



www.viserdata.com

智能城市应用

SMART CITY APPLICATION

月刊

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 2630-5305(online) 2717-5391(print)

中国知网 (CNKI) 收录期刊
RCCSE权威核心学术期刊

2025 10

第8卷 总第66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.



智能城市应用

Smart City Application

2025年·第8卷·第10期（总第66期）

主办单位：Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N：2630-5305 (online)

2717-5391 (print)

发行周期：月刊

出版时间：10月

数据库收录：中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

期刊网址：www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱：viser-tech@outlook.com

地址：195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,

Singapore 168976

学术主编：王高捍

责任编辑：刘艳利

学术编委：陈慧珉 李荣才

尹晓水 陈惠芳

蔡成涛 贾鹏飞

于大泳

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

城乡规划

新时代土地储备管理信息化融合发展分析..... 孙志平 1

路桥与交通

智慧公路养护管理技术的探索与实践..... 郑虎强 5

预防性养护在高速公路路面养护中的应用分析.....

..... 谢向阳 9

养路机械在道路预防性养护中的应用与效益分析.....

..... 郭 涛 13

高速公路桥梁工程预应力施工技术 with 实施要点分析.....

..... 周明明 17

城市轨道交通安全管理模式及应急管理研究.... 陈 妮 21

通讯通信技术

多天线通信系统共址干扰分析与抑制.....

..... 谢尹政 张书玮 张 刚 25

基于数字化通信技术的电力通信网的运维分析.....

..... 王松瑞 29

施工技术

北方山地风电场建设关键技术优化实践研究.... 任光新 33

工程管理

绿色建筑技术在暖通设计中的应用研究..... 王敬宇 37

建筑工程主体结构质量检测方法的探讨..... 李露其 41

建筑土建工程中节能施工技术分析..... 张康荣 45

被动式建筑与绿色建筑标准的融合与应用研究.....

..... 柳亚磊 苏 薇 48

自动化技术

智能化配电馈线自愈控制策略及其工程应用分析.....

..... 赵鸿亮 52

手工电弧焊焊接线能量远程智能监测技术研究.....

..... 李滢博 吉章红 田亚团 向 安 来园凯 56

基于无人机的大型铁塔阵列智能化巡护应用技术.....

..... 尹训锋 62

智慧数据分析

基于大模型的多源数据融合供热系统数智化决策方法研究.....	闫虹 陈旭卯 秦鹏 刘文韬 66
绿色智能技术在伴生矿物加工中的发展现状与趋势分析.....	杨富强 70
“三数融合”背景下县域数字化转型的技术架构与实施路径研究——以丹徒区为例.....	徐海燕 74
基于 AI 大模型的供热管理系统数智化技术路线探析.....	赵会猛 宋清波 王恩泽 王宁 78
风-光多物理场数据融合的智能运维决策系统开发与应用.....	辛明 魏玮 滕丽霞 姜晨曦 袁雪萌 82
风险管理在海洋船舶安全管理信息系统中的应用.....	丁琦 刘扬帅 87
大模型赋能的供热系统数智化运营模式与关键技术研究.....	姚玄 朱钦琛 王泽泽 路亮亮 91

勘察测绘

新能源基地建设工程地质条件综合评价研究....	汪祥兆 95
测绘信息化在生态整治项目管理中的应用探索.....	张继岭 99

工业制造

智能化监测技术在锂电池工厂安全管理中的应用研究.....	周静 103
工业软件赋能汽车研发跨部门协同：数字化转型中的效率提升机制.....	王星薇 张阳阳 107
面向安全管理的锂电池工厂智能化监测体系建设研究.....	张久海 111
基于智能监测的锂电生产企业安全风险识别方法研究.....	许文浩 115

新时代土地储备管理信息化融合发展分析

孙志平

江苏省连云港市赣榆区自然资源和规划局, 江苏 连云港 222100

[摘要]土地储备管理信息化融合发展已然变成土地资源管理变革的关键驱动力,文中全面且细致地探讨了其发展所处的背景及其意义、核心要义、关键技术与平台还有推进的具体路径,目的是给土地储备管理的信息化转型给予完整的理论框架以及实践方面的指引。信息化融合发展借助业务和技术的深度融合、数据资源整合以及共享、智能化决策支持等手段,极大地提高了土地储备管理的效率、透明程度以及科学决策的水平,进而推动土地资源实现优化配置并且达成可持续利用的目标。

[关键词]土地储备; 信息化; 融合发展; 数据共享; 智能化决策

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18280

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

Analysis of the Integration and Development of Information Technology in Land Reserve Management in the New Era

SUN Zhiping

Jiangsu Lianyungang Ganyu District Natural Resources and Planning Bureau, Lianyungang, Jiangsu, 222100, China

Abstract: The integrated development of information technology in land reserve management has become a key driving force for the transformation of land resource management. This article comprehensively and meticulously explores the background and significance of its development, core principles, key technologies and platforms, as well as specific paths for promotion. The purpose is to provide a complete theoretical framework and practical guidance for the information transformation of land reserve management. The integrated development of information technology, through the deep integration of business and technology, integration and sharing of data resources, and intelligent decision support, greatly improves the efficiency, transparency, and scientific decision-making level of land reserve management, thereby promoting the optimization and allocation of land resources and achieving the goal of sustainable utilization.

Keywords: land reserve; promotion of information technology; integration development; data sharing; intelligent decision-making

1998年,住房制度货币化改革使房地产市场迅猛发展和繁荣,满足了老百姓改善住房的刚性需求。国有土地供应方式也由传统的划拨方式向土地储备市场化供应发展。新时代,国有土地储备管理的信息化融合发展,可实现国有土地(收)回购、集体土地征收、国有储备土地前期开发整理、国有储备土地供应等全环节可视化管理,科学指导政府各级国有土地储备机构开展国有土地(收)回购、储备土地前期开发整理、储备土地市场供应等工作。新时代,政府建立的国有土地储备方式,进一步增强政府对城市建设用地市场的调控和保障能力,促进城市土地资源的高效配置和合理利用,为改善人民群众的住房需求及服务城市和促进经济发展起到巨大作用。但在实际国有土地储备管理过程中仍然存在各级政府过度强化国有土地储备的经济效率,甚至部分地区土地出让收益占据着GDP的大部分,国有土地储备社会开发利用效率较低,

开发利用方式粗放,导致国有土地资源开发不合理不科学。随着信息技术发展迅速,土地储备管理要和信息技术融合,整合共享数据资源,建智能化决策支持系统,促进土地资源可持续利用,提高管理工作精准性与响应速度。

1 土地储备管理信息化融合发展的背景与意义

1.1 发展背景

土地储备管理信息化融合发展的背景是多方面因素共同作用的结果。经济社会发展速度较快,土地资源日益变得紧张,信息技术也在不断革新,政策环境也在推动着相关的发展。随着城市化进程加快,土地储备管理要面对规模变大、复杂程度增加的情况,信息技术的应用给管理升级带来了可能性。国家层面出台了很多政策文件,强调要推动土地管理信息化和智能化,这为土地储备管理的信息化融合发展营造了有利条件。比如,依据国家自然资源部的规划,到2025年土地管理信息化覆盖率会超过80%,

这一目标直接推动了各地去探索信息化融合路径。公众对于土地资源透明度和公平性的要求越来越高,也促使管理部门去寻找更高效、更公开的管理方式。从全球来看,发达国家在二十一世纪初就开始了土地管理信息化的探索,其经验说明,信息化融合可大幅降低管理成本并且提高资源配置效率。

1.2 现实意义

土地储备管理信息化融合发展有着诸多现实意义,像可提升管理效率、优化资源配置、增强决策科学性以及促进公开透明等。借助信息化手段,土地储备管理能达成业务流程的自动化与标准化,如此一来便能降低人为错误及延迟情况的发生。把数据资源整合起来并实现共享,这能让各个部门相互协作开展工作,防止出现信息孤岛的情况,进而对土地资源配置起到优化作用。智能化决策支持系统能够凭借大数据分析给出科学合理建议,助力管理者作出更为恰当的决策。就好比在土地供应计划方面,该系统能够依据市场数据以及政策要求,去推荐最为适宜的供应时序与价格。信息化平台能够提高土地储备管理的透明程度,可以让公众参与到监督当中,以此提升政府的公信力。从长远角度来看,信息化融合发展对于推动土地管理体系整体变革是有帮助的,依靠数据驱动以及智能化转型,可构建起一个更为灵活且响应速度更快的管理模式。

2 土地储备管理信息化融合发展的核心内涵

2.1 业务与信息技术的深度融合

业务与信息技术的深度融合乃是土地储备管理信息化融合发展的关键所在。它需要把信息技术切实嵌入到土地储备管理的各项环节当中,达成业务流程的数字化以及智能化目标。这里的深度融合指的是信息技术已然不再仅仅作为辅助工具存在,而是实实在在地成为了管理活动内在的一个构成部分,进而推动业务流程不断去优化并且进行重新构建^[1]。就好比在土地征收、储备以及供应这些环节方面,借助信息系统来实现全程的跟踪以及管理操作,以此保证数据能够做到实时更新并且实现共享。业务与信息技术的深度融合同样也表现在协同共享机制这一层面,其借助统一的平台将原本分散开来的业务功能予以整合,从而促使土地储备管理可以从原先孤立的模式逐步转向一体化的运作方式。依照相关的学术观点来看,深度融合要取得成功是离不开组织结构方面的调整以及文化层面的转变的,唯有把技术融入到日常的业务习惯之中,才能够真正地释放出信息化所蕴含的潜力。

2.2 数据资源整合与共享

数据资源整合以及共享乃是信息化融合发展的根基

所在,这其中涉及到土地储备相关数据的收集工作、存储事宜、处理环节以及应用方面。共享机制可让数据在授权的范围之内被多个部门所运用,如此一来便能推动协同工作开展,并且对决策起到支持作用。数据整合与共享一方面能够提升数据的利用率,另一方面还能防止出现重复建设的情况,避免资源浪费,进而为智能化应用给予数据方面的有力支撑。要达成数据资源整合与共享这一目标,就需要构建起完善的数据标准以及治理体系,以此来保证数据具备一致性、准确性以及安全性等特性。从实际所取得的效果来看,数据共享能够冲破信息孤岛的束缚,促使整体管理效能得以提升,这也进一步凸显出其在所蕴含内涵当中的基础性地位。

2.3 智能化决策支持

智能化决策支持属于信息化融合发展的较为成熟的阶段,其借助人工智能、机器学习等技术来对土地储备数据展开分析与预测,进而给管理决策给予科学方面的依据。智能化决策支持系统可应对复杂且多变的状况,能模拟出不同决策方案所可能产生的结果,以此助力管理者挑选出最优的策略。就好比在土地供应计划方面,该系统能够依据市场数据以及政策要求,去推荐最为适宜的供应时序还有价格。而智能化决策支持系统的构建需要依靠高质量的数据以及先进的算法模型,它是通过将地理信息系统、大数据分析以及模拟仿真等一系列技术加以集成的方式,达成对土地储备管理整个过程的智能监控以及优化目标。

3 土地储备管理信息化融合发展的关键技术与平台

3.1 地理信息系统与遥感技术

地理信息系统以及遥感技术在土地储备管理方面有着极为重要的作用,其可提供空间数据的采集、分析以及可视化的相关功能。地理信息系统能够对土地的地理位置、边界、用途等各类信息加以整合,以此来支撑空间查询以及规划工作。而遥感技术借助卫星或者航空影像,能够实时监测土地的变化情况,进而为土地储备给予动态的数据信息。地理信息系统与遥感技术相结合之后,便给土地储备管理搭建起一个十分强大的空间信息平台,凭借高分辨率的遥感影像还有精细化的地理信息数据,管理者便能够较为直观地知晓土地资源的分布状况以及变化情形。

3.2 大数据与云计算

大数据以及云计算为土地储备管理信息化给予了相应的技术支撑,其能够对海量数据加以处理并且还能提供计算资源。大数据技术可以从多源数据当中提取出具有一

定价值的信息,进而发现其中的模式与趋势,以此来对预测分析予以支持,而云计算则可提供具备弹性的计算以及存储资源,从而让信息化建设的成本以及门槛得以降低。在引入大数据和云计算技术之后,土地储备管理便能够对来自传感器、社交媒体、交易记录等诸多渠道的异构数据加以处理,借助分布式计算以及机器学习算法,展开深度的数据挖掘以及知识发现相关工作。

3.3 物联网与移动互联

物联网以及移动互联技术拓宽了土地储备管理在数据采集以及交互方面的途径。其借助传感器还有移动设备,可实时对土地的状态以及业务数据加以采集。物联网设备能够对土地的温度、湿度、位移等一系列物理参数予以监测,从而给土地管理给予实时的相关信息。移动互联技术让管理人员可以凭借智能手机或者平板电脑,在任何时间、任何地点开展业务操作并且进行数据查询。物联网与移动互联技术相互融合之后,构建起一个无处不在的数据采集以及通信网络。依靠部署于土地现场的传感器以及移动终端,达成对土地状态的实时监控,同时实现业务数据的即时上传。

3.4 区块链与信息安全技术

区块链以及信息安全技术在土地储备管理当中,对数据的可信性以及安全性起到了保障作用。区块链借助分布式账本技术,能够确保土地权属以及交易记录不会被篡改,并且具备透明可追溯的特点^[2]。信息安全技术涵盖了加密、认证、访问控制等方面,其作用在于保护土地储备数据,防止其遭受未经授权的访问以及各类攻击。这些技术在实际应用过程中,强化了土地储备管理的公信力以及韧性,在土地交易以及权属管理领域,尤其能有效减少纠纷以及欺诈行为的发生。将区块链与信息安全技术相结合,可为土地储备管理营造出一个安全可靠的数据环境,凭借区块链的共识机制以及智能合约,达成土地权属的数字化管理以及自动执行的效果。

4 土地储备管理信息化融合发展的推进路径

4.1 加强顶层设计与标准规范

强化顶层设计以及制定标准规范乃是推动信息化融合发展的先决条件,其得从战略层面对信息化建设所涉及的目标、架构还有步骤加以规划。顶层设计务必要综合土地储备管理方面的业务需求以及技术发展趋势这两方面的情况,进而制定出统一的信息化蓝图,而标准规范则涵盖了数据标准、技术标准、管理标准等诸多内容,唯有如此才能保证不同系统以及各个部门之间具备良好的互操作性。强化顶层设计以及制定标准规范这一

要求使得土地储备管理部门有必要组建专门的信息化领导小组,通过该小组来对各方资源予以统筹协调,并且制定出具有长远眼光的信息化发展战略以及具体的实施方案。

4.2 完善数据治理与共享机制

完善数据治理以及共享机制乃是信息化融合发展的一项关键任务,其涉及到数据的管理事宜、数据的质量把控以及数据的安全防护等方面。数据治理涵盖数据资产目录的编制工作、数据质量的监控举措、数据生命周期的管理工作等,以此来保证数据具备可靠性以及可使用性。共享机制借助数据平台以及接口,达成数据在各个部门之间能够安全地实现共享的目的^[3]。要完善数据治理与共享机制,那就得构建起一个多层级的数据管理体系,从组织层面、流程层面以及技术层面这三个不同的维度去着手,进而制定出数据治理方面的政策以及相应的操作规程。

4.3 推动平台整合与业务协同

推动平台整合以及业务协同乃是信息化融合发展的关键之举。这就需要将现有的信息系统加以整合,进而构建起统一的工作平台。平台整合能够有效避免出现系统冗余以及数据不一致的情况,同时也能提升资源的利用效率。业务协同借助平台来支撑跨部门的业务流程,达成无缝衔接的效果。推动平台整合与业务协同便意味着要针对土地储备管理的各类信息系统展开梳理与整合工作,并且借助微服务架构以及中间件技术,去构建起一个灵活且具备可扩展性的统一平台。

4.4 强化人才队伍与安全保障

强化人才队伍以及安全保障,这是信息化融合发展得以实现的支撑条件所在。这里所说的人才队伍涵盖了信息技术人才以及业务复合型人才,而这些人才得具备专业技能,并且还要拥有创新能力才行^[4]。安全保障方面,则涉及到技术安全以及管理安全这两块内容,其主要作用在于保护信息系统还有数据,让它们能够免受各种各样的威胁。要强化人才队伍以及安全保障,那就得着力于加强培训以及教育工作,进而建立起牢固的安全意识。强化人才队伍以及安全保障这一要求,使得土地储备管理部门需要在人才引进以及人才培养的力度上予以加大,借助校企合作以及在职培训等方式,以此来提升员工在信息化素养以及业务能力方面的水平。

5 结束语

土地储备管理信息化融合发展属于新时代土地管理变革的关键指向,其借助业务同信息技术的紧密结合、数

据资源的整合以及共享、智能化的决策支撑，以此来提高管理的效率并增加其科学特性。像地理信息系统、大数据、物联网、区块链这类关键技术与平台，能给融合发展给予技术方面的根基，而其推进的路径涵盖了强化顶层设计环节、完善数据治理工作、推动平台整合事宜以及强化人才队伍建设等方面。在未来，伴随技术持续取得进展，土地储备管理信息化融合发展将会变得更加透彻，进而为土地资源的可持续利用赋予更多的力量。

[参考文献]

- [1]廖玉佳,蒋励,张杨.基于物联网的智慧土地管护系统设计
计与实现[J].物联网技术,2023,13(3):150-152.
- [2]周旺,王艳.基于二三维一体化GIS技术的土地收储管理系统开发与实现[J].测绘标准化,2024,40(4):132-138.
- [3]王森,焦玉峰.大数据时代下土地管理信息化技术创新[J].中国高新科技,2025(2):68-70.
- [4]张庆洪.基于GIS的土地收储让综合管理系统建设研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(6):145-147.

作者简介:孙志平,毕业于扬州农业学校,土地管理专业,
当前工作单位:江苏省连云港市赣榆区自然资源和规划局,
职称级别:土地专业工程师。

智慧公路养护管理技术的探索与实践

郑虎强

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011

[摘要]随着公路、桥梁以及隧道等设施规模逐步扩大,传统养护方式呈现出巡检效率不高、数据不够完整以及病害预判存在滞后等一系列问题,这些情况使得其难以契合现代交通管理方面的需求。当下,智慧养护技术逐渐在公路管理当中得以应用,借助物联网、大数据、BIM、数字孪生以及人工智能等手段,达成对设施的实时监测以及智能决策。不过在实际的应用进程中,依旧存在着系统建设不够完善、数据标准缺乏统一性以及专业人才数量不足等诸多问题,这些问题对技术的推广以及管理成效都形成了限制作用。从整体角度来看,智慧养护技术发展速度较快,然而仍需要进一步加以完善,以此来提高设施的安全性以及养护的效率。

[关键词]智慧公路; 养护管理技术; 探索与实践

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18297

中图分类号: U418.2

文献标识码: A

Exploration and Practice of Smart Highway Maintenance Management Technology

ZHENG Huqiang

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract: With the gradual expansion of facilities such as highways, bridges, and tunnels, traditional maintenance methods have shown a series of problems such as low inspection efficiency, incomplete data, and lagging disease prediction, which make it difficult to meet the needs of modern traffic management. Currently, intelligent maintenance technology is gradually being applied in highway management, leveraging the Internet of Things, big data BIM, digital twins and artificial intelligence are used to achieve real-time monitoring and intelligent decision-making of facilities. However, in the actual application process, there are still many problems such as incomplete system construction, lack of uniformity in data standards, and insufficient number of professional talents, which have a limiting effect on the promotion of technology and management effectiveness. From an overall perspective, the development speed of smart maintenance technology is relatively fast, but further improvement is still needed to enhance the safety of facilities and the efficiency of maintenance.

Keywords: smart highway; maintenance management technology; exploration and practice

引言

随着我国交通基础设施不断发展,公路、桥梁、隧道等公路设施规模与复杂性持续提高,其安全运营及长期维护面临前所未有的难题。传统养护管理模式依靠人工巡检、定期维修、经验判断,存在巡检效率低、数据不完整、病害发现晚、养护决策缺乏科学依据等问题,无法满足现代交通运输对设施安全性、可靠性、高效性的需求。在此情形下,智慧养护理念诞生,借助物联网传感、大数据分析、BIM 技术、数字孪生、人工智能等新技术,达成对公路设施全生命周期的数字化、信息化、智能化管理。智慧养护管理可实现对结构健康状态的实时监测、病害预测、风险预警,还能优化养护资源配置、提升管理效率、降低运

维成本,促使公路设施从被动维护转向主动管理。不过,在实际应用中,智慧养护技术体系建设依旧面临技术集成难、数据标准不一、管理机制不完善、专业人才储备不足等困难。据此,本研究要全面梳理智慧公路养护管理技术的发展状况与应用特点,剖析存在的主要问题,探讨智慧公路养护管理技术在养护管理中的应用模式与实践方式,为构建科学、高效、智能化的公路养护管理体系给出理论参考与实践指引。

1 智慧养护管理的特点

智慧养护管理于公路资产管理平台整体要求之下,呈现出精细、主动且高效的特性,其关键之处在于借助统一的资产数据体系以及标准化的信息录入方式,让道路、桥

梁、隧道还有附属设施的基础信息、技术状况以及养护记录可以维持持续更新并得以全面掌握,进而达成资产管理的透明化与可追溯状态。在日常管理方面,智慧养护着重于病害信息的及时察觉以及规范处理,凭借巡查数据、检测结果以及历史养护信息的综合对比,能够更为精准地评估病害发展趋势以及优先处置顺序,使得养护措施从传统的被动响应转变成预防性以及计划性实施。与此平台把养护计划编制、任务派发、过程跟踪、质量验收以及绩效考核串联成闭环流程,让各个环节责任清晰明确、记录完整无缺,既提高了管理效率,又减少了资源浪费以及重复作业情况;并且,通过对养护成本、处置效果以及资产寿命变化的综合剖析,智慧养护能够给予决策优化更好的支撑,实现资金配置的合理性以及养护效益的最大化,推动道路养护朝着规范化、精细化以及可持续的方向持续向前发展。

2 智慧公路养护管理技术中主要存在的问题

2.1 行业标准缺陷

当前智慧公路养护管理技术推进过程中,主要体现为相关管理要求、技术标准以及实施路径,不同地区、不同管理单位在建设内容、数据口径、技术路线以及应用模式方面存在较大差异,致使智慧养护工作推进缺乏统一方向与规范^[1]。项目建设常常依靠各单位自身理解与资源条件,出现投入分散、建设碎片化、重复建设或者功能不匹配等状况,难以形成规范化、体系化且可持续的发展格局,对资源整合、协同推进以及成果落地整体效果产生影响,使得智慧养护技术推广应用呈现进度不均、标准不一的态势。

2.2 专业机构人员不稳定

在智慧公路开展养护管理工作期间,专业机构人员的稳定性欠佳这一情况,已然成为对管理效率以及技术应用产生重要影响的关键问题所在。毕竟养护管理所涉及的诸如结构监测、数据分析、信息化平台运维等诸多专业工作,对于人员的专业能力与经验都有着颇高的要求。然而当下众多管理机构普遍存在人员流动性偏大、专业技术人员数量不足以及岗位稳定性相对较低等状况,进而使得部分关键岗位缺少经过长期积累所形成的技术经验以及管理能力。

2.3 系统建设水平不高

在智慧公路养护管理技术发展进程里,系统建设水平不高这一问题较为凸显,其主要表现在系统功能不够完备、架构不够统一以及应用深度不够等方面。部分地区的智慧养护平台仅仅停留在基础信息录入以及简单数据展示阶段,缺少对资产状态的动态监测、趋势分析以及养护决策支持等深层功能,致使系统没办法切实支撑精细化管理的

需求。并且,不同系统间标准不统一、接口不兼容,数据孤岛的现象比较严重,信息共享以及业务协同难以有效达成;部分系统的建设存在重复搭建、功能重叠等情况,造成了资源的浪费。

3 智慧养护技术体系

3.1 物联网传感技术在养护监测中的应用

在智慧公路养护管理领域当中,物联网传感技术占据着极为关键的地位,其已然成为达成全方位且实时智能化监测这一目标的重要依托所在。借助于在桥梁的梁体部分、支座部位、隧道的衬砌之处、护栏区域以及那些处于关键位置的路段去布设应变计、加速度计、位移传感器、振动传感器、温湿度传感器、裂缝监测传感器还有环境监测装置等等一系列设备,如此一来便可以源源不断地采集到诸如结构应力方面的数据、振动特性相关的数据、位移变形情况的数据、裂缝发展状况的数据、温湿度变化情况的数据、荷载波动状况的数据以及交通流量方面的数据等诸多不同维度的数据信息^[2]。这些各式各样的传感器会凭借无线通信的方式、光纤网络的途径、低功耗广域网或者 5G 网络这样的手段,进而与结构健康监测系统也就是 SHM、道路资产状态监测系统、桥梁管理信息系统即 BMIS、隧道监测管理系统也就是 TMS 以及风险点预警管理平台等诸多专业的系统建立起有效的连接关系。依靠着数据冗余校验的相关技术、异常滤波的操作方式以及时间同步的技术手段,以此来切实保障所采集数据的准确性与可靠性,从而顺利实现数据的实时传输功能、动态更新的状态以及集中存储的安排。物联网传感技术不但能够针对单个构件展开精准细致的监测工作,而且还可以凭借多传感器的融合运用以及时空数据的分析处理,进而对整体结构的健康状态做出全面的评估考量,能够及时有效地发现其中存在的潜在病害情况以及异常风险状况,最终达成智能预警的效果,从而为后续的养护决策事宜、资源调度安排以及应急处置工作都给予科学合理的依据参考。

3.2 大数据分析 with 智能诊断技术

大数据分析及智能诊断技术于智慧养护体系当中,主要是依靠道路技术状况智能巡检设备同人工智能算法加以深度融合,进而达成对道路结构、路面病害还有交通环境的全方位感知以及智能分析这一目的。智能巡检设备在处于行驶状态的过程之中,可凭借高精度摄像头、激光扫描仪、三维成像仪、红外热成像以及惯性测量单元等一系列设备,针对路面出现的裂缝、坑槽、沉降、车辙、剥落还有路基不均匀沉降等各类病害展开高精度的采集操作,

与此同时还会将交通流量、车辆荷载以及环境因素等相关数据一并记录下来。所采集到的海量数据在经过边缘计算进行预处理之后,会被传输到中央的大数据分析平台,在此平台上会结合运用深度学习、图像识别、模式匹配以及预测性分析等多种人工智能技术,以此来对道路病害的具体类型、所在位置、严重程度以及发展趋势做出自动的判别并且进行量化的评估,如此便成功解决了传统人工巡检所存在的工作量颇为繁重、周期持续时间较长、评估带有较强主观性以及信息处理存在滞后情况等诸多问题。依据分析所得到的结果,该系统能够生成道路技术状况评分、养护优先级排序、风险等级评定以及施工方面的建议内容,并且还能够与养护管理平台相互联动起来,进而实现对养护决策以及施工任务的精准赋能,使得养护计划的制定变得更加科学合理,施工资源配置也更为高效,而且还能预测未来病害的发展趋势,以此辅助制定出预防性维护的相关策略。

3.3 BIM技术与数字孪生在养护管理中的应用

在智慧公路养护管理方面,BIM技术以及数字孪生的应用给设施全生命周期管理给予了颇为有力的数字化支撑。其通过搭建桥梁、隧道还有相关附属设施的三维模型,达成了结构信息、养护记录、监测数据以及施工数据的高度整合以及可视化管理的目的^[3]。BIM技术不但能直观地呈现出公路的结构几何形态以及构件布置情况,而且还能嵌入材料属性、设计规范、施工工艺以及养护历史信息等内容,进而为管理人员给予完整的数字档案以及可追溯的管理依据。在这样的基础之上,数字孪生技术把物理结构和它的虚拟模型予以实时同步,凭借物联网传感器所采集的应力、振动、位移、环境参数以及交通荷载数据持续更新数字模型,由此实现对公路结构状态的动态映射以及全息仿真效果。依靠数字孪生平台,能够开展结构健康评估、病害演化预测以及施工或者养护方案的虚拟验证等相关工作,进而优化养护决策,提升施工和维护的效率,并且同时降低风险以及成本。

3.4 人工智能与预测性维护技术

在智慧公路养护管理方面,人工智能以及预测性维护技术乃是达成主动化管理以及精细化决策的关键手段。通过针对历史监测数据、实时采集的信息还有环境以及交通条件展开深度分析,进而可对结构病害的发展趋势以及潜在风险做出科学预测。人工智能技术当中,像机器学习、深度学习以及模式识别算法这些,能够从海量的传感数据里提取出关键特征,去识别那些细微的异常信号以及结构性能方面的变化,如此一来便能够提前察觉到裂缝扩展、

沉降变形、支座异常、路面病害等一系列潜在问题。在这样的基础之上,预测性维护技术会借助数据驱动模型来对设施的健康状况展开动态评估,同时结合寿命预测以及风险等级分析,针对养护周期、维护优先级以及资源配置展开科学规划,从而实现从被动维修朝着主动干预的转变。人工智能与预测性维护技术的应用不仅提升了公路设施的安全性、可靠性和使用寿命,也推动智慧养护管理向高度智能化、精细化和数据驱动的方向发展,为构建高效、可持续的公路养护体系提供了坚实的技术保障。

4 智慧公路养护信息平台建设

智慧公路养护信息平台的建设,乃是达成公路设施全生命周期智能化管理极为关键的一环。其主要意图在于把物联网传感数据、BIM模型、数字孪生信息、大数据分析所得到的结果以及人工智能预测模型相互有机地整合起来,进而构建起一个统一且高效的、具有可视化特点的管理平台。该平台借助多层次的架构设计来达成目的,这其中涵盖了数据采集层面、数据传输层面、数据存储以及处理层面还有应用服务层面,以此来实现对结构监测、病害诊断、养护计划制定、施工管理以及资源调度等各类信息的集中化管理以及动态化的更新操作。在数据采集以及传输这个层面上,平台能够与多种类型的传感器以及监测设备保持兼容状态,依靠无线网络、光纤通信或者5G网络把实时监测到的数据上传出去,进而实现跨区域并且是全天候的数据获取情况。在数据处理以及分析这个层面上,平台集成了大数据处理方面的技术以及智能诊断的相关算法,针对海量的传感数据展开清洗、融合、特征提取以及风险评估等一系列操作,从而实现了对结构健康状况的实时监控以及智能预警的功能^[4]。与此平台还支持BIM模型以及数字孪生技术的可视化展示方式,会把结构的几何信息、病害的分布情况、养护的历史记录以及预测的结果都直观地呈现出来,给管理人员给予科学决策方面的依据。除此之外,平台还拥有多个用户以及多种权限管理的功能,可以满足不同管理层级、养护单位以及施工部门协同开展工作的需求,进而实现信息的共享以及业务的协同,提升养护管理所具有的透明度以及效率水平。

5 结语

智慧公路养护管理技术的发展进程,使得公路设施在监测、维护以及管理等方面变得更加智能化且更为高效。借助物联网、大数据、BIM、数字孪生还有人工智能等技术的应用情况,既提升了设施的安全性,又延长了其使用寿命,同时也对养护资源进行了优化,并且提高了管理效率。尽管在系统建设以及人才储备这些方面还存在着些许

不足之处,不过伴随技术的不断改进和完善以及广泛推广,智慧养护将会在公路设施管理当中发挥出愈加重要的作用,进而为保障交通基础设施安全稳定地运行以及实现可持续发展给予强有力的支撑。

[参考文献]

- [1]周苏峰.智慧化路桥管理与技术研究[J].汽车画刊,2025(6):191-193.
- [2]李明,刘昆,曾银.基于5G无线网络技术的智慧路桥安全建设[J].通讯世界,2024,31(1):19-21.

[3]高莹莹.智慧工地视角下路桥施工安全风险智能评估与预警机制研究[C].江西:江西省工程师联合会.工程技术与新能源经济学术研讨会论文集(一).花都区交通运输局,2025.

[4]陈姣姣,赵岩荆,蒋玲.路桥智慧工地与管控虚拟仿真实训平台建设研究[J].教育教学论坛,2025(7):41-44.

作者简介:郑虎强(1990.11—),毕业院校:长沙理工大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:新疆北新路桥集团股份有限公司,职称级别:工程师。

预防性养护在高速公路路面养护中的应用分析

谢向阳

江苏现代路桥有限责任公司, 江苏 南京 210000

[摘要]随着我国高速公路网络规模快速扩张,路面养护变得极为重要,它可保障交通安全、延长路面寿命、优化资源配置。传统的事后修复型养护模式有施工干扰大、成本高、病害反复等问题,难以满足现代高速公路长期可持续运营需求。预防性养护是前瞻性、系统化的养护管理模式,能通过早期发现潜在病害、合理选择技术措施、优化施工组织,实现路面性能持续保持、养护成本最小化。本论文分析高速公路路面预防性养护概念、战略价值、技术应用、效果评价、实施策略,结合理论研究与实践经验,阐述其在提高路面性能、降低养护成本、延长使用寿命、保障交通安全方面作用,提出加强预防性养护实施策略,给高速公路路面养护管理提供理论依据、实践参考。

[关键词]高速公路;路面养护;预防性养护

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18285

中图分类号: U418.6

文献标识码: A

Application Analysis of Preventive Maintenance in Highway Pavement Maintenance

XIE Xiangyang

Jiangsu Xiandai Road and Bridge Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: With the rapid expansion of Chinese highway network, road maintenance has become extremely important, as it can ensure traffic safety, extend road life, and optimize resource allocation. The traditional post repair maintenance mode has problems such as large construction interference, high cost, and repeated diseases, which are difficult to meet the long-term sustainable operation needs of modern highways. Preventive maintenance is a forward-looking and systematic maintenance management model that can achieve sustained pavement performance and minimize maintenance costs through early detection of potential diseases, rational selection of technical measures, and optimization of construction organization. This paper analyzes the concept, strategic value, technical application, effectiveness evaluation, and implementation strategies of preventive maintenance for highway pavement. Combining theoretical research and practical experience, it elaborates on its role in improving pavement performance, reducing maintenance costs, extending service life, and ensuring traffic safety. It proposes strategies to strengthen the implementation of preventive maintenance, providing theoretical basis and practical reference for highway pavement maintenance management.

Keywords: highway; road maintenance; preventive maintenance

引言

随着高速公路交通量不断地增加以及路网密度持续地提升,路面养护所面临到的压力一天比一天大。以往那种传统的养护模式,也就是在出现问题之后才去修复的那种模式,是以病害出现作为开始动手做的起点,这样的方式施工周期比较长,对周边的干扰也大,花费的费用还高,根本没办法满足路面能够长期稳定运转的要求。近些年来,预防性养护渐渐地变成了国内外高速公路管理当中极为重要的一个发展趋向。它会提前去发现那些潜在的病害,并且及时处理它们,以此来减缓路面变差的速度,让路面可以长时间保持优良的状态。本文把高速公路路面预防性

养护当作研究的对象,从它的概念、战略层面的价值、具体技术的应用情况、效果的评价以及实施的具体策略这五个不同的方面展开详尽的剖析,从而为达成路面可持续养护的目标给出理论层面以及实践操作方面的参考依据。

1 预防性养护概述

预防性养护属于一种路面养护管理模式,其核心在于提前对潜在病害加以干预并及时予以处理。它着重借助科学的方式去评估路面结构的实际状态,同时预测病害可能的发展走向,并且采取恰当的技术举措来促使路面性能得以长时间维持。与传统的那种在事后再进行修复的模式不同,预防性养护会把养护行为提前到病害刚开始萌芽的阶

段,以此来压低重大维修以及全面加固出现的频次。这种养护模式不但适用于新建路面在初期维持其设计性能,而且同样适用于已经运营了多年并且病害逐渐开始出现的路段。凭借定期开展的巡查工作、针对结构所进行的检测以及多种养护技术的组合运用,是能够保持路面功能处于相对稳定的状态,延缓其不断劣化的进程,进而达成经济性、社会性以及环境效益的综合提升效果的。预防性养护得以实施,依靠的是科学的病害评估办法、适合的施工技术以及合理的施工组织安排。它需要管理部门在做出路面养护相关决策的时候建立起基于数据之上的科学分析体系,对养护周期以及养护内容展开统筹性的规划安排,从而实现长期且可持续的管理目的。

2 预防性养护的战略价值

2.1 经济效益与成本控制

预防性养护通过及早发现和处治病害,避免其进一步恶化,从而有效控制高速公路全寿命周期成本,提升养护投入产出效益,是实现养护经济可持续发展的关键举措。其克服了事后大修成本高、干扰大、易反复的弊端,通过前瞻性投入将病害消灭在萌芽状态,最小化养护成本。大规模推广预防性养护,可从根本上缓解养护资金压力,在同等投入下创造更大养护产出,实现政府和企业的“双赢”。尤其在当前财政趋紧、养护需求剧增的背景下,通过精准投资、科学养护来实现“花小钱、办大事”,对于地方政府和养护单位而言具有重要的现实意义。

2.2 社会效益与通行保障

预防性养护在社会效益方面的体现十分突出。其借助提前对病害加以干预以及合理安排施工时间的方式,能够在最大程度上减少施工给交通流所带来的干扰,进而保障高速公路的通行能力以及运输效率得以维持。如此一来,既能让道路使用者的出行体验获得改善,又能降低由于施工而引发的交通事故风险。在那些货运较为密集的区域以及经济活动频发的路段,路面的稳定性会直接对运输效率以及社会经济效益产生影响。预防性养护通过持续维持路面的功能,减少突发性维修以及封闭所造成的不便,从而为公众营造出安全、便捷且高效的通行环境,这也充分彰显了高速公路管理部门在公共服务领域所具有的责任价值。

2.3 环境效益与资源节约

预防性养护所具有的环境效益,重点体现在资源利用效率以及生态影响控制这两个方面。科学且合理的病害评估,加上精确细致的施工计划,能够切实有效地减少材料方面的浪费情况,也能降低能源的消耗程度,并且能够在

很大程度上降低施工过程给生态环境带来的干扰。与传统那种事后的大型维修方式相比,在病害刚刚萌芽的阶段去进行处理的时候,预防性养护所需要的材料数量相对较少,其施工所花费的周期也相对较短,对于空气、水体还有土壤等方面所产生的影响也是有限的。与此通过延长路面的使用寿命,还能减少频繁开展改建工作以及进行大规模施工的需求,进而降低建筑废弃物的排放量,最终达成绿色养护以及可持续发展的目标。

3 高速公路预防性养护技术应用

3.1 路面结构与病害预测

高速公路预防性养护工作当中,路面结构分析以及病害预测占据着极为关键的基础地位,其对于养护工作的科学性与高效性而言,实属重要环节所在。全面且系统地去评估路面各个不同层次的结构状况、各类材料所具备的性能表现、交通荷载的具体情况以及所处环境的条件等因素,如此一来便能够对病害可能发生的位置、发展速度以及可能给路面整体性能带来的潜在影响范围做出较为精准的预测,进而可为养护决策给予科学层面的依据参考。在实际的操作流程之中,现代所采用的信息化以及智能化技术手段,在路面健康状态的管理方面使得其呈现出更为细致以及更具动态性的特点。就好比说,通过精心布置高精度的传感器,就能够实时且持续地对路面应力、温度、湿度等一系列关键参数展开监测;借助 BIM 模型针对路面结构予以数字化的呈现方式以及开展仿真分析操作,这样便能够形象直观地将病害的分布状况及其后续的发展趋势展现出来;结合运用大数据分析的相关方法,可对历史病害方面的数据、交通流量的具体情况以及各类环境因素等进行综合性的计算处理与预测分析,进而能够较为准确地判定各个路段在养护工作中的优先级别以及施工时的重点所在。准确无误的病害预测,一方面能够对施工资源的合理分配起到有效的指导作用,让养护措施得以集中聚焦于那些关键的区域之上,以此来提升施工的效率以及养护的实际效果;另一方面还能够为施工方案的优化设计工作、材料的选型事宜以及工艺的选择等方面给予可靠的数据方面的有力支撑,进而切实有效地延长路面的使用寿命、降低养护工作的成本开支,并且进一步提升高速公路在整体运行过程当中的安全性能以及车辆通行的性能表现。

3.2 预防性养护施工方法

预防性养护施工方法属于保证高速公路路面长期性能以及安全的关键环节,其要点在于借助科学且及时的施工干预来抑制病害进一步发展,延缓路面劣化进程。主要施工方法涵盖封层处理、薄层覆盖、微表处以及沥青再生

等技术手段,这些方法着重于在病害处于萌芽或者轻微阶段的时候加以处理,借此防止病害扩展引发大修或者结构破坏。与传统事后修复相比,预防性养护施工周期较短、施工干扰较小,同时可在维持路面整体结构完整性的基础上,明显提升路面的抗裂性、抗磨损性以及防渗性。施工组织要综合考量交通流量、气象条件、环境因素以及施工季节特性,科学安排施工时间以及分段施工策略,以此最大限度地降低对正常通行的影响,同时确保施工安全以及效率。在施工进程中,严格依照技术规范以及质量控制标准,运用先进施工设备以及监测手段,保证施工厚度、材料均匀性以及铺筑质量,可有效达成预防性养护的预期效果,让路面性能得以持续保持,同时降低后续养护频率以及成本,提高高速公路路网整体的运营效率与服务水平。

3.3 典型材料及技术措施

预防性养护所采用的材料涵盖了高性能乳化沥青、改性沥青混合料、再生沥青以及环保封层材料等多种类型。这些材料的性能状况会对养护效果以及使用寿命产生直接的影响,所以在正式施工之前,必须要开展细致严格的实验室检测工作以及现场试验活动,以此来确保材料能够契合设计方面的要求。依据路段出现的不同病害类型以及所处的环境条件,运用稀浆封层、微表处、超薄磨耗层等一系列工艺手段,是能够切实有效地对路面的摩擦性能加以改善的,同时也能提升其防水性能,并且能够在一定程度上延缓裂缝的进一步扩展,进而为路面能够长期维持优良的性能状态给予有力的保障。

3.4 信息化与智能化应用

信息化以及智能化技术的应用,对于提升预防性养护的科学性以及精细化管理水平而言,是极为关键的。BIM技术、物联网监测系统还有大数据分析能够实时且全面地掌握路面的实际状态、交通的流量情况以及施工的推进进度,进而对病害的发展趋势加以预测,并且对养护方案予以优化。智能施工设备以及监控平台可以精准地把控施工的厚度、铺筑的质量以及施工的节奏,如此一来,便能够提升施工的效率以及养护的效果,同时还能减少人为出现的失误,最终达成高速公路养护的智慧化管理目标。

4 预防性养护效果评价与实践

4.1 路面性能改善效果

预防性养护实施以后,高速公路路面整体性能获得明显改善,在结构稳定以及行车安全层面都呈现出颇为突出的优势。借助于对裂缝、坑槽、剥落这类早期病害展开及时的干预与处理,既有效地阻止了病害进一步蔓延扩展,又让路面摩擦系数以及承载能力维持在较高的水准,使得

路面在面临交通荷载以及环境影响之时,能够展现出更强的抵御能力^[1]。与此路面平整度有了较为明显的提高,驾驶舒适性也得到了改善,车辆行驶稳定性得以增强,能有效降低由于路面不平或者存在病害而引发的车辆振动以及驾驶疲劳情况。雨水渗透率降低之后,显著减少了水损害对路面结构的侵蚀作用,提升了路面的防滑性能以及耐久性,进而为高速公路行车营造出更为安全可靠的条件。并且,长期维持路面性能处于优良的状态,还可以减少频繁维修以及大修的需求,达成养护资源配置的优化以及使用效率的提升,促使高速公路运营管理具备更强的经济性以及可持续性,为道路使用者构建出良好的通行环境。

4.2 成本与经济性分析

预防性养护于高速公路全寿命周期当中,可切实降低养护成本,其经济效益相较于传统的事后修复模式更为出色。借助提前开展干预以及及时对潜在病害加以处理,预防性养护成功减少了大规模维修出现的频次,同时也减轻了施工给交通带来的干扰,进而使得材料费、人工费以及交通管控等方面的直接费用得以降低^[2]。并且,因为施工安排更为科学且合理,施工封闭所花费的时间变短,路况受到的影响也相应减小,如此一来,交通延误的情况以及事故发生的险情均有所降低,间接的经济损失也随之大幅度减少,最终达成养护投入产出的最优状态。长期去推广预防性养护,既能提高资金使用的效率,又可在有限的养护预算范围内确保路面性能以及行车安全,从而为高速公路管理单位带来可持续的经济与运营方面的价值。

4.3 安全性及使用寿命提升

依靠维持路面结构的稳定状态,使抗裂、抗压以及抗磨性能得以提升,借助预防性养护能够延缓路面出现劣化情况,进而延长其使用寿命。在病害处于早期阶段便加以处理,如此一来可降低事故发生的概率,提高高速公路的整体安全程度,从而给车辆以及乘客带来更为可靠的保障。

5 加强预防性养护的实施策略

加强预防性养护的实施,需要从技术管理、施工组织以及政策保障等方面着手开展相关工作。在技术管理方面,应当建立起标准化的施工规程,并且构建起完善的质量控制体系,以此来保证各项养护措施能够精准且有效地发挥作用。就施工组织而言,要科学合理地安排施工计划,同时要妥善地分配各类资源,从而提高施工的效率,进而把对交通所产生的影响尽可能地降下来^[3]。从政策保障层面来讲,需要进一步完善资金投入的相关机制以及制定合理的激励政策,以此确保养护资金能够充足到位,并且有力地推动预防性养护技术的广泛推广。凭借技术、组织以及

政策三方面的协同发力,预防性养护才能够实现长期稳定的运行状态,并且充分地发挥出其最大的效益。

6 结语

预防性养护在高速公路路面养护领域有着不容忽视的战略价值以及实际意义。借助对路面状态展开科学且细致的评估,合理地去挑选相应的养护技术,同时对施工组织予以优化,并且运用智能化的管理手段,如此便能够切实有效地改善路面的各项性能,使得养护成本得以降低,让使用寿命得到延长,进而充分保障交通安全。在未来的发展进程中,需要进一步对预防性养护技术体系加以完善,强化针对信息化的应用程度,提高管理方面的水平,并且在政策层面以及资金保障方面给予有力的支持,从而达成

高速公路养护可持续发展的目标。

[参考文献]

- [1]漆锐珺.预防性养护在高速公路路面养护中的应用分析[J].运输经理世界,2025(24):124-126.
- [2]谈小云.高速公路路面病害检测及预防养护探究[J].工程抗震与加固改造,2025,47(4):196.
- [3]那振坤.高速公路沥青路面预防性养护技术的应用[J].科学技术创新,2024(23):159-162.

作者简介:谢向阳(1991.6—),男,毕业院校:省委党校研究生,所学专业:应用经济学,当前就职单位:江苏现代路桥有限责任公司,职务:副主管,职称级别:助理工程师。

养路机械在道路预防性养护中的应用与效益分析

郭涛

山西省交通新技术发展有限公司, 山西 太原 030012

[摘要]随着我国公路网持续拓展,道路使用强度不断增加,路面早期病害与结构性损伤发生频率明显升高,对道路安全性及通行舒适性产生严重影响。传统主要依靠人工的养护模式存在效率低、作业质量难保障以及安全风险高等问题,难以满足现代道路预防性养护需求。预防性养护侧重于在路面病害处于初期阶段时采取干预措施,以此延缓病害发展、降低全寿命周期养护成本并提高道路长期服务性能。养路机械在道路预防性养护中发挥关键作用,凭借在路面检测、清扫保洁、裂缝处理和表面处治等环节的应用,大幅提升养护效率、确保施工质量并降低施工风险。文中全面分析养路机械在预防性养护中的应用形式,对其在作业效率、施工安全及综合效益等方面的效果予以评估,指明机械化养护在经济效益、管理优化以及社会效益提升方面的重要价值。研究结果表明,机械化预防性养护可有效延长道路使用寿命,还给道路管理部门带来科学化、数据化且可持续的养护实施模式,为公路养护管理现代化提供实践参考与理论支撑。

[关键词]道路预防性养护;养路机械;机械化养护;应用效果

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18277

中图分类号: U216.4

文献标识码: A

Application and Benefit Analysis of Road Maintenance Machinery in Preventive Maintenance of Roads

GUO Tao

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

Abstract: With the continuous expansion of Chinese highway network and the increasing intensity of road use, the frequency of early pavement diseases and structural damage has significantly increased, which has a serious impact on road safety and traffic comfort. The traditional maintenance mode, which mainly relies on manual labor, has problems such as low efficiency, difficulty in ensuring work quality, and high safety risks, making it difficult to meet the needs of modern road preventive maintenance. Preventive maintenance focuses on taking intervention measures when road surface diseases are in the early stages, in order to delay the development of diseases, reduce the maintenance cost throughout the life cycle, and improve the long-term service performance of roads. Road maintenance machinery plays a key role in preventive maintenance of roads, greatly improving maintenance efficiency, ensuring construction quality, and reducing construction risks through its application in road surface inspection, cleaning, crack treatment, and surface treatment. The article comprehensively analyzes the application forms of road maintenance machinery in preventive maintenance, evaluates its effectiveness in terms of operational efficiency, construction safety, and comprehensive benefits, and points out the important value of mechanized maintenance in terms of economic benefits, management optimization, and social benefits improvement. The research results indicate that mechanized preventive maintenance can effectively extend the service life of roads and bring scientific, data-driven, and sustainable maintenance implementation models to road management departments, providing practical reference and theoretical support for the modernization of highway maintenance management.

Keywords: preventive maintenance of roads; road maintenance machinery; mechanized maintenance; application effect

引言

道路作为现代交通运输体系里的关键基础设施,其实际运行状况对交通安全、运输效率以及经济发展水平均会产生直接影响。当下,随着道路交通量持续不断地增长,

同时车辆荷载也在逐渐加大,道路结构所面临的承载能力以及耐久性方面的挑战变得日益严峻,像裂缝、车辙、坑槽这类路面早期病害问题频频出现,进而对道路的长期服务性能形成了颇为不利的影响。以往的传统养护模式主要

是依靠人工巡查以及维修等方式,然而这种方式存在着作业效率偏低、养护质量难以做到统一、施工过程中的安全风险偏高等诸多问题,所以很难契合现代道路预防性养护的实际需求。预防性养护着重于在路面病害还处于早期阶段的时候便及时采取干预举措,借助科学合理的措施来延缓病害的发展进程,以此达成道路长期性能保持稳定的功效。在这一过程当中,养路机械无疑担当起了极为重要的角色,它具备的高效率、高精度以及标准化作业的能力,使得预防性养护的实施能够更为科学且更加可靠,同时也切实有效地支撑起了道路养护的现代化管理模式。深入研究养路机械在预防性养护当中的具体应用情况及其所产生的效益,对于优化养护作业流程、提升路面的使用寿命以及保障交通安全而言,都有着不容忽视的重要意义。

1 推进机械化养护的重要意义

现阶段,道路养护普遍存在养护资金短缺、机械配备不足、机械化养护水平低等问题。加之养护作业面较广,标准化进行困难,专用机械配置严重不足,难以满足现代公路养护的实际需要,从而造成公路养护工作主要依靠人工完成。而采用机械化养护,能够通过施工机械取代人工作业,有效降低人员工作强度,提高养护效率,节约养护成本,保证养护质量,且利用机械化养护能够减少人员投入,提高养护工作的安全性。机械化养护可达成作业流程的标准化以及精细化管理这一目标。其借助高效的、连续的施工方式,能让路面养护周期得以优化。如此一来,便减少了因人工操作存在差异而引发的施工不均等问题,进而使得路面的使用寿命得以延长,道路的整体性能以及行车安全性也都得到了提升。并且,这还为日后道路养护管理朝着信息化、智能化方向的发展打下了一块坚实的基础。

2 养路机械在道路预防性养护中的主要应用形式

2.1 路面检测与病害预警机械应用

在道路预防性养护体系当中,精准掌握路面技术状况乃是科学制定养护策略以及作业计划的重要前提条件。路面检测与病害预警机械把激光测量、高清图像采集、传感监测、地理信息系统以及大数据分析等诸多先进技术手段加以集成,能够针对路面平整度、裂缝分布、车辙深度、坑槽情况还有表现损伤等这些关键指标展开快速、连续且具有高精度的采集工作。与传统那种依赖人工巡查的方式来相比,其检测效率得到了显著提升,数据的完整性以及客观性也有了明显改善,并且还能达成全天候、跨区域的持续监测,进而为路面性能评估给予可靠的依据。凭借对检测结果开展系统的分析以及趋势预测,养护管理部门可以及时察觉到潜在的病害隐患,对路面性能变化的趋势做

出科学的预估,由此合理地安排预防性养护的实施时机、养护措施以及资源调配事宜,防止早期病害进一步发展并演变成结构性损伤,减少后期大修的风险。这类机械一方面减少了人工巡查所存在的不确定性,另一方面提高了数据的精确程度,同时还为养护管理从依靠经验判断朝着由数据驱动、智能化决策转变给予了稳固的技术保障,使得养护决策在科学性、前瞻性以及管理精细化方面都得以提升。与此通过构建连续且长期的路面性能数据库,能够为道路维护策略的优化、养护预算的制定、施工计划的调整以及长期养护规划的制定提供可靠的依据,达成预防性养护与道路管理之间的高效联动,保证养护措施在实际运行过程里能够持续发挥出作用并且收获显著的效果,有力地支撑起现代道路养护向着科学化、规范化以及智能化的方向去发展。

2.2 路面清扫及日常保洁机械应用

路面清扫以及日常保洁属于道路预防性养护当中的基础性工作范畴,其作业的质量会径直作用于路面结构的耐久性以及使用性能方面。养路清扫机械借助机械化作业的方式,在相对短暂的时间内便能够完成大面积路面的杂物清除工作,还能完成尘土的收集任务以及沉积物的处理事宜,以此来持续维持路面排水设施以及表面结构处于通畅的状态,进而减少积水还有污染物给路面所带来的种种不利影响。相较于人工清扫而言,机械作业在效率上有着极为显著的提升,而且其作业质量也更加趋于稳定,可以削减人为操作差异所产生的影响,切实有效地降低杂物以及细颗粒物针对路面结构所形成的长期侵蚀情况。通过常态化且规范化的使用清扫机械,能够在很大程度上降低路面因为积尘、杂物堆积而引发的早期病害发生的概率,从而为后续各类预防性养护措施的顺利开展营造出良好的条件。与此机械化清扫作业还能够缓解劳动强度,提升作业的安全性,还可为大面积路面养护给予基础性的支撑,进而为道路预防性养护体系的高效运转以及长期稳定构建起稳固的基础。

2.3 裂缝处理与表面处治机械应用

裂缝处理以及表面处治,在道路预防性养护举措里,称得上是最具针对性且技术要求颇高的措施。其施工质量的好坏,直接牵涉到养护成效的持续性以及路面整体性能的稳定情况。裂缝处理机械把清缝、加热、灌封等诸多工序予以集成,达成裂缝处治作业的连续开展与标准化实施,如此一来,可切实提升施工质量的一致程度,削减人为操作差异给养护效果所带来的影响,保证裂缝处治能够达成密封并保护路面结构的预期成效。表面处治类机械在薄层

罩面、同步碎石封层这类作业当中，可以精准把控材料使用量以及铺设厚度，促使路面表层性能均等地得以改善，增强路面的抗滑性、耐磨性以及防水性能，进而使得路面使用寿命得以延长。借助机械化的方式去落实裂缝处理与表面处治，一方面能够大幅度缩减施工周期，提高作业效率；另一方面还能够减轻施工对交通运行的干扰，降低施工期间出现的安全风险，这充分彰显出养路机械在道路预防性养护关键环节所具备的技术优势以及应用价值，为达成高质量且长期稳定的养护效果给予了强有力的保障。

3 养路机械在预防性养护中的应用效果分析

3.1 养护效率与作业质量提升效果

养路机械于道路预防性养护方面的应用，对于养护效率以及作业质量有着颇为明显的提升效用。机械化作业可在单位时间内达成大范围且涉及多个环节的养护任务，特别是在作业面较为宽广、任务相对集中的情形下，其效率方面所具有的优势便显得格外突出了^[1]。相较于人工操作而言，机械化作业具备流程更为标准化、相关参数可以被控制以及重复性较高的这些特点，这便能有效地削减人为因素给施工质量所带来的干扰，进而让养护效果变得更为均衡且处于可把控的状态。与此机械化设备自身所具备的稳定性以及连续作业的能力，对于实现精确施工是很有帮助的，能够保证养护材料的用量以及施工厚度都能够契合设计标准，由此促使养护工作的科学性与可靠性得以提升。长时间地应用机械化养护方式，还能够对作业组织以及施工计划起到优化的作用，减少施工准备阶段以及后续处理阶段所花费的时间，达成养护作业效率与质量的同步提升，进而为道路的长期性能维持给予有力的保障。

3.2 施工安全性与交通影响控制效果

道路养护施工一般要在通车的状态下开展，所以施工的安全性以及交通组织管理便成了养护作业里极为关键的问题。养路机械能够凭借减少作业人员的数量、缩短作业所花费的时间并且对施工工序加以优化，切实有效地降低施工现场人员处于交通风险之中的时长，进而促使整体施工的安全水平得以提升。与此机械化作业在施工组织方面更为紧凑且规范，减少了施工给正常交通运行带来的干扰，使得交通拥堵以及事故的风险都降低了^[2]。在预防性养护当中合理运用养路机械，既能保障施工人员的人身安全，又能提高道路的通行效率，让公众的出行体验得到改善。而且机械化作业具备的标准化流程以及实时监控功能，还能够为施工风险管理给予数据方面的有力支持，让施工安全管理变得更加科学且高效，这充分彰显出了机械化养护在确保安全性以及社会效益层面所起到的重要作用。

4 养路机械应用的综合效益分析

4.1 经济效益分析

从经济效益方面来讲，养路机械于道路预防性养护当中的运用，可明显降低整个全寿命周期养护的成本。机械化开展的预防性养护，能够对早期病害予以及时的干预，以此来延缓路面结构性能的衰减情况，使大修以及中修工程出现的频次得以减少，进而降低那笔颇为高昂的维修支出^[3]。与此机械化作业让施工效率得到了提高，使得施工周期有所缩短，减少了因人工投入以及重复作业而造成的资源浪费，也降低了人力成本与管理成本。虽说养路机械在前期购置以及后续日常维护环节需要投入相应资金，不过从其长期运行的效果来分析，在提升养护效率、延长路面使用寿命以及减少维修频次等方面，其经济回报颇为显著，可有效达成养护资金的优化配置，并实现经济效益的最大化，从而给道路管理部门带来可持续的发展模式。

4.2 管理与社会效益分析

养路机械的应用价值在经济层面有所体现，其在管理效率以及社会效益层面同样有着颇为显著的作用。机械化养护促使养护作业朝着标准化、流程化的方向推进，养护单位的组织管理能力以及技术水平均得以提升，使得养护管理工作变得更为科学且精细。借助减少人为操作所造成的干扰，同时提高施工的稳定性的，机械化养护增强了养护质量的可控制程度，对于长期维持道路的整体性能是很有帮助的。从社会效益来讲，机械化预防性养护让道路的通行安全性以及舒适性都得到了提高，减少了因频繁维修而给交通运行带来的干扰，进而提升了公众出行时的体验以及满意度。并且，通过延长路面的使用寿命以及降低事故的发生率，机械化养护还为公共资源的合理运用以及社会的可持续发展给予了有力保障，这充分展现了养路机械在现代道路养护体系当中所具有的综合应用价值以及战略方面的意义。机械化养护在一定程度上推动了养护管理朝着信息化以及智能化的方向发展，让养护决策能够变得更加科学且高效，同时也使得养护工作对于突发事件的应对能力得以提升。在未来，随着技术持续不断地取得进展，养路机械于道路养护管理当中将会发挥出更为关键的引领作用，从而进一步促使公路养护朝着高质量以及可持续发展的方向迈进。

5 结语

综合来看，随着道路交通需求不断地增长以及路面使用强度变得更大，推动养路机械在道路预防性养护方面加以应用，已然成为提升养护质量以及管理水平的一项必要之举。在路面检测、清扫保洁、裂缝处理还有表面处治这

些关键环节予以合理运用,养路机械可大幅提升养护效率,确保作业质量,并且在施工安全性以及交通影响控制层面也能起到积极作用。与此机械化预防性养护在经济效益、管理优化以及社会效益等诸多方面都呈现出明显的优势,达成了道路养护从传统依靠人工的状态朝着现代化、科学化、精细化转变的目的。实践已经表明,养路机械不但能助力延长路面的使用寿命,还能降低养护成本,而且给道路养护管理带来了可持续的技术以及管理模式。在未来,需要在道路养护实践当中进一步去优化机械配置方案,结合路面的实际状况以及技术的发展趋势,持续提升机械化养护的应用水准,构建起涵盖检测、保洁、处治以及管理全流程的机械化养护体系,以此来为道路实现长期的安全、

稳定以及高效的运行给予稳固的保障,达成公路养护管理实现现代化以及可持续发展的战略目标。

[参考文献]

- [1]王远林.养路机械化在企业铁路维修中的应用与发展[J].运输经理世界,2021(36):58-61.
- [2]张晨江.推进公路养护机械化的对策研究[J].运输经理世界,2022(15):137-139.
- [3]刘琴.山区公路项目的机械化养护分析[J].交通世界,2024(21):186-188.

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

高速公路桥梁工程预应力施工技术与实施要点分析

周明明

湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 434000

[摘要]当下经济发展态势良好,高速公路桥梁建设正处于快速发展的时期。分析桥梁施工的实际情况可以发现,要想让施工质量符合规范所提出的要求,就需要挑选最为合适的施工方法,同时还要引入先进的施工技术,以此来保障施工过程能够科学且有条不紊地开展。在高速公路桥梁建设当中,预应力技术的应用显得尤为重要,其不但能提高结构的承载力以及耐久性,而且对于施工效率以及工程质量也都发挥着十分重要的支撑作用。

[关键词]高速公路桥梁工程;预应力施工技术;实施要点

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18275

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

Analysis of Prestressed Construction Technology and Implementation Points for Highway Bridge Engineering

ZHOU Mingming

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

Abstract: The current economic development trend is good, and the construction of highway bridges is in a period of rapid development. Analyzing the actual situation of bridge construction, it can be found that in order to ensure that the construction quality meets the requirements of the specifications, it is necessary to select the most suitable construction method and introduce advanced construction technology to ensure that the construction process can be carried out scientifically and orderly. In the construction of highway bridges, the application of prestressing technology is particularly important. It can not only improve the bearing capacity and durability of the structure, but also play a very important supporting role in construction efficiency and engineering quality.

Keywords: highway bridge engineering; prestressed construction technology; key points of implementation

引言

随着我国高速公路网不断快速发展,桥梁工程作为交通基础设施的关键部分,其施工质量以及结构性能,对于道路安全、通行效率还有长期使用寿命有着极为重要的影响。高速公路桥梁一般跨度大且结构复杂,施工条件也复杂多变,这就对施工技术以及质量控制提出了更高的要求。预应力施工技术是现代桥梁施工的一种重要手段,通过在混凝土结构里施加预应力,能够有效地控制结构裂缝,减少变形,提高承载能力以及抗疲劳性能,进而大幅提升桥梁的整体安全性与耐久性。不过预应力施工涉及到支架设计与拼装、墩壁施工、钢筋布置、预应力筋安装以及封锚处理等诸多关键环节,每个环节的施工质量以及管理水平都会直接对桥梁的结构性能以及预应力效果产生影响。而且施工现场的环境条件、材料性能以及施工组织协调等因素也有可能对施工效果产生影响,所以要在施工前做好充分的准备工作,在施工过程中严格把控质量与工艺。鉴于

此,全面深入地研究高速公路桥梁工程预应力施工技术以及实施要点,对于提高施工精度、保障施工安全、优化施工流程以及延长桥梁使用寿命有着十分重要的意义。本文会围绕预应力施工的关键技术环节以及实施管理要点展开分析,给高速公路桥梁工程的高质量建设给予技术指导与实践参考。

1 高速公路桥梁工程预应力施工技术的特点

高速公路桥梁工程中的预应力施工技术具有显著的技术优势和应用效果,同时对施工管理提出较高要求。通过在混凝土构件中预先施加应力,该技术能够有效提升桥梁的抗裂性和承载能力,减少裂缝与变形,延长使用寿命并增强耐久性;同时,可减少构件截面、降低混凝土用量,显著减轻结构自重,节约工程材料成本。在施工过程中,尤其是体外预应力施工,无需复杂制孔和压浆工序,工艺流程简化,可结合悬臂施工法加快施工进度,且对交通影响小,适合在运营桥梁上实施。该技术还可满足大跨度和

高难度桥梁的施工需求,有效控制挠度和裂缝,适用于连续梁、简支梁等多种桥型,并便于后期维护和预应力筋更换。然而,施工过程中需严格控制张拉时间、力度及孔道压浆等关键环节,以避免堵塞或锚具失效,同时对高强度混凝土、钢筋质量及操作人员技术水平有较高要求。

2 高速公路桥梁工程的预应力施工技术

2.1 支架设计与拼装

在高速公路桥梁工程施工里的预应力施工环节当中,支架的设计以及拼装无疑属于整个施工流程里极为关键的一个环节,其具备的科学性以及精确程度会直接牵涉到桥梁施工所呈现出的安全状况、施工时的效率情况以及结构最终能够达到的使用性能方面的情况。支架其实就是桥梁施工期间所构建起来的临时承重系统,它不但得承受自身的重量,而且还得担负起梁体混凝土浇筑作业所产生的负载、预应力施加时的相关负载以及施工设备所带来的荷载等^[1]。所以,在进行设计工作的阶段,就必须开展系统的力学方面的分析工作,并且要和施工工艺相互结合起来进行相应的优化处理。一开始的时候,在支架设计这个过程当中,务必要全面且细致地去考量桥型所具有的特性、跨径具体有多大的情况、梁体自身的重量状况、施工时所产生的荷载情况以及周边环境方面的诸多因素等等,针对支架的截面尺寸大小、支撑间距的设定、节点构造的具体情况、加固措施的安排以及整体所具备的稳定性等方面都要展开精准的计算工作,以此来保证支架在整个施工的全部过程里面都能够拥有足够的承载能力以及对变形起到良好控制的能力。与此还应当运用模块化以及标准化的设计理念,让支架构件在运输、拼装以及现场调整这些环节都变得更加方便易行,从而降低施工当中可能出现的误差情况以及安装操作的难度程度。在拼装的具体实施过程之中,施工单位一定要严格依照设计图纸上所标注的内容以及施工规范里面的规定来开展相关操作,务必要确保各个构件之间相互连接的地方足够牢固,节点在受力方面能够保持均匀的状态,并且对于那些高支架或者关键节点还需要采取临时加固的相关措施,以此来提升其整体的稳定性。

2.2 墩壁施工技术

在高速公路桥梁工程建设当中,墩壁施工技术属于极为关键的核心环节,它对于桥梁竖向承载力的保障以及整体结构稳定性的维持起着决定性作用,其施工质量的好坏,会直接影响到桥梁上部结构的安全程度以及耐久性能。墩壁作为桥梁重要的承重构件,一方面要承受自身所具有的重量,另一方面还要承担起上部梁体所产生的荷载,另外还得承受施工设备所带来的附加荷载,所以在施工设计以

及具体操作流程之中,务必要全面且细致地考量结构力学性能、施工工序安排以及环境因素等多方面的综合影响情况。在施工准备工作的开展阶段,应当对模板体系展开科学合理的规划设计,要确保该模板体系具备足够强大的承载能力、良好的刚度以及稳固的稳定性,并且模板的拼装操作必须要严格按照设计图纸所规定的各项要求来严格执行,以此来保证拼装完成后的模板能够达到垂直度以及平整度均符合相关规范标准的要求。在钢筋施工环节,需要十分精准地把控钢筋之间的间距、保护层的厚度以及锚固的长度,要确保预应力筋和普通钢筋在实际受力状态之下能够实现协同配合共同开展工作,并且针对钢筋出现交叉的位置、发生弯折的部位以及接头所在的地方,都要采取相应的加固举措,通过这样的方式来有效防止因应力集中而致使结构出现薄弱环节的情况发生^[2]。在混凝土浇筑这一施工过程里,得严格把控混凝土的拌合比例、浇筑的具体顺序以及振捣时的密实程度,要采用分层的方式进行浇筑操作,并且运用连续振捣的方法,如此才能避免出现蜂窝状、麻面以及空鼓这类不良现象的产生,同时还需要结合运用合理的养护手段,从而确保混凝土在早期阶段强度的发展情况能够满足后续施工环节的相关要求。

2.3 钢筋施工技术

在高速公路桥梁工程领域当中,钢筋施工技术属于预应力施工体系诸多核心环节其中的一个极为关键的部分,其实际的施工质量和桥梁结构的受力性能以及长期的耐久性之间存在着直接且紧密的关联。钢筋一方面要肩负起梁体还有墩壁的主要受力方面的功能作用,另一方面还要和预应力筋一同协同开展工作,以此来共同为结构的整体稳定性以及抗裂能力给予有力的保障。在整个施工的进程之中,务必要严格依照设计图纸以及施工规范来进行操作,要十分精准地去把控钢筋的间距、锚固长度、搭接位置还有保护层厚度等方面的情况,从而切实保证钢筋能够受力均匀,并且传力过程是连续不断的。对于桥梁结构里那些节点较为复杂并且受力相对集中的部位,像梁端、支座区域、墩顶以及梁跨中段等地方,应当采取诸如加强钢筋的布置情况、增加箍筋或者让钢筋进行加密这样的相关措施,通过这些举措来提升局部的承载能力,进而有效防止因为应力集中而引发裂缝出现的情况。与此钢筋的绑扎以及安装工作都必须要严格按照既定的顺序来一步步地去实施操作,千万不能因为施工过程中出现误差、发生偏移或者遭遇振动等情况而导致钢筋的位置出现偏差,如此一来才不会对混凝土浇筑以及预应力施加所要达到的效果产生不利影响。在钢筋完成安装之后,还需要对钢筋展开全面

细致的检查以及校正工作, 务必确保钢筋的各项尺寸、具体位置以及锚固条件都能够严格符合设计方面所提出的要求, 并且要在浇筑混凝土之前做好相应的临时支撑以及固定方面的准备事宜, 借此来防止在混凝土浇筑的过程中钢筋出现移位或者发生倾斜之类的状况。

2.4 预应力安装技术

在高速公路桥梁工程建设当中, 预应力安装技术属于极为关键的施工环节, 此项技术对于实现结构受力方面的优化、对裂缝发展加以控制以及提升桥梁的耐久性均有着重要作用, 其施工质量的好坏会直接对桥梁整体结构的安全性以及长期性能产生影响。预应力安装包含预应力筋的布置与张拉这两个方面, 同时还涉及到锚具安装、束管定位、张拉顺序确定以及张拉力控制等诸多环节, 每一个环节都需要精准执行, 这对于预应力效果有着决定性的影响。在施工开始之前, 要依据设计要求以及施工图纸来对预应力筋的规格、长度、锚固方式以及预应力值展开详细的核算工作, 并且要综合考虑桥梁跨径、梁体尺寸以及施工条件等因素去制定出科学合理的张拉方案。在安装实施的过程中, 预应力筋务必要严格按照设计所指定的位置来进行敷设, 束管安装的时候要确保其具备良好的直线度和平整度, 锚具固定必须要牢固可靠, 防止在张拉的过程中出现滑移或者偏心受力的情况, 与此同时还需要合理地安排张拉顺序以及张拉阶段, 避免出现局部应力过大的状况或者梁体变形程度过大的情况。张拉操作应当采用精密的千斤顶以及张拉设备, 并且要借助力学监测以及位移测量的方式实时对张拉力和伸长量进行控制, 以此来保证预应力值能够达到设计的要求并且分布得较为均匀^[3]。在完成张拉操作之后, 需要开展锚固可靠性方面的检查, 并且要采取封锚或者灌浆的相关措施, 从而确保预应力筋可以长期维持在张拉的状态, 防止出现松弛或者滑移等情况进而对结构性能产生影响。

3 高速公路桥梁工程的预应力实施要点

3.1 做好准备工作

在高速公路桥梁工程施工当中, 预应力施工属于十分关键的一个部分, 而在此期间把施工准备工作做到位, 这可是保障施工能够顺利推进以及工程质量能够达标的根基所在。施工准备主要涵盖诸多环节, 像施工方案的完善与优化工作、技术交底事宜、施工材料以及设备的验收与准备工作、现场布置情况以及安全防护措施等等。得依据设计图纸还有施工的要求去制定出详尽的施工计划, 要把施工的顺序、关键的节点以及操作的规范都给明确清楚, 并且要针对施工人员开展全面的技术交底工作, 让他们对

施工流程以及质量控制要点都能够熟练掌握。接着, 需要对预应力钢筋、锚具、束管、混凝土以及张拉设备展开验收并进行试运行操作, 务必要让材料的规格、性能以及数量都契合设计的要求, 与此同时还得保证施工设备能够正常运转, 其精度也是可靠的。就现场管理来讲, 应当合理地布置施工区域、材料堆放区域以及安全通道, 要设置好必要的警示标志以及临时支撑设施, 以此来确保施工的安全以及作业的顺畅无阻。

3.2 加强封锚处理

在高速公路桥梁工程开展预应力施工期间, 强化封锚方面的处理工作, 这无疑属于保证预应力筋能够实现长期且稳定的作用效果以及确保整个结构安全的关键环节所在。封锚处理主要是针对锚具还有预应力筋的端部部分来展开的, 借助灌注高性能的封锚材料这一方式, 可促使锚具和混凝土达成有效的结合状态, 进而形成一个完整的受力体系, 如此一来便能有效地防止出现锚具发生松动的情况、预应力产生损失的现象或者局部应力出现集中这样的状况。在实际的施工进程当中, 务必要依据设计方面的要求严格地去选择封锚材料, 要充分确保所选材料的粘结强度、耐久性以及抗渗性能都能够契合工程所设定的标准。与此对于锚具安装的具体位置以及角度也得实施精确的把控, 以防因偏心或者错位等问题而致使受力出现不均衡的状况。封锚施工必须在预应力筋完成张拉操作之后随即着手开展, 并且还需采取诸如分层灌注、实施振动或者进行压实等一系列的措施, 以此来保证封锚材料可以做到密实且没有空洞的存在^[4]。并且在材料处于固化的时间阶段里, 要对环境的相关条件加以控制, 避免温度、湿度等外界诸多因素对封锚的效果造成影响。除此之外, 还应当针对封锚施工的整个过程展开质量方面的监控工作, 这其中涵盖了材料的配比情况、施工所采用的工艺流程、灌注之后的密实程度以及固化之后的实际状况等诸多方面, 从而切实确保封锚处理最终能够达到设计所规定的相关要求。

3.3 优化质量管理

在高速公路桥梁工程预应力施工当中, 对质量管理加以优化乃是保证施工安全、让结构性能能够达标并且使工程具备长期耐久性的重要环节。预应力施工包含了支架搭设、墩壁施工、钢筋布置、预应力筋张拉以及封锚处理等诸多复杂的工序, 而其中每一个环节的质量都会对桥梁整体结构的受力性能以及使用寿命产生直接的影响。所以, 施工单位务必要构建起完善的质量管理体系, 针对施工的整个过程展开严格的把控与细致的监测。在正式施工之前, 应当制定出详尽的质量控制计划以及技术交底方案, 清楚

明确各个工序的施工标准、检测的具体方法以及相应的责任人员。在施工的过程之中,需借助现场监督、检测仪器所开展的监测以及分段验收等方式,实时地去检查支架的稳定性、钢筋所处的位置、混凝土浇筑的密实程度、预应力张拉的具体数值以及封锚的实际效果,以便能够及时地察觉并纠正出现的偏差,防止因为局部存在质量问题而对整体的施工效果造成影响。与此还应当重视施工数据的记录工作以及相关资料的管理工作,从而为后续的质量评估以及工程维护给予可靠的依据。

4 结语

高速公路桥梁工程施工当中,预应力施工技术的应用对于确保桥梁结构具备安全性、耐久性以及良好的施工质量而言,实属重要保障所在。仔细分析支架设计与拼装环节、墩壁施工方面、钢筋布置情况、预应力筋安装流程以及封锚处理等关键方面的技术要点,并且切实落实好施工准备事宜、封锚处理工作以及质量管理相关要点,如此一来便能够有效地提升施工精度,对结构变形加以有效控制,

进而保证预应力效果得以达成。全面且系统地掌握这些技术以及管理措施,并且科学合理地加以应用,不但能够提高桥梁施工的效率,促使安全水平得到提升,而且还能够为桥梁在后续长期使用以及维护方面奠定坚实的根基,最终达成高速公路桥梁工程实现高质量建设以及可靠运营的目的。

[参考文献]

- [1]彭延洪.高速公路桥梁工程预应力施工技术与实施要点[J].黑龙江交通科技,2020,43(12):127-129.
- [2]黄炜.高速公路桥梁工程预应力施工技术与实施要点分析[J].门窗,2019(24):127.
- [3]马新枢.高速公路桥梁工程预应力施工技术与实施要点分析[J].山西建筑,2019,45(9):177-178.
- [4]李永斌.预应力技术在高速公路桥梁施工中的应用[J].汽车画刊,2025(3):86-88.

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

城市轨道交通安全管理模式及应急管理研究

陈妮

重庆轨道交通运营有限公司, 重庆 400000

[摘要]随着经济不断发展以及城市化进程加速推进,城市规模变得越来越大,交通方面所面临的压力也在不断增加。轨道交通作为一种出行效率高且速度较快的方式,在大中型城市当中得到了广泛的应用。文章着重对城市轨道交通管理涉及的内容以及其中存在的各类问题展开介绍,同时深入探讨安全管理模式该如何去构建,并且详细阐述了能够有效提升安全管理以及应急管理水平的措施,从而切实保障轨道交通系统可以安全且稳定地运行。

[关键词]城市轨道交通;安全管理模式;应急管理

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18274

中图分类号: U291

文献标识码: A

Research on Safety Management Mode and Emergency Management of Urban Rail Transit

CHEN Ni

Chongqing Rail Transit Operation Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract: With the continuous development of the economy and the acceleration of urbanization, the size of cities is becoming larger and the pressure on transportation is also increasing. Rail transit, as a highly efficient and fast mode of transportation, has been widely used in large and medium-sized cities. The article focuses on introducing the content and various problems involved in urban rail transit management, and explores in depth how to construct a safety management model. It also elaborates on relevant measures that can effectively improve safety management and emergency management levels, thereby ensuring the safe and stable operation of the rail transit system.

Keywords: urban rail transit; safety management mode; emergency management

引言

随着城市化进程持续加速推进,城市轨道交通作为城市公共交通不可或缺的一部分,肩负着缓解交通拥堵状况、提升出行效率以及保障城市实现可持续发展的关键使命。轨道交通系统呈现出线路分布密集、运力规模较大、客流高度集中以及运行环境颇为复杂的诸多特点,若在运营期间发生安全事故,不但有可能导致人员出现伤亡情况以及造成财产遭受损失,而且会对城市交通整体秩序、社会和谐稳定乃至公众对于相关方面的信任程度带来极为严重的负面影响。所以,构建起科学且系统的安全管理模式以及完善的应急管理体系,已然成为确保城市轨道交通能够安全运行的极为重要的核心需求所在。不过,在实际的运营进程当中,轨道交通系统依旧面临着设备逐渐老化、运行环境异常复杂、人员操作存在差异以及应急管理机制不够完善等诸多方面的各类问题,其安全风险种类繁多,潜在的威胁也绝非可以轻易被忽视掉的。鉴于此,本文着重围绕城市轨道交通的安全管理模式以及应急管理相关事

宜开展相应的研究工作,目的在于全面且细致地分析现有安全管理当中所存在的种种问题,深入探讨构建科学管理模式的具体方法,并且提出应急管理方面的关键举措。借助理论层面的分析同实践方面的实际情况相结合的方式,本文期望能够为提升城市轨道交通系统的安全保障能力、优化其运营管理的相关流程以及提高其应对突发事件的整体效率给予一定的理论依据以及实践方面的参考,进而推动轨道交通安全管理朝着科学化、规范化以及现代化的方向不断发展进步。

1 城市轨道交通安全管理模式及应急管理的重要性

城市轨道交通属于现代城市公共交通的关键部分,担负着数量众多的客运工作,其安全管理以及应急管理的重要性是不可以被忽视的。城市人口规模变得越来越大,轨道交通网络也在迅速发展,地铁、轻轨等系统所面临的安全风险以及突发事件类型变得越来越复杂,有设备故障、运行事故、自然灾害、恐怖袭击等多种可能性。发生安全

事故的时候,不但会致使人员伤亡以及财产损失,还可能对城市交通秩序、社会稳定以及公众信任产生极为严重的影响。所以,构建科学、系统、可操作的安全管理模式以及完善的应急管理体系,可以有效地识别并且预防潜在的风险,提升事故应对的能力,保证城市轨道交通安全地运行以及服务的连续性。完善的安全管理模式还可以规范运营管理的流程,提升员工的安全意识以及专业能力,促使轨道交通企业在日常运营以及突发事件处理中的决策更为科学且高效,在保障乘客生命安全的提高城市交通系统的整体运营效率以及可持续发展的水平。

2 城市轨道交通安全管理中存在的问题

虽然城市轨道交通于现代城市交通体系当中占据着颇为重要的地位,然而在其安全管理工作的开展进程里依旧存在着不少的问题。就某一方面来讲,部分轨道交通企业于安全管理理念层面有所欠缺,对于风险识别以及预防工作重视程度不足,如此一来便致使安全隐患长时间存留,并且很难被及时察觉到。从另一方面来看,安全管理制度以及操作规范并非十分完备,有部分规章制度赶不上实际运营方面的实际需求,执行的力度也有所欠缺,这就很容易产生管理方面的漏洞。除此之外,安全管理人员的专业素质以及应急处置能力呈现出参差不齐的状况,培训以及考核体系也尚未健全完善,进而使得在发生突发事件之际,应对的效率以及准确性都会受到相应的影响^[1]。在设备设施这个层面上,老旧线路以及关键系统存在着技术较为落后、维护工作不到位等诸多问题,这无疑增加了运行所面临的风险。而且,信息化以及智能化管理手段的应用情况还不够充分,数据共享以及监控预警的能力也有一定的局限性,很难达成对安全隐患进行实时监控以及动态管理的目标。

3 城市轨道交通安全管理模式的构建

3.1 识别安全管理中的危害

在构建城市轨道交通安全管理模式期间,最先要做的事便是系统地去识别并评估运行过程当中有可能存在的各式各样的安全危害。这些危害一方面涵盖了设备出现故障、信号系统发生失灵情况、轨道或者车辆结构遭受损伤这类硬件层面的问题,另一方面也牵涉到运营管理环节所存在的潜在风险,像是人员操作出现失误、调度指挥不够恰当、应对突发事件不及时等情况。除此之外,外部环境因素同样属于重要的危害来源范畴,像自然灾害(比如暴雨、地震、洪水)、公共安全事件还有社会治安问题等等,这些因素都有可能给轨道交通的安全运行带来直接或者间接的影响。若要全方位地识别安全危害,那就得建立起

科学的风险评估体系,借助历史事故数据展开分析、开展现场检查、进行专家评估以及实施模拟仿真等多种多样的方法,以此来全面且细致地掌握那些可能对系统安全造成影响的各种各样的因素。

3.2 建立目标和管理方案

在城市轨道交通安全管理模式构建过程中,确立清晰的安全目标并制定科学的管理方案属于极为关键的环节。安全目标务必要涵盖整个运营系统,这当中既包含保障乘客生命以及财产安全这样的基本目标,还应当涉及运行效率、服务质量以及事故风险控制等诸多方面,以此来保证安全管理工作能够具备明确的方向以及可以用来衡量的标准。依据这些目标,需要去制定系统性的管理方案,要将安全管理的总体策略、具体的各项措施以及执行的具体流程都予以明确,这里包含了日常运营管理、设备维护与检修工作、人员培训以及考核事宜、监控预警体系的建设还有应急响应机制等相关内容。与此管理方案还得兼顾长期规划与短期操作之间的协调,借助风险评估以及数据分析来确定重点的管理环节以及关键的控制点,从而达成资源的合理配置以及高效的利用。

3.3 构建完善的组织结构和职责

在着手构建城市轨道交通安全管理模式之际,完善的组织架构以及清晰明确的职责划分,二者堪称是保证安全管理得以切实有效施行的根基所在。一开始,得去搭建起那种层级清晰分明且职责界定清楚的安全管理体系,要把诸如企业高层管理层面、运营管理部门、设备维护部门、应急指挥部门还有现场作业人员等各个层级的单位以及不同岗位都涵盖进统一的管理框架当中来。其中,高层管理者要肩负起制定安全战略以及管理方针的任务,务必要让安全理念能够在企业各项运营活动中贯穿始终;而处于中层的管理部门,则要担负起具体管理方案的具体落实工作,同时还要负责风险监控以及日常监督方面的工作;至于一线员工,他们应当严格依照操作规程来行事,并且要及时地将隐患信息反馈出来,如此一来便能够形成从上至下并且纵向连贯的管理链条^[2]。与之各个部门以及各个岗位之间必须要明确各自的权责边界,进而建立起信息共享以及协调方面的机制,以此来确保在开展安全管理工作以及进行应急处置的过程当中,能够做到快速做出响应并且有效展开协作。

3.4 处理和预防安全事故

在城市轨道交通安全管理模式的构建进程里,对安全事故加以处理以及做好预防工作,这无疑构成了保障系统能够稳定运行的关键环节。预防方面的工作得从源头处着

手去开展,借助建立起较为完善的有关风险识别与评估的机制,以此来及时察觉到那些潜在存在的隐患,并且针对设备出现故障、信号呈现异常、车辆在运行时出现异常状况以及人员操作过程中存在风险等诸多情况,展开科学意义上的分类以及分级方面的管理举措,进而能够采取具有针对性的相关措施,以此来降低事故发生的可能性。与此还需要去制定以及进一步完善各式各样的操作规程、维护检修方面的制度以及日常监控的规范,从而保证日常管理工作的开展是有章法可依循的,能够有序地推进下去。对于已然发生了的安全事故,应当建立起一套快速响应以及处置的机制,其中囊括应急预案的正式启动、现场指挥的协调工作、乘客的疏散安排、相关信息的通报事宜以及针对事故展开的调查等一系列环节,通过这样的方式,力求最大限度地减少事故所造成的人员伤亡情况以及财产方面的损失状况。

4 城市轨道交通安全管理模式的应急措施

4.1 优化城市轨道交通安全管理的理论设计

在城市轨道交通安全管理模式所涉及的应急措施方面,对安全管理的理论设计加以优化,这无疑提升系统应急能力的一个极为重要的前提条件。得要以现代安全管理理论当作指导方向,把风险管理、事故预防、应急响应还有持续改进等一系列理念有序地融入到轨道交通的运行管理环节当中,进而打造出一个科学且较为完备的理论框架。这个理论设计务必要清晰明确安全管理方面的核心目标、所遵循的原则以及具体采用的方法,以此来给日常运营以及突发事件的处理给予相应的理论方面的有力支撑,并且提供可供参考的决策依据。与此还需充分考量城市轨道交通自身的运行特点、线路的具体布局情况、客流量的密集程度以及外部环境等诸多因素,去制定出契合实际需求的管理模型,确保理论设计不但具备科学严谨性,而且还拥有较强的可操作性以及良好的适应性^[3]。在这样的基础之上,还得建立起动态评估的相关机制,借助对运行数据展开分析、开展风险预测以及针对事故案例进行研判等方式,持续不断地对管理策略以及应急方案做出优化调整,使得理论设计可以一直发挥对实践的指导作用,能够预估到潜在的风险情况,进一步提升在应对突发状况时的效率。理论设计还要着重强调各部门之间相互协作以及信息实现共享的情况,为构建起那种纵向能够贯通、横向可以联动的应急管理体系给出科学合理的依据,如此一来,在突发事件出现的时候便能够快速做出响应,有效协调各方可用的资源,尽力降低事故所造成的损失,从而切实提升城市轨道交通系统的整体安全水准以及运营所具备的

韧性。

4.2 形成城市轨道交通运营安全管理的指导思想

城市轨道交通运营安全管理的指导思想是以预防为主、综合治理、强化责任、科学管理。这一思想强调通过建立健全的安全管理体系,实施严格的安全检查和风险评估,以及持续的安全教育和培训,来预防和减少事故的发生。同时,通过完善的安全监管机制,确保各项安全措施得到有效执行,对违反安全规定的行为进行严肃处理。在应急措施方面,城市轨道交通系统需要建立一套快速响应和有效处置的应急管理体系。这包括制定详细的应急预案,明确各级应急响应的职责和流程,配备必要的应急设备和物资,以及进行定期的应急演练,提高应急处置的能力和效率。在实际应急情况下,应迅速启动应急预案,组织专业队伍进行现场处置,同时与相关部门和机构进行协调,确保信息畅通和资源共享,最大限度地减少事故造成的损失。

4.3 完善城市轨道交通运营安全规章制度

在城市轨道交通安全管理模式所涉及的应急措施里,完善运营安全方面的规章制度,这可是保证系统能够稳定地运行并且让应急响应得以高效施行的一项关键保障。得先对现有的规章制度来一番全面且细致的梳理与评估,从中去查找管理上存在的漏洞、制度方面出现的盲区,还有那些和实际运营情况不相适应的环节,务必要让制度的内容做到科学合理、规范严谨,并且具备很强的操作性。这个制度得把日常运行管理、设备检修维护、人员操作规范、应急响应流程、信息通报机制以及事故调查处理等诸多方面都涵盖进去,要清楚明确各级管理者以及一线操作人员各自所承担的职责与所拥有的权限,进而构建起一个责任清晰明了、分工极为明确的管理体系。与此还得重视制度的动态更新工作,依据运行数据、事故案例分析还有技术发展的趋势走向,持续不断地去修订和完善规章条款,从而让它能够契合城市轨道交通发展以及风险变化的实际需求。

4.4 提高城市轨道交通运营的安全文化建设

城市轨道交通安全管理模式的应急措施里,提升运营阶段的安全文化建设,这可是强化全员安全意识以及保障系统能够长期稳定运行的关键环节。安全文化建设并非仅仅看重制度和技术管理,而是更加着重借助理念、价值观以及行为规范来引导,从而让安全意识变成每位员工发自内心的自觉行动。一开始,得在企业内部营造出“安全第一、预防为主、全员参与”这样核心理念,依靠宣传教育、培训课程还有安全主题活动,让员工能够充分知晓安

全管理的重要意义以及自身所肩负的责任^[4]。接着,要把安全文化融入日常运营以及应急管理的各个流程当中,像操作规程的遵守、风险报告机制的设立、隐患排查工作、应急演练活动以及事故案例分析等方面,确保安全理念能够在实际工作里切实落地。与此要构建起激励与约束机制,对于安全行为给予表彰,针对违反安全规范的行为予以纠正,进而形成正向激励以及责任约束相互促进的良性循环状态。

5 结语

对城市轨道交通安全管理模式以及应急管理展开研究后可以发现,构建起科学合理的安全管理体系以及较为完善的应急管理机制,对于确保轨道交通系统能够安全地运行而言,有着不容忽视的重要意义。行之有效的管理模式,一方面可对潜在的风险加以识别并予以控制,另一方面能促使运营流程走向规范化,同时还有助于提升员工的安全意识以及整体的协作能力。完善的应急管理体系在突发事件出现之时,能够达成快速响应的目标,并且实现资

源的有效整合,进而尽可能地去减少所遭受的损失。在未来,随着轨道交通网络不断地向外扩展,运行环境也日益变得复杂起来,应当持续对安全管理理论加以优化,进一步完善各项规章制度,强化安全文化的建设工作,以此来推动城市轨道交通安全管理朝着更为科学化、系统化以及可持续化的发展方向迈进。

[参考文献]

- [1]覃秋怡,赵敏谕,黎诗绘,等.城市轨道交通安全管理模式及应急管理的策略探讨[J].中国储运,2024(7):111-112.
 - [2]邓紫轩.城市轨道交通安全管理模式及应急管理研究[J].建材发展导向,2022,20(4):115-117.
 - [3]陈栓.城市轨道交通应急管理模式研究[J].科技风,2017(23):218.
 - [4]谢韬.城市轨道交通工程安全管理模式[J].智能城市,2021,7(19):79-80.
- 作者简介:陈妮(1986—),毕业于兰州交通大学,电气工程及其自动化专业,从事轨道交通安全管理工作的。

多天线通信系统共址干扰分析与抑制

谢尹政¹ 张书玮² 张刚^{2*}

1.北京宇航系统工程研究所, 北京 100071

2.北京航天万源科技有限公司, 北京 100176

[摘要]多天线通信系统常常集中部署了多种通信天线及收发信机设备,在有限空间内各设备之间部署距离较近,易造成共址干扰。对此,通过对通信系统共址干扰源及其传导途径进行的梳理与分析,采用通信系统共址电磁干扰矩阵表的表征方法,并从优化天线布局、收发信机抗干扰技术、系统布线、电磁频谱使用策略等方面,提出了一些共址干扰抑制措施与建议,具有一定的工程运用参考价值。

[关键词]通信系统; 天线共址; 干扰抑制; 电磁干扰矩阵表

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18287

中图分类号: TN626

文献标识码: A

Analysis and Suppression of Common Site Interference in Multi antenna Communication Systems

XIE Yinzhen¹, ZHANG Shuwei², ZHANG Gang^{2*}

1. Beijing Institute of Aerospace Systems Engineering, Beijing, 100071, China

2. Beijing Aerospace Wanyuan Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract: Multi antenna communication systems often deploy multiple communication antennas and transceiver devices in a centralized manner, and the close deployment distance between devices in a limited space can easily cause common site interference. In response to this, by sorting and analyzing the sources and transmission pathways of common address interference in communication systems, the characterization method of communication system common address electromagnetic interference matrix table is adopted, and some common address interference suppression measures and suggestions are proposed from the aspects of optimizing antenna layout, anti-interference technology of transceivers, system wiring, electromagnetic spectrum utilization strategy, etc., which have certain engineering application reference value.

Keywords: communication systems; antenna common site; interference suppression; electromagnetic interference matrix table

引言

得益于电子元器件的发展与各类设备小型化、集成化技术的成熟应用,现代通信系统为实现通信、抗干扰、侦察等多种功能效能,在较小的空间集成了多种通信设备及天线装置。其集中部署各种形态各异的发信机、接收机和天线装置,其信号辐射功率、辐射方向、工作频段、接收灵敏度等工作性能各不相同。复杂的多功能通信系统在紧凑甚至狭小的空间内高度集成,各类天线共址工作,天线间耦合强度高,各类馈线电缆相互交叉部署,空间内电磁环境恶劣,各设备间的电磁干扰程度高,易导致侦察能力效降、各电台通信距离缩短、语音通信质量恶化、信噪比降低、误码率提高等后果^[1-2]。若未开展合理的通信系统的多天线共址设计工作,严重时甚至会导致整个通信系统

由于电磁兼容性问题不能正常使用。

复杂通信系统中多种天线之间相互干扰造成系统功能效能下降的问题就是多天线共址干扰问题^[3-5]。多天线共址干扰问题已经成为通信系统需要解决的系统主要电磁兼容性问题之一,准确的多天线共址干扰问题源头和传输路径识别、有效的共址干扰技术手段运用,以及合理的系统化电磁用频方案设计,不但可以最大程度降低多天线共址干扰造成的影响,同时可以大大提高系统的电磁兼容性设计能力。

1 多天线共址干扰分析

多天线共址是指在一个有限的空间或上装平台上加装布局多种多个无线设备天线。各类天线部署在同一个空间内,造成干扰源同敏感设备之间距离较近,且多个设备

同时工作时，发信机相互间的互调与谐波情况恶化，电磁干扰问题将非常严重，这个就是多天线近距离部署时带来的共址干扰问题。下面将从干扰源不同的传导方式对多天线共址干扰进行分类分析。

1.1 空间辐射干扰

多天线的通信系统在工作过程中，通过发射天线不断对外辐射电磁波，大功率发射信号对敏感度很高的接收天线/接收机、同频带发射天线对接收天线等都会产生非常强烈的干扰。造成接收设备功能下降甚至损坏，多天线共址空间辐射干扰示意图如下图所示。

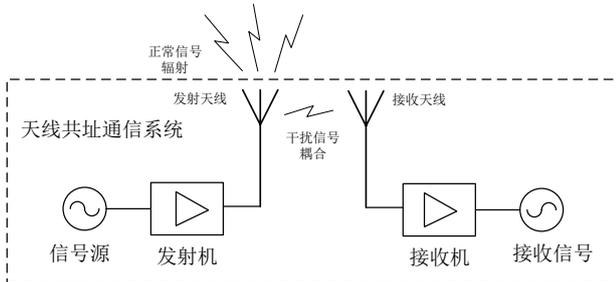


图1 辐射干扰示意图

在单一设备对外发射时，在发射天线附近将出现在其工作频率及谐波频率下的高功率电磁信号，工作在同频段或相邻频段的接收设备，将通过与发射天线共址的接收天线，将发射信号通过空间辐射方式耦合进入收信机中，将干扰信号和有用信号一起进行检波、解调等操作，造成接收机信噪比下降，灵敏度降低，在耦合的发射信号足够大时将会造成接收设备信道阻塞。

在二个或二个以上的发信机同时工作时，因合路单元的信道间隔离不够等原因，使某一发信机的信号通过天线耦合进入其他发信机，并在其他发信机的输出端与其他发射信号混频形成互调干扰，造成其他设备通信效能下降。

空间辐射干扰还会产生在接收机调谐频率邻近频道区中的强信号可能产生大的交调干扰和在接收机调谐频率相邻信道上存在非期望信号的邻道干扰等干扰情况。

1.2 空间遮挡及天线间耦合干扰

当多种天线安装到上装平台上时，某一天线由于存在物理金属物的遮挡，可能对其天线辐射方向产生干扰，造成全向天线定向化或天线增益下降。另一方面，由于多个天线共址时，天线间部署距离较近，距离小于天线工作频率的半个波长，甚至四分之一波长，工作在相近工作频率的天线间易产生天线间的耦合现象，其方向图就会发生明显的畸变，带来天线性能的恶化。

1.3 线缆传导干扰

多天线共址通信系统集中部署于同一空间，相关设备电源线、控制线、信号馈线等数量众多，按照设备上装位置，常常会存在交叉走线，上下走线的情况，电磁干扰信号能量在相关电缆中以电压高次谐波分量或电流的形式进行传导，造成高灵敏度接收机等易受干扰设备性能下降。

1.4 无线电电磁噪声干扰

无线通信设备工作时引起辐射电磁噪声，使某些频段的环境背景噪声电平抬高。虽然由于工作频段相差较远，不会通过空间耦合辐射进入接收机造成同频干扰，但由于部分发信机输出功率较大，会造成某些频段环境噪声变大，对某些信噪比要求较高的通信设备造成干扰。

2 多天线共址干扰抑制措施

在多天线共址通信系统电磁兼容性设计中，为最大限度发挥有限空间下多种通信设备效能，确保多天线之间相互不产生干扰，设备之间不相互产生影响，可以从干扰源不同的传导路径入手，针对性采取干扰抑制措施实现多天线共址通信系统良好电磁兼容性的设计实现。

为全面、系统性考虑通信系统多天线之间的共址干扰问题，第一步需要对通信系统整体的电磁环境开展估计与分析，梳理系统内所有通信设备，包括通信天线、发信机、接收机、控制单元、电源单元等设备设施，通过对天线的工作频率、天线增益、极化方向、带外抑制能力、耦合系数等，发信机工作带宽、输出功率、谐波抑制等，接收机接收灵敏度、动态范围、接收增益等主要技术指标分析计算，建立其系统定性分析的电磁干扰矩阵，如下表所示。分析发射天线和其他接收天线的工作频率，耦合性能，发信机谐波等性能指标，可以估算出系统内是否存在同频率干扰、谐波干扰以及宽带噪声等干扰等情况。

表1 电磁干扰矩阵表（定性分析示例）

发射设备 (干扰源)	接收设备 (敏感设备)			
	设备 1	设备 2	设备 3
设备 1	/	同频干扰、谐波干扰	无干扰	-
设备 2	同频干扰	/	宽带噪声干扰	-
设备 3	无干扰	无干扰	/	-
.....	-	-	-	/

通过系统电磁干扰矩阵表可以看出通信天线间的相互干扰情况、干扰类型及干扰程度，可针对性开展优化天线布局设计、提高收发信机抗干扰性能、系统布线、规划系统电磁频谱使用策略等方式提高系统共址干扰抑制能力。

2.1 优化天线布局设计

依据天线间的耦合性能、方向图等指标情况，在不改变原有天线发射和接收性能的前提下，优化天线的物理部署位置和天线空口辐射朝向等布局设计，通过增加各天线间的隔离度，减小辐射空间耦合干扰量，降低共址多天线的空间辐射干扰。

多天线系统的初步布局应采用正交布局方式，并充分利用上装平台等载体的物理遮挡等原则进行初步布局定位。同时工作频率接近的天线进行尽可能远距离间隔部署，并可以在不影响天线方向图或方向图恶化不影响系统使用的情况下，将工作频率间隔较大的两个或多个天线近距离部署。

通过不同极化方向的天线布局减弱共址干扰，即可将极化方向不同的两根天线在相对较近的空间位置进行放置，利用天线的极化隔离能力，减小天线间的耦合干扰。

2.2 系统布线电磁兼容性实施优化

良好的系统布线设计是多天线共址通信设备完成电磁兼容性设计的重点之一^[6]。通信系统集成后各设备间的互联线缆布线，包括电源线、信号线、地线以及射频馈线需考虑线缆的长短、线缆间距、粗细、线缆屏蔽及双绞等问题需按照以下原则开展设计工作。

(1) 需考虑互联线缆走线的最短路径，线缆相互尽量不交叉，布局应遵循高频与低频分开，电源与信号线分开的原则。

(2) 对于高辐射能量的线缆需采用屏蔽线，射频电缆采用双重屏蔽线，必要时通过金属屏蔽走线盒按类对电缆进行分类走线。

(3) 线缆的屏蔽层需可靠接地，敏感电缆的屏蔽层间相互隔离。

(4) 接入天线的高频馈线在穿舱设计时通过屏蔽穿舱式插座进行转接，并确保在穿舱出保持屏蔽层连续，避免大功率发信机信号泄漏。

(5) 有条件的情况下，可采用光纤线缆进行信号传输，避免干扰信号通过电缆进行传导与辐射。

2.3 提高收发信机抗干扰性能

由于多天线通信系统部署空间有限，通过对天线布局优化的方式，并不能完全消除掉多天线共址干扰带来的影响，这时可以通过提高收发信机抗干扰性能来提高系统天线共址时的电磁兼容性能力^[7-9]。

一方面对发信机发射频率误差、最大允许发射带宽、谐波抑制等指标进行严格要求，并在满足通信效能的基础上对发射天线波束宽度进行限制，并对天线副瓣、旁瓣

抑制指标依据敏感接收设备部署方位情况做出明确约束。另一方面，可采用主动共址干扰抑制方法提升接收设备抗干扰能力。主要可利用波束成形、预编码等技术，通过对天线接收或发送的信号进行幅度和相位调整，在接收机处形成零陷区域进行干扰抑制^[10]，或利用辅助阵列、多级预编码等干扰抵消技术提升干扰抑制性能。

2.4 电磁频谱使用策略

当通信系统集成中存在多个多种无线设备，且无线设备间存在工作频段重叠，或者某设备的固有谐波频率和另一设备工作频率重叠，不能通过布局优化和波束控制避开干扰，也不能提高收发信抗干扰能力进行改善时，就需要对多天线通信系统进行电磁频谱使用策略的合理规划。

目前频谱使用的方式主要有分频管理和分时管理两种。分频管理就是合理选择不同工作频率的通信设备，使各设备工作频率尽量保持安全频率距离，在系统工作时开展系统级频点规划统一规划与调配，避免工作在相同频点。分时管理即让存在相互干扰无线设备进行分时工作，必须时可利用天线倒伏机构对不工作的干扰天线进行收藏，避免对工作天线造成的耦合与干扰。

2.5 干扰抑制措施验算

通过以上天线布局优化、收发信机抗干扰性能、系统布线设计、电磁频谱使用策略方法的运用，最后通过利用仿真分析、模拟测试等方式完成整个通信系统间天线之间的耦合干扰，并结合天线的正常通信覆盖范围和接收机信噪比等容量指标，完成电磁干扰矩阵表的干扰数值定量分析，最终实现电磁干扰矩阵表无严重干扰情况出现为止，或无法再优化时，最终确定出最优的多天线通信系统共址干扰抑制设计，如下表所示。

下表中干扰余量数值单位为 dB，当干扰余量大于 10dB 时，两通信系统可以同时工作，相互间干扰可接收^[10]。当干扰余量小于 10dB 时，还需要通过布局优化、收发信机优化进行调整，当不能保证干扰余量满足要求时，需要通过分时使用等系统用频策略进行系统合理运用。

表 2 电磁干扰矩阵表（干扰余量数值示例）

发射设备 (干扰源)	接收设备 (敏感设备)			
	设备 1	设备 2	设备 3	……
设备 1	/	15	18	-
设备 2	18	/	20	-
设备 3	40	40	/	-
……	-	-	-	/

3 结语

由于干扰设备与敏感设备相距较近,多天线通信系统集成的各设备及天线在狭小空间内存在共址干扰。为最大限度提高通信系统上装平台的空间利用率和设备使用效率,提高通信系统的适应性,本文通过对多天线通信系统中干扰源不同的传导方式对多天线共址干扰进行梳理,并基于电磁干扰矩阵表的系统共址干扰分析方法,提出了一些共址干扰抑制措施与建议,具有一定的工程运用参考价值。

[参考文献]

- [1]王战永.通信系统共址干扰的仿真与分析[J].电子技术与软件工程,2015(10):35-37.
- [2]范朝元,黄金,唐先建,等.通信系统集成电磁兼容分析与设计[J].电声技术,2021,45(11):105-107.
- [3]魏邦友,张晶.车载共址通信系统安全带宽的计算方法[J].电子质量,2010(5):84-86.
- [4]赵波,全厚德,崔佩璋.同址干扰对车载通信系统的影响

分析[J].系统仿真学报,2012,24(5):957-961.

- [5]马谢,赵治国,周万宁,等.“动中通”卫星通信系统与同址电台干扰问题研究[J].通信技术,2019,52(12):2938-2943.
- [6]赵炜铭,王添文,彭光宇.基于辐射发射的互连电缆屏蔽效能测试研究[J].新技术新工艺,2022(11):77-84.
- [7]李彤,潘文生,邵士海,等.集成平台空域辅助阵列共址干扰抑制技术[J].国防科技大学学报,2023,45(6):71-77.
- [8]徐以涛,刘继滕,王海超,等.通信约束下的干扰波束成形和功率分配方法[J].陆军工程大学学报,2022,1(4):1-7.
- [9]吴飞,邵士海,唐友喜.一种基于多天线波束成形的全双工自干扰抵消算法[J].电子学报,2017,45(1):8-15.
- [10]万健鹏,路宏敏,刘国华,等.车载通信系统电磁干扰余量评估[J].电子科技,2022,35(4):1-7.

作者简介:谢尹政(1990.1—),男,四川自贡,硕士研究生,工程师,北京宇航系统工程研究所,主要研究方向为:无线通信与指挥控制专业。

基于数字化通信技术的电力通信网的运维分析

王松瑞

国网河南省电力公司郑州供电公司, 河南 郑州 450000

[摘要]电力系统规模持续扩大,运行复杂程度不断上升,电力通信网对于电网安全稳定运行的支撑作用愈发明显。传统电力通信网运维模式在效率、精度以及风险防控等方面慢慢显现出不足,已经难以满足现代电网高可靠性、高实时性的运行需求。数字化通信技术凭借在数据传输、信息处理以及系统集成方面的优势,给电力通信网运维管理模式的优化带来了新的技术途径。在此背景下,探索数字化通信技术与运维管理深度融合的实施路径,已成为提升通信网运行水平的重要方向。文中围绕电力通信网运维管理现状展开分析,全面剖析基于数字化通信技术的运维关键技术,从运行可靠性、运维效率以及安全保障等方面深入探讨其在电力通信网运维中的应用效果,希望能为电网企业推动通信网运维的信息化与智能化进程提供参考。

[关键词]数字化通信技术;电力通信网;运维

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18276

中图分类号: TU98

文献标识码: A

Operation and Maintenance Analysis of Power Communication Network Based on Digital Communication Technology

WANG Songrui

Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: The scale of the power system continues to expand, and the complexity of operation continues to rise. The supporting role of the power communication network in ensuring the safe and stable operation of the power grid is becoming increasingly evident. The traditional operation and maintenance mode of power communication networks has gradually shown shortcomings in efficiency, accuracy, and risk prevention, and is no longer able to meet the high reliability and real-time operational needs of modern power grids. Digital communication technology, with its advantages in data transmission, information processing, and system integration, has brought new technological approaches to optimizing the operation and maintenance management mode of power communication networks. In this context, exploring the implementation path of deep integration of digital communication technology and operation and maintenance management has become an important direction to improve the operation level of communication networks. The article focuses on the current situation of operation and maintenance management of power communication networks, comprehensively analyzes the key technologies of operation and maintenance based on digital communication technology, and deeply explores their application effects in power communication network operation and maintenance from the aspects of operational reliability, operation and maintenance efficiency, and security guarantee, so as to provide reference for power grid enterprises to promote the informationization and intelligence process of communication network operation and maintenance.

Keywords: digital communication technology; electric power communication network; operation and maintenance

引言

在新型电力系统建设进程之中,电网运行对于通信网络的依赖程度持续增加,电力通信网已然变成保障电力系统能够安全、稳定且高效地运行的关键基础设施。通信网络的运行状况会直接对电力调度、继电保护、自动化控制以及信息交互等一系列关键业务的可靠性产生影响。不过,伴随通信设备的数量快速增长起来,网络

结构也变得日益复杂,在这样的情况下,传统的那种以人工巡检还有经验判断作为主要手段的运维方式,在故障响应的速度、隐患识别的能力以及资源配置的效率等方面,已经明显呈现出一定的局限性。数字化通信技术不断发展,这给电力通信网运维模式的转型给予了强有力的支撑,借助对运行数据展开全面的采集以及智能的分析,可以切实有效地提高运维管理的科学性以及精细

化的程度。所以说，针对基于数字化通信技术的电力通信网运维分析展开系统的研究，具备较强的实际意义以及工程应用的价值。

1 电力通信网与数字化通信技术概述

在电力系统中电力通信网占据着重要位置，对电力系统监控、数据采集及故障诊断等发挥着积极作用。电力通信网利用传感器与监测设备，采集和传输电力数据，对电力系统不同节点的情况予以掌握。电力通信网由通信设备、传感器等组成。电力通信网的基础为通信设备与传感器，信息传递的媒介为通信介质，实现数据的传递。同时，电力通信网还包括拓扑结构、通信协议，通信设备相互沟通与数据交换的规则与约定为通信协议，是数据传输顺利进行的关键所在。随着信息技术持续向前发展，数字化通信技术在电力通信网当中获得了颇为广泛的运用。借助对该技术的应用，能够对信息展开数字编码方面的操作，同时还能针对信息进行相应的处理以及传输工作，如此一来便切实有效地增强了通信所具备的抗干扰能力，并且也使得传输的可靠性得以提升。与传统的通信方式相比而言，数字化通信技术在多个方面都体现出较为明显的优越性，像数据传输效率、信息处理能力以及系统的扩展性等这些方面均是如此。把数字化通信技术引入到电力通信网里面来，对于实现通信资源的统一化管理以及高效的调度安排有着积极作用，能够在很大程度上提升电力信息传输所具有的实时特性以及准确性程度，进而为电力通信网运维管理朝着信息化以及智能化的方向去发展筑牢坚实的基础。

2 电力通信网运维管理现状分析

当前，电力通信网运维管理在保障电网运行方面有着基础性的作用，然而整体上依旧是以传统管理模式为主导，其信息化以及智能化的水平相对而言是比较有限的。从一个方面来讲，通信设备种类繁多且分布范围颇为广泛，所处的运行环境也比较复杂，运维工作对于人员的经验有着较高的依赖程度，这就使得管理效率以及处理质量存在着相当大的差异。从另一个方面来看，运维数据是分散在不同的系统与平台之中的，缺少统一的管理以及分析机制，所以很难形成针对通信网络运行状态的完整认知，在故障出现的时候，通常需要依靠多个系统的协同配合以及人工排查才能够完成定位，响应周期会比较长，这很容易对业务的连续性产生影响。并且，现有的运维管理在风险预判以及主动防控方面的能力建设不足，大多只是停留在事后的处理阶段，很难契合现代电网对于通信网络要具备高可靠性以及高稳定性这样的运行要求。

3 基于数字化通信技术的电力通信网运维关键技术

3.1 通信设备状态感知与在线监测技术

通信设备状态感知和在线监测技术对于达成电力通信网数字化以及精细化运维而言，乃是极为重要的基础。借助对该技术的应用，运维人员得以较为完整且直观地知晓设备的实际运行状况以及其健康程度。此技术凭借各类传感器、智能监测终端还有统一的数据采集系统，针对通信设备的电源所处状态、端口的具体工作情形、传输的质量以及机房的温湿度等一系列环境条件展开动态感知，促使从传统的定期人工巡检模式朝着全天候在线监测模式转变。在这样的前提下，经过对历史运行数据以及当前状态数据加以综合分析，便能够及时察觉到设备潜在的隐患以及性能出现劣化的趋势，进而为运维决策给予科学方面的依据，由此提前施行干预举措，切实降低突发故障发生的几率，大幅度提高通信设备运行时的安全性、稳定性以及连续性。

3.2 运维数据采集与集中管理技术

运维数据采集以及集中管理技术，其针对电力通信网里的各类设备、链路还有业务运行数据展开统一的采集、汇聚以及管理工作，切实有效地冲破了传统运维所存在的数据分散以及系统孤立这样的一种局面，达成了信息资源的高度整合以及可持续利用的成效。这项技术能够针对来自不同厂商、不同类型通信设备以及系统的数据实施标准化的处理操作，然后将这些处理后的数据集中存放到统一管理平台当中，以此来保证数据具备完整性、准确性以及可追溯性的特点。在这样的前提之下，运维人员便能够对整个通信网络的运行状态展开全面且细致的分析以及综合性的评估，能够及时地察觉到潜在的问题以及风险点所在，进而提升管理方面的透明程度以及网络的可控性水平。与此集中化的数据管理举措，一方面提升了信息获取的效率以及运维响应的速度，另一方面也为后续开展的智能分析、趋势预测以及决策支持等工作奠定了扎实的数据根基，促使电力通信网的运维管理逐渐从传统的被动响应模式朝着主动监控以及精准管理的方向去转变，最终提升网络运行的稳定性以及可靠性，给电力系统的安全稳定运行给予长期的有力保障。

3.3 智能告警分析与故障诊断技术

智能告警分析以及故障诊断技术，针对电力通信网运行期间所产生的海量告警信息展开自动化处理、归并操作以及关联分析，由此促使故障定位与诊断的准确性以及效率得以切实提升。在实际运行状况下，通信设备还有系统

常常会生成数量众多的告警信息,这其中涵盖有真实故障信号,同时也存有一定比例的冗余或者重复告警情况,传统的依靠人工来开展分析的方式,很难在较短的时间内精准地识别出关键故障所在,极有可能引发响应出现延迟或者是判断产生失误的问题。凭借数字化通信技术以及较为先进的智能算法,此项技术可对告警信息实施智能的筛选、分类以及关联方面的处理工作,能够迅速识别出故障的根本原因,较为准确地判断其具体的影响范围,并且依据历史数据以及运行规律来预测潜在故障的发展趋势,进而有效地将无效告警对运维工作所造成的干扰予以减少。通过这样的方式,运维人员可以在最短的时间内获取到故障定位的相关信息,制定出具有针对性的处置方案,大幅度缩短故障处理的周期时长,降低人为误判的风险,与此同时提升通信网络整体运行的稳定性与可靠性,为电力通信网实现安全且连续的运行给予稳固的技术方面的支撑,也为后续智能运维系统的发展打下数据以及算法层面的基础。

3.4 运维信息可视化与综合分析技术

运维信息可视化以及综合分析技术采用直观且具动态性的图形化形式,把电力通信网的运行状态、设备健康状况、业务承载情形以及告警信息等关键数据集中呈现出来,让复杂的运维信息变得更为清晰,更容易理解与操作。此项技术可对网络拓扑结构、链路负荷、节点运行状况等加以综合呈现,并且借助多维度数据的交互分析,把各类运行指标相互关联起来并进行可视化展示,助力运维人员迅速识别出重点风险区域以及潜在故障点。在此基础之上,运维人员依靠对历史数据、实时状态以及趋势预测的综合分析,可发现通信网络的运行规律以及风险演变趋势,为优化运维策略、科学安排巡检与维护计划给予可靠的依据。信息可视化技术的应用,不但提高了运维管理的直观程度与操作效率,而且强化了决策的科学性与精确度,促使电力通信网运维管理逐渐从经验驱动转变为数据驱动,进而为保障通信网络长期稳定且高效运行筑牢坚实后盾,同时也为未来智能化运维系统的升级与优化打下基础。

4 数字化通信技术在电力通信网运维中的应用分析

4.1 提升通信网络运行可靠性

数字化通信技术应用于电力通信网运维,可大幅提升通信网络整体运行可靠性与系统稳定性^[1]。借助对通信设备状态、链路性能以及网络运行指标展开实时监测,运维人员能全面知晓通信系统运行状况,快速发现潜在隐患与异常波动,及时采取必要维护或调整举措,进而有效阻止故障蔓延及业务中断出现。并且,依靠大数据分析 with 智能

诊断的运维方式,可对网络拓扑结构、资源配置以及关键节点予以优化调整,增强网络在高负荷或复杂环境下自适应能力与容错能力。通过综合分析历史运行数据与实时监控数据,运维管理能预测潜在风险,提前制定应对策略,以此强化通信网络在突发事件、自然灾害或设备异常情形下的韧性,为电力系统安全、稳定且高效运行给予稳固技术保障,也为达成通信网长期可持续运行与运维智能化筑牢可靠根基。

4.2 提高运维效率与精细化管理水平

在数字化通信技术的助力之下,电力通信网的运维管理一步步完成了从依靠传统人工经验驱动到由数据驱动的转变,其运维效率以及管理精细化程度都获得了颇为显著的提高。借助自动化监测手段、在线状态感知功能以及智能分析技术,那些具有重复性且低附加值的人工巡检工作得以大幅度削减,这就让运维人员可以把更多的精力聚焦在关键故障处理、系统优化以及运行策略制定等具备较高价值的环节之上。与此依据数据展开的精细化管理能够针对设备状态、网络性能、业务负荷还有告警信息等诸多维度的数据展开综合剖析,进而清晰明确运维的重点所在,对巡检计划以及维护策略予以优化,而且还能合理地去配置人力和技术资源,达成资源利用的最大化以及管理流程的优化^[2]。凭借可视化展示以及智能决策支持,运维人员能够实时且全面地掌握网络运行的整体情况以及潜在存在的风险,提高管理的透明度以及决策的科学性,由此整体上强化电力通信网的运行效率、系统的可靠性以及应急处置的能力,为构建高效、智能且可持续的运维管理体系筑牢坚实的基础。

4.3 降低运维成本与人工依赖程度

数字化通信技术的应用在一定程度上降低了电力通信网的运维成本以及对人工的依赖程度。借助在线监测以及远程管理的方式,能够减少现场巡检的次数以及人工干预的频次,进而降低运维工作所需的人力投入^[3]。与此故障预警以及智能诊断能力得到提升,这有助于减少因设备损坏以及业务中断而产生的经济损失,从整体方面提高运维投入所具有的经济性以及可持续性。

4.4 对电力系统安全稳定运行的支撑作用

电力通信网属于电力系统的支撑网络,其运行状况与电网安全稳定紧密相关,数字化通信技术应用于运维,可提升通信网络的可靠性、实时性以及可控性,对电力调度、自动化控制以及应急处置等关键业务起到保障作用,通信网络运行水平提高,能增强电力系统应对复杂工况和突发事件的能力,为构建安全、高效的新型电力系统打下基础。

5 结束语

总的来看,依托数字化通信技术而形成的电力通信网运维模式,在提高运维工作效率、确保网络可靠性以及助力电力系统安全稳定运行等诸多方面,都有着颇为突出的优势。借助状态感知、数据集中管理、智能分析以及可视化等一系列关键核心技术的引入,电力通信网运维管理工作正一点点地朝着信息化以及智能化的发展方向迈进。在实际运行过程中,这种运维模式有效缓解了传统人工巡检和分散管理所带来的效率不足与风险滞后问题,使运维管理更加科学、规范且可控。同时,多源数据的融合应用也为运维决策提供了更加可靠的依据,有助于提升故障处置的及时性和精准性。在未来,伴随数字化技术不断地向前推进以及应用程度的不断加深,电力通信网运维体系会变

得更加完备,它在电力系统当中所起到的支撑作用也会得到进一步的强化,从而为电网企业达成高质量发展目标给予强有力的保障。

[参考文献]

- [1]蔡华溢.基于数字化通信技术的电力通信网的运维分析[J].数字技术与应用,2025,43(8):54-56.
- [2]唐大钧.基于数字化通信技术的电力通信网的运维探究[J].中国宽带,2024,20(10):164-166.
- [3]刘文俊,刘毅,杨成飞,等.电力通信网的运维信息化技术分析[J].集成电路应用,2023,40(11):262-263.

作者简介:王松瑞(1991.3—),男,河南省郑州人,汉族,研究生学历,工程师,就职于国网郑州供电公司,从事电力通信网运维工作。

北方山地风电场建设关键技术优化实践研究

任光新

大唐黑龙江新能源开发有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150000

[摘要]为破解北方山地高海拔、高切变、严寒环境对风电场建设的制约,提升风电开发的经济性与安全性,文中以黑龙江勃利250MW风电项目、河北丰宁抽水蓄能配套风电场为研究对象,系统分析山地风电场在资源评估、微观选址、施工组织及生态保护中的核心技术难点。通过整合GIS三维建模、WASP尾流模拟、PSO算法优化等技术手段,提出“精准选址-高效施工-生态适配-寒区抗冻”全流程技术优化方案:选址阶段构建三级评估体系,尾流损失控制在12%以内;施工阶段建立模块化运输与协同吊装策略,解决寒区施工难题;生态保护阶段形成动态防护机制。实践表明,优化方案可使风电场年发电量提升11.5%,施工周期缩短18%,水土流失控制率达92%以上,度电成本降低15%。研究成果为我国东北、华北地区山地风电规模化开发提供技术参考。

[关键词]山地风电场;微观选址;寒区施工优化;尾流模型;水土保持;超高塔架技术

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18300

中图分类号: TK89

文献标识码: A

Research on Key Technology Optimization Practice of Wind Farm Construction in Northern Mountainous Areas

REN Guangxin

Datang Heilongjiang New Energy Development Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang, 150000, China

Abstract: In order to overcome the constraints of high-altitude, high shear, and severe cold environments in northern mountainous areas on wind farm construction, and to improve the economy and safety of wind power development, this paper takes the Boli 250MW wind power project in Heilongjiang Province and the Fengning pumped storage supporting wind farm in Hebei Province as research objects, and systematically analyzes the core technical difficulties of mountain wind farms in resource assessment, micro site selection, construction organization, and ecological protection. By integrating GIS 3D modeling, WASP wake simulation, PSO algorithm optimization and other technical means, a full process technical optimization plan of "precise site selection efficient construction ecological adaptation cold zone frost resistance" is proposed: a three-level evaluation system is constructed in the site selection stage, and the wake loss is controlled within 12%; Establish modular transportation and collaborative lifting strategies during the construction phase to solve construction difficulties in cold regions; A dynamic protection mechanism is formed during the ecological protection stage. Practice has shown that optimizing the plan can increase the annual power generation of wind farms by 11.5%, shorten the construction period by 18%, achieve a soil erosion control rate of over 92%, and reduce the cost of electricity by 15%. The research results provide technical references for the large-scale development of mountain wind power in Northeast and North China regions of China.

Keywords: mountain wind farm; micro site selection; optimization of construction in cold regions; wake model; water and soil conservation; ultra high tower technology

1 概述

1.1 研究背景

在“双碳”战略驱动下,我国风电产业已从平坦地形向复杂山地延伸,北方山地风能资源开发成为可再生能源利用的重要增长点。据《中国风能资源普查报告》数据,

我国山地丘陵面积占国土总面积的69%,东北大小兴安岭、华北燕山山脉等地区70m高度年平均风速超6.5m/s的区域占比达42%,100m以上高空风速较70m高度提升30%以上。然而,北方山地面临地形复杂、严寒低温(极端气温低至-33°C)、冻土分布广、风切变系数高等

特有挑战：传统风资源评估误差率高达 15%~20%；积雪结冰使施工机械通行效率不足平原地区的 35%；冻土融化引发边坡失稳风险较南方山地高出 50%；植被破坏引发的水土流失面积占施工区域的 25%~30%。以黑龙江勃利风电项目为例，未优化前尾流损失达 18%，单台风机施工周期因严寒延长 25d，综合成本增加 28%。开展北方山地风电场关键技术优化研究，是突破行业发展的迫切需求。

1.2 研究现状

国内外学者已针对山地风电技术开展初步探索：选址领域以 WASP 软件与 Jensen、Park 等尾流模型结合为主要方法，但在北方特殊地形条件下，模型对高切变气流与湍流的模拟误差超 12%，难以量化冻土区地形粗糙度对风速的衰减效应。施工技术方面，专用吊装设备改善了作业条件，但北方冬季低温导致设备启动效率下降 30%，运输路径规划尚未形成适配寒区的智能决策系统；传统单管塔在 140m 以上高度的经济性与安全性不足。生态保护方面，现有研究多聚焦单一防护措施，缺乏全生命周期生态修复方案，植被恢复率不足 55%。此外，现有技术体系在寒区抗冻、超高塔架应用等北方特色需求方面存在短板，尚未形成覆盖全链条的技术优化体系，亟需结合工程实践深化。

1.3 研究内容与方法

本文采用“理论建模-案例验证-归纳总结”方法，选取黑龙江勃利 250MW 风电项目（海拔 320m~780m，坡度 15°~40°，极端最低气温-33℃）和河北丰宁抽水蓄能配套风电场（海拔 850m~1300m，坡度 12°~38°，冻土厚度 0.8~1.5m）为实证对象。通过建立多维度评估模型，重点研究三方面内容：一是基于机器学习算法优化风资源评估模型，构建微观选址决策系统；二是开发大型设备运输路径智能规划平台，集成模块化超高塔架技术与低温施工防护方案；三是设计三维生态防护体系，形成适配北方干旱半干旱地区的环保与水土保持技术方案。研究过程中通过现场监测数据与模拟结果动态比对，优化技术参数，确保成果实用性。

2 山地风电场建设核心技术难点

2.1 风资源评估与选址精准度不足

北方山地地形复杂，受高切变气流、冻土分布影响，风速、风向空间分布异质性显著。实测数据显示，相同海拔条件下，山脊与山谷风速差值可达 2.5m/s，100m 与 70m 高度风速差值达 1.8m/s，湍流强度波动范围 0.14~0.23。传统测风手段依赖单测风塔，覆盖范围有限，易造成资源

误判；Modified Park 模型在北方陡坡与高切变环境下误差率超 20%，无法精准模拟尾流效应；选址过程中缺乏对冻土区地基承载力、冬季施工可达性等关键约束条件的充分考量，为后续施工与运行埋下隐患。

2.2 施工组织与设备调度难题

北方山地风电场施工受“散、难、险、寒”制约显著。风机间距超 550m，施工点分散，冬季 4 个月积雪致人员设备转场效率较平原项目下降 45%；80t 塔筒因山区急弯陡坡及冰雪路面，破损率达 3.5%。基础施工方面，冻土开挖需爆破破冻，低温环境下飞石控制与振动防护难度大；冬季混凝土浇筑因冻融循环，承台裂缝发生率达 13%。此外，传统单管塔难以满足 140m 以上超高塔架需求，设备调度与施工组织缺乏适配寒区的系统性方案。

2.3 生态保护与水土保持压力

北方山地生态脆弱，风电场建设易引发生态问题。河北丰宁项目初期数据显示，未防护区水土流失模数达 4800t/(km²·a)，远超区域标准；设备运输与爆破产生的 88dB 噪音干扰野生动物活动；干旱半干旱地区植被恢复慢，施工迹地自然恢复率不足 40%。在环保政策趋严背景下，如何平衡施工进度、冬季安全与生态保护，成为北方山地风电建设的关键挑战。

3 山地风电场建设关键技术优化方案

3.1 微观选址与风资源评估优化

3.1.1 三级数据核验体系构建

构建由数据清洗、标准验证、空间补全组成的三级体系：依托气象中心与北方气象站数据，经 Python+MySQL 清洗无效数据；按国标对风速、风向等参数进行验证；运用克里金插值修正冻土区数据。应用后勃利风电场数据可信度从 76% 提升至 96%，为选址精准性奠定基础。

3.1.2 地形适配型尾流模型应用

采用差异化尾流模型优化布局：平坦山脊应用 WASP Park 模型，复杂区域切换 Modified Park 模型，结合 PSO 算法优化风机布局。设定间距、入流角等约束条件，引入 185m 超高塔架技术，充分利用高空高风速资源。优化后勃利项目尾流损失从 18% 降至 9.2%，年发电量提升 11.5%。

3.1.3 现场动态校准机制

实施“勘察-排查-复核”三步校准流程：通过 GIS 构建三维地形模型，标记地质敏感点；现场实测地基承载力、地形坡度等基建参数；联合设备厂家复核机位安全性与施工可达性。河北丰宁风电场通过该机制舍弃 8 个不匹配机位、调整 15 个机位布局，风机故障率降低 65%。

3.2 施工过程与设备运维优化

3.2.1 大型设备运输路径优化

建立“评估-模块化-防护”运输体系：利用 GIS 技术评估运输路径可行性，对陡坡路段进行针对性改造；采用塔架模块化设计，整体减重 25%，降低运输难度；配备加热保温装置与实时监控系統，保障低温环境下设备运输安全。应用后勃利项目设备运输破损率降至 0.4% 以下。

3.2.2 吊装作业协同优化

采用主辅吊组合模式应对复杂地形，配备冬季施工保障系統；建立“爆破-清雪-吊装”协同流程，运用微差爆破技术减少冻土开挖对周边环境的影响；通过远程监控系统实时调度，提升吊装作业效率 35%，单台风机安装周期缩至 10d，较优化前缩短 25d。

3.2.3 混凝土施工质量控制

采用“抗冻-温控-养护”全流程管理方案：选用早强抗冻水泥，掺入 25% 粉煤灰与引气剂，提升混凝土抗冻等级至 F200；设置 3 层冷却水管，将混凝土内外温差控制在 25°C 以内，避免冻融裂缝；浇筑完成后覆盖电热保温毯与防火棉被，采用蒸汽养护 10d 以上。黑龙江勃利项目应用后，承台裂缝发生率降至 1.0%，基础承载力达标率 100%。

3.3 环保与水土保持技术优化

3.3.1 污染源精准控制

施工区设置隔音屏障与移动式降尘设备，将设备噪音控制在 60dB 以下，TSP 浓度控制在 0.5mg/m³ 以内；在临时便道两侧修建沉淀池与集雪池，处理后的废水与融雪水回用率达 85%；合理安排施工时间，避开北方候鸟越冬与陆生动物冬眠期，减少生态干扰。

3.3.2 水土流失动态防护

采用“工程措施+生物措施”组合方案，构建多层次生态防护体系。工程防护层面，依据地形坡度精准施策：在边坡区域按等高线走向修建 U 型截水沟，沟壁采用混凝土预制块加固，有效拦截坡面径流；针对地质条件复杂区域，设置钢筋混凝土挡土墙与抗滑桩，通过三维有限元模拟优化桩间距与嵌入深度，确保结构稳定性。在坡度超过 35° 的陡峭区域，采用生态袋与土工格栅复合防护技术，生态袋内填充保水剂、营养土与草籽的混合基质，分层错缝码砌形成柔性挡墙，土工格栅与锚杆锚固连接，提升坡面整体抗冲刷能力。

生物防护方面，建立“先锋植物-草本-灌木”梯度恢复模式。施工完成后立即开展植被重建，优先种植沙棘、紫花苜蓿等固氮型先锋植物，快速覆盖地表；选用羊草、

披碱草等北方原生禾本科植物，其深根系可穿透压实土层，增强土壤固持力；搭配柠条、红柳等耐旱灌木，形成立体植被群落。同时引入滴灌系統，在植被恢复初期采用智能传感器监测土壤墒情，实现精准灌溉。

动态监测环节，沿风电场施工扰动区域布设 12 个水土流失监测点，采用自动雨量计、径流小区与无人机遥感相结合的监测技术。通过建立土壤侵蚀模数预测模型，将实时监测数据与模型预测结果对比分析，当监测数据偏离阈值 15% 时，自动触发防护措施优化机制。以河北丰宁风电场为例，通过该动态防护体系的应用，水土流失控制率从初始设计的 85% 提升至 92.5%，植被恢复率达到 95%，较传统防护方案缩短 30% 的恢复周期。

4 工程实践效果验证

以黑龙江勃利 250MW 风电项目和河北丰宁抽水蓄能配套风电场（装机容量 45MW）为验证对象，对比优化前后关键指标如下：

表 1 对比优化前后关键指标

指标	优化前 (勃利项目)	优化后 (勃利项目)	优化后 (丰宁风电场)
年发电量 (GWh)	112.8	125.8	98.6
尾流损失率 (%)	18.0	9.2	10.8
施工周期 (月)	20	16.4	15.2
设备运输破损率 (%)	3.5	0.4	0.3
水土流失控制率 (%)	72.3	92.8	92.5
度电成本降低率 (%)	-	15.0	13.2

数据显示，优化方案显著提升了北方山地风电场的经济性、安全性与生态效益，尤其在高切变风资源利用、寒区施工效率与生态修复方面效果突出，验证了技术体系的可行性与实用性。

5 结论

本研究通过理论与实践结合，构建北方山地风电场建设关键技术优化体系。选址上运用三级数据核验、地形适配尾流模型与超高塔架，精准开发高切变风资源；施工时以模块化运输、协同吊装及低温防护，破解寒区施工困境；生态保护制定污染源控制与水土流失防护方案，适配北方生态修复。该体系攻克“高切变、严寒、生态脆弱”难题，为东北、华北同类项目提供技术范本，助力山地风资源绿色开发。

[参考文献]

[1]李明.风电场微观选址及风电机位的布局优化研究[D].北京:华北电力大学,2024.

- [2]王建华,刘志强.山地风电建设的工程技术难点与解决方案[J].风力发电,2025,31(1):45-52.
- [3]张晓峰,陈明亮.山地风电场微观选址过程研究[J].可再生能源,2024,42(8):987-993.
- [4]赵卫东.山地风电项目施工技术难点及解决策略研究[J].工程建设,2025,57(5):78-84.
- [5]国家能源局.风电场风能资源评估方法:GB/T 37523-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [6]中国气象局.风电场气象观测及资料审核、订正技术规范:QX/T74-2021[S].北京:气象出版社,2021.
- [7]张国兴,李红梅.复杂地形下风电尾流效应数值模拟研究[J].太阳能学报,2023,44(3):891-897.
- [8]陈勇,王磊.山地风电设备运输路径优化与安全控制[J].施工技术,2024,53(12):67-71.
- [9]青岛华斯壮能源科技有限公司.全球首台 185 米构架式风电塔技术白皮书[Z].2025.
- 作者简介:任光新(1990.8—),性别:男,民族:汉,籍贯:吉林省松原市,最高学位:学士,职务:风场场长兼支部书记,职称级别:助理工程师,主要研究方向或主要从事工作:风电运行及风电工程建设工作。

绿色建筑技术在暖通设计中的应用研究

王敬宇

安徽建筑大学设计研究总院有限公司, 安徽 合肥 230601

[摘要]随着全球能源供应日益紧张以及生态环境所面临的压力不断增大,建筑行业对于暖通空调系统在节能以及减少碳排放方面的要求变得越来越迫切。暖通系统作为建筑能耗的关键部分,其朝着绿色化方向发展已然成为推动建筑可持续发展的极为重要的一条路径。依据绿色建筑的理念,着重针对暖通设计当中的节能材料、可再生能源的利用情况、高效设备的集成状况以及智能化控制技术等方面展开剖析,深入探究它们在提高系统能效、改善室内环境以及促使建筑在整个生命周期内高效运行等方面所起到的作用。研究得出结论,绿色建筑技术得到充分且广泛的应用能够大幅度地降低暖通系统的能耗,进而为达成建筑绿色转型的目标以及“双碳”目标给予相应的技术方面的有力支撑。

[关键词]暖通设计;绿色建筑技术;应用

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18292

中图分类号: TU9

文献标识码: A

Research on the Application of Green Building Technology in HVAC Design

WANG Jingyu

Anhui Jianzhu University Design and Research Institute Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230601, China

Abstract: With the increasingly tight global energy supply and the growing pressure on the ecological environment, the construction industry's requirements for HVAC systems in terms of energy conservation and carbon emissions reduction have become more and more urgent. As a key component of building energy consumption, the development of HVAC systems towards green direction has become an extremely important path to promote sustainable development of buildings. Based on the concept of green building, this article focuses on analyzing the energy-saving materials, utilization of renewable energy, integration of efficient equipment, and intelligent control technology in HVAC design, and deeply explores their roles in improving system energy efficiency, indoor environment, and promoting efficient operation of buildings throughout their entire lifecycle. The research concludes that the full and widespread application of green building technology can significantly reduce the energy consumption of HVAC systems, thereby providing strong technical support for achieving the goals of building green transformation and "dual carbon" goals.

Keywords: HVAC design; green building technology; application

引言

暖通空调系统对建筑能耗以及室内环境品质有着极为重要的影响,然而传统暖通设计普遍存在着能耗过高的情况,效率也比较低下,并且能源利用方式也不够合理,这些状况已经很难符合当下建筑节能以及健康环境方面的要求了。随着绿色建筑理念不断推进以及相关技术发展速度越来越快,暖通设计也正在从单纯满足负荷需求逐步朝着“节能、低碳、健康、智能”的方向去转型。绿色建筑技术给暖通系统的优化带来了全新的技术路径,像节能材料的应用、可再生能源的耦合、高效设备的配置还有智能化的运行控制等方面。本文主要是对这些技术在暖通设计中的应用价值以及实现机制展开系统性的探讨,以此来

为提升暖通系统绿色化程度提供相应的理论依据以及设计方面的参考。

1 绿色施工的含义

房建工程施工的整个过程中,是以有效保证居民房屋建筑和工程施工现场的安全为基本前提,采用先进的建筑科学技术,最大限度地保护环境,充分、合理地利用自然资源,以实现我国房建建筑工程的社会利益分配最大化。在实施绿色施工时,应根据当地的施工环境,因地制宜,全面了解国家相关政策以及行业技术标准,在施工的全过程中都应严格遵循绿色施工的理念。在绿色施工的过程中,不仅要控制建筑工程无尘、无噪声,还要确保建筑工程与周围环境完美融合,助力我国建筑可持续发展的大

战略。

2 暖通设计的绿色化需求分析

现代建筑在使用期间通常有着庞大的能源需求,其中暖通系统的能源消耗在建筑总能耗中所占比例颇高,尤其在大型公共建筑以及综合体建筑当中,这一比例常常超出50%。所以,暖通设计的绿色化已然成为建筑节能工作中的关键环节。伴随绿色建筑评价体系一步步趋于完善,暖通系统不但要满足基本的冷热负荷需求,而且得同时顾及节能性、可再生能源利用情况、室内环境品质以及运行的智能化程度。传统暖通设计往往把重心放在设备容量能否满足以及系统能否稳定运行上,然而却常常忽视了系统能效优化、热量回收、能源梯级利用等绿色设计要素,致使建筑出现严重的能源浪费状况。人们对于室内空气质量的要求持续提升,暖通设计要在降低能耗的过程当中保障热环境的舒适度以及空气的清洁度。绿色建筑的发展走向要求暖通系统朝着高效化、低碳化、智能化转变,借助科学的设计理念、先进的技术手段以及合理的系统组合,达成建筑能源利用的最大限度以及资源消耗的最小程度。所以说,暖通设计的绿色化既是建筑节能减排的重要环节,也是推动建筑行业高质量发展的关键路径。

3 绿色建筑技术在暖通设计中的关键应用

3.1 可再生能源技术在暖通系统中的应用

在绿色建筑发展进程不断加快的大背景之下,可再生能源技术逐步转变成了暖通系统极为重要的能源补充以及替代途径。像太阳能、地源热泵、空气源热泵还有再生水能源等相关技术在实际应用当中,促使暖通系统得以凭借自然能源达成供热、制冷以及通风方面的各种需求。其中,太阳能热利用技术能够给生活热水系统以及部分供暖系统给予较为稳定的热源,切实有效地减轻锅炉这类常规能源设备所面临的负荷情况。地源热泵技术借助地下岩土层所处的那种相对而言比较稳定的温度环境,进而实现高效且顺畅的冷热转换操作,其在能源利用方面的效率相比于传统空调系统而言有着十分明显的优越之处,在诸多绿色建筑项目当中均获得了颇为广泛的运用。与之空气源热泵以及水源热泵也因为自身具备安装方式较为灵活以及能效比相对较高的优势特点,从而成为了暖通系统里面不可或缺的重要构成部分。除此之外,将可再生能源和传统能源加以融合形成双源模式,另外还采用能量存储以及调蓄技术,如此一来便能够让暖通系统在面对峰谷电价调节以及能源供需出现不平衡状况的时候,依旧能够保持稳定有序的运行状态,进一步提升整个系统在能源利用方面的总体效率。综合来讲,可再生能源的引入一方面能够提

升暖通系统的绿色性能表现,另一方面也为建筑达成低碳运行的目标给予了十分关键的支持作用。

3.2 高效暖通设备与节能技术集成

高效暖通设备的选取以及节能技术的集成运用,对于提升系统运行效率而言,属于极为关键的一个环节。近些年来,伴随暖通技术持续发展,诸如变频空调机组、磁悬浮离心机、高效换热器、低阻力送风设备等一系列高效设备,在各类建筑当中得到了广泛的应用。这些设备借助技术创新的方式,使得能效比得到了明显的提升,可以在满足环境调节相关需求的基础之上,尽可能地降低能源消耗至最低程度。在具体的运用过程当中,暖通设计需要充分结合建筑所处的类型、实际的使用需求以及自身的运行特点,来合理地去选配那些高效的设备,从而让系统能够更好地与建筑的运行模式相契合。除此之外,像热量回收系统、冷凝水回收技术、余热利用技术等这类节能控制技术,它们通过回收系统在运行过程当中废热,进而实现能量的再次利用,同样也能够很大程度上降低建筑的能耗。高效设备和节能技术相互协同并加以集成,不但可以减少系统初期的投资额度以及后续的运行费用,而且还可以提升暖通系统动态适应方面的能力,促使系统在不同的工况情形之下,都能够维持相对较高的运行效率。

3.3 智能化控制技术在暖通设计中的应用

智能化控制技术在现代暖通系统高效运行方面起着十分重要的作用。伴随物联网、大数据以及人工智能技术不断向前发展,暖通系统正逐步从原先那种固定的参数控制模式朝着更为动态且涉及多个参数的智能优化控制方向去转变。智能控制系统依靠着数量众多的传感器来对室内外的温湿度情况、人员的具体数量以及空气质量等诸多信息展开实时监测,并且凭借相应的算法分析来达成对设备运行状态的自动调节,从而让系统能够时刻维持在最佳的能效状态。就好比说,依据需求而开展的通风控制技术,其能够依照室内CO₂浓度以及人员密度的实际状况自动地去调节风量,进而实现对空气品质与能耗之间的平衡把控;而智能化的变频控制则可以按照冷热负荷所发生的变动来对设备的运行频率做出相应调节,如此一来便能够避免因频繁启停所引发的能源浪费情况出现。除此之外,借助建筑管理系统的平台来达成对暖通系统的集中控制以及数据方面的分析处理,这不但能够让系统的整体协同效率得以提升,而且还有助于管理者能够及时察觉到能源浪费的相关问题并采取有效的调整措施。智能化控制技术在实际应用当中,明显地提升了暖通系统的响应能力以及节能水平,进而为绿色建筑的运行给予了更加科学且更为精

准的技术层面的支持。

4 暖通系统的绿色设计策略

4.1 通风系统的节能设计策略

通风系统在建筑当中属于影响空气品质以及能耗的关键部分,其绿色设计务必要在保障空气流通以及营造健康环境的基础之上,尽可能地去降低能耗。绿色通风设计着重于自然通风与机械通风的相互协调利用,借助合理安排开窗的位置、对建筑朝向加以优化、对风环境予以改善等方式,让建筑在气候条件可以允许的情形下能够完全依靠自然通风,进而缩减机械通风系统的运行时长^[1]。对于那些需要机械通风的区域,可以选用高效风机、低阻力通风管道、热回收新风机组这类节能设备,以此来提升通风的效率并且减少能量方面的损失。热回收技术可以把排风里的热量回收起来并传递给新风,在夏季的时候能够降低新风的负荷,在冬季则可以减少供热的需求,大幅度提高系统的整体能效水平。按需通风控制会通过检测室内的空气质量、人员的数量以及室内污染物的浓度来动态地调节风量,使得通风系统可以达成精准供风的效果,从源头上减少那些不必要的能耗。凭借多种策略的综合运用,通风系统的绿色化能够切实提升建筑的空气环境质量,与此同时降低能源的使用量。

4.2 供暖与制冷系统的节能优化

供暖与制冷系统在暖通系统里属于能耗特别高的部分,其绿色化设计需要在确保能够满足冷热负荷需求的基础之上,达成能源利用的最小化效果。就冷热源选择来讲,要尽可能去采用那种高效且低碳的能源供应方式,像是热泵系统、区域能源站还有太阳能辅助供热系统等等,以此来取代传统的燃煤以及高耗能锅炉。从系统构成的角度看,借助优化冷热源容量的方式,同时合理地去配置多能源系统,并且采用能量梯级利用技术,如此便能够让供暖以及制冷效率得到进一步的提升。在输配系统这块,通过降低输配管网的阻力,对水力平衡予以优化,还采用变流量控制技术等相关手段,进而提高系统的能效,使得泵耗得以减少。若想提升末端设备的效率,可以选用新型高效的末端设备,比如地板辐射采暖、风机盘管加上新风系统以及变风量空调系统等等,凭借更低的能耗来实现更高的舒适度^[2]。精细化的运行控制策略同样是十分重要的,采用基于天气预测以及负荷预测的智能算法来对系统进行提前调节操作,这样就能够有效地避免出现冷热偏差以及过度供能的情况,让系统始终维持在高效运行的状态之下。把系统设计和运行优化相互结合起来,供暖与制冷系统便可以在满足建筑舒适性需求的大幅度地降低能耗。

4.3 冷热源系统与水系统的绿色化设计

冷热源系统还有水系统,这两者可是暖通系统能够正常运行的关键所在,它们的绿色化设计跟建筑整体的能效水平有着极为紧密的关联。就绿色冷热源设计来讲,它是着重于去采用那些高效运转的设备,要选用节能的运行模式,并且得讲究能源的综合利用方式。比如说,要是采用像磁悬浮冷水机组这类有着较高能效的设备,那么就on能够大幅度地把制冷时所耗费的能量给降下去;再比如采用分区供冷的方式,还有部分负荷优化控制等相关技术,如此一来,便能让系统无论处于何种运行工况之下,都能够维持在最优的状态。而在绿色水系统这块儿,借助减少系统所遇到的阻力、对管网布局予以优化、提升换热的效率等一系列的技术手段,是可以达成降低水泵在运行过程中所耗费的能量,同时还能减少冷却塔用水量这样双重目标的。与此水系统的节能工作还能够通过采用变频泵以及智能控制阀门等设备来达成对水量进行动态调节的目的,进而避免那种传统定流量系统所带来的能源方面的浪费情况出现^[3]。除此之外,像综合能源系统的设计,举例来讲冷热电三联供、余热回收系统以及蓄冰与蓄热技术的应用,这些同样可以通过对能源实施梯级利用以及实现负荷的平衡,以此来提高整个系统的效率。绿色化的冷热源以及水系统设计凭借着多种多样的措施共同发力,一方面能够让系统在运行期间所消耗的能量给降下来,另一方面也能够让建筑在使用能源的时候具备更好的经济性以及更强的稳定性。

5 面向未来的绿色暖通设计发展趋势

随着绿色建筑理念不断深化以及相关技术持续演进,未来的暖通设计会朝着高效化、智能化还有低碳化的方向去发展。智能控制会在系统运行当中占据核心地位,依靠人工智能、数字孪生以及智慧能源管理所构建起来的平台化调控模式,能够让暖通系统达成实时感知的状态,具备自主优化的能力,并且实现高效的协同效果。可再生能源的利用方式也会变得更加多样,以此来促使建筑能源结构达到深度低碳化的程度,会进一步对能效以及环境品质加以优化。在“双碳”战略的引领之下,暖通设计不再仅仅局限于单一设备的节能,而是会拓展到全生命周期的优化层面,借助建设、运行以及更新这一整套流程的绿色化管理手段,达成暖通系统在环境友好以及能源效率方面更高的水准,进而为未来的智慧绿色建筑给予核心方面的有力支撑。

6 结语

绿色建筑技术于暖通设计方面的广泛应用,乃是推动

建筑节能以及低碳转型的关键助力所在。借助节能材料的应用情况、可再生能源的集成状况、高效设备的配置情形以及智能化控制等相关技术所形成的协同效力,暖通系统可做到在能耗得以降低之际,让室内环境品质也获得提升,进而达成建筑运行时的高效状态以及健康的状况。在未来的发展进程当中,伴随数字化技术不断取得进展以及能源系统朝着多元化的方向持续发展,暖通系统的绿色化程度将会进一步得到加深,并且会在建筑全生命周期的管理环节里发挥出更为重要的价值作用。绿色建筑理念不断地向前推进,再加上“双碳”战略得到全面且细致的施行落实,这将会驱使暖通设计在建筑行业迈向可持续发展的整个

过程当中担负起越发关键的技术角色。

[参考文献]

- [1]陈雯琨,张茹杰.绿色建筑技术在暖通设计中的应用研究[J].中国设备工程,2025(18):219-221.
- [2]董懂.绿色建筑技术在暖通设计中的应用分析[J].中国设备工程,2023(10):256-258.
- [3]王玲艳.绿色建筑技术在暖通设计中的应用分析[J].工程与建设,2022,36(5):1283-1285.

作者简介:王敬宇(1987.12—),汉族,男,本科,毕业院校:安徽建筑工业学院(现安徽建筑大学),专业:建筑环境与设备工程。

建筑工程主体结构质量检测方法的探讨

李露其

湖北永盛工程技术有限公司, 湖北 神农架 442400

[摘要]随着经济不断发展,人们对工程项目质量愈发关注。要想保障建筑工程整体质量,得采取行之有效的办法,让主体结构质量检测更科学、更准确。很多实践案例说明,主体结构检测结果的准确性和工程项目建设水平、安全性紧密相关。这篇文章分析提升检测结果准确性的策略和措施,给工程质量管理作参考、当指导。

[关键词]工程主体;主体结构;质量检测;检测方法;技术探讨

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18286

中图分类号: TU712.3

文献标识码: A

Exploration on Quality Inspection Methods for Main Structure of Construction Projects

LI Luqi

Hubei Yongsheng Engineering Technology Co., Ltd., Shennongjia, Hubei, 442400, China

Abstract: With the continuous development of the economy, people are increasingly concerned about the quality of engineering projects. To ensure the overall quality of construction projects, effective methods must be adopted to make the quality inspection of the main structure more scientific and accurate. Many practical cases have shown that the accuracy of the main structure inspection results is closely related to the construction level and safety of engineering projects. This article analyzes strategies and measures to improve the accuracy of testing results, providing reference and guidance for engineering quality management.

Keywords: main projects; main structure; quality inspection; inspection methods; technical exploration

引言

在现代建筑工程开展的过程中,主体结构作为建筑物极为关键的核心承载体系,其质量状况直接与工程的安全性、耐久性以及使用功能的达成紧密相关联。伴随建筑规模逐步拓展扩大、结构形式变得愈发复杂多样以及施工技术持续更新换代,主体结构的质量方面的问题也呈现出了更为多样且更加隐蔽的特性。怎样切实保证建筑工程主体结构能够安全可靠,这已然成为工程建设管理以及质量控制环节里的重要研究课题。主体结构质量检测作为建筑工程质量保障其中的一个极为重要的环节,一方面可针对施工进度展开实时的监督工作,另一方面还能够对结构性能予以科学合理的评估,进而为工程决策给予可靠的依据支撑。不过就目前而言,建筑工程主体结构质量检测在实际的应用过程当中,依旧存在着管理不够规范、设备相对落后、检测重点不够清晰明确以及监管能力有所欠缺等一系列问题,这些问题使得检测结果的准确性以及实用性都受到了一定影响。所以,全面且细致地去探讨建筑工程主体结构质量检测的方法,深入剖析现存的各种问题,并且提出具有针对性的改进举措,这对于

提高工程质量管理水平、保障建筑安全以及促进建筑业实现高质量的发展都有着不容忽视的重要意义。本文从主体结构质量检测所具有的意义着手开始,对存在的各类问题加以梳理归纳,针对管理和技术层面来探讨优化的策略办法,从而为建筑工程质量检测的实际操作实践给予相应的参考与指导。

1 建筑工程主体结构质量检测的意义

建筑工程主体结构质量检测在工程建设进程中有着无可取代的重要意义,它和建筑物的结构安全性、耐久性息息相关,还是保障工程质量、预防工程事故、达成建筑全生命周期管理的重要环节。主体结构是承载建筑自重、使用荷载以及外界环境作用的关键部分,其质量状况直接决定了建筑物是否能长期、安全、稳定地运转。借助科学、规范的质量检测,可及时察觉混凝土强度不够、钢筋隐蔽缺陷、结构变形超出限制等潜在风险,有助于在施工进程中及时纠正偏差并整改,进而有效降低后期隐患。而且,质量检测结果可为建设单位、设计单位和监理单位提供客观依据,实现施工质量的量化管理,提升工程决策的科学性。随着建筑工程规模持续扩大以及安全要

求不断提高,主体结构质量检测已从单纯的验收手段变成全过程质量保障的重要工具,既推动了工程质量水平的整体提高,也给建筑行业的高质量发展给予了技术支持^[1]。所以,强化对建筑工程主体结构的检测,既是保障人民生命财产安全的必要举措,也是提高工程建设综合效益的重要途径。

2 建筑工程主体结构质量检测存在的问题

2.1 质检工作管理不足

在建筑工程主体结构质量检测期间,质检工作管理存在诸多不足,如管理体系不够完善、责任划分不够清晰以及监管执行力度不足等。部分项目在施工时对质量检测不够重视,把它当作工程验收的附属环节,没有把检测融入到整个施工过程,致使管理出现松散情况甚至流于形式。部分施工单位在质检人员配备、检测流程制定以及质量管理体系建设方面有所欠缺,使得检测工作缺少统一标准与规范要求,对检测数据的准确性与可靠性产生了影响。

2.2 检测设备落后

在建筑工程主体结构质量检测工作当中,检测设备较为落后的情况属于影响检测结果准确性以及可靠性的一个比较突出的问题。有一部分检测单位还在使用传统或者已经老旧的测量设备、取样设备以及分析设备,这些设备的仪器精度普遍偏低,所具备的功能也比较单一,根本没有办法满足当下建筑结构检测对于高精度以及高灵敏度方面的要求。就比如说在对混凝土强度进行检测的时候,在对钢筋位置进行探测的时候,又或者是对缺陷进行探测的时候,有一些设备没办法实现实时监测,也没办法对深层数据进行识别,如此一来便使得检测结果会存在着一定的误差,进而对判断结构状况造成了影响。与此因为设备更新的周期比较长,并且维护工作做得也不到位,所以有一些仪器出现了性能衰减以及数据不稳定等诸多现象,这也就使得检测效率以及检测质量都受到了限制。

2.3 质量监管能力薄弱

在建筑工程主体结构质量检测期间,质量监管能力比较薄弱,这主要表现在监管力量不够充足、专业水平参差不齐以及监督深度和频次不太到位等方面。有些监管部门人员数量有限,很难对众多建设项目展开全覆盖且全过程的质量监督,这就致使主体结构检测环节出现监管盲区。与此部分监管人员专业知识储备不够丰富,对于新型材料、新工艺、新技术的检测要求不是很熟悉,使得在监管过程中对关键质量风险的识别与判断能力受到限制。在实际工程推进进程中,监管常常会受到工期压

力、信息不透明等多重因素的影响,使得监督检查仅仅停留在表面,没办法对检测资料、检测过程以及检测结果展开深入细致的核查。

2.4 质量检测重点不清

在建筑工程主体结构质量检测这存在着质量检测重点不够清晰的现象,这种现象是比较常见的。其主要呈现出来的状况是,检测所涉及的范围、具体的内容以及侧重点都欠缺明确的界定,如此一来便使得检测工作缺失了针对性,同时也没有形成系统的体系。部分项目在着手制定检测计划的时候,并没有充分地把工程自身的特点、结构所属的类型以及关键受力部位的实际情形给结合起来考量,通常会采用一种比较笼统且浮于表面的检测方式,如此就忽视了针对主体结构的关键节点、隐蔽工程以及容易出现质量缺陷的部位展开细致深入的检测^[2]。除此之外,检测人员在实际执行检测工作的过程当中,对于重点项目有着不一样的理解,这就致使检测内容呈现出分散的状态,而且检测的深度也有所欠缺,进而无法有效地将结构的真实质量状况给反映出来。

2.5 有关制度规范和技术标准不完善

在经济推动下,建筑行业发展日新月异,但建筑工程主体结构质量检测技术水平和标准却没有得到同步提高。部分地区还在按照老旧标准开展检测管理工作,使得检测工作准确性很难得到保证。当下,质量检测相关法律法规也出现一定程度上的不足,对建筑工程主体结构质量检测的效果产生很大影响。甚至还有少部分检测市场存在无序恶性竞争行为,导致检测价格不统一和相关指导价混乱等不良现象。以某些地方为例,房建检测的收费仍然参照多年前的收费标准,并且在此基础上还存在恶性竞争现象,而人工成本及设备成本在逐渐增加,使得检测公司入不敷出,这种现象也对检测质量产生很大的影响。

3 建筑工程主体结构质量检测管理的有效措施

3.1 加强质检管理工作

强化质检管理工作乃是提升建筑工程主体结构质量检测有效性与权威性的关键之举,其中最为关键之处在于构建起一套覆盖范围较为周全、运转效率较高的质量管理体系,以此达成检测工作在全过程当中的精细化以及标准化管理目标。一开始,得从工程项目治理这个层面上去强化质量管理方面的意识,把主体结构质量检测同工程质量以及安全管理工作紧密结合起来,进而形成一种协同机制,即由建设单位来主导相关事宜,施工单位负责具体执行,监理单位予以监督,检测机构独立展开检测工作,让各方的责任链条能够清晰明了、井然有序且具备可追溯性。接

着,在制度层面要建立起严格缜密的检测管理规范,这里面涵盖了检测计划的编制、抽检比例的设定、重点部位检测的要求、隐蔽工程验收的流程以及数据管理制度等方面的内容,从而让检测工作有明确的依据可循并且有着统一的标准。与此还要强化检测过程的真实性以及可控性,借助完善现场见证取样、过程记录以及资料审核等一系列管理举措,确保每一项检测活动都能够做到有据可查并且具备可追溯的特点。

3.2 引进先进设备和技术

引进先进的设备和技术对于提升建筑工程主体结构质量检测的准确性以及科学性而言,是一条颇为重要的途径,其关键之处就在于依靠技术升级来促使检测手段朝着现代化以及智能化的方向发展。随着建筑结构形式变得愈发复杂起来,工程规模也在不断地扩大,传统的检测设备在精度、效率还有适用范围这些方面已经很难满足现代工程质量管理方面的需求了,所以有必要引入那种更为高效、更为精准并且更加智能的检测技术。比如说,运用高精度的无损检测设备,便能够在不对结构造成破坏的情况下,获取到混凝土内部的缺陷情况、钢筋的具体分布状况以及结构的密实度等相关信息,从而使得数据的可靠性以及完整性都得以大幅提升。使用三维激光扫描、数字化测量系统以及智能监测仪器,能够达成对结构变形情况、裂缝扩展状况以及受力状态的实时监控,进而为判断结构的安全状态给出动态的依据^[3]。与此凭借信息化平台、数据分析系统以及智能检测软件,可实现检测数据的自动采集、整理、分析以及可视化展示,让检测结果变得更加直观,而且具备可溯源以及可比对的特点。

3.3 提升质量监管能力

提升质量监管能力对于确保建筑工程主体结构质量检测能够规范且有效地开展而言,是极为重要的保障措施,其关键之处在于借助优化监管体系、强化专业能力以及完善监督机制等举措,达成对施工全过程实施精准管理以及科学控制的目标。需要构建起多层次且能够实现全覆盖的监管体系,把建设单位、施工单位、监理单位以及检测机构各自所具备的监管职能有机地串联起来,清晰界定各方的职责范围与权限大小,从而让质量监管形成一个完整的闭环管理模式,以此来确保主体结构在各个关键环节均处于监管所能触及的视野当中。得着力提升监管人员的专业水准与技术能力,可通过开展系统化的培训工作、实施岗位考核以及组织实践演练等方式,促使监管人员对最新的结构检测标准、施工工艺以及先进的检测技术都能够较为熟悉,进而增强其识别质量风险、判断检测结果以及提出

整改意见等相关的能力。与此还应当对监管流程和手段加以完善,充分运用信息化管理平台、实时监测系统以及数据分析工具等,达成对检测过程以及检测结果进行动态监控、数据追踪以及异常预警的目的,以此提升监管工作的科学程度与效率水平。

3.4 明确质量检测重点

清晰明确质量检测的重点,这可是提升建筑工程主体结构检测效率以及准确性的关键举措,其核心要点就在于依据工程的特点、结构的类型以及关键的受力部位来合理且科学地划分检测的范围以及确定优先级,从而保证检测工作能够做到目标明确、重点鲜明。一开始,要结合施工的图纸、设计方面的要求以及施工所运用的工艺,去识别出主体结构当中那些对安全性以及耐久性有着重大影响的关键部位,像是梁、柱、板、基础还有连接节点等等,并且把这些部位当作质量检测的重点对象来对待,以此确保它们的质量指标能够契合规范所提出的要求。接着,在制定检测计划的时候,得把重点检测的项目以及采用的方法都明确清楚,针对不同的材料以及不一样的结构形式要去选用与之相适配的检测手段,比如对于混凝土强度、钢筋的布置情况以及隐蔽工程等方面,应当借助专业的仪器以及相关技术来展开精准的检测,进而获取到可靠的数据^[4]。并且在此期间,还要着重强化对隐蔽工程以及施工难点环节的检测覆盖面,避免因为存在检测的盲区而导致潜在的质量隐患被白白忽视掉。

3.5 完善有关制度规范和技术标准

完善相关制度规范和技术标准对于保障建筑工程主体结构质量检测具备科学性、规范性以及可操作性而言,属于极为关键的一个环节,其重点在于借助制度层面的约束以及标准方面的指导,构建起一套系统、统一并且能够切实执行的检测管理体系。需要依照国家当前施行的建筑规范、施工质量标准还有行业技术规程,再结合工程的实际状况来制定或者对企业的内部检测制度加以修订,其中涵盖检测流程、操作规程、数据记录以及结果审核等诸多具体的要求,从而让检测工作能够有相应的规范可以遵循,操作起来也更为规范。接着,要清晰界定各类主体结构构件以及关键节点的检测标准,制定出针对不同材料、不同结构形式以及不同施工阶段的检测方法以及判定依据,以此来保证检测结果既科学又可靠,还能够相互之间进行对比。与此应当建立起制度化的责任追溯机制,把检测、审核、整改等各个环节的责任都落实到具体的岗位之上,形成一个闭环式的管理体系,进而促使质量问题可以被及时地发现、准确地处置以及有效地防范。

4 结语

建筑工程主体结构的质量检测,对于保障工程的安全性、耐久性以及施工质量而言,有着极为重要的作用。仔细分析当下检测过程当中所存在的诸如管理存在欠缺、设备较为落后、监管能力不够强以及检测重点不够清晰等一系列问题,能够发现,要提升检测的效果,固然离不开先进设备以及科学技术的应用,然而更为关键的是要完善管理体系、明确检测的重点、强化监管的能力并且健全制度规范以及技术标准。唯有当技术手段与管理措施共同发挥作用予以保障之时,主体结构质量检测才能够切实发挥出它本应发挥的作用,进而为建筑工程实现高质量的建设给予强有力的支撑,从而确保工程项目在整个使用寿命期限内都能够安全可靠且稳定地运行。

[参考文献]

- [1]争光.建筑工程主体结构质量检测方法及应用探究[J].住宅与房地产,2019(25):218.
 - [2]林映琪.建筑工程主体结构质量检测方法[J].城市建设理论研究(电子版),2025(22):166-168.
 - [3]钟国鑫.建筑工程主体结构检测方法研究[J].工程技术研究,2024,9(23):96-98.
 - [4]刘洋,李田田.建筑主体结构工程质量检测要点及措施分析[J].砖瓦,2024(5):110-112.
- 作者简介:李露其(1991.10—),毕业院校:文华学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:湖北永盛工程技术有限公司,职务:质量负责人。

建筑土建工程中节能施工技术分析

张康荣

中电建路桥集团有限公司, 北京 100000

[摘要]建筑行业快速发展, 土建工程施工材料消耗、能源使用增加, 如何保证施工质量且节能是行业关注重点。节能施工技术可降低能源消耗、施工成本, 减少污染, 促进可持续发展。在建筑土建工程里, 节能施工技术涉及材料选择、施工工艺优化、机械设备能效管理、绿色能源利用等方面。文章分析节能施工技术特征, 研究其应用方式, 总结实际效果, 给工程管理者、施工人员提供科学指导和实践参考。

[关键词]建筑节能; 施工技术; 技术应用

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18278

中图分类号: TU74

文献标识码: A

Analysis of Energy-saving Construction Technology in Building Civil Engineering

ZHANG Kangrong

PowerChina Construction Road and Bridge Group Co., Ltd., Beijing, 10000, China

Abstract: With the rapid development of the construction industry, the consumption of construction materials and energy in civil engineering has increased. How to ensure construction quality and energy conservation is a key focus of the industry. Energy saving construction technology can reduce energy consumption, construction costs, reduce pollution, and promote sustainable development. In building and civil engineering, energy-saving construction technology involves material selection, construction process optimization, mechanical equipment energy efficiency management, green energy utilization, and other aspects. The article analyzes the characteristics of energy-saving construction technology, studies its application methods, summarizes practical effects, and provides scientific guidance and practical references for engineering managers and construction personnel.

Keywords: building energy-saving; construction technology; technology application

土建工程属于建筑项目极为关键的部分, 在其施工过程中, 会大量运用到混凝土、钢筋、模板以及各类辅助材料, 与此高能耗施工机械不断增多, 施工现场的能源消耗也在持续增加。在传统的施工模式里面, 因为缺少系统的节能管理举措, 施工能耗以及资源浪费方面的问题变得愈发严重起来, 这不但使得工程成本有所增加, 而且对生态环境也产生了一定程度的压力。随着可持续发展的理念在建筑领域逐步得到普及, 节能施工技术慢慢变成了提升施工效率、减少资源消耗以及环境负荷的关键手段。对现有的节能施工技术展开系统的研究, 能够切实有效地达成施工全过程的资源优化管理, 进而提高工程的经济性以及环保性, 同时也可作为建筑行业的绿色转型给出一条可行的路径。本文从节能施工技术的特征以及应用方式这两个方面来展开分析, 目的是给建筑土建工程的施工给予科学的参考以及实践方面的指导。

1 节能施工技术的意义

对于现在土建工程来说, 施工过程中各种施工材料的使

用量不断加大, 能源消耗也越来越多。在施工过程中为了更好地利用好各方面资源, 在土建施工时, 施工人员要能够根据施工现场随时改变自己的理念以及采用节能技术进行施工。这样不仅能使整个施工过程更加有序的进行, 同时也为可持续发展奠定了良好的基础。这涵盖了在施工材料选取方面重视高效利用并减少浪费, 还牵涉到施工机械设备的合理调度以及能耗管理, 借助优化施工流程和施工组织, 能够有效降低能耗和施工成本, 与此节能施工技术的应用可改善施工现场环境, 提升施工人员的作业效率与安全水准, 促使施工管理趋向科学化与规范化。总体而言, 节能施工技术既是达成建筑节能目标的重要途径, 又是推动土建工程绿色施工和可持续发展的重要保障, 为建筑行业实现经济效益、环境效益与社会效益的有机结合打下了坚实基础。

2 建筑土建工程节能施工技术的特征

2.1 科技化

科技化乃是现代建筑土建工程节能施工技术极为显

著的特征,这一特征彰显出信息化、智能化同施工技术紧密融合的发展走向。伴随建筑信息模型(BIM)、物联网(IoT)还有大数据分析技术在实际应用中的不断推广,施工现场涉及的材料管理事宜、施工进度把控以及能耗监控等方面,均能够凭借智能化的相关手段达成高效的管理成效。科技化不但可对施工机械的运行状态以及能源消耗的具体情况予以实时的监测,而且还能借助模拟与预测的方式来对施工方案加以优化,进而最大程度地削减施工过程中出现的资源浪费现象。与此智能化施工设备的运用,像是高效泵送设备、智能搅拌机以及机械化运输工具等,同样大幅提升了施工的效率以及能源的利用程度,使得施工过程变得更加科学、更为精确且更加高效。借助科技化的方式手段,施工人员可以达成对施工全过程实施精细化管理的目标,既能够确保工程质量,又能实现节能方面的目的。

2.2 系统化

系统化乃是节能施工技术的关键核心特征之一,其着重于从材料选取、结构设计一直到施工工艺层面展开整体性优化,进而达成建筑施工整个过程中的综合节能管理目标。在土建工程项目当中,仅靠单一环节所采取的节能举措,其实际效果往往是颇为有限的,然而借助系统化设计以及施工管理手段,便能够促使各个不同环节之间产生协同效应,由此达成整体能耗大幅降低的良好成效。就好比在材料选取方面,选用高性能混凝土以及轻质保温材料,如此一来便可削减施工材料的使用数量,并且能够减少热能传递过程中出现的损失情况;而在施工工艺方面,凭借合理地安排施工顺序以及机械调度事宜,便可以让施工机械避免出现空转现象,进而防止能源方面的浪费情况发生。系统化还涵盖了施工现场能源的实时监控、废弃物实现资源化利用以及施工水电管理等多个方面,经由全方位且多层次的管理举措,最终达成施工全过程当中的节能目的以及资源的优化配置状态。要实现系统化这一特征,仅仅依靠先进的技术手段是不够的,同时还需要施工管理者拥有整体规划的能力以及统筹协调方面的本领,唯有如此才能够确保各类节能措施能够在施工现场切实有效地落实到位。

2.3 节能性

建筑土建工程节能施工技术所具备的节能性,这无疑是其最为直观的一项特征。具体来讲,节能性在施工进程里就表现为尽全力去削减能源方面的消耗以及材料方面的浪费情况。节能性一方面要求在施工机械开展运转活动期间,要着力提升能源的使用效能;另一方面在挑选建筑材料以及确定施工工艺的时候,得依照低能耗的原则来行事。就好比说,借助采用高效能的混凝土搅拌技术、泵送技术还有运输技术,如此一来便能让施工机械的能耗得以降低。与此凭借合理安

排施工组织以及施工顺序,进而减少材料搬运的次数以及避免出现重复作业的情形,最终达成节能的既定目标。除此之外,节能性在施工现场的辅助能源管理工作当中也有体现,像施工照明、电力设备以及临时设施的节能控制等都涵盖其中。当全面施行各项节能性举措之后,不但能够使施工成本有所降低,而且还能让施工过程中对环境产生的负面影响得以减少,进而促使经济效益和社会效益双双获得提升。

3 建筑土建工程节能施工技术的应用方式

3.1 屋面节能施工技术

屋面节能施工技术于建筑土建工程节能施工而言,属于极为关键的一个环节,其具体应用状况会对建筑整体的能耗水平产生直接的影响。屋面节能施工一般来讲会涉及到屋面保温材料方面的选择事宜、屋面结构的设计工作以及屋面施工工艺的优化举措。就材料选择这一方面来看,选用高性能保温板、反射隔热材料还有轻质混凝土等,如此一来,既能提升屋面的隔热性能,又能减轻屋面的荷载,进而降低施工过程中的能耗,最终促使建筑在运行阶段的能源消耗得以减少。从施工工艺这个层面来讲,通过对模板布置加以优化、对机械吊装进行改进以及对屋面混凝土浇筑流程予以完善,能够缩减施工机械出现空转的时间,降低能源的消耗量,并且还能够提升施工的效率以及施工的质量。除此之外,屋面绿化技术的应用情况,一方面能够对建筑周边的微气候环境起到改善的作用,另一方面还能强化建筑自身的隔热以及保温功能,这对于调节室内的温度是有帮助的,进而达成建筑能源持续节约以及绿色环保的目标。将这些措施综合起来加以应用,屋面节能施工技术便能够在确保施工安全以及质量的前提下,有效地降低建筑的能耗,实现施工以及环保这两方面的双重效益,同时也给建筑的长期运行打下良好的节能基础。

3.2 外墙施工节能技术

外墙施工节能技术可对建筑外墙的热工性能以及施工能耗加以改善,进而促使建筑整体能效得以切实提升。在材料选取这一层面,运用高性能保温材料、轻质复合墙体还有节能涂料,如此一来,既能大幅提高外墙的隔热以及保温成效,又能有效缩减建筑于运行阶段的采暖与空调能源耗费,最终达成降低整体能耗以及运行成本的目的^[1]。就施工工艺而言,通过对外墙模板的安装顺序予以优化、合理规划机械吊装事宜以及把控砂浆用量,这既能提高施工效率,又能减少施工机械出现空转的情况以及材料的浪费现象,以此保障资源能够得到高效利用。与此在施工进程当中,施工管理人员需依据气候状况、施工周期以及工程进度合理安排施工作业,防止出现不必要的能耗以及施工资源浪费情况,从而更为出色地达成节能目标。外墙节能技术若得以全面应用,那

么既能降低建筑整体能耗,提高能源利用效率,又可提升室内环境的舒适度,延长建筑的使用寿命,兼顾经济效益与环保效益,为建筑的绿色可持续发展给予关键支撑。

3.3 门窗节能技术

门窗节能技术属于建筑节能的关键部分,其具体应用会对建筑的热损失以及能源利用效率产生直接影响。就材料选择来讲,选用节能型门窗材料,像是双层或者三层中空玻璃、低辐射玻璃还有高性能门窗框架,如此一来,既能有效地降低室内外热量的传递,减少空调以及供暖系统的能耗,又能在某种程度上提高建筑外观的美观程度以及耐用性能。在施工安装环节当中,借助提升门窗的密封程度、做到精准安装并实施防渗处理等手段,可进一步削减空气渗透以及能量流失的情况,与此也能确保门窗在长期使用期间的可靠性与安全性。在施工进程里合理运用机械化安装设备,以此提高安装的精度以及效率,不但能够使施工周期得以缩短,而且还能降低施工现场的能源耗费与人力成本开支。门窗节能技术得到全面的应用之后,不但能够大幅提高建筑的整体能效,减少在运行阶段的能源支出,而且还能提升室内温度的均衡状况以及舒适感受,达成节能、经济效益以及使用价值的三重优化效果,进而为建筑的绿色、可持续发展给予强有力的支撑。

3.4 地面节能施工技术

地面节能施工技术主要是靠优化地面材料的选择、施工工艺以及机械能耗管理来达成目的,以此让建筑整体能耗得以有效地降低。在材料选择这块,选用高热反射地面材料或者轻质地坪材料,既能减少建筑结构的热量传导,又能降低空调以及采暖系统的能源消耗,而且还能提升地面的耐久性以及使用寿命。在施工工艺方面,通过优化模板的布置,合理安排机械施工的顺序,还有科学设计材料运输的路径,可有效减少施工过程中出现的机械空转以及能源浪费的情况,同时还能确保施工进度与质量的稳定^[2]。针对施工现场的照明、临时用电设施以及辅助设备展开节能管理,采用高效的照明以及电力控制系统,也能进一步降低地面施工阶段的能耗。地面节能施工技术得到全面应用之后,一方面能使施工过程变得更加高效,资源利用也更为合理,另一方面在保证工程质量的情况下,能为建筑整体节能目标筑牢坚实的技术与管理根基,进而推动施工朝着绿色化以及可持续发展的方向前进。

3.5 水资源节约技术

水资源节约技术于建筑土建工程施工当中有着极为重要的作用,在混凝土浇筑环节、砂浆搅拌环节以及施工机械清洗环节,凭借科学管理手段与节水举措,能够切实有效地降低施工期间的水耗情况^[3]。就好比说,借助雨水

收集的方式、施工废水的循环利用方式以及高效的喷淋系统,是能够达成施工水资源得以重复利用这样的效果的,并且还能够一定程度上削减对外部水资源的依靠程度。从施工组织方面来讲,对浇筑作业时间以及清洗作业时间做出合理的安排,以此来减少出现浪费的情况以及蒸发所导致的损失,这也属于水资源节约方面的关键举措之一。通过施行水资源节约技术,一方面有益于降低施工方面的成本支出,另一方面也能够缓解施工给环境所带来的影响,进而达成绿色施工所设定的目标。

3.6 自然能源与绿色能源技术的应用

自然能源以及绿色能源技术在建筑土建工程施工方面的应用较为普遍,像太阳能、风能还有地热能等多种可再生能源都有所利用。在施工现场,借助安装太阳能光伏板来给施工设备供电,如此一来,既能减少传统电力的消耗,又能降低施工期间的碳排放量。利用风能或者地热能作为施工临时设施供热或是供能,同样可提升能源利用的效率。而且绿色环保燃料在施工机械当中的运用,比如生物柴油或者液化天然气,能够取代传统那种高能耗的燃料,进而减少施工过程中产生的环境污染。通过对自然能源与绿色能源技术加以综合运用,不但能降低施工能耗,而且可促使建筑行业朝着可持续发展的方向去发展,达成经济效益和环保效益的统一。

4 结语

建筑土建工程节能施工技术的应用,对于提升施工效率、降低能源消耗、节约施工成本以及保护环境而言,有着十分重要的意义。其具备科技化、系统化以及节能性的特征,使得这项技术能够在各类建筑项目当中获得广泛的应用,而且能够和施工管理、材料选择还有绿色能源使用紧密地结合起来。在施工过程里,借助屋面、外墙、门窗、地面、水资源以及自然能源等诸多方面的技术应用,资源利用的效率得以显著地提升,同时也达成了在建筑运行阶段降低能耗的效果。在未来,伴随信息化技术、智能化施工设备以及绿色能源技术不断地发展,建筑土建工程节能施工技术将会在保障工程质量、提高经济效益以及推动可持续发展等方面,发挥出更为重要的作用,进而为绿色建筑的发展给予坚实的支撑。

[参考文献]

- [1]左通卓.关于建筑土建工程施工中节能施工技术的探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(7):127-129.
 - [2]胡辉云.建筑土建工程中节能施工技术研究[J].北方建筑,2022,7(4):47-50.
 - [3]马祥宇.建筑土建工程中节能施工技术的分析[J].江苏建材,2022(1):50-51.
- 作者简介:张康荣(1998.4—),单位名称:中电建路桥集团有限公司,毕业学校和专业:长沙理工大学 土木工程。

被动式建筑与绿色建筑标准的融合与应用研究

柳亚磊¹ 苏薇²

1.河北建筑设计研究院有限责任公司,河北 石家庄 050000

2.河北工程技术学院,河北 石家庄 050000

[摘要]随着全球能源日益紧张以及环境压力持续增大,建筑行业低碳发展与可持续实践已然成为关键议题。被动式建筑凭借其低能耗、高舒适性以及生态友好等特性,在节能建筑领域备受关注,绿色建筑标准则给出了建筑全生命周期的评价体系与规范要求,两者在理念、技术和评价指标方面有高度契合之处。依据对《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2019)以及国内外被动式建筑发展的剖析,全面比较被动式建筑与绿色建筑标准的目标、技术要求以及评价体系。在此基础上,提出被动式建筑与绿色建筑标准的融合途径,涵盖融合评价指标体系构建以及实施流程在设计、施工与运维阶段的设计,同时结合智慧服务与智能化控制技术,探寻可操作的融合策略。研究显示,借助合理的指标整合与技术优化,可在确保建筑性能与舒适性的前提下,达成绿色建筑高等级评价,为建筑节能设计与标准完善给予实践参考。

[关键词]被动式建筑;绿色建筑;标准融合

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18273

中图分类号: TU2

文献标识码: A

Research on the Integration and Application of Passive Building and Green Building Standards

LIU Yalei¹, SU Wei²

1. Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

2. Hebei Polytechnic Institute, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the increasing global energy shortage and environmental pressure, low-carbon development and sustainable practices in the construction industry have become key issues. Passive buildings, with their characteristics of low energy consumption, high comfort, and ecological friendliness, have attracted much attention in the field of energy-efficient buildings. The green building standard provides an evaluation system and regulatory requirements for the entire life cycle of buildings, and the two have a high degree of compatibility in terms of concept, technology, and evaluation indicators. Based on the analysis of the "Green Building Evaluation Standards" (GB/T 50378-2019) and the development of passive buildings at home and abroad, comprehensively compare the objectives, technical requirements, and evaluation systems of passive buildings and green building standards. On this basis, a fusion approach between passive building and green building standards is proposed, covering the construction of a fusion evaluation index system and the design of implementation processes in the design, construction, and operation stages. At the same time, smart services and intelligent control technology are combined to explore feasible fusion strategies. Research shows that with the integration of reasonable indicators and technological optimization, high-level evaluation of green buildings can be achieved while ensuring building performance and comfort, providing practical reference for energy-saving design and standard improvement of buildings.

Keywords: passive buildings; green building; standard integration

引言

建筑行业能源消耗在全球能源总量中的占比不断上升,给环境保护以及可持续发展带来了严峻挑战。在这样的大背景之下,被动式建筑凭借其着重于提升建筑整体能效、对围护结构加以优化以及合理运用自然资源的设计理念,已然成为节能建筑相关研究的一个极为重要的方向。

与之同步,绿色建筑标准作为一种衡量建筑可持续性的关键工具,借助设定贯穿全生命周期的控制项以及评分项,针对建筑的设计环节、施工环节以及运营环节提出了系统化的各项要求,从而为建筑实践给予了规范方面的指导以及标准层面的规定。所以深入研究被动式建筑和绿色建筑标准二者之间的融合情况,能够对推动建筑朝着低碳化方

向发展起到积极作用。本文把被动式建筑的核心技术以及绿色建筑标准的评价体系当作研究的对象,经过系统的对比操作以及细致的分析过程,去探寻两者相互融合所具有的潜力,并且给出具体的融合路径以及实施策略,以此为高性能绿色建筑的设计工作提供相应的参考依据。

1 绿色建筑标准与被动式建筑概述

绿色建筑标准是绿色建筑发展的重要工具,覆盖了建筑的设计施工和运营全过程。基于《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2019)(2024年版)对绿色建筑的标准进行详细阐述。根据建筑的总得分评价等级可分成基本级、一星级(≥60分)、二星级(≥70分)和三星级(≥85分)。绿色建筑标准的评价指标体系涵盖生活便利、健康舒适、安全耐久、资源节约和环境宜居五类指标。打分标准包括控制项和评分项,控制项是绿色建筑评价中必须满足的基本要求,确保建筑的基本安全和使用功能,而评分项则根据建筑在各项指标上的具体表现进行评分,体现建筑在绿色设计和实施上的实际效果。其中针对智慧服务板块对建筑也提出了一定标准要求。智慧服务在建筑评价中占30分,包括BIM技术和智能化服务系统两部分。智能化服务系统包括多种控制功能,如家电、照明、安全等。可根据其应用效果获得10分。借助智慧服务板块所增添的分值,建筑在信息化以及智能化管理层面,其运营效率得以切实提升,这同样有益于达成绿色建筑的高等级评定。就被动式建筑设计来讲,它的低能耗特性、保温隔热功能以及高性能围护结构所具备的技术特点,能够与绿色建筑评价里的节能指标、舒适指标还有资源节约指标直接相对应,进而给实现绿色建筑评价目标给予相应的技术方面的有力支撑。

2 被动式建筑与绿色建筑标准的比较分析

2.1 目标与理念对比

被动式建筑旨在靠优化建筑围护结构、提升气密性以及利用自然能量,达成建筑在采暖、制冷还有通风方面的低能耗运转,与此同时要确保室内环境的舒适度。它的核心理念着重于能量自给自足,尽可能降低对外部能源的依靠,而且重视长期运行的稳定性以及舒适性。反观绿色建筑标准所设定的目标就显得更为宏观了,它不但留意建筑能耗以及室内环境质量,而且还涉及到资源节约、环境保护、健康宜居、社会效益以及智能化管理等诸多方面。绿色建筑标准秉持全生命周期管理的理念,着重强调从设计环节一直到施工阶段再到运营过程的全程可持续性。在对二者理念加以比较的时候,被动式建筑更侧重于技术层面以及能效方面的优化,着重于把建筑物本身的性能推向极

致化程度;而绿色建筑标准则更看重系统的综合性以及评价指标能够实现可量化的达成情况。在融合推进的过程中,两者的理念存在一些共同之处,比如节能、舒适性以及环境友好等方面,不过绿色建筑标准给出了更为完备的评价框架,能够让被动式建筑所具备的技术优势借助标准化的方式得以量化并且获得认证,进而形成可以广泛推广的高性能绿色建筑模式。

2.2 技术与性能要求对比

就技术与性能要求来讲,被动式建筑主要依靠高性能围护结构、三层真空玻璃窗或者低辐射玻璃、优质的保温材料以及严格的气密性设计,以此尽可能降低建筑热损失。借助合理的日照控制、自然通风以及热回收系统,达成建筑在冬季采暖和夏季降温时能耗最小化的目标。这些技术要求着重于建筑物自身的被动调节能力以及整体性能优化,重视细节设计与建造质量。与之相比,绿色建筑标准所涉及的技术与性能要求范围更为广泛,既包含围护结构、节能设备的应用,也涉及水资源管理、材料选择、室内环境质量控制以及智能化服务系统等方面。绿色建筑标准对于建筑性能的评判并非单纯考虑某一指标,而是强调多个指标的综合优化,像室内空气质量、热舒适性、自然采光以及信息化管理水平等。经对比能够看出,被动式建筑在围护结构以及能耗优化方面的高标准设计,为满足绿色建筑标准的技术要求给予了强有力的支撑,而绿色建筑标准的综合性指标又为被动式建筑的技术应用提供了评价与认证的依据,推动单一技术朝着系统性、可量化的方向发展。

2.3 评价指标与评分体系对比

绿色建筑标准所涉及的评价指标体系是由控制项以及评分项共同组成的,其涵盖了生活便捷性、健康舒适性、安全耐久性、资源节约性还有环境宜居性这五大类别。就控制项来讲,建筑务必要满足最基本的安全性方面的要求以及功能层面的要求。至于评分项,它是依据建筑在各项指标实际所呈现出的表现情况来给予相应的分数评定的。那种最高等级的绿色建筑,需要在节能、资源利用以及室内舒适性等诸多方面都达成优异的水准。被动式建筑虽说自身并不会直接给出等级评分,然而它的低能耗特性、优良的保温性能以及较高的气密性是能够直接与绿色建筑标准当中的节能指标以及舒适性指标相对应起来的。除此之外,智慧服务以及智能化控制系统在实际的应用过程当中,是可以通过绿色建筑标准里的评分项来实现加分的效果的,进而促使建筑运营效率得以提升,同时也让信息化管理水平获得增强。通过对评价体系加以对比分析之后能

够发现,被动式建筑在核心技术指标这一方面具备一定的优势,而绿色建筑标准则给出了较为完善的量化评价办法,凭借这种方法能够让被动式建筑技术在等级认证环节中得以充分体现出来,进而达成技术性能和标准评价之间有效的衔接状态。

3 被动式建筑与绿色建筑标准的融合路径

3.1 融合的评价指标体系构建

构建被动式建筑以及绿色建筑标准相融合的评价指标体系时,务必要全面兼顾技术性能、舒适性还有可持续管理这三个不同层面的情况。就技术性能层面来讲,应当把被动式建筑所具备的高性能围护结构相关指标、低能耗采暖制冷系统的有关指标以及气密性设计方面的指标都纳入到绿色建筑节能以及资源利用的评分项目当中,以此来保证建筑物本身所具有的性能能够在标准评价环节里得以充分且清晰地体现出来。从舒适性层面来看,需要综合考量室内温湿度的调控情况、日照的控制状况、自然通风的实际情况以及空气质量的管理事宜,进而把被动式建筑所拥有的被动调节方面的优势很好地映射到绿色建筑的健康舒适性指标里面去,达成对环境质量进行量化评估的目的。在可持续管理层面而言,要把智慧服务以及智能化管理系统也纳入到评分体系之中,借助实时监测手段、数据分析方式以及远程控制技术等,实现建筑在运营阶段的能源优化目标以及管理效率的提升效果。融合评价指标体系在构建的时候,一方面要清楚明确各个指标具体的权重分配情况以及相应的评分方法,另一方面还应当建立起指标之间相互关联的机制,使得技术性能、舒适性以及管理效率等方面所实现的提升能够在标准评价过程中产生出综合性的效应,进而为被动式建筑与绿色建筑标准的融合给予科学合理的依据以及具体的操作框架。

3.2 融合策略的实施流程

3.2.1 设计阶段

在设计阶段,融合策略应当把优化建筑总体能耗以及提升舒适性当作核心要点,要将被动式建筑所秉持的低能耗设计理念同绿色建筑标准里的全生命周期指标紧密地结合起来。具体来讲,在初步设计阶段,需开展能耗模拟以及日照分析相关工作,通过这些分析来确定建筑的朝向、围护结构的厚度、窗墙的比例以及自然采光的具体方案,从而让建筑在冬季采暖以及夏季降温这两个方面都能达成最优的能效状态^[1]。到了详细设计阶段,要依据绿色建筑评分体系中的控制项与评分项来明确各项技术指标在标准评价里所对应的分值,以此保证各个设计方案不仅能够满足被动式建筑性能方面的要求,还能获取到绿色建筑

等级认证所需要的相应评分。在设计阶段还应当对智慧服务以及智能化系统的布置加以规划,比如像 BIM 模型管理、楼宇自动化控制以及能源管理平台这类系统,通过这样的方式来实现设计阶段针对建筑全生命周期管理所做的前瞻性布局安排。

3.2.2 施工阶段

在施工阶段,融合策略的关键点在于要切实保障设计意图得以落实,同时也需确保技术性能能够顺利实现。在整个施工进程当中,务必要严格依照被动式建筑所规定的气密性相关要求、围护结构施工时的精度要求以及绝热材料安装的具体标准来执行各项操作,并且要把绿色建筑标准里的施工控制项充分结合起来,以此展开细致的质量检查工作并做好相应的记录,从而切实保证建筑的结构以及各个系统都能够符合节能方面的要求、舒适度方面的标准以及安全方面的规定。在施工阶段,另外还需对智慧服务系统的预埋事宜以及设备安装情况予以重点关注,这其中包括了传感器的布置安排、远程监控接口的相关设置以及信息化管理平台的集成工作等,如此一来,才能让后续进入运维阶段之后可以顺利达成能耗数据的采集任务以及实现智能调控的目标^[2]。除此之外,在施工的过程里面,应当着手建立起一套质量控制与验收的体系,要把技术指标和标准评分直接关联起来,借助现场的监测手段、抽样检查的操作以及记录备案的工作等方式,进而确保建筑的各项性能以及标准所提出的要求能够在施工这个阶段真正得到有效的验证。

3.2.3 运维阶段

在运维阶段,融合策略的关键点在于借助智能化管理以及持续开展性能优化工作,以此达成对建筑节能情况以及舒适性状况的长期稳固保障。运维阶段应当依靠智慧服务系统,针对建筑的能耗状况、温湿度水平、空气质量状况以及设备运行的实际状态展开实时的监控操作,并且同步开展相关数据的分析处理,进而凭借自动调节手段以及优化策略来削减能耗出现的波动情况,同时提升室内的舒适程度。与此参照绿色建筑标准里的运营评分项目,定期针对建筑的能源利用效率状况、设备运行的具体状况以及管理方面的水平展开评价活动并形成相应的报告,从而确保能够持续符合标准化认证的要求^[3]。在这个过程当中,被动式建筑所具备的低能耗特性以及高性能围护结构给运维阶段提供了技术层面的基础支撑,而智慧服务系统以及标准化管理的方法则切实保证了建筑在长期的运行期间,节能、舒适以及可持续发展的目标都能够得以顺利实现。通过设计阶段、施工阶段以及运维阶段这三个阶段的

系统化实施操作,融合策略是能够有效地将被动式建筑所具有的技术优势同绿色建筑标准评价体系加以整合的,进而达成高性能、低能耗并且实现智能化管理的绿色建筑所设定的目标。

4 结语

本文全面且细致地剖析了被动式建筑以及绿色建筑标准,从理论层面出发,结合实际状况展开深入探讨。经由严谨的比较分析,清晰地呈现出两者在目标理念、技术性能还有评价指标体系等方面所存在的异同情况,同时也挖掘出了它们相互融合的潜在可能性。明确指出,被动式建筑具备的低能耗特性、出色的保温隔热效果以及良好的气密性优势,能够在很大程度上与绿色建筑的节能要求、舒适度考量以及资源利用评分项目形成对应映射关系。在此基础上,提出了融合策略的具体实施办法,涵盖设计阶段、施工环节以及运维时期的各项具体举措,并且着重强调了智慧服务以及智能化管理在整个融合进程当中所

起到的有力支撑作用。后续的研究可以进一步去探寻融合策略在不同气候区域以及各类建筑类型之中的适用性情况,同时也可以深入挖掘新兴智能化控制技术在评价指标优化工作当中的实际应用状况,以此来为推动建筑行业的可持续发展以及高性能建筑的建设事宜不断注入新的动力。

[参考文献]

- [1]方菁.绿色建筑标准与智能建造技术的融合路径[J].绿色建筑与智能建筑,2025(7):94-97.
- [2]姚翔.基于绿色建筑标准的全过程工程咨询应用策略[J].江苏建材,2025(2):135-136.
- [3]羊焯,王长山.被动式超低能耗建筑室内声环境控制标准探讨[J].建筑科学,2021,37(6):186-191.

作者简介:柳亚磊(1990.9—),男,汉族,毕业学校:河北工程大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司;苏薇(1990.8—),女,汉族,毕业学校:内蒙古科技大学,现工作单位:河北工程技术学院。

智能化配电馈线自愈控制策略及其工程应用分析

赵鸿亮

内蒙古电力(集团)有限责任公司锡林郭勒供电公司阿巴嘎旗供电分公司, 内蒙古 锡林郭勒 011400

[摘要]随着智能电网相关技术不断发展, 配电馈线自愈控制因其能提升供电可靠性且可自动完成故障定位、隔离与非故障区域恢复供电, 同时可远程接收控制指令操作开关设备、运维效率, 故在电力系统里所起的作用愈发重要。文中全面剖析智能化配电馈线自愈控制的基本原理, 着重探讨故障检测及定位、通信与信息交互、智能决策与重构算法等关键技术, 还对集中式、分布式以及协同式自愈控制策略展开分类比对。在工程应用层面, 深入探究系统集成与设备兼容性、控制策略适应性与可靠性、信息网络安全保障以及运维管理与标准化建设等关键难题, 并给出相应解决办法。

[关键词]配电馈线; 自愈控制; 智能化; 工程应用; 控制策略

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18293

中图分类号: TM76

文献标识码: A

Intelligent Distribution Feeder Self-healing Control Strategy and Its Engineering Application Analysis

ZHAO Hongliang

Abaga Banner Power Supply Branch, Xilingol Power Supply Company, Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., Ltd., Xilingol, Inner Mongolia, 011400, China

Abstract: With the continuous development of smart grid related technologies, self-healing control of distribution feeders plays an increasingly important role in the power system due to its ability to improve power supply reliability and automatically complete fault location, isolation, and restoration of power supply in non fault areas. At the same time, it can remotely receive control instructions to operate switch equipment and improve operation and maintenance efficiency. The article comprehensively analyzes the basic principles of intelligent distribution feeder self-healing control, focusing on key technologies such as fault detection and location, communication and information exchange, intelligent decision-making and reconstruction algorithms. It also conducts a classification comparison of centralized, distributed, and collaborative self-healing control strategies. At the engineering application level, we will delve into key challenges such as system integration and equipment compatibility, control strategy adaptability and reliability, information network security assurance, and operation and maintenance management and standardization construction, and provide corresponding solutions.

Keywords: distribution feeder; self-healing control; intelligentization; engineering application; control strategy

引言

社会经济的快速发展, 人民生活水平的不断提升, 社会用电负荷的急剧攀升, 对配网供电可靠性提出了更高的要求, 且随着智能电网技术的兴起, 配电馈线自愈控制技术得到了广泛关注, 提高配电馈线自愈成功率, 成为提高配网供电可靠性尤为重要的突破口。与传统的配电馈线故障抢修处理相比, 配电馈线自愈控制技术具有自动感知故障、自动隔离故障、自动恢复非故障区域用电的特点, 不仅减少了供电所抢修的人力, 还大幅缩短了非故障区域的复电时间。因此, 智能化配电馈线自愈控制技术应运而生,

它通过自动检测、定位和隔离故障, 实现供电的快速恢复, 从而显著提升系统韧性。

1 配电馈线自愈控制的基本原理

配电馈线自愈控制指的是当系统出现故障的时候, 借助自动化的方式去实时地检测故障情况、确定故障位置并且将故障区域隔离起来, 与此同时还要迅速地对网络加以重构, 以此来恢复那些没有发生故障区域的供电。它的基本原理是依靠实时数据采集、智能分析以及执行控制这三个环节相互协同来发挥作用。具体来讲, 自愈控制系统会凭借传感器以及监测设备来收集馈线在运行期间的各项

参数,像电流、电压还有频率等等,接着运用特定的算法去识别出异常的状态,进而触发相应的控制动作,比如进行开关的操作或者转移负荷,通过这些举措达成故障隔离以及供电恢复的目的。这个过程不但需要故障检测具备很高的精度,而且要保证控制决策既及时又准确,如此才能把停电的时间以及范围尽可能地缩小。自愈控制最为关键的目标是要提高配电系统的自适应能力以及可靠性,通过削减人工的干预,降低运维方面的成本,并且能够应对高比例可再生能源接入所引发的不确定性情况。在实际的应用过程当中,自愈控制原理得结合配电网络的具体拓扑状况以及运行条件来进行优化处理,比如说在呈现辐射状或者环网结构的情况下,控制策略就得做出调整,以便在安全性与经济性之间找到平衡点。自愈控制的基本原理很好地展现了智能化技术在电力系统当中的深度融合情况,同时也为构建具备韧性的配电网络打下了相应的理论根基。

2 智能化馈线自愈控制关键技术

2.1 故障检测与定位技术

故障检测与定位技术作为自愈控制的根基所在,其准确与否会直接牵动后续控制动作的效率以及可靠程度。现代智能化检测技术往往会把多种数据来源整合起来,像对电流还有电压波形展开分析,再者就是运用行波测距的方法,以此达成快速故障识别的目的。举例来讲,依靠人工智能的算法,能够凭借历史数据来对模型加以训练,进而可实时精准地识别出故障的具体类型以及所处位置,如此一来便能提升检测的精度水平。在故障定位这个层面上,倘若采用分布式测量单元并且结合同步相量技术,那么便能够极为精确地确定故障点的位置,同时也能削减误报出现的风险。这些技术一方面要依靠高精度的传感器,另一方面还得和通信系统紧密地融合在一起,从而保证数据能够实时地完成传输以及处理操作。故障检测与定位技术当下的发展趋势是朝着自适应学习的方向去演进的,借助持续不断地对算法予以优化的方式,去契合网络所发生的动态变化情况,进而促使系统的整体鲁棒性得以提升。

2.2 通信与信息交互技术

通信以及信息交互技术给自愈控制开辟了数据传输以及共享的途径,其对于达成快速响应还有协同决策而言,乃是极为关键的支撑所在。在现代的配电系统当中,常用的通信方式涵盖了光纤通信、无线网络以及电力线载波等等,这些不同的通信方式各自都具备着不一样的带宽、延迟还有可靠性方面的特性。就好比说,光纤通信比较适合那种对可靠性有着较高要求的场景,反观无线网络,则是更易于在那些地处偏远的区域去进行部署^[1]。信息交互技

术牵涉到数据协议以及接口的标准化事宜,要保证不同设备之间能够实现无缝的连接,比如可以采用 IEC61850 标准来达成互操作性的目标。这些相关技术不但能够对实时数据交换给予支持,而且还推动了控制中心和现场设备之间的协同配合,进而促使自愈控制的整体效率得以提升。

2.3 智能决策与重构算法

智能决策以及重构算法在自愈控制当中占据着极为关键的地位。它会依据实时获取的数据以及预先设定好的规则来生成最为理想的控制策略,进而达成故障得以恢复以及网络完成重构的目的。就常用的算法而言,其中包含了启发式搜索、模糊逻辑还有机器学习等多种类型。比如说,遗传算法便能够用来对开关操作的序列加以优化,以此使停电的范围尽可能地缩小。而重构算法更多地着眼于网络拓扑方面的调整工作,在出现故障之后能够迅速恢复供电,并且在这一过程中还会充分考虑到负荷是否平衡以及设备是否存在约束等因素。这些算法一方面需要有高效的计算能力作为支撑,另一方面还得具备自适应的特性,这样才能更好地去应对网络运行状态所发生的各种变化。智能决策过程要得以实现,离不开高性能的计算平台以及数据库。借助模拟以及预测的方式,可以对不同的控制方案所产生的效果展开评估,最终从中挑选出最优的那个解决方案。

3 自愈控制策略分类与实现方式

3.1 集中式自愈控制策略

集中式自愈控制策略依靠中央控制单元来做全局性的决策工作,其会去收集整个网络的数据,并且统一制定出故障处理以及重构方面的方案。此策略一般会采用像优化模型或者专家系统这类高级算法,以此达成整体上的最优控制效果。集中式控制有能够对资源进行全面协调这样的优势,可以避免出现局部决策相互冲突的情况,它比较适用于结构相对复杂的配电网络。不过,要实现集中式控制得具备高速的通信条件以及强大的计算能力,而且对于中心节点有着较高的依赖程度,要是中心节点出了问题导致失效,那么很可能会致使整个系统陷入瘫痪状态。在实际的应用场景当中,集中式策略往往会和 SCADA 系统相结合,借助实时的监控以及数据管理操作,进而提升控制的精度。

3.2 分布式自愈控制策略

分布式自愈控制策略把决策权交给本地设备,像智能开关或者继电器这类设备,借助局部的信息交流来达成自主故障处理的目的。该策略是以多代理系统或者分布式算法作为基础的,各个节点各自独立地去执行检测以及控制

方面的动作,如此一来就能够降低对中央单元的依赖程度。分布式控制有诸多优点,比如响应速度比较快,容错能力也很强,特别适合那种拓扑结构时常发生变化的配电网络。比如说,在馈线的末端安排智能终端,能够迅速地对故障进行隔离并且恢复供电,不需要等到中心发出指令。不过,分布式策略有可能会碰到协调方面的问题,像是局部决策出现冲突或者是信息存在不一致的情况,所以得要设计一致性协议来保证全局能够实现优化。

3.3 协同式自愈控制策略

协同式自愈控制策略融合了集中式以及分布式所具备的优点,凭借分层架构达成全局决策与局部决策之间的协同配合,在此策略之下,上层控制中心承担着宏观层面的优化以及协调方面的工作,而下层设备则负责执行快速的局部动作,进而形成了一种颇为高效的分工模式。协同式控制可灵活地去适应网络方面的变化,就好比在故障出现的时候,本地设备会先行开展初步的处理工作,随后再由中心来对策略加以验证并做出相应的调整。这种方式的优势体现在提升了系统的自适应能力以及可靠性,与此还使得通信负担得以降低^[2]。要实现协同式策略,需要明确界定清晰的接口与协议,以此来保证各层级之间信息能够顺畅地进行交换。在实际的工程应用当中,协同式控制已然成为研究领域的热点所在,原因就在于它能够有效地去应对高渗透率分布式能源所带来的种种挑战。

3.4 策略比较与应用场景分析

对于不同自愈控制策略展开比较的情况来看,集中式策略在结构较为稳定且资源相对集中的大型网络当中是适用的,然而分布式策略相较于前者而言,其更适合那种拓扑呈现出灵活性并且还要求能够快速做出响应的场景。协同式策略在复杂的环境之下表现得颇为突出,它可达成对全局优化以及局部自主性之间的平衡状态。经过对应用场景加以分析可以发现,在 urban 配电系统里,集中式策略凭借中心监控这一方式能够达成高效的管理效果;而在 rural 或者分布式能源有着高渗透程度的区域,分布式策略就更容易去部署实施了。协同式策略是适用于混合网络的,就好比多微网互联系统这类情况,其中需要同时兼顾到协调方面的需求以及独立性的要求。在选择策略的时候,需要综合地去考量网络的规模、通信的具体条件还有经济方面的诸多因素,比如说集中式策略或许就需要投入较高的资金,而分布式策略则更加侧重于设备智能化的成本方面。

4 工程应用中的关键问题与对策

4.1 系统集成与设备兼容性

系统集成以及设备兼容性在自愈控制工程的应用方

面,称得上是首要面临的挑战,这涉及到不同厂商所生产的设备以及各个子系统之间的相互连通。就好比传统配电设备有可能并不支持现代的通信协议,如此一来便会出现集成方面的诸多困难,最终也对控制效率产生了影响。要解决这样的问题,可采取的对策像是积极推动标准化接口以及开放架构的落实,比如采用通用数据模型来促使设备能够实现互操作。并且在系统设计的阶段当中,需要开展兼容性测试以及模拟工作,以此来识别出潜在存在的冲突并进而对集成方案加以优化。借助引入中间件或者适配器的方式,可以起到桥接新旧系统的作用,这样也能在一定程度上减少升级所需的成本。

4.2 控制策略的适应性与可靠性

控制策略所具备的适应性以及可靠性,这两者与自愈系统在实际运行时的性能有着极为密切的关系。就好比说,在出现负荷波动或者环境发生变化的情况下,控制策略得能够依据实际情况动态地做出调整,唯有如此才能够维持其应有的有效性。而适应性方面存在的问题,具体表现出来的状况像是算法变得僵化不动或者响应速度出现延迟等情况,这些情况很可能会致使故障处理最终以失败告终。为了促使适应性得以提升,可以考虑去采用在线学习的方式以及自适应算法,比如说强化学习模型,凭借实时获取的数据来对控制参数加以优化^[3]。在可靠性这个层面上来讲,那就需要借助冗余设计以及故障树分析这两种手段,以此来对策略的鲁棒性展开评估,并且要制定出相应的备份方案。举例而言,在一些关键的节点处去部署多个控制单元,从而防止出现因单个控制单元失效而导致整个系统出现问题的情况。

4.3 信息网络安全保障

信息网络安全保障对于自愈控制系统而言极为关键,若遭遇网络攻击或者出现数据泄露等情况,极有可能致使控制功能失灵,甚至引发系统彻底崩溃。就好比恶意入侵行为,其很可能会对故障数据加以篡改,又或者是触发误操作,进而对供电安全形成严重威胁。就对策来讲,需要去构建起多层次的防御体系,把加密技术、访问控制以及入侵检测等手段综合起来运用,以此来保障数据在传输以及存储过程中的安全状况。与此还得定期开展安全审计工作,并且对存在的漏洞予以修补,以此提升系统抵御攻击的能力。在工程部署方面,网络安全应当融入到系统的整个生命周期当中,在从设计环节一直到运维阶段的全过程都要实施严格管控,比如可以采用零信任架构的方式,以此来降低内部所存在的风险。员工培训以及应急预案同样属于保障网络安全的重要环节,其能够在面对潜在威胁时

及时做出应对措施。

4.4 运维管理与标准化建设

运维管理以及标准化建设乃是自愈控制工程得以持续发展的重要根基,这其中涵盖了日常维护工作、针对性的监测事宜以及规范方面的制定等内容。就运维管理而言,存在着诸如设备出现老化情况、数据管理呈现出一片混乱状况以及相关人员技能有所欠缺等一系列问题,而这些问题很可能对系统的长期稳定运行造成不利影响。对于这些运维管理方面的问题,相应的对策涉及到建立起智能化的运维平台,借助大数据以及预测性维护手段,从而能够提前对设备潜在的隐患予以识别^[4]。至于标准化建设,则需要着力去推动行业规范朝着统一的方向发展,比如要制定有关自愈控制技术的标准以及测试流程,以此来促使设备实现互操作并且让系统达成兼容状态。

5 结束语

本文全面且细致地探讨了智能化配电馈线自愈控制策略以及该策略在实际工程当中的应用情况,对其基本原理、关键技术以及不同分类都进行了深入分析,并且针对在工程实施过程中所遇到的问题给出了相应的解决办法。研究得出,自愈控制技术借助智能化以及自动化的相关手段,使得配电系统的可靠性以及恢复能力都得到了较为明显的提升,在这其中,协同式策略更是展现

出了颇为突出的应用潜力。不过在工程的实际应用环节当中,依旧面临着像集成兼容性方面、策略适应性方面、网络安全以及运维管理等诸多方面的诸多挑战,需要依靠多种技术相互融合以及推动标准化进程来予以解决。未来的研究应当着重关注人工智能和自愈控制的深度融合,同时也需要着力于能够适应高比例可再生能源的全新策略开发工作。并且在工程实践方面,还需要进一步强化测试验证以及人才培养等相关工作,以此来促使该技术得以广泛应用。

[参考文献]

- [1]陈光.配电自动化技术在智能电网中的应用[J].电力设备管理,2025(6):59-61.
- [2]张寒.输配电及用电工程中的自动化运行技术与智能化研究[J].中国宽带,2024,20(11):100-102.
- [3]陶毅刚,谭靖,黎敏,等.基于改进多智能体系统的分布式配电网自愈方法[J].自动化与仪器仪表,2024(10):106-109.
- [4]金泰.智能配电自动化系统中的自愈控制技术分析[J].光源与照明,2024(6):144-146.

作者简介:赵鸿亮(1973.8—),男,阿巴嘎旗,汉族,本科,工程师,就职于内蒙古锡林郭勒盟阿巴嘎旗供电公司,从事电力系统配电自动化方面的工作。

手工电弧焊焊接线能量远程智能监测技术研究

李滢博¹ 吉章红¹ 田亚团¹ 向安² 来园凯^{2*}

1.中石化工程质量监测有限公司,北京 102500

2.天津舜捷安科技有限公司,天津 300111

[摘要]文章主要介绍了手工电弧焊“焊接线能量远程智能监测”技术研究情况。通过设置每一台手工电焊机对应的本地监测主机盒,用来收集电焊机对应的焊接线能量数据,并由监测主机内置的4G传输模块发送到远程服务器中。多个不同位置或地区的手工焊的本地监测主机,与远程服务器进行匹配和传输。远程服务器中预设好焊接线能量阈值范围,当某个手工电焊机反馈过来的焊接线能量不在合理阈值内,则远程服务器进行报警,并传远程给对应的本地监测主机中,利用声光对现场人员进行提醒。经实验验证,该方法可以有效提高手工焊的焊接质量,并通过大数据分析,可以对诸多省区及不同位置的焊接行为进行汇总和研判。

[关键词]焊接速度;焊接线能量;远程智能监测;手工电弧焊

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18291

中图分类号: TG456.7

文献标识码: A

Research on Remote Intelligent Monitoring Technology for Welding Wire Energy in Manual Arc Welding

LI Yingbo¹, JI Zhanghong¹, TIAN Yatuan¹, XIANG An², LAI Yuankai^{2*}

1. Sinopec Engineering Quality Monitoring Co., Ltd., Beijing, 102500, China

2. Tianjin Shunjiean Technology Co., Ltd., Tianjin, 300111, China

Abstract: The article mainly introduces the research status of "remote intelligent monitoring of welding line energy" technology for manual arc welding. By setting up a local monitoring host box for each manual welding machine, energy data of the welding line corresponding to the welding machine can be collected and sent to a remote server through the built-in 4G transmission module of the monitoring host. Local monitoring hosts for manual welding in multiple different locations or regions, matched and transmitted with remote servers. The energy threshold range of the welding line is pre-set in the remote server. When the welding line energy feedback from a manual welding machine is not within the reasonable threshold, the remote server will sound an alarm and transmit it to the corresponding local monitoring host remotely, using sound and light to remind on-site personnel. Through experimental verification, this method can effectively improve the welding quality of manual welding, and through big data analysis, it can summarize and judge the welding behavior of many provinces and different locations.

Keywords: welding speed; welding line energy; remote intelligent monitoring; manual arc welding

引言

在石油、石化以及一些特殊化工行业中,某些特殊或关键部位部件必须使用手工电弧焊。焊接线能量,是影响手工电弧焊焊接接头性能的重要因素。由焊接线能量公式 $Q=UI/v$ 可知,焊接线能量与电弧电压、焊接电流以及焊接速度有关。焊接电流和电压比较容易获得,而焊接速度通常采用人工测量来估算焊接速度,该方法测量误差大、实时性差、费时、费力。因此,实现焊接速度的在线智能监测,非常利于焊接操作人员设置调整合适的焊接参数

(主要是电弧焊接速度的科学有效控制),提高焊接质量。

随着信息技术发展,各种新型通信手段不断涌出。在焊接参数远程智能监测领域,可供选择的通信方式也越来越多。可以在电焊机对应的本地监测主机中部内嵌4G/5G模块,利用SIM卡,把焊接线能量等多个监测数据的在线远程传输到服务器中。服务器数据库对上述监测数据进行存储和分析,对异常数据进行实时报警(预设好焊接线能量的阈值范围),远程提醒相对应电焊机旁特定IP地址的监测主机,本地监测主机上予以声光报警提醒手工焊接

的工作人员。当然，本地监测主机也可以线下进行监测和预警。

1 远程智能监测系统的组成

每一台重点目标电焊机，必须对应一个固定 IP 地址的本地监测主机盒。本地监测主机盒将所收集的焊接目标参数数据（GPS 地址数据、开关机信号、焊接电流数据、焊接电压数据、焊接速度数据、汇总计算的焊接线能量数据），通过本地监测主机盒内部的 4G/5G 模块，实时传输到远端的服务器（云服务器或业主指定服务器）中，服务器具有数据存储、分析、预警等功能。

手工电弧焊焊接参数远程监测系统（服务器软件已经布置好）的主要功能模块包括：基础信息管理系统、焊接信息存储与实时分析系统、焊接参数统计及分析系统、异常信号报警及反馈系统等。该系统可以对接收到的焊接信号进行实时分析，对所有采集到的焊接信号进行存储、统计分析及展示，对异常信号进行报警并反馈给现场技术人员（在系统主机盒中通过声光提醒），对焊机及操作人员的基础信息进行管理等。手工电弧焊焊接参数远程监测系统框架示意图详见图 1 所示。

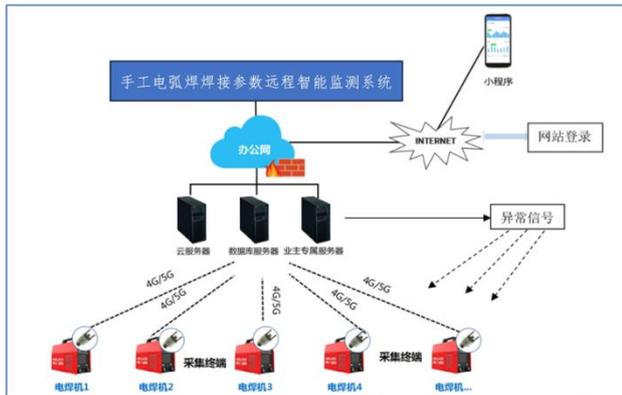


图 1 手工电弧焊焊接参数远程智能监测系统框架示意图

1.1 焊接电流和焊接电压的监测

手工电弧焊的焊接电流、焊接电压监测，使用市面上非常成熟的电压霍尔传感器。本项目使用卡环式闭环霍尔传感器。该传感器的 485 信号，通过线缆传输给监测主机。

需要特殊说明的是：焊接电压的动态监测，需要在焊把和工件之间测量动态电压值，因此传感器会随着焊把不断移动，可能对焊接工作造成严重干扰。这种动态取值在实施过程给焊接操作者造成不便，因此采用另外一种间接计算焊接电压的方式。即：使用测量到的焊接电流 I ，来间接计算焊接电压 $V(V=20+0.04I)$ 。这种方式对于高空、特殊位置等手工焊的在线监测也可以较大程度的适应。

1.2 焊接速度的监测

和焊接电流、焊接电压监测相比较，手工电弧焊焊接速度监测则较为困难。对于全自动焊接来讲，焊接速度通过编码器可以测得，而对于传统的手工焊接，并没有专门的、非常灵敏、有效的传感器直接检测其焊接速度。本文使用一种光电管测量技术（广义上是一种光栅传感器），来进行焊接速度的实时动态监测。传感器铺设吸附在焊道旁，电弧光经过等距离的光电管时，系统会自动测量出焊接速度。

如图 2 所示，手工焊接过程中当电弧移动到 AA'位置时，1 号光电管接收弧光并导通，输出脉冲；当电弧位于 A'B'位置时，弧光受到遮光管的阻挡不会触发任何一个光电器件；当电弧位于 BB'位置时，2 号光电管接收弧光并导通输出脉冲。随着焊枪的移动，遮光管内的光电器件依次被触发，产生一系列脉冲信号，通过后续处理电路的调理整形后得到一组规则的矩形波，将这一规则的矩形波输入单片机计算，得出实时焊接速度。图 3 为焊接速度传感器结构示意图。

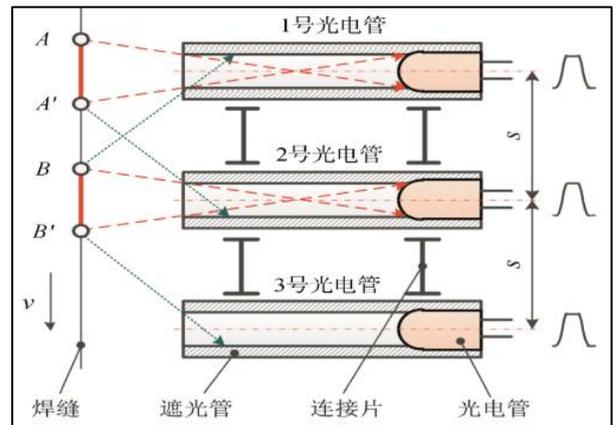


图 2 手工电弧焊焊接速度传感器原理图

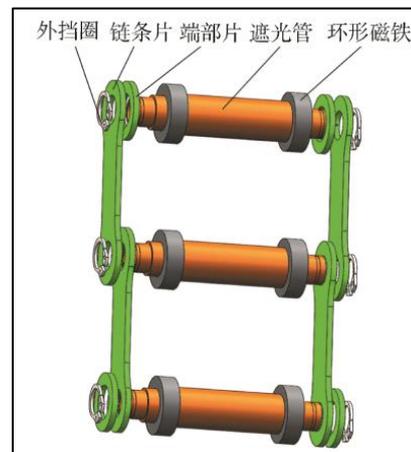


图 3 焊接速度传感器结构示意图

随着弧光的移动,弧光捕捉机构输出一组缓升缓降的波形,这样的波形不利于单片机进行处理,需设计整形电路将缓升缓降的波形调理成陡升陡降的脉冲波形,单片机通过捕获输入信号上升沿进行定时,经电路处理后的波形变化则容易进行处理和分析。

1.3 本地监测主机

每个要进行监测的目标电焊机,均要配置一个单独IP地址的本地监测主机,各传感器得到的监测参数,通过线缆传输到本地监测主机内。

本地监测主机通过内部功能模块,汇总所有收集到的手工电弧焊的监测参数,包括:GPS位置地址、开关机信号、焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊接线能量(综合计算量)这五个关键数据,通过4G/5G无线方式,传输到远端中心服务器中。本地监测主机的功能结构图如图4所示。

1.4 系统服务器

手工电弧焊焊接参数远程监测系统(服务器软件布置)

的主要功能模块包括:基础信息管理系统、焊接信息存储与实时分析系统、焊接参数统计及分析系统、异常信号报警及反馈系统等。服务器系统可以对接收到的焊接信号进行实时分析,对所有采集到的焊接信号进行存储、统计分析 & 展示,对异常信号进行报警并反馈给现场技术人员(通过声光在系统主机中提醒),对焊机及操作人员的基础信息进行管理。

2 本地监测主机的硬件和软件设计

针对焊机速度传感器、焊接电压传感器和焊接电路传感器(焊接速度V、焊接电压U、焊接电流I)进行电路设计,具体电路示意图和PCB板电路设计图见图5和图6所示。

使用MySQL数据库工具,对下位机(本地监测主机)上传监测数据进行存储,并测试了两个时间段、两台机器的模拟数据。模拟数据见图7所示,网站登录后显示界面见图8所示。

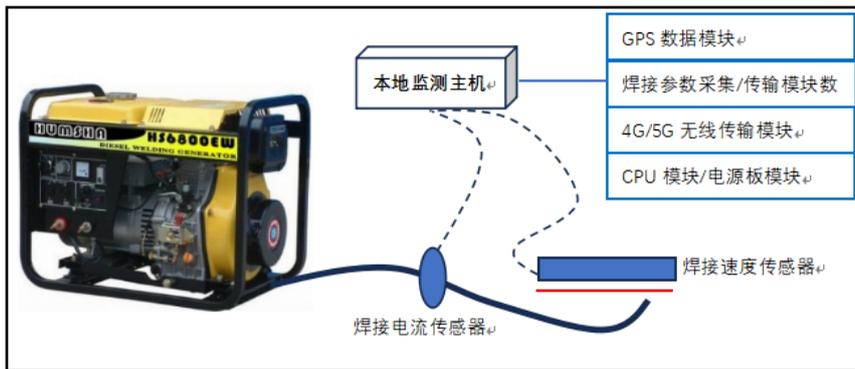


图4 本地监测主机功能结构示意图

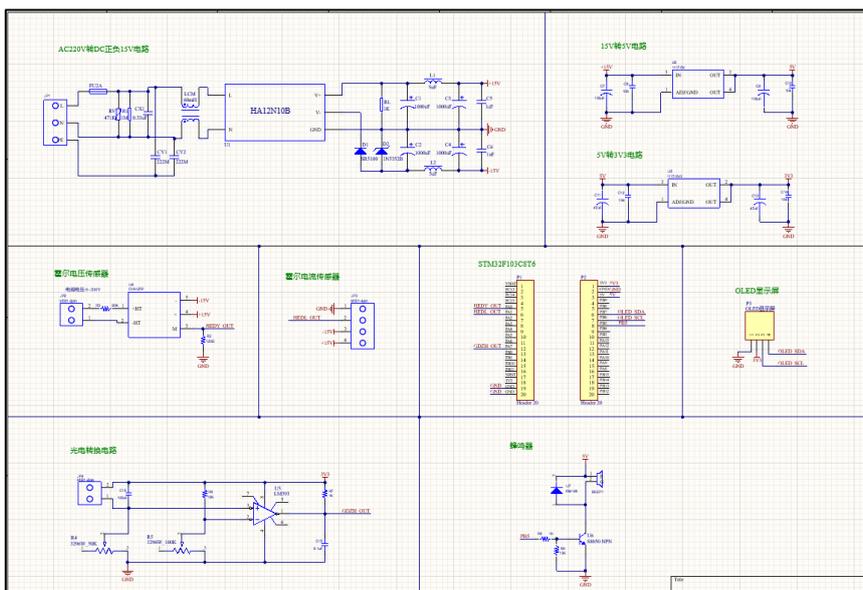


图5 本地监测主机电路设计图

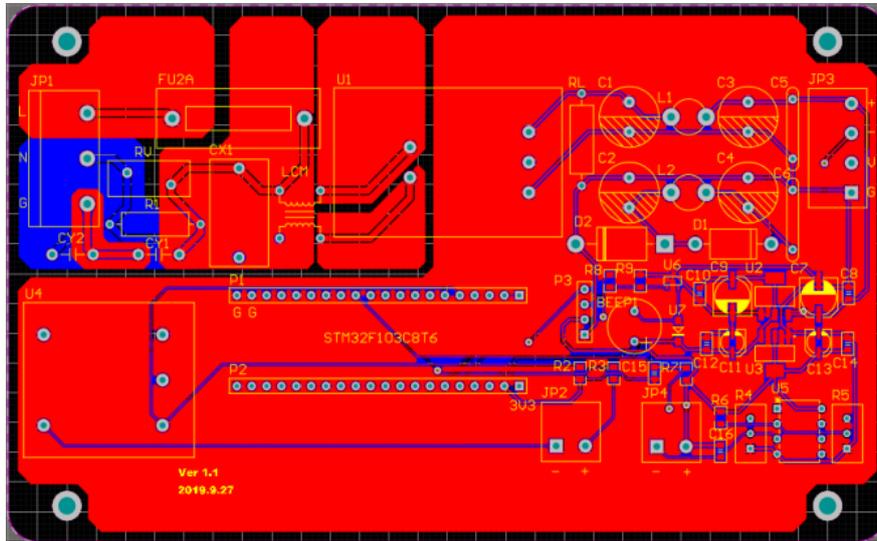


图 6 本地监测主机 PCB 板电路设计图

```
mysql> select * from data;
```

id	timeflag	current	voltage	speed	energy	GPS	IP	sig
1	2024-02-17 09:00:00	342	64	63	14	GPS1	IP1	0
2	2024-02-17 09:00:01	406	50	69	15	GPS1	IP1	0
3	2024-02-17 09:00:02	314	89	16	28	GPS1	IP1	0
4	2024-02-17 09:00:03	479	9	50	1	GPS1	IP1	0
5	2024-02-17 09:00:04	92	68	71	20	GPS1	IP1	0
6	2024-02-17 09:00:05	81	24	80	22	GPS1	IP1	0
7	2024-02-17 09:00:06	23	12	99	12	GPS1	IP1	0
8	2024-02-17 09:00:07	213	44	88	22	GPS1	IP1	0
9	2024-02-17 09:00:08	34	85	40	1	GPS1	IP1	0
10	2024-02-17 09:00:09	328	68	35	12	GPS1	IP1	0
11	2024-02-17 09:00:10	177	55	50	12	GPS1	IP1	0
12	2024-02-17 09:00:11	292	4	49	12	GPS1	IP1	0
13	2024-02-17 09:00:12	392	56	42	22	GPS1	IP1	0
14	2024-02-17 09:00:13	257	52	10	7	GPS1	IP1	0
15	2024-02-17 09:00:14	141	9	93	9	GPS1	IP1	0
16	2024-02-17 09:00:15	282	37	64	20	GPS1	IP1	0
17	2024-02-17 09:00:16	205	89	10	16	GPS1	IP1	0
18	2024-02-17 09:00:17	167	78	45	2	GPS1	IP1	0
19	2024-02-17 09:00:18	428	15	99	16	GPS1	IP1	0
20	2024-02-17 09:00:19	167	46	93	19	GPS1	IP1	0
21	2024-02-17 09:00:20	100	97	32	1	GPS1	IP1	0

图 7 模拟数据

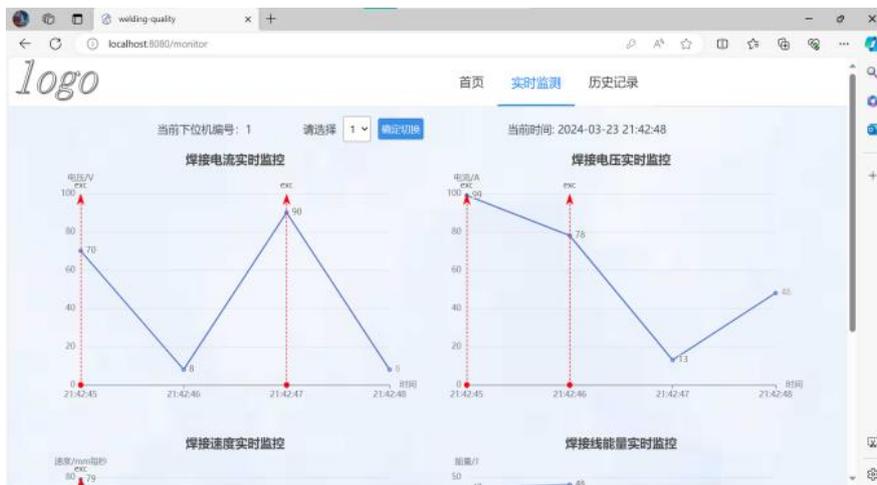


图 8 网站登录后的显示界面

3 系统测试

3.1 理想状态下焊接测试（基础研发）

常规理想测试环境指的是弧光捕获机构平行置于待焊母材（焊道）120mm 前，并保证电弧与光敏三极管处于同一水平面上。这种常规理想测试的目的是研究技术的可行性，并在前期尽量减少技术开发过程的干扰，如图 9 所示。为屏蔽焊接环境中电磁干扰对测试结果的影响，将现场采集端设备放入金属制成的实验盒中，并引出电源线接入市电，引出各传感器输入端与焊机的输出端连接，通过触摸屏记录焊接过程中的实时值。

采用型号为 YD-400AT3HV 松下直流手工焊机进行 SMAW 焊接实验，焊接工艺参数如表 1 所示。

表 1 焊接实验的工艺参数

工艺参数	实验参数	工艺参数	实验参数
焊接母材	Q235	焊接电流 (A)	140
焊条牌号	E4303	焊接电压 (V)	27
焊芯直径 (mm)	2.5	焊缝长度 (mm)	250

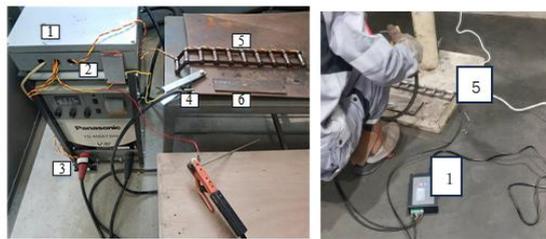
预设焊接的焊缝长度为 250mm，由弧光捕捉机构的相邻两个光敏三极管的间距为 40mm，在一条焊缝长度方

向采集 6 组数据。在每次触摸屏上焊接速度显示值变化时，记录下一组数据，同时读取电流表显示的焊接电流值和电压表显示的电弧电压值，并在监测客户端查询采集的数据。具体测试数据见表 2 所示。

由表 2 可知，数据远程传输稳定、可靠。焊接电流的检测值与焊机设定值偏差不大，电弧电压由于焊接过程中弧长的变化具有较大浮动；焊接线能量的波动范围适宜，基本满足焊接工艺要求；系统自动监测的焊接速度和人工计算（设定距离和秒表掐时）结果非常接近。

3.2 带坡口板材和管道的焊接测试（应用改进）

手工焊实际应用中几乎全部是在坡口条件下完成焊接。焊条无论是在在板材、或在管道的坡口中移动时，电弧光由于受到坡口阻挡，会导致弧光捕捉机构无法得到必要的弧光强度，继而无法输出正常波形和监测焊接速度。为了解决这个坡口挡光问题，且该焊接速度传感器既要适用于平板坡口，也能适用与管道破口，则需要原传感器基础上改进其结构。主要思路是：（1）保留链条结构，使其能适用板材也能适用管道曲率；（2）弧光捕捉机构斜置在链条上，并保留一定倾角，使之斜对着坡口。具体照片如下：



1-实验盒；2-触摸屏；3-霍尔电流传感器；4-电弧电压采集端；5-弧光捕捉机构；6-母材

图 9 焊接现场测试环境照片和人工测试照片

表 2 单焊缝显示数据和人工测量焊接速度数据对比

序号	焊接参数	监测 1	监测 2	监测 3	监测 4	监测 5	监测 6
1	焊接电路 I (A)	141.8	139.4	139.5	141.5	140.7	141.3
2	焊接电压 U (V)	29.4	27.3	25.6	26.2	24.1	28.8
3	监测平均 V (mm/s)	3.7	3.9	3.8	3.7	3.5	3.8
4	线能量 Q (J/mm)	1126.7	975.8	939.8	1001.9	968.8	1070.9
5	人工计算 V (mm/s)	3.8	4.1	3.8	3.8	3.6	4.0



适用于板材和管道破口的焊接速度传感器结构 适用于管道坡口 适用于板材坡口

图 10 焊接速度传感器改造及适用管道和板材坡口照

焊接的焊缝长度约为 400mm，弧光捕捉机构的相邻两个光敏三极管的间距为 40mm，在一条焊缝长度方向采集 1 组数据。具体测试数据见表 3 所示。

表 3 坡口焊缝测试数据和人工测量焊接速度数据对比

序号	焊接参数	管道坡口监测 1	板材坡口监测 2
1	焊接电路 I (A)	75.0	140.2
2	焊接电压 U (V)	23.0	25.6
3	监测平均 V (mm/s)	3.8	4.2
4	线能量 Q (J/mm)	453.9	853.3
5	人工计算 V (mm/s)	4.0	4.1

4 结束语

本文针对手工电弧焊焊接线能量远程智能监测，设计了焊接电流监测、电压监测和焊接速度监测的传感器设备，以及收集汇总这三个参数的本地监测主机。多个本地监测主机，把收集到的三个参数及计算得到的焊接线能量参数、本地 GPS 参数、开机状态参数等，通过 4/5G 无线模块，多点远程传输到服务器中。远程服务器可以对收集的焊接线能量进行判断，并对远端的监测主机进行预警和提醒。用户可以访问对应的网站，查看分析出现异常的电焊机参数情况，并通过大数据对诸多地区或人员进行类比和统计

分析，为整体性提高焊接质量提高技术性支持。

[参考文献]

- [1]范越.手工焊焊接速度在线检测技术研究[J].电焊机,2022,52(9):81-85.
 - [2]庞力.电焊机电压电流参数在线式采集系统设计[J].船电技术,2018,38(11):56-58.
 - [3]李铁良,王军,张建勋,裴怡.手弧焊焊接速度测试装置研究[J].焊接技术,2000,12(6):26-27.
 - [4]陈志远,傅强,朱雅琼,等.全位置手工焊接线能量在线检测技术研究[J].电焊机,2020,50(3):24-27.
 - [5]宋学平,李光植,李来军.高职“职业素质本位”无损检测技术专业课程体系建构与实践[J].无损检测,2016,38(12):68-73.
 - [6]傅强,陈志远,朱雅琼,等.手工焊接速度检测设备[Z].中国:201910166910.X
- 作者简介：李滢博（1999.2—），毕业院校：北京石油化工学院，所学专业：能源与动力工程，当前就职单位：中石化工程质量监测有限公司，职务：科研助理，职称级别：助理工程师。

基于无人机的大型铁塔阵列智能化巡护应用技术

尹训锋

北京房山区拱辰大街, 北京 102401

[摘要]大型铁塔阵列及其附属设备作为通信、电力等领域的基础设施,其状态直接决定系统功能的稳定性与可靠性。铁塔阵列传统人工巡护模式存在效率低下、安全风险高、检测精度不足等问题,难以满足复杂场景下的运维保障需求。无人机技术凭借其机动灵活、覆盖范围可变、搭载载荷广泛等优势,能为大型铁塔阵列巡护提供支撑。文中介绍了针对铁塔阵列的无人机巡护系统组成,提出了实现流程路径,介绍了关键技术,对基于无人机解决大型铁塔阵列的日常巡查、重点巡护、故障定位以及安全监测等提供参考。

[关键词]无人机; 大型铁塔阵列; 任务规划; 故障识别

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18299

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

Intelligent Patrol Application Technology for Large Iron Tower Array Based on Drones

YIN Xunfeng

Beijing Fangshan District Gongchen Street, Beijing, 102401, China

Abstract: As the infrastructure of communication, power and other fields, the status of large iron tower arrays and their ancillary equipment directly determines the stability and reliability of system functions. The traditional manual patrol mode of the iron tower array has problems such as low efficiency, high safety risks, and insufficient detection accuracy, which are difficult to meet the maintenance and support needs in complex scenarios. Drone technology, with its advantages of maneuverability, variable coverage, and wide payload capacity, can provide support for large-scale tower array patrols. The article introduces the composition of a drone patrol system for iron tower arrays, proposes the implementation process path, introduces key technologies, and provides reference for solving daily patrols, key patrols, fault location, and safety monitoring of large iron tower arrays based on drones.

Keywords: drones; large iron tower array; task planning; fault identification

引言

大型铁塔阵列通常包含多类型、高复杂度的电力或天线阵列及配套设施,无论铁塔阵列构成何种设施,其结构完整性、姿态准确性及信号传输性能都需要持续监测巡护。传统巡护模式依赖人工攀爬、仪器手持测量等,但大型铁塔阵列通常占地面积广,地表植被及地形地貌复杂,耕地农作物受季节限制,巡护周期长、视野窄,存在死角,人工主观判断易导致螺丝松动、部件形变等细微缺陷的漏检,且容易出现意外事故和人力资源浪费。此外,人工巡护还存在踩踏农作物等纠纷隐患问题。研究采用无人技术手段进行大型铁塔阵列的巡查巡护具有事半功倍的效果。无人机是一种新兴的高科技手段,在通信、电力等领域的应用已形成规模化效应,和传统的人工巡视相比,具有人力占用少,巡视效率高,不受地形环境限制等优点。

1 无人机巡护系统组成

无人机巡护系统由无人机平台、传感器与载荷系统、通信与控制系统、数据处理与分析系统组成,各系统协同工作,实现大型铁塔阵列的自动化巡护和智能化数据分析处理。

1.1 无人机平台

无人机平台是巡护系统的核心载体,需根据铁塔阵列的地形特点与巡护需求选择合适类型,对于铁塔阵列相对集中分布的区域,通常选择多旋翼无人机。多旋翼无人机具有悬停能力强、操作灵活的优势,适用于铁塔阵列的近距精细检测,可搭载高清摄像头检查铁塔及附属设备表面缺陷,多旋翼无人机电重通常在 0.5~5kg,续航时间 20~40min。多旋翼无人机核心组件包括机身、动力系统与飞控系统。动力系统由电机、螺旋桨和电调组成,飞控系统通常集成惯性测量单元(IMU)、GPS/北斗模块等,

为精准巡护提供区域保障。

1.2 传感器与载荷系统

传感器用于无人机巡护系统获取环境与设备信息,需根据巡护任务进行针对性配置。光学摄像头是基础载荷,分辨率从 1080p 至 8K 不等,搭配 10~30 倍光学变焦镜头,可远距离捕捉铁塔螺丝松动、线路磨损等细节。热成像仪通过检测设备热量分布,能发现铁塔附属馈线接触不良导致的过热问题。激光雷达则用于铁塔结构的三维建模,生成厘米级精度的点云数据,点云密度超过 100 点/m²,可精准检测铁塔及附属设施的形变情况。为确保数据采集的稳定性,传感器需通过三轴稳定云台搭载,可抵御飞行中的振动与风扰。同时,载荷系统配备不同容量的存储模块与实时传输单元,实现数据的本地保存与远程上传。

1.3 通信与控制系统

通信与控制系统用于无人机与地面站之间的指令传输与数据交互,近距离巡护多采用 2.4GHz/5.8GHz 无线电链路,对于超视距巡护,可通过 4G/5G 蜂窝网络实现通信,延迟小于 20ms,带宽超过 100Mbps,满足 4K 视频的实时传输需求。在偏远或信号遮挡区域,卫星通信模块可提供全球覆盖,解决通信盲区问题。地面控制站由硬件设备与软件系统组成,硬件包括遥控器、平板电脑或专用控制台,软件支持航线规划、飞行状态监控、数据实时显示等功能。无人机通信过程通常采用加密与身份认证技术,防止数据拦截与无人机劫持,保障系统安全。

1.4 数据处理与分析系统

数据处理与分析系统部署于地面站后台,用于对传感器采集的图像、点云等数据进行处理,提取有效信息并生成巡护报告。该系统集成图像预处理、特征提取、缺陷识别等功能模块,通过计算机视觉库实现边缘检测与目标定位,结合机器学习算法对铁塔方位角偏差、部件破损等缺陷进行自动识别。激光雷达点云数据,采用三维重建算法生成铁塔结构模型,与标准模型对比实现形变检测。处理后的结果以可视化图表形式呈现,便于巡护人员快速定位问题并制定处置方案。

2 无人机巡护系统任务功能及实现流程

2.1 无人机巡护系统的任务功能

铁塔阵列无人机巡护系统主要任务包括状态监测、安全隐患排查、性能参数评估等,具体实现功能如下。

2.1.1 结构功能性检测

采用无人机搭载高清摄像头和激光雷达等载荷对铁塔线路及杆塔的异物、断股、松股、绝缘子、拉环、间隔棒等进行高清可见光影像采集,从多角度采集铁塔结构数

据,利用三维建模与图像比对技术,识别超出阈值的结构形变。

2.1.2 运行参数校准

铁塔及附属设备的运行参数直接决定通信质量,传统人工测量易受环境干扰,无人机通过集成方向图测量系统等,可实现参数的自动化测量,确保性能参数符合网络性能指标。同时,无人机可监测铁塔的电磁辐射强度,排查参数异常导致的极化隔离度超标等问题。

2.1.3 周界安全防护

大型铁塔阵列通常设有严格的安全周界,需防范非法入侵、异物堆积、植被过度生长等安全隐患。无人机通过预设航线对周界进行常态化巡逻,搭载红外摄像头可实现 24h 监控,即使在夜间或恶劣天气下也能精准识别入侵目标。对于林区铁塔场地,无人机可排查树木倒伏风险,避免其触碰铁塔馈线导致信号中断。

2.1.4 应急支援响应

在大风、爆雨雪等极端天气或设备故障后,无人机巡护系统可快速开展应急巡护,评估铁塔受损情况。如大风过后,无人机巡护系统可在短时间内完成大范围铁塔场地的排查,定位倒塌支架、破损铁塔等严重故障,为抢修队伍提供精准的现场数据,缩短故障处置时间。

2.2 无人机巡护系统实现流程

大型铁塔阵列无人机巡护系统按照任务规划、数据采集、数据智能处理和结果应用的流程组织实施,各环节紧密衔接,确保巡护任务的高效精准。

2.2.1 任务规划

结合铁塔阵列的数字地图、设备分布、巡护需求制定详细方案,通过 GIS 系统导入场地三维模型,标注铁塔位置、周界范围、禁飞区域等关键信息;利用地面控制站规划飞行航线,设置航点坐标、飞行高度、拍摄角度等参数,确保覆盖所有巡护目标,同时避开高压线路、建筑物、居民区或敏感区域等。

2.2.2 数据采集

无人机按照预设航线执行自主飞行,在飞行过程中通过传感器实时采集数据。飞控系统结合 GPS/北斗与 RTK 定位技术,确保无人机精准抵达各航点,误差控制在厘米级。通信系统实现飞行状态数据与传感器数据的同步传输,地面操作员可实时监控任务进展,必要时进行手动干预。数据采集过程中,系统自动进行数据标记,关联采集时间、位置等元数据,为后续处理提供依据。

2.2.3 数据智能处理

数据采集完成后,通过无线传输或物理存储介质将数

据导入处理系统。图像数据经过去噪、增强等预处理后，由 AI 算法进行缺陷识别与参数测量；激光雷达点云数据通过滤波、配准生成三维模型，与标准模型对比实现形变检测。处理过程中，系统自动生成缺陷清单，标注缺陷位置、类型、严重程度等信息，减少人工干预。

2.2.4 结果应用

根据数据处理结果生成巡护报告，以图表、图像标注等形式直观呈现铁塔状态。对于轻微缺陷，如螺丝松动等，巡护人员可制定计划性维修；对于严重故障，如铁塔形变等，启动应急抢修流程。将巡护数据存入历史数据库，通过长期数据对比分析铁塔性能变化趋势，实现故障的提前预警。

3 无人机巡护系统的关键技术

3.1 高精度姿态测量技术

无人机巡护的关键部件是搭载高清摄像机或激光雷达的吊舱，为使无人机吊舱的载荷在运动状态下对铁塔阵列目标进行准确拍照或扫描，通常采用双闭环策略实现无人机吊舱自动跟踪控制，外环实现距离控制，当无人机足够接近巡护点后启动瞄准和跟踪，确保采集获取足够图像分辨率的图像信息或点云数据。内环实现姿态控制，利用高精度姿态测量系统获取无人机的姿态信息、坐标及待巡检铁塔坐标，实时解算出需要调整的俯仰角及方位角，驱动吊舱调整仰角及方位角度，实现稳定的目标指向和自动跟踪。

高精度姿态测量通过多传感器融合实现，能有效弥补单一传感器的不足，提升测量的稳定性与准确性。主要依赖惯性测量单元（IMU）、卫星定位系统（GPS/北斗）、实时动态差分（RTK）技术的融合应用。IMU 由加速度计、陀螺仪和磁力计组成，可实时测量无人机的角速率、加速度和磁场强度，通过积分运算得到姿态角，但存在漂移误差，长期测量精度下降。GPS/北斗系统通过接收卫星信号计算无人机位置，精度可达米级，但在遮挡环境下信号易丢失。RTK 技术通过基准站与无人机的实时数据通信，消除卫星信号误差，将定位精度提升至厘米级。

3.2 周界控制技术

采用无人机进行铁塔阵列巡护虽然能够提升维护效率，节省人力资源，但铁塔阵列通常没有严格的界限，如无人机如使用不当，可能存在入侵私人领地，侵犯隐私的问题，容易产生法律纠纷。为确保无人机在复杂场地环境中安全飞行，避免触碰铁塔设备、障碍物及禁飞区域，同时精准覆盖巡护目标，无人机巡护系统需具备周界控制技术，其核心是边界识别与动态避障。

周界控制技术由环境感知、边界定义、路径调整组成。环境感知通过激光雷达、视觉传感器、超声波传感器实时采集周围环境数据，识别铁塔、树木等障碍物；边界定义通过预设场地电子围栏实现，在地面控制站中导入场地边界坐标，无人机飞行过程中实时比对自身位置与围栏信息，一旦接近边界即触发告警并自动调整航向。路径调整基于 GIS 边界数据信息、和无人机实时感知结果，通过避障算法实时优化航线，确保无人机在安全边界内飞行。为应对铁塔场地的电磁干扰，周界控制系统需具备多传感器冗余能力，当某一传感器信号受干扰时，自动切换至其他传感器数据，确保边界识别的可靠性。例如，激光雷达信号受干扰时，系统可依赖视觉传感器与超声波传感器实现避障。

3.3 故障识别技术

故障识别技术是无人机巡护系统的核心，通过采集多源数据进行智能分析，自动识别铁塔阵列及附属设备的缺陷与故障，为巡护决策提供依据。该技术融合计算机视觉、机器学习、信号处理等多领域技术，实现从数据到信息的转化。根据检测数据类型，故障识别技术可分为图像识别和结构形变检测等。图像识别技术通过光学摄像头采集铁塔表面图像，利用算法提取缺陷特征，识别螺丝松动、部件破损、馈线老化等问题。该技术需通过大量标注样本训练模型，提升缺陷识别的准确率与泛化能力。

结构形变检测技术利用激光雷达点云数据，生成铁塔三维模型，与设计模型或历史模型进行比对，通过计算点云偏差识别形变、支架弯曲等结构性故障。雷达点云数据构建铁塔阵列及其附属设备精细化三维实景模型，主要采用 Mesh 重建和纹理映射等技术。Mesh 重建是将点云数据转换为三维网格模型的过程，通过三角剖分算法将离散的点云数据连接成连续的三角形网格，形成铁塔阵列及其附属设备的基本几何形状。在重建过程中，根据点云数据的密度和精度，调整网格的分辨率，确保模型的细节和精度。纹理映射是为三维网格模型添加真实纹理的过程，通过无人机搭载的高清摄像头采集铁塔阵列的影像数据，将影像纹理映射到三维网格模型的表面，使模型更加逼真。在纹理映射过程中，需要进行影像的校正和配准，确保纹理的准确性和一致性。为保证模型的准确性和场景还原度，需要进行模型坐标系校准和验证，通过与地面控制点的坐标进行比对，调整模型的坐标系，使其与实际地理坐标系一致。同时，通过实地测量和对比，验证模型的场景还原度，确保模型能够准确反映铁塔阵列的实际情况。

3.4 航迹规划技术

无人机巡护系统需根据场地环境与巡护任务，计算最

优飞行路径,通过航迹规划算法实现,针对铁塔阵列及附属设备的特点,需重点考虑天线面等附属设备精准覆盖、电磁干扰规避等因素,常见算法有基于栅格法的静态路径规划和基于 RRT* 的动态路径规划等。

基于栅格法的静态路径规划将铁塔阵列划分为均匀的栅格地图,每个栅格标注为“可飞区”“障碍物区”“目标区”,通过搜索算法寻找从起点到终点的最优路径。常用的搜索算法包括 A* 算法与 Dijkstra 算法等,在应用中,需根据铁塔高度、设备分布调整栅格大小,对于密集铁塔区域采用小栅格(如 0.5m×0.5m),确保路径精度;对于开阔区域采用大栅格,提高规划速度。该算法适用于静态环境下的常规巡护,可提前规划好覆盖所有目标的最优航线。

基于 RRT* (快速搜索随机树星算法) 的动态路径规划针对铁塔阵列中可能出现的临时障碍物,实现动态路径规划,实时调整航线。当传感器检测到新的障碍物时,RRT* 通过随机采样生成路径节点,逐步构建通往目标的路径树,同时对路径进行优化,确保路径最短且平滑,避免无人机绕行过远影响巡护效率。在应急巡护中,RRT* 算法可快速规划通往故障点的最优路径,为抢修争取时间。

3.5 任务规划技术

铁塔阵列无人机巡护系统,采用全局控制、本地控制和动态调整相结合的任务规划策略,实现任务的精细化管理。无人机操作员负责全局控制,完成整体任务调度,包括航线规划、任务分配、数据汇总等。无人机平台执行本地控制,包括姿态调节、传感器数据采集、局部避障等,通过飞控系统实现自主起飞、自主巡航、自主降落。针对铁塔阵列的特点,无人机平台应将铁塔顶端和避雷针作为主要障碍物进行设置,尽可能提升无人机对铁塔和避雷针的识别速度,提高避障策略的稳定性和精准度。当与地面站通信中断时,无人机自动切换至本地自主模式,执行预设的应急航线,确保任务不中断。

巡护任务执行过程中,系统可根据实时情况动态调整

任务参数。当传感器检测到疑似故障时,地面站自动下发指令,控制无人机降低飞行高度、调整拍摄角度,进行二次精细检测,获取更清晰的数据;当无人机电量低于阈值时,系统计算剩余电量可支撑的巡护范围,优先完成关键区域检测后自动返航,避免中途迫降;当遭遇大风降雨等恶劣天气时,无人机自动暂停巡护任务,返航至安全区域。

4 结束语

尽管无人机巡护技术在电力、通信等领域取得显著进展,但在大型铁塔阵地巡护应用中仍存在诸多瓶颈,如复杂电磁环境下的通信干扰问题,铁塔场地的强电磁辐射易导致无人机与地面站的通信链路中断;高精度测量与长续航矛盾问题,搭载重型传感器会缩短无人机续航时间,限制大范围巡护能力;多源数据的融合分析能力不足问题,现有系统多专注于单一缺陷检测,缺乏对铁塔阵列及其附属设备性能的综合评估。针对无人机巡护系统的短板瓶颈,研究无人机巡护系统的智能化升级,实现从缺陷识别到故障预测,构建多无人机协同的立体化巡护网络等将是下一步无人机巡护系统重点关注的方向。

[参考文献]

- [1] 祁衡达,杨世琛.智能无人机巡检在广播电视发射台的应用[J].广播电视网络,2025,32(1):110-112.
- [2] 李芳,赵凤玺.无人机在发射台巡检中的应用[J].数字传媒研究,2022,39(9):57-59.
- [3] 黄广龙.基于无人机图像识别技术的水利工程输电线路缺陷检测方法[J].水利科技与经济,2022,28(8):137-141.
- [4] 卜勇涛,焦岩,王凝哲,等.基于无人机的风电智能巡检系统分析[J].电子技术,2023,52(7):370-371.
- [5] 张长安,李建峰,陈相吾.无人机巡检图像识别算法研究和系统设计[J].自动化仪表,2023,44(5):88-93.
- [6] 卞昌浩.输电线路自主巡检无人机避障路径控制方法[J].自动化应用,2025,66(22):135-137.

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。

基于大模型的多源数据融合供热系统数智化决策方法研究

闫虹 陈旭卯 秦鹏 刘文韬

石家庄华电供热集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]供热系统作为关乎国计民生的关键城市基础设施, 保证其稳定且高效运行, 不仅可以提升居民生活质量, 减少因供热问题而引发的社会问题, 更能提高整体能源利用效率, 实现节能减排目标。但传统供热系统在运行中普遍存在信息孤岛、数据利用效率低以及质量监管差等问题, 制约其智能化升级与精细化调控。针对上述瓶颈, 本篇文章以多源数据融合为切入点, 构建基于大模型的数智化决策框架, 并以石家庄华电供热集团为例, 详细阐述由数智融合一体化基座和供热管理智能化应用能力体系组成的综合架构, 为传统公用事业的数智化升级提供了可复用的方法论与实践路径, 以供参考。

[关键词]多源数据融合; 供热系统; 数智化决策; 智慧供热; 智能调度

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18289

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Research on the Digital Decision Making Method of Multi-source Data Fusion Heating System Based on Large Model

YAN Hong, CHEN Xumao, QIN Peng, LIU Wentao

Shijiazhuang Huadian Heating Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: As a key urban infrastructure related to national economy and people's livelihood, ensuring the stable and efficient operation of the heating system can not only improve residents' quality of life and reduce social problems caused by heating issues, but also improve overall energy utilization efficiency and achieve energy-saving and emission reduction goals. However, traditional heating systems commonly suffer from problems such as information silos, low data utilization efficiency, and poor quality supervision during operation, which constrain their intelligent upgrading and refined regulation. In response to the above bottlenecks, this article takes multi-source data fusion as the starting point to construct a digital decision-making framework based on large models. Taking Shijiazhuang Huadian Heating Group as an example, it elaborates in detail on the comprehensive architecture composed of the integrated base of digital intelligence fusion and the intelligent application capability system of heating management, providing a reusable methodology and practical path for the digital upgrading of traditional public utilities for reference.

Keywords: multi-source data fusion; heating system; digitized decision-making; smart heating; intelligent dispatching

引言

随着城市化进程的加速, 城市供热需求持续增长, 系统复杂度明显提升, 难以通过传统手段实现对供热系统全链条的精准感知与高效协同, 无法有效应对多变的负荷需求与外部环境干扰, 极易在实际供热时出现质检与回访无法全覆盖等诸多现实问题, 导致供热服务质量参差不齐, 影响服务质量与客户满意度提升。而将大模型通用能力与供热这一垂直行业的特定场景深度融合, 构建具备行业认知的专用智能体, 一方面能够充分理解供热系统的运行机理与业务逻辑, 另一方面可实现对热源、管网、换热站及用户端的全要素协同优化, 提升系统运行效率与供热品质, 实现供热系统从被动响应到主动预警, 从经验驱动到数据

驱动的数智化转型。由此本文以石家庄华电供热集团为实践案例, 依托多源数据融合与大模型技术, 构建数据-模型-服务的一体化的数智化决策体系, 为供热系统全生命周期管理提供智能化支撑。

1 集团概述

石家庄华电供热集团作为华北地区规模领先的集中供热企业, 承担着市区 1.01 亿 m^2 建筑的冬季供热保障任务。一次管网长度达 852 公里, 直接服务人口约 300 万, 热力销售与管网运营规模约占市区总量的 65%。公司业务范围贯穿供热全产业链, 核心涵盖热源生产、输配管网运营、用户服务与热能销售。在供暖季期间, 公司年均处理的话务量, 工单量及用户数据均达到百万级别, 面对庞

大的用户量与复杂的系统结构,集团近年来为有效弥补传统管理模式下存在的诸多短板,持续推进信息化与工业化深度融合,构建源-网-站-户全链条协同,数据驱动决策的现代化智慧供热体系。通过建设统一的数智化运营平台,力求在保障供热安全可靠的基础上实现管理效率,服务品质与用户满意度的跨越式提升。

2 当前集团供热系统现状与挑战

2.1 数据体量大处理效率低下

作为民生保障型企业,所需处理的相关数据体量庞大,涵盖用户端、管网端、热源端及环境监测等多维度信息,日均新增数据量超千万条。若未能及时进行数据处理与价值挖掘,海量数据必将影响整体数据利用效率,导致决策滞后^[1]。从供热集团当前情况而言,在供暖季期间话务呼入量涉及用户基础数据约 60 万条、历史工单约 60 万条、话务录音文件超 100 万条。在高强度工作环境下,人工填写工单时常因对复杂业务条款不熟悉或政策信息更新滞后而导致录入困难与填单错误。错误信息经手传递至维修、调度等后续环节,不仅造成工单处理延迟与重复沟通,更可因缺乏有效的错误源头标记与过程追溯机制,使得问题根源难以定位,责任界定模糊。且大量重复、无效的沟通与修正工作不仅仅消耗一线人员大量精力,更可延长整体服务闭环周期,直接影响用户诉求的一次性解决率与最终体验。

2.2 数据孤岛严重监管能力不足

供热集团内部业务部门繁多,不仅有客户服务、管网调度、热源生产、运维检修等核心单元,还涉及财务计费、安全监管、物资管理等多个支撑系统。各系统协同配合,共同支撑着供热全链条运转,确保供热服务的连续性与稳定性。但就当前实际而言,集团各业务系统建设初期缺乏统一规划,数据孤岛现象较为典型,同一用户投诉问题在不同部门间因信息不互通而重复生成多条工单,导致维修人员频繁往返于同一地点处理相似问题,使得在造成资源浪费与效率损耗同时,也加剧用户的不满情绪,降低对服务的信任度。同时在质量管控方面,目前仍然依赖人工抽样进行工单与录音质检,虽具有一定的覆盖性,但面对海量业务数据,会导致人力严重不足,无法实现全量且精准的合规性与准确性检查,其潜在风险与改进机会难以被及时发现与系统性解决,继而为服务质量与公司管理埋下了隐患^[2]。

2.3 智能化应用薄弱数据价值释放受限

在当前业务场景中,智能化技术应用仍处于初级阶段,主要集中于基础的数据统计与报表生成,未能深化于数据

关联分析、趋势预测与智能决策支持,导致数据价值难以转化为实际业务动能。其较为常见的客服服务需求预测仍依赖经验判断,缺乏基于历史数据与外部环境因子的科学建模支持,难以准确预判寒潮期间话务高峰与故障高发区域,造成人员排班与应急资源调配滞后。内部运营管理缺乏智能调度与动态预警机制,设备运行状态以及用户用热行为的变化未能实现实时感知与关联分析,故障预警多依赖人工巡检或用户报修,响应滞后且覆盖面有限。另外缺乏对海量工单、通话录音等非结构化数据的深度挖掘与分析能力,无法自动生成用户画像,识别服务热点,更未能有效预测话务量或进行智能排班,继而导致实现服务优化与资源调配的精准化的目标遥不可及^[3]。

3 多源数据融合的数智化决策架构

遵照数据驱动和智能协同的建设理念,集团可将《中国华电集团有限公司智能供热系统建设实施方案》(2019)等一系列政策指导文件作为顶层设计依据,构建由数智融合一体化基座和供热管理智能化应用能力体系两部分组成的数智化决策架构,依托统一数据中台实现多源数据的汇聚与融合,为数据的深度治理与高效流通提供基础支撑^[4]。

3.1 数智融合一体化基座

3.1.1 多源数据融合与治理中枢

依托数据中台构建多源数据融合与治理中枢,可实现供热系统内外部数据的统一接入、清洗、建模与共享,打通众多维度的数据壁垒,实现多源异构数据的深度融合与标准化处理。该平台可在统一时空基准下对集团内部数据资产进行集中管理以及全面盘点,识别核心业务数据要素,厘清数据权属与流转路径,建立覆盖数据全生命周期的质量管控机制。通过 MySQL、PostgreSQL、Kafka 等十余种数据源的实时与离线同步能力,实现供热管网运行数据、用户用热信息、气象环境参数及工单服务记录的高效汇聚与动态更新。并结合数据血缘分析与元数据管理,构建供热业务主题库与专题标签体系,支撑数据的快速检索与智能推荐。在此基础上数据仓库设计采用分层模型,以面向原始数据存储的 ODS 层、进行深度整合与加工的公共层以及服务于特定业务场景的专题数据层等为构成要素,有效解决数据关联性差和质量不一的问题。

3.1.2 领域知识增强的大模型底座

基于供热领域专业知识库,融合行业规范、设备参数、运行经验与历史案例,可发挥大模型在语义理解与推理决策上的优势,构建领域知识增强的大模型底座,以此提升系统对供热业务场景的深度理解与智能决策能力,优化系统对复杂工况的自适应调节能力。在私有化环境中部署大

模型,即可通过模型量化技术与分布式推理架构优化资源占用,保障高并发场景下的响应效率。结合知识图谱与向量数据库,实现对设备故障模式、用户诉求语义的精准匹配与推演,支持运维策略动态生成与多轮对话式交互^[5]。模型持续通过在线学习机制吸收新工单与运行数据,增强领域适应性,可确保精准识别用户用热需求变化与潜在故障风险,提升预测准确性与时效性。通过自然语言处理技术解析工单文本与客服记录,提取关键问题特征并映射至知识图谱节点,实现故障成因的智能归因与处置方案推荐。

3.1.3 面向业务场景的智能算法引擎

智能算法引擎是数智融合一体化基座中将通用 AI 能力转化为具体业务价值的核心组件,但并非单一模型而是针对供热业务特定问题所构建的复合型且多模态算法集。其设计遵循业务问题定义、多技术融合、工程化落地的路径,确保算法能力与业务规则深度咬合。以机器视觉与 OCR 技术建立自动及不可篡改的数字感官,并与业务规则及大模型协同,形成从感知、识别到决策校验的闭环,实现对特殊业务场景的智能识别与自动化处理。通过融合时序数据分析、图像识别与规则引擎,对供热系统中的异常工况、设备状态及用户行为进行多维度建模,支撑泄漏预警、能耗优化与服务质量评估等关键任务。算法引擎依托统一调度框架实现模型版本管理、在线 A/B 测试与灰度发布,保障迭代过程稳定可控。结合重复图像识别与翻拍图像识别模型,有效识别并过滤工单场景中的重复上报与伪造图像,提升数据真实性与处理效率。

3.2 供热管理智能化应用能力体系

3.2.1 面向用户的智能交互与服务

面向用户的智能交互与服务,其核心目标是构建一个以用户为中心的全天候响应智能服务生态。主要通过前端应用矩阵中的智能客服或智能服务大厅提供多模态交互入口,集成语音、文本、图像等多种输入方式,实现用户诉求的精准识别与快速响应。依托大模型驱动的自然语言理解能力,系统可准确解析用户关于室温异常以及室温调节、设备报修等多样化表述,实现意图识别与情感分析的深度融合,提供个性化应答策略。并结合用户历史行为与用热习惯,动态生成个性化的室温调节建议与节能方案,提升服务温度与用户满意度^[6]。例如集团在前端部署 30 个智能语音服务专席,用户来电先由 AI 接听,复杂问题无缝转接人工, AI 可实时分析通话内容并提取关键信息,自动填充工单字段,提升坐席处理效率 40% 以上。同时基于通话内容,利用大模型自动抽取关键实体与用户诉求,实现工单的智能预填单,大幅降低了坐席工作负荷与填单

错误率。

3.2.2 面向运营的智能调度与协同

面向运营的智能调度与协同,是聚焦于运营流程优化与跨部门高效协同的核心支撑体系,通过构建智能工单调度引擎与资源匹配算法,实现工单自动派发、优先级动态调整与处置路径优化。结合地理位置信息与人员实时状态,系统可精准匹配最近且具备相应技能的运维人员,提升响应速度 30% 以上^[7]。并结合历史工单数据与天气、时段等外部因素,建立多维调度模型,动态预测服务需求热点,提前部署运维力量。通过大模型对工单内容进行语义理解与分类,自动识别紧急程度与影响范围,实现跨部门任务协同与资源联动调配。例如集团在寒潮预警期间,系统自动识别受影响区域的潜在故障风险,提前向运维团队推送预防性维护工单,基于用户地址、问题类型、维修员技能标签、实时位置及当前工作负载,通过多目标优化算法实现工单与维修员的最优匹配,减少调度环节的人工干预,缩短响应时间。并且系统具备工单智能查重功能,避免同一问题重复派单。通过预设规则,对即将超时或关键的工单进行自动预警与督办,确保工单在各个环节的顺畅流转与及时闭环。

3.2.3 面向管理的智能质检与决策

质量检查作为保障服务标准落地的关键环节,引入基于大模型的智能质检系统,能将通话录音、工单记录等多模态数据进行自动化分析,精准识别服务过程中的不规范用语、流程缺失及潜在风险点,覆盖率达 100% 远超传统人工抽检的 3% 水平。系统可自动评分并生成质检报告辅助管理人员精准定位培训需求,推动服务质量持续提升,且结合用户画像与历史服务数据构建服务效能评估模型,实现对服务人员的多维度绩效分析与能力图谱绘制,为管理决策提供数据支撑。亦可借助大模型对海量工单与用户反馈的深度挖掘,自动提炼高频问题与改进点,辅助优化服务流程与制度设计。同时从数据驱动决策角度分析,通过统一报表平台与领导驾驶舱,为管理人员提供了可视化的数据洞察。平台内置了热费回收、能源消耗、生产运行、客户服务等上百张定制化报表,支持从集团到基层的多层级、多维度数据钻取与分析,使管理决策从经验驱动转变为数据驱动,以此实现决策的科学化、精细化与前瞻性。

4 结语

综上所述,供热系统数智化转型不仅是技术革新,也是一种符合时代发展需求的管理模式变革,更是保障城市安全运行,提升民生福祉的重要举措。通过构建基于大模

型的多源数据融合与智能决策架构,可借助其强大的数据处理与推理能力,实现以往工作中无法完成的复杂决策任务,提升供热系统的全局优化与动态调控精度,整体提升能源利用效率与供热服务质量,切实为居民提供稳定且舒适的供热保障。

[参考文献]

- [1]顾瑞恺.基于物联网技术的供需互动智慧供热系统[J].大众标准化,2025(18):157-159.
- [2]高婷婷.智慧供热系统优化策略及能效提升研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(9):50-52.
- [3]许娜,柳亚楠,王照波,等.天津市某集中供热系统智慧节能改造研究[J].建筑节能(中英文),2025,53(9):125-131.
- [4]王巍,任秀芳,董军宇.智慧供热工程中通信技术的综合应用研究[J].区域供热,2025(4):121-131.
- [5]杨勇.城市集中供热施工中智慧供热技术运用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(21):112-114.
- [6]马宁.基于大数据分析的智慧供热系统优化策略[J].数字技术与应用,2025,43(7):229-231.
- [7]姜海洋,张庆,王秀玲.智慧供热系统的物联网集成与远程监控技术研究[J].智能建筑与智慧城市,2025(6):174-176.

作者简介:闫虹(1979.10—),女,石家庄经济学院,法学专业,石家庄华电供热集团有限公司,供热稽查部主任,经济师。

绿色智能技术在伴生矿物加工中的发展现状与趋势分析

杨富强

中稀(凉山)稀土有限公司, 四川 凉山 615601

[摘要]伴生矿物因其形成时所处的成矿环境较为复杂, 物理特性也多种多样, 所以其选矿的难度颇高, 加工成本相对较大, 而且在加工过程中还容易对环境产生影响。随着绿色加工理念以及智能化技术不断发展, 伴生矿物加工开始呈现出技术创新以及方法优化的新趋势。绿色智能技术把清洁生产、节能降耗、环保药剂的应用以及智能检测、数据分析和数字化装备整合到一起, 如此一来, 既提升了加工效率, 又大幅降低了环境负荷, 为高效利用伴生矿物给予了科学方面的有力支撑。文中全面梳理了伴生矿物的特征以及绿色技术当下的发展现状, 深入分析了智能化技术的应用进展, 同时还探讨了绿色智能技术融合的现状以及未来的发展趋势, 以此为伴生矿物加工的技术创新与可持续发展给予一定的参考。

[关键词]伴生矿物; 绿色加工; 智能技术; 发展现状; 趋势

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18296

中图分类号: TK91

文献标识码: A

Development Status and Trend Analysis of Green Intelligent Technology in Associated Mineral Processing

YANG Fuqiang

Zhongxi (Liangshan) Rare Earth Co., Ltd., Liangshan, Sichuan, 615601, China

Abstract: Due to the complex ore-forming environment and diverse physical properties in which associated minerals are formed, their beneficiation is difficult, processing costs are relatively high, and they are also prone to environmental impacts during the processing. With the continuous development of green processing concepts and intelligent technologies, the processing of associated minerals has begun to show a new trend of technological innovation and method optimization. Green intelligent technology integrates clean production, energy conservation and consumption reduction, the application of environmentally friendly chemicals, as well as intelligent detection, data analysis and digital equipment. In this way, it not only improves processing efficiency but also significantly reduces environmental load, providing strong scientific support for the efficient utilization of associated minerals. The article comprehensively summarizes the characteristics of associated minerals and the current development status of green technology, deeply analyzes the application progress of intelligent technology, and also explores the current status and future development trends of green intelligent technology integration, providing certain references for technological innovation and sustainable development of associated mineral processing.

Keywords: associated minerals; green processing; intelligent technology; development status; trend

引言

伴生矿物广泛分布在各类矿床当中, 其形成的过程会伴随主要矿物的结晶、热液交代以及多阶段的变质作用, 使得伴生矿物在物理性质、化学成分以及空间分布方面呈现出高度复杂的状况。传统的加工方法存在着能耗过高的情况, 而且资源浪费比较严重, 还会对环境造成污染。绿色技术能够通过降低能耗、减少有害物质的排放以及对废弃物进行循环利用等方式, 让矿物加工朝着生态友好的方向去发展。而智能化技术则是依靠自动化控制、大数据分

析还有智能装备等手段, 对生产流程加以优化, 提升加工的精度, 并且构建起从矿石识别一直到加工全过程的数据驱动管理模式。绿色智能技术的相互融合正在逐步成为伴生矿物加工发展的重要核心方向。本文将会全面且细致地分析绿色技术以及智能化技术在伴生矿物加工当中的实际应用状况, 从而为达成高效、绿色并且智能的伴生矿物加工目标提供一定的参考依据。

1 伴生矿物的特征与形成机制

伴生矿物的形成同地质演化过程有着极为密切的关

联,其生成机制以及物理特性一道,确定了它在矿物加工以及资源利用方面所呈现出的复杂性与特殊性。形成过程:伴生矿物与铬矿同时形成,受地壳运动、岩浆活动、热液活动等地质条件的影响。这些地质作用使得伴生矿物与铬矿紧密共生,形成了复杂的矿物组合。伴生矿物于成矿进程之中,往往同主要矿物产生相互作用,并且会历经结晶分异这一地质过程,还有流体交代以及多阶段变质作用等,最终呈现出多样化的特点,具体表现在共生结构方面以及空间分布特征上。物理性质:伴生矿物通常具有较高的硬度和密度,颜色多样。例如,橄榄石常见于超基性岩中,颜色从浅绿到深绿不等;而石榴石则颜色丰富,包括红色、绿色、黄色等。总体来讲,伴生矿物的形成机制以及物理特征,一方面能够反映出其地质背景的复杂性,另一方面也给后续的选矿工作以及加工环节给出了极为重要的科学依据。

2 伴生矿物加工中的绿色技术发展现状

2.1 清洁生产与节能降耗技术

清洁生产技术于伴生矿物加工方面着重从源头处去削减资源的消耗量以及污染的排放量,其关键点在于对加工工艺以及生产环节予以优化,力求让矿石的利用率实现最大化,与此同时使得能源消耗得以降低。在实际的操作运用当中,针对粉碎、磨矿、分选等这些至关重要的工序,对其工艺参数做出优化调整,如此一来能够较为显著地减少能耗情况以及物料方面的浪费状况。举例来讲,运用高效的球磨设备,采取合理的粒度控制方式,并且对磨矿流程加以优化,便可以在确保选矿精度不会受到影响的前提下,降低每单位产品所耗费的能源量。并且,借助引入回收利用的相关系统,对于加工过程当中所产生的尾矿、废水以及废气再次展开处理操作,进而达成闭路循环生产的模式,这既减少了对环境所造成的负荷压力,又使原材料消耗的成本有所降低。除此之外,清洁生产的理念还反映在工艺设计环节当中,具体表现为对设备的布局安排、流程的集成整合以及能量的梯级利用等方面都实施优化举措,通过实现生产系统的整体优化,从而获取到节能降耗的实际成效。这类技术在应用之时,一方面能够满足环保方面的各项要求,另一方面在经济性层面也具备着颇为明显的优点,为伴生矿物加工朝着可持续发展的方向奠定了稳固扎实的基础。

2.2 环保选矿药剂与绿色材料的应用

在伴生矿物加工进程当中,传统所使用的选矿药剂对于环境是存在着潜在的危害的,像水体出现污染以及重金属发生富集等情况。近些年来,随着绿色化学还有材料科

学不断地发展,环保型的选矿药剂以及绿色材料在伴生矿物加工方面得到了应用,并且还取得了突破性的进展。绿色选矿药剂大多是以那些生物降解性比较高的、毒性相对较低的有机或者无机物质作为基础,可以达成对矿物颗粒较为有效的浮选以及分离效果,而且对环境产生的影响也是最小的。比如说,把天然植物提取出来的物质或者是由微生物衍生出来的表面活性剂当作浮选剂来使用,这不仅可以提升主要矿物以及伴生矿物的分选效率,而且还大幅度地减轻了废水处理方面的压力。在造浆环节、调配药剂的过程以及添加剂的选择方面,用绿色材料去取代传统的化学品,进而实现无害化或者低毒化的生产状态,与此同时也有利于尾矿以及废水后续的处理工作。这类技术的应用既体现出了生态设计的原则,也促使伴生矿物加工过程从原本的资源密集型朝着环境友好型的方向转变,从而给绿色矿业的发展提供了一条可行的路径。

2.3 废弃物循环利用与污染控制技术

伴生矿物加工所产生的废弃物,主要涵盖尾矿、废渣、废水还有部分有害气体。对于这些废弃物予以合理的处理并加以资源化利用,这无疑是绿色加工当中极为关键的一个环节。就当下情况来看,废弃物循环利用技术已然在不少伴生矿物加工项目里得以实际应用了。比如像尾矿回填这种方式,又或者把废渣用于制砖,亦或是作为建筑材料来加以利用,再者就是开展废水回收循环利用系统的相关建设工作等等。针对尾矿颗粒实施物理方面的处理操作,或者是借助化学手段来进行处理,如此一来便能够从中提取出那些仍旧有价值的元素。与此还能对尾矿的稳定性起到改善的作用,进而使得环境所面临的风险得以降低。在污染控制这个层面而言,运用废气吸收方面的技术、中和处理的技术以及生物处理等相关技术,是可以有效地对有害物质的排放量进行削减的。除此之外,要是能够结合智能化的监控系统,对废弃物的排放情况以及环境的各项参数展开实时的监测,那么就能够进一步达成对污染源进行精准控制的目标。这样一套将废弃物循环利用与污染控制相互融合起来的综合技术体系,一方面实现了矿物加工过程当中的生态化管理,另一方面也给伴生矿物的可持续利用给予了相应的技术层面的保障。

3 智能化技术在伴生矿物加工中的应用进展

3.1 智能检测与自动化控制系统

智能检测技术于伴生矿物加工而言,占据着极为关键的地位。它主要是依靠高精度传感器、图像识别以及在线监测系统,达成对矿石特性以及加工状态的实时察觉。自动化控制系统会依据检测所获取的数据,自行对粉碎、分

选、浮选还有浓缩等一系列加工环节的相关参数做出调整,以此来实现对生产过程的精确把控。比如说,把光谱分析、激光扫描以及在线粒度监测相互结合起来,便能够迅速地识别出伴生矿物的具体成分、粒度分布状况以及杂质的情况,进而为选矿工艺给予实时的数据方面的有力支撑。自动化控制系统还能够凭借检测得出的结果去优化磨矿负荷、浮选药剂的添加量以及流程的先后顺序,从而在最大程度上提升加工的效率以及矿物的回收率。与此该系统还能够削减人工的干预,减少人为操作时出现的误差,进而形成一种具有高稳定性、低能耗且安全高效的生产模式,为伴生矿物加工朝着智能化方向的发展打下坚实的基础。

3.2 大数据与人工智能的优化应用

大数据以及人工智能技术给伴生矿物加工带来了由数据驱动的优化办法。全面且细致地分析历史生产方面的数据、矿石性质相关的数据还有环境监测所获取的数据,人工智能算法可达成对加工工艺的建模操作、优化处理以及预测功能。举例来讲,机器学习模型能够依据不同矿床所具有的特性来预测浮选回收率、磨矿能耗还有药剂消耗量,进而达成对加工过程的智能化调控。与此大数据平台可以把生产环节的数据、检测环节的数据以及物流环节的数据加以整合,实现对矿石加工整个流程的信息化管理。这样的数据驱动模式一方面提升了伴生矿物加工的智能化程度,另一方面也强化了生产的稳定性以及资源利用的效率。人工智能在工艺优化、异常诊断以及故障预测等方面的应用情况,促使加工系统可以实现自适应调控以及连续优化,从而为绿色智能加工给予稳固的数据支撑。

3.3 智能装备与数字化生产平台

智能装备以及数字化生产平台的建设工作完成之后,伴生矿物加工便正式进入了高效、自动化并且是可视化管理的阶段。其中,智能装备涵盖了自动化破碎设备、磨矿设备、分选设备以及浮选设备等,这些装备能够依据矿石所具有的特性以及实际生产方面的具体需求,自主地去对加工参数做出相应的调节,以此来确保加工过程具备良好的稳定性以及较高的精度。而数字化生产平台则通过对整个加工系统当中设备的状态、生产参数还有环境数据加以集中化的管理,进而达成生产过程的可视化呈现以及远程控制的效果。该平台整合了数据采集功能、工艺优化功能、设备维护功能以及能耗监控功能等多项功能,这就使得矿业企业可以实现从矿石进入到厂区一直到产品最终出厂这一整个过程的数字化管理操作。这样的智能装备和数字化平台相结合的情况,一方面提升了加工的效率,另一方面也实现了绿色生产的既定目标,从而为伴生矿物加工迈

向智能化升级给予了强有力的技术方面的支撑。

4 发展现状分析与未来趋势展望

4.1 绿色智能技术融合的现实基础

绿色智能技术与伴生矿物加工相融合的基础,主要聚焦在技术创新、设备智能化以及管理模式升级这三个方面。一开始,绿色加工技术走向成熟以后,便给环境友好型生产带来了工艺层面的保障,像节能降耗、运用环保药剂以及废弃物循环利用等方面都涵盖其中^[1]。随着智能化设备以及数字化平台不断发展起来,生产过程得以实现实时监控并且能够进行自动调控,这无疑为绿色技术的高效运用给予了数据方面的有力支持以及具体的执行办法。企业管理模式不断升级,这里面包含了数据化管理、智能调度还有过程优化等内容,这些都给绿色智能技术的融合构建起了制度层面的保障以及实际操作的基础。现有的这些技术基础加上相应的管理经验,让绿色智能技术在伴生矿物加工领域具备了可操作的可能性以及推广的可行性,进而为形成高效、绿色且智能化的加工模式打下了坚实的支撑基础。

4.2 当前存在的主要问题与制约因素

虽然绿色智能技术于伴生矿物加工方面已取得了一定程度的进展,不过依旧存在着若干制约因素。从技术角度来讲,智能化设备有着较高的成本,并且其维护的要求颇为严格,这使得中小型矿业企业在很大程度上难以对其进行大规模的推广^[2]。而且,绿色加工技术在部分矿物类型当中所呈现出的适用性仍然存在局限,还需要进一步去加以优化并实现本地化适配。就管理层面而言,各个企业在面对数据化以及智能化管理时,其接受的程度各不相同,同时又普遍缺乏具备相关专业技术的人才,如此一来便致使技术整合以及工艺优化的效率受到了限制。除此之外,在绿色智能矿业这个领域当中,政策、标准以及监管体系都还没有得到完全的完善,这也使得技术推广面临着诸多的不确定性。上述这些情况无疑对绿色智能技术的全面应用形成了限制,同时也给伴生矿物加工的可持续发展带来了不小的挑战。

4.3 技术融合与协同创新的发展方向

未来绿色智能技术发展要重视技术融合与协同创新。具体而言,把绿色加工技术同智能化设备以及数据分析平台深度融合起来,达成矿物加工全流程的智能化、低碳化以及高效率目标^[3]。协同创新还涵盖工艺优化、材料研发以及信息技术集成等多学科的合作,借助构建智能化实验平台和仿真模型,对加工流程加以系统优化。促使企业、科研机构以及政策制定者展开协作,形成技术研发、工程

应用以及政策支持完整链条,让绿色智能技术的创新成果迅速应用于生产实践,为伴生矿物加工的高效、绿色以及智能发展给予保障。

5 结束语

伴生矿物加工这一领域面临着诸多挑战,其复杂程度颇高,而且环境风险也很大。就在这时候,绿色智能技术的出现,给它带来了极为重要的突破进展。通过把清洁生产方面的技术、环保药剂相关的技术、废弃物循环利用的技术以及智能检测方面的技术、大数据分析的技术还有数字化平台这类技术相互融合起来,伴生矿物加工便达成了一个目标,那就是既注重效率的提升,又兼顾对环境的友好。当下虽说还存在着设备成本过高的情况、技术适应性受到限制的问题以及管理能力有所欠缺等诸多难题,不过随着技术创新不断推进、协同研发持续开展以及政策给予有力支持,绿色智能技术在伴生矿物加工当中的应用,其

前景是十分广阔的。往后的发展趋势会围绕着技术融合、智能优化以及可持续发展这几个核心要点展开,以此来推动伴生矿物加工朝着高效能、环保型以及智能化的方向不停地向前迈进,进而为矿业实现绿色转型以及资源达成高效利用给予强有力的支撑。

[参考文献]

- [1]伍超奇.人工智能在矿山地质中的应用现状及未来展望[J].世界有色金属,2024(2):49-51.
 - [2]张臻悦,蒋灵,郭文达,等.智能技术在矿物加工领域中的应用进展[J].有色金属(选矿部分),2023(6):1-8.
 - [3]汤化明,王玲,杨国华,等.人工智能在矿物加工技术中的应用与发展[J].金属矿山,2022(2):1-9.
- 作者简介:杨富强(1991.1—),男,四川成都,现就职于中稀(凉山)稀土有限公司,选矿工程师,长期从事矿山选矿方面工作。

“三数融合”背景下县域数字化转型的技术架构与实施路径研究

——以丹徒区为例

徐海燕

镇江市丹徒区信息中心/镇江市丹徒区科学技术局, 江苏 镇江 212028

[摘要]以数字经济、数字政府、数字社会“三数融合”为核心的数字化转型,是县域培育新质生产力的关键抓手。文中以丹徒区数字化建设实践为研究对象,从电子信息工程与计算机网络专业视角,构建“基础设施-数据资源-应用支撑-业务应用”四层技术架构模型,系统分析县域数字化转型中存在的技术瓶颈与协同障碍,提出基于5G-A、人工智能、区块链等技术的优化路径,为县域级“三数融合”发展提供技术实践参考。

[关键词]三数融合;数字化转型;技术架构;县域治理;数据治理

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18295

中图分类号:

文献标识码: A

Research on the Technical Architecture and Implementation Path of Digital Transformation in County Areas under the Background of "Integration of Three Numbers" — Taking Dantu District as an Example

XU Haiyan

Zhenjiang Dantu District Information Center / Zhenjiang Dantu District Science and Technology Bureau, Zhenjiang, Jiangsu, 212028, China

Abstract: The digital transformation centered on the integration of digital economy, digital government, and digital society is a key lever for cultivating new quality productivity in counties. The article takes the digital construction practice in Dantu District as the research object, and constructs a four layer technical architecture model of "infrastructure data resources application support business application" from the perspective of electronic information engineering and computer network. It systematically analyzes the technical bottlenecks and collaborative obstacles in the digital transformation of counties, proposes optimization paths based on 5G-A, artificial intelligence, blockchain and other technologies, and provides technical practice references for the development of "three data integration" at the county level.

Keywords: triple fusion; digital transformation; technical architecture; county governance; data governance

引言

党的十八大以来,数字中国建设上升为国家战略,以大数据、云计算、人工智能为代表的新一代信息技术,正推动生产要素重构与治理模式革新。县域作为数字化转型的基层载体,其“三数融合”发展水平直接关系到数字技术的普惠落地。丹徒区作为长三角县域数字化转型的典型样本,已在数字经济培育、政务数据归集、智慧场景试点等方面取得阶段性成果,但仍面临技术架构分散、数据壁垒突出、应用效能不足等问题,文中基于电子信息工程与计算机网络技术理论,结合丹徒区2024年数字化建设调研数据,重点剖析“三数融合”中的技术瓶颈,

构建协同推进的技术体系,为县域数字化转型提供可复用的技术方案。

1 丹徒区“三数融合”建设的现状与瓶颈

作为长三角地区承接产业数字化转型的重要节点县域,丹徒区依托自身制造业基础与区位优势,近年来持续加大数字化建设投入,截至2024年底已初步构建起“云网基础先行、数据资源集聚、服务终端下沉”的数字化发展基础框架。在产业数字化培育方面,通过政策扶持与技术引进,全区数字经济核心企业数量稳步增长至61家,涵盖汽车零部件智能制造、工业软件研发、数字服务等多个细分领域,成为驱动区域经济转型的重要力量;在政务

数据资源建设上,以“数据跑路替代群众跑腿”为目标,持续推进跨部门数据归集共享,政务数据归集总量已突破250万条,涵盖人口、法人、民生服务等12大类核心数据资源;在公共服务数字化覆盖上,聚焦基层服务痛点,实现94个村(社区)自助政务终端全覆盖,让群众在家门口就能办理社保查询、证明打印等高频事项。然而,若从电子信息工程与计算机网络的技术架构视角深入剖析,这一基础框架仍存在基础设施协同不足、数据治理机制不完善、技术应用深度不够等多层次瓶颈,制约了“三数融合”的整体效能发挥。

1.1 数字经济:技术赋能不足制约产业升级

数字经济领域的技术短板集中体现为“基础设施滞后、数据应用薄弱”两大问题。在产业数字化层面,区内规上工业企业上云比例仅22%,远低于省内平均水平,多数企业仍依赖传统生产模式,缺乏5G工业专网、边缘计算等技术支撑的柔性生产体系。以汽车零部件产业为例,关键生产环节的设备联网率不足30%,无法实现生产数据实时采集与智能调度。

在数字产业化层面,缺乏龙头企业引领的技术生态,61家核心企业产值仅28.8亿元,且未形成从传感器、工业软件到智能终端的完整技术链条。本地高校江苏大学、三江学院等的信息技术研发资源与企业需求脱节,导致AI质检、预测性维护等先进技术难以落地转化。

1.2 数字政府:技术架构缺陷导致协同低效

数字政府建设虽已完成政务外网全覆盖,但技术架构存在“烟囱式”缺陷。在基础设施层,39家区级部门中仍有15%的业务系统未归集市政务云平台,独立服务器运维导致算力资源浪费与技术迭代滞后;在数据资源层,缺乏统一的数据中台支撑,民政、社保等部门数据标准不统一,跨部门数据调用需人工核验,响应时间超过24h;在应用支撑层,未构建统一身份认证与电子证照系统,“一网通办”仅覆盖无犯罪记录证明等少数低频事项。

安全技术体系同样薄弱,政务数据加密采用传统对称加密算法,缺乏区块链存证等防篡改技术,存在信息泄露风险,且未建立常态化的漏洞扫描与应急响应机制。

1.3 数字社会:技术覆盖不均影响服务普惠

数字社会建设呈现“试点成效突出、全域推广不足”的特点。槐荫村“农村基础设施管护平台”虽实现GIS与AI技术的融合应用,但未形成标准化技术方案;公安系统“智慧公安大脑”通过可视化指挥平台将接处警时间缩短3min,但该技术仅覆盖城区派出所,乡镇区域仍依赖传统指挥模式。

技术普惠性不足问题显著,老年人等群体面临“数字鸿沟”,自助政务终端缺乏语音交互、远程协助等适老化技术;跨区域服务技术支撑薄弱,政务数据与长三角周边城市未实现互通,高频民生事项跨省办理覆盖率低于10%。

2 “三数融合”的技术瓶颈根源分析

2.1 技术架构缺乏顶层设计

丹徒区当前尚未构建起统一的“云网边端”一体化技术底座,数字经济领域的工业互联网平台、数字政府体系的政务云平台以及数字社会场景的民生服务平台,长期处于分属不同主管部门独立建设、自主运营的状态。由于缺乏顶层设计层面的统一规划,各平台在技术选型、标准规范与开发框架上存在显著差异,形成了各自独立的“信息孤岛”。以实际应用为例,经发局主导搭建的企业“智改数转”服务平台,与数据局负责运营的数字经济监测分析平台,因前期技术标准不统一,存在数据接口协议不兼容、数据格式不互通等问题。这直接导致企业在数字化转型过程中产生的生产经营、技术改造、产能升级等关键数据,无法在两个核心平台间高效流转与共享,不仅增加了企业数据上报的重复工作量,更使得相关部门难以获取全面、精准的统筹数据,进而制约了跨部门、跨领域的协同决策效率,影响了区域数字化转型的整体推进进程。

2.2 数据治理技术体系缺失

当前区域数字化建设中,尚未建立起“一数一源、全生命周期治理”的完善技术支撑体系,数据治理各环节均存在明显短板。在数据采集环节,由于未全面部署物联网感知设备及自动化采集终端,多数场景仍依赖人工录入的传统方式,不仅效率低下,还易因人为操作失误导致数据准确率不足85%,难以满足数字化应用对数据精准性的核心需求;在数据清洗环节,缺乏AI智能数据治理工具的深度应用,无法对海量数据进行高效筛选与净化,致使重复数据、无效数据等“数据噪音”占比高达12%,严重影响数据质量与后续应用价值;在数据共享环节,未引入区块链“目录链”等先进技术,部门间的数据授权流程不规范、使用追溯机制不健全,既制约了数据资源的安全高效流转,也降低了跨部门数据协同的可信度与便捷性,整体拖累了区域数字化治理的效能提升。

2.3 技术人才与产业需求错配

基层数字化技术人才匮乏问题已成为制约丹徒区数字化转型的关键瓶颈。从人才存量来看,区数据局作为区域数字化建设的核心牵头部门,专业技术人员占比不足20%,且队伍结构存在明显短板——现有人员多集中于传统IT运维领域,缺乏数据建模、AI算法优化、大数据分

析等数字化转型急需的高端复合型人才，难以支撑复杂场景下的技术研发与创新应用。从人才供给端来看，本地高校的人才培养与区域产业需求存在严重脱节：江苏科技大学等院校的信息技术专业课程设置偏向理论研究，工业互联网、智能智造等相关研究方向未精准对接丹徒区汽车零部件、新材料等主导产业的实际技术需求，导致高校输出的毕业生在知识结构、实操技能上与企业实际岗位要求不匹配，最终形成人才供给与企业需求“两张皮”的尴尬局面，进一步加剧了区域数字化人才缺口。

2.4 “三数融合”协同推进的技术实施路径

依托“基础设施层-数据资源层-应用支撑层-业务应用层”四层架构模型，构建适配区域发展的数字化技术赋能体系，明确各层级优化路径。基础设施层聚焦“云网边缘”一体化底座建设，补齐物联网感知设备、高速网络等硬件短板；数据资源层以“一数之源、全生命周期治理”为核心，完善数据采集、清洗、共享技术支撑；应用支撑层搭建统一技术中台，整合 AI 算法、区块链等工具组件；业务应用层针对性开发工业互联网、政务协同、民生服务等场景化应用，实现技术与产业发展、治理需求的深度耦合。

2.4.1 构建一体化数字基础设施底座

优化“云网融合”架构：整合现有政务云与企业云资源，构建丹徒区统一云平台，采用华为云 Stack 技术方案，形成 1 万核 VCPU 算力池，支撑政务系统与工业应用的集约化部署。推进 5G-A 网络全覆盖，在汽车零部件、新材料等主导产业部件园区部署 5G-A 毫米波基站，实现毫秒级时延控制与厘米级定位，支撑智能巡检、远程操控等应用。

部署全域感知网络：在工业领域，推动规上企业部署工业传感器与边缘计算节点，实现设备数据实时采集；在政务领域，在政务服务大厅、重点场所安装智能摄像头与环境传感器；在社会领域，为农村基础设施加装物联网终端，构建“工业-政务-社会”全域感知体系。

2.4.2 打造全生命周期数据治理体系

建立数据中台：参照上海市“一网统管”数据中台架构，构建丹徒区数据中台，集成数据采集、清洗、建模、API 封装等功能，实现人口、法人、地理信息等基础数据“一数之源”。采用区块链技术构建电子证照共享平台，实现 34 个部门数据上链，将跨部门数据核验时间从 3 天压缩至 2 分钟。

制定数据标准规范：出台《丹徒区政务数据元标准》《工业数据采集规范》，统一数据格式、编码与更新频率。在汽车零部件、新材料等主导产业推行“工业数据字典”，

实现生产数据与政务数据的标准化对接。

2.4.3 技术赋能三大领域协同发展

数字经济：构建“5G+工业互联网”赋能体系。在汽车零部件、新材料等主导产业，推广中国联通格物工业互联网平台，部署 1.2 万台设备接入终端，实现 80 万个采集点位的数据实时监控；在新材料领域，应用 AI 算法实现生产过程的质量检测与能耗优化，参考永洋特钢案例，通过煤气系统动态建模降低生产成本。培育本地数字服务商，支持鸿剑网络等企业开发面向中小企业的轻量化“智改数转”解决方案。

数字政府：打造“一网通办+一网统管”双轮驱动模式。在应用支撑层，集成 AI 客服、电子签章等 12 类共性组件，将“一件事”服务开发效率提升 60%；在业务应用层，开发智能导办系统，通过 OCR 识别技术实现公积金提取等事项“秒批”。构建数据安全防护体系，采用等保 2.0 标准，部署入侵检测系统与数据脱敏工具，建立与网信、公安部门的联合执法机制。

数字社会：推进技术普惠与场景创新。在社会治理领域，借鉴武汉“142N”架构，构建丹徒区城市运行管理平台，集成 1500 余项城市体征指标，实现安全事件事前预警；在公共服务领域，升级自助政务终端，增加语音交互、远程视频协助功能，在乡镇推广“流动数字服务车”。推动教育、医疗等数据共享，开发“丹徒智慧民生”小程序，实现挂号预约、社保查询等高频服务“掌上办”。

2.4.4 建立技术人才保障机制

校地协同育人：深化与江苏大学京江学院、江苏科技大学等本地高校的战略合作，共建“数字技术实训基地”，围绕丹徒区汽车零部件、新材料等主导产业数字化转型需求，开设工业互联网应用、数据全生命周期治理、智能算法实操等定向特色课程。创新“校企双导师”教学模式，邀请区域内重点企业技术骨干深度参与课程设计、实践教学与项目指导，将企业真实技术场景、项目案例融入教学过程，定向培养兼具理论基础与实操能力的数字化复合型人才，实现人才培养与产业需求的精准对接。

人才引育计划：聚焦区域数字化建设核心短板，深入推进“金山英才”产业强市领军人才计划，重点瞄准 AI 算法优化、工业软件研发、大数据建模等关键领域，通过政策扶持、项目合作、平台搭建等方式，精准引进海内外高端技术人才与创新团队。同时，建立覆盖全区的“数字人才库”，整合高校毕业生、企业技术骨干、行业专家等资源，为中小企业提供人才共享、技术外包、短期派驻等灵活服务，破解中小企业数字化人才引育难题，构建“引

育用留”一体化的数字人才支撑体系。

3 结语

县域“三数融合”的核心在于构建技术驱动的协同体系，丹徒区的实践表明，通过“一体化基础设施、全生命周期数据治理、场景化技术应用”的三维路径，能够有效破解数字经济技术赋能不足、数字政府协同低效、数字社会覆盖不均等问题。未来，随着 5G-A、具身智能等技术的发展，应进一步推动数字孪生技术在城市治理中的应用，实现物理空间与数字空间的实时映射；深化 AI 大模型与政务、产业的融合，构建“感知-分析-决策-执行”的智能闭环，为县域数字化转型提供更高水平的技术支撑。

[参考文献]

[1] 孙瑜.数字化转型驱动下铀矿勘查信息化体系构建与

实施路径研究[J].世界核地质科学,2025(3).

[2] 琚珉.数字化转型背景下制造企业绿色技术创新影响因素的组态路径研究——基于 TOE 理论[J].E-Commerce Letters,2025,14(2):854-862.

[3] 张竞涛,刘小林,肖丽,等.城市数字化转型总体架构和实践路径研究[J].信息通信技术与政策,2024,50(9):2-7.

[4] 陈培,陈小勇,徐国洪.传统企业数字化转型与新质生产力培育——理论机制与路径探索[J].中国战略新兴产业,2025(18):183-185.

[5] 丹徒区数据局.关于推进“三数融合”数字丹徒建设的调研报告[Z].江苏:丹徒区数据局,2025.

作者简介:徐海燕(1982.11—),女,学历:本科,专业:电子信息工程,目前职称:中级。

基于 AI 大模型的供热管理系统数智化技术路线探析

赵会猛 宋清波 王思泽 王宁

石家庄华电供热集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着我国“双碳”目标的持续推进,城市供热需求也明显提升,需要合理优化供热管理系统的设计和建设,有效采用数智化技术手段,实现供热系统的智能化管理目标。在以往供热管理过程中,由于负荷预测存在较大偏差,在设备运维方面相对被动,而且服务响应较为滞后,进而降低了供热管理成效。通过运用 AI 大模型,可以为供热管理系统有效构建技术底座,并实现数据融合,保证业务落地,全面升级各项供热服务,通过数据和模型有效驱动供热管理系统,提升数智化技术水平,有效保证城市供热管理的降本增效,更好地实现低碳运行目标。

[关键词]AI 大模型; 供热管理系统; 数智化; 技术路线

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18290

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Exploration on the Digital Technology Route for Heating Management System Based on AI Big Model

ZHAO Huimeng, SONG Qingbo, WANG Enze, WANG Ning

Shijiazhuang Huadian Heating Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous promotion of China's "dual carbon" goals, the demand for urban heating has also significantly increased. It is necessary to optimize the design and construction of heating management systems, effectively adopt digital technology, and achieve the goal of intelligent management of heating systems. In the past heating management process, due to significant deviations in load forecasting, equipment operation and maintenance were relatively passive, and service response was relatively lagging, thereby reducing the effectiveness of heating management. By using AI big models, it is possible to effectively build a technical foundation for the heating management system, achieve data fusion, ensure business implementation, comprehensively upgrade various heating services, effectively drive the heating management system through data and models, improve the level of digital technology, effectively ensure cost reduction and efficiency improvement of urban heating management, and better achieve low-carbon operation goals.

Keywords: AI big model; heating management system; digitization; technical route

引言

对于城市的集中供热系统,其作为城市运行期间的一类核心基础设施,可以有效提升民生水平,维护城市的正常运行。通过有效提升城市供热管理水平,可以使能源消耗量得到减少,使碳排放强度得到降低,并提升用户体验。结合供热管理系统运行现状展开分析,可以发现还存在数据孤岛、决策依赖人工经验以及设备运维被动等问题,这也对城市集中供热系统的运行效率产生极大影响,无法有效保证供热的稳定性与持续性。对于 AI 大模型的应用,其可以有效处理多模态数据,并有效整合复杂场景,并具有较强的知识迁移能力,可以在技术层面为供热管理系统运行提供支持,提高供热管理水平,促进我国供热行业的

数智化转型。

1 项目概况

本文以石家庄华电供热集团有限公司为例展开分析,该供热集团的整体供热规模达到 1.01 亿 m^2 ,一次管网为 852 公里,在石家庄的主城区可以承担起接近一半的管网运营以及热力销售任务,服务人口数量达到 300 万人。对于供热服务业,尤其是十分重要的一项民生工程,在冬季寒冷时期,供热系统的业务量持续增长,需要对大量用户基础数据进行处理,大约为 60 万条。与此同时,还需要处理历史工单以及话务录音文件等数据,分别为 60 万条和 100 万条。由于工作强度较大,人工坐席由于未能充分熟悉业务,再加上未及时更新信息,进而导致在工单填写

过程中出现处理不及时、填单错误、录入困难等问题。在日常管理过程中,由于有着庞大的工单量和话务量,这也导致在工单处理时出现延迟和超时等问题,容易增加二次投诉率。在客户回访时,由于受到人力方面的限制,因此对于工单回访无法达到 100%,会对客户满意度产生影响,导致用户体验感有所下降。除此之外,针对供热集团的业务系统展开分析,在信息共享方面不够流畅,未能有效互通信息,这也导致对于同一投诉问题,往往会在不同部门对多条工单重复生成,导致维修员的重复工作量明显增加。在人力不足的情况下,质检人员未能全面检查工单的合规性与准确性,因此无法及时发现与解决相关问题,降低了公司管理水平和客户服务质量。结合公司自身的数字化业务需求,需要全面加强信息化系统建设,有效采用 AI 大模型、大数据、视觉识别等技术手段,确保有效融合供热行业,合理构建供热管理应用系统,使其管理效率和服务质量得到提高,使用户体验得到优化^[1]。

2 基于 AI 大模型的供热管理系统数智化技术要求

2.1 设计原则

2.1.1 可用性

基于 AI 大模型对供热管理系统展开数智化设计,需要确保具有较高的可用性,合理构建人工智能能力平台,在智能化角度为客户系统提供支持,使其响应速度得到提升,保证解答的精准度,确保服务的一致性,使用户体验得到提高。

2.1.2 先进性

在实际设计供热管理系统时,应充分考虑使用者需求,有效打破信息孤岛效应,充分获取历史数据,并在此基础上对数据深度挖掘,有效展开数据分析,合理构建智能供热数据中枢平台,统一化的为公司构建数据目录与标准,充分校准各项系统数据,使数据得到有效融合,全面体现出数据价值。

2.1.3 适用性

对于智能化供热管理平台的构建,应确保契合供热行业发展需求与管理现状,使供热集团自身的生产经营管理需求得到满足。在实际构建此类管理平台时,应确保有效整合现有系统资源,确保二者的平滑过渡。在测试平台阶段,应保证各项业务开展的连续性。此外,在实际展开数据治理工作时,应与华电集团自身的数据标准和规范相符合。

2.1.4 开放性

对于智能化供热系统管理平台,应紧密衔接生产缺陷、客服、稽查、收费等系统,有效实现数据共享目标,保证信息的互联互通,根据华电集团的统一平台数据接口作为建设

标准,确保为后续接入集团级平台提供充足的开放空间。

2.1.5 安全性和可靠性

在平台设计时,应从信息通信、数据存储等层面出发,合理建立规范标准,为信息系统和工控系统合理构建安全技术体系,确保可以同步实施安全管理与安全技术,使系统运行的安全性和可靠性得到提升。

2.1.6 高效性

对于智能供热管理系统,应确保具有较快的实时响应能力,并具有较强的控制能力,能够快速传输通讯信息,而且宽带安装应满足网络吞吐能力,并要合理预留发展空间。

2.1.7 兼容性

智能化供热系统管理平台应有效兼容现有的软件平台,并可以远程自动升级,高效开展后台维护工作。同时,平台应有效兼容终端设备,如话机以及耳麦等。此外,在系统后期应具有故障隔离与诊断等功能^[2]。

2.2 建设标准

2.2.1 平台软硬件建设标准化

对于平台的各个功能模块,应制定出统一化的建设标准,并在平台建设过程中,针对所选用的硬件设备合理制定统一化和规范化的建设标准,保证数据接口与通信协议的统一,确保可以标准化选用系统软硬件,优化系统数智化设计。对于该系统所涉及的数据库、操作系统、硬件服务器,应与国产化标准要求相符合,保证其自主可控,确保系统合规适配。

2.2.2 数据标准与编码规范

在系统建设过程中,应对基层供热企业的数据资源编码与标准有效梳理,并有效扩展和映射现有数据,对其展开重新编码,使基础和交换数据得到统一,合理运用数据质量管理工具,有效做好数据集成、核查和清洗等工作。针对供热集团现有的生产经营业务系统,如客服系统、稽查系统、生产缺陷系统、接收费系统等,应有效融合与处理多元数据,实现内部数据的互联互通,有效整合公司数据资源^[3]。

3 基于 AI 大模型的供热管理系统数智化技术路线

3.1 数智融合一体化基座

在实际构建数智化大模型供热管理系统时,应做好大模型部署,并实现推理优化,确保在环境中高效部署大模型,并采取应用模型量化等技术,有效保证低延迟推理性能,使业务需求得到满足。针对供热领域的非结构化数据,应有效实现高效处理和向量化,并有效实现智能分段,充分抽取信息,采用高质量向量表示生成技术,合理构建知识库。与此同时,应采用高级检索,使生成框架的调优和

应用得到增强。在此过程中，应合理应用检索增强生成流程，有效采用重排序、混合检索、大模型深度融合等技术，使知识召回的准确率得到提升，确保生成答案的可靠性与相关性。在系统架构应用方面，应保证可扩展、高可用与高并发，确保可以对大规模用户的并发访问有效承载，并要健全容错与故障恢复机制，确保获得连续、稳定的服务。对于应用程序，应采用高效、稳定的接口规范，并要确保容易理解与集成，采用标准化服务形式，向上级应用有效提供复杂的人工智能能力。此外，在供热数据中枢平台建设过程中，应做好数据盘点，结合公司的全链条业务，对公司内部数据资产展开系统化梳理，对核心实体有效识别，确保数据的存储位置与可用性。在构建业务数据模型时，应根据业务需求展开分析，并对数据清单进行输出，从而对业务数据的模型范围加以明确。通过运用大数据技术，可以合理搭建供热数据仓库，并有效采集和治理数据，实现数据服务的共享目标。

3.2 供热管理智能化应用能力体系

在实际建设供热管理智能化应用能力体系时，应实现智能客服交互，对混合专家模型架构加以运用，合理拆解复杂的业务场景，使其转变为垂直的任务子模型集群，包括用户投诉、业务办理以及业务咨询等，在专业能力上有效实现分工协同。在对话交互期间，应基于预训练模型，对用户语音或者输入的文本展开实时解析，确保对用户需求精准识别。与此同时，应有效实现坐席辅助与智能填单，利用匹配关键词和语言情感分析，为用户实施推荐知识。在此期间，可以结合用户问题和历史数据，并采用智能推荐算法，对话术推荐加以优化。在用户画像时，应有效整合业务与缺陷数据，为坐席关联查询有效助力。对于用户输入的语音内容，可以借助语音识别有效转化为文本内容，并采用供热大模型对业务实体与核心诉求有效抽取，自动完成工单的填单操作。对于服务质量应有效实现智能质检，根据业务数据具有的特征，对录音质检模型有效打造，并要建设工单质检模型。在检验录音质量时，应有效检测录音内容的情绪波动，并要检验业务熟练度和服务话术流畅性，明确服务态度，并找出录音内容中的敏感词。在检验工单质量时，应全面检查填单准确性与内容合规性，并要检验总结准确性，找出内容中的错别字。此外，对于 AI 大模型的应用，应确保与供热行业具有较高适配性。从供热业务角度展开分析，对于其中的特殊场景，应根据供热设备特征展开训练，包括阀门与管道标识等，并要对传统图像处理 and 深度学习模型有效整合，根据业务规则做好校验工作，合理构建复合型的质检框架。在有效融合多维度

特征后，可以使以往单一技术瓶颈得到有效突破，确保在复杂场景下能够实现高精度的风险识别^[4]。

3.3 建设内容

在本项目实施过程中，应基于 AI 大模型的应用，在数据库、操作系统以及服务器基础上，合理采用 AI 视觉、大模型以及大数据等技术，充分融合供热行业，合理构建供热管理应用体系。对于该体系，除了要建立数智融合一体化基座以外，还应建立起 AI+供热管理应用体系。首先，对于基座而言，主要包括供热 AI 大模型底座、供热智能算法引擎、供热智能体平台、供热知识库以及供热数据中枢平台等，使各类资源和技术得到有效整合，合理制定智能化解决方案，有效保证能力输出。其次，从应用体系层面来看，应分别面向用户侧与运用侧，其中用户侧需要建立起 AI+客户服务应用体系，确保具有智能客服、智能服务大厅等功能，而对于运营侧，应建立 AI+内部协同应用体系，有效打造智能工单调度平台，使人员管理效率得到提高，使调度运营成本得到降低。除此之外，还需要面向管理侧，合理构建 AI+精细管理应用体系，有效构建数据应用分析和报表平台，并建设领导驾驶舱，使公司内部数据能够有效融通，并释放出数据价值，使公司运转效率得到提升，使客户满意度得到提高。

3.4 供热数据中枢平台

在供热管理过程中，应有效建立供热数据中枢平台，使公司信息孤岛问题得到有效解决，并对供热集团目前的生产经营业务系统有效对接，确保可以实现多元数据的融合处理，有效联通公司内部数据，整合数据资源，在数据层面为公司发展有效赋能。在此过程中，首先需要加强数据源管理，结合公司不同部门合理构建数据库，对用户信息进行存储，有效创建数据源，做好账号与密码的设置，并向用户开放数据库权限。在这之后，需要有效录入数据源，在实际填入时应填好数据员名称、描述、数据库名、用户名、密码、端口等信息。在查询数据源时，可以结合关键字筛选数据源名称，对数据源信息充分展示。其次，在数据集成过程中，应有效保证实时同步、离线同步、整库同步，确保对同步任务的概要信息有效展示，包括任务名称、运行状态、数据读写量等指标。在界面设计时，应配置虚拟表结构，这样可以有效支持直观，主要包括非结构化数据源字段，如是否主键、是否非空、字段类型和名称等。

3.5 供热智能算法引擎

基于 AI 大模型的供热管理系统，可以有效实现智能高效管理目标，结合业务痛点，采用先进的 AI 校验技术、

图像智能分析、OCR 识别技术等，合理制定智能化解决方案，确保对所有业务环节有效覆盖。对于图像处理算法，应根据业务数据，合理划分数据难度等级，并在简单、非歧义场景下，使重复图像的识别准确率超过 85%，使翻拍图像的检测准确率达到 85% 以上，同时还需要准确识别身份证关键字段，使其识别率达到 90% 以上。从服务可用性角度来看，对于 API 的调用成功率能超过 99%。通过运用智能算法引擎，可以达到秒级响应，显存占用控制在 16G 以下^[5]。

4 结束语

综上所述，在城市集中供热系统运行过程中，为了有效提升供热系统的数智化管理水平，应合理运用 AI 大模型技术，实现数据的分类分级管理，有效共享数据资源，并实现智能化管理，使供热管理系统的整体运行效率得到提升。在数智化供热管理系统建立期间，应有效打造数智融合一体化基座，并建立起供热管理智能化应用能

力体系，使供热公司的整体运转效率得到提升，进一步保证供热质量。

[参考文献]

- [1]李勇强.智慧供热管理系统在热网切换调控中的问题分析及解决方法[J].自动化应用,2024,65(4):12-14.
- [2]严波,王朱芳.智慧换热站信息化建设管理系统研究[J].信息系统工程,2024(8):105-108.
- [3]张洪发,吴倩芸,贾朝富.供热领域中热能工程技术的应用与效果评估[J].砖瓦世界,2025(9):112-114.
- [4]白玉.浅谈供热生产综合 GIS 地理信息系统的建设与应用[J].内蒙古石油化工,2024(1):32-35.
- [5]王晓雨.基于智能控制的供热管网节能管理系统设计与实现[J].产业创新研究,2024(22):97-99.

作者简介：赵会猛（1993.10—），男，华北电力大学，过程装备与控制工程，石家庄华电供热集团有限公司，计划经营部，见习助理，经济师。

风-光多物理场数据融合的智能运维决策系统开发与应用

辛明 魏玮 滕丽霞 姜晨曦 袁雪萌
国华(东港)新能源有限公司, 山东 东营 257000

[摘要]智能运维决策系统的开发与应用在文中得到重点研究,该系统涉及风光多物理场数据融合。光伏发电和风力发电广泛应用后,怎样降低故障率、提升运维效率成了亟待解决的课题。利用智能算法将风力与光伏发电的数据相结合,凭借数据融合技术研发出一种智能决策系统。该系统能够实时监测系统状态,进行分析与预测,以此达成智能化运维。文中探讨了该系统在实际运维中的运行效能、架构设计、数据处理流程及关键技术,证明了风力与光伏系统的运行效率显著提升。

[关键词]风光多物理场;数据融合;智能运维;决策系统;故障预测

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18279 中图分类号: TM931 文献标识码: A

Development and Application of Intelligent Operation and Maintenance Decision System Based on Wind and Solar Multi Physical Field Data Fusion

XIN Ming, WEI Wei, TENG Lixia, JIANG Chenxi, YUAN Xuemeng
Guohua (Donggang) New Energy Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract: The development and application of an intelligent operation and maintenance decision-making system have been focused on in this article, which involves the fusion of wind and solar multi physics field data. After the widespread application of photovoltaic power generation and wind power generation, how to reduce the failure rate and improve the operation and maintenance efficiency has become an urgent issue to be solved. Using intelligent algorithms to combine data from wind and photovoltaic power generation, an intelligent decision-making system has been developed through data fusion technology. This system can monitor the system status in real time, analyze and predict it, in order to achieve intelligent operation and maintenance. The article discusses the operational efficiency, architecture design, data processing flow, and key technologies of the system in actual operation and maintenance, demonstrating a significant improvement in the operational efficiency of wind and photovoltaic systems.

Keywords: wind and solar multi physics field; data fusion; intelligent operation and maintenance; decision-making system; failure prediction

引言

光伏发电和风力发电是当下可再生能源的主要类型,在全球能源结构转型进程里起着关键作用,然而鉴于自然环境具备的复杂特性,风光电力系统于实际运行阶段遭遇高故障率以及效率欠佳的情况,提升可再生能源利用效率的关键在于提升系统的智能化运维水平,一种基于风光多物理场数据融合的智能运维决策系统被本文提出,其目的在于将多种数据源整合起来并加以分析,对运维决策进行优化降低故障发生的频率进而提升系统的稳定性以及效率。

1 系统概述

1.1 风光电力系统运维现状

近年来作为可再生能源重要组成部分的风光电力系

统,得到了广泛应用,在运维管理方面,风力发电与光伏发电系统在运行过程中面临着一系列挑战,由于风光电力系统分布极为广泛,其运行环境也十分复杂,传统的人工运维方式不但成本高昂,响应时间也比较长,很难及时进行检测以及维修。在系统负荷波动、恶劣天气等因素影响下,光伏组件与风电机组极易出现故障,对系统稳定性与发电效率造成影响,传统经验依赖性强且无法适应系统规模日益庞大的需求,此外运维人员的经验和判断对于设备故障的识别和预测起着决定性作用,当前风光电力系统中如何降低故障率,减少停机时间以及提高运维效率已成为重要课题。

1.2 智能运维决策系统的意义与需求

智能运维决策系统逐渐成为风光电力系统运维难题

的有效解决工具，这得益于物联网大数据、人工智能等技术的迅猛发展，智能运维系统可对多源数据予以实时采集处理以及分析，能够迅速判别设备状态并对潜在故障作出预判，并给出优化决策支持，以此达成运维工作的精准化与自动化。这种系统能够在出现异常时迅速提供处理建议，极大提高故障预测精度、减少人工干预、提高响应速度以及降低维修成本。还能显著提升风光电力系统的运行效率，延长设备使用寿命。此外智能运维决策系统的引入，智能运维系统在风光电力领域技术持续发展的当下需求变得愈发迫切，已成为行业发展不可避免的趋势。

1.3 系统架构与功能模块

本系统运用模块化架构搭建，核心模块主要包含数据采集、数据融合、智能决策以及用户界面等部分，从风力发电机组和光伏电池板这类设备里获取实时运行数据，例如风速、光照强度、发电功率等，还有外部环境数据，例如温度、湿度等都由数据采集模块负责，通过算法去除冗余数据提取关键信息，使用数据融合模块构建高质量的数据模型，对提取的多维数据展开处理与融合。基于融合后的数据，利用机器学习与人工智能算法智能决策模块对设备开展状态评估以及故障预测工作，生成诸如维护时间、维修优先级等合理的运维决策，运维人员可通过用户界面看到决策结果，且用户界面还会给出操作指引，在大规模系统应用里为满足稳定性与扩展性需求，系统的整体架构设计着重于确保数据流能够被高效处理以及决策可以得到实时响应。

2 数据融合技术

2.1 多物理场数据的特点与挑战

在风光电力系统里采集的数据有着多样的来源，像风速、温度、湿度、光照强度、电压、电流等物理场数据都涵盖其中，这些数据不仅由不同类型的传感器提供，而且环境设备以及外部因素对其也存在影响，因此数据在风光电力系统里呈现出多维度、异构性以及时序性的特性，首先多物理场数据有着高度的相关性，例如发电功率与风速间存在显著关联；其次不同类型数据的格式精度以及获取方式因数据源之间的异构性，而存在差异，这加大了数据融合的复杂度，最后多物理场数据具备重要特征——时序性，其数据会依据时间变化而改变，这就要求融合方法不但能够处理静态数据，更要能够应对动态变化的时序数据。如图 1 所示：

2.2 数据预处理与特征提取方法

为有效开展多物理场数据分析工作，数据预处理以及特征提取这两项工作需率先完成。清洗和规范化作为数据预处理的主要任务，涵盖去除异常值、填补缺失值以及处理噪声等工作，还需要对数据开展标准化与归一化处理工作，以此来消除不同物理量间的量纲差异，进而保障数据的统一性。常见的特征提取方法包括时间序列分析、小波变换、主成分分析（PCA）等，这些方法是把原始数据转化成便于分析的特征向量。从复杂原始数据里，这些方法有能力提取出具备预测价值，且代表性强的特征。例如，对风速以及光照强度等多维数据运用 PCA 方法实施降维操作，能够切实降低数据的维度并且保留最为有用的特征信息，以利于后续的数据融合和分析。

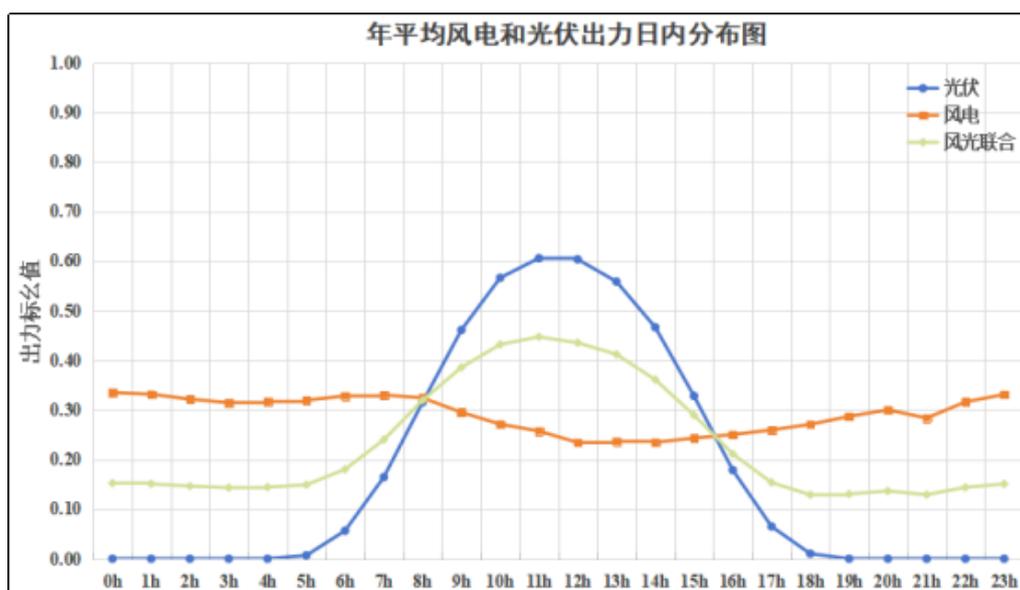


图 1 风电和光伏年平均出力日内分布图

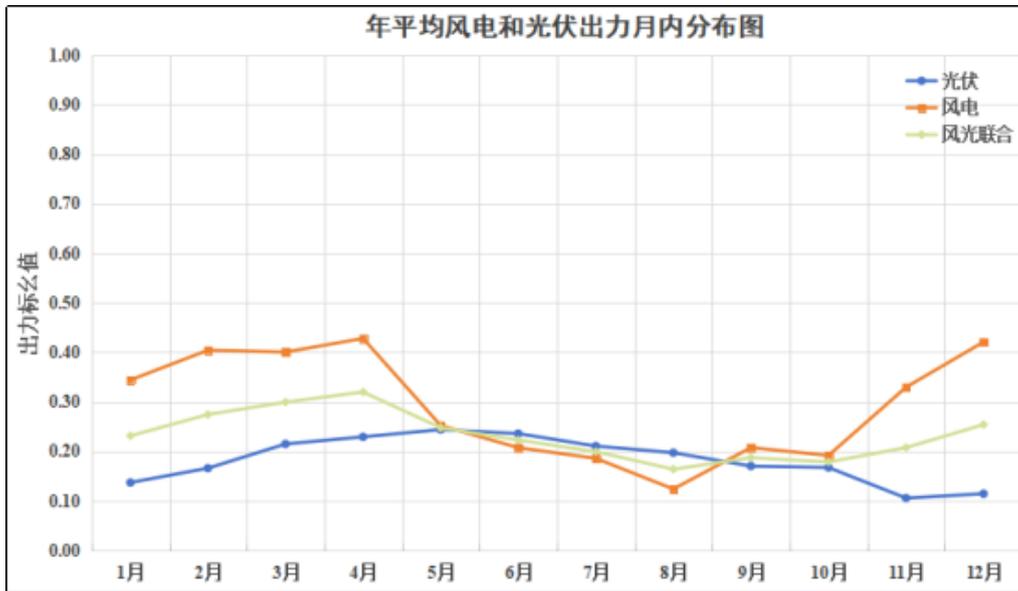


图2 风电和光伏出力月内分布图

2.3 融合算法与模型设计

通过合理的算法与模型把多来源、多类型的数据进行综合，这便是数据融合的目标，最终可获取更为准确全面的信息。在风光电力系统里加权平均法卡尔曼滤波，以及贝叶斯推理等属于常见的数据融合算法，在简单的数据融合场景当中使用加权平均法，采用对不同来源的数据给予不同权重的方式来实施加权融合。带有噪声和不确定性的时序数据处理方面，卡尔曼滤波在动态系统的状态估计领域有着广泛应用。结合先验知识与观测数据借助概率论模型开展融合工作的贝叶斯推理，在应对复杂且多变的场景时颇为适用。近年来除了这些经典算法，深度学习技术在数据融合领域得到广泛应用，尤其是卷积神经网络（CNN）与循环神经网络（RNN）等模型可对大规模多维度的时序数据进行有效处理，并提取深层次特征信息。如图2所示：

3 智能运维决策算法

3.1 智能决策算法概述

智能运维系统的核心是智能决策算法，其目的在于依据收集到的设备状态信息以及多物理场数据自动作出合理的运维决策。机器学习、优化理论以及人工智能等技术被该算法融合，凭借对海量历史数据展开学习与分析，达成对未来运维需求的决策以及预测。实时性以及自适应性是智能决策算法具备的关键特点。算法的自适应性表现为其能够依据数据与环境的改变持续对决策模型进行调整，以此来满足不同运行状态下的变化需求。

算法的实时性确保其能于最短时间内作出决策，以契合快速响应运维需求这一要求。支持向量机（SVM）、粒子群优化（PSO）、遗传算法（GA）以及决策树等都是常见的智能决策算法。将这些算法和风光电力系统的具体特点相融合，智能决策系统可以为运维人员高效提供操作建议，对维修策略予以优化，同时降低系统的停机时间。

3.2 基于机器学习的预测模型

智能运维决策算法里基于机器学习的预测模型是关键部分，此模型通过对设备历史数据展开学习，以预测设备未来运行状态以及故障发生概率，在机器学习领域常见的算法包含监督学习范畴内的分类算法回归分析，以及无监督学习领域中的聚类分析，设备运行性能的变化趋势可用回归分析来预测，例如发电功率与风速、光照强度之间的关系；故障检测与识别会用到分类算法，通过历史故障数据对分类模型展开训练，以此来判定设备是否处于正常状态，常用的分类算法有支持向量机（SVM）以及随机森林（RF），它们可以对高维数据进行处理，而且在复杂环境当中能维持较高的预测准确性，可以帮助识别设备异常运行模式的是聚类分析，由此进而提出具有针对性的维护建议。

3.3 决策支持系统的实现与优化

基于智能决策算法和预测模型的实际应用平台——决策支持系统（DSS），其目的在于给运维人员供给实时且准确的决策建议，实现系统涉及多个环节，诸如数据

采集、模型训练、决策生成，以及结果反馈。首先，系统将多物理场数据进行采集，随后予以融合，以此构建出可靠的基础数据层。随后，运用基于机器学习的预测模型，针对设备后续状态予以评估，产出故障预测以及性能预测的成果；接着，智能决策算法依照运维策略和预测结果给出诸如维护时间规划、设备更换提议等具体的运维决策。最后，运维人员经用户界面接收系统展示的决策结果，同时系统给出操作建议。为不断优化系统，以提升决策支持系统的实际应用成效，要进行模型更新、调优算法改进以及提升系统响应速度。设备状态和实际环境系统要据此自适应调整，让决策的实时性与准确性得以提高。

4 系统实现与测试

4.1 系统架构设计与实现

要由数据采集层、决策支持层、数据处理层以及用户接口层四个部分构成，本系统采用模块化架构，从风力发电机组和光伏组件这类设备里实时获取多维度传感器数据，例如风速、光照强度、温度、湿度、发电功率、电流、电压等，此任务由数据采集层来承担，这些数据通过无线网络传输到数据处理层，数据处理层里的数据预处理模块用高级的数据清洗和去噪，还有归一化方法，来处理原始数据。该层还有融合与特征提取模块，并且通过算法从中提取出有意义的特征信息。设备健康状态的预测以及具体运维建议的生成，是决策支持层借助智能决策算法与机器学习模型对数据展开分析来实现的。

4.2 数据集的收集与分析

本项目收集并分析了来自渤中 B2 海上风电项目和光伏系统的数据，构建风-光多物理场数据融合的智能运维决策系统。首先，收集风电机组的运行数据，包括风速、风向、转速、叶片角度等信息。海洋环境数据如水深、波浪情况也进行了同步监测，以支持准确的环境适应性分析。光伏部分的监测数据来自漂浮式模块，考虑到海浪和波浪影响，模块布置了 132 个单元，单位模块容量为 320kW，总光伏装机容量为 42.24 MW。数据分析利用风电与光伏数据融合，结合气象、海洋数据，实现运维优化。通过该系统，可以实时监测设备运行状态，预测故障和维护需求，从而提高风电与光伏系统的发电效率和运维决策质量。以下表 1 为项目的部分数据表格，展示了风电机组与光伏模块的基本配置及发电数据：

此数据表为项目的主要设备配置与容量信息，数据采集与分析有助于进一步优化运维决策。

表 1 渤中 B2 海上风电与光伏项目设备配置及容量概况

项目参数	数值
风电机组数量	59 台
单机容量	8.5MW
光伏模块数量	132 个
光伏模块容量	320kW
光伏项目装机容量	42.24MW
典型区域尺寸	2600m（东西向）×1100m（南北向）
风机塔筒高度	135m
风机叶轮直径	220m

4.3 系统测试与性能评估

验证系统性能以及可靠性的关键步骤是系统测试，为确保各个模块能正常工作，数据采集处理、决策生成以及用户显示等环节不出差错，首先要进行功能测试以此来评估系统的效果，其次开展负载测试工作，对不同规模的风光电力场景进行模拟测试，观察系统在面对大数据量和大量请求时，能否快速响应并保持稳定。从决策准确性、响应时间以及系统可扩展性这三个方面对性能展开评估，在将系统与传统人工运维方式予以对比后能够明确看到，系统于故障检测与预测方面准确率已然达到 85% 以上，响应速度上响应时间被控制在 10s 以内，在故障预测准确率以及响应速度这两方面均有显著提升，最终借助用户体验测试采集运维人员的反馈信息，对用户界面以及交互方式予以优化以此保证系统能够契合实际应用需求。

5 应用与实践

5.1 系统在风力发电中的应用

在风力发电系统里智能运维决策系统可以对风速风向以及发电功率等各类数据展开实时采集与深度分析，达成对风电机组健康状态的评估以及故障的预测，风电机组发电趋势经系统预测可能的故障风险被提前察觉，运维人员的巡检计划得以优化，举例来讲系统能够针对风电机组在接下来几小时当中发电能力的变动予以预测，同时依照设备状态与风速情况给出维修方面的建议。某台风机若被系统检测出异常情况会即刻发出预警，同时给出具体故障排除步骤助力运维人员尽早介入处理，在实际运用当中系统故障检测的准确率相较于传统的人工检查方式提升超过 30%，不但能够大幅缩减设备的停机时长还可提高风电场整体的发电效率。

5.2 系统在光伏发电中的应用

在光伏系统发电里智能运维决策系统借助实时监测光照强度、温度、电压、电流等关键参数，评估光伏板运

行状况依据历史数据和气象预测针对设备展开健康诊断,光伏组件的性能衰退以及故障风险能够被系统精准识别,同时系统还可对光伏发电和环境条件两者间的关系展开精确剖析,例如当系统察觉到某一光伏模块的发电效率比预设标准低时,会自动发出报警同时给出具体的检测步骤以及维修方案。此外系统还可以依照天气预报对光伏场的运维策略予以调整,于高温或者恶劣天气状况时,采取预防性举措防止设备出现损害,在多个实际应用案例当中,光伏电站借助系统发电量得到显著提高,并且凭借精准的故障预测以及维修规划,维护成本和停机时间均得以降低。

5.3 实际运维中的效果与挑战

在风光电力系统里智能运维决策系统虽说已收获显著成效,然而于实际应用阶段还是遭遇了一些挑战。首先,系统运行的关键在于数据质量,传感器出现故障数据发生丢失或者传输产生延迟这些情况都有可能对系统的预测精度造成影响,所以必须强化数据采集的可靠性与稳定性。其次,系统的适应性问题也是一个挑战。不同类型不同地区的风光电力系统各有特点,系统要依据特定运行环境开展个性化调整,尤其随着设备持续增多技术不断更新换代,系统的维护与更新需持续优化,未来发展的一个重要方向在于怎样保证系统可以持续适应新设备,以及算法的改变。

6 结语

本文所提出的智能运维决策系统针对风光多物理场数据展开融合,成功把风力与光伏发电数据加以整合。凭

借数据处理以及智能决策算法,该系统让风光电力系统的运维效率得到了显著提升。在维修优化、健康评估以及故障预测等方面,系统有着卓越表现,可有效提高系统稳定性、降低维护成本并减少故障率。面对数据质量、系统适应性等挑战时,仍有必要进一步实施优化与调整。随着技术持续发展以及应用场景不断扩展,在未来,智能运维决策系统会于风光电力领域产生更大作用,推动可再生能源实现高效且智能化的发展。

[参考文献]

- [1]钱玮昕,唐铭,董建锴,等.基于 CFD-EnKF 数据同化的室内多物理场精确预测技术的初步探讨与应用[J].建筑科学,2022,38(10):236-242.
- [2]王冠.复合材料损伤缺陷光-声-热多物理场无损检测多参量数据融合[D].吉林:吉林大学,2024.
- [3]马宁,周泓宇,杨盛亿,等.气象数据融合的星地激光链路多物理场损耗分析[J/OL].光通信技术,1-8[2025-11-18].
- [4]雷成,王亚东,石岩,等.基于异构网格数据映射算法的干式变压器多物理场耦合分析[J].电气应用,2022,41(4):5-13.
- [5]周斌,许江,彭守建,等.基于可视化数据的瓦斯突出多物理场参数演化[J].中国矿业大学学报,2020,49(6):1067-1076.

作者简介:辛明(1984—),就职于国华(东港)新能源有限公司,主要研究方向为联合运维管理,主要从事海上新能源关键技术、海上风光同场等方面设计和研究。

风险管理在海洋船舶安全管理信息系统中的应用

丁琦 刘扬帅

镇江晶鼎光电科技有限公司, 江苏 镇江 212130

[摘要]随着海上运输不断发展起来,船舶在运行期间会面临天气、设备以及操作等诸多方面的风险情况。传统的管理方式存在着风险识别往往出现滞后的状况,而且数据呈现出孤立的状态。海洋船舶安全管理信息系统能够实时去采集船舶运行方面的数据以及环境相关信息,进而达成风险识别、预警以及决策支持等相关功能。该系统可提升风险感知的时效性,强化事故预防的能力,助力做出科学决策,以此来保障船舶、货物还有人员的安全,并且推动船舶安全管理朝着信息化以及智能化的方向不断发展。

[关键词]风险管理;海洋船舶;安全管理;信息系统;技术应用

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18298

中图分类号: U698

文献标识码: A

Application of Risk Management in Marine Ship Safety Management Information System

DING Qi, LIU Yangshuai

Zhenjiang Jingding Optoelectronic Technology Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212130, China

Abstract: With the continuous development of maritime transportation, ships will face various risks such as weather, equipment, and operation during operation. Traditional management methods often suffer from lagging risk identification and isolated data presentation. The marine vessel safety management information system can collect real-time data on vessel operation and environmental related information, thereby achieving functions such as risk identification, early warning, and decision support. This system can enhance the timeliness of risk perception, strengthen the ability to prevent accidents, assist in making scientific decisions to ensure the safety of ships, cargo, and personnel, and promote the continuous development of ship safety management towards informatization and intelligence.

Keywords: risk management; marine vessels; safety management; information system; technology application

引言

全球海上运输业发展迅速,海洋船舶在货物运输、能源开发、海洋工程等方面所承担的任务日益重要。不过,船舶运行环境复杂且多变,会受到恶劣气象、海况变化、航道拥堵以及设备故障、人为操作失误等因素影响,船舶事故时有发生,给人员安全、货物运输、环境保护造成很大风险。怎样有效识别、评估并控制船舶运行中的各类风险,是保障海上运输安全的关键问题。近些年来,随着信息化技术、智能化管理手段发展,船舶安全管理信息系统出现,给风险管理提供了技术支撑。通过实时采集、分析、监控船舶运行数据、环境信息、历史事故记录,信息系统可提高风险感知及时性,还能为管理者提供科学决策依据,实现事故预防和控制。本文把风险管理在海洋船舶安全管理信息系统中的应用作为研究对象,系统分析风险信息采集与监控、风险预警与决策支持、风险数据库构建及管理

模块实现等关键环节,还探讨了系统优化策略,如风险预警机制优化、数据共享与协同管理、系统安全性与可靠性提升措施。通过深入研究这些环节,希望为船舶安全管理信息化建设提供理论参考和实践指导,推动海洋运输安全管理朝着科学化、智能化、系统化方向发展。

1 风险管理在海洋船舶安全管理信息系统中的重要性

风险管理在海洋船舶安全管理信息系统中具有重要作用,它能够系统性地识别、评估和控制船舶运营中的潜在威胁,从而保障航行安全、防止环境污染并确保合规性。通过提前识别设备故障、操作失误等风险因素,系统能够预警潜在事故,避免人员伤亡、财产损失及航道中断;同时整合船舶动态、气象信息等实时数据,为应急决策和演练提供支持,提升突发事件的响应能力。此外,系统通过自动化检查和风险等级划分,帮助监管机构聚焦高风险船

舶,推动企业落实安全责任,提高监管效率。在资源管理方面,基于风险分析优先处理关键环节,有助于合理分配资源、降低保险成本及运营中断风险。更重要的是,系统实现了船企、海事部门等多方主体的数据互通与信息共享,促进协同治理,提升整体船舶安全管理水平。

2 风险管理在船舶安全管理信息系统中的应用分析

2.1 风险信息采集与监控

在船舶安全管理信息系统里面,风险信息的采集以及监控属于风险管理的关键环节,同时也是确保船舶安全运行的极为重要的基础所在。风险信息采集涵盖了针对船舶各类运行参数、环境条件、设备状态还有船员操作行为等多个不同维度的数据展开实时获取这一过程。这些数据包含航速、航向、发动机运行状况、燃油消耗量、货物装载情况、气象海况以及船舶周边交通信息等等,借助传感器、自动识别系统(AIS)、卫星定位以及船舶监控设备等途径来开展全面采集工作。而采集所得的数据需要经历智能化处理与分析环节,以此达成异常检测以及风险识别的目的。比如说,利用数据挖掘以及模式识别技术,能够及时察觉到发动机出现异常振动、舵机产生响应延迟或者货物出现偏载等潜在风险情况。监控环节着重于具备动态且连续的风险追踪能力,系统应当可以将船舶运行状态和历史数据、标准规范以及风险模型相互对照,进而实现对高风险事件的提前预警功能。

2.2 风险预警与决策支持功能

在船舶安全管理信息系统当中,风险预警以及决策支持功能属于实现主动风险控制与科学管理极为关键的环节。借助对所采集到的船舶运行数据、环境信息还有历史事故数据展开系统的分析,信息系统得以依据风险评估模型以及预设的阈值达成多层次且多维度的风险预警效果。一旦系统察觉到异常航行的状态、设备故障的潜伏迹象又或是不利的气象条件等情况出现,便能够马上发出警报,提醒船舶管理人员留意潜在的风险,并且给出相应的应对办法。比如说,当船舶碰上强风浪或者航道拥堵的时候,系统能够联合航行路线、船速、吃水深度以及货物状态来生成风险等级评估,并且提出诸如调整航速、变更航线或者优化船员操作等具体方案。决策支持功能并非仅仅局限于对单一事件的处理,还能够对历史数据、风险趋势分析以及模拟预测加以整合,进而为管理者给予具有全局性并且具备前瞻性的决策依据^[1]。凭借可视化的风险地图、动态报表以及情景模拟等方式,船舶安全管理者能够较为直观地掌握船舶的整体运行状况以及潜在风险的分布情况,

从而达到科学且高效的调度以及应急决策目的。

2.3 船舶运行安全风险数据库构建

在船舶安全管理信息系统里,构建起完善的船舶运行安全风险数据库,这可是达成系统化风险管理的根本所在,也是整个管理工作的关键核心。这个数据库主要是要把船舶运行期间所产生的各种各样的安全信息都集中起来存储,还要对其进行结构化的管理操作,并且要能够做到动态更新。如此一来,才能够给风险分析以及相关决策行为给予可靠的数据方面的有力支撑。要建设这样的数据库,首先得把多源数据采集这一项工作做好,这里面就包含了像船舶设备的状态情况、航行时的各项参数、当时的气象海况状况、船员的操作记录等等,另外还得把历史上的事故信息以及险情信息也纳入进来。并且要针对这些数据展开标准化的处理流程,唯有如此,才能够切实保证信息在准确性、一致性以及可比性等方面都能够得以落实。与此数据库还需要建立起完整的数据分类体系以及索引机制,进而实现对不同种类的风险信息能够做到快速地去检索以及细致地去分析,让管理者可以在那种复杂程度颇高的航行环境当中,能够及时且准确地定位到那些潜在的风险点。不仅如此,数据库不但要能够记录下静态的信息内容,而且还要具备对动态数据进行更新的能力,同时还能开展趋势方面的分析工作。比如说,可以通过对历史数据加以比对的方式,再借助统计建模的方法,去发现设备出现故障的频发规律,或者找出航线风险比较容易高发的具体区域,又或者是揭示出操作失误呈现出的某种模式等等。通过这样的方式,就能够为风险预警以及决策行为提供有着科学依据的参考。除此之外,一个高效的数据库还应当拥有兼容性以及扩展性的特点,要能够和船舶安全管理信息系统当中的风险评估模块、预警模块还有决策支持模块实现无缝的对接,以此来达成数据能够实时调用以及共享的效果,进而为船舶风险管理朝着智能化、精准化的方向发展筑牢坚实的数据根基,并且持续不断地提升船舶运行安全管理在系统化以及科学化层面的水准。

2.4 风险管理模块设计与实现

在船舶安全管理信息系统当中,风险管理模块的设计与实现属于关键环节,其能够把理论风险管理方法转变成具备可操作性以及可执行性的系统功能。该模块在设计之时,应当以船舶运行期间的安全需求作为核心要点,全面且细致地考量风险识别、评估、预警、控制以及决策支持等整个过程,进而促使风险管理流程达成系统化与标准化的状态。具体到实现层面而言,模块理应涵盖数据采集接口、风险分析引擎、预警触发机制、决策支持工具以及可

视化管理界面等诸多功能单元。其中,数据采集接口能够确保从传感器、AIS、航行记录以及外部信息平台所获取的数据可以实时且精准地接入到系统之中;风险分析引擎依靠统计学、概率模型以及人工智能算法针对各类风险因素展开相应的计算与评估工作,从而生成风险等级以及可能出现的影响预测结果;预警触发机制借助设定阈值与规则的方式,对船舶运行状态予以实时监控,当察觉到异常情况时便即刻发出警示,并且还会与决策支持工具相互联动起来,进而为管理者给出具体的应对举措以及优化方面的建议^[2]。若要让模块实现高效运行,那么系统还应当构建起灵活的参数配置以及可拓展的逻辑架构,如此一来便能够妥善应对不同类型船舶、航线以及环境条件所发生的种种变化。

3 海洋船舶安全管理信息系统优化策略

3.1 风险预警机制优化

在海洋船舶安全管理信息系统里,对风险预警机制加以优化乃是提升船舶运行安全程度以及管理效能的关键环节。优化的重点就在于构建起科学的、具备动态特性的智能化预警体系,要让系统可以针对船舶运行期间有可能出现的各种各样的风险做到及时地予以识别、较为准确地进行量化评估并且给予精准的响应。具体来讲,得进一步完善风险指标体系,把船舶航行的各项参数、设备所处的状态、所处的环境条件、货物的装载状况还有历史上的事故以及险情等相关数据等多种来源的信息都纳入到综合分析当中来,借助数据标准化的操作以及建模分析的方式来达成风险量化的目的。在此期间,还应当引入智能算法,像是机器学习、模糊逻辑以及预测模型等等,依靠这些来对实时的数据展开动态的监控以及异常情况的识别,进而能够自动地去发现潜在的风险并预测它的发展走向,由此提前发出预警方面的信号。在优化的过程当中,还需建立起分级预警以及响应的相关机制,依据风险的不同等级自动生成相应的警示信息,并且及时地推送给船舶的管理人员以及岸基指挥中心,以此来保证管理者能够迅速地采取相应的应对举措。可视化界面也是优化其中的一个极为关键的环节,借助风险热力图、趋势分析以及动态报表等方式来直观地呈现出船舶的风险状态,使得管理者能够清楚明白潜在风险的分布情况以及变化的趋向。

3.2 数据共享与信息化协同管理

在海洋船舶安全管理信息系统当中,数据共享以及信息化协同管理属于提升系统整体效率并且增强风险管理能力的关键途径。通过将船舶和岸基之间的数据通道打通,同时把各个船舶之间以及相关管理部门的数据通道也一

并打通,进而达成多源信息的实时传输工作,完成对这些信息的整合处理以及开展相应的分析活动,如此便能够为风险评估以及决策制定给予较为全面且较为准确的相关依据。该系统需要构建起统一的数据标准以及接口规范,以此来保证不同设备、各类传感器还有信息平台所采集到的数据可以实现兼容状态,彼此间能够相互互通,并且借助云端或者分布式数据库来达成数据的集中管理目标以及实现数据的动态更新功能。在协同管理这个层面上,应当凭借信息化的相关手段去实现船舶运营环节、航行调度环节、设备维护环节以及安全管理环节等各个环节的同步联动效果,从而促使各个部门以及船舶在面临潜在风险的时候能够迅速做出响应,共同协作进行处置事宜^[3]。比如,在船舶碰上恶劣天气情况或者出现设备异常状况之时,系统可将预警信息实时地共享给岸基指挥中心以及相关的船舶,而且还能够给出操作方面的建议以及提供应急处置方案,进而确保风险处置具备统一性并且有效果。

3.3 系统安全性与可靠性提升措施

在海洋船舶安全管理信息系统当中,系统安全性以及可靠性得以提升这一情况,属于保障船舶运行保持稳定以及风险管理具备有效性的重要环节。要想提高系统的安全性,那就得从硬件、软件还有网络等多个不同方面去展开综合性的防护工作,从而确保数据从采集开始一直到传输、存储再到处理的整个过程都能够安全且可靠。具体来讲,可以采用那些有着高可靠性的传感器以及通信设备,另外还要构建起冗余网络以及备份服务器,以此来防止因为设备出现故障或者网络发生中断这样的情况而导致系统失效;在软件这个层面上,应当借助系统架构方面的优化、容错设计以及异常处理机制来提升系统的稳定性,并且要强化访问控制、身份认证以及数据加密等相关举措,进而防止出现未授权的操作行为以及信息泄露等问题。为了能够让系统的可靠性得到增强,那么还应当建立起定期开展维护、监测以及测试的机制,针对系统运行的状态实施实时的监控,以便能够及时察觉到潜在的隐患并且对其进行相应的修复;与此可以采用分布式的数据存储方式以及灾备系统,达成关键数据以及功能具备高可用性的目标^[4]。再进一步来讲,系统应当拥有自适应以及动态调节的能力,也就是能够依据船舶所处的航行环境、任务发生的各种变化以及风险等级的不同情况来自动地调整自身的运行策略,从而确保即便是在复杂且多变的海洋环境之下,依然能够持续不断地提供准确的风险预警以及决策支持服务。

4 结语

风险管理于海洋船舶安全管理信息系统而言极为重要。通过收集、分析并监控船舶运行数据、环境信息以及历史事故记录,可达成风险识别、评估、预警以及决策辅助的目的,进而切实提高船舶运行的安全程度与管理效能。伴随信息化与智能化技术向前发展,该系统在风险预警机制、数据共享、协同管理以及安全性与可靠性等方面持续优化,能为船舶管理者给予科学且及时的决策依据。构建完备的风险数据库与智能化管理模块,也给船舶运营的长期安全以及可持续发展打下了基础。日后,随着人工智能、大数据分析以及智能监控技术的广泛应用,海洋船舶安全管理信息系统将会进一步提高风险管理的精准度与主动性,从而为确保船舶、货物以及人员安全给予更为可靠且高效的科技支撑。

[参考文献]

- [1]徐冬根,赵劲松,甘爱平.船舶运营管理[M].上海:人民出版社,2021.
 - [2]张纯朋.风险管理在船舶安全管理信息系统中的应用[J].中国设备工程,2016(7):21-22.
 - [3]孙小斐.基于数据统计分析的海洋船舶碰撞风险研究[D].山东:中国石油大学(华东),2018.
 - [4]高建发,阴衍兵,龚璐霍,等.基于风险管理的内河涉客船舶安全运营策略优化研究[J].中国水运,2025(22):28-30.
- 作者简介:丁琦(1986.10—)性别:男,学历:本科,所学专业:化学工程与工艺,目前职称:中级注册安全工程师;刘扬帅(1983.6—)性别:男,学历:本科,所学专业:化学工程与工艺,目前职称:中级注册安全工程师,高级工程师(石油化工工程)。

大模型赋能的供热系统数智化运营模式与关键技术研究

姚玄 朱钦琛 王泽泽 路亮亮

石家庄华电供热集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]为解决传统供热系统运营中存在的工单处理效率低、信息孤岛严重、人力成本高、服务质量参差不齐等痛点, 本篇文章以石家庄华电供热集团数智化转型实践为依托, 提出一种大模型赋能的供热系统数智化运营模式。文章构建了“数智融合一体化基座十三维应用体系”的总体架构, 重点阐述了大模型优化部署、多模态数据治理、智能调度算法等关键技术的创新应用。通过实际项目验证表明, 该模式可实现工单处理效率提升40%以上, 客户满意度达90%, AI机器人自主处理话务量占比超20%, 可有效推动供热企业从“经验驱动”向“数据驱动”转型, 为城市民生服务类基础设施的数智化升级提供参考。

[关键词]大模型赋能; 供热系统; 数智化运营

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18288

中图分类号: F49

文献标识码: A

Research on the Digital Operation Mode and Key Technologies of Heating Systems Empowered by Large Models

YAO Xuan, ZHU Qinchen, WANG Zeze, LU Liangliang

Shijiazhuang Huadian Heating Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In order to solve the pain points of low work order processing efficiency, serious information silos, high labor costs, and uneven service quality in the operation of traditional heating systems, this article proposes a large-scale model empowered digital operation mode for heating systems based on the digital transformation practice of Shijiazhuang Huadian Heating Group. The article constructs the overall architecture of "integrated base of data intelligence fusion+3D application system", focusing on innovative applications of key technologies such as large model optimization deployment, multimodal data governance, and intelligent scheduling algorithms. Through practical project verification, it has been shown that this model can achieve a work order processing efficiency improvement of over 40%, customer satisfaction of 90%, and AI robots autonomously processing over 20% of traffic volume. It can effectively promote the transformation of heating enterprises from "experience driven" to "data-driven", and provide reference for the digital upgrading of urban livelihood service infrastructure.

Keywords: big model empowerment; heating system; digital operation

引言

在大数据、人工智能技术快速发展的背景下, 大模型凭借其强大的自然语言理解、多模态数据处理和复杂任务推理能力, 为供热系统运营模式革新提供了核心支撑。与传统信息化建设不同, 大模型赋能的数智化转型强调“技术-业务-数据”的深度融合, 其在构建统一的智能化基座的过程中打破信息孤岛, 实现从用户交互、工单调度到管理决策的全流程优化。遗憾的是, 目前供热行业的数智化应用仍处于初级阶段, 存在技术与业务适配不足、数据价值挖掘不充分、智能化水平有限等问题。因此, 基于实际业务需求构建适配供热行业的数智化运营模式, 研发关键核心技术, 已成为解决行业痛点、提升服务质量的迫切需求。

1 大模型赋能的供热系统数智化运营模式构建

1.1 模式总体架构

基于“数据驱动、技术赋能、业务协同”的设计理念, 构建“1+3”数智化运营模式, 即1个数智融合一体化基座和3大应用体系。该架构以全栈式国产化软硬件为基础, 利用大模型技术与供热业务深度融合, 实现“提高管理效率、提升服务质量、优化用户体验”的核心目标^[1]。

数智融合一体化基座作为技术支撑核心, 包含五大核心组件: 供热AI大模型底座提供私有化、高性能的模型推理服务; 供热数据中枢平台实现“源-网-站-户”全链条数据的汇聚与治理; 供热智能算法引擎聚焦图像识别、OCR等多模态智能处理; 供热知识库整合行业专业知识与业务数据;

供热智能体平台提供可视化流程编排与应用构建能力。三大应用体系分别面向用户侧、运营侧、管理侧，形成覆盖客户服务、内部协同、精细管理的全场景智能化应用。

1.2 基座层核心支撑体系

1.2.1 多模型兼容的 AI 大模型底座

采用私有化部署模式，基于 SGLang 推理框架构建高性能推理引擎，兼容 Qwen3 32B、bge-large-zh v1.5、bge-reranker-large 等主流模型，利用模型量化、显存优化等技术，实现低延迟、高吞吐的推理服务。性能指标达到：输入长度 6k 时 TPS \geq 77.82，输出长度 14k 时 TPS \geq 143.08；8 并发下首 token 时延 \leq 655ms，非首 token 时延 \leq 100ms，满足实时交互类业务需求。同时，构建统一 API 网关，支持 OpenAI API、vllm 等标准化接口协议，利用 bcrypt 哈希算法与 tiktoken 技术实现安全认证与调用计量^[2]，保障服务的可追溯性与安全性。

1.2.2 全链条数据治理中枢

围绕“源-网-站-户”业务流程，构建覆盖多数据源的统一数据中枢平台。依靠数据源管理模块支持 MySQL、PostgreSQL、Hive 等 10 余种数据库类型的接入，实现数据实时同步（秒级）、离线同步与整库同步功能；数据治理模块建立词根管理、数据字典、数据质量监控等机制，从准确性、一致性、及时性三个维度保障数据质量；数据仓库提供 100T+存储容量，支持 4T 历史数据与每年 1T 增量数据的分布式存储，构建空置房稽核、热费回收等专题数据模型，为上层应用提供高质量数据支撑。

1.2.3 行业适配的智能算法引擎

整合传统图像处理（SIFT/SURF 特征匹配）与深度学习技术，构建复合型智能算法引擎。针对供热场景特殊需求，优化开关栓图像质检算法，实现重复图像识别准确率 \geq 85%、翻拍图像检测准确率 \geq 85%；优化身份证关键字段识别算法，姓名、身份证号等核心信息识别率 \geq 90%，有效解决巡检作弊、实名认证效率低等问题。算法引擎支持 JPG/PNG 等格式图像输入，分辨率 \geq 300 \times 300 时即可达到最优性能，API 调用成功率稳定在 99% 以上。

1.3 应用层三维服务体系

1.3.1 用户侧：智慧服务大厅

以“线下业务全线上化”为目标，构建包含优化类与新增类功能的智能服务大厅。优化类功能涵盖线上缴费、在线报停、恢复供热、报修申请等核心业务，支持多套房产绑定、电子发票开具、维修进度查询等便捷操作；新增补贴审批、余额提现、电子发卡等功能，利用实名认证、电子签名、短信验证等机制保障业务合规性。

特别设计适老化模式，采用放大字体、简化界面、优化操作路径等方式，同步开通“一键呼叫供暖管家”专属通道，配备手持一体机的服务人员可实现 15min 响应、30min 上门，解决老年用户“不会用、不敢用”线上平台的痛点。同时，整合 960577 统一供热服务专线，实现“一号通办”，用户可利用语音、文字、视频等多渠道发起诉求，系统自动关联用户房产信息、缴费记录、历史维修数据，实现诉求“免重复填报”，进一步提升服务便捷度。

1.3.2 运营侧：智能协同平台

构建智能工单调度平台，整合客服工单、缺陷工单、接断管工单等 6 类业务工单，实现“一平台受理、多来源归集”。创新引入工单优先级分级机制，基于用户类型（孤寡老人、残疾人等特殊群体标记为优先级 1）、故障紧急程度（管道爆裂等安全隐患标记为优先级 1，温度不达标标记为优先级 3）、诉求影响范围（整栋楼停暖标记为优先级 2）建立三维分级模型，优先级 1 工单响应时限压缩至 15min，优先级 2 工单响应时限压缩至 30min。

用好智能填单功能，基于大模型分析通话录音转写文本，自动提取来电类型、客户诉求、故障地址等关键信息，实现工单预填写；智能派单算法结合维修人员技能标签、区域分布、当前工作负荷等因素，同时关联换站“一站一责任人”制度^[3]，确保工单精准派送至最优处置人员，减少跨区域调度成本；工单查重功能基于用户卡号、工单类型、故障位置等多维度数据，有效避免重复派单。同时，构建智能客服系统，包含 30 个智能语音服务专席与文本服务专席，覆盖供热缴费咨询、报停流程查询、故障报修引导等 20 类高频场景，实现 7 \times 24h 不间断服务，大幅缓解供暖季人工坐席压力。

1.3.3 管理侧：数据驱动决策

建设统一报表平台与领导驾驶舱，实现运营数据的可视化展示与深度分析。统一报表平台支持热费类、生产类、经营类等 40 余种报表的分钟级生成，涵盖日度监控、周度跟踪、月度管控等多时间粒度，支持多维度筛选与导出功能；数据应用分析平台利用工单分析、热点分析、智能报告生成等功能，挖掘高频问题、重点区域等运营洞察；领导驾驶舱整合 GIS 地图与实时数据，展示热费回收进展、生产负荷执行情况、服务效能等核心指标，辅助管理层精准决策。

2 关键技术创新与实现

2.1 供热领域大模型优化技术

2.1.1 私有化部署与推理优化

针对供热行业数据安全需求，采用“模型量化+显存管理”的双重优化策略。依托 INT8 量化技术将模型参数

精度降低,在保证推理精度损失 $\leq 3\%$ 的前提下,减少40%的显存占用;采用动态显存分配机制,支持单个推理单元同时运行多个模型,提升硬件资源利用率。以及,基于负载均衡算法实现服务水平扩展,当话务量峰值来临时,自动增加计算节点,保障系统稳定性。

2.1.2 行业知识增强与检索优化

构建覆盖供热业务的智能知识库,整合行业规程文件、设备操作手册、故障处置案例、政策法规等多类型资源,涵盖PDF、Word、Excel等多格式文档共计10.4万条数据,其中高频问题库1.8万条,依托智能文本分段、实体识别、关系抽取技术生成高质量向量表示,确保常见业务场景知识覆盖率 $\geq 80\%$ 。考虑到供热行业专业术语多、场景特殊性强特点,采用“领域语料预训练+增量微调”的优化策略,补充3万条供热专属语料(如“水力失调”“气候补偿”“二网平衡”等专业术语标注数据),使模型行业语义理解准确率提升15%。

采用“语义向量检索+关键词检索”的混合检索模式,结合重排序机制与查询扩展技术,例如用户咨询“报停流程”时,系统自动生成“报停条件”“所需材料”“办理时限”“线上办理入口”等关联子问题,实现多路并行检索,避免知识遗漏。同时,建立知识库动态更新机制,每周同步新增工单中的典型问题与处置方案^[4],每月联合供热专家开展知识校验,确保知识库时效性与准确性。

2.2 多模态数据治理与融合技术

2.2.1 异构数据集成技术

基于CDC技术实现业务系统数据的实时同步,支持秒级数据更新,保障工单处理、客服交互等实时业务的数据时效性。针对非结构化数据(如话务录音、巡检图片),依托虚拟表技术将Hdfs、Kafka等数据源映射为结构化表,实现非结构化数据的统一管理。此外,建立数据血缘追踪机制,清晰展示数据流转路径,保障数据可追溯。

2.2.2 数据质量保障技术

构建“稽核-告警-整改”的全流程数据质量保障体系。预设唯一性、空值校验、重复值校验等10余种质量指标,根据质量大盘实时监控数据质量状况;针对异常数据触发分级告警,支持邮件、短信等多渠道通知;建立数据质量整改闭环,跟踪整改进度并记录整改结果,确保数据质量持续提升。采用该技术之后,用户基础数据准确率和工单数据一致性均得到提升。

2.3 智能调度与服务优化技术

2.3.1 工单智能调度算法

基于多目标优化理论,构建融合“技能匹配度、区

域距离、工作负荷”的派单算法。将维修人员技能划分为管道维修、电气检修、换热站调试、温控阀校准等8类标签,通过余弦相似度计算技能匹配度,匹配误差 $\leq 5\%$;结合GIS地图实时路况数据,计算维修人员与故障地点的最短路径;基于历史工单处理时长、当前未办结工单数量构建工作负荷评估模型,动态调整派单权重,避免人员过载。

考虑到供热系统“热源-管网-换热站-用户”全链条的惯性与滞后性,算法新增热负荷关联因子,结合实时气象数据、换热站运行参数、用户室温反馈,预判故障影响范围与处置难度,比如低温天气下的温度不达标工单,自动增加处置人员配置优先级,确保处置效率。

2.3.2 多模态智能质检技术

整合语音、文本等多模态数据,构建覆盖客服通话与工单的全量质检模型。语音质检模型实现情绪波动检测、服务话术流畅性、敏感词识别等功能;工单质检模型针对填单准确性、内容合规性、错别字等进行校验。采用大模型对质检结果进行深度分析,自动归纳高频问题与服务短板^[5],输出优化建议,使质检覆盖率从传统的30%提升至100%,人工质检成本降低60%。

3 应用实践与效果

3.1 项目实施概况

该数智化运营模式在石家庄华电供热集团全面落地,覆盖1.01亿 m^2 供热面积、300万服务人口,接入852公里一次管网的运营数据。项目部署超融合服务器、算力服务器、高性能分析服务器等国产化硬件设备,搭载自主研发的数智化运营系统,实现与现有收费系统、稽查系统、客服系统的无缝对接,保障业务连续性。

3.2 关键指标提升效果

3.2.1 运营效率提升

数智化运营后,工单处理效率显著提升:智能填单功能使工单录入时间从平均5min缩短至1min,填单错误率从15%降至2%;智能派单算法减少30%的重复派单,工单平均办结时长从4h压缩至2.4h;AI机器人自主处理话务量占比达22%,日均处理话务196通,有效缓解了人工坐席压力。

3.2.2 服务质量优化

在运营效率得到提升的同时,客户满意度也获得大幅提升:通过7×24h智能客服、100%工单回访等功能,客户满意度从82%提升至90%;二次投诉率从12%降至3.5%;业务线上办理率达85%,实现“零跑腿”服务,用户办理业务平均时长从30min缩短至5min。

3.2.3 管理水平升级

最后,数据驱动决策能力也得到增强。统一报表平台支持 40 余种报表的分钟级生成,决策响应时间从 3d 缩短至 4h;利用热点分析功能精准识别重点服务小区与高频诉求,使资源投入效率提升 25%;全量质检实现服务问题早发现、早整改,服务合规率达 99.8%。

3.3 技术创新价值

该项目的成功实施验证了大模型在供热行业的适配性与有效性,其技术创新价值主要体现在三个方面:一是构建了全栈国产化的数智化基座,保障系统自主可控;二是形成了“数据-模型-应用”的闭环体系,实现了技术与业务的深度融合;三是研发了一系列行业专属算法,解决了供热场景特殊痛点。项目相关技术已形成多项知识产权,为供热行业数智化转型提供了可复制的技术方案。

4 结束语

综上所述,本文提出的大模型赋能供热系统数智化运营模式,有效解决了传统供热运营中的效率低、服务差、管理难等痛点,可显著提升运营效率、服务质量与管理水平,为民生服务类基础设施的数智化升级提供了实践范例。未来应推进模型持续迭代,结合更多供热场景数据训练行

业大模型,提升复杂业务的处理能力;也可以整合物联网、区块链等技术,实现设备状态实时监控、热费结算透明化等新功能。不过,任何技术都是一把双刃剑。一定要密切关注数据安全与隐私保护,持续完善等保二级合规体系,确保数智化转型安全可控。

[参考文献]

- [1]唐勇.AI 大模型赋能制造业全链路数智化转型[J].信息系统工程,2025(5):79-82.
- [2]集中供热议题监督小组.科技赋能集中供热[J].北京观察,2023(10):38-39.
- [3]宋美元.智慧供热技术的应用与思考[J].信息技术时代,2025(7):15.
- [4]张航,龚征旗.数智化转型赋能企业可持续发展——兼论企业韧性的作用[J].工信财经科技,2025(1):41-57.
- [5]宋慧欣.能源行业数智化转型正当时[J].自动化博览,2023,40(9):100-103.

作者简介:姚玄(1972.8—),男,河北经贸大学,国际经济与贸易,石家庄华电供热集团有限公司,副总经济师,高级工程师。

新能源基地建设工程地质条件综合评价研究

汪祥兆

中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410014

[摘要]伴随风电以及光伏这类新能源基地建设进程的快速推进,其工程地质方面所呈现出的复杂性以及区域间的差异性也愈发明显起来。当下,在基地选址以及建设相关事宜上,大多依靠的是传统勘察方式或者仅仅针对单一因素展开分析,然而却缺少对于地形地貌状况、岩土体的具体性质、水文地质情况、各类不良地质现象还有风光资源等多方面的综合评定。如此一来,便致使部分工程项目在建设以及后续运行期间出现了诸如基础发生沉降、施工过程中存在诸多困难亦或是维护成本不断增高等一系列问题。从这一系列情况能够看出,针对新能源基地的工程地质条件展开系统的综合评价并进行分区分析,其意义颇为重大,能够为基地选址、规划制定以及安全稳定运行等相关事宜给予科学合理的依据。

[关键词]新能源基地建设;地质条件;综合评价

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18284

中图分类号: X391

文献标识码: A

Comprehensive Evaluation of Geological Conditions for the Construction of New Energy Bases

WANG Xiangzhao

PowerChina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha, Hunan, 410014, China

Abstract: With the rapid progress of the construction of new energy bases such as wind power and photovoltaics, the complexity and regional differences in engineering geology have become increasingly apparent. At present, in terms of site selection and construction related matters, most rely on traditional survey methods or only analyze a single factor. However, there is a lack of comprehensive evaluation of terrain and landforms, specific properties of rock and soil, hydrogeological conditions, various adverse geological phenomena, and wind and solar resources. As a result, some engineering projects have encountered a series of problems during construction and subsequent operation, such as foundation settlement, numerous difficulties during construction, or increasing maintenance costs. From this series of situations, it can be seen that conducting a systematic comprehensive evaluation and zoning analysis of the engineering geological conditions of the new energy base is of great significance, which can provide scientific and reasonable basis for site selection, planning, and safe and stable operation of the base.

Keywords: construction of new energy base; geological conditions; comprehensive evaluation

引言

随着全球能源结构不断转型以及低碳发展战略持续推进,新能源基地建设已然成为推动可再生能源开发利用、保障能源安全并达成可持续发展的关键途径。风能、太阳能等新能源资源较为丰富的地区,因地理环境与地质条件存在差异,给风电场、光伏电站以及综合能源基地建设给予了基础条件,然而也带来了工程技术层面以及管理方面的诸多挑战。新能源基地建设一般会涉及占地范围广、设施分布密集、基础工程情况复杂等特性,其安全性、经济性以及运行效率在相当程度上依靠工程地质条件是否适宜。地形地貌状况、岩土体工程相关性质、水文地质条件、不良地质现象以及风光资源环境等诸多因素,一方面影响

着基地的选址事宜以及设施的布置安排,另一方面直接关系到基础的稳定性、施工的难度以及后期运行维护的可靠性。虽说已有部分研究针对单一地质因素或者局部工程展开过分析,可是缺少对新能源基地建设区域开展的多因素综合评价以及空间分区方面的研究。鉴于此,本研究打算通过构建一套系统的工程地质条件综合评价指标体系,同时结合多源数据以及科学的评价方法,针对新能源基地建设区域的工程地质条件展开全面且细致的分析与分区评价,从而揭示出不同区域在适宜性方面存在的差异,进而为基地的选址工作、规划设计环节以及风险管控举措给予科学方面的依据,助力新能源基地实现高效、安全且可持续的建设目标。

1 新能源基地建设工程特点

新能源基地建设工程作为构建新型能源体系的关键环节,具有多能互补、一体化开发的特点,通过整合水、风、光及储能等资源,实现能源协同优化和供电稳定性提升;同时高度依赖先进技术与创新驱动,推动智能化管理和新型能源业态发展,提高系统灵活性和效率。基地建设投资规模大,成本控制关键,需科学管理进度、采购和施工;资源依赖性强,选址需充分评估日照、风力等自然条件以确保效率。工程建设周期长,涉及水工、电气、土建等多个子系统,管理复杂,同时强调储能设施配套以应对新能源间歇性问题,保障电网调节能力。项目实施还需遵循国家能源政策和战略,注重全生命周期管理,包括运营维护、性能监测及升级改造,以实现长期稳定收益。

2 新能源基地工程地质条件影响因素分析

2.1 地形地貌对基地选址与建设的影响

地形地貌在新能源基地选址方面属于极为重要的基础条件,其呈现出的各类特征会对场址的可利用状况、工程建设的布局安排以及施工组织的方式方法产生直接的影响。平坦或者呈缓坡状的地形,一般都拥有地表较为稳定、施工操作起来比较便利、开展基础处理工作时所需的工作量相对较小等诸多优势,这无疑给风电项目以及光伏项目的建设赋予了相当高的适宜性。然而在丘陵、山地亦或是沟谷发育的区域,因为存在高差偏大、坡度较为陡峭、地貌单元情况复杂等状况,这不但会让场地平整以及基础开挖方面的工程量有所增加,而且还极有可能致使地层厚度出现较为明显的变动情况、岩土结构呈现出不均一的状态,如此一来便使得工程的不确定性得以提高。除此之外,地形的形态走势还会对风能资源以及光照资源的分布格局造成影响,比如说山脊以及迎风坡这类地形往往具备较强的风能资源,而那种起伏遮挡情况较为显著的地形则有可能引发光照分布不均或者日照时间有所减少的现象,最终会对能源的利用效率产生一定的影响。

2.2 岩土体工程性质对基础稳定的影响

岩土体的工程性质在很大程度上决定了新能源基地基础的稳定性,它属于重要的控制因素之一。岩土体的物理力学特征会对地基的承载能力、变形特性以及结构物长期开展工作的可靠性产生直接的影响。不同类型的岩土体在诸多方面存在着明显差异,像密实度、结构性、层理特征、水敏性以及强度参数等,这些差异使得基础的受力状态和变形表现呈现出不一样的情况。比如说,那种密实且坚硬的岩层,一般而言会具备比较高的承载力,并且还拥有不错的变形控制能力,这对于大型风机、变电站这类重

载设施的基础建设而言是有利的^[1]。然而像松散砂土、软黏土或者风化程度较为强烈的岩体,就可能会出现压缩性偏大、抗剪强度偏低、结构不够稳定等等特点,如此一来便容易引发不均匀沉降、侧向位移或者局部发生破坏等情况,进而对上部结构的安全性造成影响。

2.3 风、光等资源环境因素对场址条件要求

风、光这类资源环境方面的因素,在新能源基地选址这件事上,属于极为关键的核心约束条件。它们具体的分布情况以及稳定性状况,会在很大程度上直接对项目的能源利用效率以及经济效益起到决定性的作用。就风电基地来讲,得拥有那种能够持续存在、相对稳定的并且风速还足够的风能资源才行。与此还得把风向是否具有一致性、风切变呈现出怎样的特性以及湍流强度处于什么水平等诸多参数都考虑进去,毕竟这些特性可是会对机组怎么布置、能否安全运行以及发电效率高等方面产生影响的。再看光伏基地,它对于太阳辐射的强度、一年当中有多少日照时数、光照的稳定性怎么样以及地表的反照率如何等等一系列因素,通常会表现得更为敏锐一些。

2.4 水文地质因素对建设与运营的影响

水文地质方面的情况对于新能源基地的建设以及后续运营来讲有着颇为重要的影响。它的相关特征一方面能够决定地基土体呈现出怎样的力学行为,另一方面还同工程结构所能保持的长期稳定状况以及耐久性能紧密关联起来。像地下水所处的埋深情况、具体类型、补给与排泄方面的条件,还有水位变化的幅度等等这些因素,都会直接作用于岩土体,对其天然含水量、软化程度以及抗剪强度等方面产生影响,进而对基础的承载能力以及变形特性起到相应的作用。在那种地下水位处于较高状态或者水文条件较为复杂的区域当中,地基是极有可能会出现湿陷情况、遭受渗流破坏,亦或是出现孔隙压力升高这类现象的,如此一来便会让施工以及运行过程中的风险有所增加。地下水所具有的化学性质,比如其中的盐分、腐蚀性成分等等,也是有可能给钢筋混凝土结构、金属设备的基础以及电缆通道带来一些不利的影响的^[2]。除此之外,就区域而言,其地表水系具体的分布状况、洪水出现的频率、暴雨径流所呈现出来的特征等这类水文环境条件,同样是对场区的排水组织安排以及防洪安全状况产生影响的,并且对于风电场的道路、光伏阵列的布置方式以及附属设施的运营情况而言,还会有着长期的影

3 新能源基地工程地质条件综合评价应用研究

3.1 评价区域与数据准备

评价区域的空间范围以及边界确定要依据研究目标

和工程规模来开展,要清晰地把握拟建的新能源基地还有其影响缓冲区都囊括进去,并且要在图件之上标注出行政区划、主要交通方面的情况、供电相关情况以及水利设施等方面的具体要素,这样做有助于展开综合性的分析工作。评价区域的地质单元划分需要参照比例尺为1:50,000或者1:100,000的地质图、工程地质填图所涉及的资料以及遥感影像,同时结合由DEM生成的坡度、坡向以及高程分布图来对地形地貌进行初步的分区操作。数据准备涵盖了多源资料的收集、整理以及质量把控等方面:其一便是基础地质资料,像地层岩性、构造、断裂带分布状况以及不良地质体分布的相关记录;其二为工程地质勘探资料,包含钻孔日志、原位测试(例如贯入、剪切、标准贯入等),还有室内试验得出的结果(比如粒径、含水率、固结与三轴试验等)以及现场观测留下的记录;其三属于水文地质与气象水文方面的数据,包含了地下水位的监测情况、水文断面的具体情况、径流以及极端降雨的相关资料,还有长期的气象观测所获取的数据;其四为资源环境数据,像是风场和太阳能辐射的时空序列、植被覆盖以及土地利用/覆被图;其五是工程配套与社会经济方面的数据(如道路、电网、土地权属、建设限制区等等)。

3.2 指标权重计算与模型参数确定

在构建起新能源基地工程地质条件的综合评价体系之后,有必要对各个评价指标所具有的重要性予以量化处理,如此一来便能够保证最终的评价结果可以如实且准确地反映出工程地质条件在差异性以及适宜性方面的实际情况。指标权重的计算一般会遵循将定性判断同定量分析相互融合起来这样的原则,借助层次分析法(AHP)、熵权法或者是组合权重法等相关方法来达成这一目的。依据像地形地貌、岩土体的工程性质、水文地质条件、不良地质现象还有资源环境因素等一系列指标彼此之间存在的逻辑关联去构建起层次结构模型,然后邀请众多在地质、工程以及规划领域都颇有造诣的专家针对指标对比判断矩阵展开评分操作,凭借AHP来计算出主观权重,与此同时还要开展一致性检验工作,以此来确认判断矩阵具备足够的可靠性。接着,要把各类指标的原始数据都进行一番标准化的处理,依照其呈现出的离散程度去计算出熵值以及差异度,进而获取到客观权重值,这样做能够在很大程度上削减因人为因素而引发的偏差情况^[3]。对于评价模型的参数而言,得依据不同指标所处的类型(是定性的还是定量的)来明确其相应的分级标准以及评分区间,比如说借助地形坡度的分级情况、岩土强度指标所处的范围、地下水位变化的幅度、灾害敏感性的等级、资源条件的等

级等这些方面来形成参数化的表达形式;并且要根据实际的评价需求去挑选与之相匹配的综合评价模型,像是加权叠加模型、模糊综合评价模型、灰色关联分析模型或者集成多因子适宜性评价方法等,而后还得对模型当中诸如阈值、隶属度函数、评分区间之类的各项参数加以校准处理。

3.3 工程地质条件分区评价

工程地质条件分区评价在新能源基地建设规划里属于极为关键的一个环节。其主要意图在于依据地质环境所呈现出的空间方面的差异情况,把相应的评价区域划分成若干个有着相近工程地质特征的单元,进而能够为建设布局以及风险管理给予科学层面的依据。在开展分区工作的过程当中,起初会借助GIS平台针对已经经过整理的地形地貌、岩土体工程性质、水文地质条件、不良地质现象还有风光资源等诸多类型的各类空间数据展开叠加分析操作。经过运用空间插值以及地理加权等相关方法之后,便能够生成连续性的工程地质属性分布图。接着再将各个评价指标赋予与之相匹配的权重,而后对其进行综合性的评分处理,由此便形成了综合工程地质适宜性指数。不同的分值范围会对应着不一样的适宜性等级,进而依据此来划定出高适宜区、一般适宜区以及限制开发区等不同种类的地质条件分区。在整个划分的过程之中,务必要充分考虑到地质单元的连通性以及连续性这两个方面的情况,要尽力避免出现过度分割而导致评价碎片化这种状况的发生。

3.4 不同分区适宜性综合分析

在完成工程地质条件分区评价之后,得要对各个分区的适宜性展开综合分析,以此来明确不同区域在新能源基地建设当中的建设潜力以及限制条件。综合分析主要是依据各分区的工程地质适宜性指数、资源环境条件、地形地貌特征还有不良地质现象分布状况,对各分区的建设优势与风险予以量化比较。把各类指标的权重与评分结果加以叠加,进而形成综合适宜性等级,由此划分出高适宜区、适宜区、一般区以及限制区,并且在地图上进行可视化呈现,方便直观地反映出区域空间的差异。高适宜区一般有地形较为平整、岩土体较为稳定、水文条件良好、风光资源丰富以及不良地质现象较少等特性,适宜大规模风电或者光伏项目布局;而适宜区和一般区就可能存在局部地质较为复杂或者资源条件不均等等方面的情况,这就需要在设计与施工环节当中采取与之相应的工程举措。

3.5 结果可靠性验证与敏感性分析

在完成针对新能源基地的工程地质条件所展开的综合评价工作之后,便有必要对此次评价得出的结果可靠性予以验证。与此还需积极开展敏感性分析,借此来评估各

个指标对于综合适宜性评价所产生的影响程度,进而切实保障分析结果具备科学性以及可应用性。可靠性验证主要是通过将评价结果与实地勘察所获取的数据、以往的历史建设案例以及已有的地质灾害记录加以对比的方式来进行的。其目的在于检查分区评价结果在对地质条件的反映情况、风险识别状况以及适宜性等级划分方面是否具有 consistency 以及准确性。还可以借助交叉验证、留一法或者蒙特卡洛模拟等多种方法,针对评价模型在不同样本或者是不同参数条件之下的稳定性展开检验,以此来分析模型结果可能出现的波动范围以及误差水平。敏感性分析是通过调整各个评价指标的权重、评分标准或者模型参数等操作,去观察综合适宜性结果呈现出的变化规律,从而精准识别出对评价结果有着最大影响的关键指标,并且评估权重分配以及参数设置对于最终分区等级划分所具有的敏感程度。

4 结束语

新能源基地建设工程在施工过程中,其安全性以及所能够取得的效益都很大程度上依靠对地质条件做出合理的评估。具体而言,全面且细致地去分析地形地貌方面的状况,了解岩土体所具有的性质,掌握水文地质的具体条件,关注不良地质出现的现象,并且考虑风光资源等相关因素,进而针对这些方面展开综合分析并进行分区评价,

如此一来便能够较为科学地去识别出不同区域在建设时的适宜程度以及存在的潜在风险。相关研究已经明确指出,建立起系统性的工程地质条件综合评价体系,一方面能够为基地的选址工作以及规划设计环节给予可靠的参考依据,另一方面还有利于对工程的整体布局加以优化,促使建设效率得以提升,并且能够有力地保障后期运行时的安全性,从而为新能源基地实现可持续发展给予了极为重要的支撑作用。

[参考文献]

- [1]李树鹏,常海宁.新能源建设工程地质灾害评估研究[J].环境科学与管理,2022,47(1):26-28.
- [2]迟永宁,刘燕华,王伟胜,等.风电接入对电力系统的影响[J].电网技术,2007,31(3):5.
- [3]董莹.地质灾害危险性评估技术在新能源工程建设中的应用——以辽宁省某地面光伏发电工程建设为例[J].科学技术创新,2015,5(14):14.

作者简介:汪祥兆(1984.2—),男,湖南衡阳人,毕业于长沙理工大学,现就职于中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电地质勘察,新能源工程地质勘察,参与多项相关领域工程勘察项目,具备扎实的专业理论与丰富的工程实践经验。

测绘信息化在生态整治项目管理中的应用探索

张继岭

梁山县自然资源和规划局, 山东 济宁 272600

[摘要]生态整治项目管理所面临的挑战主要在于其空间呈现出的动态特性以及过程体现出的复杂性,而传统的管理模式在数据方面的支撑以及对过程的控制上都存在着一定的局限之处。测绘信息化是以遥感技术、全球导航卫星系统、地理信息系统以及三维激光扫描等技术作为重要支柱的,它达成了从数据采集一直到智能决策这样的一种服务范式方面的转变。此文较为系统地阐述了测绘信息化在项目整个流程当中的融合应用模式,其中包含了前期的本底调查环节、规划设计模拟环节、施工期间的动态监测环节以及后期的运维评估环节等诸多关键环节,并且还提出了构建起一体化的框架、推动技术相互融合、进一步完善实施方面的保障措施以及对技术演进保持前瞻性的思考等一系列系统性的策略。

[关键词]测绘信息化;生态整治;项目管理;空间信息;动态监测

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18272

中图分类号: P208

文献标识码: A

Exploration on the Application of Surveying and Mapping Informatization in Ecological Remediation Project Management

ZHANG Jiling

Liangshan County Natural Resources and Planning Bureau, Jining, Shandong, 272600, China

Abstract: The challenges faced by ecological remediation project management mainly lie in the dynamic characteristics presented in space and the complexity reflected in the process, while traditional management models have certain limitations in data support and process control. Surveying and mapping informatization is supported by remote sensing technology, global navigation satellite systems, geographic information systems, and 3D laser scanning technology. It has achieved a transformation in service paradigm from data collection to intelligent decision-making. This article systematically elaborates on the integrated application mode of surveying and mapping informatization in the entire project process, which includes many key links such as background investigation in the early stage, planning and design simulation, dynamic monitoring during construction, and operation and maintenance evaluation in the later stage, which also proposes a series of systematic strategies such as building an integrated framework, promoting technological integration, further improving implementation guarantee measures, and maintaining forward-looking thinking on technological evolution.

Keywords: surveying and mapping informatization; ecological remediation; project management; spatial information; dynamic monitoring

生态问题严重制约了我国社会经济的发展,受到国内外的广泛关注。如今,中国的年能源消耗占全球能源消耗的19.5%。煤炭、水泥、粗钢、铁矿石和氧化铝的消耗量远高于其他国家。我国的长期大规模发展造成了大量污染,资源和生态环境状况恶化,生态系统功能恶化,雾霾、土地荒漠化和荒漠化加剧,危及人类生存。与此同时现代测绘技术当下正经受着极为深刻的信息化方面的变革洗礼,其具备的多源数据获取相关能力、能够做到实时处理的能力以及智能分析的能力,都为冲破上述所提及的那些困境赋予了全新的观察角度。促使测绘信息化和生态整治项目

的管理达成高度的融合,这既是在技术层面上提升项目管理效能的一种必要需求,同时也是要达成精细化且科学化的生态治理目标所不可或缺的要求所在。

1 生态整治项目管理概述与核心挑战

1.1 生态整治项目的特点与管理目标

生态整治项目有着明显的系统性、空间性以及动态性特点,其管理所要达成的根本目标是借助人力且科学的干预手段,推动受损的生态系统在结构功能方面得以恢复,并且能够维持起长期的稳定状态。这类项目在实施的时候,其范围往往会跨越多种不同的地理单元以及行政边界,在

此期间, 内部的自然要素之间相互作用的情形颇为复杂, 而且对于外部环境所发生的各种变化都呈现出较强的响应敏感性, 所以它的效益要想显现出来, 就具备极为突出的滞后性以及累积性^[1]。基于这样的情况, 项目管理在开展的过程中就需要全面且细致地去考量生态完整性、技术可行性还有社会经济方面的影响, 力图在多个目标协同融合的状态之下寻求到最优的那个解决方案, 这无疑给管理过程在科学性、协调性以及适应性这三个层面都提出了极高的要求。

1.2 传统管理模式下存在的主要问题与挑战

在传统管理模式当中, 信息呈现碎片化状态, 决策方式较为粗放, 监管工作也处于离散状况, 这些情况共同形成了限制项目成效的关键瓶颈所在。其数据基础较为薄弱, 具体表现为底本信息更新速度较为缓慢, 精度方面存在欠缺, 并且呈现出多源异构的特点, 如此一来便很难对精准的现状予以诊断以及开展情景模拟工作。各个部门之间存在着信息壁垒, 这使得规划难以达成协同效果, 行动也难以实现有效衔接, 进而对整治合力的形成产生了影响。在施工阶段, 过程控制往往依靠间歇性的人工巡查来进行, 没办法做到对工程进度、质量以及环境影响进行实时感知并实施反馈调控。等到后期管护阶段, 成效评估常常仅仅局限于定性方面的描述以及短期的观测活动, 缺少依据长期连续监测数据所构建起来的定量化且客观化的评价体系。

2 测绘信息化的内涵及其技术体系

2.1 测绘信息化的概念与发展阶段

测绘信息化乃是凭借现代信息通信技术, 针对测绘数据的获取环节、处理流程、管理事宜、分析工作以及应用服务等方面展开的一系列系统性的重塑与升级举措。其发展脉络清晰地展示出一个从数字化开始, 接着迈向网络化, 最后步入智能化这样的递进式发展阶梯。在每一个不同的发展阶段当中, 都对测绘所能提供的服务边界以及所具备的应用价值进行了颇为深刻的拓展。在数字化这个阶段, 成功达成了将测绘成果从原本的模拟形式转变为数字载体形式的转换操作, 从而为后续依靠计算机来开展相关处理工作打下了相应的基础。到了网络化阶段, 则是凭借着互联网技术有力地推动了数据的共享进程以及协同作业的开展情况。而处于当下的智能化阶段, 更是把人工智能和云计算加以融合起来, 进而促使测绘朝着能够实现实时感知、进行智能解译以及提供知识服务等方向去跃升转变。总的来看, 这一整个演进过程实质上就是测绘从单纯地提供基础地理信息产品逐步转变为能够提供空间决策支持知识服务这样一种根本性的改变历程。

2.2 核心技术组成

构成测绘信息化技术体系的核心要素涵盖了遥感技术、全球导航卫星系统、地理信息系统以及三维激光扫描等诸多技术群落。遥感技术赋予了我们大范围、多时相以及多谱段的对地观测能力, 其已然成为获取生态环境宏观状态以及变化信息的关键手段之一。全球导航卫星系统能够达成全天候且高精度的实时定位与导航功能, 进而为野外调查、工程放样以及形变监测给予了空间基准方面的有力支撑。地理信息系统身为一个极为强大的空间数据集成、管理以及分析平台, 它可将多源数据加以融合, 并且能够开展空间建模以及可视化表达相关工作。三维激光扫描技术可以极为快速地获取地表与物体的高精度三维点云模型, 这无疑极大地丰富了精细尺度地理信息的来源渠道。并且这些技术并不是孤立地存在的, 而是经过深度融合之后形成了一套完整的从天空地一体化感知直至室内外无缝衔接的技术链条。

2.3 从传统测绘到信息化服务的范式转变

从传统测绘迈向信息化服务, 其间呈现出服务重心发生的重大转变, 即从原先侧重于“测”以及“绘”逐渐朝着“知”与“用”的方向进行根本性的迁移。传统测绘把提供标准化的基础地理信息图件当作核心的任务所在, 其流程在很大程度上是比较固定的, 并且产品所呈现出来的形式也较为单一。而信息化服务则着重强调要以用户的实际需求作为导向, 借助对多源时空数据展开的挖掘以及智能分析等一系列操作, 进而直接给出针对特定问题的解决方案、能够作为决策依据的相关信息或者预警方面的信息。这样的一种转变促使测绘活动得以深深地嵌入到各类业务管理的流程当中, 它的价值也不再仅仅局限于作为底图给予支撑这而是更多地体现在过程的优化、效率的提升以及风险的管控等诸多管理的核心环节之上, 由此便达成了从辅助工具到关键赋能要素这样的一种角色的升华。

3 测绘信息化在项目管理全流程中的应用模式

3.1 基于多源数据的本底调查与可行性分析

在项目立项以及开展可行性研究的这个阶段当中, 测绘信息化是能够对历史方面以及当下形势的多种来源的时空数据加以整合的, 进而去构建起一个较为全面且较为精准的生态环境本底数据库^[2]。借助遥感反演这一手段, 再加上空间叠加分析以及模型模拟等方式, 便可以对区域生态退化的具体程度予以定量评估, 同时还能够识别出那些关键的胁迫因子, 并且能够划定出需要优先进行整治的区域范围。这样一种由数据来驱动的方法, 能够在很大程度上提升对现状进行诊断时的客观程度以及所涉及内容

的全面性,进而为项目的选址事宜、目标的设定情况以及投资的估算工作等提供更加可靠的那种量化的依据,以此来有效地规避在决策过程中可能出现的风险,从而进一步夯实项目立项所具备的科学方面的基础。

3.2 高精度空间数据支持与方案模拟优化

在规划设计这个阶段当中,高精度数字高程模型、实景三维模型还有专题地理信息数据共同组成了方案设计所具备的精确空间底板。借助地理信息系统所拥有的空间分析功能,便能够开展工程量方面的精准计算工作,同时还能针对工程布局展开适宜性评价,并且可以对基础设施进行优化选址方面的相关操作。再进一步地将数值模拟以及虚拟现实技术结合起来运用,如此一来便能够针对不同规划方案实施之后所产生的生态水文效应、景观格局变化等情况展开动态模拟以及可视化推演,进而达成多方案的比选以及迭代优化的目的,以此来保证设计方案能够在生态效益、经济效益以及社会效益等多个方面都实现综合最优的状态。

3.3 动态监测、精准施工与进度质量控制

施工阶段算得上是方案得以落地落实的极为关键的一个时期,在这个阶段当中,测绘信息化凭借构建起天空地一体化的动态监测网络,达成了对施工活动、环境扰动以及工程进度近乎实时的跟踪效果。全球导航卫星系统和智能施工机械相互结合起来之后,能够引导土方作业、种植作业、构件安装作业等各项作业都达到厘米级的精度,如此一来便极大地提升了施工的质量以及效率。与此把日常巡检所获取到的相关情况、监理记录下来的各类内容还有遥感监测所取得的成果统统集成到一个统一的管理平台之上,这样一来便可以实现对进度、成本、质量以及安全这些方面的多维信息展开融合分析,并且还能够在动态仪表盘的形式予以展示,进而有力地支撑管理者开展精准的调度工作以及进行风险预警,以此来确保施工能够严格按照设计的要求去切实执行。

3.4 成效评估与长效监测预警

在项目竣工以后所进入的长效管护期间,测绘信息化会借助持续开展的多时相遥感监测以及地面传感器网络数据采集工作,去构建起项目区域生态体征的长期监测序列。依据这一监测序列,便能够对植被恢复、水土保持、生物生境改善等核心指标的动态变化予以定量评估,以此科学地衡量整治工程所能带来的长期生态效益^[3]。再进一步来讲,通过建立起生态阈值以及预警模型,可以实现对生态系统出现退化情况时早期信号的自动识别与预警,促使管护工作从原本的被动响应逐步转变为更加主动的干预以及

预防性的维护,进而保障整治效果能够具备可持续性。

4 推进测绘信息化应用的策略

4.1 构建一体化、全周期的空间信息管理框架

推进测绘信息化应用的总体策略,关键在于搭建一个贯穿项目全程且能整合各方资源的一体化空间信息管理框架,此框架要充当项目管理的数字核心。该框架一方面要制定统一的数据采集标准、质量规范以及交换协议,以此达成多源异构数据的顺利接入与融合,另一方面还需设计涵盖从项目立项到规划设计、施工建设、运维管护直至后评价整个周期的数据流与业务流模型。借助创建一个权威且唯一的空间信息管理平台,可保证所有参与方在统一的数据基础上展开工作,进而击破信息壁垒,实现规划、实施、监督与评估各个阶段的无缝连接与动态回馈,最终构建起以精准空间数据推动管理决策的闭环体系。

4.2 推动多源数据集成与智能分析平台建设

在技术方面,最为关键的是推进深度的技术融合,着重去建设这样一个公共服务平台,其核心能力是以多源数据的集成以及智能分析为主。这就需要去研发那种高效且自动化的数据处理算法,包括数据清洗、配准、融合以及同化等方面的算法,通过这些来解决从遥感、物联网、社会感知还有传统测绘等不同来源的数据所存在的格式、尺度以及时相等方面差异性的问题。与此还得努力构建起一个平台,这个平台要把海量空间数据管理、高性能计算、专业分析模型库以及友好的可视化界面整合到一起,形成一个云原生的智能分析平台。该平台要能提供开放的应用程序接口,还要有可配置的分析工具链,如此一来,生态领域的业务专家即便不精通底层的技术,也能够较为便捷地开展复杂的空间分析以及模拟预测工作,进而把数据方面的优势实实在在地转化成为决策的优势。

4.3 完善标准体系、人才培养与协同机制

要让测绘信息化应用切实生根发芽,就必须搭建起稳固的实施保障体系,而这一保障体系主要由标准、人才以及机制这三个关键支柱构成^[4]。就标准体系来讲,得着力去构建并且做到动态地对其进行更新,从数据生产环节一直到平台建设环节,再到信息安全方面以及服务效能层面,都要建立起贯穿整个链条的标准规范,以此来为实现互联互通以及确保质量能够得到控制给出相应的依据。在人才培养这个层面上,应当借助多种不同的途径,像是对高等教育课程体系加以改革、设置交叉学科方向以及组织开展在职人员专项技能培训等,以此来系统且全面地培育出那种既掌握现代测绘信息技术又了解生态环境科学还懂得项目管理知识的复合型人才团队。

4.4 前瞻融入物联网、大数据与人工智能趋势

为确保技术应用始终处于先进状态并充满生机活力,应当采取主动发展的演进策略,预先将物联网、大数据、人工智能等新兴趋势充分融入测绘信息化体系之中。要积极推动低功耗广域物联网技术以及智能传感设备在野外监测网络的部署工作,以此达成对生态环境要素以更高时空分辨率进行实时采集的目标。需要引入大数据分析式存储与流式计算框架,来应对并处理持续产生的PB级乃至EB级时空数据,从中挖掘出其隐含的规律与关联。还应着重探索计算机视觉、机器学习及深度学习算法在遥感影像智能解译、生态过程模拟预测、异常模式自动识别等领域里的应用情况,促使分析决策从“自动化”迈向“智能化”,进而不断拓展并深化测绘信息化服务生态整治的能力范围。

5 结束语

测绘信息化给生态整治项目的管理带来了革新范式的机会,它借助赋予全流程精准感知的能力、智能分析的功能以及科学决策的方式,很好地应对了传统管理模式里存在的许多挑战。这篇文章全面阐述了它的应用模式以及

推进的策略,并且论证了测绘信息化是提高项目管理效能、达成生态效益长效化的重要技术途径。往后,伴随技术持续发展以及应用不断深入,测绘信息化肯定会在更为广阔的生态治理领域起到不可取代的核心支撑作用,为打造人与自然和谐共存的现代化提供稳固的技术助力。

[参考文献]

- [1]高敏.测绘地理信息技术在全域土地整治及生态修复中的应用[J].低碳世界,2025,15(2):43-45.
- [2]张永强.智绘中原:DeepSeek技术重塑测绘地理信息产业新生态[J].资源导刊,2025(6):8-11.
- [3]孙康平,穆哲,王纪珍.无人机倾斜摄影测绘在露天矿山生态修复中的应用[J].现代矿业,2025,41(6):229-232.
- [4]张森,张凯,赵希武,等.三维定位技术下区域植被生态环境重度污染地质测绘方法研究[J].环境科学与管理,2025,50(7):168-171.

作者简介:张继岭(1986.5—),性别:男,毕业院校:曲阜师范大学,学历:大学本科,当前就职单位:梁山县自然资源和规划局,职务:助理工程师,及所在职务的年限:助级10年(15年1月聘),职称级别:初级。

智能化监测技术在锂电池工厂安全管理中的应用研究

周 静

孚能科技（镇江）有限公司，江苏 镇江 212132

[摘要]随着锂电池产业快速向前发展，其生产过程中存在的安全问题变得日益凸显出来。传统那种单纯依靠人工进行巡检并且凭借经验来开展安全管理的模式，已经很难去应对设备情况复杂、化学反应活性颇高以及环境状况多变等诸多方面的风险情况。智能化监测技术借助传感器、物联网以及数据分析等方式，能够达成对设备、环境以及作业人员进行实时监控的目的，并且还能在出现异常情况时发出预警，从而为安全管理给予相应的数据方面的支撑。文中对锂电池工厂安全管理的实际现状展开深入分析的基础之上，进一步探讨了智能化监测技术所具备的特点以及它的具体应用情况，以此为提高生产安全水平以及优化管理工作给出一定的参考意见。

[关键词]智能化监测技术；锂电池工厂；安全管理；技术应用

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18282

中图分类号: U469.72

文献标识码: A

Research on the Application of Intelligent Monitoring Technology in Safety Management of Lithium Battery Factories

ZHOU Jing

Farasis Energy Technology (Zhenjiang) Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212132, China

Abstract: With the rapid development of the lithium battery industry, safety issues in its production process have become increasingly prominent. The traditional mode of relying solely on manual inspection and relying on experience to carry out safety management is no longer able to cope with various risk situations such as complex equipment conditions, high chemical reactivity, and changing environmental conditions. Intelligent monitoring technology, with the help of sensors, the Internet of Things, and data analysis, can achieve real-time monitoring of equipment, environment, and operators, and can also issue warnings in case of abnormal situations, providing corresponding data support for safety management. Based on an in-depth analysis of the current situation of safety management in lithium battery factories, this article further explores the characteristics and specific applications of intelligent monitoring technology, providing certain reference opinions for improving production safety levels and optimizing management work.

Keywords: intelligent monitoring technology; lithium battery factory; safety management; technology application

引言

在近些年来全球新能源产业快速发展的大背景之下，锂电池作为储能以及动力电源方面的一项核心技术，它的生产规模还有应用领域都在不断地迅速拓展开来。不过，锂电池的生产过程有着相当高的复杂性，并且还存在着不小的危险性，其中涉及到活性化学材料、高温高压的工艺以及连续化的生产设备等方面，要是管理得不够妥当，那极容易引发诸如火灾、爆炸、化学泄漏以及其他各类安全事故，进而给企业的生产活动以及人员的安全状况都带来极为重大的风险隐患。传统的那种安全管理模式，大多依靠人工去巡检、按照定期安排来开展检查工作以及凭借经验性操作规程等手段，虽说在某种程度上是维持住了生产

的安全态势，可在碰到那种复杂程度高、危险性高并且自动化程度也高的生产环境的时候，就存在着像信息获取存在滞后情况、风险预警不够及时以及管理决策往往依赖经验等一系列诸多的不足之处了。随着工业互联网、物联网、大数据以及人工智能等相关技术的不断发展进步，智能化监测技术在工业安全管理方面的实际应用，正逐渐变成了解决传统安全管理所存在的那些局限性的一个重要途径。借助于对关键设备、生产环境还有作业人员展开实时监测、进行数据采集以及开展数据分析等工作，智能化监测技术是可以达成对安全风险的动态感知效果、能够实现早期的预警功能以及可以给予科学决策方面的有力支持的，如此一来便能够提升锂电池工厂整体的安全管理水平。本研究

把智能化监测技术在锂电池工厂安全管理中的具体应用当作核心要点,目的在于全面且细致地分析其技术所具备的特点、监测所针对的对象、预警所涉及的机制以及数据所采用的分析方法等内容,去探寻怎样凭借智能化的相关手段来对安全管理流程加以优化,以此提高风险防控的能力,进而为锂电池产业的安全生产事宜给出相应的理论依据并提供一定的实践方面的参考。

1 智能化监测技术的特点

智能化监测技术融合了物联网、大数据、人工智能等前沿技术,具备自主学习与自适应能力,能够通过持续积累数据优化检测模型和算法,自动调整参数以适应环境变化或新的监测需求,从而提升长期运行的准确性和效率;同时实现多维度协同检测,可对温湿度、气体浓度、设备状态等多种参数进行融合分析,提供全面的环境或状态评估,避免单一指标的局限性;系统具备实时性和远程监控功能,能够 24h 不间断采集数据并实时传输至云端或用户终端,实现远程可视化监控和即时响应;内置智能算法可进行精准预警与故障诊断,实时分析异常数据并触发报警,同时具备潜在问题预测功能;系统还能对海量历史数据进行深度处理与可视化分析,生成趋势图表和报告,辅助决策优化;通过高精度传感器保证数据可靠性和稳定性,并在恶劣环境下保持测量精度;其高度自动化降低了人工干预需求,提高整体效率;同时采用分布式网络架构,具备良好的可扩展性和远程管理能力,能够适应城市交通、工厂安全、环境监测等多种复杂应用场景。

2 锂电池工厂安全管理现状分析

2.1 锂电池工厂的生产特点与安全风险

锂电池工厂的生产流程复杂且持续不断,其特点有生产环节众多、化学反应条件苛刻、对原材料以及半成品的管理要求颇高等方面。在生产期间,会涉及到电极材料制备、涂布、干燥、卷绕、组装以及化成等诸多工序,每一工序对于温度、湿度以及洁净度都有严格规定,稍有差池就有可能出现质量问题或者引发安全事故。而且,锂电池原材料大多属于活性化学物质,像是锂金属、溶剂、电解液等,这些物质存在易燃、易爆以及腐蚀性的特性,倘若在生产、储存或者运输环节管理不善,极易发生火灾、爆炸以及有毒气体泄漏等安全方面的隐患^[1]。锂电池生产设备一般功率偏大,连续运行时间长,机械故障、电气故障以及操作失误同样可能变成潜在的危险源头。工厂生产环境复杂,人员众多,作业行为各不相同,这使得安全工作面临更大的困难。

2.2 传统安全管理模式及其不足

在锂电池工厂传统的安全管理模式里,大体上依靠人工巡检、定期开展检查以及经验性的操作规程来维系生产安全。其管理流程往往把制度规范、操作手册还有安全培训当作基础,着重强调作业人员要遵循操作规程以及安全标准,并且凭借安全管理部门针对设备运行状况、环境参数以及作业行为展开定期检查与监督。不过,因为生产环节较为复杂,其中存在的危险因素众多并且变化速度较快,所以传统管理模式在信息获取、风险预测以及实时响应这些方面都存在着比较明显的局限性。人工巡检的频次是有限的,很难及时察觉到潜在的隐患,而且安全数据常常处于分散的状态,记录工作也有滞后的情况,缺少系统的分析以及决策方面的支撑,这就使得安全管理欠缺科学性与前瞻性。除此之外,依靠经验以及人工来进行判断的方式很容易受到人员技能水平高低不一、注意力有所分散以及主观偏差等因素的影响,没办法有效地去应对高风险的工艺、化学反应出现异常或者发生突发事件等情形,对于安全事件的预防能力相对来说是比较弱的。

2.3 安全管理中存在的问题与挑战

在锂电池工厂开展安全管理实践期间,所面临的诸多问题以及各类挑战,明显呈现出层次多样、情况复杂的特性。其生产流程极为复杂,并且具有很强的连续性,其中会涉及到多种具备活性的化学物质以及能量较高的设备,同时存在温度、湿度、压力、电气以及化学反应等多种不同类型的交叉风险,如此一来,传统的那些安全管理手段就很难做到及时且全面地去掌握这些风险的实际动态状况。安全隐患有着潜伏性和突发性同时存在的特点,像微小的泄漏情况、设备出现轻微异常状态或者操作出现偏差等问题,在初始阶段是很难被察觉到的,然而却有可能在极短的时间内迅速演变成为严重的事故,这无疑大大增加了风险控制方面的难度。并且,工厂在管理以及监控方面所采用的手段相对比较分散,数据采集工作做得不够完善,信息传递也存在滞后的现象,这就致使安全管理缺乏应有的系统性以及前瞻性,进而使得针对潜在隐患所做的预测与判断的能力受到了限制。随着生产自动化以及智能化程度的不断提升,对于操作人员而言,其对复杂设备的掌控能力以及应急处置能力的要求也在不断地提高,可是人员培训、技能更新以及应急演练等方面往往很难完全跟上技术发展的步伐,这就存在着人为操作出现失误的隐患^[2]。安全管理还面临着政策法规、标准规范适用性不够以及跨部门协调困难等一系列外部挑战,这就使得锂电池工厂在全力追求高效生产的过程中,安全管理所承受的压力始终

处于不断增加的状态。

3 智能化监测技术在锂电池工厂安全管理中的应用

3.1 监测对象与系统构建

在锂电池工厂开展安全管理相关工作的时候,智能化监测技术所发挥的作用主要聚焦于构建起一个综合性的监测体系,这个体系要把生产全过程、环境条件还有人员行为都涵盖进去,以此来达成对潜在安全风险做到实时感知以及动态管控的目的。其监测的对象一方面包含了像涂布机、干燥炉、卷绕机、组装线以及成型设备这类关键生产设备,这些设备在高温、高压以及易燃易爆材料的影响之下运行着,它们的运行状态跟生产安全以及产品质量是直接挂钩的;另一方面还涉及生产环境参数,比如温度、湿度、压力、有害气体浓度、粉尘以及静电等等,这些环境因素哪怕出现细微的波动都有可能引发设备故障或者导致化学反应出现异常情况,进而致使安全事故的发生。除此之外,监测的对象还进一步延伸到了作业人员身上,借助可穿戴设备、环境感知传感器以及行为识别系统,可以对操作行为、作业位置以及生理状态展开实时的监控,如此一来,在潜在危险出现的时候便能够第一时间发出预警信息。在系统构建这块,一般会采用多层次的架构模式,其中包含分布式传感器网络、物联网通信平台、数据采集与处理中心,还有基于边缘计算和云计算的数据分析层。各式各样的传感器会实时去采集那些分散开来的物理和化学参数,然后通过有线或者无线网络把这些数据传送到数据处理单元,在这里会对数据进行清洗、融合以及初步分析等一系列的操作,从而给上层的智能预警以及决策支持打下可靠的基础。

3.2 智能化安全预警机制

在锂电池工厂里,智能化安全预警机制对于达成生产安全以及让风险处于可控状态而言,称得上是极为重要的一环。这一机制最为关键之处就在于,它会针对设备的运行状况、环境的各项参数以及人员的行为展开实时的监测工作,然后把所收集到的数据加以分析,借助智能算法来对潜在的安全隐患做出预测,予以识别并且实施分级预警。该机制依靠传感器网络以及物联网平台,可以实时地去采集像温度、湿度、压力、电流、电压、有害气体浓度还有粉尘等一系列关键指标,与此同时还能获取作业人员的具体位置、操作行为以及生理状态等方面的信息。接着通过边缘计算对这些信息进行快速的处理,再把其中出现异常的数据传送到云端展开更为细致的分析。凭借大数据分析以及人工智能算法,系统能够对历史数据和实时数据开展模式识别,迅速判定异常状态的严重程度以及其发展走向,

从而实现潜在事故的提前预警。比如当设备温度或者电解液浓度出现异常的波动情况时,系统能够自动生成预警信号,并且依照预先设定好的分级策略来触发不同等级的应对举措,像声光报警、自动停机、局部通风或者是紧急疏散提示等都包含在内^[3]。智能化安全预警机制还能够联合生产工艺以及风险模型,去预测可能出现的发展路径,进而给管理者提供决策方面的依据,助力风险防控以及应急处置方案的制定工作。

3.3 数据分析与安全决策支持

在锂电池工厂的安全管理体系里,数据分析以及安全决策支持属于智能化监测技术达成高效管理与风险控制的重要环节,其关键之处就在于把分散、复杂且实时生成的诸多生产数据转变成可操作的安全决策依据。智能化监测系统借助部署于关键设备、生产环境还有作业人员身上的传感器网络,实时收集电池生产线各类设备的运行状况、工艺参数、环境条件以及操作行为等方面的数据,而后经由边缘计算开展初步处理与筛选工作,接着上传至云端数据平台展开深度整合与分析。在数据处理的进程当中,系统依靠大数据分析、机器学习以及人工智能算法,针对海量数据实施模式识别、异常检测以及趋势预测,可以从细微的异常变化里察觉到潜在的风险,并且对其发展路径给予量化评估。比如,通过对温度、电压、电流以及湿度等参数的历史波动规律加以分析,系统能够提前识别出设备出现过热、短路或者电解液异常反应的趋向,进而为有可能发生的火灾、爆炸或者化学泄漏给出预警提示。与此系统还能够整合人员行为数据与生产流程信息,对操作不妥当或者潜在违规行为展开实时分析与风险评估,从而为管理者提供精准的安全状况描绘。

3.4 实施效果评估

在锂电池工厂里引入智能化监测技术之后,其安全管理所取得的效果有了十分明显的提升,在多个不同的方面都充分展现出了应用的价值。借助于对关键设备、生产环境还有作业人员展开实时的监控,该系统能够做到在事故发生之前便及时察觉到潜在的风险,进而达成对温度、电压、电流、湿度、有害气体浓度以及粉尘等一系列参数的动态跟踪,切实有效地降低了因设备出现异常或者环境产生波动而引发的安全事故发生的概率^[4]。与此智能化的安全预警机制和数据分析平台相互结合起来,能够让管理者依据实时的数据做出更为科学合理的决策,针对潜在的危险按照不同等级来进行处置,并且开展应急调度工作,大幅度地缩短了响应的的时间,提升了事故防控工作的准确性以及效率。在系统运行的整个过程当中,通过不断地积累

历史数据并对其进行分析,还能够开展趋势预测以及风险评估等相关工作,以此来为安全管理策略的优化给予数据方面的有力支持。比如说,通过对设备温度以及电解液浓度进行持续不断的监测,就能够提前察觉到局部出现的异常情况并且及时采取相应的干预举措,进而防止火灾或者爆炸事故的发生^[5]。

4 结语

智能化监测技术于锂电池工厂安全管理而言,有着颇为重要的应用价值。凭借对关键设备、生产环境以及作业人员展开实时监测并加以数据分析,此项技术可达成对潜在风险的提早预警,同时还能给予科学决策相应的支撑,进而让安全管理在及时性、准确性以及可操作性等方面均得以显著提升。在那高风险且高复杂度的锂电池生产环境当中,智能化监测一方面补足了传统安全管理手段所存在的种种不足,另一方面也为企业达成安全生产以及管理优化给予了技术层面的有力保障。往后的日子里,伴随传感器技术、物联网以及人工智能持续向前发展,智能化监测

技术会在提升安全管理效率、削减事故发生率以及推动锂电池产业安全生产走向标准化等诸多方面,发挥出愈发重要的作用。

[参考文献]

- [1]杨林林.高速、高精智能化锂电池涂布机关键技术研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(8):103-106.
- [2]张红梅,卢亚,明五一,等.高速、高精智能化锂电池涂布机关键技术研究[J].机电工程技术,2018,47(7):10-13.
- [3]周维和.锂电池充电技术与智能化锂电池充电系统[J].企业技术开发,2017,36(10):64-65.
- [4]马存彪.基于智能制造的盐湖提锂企业机电一体化管控模式探索[J].石化技术,2025,32(11):386-388.
- [5]陈亚楠,玉洁.工智能在锂离子电池研究中的应用[J].粉体技术,2025,13(1):8-12.

作者简介:周静(1979.2—),性别:男,毕业院校:西南科技大学,所学专业:计算机科学与技术,目前职称:安全管理专业中级工程师、中级注册安全工程师。

工业软件赋能汽车研发跨部门协同：数字化转型中的效率提升机制

王星薇¹ 张阳阳²

1. 中汽软件（深圳）有限公司，广东 深圳 518172

2. 中汽数据（天津）有限公司，天津 300393

[摘要]在汽车产业竞争愈发激烈之时，数字化转型已然变成推动企业创新以及效率提升的关键动力所在，而工业软件作为极为重要的工具，在汽车研发跨部门协同这一过程里，起着无法取代的作用。文中通过对工业软件在汽车研发跨部门协同方面应用机制展开系统分析，去探讨它在数字化转型这样的大背景之下，怎样借助数据集成、流程优化、实时通信以及决策支持等层面来促使协同效率得以提升，而且还进一步给出针对研发流程、资源配置、质量管理以及创新能力方面的优化策略。

[关键词]工业软件；汽车研发；跨部门协同；数字化转型；效率提升

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18294

中图分类号: F42

文献标识码: A

Industrial Software Empowers Cross Departmental Collaboration in Automotive Research and Development: Efficiency Improvement Mechanisms in Digital Transformation

WANG Xingwei¹, ZHANG Yangyang²

1. China Automotive Software (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518172, China

2. China Automotive Data (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin, 300393, China

Abstract: With the increasingly fierce competition in the automotive industry, digital transformation has become a key driving force for promoting enterprise innovation and efficiency improvement. Industrial software, as an extremely important tool, plays an irreplaceable role in cross departmental collaboration in automotive research and development. Through a systematic analysis of the application mechanism of industrial software in cross departmental collaboration in automotive research and development, this article explores how it can improve collaboration efficiency through data integration, process optimization, real-time communication, and decision support in the context of digital transformation. Furthermore, optimization strategies are provided for research and development processes, resource allocation, quality management, and innovation capabilities.

Keywords: industrial software; automotive research and development; cross departmental collaboration; digital transformation; efficiency improvement

引言

数字化转型是企业引进先进的数字化技术，改造和重塑企业组织架构与生产流程的重要手段，能够有效丰富和创新企业的创新场景，为企业创新提供更多更加有利的机会，构建起更加精细化、高端化、智能化的创新场景和平台。因此，企业数字化转型能够对企业创新效率产生正面的积极影响，是企业深度创新发展，构建高效创新发展框架的重要基础步骤。随着数字化转型不断推进，工业软件在汽车研发跨部门协同方面给出了新的解决办法。借助集成化、智能化以及可视化等技术方式，工业软件可将设计、生产、测试还有管理等诸多环节有效地串联起来，进而达成资源优化以及流程协同的目的。

1 工业软件与汽车研发协同概述

工业软件指的是在工业领域当中所应用的各种各样的软件系统，像计算机辅助设计、产品生命周期管理以及企业资源规划这类工具都包含在内，这些软件在汽车研发的过程里有着十分重要的作用，它们负责数据管理、流程控制以及决策支持等工作。汽车研发跨部门协同涉及到设计、工程、制造以及销售等诸多部门之间的协作，其主要目的在于借助信息共享以及资源整合的方式提升研发的效率，并且缩短产品上市所需的时间^[1]。在数字化转型这样的大背景之下，工业软件能够提供统一的数据平台以及协同工具，如此一来，不同的部门便可以在实时的环境当中去共享设计图纸、测试结果以及生产计划等内容，进而

降低沟通方面的成本并且防止出现重复劳动的情况。工业软件的应用一方面提高了研发过程当中的技术水平,另一方面也推动了部门之间知识的转移以及经验的交流,为汽车企业搭建起一个更为灵活且反应速度更快的研发体系。这种协同模式依靠的是软件系统的集成能力以及用户友好的界面设计,以此来保证各类人员都能够高效地使用相关工具并且参与到协同工作的过程当中。

2 汽车研发跨部门协同的现状与挑战

2.1 传统研发模式中的协同障碍

传统汽车研发模式一般运用线性流程以及呈分割状态的部门组织架构。具体而言,设计部门完成产品设计之后,会将其交给工程部门去开展验证工作,随后再传送给制造部门来安排生产事宜。这样一种分段式的流程,致使信息传递出现延迟的情况,同时资源浪费的问题也比较明显。各个部门之间缺少统一的数据标准以及有效的沟通渠道,设计变更以及问题反馈往往得经过层层审批,并且还要依靠手动方式进行处理,如此一来便延长了研发周期,还加大了成本方面的压力。除此之外,不同部门所使用的软件系统以及数据格式各不相同,比如设计部门采用的是CAD工具,而制造部门则依赖于CAM系统,这样一来,数据转换以及兼容性方面的问题就进一步加重了协同合作的障碍。在传统模式当中,部门各自的目标并不一致,而且存在文化上的差异,这也阻碍了有效协作的达成。设计团队着重于创新以及功能的实现,而制造团队则关注于可行性以及成本控制,这种目标层面的冲突使得跨部门协同很难实现整体的优化效果。

2.2 数字化转型对协同的新要求

数字化转型促使汽车研发过程达成高度集成与实时响应,各个部门得共享动态数据且协同处理市场变化,涵盖从概念设计至产品交付的整个生命周期管理。工业软件得支持云计算以及物联网技术,让设计数据、生产状态和用户反馈能实时更新并跨部门共享,以此保证研发决策依据最新信息^[2]。数字化转型着重于数据驱动决策及智能化工具的应用,比如借助人工智能算法预测设计缺陷或者优化生产计划,这就要求部门员工拥有数字技能并且适应快速迭代的工作模式。数字化转型对协同安全性与可靠性提出更高要求,工业软件需保障数据隐私与系统稳定性,避免信息泄露或操作中中断影响研发进程。

3 工业软件赋能跨部门协同的机制

3.1 数据集成与共享机制

工业软件借助构建统一的数据平台这一方式,达成了多部门数据的集成以及共享这一目标。其中,设计数据、

工程参数还有测试结果均可以做到实时同步,并且会存储于中央数据库当中。如此一来,便消除了信息孤岛的情况,同时也能确保数据的一致性。而这种机制要想发挥作用,是需要依靠数据标准化以及接口兼容性的。就好比说,运用通用数据格式以及API去连接不同部门的软件系统,进而能够让设计变更自动更新至相关部门所制定的计划里。数据集成同样能够给予历史数据分析以及趋势预测予以支持。各个部门可通过访问共享数据库的方式,去识别出常见的问题,以此来优化自身的研发策略。举例来讲,就是利用过往的设计数据来提升新产品的可靠性。凭借工业软件所具备的数据集成功能,汽车研发部门可实现对市场变化的快速响应,并且还能有效协调资源分配,最终促使整体研发效率以及创新能力得以提高。

3.2 流程协同与优化机制

工业软件借助自动化工作流以及流程建模工具来推动跨部门流程协同,其可将设计、测试与生产流程整合至统一平台,并达成并行处理,如此一来,便能削减等待时间,加快产品开发进程。流程优化机制涵盖了对研发活动开展实时监控与调整,就好比设计部门对产品规格做出修改之际,工业软件会自动告知制造部门去更新生产计划并且协调资源重新安排。此机制还能给予流程模拟以及瓶颈分析方面的支持,各个部门能够运用软件工具预估流程冲突,并且提前着手制定应对方案,像是凭借虚拟测试降低对物理原型的需求量。工业软件所具备的流程协同功能,让汽车研发得以实现敏捷开发以及持续改进,部门间的协作变得更加紧密,而且响应速度也有了明显提高。

3.3 实时通信与反馈机制

工业软件会提供像即时消息以及视频会议这样的实时通信工具,如此一来,设计、工程还有制造等部门便能随时相互交流想法,并且能够及时解决一些突发的问题,进而把反馈周期缩短,让决策效率得以提升。其反馈机制包含有自动通知以及问题追踪系统,就好比测试部门察觉到设计存在缺陷的时候,软件会立刻给设计团队发出警报,同时还会记录下处理的进度,以此来保证问题能够迅速地得到解决^[3]。这样的机制同时也支持跨部门的评审以及协作编辑,多个不同的部门可以一同去访问设计文档,还能添加相应的评论,如此便能够推动知识的共享以及集体做出决策。借助实时通信以及反馈这两方面,工业软件助力汽车研发部门突破地理以及时间方面的限制,达成全球团队协同开展工作的目的,进而提升研发的质量。

3.4 决策支持与可视化机制

工业软件借助数据可视化以及模拟工具来给跨部门

决策予以支撑,那些复杂的设计数据还有生产指标能够以图表以及三维模型的形式展现出来,如此一来便能让部门管理者直观地知晓研发的实际状态,并且做出有依据的决策。决策支持机制涵盖了预测分析以及场景模拟这两方面,比如说运用软件工具去评估不同设计选择对于成本以及时间所产生的影响,进而助力部门去商讨出最优的方案。可视化机制另外还能够支持协同视图以及交互式仪表盘,多个部门能够一同查看研发的进度并且识别出潜在的风险,像是通过共享看板来追踪任务完成的具体情况。工业软件所具备的决策支持功能强化了跨部门协作的透明程度以及一致性,保证研发活动是依据数据驱动来进行的,并且与整体的战略目标相契合。

4 效率提升策略

4.1 研发流程优化策略

汽车企业应当借助工业软件来推行精益研发以及敏捷方法,对设计迭代与测试流程加以优化,从而削减那些冗余的活动。比如说,可运用并行工程这种方式,让设计部门和制造部门能够同步开展相关工作。流程优化方面的策略包含将研发阶段予以标准化,同时引入自动化工具^[4]。各个部门能够凭借软件来定义通用的模板以及设置检查点,以此保证每个环节都能够契合质量方面的要求,并且可以迅速向前推进。除此之外,企业需要构建起跨部门的流程评审机制,依靠工业软件来对流程的绩效加以监控,进而识别出可改进的机会。举例来讲,可以通过数据分析的方式去找出常见的延迟原因,然后对资源分配做出相应的调整。这些策略的施行都离不开工业软件所具备的集成能力,以及针对用户的培训工作,唯有如此才能确保部门员工能够熟练地掌握这些工具,并且积极主动地参与到流程优化的相关事宜当中。

4.2 资源配置优化策略

工业软件在一定程度上能够助力汽车企业达成人力资源以及物资资源的动态配置这一目标。其资源管理模块可对部门需求加以预测,并据此分配相关任务。就好比说,依据项目的实际进度情况,该模块能够自动地去调整设计团队以及测试设备的使用安排计划。资源配置优化的策略包含了依靠数据来开展资源调度以及设置优先级这两方面内容。各个部门能够借助软件工具对不同的资源分配方案所产生的影响展开模拟分析,进而从中挑选出最为高效的那种方式,以此来规避出现资源冲突的状况。企业有必要建立起资源共享的池子,凭借工业软件把跨部门的资源加以整合,推动它们协同协作并共同使用。比如说,共享仿真软件或者测试平台,如此一来便能够减少重复的投资

行为。这些策略对工业软件提出了相应的要求,即它得具备实时更新数据以及预测的功能,从而保证资源配置能够灵活且迅速地研发方面的变化做出响应,进而对整体效率的提升给予有力的支持。

4.3 质量管理提升策略

汽车企业借助工业软件来施行全面的质量管理以及实时的监控系统,如此便能够保证研发进程契合相关标准,并且能迅速对出现的偏差加以纠正。就好比说,运用软件工具去追踪设计环节所出现的错误以及生产过程当中存在的缺陷,并且还能自动生成相应的报告。其质量管理方面的提升策略涵盖了跨部门展开的质量评审以及持续性的改进循环等内容。各个部门能够凭借工业软件来共享质量相关的数据,并且协同开展对根本原因的分析工作,进而制定出预防方面的举措,以此来削减那些容易反复出现的问题。企业需要将质量指标融入到决策流程当中,借助软件的可视化工具来展示质量呈现出的趋势,并且推动部门之间展开协作,比如说定期举办质量方面的会议,依据软件所提供的数据来探讨改进的具体方案。这些策略都离不开工业软件所具备的数据集成以及通信方面的功能,以此来确保质量管理能够成为跨部门协同当中的核心构成部分。

4.4 创新能力提升策略

工业软件借助对协同设计以及知识管理给予支持的方式,推动了汽车研发方面的创新活动。各个部门能够运用虚拟原型还有模拟工具一同去探寻新的想法,并且对这些想法的可行性加以测试,如此一来便能加快创新的迭代速度,同时降低相关风险。提升创新能力的策略包含构建创新平台以及设立激励机制。比如凭借工业软件打造出创意库以及协作空间,让设计部门、工程部门以及营销部门都能够贡献出自己的想法,还能投票选出最优方案。企业还需借助工业软件展开市场数据方面的分析以及趋势预测工作,各个部门可以访问那些共享的信息,并且协同开展符合市场需求的新产品的活动,举例来讲就是结合用户的反馈迅速对设计特性做出调整。这些策略需要工业软件拥有高级分析功能以及社会化协作功能,以此来保证创新过程是开放且高效的,并且促使企业在激烈的市场竞争当中能够一直保持领先的优势。

5 结束语

工业软件在汽车研发跨部门协同里有着极为重要的作用,它借助数据集成、流程协同、实时通信以及决策支持等一系列机制,切实提高了研发工作的效率,同时也有力地支撑了数字化转型方面的相关目标。本文深入剖析了传统研发模式所存在的协同方面的阻碍情况以及数字化

转型提出的新要求,同时对工业软件的赋能机制以及效率提升的具体策略展开了探讨,从而给汽车企业在实际操作层面给予了相应的指导。在未来,伴随着人工智能以及物联网技术不断向前发展,工业软件会变得更为智能化且更具自适应性,能够进一步强化跨部门协同所涉及的深度与广度。汽车企业需要积极去采纳工业软件并且对协同流程加以优化,以此来应对市场的种种挑战,达成可持续发展的目标。工业软件的应用不但推动了技术不断取得新的进展,而且还促进了组织发生变革以及产业实现升级,这也充分彰显出了数字化转型所具备的十分广阔的前景。

[参考文献]

[1]吴杨眉.数字化转型对工业企业创新效能的促进分析[J].

现代工业经济和信息化,2025,15(8):101-103.

[2]范子规.数字化转型视角下ESG信息披露对于企业价值的影响[J].中国集体经济,2025(29):77-80.

[3]陈盛兰,肖胜利.工业物联网赋能电子行业工件制造履历追溯[J].智能制造,2025(5):101-107.

[4]汪旭晖,谢寻.“数据要素-数字技术”双轮驱动的数字产业集群演化机理:一个多案例研究[J].科研管理,2025,46(10):9-20.

作者简介:王星薇(1990.2—),毕业院校:南京农业大学,所学专业:电气化与自动化,当前就职单位:中汽软件(深圳)有限公司,职务:实施技术工程师,职称级别:中级工程师。

面向安全管理的锂电池工厂智能化监测体系建设研究

张久海

孚能科技(镇江)有限公司, 江苏 镇江 212132

[摘要]本研究着眼于锂电池工厂生产工艺繁杂且安全风险颇为显著的实际情况,为弥补传统安全管理模式于实时感知、精准预警以及快速联动等方面所存在的欠缺,全面且细致地对构建智能化监测体系的具体路径展开探讨。通过针对锂电池工厂的核心工艺流程开展危险源辨识工作,清晰明了地界定出其呈现出多维度且具有耦合性特点的风险特征以及相应的监测需求;紧接着依照分层解耦的理念,精心设计出包含感知层、网络层、平台层以及应用层这四个层级的逻辑总体架构,同时也详细阐述了物联网、大数据、人工智能还有数字孪生等一系列关键技术所发挥的有力支撑作用。

[关键词]锂电池工厂;安全管理;智能化监测;风险预警

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18283

中图分类号: TM911

文献标识码: A

Research on the Construction of Intelligent Monitoring System for Lithium Battery Factory Facing Safety Management

ZHANG Jiuhai

Farasis Energy Technology (Zhenjiang) Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212132, China

Abstract: This study focuses on the practical situation of complex production processes and significant safety risks in lithium battery factories. In order to compensate for the shortcomings of traditional safety management models in real-time perception, accurate warning, and rapid linkage, a comprehensive and detailed exploration is conducted on the specific path of building an intelligent monitoring system. By conducting hazard identification work on the core process flow of lithium battery factories, the multidimensional and coupled risk characteristics and corresponding monitoring requirements are clearly defined; Following the concept of hierarchical decoupling, a logical overall architecture was carefully designed, which includes four levels: perception layer, network layer, platform layer, and application layer. At the same time, a series of key technologies such as the Internet of Things, big data, artificial intelligence, and digital twins were elaborated in detail to provide strong support.

Keywords: lithium battery factory; safety management; intelligent monitoring; risk warning

随着全球新一轮科技革命和产业变革的加速推进,智能技术不断成熟,制造业企业的智能化转型升级已经成为我国经济发展的核心关注点。在“碳达峰、碳中和”的战略目标的引领下,新能源行业成为了实现碳中和的主力军,我国新能源汽车和储能领域迅猛崛起,作为新能源汽车的“心脏”动力电池行业也随之面对着前所未有的机遇和挑战。然而,许多制造企业由于缺少系统的规划和相关的经验,导致转型后的效果往往未能达到预期目标。近些年,不管是国内还是国外,锂电池工厂出现安全事故的情况屡见不鲜,这无疑给整个产业链的平稳运行带来了极为严重的威胁。去深入探索并且着手建设这样一套体系,该体系可以达成对所有要素、全部流程以及全天各个时段都能够实现智能感知的目的,同时还能做到精准预警以及快速联

动,如此一来便能够形成智能化的监测体系,这也是促使锂电池产业朝着安全、绿色以及高质量方向发展所必须要做出的战略抉择。

1 锂电池工厂安全风险特征与监测需求分析

1.1 主要生产工艺流程及危险源辨识

锂电池的生产流程一般包含电极制备、电芯装配、注液化成还有老化检测等一系列较为复杂的工序,在电极制备这个阶段,正负极活性物质、导电剂以及黏结剂在混合与涂布的过程当中会产生很多可燃性的粉尘,要是除尘系统出现故障,那么就很容易引起粉尘云燃烧,甚至还会发生爆炸。在电芯装配环节,如果出现机械损伤的情况,就有可能引发内部短路的隐患^[1]。注液工序是直接和大量易燃易爆的有机电解液相关的,这些有机电解液挥发出来的

气体和空气混合之后会形成爆炸性的气氛。接下来的化成以及老化阶段,要是热管理出现问题或者电池本身就存在制造方面的缺陷,那么就很容易诱发发热失控的连锁反应。在生产环境里,温度和湿度超出标准范围、关键设备的运行参数出现异常还有作业人员存在违章操作的行为,这些都是不容忽视的衍生危险源。

1.2 传统安全管理模式的局限性

当下,众多锂电池工厂的安全管理,相当程度上还是依靠周期性的手工巡检、分散布置的独立式传感器所发出的警报以及那种在出了事之后才去追责的管理制度。这样的管理模式,其一,在感知方面存在着盲点和时间延迟的情况,很难对复杂的险情态势有一个整体的掌握;其二,在数据分析这个层面上,传统模式缺少对海量且来源多样的安全监测数据展开深入挖掘以及关联分析的能力,风险评估大多得靠经验来做出判断;其三,在响应处置这一层面,各个安全子系统往往是各自独立地运行着,信息之间的壁垒十分厚重,很难达成快速协同且高效的应急联动效果。

1.3 智能化监测体系建设的必要性与目标

传统模式存在一些弊端,要想从根本上克服这些弊端,建设智能化监测体系就变得格外紧迫起来。该体系在建设的时候,主要是借助新一代信息技术的综合运用,进而达成安全管理在数字化、网络化以及智能化方面的跃升。其最为关键的目标是要构建起一个能实时且全面地感知全厂区安全状态的多维感知网络,同时还要打造出一个可高效汇聚、融合并分析多源异构安全数据的数据中枢以及智能平台。最终盼望着能把安全管理从以往的事后处置转变为事前预防,从被动响应变为主动预警,从单点防控走向全局协同,实现深刻的转变。

2 智能化监测体系总体架构设计

2.1 设计原则与建设思路

智能化监测体系在进行顶层设计的时候,应当依据系统性、可靠性、开放性以及可扩展性等一系列基本原则来开展相关工作。就建设思路而言,需要采用“总体规划、分步实施、急用先行、迭代完善”这样的策略,把重点优先放在重大风险监测预警能力的建设方面,接着再慢慢朝着更为广泛的领域去拓展,从而最终构建起一张覆盖范围较为全面、各项功能都比较完备的综合性安全智能管控网络。

2.2 体系逻辑架构:感知层、网络层、平台层、应用层

依据分层解耦这一理念,能够把体系划分成四个逻辑层级。感知层主要负责去广泛地部署各类智能传感器以及采集装置,以此来实时获取环境、设备、工艺还有人员等

方面所涉及的全方位安全参数。网络层综合运用工业以太网、5G等通信技术,去构建起一个高可靠性的异构融合网络,从而保证数据可以稳定地进行传输。平台层充当着“智慧大脑”的角色,其是把数据汇聚、存储、处理、分析以及模型服务等多项功能集合到一起的核心中枢所在。应用层属于面向安全管理具体业务场景的“服务窗口”,会去开发并部署像安全风险全景可视化、实时动态风险评估、智能预警推送等一系列智能化的应用程序。

2.3 关键技术支撑:物联网、大数据、人工智能与数字孪生

这一宏伟架构得以实现,离不开一系列关键技术给予的有力支撑。物联网技术乃是实现海量感知终端广泛接入以及数据采集的关键所在,可称得上是基石一般的存在。大数据技术为处理那些海量且高速、多样化的安全数据给出了完整的解决办法。人工智能技术,尤其是其中的机器学习以及深度学习算法,是赋予整个体系“智能”特性的关键部分。数字孪生技术借助构建与物理工厂保持高保真同步的虚拟模型,能够达成安全状态的实时映射以及风险场景的动态模拟效果。将这些技术加以深度融合,便共同形成了体系稳固可靠的技术基础。

3 智能化监测体系核心内容建设

3.1 全方位感知网络建设:环境、设备、工艺与人员监测

全方位感知网络的建设,得把环境、设备、工艺以及人员这四个维度都涵盖进去。在环境监测这块,要在那些风险比较高的区域多布置一些气体探测器、火灾探测器还有智能摄像头。设备监测的时候,要给关键生产设备以及安全设施加上各种各样的状态传感器,以便实时了解它们的运行状况怎么样。工艺监测主要是盯住核心工艺参数,保证工艺执行时严丝合缝地待在安全范围里^[2]。人员监测就靠定位标签、行为分析摄像头这类手段了,以此来对重点区域人员的状态和行为进行实时的监控。只有把这四维感知网络搭建起来,才能对工厂的安全态势做到立体且实时的感知。

3.2 多源异构安全数据融合与处理

感知网络汇聚来的数据有着多源异构的特点。要先制定统一的数据接入标准,把各类数据规范地接入进来。接着运用数据清洗和转换技术,让数据变成可分析的标准样式。数据融合包含特征层与决策层的融合,比如把同一区域的温度、气体浓度以及视频识别结果关联起来分析,能更精准地判断火情。整个处理流程是为了把原始的“数据碎片”提炼成反映整体安全态势的“信息拼图”。

3.3 基于数据分析的安全风险智能评估与预警模型

在高质量数据作为基础的前提之下,去构建智能化的安全风险评估以及预警模型,这无疑便是整个体系在核心层面所呈现出的智能体现所在之处。这些模型应当努力朝着能够达成多参数相互耦合且处于动态演进状态下的综合风险评估这一目标迈进。就好比说,可以着手去构建那种基于机器学习而形成的火灾风险预测模型,该模型能够针对当下乃至未来短时段范围内的火灾风险概率展开量化的评估操作。还可以去建立设备健康度评估模型,进而实现对于关键设备潜在故障的提前预警功能。所有的模型其输出的结果都得依据风险等级划分成不同的预警级别,并且要能够实现精准的推送效果,以此来完成从单纯的“异常报警”状态到具备前瞻性的“风险预警”状态的转变,达成一种质的飞跃。

3.4 监测预警与应急联动处置机制

智能预警所具有的最终价值,唯有依靠高效的应急响应方能切实体现出来。当该系统发出预警信号之后,理应能够凭借自动或者半自动的方式去触发预先设定好的应急处置流程。就好比说,当某个特定区域内的可燃气体浓度已然达到了预警所规定的阈值时,系统在推送告警信息之余,还应当能够自动实现与加强通风系统的联锁启动功能。要是火情得到确认,那么系统便可以更进一步地自动启动消防灭火系统,并且同步生成最为优化的疏散路径,以此来引导相关人员有序撤离。这样一套机制的核心要义在于突破信息孤岛的限制,借助平台层开展统一的调度工作,进而达成跨系统之间的快速协同响应效果,把应急预案转变成为可实际执行的数字化流程。

4 体系实施保障机制

4.1 分阶段实施策略与集成部署

如此繁杂的系统建设绝非一时之间便可完成,务必要制定具备科学性的分阶段实施办法。不妨将其划分成三个阶段来推进:第一个阶段是试点建设时期,要从那些风险较为凸显且基础相对不错的车间里选出一个或者几个当作试点对象,把基本感知网络搭建起来,完成数据平台的构建工作,并且让1至2个核心风险预警模型得以应用,从而迅速形成示范方面的效应,同时对技术路线的可行性加以验证。第二个阶段是全面推广时期,在对试点所积累的经验予以总结之后,把建设的范围进一步拓展到整个工厂,将各个维度的感知网络加以完善,使平台的功能以及模型库都变得更加丰富,初步达成对全厂安全状态进行统一监控以及智能预警的目标。第三个阶段是深化融合时期,促使安全监测体系和生产执行系统MES、企业资源计划

系统ERP等已有的信息系统实现深度的集成,去探寻基于数字孪生的安全模拟演练与优化方式,并且建立起常态化的体系效能评估以及持续改进的相关机制^[3]。在整个集成部署的进程当中,需要特别看重新旧系统之间的兼容性、数据接口的标准化情况以及网络安全方面的防护举措,以此来保证体系能够稳定且可靠地运行。

4.2 组织架构与管理制度适配

技术体系若要顺利落地,那就得有与之相匹配的组织架构以及管理制度来当作保障。企业应当去考量设立或者进一步强化专门针对智能制造或者安全信息化的管理部门,让其肩负起体系在规划、建设、运维以及升级等方面的各项事宜。得要对现有的安全管理制度、操作规程、应急预案展开一番全面且细致的审视,并且加以修订,把智能化监测体系所提出的要求融入到这些规章制度当中,比如要清晰明确各级预警的响应责任人以及处置流程,还要规定好依据系统数据所开展的巡检以及考核的具体方式。并且需要构建起跨部门的常态化协同工作机制,像安环、生产、设备、IT等各个部门都要参与其中,以此来妥善处理体系建设与运行进程里碰到的那些业务和技术相互交织在一起的问题。唯有经过组织与制度层面的适应性变革,才能够切实保证智能化监测体系并不是一个孤立存在的单纯技术项目,而是能够深深地嵌入到企业整体安全管理整个肌体其中的一个有机组成部分。

4.3 专业人才培养建设

体系的建设、运维以及效能的发挥,最终依靠的是这样一支人才团队:他们既对安全生产业务有所了解,又对信息技术较为熟悉,属于复合型的专业人才。企业需要借助“外部引进”和“内部培养”相互结合的办法,着重去培养并储备像数据分析师、算法工程师、系统集成工程师这类人才,还有那些拥有数字化思维的安全管理专家。应当构建起持续不断的培训机制,其对象不能仅仅局限于技术维护人员,而应当面向所有安全管理人员,甚至是一线的操作人员,针对体系的功能、操作流程以及应急响应等方面展开培训,以此来提高全员在信息化安全方面的素养。

4.4 持续改进与效能评估机制

智能化监测体系建成并投入使用并不是结束,相反,它标志着进入了一个持续优化以及不断迭代升级的新阶段^[4]。应当构建起一套较为科学的效能评估机制,定期针对该体系的实际运行成效展开量化的评估工作。评估所涉及的指标能够涵盖多个方面,像是预警的准确率以及误报率、对风险隐患实现早期发现的比例、平均应急响应时间缩减的程度、事故发生率与同期相比的变化情况等。通过

深入分析这些指标，并且综合考虑一线使用人员所给出的反馈信息，便能够不断地察觉到体系在感知覆盖范围、模型精度水平、联动效率高低以及用户体验好坏等诸多方面所存在的种种不足之处。接着，依照评估得出的结果来制定具有针对性的优化方案，举例来讲，可以补充部署特定类型的传感器、对算法模型参数加以优化、调整预警阈值、进一步完善联动逻辑等等，以此推动体系在“建设-运行-评估-改进”这样一个完整的闭环当中螺旋式地向前发展，始终确保其具备先进的特性以及实用的价值。

5 结束语

构建智能化监测体系对于实现锂电池工厂安全管理的现代化以及提升其本质安全水平而言，无疑是一条必经之路。本文较为系统地对该体系的建设需求、总体架构、核心内容以及实施保障等方面展开了探讨，由此勾勒出一个以全面感知作为基础、以智能预警当作核心、把快速联动定目标的清晰建设蓝图。应当清楚地认识到，这一体系的建设属于一项复杂的系统工程，在建设过程中必然会

面临来自多个方面的诸多挑战。不过，安全发展的底线是绝对不能被触碰的，而借助技术来赋能安全这一趋势也是绝不可能发生逆转的。在未来，伴随技术的持续向前发展，锂电池工厂的智能化监测体系定然会为确保生命财产的安全、推动行业朝着健康且可持续的方向发展筑牢一道极为坚固的智能防线。

[参考文献]

- [1] 司振超,王俊强,许丽华.锂电池极片轧机控制系统的研究进展[J].南方农机,2025,56(1):132-133.
- [2] 肖铭.K 集团锂电池叉车马来西亚市场营销策略研究[D].甘肃:兰州大学,2025.
- [3] 沈航.人工智能背景下新能源动力电池智能化控制技术课程教学模式创新研究[J].汽车画刊,2025(7):173-175.
- [4] 毕泽琳.MES 系统在锂电池智慧工厂中的应用效果评价研究[D].辽宁:大连交通大学,2025.

作者简介：张久海（1985.6—），性别：男，毕业院校：江苏大学，所学专业：信息管理与信息系统，目前职称：机电一体化专业中级工程师、一级注册消防工程师。

基于智能监测的锂电生产企业安全风险识别方法研究

许文浩

孚能科技（镇江）有限公司，江苏 镇江 212132

[摘要]随着锂电池产业快速向前发展，其在生产环节当中的安全风险管理工作遇到了十分严峻的挑战，传统的办法对于复杂且多变的环境很难加以应对。本研究尝试去构建一种依靠智能监测来开展的安全风险识别方式，通过对生产工艺以及风险节点展开分析，进而设计出多源监测数据采集体系和风险识别指标体系，并且构建起智能识别模型架构。

[关键词]锂电池生产；安全风险；智能监测；风险识别；预警系统

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18281

中图分类号: TM911

文献标识码: A

Research on Safety Risk Identification Method for Lithium Battery Production Enterprises Based on Intelligent Monitoring

XU Wenhao

Farasis Energy Technology (Zhenjiang) Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212132, China

Abstract: With the rapid development of the lithium battery industry, its safety risk management in the production process has encountered severe challenges, and traditional methods are difficult to cope with complex and changing environments. This study attempts to construct a safety risk identification method that relies on intelligent monitoring. By analyzing the production process and risk nodes, a multi-source monitoring data collection system and risk identification index system are designed, and an intelligent identification model architecture is constructed.

Keywords: lithium battery production; safety risk; intelligent monitoring; risk identification; warning system

2024年“两会”政府工作报告中，强调了加强生态文明建设，推动绿色低碳发展。深入践行“绿水青山就是金山银山”的理念，积极推进降碳、减污、扩绿、促增长，努力构建人与自然和谐共生的美丽中国。在具体工作中，“两会”提出了大力发展绿色低碳经济的重要任务，包括推动废弃物循环利用产业发展以及促进节能降碳先进技术的研发和应用，以及加速建立绿色、低碳的供应链。为达成这一目标，需要积极推动能源革命，限制化石能源的使用，并加快新型储能技术的研发，大力推进新型能源体系的建设。目前我国在锂电池生产和消费方面都跃升至世界首位，锂电池已广泛运用于动力、储能和数码领域。不过在锂电池生产的进程当中，存在着不少的安全风险，这些风险极有可能会引发像火灾、爆炸这类相当严重的事故，进而对人员的生命以及财产的安全带来颇为明显的威胁。智能监测技术在不断发展，这就给风险识别开拓出了全新的思路。借助对传感器数据加以集成并且运用机器学习算法的方式，能够达成对生产环境展开实时监控以及发出风险预警的目的。

1 锂电生产企业安全风险特征分析

1.1 锂电生产工艺流程与风险节点

锂电生产工艺流程涵盖电极制备、装配、注液、化成等诸多环节，各个环节均会涉及到化学物质的运用以及能量的转换，由此便会产生潜在的安全风险节点。在电极制备这个阶段，粉末材料在混合与涂布的过程当中，有可能会发生粉尘爆炸的风险，而这一风险的出现是由于活性物质具备较高的反应性所导致的。在装配环节之中，倘若电池壳体密封处理得不好，又或者电极片出现错位的情况，那么这将会直接致使短路或者漏液的发生，如此一来便会使热失控的概率有所增加。注液过程涉及到电解液的添加操作，而电解液本身具有易燃易爆这样的特性，要是发生泄漏或者与空气相接触，那么就极有可能会引发火灾。化成阶段主要是通过充放电的方式来激活电池，然而要是出现过充或者过放的情况，那么就很可能引起内部短路，进而产生大量的热量，最终导致热蔓延乃至爆炸的后果。

1.2 典型安全风险类型与成因

锂电生产企业所存在的典型安全风险类型，主要涵盖

了化学风险、机械风险以及电气风险这几类。而这些不同类型的风险，其形成的原因是相当复杂的，种类繁多，并且彼此之间还存在着错综复杂的交织关联^[1]。化学风险的出现，主要是由于电解液以及电极材料本身具备的不稳定特性所引起的。就好比说，电解液当中所含有的有机溶剂，在处于高温的环境之下时，是很容易发生分解的情况，进而产生出气体，使得压力不断积聚起来，最终极有可能引发爆炸这种严重后果。机械风险的产生，则是和生产设备在实际运行当中的具体状态紧密相关的。比如像涂布机又或者是卷绕机这类设备，一旦出现故障情况，那么就极有可能致使材料遭到损坏，从而产生出火花或者高温点这样的安全隐患。电气风险主要涉及到电池在充放电这个过程当中所呈现出的过电流或者过电压等现象。要是电池管理系统出现了失效的状况，那么就会使得能量的释放完全处于一种失控的状态，最终很可能会引发热失控的链式反应，造成极为严重的后果。除此之外，像温度、湿度以及通风条件等环境方面的因素，同样会对风险形成的原因产生影响。举例来讲，处在高温的环境当中，化学分解的速度会加快；而通风条件不好的情况下，则会让可燃气体大量积聚起来，进一步加剧风险发生的可能性。

2 基于智能监测的安全风险识别框架设计

2.1 多源监测数据采集体系

多源监测数据采集体系把生产设备、环境传感器以及操作记录等多种数据源整合到了一起，以此来达成对锂电生产整个过程的涵盖。生产设备数据包含涂布机的速度、压力还有温度参数，这些参数可反映出机械的运行状况，进而从侧面指出潜在的故障风险。环境传感器数据牵涉到车间的温度、湿度、气体浓度以及振动水平，就好比可燃气体传感器能够检测出电解液是否发生泄漏。操作记录数据是源自人工录入或者自动化系统，像是维护日志以及操作员行为数据，其有助于对人为因素引发的风险展开分析。

2.2 风险识别指标体系构建

风险识别指标体系的构建依托于多源数据采集体系，把原始数据转变成能够量化的风险指标，以此来满足智能识别模型对于输入方面的需求。该指标体系当中包含有直接风险指标以及间接风险指标这两种类型。其中，像温度超标率或者气体浓度峰值这类指标，它们属于直接风险指标，可以直接体现出安全状态出现恶化的状况；而间接风险指标是通过相关计算衍生出来的，比如设备运行效率呈现出的下降趋势又或者是操作失误的频率，这些都与潜在存在的机械风险或者人为风险有着关联。指标权重的确定会采用层次分析法或者专家打分法这样的方式，以此来反

映出不同指标在风险识别工作当中所具有的重要程度，就好比化学风险指标，其权重就有可能比较高，因为它是直接与严重事故的发生关联的。

2.3 智能识别模型架构

智能识别模型架构把数据预处理、特征提取以及算法模块集成起来，达成从数据到风险预警的端到端处理目的^[2]。该架构可分成数据层、处理层还有应用层，其中数据层负责接收多源监测数据并且开展初步整合工作，在处理层里，卷积神经网络被用来处理像红外热像图这样的图像数据，以此来检测温度出现异常的区域，而时间序列分析则是应用于传感器数据上，用于预测风险趋势是如何演变的。模型架构另外还设有反馈循环机制，借助实际预警效果来对算法参数做出调整，进而提升识别精度，就好比说当误报率过高的时候就重新去训练模型。

3 安全风险智能识别模型构建

3.1 数据预处理与特征提取

数据预处理以及特征提取，其主要目的在于从原始的监测数据当中把噪声去除掉，并且从中提取出那些有用的信息，进而使得后续所要采用的识别算法能够具备更好的性能表现。就预处理这一环节而言，它包含了像数据清洗、归一化处理以及对缺失值的处理等一系列操作。比如说，可以通过运用滤波算法的方式来减少传感器所采集到的数据里面的那种随机出现的波动情况。而特征提取方面，则是从经过预处理之后的数据里面去衍生出与风险相关的各类特征。就好比说，可以从温度序列当中来计算滑动平均值还有标准差，以此来捕捉热积累呈现出的趋势走向。至于特征选择的方法，像主成分分析或者相关性分析等，它们是用来减少特征所处的维度，并且把其中的冗余信息给去除掉的。

3.2 风险特征融合方法

风险特征融合方法会把来自不同数据源的各类特征加以整合，进而生成较为完整的风险表征，如此一来便能够克服单一数据源所存在的局限性，进而促使识别模型的鲁棒性得以提升。融合方法涵盖早期融合以及晚期融合这两种方式。早期融合是在特征层展开操作的，就好比将温度特征和气体浓度特征直接拼接起来，进而形成多维特征向量。而晚期融合则是于决策层开展相关工作的，比如说要依据机械数据来训练一个子模型，同时又依据化学数据去训练另一个子模型，之后再借助加权投票的方式对这两个子模型的预测结果加以组合。除此之外，还会把注意力机制引入到融合过程当中，以此来动态地调整不同特征所对应的权重。特征融合还应当考虑到时间这一维度方面的

问题,比如可以把历史特征和实时特征相互结合起来,通过循环神经网络来捕捉风险演变的具体模式。

3.3 风险状态识别算法

风险状态识别算法会依据融合之后的特征,运用分类或者聚类的相关方法来对当前生产环境的安全状态加以判断,进而达成实时风险预警这一目的。该算法涵盖了监督学习以及无监督学习这两种情况。就监督学习而言,像支持向量机又或者是随机森林这类方法,会利用历史风险事件方面的数据去训练相应的模型,从而把风险状态划分成正常、警告以及危险等不同的类别。而无监督学习,比如聚类算法,其特点是在没有标签数据的前提之下,可自动去发现风险模式。凭借风险状态识别算法,智能监测系统可以实时地输出风险状态,进而为风险等级评估模型给予输入内容。

3.4 风险等级评估模型

风险等级评估模型会依据所识别出来的风险状态,进一步去量化风险的严重程度,从而给企业的管控决策给予分级方面的依据,进而实现对资源分配的优化。该模型运用模糊逻辑或者层次分析法,把风险状态映射至具体的等级,像是低、中、高这些等级。比如,可以结合温度超出标准的程度以及设备出现故障的概率来计算出综合风险分数。风险评估还会考虑到风险传播效应,比如说单个电池单元出现热失控的情况,是有可能引发连锁反应的,所以模型引入了网络分析的方法,以此来评估风险在生产线当中的扩散路径还有影响范围。模型的参数会借助历史事故数据或者仿真实验来进行校准,以此确保等级划分的合理性,举例来讲,就是根据以往火灾事故的损失数据去调整阈值的设置。凭借风险等级评估模型以及智能识别方法,能够从简单的状态识别提升至精细化的管理,进而强化预警的效能。

4 智能识别方法的应用分析

4.1 生产场景与数据基础分析

智能识别方法在锂电生产企业里的应用得结合具体生产场景以及数据基础来开展,如此才能保证该方法具备可行性以及有效性。不同的生产线各自有其特点,这些特点或许会对监测系统的部署情况产生影响。生产场景涵盖大规模量产线以及实验性小批量线这两种情况。在量产线上,设备分布较为密集,并且流程已经实现了标准化,所以数据采集工作能够较为完整地展开,不过噪声干扰的情况相对较多。就数据基础方面的分析而言,会涉及到数据量、数据质量以及数据类型等诸多方面。比如某企业所使用的监测系统,其每天会产生数 GB 之多的传感器数据,

而这些数据包含了温度、压力以及图像等多种信息。数据来源呈现出多样性的状况,这同样带来了集成方面的诸多挑战。比如说,由于设备制造商存在差异,这就导致数据格式并不一致,所以需要去开发适配接口,进而实现对数据的统一处理操作。通过针对生产场景以及数据基础展开细致分析,便能够对智能识别方法的参数以及流程予以定制化的调整,以此来提升该方法的应用实际效果。

4.2 风险识别过程与输出分析

风险识别这一过程依托智能监测系统展开,从数据采集环节一直到预警输出环节,形成一个完整的闭环流程。其输出结果对于生产管控决策有着直接影响。该过程始于对多源数据的同步采集,随后借助物联网网关将数据传送到中心服务器,在这里会进行预处理以及特征提取的操作^[3]。之后,运用风险特征融合的方法来整合各个数据流,将其作为输入送入识别算法当中,以此来进行状态的判断。比如可以使用经过训练的随机森林模型去对当前的风险状态进行分类,并且输出相应的概率分数。输出分析包含风险状态报告以及可视化界面,举例来讲,会在监控大屏上以不同区域的风险等级颜色编码形式呈现出来,与此同时还会生成详细的日志,以便于后续的审计工作。输出还存在可能触发自动控制动作的情况,就像当识别出是高风险状态的时候,会发送短信警报或者启动通风系统,不过要在这其中去权衡自动化与人工干预之间的平衡关系。

4.3 预警效能与管控优势分析

预警效能以及管控优势展开分析,对其在实际运用当中的具体表现予以评估,把传统方法拿来作为参照对象,以此凸显出它在风险响应速度还有准确性这些方面所取得的改进成效。预警效能指标涵盖预警时间提前量以及误报率这两方面,就好比智能监测系统能够在热失控出现之前好几分钟便发出预警信号。管控优势主要表现在资源优化以及决策支持这两个层面上,系统借助风险等级评估来对管控措施加以指导,比如优先针对高风险区域展开处理,进而减少那些不必要的停机时长。除此之外,智能识别方法具备学习能力,这使得它可以适应新的风险模式,就像通过在线更新算法的方式来识别未知故障类型,然而传统方法依靠的是固定的规则,其灵活性明显有所欠缺。在长期的应用过程当中,系统所积累的数据能够用于趋势分析以及预测维护工作,从而进一步促使总体风险水平得以降低。

4.4 实施路径分析

实施路径方面,要深入分析探讨智能识别方法在锂电生产企业中的部署步骤以及所面临的挑战,还需提出阶段性推广策略,以此来确保该方法能够顺利落地并且实现持

续改进。具体而言，其路径可划分成规划阶段、试点阶段以及扩展阶段，在规划阶段，得对企业现有的基础设施以及实际需求加以评估，进而设计出具有针对性的定制化监测方案。到了试点阶段，便要在某一条生产线或者某个车间开展小范围的测试工作，通过收集相关反馈信息并做出相应的参数调整，以此来验证这种方法是否有效，并且要解决在初期可能出现的各种问题^[4]。而在扩展阶段，就需要把在试点阶段取得的成功经验推广至整个工厂，并且将其整合进企业安全管理体系当中，比如可以建立一个中央监控中心，并且对操作人员展开培训。在实施的整个过程中，会面临诸多挑战，像是技术集成方面的难度、成本投入方面的情况以及员工接受度方面的问题，举例来讲，对老旧设备进行改造可能会使得成本有所增加，而员工对于自动化系统存在抵触情绪，则需要依靠培训的方式来加以缓解。

5 结束语

本研究聚焦于基于智能监测的锂电生产企业安全风险识别方法，经分析风险特征、设计识别框架、构建智能

模型以及应用分析等环节，给出了一套系统性的解决办法。智能识别方法把多源监测数据和先进算法整合起来，达成对化学、机械还有电气风险的实时识别与评估，大幅提升了预警效能以及管控优势。后续的工作可以去探索将深度学习和边缘计算相结合的方式，以此来强化系统的实时处理能力，并且将其应用拓展至其他的高危行业当中。

[参考文献]

[1] OXM200. 助力锂电行业实现降本增效[J]. 现代制造, 2023(11):72.

[2] 蒋凌洙. 锂电材料生产废水处理技术探析[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(8):20-22.

[3] 张翔. 基于 AHP-FCE 的 X 锂电企业绿色供应链绩效评价及优化策略研究[D]. 河南: 中原工学院, 2024.

[4] 共启锂电智造新纪元台达三大维度化解行业难题. 赋能产业升级[J]. 自动化博览, 2025, 42(5):6.

作者简介：许文浩（1992.9—），性别：男，毕业院校：上海应用技术大学，所学专业：安全工程，目前职称：中级注册安全工程师，一级注册消防工程师。

征 稿

《智能城市应用》由新加坡Viser Technology Ptd Ltd主办, ISSN: 2717-5391 (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的青睐。本刊为开源 (Open Access) 期刊, 出刊的所有文章均可在全球范围内免费下载, 中国知网、维普网等权威数据库收录。

期刊以“平面媒体+网络传播”方式互动, 内容聚焦智能城市建设, 解读行业政策, 传播行业技术标准; 组建权威的业内专家团队, 为期刊提供精粹的观点、尖端技术解读; 以科技成果传播为核心, 关注自主创新, 宣传展示各地智能城市建设成就; 剖析各领域典型应用案例, 分享最新技术理论与产品, 全方位深度覆盖诸多物联网与智能城市应用领域, 为相关信息化管理部门及广大设计院、系统集成商、建筑工程公司、房地产开发商、物业管理公司、产品生产厂商等相关单位提供各类参考资料。

《智能城市应用》期刊的主要栏目有:

城乡规划、市政园林、路桥与交通、通讯通信技术、施工技术、节能环保、机械机电、计算机应用技术、自动化技术、智慧数据分析、工业制造、勘察测绘等。

鼓励智能城市建设领域的专业技术人员和管理干部以及大专院校相关专业的师生和科研人员来稿, 有关国家科技计划、自然科学基金和各种部门、地方、院所科技基金资助项目的文章优先发布。

征文格式与要求:

(1) 论文要求: 论点新颖, 论证充分; 设想可行, 结论可靠; 条理分明, 书写清楚, 用字规范, 上交电子文件 (word格式)。

(2) 论文格式: 题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要 (150字符-300字符为宜) 及关键词 (3-5组为宜)、正文、参考文献。(附个人简历、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

ISSN 2717-5391



9 772717 539258