现场的环境参数等都可实时采集并加以分析，进而实现能源调度方面的优化以及污染防控。智能化技术一方面提升了施工效率，另一方面在施工方案设计阶段能够开展能耗模拟以及环境影响预测，以此为绿色施工决策给予科学依据。信息化技术还能够支撑施工过程的远程监管、数据共享以及绩效评估，为施工单位提供量化管理工具，推动节能环保措施切实落实并且不断改进，达成智慧化绿色施工。

3.4 培训与技术推广机制

培训与技术推广机制对于绿色施工技术的落实以及后续发展起着极为关键的保障作用。施工人员、管理人员还有相关技术人员的专业水平会实实在在地影响到节能环保举措的施行成效。借助系统完备的培训方案以及技术推广方面的各类活动，能够让全体人员对于绿色施工理念、技术规范以及操作办法的理解与掌握程度都得以提升。与此构建起技术推广机制，凭借经验的总结提炼、示范工程的打造、行业间的相互交流以及信息平台的资源共享等方式，促使先进的绿色施工技术能够在不同的工程项目当中得以应用并且实现复制，进而形成一个良性的循环链条^[3]。培训与推广所涉及的范畴不仅仅局限于技术操作层面，而且还应当包含环境意识方面的教育以及管理规范层面的培训，以此来达成技术、管理与理念三者的有机结合，有力地推动土木工程施工朝着绿色、低碳以及可持续发展的方向不断迈进。

4 土木工程绿色施工发展趋势

随着社会对于可持续发展的要求持续提高，土木工程绿色施工的发展态势呈现出高技术化、信息化以及系统化的特性。未来在施工方面，将会更多地依靠新型绿色建材、智能化施工设备还有数字化管理系统，达成从设计环节、材料选用一直到施工过程、运维阶段的全流程绿色把控。与此智慧工地建设会和绿色施工高度融合起来，借助数据采集、能耗分析以及环境监控等方式，达成施工资源的精细化管理以及环境影响的动态把控^[4]。政策法规以及行业标准也会不断得到完善，促使施工企业提高绿色技术的应用水平以及管理能力^[5]。除此之外，绿色施工理念会逐渐拓展到全生命周期管理当中，既注重施工阶段的节能环保，还会涉及建筑物使用的环节、维护的环节以及拆除的环节，实现真正意义上的低碳循环发展，推动土木工程行业朝着可持续、高效、环保的方向稳健地向前发展。

5 结语

土木工程施工里的节能绿色环保技术乃是达成建筑行业可持续发展的关键助力。借助绿色建材的应用、节能

施工工艺的优化以及工地环境保护技术的施行,能够切实降低能源的消耗量、削减环境污染的程度、提高施工的效率。把技术创新、管理制度、信息化智能化应用以及培训推广机制加以优化,可以更进一步地提升绿色施工的水准,打造出科学合理、高效能且具备可复制性的施工模式。在未来,伴随技术的不断进步以及政策的逐步完善,土木工程的绿色施工会持续朝着高质量、全生命周期以及智慧化的方向去发展,进而为社会生态文明建设以及城市可持续发展给予稳固有力的保障。

[参考文献]

[1]段宝明.土木工程施工中节能绿色环保技术探讨[J].建材发展导向,2024,22(5):126-128.

[2]胡誉焜.土木工程施工中节能绿色环保技术探究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(3):158-160.

[3]董志锋.土木工程施工中节能绿色环保技术的应用[J].中国建筑金属结构,2023,22(4):95-97.

[4]张飞.土木工程施工中节能绿色环保技术的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023(32):193-195.

[5]叶活力.土木工程施工中节能绿色环保技术探析[J].中华建设,2023(8):148-151.

作者简介:赵彦博,男,壮族,广西上思人,本科,上思县农业技术推广中心,研究方向:土木工程,平时工作主要是负责推进乡村建设项目、农村“厕所革命”、乡村公共照明等项目建设。

桩基施工技术在岩土工程中的应用分析

傅嘉伟

浙江大合检测有限公司, 浙江 杭州 311122

[摘要]桩基技术是解决复杂岩土工程问题、确保上部结构安全稳定的关键手段,基于此,本篇文章对桩基施工技术的技术要点及质量控制措施进行深入分析,研究表明,施工技术的选择与优化直接关系到桩基承载力、沉降控制及工程成本效益,研究结论可以为岩土工程中桩基方案的科学决策与高效、安全施工提供理论参考与实践指导。

[关键词]桩基施工技术;岩土工程;护筒埋设

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18574

中图分类号: TU473

文献标识码: A

Application Analysis of Pile Foundation Construction Technology in Geotechnical Engineering

FU Jiawei

Zhejiang Dahe Testing Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311122, China

Abstract: Pile foundation technology is a key means to solve complex geotechnical engineering problems and ensure the safety and stability of the upper structure. Based on this, this article conducts an in-depth analysis of the technical points and quality control measures of pile foundation construction technology. The research shows that the selection and optimization of construction technology are directly related to the bearing capacity, settlement control, and cost-effectiveness of pile foundations. The research conclusions can provide theoretical reference and practical guidance for the scientific decision-making, efficient, and safe construction of pile foundation schemes in geotechnical engineering.

Keywords: pile foundation construction technology; geotechnical engineering; burial of casing

引言

但随着材料科学、机械设备与设计理论的进步,桩基施工工艺不断革新,形成了从传统的打入式预制桩到现代化的钻孔灌注桩、旋挖桩、挤扩支盘桩等多样化技术体系,因此,在实际工程中,如何根据具体的工程地质条件、水文条件、荷载特性及环境限制,科学选择并优化桩基施工技术,是岩土工程师面临的核心挑战。

1 桩基施工技术概述

桩基施工是岩土中的关键部分,首先要开展精准的桩位测量工作,接着按照地质勘探得出的结果挑选合适的成孔工艺,在进行成孔操作时,要同时完成钢筋笼的制作及吊装安装工作,借助导管法等技术开展水下混凝土浇筑,形成桩身。桩基具有多种类型,按照受力原理可分成主要依靠桩侧摩擦力的摩擦桩及主要依靠桩端坚硬岩土层承载的端承桩;按照施工方式又分为预先制作的预制桩和现场浇筑的现浇灌注桩,科学合理的桩基设计及严格的施工控制,对提升整体承载力、控制不均匀沉降、保证工程结构长期安全稳定有着重要作用。

2 桩基施工技术在岩土工程中的应用要点

2.1 测量定位与护筒埋设

在桩基施工准备时期,需要运用高精度测量仪器来进行精确的定位操作,并且依靠设置相互垂直的基准线来对桩位开展双重校验工作,钢制护筒应当选用优质钢材进行加工制作,其壁厚适宜为 6~10mm,护筒的内径要比设计桩径扩

大 20~40cm,可为后续的成孔作业提供充足的空间。在陆地进行施工时,护筒的埋深一般是 2~4m,如果遇到不良地质状况就要加深至稳定地层,在水域进行施工时,护筒顶标高要高出最高水位 1.5m 以上,在安装过程中要将护筒中心与设计桩位的偏差在 50mm 以内,采用分层压实的方式来固定护筒,并且要保证其垂直度偏差不超过 1%^[1]。

2.2 成孔技术

在钻孔灌注桩的施工操作中,泥浆护壁工艺的质量把控极为关键,泥浆的性能参数要依据施工工艺来精确调节控制:当采用反循环钻进方式时,比重需要控制在 1.05~1.15g/cm³ 这个范围,若是常规工艺,比重则控制在 1.10~1.25g/cm³,黏度指标要保持在 18~28s 的区间之内,含砂率要严格地控制在 2% 以内。在进行配制时,应该挑选优质的高塑性黏土当作基础材料,通过添加 CMC、纯碱等外加剂来对性能加以优化,在施工的整个过程当中,一定要保证孔内泥浆的液面始终高于地下水位 1m 以上,形成稳定的静水压力,以此来防止孔壁出现坍塌的情况。

钻机转速需依据不同土层特性进行动态调整,在黏性土层当中,适宜采用 20~40r/min 的低速钻进方式,以此避免钻头出现糊钻的情况,而在砂性土层,则采用 40~60r/min 的中速钻进,这样能保证钻进效率,又可有效地维持孔壁的稳定。终孔验收时要严格执行“双控”标准,一方面要契合设计桩长的要求,另一方面要保证桩端进入持力层的深度符合设计规定。清孔作业完成之后,需要重

点把控孔底沉渣厚度不超过 50mm，将泥浆比重调整至 1.10 左右，各项技术参数如表 1 所示。

表 1 钻孔参数表

参数项	控制标准	备注
泥浆比重	1.10~1.20g/m ³	砂层取上限，黏土层取下限
钻速	黏土 20~40r/min，砂层 40~60r/min	硬岩层可降至 10~20r/min
终孔深度	设计桩长+入岩深度>0.5m	需结合地质勘察报告
沉渣厚度	≤50mm	清孔后检测

2.3 钢筋笼制作与安装

钢筋笼运用分段制作的工艺，每单节长度设定在 6m~12m 的范围之内，主筋连接优先采用双面接焊的方式，在同一截面当中，主筋接头数量不能超过主筋总数的 50%，而且相邻接头之间的距离要大于 50cm，以此来保证结构受力均匀。加强箍筋的间距允许出现 ±20mm 的偏差，它与主筋的交叉点依靠梅花形布置的点焊方法来固定，并且在吊点周边 1m 的范围之内进行满焊操作，整个加工过程是在专用胎架上开展，以此保证钢筋笼的直线度及圆度，制作完成以后，需要对笼体的直径、长度及焊缝质量等方面进行全面的验收。对于大直径灌注桩而言，还应当在钢筋笼外侧均匀地设置保护层垫块，保障桩身混凝土可得到有效地覆盖及具有耐久性^[2]。

钢筋笼吊装时应采用双机协同或四点平衡吊装工艺，吊点须位于加强箍筋处且要用专用吊具保证受力均匀，吊装前要全面检查成孔质量，涉及沉渣厚度及泥浆性能指标等方面，下放钢筋笼时要匀速，速度不超过每分钟 0.5m，借助全站仪实时监测钢筋笼与桩位中心的偏差，保证偏差不超过 20mm。若下放受阻，应立即停止作业，采取旋转调整等措施，严禁强行下压，对于分段钢筋笼，上下节主筋应采用机械连接或焊接方式，接长后复测垂直度，牢固固定在孔口定位架上，安装完成后，笼顶标高误差应控制在正负 30mm 以内，依靠吊筋及定位环双重固定，防止混凝土浇筑时钢筋笼上浮。

2.4 混凝土灌注工艺

导管法施工对水下混凝土灌注质量而言十分关键，核心在于让导管系统保持密闭，还要精确控制初灌混凝土量，施工前期，导管要依靠严格水密承压试验，试验压力设为孔底静水压力的 1.5 倍，稳压 2min，无渗漏才可使用，导管规格上，直径选 250~300mm，标准节段长 2~3m，底节导管长 4m 且去掉法兰盘，以减小混凝土流动阻力。初灌时，要准确计算混凝土量，保证导管首次埋深达 1.0m，施工中，导管底口与孔底间距保持在 300~500mm，灌注使用专用隔水栓，隔绝泥浆与混凝土，维持结构完整性，灌注全程要监测导管埋深，及时调整高度，让混凝土连续均匀填充桩孔^[3]。

为保证灌注桩施工质量，避免出现断桩、夹渣等状况，要着重控制混凝土连续浇注工艺，在材料控制方面，混凝土需符合以下技术参数：坍落度适宜为 18~22cm，含砂率控制在 40%~50% 的范围，胶凝材料总量要 ≥380kg/m³，施工期间应做到：保持浇筑的连续性，中断时长小于等于 30min，导管埋入深度保持在 2~6m，实时监测混凝土灌注标高，精确计算并记录导管埋深。遇到堵管情况时，可采取导管小幅振晃或者增加埋深等措施，严禁暴力提拔导管，桩顶标高以上需超灌 0.8~1.0m 混凝土以保证桩头密实度，浇筑结束时应匀速起拔导管，并立即进行清洗维护。

3 岩土工程桩基施工技术的质量控制措施

3.1 材料与设备管理

依照施工规范相关要求，钢筋进入施工现场时，其质量控制需严格按如下检测程序执行：首先要认真核查钢材出厂时附带的合格证及材质证明文件，接着按标准要求，对每批次钢筋在现场进行取样操作，重点检测的三项指标为抗拉强度、屈服强度及断后伸长率，且同一批次抽样数量不得少于 3 组。对于主筋焊接接头，要用万能试验机开展抗拉强度试验，其中双面搭接焊的焊缝有效长度应大于或等于 5d，单面焊的焊缝长度要大于或等于 10d，施焊过程中要保证焊缝连续且饱满，无气孔夹渣等缺陷，在混凝土原材料控制方面，水泥需进行复试，检测安定性及强度指标，砂石材料要检测含泥量和级配曲线，粗骨料最大粒径不能超过结构截面最小尺寸的 1/4。配合比设计需借助实验室适配进行验证，C30 混凝土的典型配合比如表 2 所示。

表 2 混凝土原材料配合比设计表

材料	用量/(kg·m ⁻³)	技术要求
水泥(P·O42.5)	380~420	初凝时间≥45min，强度等级达标
中砂	700~750	细度模数 2.3~3.0，含泥量≤15%
碎石(5~20mm)	1000~1100	压碎值≤20%，针片状含量≤15%
水	160~180	pH≥6.5，氯离子含量≤500mg/L
外加剂	4~8	减水率≥20%，与水泥相容性良好

在钻机就位之前，要严格校验其垂直度偏差情况，要保证其符合规范标准，即不超过 1%，可采用高精度全站仪或者铅垂仪来进行双向校准，并且在钻进过程当中，要通过实时监测系统动态追踪钻杆姿态，以此来避免偏斜累积。压力传感器作为关键的监测设备，每一个班次都需要使用标准压力源进行校准，要将测量误差控制在 ±2% 以内。泥浆循环系统的流量计应该每周进行标定，来保证泥浆配比和流量参数相匹配，混凝土灌注导管在使用之前要进行密封性水压试验及抗拉强度测试，试验压力不能低于工作压力的 1.5 倍，来防止爆管或者渗漏情况发生，钢筋笼加工时，每天开工之前需要校验弯曲机角度定位模块、焊机电流电压参数的稳定性，在加工过程中要使用间距卡具控制主筋排布，保证间距偏差在 ±10mm 以内，并且要借助锤击

法抽检箍筋焊接质量，杜绝虚焊、漏焊现象出现^[4]。

3.2 施工过程监控

桩基施工时要构建全流程质量监控体系，对关键参数给予实时监测和记录，沉渣厚度是控制要点，端承桩的沉渣厚度不能超过 50mm，摩擦桩则不能超过 100mm，检测需在清孔后静置 10min，运用标准重锤法进行实测，并且要对数据按照锥体高度 2/3 的标准进行修正，泥浆性能实施动态管理，比重控制在 1.15~1.25 之间，黏度为 18~22s，含砂率小于等于 4%，pH 值在 8~10 范围；每 2h 检测一次，而且在灌注前要把比重精准调整到 1.20。成孔质量要达到相应标准，垂直度偏差小于等于 1%，孔径偏差为 ±50mm，桩位偏差不大于桩径的 1/6 且 ≤100mm，混凝土灌注时，导管埋深应控制在 2~6m，初灌要保证埋深不小于 1.0m，坍落度要求是 180~220mm，每车混凝土都要检测并记录参数，如表 3 所示。

表 3 实施参数记录表

参数	控制标准	检测频率	检测方法
沉渣厚度	≤50mm	清孔后、灌注前	重锤法+测绳修正
泥浆比重	1.15~1.25	每 2h	泥浆比重计
泥浆含砂率	≤4%	每 4h	含砂率测定仪
成孔垂直度	≤1%	每节钻杆钻进后	超声波测斜仪
混凝土坍落度	180~220mm	每车混凝土	坍落度筒
导管埋深	2~6mm	每灌注 5m ³	测绳+理论计算

隐蔽工程验收过程中，桩基施工质量的核心要点在于对关键工序展开全面细致的核查，在成孔阶段，需要着重检查钻孔的直径大小、深度数值、垂直度状况及是否抵达合适的地基承载力层，对于端承型桩体而言，要保证桩底嵌入持力层达到 500mm，同时留存岩层取样影像并与地质勘察文件进行对照。在钢筋笼吊装之前，需要逐个检查主筋分布间距、环形箍筋焊接质量及混凝土保护层厚度控制措施，就位之后运用测量仪器和垂线复核笼体顶部标高与平面位置精度，混凝土灌注之前要清理孔底，确认沉淀物厚度符合标准之后再行浇筑，关键环节要留存影像记录，验收文件涉及桩位测量等资料，最终由监理单位、施工单位及建设单位三方共同签认^[5]。

3.3 质量检测与验收

在桩基质量检测工作当中，需要采用综合检测体系，将多种技术融合在一起，以此来保证可进行科学评估，静载试验是判定承载力的关键方法，主要包括竖向抗压、抗拔及水平承载这三类，其中竖向抗压试验是通过分级加载，同时观测桩顶沉降曲线来测定极限承载力的，检测数量按照工程桩总数的 1% 来控制，并且不能少于 3 根。低应变法借助应力波反射原理，可快速对桩身完整性进行筛查，比较适合用于高效普查。超声波透射法是依靠预埋声测管

来进行跨孔扫描的，可以准确地定位缺陷的位置及范围，钻芯取样法属于直接验证手段，可检测混凝土强度、桩底沉渣及持力层性状等内容，规范要求取芯直径不能小于 100mm，检测比例不低于 10%。

桩基工程验收需要同时达成桩身完整性及承载力这两方面的设计要求，桩身完整性按照缺陷程度被划分成 I 至 IV 类，其中 I 类是无缺陷桩，这类桩的数量比例要达到总桩数的 95% 以上，II 类桩有轻微缺陷，要经过专业评估来确认对使用功能没有影响，III 类桩存在明显缺陷，要采取有效的加固措施来处理，IV 类桩存在严重缺陷，就需要进行返工处理。在承载力验收方面，主要运用两种方法，一种是依靠静载试验，其实测极限承载力值不能小于设计值的 1.2 倍，另一种是通过高应变动力检测法来验证，其估算的承载力值与设计值的误差要控制在 ±20% 以内，两项验收都合格之后，桩基才可进入后续施工工序。

静载试验的终止条件存在以下几种情形：当桩顶沉降量达到 40mm 但尚未稳定；或者累计沉降量超出了设计限值的 5 倍；或者在荷载-沉降曲线上观测到十分突出的陡降趋势。若是采用低应变法进行检测并且评定为 I 类桩，需要契合桩身波速处于合理范围之内，并且波形没有异常反射信号。对于运用超声波透射法检测而言，判定为 I 类桩的标准是声速不低于 4000m/s，同时波幅衰减不超过 6dB，验收资料包括详细的检测报告、缺陷修复记录及经过监理单位审核签认的相关文件，所有技术资料应当依照工程档案管理要求长期给予保存，以此来保证其具备可追溯性。

4 结语

综上所述，本研究揭示桩基施工技术与岩土条件之间的内在联系，并总结应用要点与质控措施，以期提升桩基工程质量、效率与经济性提供系统的分析框架与实践见解。

[参考文献]

- [1]李亚鹏,赵敏哲.混凝土灌注桩基施工技术在房建工程建设中的应用[J].产业创新研究,2025(14):117-119.
- [2]梁林.桩基施工技术在岩土工程中的应用分析[J].中国住宅设施,2025(3):176-178.
- [3]陈晨.高层建筑桩基施工技术及管理措施[J].石材,2023(7):96-98.
- [4]侯雅东,陈庚德,陈亮.建筑施工中桩基施工技术的应用探析[J].建筑与预算,2022(7):65-67.
- [5]闫洪涛,刘海明.桩基施工技术在岩土工程中的应用[J].《施工技术(中英文)》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2022 年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(上册).天津市勘察设计院集团有限公司,2022(1):241-244. 作者简介：傅嘉伟（1999.6—），男，毕业于浙江理工大学土木工程，就职于浙江大合检测有限公司，技术员，助理工程师。

剧院舞台机械系统结构设计 with 工程应用研究

朱超尘

杭州友邦文化科技有限公司, 浙江 杭州 310051

[摘要]随着人们生活水平的不断提升,对于艺术的欣赏以及追求也在逐渐增强,舞台表演艺术迎来了十分广阔的发展机遇,这促使我国舞台机械产业进入了快速发展的阶段。随着舞台机械使用量的不断增加以及设备类型变得日益多样化,对其质量和安全性的要求也随之提高。研究发现,借助科学的结构设计、合理的材料选择以及系统化的布局优化,舞台机械系统可以实现高精度、平稳且安全的运行,满足多场景、多功能演出的需求,为现代剧院高效运营以及演出质量提升给予了强有力的技术支持。

[关键词]剧院舞台机械系统;结构设计;工程应用

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18592

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Research on the Structural Design and Engineering Application of Theater Stage Mechanical System

ZHU Chaochen

Hangzhou Youbang Culture Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract: With the continuous improvement of people's living standards, the appreciation and pursuit of art are also gradually increasing. Stage performance art has ushered in a very broad development opportunity, which has prompted Chinese stage machinery industry to enter a stage of rapid development. With the continuous increase in the use of stage machinery and the increasing diversity of equipment types, the requirements for its quality and safety have also increased. Research has found that with the help of scientific structural design, reasonable material selection, and systematic layout optimization, stage mechanical systems can achieve high-precision, stable, and safe operation, meeting the needs of multi scene and multi-functional performances, and providing strong technical support for the efficient operation and quality improvement of modern theaters.

Keywords: theater stage mechanical system; structural design; engineering application

引言

随着现代剧院建设持续向前发展,文化演出的需求也变得日益多样化起来。舞台机械系统作为剧院极为关键的核心设施之一,它的结构设计以及工程应用所达到的水平,会实实在在地对舞台运行时的安全性、具备的功能性以及最终的演出效果产生直接的影响。传统的舞台机械系统,功能较为单一,采用的控制方式也比较落后,很难契合现代剧院对于能够实现多场景转换、达成高精度操作以及对复杂布景加以有效管理等方面的要求。现代舞台机械系统一般来讲是由升降舞台、可平移与旋转的机构、吊杆以及承重结构等诸多不同的子系统组合而成的,在有限的空间当中,这些系统得实现高精度且相互协调一致的运行状态,并且还要能够承受住静载、动载以及冲击载荷等不同类型的载荷作用,所以这就对结构的设计方式、材料的选择类型以及系统的布局安排都提出了不低的要求。从工程应用的角度来看,舞台机械系统一方面要担负起承载布景、道具以及各类设备的任务,另一方面还会对演出的效率以及舞台操作的灵活性起到直接的影响作用。所以说,针对剧院舞台机械系统展开系统化的研究工作,对其结构设计所遵循的原则、实际的受力特性以及在工程应用中所呈现出

的效果加以深入分析,这对于提高系统的安全可靠程度、对舞台功能予以优化改进以及确保演出的质量都有着不容忽视的重要意义。本研究主要是通过分析舞台机械系统的结构设计情况以及它在工程应用方面的实际情况,来探讨其在现代剧院当中具体的实施效果,从而为舞台机械系统的优化设计工作、科学合理的管理工作以及实现多功能的应用等方面给出相应的技术参考依据以及实践操作方面的指导建议。

1 剧院舞台机械系统运行特点

剧院舞台机械系统具有多样化的运行特点,主要体现在传动方式、控制系统、安全机制、同步协调及应用适应性等方面。其传动方式丰富,包括刚性链、螺旋、链条、钢丝绳及剪刀撑等,不同方式在负载、速度和精度上各具特点,可针对不同舞台需求选择合适方案。系统控制以 PLC 为核心,结合传感器和编码器,实现运动轨迹、速度和位置的精准控制,并支持智能算法、远程监控和故障诊断。安全机制强调多重保护和冗余设计,通过过载保护、紧急停止、自锁功能及实时监测保障设备运行安全,避免异常或误操作造成损坏^[1]。同步协调能力确保多设备在复杂场景下的协同运动,通过精密控制将速度差和高度误差

控制在允许范围内,同时兼顾系统可靠性。应用适应性方面,舞台机械系统能够支持升降、旋转、平移等多种舞台效果,满足快速布景切换、演员升降等演出需求,同时根据基坑深度、载重和运动速度合理选择传动方式,从而实现舞台运行的高效、精准与安全。

2 剧院舞台机械系统的发展现状

随着文化产业以及公共文化设施持续推进,剧院舞台机械系统在功能配置、技术水平还有应用规模方面都获得了较快的发展。当下,国内剧院舞台机械系统已经从早期那种以简单的升降为主,人工或者半自动操作的模式,慢慢朝着集成化、自动化以及多功能的方向转变,可以满足大型文艺演出、综合性演艺活动以及多场景舞台转换的需求。在结构形式上,升降舞台、平移舞台、旋转舞台以及吊杆系统已然成为剧院舞台机械的基本配置,其系统承载能力、运行精度以及稳定性相较于以往都有了较为明显的提高。随着机电一体化技术的应用,舞台机械的驱动方式渐渐从传统的机械传动朝着电动、液压及其组合形式去发展,设备运行变得更为平稳,控制响应也更加灵敏。在控制层面,计算机控制系统以及可编程控制器在舞台机械中的应用变得越来越普遍,达成了多设备协同运行以及动作编排的程序化控制,提升了舞台调度的效率与准确性。从工程实践的角度来看,不同规模以及功能定位的剧院在舞台机械系统的配置上存在着十分明显的差异,一些新建或是改扩建的剧院在设计阶段就已经充分考虑到演出类型多样化以及舞台空间利用的需求,对舞台机械系统提出了更高的技术指标以及结构要求。

3 剧院舞台机械系统结构设计

3.1 舞台机械总体结构设计思路

剧院舞台机械系统的总体结构设计,其核心目标在于满足舞台多样化的演出需求,并且要保证该系统能够安全且可靠地运行,与此还得顾及到结构的经济性以及工程的可实施性。在开展设计工作的过程当中,起初得对剧院的建筑条件、舞台空间的具体尺寸以及演出功能所处的定位等方面展开详尽的分析,要清楚明确升降设备、平移设备、旋转设备以及吊杆等各种不同类型的舞台机械设备,在空间布局以及运动协调这两个层面上相互间的关系,以此达成各个子系统之间高效的协同运作并且彼此不会相互干扰的局面。总体结构设计务必要依照承载体系要清晰、传力路径需明确这样的原则来推进,要让舞台所承受的荷载、设备自身的重量还有动态运行时产生的载荷都能够凭借经过科学设计的构件以及连接节点合理地传递到建筑的主体结构之上,进而切实保障整个系统的稳定性以及运行的安全性。在对布置情况以及结构形式予以安排的时候,应当妥善确定承重构件的种类、截面的尺寸以及连接的方式等事项,并且要与导向装置、限位装置以及支撑体系相互结合起来考量,借此提升系统整体的

刚度以及运行的精度,对结构可能出现的变形情况以及振动状况加以控制,确保舞台即便是在高频启停的状态下或者是在长期运行的条件之下,依然能够维持平稳且可靠的态势。

3.2 升降舞台结构与受力分析

升降舞台作为剧院舞台机械系统极为关键的组成部分,其结构设计以及受力分析对于保障系统运行的安全性、稳定性以及功能达成有着不容忽视的重要意义。在开展设计工作的过程当中,需要依据舞台的实际使用需求、自身的承载能力还有空间的具体尺寸来合理地确定升降台的结构样式、台面的尺寸大小、支撑所用的框架以及驱动的相关机构,从而使其在承载人员、布景、道具以及舞台设备的时候能够维持良好的稳定性以及足够的刚度^[2]。升降舞台一般是由台面、承重框架、导向装置以及驱动系统等部分构成的,它的受力特性是比较复杂的,并且它不仅承受静载,而且在升降运动的过程中还要去应对所产生的动载、冲击载荷以及偏载效应等情况。所以在结构设计环节当中,必须要周全地去做受力分析以及强度校核工作,以此来保证关键的构件以及连接节点在各种不同的工况之下应力和变形都能够处于安全的范围之内。与此因为升降舞台在运行期间常常会采用多点同步驱动或者多支撑的布置方式,所以结构设计方面还需要充分考虑到各个支撑点之间在受力方面的协调情况,要尽力避免由于同步误差或者受力不均而引发的局部出现过载、结构产生变形或者是运行不够平稳等一系列的问题。

3.3 平移与旋转机构结构设计

平移与旋转机构属于剧院舞台机械系统里的关键部分,其在实现舞台空间灵活转换以及达成多场景演出效果方面发挥着重要作用。该机构的结构设计状况会直接对舞台运行的精度、稳定性以及可靠性产生影响。在开展设计工作的时候,务必要充分考量剧院舞台的面积大小、空间布局情况以及演出功能方面的具体需求,科学合理地确定平移平台、旋转台还有相关支撑结构的具体尺寸、布置形式以及承载能力,从而保证在不同工况情形下可以稳稳当地承载人员、布景、道具以及设备等所具有的重量。就结构设计而言,要清晰明确导向装置、承重框架以及运动传动系统彼此间的关系,借助合理安排导轨、滚轮或者回转支承的方式,让舞台在平移以及旋转的过程当中受力分布均匀,运动轨迹能够精确且处于可控状态,并且切实有效地防止振动、偏移又或者是结构变形等情况给系统运行带来不利的影响。从受力分析的角度来讲,需要全面综合地去考量静载、动载、惯性力以及多个机构联动运行之时有可能产生的叠加载荷等因素,着重对关键承力构件以及连接节点的应力状态和变形状况加以校核。

3.4 吊杆及承重结构设计

吊杆系统以及其承重结构,在剧院舞台机械系统里属

于极为关键的部分,主要用于悬挂布景、灯光、道具以及其他各类舞台设备。该系统的具体设计情况,会对舞台运行时的安全性、灵活性还有承载能力产生直接影响。在开展设计工作的过程当中,要依据舞台实际的使用功能、所需的最大荷载情况以及布景的具体布置方式等方面因素,来合理地去确定吊杆的数量、间距、截面尺寸以及材料选型等事项。与此还得精心设计出科学合理的承重框架以及连接节点,以此来保障悬挂物在受到静载以及动载作用的时候,能够保持良好的稳定性并且具备足够的安全性。吊杆还有承重结构,是需要去承受来自多个不同方向的荷载的,像自重、布景的重量、舞台设备所产生的动态荷载,还有在操作过程之中有可能会出现的冲击以及偏载等情况,其受力的特点是比较复杂的,并且会呈现出多种多样的变化情况。所以在结构设计环节当中,务必要全面且细致地去做受力分析以及强度校核工作,要确保各个吊杆以及承重构件在不同工况条件之下,其应力水平以及变形量都能够处于安全许可的范围之内。为了让整个系统的整体稳定性以及运行可靠性得以提升,吊杆的布置情况应当和舞台的升降机构、平移机构以及旋转机构相互之间做好协调配合,避免在多个机构同时都在运行的状态下出现受力方面的冲突情况^[3]。还需要合理地去设计导向装置以及限位装置,通过这些装置来对吊杆的运动轨迹以及布景的高度加以控制,从而防止因过度偏移或者摆动而给结构带来不好的影响。在材料选择这个方面,得综合考量强度、刚度、耐疲劳性以及长期环境的适应性等诸多因素,应当优先去选择高强度的钢材或者是复合材料,以便能够满足吊挂物多样化的实际需求,同时也能够符合舞台长期运行所提出的耐久性相关要求。

3.5 关键构件材料选择与结构优化

在对剧院舞台机械系统的结构展开设计之时,关键构件所选用的材料以及结构优化的情况,这两者是直接关乎整个系统安全性、稳定性还有使用寿命的决定因素,所以务必要开展科学且系统的分析与设计工作。一开始在材料选择上,得同时顾及强度、刚度、耐疲劳性、耐腐蚀性以及加工性能这几个方面,从而能够满足舞台机械在受到静载、动载以及冲击载荷作用情况下的受力相关要求,并且要保障其在长期且频繁运行状态下的结构稳定性。像高强度碳素结构钢、合金钢还有部分复合材料等,这些是比较常用作承重构件的材料,其中钢材因为具备不错的强度与重量之比、加工起来比较便利以及有很好的可焊性等特点,所以在升降台框架、平移轨道以及吊杆支撑等关键承力的地方得到了广泛应用。接着在结构优化这块,需要综合去考量构件截面的具体形式、布局的方式以及连接节点的设计等方面,借助有限元分析这类工程方面的手段来对受力分布状况、变形特性以及应力集中出现的部位加以评估,然后有针对性地去调整构件截面的尺寸

大小、增强局部的刚度或者采取使用加劲肋等办法,以此达成材料利用效率的最大化并且让系统整体的重量得以降低。

4 剧院舞台机械系统工程应用与效果分析

剧院舞台机械系统于实际工程当中的应用情况,乃是检验其结构设计是否合理、系统功能是否完备以及运行是否可靠的关键环节所在,而其实际所呈现出的效果,又同舞台演出的效率高低、表现力强弱以及安全与否有着极为密切的关系。在具体开展工程实施工作的过程当中,得先依据剧院的建筑条件以及演出的具体需求来对系统予以精准布置,这其中就涵盖了对升降舞台、平移与旋转机构还有吊杆系统等进行相应的定位以及安装操作,务必要确保各个子系统在空间上能够彼此协调,在运动时也能顺畅无阻,进而充分满足多场景舞台转换方面的需求。在施工安装这个阶段当中,要严格按照设计图纸来进行各类构件的安装以及连接节点的施工操作,并且针对那些关键的承重部位以及导向机构给予精确的调校处理,如此一来便能够切实保证整个系统在整体刚度以及运行精度这两个层面上都能够达到应有的水准。在调试阶段,通过多次针对驱动装置、控制系统以及联动程序展开测试的方式,促使升降、平移、旋转以及吊杆系统能够实现协调一致的运行状态,并且对于在运行过程中所出现的诸如振动、偏移以及受力不均等这类现象,要及时地加以调整^[4]。在实际的运行应用期间,舞台机械系统可高效地完成不同演出场景之间的快速切换工作,其中升降台的运行较为平稳,平移与旋转动作也十分精准,吊杆系统则在运行时较为稳定,且其承载能力也比较充足,由此使得舞台布景更换的速度以及演出组织的效率都得到了颇为显著的提升。与此经由工程应用的实际操作情况能够发现,该系统在长时间运行以及处于多种工况作用之下的结构响应特性如何,这些发现可为后续开展的结构优化、材料改进以及控制策略调整等工作提供相应的数据支撑以及实践方面的依据。

5 结语

剧院舞台机械系统属于现代剧院极为关键的技术支柱所在,其在结构设计方面以及工程应用层面所涉及的情况,对于舞台能够安全地开展运行工作以及呈现出良好的演出效果而言,有着颇为重要的影响作用。本文针对舞台机械系统的总体结构部分、升降舞台相关方面、平移与旋转机构这块内容还有吊杆承重结构这些展开分析,同时结合实际的工程应用情况来深入探讨该系统的具体运行特点及其实际达成的效果。经过研究可以发现,若能有所合理的结构设计方式、更为科学的材料选用办法以及经过优化后的布局安排,那么就能够使得系统的稳定性以及可靠性得以提升,进而实现能够在多种不同场景下、具备多项不同功能的舞台运行状态,从而满

足现代剧院在演出方面的各类需求，同时也可作为日后舞台机械系统的改进工作以及实际应用事宜提供一定的参考依据。

[参考文献]

- [1]张翔宇.现代舞台机械设计对表演效果的影响方式及优化策略研究[J].艺术家,2025(6):128-130.
[2]刘玉群,杨青青,王惠绮.舞台机械配置与使用的研究分析——以国家大剧院歌剧院为例[J].演艺科

技,2023(3):47-51.

[3]李新胜,胡坚.剧院舞台机械系统建造成本构成要点剖析[J].工程造价管理,2022(1):57-63.

[4]赵永建,王涛,宋宏.剧院舞台机械设备监理质量控制要点[J].演艺科技,2020(9):31-36.

作者简介：朱超尘（1990.11—），性别：男，民族：汉，籍贯：浙江杭州，职称：中工，学历：本科，研究方向：建筑机械设计方向。

高层建筑给排水加压系统节能设计

刘姝姝

石家庄市建筑设计院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]近年来,伴随着城市进程的加快,高层建筑的数量急剧攀升,高层建筑的给排水加压系统作为能源消耗的关键构成部分,在建筑节能领域中节能设计是核心研究方向之一。此文研究以高层建筑给排水加压系统的工作特性为依据,对当前的能耗现状进行深入分析,并提出一系列优化措施。研究结果显示,通过实施合理的节能设施可以降低加压系统的能耗,确保系统的稳定性,提高经济效益与环境效益。文章研究可以为高层建筑给排水加压系统的节能设计提供相应的参考。

[关键词]高层建筑; 给排水; 加压系统; 节能设计; 变频调速; 能效评估

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18585

中图分类号: TU9

文献标识码: A

Energy-saving Design of Pressurized Water Supply and Drainage System for High-rise Buildings

LIU Jiaojiao

Shijiazhuang Architectural Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In recent years, with the acceleration of urban development, the number of high-rise buildings has sharply increased. The water supply, drainage, and pressurization system of high-rise buildings, as a key component of energy consumption, is one of the core research directions in the field of building energy conservation. Based on the working characteristics of the pressurized water supply and drainage system in high-rise buildings, this article conducts an in-depth analysis of the current energy consumption status and proposes a series of optimization measures. The research results show that implementing reasonable energy-saving facilities can reduce the energy consumption of the pressurization system, ensure the stability of the system, and improve economic and environmental benefits. The research in this article can provide corresponding references for the energy-saving design of water supply and drainage pressurization systems in high-rise buildings.

Keywords: high-rise buildings; water supply and drainage; pressure system; energy-saving design; variable frequency speed regulation; energy efficiency evaluation

引言

近些年来,随着我国城镇化进程的加速,目前城镇化率已突破 66%^[1]。据统计,我国 200m 以上超高层建筑年均竣工量已突破 300 万栋,因其能够高效利用城市空间的优势,广泛应用于办公、商业、住宅等领域中^[2]。高层建筑具有楼层高、用水需求随时间波动幅度大、用水点分布广等特征,为了确保给排水系统的正常运行,通常需要加压系统提供稳定的支撑。然而,在高层建筑的总能耗构成中,给排水系统的能量占比相对较高,并且,加压泵组的能耗是建筑能源消耗的主要增长点。鉴于此,建筑节能的重要性愈发凸显。目前我国高层建筑的高压建筑给排水加压系统普遍存在一系列问题,例如在设计时并未充分考虑到实际的运行需求,缺乏合理性,存在较大冗余,这些问题共同导致系统的运行效率降低,造成严重的能源浪费^[3]。因此,开展高层建筑给排水加压系统节能设计研究,优化系统运行模式,提升能源利用效率,对于降低建筑能耗、推动绿色建筑发展具有重要的现实意义。

1 高层建筑给排水加压系统能耗特性

加压泵组是导致高层建筑给排水加压系统能耗的主

因,其次是控制装置、管网阻力损失等。加压泵组的能耗与运行工况,运行效率等因素密切相关。用水量大小及波动影响泵组工况,波动大能耗高,泵的额定参数与实际不匹配或效率低,能耗随之增加。此外,因未定期进行维护,导致泵组的效率降低,进而增加能耗。

为直观展示各影响因素对能耗的影响程度,通过权重分析得到结果如表 1 所示。

表 1 能耗影响因素权重分析表

影响因素	权重占比 (%)	影响程度
泵组选型与运行效率	35	显著
控制方式	28	显著
管网水力特性	22	中等
用水需求特性	10	中等
系统维护水平	5	轻微

2 高层建筑给排水加压系统节能设计关键技术

2.1 系统组成优化设计

2.1.1 分区加压设计

鉴于高层建筑楼层高度大,垂直距离长的特性,在供水系统设计中,若单一采用系统加压需要提供极高的扬程

才可以满足顶层用户的用水需求。然而这种策略会提高系统的整体能耗，同时也会导致低层用水点压力超标，长期以往会对系统的安全性造成影响，缩短其使用寿命。鉴于只推荐采用分区加压的设计方案，以楼层高度为依据，合理的进行分区，每个区配置专用的加压泵组。一般按照10~12层划分为一个独立的供水区域，并且合理控制分区的压力。高层建筑给排水系统压力分区需遵循《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)相关规定，核心原则为控制各分区最低配水点静水压力 $\leq 0.45\text{MPa}$ 。压力分区通过竖向分割实现^[4]，常见方式包括：并联分区：适用于建筑高度 $\leq 100\text{m}$ ，各分区独立设置加压设备；串联分区：适用于建筑高度 $> 100\text{m}$ ，通过减压阀实现压力梯度控制^[5]；减压分区：在单立管系统中设置减压阀组，形成多级压力控制，各区通过减压阀实现压力衔接。通过科学的分区设计可以有效降低泵组扬程与能耗^[6]。

2.1.2 储能装置优化配置

气压罐等储能装置可以有效平衡系统的压力，在实际工况中，减少泵组启停次数。在节能设计环节，主要以压力波动范围，系统的用水量等为依据，对气压罐的容积与工作压力进行合理选择。

气压罐容积计算公式为：

$$V_q = \frac{\beta V_x}{1 - \frac{P_2}{P_1}} \quad (1)$$

其中， V_q 为气压罐总容积 (m^3)， β 是容积系数(取值1.0~1.3)， V_x 为系统调节水量 (m^3)， P_1 、 P_2 分别为气压罐工作压力上下限 (MPa)。

2.2 核心设备选型节能设计

2.2.1 加压泵选型

加压泵的选型对系统的节能效果有着直接的影响，因此应该根据工况的情况，合理选择高效节能的泵，例如离心泵、管道泵。同时根据系统实际需求，精准的把控泵的扬程参数与额定流量^[7]。

选型要点：①以最大用水量需求、设计扬程为依据，对泵的额定参数进行精确定义，以免出现因选型过大导致泵组长期处于低负荷运行而对系统的整体稳定性造成影响；②在条件允许的前提下选择具有较高能效等级的泵；③为了可以提升系统在不同负荷工况下的运行效率建议采用多泵并联的运行模式，在用水量较大的时段，可以同时启动两台或多台泵，而在用水量较小的时候，可以启动一台泵。不同类型加压泵的能效对比如表2所示。

表2 不同类型加压泵能效对比表

泵型	能效等级	运行效率 (%)	能耗降低率 (%)
传统离心泵	三级	60~65	0
普通节能离心泵	二级	70~75	12~15
高效节能离心泵	一级	80~85	25~30
管道泵	一级	78~83	22~28

2.2.2 电机选型

电机在整个泵组总能耗中占比例较高，为了提高节能性能，在电机选型的过程中，建议挑选高效节能型的电机，可达到提高电机运行效率的同时实现节能的效果。其中永磁同步电机因其具有高效节能的显著特性，启动性优良、功率因数高等优势尤其适用于高层建筑给排水降压系统中^[8]。在电机选型时，同时需要注重关注以下几个关键点：一是确保电机的额定功率与泵的额定功率相匹配，若电机功率过大会导致电机长时间处于轻载的运行状态，不仅会降低电机的功率因数，而且也会造成能源浪费。二是既应该具备良好的调速性能，以满足现代建筑给排水系统对于压力流量的灵活调整，从而提高节能效果与系统的运行效率。除此之外。考虑到设备间在建筑物地下室的环境比较潮湿，鉴于此，建议选择防护等级比较高的电机。

2.3 控制策略升级设计

2.3.1 变频调速控制技术

横竖控制在传统的加压系统运行模式中占据着主导地位，泵组以额定转速持续运行，借助阀门对流量进行控制调节。然而这种调节方式导致大量的能量损失。变频调速控制技术因其卓越的节能优势，通过改变电机的供电频率，灵活调节泵组的转速，以此确保泵组所提供的扬程和流量能够与实际的用水需求高度匹配，一定程度上可以有效降低能量损耗，同时也提高了系统的能源利用效率^[9]。变频调速控制主要是借助管网压力传感器采集管网中的压力信号，并与设定压力值进行精确的对比与分析，运用先进的控制算法自动调节输出至电机的供电频率，以此改变泵组的转速。管网压力会随着用水量的增加而呈现下降，压力传感器可以瞬间感到压力变化并提高供电频率，使泵组转速相应升高，其输出流量增大，流量减少，压力稳定。采用变频调速控制技术后，泵组的能耗与转速的三次方成正比，当转速降低时，能耗相应降低，节能效果显著。

2.3.2 智能联动控制技术

借助大数据、物联网等智能技术构建智能联动控制系统，实时监测加压泵组、用水量等各个参数并实现智能调控。智能联动控制系统借助大数据强大的分析与预测能力挖掘历史用水数据，并对不同时段用水量的变化趋势进行预测，以预测结果为依据提前调节泵组运行状态，确保系统的响应速度，提高其运行效率^[10]。通过借助温度传感器，流量传感器，压力传感器等，可以实时监测运行的各个参数，并快速稳定的传输至监控平台，以确保管理人员可以全面掌握系统的具体运行情况。基于先进的用水量预测模型，系统可以预测未来不同时间段的用水量，提前增加运行泵组的数量或提高转速，以确保系统压力的稳定性，如用户的用水需求。系统具备完备的故障诊断机制，当检测出异常时，例如泵组温度过高、压力异常波动等异常情况时，第一时间触发故障报警机制，向工作人员发出警报信

号,人员能够及时进行相应的处理和维修^[11]。

2.4 管网水力优化设计

2.4.1 管径优化选择

管径的大小会对管网的阻力损失与能耗有着直接性的影响,若管径比较大,不仅会增加投资成本,并且也会减慢水流速度。同时,导管内容易发生结垢,腐蚀,对水质造成严重影响。反之,若管径过小,水流的速度也会增加,在一定程度上可提高能耗。鉴于此,应该以水流速度以及用水量为依据合理的选择管径。

管径选择原则:供水管网的水流速度控制在1.0~1.5m/s范围内,回水管网的水流速度控制在0.8~1.2m/s范围内。管径计算公式为:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (2)$$

其中,d为管径(m),Q为管道设计流量(m³/s),v为水流速度(m/s)。优化管径可降低管网阻力损失,减少泵组能耗。

2.4.2 管网布置优化

管网的布置尤为关键,合理减少管道的长度与转弯次数,有助于降低水流在传输过程中的局部阻力损耗。具体干预措施涵盖以下几个方面:①科学规划供水管网的线路,缩短供水管网的总长度,同时要注意避免迂回布置;②对管道中的三通、弯头等管件的使用数量进行严格把控,在工况中优先选用水力性能较优,阻力系数低的管线产品,从而降低水流阻力;③以用水需求的重要程度对支状管网与环状管网的布局结构进行合理规划,其中环状管网设计适用于关键用水区域,确保供水的稳定与可靠,优化管网的水力运行条件;④在铺设管道施工阶段时,应该对施工质量进行严格把控,避免出现倒坡、气囊等现象,避免因施工不当而增加水流阻力,提高能耗。

2.4.3 管道保温与防腐设计

水资源是人类赖以生存的基础。随着城镇化建设进程的加快,城市水资源短缺问题愈发突出,给排水系统环保节能建设的必要性日渐凸显。我国“双碳”目标的实施,推动了高层建筑给排水环保节能体系的建设,并逐渐形成了较为规范的标准化体系。然而,随着高层建筑建设的完善、行业技术的更新以及人们越来越多元的需求,这一标准化体系也暴露出了诸多不足。加强管道保温可以有效降低热量的损失,在一定程度上可防止管道出现结露、冻裂等情况,同时有助于降低泵组的能耗。对于热水供水管网,建议选择岩棉聚氨酯泡沫等保温性能良好的保温材料,另外可根据管道直径、当地气候条件等参数,对于保温层的厚度进行合理的确定。同时根据管道的材质以及使用环境,合理选择防腐措施,建议对管道进行镀锌、涂防腐涂料等可以延长管道使用寿命,减少管道内壁结垢,

降低水流阻力。

3 结论与展望

3.1 结论

本文研究主要对高层建筑给排水加压系统节能设计进行了深入的探讨,结果发现,加压泵组是导致高层建筑给排水加压系统能耗高的主因,并且其能耗的增加与控制方式,泵组的选型以及管网水力特性等相关因素存在一定相关性。鉴于此,应该遵循高效性、经济性、实用性的原则,加强节能设计,以此来降低能耗,确保系统的稳定性。通过分区加压设计、变频调速控制、合理选择高效设备、优化布置管网等策略,能够有效降低系统能耗。通过节能设计在提高资源利用率的同时,也大大减少了环境污染,降低了环境保护投入,提升了管理效能并促进了经济增长。

高层建筑给排水节能标准化建设是一个持续优化的过程,需要政府、企业等多方力量的共同参与。加强产学研融合,是推动高层建筑给排水环保节能标准化体系创新发展的关键路径。一方面,建立由政府引导,企业为主体共同参与的协同创新平台,围绕高层建筑给排水环保节能设备研发、技术创新与标准制定等关键领域,开展深度合作与交流,推动成果转化与标准优化,保障高层建筑给排水环保节能标准化体系的前瞻性与创新性建设。

3.2 展望

未来,高层建筑给排水加压系统节能设计可向以下方向发展:充分结合大数据、AI等智能技术构建更加智能的控制系统实现用水量的精准预测与泵组的自适应调控。与此同时,积极探索新能源与降压系统的融合策略,充分利用风能、太阳能等清洁能源,研发光伏驱动型加压泵组、风光互补集成式加压系统,消减对传统化石能源的依赖程度。

与此同时,充分利用BIM技术结合流体动力学仿真与能耗模拟分析,设计智能化的优化策略。另外,加强建立覆盖设计优化、智能运行、预测性维护、绿色施工等全生命周期节能管理体系,通过动态的监测以及智能调控不断挖掘系统的节能潜力,从而提高能源的利用效率。

[参考文献]

- [1]蒋建兴.城市自来水管道的施工及质量控制分析[J].中国标准化,2017,11(2):68-70.
- [2]马旭亮.建筑给排水管道安装施工技术及其质量控制探讨[J].产品可靠性报告,2023,12(4):110-111.
- [3]贾怀宏.自来水管道路施工中常见问题与解决策略分析[J].中国住宅设施,2021,12(3):44-45.
- [4]杨东.自来水管道路施工中常见问题及解决方案[J].城市建设理论研究(电子版),2017,22(34):148.
- [5]龚金豪,曾勤.绿色建筑理念下装配式建筑给排水设计

与施工[J].城市建设理论研究(电子版),2022,12(33):148-150.

[6]祝立强.绿色发展理念下建筑给排水及采暖通风空调安装问题[J].大众标准化,2022,13(12):67-69.

[7]周兵,陈家伟.智慧城市绿色给排水管道施工技术的有效实践[J].智能建筑与智慧城市,2021,12(8):169-170.

[8]黄昕.浅议城市绿色给排水管道施工技术[J].智能建筑与智慧城市,2023,11(5):182-184.

[9]张锦华.高层建筑给排水系统优化设计研究[J].江西建

材,2022,11(1):108-109.

[10]余志明.高层建筑给排水系统安装及施工技术研究[J].住宅与房地产,2020,12(15):201.

[11]朱建华.高层建筑给排水系统安装施工中存在的问题及对策[J].中阿科技论坛(中英阿文),2020,11(3):70-71.

作者简介:刘姣姣(1992.2—),毕业院校:河北工业大学城市学院,所学专业:给排水工程,当前就职单位:石家庄市建筑设计院有限责任公司,职务:设计,职称级别:工程师。

焦炉化产品回收过程能耗控制与节能研究

刘馨月 侯雨辰 于淼 郭天赐 赵猛 孙宇 鞠奥 孟德鑫
鞍山华泰环能工程技术有限公司, 辽宁 鞍山 114000

[摘要]在我国持续推进双碳战略与工业绿色低碳转型的宏观背景下,焦化行业作为传统的高能耗、高排放领域,其节能降耗工作不仅具有重要的环境效益,同时也具备显著的经济价值。文中围绕焦炉化产品回收这一关键工序,系统探讨了其能耗现状、主要影响因素以及可行的节能路径。通过对近年来特别是2022至2025年间行业相关能耗数据、技术进展与管理实践的系统梳理,指出该工序能耗主要集中于红焦显热、荒煤气物理热以及工艺蒸汽消耗等环节。

[关键词]焦炉化产品回收; 能耗控制; 节能技术; 余热回收

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18590

中图分类号: X511

文献标识码: A

Energy Consumption Control and Energy-saving Research in the Recycling Process of Coke Oven Products

LIU Xinyue, HOU Yuchen, YU Miao, GUO Tianci, ZHAO Meng, SUN Yu, JU Ao, MENG Dexin
Anshan Huatai Environmental Energy Engineering Technology Co., Ltd., Anshan, Liaoning, 114000, China

Abstract: Against the macro background of Chinese continuous promotion of the dual carbon strategy and industrial green and low-carbon transformation, the coking industry, as a traditional high energy consumption and high emission field, not only has important environmental benefits in terms of energy conservation and consumption reduction, but also has significant economic value. The article systematically explores the energy consumption status, main influencing factors, and feasible energy-saving paths of the key process of coke oven product recycling. Through a systematic review of industry related energy consumption data, technological progress, and management practices in recent years, especially from 2022 to 2025, it is pointed out that the energy consumption of this process is mainly concentrated in areas such as red coke sensible heat, raw gas physical heat, and process steam consumption.

Keywords: coke oven product recycling; energy consumption control; energy-saving technology; waste heat recovery

当前,全球气候变化问题日益严峻,我国双碳战略目标的提出为工业体系绿色转型指明了方向。在这一过程中,高能耗的钢铁-焦化产业链成为减排降碳的重点领域。焦炉化产品回收工序,作为连接炼焦生产与化工资源提取的关键环节,不仅是焦化企业实现价值增值的重要部分,同时也是能源消耗与碳排放的集中区域。该工序涉及复杂的传热、传质与化学反应过程,能源利用形式多样,涵盖高温余热、中低压蒸汽、电力驱动及直接燃料燃烧等,能耗结构复杂且总量较大。近年来,随着国家环保标准的不断提高和能源成本的持续上涨,焦化企业的生存与发展越来越依赖于能效水平的提升。降低生产能耗、提高能源利用效率已成为企业增强市场竞争力的内在要求。因此,系统分析焦炉化产品回收过程的能耗特征,探索切实可行的节能降耗技术与管理路径,不仅符合当前行业发展的迫切需求,也具有重要的学术研究价值。

1 焦炉化产品回收工艺概述

1.1 焦炉化产品回收基本流程

焦炉化产品回收,在行业内通常简称为化产回收,其主要任务是对炼焦过程中产生的高温荒煤气进行冷却、净化,并提取其中所含的各类化学产品。整个流程始于从炭

化室导出的约650~700℃的荒煤气,首先经过桥管与集气管用循环氨水进行初步冷却,随后进入初冷器通过间接换热方式进一步降温。冷却后的煤气进入电捕焦油器脱除焦油雾滴,之后依次通过脱氨、脱硫和脱苯等工段,最终得到焦油、硫铵、粗苯等产品,净化后的煤气则作为燃料或化工原料外送。这一系列工序紧密衔接,对水、电、蒸汽等公用工程需求量巨大,构成了典型的能量密集型化工操作单元。每个工段的稳定运行都直接关系到最终产品的收率与质量,同时也深刻影响着系统的整体能耗水平。

1.2 能耗特点与主要耗能环节

焦炉化产品回收过程的能耗呈现出品位多样、分布分散、与工艺操作强相关等特点。从能量角度看,进入回收系统的荒煤气携带大量物理显热,约占炼焦总能耗的36%,但在传统流程中,这部分热量多数通过冷却水散失,未能得到有效利用。与此同时,为维持蒸氨、脱苯等工序的热量平衡,需持续消耗大量蒸汽或煤气,构成运行成本的主要部分。具体耗能环节包括:煤气冷却系统中循环水泵与制冷水泵的电耗;蒸氨塔、脱苯塔等再沸器或管式炉的蒸汽与煤气消耗;各类溶液循环泵、物料输送风机等动力设备的电力消耗;以及工艺设备与管线的散热损失。此外,

红焦显热损失约占系统总能耗的 37%，虽主要发生于熄焦环节，但采用干熄焦技术可从根本上回收这部分能量，对降低全厂总能耗具有关键作用。这些能耗环节相互关联，某一环节的优化往往能产生连锁的节能效应。

2 焦炉化产品回收过程能耗分析

2.1 能耗构成与分布

依据行业通用统计方法，炼焦工序净能耗是指所消耗各类能源折合为标准煤的总量，扣除回收并外供的能源折标煤量。在化产回收子系统中，主要能源输入包括电力、焦炉煤气（或其他燃料）以及不同压力等级的蒸汽，能源输出则体现为回收化学产品自身蕴含的能量及可能外送的余热资源。针对某年产 300 万 t 焦化厂的模拟研究表明，化产回收部分的能耗主要集中在循环冷却水系统、低温冷却水系统、低压蒸汽消耗以及管式炉煤气等方面。通过实施能量流优化工艺，可使上述各部分能耗分别降低 11.55%、9.35%、56.12% 和 12.97%。这一结果清晰表明，工艺本身的热集成水平和用能结构合理性对整体能耗具有决定性影响。此外，不同生产规模、不同装备水平的焦化企业，其能耗构成比例也存在一定差异，需要结合企业实际情况进行具体分析。

2.2 影响能耗的关键因素

焦炉化产品回收过程的能耗水平受多重因素影响，可概括为技术装备、工艺操作与管理运行三个层面。在技术装备层面，焦炉炉型（捣固焦炉或顶装焦炉）、煤气净化工艺路线选择（如硫铵工艺与磷酸洗氨工艺），以及高效能装备（如干熄焦系统、高效初冷器、变频泵等）的应用情况，构成能耗的先天基础。在工艺操作层面，各项工艺参数的稳定控制与优化调整对能耗有直接影响，例如焦炉加热制度、蒸氨塔与脱苯塔的操作条件、循环水系统水温水质管理等。工艺操作的微小波动，长期积累也会导致显著的能耗差异。在管理运行层面，企业是否建立完善的能源管理体系、是否实现能耗在线监测与智能调度、是否将节能指标纳入绩效考核，决定了技术潜力的持续挖掘程度。例如，立恒焦化通过构建三级能源管理体系，依托能源管控中心实现全厂煤气零放散，是管理节能的成功范例。这三个层面的因素相互交织，共同决定了最终的能耗表现。

2.3 能耗评价指标

科学、统一的能耗评价指标体系是衡量企业能效水平、追踪节能改进效果的重要工具。对焦化行业而言，最核心的指标是炼焦工序单位产品能耗，即每生产一吨合格焦炭（干基）所净消耗的能源量，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）。该指标涵盖从备煤到化产回收的全流程，并扣除了外供能源，能全面反映企业能源利用效率。国家相关文件对顶装焦炉的能效标杆水平设定为 110kgce/t。实际运行中，湖南华菱湘潭钢铁通过系列技改与管理提升，2023 年将该指标降至 97.80kgce/t，优于国家标杆 11.1%；

立恒焦化 2024 年侧装捣固焦炉的指标为 100.36kgce/t，也达到先进水平^[1]。此外，在化产回收车间内部，还可设立蒸氨蒸汽单耗、脱苯煤气单耗、循环水电耗等过程性指标，用于日常精细化管理。这些过程指标是构成综合指标的基础，对其进行持续监控与优化，是实现整体能效提升的关键。

3 能耗控制策略与技术途径

3.1 工艺操作优化

在不进行大规模投资的前提下，对现有工艺操作参数进行精细化调整与优化，是实现节能的最直接、成本较低的途径。其核心是确保各工艺单元在设计高效区间内稳定运行，减少因操作波动引起的无效能耗。具体措施可包括：在蒸氨单元推广负压脱氨技术，实现塔顶含氨蒸汽的循环利用，可降低新蒸汽消耗 60%~70%；对初冷器阻力进行实时监控与清洗优化，维持良好换热效率；改善循环水系统水质，回用部分工艺冷凝水，降低补水量与处理能耗；应用焦炉加热优化控制系统，实现加热煤气与烟道吸力的精准调节，可节约加热煤气约 2%。某企业通过系列操作优化，将净化水单耗从 1.3m³/t 焦降至 0.9m³/t 焦，取得了可观的节能效果。这些优化措施通常不需要改动主体设备，主要依靠对操作制度的完善和人员技能的提升，具有见效快、投入少的特点。

3.2 设备性能改进

对高能耗关键设备进行技术改造或升级，是从源头提升能效的根本举措。在化产回收领域，设备节能改造主要围绕提高传热效率、降低流体输送损耗、提升动力设备运行效率等方面展开。例如，对循环氨水泵、循环水泵等大功率设备实施变频改造，根据负荷自动调节转速，可避免阀门节流损失，某企业改造后日均节电达 9900kWh。对干熄焦连续排污系统进行改造，回收闪蒸蒸汽，可使蒸汽用量从 7~9t/h 降至 3~5t/h。此外，采用高效传热元件更新初冷器与换热器、使用高性能保温材料减少散热、推广大型干熄焦技术等，均属于设备节能的有效途径。设备改造通常需要一定的资金投入，但带来的节能效益也更为持久和稳定，是提升企业长期能效水平的重要支撑。

3.3 余热回收与利用

对工艺过程中产生的大量中低温余热进行系统性回收与利用，是挖掘节能潜力的主攻方向。目前，回收红焦显热的干熄焦技术已成熟应用，其热回收效率可达 80% 以上，所产蒸汽用于发电，实现了能源的梯级高价值利用。荒煤气物理显热的回收、以及脱硫废液、循环冷却水等低温余热的利用，也可通过 ORC 发电、供热等途径实现能源再生。国内相关单位已开发出“高温发电、中温供汽、低温回用”的梯级余热利用模式。值得一提的是，学术界提出的“气-渣协同循环”理念，通过焦炉煤气与高温熔渣的余热协同回收与物质转化，有望将碳减排潜力提升至 48%，为行业深度节能提供了新思路。余热回收项目的实施，不仅节

约能源，还能减少冷却介质消耗和热污染，具有多重效益。

3.4 系统集成与流程优化

从化产回收系统乃至全厂角度进行热能、物料与动力的集成优化，是实现能效跨越的高阶策略。其核心是打破工序壁垒，实现废热与副产品的逐级对口利用。借助 Aspen Plus 等流程模拟软件，可对全系统进行建模与优化分析。研究表明，相较于传统工艺，采用优化后的“能量流工艺”可使循环冷却水、低温冷却水、低压蒸汽和管式炉煤气消耗分别降低 11.55%、9.35%、56.12% 和 12.97%，系统能效明显提升，年二氧化碳减排量超过 10 万 t。在运行层面，依托 5G、物联网与大数据技术建设智慧能源管控平台，实现全厂能源介质动态平衡与优化调度，可从根本上杜绝能源浪费。系统集成优化往往涉及多个部门的协调，需要从工厂整体设计或大规模技改的角度进行规划，其节能潜力也最为巨大。

4 节能管理措施与实施建议

4.1 能源监测与管理体系建设

完善的能源监测体系和管理制度是节能措施持续见效的保障。企业应建立覆盖主要耗能设备和关键工艺节点的在线计量网络，实现能耗数据实时、准确采集。在此基础上，构建公司、车间、班组三级能源管理架构，将能耗指标分解落实并纳入绩效考核，形成全员节能氛围。可借鉴“识别八大浪费”的精益方法，系统排查并消除生产中的各类浪费现象。例如，湖南华菱湘潭钢铁通过能源管理系统实现全程数据跟踪与异常预警，有效防止了能源浪费；山焦焦化产品回收厂通过优化备件存储与操作流程，从管理细节挖掘节能潜力。能源管理体系的建立是一个持续完善的过程，需要企业高层重视并提供资源支持。

4.2 操作规范与人员培训

再好的技术与设备也需由人操作，因此提升一线人员的节能意识与技能至关重要。企业应制定关键操作的标准作业程序（SOP），明确最优步骤与参数范围。定期开展节能技术培训与经验交流，使员工理解节能原理，激发其参与改进的主动性。积极采纳职工合理化建议，对可行建议给予奖励并实施，形成良性循环。某企业采纳职工关于改造除油器的建议，年节约蒸汽 580t、节电 7600kWh，体现了全员参与节能的成效。人员培训不仅要注重技能传授，更要培养员工的节能习惯和责任感，使节能成为企业文化的一部分。

4.3 技术改造与经济性分析

推进节能技术改造必须进行严谨的技术经济性评估。企业应对技改项目的投资成本、运行费用、节能效益、投资回收期及附加效益进行全面测算。对于变频改造、余热

回收等中小型项目，可结合修旧利废降低改造成本。政府部门和行业协会应通过发布节能技术推荐目录、组织交流活动、推广能效“领跑者”经验等方式，为企业提供参考。只有证明技改能在合理周期内带来经济回报，企业才有持续投入的动力^[2]。此外，在评估经济效益时，也应适当考虑社会效益和环境效益，特别是在国家环保要求日益严格的背景下。

4.4 行业政策与标准引导

宏观政策与能效标准是推动行业绿色升级的外部动力。国家通过制修订能耗限额标准、实施差别电价、评选能效“领跑者”等措施，持续引导企业节能降耗。例如，山西省 2022 年全面启动熄焦工艺升级，淘汰湿熄焦比例达 54.3%，改造后年节水 80 多万 t、减尘 600 多 t。立恒焦化在 2025 年成为焦化行业唯一能效“领跑者”，其技术与管理模式为同行提供了范本。未来随着碳市场建设的推进，碳排放成本将内化为企业成本，进一步激励深度节能与低碳技术创新^[3]。

5 结语

焦炉化产品回收过程的能耗控制与节能是一项涉及多学科、多层次的综合性课题。本文分析表明，该过程能耗结构复杂，但节能潜力显著，红焦显热、荒煤气物理热及工艺蒸汽消耗是重点环节。实现能效持续提升需要构建全方位策略：在操作层面推行精细化与标准化，在技术层面推广高效设备与余热回收技术，在管理层健全能源监测与激励体系，在政策层面顺应国家导向与标准要求。行业先进企业如立恒焦化、湖南华菱湘潭钢铁等的实践已证明，通过技术与管理协同，完全可以将能耗降至优于国家先进值的水平。而“气-渣协同循环”等前沿理念，则为未来深度减碳提供了新的可能。面对双碳目标，焦化行业应走出一条以能效提升为核心、资源循环与低碳发展并重的高质量道路，这需要产学研用各方共同努力，持续推动技术创新与管理模式优化，最终实现经济效益与环境效益的双赢。

[参考文献]

- [1] 华隽石.减少焦炉气湿法脱硫工艺中副盐产生的策略研究[J].清洗世界,2025,41(12):85-87.
- [2] 郗亚娜,路小莹,王新东,等.焦炉煤气零重整竖炉喷氧段气体的燃烧与改质[J].中国冶金,2026(1):1-14.
- [3] 杨文涛,谢法,李涛,等.某型天然气燃烧室燃烧焦炉煤气的适应性改进设计研究[J].燃气轮机技术,2025,38(4):20-28.

作者简介：刘馨月（1996.2—），毕业院校：辽宁科技大学，所学专业：化学工程与技术，当前就职单位：鞍山华泰环能工程技术有限公司，工程师。

车间给排水管网优化布置的实践研究

丛明

中国电子系统工程第四建设有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]车间给排水管网是保障生产连续性、安全性及环保达标性的核心基础设施,其布置合理性对生产的效率、效益以及运行成本有直接影响。针对当前部分车间管网存在的问题,文章开展给排水管网优化布置实践研究。首先通过勘查、计算明确原有管网问题,结合车间需求确立优化原则与目标,随后从给水管网分压分区、管径优化,排水管网分区收集、坡度调整,以及管网节点布局优化等方面制定针对性优化方案;结果表明,优化后车间给排水管网水力工况更稳定,提高供水压力合格率,改善排水通畅性,节约用水,实现了经济效益与环境效益的协同提升,以供参考。

[关键词]车间;给排水管网;优化布置;水力计算;工程实践

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18580

中图分类号: TU991.41

文献标识码: A

Practical Research on Optimized Layout of Workshop Water Supply and Drainage Pipe Network

CONG Ming

The Fourth Construction Co., Ltd. of China Electronics System Engineering, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The workshop water supply and drainage pipeline network is the core infrastructure that ensures production continuity, safety, and environmental compliance. Its reasonable layout has a direct impact on production efficiency, benefits, and operating costs. This article conducts practical research on optimizing the layout of water supply and drainage pipe networks in response to the current problems in some workshop pipe networks. Firstly, clarify the existing pipeline problems through investigation and calculation, establish optimization principles and objectives based on workshop needs, and then develop targeted optimization plans from aspects such as water supply pipeline pressure division, pipe diameter optimization, drainage pipeline collection, slope adjustment, and pipeline node layout optimization; The results show that the optimized workshop water supply and drainage pipeline network has more stable hydraulic conditions, improved water supply pressure qualification rate, improved drainage smoothness, saved water, and achieved a synergistic improvement of economic and environmental benefits, which can be used as a reference.

Keywords: workshop; water supply and drainage pipeline network; optimized layout; hydraulic calculation; engineering practice

引言

随着我国城市发展以及建设规模的不断增加使得我国政府对工业生产中的给排水管网优化设计非常的重视^[1]。车间给排水系统承担着生产用水供给、污水排放、生活用水保障的核心功能^[2]。给排水管网不仅要工业生产中所产生的工业污水进行输送还要对生活污水以及雨水进行输送,如果在给排水管网中存在设计不当的地方,不仅影响工业生产中所产生的各种水的排放,还会使污水渗入到油井中^[3]。随着工业的快速发展,传统车间给排水管网暴露出布局无规划、给水管径与压力不合理、排水坡度不当等问题,导致管道易堵塞、管网材质老化和泄漏等诸多问题,不仅损坏生产设备,而且加剧水资源浪费^[4]。鉴于此,优化车间给排水管网布置对于延长生产设备使用周期、提升生产效率、节约水资源、减少能耗与运维成本尤为关键。

1 车间给排水管网现状分析与问题诊断

1.1 现状勘查与数据采集

为全面掌握车间给排水管网运行状态以及存在的潜在问题,本次研究采用“资料溯源+实地勘测+仪器监测+

水质检测”四位一体方案,具体如下:

(1) 资料查阅与梳理

系统查阅车间原始设计图纸、施工验收记录、运维档案及水质检测报告,明确设计参数、施工标准、历史故障点及水质变化趋势,梳理核心基础信息。

(2) 实地勘查与隐患排查

采用全站仪精准测量管网的走向、埋深,标记关键位置,包括排水口、主干管、检查井、阀门井等,并绘制实测分布图;采用管道内窥镜检测管道内部隐患,是否存在堵塞、泄漏等异常;检查压力表、阀门等附属设施,做好相关记录。

(3) 水力工况连续监测

在给水管网主干管进水口、分支管末端用水点及排水管网分区排水口、主干管出口设置监测点,安装相应仪器,连续监测不同工况下的管网压力、流量以及流速等基础数据。

(4) 水质取样与检测

在生活污水排放口、生产废水排放口及给水管网用水点设置取样点,按《水质采样技术规范》(HJ/T 493—2009)

规范取样,及时送第三方检测机构,依据相关标准检测石油类、pH值、氨氮等多项指标,明确水质情况^[5]。

1.2 问题诊断与水力计算

基于现状勘查、连续监测及采用海曾-威廉公式(C值取100,计算软件为EPANET 2.2)的水力计算分析,明确原有车间给排水管网存在四大核心问题且相互关联,影响生产的效率与运行经济性,具体如下:

(1) 给水管网压力分布不均,供水可靠性与稳定性欠佳。水力计算与监测表明,原有枝状管网压力衰减显著,末端用水点压力远低于生产工艺要求的最低值,该问题导致工件清洗不彻底、降低零件的合格率;近端用水点压力高于设计需求,造成水资源浪费、加速管道接口的老化,并增加了泄漏的风险^[6]。此外,枝状管网固有缺陷使供水可靠性差,在此期间多次因管道问题发生停水事故,只能全区域停水检修,造成很大的损失。

(2) 给水管网管径匹配不合理从而导致能耗较高,同时,部分镀锌钢管因使用年限长出现一些问题,如腐蚀泄漏导致管网漏损。

(3) 排水管网的排水能力欠佳,易出现导管堵塞,造成积水现象,影响生产安全。原有排水管网采用合流制布置,导致生产废水中含有的悬浮物易沉积于管道内。

(4) 管网布局杂乱,运维困难。原管网布置过程中并未充分考虑后期运维需求及设备布局,导致管道交叉缠绕的现象比较严重,甚至部分管道铺设在设备下方,故后期维修的成本高、耗时长。且缺乏完善标识系统,巡检维护不便。

2 车间给排水管网优化布置方案设计

2.1 车间给排水管网优化原则

排水管的布置应根据站场规划、地形标高、排水流向,按管线短、埋深小、尽可能自流排出的原则确定^[7]。结合车间工艺需求与管网问题,确立优化原则如下:①广泛性:给水管网优化设计时要使覆盖范围尽量广泛,所规定的供水区域都在覆盖范围内,同时给水管网还要有一定的可扩展性^[8]。②安全可靠:确保给水压力流量稳定,满足用水需求;排水能力充足,防止堵塞、积水等,保障生产安全;③经济高效:优化布局、调整管径、选用节能设备,降低成本、能耗与水耗,提升效益;④节能环保:分质供水、废水回用,提高水利用率;排水分区收集处理,降低污染排放;⑤便于运维:优化节点布局,减少交叉,预留空间;完善标识,明确位置,降低运维难度与成本;⑥技术可行:结合现有条件,选用成熟技术材料,确保顺利实施且少影响生产。

2.2 给水管网优化设计

针对原有给水管网诸多问题,结合车间工艺、分区特点,从四个维度优化设计,确保供水系统可靠、经济、适配:

(1) 管网拓扑结构优化

把单一枝状管网改为“环状主干+枝状分支”混合布

局,形成“双源互补、环状保障、枝状分流”的架构。环状主干管沿车间的生产区域外围立柱内侧铺设,采用DN200 PE管形成闭合回路,保障核心生产区的供水;从主干管延伸枝状分支管到各区域,生产区用DN150-DN50 PE管,生活区用DN80 PE管。设双进水口,主进水口连市政自来水,并配变频加压泵,备用进水口连接回用水处理系统,并配备定频加压泵,双进水口处设置智能切换阀门,在市政供水异常时以便可以自动切换^[9]。此外,环状主干管设置检修阀门,分支管起点设控制阀门,管网最低点设排污阀,最高点设自动排气阀。

(2) 管径精准匹配与材质更新

依据各用水点实际的流量需求精准匹配管径,使流速处于0.6~1.0m/s的经济范围,降低沿程水头的损失。

先按分区用水负荷确定分支管设计流量,再代入公式:

$$v = \frac{0.435Q}{d^{2.63}} \text{ 和 } h_f = 10.69Q^{1.852}Ld^{-4.8704} \quad (1)$$

(其中v为流速,Q为流量,d为管径,hf为沿程水头损失,Ld为管道长度),以确定最优管径,并结合管道铺设的具体环境合理选择材质,地下暗敷选PE100级给水管,设备旁明敷选不锈钢管。具体优化:G3管道(原DN100镀锌钢管)换为DN125 PE管,G5管道(原DN50镀锌钢管)换为DN65不锈钢管并优化路径;主干管G1保留DN200规格,并换为PE100管,延长管道的使用寿命。优化后的给水管网主要参数如表1所示:

$$v = \frac{0.435Q}{d^{2.63}} \quad (2)$$

$$h_f = 10.69Q^{1.852}Ld^{-4.8704} \quad (3)$$

其中,v为管道流速(m/s),Q为管道流量(m³/s),d为管道内径(m),hf为沿程水头损失(m),Ld为管道长度(m)。

根据公式计算结果调整管径:G3管道由100mm扩至125mm,流速降至0.9m/s,以降低沿程水头的损失;G5管道从50mm增至65mm,且长度缩短至120m,提升末端供水的压力;主干管G1保留200mm的规格,但更换PE管,以增强耐腐蚀性与使用寿命。

目前在给水管网中所使用的有PPR管材、球墨铸铁管、钢筋混凝土等材质的管网,在实际的设计铺设中要根据当地的地质情况来合理的选取使用何种材质的管网,避免管网材质选择不合适而造成泄露腐蚀现象出现。

优化后的给水管网主要参数如表1所示:

表1 优化后给水管网主要参数

管道编号	管径(mm)	材质	长度(m)	设计流量(m ³ /h)	设计流速(m/s)	设计压力(MPa)
G1-1	200	PE管	90	35	0.82	0.35
G2-1	150	PE管	65	22	0.78	0.32
G3-1	125	PE管	100	12	0.90	0.28
G4-1	80	PE管	110	8	0.75	0.25
G5-1	65	PE管	120	3	0.72	0.22

2.3 排水管网优化设计

针对原有排水管网合流制问题,遵循“分质分流、分类处理、就近排放”原则从三个方面进行优化:

(1) 排水体制重构与分区

摒弃合流制排水系统,构建“三区分流、两类处理”系统。结合废水的性质与路径合理规划三个排水分区:生产废水一区(冷却废水区),水质较洁净,设独立的DN150-DN200 UPVC排水管道,收集后直接送至回用水处理系统;生产废水二区(清洗废水区),含油量高,设置独立DN100-DN150 UPVC排水管道,送车间预处理站;在生活污水区域设独立的DN100-DN150 UPVC管,收集后排入市政污水处理管网。在各排管道交汇处设防混流阀门,排水口设水质监测探头,防止不同类型废水混流。管道参数优化:基于水力计算,运用曼宁公式重新设计排水管道的管径与坡度,计算公式如下:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (4)$$

$$Q = Av \quad (5)$$

v为流速(m/s),n为管粗系数(混凝土管0.013、UPVC管0.009),R为水力半径(m),I为坡度,Q为流量(m³/s),A为过流面积(m²)。

根据计算结果,对原有排水管道参数进行调整:将D4管道(原管径100mm,UPVC管)调整为125mm,坡度保持4.0%,设计流速提升至0.75m/s,满足最小流速要求;将D2管道(原管径200mm,混凝土管)坡度调整为3.5%,设计流速提升至0.68m/s,排水能力提升至设计值的95%;主干管D1管道(原管径300mm,混凝土管)保持不变,但对管道内壁进行清淤处理,更换老化接口,提升排水顺畅性。

(2) 预处理设施布局优化

在生产废水排水管道末端设预处理站,采用“格栅+沉淀池+隔油池”工艺去除生产废水中悬浮物以及石油类污染物。预处理站靠近车间排水出口布置,尽可能地缩短输送距离。站内设污泥收集装置,定期清理,并安装水质监测仪实时监测,确保废水达标回用或排放^[10]。

2.4 管网节点与辅助设施优化设计

为提升管网运维便利性与运行稳定性,管网节点及辅助设施的优化设计如下:

(1) 节点布局

给水管网交汇处设检修阀,间距≤50m;最高点设排气阀,最低点设排污阀。排水管网转弯、变径处设检查井,间距≤30m;此外,为防止生产高峰期排水不畅造成积水倒灌的现象,在排水管网末端设置溢流井。

(2) 仪表与标识

给水管网用水点、进水口除了设置流量监测仪之外,

安装压力传感器,实时监控管网的运行状态情况;排水管网排水区出口设置流量和水质监测仪。此外,完善管网的标识,标注关键信息。

(3) 节能设备

选用高效节能离心泵,并采用变频控制技术,实现水泵转速的自动调节,选用低噪音、高效率的潜水泵,在提高效率的同时降低运行能耗。

3 优化方案运行效果评估

优化后,给水管网各用水点供水压力稳定,压力合格率较优化前大幅提升,且无因供水压力不足引发的生产中断情况。排水管网各管道流速稳定,排水能力较优化前增强,生产高峰期排水通畅,无积水、堵塞的现象。整体水力性能完全达优化目标要求。

优化后,管网漏损率下降,年节水量增加,生产废水回用率可观,年回用废水量可观,水资源利用效率大幅提高,达成资源节约目标。生产废水经预处理,悬浮物和石油类去除率均超过预设目标;预处理后废水水质达标,部分回用于多环节,减少污染物排放。分流制排水系统实施,降低污水处理难度与成本,减轻对环境的影响,环保效益良好。

优化后,采用高效节能水泵与变频控制技术,给水和排水管网相关泵年运行能耗降低,年节约电费可观;管网漏损率降低与水资源回用,年节约水费不少;管网布局优化与标识完善,减少故障处理与维护工作量,降低运维人工成本可观,经济效益突出。

4 结论

本文开展车间给排水管网优化布置实践研究,结论如下:原有车间给排水管网存在压力分布不均、管径匹配不合理等问题,影响生产连续性与经济性,需优化改造。基于相关优化原则,制定涵盖给水、排水管网及节点与辅助设施优化的系统性方案,其水力性能符合设计目标,优化方案实施后,车间给排水管网运行效果提升,给水压力合格率提高,排水无积水堵塞,管网漏损率降低,取得了节水和生产废水回用成效,运行成本降低,生产废水预处理效果好,实现多效益协同提升。本次研究有局限性,未来可引入智能监测与调控技术,构建智能给排水管网系统,提升运行效率与可靠性。

[参考文献]

- [1]陆露,高峰,郭娟,等.排水管网运维管理问题分析与对策研究[J].中国给水排水,2022,38(2):8-13.
- [2]邵银霞,周洁,汪玲玲,等.基于全生命周期策略的排水养护信息化管理新模式[J].中国给水排水,2024,40(8):17-21.
- [3]白永强,鲁梅,刘绪为,等.镇江市“四位一体”排水管网诊断流程及工程实践[J].中国给水排水,2023,39(12):26-31.

- [4]赵美玲,张巧珍,朱俊,等.基于在线模型的供水管网优化调度系统设计[J].中国给水排水,2022,38(16):35-39.
- [5]周彩云,赵浩钧,刘广.江苏无锡某排水管网改造施工探析[J].广东建材,2025,41(3):158-160.
- [6]杨魁志.旧城区排水管网雨污分流改造设计与思考[J].环境保护与循环经济,2024,44(6):33-38.
- [7]杨辰,蔡瑜.城市排水管网雨污分流改造方案分析:以武汉某项目为例[J].环境保护与循环经济,2024,44(12):15-18.
- [8]孙坤厚.市政雨污水排水管道施工和质量控制研究[J].工程技术研究,2021,6(1):183-184.
- [9]闻路佳.某催化剂工厂排水系统设计实例探讨[J].化工与医药工程,2022,43(2):12-15.
- [10]刘遂庆.排水管网优化坡度设计计算[J].给水排水,2008,34(8):114-118.
- 作者简介:丛明(1994.8—),毕业院校:华北理工大学轻工学院,所学专业:给水排水工程,当前就职单位:中国电子系统工程第四建设有限公司,职务:给排水工程师,职称级别:中级工程师。

热泵技术在暖通空调系统中的集成设计与节能潜力评估

王旭斌

石家庄市建筑设计院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 热泵技术因其具有能效比高, 清洁环保等特点, 广泛应用于供热、通风与空调 (HVAC) 系统的集成化中。文章研究基于热泵技术的分类特性深入剖析了系统匹配原则、控制策略优化、关键部件的选型等核心内容, 同时构建多维度的节能潜力评估相关体系。研究结果表明, 采用热泵-HVAC 系统集成设计方案可以有效提高系统的综合能效, 一定程度上降低建筑能耗, 减少碳的排放强度, 以供参考。

[关键词] 热泵技术; 暖通空调系统; 集成设计; 节能潜力; 能效评估

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18577

中图分类号: TU83

文献标识码: A

Integrated Design and Energy-saving Potential Assessment of Heat Pump Technology in HVAC Systems

WANG Xubin

Shijiazhuang Architectural Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Heat pump technology is widely used in the integration of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems due to its high energy efficiency, cleanliness, and environmental friendliness. The article deeply analyzes the classification characteristics based on heat pump technology, including system matching principles, control strategy optimization, and selection of key components. At the same time, a multidimensional energy-saving potential evaluation system is constructed. The research results indicate that the integrated design scheme of heat pump - HVAC system can effectively improve the comprehensive energy efficiency of the system, reduce building energy consumption to a certain extent, and decrease carbon emission intensity, which can be used as a reference.

Keywords: heat pump technology; HVAC systems; integrated design; energy-saving potential; energy efficiency evaluation

引言

随着全球气候变化问题日益严峻, 节能减排已成为各行业发展的重要任务^[1]。经济日益发展背景下, 全球能源消耗也随之持续增长, 建筑行业作为能源消耗最大的行业之一, 其中暖通空调系统能耗在建筑总能耗占比较高^[2], 在城市化进程不断推进背景下, 建筑工程逐渐增加, 新时期我国建筑行业为响应国家提出的“双碳”“节能减排”“绿色发展”等政策^[3], 传统 HVAC 系统以化石能源为主要动力、能效水平偏低的弊端愈发凸显, 其节能化改造已迫在眉睫。热泵技术基于逆卡诺循环原理, 采用一定的设备把低位热源中的热量输送至高位热源的过程, 在此过程中不需要对燃料进行燃烧处理, 是一种高效环保的技术手段, 从而满足 HVAC 系统的供暖、制冷需求^[4], 并已成为提高 HVAC 节能性能的主要发展方向之一。在 HVAC 中引入热泵可以达到提高其整体能量利用率的目的, 减少对于不可再生能源的消耗量, 对于我国可持续发展的建筑节能工程有着积极意义。

1 热泵技术分类特性

根据热源类型的不同, 热泵技术可分为空气源热泵、水源热泵、地源热泵三大类, 不同类型热泵的工作特性、适用场景存在显著差异, 如表 1 所示。

表 1 不同类型热泵技术特性对比表

热泵类型	热源来源	COP 范围	优势特性	局限性	适配场景
空气源热泵	室外空气	2.0~4.5	安装便捷、初投资低、维护简单	低温环境下 COP 显著下降、冬季结霜需除霜能耗	气候温和地区、中小型建筑
水源热泵	地表水、地下水、工业废水	3.0~5.5	能效稳定、受环境温度影响小	受水源分布限制、需处理水源污染问题	临近水源的建筑、大型商业建筑
地源热泵	土壤、地下含水层	3.5~6.0	能效最高、运行稳定、环境效益显著	初投资高、安装施工复杂、受地质条件限制	地质条件适宜的建筑、长期使用的大型公共建筑

2 热泵技术与 HVAC 系统的集成设计要点

2.1 集成系统匹配原则

将热泵系统应用于 HVAC 设计应以“能量供需匹配、设备性能适配、运行高效协同”为基本原则进行选型及应用。其中能量供需匹配是指热泵系统供能的能力应该满足 HVAC 系统的需求量, 即不能供能过多而造成能源的浪费, 也不能供能过少而引起室内热舒适度下降等问题。一是建

筑负荷分析：通过对建筑的负荷计算来明确不同时节、不同时间段的冷热负荷最大及平均负荷情况，以确定热泵系统的额定功率以及调节范围；二是设备性能适配：即热泵系统工作参数（如供水温度、供回水温差）与 HVAC 的末端设备（如风机盘管、地暖、空调机组）性能参数的匹配性。保证末端设备充分利用热泵提供的能量。比如，地暖适应低温供水的空气源热泵，可以提高整个系统的能效水平。最后，运行高效协同要求集成系统中的各部件（热泵机组、水泵、风机、末端设备）运行状态协同优化，避免一个设备高效运行而整体系统能效低的情况。

2.2 关键部件选型设计

2.2.1 热泵机组选型

根据建筑类型、负荷特点、气候条件等对热泵机组进行选型设计：对于中小规模的居住建筑，优选空气源热泵机组，方便安装、初始投资小，可以提供基础的冷热负荷；对于大规模的商业或者公共建筑，如果周边有水体资源，则可选用水源热泵机组，运行效率较为可靠，并且能够提供的冷热量较大。对能效有较高要求且长时间使用的建筑物在地质条件许可下可考虑地源热泵机组。同时，需考虑热泵机组的调节性能，优先选择变频热泵机组，其可根据负荷变化实时调节压缩机转速，在部分负荷工况下仍能保持较高能效，适应 HVAC 系统负荷波动大的特性。

3.2.2 末端设备适配选型

末端负荷类型应结合热泵机组供能参数进行适配性选择，以达到最大化能源利用的目的。供暖工况下，低温空气源热泵适配地暖系统或者低温风机盘管，地暖系统为低温热水辐射供暖，供水温度 35~50℃，与空气源热泵出水温度匹配度较高，热效率可达 90% 以上；高温水源热泵或地源热泵可以适配传统的散热器，满足高温供暖需求。在制冷工况下，热泵机组的冷冻水温度一般为 7℃，可以直接匹配常规风机盘管、组合式空调机组等末端设备，通过适当增大送风量及降低送风温度来提高室内舒适性及系统效率。

3.2.3 辅助设备优化选型

其中水泵、风机、节流装置属于辅助设备，在很大程度上影响着集成系统的综合效能。水泵的选择应该依据系统水力计算的结果来选定流量及扬程，尽量使用变频水泵，按照所需调节流量进行调节，减少输水量；风机应依据末端设备所对应的风量来进行选择，选用效率高且噪音小的风机，利用变频技术对风量进行调节，降低风机的运行能耗；节流装置采用电子膨胀阀，调节精度高、反应快，可以根据热泵系统运行工况实时调节工质流量，提高热泵机组的运行稳定性和能效。

3.3 系统流程设计

将热泵与 HVAC 集成的过程是按照不同的热泵及不同建筑物的负荷来进行的，通常包括单热泵集成系统以及多个热泵联合集成系统。其中，单个热泵集成系统是指在

一些对负荷的需求比较单一或者受天气影响不大的建筑物中使用，在这些地方应用的最为广泛的是小规模住宅中的空气热泵+地板供暖/风机盘管集成系统，它的过程是：热泵机组产生的热水/冷冻水经由变频水泵送入到末端机内，达到对室内的供暖/制冷效果，末端回水再回到热泵机组中再次被加热/冷却的过程。多热泵联合集成系统适用于负荷规模大、负荷波动复杂的大型建筑，通过协同控制实现系统高效运行，减少管路阻力损失，降低输送能耗。

3.4 控制策略优化

高效的控制策略也是提高热泵-HVAC 集成系统的效率的重要手段，主要目的是达到“负荷精准匹配、设备协同高效、能耗最低”的目的；而控制策略主要有负荷预测控制、变工况调节控制、多设备协同控制三方面。负荷预测控制即根据建筑物的历史负荷信息以及室外环境条件如气温、气湿、太阳辐射等，采用机器学习的方法对后续时间段的冷热负荷进行预测，并提前调整热泵机组及末端的状态，防止滞后性带来的能效降低。

4 热泵-HVAC 集成系统节能潜力评估体系

4.1 评估指标体系构建

基于“能效-能耗-环境”多维度评估目标，构建热泵-HVAC 集成系统节能潜力评估指标体系，涵盖核心能效指标、能耗指标、环境效益指标三个层面，具体指标及定义如表 2 所示。

表 2 热泵-HVAC 集成系统节能潜力评估指标体系

评估维度	评估指标	指标定义	计算方法	优化目标
核心能效指标	热泵机组 COP	热泵机组输出热能与输入电能的比值	$COP=Q/W$, 其中 Q 为输出热能, W 为输入电能	最大化
	系统综合能效比 (SEER)	集成系统总供能与总能耗的比值	$SEER=Q/E$, 其中 Q 为系统总供能, E 为系统总能耗 (含热泵、水泵、风机等)	最大化
	输送能效比 (TER)	输送系统供能与输送能耗的比值	$TER=Q/E$, 其中 Q 为输送系统供能, E 为水泵、风机等输送能耗	最大化
能耗指标	单位建筑面积能耗	建筑单位面积的 HVAC 系统年能耗	$E=A/A$, 其中 A 为建筑总面积	最小化
	能耗降低率	集成系统与传统 HVAC 系统的能耗差值与传统系统能耗的比值	$\eta=(E-E)/E \times 100\%$	最大化
环境效益指标	单位能耗碳排放量	系统单位能耗产生的 CO 排放量	$C=E \times f$, 其中 f 为能源碳排放系数	最小化
	碳减排量	集成系统与传统系统的碳排放量差值	$\Delta C=C-C$	最大化

4.2 节能潜力评估方法

4.2.1 能效指标分析法

能效指标分析法是指通过对集成系统 COP、SEER、TER 的测试或者计算,并与常规 HVAC 系统(比如燃气锅炉+电动制冷机系统)的能效指标进行比较,从而对集成系统的节能潜力做出定量描述的方法。该法简便易行、结果直观,在集成系统的粗略能效评价方面具有很好的应用价值。空气源热泵集成系统的能效提升率为 122%~394%,节能空间较大。实际项目中应根据现场实测得到热泵机组以及集成系统的实际运行工况进行判断。

4.2.2 能耗模拟预测法

能耗模拟预测法利用专业的建筑能耗模拟软件(如 DeST、EnergyPlus、TRNSYS),建立建筑及集成系统模拟分析模型,并输入建筑参数(面积、围护结构热工性能、朝向)、气候参数(室外温度、湿度、太阳辐射)、系统运行参数等信息,模拟集成系统在全年度或者某一时段内的能耗情况,对传统系统进行能耗模拟,与实际运行情况比较,计算出系统的节能空间;可以考虑多个影响因素之间的耦合,精确度较高,在集成功能较为详细的系统节能分析中使用。

5 集成系统节能潜力验证与优化方向

5.1 节能潜力理论验证

基于逆卡诺循环,热泵机组理想 $COP = T_c / (T_c - T_e)$ (T_c 为冷凝器温度、 T_e 为蒸发器温度)。供暖工况下, $T_c = 323K$ 、 $T_e = 273K$ 时,理想 COP 为 6.46,实际空气源热泵 COP 为 2.0~4.5,有提升潜力。优化集成设计与控制策略可缩小差距,如变频控制使部分负荷 COP 提升 10%~20%,低温增焓技术使 -15℃ 低温环境 COP 提升 30% 以上。结合不同热泵特性对与 HVAC 系统集成节能潜力理论计算(见表 3)显示,地源热泵集成系统节能潜力最大,能耗降低 40%~60%;水源热泵次之,降低 35%~55%;空气源热泵为 25%~45%,气候温和地区高于寒冷地区。

表 3 不同热泵-HVAC 集成系统节能潜力理论计算结果

热泵类型	传统系统能耗 (kWh/m ² ·a)	集成系统能耗 (kWh/m ² ·a)	能耗降低率 (%)	节能潜力等 级
空气源热泵	80~120	48~90	25~45	中等
水源热泵	80~120	44~78	35~55	较高
地源热泵	80~120	32~72	40~60	最高

5.2 集成系统优化方向

5.2.1 热泵技术升级优化

通过研发高效热泵技术,提升热泵机组的能效与低温适应性,为集成系统节能潜力提升提供技术支撑。例如,研发高效压缩机、高效换热器等核心部件,提升热泵机组的 COP;开发低温增焓、补气增焓等先进技术,改善空

气源热泵在低温环境下的运行性能;探索跨临界 CO₂ 热泵技术,其在高温供暖工况下具有显著优势,COP 可达 4.0 以上,可进一步提升集成系统的节能潜力。

5.2.2 集成系统协同优化

加强热泵系统与 HVAC 系统末端设备、辅助设备的协同优化设计,提升系统整体能效。例如,优化末端设备的结构设计,提升其与热泵供能参数的匹配度;采用高效水力输配系统,通过优化管路布局、选用低阻力阀门、采用变频水泵等措施,降低输送能耗^[5];探索热泵与太阳能、地热能等可再生能源的联合集成,构建多能源互补的 HVAC 系统,进一步提升节能潜力。

5.2.3 智能控制技术应用

充分融入前沿智能技术,例如大数据、物联网、人工智能等,提高集成系统的控制精度与运行效率。在构建负荷预测模型时,通过借助机器学习算法能够对历史数据以及各类影响因素之间的关联进行深入剖析,从而确保预测结果的精准性,实现负荷精准预测与提前调节。借助物联网技术,能够实时监测系统设备的运行情况,一旦设备出现异常或发生故障时,能够第一时间发出警报,运维人员能够及时处理,将风险降到最低。利用大数据技术对系统运行过程中产生的数据进行挖掘与分析,优化控制策略与运行参数,进一步提升系统整体能效。

6 结论与展望

6.1 结论

本文系统探讨了热泵技术与 HVAC 系统的集成设计要点及节能潜力评估方法,得出以下主要结论:(1) 热泵技术基于逆卡诺循环原理,热泵是基于逆卡诺循环的高效节能型设备,不同种类热泵(如:空气源、水源、地源热泵)的特点各有千秋,应结合建筑物性质、当地气候环境等特点选用合适类型的热泵;(2) HVAC 系统中热泵的设计应用应该以能源需求合理匹配、设备参数相适应、系统经济高效运行为原则,主要关注点为热泵机组、末端设备、辅助设备优选,系统流程及控制方式优化;(3) 提出的“能效-能耗-环境”多目标评价方法,利用能效比评价法、能耗计算预测法、环境影响评价法,能够定量地判断出集成化系统方案的节能效果;合理的集成设计能够节约系统能耗达 25%~60%,其中地源热泵集热系统节能空间最大,空气源热泵集热系统节能空间受气候影响较大。

6.2 展望

未来热泵与 HVAC 技术结合发展方向为高效化、智能化、多能源互补化,在技术研发上应该加大高效热泵关键部件及核心技术研发,提高热泵机组效率和适应能力;在集成设计上进一步完善系统集成设计理念,研究热泵与

其他新能源的耦合集成。在智能化控制方面,应加入更多的智能技术,形成自适应、自优化的智能化控制系统;在评价方面,应完善动态评价方法,考虑建筑整个寿命期的节能量。可进一步提升热泵-HVAC 集成系统的节能潜力,推动建筑领域的绿色低碳发展。

[参考文献]

- [1]孙健陶,胡芸蓉,蔡潇龙,等.基于热泵型储电技术国内外研究综述[J].储能科学与技术,2024,13(6):1963-1976.
[2]范旭红.空气源热泵采暖在建筑节能中的应用与前景分析[J].山西建筑,2017,43(14):198-199.

[3]熊帝战.适用于中国北方农宅的太阳能两用集热器性能及应用研究[D].北京:清华大学,2015.

[4]朱晓姣,宋波,张思思,等.供暖系统节能运行调试技术分析及应用存在的问题[J].建设科技,2014(22):46-48.

[5]李炅志.热水供热系统试运行故障成因及调试措施[J].中国科技投资,2013(17):93.

作者简介:王旭斌(1991.3—),毕业院校:沈阳工业大学,所学专业:建筑与土木工程专业,当前就职单位:石家庄市建筑设计院有限责任公司,职务:职员,职称级别:中级工程师。

工业园区生活污水与工业废水分流处理研究

吕占涛

中国电子系统工程第四建设有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]近年来,我国工业化发展迅速,工业园区众多,极大地推动了城市化进程的同时,随之带来的水环境问题也日益凸显。为解决工业园区污水处理难题,本研究聚焦生活污水与工业废水分流处理体系,分析水质差异、优化分流参数、探究适配工艺及效能、明确核心影响因素与调控策略。通过实验模拟与理论分析,验证分流处理优势。结果显示,分流后针对性处理工艺的COD去除率提升,运行能耗降低,且管网布局等参数影响显著,最优分流比例需动态调控,本研究为园区污水处理系统优化升级提供技术支撑。

[关键词]工业园区;生活污水;工业废水;分流处理;工艺优化

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18576

中图分类号: X143

文献标识码: A

Research on the Separation Treatment of Domestic Sewage and Industrial Wastewater in Industrial Parks

LYU Zhantao

The Fourth Construction Co., Ltd. of China Electronics System Engineering, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In recent years, Chinese industrialization has developed rapidly, with numerous industrial parks, greatly promoting the process of urbanization. At the same time, the resulting water environment problems have become increasingly prominent. To solve the problem of sewage treatment in industrial parks, this study focuses on the separation treatment system of domestic sewage and industrial wastewater, analyzes water quality differences, optimizes separation parameters, explores adaptive processes and efficiency, clarifies core influencing factors and regulation strategies. Verify the advantages of diversion treatment through experimental simulation and theoretical analysis. The results show that the COD removal rate of the targeted treatment process after diversion is improved, the operating energy consumption is reduced, and the parameters such as pipeline layout have a significant impact. The optimal diversion ratio needs to be dynamically controlled. This study provides technical support for the optimization and upgrading of the sewage treatment system in the park.

Keywords: industrial park; domestic sewage; industrial wastewater; diversion processing; process optimization

引言

近年来长江流域水环境污染治理工作已取得成效,整体改善,但局部污染问题依然严峻^[1]。为深入贯彻中共中央、国务院关于加强生态文明建设决策部署,加快推进生态环境治理体系和治理能力现代化,全面提升污水集中收集处理率,持续推动水环境质量改善^[2]。多数工业园区采用混合集中处理模式,存在抑制微生物活性、降低生化效率及高成本深度处理等问题^[3]。分流处理模式可源头分离并针对性处理两类污水,但相关研究多聚焦案例,缺乏系统性。因此,开展分流处理研究、明确关键技术要点意义重大。

1 工业园区生活污水与工业废水水质特性差异分析

1.1 实验材料与方法

(1) 采样点设置

依据园区产业布局与污水排放路径,在生活污水(员工宿舍区、办公区总排放口)和工业废水(各行业企业预处理后排放口)排放口设采样点,共设3个生活污水、5

个工业废水采样点,覆盖主要生活与生产区域。

(2) 检测指标与方法

选取污水处理核心控制指标(COD、BOD₅、SS、NH₄⁺-N、TP、pH)及工业废水特征指标(重金属Cu、Zn、Cr,难降解有机物苯酚),检测参照《水质采样和样品保存技术规定》(HJ 493—2009)和《水和废水监测分析方法》(第四版)执行,检测方法如表1所示。

表1 污水检测指标及方法

检测指标	检测方法	检出限(mg/L)
COD	重铬酸盐法	10
BOD ₅	稀释与接种法	2
SS	重量法	1
NH ₄ ⁺ -N	纳氏试剂分光光度法	0.025
TP	钼酸铵分光光度法	0.01
Cu、Zn、Cr	原子吸收分光光度法	0.001
苯酚	4-氨基安替比林分光光度法	0.002
pH值	玻璃电极法	±0.01

(3) 采样与检测步骤

用瞬时采样法,在各采样点连采 3d 水样,每天早、中、晚各采 1 次,每次 1000mL。采样后加保存剂(如 COD 水样加硫酸酸化至 pH<2),0~4℃冷藏,运输至实验室,24h 内检测。

1.2 水质特性检测结果

表 2 展示了生活污水与工业废水各指标检测统计值,生活污水数据取自 3 个采样点平均值,工业废水数据取自 5 个采样点平均值。

表 2 生活污水与工业废水水质特性统计

指标	生活污水	工业废水	差异倍数
COD (mg/L)	380~520 (均值 450)	850~1600 (均值 1200)	2.67
BOD ₅ (mg/L)	150~220 (均值 180)	120~350 (均值 200)	1.11
BOD ₅ /COD	0.38~0.45 (均值 0.42)	0.15~0.28 (均值 0.21)	0.50
SS (mg/L)	120~180 (均值 150)	200~450 (均值 320)	2.13
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	25~40 (均值 32)	10~25 (均值 18)	0.56
TP (mg/L)	4~8 (均值 6)	5~12 (均值 8)	1.33
pH 值	6.8~7.5 (均值 7.2)	5.2~8.8 (均值 6.5)	-
Cu (mg/L)	未检出	0.05~0.32 (均值 0.18)	-
Zn (mg/L)	未检出	0.12~0.45 (均值 0.28)	-
苯酚 (mg/L)	未检出	5~25 (均值 15)	-

1.3 水质特性差异分析

基于检测结果分析生活污水与工业废水水质特性差异:

(1) 有机物与可生化性:工业废水 COD 均值是生活污水的 2.67 倍,有机物污染负荷高;生活污水 BOD₅/COD 均值 0.42,可生化性好,工业废水中含有大量难降解有机物,而生活污水中的有机物多为易生化降解的碳水化合物、蛋白质。

(2) 悬浮物:工业废水 SS 均值是生活污水的 2.13 倍,源于工业生产固体废弃物,增加固液分离难度。

(3) 氮磷营养盐:生活污水 NH₄⁺-N 均值高于工业废水,TP 均值略低,与污水来源成分有关。

(4) 特征污染物:生活污水未检出重金属和苯酚,工业废水有检出。

(5) pH 值:生活污水 pH 值稳定呈中性,工业废水波动大,部分需中和处理。

2 工业园区分流处理系统设计及优化

2.1 分流系统核心设计参数

(1) 管网布局设计

采用“双管并行”管网布局,分别铺设生活污水与工业废水收集管网,为了防止交叉污染的出现,两套管网在空间上并行分布。生活污水管网覆盖生活区域,采用枝状管网布局^[4];工业废水管网覆盖生产车间,用环状+枝状复合布局。两套管网主干管分别接入对应处理站。在管网关键节点设流量监测仪、水质在线监测仪和控制阀,流量计实时监测,水质仪重点监测工业废水关键指标,超阈值时,控制阀自动关闭,避免不合格废水进入。分流系统管网布局如图 1 所示。

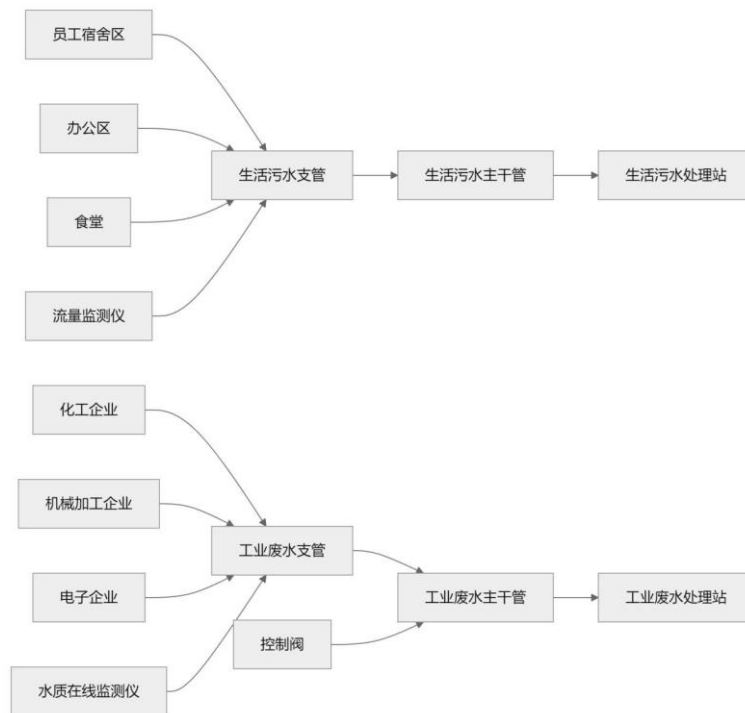


图 1 分流系统管网布局示意图

(2) 分流比例设计

分流比例是生活污水与工业废水流量占园区总污水流量的比例，设计需综合考量园区产业结构、员工数量、生产规模等因素。设园区总污水流量为 Q ，生活污水流量为 Q_1 ，工业废水流量为 Q_2 ，分流比例 $r=Q_1/Q_2$ ，并基于污水排放规律建立计算模型：

$$r = \frac{N \times q}{Q - N \times q} \quad (1)$$

其中， N 为园区员工数（人）， q 是人均生活污水排放量（L/人·d），依《室外排水设计标准》（GB 50014—2021）， q 取 150~200L/人·d。

同时，分流比例要满足生活污水处理工艺最佳流量范围 Q_{10pt} 、工业废水处理工艺最佳流量范围 Q_{20pt} 的要求，分流比例需满足：

$$\frac{Q_{10pt}}{Q_{20pt}} \times 0.8 \leq r \leq \frac{Q_{10pt}}{Q_{20pt}} \times 1.2 \quad (2)$$

(3) 管网流速设计

管网流速是影响管网输送效率和防淤堵的关键参数。《室外排水设计标准》规定，生活污水管网设计流速 0.6-3.0m/s，工业废水管网 0.8-3.0m/s（因工业废水悬浮物高，需更高流速防淤积）。管网管径依流量和流速计算确定，公式如下：

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (3)$$

其中， D 为管径（m）； Q 为管段设计流量（ m^3/s ）； v 为管段设计流速（m/s）。

2.2 分流系统参数优化实验

(1) 实验装置与方案

构建实验室规模分流系统模拟装置，含水箱、蠕动泵等。以园区实际数据配模拟污水，调节蠕动泵流量改变分流比，设不同管网流速，探究分流比和流速对分流效率的影响。分流效率评价指标有：分离效率（通过检测特征污

染物含量计算）、管网淤积率（运行 72h 后检测管网内沉积物）、能耗（监测蠕动泵的运行功率，计算单位体积污水的输送能耗）。

(2) 实验结果与分析

①分流比例在 0.3~0.7 时，分离效率超 90%； $r < 0.3$ 或 $r > 0.7$ 时，分离效率显著下降。因分流比例过小或过大，均会使管网流速过低、产生淤积，致污水交叉污染，故最优分流比例范围为 0.3~0.7。

2.3 分流系统优化设计方案

管网布局：“双管并行+分区收集”，生活污水枝状布局覆盖生活区，工业废水环状+枝状复合布局覆盖生产区，关键节点设监测控制设备。

分流比例：分流比例最优范围 0.3~0.7，依员工数、生产规模和处理能力动态调整，用流量控制阀精准调控。

管网参数：生活污水设计流速 1.0~1.2m/s，按流量定管径；工业废水设计流速 1.2~1.4m/s，考虑悬浮物适当增大管径。

辅助设施：两套管网入口设格栅（生活污水细格栅，工业废水粗+细格栅），工业废水管网设置调节池，确保水质和水量的稳定。

3 分流后污水适配处理工艺研究

3.1 分流后生活污水高效生化处理工艺研究

(1) 工艺选择

生活污水可生化性好（ $BOD_5/COD=0.42$ ），氮磷的含量高，需兼顾有机物去除与脱氮除磷。对比 A^2/O 、SBR、MBR 等工艺， A^2/O 因脱氮除磷稳定、成本低、操作简便被选用。该工艺由厌氧、缺氧、好氧池组成，厌氧池聚磷菌释磷，缺氧池内，反硝化菌将硝酸盐氮还原为氮气，好氧池内，有机物被微生物降解，去除磷和有机物^[5]。

分流比例对分离效率的影响

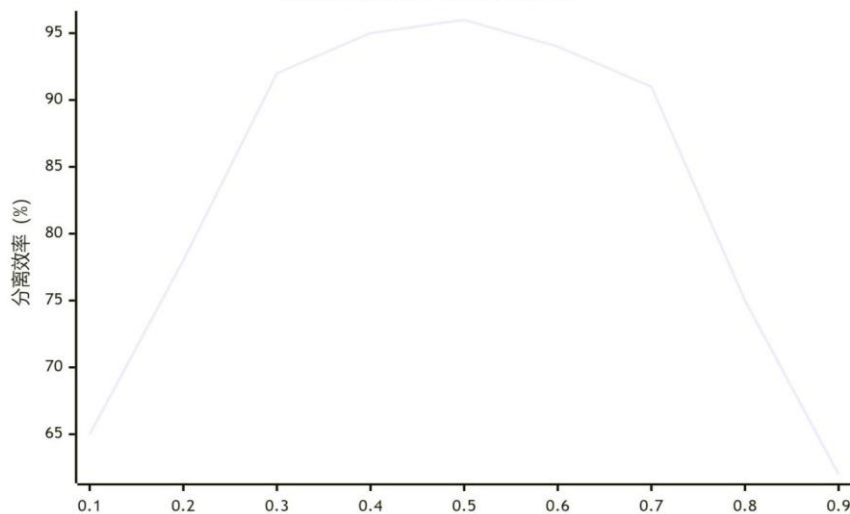


图2 分流比例对分离效率的影响曲线

(2) 实验装置与方案

搭建 50L 实验室规模 A²/O 实验装置，厌氧池 10L、缺氧池 15L、好氧池 20L、二沉池 5L，配搅拌机、曝气器等。用模拟生活污水 (COD=450mg/L 等指标)，接种城市污水处理厂回流污泥，MLSS 约 3000mg/L。采用正交实验，选 HRT、厌氧/缺氧/好氧容积比、回流比 3 个关键参数，各设 3 个水平，具体如表 3 所示。以 COD 去除率、NH₄⁺-N 去除率、TP 去除率为评价指标，优化工艺参数。

表 3 正交实验因素与水平

因素	水平 1	水平 2	水平 3
HRT (h)	8	12	16
厌氧/缺氧/好氧容积比	1 : 2 : 3	1 : 1.5 : 2.5	1 : 1 : 2
回流比 (%)	50	100	150

(3) 实验结果与分析

依据表 4 正交实验结果，经极差分析明确各因素对处理效能的影响程度，进而筛选出最优工艺参数组合。

表 4 A²/O 工艺正交实验结果

实验号	HRT (h)	容积比	回流比 (%)	COD 去除率 (%)	NH ₄ ⁺ -N 去除率 (%)	TP 去除率 (%)
1	8	1 : 2 : 3	50	78	65	62
2	8	1 : 1.5 : 2.5	100	82	72	68
3	8	1 : 1 : 2	150	80	70	65
4	12	1 : 2 : 3	100	88	85	78
5	12	1 : 1.5 : 2.5	150	92	88	82
6	12	1 : 1 : 2	50	85	80	75
7	16	1 : 2 : 3	150	89	86	79
8	16	1 : 1.5 : 2.5	50	87	82	76
9	16	1 : 1 : 2	100	90	84	77

极差分析：对 COD 去除率，HRT 影响最大，最优组合 (HRT=12h、容积比 1 : 1.5 : 2.5、回流比 150%) 下去除率 92%；对 NH₄⁺-N 去除率，HRT 影响居首，最优组合同上，去除率 88%；对 TP 去除率，容积比影响最大，最优组合亦同，去除率 82%。验证实验表明，最优参数下水质质达《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准。

3.2 分流后工业废水预处理-深度处理工艺研究

(1) 工艺选择

工业废水可生化性差 (BOD₅/COD=0.21)，含苯酚、重金属等，直接生化处理效果不佳，易导致微生物中毒。故采用“预处理+深度处理”组合工艺：预处理用芬顿氧化工艺，Fe²⁺催化 H₂O₂产·OH；深度处理用曝气生物滤池 (BAF)，借助填料表面生长的生物膜降解有机物，实现深度净化。

(2) 实验装置与方案

实验装置含 20L 芬顿氧化反应器与 30L 装火山岩填

料 (粒径 3~5mm) 的 BAF 反应器，用模拟工业废水 (含多种污染物，pH=6.5、SS=320mg/L 等)。实验分两阶段：一是芬顿氧化预处理，探究 H₂O₂、Fe²⁺投加量，pH 值、反应时间对 COD 等去除及 BOD₅/COD 提升的影响；二是 BAF 深度处理，将芬顿氧化出水接入 BAF 反应器，评估 COD 去除率、NH₄⁺-N 去除率、TP 去除率。

(3) 实验结果与分析

(1) 芬顿氧化预处理单因素实验确定最优参数：H₂O₂30mmol/L、Fe²⁺15mmol/L、pH3、反应 60min 时效果最佳，COD 去除率 45%，BOD₅/COD 升至 0.48，苯酚、Cu、Zn 去除率分别达 98%、92%、90%。该工艺可有效去难降解物与重金属，提升可生化性，利于后续 BAF 处理。

(2) 在芬顿氧化最优参数下，探究 BAF 工艺参数影响，发现 HRT=8h、气水比=6 : 1 时效果最佳，COD、NH₄⁺-N、TP 去除率分别达 75%、80%、72%。经“芬顿氧化+BAF”组合工艺处理后，出水多项指标达标，苯酚和重金属未检出，达《污水综合排放标准》一级标准。

4 分流处理系统影响因素识别与调控策略

4.1 核心影响因素识别

基于前文研究及园区污水排放实际特征，识别出分流比例波动、水质水量冲击、管网状态、工艺参数匹配度为影响分流处理系统运行的核心因素，并通过单因素实验与相关性分析探究其影响规律。

4.2 针对性调控策略

(1) 分流比例动态调控策略

在分流系统主干管装智能流量控制阀与在线监测仪，实时采流量数据，构建分流比例动态调控模型：

$$r_{real} = \frac{Q_1}{Q_2}, r_{opt} = \frac{Q_{1,opt}}{Q_{2,opt}} \quad (4)$$

当 $|r_{real}-r_{opt}|$ 超 10%时，系统自动调流量控制阀开度以调整流量；园区企业设预处理调节池，工业废水流量大时暂存待稳定后排放；生活污水管网设应急蓄水池，流量不足时补清水，确保分流比例稳定在 0.3~0.7 范围内^[6]。

(2) 水质水量冲击应对策略

构建水质水量预警系统，在工业废水排放口装在线监测仪，超阈值 (COD≥1500mg/L、苯酚≥25mg/L) 触发预警，关闭排放口阀，废水经应急预处理达标后入分流系统。两类处理系统前端设均化池，容积按 24h 最大污水量的 30%设计，配备搅拌装置及调节设备，水量冲击发生时，均化池起到缓冲作用，水质波动时，投加酸碱调节剂、营养盐，调 pH 至 6.5~7.5、BOD₅/N/P 至 100 : 5 : 1，保障微生物活性。

(3) 管网运行状态优化策略

建立管网巡检维护制度，工业废水管网每两个月进行一次疏通，淤积率控制在 3%内；关键节点设排污井，并

定期清理。每年用 CCTV 全面检测管网、修复渗漏。优化管网运行参数,确保两类管网流速稳定在规定范围,防止淤积。

(4) 工艺参数动态匹配策略

构建工艺参数智能调控系统,基于进水水质实时数据,用机器学习算法自动优化参数^[7],芬顿氧化工艺中,进水 COD 升高时,按线性关系增投 H_2O_2 和 Fe^{2+} ; A²O 工艺中,进水 NH_4^+-N 升高时,按线性关系延长好氧池 HRT; BAF 工艺中,进水溶解氧降低时,自动提高气水比。

5 结论

本研究对工业园区生活污水与工业废水分流处理展开系统研究,经系列实验得出:两类污水水质差异大,“双管并行+分区收集”模式下,提出适配处理工艺及参数:生活污水用 A²O 工艺及对应参数,污染物去除率高;工业废水用“芬顿氧化+BAF”组合工艺及对应参数,出水达一级标准。未来可融合物联网与大数据技术,搭建全流程智能监控调控平台,实时精准调控分流比例、管网运行及工艺参数,提升系统自动化与运行效率。

[参考文献]

- [1]曹松.某化工园区“一企一管”废水收集与监测系统设计[J].给水排水,2020,56(1):64-66.
- [2]李益群,王新疆.化工企业废水分类收集、清污分流构思[J].绿色科技,2016,5(10):49-51.
- [3]焦健,王秀红.工业园区污水处理对策研究[J].华东科技:综合,2018(4):1.
- [4]李鹤.CASS 工艺在工业园区污水处理中的应用[J].中国科技投资,2014,11(13):1-2.
- [5]文丽青,颜廷文.天津某工业园污水处理厂提标改造工程设计实例[J].环境工程设计,2020(12):115-117.
- [6]贾新强,郭建华,刘娟,等.山东省某工业园污水处理厂改扩建工程设计[J].中国给水排水,2016,32(2):60-62.
- [7]雷文江.某工业园污水处理厂工程设计[J].市政技术,2021,39(6):141-144.

作者简介:吕占涛(1985.3—),毕业院校:西北大学,所学专业:环境工程,当前就职单位:中国电子系统工程第四建设有限公司,职务:给排水工程师,职称级别:中级工程师。

弹性体改性沥青防水卷材质量检测的探讨

谢放

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]随着建筑防水技术不断向前发展, 弹性体改性沥青防水卷材也就是 SBS, 凭借其出色的力学性能、良好的耐久性以及较强的施工适应性, 在各类工程当中获得了广泛的应用。不过, SBS 卷材在生产环节、运输过程以及施工阶段都存在着质量方面出现波动的情况, 这对它的长期防水性能产生了影响。所以说, 构建一套科学且系统的质量检测体系显得极为重要。文中着重围绕 SBS 卷材的材料特性、检测标准、性能检测方法还有质量控制策略展开探讨, 全面且细致地分析了像力学性能、热性能、防水性能以及耐久性等一系列关键指标的检测方法, 并且还提出了结合材料优化、生产工艺把控以及施工管理等方面来提升质量的综合策略, 以此为工程的实际应用以及标准化管理给予一定的参考。

[关键词]弹性体; 改性沥青; 防水卷材; 质量检测

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18602

中图分类号: TU5

文献标识码: A

Discussion on Quality Inspection of Elastic Modified Asphalt Waterproofing Membrane

XIE Fang

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

Abstract: With the continuous development of building waterproofing technology, elastic modified asphalt waterproofing membrane, also known as SBS, has been widely used in various projects due to its excellent mechanical properties, good durability, and strong construction adaptability. However, there are quality fluctuations in the production, transportation, and construction stages of SBS rolls, which have an impact on their long-term waterproof performance. Therefore, building a scientific and systematic quality inspection system is extremely important. The article focuses on exploring the material characteristics, testing standards, performance testing methods, and quality control strategies of SBS rolls. It comprehensively and meticulously analyzes the testing methods for a series of key indicators such as mechanical performance, thermal performance, waterproof performance, and durability. It also proposes a comprehensive strategy to improve quality by combining material optimization, production process control, and construction management, which provides a certain reference for the practical application of engineering and standardized management.

Keywords: elastomer; modified asphalt; waterproof membrane; quality inspection

引言

弹性体改性沥青防水卷材(SBS)属于现代建筑防水工程范畴内的一种颇为重要的材料,在诸如卫生间、地下室、地铁以及桥梁等一系列工程当中均有广泛的应用。借助橡胶改性剂来对沥青加以改性处理之后,SBS卷材便同时具备了不错的热塑性、良好的延伸性,而且还拥有较强的耐高低温性能以及抗老化性能,能够较为有效地去应对结构出现的微小变形情况以及温度方面的各种变化。不过,它的性能在生产环节、储运环节以及施工环节当中是比较容易受到材料配比状况、工艺控制情况以及环境条件等因素的影响而出现波动的,进而有可能致使防水功能出现失效的情况。所以说,构建起一套科学合理的检测体系,对于确保材料性能的稳定性以及工程自身的可靠性而言,有着不容忽视的重要意义。本文会结合材料本身的特性以及实际的工程实践情况,对SBS卷材的质量保障体系展开较为全面的探讨,从而为防水工程的管理工作提供一定的参考依据。

1 弹性体改性沥青防水卷材概述

我国早在19世纪80年代就对建筑工程的防水材料进

行研究,并在90年代有了较好的突破。到目前为止,我国市面上防水材料种类繁多,都有着各自独特的优势。弹性体改性沥青防水卷材,简称SBS,在建筑行业中得到广泛运用。其主要材料为聚酯毡、玻纤毡、橡胶改性沥青等,具有热塑性好、耐热、延伸率高、抗老化等特点,通常应用在卫生间、地下室、地铁、桥梁等防水工程施工中,起着很好的防水作用。

2 质量检测标准与规范

SBS弹性体改性沥青防水卷材的质量检测工作,务必要依照系统的标准与规范来开展,如此才能确保该材料的各项性能能够契合工程设计方面的相关要求,并且还具备长期的可靠性。就国内而言,其标准体系涵盖了《屋面建筑防水材料应用技术规范》、《卷材防水卷材理化性能试验方法标准》等一系列规范,这些规范清晰地界定了材料在力学性能、热性能、防水性能以及耐久性等方面的具体指标,并且还对检测的方法以及试验所处的条件都提出了颇为严格的限定要求。而在国际标准体系当中,像欧洲的EN标准以及美国的ASTM标准,对于卷材的物理性能、

对环境的适应性以及长期的老化性能同样有着明确的规定,这为国际工程项目以及出口产品给予了相应的技术层面的依据。不过,在实际执行这些标准的过程中,依旧存在着一些问题,比如说试验条件和现场施工环境之间存在一定的差异、部分指标缺少量化的评价办法,还有标准之间在检测方法以及要求方面也存在着差异,这些情况都有可能致使质量判定出现偏差。对此,国内外的学者纷纷提出要通过优化检测程序、结合现场环境模拟试验以及引入新型检测仪器等方式,以此来提升检测结果的准确性以及可重复性。建立起能够符合实际工程需求的检测标准体系,对于 SBS 卷材的质量保障以及工程的安全而言,是有着极为重要的意义的。

3 弹性体改性沥青防水卷材性能检测方法

3.1 力学性能检测方法

SBS 卷材的力学性能可用来衡量其在施工以及后续长期使用期间是否能够持续保有防水功能,其中力学性能主要涵盖拉伸性能、撕裂性能还有剪切性能等方面,针对这些性能的检测一般会运用标准化的试验方法,并且在恒温恒湿这样特定的条件下开展材料样品的相关拉伸、剪切以及撕裂试验。拉伸试验能够体现卷材在受到应力作用之时的延展特性以及抗断裂的能力,撕裂试验则可对卷材在出现局部破损状况下应力分散的能力加以评估,而剪切性能试验主要是为了模拟施工以及使用进程中卷材在接缝或者受力点有可能会出现的剥离状况。凭借对力学性能展开的系统检测,不但能够对材料的物理强度以及延展性能做出判断,而且还能给施工工艺方面的调整以及质量控制给予科学方面的依据,进而切实有效地降低施工期与使用期内防水失效的风险。

3.2 热性能检测方法

SBS 卷材的热性能会直接影响到它在不同气候条件之下的适应能力,热性能检测主要包含软化点检测、低温弯折检测以及热老化试验。通过测定材料在高温软化以及低温脆裂条件之下的性能变化情况,以此来评估卷材在实际应用环境当中的稳定性。软化点试验能够用来判断卷材在高温环境之下出现变形的风险,低温弯折试验则是用于评估材料在寒冷条件之下的柔韧性以及抗裂性,热老化试验可以反映出卷材长期受到热作用之后的性能衰退状况。通过对热性能展开综合评估,能够科学地指导材料选型、施工季节安排以及施工工艺优化,进而确保 SBS 卷材在不同环境条件之下拥有长期的防水性能。

3.3 防水性能检测方法

防水性能作为 SBS 卷材最为关键的指标,它和工程防水效果的可靠性紧密关联。一般会采用渗透试验、吸水率测试还有卷材抗渗性能测定等方式来检测防水性能,借助这些手段模拟材料在施工以及使用阶段可能会碰到的水分情况,进而对卷材的防水能力予以量化评估。其中,渗透试验可检验卷材在受压或者出现局部破损状况时的

防水能力;吸水率测试能体现出材料的微观孔隙结构以及水分渗透的走向;抗渗性能测定则是用来评估材料处于长期水浸环境下时的稳定程度。综合防水性能检测得出的结果,能够为材料配方方面的优化、施工方法的改进以及工程验收标准的制定给予科学层面的依据。

3.4 耐久性与环境适应性检测方法

SBS 卷材在实际工程施工期间,会长时间暴露于紫外线、温度起伏以及酸碱环境当中,其耐久性以及环境适应性对于保证工程的使用寿命而言,属于极为重要的指标。耐久性的检测包含了人工加速老化试验、紫外线辐射试验还有热湿循环试验等项目,借助模拟长期的环境作用情况,来分析卷材性能出现衰退的规律。而环境适应性的检测,重点在于卷材在极端气候条件之下的性能稳定性方面,比如在高温、低温、冻融循环以及酸碱环境中所展现出的抗裂性以及抗剥离性如何。通过开展系统的耐久性与环境适应性检测工作,可以为材料设计方面的改进、施工方案的优化以及长期的质量评估等方面给予科学的参考依据,进而有利于延长防水工程的使用寿命,并且降低后续与维护成本。

3.5 新型检测技术应用

随着材料科学以及检测技术不断发展,部分新型检测手段慢慢在 SBS 卷材性能评价方面得到应用,比如红外热成像、扫描电子显微镜(SEM)分析、差示扫描量热法(DSC)还有动态力学分析(DMA)等。这些技术可以从微观结构、热力学行为以及动态力学特性等多个不同角度针对卷材性能展开较为精确的分析,给出传统力学以及物理性能试验很难获取到的详尽信息。举例来讲,红外热成像能够用来快速检测卷材施工质量以及局部存在的缺陷,SEM 分析可以揭示出材料改性剂的分布情况以及微观结构所发生的变化,而 DSC 和 DMA 则是用于评估材料的热性能以及黏弹性特性。这些新型检测技术的引入,给卷材的质量评价以及性能优化带来了更为科学且更为全面的技术手段。

4 弹性体改性沥青防水卷材质量控制与提升策略

4.1 原材料选择与改性配比优化

SBS 卷材的性能稳定性以及防水效果,在很大程度上要依靠原材料的选择情况以及改性剂配比是否经过优化来决定。基础沥青的质量好坏以及其黏结性的优劣,会直接对卷材的力学性能以及延展性产生影响,优质的沥青应当拥有较为适宜的软化点、黏度以及低温脆化温度,如此一来便能够保障卷材在高温或者低温这样的环境之下依旧保持良好的稳定性^[1]。SBS 改性剂所涉及的种类、分子量以及用量这些方面的情况,同样是决定卷材柔韧性、抗裂性以及耐久性极为关键的因素,倘若能够做到合理的配比,那么便可以让卷材的热塑性以及黏弹性得以改善,进而使得它在实际施工以及后续使用的整个过程当中,都能够较好地适应结构出现的变形情况以及温度发生的各

种变化。除此之外,像聚酯毡或者玻纤毡这类增强材料的选择与否,同样会对卷材的力学强度以及抗剥离性能起到一定的影响作用,而不同类型的纤维以及不一样的厚度,极有可能让卷材在拉伸、撕裂以及剪切等不同的条件之下,呈现出不一样的行为表现。通过开展系统性的材料筛选工作、细致的性能测试以及科学的优化配比操作,不但能够大幅度地提升卷材的基本性能,而且还能够为生产工艺给予科学且有效的指导,从而确保卷材在工程的实际使用当中,可以具备长时间都比较稳定的防水性能。

4.2 生产工艺控制要点

SBS 卷材的生产工艺乃是确保其性能一致性以及质量稳定性极为重要的环节,在生产进程当中,原材料混合的均匀程度、加热时的温度情况、改性剂加入的顺序以及冷却的方式等因素,都会对最终所形成的卷材性能产生颇为明显的影响。就好比说,要是混合不够均匀,那么就极有可能致使卷材在局部出现性能方面的差异,进而对防水的效果造成影响;而加热的温度倘若过高或者过低,就会使得沥青的黏度发生改变,并且也会让改性剂的分散状态出现变化,如此一来便会影响到卷材的力学性能以及热性能^[2]。对于生产工艺加以优化,应当涵盖针对沥青改性过程、增强材料铺设以及卷材成型的整个流程的控制,与此同时还要建立起十分严格的过程监控指标,像是温度控制、混合均匀性检测以及卷材厚度控制等方面都得涉及。除此之外,在生产工艺里还应当引入自动化以及信息化控制的相关手段,借助传感器来监测那些关键的工艺参数,以此达成实时调整以及质量追踪的目的,进而最大程度地降低生产进程中出现的质量波动情况,提升卷材整体性能的稳定性。

4.3 施工质量管理与监测

即便卷材自身的性能颇为出色,然而施工环节若出现不规范的操作情况,那么依旧有可能致使防水工程失去效用。所以说,施工质量的管理以及监测工作同样是极为关键的。在施工推进的过程中,需要对基底处理环节、卷材铺设环节、接缝处理环节以及热熔操作环节等加以严格把控,以此来保障卷材能够和基层实现充分的黏结,同时也保证接缝具备良好的密封性^[3]。与此应当构建起施工质量管理的相关体系,这里面囊括了现场的巡检工作、施工过程中的详细记录以及针对样品开展的抽检活动,凭借这些举措可以及时地将施工当中存在的缺陷给发现出来并予以纠正。比如说,红外热成像技术以及现场剥离试验就能够用来对接缝以及焊接的质量加以评估,进而避免出现局部发生渗漏的状况。施工质量管理并非仅仅着眼于操作是否规范这其还着重于对施工环境条件予以控制,像温度、湿度以及基层的平整度等情况都是需要关注的,因为这些因素会直接对卷材的黏结性能以及防水效果产生影响。借助对施工各个环节实施严格的管理与监测手段,是能够切实有效

地提升工程防水方面的可靠性程度的,进而促使建筑物的使用寿命得以延长,而且还能让后期的维护成本有所降低。

4.4 质量评价体系与提升建议

构建起科学的质量评价体系,这可是保证 SBS 卷材能够长期具备可靠性的关键保障所在。该评价体系得全面考量材料性能、生产工艺以及施工质量这些方面,并且要把力学性能、热性能、防水性能还有耐久性等关键指标都涵盖进评价标准里来,借助量化评分以及分级管理的方式,达成对卷材整体质量的科学评估目的。对于检测过程中发现的质量问题,应当给出相应的改进意见,像是要优化原材料的配比情况、对生产工艺流程加以改进、强化施工方面的培训等工作,另外还要引入更为先进的检测技术等。与此还提议去推广那种基于大数据以及智能监测所搭建起来的质量管理平台,依靠数据采集、统计分析以及实时反馈等一系列操作,实现从材料选型一直到工程验收这样整个流程的质量把控。这样一套综合性评价体系,一方面能有助于及时发现潜在的质量隐患,另一方面也能为标准的修订、技术的改进以及工程管理等相关事宜提供科学合理的依据,进而使得 SBS 卷材在实际工程的应用过程当中,其整体性能以及防水可靠性都能得到较为显著的提升。

5 结语

弹性体改性沥青防水卷材也就是 SBS,它具备出色的力学、热性能以及不错的耐久性,已然成为现代建筑防水工程里相当重要的一种材料。不过在它的生产环节、施工阶段以及后续使用过程当中,是有可能出现质量方面有所波动的情况的,而这种波动情况会对防水效果以及使用寿命都产生影响。本文较为系统地对 SBS 卷材的质量检测展开了探讨,深入分析了那些会对性能产生关键影响因素。通过实施这些一系列的举措,能够切实有效地提升卷材的整体质量,从而保证其能够在不同的环境状况下长期并且稳定地发挥出防水的功能。伴随着材料技术以及智能检测手段不断地向前发展,SBS 卷材的质量保障体系也会变得愈加完善,进而为建筑防水工程的可靠性以及可持续性给予更为坚实的支撑。

[参考文献]

- [1]苏静.弹性体改性沥青防水卷材质量检测的探讨[J].实验室检测,2025,3(21):84-86.
- [2]生海龙.弹性体改性沥青防水卷材现状及常见质量问题[J].造纸装备及材料,2020,49(1):52.
- [3]黄祖行,杨朋威,葛云尚,等.弹性体改性沥青防水卷材浸水后质量增加影响因素探究[J].中国建筑防水,2023(1):6-8.

作者简介:谢放(1987.2—)性别:女,学历:本科,毕业院校:国家开放大学,所学专业:建筑工程,目前职称:工程师。

征 稿

《建筑工程与管理》由新加坡Viser Technology Ptd Ltd主办，ISSN: 2661-4405 (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。期刊是一个开放获取刊，致力于出版建筑领域的高质量学术论文。同时为建筑工程技术人员和专业人士提供一个交流和信息交换平台，文章被万方数据库等权威数据库收录。

《建筑工程与管理》秉承科学精神，以促进学术交流、科技进步，提高工程建设水平为宗旨，为推动建筑设计、建筑材料、建筑技术、城市规划、市政园林等领域的科研、设计、施工方面的最新研究成果与工程实践总结服务。

《建筑工程与管理》期刊的主要栏目有：

建筑设计、建筑工程、施工技术、材料科学、工程管理、市政园林、机电机械、城乡规划、石油化工、勘察测绘、节能环保、预算造价等。

鼓励建筑界各领域的专业技术人员和管理人员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

195 Pearl's Hill Terrace, #02-41, Singapore 168976

官方网站

www.viserdata.com

