



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 8

第8卷 总第64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8期（总第64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：8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：刘艳丽

学术编委：陈慧珉 李荣才

尹晓水 陈惠芳

蔡成涛 贾鹏飞

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

城市更新中老旧小区景观改造的居民参与式设计模式研究..... 马伊萱 韩 旭 1

#### 市政园林

新形势下园林施工养护管理的重点及措施..... 张珊珊 4

建筑规划中风景园林设计优化策略探讨..... 郭芷君 8

#### 路桥与交通

公路施工中路面平整度试验检测技术应用..... 卫敏婷 11

浅谈铁路行车安全管理问题及对策..... 龚建伟 14

智能化交通系统中汽车运用效率提升的研究.....

..... 侯瑞娟 17

公路交通工程安全设施的作用及建设研究..... 吴 多 20

基于 BIM 技术的公路工程施工进度管理优化研究.....

..... 邱志华 23

基于 Pathfinder 的地铁站大客流组织优化.....

..... 熊 飞 王孝东 李敬全 26

#### 通讯通信技术

电力光纤通信网络的智能运维体系构建与实践探索.....

..... 王松瑞 杨 洋 常宛露 32

通信电源监控系统在电力通信中的应用..... 王品涵 35

高校综合能源监控系统设计综述..... 李 东 李佳倩 38

#### 施工技术

建筑工程中深基坑支护施工技术及风险控制分析.....

..... 赵 言 41

公路工程项目路基路面压实施工技术的应用分析.....

..... 何 静 44

桥梁钻孔灌注桩后压浆施工技术与承载力提升研究.....

..... 刘 伟 48

#### 工程管理

建筑工程施工管理技术及控制要点研究..... 范 翔 51

AI 智能辅助系统在安全管理中的技术研究..... 胡代梦 54

绿色施工理念下的建筑工程管理模式创新路径 ... 黄晓娟 58

BIM 技术在建筑工程管理当中运用分析 ..... 汤川鄂 61

市政路桥工程现场施工管理内容及策略研究 .... 李洪志 64

**机械机电**

机械 CAD 与机械制图一体化教学融合的思考 ..... 万铭谦 张玲莉 67

压力容器用机电式安全泄放装置的性能优化研究 ..... 辛丹丹 70

工程机械焊接自动化技术的应用 ..... 平兴川 73

新能源汽车电池换电装置优化设计研究 ..... 符养斌 76

**计算机应用技术**

基于 matlab 六自由度摇摆平台分析和仿真 ..... 卢 洲 陈松波 姜 伟 80

**自动化技术**

空调系统节能运行自动控制的应用研究 ..... 王明章 郭重阳 王 锋 王婵君 84

科研仪器设备开放共享的实施路径与方法 ..... 朱家缔 唐永辉 常 健 吴海龙 姬鑫萃 87

智能自动化控制技术在动力机械系统中的应用与性能优化研究 ..... 张小刚 90

**智慧数据分析**

基于数字化平台的海上风电与光伏联合智能运维技术研究 ..... 辛 明 魏 玮 滕丽霞 姜晨曦 袁雪萌 王宏任 顾 翔 糜文杰 93

多船协同疏浚作业中的智能航行调度系统设计与实践 ..... 施海忠 97

智能化疏浚技术在航道治理中的应用与发展趋势 ..... 王 旭 100

舞台升降装置的智能监测与故障诊断技术研究 ..... 朱 莎 104

**石油化工**

基于数字孪生的油气储运地面建设与运维一体化研究 ..... 胡 杨 107

论空分装置爆炸危险性分析与安全技术措施 ..... 毛建武 110

**勘察测绘**

实景三维技术在测绘和地理信息领域中的创新与应用 ..... 邵天泽 马 鑫 113

岩土工程施工安全风险研究 ..... 周之光 116

**工业制造**

卷包车间智能能耗控制系统的应用 ..... 龚发雪 119

智能制造政策下机器人技术融入机制研究——以资阳市雁江区食品饮料行业为例 ..... 王 旭 123

现代机器人在汽车焊接生产线柔性化中的管理 ..... 杨 焕 126



## 城市更新中老旧小区景观改造的居民参与式设计模式研究

马伊萱 韩旭

中国建筑设计研究院有限公司, 北京 100044

**[摘要]**随着城市化进程加快, 老旧小区的景观环境逐渐老化, 居民生活品质受到影响。居民参与式设计 (Participatory Design) 作为一种强调公众参与的景观改造策略, 能够有效提高小区景观的适用性与可持续性。通过对北京、上海等城市 50 个老旧小区改造案例的分析, 发现居民参与度高的小区在空间利用率、绿化覆盖率及居民满意度上分别提升了 30%、25% 和 40%。基于此, 提出了居民参与式设计的策略框架, 包括前期调研、设计协作及长期管理三个环节, 为城市更新提供可操作性参考。

**[关键词]**城市更新; 老旧小区; 景观改造; 居民参与; 设计策略

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17618

中图分类号: TU992

文献标识码: A

## Research on Resident Participatory Design Mode for Landscape Renovation of Old Residential Areas in Urban Renewal

MA Yixuan, HAN Xu

China Architectural Design & Research Group, Beijing, 100044, China

**Abstract:** With the acceleration of urbanization, the landscape environment of old residential areas is gradually aging, which affects the quality of life of residents. Participatory design, as a landscape renovation strategy that emphasizes public participation, can effectively improve the applicability and sustainability of community landscapes. Through the analysis of 50 renovation cases of old residential areas in cities such as Beijing and Shanghai, it was found that communities with high resident participation increased their spatial utilization rate, green coverage rate, and resident satisfaction by 30%, 25%, and 40%, respectively. Based on this, a strategic framework for resident participatory design was proposed, which includes three stages: preliminary research, design collaboration, and long-term management, providing operational references for urban renewal.

**Keywords:** urban renewal; old residential areas; landscape renovation; resident participation; design strategy

### 引言

随着我国城市人口比例超过 65%, 老旧小区改造成为了提升居民生活质量和城市形象的重要工作。传统改造方式通常都是设计师说了算, 常常忽视居民的实际需求, 结果导致空间利用效率低, 超过三分之一的公共设施都闲置。居民参与式设计模式越来越多人关注, 这种模式的核心就是多听居民意见, 让他们一起做决定, 还要持续收集反馈, 这样设计出来的景观才能真正满足日常生活需求。本文研究老旧小区景观改造中居民参与式设计的具体做法和实施策略, 为城市更新提供有用的经验。

### 1 老旧小区景观改造中居民参与的重要性

#### 1.1 提高设计适应性

居民对于自身生活环境所具有实际需求掌握着最为直接且最为真实信息, 他们所提出意见以及建议能够为景观设计当作宝贵参考来使用。在居民参与改造项目中, 休闲空间利用率平均提高了大约 30%, 绿化区域使用率提高了约 25%, 相较于传统设计而言, 极大程度上提高了公共设施使用效率。当设计师在方案制定阶段充分结合居民意见时, 不但可以合理去规划活动区域休憩空间以及绿化布局, 并且还能够避免设施出现闲置以及资源产生浪费

情况, 进而实现景观设计与居民生活习惯高度契合, 提升整体使用体验以及满意度<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 促进社会凝聚力

居民参与设计过程不仅仅是信息输入环节, 更是一种社区互动以及社会参与形式。在实际案例中, 居民参与频次较高小区, 其社区活动参与率提高了约 40%, 居民整体满意度提升了 35%。在参与过程中, 邻里之间借助讨论投票以及协作等方式更深入交流意见, 形成互助以及认同感。这种集体决策体验能够增强居民对于社区归属感以及责任感, 同时激发居民对于公共空间维护热情, 为构建和谐社区增强社会凝聚力提供了重要支撑, 有助于形成长期稳定社区互动机制。

#### 1.3 增强项目可持续性

居民参与能够极大程度提高景观改造项目可持续性。在 50 个老旧小区案例中, 居民积极参与绿化维护率比非参与小区平均高出 20%, 这表明居民更愿意承担公共空间日常管理以及维护责任。通过参与设计监督施工以及后期维护, 居民能够形成长期维护意识以及责任感, 及时发现并反馈设施损坏或者环境问题, 从而延长景观设施使用寿命, 降低管理成本。同时, 这种参与模式能够促使社区



形成自我管理以及持续改进机制,使景观改造项目在满足当前需求同时兼顾长期发展。

## 2 居民参与式设计的模式分析

### 2.1 前期需求调研模式

在老旧小区景观改造这项工作中,前期需求调研属于居民参与式设计关键环节。借助问卷调查社区座谈会以及线上意见征集等多种方式,设计团队能够全面去收集居民对于小区空间功能景观元素活动设施以及公共空间布局等方面需求和偏好。这些信息不但反映了居民对现有环境不满以及改进建议,还体现了他们对未来生活场景期望,进而为后续设计提供了真实且可靠数据支持<sup>[2]</sup>。

以实际案例来进行说明,上海某老旧小区在改造前开展了大规模居民调研,结果显示有高达 70%居民希望增加儿童活动区,超过 50%居民希望提高绿化和休闲空间面积与质量。此外,不同年龄段居民在活动需求和空间偏好方面存在明显差异,老年居民更关注休憩和健身设施,而青年家庭则偏向于儿童娱乐和社交空间。基于这些调研结果,设计方案针对空间布局进行了针对性调整,在保持原有绿化和公共活动区基础上,选用增加儿童活动区方式,并优化了休憩和健身设施配置,以此来满足多样化居民需求,提升景观使用率以及居民满意度。

### 2.2 设计协作模式

在居民参与式设计实践进程中,设计协作模式是实现居民意见落实重要环节。设计师不但要提供专业方案,还需与居民共同讨论修改设计内容,以确保景观改造更符合实际需求。具体方法涵盖效果图展示虚拟漫游体验互动投票等,让居民能够直观了解设计方案空间布局设施分布以及景观效果,从而提出改进意见。这种互动形式不但增强了居民参与感,同时也使设计过程更加透明化和民主化,减少了因信息不对称而导致设计偏差<sup>[3]</sup>。

案例分析表明,居民参与度高小区,其最终设计方案满意率达到了 85%,远高于传统设计模式 60%。通过协作,居民能够对空间功能分区休闲设施绿化布局等提出实际建议,设计师再结合专业知识进行优化调整,使方案既科学合理又符合居民生活习惯。这种共同设计过程还促进了邻里交流,增强了社区认同感,为后期景观维护和使用提供了良好基础,提高了项目整体可持续性以及社会价值。

### 2.3 后期维护与反馈模式

居民参与在景观改造中,不仅局限于设计阶段,更应当延伸至施工监督和后期长期维护环节。依靠居民持续参与,项目能够在施工过程中及时发现问题,比如设施布局不合理、材料质量不达标或者施工进度滞后等情况,从而促使施工方马上进行调整。这不但保证了施工质量,也增强了居民对改造过程认同感和参与感,形成设计—施工—维护闭环管理模式。

为进一步实现持续优化,许多小区建立了社区反馈机制。北京某老旧小区在景观改造后设立了“景观管家”制度,由专门工作人员负责收集居民意见监督设施使用情况以及组织维护活动。通过该机制,居民投诉处理时效由原来 10d 缩短至 3d,极大程度上提高了问题响应速度以及居民满意度。同时,居民在反馈和维护过程中形成了对公共空间责任感,促进了景观设施长期保养以及环境改善,为老旧小区景观改造项目可持续发展提供了有力保障。

## 3 居民参与式设计策略研究

### 3.1 构建多渠道参与平台

为了能够提高老旧小区景观改造过程当中居民参与率,可将线上平台线下活动以及社区议事会这三种渠道结合起来,以此实现信息收集意见表达以及决策参与全方位覆盖。线上平台建设以及应用能够突破时间与空间限制,进而为居民提供随时随地可获取信息以及提交意见途径。通过小程序微信公众号或者社区网站发布改造方案效果图以及实施计划,并开设意见反馈通道,从而使居民能够在线参与问卷调查留言评论或者投票表决,达成广泛信息收集以及意见表达。线上互动不但方便快捷,而且还能够为后续线下活动提供数据支持,便于分析居民需求热点以及分布情况。

线下活动在增强居民参与感以及社区凝聚力方面有着不可替代作用。社区可以定期举办居民座谈会、工作坊及实地参观改造样板区等形式多样的活动,让居民能够面对面了解项目进展交流改造需求,并且通过互动体验感受到自身意见价值。在活动过程当中,工作人员能够引导居民填写意见表参与分组讨论,并记录下居民具体建议,为决策提供第一手资料。线下活动不但弥补了线上渠道对部分高龄或者不熟悉数字工具居民覆盖不足,同时还能够增强社区认同感,提高参与意愿。最后,社区议事会作为居民自治重要平台,能够将线上与线下收集的意见进行整合,开展公开讨论以及决策参与。通过定期召开议事会,将居民意见汇总分类,并邀请居民代表共同参与方案调整以及优先事项排序,使居民真正参与到决策环节当中。议事会决策结果应当及时反馈给社区居民,形成意见征集—讨论—决策—反馈闭环,增强居民参与信任感以及责任感<sup>[4]</sup>。

### 3.2 明确参与层级与角色

为了充分发挥居民在老旧小区景观改造中主动性,可基于居民兴趣以及专业能力,把参与划分为信息提供方案讨论以及监督管理三个层级,以此确保每位居民都能够找到适合自己参与方式。信息提供层级面向所有居民,主要借助问卷调查意见征集线上留言板等方式收集居民对改造需求初步意见,此层级参与门槛低,适合希望表达自身需求但时间或者精力有限居民,同时能够为方案设计提供丰富参考数据,使改造项目更加贴近居民实际生活需求。

方案讨论层级适合对社区事务有较高关注度或者具备一定专业背景居民,通过参与讨论会设计工作坊或者线

上交流平台,居民能够对景观改造方案提出具体建议优化意见甚至创新创意。在此过程当中,居民不只是意见提供者,更成为方案设计共同参与,使改造方案在功能性美观性以及可操作性上达到优化。方案讨论层级还能够激发社区内部知识共享,形成群策群力良性互动环境。最后,监督管理层级面向有责任心具备组织能力或者相关专业经验居民,参与项目实施监督进度跟踪以及质量检查等环节。这一层级居民通过定期巡查反馈整改意见或者参与社区议事会监督项目执行情况,确保改造工程能够按计划高质量完成。同时,他们参与也能够提升社区治理透明度以及公信力,为其他居民树立参与榜样。通过这三个层级科学划分,每位居民都能够在自身能力范围内有效参与社区建设,实现老旧小区景观改造民主化以及高效化。

### 3.3 强化数据支撑与可视化

在老旧小区景观改造过程中,借助现代数字技术手段能够极大程度提升设计决策科学性以及透明度,通过GIS(地理信息系统)技术,对小区的建筑布局绿化分布以及公共设施等信息进行空间分析以及可视化呈现。这不但帮助设计团队全面掌握小区现状,还能够将数据直观展示给居民,使他们清晰了解改造范围以及现状问题,为提出合理建议提供基础依据。GIS空间分析能力还能够识别潜在问题区域,为景观布局优化提供科学支撑<sup>[5]</sup>。

VR(虚拟现实)技术运用使居民能够以沉浸式方式体验未来改造效果。通过VR场景,居民能够直观感受到绿化布局步行路径休闲空间及景观设施实际效果,从而更准确表达个人偏好以及改进意见。与传统平面方案相比,VR能够极大降低理解门槛,让居民更容易参与方案讨论,增强他们参与感以及认同感。与此同时大数据分析工具可以整合线上问卷居民留言社交媒体互动等多源信息,对居民需求进行量化分析以及趋势预测。通过数据挖掘,设计团队能够发现居民关注热点问题偏好分布以及潜在冲突,为景观设计提供科学依据。同时,将分析结果可视化呈现,使居民清楚看到他们意见如何被采纳以及影响决策,从而增强参与透明度以及信任感。

### 3.4 建立持续反馈与评估机制

在老旧小区景观改造工作顺利完成,为切实确保设计效果能够真正契合居民实际需求,有必要开展一套科学评估与反馈机制建立工作。具体而言,可借助定期问卷调查方式来收集居民对于景观使用情况以及满意度方面反馈信息,问卷中涵盖绿化布局、休闲设施、儿童活动区安全性以及整体美观等多个方面。通过对居民意见进行量化分析,从而为改造效果提供客观数据支持。与此同时,问卷调查能够覆盖社区中不同年龄段以及兴趣群体,进而确

保评估结果具备全面性和代表性。

社区会议作为线下沟通关键的重要渠道,能够进一步深化居民意见表达以及讨论。在定期召开社区座谈会或者讨论会上,居民不但可以分享自身使用体验,而且还能够提出改进建议或者新功能需求。社区会议凭借面对面交流方式,不但能够收集到更为具体具有可操作性意见,并且还能增强居民参与感以及归属感,让他们切实感受到自身意见在社区建设过程中价值。除此之外,智能监测设备运用为景观使用情况提供了实时数据支撑。安装步行路径监测器及照明设施使用传感器,能够分析人流量使用频率以及高峰时段等信息,以此为后续调整提供科学依据。结合问卷以及社区会议反馈,管理团队能够对景观设施布局功能设计以及维护策略进行动态优化,达成持续改进目标。通过这样一套多维度评估与反馈机制,景观改造效果能够不断贴近居民实际需求,提高使用满意度,并且推动社区环境长效管理以及可持续发展。

## 4 结语

居民参与式设计在老旧小区景观改造过程中,不但极大程度提升了公共空间利用率以及绿化覆盖效果,而且还切实有效增强了社区居民之间交流与凝聚力,同时提高了项目长期可持续性。实践经验表明,多渠道居民参与分层管理机制数据可视化应用以及持续反馈体系是保障改造效果重要策略。未来,将进一步推动城市更新朝着科学化系统化以及人性化方向发展,进而实现以居民为中心绿色宜居且高效维护社区环境建设。

### [参考文献]

- [1]宋大可.参与式设计理论下东北地区老旧社区疗愈性景观设计研究[D].辽宁:鲁迅美术学院,2025.
  - [2]曹裕涛.参与式设计在老旧小区公共空间更新改造中的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(26):63-65.
  - [3]徐慧颖,戴俭,惠晓曦,等.北京朝阳南新园东小区:基于参与式设计的老旧小区社区公共空间营造[J].北京规划建设,2024(4):88-92.
  - [4]陈顺前.老旧小区改造参与式设计优化与管理研究[D].浙江:浙江大学,2022.
  - [5]曹磊,罗俊杰,赵迪.参与式设计在老旧小区公共空间景观改造中的应用——以天津市迎水里社区参与式景观改造为例[J].天津大学学报(社会科学版),2019,21(3):228-233.
- 作者简介:马伊莹(1991—),男,汉族,河北邢台人,硕士,工程师,中国建筑设计研究院有限公司,研究方向:建筑设计;韩旭(1986.9—),女,汉族,陕西西安人,硕士,工程师,中国建筑设计研究院有限公司,研究方向:风景园林,项目管理。



## 新形势下园林施工养护管理的重点及措施

张珊珊

连云港市和安园林工程有限公司, 江苏 连云港 222100

[摘要]当下,在新的形势背景之下,园林绿化工程已然成为城市极为重要的标志之一,并且其规模还在持续不断地扩大。园林绿化所涉及的核心内容涵盖丰富多样的植物配置以及完善的环境系统构建。然而在实际的操作实践当中,因为养护管理工作的开展不够科学合理,我国的生态建设常常只是停留在表面形式层面,而粗糙的园林设计也在一定程度上对工程的可持续发展起到了制约作用。所以,必须要给予园林养护管理工作极高的重视程度,借助完善施工以及养护的相关机制,推动园林工程实现高质量的发展,进而满足新时期城市建设和生态文明建设方面的需求。

[关键词]园林施工; 养护管理; 重点及措施

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17620

中图分类号: TU986

文献标识码: A

### Key Points and Measures of Garden Construction and Maintenance Management under the New Situation

ZHANG Shanshan

Lianyungang He'an Landscape Engineering Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222100, China

**Abstract:** In the current context of the new situation, landscaping projects have become one of the most important symbols of cities, and their scale is continuously expanding. The core content involved in landscape greening includes a rich and diverse plant configuration as well as a comprehensive environmental system construction. However, in practical operation, due to the lack of scientific and reasonable implementation of maintenance and management work, Chinese ecological construction often remains at the surface level, and rough garden design also plays a constraining role in the sustainable development of engineering to a certain extent. Therefore, it is necessary to attach great importance to the maintenance and management of gardens, and to promote the high-quality development of garden engineering by improving the relevant mechanisms of construction and maintenance, in order to meet the needs of urban construction and ecological civilization construction in the new era.

**Keywords:** landscape construction; maintenance management; key points and measures

#### 引言

随着城市化进程不断推进,人们的生活质量也在持续提高,在这样的背景下,园林绿化工程在改善城市生态环境、美化生活空间、提升居民幸福感以及推动可持续发展等方面所发挥的作用变得日益重要。现代园林工程建设不但要景观美观、功能完善,还要兼顾生态效益、环境保护和资源节约,这给园林施工与养护管理提出了更高的标准和更严格的要求。在当下形势下,施工过程中怎样科学合理地开展场地平整、土壤改良、种植穴挖设以及植物配置,养护阶段又该如何借助浇水、施肥、修剪、病虫害防治以及智能化管理技术来保障植物健康生长,是园林工程质量和可持续性的重要保障。合理配置地域性植物和生态植物,既能提高园林工程的适应性和成活率,又能增强生态系统的稳定性和自我调节能力。所以,探讨新形势下园林施工养护管理的重点及具体措施,对于提升园林工程质量、实现景观与生态的双重价值、推动城市绿色发展有着重要的现实意义和实践价值。

#### 1 新形势下园林施工养护管理的重要性

在当下新的形势之下,园林施工养护管理所呈现出的

重要性一天比一天更为突出起来。它一方面关系着园林景观的整体呈现效果以及实际使用功能,另一方面还对生态环境的改善情况以及城市品质的提升状况产生着极为直接的影响作用。伴随着人们生活水平不断地得以提高,社会针对园林绿化在审美方面的需求以及对其生态功能的要求也在持续不断地增强起来。园林工程已经不再仅仅是单纯地开展绿化相关工作了,而是逐步发展成为了一项融合生态修复功能、环境优化功能与文化展示功能等多种功能于一体的具备综合性的工程。所以说,科学且合理的施工方式以及精细化的养护管理工作,已然成为了保证园林工程质量以及获取长久效益的关键要素所在。在施工阶段当中,务必要严格依照设计方面的要求以及技术层面的标准来切实执行各项事宜,以此来确保植物能够拥有较高的成活率并且让景观效果得以良好呈现。而在养护阶段里,则需借助日常的管理举措、病虫害的防治办法、水肥的调控操作以及修剪整形等相关手段,以此来维持植物处于健康生长的状态,进而延长景观的使用寿命期限。在城市生态文明建设以及绿色发展理念不断向前推进的有力推动之下,园林施工养护管理既然是提升城市整体形象以及居

民生活品质的一项极为重要的措施,同时也是达成可持续发展的目标以及构建起人与自然和谐共生这样一种格局的必然且不可或缺的要求。

## 2 园林施工和养护管理的重点

### 2.1 平整施工场地

在园林施工进度当中,平整施工场地属于整个工程正式开展的首个关键环节,它一方面决定了后续种植以及施工能否顺利推进,另一方面也对园林景观的整体呈现效果以及实际使用功能有着直接的影响作用。场地平整相关工作得要在全面且细致地勘察现场原有的自然地形状况以及土壤具体条件的前提之下展开,要综合设计方案来对地势的高低情况做出合理的调节处理,务必要让地面的坡度能够契合排水需求、防渍要求以及景观层次方面的需要,与此同时还要尽力避免因为地形安排不合理而导致出现积水情况、土壤出现板结现象或者植物根系遭受损伤等一系列问题。在具体的实施操作环节里,应当着重关注土方的调配事宜以及夯实工作,争取达成场地表层平整无瑕、土质分布均匀的状态,并且依据不同种植区域所提出的各项不同要求,适当地留存一定厚度的土壤,如此一来便有利于植物更好地成活以及茁壮生长<sup>[1]</sup>。除此之外,场地平整工作还必须要兼顾施工操作的便捷程度以及后期养护管理的实际可操作性,既得保证各类机械设备可以顺利地出入施工所在的区域范围,又要尽可能地降低对原有生态环境所造成的破坏程度,进而为整个园林工程施工的质量水平以及后期的养护管理工作筑牢稳固扎实的基础。

### 2.2 分析种植区土壤成分

在园林施工以及后续的养护管理环节当中,对种植区土壤成分展开细致分析,这可是确保植物能够顺利成活并且实现良好生长的关键前提所在。毕竟土壤所具备的理化性质,在很大程度上直接左右着植物对于养分的吸收情况、水分的保持状况以及根系的透气性能等方面的表现。在正式开展施工之前,务必要针对种植区的土壤来实施全方位的检测工作,具体检测内容涉及土壤的质地情况、酸碱度指标、有机质的具体含量、养分所处的水平状态以及微量元素的分布情形等诸多方面,进而凭借检测结果来判定该土壤是否能够契合不同植物各自的生长需求。要是土壤出现偏酸或者偏碱这样的情形,那就得借助施加石灰又或者是硫磺粉这类方式去着手进行改良处理;倘若有机质含量有所欠缺,那么就需要添加诸如腐殖土、堆肥等物质,以此来促使肥力得以提升;而对于那些透水性较差的黏性土壤而言,那就得通过掺入沙土或者改良剂的方式来对通气条件以及排水条件加以改善。

### 2.3 保证施工符合施工的设计要求

在园林施工期间,要保障施工能够契合设计要求,这是确保工程质量以及景观效果的关键环节,毕竟设计方案既蕴含着整体规划意图与艺术构思,又综合考量了场地条

件、植物配置、功能分区以及生态环境等诸多方面因素。施工时务必要依照设计图纸和技术规范来严格执行,从土方整理、硬质铺装一直到植物种植以及水体营造,都得做到尺寸精确、位置无误、比例和谐,防止由于随意变更或者操作不规范致使整体布局遭到破坏。与此需构建完善的施工质量管理与监督机制,针对关键环节加以严格把控,一旦发现与设计存在不符之处要及时予以纠正,以此确保景观结构具备稳定性与美观性<sup>[2]</sup>。还得依据现场实际状况,在尊重设计意图的基础之上灵活做出调整,比如碰到地质条件、气候环境或者现场障碍物的限制情况,应及时和设计单位展开沟通协商,去探寻科学合理的解决办法。

### 2.4 对种植穴的挖设

在园林施工环节当中,对种植穴展开挖设的操作属于极为关键的一道工序,其目的在于保障植物能够顺利成活并且在后续阶段实现健康成长,该工序的质量状况会直接对植物根系的延伸拓展以及养分汲取产生影响。在着手挖设种植穴的时候,需要依据不同植物所具有的品种类型、规格大小以及根系方面的特性,采用科学合理的方式去确定穴的深度与宽度,通常而言,要求穴的直径以及深度都得比植物根系土球的实际尺寸要大,如此一来便可以为根系给予充足的生长空间。与此种植穴的底部务必要维持在疏松透气的状态,切忌出现硬底层的情况,因为那样会妨碍排水事宜的开展以及根系向下扎根,可以在底部适量地填入有机肥或者对土壤加以改良,以此来提升土壤的肥力以及保水透气方面的性能表现。对于那些土质情况欠佳或者透水性能不好的区域而言,还应当借助换土、掺入沙土或者腐殖土等途径来进行改良处理,从而保证植物能够在适宜的环境里成功扎根并茁壮成长。

### 2.5 园林种植的管理

在园林施工以及后续的养护进程当中,园林种植方面的管理工作属于极为关键的一个环节,其对于确保所种植的植物能够顺利成活、实现稳定且持续地生长,并且逐步营造出理想的景观效果有着重要作用,这一管理工作会贯穿于种植正式开始之前、种植操作进行之中以及种植完成之后的整个过程。在种植尚未开始之时,得依据设计方案来精心挑选与之相适配的苗木,并且要针对所选苗木展开细致的质量检验工作,务必要确认苗木的根系保持完整状态且不存在任何病虫害情况;当进入到种植操作环节时,必须十分严谨地把控好株行距、栽植的具体深度以及栽植的方向,从而使得这些要素都能够契合景观呈现效果的要求以及生态方面的需求,与此还得留心让苗木的根系能够充分舒展开来,土壤也要妥善加以压实,并且要充分浇灌定根水,以此尽可能地减少苗木在移栽期间可能出现的各类损伤情况;等到种植操作全部完成之后,那就需要进一步强化养护管理的相关举措,像是要按照适当的时间节点来进行浇水、追加肥料、实施修剪操作以及做好支撑固定



等工作,如此一来便能够促使苗木可以尽快从移栽的状况下恢复正常的生长态势,并且还能有效增强其抵御各种逆境的能力。

## 2.6 密切与各部门的联系

园林工程是一个比较复杂的工程项目,所以它的施工环节也比较繁多,施工的工作量也比较大。对整个工程的分析,把工程项目根据性质等划分到几个人的手里,确定主要的工程负责人<sup>[3]</sup>。把施工的造价管理、质量管理、进度管理等责任到具体的人,提高管理人员的重视程度、发挥管理人员的作用,与各部门互相配合,互相支持,使施工质量得到不断的提高。进行人员的优化,对人员进行合理的配置,提高施工人员的整体素质。

## 3 新形势下园林施工养护管理的措施

### 3.1 设立园林生态植物

在当下全新的形势之下的园林施工以及养护管理工作当中,设立园林生态植物乃是达成生态功能同景观价值相互统一的一项颇为重要的举措。生态植物自身有着较强的适应特性以及抗逆能力,其可以在不一样的气候状况以及土壤条件之下维持相对较高的成活比率。并且它还能够改善土壤的结构、涵养水源、对小气候加以调节还有净化空气等诸多方面起到明显的效用。倘若能够合理地生态植物予以配置,那么便能够构建起呈现出多层次、多样化特点的植物群落结构,如此一来,园林景观就会显得更为稳定且更加贴近自然状态,与此还能够让整体生态系统的自我调节能力得以提升,进而减少后期在养护方面所需花费的成本以及相应的工作量。在实际的操作实践环节当中,需要依据所处区域的自然条件以及生态环境的具体特点,把乡土树种以及本地适生植物放在优先选择的位置上,促使它们和周围的环境达成协调共生的状态,并且借助乔木、灌木、草本等不同类型的植物进行合理的搭配组合,从而营造出那种既有观赏价值又具备生态效益的景观效果。

### 3.2 加强后期养护管理

在当下全新的形势之下的园林施工当中,强化后期的养护管理工作,这可是确保园林景观能够长期维持稳定状态、让植物可以健康生长起来的极为关键的一个环节,同时也是达成施工投资所能获取到的效益实现最大化的相应举措。后期的养护管理包含了浇水、施肥、修剪、病虫害的防治、杂草的清理以及土壤的改良等诸多不同的方面,得依据不同种类植物各自所具有的生长习性以及季节出现的变化情况去制定出科学且合理的养护计划。比如说,在气候较为干旱的季节里,应当及时地给植物浇灌水分,并且要采用滴灌或者喷灌这类高效的节水方式来实现;在植物生长的旺盛时节,要适时地追加肥料,以此来补充植物在生长过程中所需要的各类养分,并且还要借助修剪的方式,让植株保持形态上的美观,同时保证其具有良好的通风以及透光状况。与此还得着重加强对于病虫害的监测以及

防控工作,要及时地察觉到病虫害可能出现的种种迹象,并且迅速采取物理、化学亦或是生物方面的防治措施,从而防止病害不断蔓延,进而致使大面积的植物出现死亡的情况。

### 3.3 采用地域性植物

在当下新的形势之下的园林施工以及养护管理工作当中,运用地域性的植物来开展相关工作,这无疑是一项十分重要的举措,其可有效地提升园林工程对于环境的适应程度,能够在很大程度上降低养护方面所耗费的成本,并且还有助于达成生态可持续发展的目标。地域性植物自身具备能够适应当地具体气候条件、土壤相关性质以及水资源实际状况的能力,它拥有着较强的抵御各种逆境的性能,而且其成活率也处于比较高的水平,所以,在具体的种植操作过程之中,就能够相应地减轻在水肥管理以及病虫害防治等方面所面临的压力。与此这类地域性植物与本地的生态环境是能够相互协调起来的,它可以切实有效地对生物多样性起到维护的作用,进而推动当地生态系统朝着更加稳定的状态去发展,同时也能够促使该生态系统具备更强的自我调节的能力<sup>[4]</sup>。在实际的操作实践环节当中,需要依据不同地区各自所具有的自然条件以及景观方面的具体需求情况,去科学合理地选择像乔木、灌木、草本植物等一系列不同层级的组合形式,借助合理的搭配方式来形成那种层次颇为丰富,并且在一年四季里都有不同景致呈现出来的植物群落,从而使得园林景观在呈现出美观特质的还能够具备丰富的生态功能。

### 3.4 引入智能化管理技术

在当下新形势下开展园林施工与养护管理工作的时候,引入智能化管理技术已然成为提升园林管理水平以及管理效率的一项十分重要的手段。借助物联网、传感器、无人机、智能灌溉系统还有大数据分析等诸多技术手段,能够达成对园林植物生长的具体状态、土壤湿度情况、温度状况、光照强度以及病虫害实际情形等多方面的实时监测,并且可实现精准管理,如此一来便能够切实有效地将人工巡查所需的成本降下来,进而促使管理效率得以提高,让管理更具科学性。举例来讲,智能灌溉系统是能够依据土壤湿度以及气象数据来自动对浇水量以及浇灌频率做出调节的,如此便可避免出现水资源被浪费的情况;无人机以及远程监测技术能够快速察觉到植物出现病虫害、遭受损伤或者长势出现异常等问题,从而为及时采取干预措施给出相应的依据;大数据分析同样能够助力制定出季节性的施肥方案、修剪方案以及养护计划,进而实现精细化的管理。除此之外,智能化管理技术还能够建立起长期的数据库,以此来对园林植物的生长规律以及管理效果加以跟踪,从而为未来的园林规划、施工设计以及养护策略给予科学方面的参考依据。

## 4 结语

在新形势下,园林施工以及养护管理工作属于极为关

键的环节,其对于园林工程质量以及生态效益的保障有着重要作用。借助科学合理的施工方式、适宜的种植方法、完善的养护举措,并且引入智能化管理方面的技术,如此一来,不但能够提升植物的成活率,让景观呈现出更高的美观度,而且可以使得维护成本得以降低,进而促使园林的使用寿命得以延长。与此把生态理念融入其中,并且依据地域性来开展植物配置工作,这对于提升园林所具备的生态功能以及可持续发展的能力都是很有帮助的。

#### [参考文献]

[1]张晶.新形势下园林绿化施工与养护管理技术探讨[J].

新农业,2021(13):92-94.

[2]李雪桃.新形势下园林绿化施工与养护管理技术探讨[J].农村科学实验,2018(16):74-76.

[3]刘富鹏.新形势下园林施工养护管理的重点及措施[J].江西农业,2020(12):41.

[4]王道富.新形势下园林施工养护管理分析[J].花卉,2017(16):68-69.

作者简介:张珊珊(1989.6—),毕业院校:常州工学院,专业:土木工程,当前就职单位:连云港市和安园林工程有限公司。



## 建筑规划中风景园林设计优化策略探讨

郭芷君

赤峰市城市建设投资(集团)有限公司, 内蒙古 赤峰 024000

**[摘要]**风景园林设计于现代建筑规划之中,有着提升城市生态环境、优化空间布局以及塑造文化景观的关键作用。随着城市化进程不断加快,人居环境的需求也在提高,怎样在建筑规划里科学且合理地开展园林设计,这已然成为提升城市品质以及实现可持续发展极为重要的方面。文中把建筑规划当中的风景园林设计当作研究对象,依据生态学、景观学还有建筑学的相关理论基础,对其价值与功能展开探讨,并且全面且细致地整理优化策略,涉及空间布局、功能分区、植物配置、水体以及地形的整合以及绿色可持续设计等诸多方面。与此还对现代技术在园林设计中的运用加以分析,像数字化设计、BIM 技术以及智能化管理的应用等。研究显示,借助科学的方式去优化风景园林设计,不但能让建筑环境的生态效益以及人居品质得以提升,而且可以强化城市的文化内涵以及景观价值,可为未来的建筑规划给予有效的参考。

**[关键词]**建筑规划;风景园林;设计;策略

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17616

中图分类号: TU985

文献标识码: A

## Exploration on Optimization Strategies for Landscape Architecture Design in Architectural Planning

GUO Zhijun

Chifeng City Construction Investment (Group) Co., Ltd., Chifeng, Inner Mongolia, 024000, China

**Abstract:** Landscape architecture design plays a key role in modern architectural planning, enhancing urban ecological environment, optimizing spatial layout, and shaping cultural landscapes. With the continuous acceleration of urbanization, the demand for living environment is also increasing. How to scientifically and reasonably carry out landscape design in architectural planning has become an extremely important aspect of improving urban quality and achieving sustainable development. The article takes landscape design in architectural planning as the research object, explores its value and function based on the relevant theoretical foundations of ecology, landscape studies, and architecture, and comprehensively and meticulously organizes and optimizes strategies, involving spatial layout, functional zoning, plant configuration, integration of water bodies and terrain, and green sustainable design, among many other aspects. Furthermore, an analysis will be conducted on the application of modern technologies in landscape design, such as digital design, BIM technology, and intelligent management. Research shows that optimizing landscape design through scientific methods can not only improve the ecological benefits and living quality of the built environment, but also enhance the cultural connotation and landscape value of the city, providing effective reference for future architectural planning.

**Keywords:** architectural planning; landscape architecture; design; strategy

### 引言

风景园林设计属于城市规划以及建筑设计里的关键部分,它同城市空间的整体美学展现存在关联,对于生态环境保护、居民生活质量提高以及城市文化表述有着长远的影响,在建筑规划方面,风景园林设计借助合理安排植被、水体、地形还有休闲空间,构建起功能完备、生态友好并且富有文化内涵的环境,给建筑与自然的融合给予基础性的支撑。伴随城市化进程的向前发展,建筑空间呈现出的密集性以及功能复杂性使得园林设计面临更高的要求,设计者得同时顾及生态、景观、功能和人文等诸多方面的因素,达成建筑与自然环境的协调开展。本文把建筑规划中的风景园林设计当作研究的核心内容,全面深入地探讨其价值以及功能,剖析优化的策略,并且结合现代技术的应用情况,为建筑规划里园林设计的科学施行给予理论层面的支持以及实践方面的指引。

### 1 风景园林设计的价值与功能

#### 1.1 构建人与自然的协调关系

建筑规划中的风景园林设计中,对户外空间的设计、保护、建设和管理,构建人与自然之间和谐相处的场所,营造了宜人的自然环境,对植被、水体、地形等要素进行了科学配置,创造出宜人、宜居的自然环境,使人们在其中感受到自然的美好和舒适。借助巧妙的设计手法,使得建筑周围的景观成为居住者日常生活的一部分,为居住者提供了丰富多彩的活动空间,丰富了居住体验,提高了居住品质。合理设计景观元素的布局,引导人们在自然环境中活动,促进了人与自然之间的互动和交流,增强了人们对自然的认知和热爱。在风景园林设计中融入当地的文化、历史等特色元素,塑造独特的文化氛围,为建筑和场地赋予了独特的精神内涵。精心设计的风景园林提升了周围地区的景观价值,也能吸引游客和居民,带动地方经济的发

展,产生良好的社会效益,降低对自然环境的破坏,为生态保护作出贡献。

### 1.2 协调城市功能与园林环境

风景园林设计于建筑规划里有着连接城市功能同生态环境的作用。城市空间呈现出复杂的状况,这就需要园林设计能够在各个不同功能区域相互间构建起缓冲以及过渡的桥梁,进而让交通、居住、商业、公共设施和自然景观能够达成有机的结合状态。借助细致化的景观布局方式,园林设计能够起到引导人流走向的作用,还能对空间使用的效率加以优化,并且从视觉以及心理这两个层面上来提升城市空间所具有的舒适度以及宜居特性。就好比说,在人口密度较高的住宅区域当中,倘若能对绿地进行合理的布局安排,那么这既能在一定程度上缓解因建筑过于密集而产生的那种压迫感受,又能够给居民创造出可供其开放休憩的空间场所,从而促使城市功能和生态环境达成一种动态的平衡状态。与此园林设计会在公共空间和建筑物二者之间搭建起视觉上的通廊,进而形成连续不断的景观体验效果,以此将城市功能和自然环境有机地衔接起来,进而为城市整体的空间结构给出相应的优化方案,并且强化居民对于城市空间所存在的认同感以及归属感。

### 1.3 提升城市生态环境质量

风景园林设计于建筑规划当中,对于生态环境质量的提升有着颇为显著的作用。借助科学合理的植物配置方式、恰当适宜的水体布置安排以及地形方面的优化举措,园林设计一方面可对局部气候条件予以改善,另一方面在空气净化、噪声缓解以及生物多样性保护等诸多方面,均能发挥出积极有益的作用。绿色空间经过系统性的布局安排之后,能够对城市热岛效应起到调节的作用,缓解那些建筑较为密集区域所面临的环境方面的压力,与此还能对野生动植物给予栖息之地,进而维持生态系统整体的稳定性。在雨水管理以及水资源利用这两个方面,园林设计凭借将水体和地形加以整合的方式,达成自然排水以及蓄水的功能目的,以此来增强城市应对灾害的能力。通过运用这些生态设计的相关手段,风景园林既能够为建筑环境赋予美学层面的价值,又能够在城市可持续发展的进程里发挥出极为关键的核心作用,进而为居民创造出健康且舒适的居住生活环境,同时也体现出建筑规划对于自然环境所具有的尊重态度以及适应能力。

## 2 建筑规划中园林设计优化策略

### 2.1 空间布局优化策略

在建筑规划这个领域当中,园林设计方面空间布局的优化工作,是达成生态、功能以及美学相互协调的重要关键所在。借助科学且合理的规划方式来安排绿地、广场、水体还有交通流线等各项要素的空间分布情况,如此一来便能够在城市那有限的空间范围之内营造出一种功能可以互补、视觉能够连贯起来的景观环境。空间布局在考量

的那种关系,另一方面也会留心关注公共活动区域和休闲空间怎样才能够做到合理的衔接,进而让居住在其中的居民在这一片建筑群落里能够收获到舒适并且便捷的生活感受。设计人员会针对空间尺度、视线通廊、开放性以及私密性等诸多因素展开综合性的分析研判,从而达成对城市空间进行多层次开发利用的目的,与此同时还能进一步强化景观所具有的引导作用以及互动特性。合理的空间布局不单能够让人流动线得以改善,而且能够促使建筑的使用效率得到提高,并且在生态以及景观美学这两个方面还会产生出积极正面的影响效果,最终使得城市空间在视觉呈现以及功能发挥上都能够形成一个和谐统一的整体状态。

### 2.2 功能分区与建筑类型协调方法

功能分区同建筑类型之间协调的情况,这属于园林设计优化其中的一个关键环节。在开展建筑规划相关工作期间,各个不同的功能区域对于景观所呈现出的需求是各不相同的。像住宅区域、商业区域、办公区域以及公共设施所在的区域,它们都需要和其周边的园林空间构建起一种较为适宜的关联。借助于清晰明确的功能分区情况,设计者便能够在景观规划方面营造出有着连续性并且层次分明的空间序列,进而让建筑类型和园林环境能够在视觉层面以及实际使用层面达成最为理想的匹配效果。就好比说,在居住区域当中,绿地以及公共活动区域应当紧紧挨着住宅楼,如此一来既能便于居民在日常生活中加以使用,又能确保一定的私密性;而在商业区域以及办公区域,广场还有开放空间则能够进一步强化城市形象,同时也提升公共体验。对功能分区和建筑类型加以协调,一方面提升了建筑的整体美学方面的价值,另一方面也强化了园林景观的可达程度以及互动特性,从而实现将建筑、功能以及生态环境等方面进行综合性的优化。

### 2.3 植物配置与景观层次优化

植物配置以及景观层次的优化,在园林设计里乃是提升其生态功能以及美学效果的关键手段。借助科学的方式来挑选植物的种类、确定密度以及设定高度,设计者便能够打造出丰富多样的景观层次,进而强化园林空间所具有的立体感以及生态多样性。植物配置在考量景观的视觉效果之时,还会兼顾生态功能,像空气净化、温度调节还有为生物提供栖息环境等等这些方面。层次清晰分明的植被布局,可引导人们的视线,划分出不同的功能区域,并且在各个不同季节呈现出各不相同的景观效果,让居民的感官体验得以丰富起来。合理的植物组合搭配上景观层次的优化处理,使得建筑周边的环境既有着生态价值,同时也具备艺术表现力,从而为城市空间营造出可持续的、美观且舒适的自然环境。

### 2.4 水体、地形与生态元素整合策略

在园林设计方面加以优化的时候,把水体、地形以及其他生态元素综合起来进行整合操作,这能够在很大程度上提升空间所具备的生态功能,同时也能够让空间的景观



魅力得以凸显。就水体设计来讲,它不单单可以充当景观的聚焦点,而且还肩负着诸如雨水调节、微气候方面的改善以及生态循环等诸多功能。再看地形设计,其借助高低起伏的态势以及对坡度做出相应的调整,如此一来便能够强化空间所呈现出来的层次感,并且还能够对人流动线起到引导的作用,进而对排水系统予以改善,另外还能增添景观的趣味性<sup>[1]</sup>。而生态元素的整合,具体涉及到湿地、花坛、草坪以及自然景观节点等,要将它们合理地安排布置好,从而使得园林环境能够在美学层面以及功能层面都达成一种较为和谐的状态。综合考量水体、地形以及生态元素之间相互产生的作用,园林设计便可以在建筑规划环节当中实现对环境进行调节、对生态予以保护以及在景观美学方面进行多方面的优化,进而为城市空间营造出可持续发展并且充满生机活力的生态景观。

## 2.5 绿色与可持续设计策略(环保材料与节能设施应用)

绿色可持续设计是现代建筑园林设计的关键导向,于园林设计环节运用环保材料、节能设备还有低影响施工技术,如此既能减小对自然环境的损害,又能提高园林的生态效益,绿色材料的运用涵盖了可再生木材、透水铺装以及低碳建材,其在景观建设过程中兼顾了美观性,又降低了能耗以及碳排放,节能设施的应用比如雨水收集系统、太阳能照明以及智能灌溉系统,使得园林在资源使用方面更为高效,同时也助力城市达成可持续发展目标,借助绿色可持续设计策略,园林设计既能满足生态环保的要求,又能为建筑环境营造出舒适、健康且低碳的生活与休闲场所,彰显出现代城市规划的科学性与前瞻性。

## 3 创新与现代技术在园林设计中的应用

### 3.1 数字化与 BIM 技术在园林设计中的实践

数字化以及 BIM(建筑信息模型)技术于现代园林设计当中所起到的作用愈发显得重要起来,其已然为建筑规划赋予了具备科学性且十分精细的设计工具。借助数字化建模这一方式,设计者能够在虚拟所构建的环境里对园林空间的布局情况、植物的具体配置状况以及景观所能呈现出来的效果加以模拟,进而达成对多个设计方案展开对比的目的,并且能够做出更为优化的决策<sup>[2]</sup>。BIM 技术一方面能够助力建筑与园林达成整体上的协同设计,另一方面还可将地形相关的信息、水体方面的信息、植被所涉及的信息以及基础设施各类信息都整合到同一个平台之上,如此一来便能让设计环节、施工环节以及后期的管理工作实现高度的融合。数字化手段使得景观设计具备了更强的可视化特点以及更高的可操作性,设计者能够较为直观地去评估空间的尺度情况、视线所形成的通廊状况、光照的具体条件以及生态方面的功能表现,与此同时还能在一定程度上削减施工阶段出现的变更情况以及资源的无端浪费现象。在实际的操作过程中,数字化以及 BIM 技术给

园林设计给予了数据层面的有力支撑,并且还为其提供了持续开展优化工作的路径,从而促使建筑规划在生态性、功能性以及景观美学等方面均能够获得全方位的提升。

### 3.2 智能化景观管理与可视化设计工具

智能化景观管理以及可视化设计工具,在园林设计优化方面给予了关键的技术支撑。智能化管理系统借助物联网传感器、数据采集以及分析技术,达成对园林水体、植物生长状况、微气候还有环境质量的实时监测,从而给管理者给予科学的决策依据。此项技术一方面提升了园林维护的工作效率,另一方面还能依据不同季节以及气候条件来自动调节灌溉、照明以及环境控制等方面,以此保证园林生态系统能够稳定地运行<sup>[3]</sup>。可视化设计工具能让设计者在规划阶段针对空间布局、景观效果以及生态功能展开直观的展示,如此一来便于设计方案的优化以及相关方面的沟通交流。凭借这些现代技术的应用,建筑规划里的园林设计不但实现了智能化的管理以及精细化的运营,而且还提高了园林空间的生态价值、功能效率以及居民的体验感受,进而为建筑与自然环境的融合提供了技术层面的保障。

## 4 结语

在建筑规划领域当中,风景园林设计所起到的作用是多方面的。它能够对城市生态环境予以提升,可让空间布局变得更加优化,而且还能够塑造出颇具特色的景观。借助科学合理的策略以及现代先进的技术手段,得以实现系统化的运作以及智能化的管理。园林设计在生态层面、景观呈现方面以及居民生活质量的提升等方面,都有着不容忽视的重要价值。并且,它还能够推动城市形象的塑造以及社会效益的提升。具体而言,通过实施空间布局的优化举措、功能分区的协调安排、植物与景观层次的合理配置、水体与地形的有效整合以及开展绿色设计与管理等工作等一系列策略,再结合数字化建模技术、BIM(建筑信息模型)技术以及智能管理方式,园林设计成功完成了从传统美学布局模式朝着科学化管理和智能化管理方向的转变,进而为城市的可持续发展以及高品质的人居环境构建给予了强有力的支撑。

### [参考文献]

- [1]周媛媛.建筑规划中风景园林设计优化策略探讨[J].居业,2025(4):66-68.
  - [2]白杨.建筑规划中风景园林设计优化策略探析[J].建材发展导向,2024,22(11):50-52.
  - [3]薛静.建筑规划中风景园林设计优化方案[J].中国建筑金属结构,2023,22(7):120-122.
- 作者简介:郭芷君(1989.4—),毕业院校:中国林业科学研究院,所学专业:风景园林,当前就职单位:赤峰市城市建设投资(集团)有限公司,职务:职员,职称级别:中级。

## 公路施工中路面平整度试验检测技术应用

卫敏婷

陕西省咸阳路桥工程公司, 陕西 咸阳 712000

**[摘要]**公路平整度于施工期间而言,实为衡量公路工程质量的一项关键指标,它同道路的安全性以及行车的舒适性存在着直接且紧密的关联。此篇文章全面且细致地剖析了公路施工进程里那些会对路面平整度产生影响的诸多关键因素,并且深入探讨了平整度试验检测技术的具体应用方式及其所达成的效果。借助对典型检测设备加以介绍以及对数据采集与处理技术展开阐述这两个方面,着重突出了检测技术在施工质量把控环节当中的核心般重要作用。该研究所得出的结果,其目的在于能够给公路施工企业给予科学层面的质量管理方面的参考依据以及相应的技术支持,进而推动路面平整度得以有效的控制,提升公路工程整体的施工水准以及实际的使用性能。

**[关键词]**公路施工;路面平整度;试验;检测技术;技术应用

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17640

中图分类号: U416

文献标识码: A

## Application of Road Surface Flatness Test and Detection Technology in Highway Construction

WEI Minting

Shaanxi Xianyang Road and Bridge Engineering Company, Xianyang, Shaanxi, 712000, China

**Abstract:** Highway smoothness is a key indicator for measuring the quality of highway engineering during construction, and it is directly and closely related to the safety of the road and the comfort of driving. This article comprehensively and meticulously analyzes the many key factors that can affect road surface smoothness in the construction process of highways, and deeply explores the specific application methods and effects of smoothness testing technology. By introducing typical detection equipment and elaborating on data acquisition and processing techniques, the core and important role of detection technology in construction quality control is highlighted. The results of this study aim to provide scientific reference and corresponding technical support for quality management in highway construction enterprises, thereby promoting effective control of road surface smoothness, improving the overall construction level and practical performance of highway engineering.

**Keywords:** highway construction; road surface smoothness; experiment; testing technology; technology application

### 引言

公路属于现代交通运输领域里的关键基础设施,其建设质量和道路的安全性、耐久性以及使用舒适度紧密相连。路面平整度是评价公路施工质量的关键指标之一,它对车辆的行驶稳定性、乘坐舒适性都有影响,而且和路面的使用寿命、养护成本有着密切关联。随着公路建设规模持续扩大,技术要求不断提高,传统的路面平整度检测方法已经无法满足高效、精准、科学的质量控制需求了。在现代公路施工当中,平整度试验检测技术的应用渐渐变成确保施工质量的重要方式,包含了从基层施工一直到面层铺筑的全过程质量监测环节。借助先进的检测设备以及科学的检测方法,可以及时且准确地反映出路面施工的真实情况,以此来指导施工工艺的优化以及质量的改进,有效防止质量缺陷和安全隐患出现。本文会全面剖析公路施工中影响路面平整度的主要因素,深入探讨典型的平整度试验检测技术及其当下的应用情况,着重阐述数据采集与处理的方法以及检测技术在施工质量控制中的实际效用,希望能够给提升公路施工质量管理的水平给予理论方面的支撑和技术方面的参考,推动公路工程实现高质量的发展。

### 1 公路施工中影响路面平整度因素分析

#### 1.1 路面基层施工对平整度影响因素

路面基层施工在很大程度上决定了公路路面的平整程度,其施工质量对于路面整体的平整效果有着直接的影响。基层属于路面结构里的关键承载部分,在施工期间,像压实度、厚度的均匀程度还有表面的平整程度等诸多因素,都会给最终的路面形态带来颇为显著的作用。要是基层施工不够均匀,出现了厚度方面的变化或者存在压实不到位的情形,那么上部的路面层就极有可能会出现问题沉降的现象,还可能产生裂缝或者是呈现出波浪式的变形,如此一来,便会影响到行车的舒适感受以及道路的使用年限。在基层施工环节当中的土质改良工作、排水相关的措施以及施工工艺等方面,同样会从间接的层面去影响基层的稳定性以及均匀程度,进而对路面的平整度产生作用。在施工的时候,倘若对基层的施工流程把控不够严格,机械设备的选择也不恰当,又或者施工操作不够规范,那么这些情况都会使得基层表面凹凸不平的程度加剧,进而导致后续要铺筑的路面层很难符合设计所规定的平整度标准。



## 1.2 施工所需的材料质量对平整度的影响

施工所用材料的质量属于影响公路路面平整度的关键要素之一。材料的物理特性、粒径构成、含水量还有稳定性等因素,都与路面基层以及面层的施工质量及最终的平整效果有着直接关联。要是所使用的材料在颗粒级配方面不够合理,又或者含有过多的细粉以及有机杂质,那么就很容易致使填筑层的密实度有所欠缺,在压实操作期间还可能出现沉降以及局部塌陷的情况,进而形成表面不平整的状况。与此倘若材料的含水量没有得到有效的把控,同样会对它的施工性能产生影响,无论是过湿还是过干的材料,都不利于达成设计所规定的压实度以及密实性<sup>[1]</sup>。除此之外,材料的稳定性欠佳,在外力的作用之下容易出现变形或者破碎的现象,这会致使路面临时发生局部变形以及凹陷的情况,对整体的平整度造成影响。材料质量的起伏不定,还会使得施工过程中的施工难度有所增加,施工工艺也不稳定,这样一来便进一步加大了对路面平整度加以控制的难度。

## 1.3 施工机械对于路面平整度影响因素

在公路施工中,摊铺机作为负责路面摊铺的关键机械,其性能在很大程度上决定了路面的平整度和质量。施工过程中,操作人员对摊铺机的熟练掌握以及机械本身的性能表现对摊铺效果影响显著,主要体现在两个方面。首先,施工前由于摊铺机熨平板受热不均,常导致熨平板与混合料之间发生黏结,进而在摊铺过程中出现坑洞或表面粗糙不平现象;此外,摊铺机的行进速度不稳定及供料系统的速度忽快忽慢,也容易引发路面波浪,降低平整度。其次,摊铺完成后,压路机的碾压环节同样关键。若初始碾压温度过高,会使碾压痕迹明显,影响表面质量;而在碾压过程中,混合料中的细料易黏附于压路机表面,导致级配失调,影响压实效果;反之,温度过低则会导致压实不足,进一步降低路面平整度。这些因素共同作用,直接影响最终路面的平整质量,因此在施工中需高度重视机械性能和操作控制的协调配合。

## 2 公路施工中路面平整度试验检测技术应用

### 2.1 检测技术的选择原则

在公路施工期间,挑选恰当的路面平整度试验检测技术乃是确保施工品质以及道路性能的重要环节。检测技术的选择需要综合诸多因素来考量,首要前提是要确保所选用的检测办法能够契合工程设计以及施工规范针对平整度精度所提出的严苛要求,得具备较高的分辨率以及重复性,从而精准地呈现出路面表面的微观起伏以及宏观波动特性。检测技术务必要有较强的适应性,可适用于多种不同类型的材料(比如沥青混凝土、水泥混凝土、基层土石方等等),并且能适应多样的施工环境以及气候条件,以此来保证检测结果具备科学性以及可靠性。施工现场的作业效率同样属于重要的考量方面,检测技术应当拥有较快

的检测速度以及便捷的操作方式,可以达成快速的数据采集与处理工作,降低其对施工进度产生的干扰,助力施工过程中的实时质量监控以及适时调整。数据的数字化处理与智能分析的能力同样是选择技术之时不可被忽视的一个因素,现代的检测技术理应能够和信息化平台实现无缝衔接,支持大数据分析以及云端管理,进而提高质量控制的科学水准。从另一方面来讲,设备的操作复杂程度、维护成本以及操作人员的专业水平也都得纳入到考虑的范畴之中,去挑选那种操作简单、维护方便并且适合施工人员掌握的检测设备,这对于技术的推广应用以及持续提升检测效果都是很有利的。

### 2.2 典型检测设备的应用介绍

在公路施工环节当中,那些典型的用来检测路面平整度的设备,像直钢尺法、坡度仪、激光平整度仪,还有现代的惯性仪以及平整度车辆等等,这些设备在施工质量把控方面都起着颇为重要的作用。直钢尺法属于传统的一种检测方式,它的操作流程是比较简单的,并且所需成本也比较低,所以很适合用于小范围以及初步阶段的平整度检查工作,不过它受到检测精度以及效率方面的限制,很难去满足那种大规模且需要高精度施工的情况下的相关需求。坡度仪是通过测量路面局部的坡度变化情况,可以相对准确地把平整度的实际状况给反映出来,可是它会受到人工操作所具有的主观性因素以及环境因素等方面的影响。随着技术不断地向前发展,激光平整度仪已然成为了当下应用范围比较广的一种高精度检测设备,它是利用激光束来开展非接触式的测量工作,能够极为快速地采集到路面的高程数据,具备高分辨率以及实时反馈这样的优势特点,所以适用于各种不同类型的路面结构的检测任务<sup>[2]</sup>。惯性仪和平整度车辆是依靠车辆所搭载的高精度传感器系统,在车辆处于高速行驶的状态下能够连续不断地对路面起伏情况进行测量,这使得检测的效率以及数据的连续性都得到了极大的提升,特别适合用于大面积路段的平整度评估工作。现代的检测设备大多都能够支持数字化的数据采集以及后续的数据处理工作,再配合专门的软件来进行数据分析以及三维可视化呈现,这样就能够让施工管理人员很方便地实时掌握路面的质量实际状况,进而能够快速做出相应的调整决策。不同的设备各自都有自己的优势所在以及适用的具体场景,施工单位应当依据工程的规模大小、路面的类型差异、检测精度的具体需求以及施工环境的条件等情况,科学地去选择并且合理地组合应用这些典型的检测设备,从而达成对平整度检测做到全面且无死角的覆盖以及精准的控制,以此来保障公路施工质量能够持续不断地得到提升。

### 2.3 平整度检测数据的采集与处理

在公路施工期间,路面平整度检测数据的采集以及处理属于极为重要的环节,其对于确保施工质量以及达成精

准控制有着重要作用。数据采集一般依靠现代高精度检测设备来完成,像激光扫描仪、惯性测量单元以及平整度测量车辆等等。这些设备可于施工现场迅速且连续地捕捉到路面高程方面的变化情况以及微观起伏的特点,进而生成数量众多的空间位置与高程数据相关信息。在采集数据的过程中,设备借助非接触式测量技术,使得数据的采样密度以及准确性都得到了大幅度的提升,切实有效地克服了传统手工测量所存在的种种局限,同时也将人为误差减少了许多。伴随采集技术不断发展,实时数据传输以及自动化采集已然成为了可能的事情,这使得检测的过程变得更加高效并且更具智能化。所采集到的原始数据当中通常会掺杂着噪声以及异常点,所以必须要经过严谨的数据预处理操作,比如滤波、插值以及平滑处理等方式,以此来去除测量误差以及环境干扰因素,进而保证后续分析能够具备可靠性。凭借数字高程模型(DEM)以及三维建模技术,针对平整度数据展开空间分析以及形态识别工作,从中进一步提取出关键指标,像是国际平整度指数(IRI)、平均断面高度差等,以此来全面且细致地评估路面的平整实际状况。除此之外,现代信息技术不断向前发展,这促使平整度检测数据和施工管理系统得以实现集成<sup>[3]</sup>。通过运用大数据分析、云计算以及机器学习等一系列手段,达成对施工过程的动态监控以及智能预警目的,从而助力施工人员能够及时察觉并纠正施工当中出现的不平整相关问题。

#### 2.4 平整度检测技术在施工质量控制中的作用

在公路施工期间,路面平整度检测技术充当着施工质量控制的关键工具,其重要性不言而喻。该技术可为施工各个阶段给出科学且精准的质量评估依据,凭借定量化的检测数据清晰呈现路面表面的起伏情况以及整体平整程度,助力施工单位及时察觉路面出现的不平整、沉降或者凹陷等质量方面的问题,防止隐患不断累积。此技术能为施工过程中的实时监控以及动态调整予以支持,使得施工管理者能够依照检测结果对施工工艺加以优化,对机械设备参数以及施工顺序做出调整,进而切实提高施工效率以及工程质量<sup>[4]</sup>。而且,平整度检测技术对于推动施工标准化与规范化管理也是有帮助的,依靠统一的检测方法以及指标体系,能够保证不同施工单位以及不同工序之间质量的一致性,推动工程整体质量的提升。借助现代数字化以及信息化技术,平整度检测数据不但可用于现场控制,还

能集成至施工质量管理信息系统,达成数据的智能分析以及可视化管理,为施工决策给予有力支撑。从长远角度来讲,平整度检测技术的应用不但提升了公路路面的使用性能以及耐久性,降低了后期维护以及修复的成本,还提高了行车的安全性以及舒适度,极大地增强了公路交通运输的服务质量以及社会经济效益。

### 3 结语

路面平整度试验检测技术属于公路施工质量控制的关键部分,其对于确保道路具备安全性、耐久性以及行车舒适性而言,有着极为重要的影响。借助科学且合理地挑选以及运用各类检测技术,并且联合先进的数据采集以及处理方式,一方面可达成对路面平整度较为精准的评估目的,另一方面也能为施工进度给予实时的反馈信息,以此来引导施工工艺展开优化方面的操作以及调整相关事宜。伴随现代信息技术、大数据分析还有智能化设备持续不断地发展进步,路面平整度检测技术正逐步朝着自动化、智能化以及集成化的趋向去迈进,进而给施工质量管理带来了更为高效并且更为精准的工具手段。在未来的日子里,需要进一步强化检测技术的创新研发工作以及规范制定事宜,促使检测数据和施工管理系统实现深度融合的状态,达成对整个过程以及全方面范畴的质量监控以及动态管理效果,以此来提升公路工程整体的施工水准以及运行性能表现。唯有不断地完善并改进平整度检测技术的应用体系,才能够切实有效地保障公路路面的质量状况,提高道路所具备的服务功能,满足交通运输始终处于不断升级变化的需求情况,推动公路建设向着高质量发展的目标稳步迈进。

#### [参考文献]

- [1]欧阳秋焱.公路施工中影响路面平整度因素及控制方法研究[J].黑龙江交通科技,2014,37(3):49.
- [2]张俊峰.公路施工对路面平整度影响的因素分析[J].黑龙江交通科技,2008(3):23-25.
- [3]苏振刚.公路工程施工路面平整度控制[J].汽车画刊,2024(10):221-223.
- [4]卜志颖.公路工程施工中路面平整度控制策略研究[J].城市建筑空间,2023,30(1):369-370.

作者简介:卫敏婷(1987.5—),女,汉族,本科,毕业院校:大连理工大学,专业:土木工程。



## 浅谈铁路行车安全管理问题及对策

龚建伟

浙江金温铁道开发有限公司, 浙江 温州 325000

**[摘要]**随着社会持续向前发展,人们的出行方式变得日益多样起来,铁路身为极为重要的交通工具,在人们的出行方面发挥着无可取代的重要作用。为了促使整体服务品质得以提升,确保旅客能够安全地出行,铁路行车安全管理就显得格外重要。安全管理不仅关系到旅客的人身安全,也直接影响着我国铁路交通体系的健康发展。因此,必须高度重视当前铁路行车安全管理中存在的问题,采取切实有效的措施加以解决,提升管理水平,进而为社会的持续稳定发展提供坚实保障。

**[关键词]**铁路行车;安全管理;问题及对策

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17634

中图分类号: TU298

文献标识码: A

### Brief Discussion on Safety Management Problems and Countermeasures in Railway Operations

GONG Jianwei

Zhejiang Jinwen Railway Development Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

**Abstract:** With the continuous development of society, people's modes of transportation have become increasingly diverse. As an extremely important means of transportation, railways play an irreplaceable role in people's travel. In order to improve the overall service quality and ensure that passengers can travel safely, railway safety management is particularly important. Safety management not only relates to the personal safety of passengers, but also directly affects the healthy development of Chinese railway transportation system. Therefore, it is necessary to attach great importance to the problems existing in current railway safety management, take practical and effective measures to solve them, improve management level, and provide solid guarantee for the sustainable and stable development of society.

**Keywords:** railway operation; safety management; problems and countermeasures

#### 引言

随着我国铁路运输事业的迅猛发展,高速铁路、城际铁路以及重载铁路都在持续拓展,铁路运输于国家综合交通体系里所占的比重一天比一天增加,已然成为经济发展、社会运行还有人员流动的关键支撑。不过,铁路运输系统的构造颇为复杂,运行密度颇高,技术方面的要求也相当严格,其安全管理正面临诸多挑战。特别是在列车运行期间,倘若任何一个环节出现疏漏,都有可能引发行车事故,进而导致重大人员伤亡以及财产损失,对铁路系统的正常运转以及社会公共安全产生极为严重的影响。所以,铁路行车安全管理工作的必要性日益显现出来,其科学性、系统性以及前瞻性和铁路运输的安全水平、服务质量紧密相关。当下,我国铁路行车安全管理虽说取得了一定的成果,可在设备维护、人员操作、环境干扰、风险控制等诸多方面依旧存在着一些突出的问题,迫切需要从管理理念、技术手段以及组织机制等多个层面去加以改进。本文打算通过对当前铁路行车安全管理当中存在的主要问题展开分析,来探讨切实可行的对策建议,期望能够为提升我国铁路行车安全管理水平给予一定的参考以及思路。

#### 1 铁路行车安全管理的重要性

铁路行车安全管理的重要性在于它对铁路运输系统

整体运行效率以及公众生命财产安全起到根本性的保障作用。随着我国铁路运输网络不断拓展,高铁时代也已全面来临,铁路运输已然成为国家综合交通体系当中极为重要的一部分,其运行是否安全与国家经济发展、社会稳定以及人民群众日常出行安全有着直接关联。铁路行车涵盖列车运行控制、调度指挥、线路维护、设备管理、人员操作等诸多系统环节,只要其中任何一个环节出现纰漏,就极有可能引发严重的行车事故,进而导致大量的人员伤亡以及巨额的财产损失。所以,构建科学、规范且系统的行车安全管理机制,可有效识别并防控各类安全风险,提高铁路运输的稳定性与可靠性,保证运输组织得以高效运转。并且,铁路行车安全管理还体现出对旅客人身安全的尊重与保护,契合现代交通服务以人为本的核心宗旨,是提升行业形象以及社会信任度的关键保障。强化铁路行车安全管理,既是行业实现高质量发展的内在需求,也是构建安全、绿色、智能交通体系的现实要求。

#### 2 铁路行车安全管理问题

##### 2.1 设备自身缺陷

在铁路行车进程当中,设备自身所存在的缺陷无疑属于引发安全方面诸多问题的关键因素之一。铁路系统若要正常运行,那么其必然要依靠数量颇为可观的各类机械设

备、电气系统以及信息控制系统,其中就涵盖了信号设备、轨道、道岔、机车车辆还有通信设备等等。而这些设备倘若存在着设计方面的缺陷,又或者制造时的质量并未达到相应标准,再说长期处于运行状态之下产生了疲劳情况,又亦或是维护工作做得不够到位,那么在行车的过程之中便很容易出现各种各样的故障。就好比说,信号设备可能出现误显示的情况,道岔会出现卡阻的问题,轨道的几何状态会呈现异常状况,制动系统更是有可能失灵等,而这些情况皆有可能直接致使列车的运行出现异常状态,进而甚至有可能酿成脱轨、追尾这类极为严重的事故。尤其是在当下这种高密度且高速度运行的现代铁路系统里面,对于设备的可靠性以及稳定性所提出的要求是更高的。一旦设备本身就存在着一定的隐患,那么在高速运行的状态之下,这些隐患极有可能会被进一步放大,从而转化为实实在在的安全风险<sup>[1]</sup>。除此之外,部分老旧的线路因为其设施已然变得陈旧不堪,并且使用的时间年限也相当长,在这样的情况下,部分关键部件的老化程度往往会比较严重,如此一来也就容易因为疲劳损伤或者是突如其来的意外故障而对行车安全产生影响。

## 2.2 人员操作失误

在铁路行车安全管理工作中,工作人员作为操作的主体,其职业素养对行车安全具有不可忽视的影响。举例来说,列车司机若操作技能不够娴熟且缺乏安全意识,必然会对行车安全构成威胁。因此,提升司机的综合素质和职业素养,结合线路特点、环境状况及列车实际情况进行培养,并通过必要的考核加以保障,是确保行车安全的重要措施。同时,其他岗位工作人员的安全意识和职业素养同样对行车安全产生直接影响。例如,电气工作人员若发生误操作导致开关误合,极易引发电气事故,进而影响整体运行安全。

## 2.3 多方面环境影响

在铁路行车行进的过程中,会受到诸多方面的环境因素作用。这些外部的条件通常带有不可控制的特性,并且还常常呈现出突发的情况,这无疑给行车安全带来了相当大的挑战。就自然环境因素来讲,像暴雨、暴雪、大风、浓雾、雷电以及极端高温或者低温等情况,均有可能直接对列车运行的正常次序形成干扰。举例来说,暴雨很可能会引发路基出现塌方状况,或是致使线路被淹没,甚至让桥梁遭受冲毁之灾;浓雾的存在会大幅度压缩司机的可视距离,进而加大操作的难度;而极端的气温状况,则有可能使得钢轨发生膨胀变形,或者干脆出现断裂情况,如此一来便会将对轨道的几何状态产生影响。除此之外,地质灾害方面,比如泥石流、滑坡、地震之类的情况,也极有可能在没有任何预警提示的情形下,对线路的安全状况造成极为严重的破坏。除了自然因素之外,社会环境以及人为干扰同样属于影响行车安全的关键方面。比如说,沿线居

住的居民若非法侵入到铁路线路当中,又或者是破坏铁路相关设施,再或者是外部的施工项目在靠近铁路开展作业时,没有妥善落实好防护方面的措施,那么这些情况都有可能催生出突发的风险状况。

## 2.4 安全风险管理工作不足

在铁路行车进程当中,安全风险管理工作之欠缺乃是限制行车安全水准提升的关键问题之一。当下部分铁路单位于日常运营期间,对于风险识别、评估以及控制的关注程度仍旧不足,存在着管理体系不够完善、制度落实不到位、责任分工不清晰等一系列问题,致使风险预防工作缺少系统性与前瞻性。部分基层单位依旧秉持经验主义,缺乏科学的风险预警机制以及动态监控手段,难以及时察觉潜在的安全隐患。与此部分风险信息在不同部门之间传递受阻,使得安全数据无法实现共享,对风险研判的准确性以及管理效率产生了影响<sup>[2]</sup>。而且,安全培训以及应急演练常常只是走过场,没有形成全员参与、全过程覆盖的风险管理氛围,使得在突发事件出现时应对不够及时、处置不够专业,进一步加重了安全隐患的累积情况。

## 3 铁路行车安全管理对策

### 3.1 完善设备技术

在铁路行车安全管理领域当中,完善设备技术无疑构成了提升整体安全水平的一项基础性保障举措。伴随铁路运输朝着高速化、重载化以及智能化的方向不断发展推进,传统的设备在技术性能层面以及安全保障方面已然很难去契合现代铁路运行所提出的那些高标准方面的诸多需求了,所以这就迫切需要借助技术升级以及设备更新这两方面的途径来促使系统的可靠性与稳定性得以切实提高。应当着力加快对于老旧设备的淘汰速度,并且积极开展相关技术改造工作,大力推广并应用像智能信号系统、自动化道岔控制装置、列控系统也就是CTCS,还有视频监控以及远程诊断技术等一系列现代化的装备,进而达成对关键设备运行状态能够做到实时监测以及开展相应的数据分析的目的,从而可以及时察觉到并且发出预警信息,提示那些潜在存在的故障情况。要积极推动设备系统之间实现信息的集成以及联动控制,借助物联网以及大数据平台来构建起针对设备全生命周期的管理体系,以此来让设备运维工作能够呈现出精细化、可视化以及智能化的特点。与此还需进一步强化对设备从生产环节一直到安装环节、再到调试环节乃至检修环节这些各个不同环节当中的质量控制力度,务必要保证每一项技术工序都能够严格按照技术规范以及相关标准切实执行到位。

### 3.2 提升职工素质

提升职工素质属于加强铁路行车安全管理的关键环节,它直接牵涉到各项安全管理制度以及技术措施的落实成效。铁路运输系统颇为庞大且复杂,涵盖调度指挥、机车驾驶、线路维护、信号控制、设备检修等诸多岗位,这



些岗位对于从业人员的专业技能、操作规范还有应急处置能力都提出了非常高的要求。当下,在铁路职工队伍当中依旧存有部分人员业务能力不够强、培训不够系统、责任意识较为薄弱等问题,这使得他们在面临突发状况时很容易出现操作失误或者应对不妥的情况,最终引发安全事故<sup>[3]</sup>。与此要着重于岗位实操能力的培育与考核,强化对一线员工的技术实训以及应急演练,让他们能够熟练地掌握各类设备的操作规程以及突发情况的处理流程。还需加强职业道德教育以及责任意识培养,营造出“人人讲安全、人人保安全”的文化氛围,促使职工切实从思想层面重视行车安全,在行动方面严格遵守各项规章制度,进而全面提升铁路系统的本质安全程度。

### 3.3 优化风险评估

优化风险评估对于提升铁路行车安全管理的科学性以及前瞻性而言,称得上是极为关键的一种手段。它可切实有效地助力管理部门去识别那些潜在的各类隐患,对风险趋势加以预判,进而制定出具有较强针对性的相关防控举措。就实际的铁路运输来讲,其中影响行车安全的因素呈现出多样性以及复杂性的特点,会涉及到设备的运行状态方面、人员的操作行为层面、环境所发生的各种变化情况,还有系统的管理等诸多不同的层面。传统的那种单纯依靠经验来开展风险识别的方法,通常情况下往往存在着会有遗漏或者出现误判等情况发生,所以很难去契合现代铁路运行所呈现出的高速度、高密度以及高智能化这样一系列的要求。所以说,有必要建立起一个是以数据驱动当作核心的多维度并且是覆盖全过程的风险评估体系。通过去引入像大数据分析、人工智能预测模型以及物联网监测平台等这些较为先进的技术手段,针对关键设备的状态、人员的行为模式以及环境的各项参数等相关信息展开实时的采集工作以及综合性的分析操作,以此来进一步提升风险评估所具有的准确性以及时效性方面的表现。与此还得积极推动风险评估从以往的事后分析逐步朝着事前预警的方向去转变,要设立起动态的风险等级分类方面的标准,推行分级管控的方式,着重对那些高风险环节以及关键节点给予重点的监控,从而确保能够在风险还未演变成事故之前便及时地采取相应的干预措施。除此之外,风险评估体系还应当具备持续进行更新以及反馈修正的机制,要把在实际运行过程当中所发现的各种问题及时地纳入到风险数据库当中,以此来进一步完善评估模型在精准性以及适应性方面的相关情况,进而达成铁路行车安全管理从“被动防控”迈向“主动预防”这样一个根本性的转变目标。

### 3.4 强化安全管理

强化安全管理属于确保铁路行车安全稳定运行的关键举措,其重点在于构建起全方位且制度化、常态化的安

全管理体系,以此达成对铁路行车整个过程以及全部要素的有效把控。伴随铁路运输规模持续拓展,运输任务变得愈发繁重,仅仅依靠个别环节所具备的安全保障,已然很难契合系统化风险防控方面的需求了。所以,得从组织管理、制度建设、监督机制以及应急响应等诸多层面来展开综合强化<sup>[4]</sup>。需建立健全涵盖各级管理层级以及岗位职责的安全管理制度体系,清晰界定岗位责任,将操作规程进一步细化,从而保证每一项作业行为都能够做到有章可依、有据可循。要强化安全管理在动态监管以及风险预警方面的实力,借助信息化平台针对列车运行状况、线路状态以及设备情况等关键数据展开实时监控,以此提升安全管理的透明程度以及响应速率。与此还得强化安全检查以及隐患排查制度,定期实施专项治理以及复查行动,切实做到能够提早发现问题、提早进行预防并提早加以处置。除此之外,还应当持续完善应急预案以及演练机制,提高在应对突发事件时的组织协调能力以及快速处置能力,进而提升整体的抗风险水平。

## 4 结语

铁路行车安全管理在保障铁路运输安全运行方面占据着极为关键的地位,其状况直接关系到广大旅客生命财产的安全与否,同时也对社会的和谐稳定有着重要影响。就当下而言,虽说我国铁路安全管理已然收获了颇为显著的成效,然而设备方面存在缺陷、人员操作出现失误、受到环境因素的影响以及风险管理做得不够到位等诸多问题依旧存续,这些问题着实需要引起高度的关注。通过采取完善设备技术、提升职工素质、优化风险评估以及强化安全管理等一系列多方面的举措,是能够切实有效地提升铁路行车安全保障的能力的。在未来的发展进程中,应当坚持将科技创新同管理创新相互结合起来,持续不断地对安全管理体系加以完善,以此推动铁路运输朝着更加安全、更为高效并且更具智能化的方向去发展,进而为构建起安全且稳定的交通运输环境筑牢坚实的根基。

### 【参考文献】

- [1]刘德成.浅谈铁路行车安全管理问题及对策[J].城市建设理论研究(电子版),2023(12):158-160.
- [2]刘磊.浅谈铁路行车安全管理问题及对策[J].内蒙古科技与经济,2016(15):29-31.
- [3]贾俊峰.铁路行车安全管理[J].东方企业文化,2015(3):171.
- [4]贾巍.试论铁路车站行车安全管理[J].科技视界,2019(13):218-219.

作者简介:龚建伟(1987.9—),单位名称:浙江金温铁道开发有限公司,毕业学校和专业:浙江师范大学 交通运输专业。

## 智能化交通系统中汽车运用效率提升的研究

侯瑞娟

郑州科技学院, 河南 郑州 450064

**[摘要]**智能化交通系统融合了物联网大数据以及人工智能技术, 这为提升汽车运用效率带来了新途径, 研究重点是如何对道路资源配置进行优化, 提升车辆调度以及路径选择的智能化程度, 并且借助车路协同达成交通运行的动态调控。在此进程里, 现有技术已经取得了显著成果, 一方面, 能耗有所降低; 另一方面, 出行时间得以缩短, 而且道路的通行能力也获得了提升。综合分析发现, 智能化交通系统作用显著, 它能有效缓解交通拥堵状况, 还能提高出行效率, 同时为城市交通的可持续发展提供有力支撑。

**[关键词]**智能化交通系统; 汽车运用效率; 车路协同; 大数据; 人工智能

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17619

中图分类号: U495

文献标识码: A

### Research on Improving the Efficiency of Automobile Utilization in Intelligent Transportation Systems

HOU Ruijuan

Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou, He'nan, 450064, China

**Abstract:** The intelligent transportation system integrates Internet of Things big data and artificial intelligence technology, which brings new ways to improve the efficiency of vehicle utilization. The research focuses on how to optimize road resource allocation, enhance the intelligence of vehicle scheduling and path selection, and achieve dynamic control of traffic operation through vehicle road coordination. In this process, existing technologies have achieved significant results, on the one hand, energy consumption has been reduced; On the other hand, travel time has been shortened and the road capacity has also been improved. Comprehensive analysis shows that intelligent transportation systems play a significant role in alleviating traffic congestion, improving travel efficiency, and providing strong support for the sustainable development of urban transportation.

**Keywords:** intelligent transportation system; vehicle utilization efficiency; vehicle road collaboration; big data; artificial intelligence

#### 引言

随着城市化进程的不断加快, 交通拥和浪费这两个问题很日渐突出, 既影响人们的出行体验, 又对城市的绿色发展造成影响。传统交通管理方式有很大的局限性主要在于信息获取和响应速度方面很难满足日益增长的出行需求。智能化交通系统的出现, 为提升汽车运用效率带来了全新的思路, 借助大数据分析, 运用人工智能决策实施车路协同控制车辆运行, 实现精准调度, 道路资源得以高效利用, 这一切正渐渐成为现实。这一技术的发展和意义应用意义重大, 它和交通运行紧密相关, 关乎其顺畅与安全; 它对能源消耗以及环境质量有直接影响, 同时为探索高效绿色智能的交通发展路径奠定了坚实基础。

#### 1 智能化交通系统的发展背景与现实意义

智能化交通系统的迅速发展, 是社会经济进步推动的结果, 也是科技进步带来的成效。城市道路拥堵已成为影响经济运行效率和居民生活质量的重要瓶颈, 不仅导致大量时间与燃油的浪费, 也加重了环境污染和交通安全风险。在这样的背景下, 仅仅依靠传统人工管理和静态规则很难应对复杂多变的交通环境了, 此时迫切需要引入更智能更具动态性的手段来实现整体优化。在这一需求下, 智能化交通系统应运而生, 物联网大数据人工智能等前沿技术深

度融合给交通运输领域注入新活力。

智能化交通系统的发展, 不只是技术快速发展带来的结果, 更是社会发展提出来的现实要求, 因为社会发展需要高效出行, 更需要绿色交通。全球经济的发展使得能源愈发紧张, 环境压力日益严峻。交通运输作为能源消耗与碳排放的重要源头之一, 急需探寻可持续发展模式。利用大数据和数智技能, 借助智能算法对路径规划予以优化, 能够有效削减车辆在路网里的无效行驶, 燃料消耗和尾气排放都能得以降低, 车路协同与动态调度以及道路通行效率可显著提升, 长期困扰城市的交通拥堵问题得以缓解。这些变化, 对于提升出行体验、保障交通安全、降低交通事故的发生率、实现节能减排推动低碳城市建设等方面发挥着重要作用。

宏观上看, 智能化交通系统不仅提高汽车的使用效率、改善当下的交通状况, 跟重要的是能推动城市治理和社会发展发生深层次的变革。它把交通运输和信息技术紧紧融合在一起, 构建出一个新的高效智能且互联的运行体系。这种跨界融合模式给了智慧城市建设坚实的支撑。政府可借助数据共享以及协同管理, 制定出更精准的交通政策, 企业安排更科学的运输与物流方案, 居民出行能享受到更便捷、高效的服务。在智能化交通系统发展的前提下已形成了多方共赢的格局, 这一格局为未来城市交通持续优化



与创新发 展 绘 出 了 清 晰 蓝 图。

## 2 大数据与人工智能在汽车运用效率提升中的应用

大数据和人工智能深度融合,可给汽车运用效率的提升提供特坚实的技术支撑,各类传感器、摄像头及车载终端被广泛应用。在这一背景下交通系统可实时采集海量数据,涵盖车辆运行状态、道路拥堵状况、天气环境情况及驾驶行为等方面的信息。用大数据处理技术,将采集的数据高效处理分析,结合历史出行数据及实时路况,给交通管理部门及运行车辆提供精准的决策依据。这样的操作系统可以预测未来一段时间内交通流量的变化情况,进而给车辆提供合理出行建议,避免不必要的拥堵。与传统交通管理方式相比,大数据驱动的交通管理更科学、更高效,提升了车辆运行的合理性和道路资源的利用率。

在智能调度领域,人工智能技术能让车辆安排更合理。首先在路径优化方面,系统可应用深度学习和智能算法后,依据道路的实时状况给车辆提供最优路径,这可以减少车辆绕行和停滞的时间,让出行安排变得更高效率。其次,人工智能可动态管理车队运行。系统根据技术分析,综合考量运输任务、车辆状态以及道路状况,以此达成车辆资源的合理配置。如此既能降低运营成本,还能提高整体效能。再次,人工智能在自动驾驶发展进程里作用重大,它可借助环境感知、智能决策及自主控制等功能让车辆在复杂交通场景中自主运行,从而优化了单车运行效率,为整个交通体系高效运转提供重要支持。人工智能可和边缘计算 5G 通信的深度融合可降低车路信息交互的时延,显著增强系统的实时响应能力,为未来交通模式朝着智能化方向升级创造了条件。

大数据和人工智能的融合,还给交通系统的安全性与可持续性提供保障。系统借助实时数据分析和人工智能预测模型,在提前察觉潜在风险点的同时发出预警,从而降低事故发生的概率。系统还可以监测能耗和排放数据并对这些数据加以优化,借此达成绿色低碳出行的目标。不仅如此,大数据的发展也推动交通服务朝着个性化方向发展。它能依据用户需求给用户 提供定制化的出行方案以提升出行体验,这种模式以数据驱动与智能决策作为核心。在它的作用下交通系统拥有了自适应和动态优化的能力。从宏观层面来看交通系统还能推动城市交通治理朝着科学化、精细化方向发展。总之,大数据和人工智能的应用正成为提升汽车运用效率的关键动力,为建设高效绿色智能的未来交通体系打下了坚实基础,在智慧城市和智能交通不断发展的进程里将发挥愈发重要的战略作用。

## 3 车路协同与动态调控对交通运行的优化作用

智能化交通系统中,车路协同和动态调控是核心,依靠信息共享以及实时交互来达成车辆与道路环境的高效协同。传统交通管理常依赖静态信号灯与固定规则,很难及时对复杂多变的路况做出响应。而车路协同借助车载终端路测单元以及云平台之间的互联互通,使车辆实时获取各类信息,如道路拥堵情况、信号灯状态及交通事故相关

情况等。这种信息传递速度快,能帮助驾驶者做出更合理的驾驶决策,交通管理部门也能借此动态掌握整体运行情况,进一步对道路资源做出更科学的配置。例如在高峰时段,系统可以按照车流量自动调整信号灯配时,可以对不同路段的通行效率予以协调,避免车辆长时间等待降低道路资源浪费。如此一来交通运行的整体效率就会大幅提升,车路协同借助大数据支持的预测分析功能,能提前预判可能出现的交通瓶颈,给预防性管理提供依据。

智能化交通系统动态调控优势明显,在缓解拥堵、保障道路安全有着重要作用。在动态调控机制作用下,交通管理部门可把实时数据与预测模型相结合,以此对突发状况作出快速响应。比如出现交通事故或者道路施工的情况系统会怎么做?系统能够迅速对周边道路的信号灯策略做出调整,给车辆提供最佳的绕行路线。这种灵活调度可避免大范围交通瘫痪,减少车辆长时间滞留所带来的能耗与排放,同时借助智能预警系统,驾驶者可以提前了解潜在风险并及时采取措施,使车辆和周围环境紧密相连,有效降低交通事故率。这种模式下动态调控成了保障交通顺畅使其安全运行的关键,与此相关的 V2X(车联网通信)技术正慢慢成熟。

长远来看,车路协同、动态调控意义重大,它们不仅是提升交通运行效率的技术手段,更是推动智慧交通建设的关键,对智慧城市建设起着重要支撑作用。系统通过不断积累运行数据,对其加以分析,能够持续优化控制策略,促使交通系统实现从被动调控变为主动预测的转变。这使得交通系统拥有了更强的自适应性与前瞻性,给自动驾驶的发展营造了有利环境。未来人工智能算法将会升级 5G, 6G 通信将会普及,智能基础设施也会完善,在此基础上车路协同和动态调控作用非凡,它们在缓解交通拥堵、降低能源消耗、改善环境质量、推动城市可持续发展等方面发挥的作用会更加深远。它们是智能化交通系统不可或缺的部分,引领着未来城市交通朝着智慧化绿色化以及高效化方向发展。

## 4 汽车运用效率提升的关键路径与实现机制

汽车运用效率的提升离不开路径选择,而路径选择需要科学合理并需要有系统化的实现机制。从宏观层面讲,关键路径主要落实在几个方面:对道路资源进行优化配置,智能处理交通信息,动态管理车辆运行。在这几个因素中,合理利用道路资源是提升效率的根基。系统借助智能交通基础设施建设,达到对路网运行状态的全方位感知,在此基础上可及时察觉瓶颈路段并实施疏导,搭配高效的交通信号控制系统,可依照不间断以及交通流特征动态调整控制策略,既能缓解拥堵状况,还可让车辆等待时间减少,信息实时采集、高效处理,给决策有效支持。大数据平台可整合车辆道路环境等多方面数据,这些多维数据被整合后能形成完整的交通运行图景,为后续优化提供精准依据。伴随物联网以及 5G 技术发展,这种数据采集与处理的速度会进一步加快,精度也会进一步提升,可以给交通系统提供更具前瞻性的调控能力。

在具体实现机制上,人工智能调度系统占据核心地位。

借助路径优化算法,车辆在出行前就能获取最佳行驶路线,而且在运行过程中车辆同样可得到最佳路线。因此车辆既可避开无效绕行,也能避免重复拥堵。智能调度系统可科学安排城市公共交通和物流车队,综合考量车辆数量、任务分布以及道路状况等因素来实现资源的高效分配。拿城市物流来说,智能调度能将运输时间合理规划,让运输路线更科学,以此降低了空驶率和重复运输,最终实现运输成本的大幅下降,显著提升运输效率。人工智能调度系统具备基于车路协同的动态调控机制,凭借这一机制,面对突发情况时系统能迅速做出调整,即便处于复杂环境的车辆也能保持高效运行,这种灵活性和适应性为汽车运用效率的持续优化筑牢根基。与此同时,人工智能可用于预测交通趋势与风险,这一应用给系统预留了提前干预的空间,效率提升不仅体现在即时调控上,也能让效率通过主动防范与长远布局得以提升。

从长远角度看,要提升汽车运用效率,需要建立多层次的综合机制来形成技术、制度以及社会协同发展的良好局面。一方面要推动智能交通和新能源技术深度融合,另一方面,相关政策与法规亟待完善,要积极鼓励智能交通技术的应用推动其推广。具体要怎么做?首先,推广电动汽车以及混合动力车辆达到节能和高效兼顾的目标;其次,借助标准化建设达成不同系统之间的互联互通;再者,在社会层面,公众出行习惯的改变至关重要,智能出行平台能引导居民挑选更高效更绿色的出行方式,形成绿色交通的良性循环。借助共享出行方式推行定制化公交策略并建立绿色出行激励机制,可以使私家车的过度使用情况逐步得到缓解,整体交通系统的效率也会有所提升。技术创新、政策支持、社会参与共同发力,汽车运用效率的提升不再只聚焦于单一环节,借助系统化的路径与机制,汽车运用效率得以全面优化。这为建设智慧交通构建可持续发展的城市交通体系打下坚实根基,最终推动城市朝着更智能更绿色更高效的方向迈进。

### 5 智能化交通系统对城市交通可持续发展的推动价值

智能化交通系统对城市交通可持续发展有着深远的推动价值,它的核心价值就体现在提高出行效率、降低资源消耗、改善环境质量这些方面。城市人口规模持续扩大,多维交通需求急剧攀升,传统交通方式引发的诸多问题如拥堵、能源被大量浪费频现、污染问题愈发严重等日趋严重,这些问题已然成为制约城市健康发展的瓶颈。智能化交通系统借助多种手段达成目标,运用大数据分析、人工智能调度还有车路协同等方式,实现了道路资源的科学运用,达到车辆运行的高效管理。最终使道路通行能力大幅提高,车辆运用效率也显著提升,从而缓解了城市长久以来的交通拥堵难题,给居民带来更顺畅、更便捷的出行感受。城市交通也因此朝着高效、智慧的方向发展。

从环境保护角度出发,智能化交通系统意义重大,它能降低能源消耗,还可减少污染排放,借助路径优化以及

实时调度,车辆减少空驶情况,不再长时间怠速运行。燃油消耗明显降低,尾气排放也显著减少,与此智能交通基础设施跟新能源车辆相互融合,让绿色出行得以实现,低碳交通也慢慢成为现实。有智能交通平台的支持,电动汽车能得到更合理的充电安排和行驶安排,电动汽车的续航里程得以延长,能源浪费也能减少。这种绿色交通模式既能改善城市的空气质量,也有助于达成“双碳”目标,为城市的可持续发展提供了坚实有力的支撑。由此能够看出,智能化交通系统不仅是缓解出行压力的技术手段,还是推动生态文明建设以及绿色城市发展的关键所在。

从更广泛的社会发展角度看,智能化交通系统给智慧城市建设提供了关键动力,其借助信息共享以及多方协同的方式,推动交通治理模式从传统的经验管理迈向科学化精细化管理。如此一来城市拥有更强的自适应性及韧性。在此基础之上,智能化交通也带动了新兴产业发展,车联网智能出行服务和交通大数据产业等都在其带动下发展起来,这又进一步推动了经济与社会协调发展。借此智能交通起到的引导作用,公共交通优先促使绿色出行理念得以普及,引导居民逐渐养成节能又环保的出行习惯。整体而言,智能化交通系统作用重大,它优化了城市交通的运行机制,并且在推动城市朝着高质量低碳化以及智慧化方向迈进上,智能化交通系统发挥着关键效能,是实现交通可持续发展的重要支撑。

### 6 结语

智能化交通系统是交通领域重要的创新成果,它能提升汽车运用效率、缓解城市拥堵、降低能源消耗,有助于改善环境质量。大数据、人工智能、车路协同深度融合,交通运行逐步实现动态调控,达到高效管理,这不仅让道路资源配置得到优化,还推动出行方式往绿色方向转型。向更广阔的视角看,智能化交通系统对智慧城市建设提供坚实支撑,也为交通可持续发展注入活力。随着技术的不断完善,相关的交通政策也会持续推进。在双重助力下,智能化交通在效率提升、安全保障以及绿色发展等方面注定会发挥更为关键的作用。

#### 【参考文献】

- [1]杨攀,何爱萍.新能源汽车租赁服务质量管理体系探索:基于用户体验与运营效率双提升的视角[J].上海汽车,2025(6):1-3.
  - [2]赵博文.汽车运用效率提升与智能化维修管理系统设计[J].汽车知识,2025,25(5):210-212.
  - [3]赵伟.新能源汽车电机驱动系统效率提升方法研究[J].汽车测试报告,2024(20):47-49.
  - [4]田甜.浅谈智能化道路运输管理的模式[J].中国储运,2024(12):173-174.
  - [5]张立惟.基于智能化系统的交通安全管理与控制技术研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(6):175-177.
- 作者简介:侯瑞娟(1978.9—),单位名称:郑州科技学院,毕业学校:河南农业大学。



# 公路交通工程安全设施的作用及建设研究

吴 多

利越集团有限公司, 浙江 东阳 322100

[摘要]公路交通安全设施在现代交通运输体系里占据着极为关键的位置,其建设状况直接关系到道路交通是否安全、顺畅以及整个交通环境能否得到优化。它能够有效引导并保护道路周边环境,给过往车辆以及行人在道路上创造较为稳定的通行条件,从而把发生事故的风险降至最低。并且,它对于提高道路交通的运行效率以及实现社会经济方面的效益都有着不容忽视的影响。围绕公路交通安全设施的种类及其所具备的功能、规划设计的具体情况以及建设实施的流程等方面来开展相关的研究工作,目的在于深入探讨安全设施在当下公路交通系统当中所发挥的作用以及相应的建设策略,进而为提升公路交通安全的整体水平给予一定的参考意见与启示。

[关键词]公路交通工程;安全设施;作用;设施建设

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17607

中图分类号: U491

文献标识码: A

## Research on the Role and Construction of Safety Facilities in Highway Traffic Engineering

WU Duo

Liyue Group Co., Ltd., Dongyang, Zhejiang, 322100, China

**Abstract:** Highway traffic safety facilities occupy a crucial position in the modern transportation system, and their construction status directly affects whether road traffic is safe, smooth, and whether the entire transportation environment can be optimized. It can effectively guide and protect the surrounding environment of the road, creating relatively stable traffic conditions for passing vehicles and pedestrians on the road, thereby minimizing the risk of accidents. Moreover, it has an undeniable impact on improving the operational efficiency of road traffic and achieving socio-economic benefits. To conduct research on the types and functions of highway traffic safety facilities, the specific planning and design situation, and the construction and implementation process, with the aim of exploring the role of safety facilities in the current highway traffic system and corresponding construction strategies, and providing certain reference opinions and inspirations for improving the overall level of highway traffic safety.

**Keywords:** highway traffic engineering; safety facilities; role; facility construction

### 引言

公路交通安全设施属于公路交通工程的关键部分,它肩负着保障交通安全的职责,而且对于提高道路运行效率、改进交通秩序以及推动经济发展有关键作用。随着公路交通量持续增多且交通环境变得越发复杂,安全设施在公路交通体系里的地位更加凸显出来。安全设施的科学规划、合理布局以及高质量建设,是达成道路交通安全管理现代化的重要途径。本文通过对公路交通安全设施的类型、功能、规划设计以及建设策略展开分析,并且与技术创新以及智能化发展趋势相结合,全面探讨其在公路交通工程中的作用以及优化路径,给道路安全管理给予理论依据与实践参考。

### 1 交通安全设施的重要作用

公路安全设施建设是公路交通工程的重要组成部分。如果没有足够的安全保护作为公路交通的保障,公路交通的发展将受到严重阻碍。安全设施也为公路建设和交通运输带来了良好的经济效益。公路施工中的工程安全设备主要包括三个方面:具有一定强度的隔离设备、坚硬的侧栏杆和易于识别的交通标志。如果我们重视这些环节,公路

工程的安全设施建设就会进行得更加顺利。安全设备的改进可以帮助车辆在行驶过程中在道路上保持稳定有序的状态,还可以提前告知驾驶员前方的特殊路况,从而最大限度地提高行驶安全性。完善的公路交通安全设施,可降低交通事故发生几率,提高驾驶员行车信心。经系统化建设管理,公路交通环境会更安全、顺畅,给社会经济发展带来稳定交通保障。

### 2 公路交通安全设施的类型与功能

#### 2.1 道路标志与标线

道路标志以及标线属于公路交通安全设施当中极为重要的一部分,其实是用来引导、规范还有警示驾驶员以及行人的一种基础性的手段。道路标志凭借明确指出道路通行的相关规则、指示出车辆行驶的方向并且还能够提醒人们注意潜在存在的危险,进而给驾驶员给予那种直观且能够识别出来的交通方面的信息,切实有效地将因信息有所欠缺而致使发生的事故风险给降下来。标线则是依靠视觉引导来达成让车辆能够在车道之内实现规范行驶的目的,特别是在那些复杂的路段、交叉口以及施工区域等地方,要是能够合理地去设置标线,那么便能够让交通流维

持稳定的状态,同时也能促使通行效率得以提高。随着交通流量以及道路结构朝着多样化的方向不断发展,标志标线的设计标准也在不断地进行着优化,其中反光材质、夜间可视性还有耐久性已然成为了关键的指标,唯有如此才能够确保在各种各样的环境条件之下都能够持续且有效地发挥出交通引导的作用。道路标志与标线若能够做到科学合理的布局,那么一方面有助于对交通安全加以保障,另一方面也能够某种程度上对道路容量以及车辆通行效率予以优化,进而促使整体的道路运营效益得到提升。

## 2.2 防护栏与隔离设施

护栏以及隔离设施,主要是在道路边缘还有车道之间起到物理隔离的作用。它最为关键的作用在于防止车辆出现冲出道路、跨越车道或者进入危险区域等情况,进而减少交通事故所呈现出的严重程度。这类设施涵盖了中央隔离护栏、边缘护栏,还有像桥梁、隧道这类特殊路段的防撞设施等。那种强度高且能耐冲击的防护栏,在车辆出现偏离或者失去控制的时候,能够给予可靠的支撑,让车辆维持在道路可控制的范围之内,以此来最大程度地降低事故所造成的损伤。与此隔离设施对于行人、非机动车以及机动车的分流管理工作有着极为重要的作用,可以避免不同交通参与者彼此之间产生冲突。伴随新材料以及新工艺不断向前发展,现代的防护栏和隔离设施在强度、耐久性以及安装便捷性这些方面都实现了较为明显的提升,并且其与道路景观的协调性也已然成为设计时需要重点考量的一个重要因素,为公路交通环境的安全性以及舒适性给予了有力的保障。

## 2.3 辅助安全设施(减速带、警示设施等)

辅助安全设施涵盖减速带、警示牌、反光柱、凸起路标等多种类型,其主要作用是提醒驾驶员注意前方道路状况、限制车辆行驶速度以及强化道路危险区域的警示效果。减速带借助物理手段强制车辆减速,以此减少事故发生的几率,在学校、居民区以及施工区域等路段有着十分重要的作用。警示设施凭借高可视性的设计来提醒驾驶员潜在的道路危险,像急弯、交叉口、桥梁等地方,能够让驾驶员提前采取相应的安全措施。这类设施尽管属于辅助性措施,然而在日常交通管理当中发挥着无可替代的作用,可借助视觉和物理信号有效调控车辆行驶行为。合理规划且高质量施工的辅助设施,不但能提升道路的安全性能,而且在事故发生的时候还能起到缓冲以及预防的作用,确保道路使用者的生命财产安全。

## 2.4 智能化与信息化安全设施

随着交通管理技术不断发展,智能化与信息化安全设施逐步变成现代公路交通系统的关键部分。智能交通信号、动态标志、车辆感应装置还有信息发布系统,可实时收集并反馈交通流量、路况以及事故信息,给驾驶员给予精确且及时的交通提示。借助和交通管理中心的数据对接,智

能化设施既能达成交通流的优化调控,又可在突发事件出现时迅速启动应急响应机制,降低事故蔓延及交通拥堵产生的影响。信息化设施的数据采集与分析功能,为道路交通安全研究带来了可靠的基础数据,让公路安全设施的规划与建设更为科学、精准,为公路交通管理的智能化、精细化给予了技术方面的有力支撑。

# 3 安全设施规划设计与建设实施

## 3.1 规划设计原则与方法

公路交通安全设施在规划与设计方面,应当遵循科学性、系统性以及可操作性等原则。于规划阶段而言,得综合考量诸多因素,像道路功能等级、交通量情况、车速状况、地形具体条件以及交通事故易发的风险点等等,依据这些来确定安全设施的种类、具体布局以及相应技术标准。其设计方法着重围绕安全需求这一核心展开,借助风险评估手段、针对交通行为加以分析以及开展道路环境方面的调查等工作,进而制定出契合实际路况的安全设施布置方案。规划设计工作不但要达成基本的安全保障要求,而且还要兼顾经济性方面的考量以及可持续性的发展需求,以此促使设施效益得以最大化呈现。凭借系统化的设计方法,可确保安全设施在投入实际使用之后能有效发挥自身功能,并且还能后续的维护工作以及升级事宜带来便利条件。

## 3.2 设计阶段的重点与控制

设计阶段对于确保安全设施的建设质量以及功能得以实现而言,属于极为关键的环节。在这一阶段,需要着重予以把控的内容涵盖了设施的选型情况、结构所具备的强度状况、材料自身具有的性能表现以及安装方式是否合理等方面。就道路标志标线来讲,其设计务必要契合视觉识别方面的相关标准以及夜间可视方面的相应标准;防护栏还有隔离设施,则必须能够满足冲击强度方面的要求以及耐久性方面的相关要求;而辅助设施应当依据具体路段所呈现出的特征来展开科学合理的布局安排。借助严格开展的设计审核工作以及细致的技术评估流程,是能够对潜在的安全风险起到预防作用的,进而促使设施的适应性得以提升,可靠性也获得增强。与此在设计阶段还需要充分考量未来道路流量可能出现的变化情况、车辆类型方面存在的差异情况以及智能交通领域的发展走向等情况,以此为基础来为安全设施能够实现长期且有效的运行打下相应的基础。

## 3.3 施工阶段的技术与管理措施

施工阶段在安全设施能否达成设计效果方面起着极为重要的作用。在施工进程里,务必要依照设计图纸以及技术规范来严格操作,要确保设施的尺寸、位置还有功能都契合设计方面的相关要求。并且,得充分考量施工环境以及现场条件所呈现出的复杂状况,去合理地安排施工的顺序以及工期,以此来保障每一项工序都能够符合设计标准。施工管理所涵盖的内容包含了材料验收、施工工艺控



制、现场质量检测以及施工安全管理等诸多方面,尤其需要对材料性能、耐久性以及施工精度加以严格的把控,从而确保设施在完成安装之后可以稳定且可靠地发挥出其应有的功能。对于像防护栏、隔离栅以及标志标线这类关键设施,应当制定专门的施工方案,同时还要开展现场的监督以及质量评估工作,依据不同路段在施工过程中所存在的难点,给予相应的技术指导并实施安全监测,进而保障施工进度以及结构的完整性。施工阶段展开科学合理的管理,这不但会影响到设施的使用年限,而且还会直接牵涉到道路交通安全实际所能取得的效果,同时还对于保障道路运营在长时间内的安全状况、提升行车时的舒适程度以及降低维护成本等方面都有着颇为重要的作用。

### 3.4 设施维护与功能保障

安全设施在正式投入使用之后,应当着手建立起一套定期开展检查工作、精心做好维护事宜以及适时进行更新操作的机制,唯有如此,才能够让其长期保持着有效的状态。就道路标志标线而言,务必要保证其清晰醒目,让人能够轻易看见;而防护栏以及隔离设施,则需要定期去对其强度状况以及固定的状态展开细致检查;至于辅助设施还有智能化设备,得要切实确保它们能够正常运转起来,并且一旦出现损坏部件,要及时予以修复。维护管理这可不只是单纯地对物理设施给予保养那么简单,而是还应当结合运用信息化的相关手段来实施监测举措,从而能够实时且动态地知晓设施的实际状态以及运行所达成的效果如何。只有构建起完善的维护管理体系,才能够使得设施的使用寿命得以延长,其安全性能也能够得到切实保障,并且还能交通管理部门提供相应的数据方面的有力支持,进而促使安全设施可以实现可持续的运营状态。

## 4 安全设施建设的优化策略与发展趋势

### 4.1 技术创新与设施性能提升

随着新材料、新工艺以及新技术不断得到应用,公路交通安全设施在性能以及耐久性层面实现了持续提升。高强度复合材料、能够回收的环保材料还有智能传感器的应用情况,使得防护栏、隔离设施以及标志标线在承载能力、抗冲击性以及使用寿命等方面均获得了较为显著的提高<sup>[1]</sup>。与此施工技术经过改进并且实施精细化管理之后,设施安装变得更加精准,进而能够充分保障其功能得以正常发挥。技术创新一方面提升了设施的安全性能,另一方面也对施工效率进行了优化,并且在成本控制方面同样起到了积极作用,给现代公路交通安全设施的建设赋予了持续向前发展的动力。

### 4.2 智能化应用与信息化管理

随着智能化以及信息化不断发展,公路交通安全设施

已经从原先的被动防护状态逐渐朝着主动管理模式转变。像智能交通信号这类设施,还有车流监测系统、可变信息标志以及远程控制管理平台等,它们能够实时对道路信息加以采集,并且可以及时将所采集到的信息反馈给驾驶员以及管理部门,如此一来便使得道路安全管控的水平得以提升<sup>[2]</sup>。而信息化管理借助数据分析以及预测模型,能够达成交通流优化、事故预警以及应急响应等方面的效果,进一步增强了安全设施在动态交通环境当中所具备的适应能力。智能化的应用一方面提升了设施所具有的功能以及工作效率,另一方面也为未来智慧公路以及智能交通系统的建设给予了相应的技术支撑。

### 4.3 可持续建设与环境适应性

现代公路交通安全设施的建设愈发注重可持续性以及环境适应性,在材料选取、施工工艺以及维护管理方面,着重于节能、环保以及资源高效利用。设施设计要能适应不同气候、地形以及道路条件,确保在长期运行当中具备安全性与稳定性<sup>[3]</sup>。并且,可持续建设理念要求安全设施拥有灵活调整与升级的能力,以便应对交通量增长、道路结构变化以及技术更新所带来的新需求。借助可持续建设策略,安全设施既能保障交通安全,又能达成与环境、社会发展相协调的长期效益。

## 5 结语

公路交通工程安全设施在保障道路交通安全、优化交通秩序以及提升通行效率等方面有着不容忽视的作用。借助科学的规划设计方式、严格的施工管理举措以及持续不断的维护与优化工作,安全设施可充分释放其功能,降低事故发生的风险,提高道路运行的效率,进而为社会经济的发展给予可靠的支撑。随着技术创新、智能化应用以及可持续建设理念的持续推进,公路交通安全设施的建设与管理工作的会变得更加科学、智能且高效,从而为现代交通体系的发展筑牢坚实的保障。在未来,需要持续对设施性能的提升、智能化管理以及环境适应性的优化加以关注,以此达成道路交通安全与通行效率的双重提升目标。

### 【参考文献】

- [1]刘军.公路交通工程安全设施的作用及建设研究[J].运输经理世界,2025(12):133-135.
- [2]邵亚萍.论公路交通工程安全设施的作用及建设[J].中国储运,2023(8):61-62.
- [3]王泽胜.公路交通工程安全防护设施的作用与质量控制分析[J].中外公路,2021,41(2):245-248.

作者简介:吴多(1989.2—),单位名称:利越集团有限公司,毕业学校和专业:北京航空航天大学,土木工程。

## 基于 BIM 技术的公路工程施工进度管理优化研究

邱志华

西藏技师学院, 西藏 拉萨 851400

**[摘要]**公路工程属于基础设施建设的关键部分,其施工进度管理对项目整体成本以及质量控制有着直接影响。近些年来,随着建筑行业信息化程度的提高,BIM 技术慢慢被运用到工程管理的各项领域当中,在进度管理方面更是凸显出明显的优势。传统公路工程施工进度管理通常依靠二维图纸以及经验判断,这种做法在复杂的工程项目里很容易出现计划不够精准以及协调有难度的情况。所以去探寻基于 BIM 技术的进度管理优化办法有着很重要的实际意义。此项研究目的在于全面分析 BIM 技术在公路工程施工进度管理方面的应用潜力,通过对传统模式存在的缺陷加以总结并且给出相应的策略,从而给工程实践给予可操作的改进方案。

**[关键词]**BIM 技术; 公路工程; 施工进度; 管理优化; 信息协同

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17604

中图分类号: TU72

文献标识码: A

## Research on Optimization of Highway Engineering Construction Schedule Management Based on BIM Technology

QIU Zhihua

Xizang Institute of Technology, Lhasa, Xizang, 851400, China

**Abstract:** Highway engineering is a key part of infrastructure construction, and its construction schedule management has a direct impact on the overall cost and quality control of the project. In recent years, with the improvement of information technology in the construction industry, BIM technology has gradually been applied to various fields of engineering management, and its advantages in progress management have become more prominent. Traditional highway construction progress management usually relies on two-dimensional drawings and empirical judgment, which can easily lead to inaccurate planning and difficult coordination in complex engineering projects. It is of great practical significance to explore the optimization methods of schedule management based on BIM technology. The purpose of this study is to comprehensively analyze the potential application of BIM technology in highway engineering schedule management, summarize the shortcomings of traditional models, and provide corresponding strategies to provide actionable improvement solutions for engineering practice.

**Keywords:** BIM technology; highway engineering; construction progress; management optimization; information collaboration

### 引言

公路工程传统施工管理长期依赖二维图纸与人工经验,存在信息传递滞后、进度跟踪粗放、成本超支及安全事故频发等痛点。随着工程复杂度提升与精细化需求增加,传统模式在应对动态施工环境、多方协同及质量安全管控时面临严峻挑战。BIM 技术通过三维建模与多维数据集成,为项目全生命周期管理提供了数字化工具,但其在公路工程中的深度应用仍缺乏系统性策略。

### 1 BIM 技术与公路工程施工进度管理概述

#### 1.1 BIM 技术的基本原理与发展

BIM 技术也就是建筑信息模型技术,它属于一种借助数字化的方式去呈现建筑物理特性以及功能特性的流程,其关键点在于构建起三维模型,并且把时间、成本等诸多维度的信息予以集成起来。依据中国建筑业协会所给出的官方定义来看,BIM 绝非仅仅只是一种工具那么简单,它实际上是一种贯穿设计、施工乃至运营整个全生命周期的管理方法。这项技术的基本原理就在于运用参数

化建模的相关手段,把工程项目当中的各个不同元素都转变成能够进行计算以及可以被模拟出来的数据对象,进而能够对协同工作起到支持作用,同时也助力于决策方面的优化事宜。BIM 技术从发展进程来讲,经历了从较为简单的三维建模逐步演变为集成化平台应用这样的一个变化过程,在起初的时候,它主要是被应用于建筑设计的这个阶段,而后才慢慢逐步地拓展延伸到了施工以及运维管理等方面。就在中国而言,BIM 技术得以广泛推广是离不开政策方面的有力支持以及行业自身的需求驱动的,就好比发展改革委和住房城乡建设部联手所发布的指导意见当中,就着重强调了 BIM 在提高工程质量以及工作效率这两方面所发挥出来的重要作用。当下,BIM 技术已经在国内多个大型公路项目里得到了实际的应用,其后续的发展前景涉及到与物联网、大数据等一系列技术展开深度融合的情况,从而能够进一步去推动智能建造目标的达成。凭借着这种技术,工程项目的各个参与方便能够做到实时地共享以及更新项目相关的各类信息,如此一来就能



够有效减少出现错误以及返工的现象,进而促使整体的管理效率得以提升。

## 1.2 公路工程施工进度管理的特点与需求

公路工程施工进度管理存在周期偏长、参与方众多以及环境复杂等状况,这些情况促使它对精细化管理以及实时协调有着较高的需求。公路工程一般涵盖路基、路面还有桥梁等诸多子项目,在施工进程里很容易受到地质条件以及天气因素的影响,所以进度管理得具备较强的适应性以及动态调整的能力。并且,公路工程项目常常会有多个参与单位,像设计方、施工方以及监理方,信息传递与协同工作的效率跟进度目标能否实现是直接相关的<sup>[1]</sup>。就实际需求来讲,公路工程进度管理要求计划编制要有可视化以及可模拟的特点,方便去识别潜在冲突并优化资源分配。施工过程中所涉及的监控和反馈机制得及时且准确,这样才能应对突发变化以及风险事件。这些需求在传统管理模式之下是很难全部满足的,然而 BIM 技术凭借其集成化以及可视化特性,能够对进度管理的各个环节给予有效的支撑。举例来讲,基于 BIM 的模型能够模拟施工顺序以及资源流动,助力管理者去预测并解决进度延误的问题,进而提升项目整体的控制水平。

## 2 传统公路工程施工进度管理存在的问题

### 2.1 进度计划编制不精确

传统公路工程施工进度计划编制通常依靠静态的二维图纸以及经验性估算,此种方式很难完整呈现施工过程中所存在的动态变化以及复杂的交互情况,在计划编制环节当中,缺少针对资源分配以及施工顺序展开的详细模拟,致使计划与实际执行情况之间存在着相当大的偏差,比如说在大多数公路项目里,进度计划仅仅是以甘特图或者网络图的形式来呈现,没办法直观地展示出空间关系以及时间冲突,如此一来便加大了施工阶段调整的难度。这种不够精细的编制方式还很容易忽视局部细节,像临时设施布置又或者是材料供应节奏等方面,进而引发进度延误或者资源浪费的情况。依据中国公路网的相关统计显示,超过百分之三十的公路工程项目因为计划不够精确而在中期出现了修改状况,这不但增加了成本,而且还对整体工程效率产生了影响,所以改进进度计划编制方法已然成为提升公路工程管理水平的项紧迫任务。

### 2.2 施工过程监控手段落后

在传统公路工程施工进度管理方面,所采用的监控手段大多依靠人工巡检以及纸质记录这两种方式。而这样的方法,其效率是比较低下的,并且还很容易产生信息滞后的状况。在施工进程当中,进度数据往往是借助定期报表或者现场会议来加以收集的,这就使得它缺乏实时性与准确性,进而致使管理者没办法及时察觉到问题所在,也难以采取有效的纠正举措。比如说,不少项目会依靠监理人员凭借目视检查去评估进度状态,然而这种方法受到主观因素的影响是比较大的,很难做到对偏差原因进行量化以

及分析<sup>[2]</sup>。与此监控数据的整合与共享一般会通过传统的通讯方式来完成,像是电话或者是邮件等,而在信息传递的过程中,是很容易出现丢失或者被误解的情况的。这种较为落后的手段在大型公路工程当中表现得尤为明显,毕竟这类项目的规模是比较大的,参与方也很多,所以监控盲点就相对较多,如此一来便增加了进度失控的风险。中国交通运输协会有一份报告提到,传统监控方式在复杂环境之下的误差率能够达到百分之二十,这也凸显出了引入先进技术来实现动态监控的重要性和必要性。

### 2.3 信息沟通与协同效率低

在传统公路工程施工进度管理方面,存在着信息沟通以及协同效率比较低的问题,而这一问题产生的原因主要是因为参与方彼此间的信息共享机制不够完善,并且数据格式也并不统一。在多数工程项目当中,设计方、施工方还有业主方会采用不一样的软件以及标准来开展信息处理工作,如此一来便使得数据交换变得极为困难,甚至还出现了重复劳动的情况。比如说,设计变更通常都是凭借纸质文件或者零散的电子文档来进行传递的,这样一来就很容易引发版本出现混乱以及沟通产生延迟等状况。这样一种低效率的协同方式不但会让决策所花费的时间变长,而且还加大了错误发生的几率,最终对进度目标的达成产生了影响。除此之外,传统的沟通模式还缺少集中平台给予的支持,参与方相互之间所进行的反馈以及协调往往要依靠临时召开的会议或者是点对点的交流方式,如此便没办法实现对整个流程的透明化管理。依据中国工程管理在线平台所公布的数据来看,在公路工程进度出现延误的原因当中,信息沟通方面的问题所占的比例超过了百分之二十五,由此可见,构建起高效的协同机制在优化进度管理方面是极为关键的一个环节。

### 2.4 风险识别与应对能力不足

传统公路工程施工进度管理在风险识别与应对方面存在欠缺,主要是由于缺少前瞻性的分析以及动态评估工具,风险识别往往依据历史经验或者定性判断,难以量化潜在威胁发生的概率以及影响程度,在施工进程中,天气变化或者材料供应中断等风险事件常常是在发生之后才会被重视起来,而事前预警机制较为薄弱,使得应对措施出现滞后情况<sup>[3]</sup>,这种不足还表现在风险数据的整合上,传统方法很少把进度风险与资源、成本等因素关联起来进行分析,进而限制了综合调控能力的发挥。中国风险管理研究中心的资料说明,公路工程中由于风险识别不及时所造成的进度损失平均在百分之十五,这凸显出需要引入更为智能的工具来提升风险管理的主动性和精确性。

## 3 基于 BIM 的公路工程施工进度管理优化策略

### 3.1 基于 BIM 的进度计划可视化编制

基于 BIM 的进度计划可视化编制是通过把三维模型同时间维度相互结合起来的方式,达成进度计划的动态呈现以及可交互的调整操作,以此来提高编制工作的细致程

度以及实际应用价值。此方法借助 BIM 软件所具备的 4D 模拟功能,把施工的先后顺序、资源的分配情况以及空间的布局安排都整合到同一个平台上,让管理者可以直观地去识别出其中存在的冲突点以及可优化的机会所在。比如说,在公路工程项目的实施过程中,BIM 模型能够对不同阶段的施工场景予以模拟,像路基开挖以及路面铺设的顺序等,这有助于计划人员提前察觉到资源出现重叠或者时间上存在冲突等问题。可视化编制同时还支持对多种方案展开比较,凭借对相关参数加以调整,能够迅速评估出不同计划给进度所带来的影响,进而从中挑选出最为优秀的方案。依据中国 BIM 应用网的相关介绍来看,这种编制方式在多个试点项目当中,使得计划修改的次数减少了百分之二十,进度控制的准确性也得到了较为明显的提升。可视化工具对于非专业人员而言是比较容易理解复杂进度关系的,这进一步强化了团队协作所赖以存在的基础,也为后续施工的执行打下了良好的基础。

### 3.2 施工过程动态模拟与实时监控

施工过程动态模拟以及实时监控属于 BIM 技术于公路工程进度管理方面的核心应用范畴,其借助对传感器数据加以集成并实现模型更新,进而达成对施工进度连续追踪以及预测目的。动态模拟可让管理者在虚拟环境里对不同施工方案予以测试,对其对进度产生的影响展开评估,以此来优化资源分配以及作业流程。举例来讲,凭借 BIM 平台能够模拟大型机械的移动路径以及施工节奏,提前规避出现拥堵或者延误的情况。实时监控则是依靠物联网设备来采集现场数据,像是工程进度图像还有材料库存信息等,并且能与 BIM 模型自动实现同步,进而给出即时报警以及偏差分析。这样的监控方式不但提升了数据的准确性,而且还降低了对人工干预的需求,使得管理者可以快速对变化做出响应。中国智能建造联盟所发布的报告说明,采用 BIM 动态监控的公路项目其平均进度偏差可控制在百分之五以内,这一比例远远低于传统方法所能达到的水平。借助这种策略,施工过程变得更为透明且更加可控,对于降低由不确定性所带来的风险有着积极作用。

### 3.3 多参与方信息协同管理机制

多方信息协同管理机制借助 BIM 技术来构建起统一的数据环境,以此推动设计、施工以及监理等各个方面的高效信息共享与协作。该机制依靠云平台或者协同软件达成项目数据的集中存放以及实时更新,保证所有参与方都能够访问到一致的信息版本。就好比在公路工程当中,BIM 模型可充当信息交换的关键核心,设计变更亦或是进度调整都能够即时推送给相关的各方,如此一来便能够削减沟通延迟以及误解的情况出现。这样的协同机制还能够给予角色权限管理的支持,以此确保数据的安全性以及责任的明确性,并且还提供了讨论区以及反馈工具,方便团队针对进度方面的问题达成一致的看法。依据中国工程

建设标准化协会所给出的指南来看,在典型项目当中,基于 BIM 的协同管理使得决策时间缩短了百分之三十,整体工程效率也得到了颇为明显的提升。除此之外,这种机制还有助于积累项目经验数据,给后续工程提供一定的参考,进而推动行业协同水平不断地得到改进。

### 3.4 进度风险预警与调控措施

进度风险预警以及调控措施方面,凭借 BIM 技术所具备的数据分析能力,能够达成对公路工程施工进度风险的提前识别,并且采取主动应对的方式。把历史数据、实时监控信息还有模型模拟相互结合起来,BIM 平台便能够预测到潜在的风险事件,像是出现资源短缺或者环境发生变化等情况,并且会自动生成预警信号。比如说,该系统能够依据模型分析找出某些施工阶段存在的高风险点,同时还会给出调整计划或者增加缓冲资源的相关建议<sup>[4]</sup>。调控措施涵盖了动态地重新分配资源、对施工顺序予以优化或者启动应急计划等方面,这些措施都是基于 BIM 模拟的结果来展开测试的,以此来保证它们的可行性以及有效性。从中国公路安全管理网站所获取的资料来看,在试点项目当中采用 BIM 风险预警的系统使得进度延误率降低了百分之十,这也充分体现出它在复杂工程里面的实用价值。

## 4 结束语

本研究对传统公路工程施工进度管理存在的不足展开分析,同时给出基于 BIM 技术的优化办法,着重指出了数字化工具对于提高工程效率所具有的重要意义。BIM 技术在实际运用当中,既处理了计划编制、过程监控、信息协同以及风险管理等方面的具体难题,也促使公路工程管理朝着智能化、集成化的趋势不断发展。在未来,伴随技术持续取得进展,BIM 和人工智能、大数据等领域相互融合,将会进一步拓宽其应用范畴,给公路工程带来更多更为完善的优化可能性。

### 【参考文献】

- [1]李奥天,底杰,郭一家,等.地铁过江盾构掘进进度三维智能控制方法研究[J].工程造价管理,2025,36(4):35-41.
- [2]胡泉.公路工程施工项目进度全过程管理探究[J].交通科技与管理,2025,6(15):144-146.
- [3]卢长磊,邓金涛.基于 BIM 技术的施工管理在大型交通枢纽工程中的应用研究[J].建筑施工,2025,47(6):829-832.
- [4]刘平,许馨玉,房禹,等.基于 BIM5D 与改进挣值法的施工成本自动预警研究[J].土木建筑工程信息技术,2025,17(3):63-68.

作者简介:邱志华(1986—),女,湖南涟源人,汉族。2009年6月,毕业于武汉理工大学土木工程专业,毕业后一直从事土木工程建筑方面的教学,对建筑材料、工程力学和结构力学实验比较熟悉。目前主要授课课程:公路概论、建筑施工技术。



## 基于 Pathfinder 的地铁站大客流组织优化

熊 飞<sup>1,3</sup> 王孝东<sup>2\*</sup> 李敬全<sup>3</sup>

1.昆明理工大学公共安全与应急管理学院, 云南 昆明 650093

2.昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093

3.昆明地铁运营有限公司, 云南 昆明 650032

**[摘要]**针对地铁站大客流突发拥堵情况下, 如何在短时间内进行大客流进出站组织和疏导, 以确保乘客的安全、舒适, 是地铁运营亟须解决的问题。利用仿真软件构建地铁站客流仿真模型, 通过数据收集、环境建模、人员参数设定、行为流程建模及仿真运行, 模拟地铁车站运营一个小时内的人员流动情况。分析仿真客流拥堵的原因, 并从空间、设备、管理三个方面提出优化方案。对比优化前后的人员密度、拥堵点分布、进出站效率等指标, 验证优化方案的有效性, 为地铁站发生大客流情况后应急管理提供参考。通过运营辅助设备在非付费区设置回形走行线路可以提高站厅空间利用率, 以减少客流交叉; 增加安检口及启用双向闸机, 客流量得到了明显提升, 每增加一个安检口, 客流量增加了约 23%; 同时, 将大客流出入口进站速度维持在 1 人/s 能较好保证车站内外的客流平衡。

**[关键词]**地铁站; 大客流; Pathfinder 仿真; 优化方案

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17610

中图分类号: U231

文献标识码: A

## Optimization of Large Passenger Flow Organization in Metro Stations Based on Pathfinder

XIONG Fei<sup>1,3</sup>, WANG Xiaodong<sup>2\*</sup>, LI Jingquan<sup>3</sup>

1. School of Public Safety and Emergency Management, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650093, China

2. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650093, China

3. Kunming Metro Operation Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650032, China

**Abstract:** In response to the sudden congestion of large passenger flow in subway stations, how to organize and guide the entry and exit of large passenger flow in a short period of time to ensure the safety and comfort of passengers is an urgent problem that needs to be solved in subway operations. Using simulation software to construct a subway station passenger flow simulation model, through data collection, environmental modeling, personnel parameter setting, behavior process modeling, and simulation operation, simulate the personnel flow situation within one hour of subway station operation. Analyze the reasons for simulated passenger flow congestion and propose optimization solutions from three aspects: space, equipment, and management. Compare the personnel density, congestion point distribution, and entry and exit efficiency indicators before and after optimization to verify the effectiveness of the optimization plan and provide reference for emergency management in the event of a large passenger flow situation at the subway station. Setting up loop routes in non paid areas through operational auxiliary equipment can improve the utilization of station hall space and reduce passenger flow intersections; The addition of security checkpoints and the use of two-way turnstiles have significantly increased passenger flow, with an increase of approximately 23% for each additional security checkpoint; At the same time, maintaining a speed of 1 person/s at the entrance and exit of large passenger trains can ensure a good balance of passenger flow inside and outside the station.

**Keywords:** metro station; large passenger flow; Pathfinder simulation; optimization plan

随着城市化进程的加速, 城市公共交通迅速发展, 各城市地铁线网逐步形成规模, 地铁客运量日益增多<sup>[1]</sup>。地铁运营在早晚高峰时段、节假日以及大型活动举办期间, 人员拥挤、运动速度缓慢、客流交叉干扰严重等情况时有发生<sup>[2-3]</sup>。在地铁站这种有限空间内, 大客流非常容易导致站厅、通道、闸机等节点拥堵, 肢体接触概率激增, 存在踩踏风险, 乘客体验恶化。严重时可能造成运营瘫痪, 地铁公司应急能力下降, 大客流相关投诉量增多, 社交媒体负面评价增长, 损害城市形象, 给乘客

和地铁线路运营都带来极大的安全隐患。因此, 研究地铁站突发大客流的影响因素, 通过优化客流组织, 对突发大客流后提出有效的建议措施, 进而提升运营效率, 改善乘客出行体验, 降低运营风险具有十分重要的意义。

米根锁等<sup>[4]</sup>采用精细化的确定型模型约束允许进站客流量, 鲁棒模型来调节客流需求的波动区间, 降低客流聚集风险。陈一洲等<sup>[5]</sup>在疏散模拟过程中观察得出楼梯口人员易出现拱形集群堵塞现象且最占用疏散时间。潘科<sup>[6]</sup>等对地铁站在发生火灾后人群的疏散情况进行了

分析, 楼梯, 闸机和屏蔽门为疏散过程中的重点位置, 改进闸机口的宽度可以有效提高疏散效率。Li<sup>[7]</sup>等通过疏散仿真模拟, 分析得出楼梯、大门是疏散过程的出口瓶颈。冯茜<sup>[8]</sup>等通过仿真探究突发大客流情况下地铁站楼梯宽度及闸机设施数量对人员疏散效率的影响。刘晓静<sup>[9]</sup>等通过仿真探究突发大客流情况下优化进站流线、调整闸机布局等方案, 改善车站拥堵状况。樊笑笑<sup>[10]</sup>等通过限制部分入口的客流量或引导乘客分批进入, 出口进行设计优化, 以减少站内的拥挤程度。朱涛<sup>[11]</sup>等以武汉市某地铁站为例展开模拟分析, 确定了应急疏散能力薄弱的關鍵位置, 确定增设出口尺寸的最优值。

综上所述, 目前关于地铁站大客流的研究颇为广泛, 但深入探讨地铁站客流人员进出流动情况及站内组织对提高客流效率的研究相对较少。本研究选取昆明地铁某交通枢纽站作为研究对象, 通过调查统计该交通枢纽站人群的数量、年龄、性别等参数, 利用 Pathfinder 软件建立模型, 进行仿真模拟分析, 并从空间、设备、管理三个方面提出优化方案, 为地铁站等公共场所的应急工作提供理论依据和实践指导。

## 1 仿真模型构建及分析

### 1.1 地铁站仿真模型建立

Pathfinder 是一个基于人员进出和运动的模拟软件, 它将强大的仿真引擎与人群移动的灵活控制相结合, 能够模拟出人员逃生时可能出现的各种状况<sup>[12-14]</sup>。为更加真实的模拟地铁大客流人员流动情况, 本研究以昆明地铁 1 号线某地铁站为背景, 通过 Pathfinder 构建的地铁站 3D 模型如图 1 所示。



图 1 Pathfinder 构建的地铁站 3D 模型

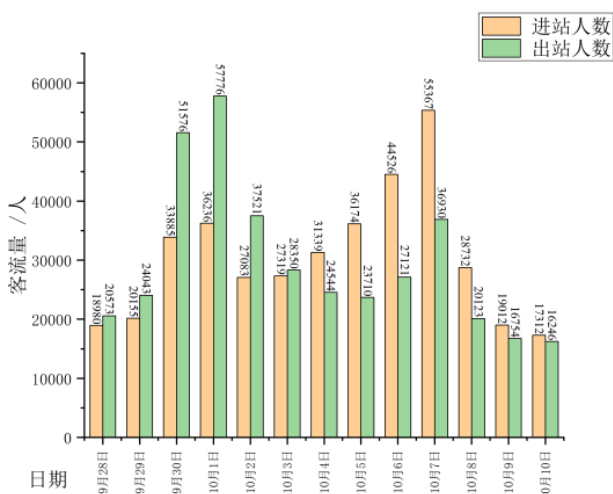


图 2 2024 年国庆节前后该车站客流情况

### 1.2 人员参数设定

该地铁站作为与火车站连接的重要交通枢纽, 引起其站点大客流的主要原因在于节假日 (如五一、国庆) 或旅游旺季 (如暑期) 时, 大量旅客通过铁路抵达后换乘地铁, 及假期期间务工人员、学生往返形成周期性高峰等。图 2 为该站 2024 年国庆节前后自动售检票系统 (AFC) 统计的客流数据, 呈现出显著的“节前离城、节后返城”双向高峰特征。

地铁站内的人员组成和人员流动速度具有一定的规律性, 且受到多种因素的影响<sup>[15]</sup>, 本研究根据现场实际调研情况确定了应急情况下人员特性的具体参数, 如表 1 所示。

表 1 地铁乘客分类参数

| 分类   | 身高范围/cm | 肩宽范围/cm | 速度 m/s  | 构成比/% |
|------|---------|---------|---------|-------|
| 儿童   | 100~145 | 28~35   | 0.6~1.2 | 8%    |
| 少年   | 150~170 | 35~42   | 1.0~1.5 | 12%   |
| 青年男性 | 165~185 | 40~48   | 1.2~1.7 | 25%   |
| 青年女性 | 155~175 | 36~43   | 1.1~1.6 | 22%   |
| 中年男性 | 160~178 | 42~47   | 1.0~1.4 | 15%   |
| 中年女性 | 150~165 | 38~44   | 0.9~1.3 | 12%   |
| 老年人  | 150~170 | 35~43   | 0.5~1.0 | 6%    |

### 1.3 大客流人数及人员路径设定

由自动售检票系统 (AFC) 统计的该车站 2024 年 10 月 7 日每小时客运量情况 (图 3), 可以发现早晨乘客出城较多, 出站量高于进站量。随着时间推移, 12 点以后返城高峰, 乘客大量返岗, 进站量明显高于出站量。

选取图 3 当日 16:00~17:00 进站客运量来计算仿真模型的人数。该地铁站 2024 年国庆收假日 16:00~17:00 进站客运量为 4930 人, 可以计算进站高峰期的每秒到达人数 (即行人生成速率):

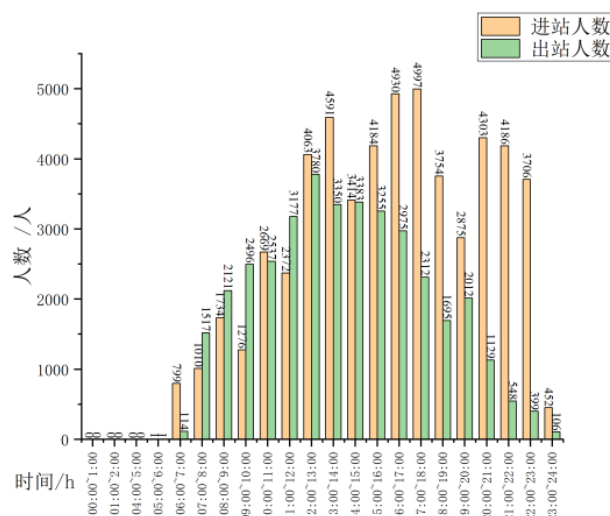


图 3 该车站 2024 年 10 月 7 日 24 小时客流情况



$$\text{每秒进站人数} = \frac{\text{小时进站人数}}{\text{时长}} \approx 1.4 \text{ 人/秒} \quad (1)$$

则进站人员设置:因大部分进站乘客为火车转地铁人员,人员主要集中在A口,设置A口行人生成速率为1.1人/s,B口行人生成速率为0.15人/s,C口行人生成速率为0.15人/s,站厅层非付费区进站人员随机分布100人。

根据图3中该地铁站2024年国庆收假日16:00~17:00出站客运量为2975人,站台双向列车间隔7分钟同时到站,可以计算每辆列车下站人数。从16:00开始,列车到站时间点分别为:16:00、16:07、16:14、16:21、16:28、16:35、16:42、16:49、16:56,共9个到站时间点,双向同时到站(上行和下行各1列),因此总到站列车数为18列,每列车平均下站人数:

$$\text{每列车平均下站人数} = \frac{\text{小时出站人数}}{\text{到站列车数}} \approx 165 \text{ 人/列} \quad (2)$$

则出站人员设置:设置站台双向列车间隔7分钟同时到站,每辆列车每隔7分钟生成165人;站台层出站人员随机分布100人,站厅层付费区出站人员随机分布100人;80%人员选择A口出站,10%人员选择B口出站,10%人员选择C口出站。

## 2 客流仿真运行分析

### 2.1 仿真概况分析

由于Pathfinder软件所导出的仿真结果图以3人/m<sup>2</sup>为人群密度的最大值,以3人/m<sup>2</sup>作为拥堵区域识别的依据,拥堵区域面积越大,说明拥堵程度越大<sup>[11]</sup>。为使仿真结果真实有效,清晰反应地铁运营的客流情况,仿真时长选取1h,对站厅层安检口、闸机处、出口处人群拥堵密度、全过程人员路径等信息进行分析,不同时刻人员密度图如图4所示。

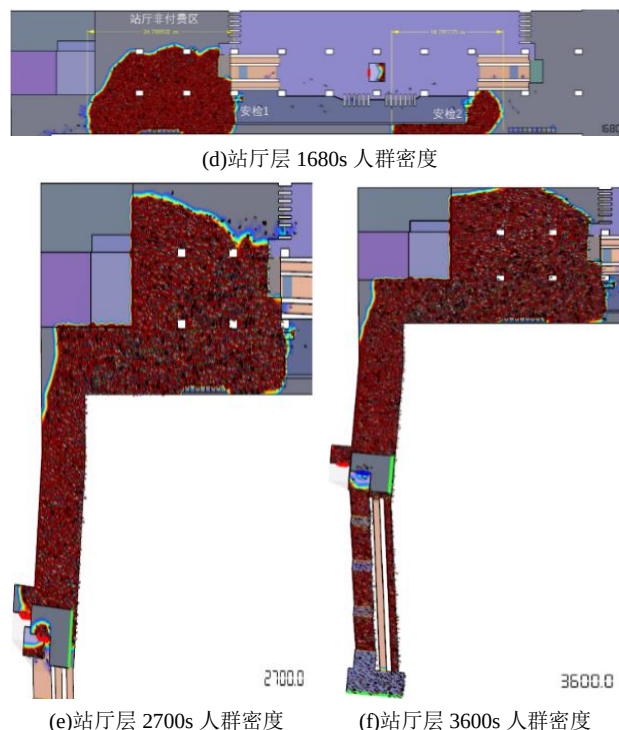
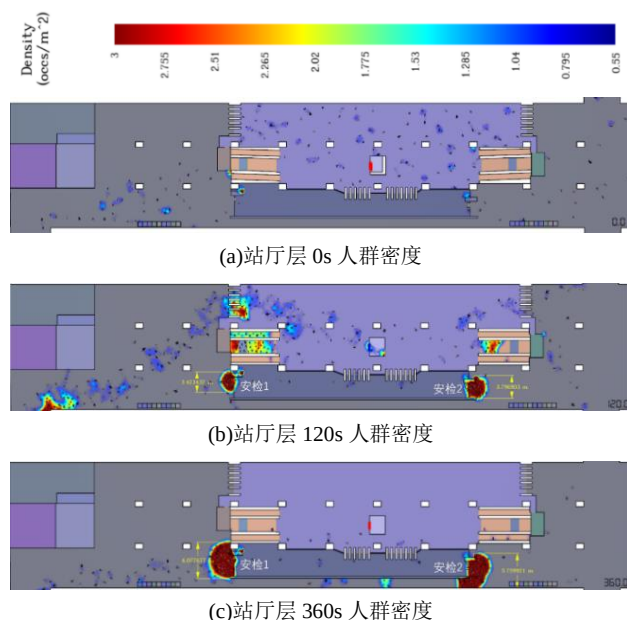


图4 站厅人员密度图

运行开始阶段,软件自动生成的人员分布情况如图4(a)所示。在120s时因为安检口客流排队进站,两端安检口发生了拥挤情况,利用“测量工具”测得两端安检口处拥堵区域近似于直径分别为3.4m、3.8m的半椭圆区域(图4(b));360s时两端安检口拥挤情况进一步发展,达到了6m,连接非付费区两端的联络通道被堵死(图4(c));随着时间推移,通往A出入口的区域人员逐渐拥堵,1680s时通往A出入口的通道被进站人员彻底堵死,出站人员无法出站(图4(d));2700s时拥堵情况已蔓延到站厅A口楼梯口处(图4(e));而到了3600s时,A出入口人员已彻底无法进入(图4(f))。

### 2.2 仿真人数统计分析

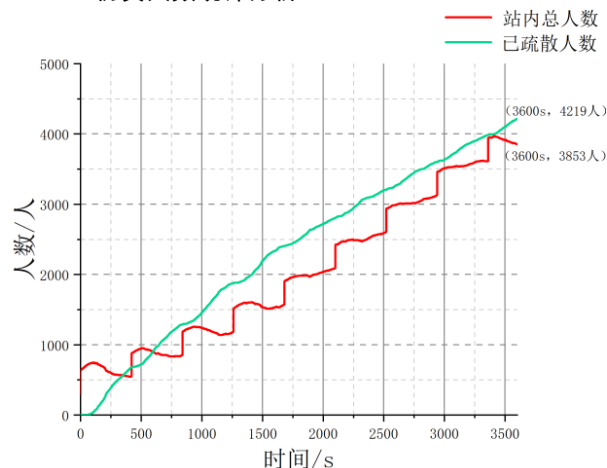


图5 站内总人数及已疏散人数统计

通过统计各时间段站内总人数及已疏散人数(图5),从中可以看到,出站人员随时间疏散至站外,疏散的总人数随时间呈线性增加,在3600s时共疏散了4219人。站内人数则随着各地铁口乘客不断进站而增加,并且列车每隔7分钟到达车站,站内人数隔7min突增330人,到模拟结束3600s时,站内人数已经达到了3853人,站内人员密度已到达最大值,造成了严重拥堵的情况。因此,如何提高大客流人员流动效率,降低拥堵将是后续研究的关键。

### 3 客流组织优化方案及分析

#### 3.1 空间优化

站厅客流组织以减少客流交叉为原则,在车站客流堵点安排人员进行引导,同时通过合理运用运营辅助设备(活动围挡、一米栏、五米栏、伸缩围挡、警戒带)在非付费区设置回形行走线路的方式进行客流管控,同时通过增加乘客进站行走距离,提高站厅空间利用率,延缓乘客进站速度,以减少客流交叉和对流,确保流线畅通。为此,在仿真模型两端非付费区分别利用围栏设置回形行走线路,设置具体情况如图6所示。

(图6(a))可以看到,利用围栏设置回形行走线路后,人员均依次通过回形行走线路进入安检区;900s时(图6(b)),进站人员排队约20m,大大提高了站厅的空间利用率。但随着客流的增加,只是对站内空间进行调整无法最终解决拥堵状况;1320s时(图6(c)),因为排队人员逐渐增加,通往A出入口的区域被进站人员堵死,出站人员无法出站。所以单纯设置回形行走线路不能彻底缓解拥堵情况。

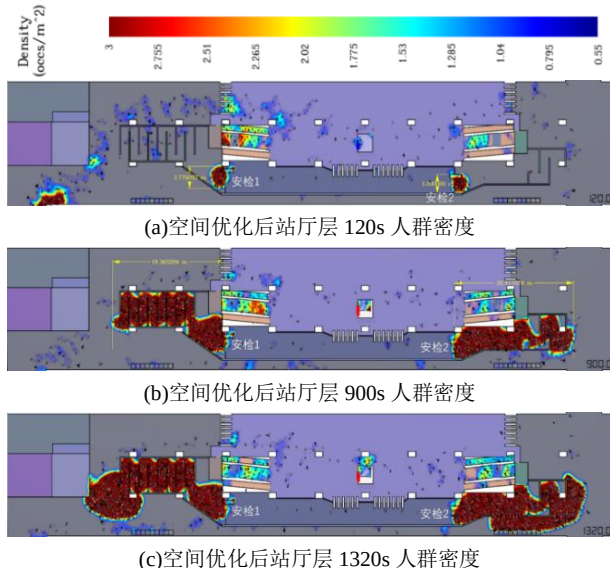


图6 空间优化后人员密度图

#### 3.2 设备优化

在客流高峰期间,安检设备通过率不足经常引发乘客

滞留,难以满足高峰时段的通行需求。模型在设置回形行走线路的前提下,增加安检设备,调整双向闸机的方向来实现客流精细化管控。增加一台安检设备仿真模型设置具体情况如图7所示,乘客选择分别从三个安检口进入来降低拥堵情况。对人员流动情况进行分析,在第900s时,每个安检口排队长度约为8~10m,与图6(b)比较减少了约一半,但在1440s时进站人员排队堵塞了A出入口,导致出站人员流速缓慢。

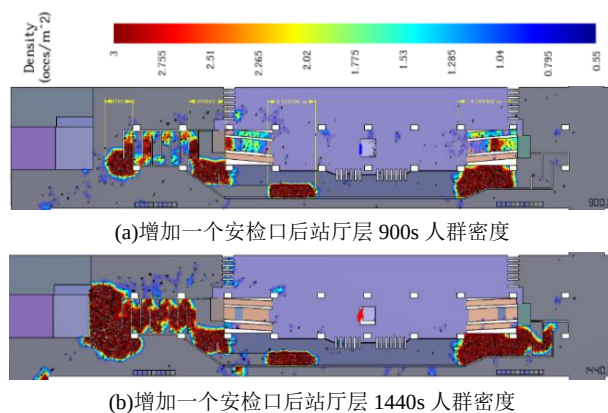


图7 增加一个安检口后人员密度图

为此,模型在另一端站厅空间内再增设一段回形走形线路,并增加一台安检设备,将4号闸机组其中3台双向闸机的方向由出站改为进站,仿真模型设置具体情况如图8所示。可以看到进站人员分别从四个安检口进入,在第900s时,每个安检口排队长度约为5~7m。在模拟结束3600s时,A出入口排队人员较多,阻挡了A出入口出站人员的空间。

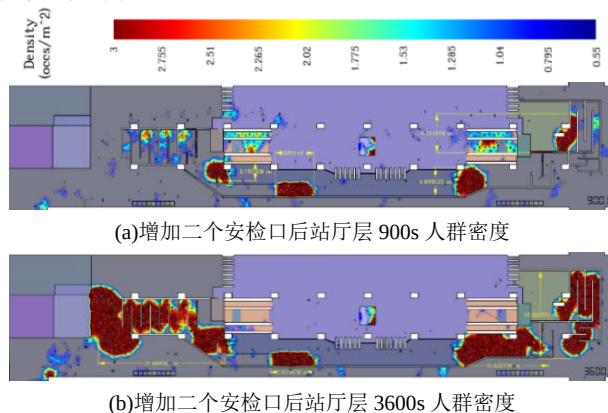


图8 增加两个安检口后人员密度图

#### 3.3 管理优化

车站A出入口连接火车站南广场,为人流量最大的进出站口,大部分进站乘客为火车转地铁人员,客流组织压力较大,应根据现场客流情况,及时采取限流管控措施。模型中分别设置A出入口进站客流为1人/s、0.9人/s。客流设置为1人/s时,3600s时人员分布情况如图



9(a)所示,与客流为 1.1 人/s 比较(图 8(b)),进站人员分布在回形隔离栏内等待进站,没有出现人员在隔离栏外的情况,说明客流得到了进一步控制。而若限制 A 出入口进站客流降低至 0.9 人/s 时,在 3600s 时回形隔离栏内仅有少部分人员,回形隔离栏的作用几乎失效(图 9(b)),所以将大客流出入口进站客流维持在 1 人/s 能保证站内外的客流平衡。

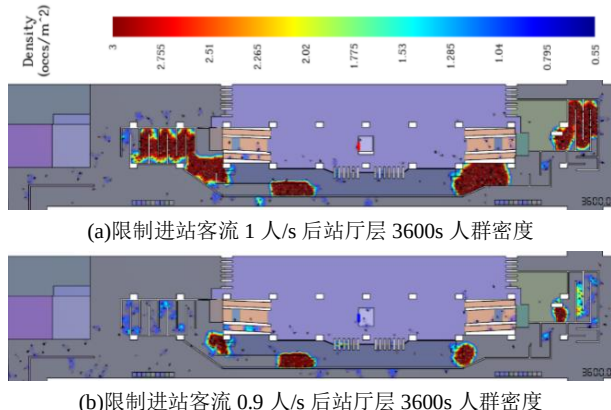


图 9 限制进站客流后人员密度图

### 3.4 优化后仿真对比

由模型计算出的不同情况下进出站人数数据对比(图 10)可见,单纯通过运营辅助设备在非付费区设置回形走行线路的方式客流量未发生明显改变,但可以增加乘客进站的走行距离,提高站厅空间利用率。通过对比不同数量安检口的人数,可以看到随着增设安检口,启用双向闸机进行客流调控,客流量得到了明显提升,每增加一个安检口,客流量增加了约 23%。通过限制出入口乘客的进站速度,可以降低车站站厅的拥堵密度,但同样带来的是乘客将被限制在站外,出入口排队延长,可能导致车站外乘客大量聚集,形成新的安全隐患,所以将大客流出入口进站速度率维持在 1 人/s 能维持站内外客流平衡。

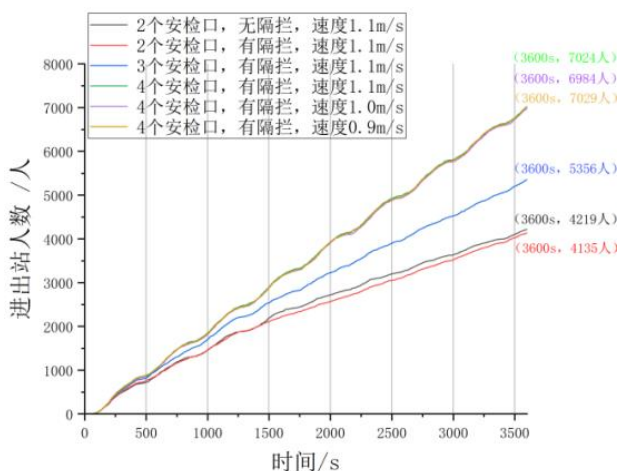


图 10 不同情况下进出站人数对比

## 4 结束语

(1) 本研究基于 Pathfinder 仿真平台,构建了 1:1 精细化地铁站模型,通过实地采集客流密度、年龄结构、性别比例等多维参数,创新性地模拟了节假日期间地铁站双向大客流的动态交互特征,识别出大客流条件下易发拥堵的关键区域,并据此从空间、设备、管理三个方面提出优化策略。

(2) 地铁站厅层通过合理配置运营辅助设备,在非付费区采用回形走行线路优化进站路径,一方面可以显著提升站厅的空间利用率,有效调节了客流速度,另一方面可以科学分离进出站人流,减少交叉对流现象,确保了客流组织有序畅通。

(3) 增加安检口及启用双向闸机,客流量得到了明显提升,每增加一个安检口,客流量增加了约 23%。

(4) 限制大客流出入口人员的进站速度对人员组织具有一定的作用,通过仿真分析,将出入口进站速度控制在 1 人/s 能较好保证车站内外客流平衡。

(5) 不足及展望:文中优化方案效果主要通过仿真分析验证,研究场景具有一定局限性,后续可开展优化方案实地验证,进一步研究多方案组合的协同效应。

### 【参考文献】

- [1]袁江,彭磊.广州地铁运营客流分布特征研究与应用[J].都市快轨交通,2018,31(4):63-68.
- [2]雷强.适应网络化运营的新建城市轨道交通线路运营组织方案设计研究[J].现代城市轨道交通,2024(7):115-118.
- [3]禹丹丹,陈文,韩庆龙,等.北京地铁节假日客流特点和运营组织方法分析[J].现代城市轨道交通,2019(4):58-66.
- [4]陈一洲,陈文涛,张无敌,等.复杂建筑人员密集区域疏散模型[J].中国安全科学学报,2019(5):14-18.
- [5]潘科,修顺延.突发环境下地铁大客流疏散数值模拟[J].大连交通大学学报,2017(4):142-146.
- [6]Li Z Y,Tang M B,Liang D,et al.Numerical simulation of evacuation in a subway station[J].Procedia Engineering,2016(135):616-621.
- [7]冯茜,贺亚宁,龙冬花.地铁站突发大客流情况下人员应急疏散仿真研究[J].科技与创新,2025(5):49-51.
- [8]刘晓静,张晨熙.基于 AnyLogic 的地铁车站可预见性大客流组织优化方案[J].黑龙江交通科技,2024(12):167-170.
- [9]樊笑笑,郭勇男,刘桢渝,等.基于 Pathfinder 的多出口地铁站疏散效率优化研究[J].科技创新与应用,2024(36):27-31.
- [10]朱涛,胡建华,陆愈实,等.基于 Pathfinder 的地铁站应急疏散仿真及优化[J].地下空间与工程学报,2023(2):987-996.
- [11]李成龙,李元洲,孙焕,等.不同形状出口处的人员拥挤研究[J].安全与环境学报,2014(1):137-141.

[12]王芳.基于多智能体的地铁火灾和疏散仿真研究[D].北京:北京交通大学,2023.

[13]于洋,常卉,唐杰.基于 Pathfinder 的分离岛车站平面布置客流适应性研究——以西安地铁钟楼站为例[J].绿色建筑与智能建筑,2023(8):85-88.

[14]赵金龙,孙博阳,王善生,等.基于 Pathfinder 的特殊地铁站点人群紧急疏散模拟[J].中国安全生产科学技术,

2020,16(1):146-150.

[15]罗凤霞,王光辉,杜帅楠,等.地铁站人群规律及特征研究——以广州地铁为例[J].铁路计算机应用,2012(5):11-16.

作者简介:熊飞(1993—),男,硕士研究生,研究方向:城市轨道交通工程应急管理;\*通讯作者:王孝东(1977—),男,博士,副教授,研究方向:矿业通风与安全工程、矿山数字化技术等领域。



# 电力光纤通信网络的智能运维体系构建与实践探索

王松瑞 杨 洋 常宛露

国网河南省电力公司郑州供电公司, 河南 郑州 450000

[摘要]电力系统朝着数字化、智能化方向发展,电力光纤通信网络作为基础信息支撑平台,其运行安全与效率直接影响电网智能化水平。传统运维方式存在设备复杂性高、故障定位难、数据响应慢等问题,构建高效、精准的智能运维体系十分紧迫。文中以电力光纤通信网络为中心,探讨智能运维体系的架构设计、关键技术支撑和平台实现路径,提出一种融合大数据分析、AI辅助诊断、远程可视化运维的新型运维模式,经工程实践验证该模式可行且高效,为后续电力通信网运维升级提供参考。

[关键词]电力通信网络; 光纤运维; 智能管理; 远程监控; 故障诊断

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17639

中图分类号: TN929

文献标识码: A

## Construction and Practical Exploration on Intelligent Operation and Maintenance System for Power Fiber Optic Communication Network

WANG Songrui, YANG Yang, CHANG Wanlu

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

**Abstract:** The power system is developing towards digitization and intelligence, and the power fiber optic communication network, as the basic information support platform, directly affects the level of grid intelligence in terms of operational safety and efficiency. The traditional operation and maintenance methods have problems such as high equipment complexity, difficult fault location, and slow data response. It is urgent to build an efficient and accurate intelligent operation and maintenance system. The article focuses on the architecture design, key technical support, and platform implementation path of the intelligent operation and maintenance system, with the power fiber optic communication network as the center. It proposes a new operation and maintenance mode that integrates big data analysis, AI assisted diagnosis, and remote visual operation and maintenance. The feasibility and efficiency of this mode have been verified through engineering practice, providing reference for the subsequent upgrade of power communication network operation and maintenance.

**Keywords:** power communication network; fiber optic operation and maintenance; intelligent management; remote monitoring; fault diagnosis

### 引言

电力光纤通信网络是电网调度、控制与信息传输的核心保障通道,由于系统规模持续扩大,传统靠人工巡检和被动响应的方式难以达到现代电网对安全性、实时性、智能化的高标准要求,构建智能化运维体系是提升运维效率与管理水平的关键,本文从光纤通信网络运维现状入手分析问题,提出基于智能技术构建全流程运维体系的方案以推动通信网运维模式朝着高效、智能、精细化转型。

### 1 智能运维体系架构设计

#### 1.1 整体系统架构构成

电力光纤通信网络智能运维体系的建设得秉持“分层分布、集中管理、协同响应”的设计原则才能适应现代电网智能化运维需求的与日俱增,这一体系整体被划分为感知层、网络层、平台层和应用层四大核心部分,各类智能监测终端主要被部署在感知层,像光功率监测模块、OTDR测试设备、环境感知传感器、智能分光器之类的,它们能实时采集链路运行状态、电压电流参数、节点温湿度信息以及潜在传输异常,光纤通信主干通道被网络层所依托且以5G和工业以太网等多种接入方式作辅助可实现

高速、低时延、高可靠性的数据传输给上层平台稳定的数据通道支撑,数据融合处理模块、AI智能诊断系统、边缘计算节点与故障预测引擎等功能被部署在平台层从而实现数据的深度分析和闭环管理,多终端统一可视化运维界面由应用层提供且支持Web浏览器、移动端App和指挥中心大屏等形式能满足管理层、运维人员与调度端不同角色的需求,统一数据管理中心与安全控制模块被集成在系统架构中构建起数据可追溯、权限可控、运行可预警的全生命周期保障机制。这一架构有着高度的模块化、很强的兼容性以及可扩展性,能够适应多区域、多场景、多业务融合的电力通信运维环境。

#### 1.2 功能模块设置

在功能设计方面,智能运维体系秉持着“统一平台、分布感知、协同处置”的理念构建起一个高效协同且由智能驱动的全流程管理体系。系统有分别承担通信网络运行中关键环节任务的监测告警模块、资源管理模块、故障诊断模块、运维工单模块以及数据分析模块这五大核心功能单元。监测告警模块部署多种传感器与智能监测设备实时采集链路光功率、设备运行状态、环境参数等信息,再结合AI算法进行异

常行为分析从而及时触发多级预警与应急联动。资源管理模块对光缆资源、通信设备、站点节点等进行数字化建模与统一管理构建动态更新的资源台账系统并支持拓扑图展示与设备生命周期管理。故障诊断模块依托数据融合、智能识别与故障推理模型实现快速故障定位与智能处置建议生成。诊断模块和运维工单模块无缝联动自动创建维护任务并实现智能化调度与任务闭环跟踪。数据分析模块基于大数据技术深度挖掘历史运维数据生成趋势图表、故障预测模型和绩效分析报告从而提供决策层科学支撑。这些模块间信息互联且逻辑闭环从而构成一个智能高效可持续的运维生态体系。

### 1.3 数据采集与集成机制

智能运维体系闭环管理的基础环节在于构建高效且稳定的数据采集与集成机制,要全面知晓电力光纤通信网络的运行状况,系统需在各类关键节点部署各类智能传感设备,如光功率检测器、光纤断点探测终端、环境温湿度监测仪、机柜开合状态传感器、电源监测模块等设备以达成链路健康、设备运行、环境安全等多维度信息的实时采集,这些支持 SNMP、MQTT、IEC61850 等统一通信协议的终端设备可接入主平台,保证不同厂商、不同型号设备间良好的兼容性与互操作性,数据传输时采集终端有断点续传、临时缓存、异常补发这些容灾机制使数据在网络波动或者传输中断时仍然完整有效,数据到集成层后系统设有高性能的数据接入网关和预处理引擎,原始数据经去噪、格式校验、结构化转换,还按时间戳、来源、设备类型等维度标识和归档,为后续数据调用和挖掘精准支撑,并且建设统一的数据中台,使采集数据在各运维子系统间共享和联通,打通信息孤岛,为 AI 智能分析模块、故障预警模型和运维可视化平台提供清晰、及时、统一的数据基础,构建稳定、高效、可扩展的数据支撑体系。

## 2 关键技术支撑手段

### 2.1 AI 智能诊断技术

对于电力光纤通信网络的自主运维而言, AI 智能诊断技术是核心,主要靠构建以机器学习和深度学习为基础的智能识别模型,该技术能实时评估光纤链路、通信设备的运行状态并对异常进行预警。采集大量历史运行数据后,系统利用支持向量机(SVM)、卷积神经网络(CNN)等算法训练分类模型,可自动识别常见故障类型如断纤、衰减、信号干扰、模块老化等,结合光纤链路拓扑结构信息和设备状态数据构建图神经网络(GNN)以推理可能的故障节点和传播路径来精准定位,引入像 LSTM 这样的时间序列预测算法后,系统能提前预警异常波动趋势以避免突发故障。AI 技术的引入提升了诊断准确性和响应速度、大幅减少人工干预、降低运维人员的负担,这对推动智能化运维体系从“人管设备”向“设备自诊断”转变很重要。

### 2.2 大数据运维分析技术

海量通信运维数据经大数据运维分析技术挖掘处理后构建多维度分析体系,为故障预判、运维优化提供科学

依据。在多源异构数据融合机制下,系统先将不同设备和系统的数据统一汇聚并转换格式以形成结构化数据池。光功率变化、链路通断记录、维护行为日志、气候环境信息等借助数据仓库与数据湖技术进行存储管理,数据分析层利用聚类分析、异常检测、关联规则挖掘等技术识别运维过程中的关键异常模式和高风险点,将历史故障记录和环境参数关联起来以识别高温或高湿对光模块的影响规律,分析运维行为和故障演化关系来优化巡检策略和任务调度流程。系统还支持动态运维指标看板建设,实时展示光纤利用率、平均修复时间、风险热点区域分布等关键指标,为管理者精细化决策提供支撑。

### 2.3 边缘计算与远程控制

在电力通信网络智能运维里,边缘计算技术起着桥梁般的作用,解决了传统架构里“云端处理压力大、响应时延长、实时性不够”的难题。在通信站房、变电站等关键节点部署边缘计算设备能让本地数据得到初步处理、判断故障、下发指令,从而大大降低通信时延与带宽负荷。边缘节点可独立完成光功率实时监测、异常波动分析、温度突变预警等操作,在预设规则被触发后启动应急措施,如自动切换备份链路、关闭异常端口、发送警报信息。边缘计算平台靠轻量级控制协议和中心平台保持同步,保障数据完整一致。远程控制时构建集中运维控制中心,安全 VPN 通道可使边缘设备、现场仪表和智能终端被远程配置、调试与升级,再结合北向接口标准化设计,让平台兼容各类现有通信设备,实现全网运维一体化管理。

## 3 智能运维平台实现路径

### 3.1 平台搭建关键步骤

实现各类运维功能集成和流程统一的基础工程是搭建智能运维平台,其有五个关键步骤:需求分析、系统设计、平台开发、功能集成与上线部署。需求分析阶段要全面调研电力光纤通信网络现状、运维流程、故障特征、管理制度以明确系统功能需求、性能指标与部署范围,接着在系统设计阶段构建包含用户层、业务层、数据层与设备层的分层架构并明确各模块交互逻辑与技术边界。平台开发阶段采用微服务架构和模块化插件设计理念以便平台具有良好的扩展性和可维护性且能灵活支持后期功能迭代,功能集成阶段需与现有通信网管理系统、资产系统、告警平台及数据采集系统对接才能互通业务信息,完成多环境部署与功能测试后平台即可上线,平台支持“中心+边缘”混合部署形式并引入 DevOps 工具链以保障平台持续集成与高效运维从而全面提升电力通信网络运维数字化水平。

### 3.2 运维流程再造与自动化

智能化平台运行有需求,原有运维流程就得系统性再造和优化形成自动化流程链条,其主线是“主动预警-智能诊断-任务分派-闭环管理”,设备自诊断与 AI 分析模块能让系统自动感知链路异常、生成故障事件,无需再像以前那样人工值守,故障事件经智能工单系统会自动生成对



应任务,按设备类型、故障等级、地理位置等信息智能分派从而使任务流转高效又精准,运维人员用移动终端接收工单可远程诊断或者现场处理且任务完成后系统自动收集数据、更新设备状态,整个流程在平台里全过程记录、可视化监控以便于评估运维质量、积累经验,平台还能自动统计像平均修复时长(MTTR)、故障恢复率、巡检合格率等关键运维指标形成数据驱动的优化闭环,流程再造加上自动化部署使运维效率大大提高、人员工作负担变轻、突发事件响应更及时,进而构建起敏捷高效的通信网络运维体系。

### 3.3 多维安全策略设计

智能化平台运行时,网络安全因运维数据敏感且系统要有高可用性得达到更高标准,要构建多维度、多层次的安全保障体系。在通信安全方面,平台采用端到端数据加密传输机制并结合VPN和SSL双重加密手段,防止信息传输时被截获或篡改。平台访问控制方面构建基于角色的权限管理模型(RBAC),对运维人员、管理员、设备接入等分级授权以防止权限滥用,并且设置双因素认证和操作日志全记录机制,使平台访问更可控、可追溯。数据安全方面,平台部署分布式数据库加密存储系统并加上定期备份和容灾机制,确保突发情况时数据完整可恢复。业务安全方面,引入行为审计引擎实时监控系统操作、指令下发、数据调用等行为并检测异常以及及时阻断非法操作,构建应急响应预案系统,其具备漏洞响应、病毒防御、攻击隔离等功能,让平台受安全威胁时能快速反应,构建全面的安全策略体系为智能运维平台稳定运行提供坚实保障。

## 4 实践应用成效与优化建议

### 4.1 实践项目概况与部署

某区域电网公司想要验证智能运维体系在实际电力光纤通信网络中的应用效果,便把辖区内覆盖220kV及电压等级的骨干光纤通信网络选作试点,部署智能运维平台并同步安装边缘计算节点与监测设备。项目在主干传输环网、调度通信链路、无人值守站点等关键区域安装近百套设备,如智能光功率监测器、远程OTDR终端、环境传感器等,从而构建起全网可视化监测体系。平台侧采用中心-边缘协同部署模式,边缘节点负责链路数据实时采集与初步处理,中心平台负责综合分析与智能派单,运维终端的移动工单App同步上线,实现巡检任务、故障响应的在线接收与反馈闭环。整个部署过程按阶段严格推进,先后完成系统集成、测试验证、培训上岗与联动演练,建立起运维流程规范与响应机制,形成电力通信网络智能运维示范场景,实现标准化、规范化、信息化。

### 4.2 应用成效分析

平台上线运行半年内,在故障发现效率、运维响应速度、巡检管理水平等方面实践项目成效显著,在故障识别上,AI算法和链路拓扑模型相结合,能自动预警断纤、性能衰减等问题并精准定位,链路平均故障识别时间从原

来的30min缩到不到5min,在响应效率方面,智能工单系统自动化原本靠人工传递的任务分派,任务秒级生成且分类推送,使平均故障处理周期缩短超40%,再次运维任务执行率大大提高,平台把例行巡检、异常复核、维护处理等任务都归入管理视图,借助可视化日历和智能调度,月均巡检覆盖率提升到98%,在管理上,平台大数据分析模块形成多维统计报表,支持从链路健康度、故障趋势、人员绩效等多方面分析考核,有力支撑管理层决策。

### 4.3 持续优化方向

试点项目有了阶段性成果,但系统推广应用时还得持续优化以增强平台的适应性和智能性。引入AIOps(智能运维)理念能提升系统对多源复杂数据的自学习能力,通过模型迭代使故障识别精度和根因分析能力不断增强,达成“边运维边学习”的目标;扩大运维平台的接入范围,覆盖接入网、配电自动化通道和边缘微站,从而让运维体系的覆盖能力更广;第三,优化边缘计算节点的功能集成度,将数据处理、协议解析、安全控制等功能集为一体,进而提高部署的灵活性和处理能力;细化运维流程中的任务标准和考核指标以实现全生命周期闭环管理,提升运维服务的规范化和透明化水平;推动平台接口开放,融合GIS系统、电力调度系统等外部平台,构建跨系统协同的综合运维生态圈,促使电力通信网络全面迈向智能、高效、安全的新阶段。

## 5 结束语

建设电力光纤通信网络的智能运维体系是推动电网朝着数字化、智能化转型的关键环节,通过优化架构,融合AI与大数据技术,部署边缘计算,建设智能平台,使运维效率与故障响应能力得到显著提升,强化网络安全保障与全流程管理水平,实践显示传统运维模式存在瓶颈问题,该体系不但有效解决这些问题,还为构建高效、可靠、自适应的通信网络打下坚实基础,往后要不断推动系统智能演进、多系统融合,构建面向全业务场景的运维新格局。

### 【参考文献】

- [1]陈亚鹏.电网光通信系统自主协同方法研究[D].北京:华北电力大学(北京),2024.
- [2]丁锦航.电力场景中无源光网络链路监测关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2024.
- [3]高仕斌,刘帝洋,韦晓广,等.基于数字孪生网络的牵引供电智能运维体系与应用架构[J].铁道学报,2023,45(12):1-15.
- [4]唐振钦.NN供电公司智能配电网运行管理改进研究[D].南京:广西大学,2023.
- [5]刘瑞.考虑节点重要度的电力QoS路由优化与通信中心选址研究[D].南宁:广西大学,2023.

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。



## 通信电源监控系统在电力通信中的应用

王品涵

山东航空学院, 山东 滨州 256600

[摘要]通信电源监控系统属于电力通信基础设施极为关键的部分,其实际应用对于保证电网能够稳定地运行以及提高运维方面的效率有着颇为重要的影响。文章全面且细致地阐述了通信电源监控系统的定义、所具备的功能以及其架构组成情况,同时对其内部的数据采集传输技术、实时监测诊断技术、远程控制管理技术还有系统集成兼容性等一系列关键技术展开了较为详尽的剖析。

[关键词]通信电源监控系统; 电力通信; 实时监测; 智能化运维

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17625

中图分类号: TN91

文献标识码: A

## Application of Communication Power Monitoring System in Power Communication

WANG Pinhan

Shandong University of Aeronautics, Binzhou, Shandong, 256600, China

**Abstract:** The communication power monitoring system is an extremely critical part of the power communication infrastructure, and its practical application has a significant impact on ensuring the stable operation of the power grid and improving the efficiency of operation and maintenance. The article comprehensively and meticulously elaborates on the definition, functions, and architecture composition of the communication power monitoring system. At the same time, it provides a detailed analysis of a series of key technologies such as data acquisition and transmission technology, real-time monitoring and diagnosis technology, remote control management technology, and system integration compatibility.

**Keywords:** communication power monitoring system; electric power communication; real time monitoring; intelligent operation and maintenance

通信电源监控系统主要通过对电力系统中的各设备运行状态进行实时监测,并在出现故障时及时报警,从而实现对整个电力通信网络的实时监控。因通信电源监控系统在电力通信中的重要性,目前其已在各大电力企业中逐渐普及。然而,其涉及的信息量较大,系统一旦出现故障,就会造成较大的损失,需进一步完善。

### 1 通信电源监控系统概述

#### 1.1 系统定义与功能

通信电源监控系统算得上是一种专门针对电力通信环境而打造的智能化管理平台。它的核心定义就在于依靠软硬件的集成方式来达成对通信电源设备展开全方位的监控以及控制这一目的。此系统拥有诸多关键功能,像实时数据采集功能、故障诊断功能、远程操作功能以及能效分析功能等等。这些功能协同发力,切实保障了电力通信设备的供电能够保持连续性,同时也保证了其运行状态的稳定。在电力通信的实际应用当中,该系统可对电压、电流、温度等相关参数予以监测,并且会依据预先设定好的阈值来触发警报或者自动去调整电源输出,如此一来便可以有效避免设备出现宕机或者遭受损坏等情况。除此之外,该系统还具备历史数据存储以及趋势分析方面的支持,进而为长期的运维策略给予数据层面的有力支撑,这无疑彰显了它在智能化电网建设进程里所起到的基础性的重

要作用。

#### 1.2 系统组成与架构

通信电源监控系统的构成涵盖多层硬件以及软件组件,其基础架构包含数据采集单元、传输模块、处理中心还有人机接口。其中,数据采集单元是由传感器以及转换器组合而成的,它的职责在于收集电源设备所发出的模拟信号,并且把这些信号转化为数字化形式。传输模块会借助有线或者无线的方式,像是以太网又或者是 5G 等,把相关数据传送到中央处理系统那里。处理中心在系统当中属于核心部分,它会运行特定算法来展开实时分析以及做出决策操作。人机接口能够提供可视化的界面,以便于运维人员能够实施监控以及采取干预措施。从架构方面来讲,该系统往往会采用分布式或者集中式的布局方式<sup>[1]</sup>。分布式架构比较适合应用于大型电力通信网络,在这种架构下是允许进行本地处理的,如此一来便可以减少延迟情况的发生。然而集中式架构虽然简化了管理工作,可却有可能使得单点故障的风险有所增加。

### 2 通信电源监控系统的关键技术

#### 2.1 数据采集与传输技术

数据采集与传输技术构成了通信电源监控系统的根基所在,它借助高精度传感器以及通信协议来达成对电源参数的精准获取目的,同时实现高效的数据传送功能。传

传感器技术涵盖了电压、电流还有温度检测方面的元件，这些元件是依据微电子设计理念而来的，能够以毫秒级别的间隔去采集相关数据，并且依靠模数转换器把所采集到的模拟信号转变成数字格式，进而供给系统加以处理。传输技术则是凭借有线的方式，像 RS-485 或者光纤等，还有无线的方式，比如 LoRa 或者 5G 网络等，以此来保证数据能够在复杂的电力环境当中可靠地进行传输。依照中国通信学会在 2025 年的相关预测情况来看，5G 技术应用于电力通信传输领域之后，能够让数据传输速率得以大幅提升，甚至可以达到 10Gbps 的程度，而且还能使延迟降低到 1ms 以下的水平，如此一来便极大地增强了实时监控方面的能力。这些各项技术经过集成之后，一方面提高了数据的完整性，另一方面也削减了外部干扰所产生的影响<sup>[2]</sup>。就好比在那些地处偏远的变电站当中，无线传输成功突破了地理方面的种种限制，进而达成了远程监控的全面覆盖效果。数据采集与传输整个过程的优化，很大程度上依赖于协议的标准化工作，就像 IEC 61850 协议在电力系统当中得到了广泛的采用一样，这无疑确保了不同设备之间具备良好的互操作性以及数据的一致性，从而为后续的分析工作打下了颇为坚实的根基。

## 2.2 实时监测与诊断技术

实时监测与诊断技术让通信电源监控系统拥有了即时响应的能力。它借助连续数据流分析以及机器学习算法来识别异常模式并且预测潜在故障。监测技术依靠实时数据库和流处理引擎，针对输入数据展开比较与滤波操作，从而迅速检测出偏离正常范围的参数，像是电压波动或者过热这类现象。诊断技术会采用规则引擎或者人工智能模型，比如神经网络，去分析历史数据与实时数据之间的关联，精准定位故障根源并给出修复方面的建议。中国电力科学研究院在 2024 年的研究说明，引入 AI 诊断之后，系统故障预测的准确率从 85% 提高到了 94%，平均响应时间也缩短了 30%。这种技术之所以有效，是因为有高速计算资源和优化算法作为支撑，它们能够让系统在秒级时间内完成复杂的计算工作，并且输出可视化的报告以辅助决策。比如说，在电网处于高峰负载的时段，实时监测能够动态地对电源分配做出调整，防止出现过载事故，而诊断功能则凭借根因分析来降低误报的情况，提高了运维工作的精度以及效率。技术不断地发展进化，还融入了数字孪生的概念，通过创建虚拟电源模型来进行仿真测试，进一步强化了系统的前瞻特性以及可靠性。

## 2.3 远程控制与管理技术

远程控制以及管理技术让通信电源监控系统得以达成无人化操作的状态，并且能够实现集中化的调度事宜。该技术借助远程接口以及控制协议，赋予运维人员从中心站点去调整电源参数或者执行开关操作的能力。其控制技术是以安全通信通道作为依托的，像 VPN 又或者是加密传输这类方式，以此来保障指令传输具备保密性以及完整

性。而管理技术则会提供配置、监控还有报表等相关功能，进而对全生命周期电源管理予以支持。这些技术会集成 Web 界面或者移动应用，从而让用户能够随时随地去访问系统，开展实时调整的操作或者查看系统的状态。依据中国信息通信研究院在 2023 年的统计数据来看，远程控制技术在电力通信当中的运用，使得运维效率提高了百分之四十，人力成本也降低了百分之二十五。在管理这个层面上，系统支持策略的自动化操作，比如说可以根据负载的变化情况自动切换到备用电源，如此一来便减少了人为干预所导致的错误。举例来讲，在出现突发故障的时候，远程控制能够即刻启动备份发电机，并且会通过管理平台记录下事件日志，以便后续用于审计分析工作。技术的安全性是极为关键的，会采用多因素认证以及访问控制机制，以此来防止出现未授权的操作行为，进而确保电力通信网络能够保持安全且稳定的态势。这样的远程能力不但提升了响应的速度，而且还对大规模网络的集约化运维给予了支持，这与现代电网智能化的发展趋势是相契合的。

## 2.4 系统集成与兼容性

系统集成以及兼容性技术可保证通信电源监控系统能与异构电力设备和平台达成无缝协作，它是借助标准化接口以及中间件来完成数据共享以及功能互操作的，集成技术涵盖 API 网关或者协议转换器，把不同制造商设备的 proprietary 协议转变为通用标准，像是 MODBUS 或者 DNP3，如此一来便消除了技术壁垒。兼容性着重于系统对于硬件和软件的适应程度，能够支持旧设备升级以及新设备接入，防止出现系统孤岛的情况，依据中国国家能源局 2024 年所发布的报告来看，依靠强化集成技术，电力通信系统的设备兼容率已经从 70% 提高到了 90%，降低了集成成本以及所需的时间，这些技术还推动了跨系统的融合，比如与 SCADA 系统或者能源管理平台进行集成，以此达成全局监控以及优化，在实际的应用过程中，集成的过程包含有测试与验证阶段，要确保数据的准确性以及功能的一致性，进而提升整体系统的可靠性，兼容性设计还会考虑到未来技术的发展演变情况，采用模块化架构来支持插件式的扩展，使得系统能够适应 5G、物联网等新兴技术，为电力通信的长期发展给予可持续的支撑。

## 3 通信电源监控系统在电力通信中的应用分析

### 3.1 供电保障与稳定性提升

通信电源监控系统在供电保障以及稳定性提升方面起到十分重要的作用。该系统借助实时监控以及自动调控的方式，来保证电力通信设备能够持续不断地供电，进而降低停电事故发生的概率。此系统能够对电源质量参数加以监测，像是电压出现暂降情况或者频率存在偏差等状况，并且能够触发相应的纠正举措，比如切换到备用电源或者调整逆变器的输出，以此维持设备能够稳定地运行下去<sup>[3]</sup>。依照国家电网在 2025 年的相关数据来看，在部署了监控系统之后，电网通信基站的供电可用性从原本的 99.5%



提升到了 99.9%，平均每年的停电时间也减少了 50h，服务质量得到了较为显著的提升。应用分析显示，该系统还集成了预测性维护的功能，通过对历史数据展开分析，能够识别出电源设备的老化趋向，从而提前做好更换或者维修的相关安排，防止出现突发故障的情况。稳定性得以提升，这还得益于系统和电网调度中心之间的协同配合，进而实现了负荷平衡以及能源优化，对可再生能源的集成给予了有力的支持。这些应用一方面保障了通信的顺畅，另一方面也推动了电力系统的可持续运行，充分体现出技术在关键基础设施当中所具有的价值。

### 3.2 故障预警与快速响应

故障预警以及快速响应属于通信电源监控系统的关键应用范畴。该系统借助先进的算法以及实时的数据流来提前识别出潜在的故障，并且启动应急的相关机制。其预警技术是以阈值监测以及趋势分析为基础的，当检测到像电流出现激增或者温度有所升高等这类异常情况的时候，系统会立刻发出警报，并且通过短信或者邮件的方式告知运维团队。而快速响应就涉及到自动化脚本或者是远程操作，在警报被触发之后，能够自动地去隔离故障设备或者是启用冗余路径，以此来把影响的范围尽可能地缩小。从中国工业和信息化部在 2024 年的案例来看，在某个省级电力通信网当中，监控系统把平均故障修复的时间从原本的 2h 缩短到了 30min，从而提升了网络的可用程度。在实际的应用过程当中，系统还会结合大数据分析，从海量的数据里面去挖掘故障的模式，进而优化预警规则，减少误报的情况发生。比如说，通过对多次事件展开分析之后，系统学习到了在特定天气条件之下故障出现的概率，并且会调整监测的灵敏度，以此提高准确性的水平。这样的应用一方面减少了运维的成本，另一方面也增强了用户的信任，毕竟快速响应可以避免因服务中断而造成的经济损失以及社会方面的影响。技术不断地进行改进，正推动着预警系统朝着更加智能化的方向去发展，比如融合边缘计算来实现本地的决策，进一步把响应延迟的时间缩短。

### 3.3 能效管理与成本控制

能效管理以及成本控制的应用，使得通信电源监控系统变成了电力通信领域节能降耗极为关键的工具。它借助对能耗数据展开监测，同时对电源使用策略予以优化，以此来削减浪费，降低运营方面的开支。该系统会收集实时的能耗相关信息，像功率因数、电量消耗等，而后依据相关算法生成能效方面的报告与建议，比如调整设备的运行模式，或者切换到低谷电价时段来进行供电。根据中国电力企业联合会在 2023 年的统计情况来看，在实施了监控系统之后，电力通信站点的平均能效提升了 15%，年度电费支出减少了 10%，这为达成碳减排的目标做出了贡献。在成本控制这系统能够助力资源实现优化分配，比如说通过预测负载需求来动态地调整电源容量，从而防止出

现过度配置或者设备闲置的情况<sup>[4]</sup>。应用分析还涵盖了生命周期成本的计算，可帮助决策者去评估投资回报，挑选出经济且高效的解决方案。

### 3.4 智能化运维发展

智能化运维的发展情况属于通信电源监控系统在电力通信领域当中的前沿应用范畴。其借助人工智能以及物联网技术来促使运维模式朝着自动化的方向以及预测性的方面去发生转变。该系统会运用机器学习模型针对历史运维数据展开分析，以此对设备的寿命或者故障风险做出预测，并且能够自动生成维护计划，从而减少人为的干预情况。物联网集成使得系统可以连接起大量的传感器与执行器，进而达成全域监控以及智能控制的目的，以此提升运维的精度。中国信息通信研究院在 2025 年的展望中提到，智能化运维能够让电力通信运维效率提高百分之五十，人力需求降低百分之三十。应用实例涵盖了自主巡检机器人配合监控系统开展现场检查的情况，还有数字孪生技术模拟运维场景来进行优化测试的情形。这些发展不但提升了可靠性，而且还降低了安全风险，原因在于自动化减少了人为错误。

## 4 结束语

通信电源监控系统在电力通信当中的应用，充分彰显出技术发展对于基础设施迈向现代化所起到的极为重要的影响作用。该系统借助对关键技术加以集成以及引入智能应用的方式，切实有效地提升了供电的可靠性程度，使得故障处理的效率得以提高，同时促使能效水平也有了相应的提升。本文针对该系统展开了较为系统的分析，涵盖了从基础架构一直到高级功能的整个全貌情况，并且还依据真实的数据来对该系统在实际场景当中所取得的效益进行了验证。在未来的发展进程中，伴随人工智能以及 5G 技术不断走向深化，通信电源监控系统将会把更多的关注点放在预测性以及自适应能力方面，进而有力地推动电力通信朝着全面智能化的方向持续迈进。作为研究者，应当密切留意伦理层面以及社会层面的影响情况，以此来确保技术的应用能够始终坚持以人为本的原则，从而更好地去促进公平正义以及可持续性的发展目标实现。

### 【参考文献】

- [1]陈董秀,赵瑜.通信电源监控系统在电力通信中的运用探析[J].中国新通信,2024,26(1):10-12.
- [2]黄新武.通信电源系统的日常维护与安全管理[J].卫星电视与宽带多媒体,2024,21(4):4-6.
- [3]都美花.基于 DSP 的高清远程视频通信监控系统设计[J].电视技术,2025,49(3):46-48.
- [4]邱洪亮,刘刚,吴克雄.基于智能化技术的不间断电源应用与发展趋势浅析[J].数字技术与应用,2025,43(6):238-240.

作者简介：王品涵（2004.4—），女，汉族，毕业院校：山东航空学院，专业：电子信息工程。



## 高校综合能源监控系统设计综述

李 东<sup>1</sup> 李佳倩<sup>2</sup>

1. 中国电信股份有限公司广安分公司, 四川 广安 638000

2. 中国电信股份有限公司四川分公司, 四川 成都 610000

**[摘要]**随着社会的发展, 高校机电设备越来越多, 高校能源耗能越来越大, 这给高校运营带来了极大的挑战, 因此本文采用了综合能源监控系统, 能够实现建筑设备监控、教育设备监控、能耗检测、能源审计以及保修管理等功能, 该系统采用了分布式架构, 结合了软件中间件, 每一个机电系统或软件系统都可以独立建设, 在后台通过软件和网络实现集成, 能够实现远程访问和控制。

**[关键词]**综合能源监控; 软件中间件; OPC; OPC UA

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17621

中图分类号: TM73

文献标识码: A

## Overview of the Design of Comprehensive Energy Monitoring System in Universities

LI Dong<sup>1</sup>, LI Jiaqian<sup>2</sup>

1 Guang'an Branch of China Telecom Corporation, Guang'an, Sichuan, 638000, China

2 Sichuan Branch of China Telecom Corporation, Chengdu, Sichuan, 610000, China

**Abstract:** With the development of society, there are more and more mechanical and electrical equipment in universities, and the energy consumption of universities is increasing. This has brought great challenges to the operation of universities. Therefore, this article adopts a comprehensive energy monitoring system, which can realize functions such as building equipment monitoring, educational equipment monitoring, energy consumption detection, energy audit, and warranty management. The system adopts a distributed architecture and combines software middleware. Each mechanical and electrical system or software system can be independently built and integrated through software and network in the background, enabling remote access and control.

**Keywords:** comprehensive energy monitoring; software middleware; OPC; OPC UA

### 引言

随着国家教育信息化的不断深化, 高校的教学和使用设备不断增加, 极大的造成了能耗的损失, 并且高校除了教育和实验消耗能源外, 还有公共区域不断消耗的能源。高校的教学设备和公共设备众多, 因此给后勤管理部门带来了难题, 为了更好地服务教学工作和保证高校设备处于实时监控、监管设备状态, 这是后勤管理部门的最大难题, 为了满足校园的教学要求和日常设备正常运行, 因此本文考虑采用综合能源监控系统设计。

### 1 系统分析

#### 1.1 难点分析

高校教学及后勤设备众多, 如建筑机电系统供配电、给水排水、空调系统以及教学系统的电脑、投影仪、数字展台, 电源系统如插座、电源开关、照明灯具, 整个教学设备和辅助设备比较分散, 很难集中监控起来, 这给高校后勤保障部门带来了困难。目前大部分设备都没有进行联网, 教学设备基本处于粗放化管理, 教学设备的使用没有设施在线, 设备出现故障时没有及时上报, 教学设备没有实现集中控制和集中管理, 因此教学过程中没有对能耗进行监控和管理, 教学活动中造成了极大的浪费。

其次高校的机电电子系统较多, 如公共区域的照明、教

室照明、生活用水、教学设备、校园照明、空调系统等这些都是能源消耗大户, 因此迫切采用一种综合能源监控系统对以上进行监控和改变<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 设计分析

高校的设备众多, 但是有章可循, 因此可以对现有的机电系统进行分类, 然后进行设计管理:

(1) 要保证能够实时监控主要的设备的运行状态, 这样后勤保障人员能够及时发现问题进行处理。

(2) 对现有的各种设备进行归类处理, 如教室的空调和照明系统, 根据现有的建筑设计规范, 可以将教室用电分为: 照明用电、空调用电、教育设备用电等。

(3) 设备出现故障时, 教师或者学生可以实时的将故障信息通知给设备管理人员和设备维修人员。

(4) 教学设备没有实现集中控制和集中管理, 因此需要对教育设备进行统一管理。

#### 1.3 建设目标

需要对教学设备的统计和管理, 教学设备实现集中控制和集中管理, 校园的能耗系统需要进一步降低, 提高高校的管理水平, 实现校园能耗监管的数字化、智能化, 决策的科学化, 管理的现代化, 明确各类能源的消耗点和浪费点, 根据以上数据提供人工决策, 有效提高高校的综合

能源的利用率。

(1) 校园内的电器设备通过物联网连接以后, 管理者可以通过联网利用移动终端的 APP 或电脑控制任意单个或多个用电设备如空调、电闸、灯光等。

(2) 通过传感器准确地感知到教室、实验室等区域内的人员移动, 当设置的上课时间环境感知器会通过信息推送的方式告知管理者, 这样能够判断空调和照明设备是否需要开启或者关闭。

(3) 采用统一的管理平台, 按照设定的时间段来统计用电量的信息, 自动生成图表, 方便管理者的查看比较。

(4) 建设统一的机电管理系统, 如学校的变配电系统、给水排水、照明管理系统、空调系统等, 这些能够检测。

## 2 综合平台整体设计

根据以上的需求, 本文根据多个厂家的能源监控管理解决方案<sup>[2]</sup>, 考虑到校园的机电和教学设备的运行的特殊情况, 采用了远程监控和现场控制的方式, 实现多个能源系统的管理, 同时采用了手机或者网页的方式, 让现场的人员及时将故障信息发给后勤保障人员, 这样系统, 因此在大机电系统方面, 建设了建筑机电设备管理系统, 照明管理管理系统, 空调管理系统, 教学设备管理系统, 视频监控系统等硬件电路系统, 同时结合了软件平台技术。

通过以上的监控做到能源监控的同时, 也保证了教学工作的正常运行。整个系统设计为三层结构, 通过软件接口、硬件接口进行互联, 在前端设置数据网关, 数据网关周期方式数据采集, 接受数据中心通过数据管理平台下达的命令及相关设置。整个系统基于 B/S 和 C/S 复合结构, 用户可以通过 Internet 浏览器远程登录综合能源监控平台。

### 2.1 平台层设计

平台层具有平台模式配置、通讯参数配置、接口配置等功能, 可允许不同厂家的产品组成一个完整的系统, 并通过软件接口(OPC, DDE, ODBC 等)与第三方系统无缝集成, 提供低成本 IBMS 集成管理, 本文中建筑机电系统集成就是这样的方式, 建筑机电设备监控系统采用 DDC 数据采集方式, 后台采用 SCADA 整合起来。整个系统采用分布式架构, 以每个独立的机电系统为核心数据中心接入点, 各个子系统独立建设, 分布式结合的方式。不同的业务系统通过软件接口互联, 实现数据共享和数据交换。

### 2.2 网络层

网络层是高校校园的监控和数据传输中心, 该系统主要采用现场总线 RS485 和 TCP/IP 方式实现数据的传输, 因此接入网络层的设备主要是数据网关、前端控制设备, 主要设备等, 本文在网络层配置了核心交换设备, 每一个楼栋设置汇聚交换设备, 对于视频监控系统采用了单独的视频监控网络系统, 通过网络隔离手段使控制、计量和管理完全分开。

计量和能耗监控系统分开设置, 计量系统主要针对固定用电如学生宿舍这些地方、变电总电源监控、给水系统总计量等区域, 能耗监控系统主要针对公共区域用水、供电、供暖的情况, 建筑机电设备监控主要针对主要的监控系统正常运行。在校师生和后台接入网络系统与学校的监控平台取得联系, 远程访问和读取相应的数据信息, 同时在网络层设置网络防护墙、入侵检测设备、网闸等安全防范系统。

### 2.3 前端及接入层

前端主要采集和控制设备, 本文对前端设备进行归类设计, 如实验室的设备设置(这种设置了传感器), 同时结合视频监控和语音对象系统, 能够远程开关设备, 教师在上课时需要采用教师卡与远程中心取得联系, 然后进行开启, 上课完后及时将教学设备关闭。公共区域的照明进行智能照明管理(设置专门的控制模块), 空调系统专门的通讯管理模块接入、视频监控系统采用智能识别技术及时发现, 每一个教室设置专门的智能电源配电管理模块, 可以开启电灯和电扇。这一层完成对前端的设备控制和数据采集作用。

前端设备接入包括建筑基本信息、设备参数(空调系统、冷源系统、热源系统、照明系统、办公设备、电梯设备、水泵设备、风机设备、厨房设备、室外景观)、能耗计量设备(用电、给水、生活热水、天然气、市政蒸汽、燃煤、汽车用油)。

### 3 平台软件设计

软件平台分平台权限管理模块、建筑设备管理模块、能源计量管理模块、视频监控管理模块、智能照明(公共区域)、教室设备管理模块、能耗计量模块、能源审计模块、AI 模块、3D 地图模块等, 手机 APP 接入模块等。其中能源分析模块选多个高校建筑, 可以按折标煤总量、能源分类、能源分项等统计类型进行统计, 可以按照总用量排名、单位面积排名、人均排名进行统计<sup>[3]</sup>。

可以选择高校部门、建筑功能、时间类型(时、日、月、年)、时间起止、统计类型(折标煤总量、能源分类、能源分项)、指标类型(折标煤总量、单位面积用量、人均用量)对高校部门内多个建筑进行趋势分析和汇总分析。实现对采集计量装置的实时采集监测、运行状态等监测, 动态展示当前采集计量装置的安装位置、最近读数、最近 24h 用能趋势图表, 从而结合 AI 分析浪费情况。

#### 3.1 权限管理模块

采用 portal 技术实现一个登录界面, 实现对所有的设备进行管理, 根据不同功能类别的用户, 进行对于的授权操作管理。可以按照部门设置多级管理员, 不同部门的管理员可以且只能按照本部门的最高访问控制权限设置、编辑和修改本部门用户的权限。高级别用户优先取得控制权, 同级别用户以先取得控制权为先。如果某个用户在设定时

间内没有对系统进行操作,将自动放弃控制权,由其它用户取得。同时可以对不同管理人员管理特定区域和板块等。

### 3.2 建筑设备管理模块

建筑设备管理模块主要通过 OPC/OPC UA 接口读取建筑设备监控系统的数据信息,实现对校园内主要的设备包括电力系统、供水系统、供暖供冷系统(空调系统)进行管理,实现监控和控制,能够最大程度上保证电力及其他建筑设备系统的稳定。该系统集成了电力监控、供配电计量(运行计量与供电局计量不同)、区域供水情况计量等,防止漏水漏电的发生。

### 3.3 能源计量管理模块

能源计量模块主要采用 RFID 技术+数据远传系统主要实现,主要实现学生和教师公寓、商业门店的能源情况,通过该模块的监控管理,管理人员能够清晰的,门店系统可以按月计量和实时计量,管理人员能够在第一时间看到能耗情况,在高温、供水不足的情况下实现对园区的电力系统进行调度。

### 3.4 视频监控管理模块

视频监控管理模块主要实现对教室、实验室、公共区域进行监控,同时结合前端 AI 分析模块,实现对学生和教师监控,防止教室等无人情况下的电能浪费情况,在无人情况下触发报警,使管理人员第一时间关闭能源系统。

### 3.5 智能照明(公共区域)

智能照明模块根据教学情况和教室、实验室情况等,实现远程和集中式的关闭电源,当学生学习和上课时,能够现场进行关闭电源。也可以通过智能识别模块,如比较人少的地方,楼梯走道等,车库入口等位置。

### 3.6 智能教室管理系统

智能教室管理系统当教室上课时可以采用教师卡完成上课时间段的教学设备启动和关闭,如果开启不成功可以远程与控制中心人员取得联系。同时设置教室专用的空调管理系统,实现对空调系统的远程开启和关闭,正常情况下,教师可以开启,当遇到用电高峰期时进行强制关闭。

### 3.7 能耗计量系统

将建筑内部能耗计量数据采集到系统中,实现公共区域能耗集中监管、远程抄表、自动统计、自动分析,实现建筑能源审计的信息化。包括公共区域各种设备参数(照明系统、冷源系统、热源系统、空调系统、办公设备、电梯设备、水泵设备、风机设备、厨房设备、室外景观)进行实时采集监测、运行状态监管,提供能耗账单(用电、给水、生活热水、天然气、市政蒸汽、燃煤、汽车用油)数据(用量及参数)。

### 3.8 能源审计模块

实现高校建筑能源审计的信息化,实现高校建筑基本

信息、设备参数(空调系统、冷源系统、热源系统、照明系统、办公设备、电梯设备、水泵设备、风机设备、厨房设备、室外景观)、能耗账单(用电、给水、生活热水、天然气、市政蒸汽、燃煤、汽车用油),并根据录入的数据和对审计建筑各类建议,最终生成电子版的建筑能源审计报告,审计报告可以导出 WORD 进行修改和上传保存。

## 4 系统设计特点

(1) 整个系统具有分布性,能够通过三层结构和软件接口实现互联。

(2) 具有完整的电气测量信息,为供电系统提供有效管理及风险预警、供电报警等。和报警功能,集成了先进的技术,报警系统得到增强。

(3) 便于统计和管理,能够及时发现能耗故障点,统计故障频率,方便更换设备和维修管理。

(4) 能够通过互联网利用移动终端的 APP 或电脑控制任意单个或者高校全部中的用电设备如空调、电闸、灯光等,实现设备的管理。

(5) 结合火灾报警系统,视频监控能够及时覆盖报警区域,提高安全防范的作用。

(6) 结合传感系统,当设置的上课时间(也就是宿舍中不应该有人的时间段)宿舍中有人移动的时候,环境感知器会通过信息推送的方式,告知管理者,哪一个宿舍有人员逗留,实现科学有效的管理机制。

## 5 结论

整个系统结合了传感器技术,工业控制网络,计算机室网络和移动网络,系统实现了机电系统集成,机电联动等,本文中用到了软件中间件,实现硬件和软件通信,结合了 OPC/OPC UA,在实现综合能源监控目的,同时结合了 AI 和 3D 技术,能够运用先进的技术与传统机电的融合。

### [参考文献]

[1]张昊,管维红,秦昌琪,等.智慧能源管理系统在高校中的应用与实践[J].无线互联科技,2021(19):34-35.

[2]吕培明,许秀峰,曹同成,等.基于云平台管控的大学校园能源精细化管理系统构建[J].实验室研究与探索,2021(10):261-265.

[3]潘洁宗,於双月,张日亮,等.能源监控系统的架构设计与应用[J].今日制造与升级,2021(5):98-101.

作者简介:李东(1973.2—),毕业院校:北京邮电大学,所学专业:信息管理与信息系统;当前就职单位:中国电信股份有限公司广安分公司,职称级别:机电工程师,高级智慧消防管理工程师;李佳倩(1988.1—),毕业院校:四川大学,所学专业:图书与情报专业;研究方向:智慧机电,当前就职单位:中国电信股份有限公司四川分公司。



## 建筑工程中深基坑支护施工技术及风险控制分析

赵 言

中国二十二冶集团有限公司, 河北 唐山 063000

**[摘要]**深基坑支护施工属于建筑工程里的关键技术环节,其施工质量和工程安全对后续建筑物的稳定性有着直接关联。文章着重围绕深基坑支护施工技术展开,全面且细致地分析了钢筋混凝土支护、钢板桩以及地下连续墙支护、土钉墙与喷锚支护等多种技术措施,深入且详尽地探讨了施工过程中那些关键的控制要点,像是围护结构施工的质量把控、土方开挖的组织顺序安排、监测系统的布设情况以及数据预警保护措施的实施等方面。与此还针对地质与水文环境所具有的不确定性、支护结构出现失稳状况、开挖过程中发生突发事件等一系列风险展开了较为透彻的剖析,进而提出了科学合理的风险控制对策。文章希望能够为建筑工程深基坑施工给予一定的理论方面的指导以及实践层面的参考,以此来确保施工安全并保证工程质量。

**[关键词]**建筑工程;深基坑支护;施工技术;风险控制

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17635

中图分类号: TU7

文献标识码: A

### Construction Technology and Risk Control Analysis of Deep Foundation Pit Support in Construction Engineering

ZHAO Yan

China MCC22 Group Corporation Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

**Abstract:** The construction of deep foundation pit support is a key technical link in construction engineering, and its construction quality and engineering safety are directly related to the stability of subsequent buildings. The article focuses on the construction technology of deep foundation pit support, comprehensively and meticulously analyzing various technical measures such as reinforced concrete support, steel sheet piles, underground continuous wall support, soil nail walls, and spray anchor support. It deeply and thoroughly explores the key control points in the construction process, such as quality control of enclosure structure construction, organization sequence arrangement of earthwork excavation, layout of monitoring systems, and implementation of data warning and protection measures. Furthermore, a thorough analysis was conducted on a series of risks related to the uncertainty of geological and hydrological environments, instability of support structures, and unexpected events during excavation, and scientific and reasonable risk control measures were proposed. The article hopes to provide theoretical guidance and practical references for the construction of deep foundation pits in building engineering, in order to ensure construction safety and project quality.

**Keywords:** construction engineering; deep foundation pit support; construction technology; risk control

#### 引言

随着人民对生活品质提升的迫切需求和建筑空间的综合利用,城市化推进速度急剧增加,高层建筑以及地下空间的开发变得愈发频繁起来,这就使得深基坑开挖施工的需求在不断地增加。深基坑施工所涉及到的开挖深度是比较大的,其土壤稳定性很容易受到破坏,而且施工过程中存在的风险也相对较高,所以在建筑工程里,它既属于技术方面的难点,也是安全方面需要重点关注的对象。深基坑支护一方面能够确保基坑边坡维持稳定状态,是极为关键的措施;另一方面还能为施工人员的安全以及后续建筑物地基的安全提供有力保障。当下,随着施工技术持续取得进展,深基坑支护技术也变得日益多样起来。本文从技术以及风险这两个不同维度出发,全面且细致地梳理深基坑支护施工技术,深入剖析施工过程中那些关键的控制要点,并且针对潜在的风险给出科学合理的防控策略,希望能够给相关的工程实践给予理论层面的有力支撑以及

技术方面的有效指导。

#### 1 建筑工程中深基坑支护施工的应用价值

在建筑工程中,基坑开挖是一个必不可少的环节,而且这个过程往往涉及较深的土层。当基坑开挖深度较大时,基坑边缘的土壤稳定性会受到严重影响,如果没有采取有效的支护措施,土壤容易受到各种因素的扰动,在这种情况下,土壤可能会发生位移、坍塌等安全事故,对施工人员的生命安全构成严重威胁。而通过合理的深基坑支护措施,如设置支撑结构、加固基坑边缘等,可以有效增强基坑边缘的稳定性,防止土壤受到扰动和侵蚀,大大降低坍塌等安全事故风险,施工人员的生命安全就能得到有效保障,使他们可以在一个相对安全的环境中进行作业。支护结构的设计和施工能够有效防止土壤侵蚀,保护基坑的边缘不被破坏,更重要的是,它还能够有效控制基坑的变形。在建筑施工过程中,基坑作为建筑物的基础,其稳定性直接关系到建筑物的整体质量和使用寿命。如果基坑在施工

过程中发生变形或坍塌,会对建筑物的地基和结构造成极大影响,发生地基下沉、墙体开裂等严重问题。采用合理的深基坑支护措施,能增加基坑的稳定性,保证建筑物的地基和结构处于良好状态。

## 2 深基坑支护施工技术分析

### 2.1 钢筋混凝土支护技术

钢筋混凝土支护技术属于传统并且广泛运用的一种深基坑支护方式,它具备结构刚度偏大、承载力颇高以及耐久性较强等诸多优点。在实际开展施工活动的过程中,钢筋混凝土支护往往会以地下连续墙、桩板墙等具体形式呈现出来,借助对配筋以及混凝土配比展开合理的科学设计,以此来保障结构能够达成整体的稳定状态,并且满足相应的承载方面的需求。这项技术能够在多种复杂多变的地质条件之下适用,特别是针对那些需要承受较大侧压力的基坑环境而言,更是尤为适用。与此钢筋混凝土支护的施工工艺已经相当成熟,在施工周期方面也呈现出相对较为稳定的态势,这对于工期的把控是颇为有利的。不过,它的缺点在于施工所花费的成本相对较高,对于施工机械设备的要求也比较苛刻,而且在施工进程当中会涉及到大量的模板安装以及后续的拆除工作,整个操作流程是比较繁琐的。除此之外,钢筋混凝土支护自身的变形能力有一定的限度,在面临软弱土层的时候,就需要与其他的支护手段共同配合着来使用了。

### 2.2 钢板桩与地下连续墙支护技术

钢板桩支护技术是把钢板桩打入地下,进而形成连续的围护结构,此技术有着施工速度较快、适应性较强的优势,特别适用于软土以及地下水丰富的地方。钢板桩具备很好的密闭性能,可有效地阻止地下水渗透,降低降水的难度,确保基坑内部保持干燥状态,方便开展施工活动。地下连续墙是借助特制设备在土里挖掘出深槽,随后浇筑钢筋混凝土,以此形成连续的墙体,其抗渗能力和承载能力都很优异,尤其契合高层建筑以及地下空间深基坑工程的需求。在施工进程当中,这两种方法都能够达成快速成型的效果,减少对周边环境的干扰。不过,钢板桩受到自身截面尺寸以及材质强度的限制,在深度较大或者承载要求较高的基坑方面可能存在一定的局限性,而地下连续墙施工则需要高精度的机械设备以及较为复杂的施工工艺。

### 2.3 土钉墙与喷锚支护技术

土钉墙以及喷锚支护技术算得上是一种有着相当高灵活性且适应性颇为强大的基坑支护手段,这种方法特别契合地质条件较为稳定、边坡较陡且空间受到限制的施工现场。此项技术是借助向土体内部打入钢钉,与此同时再配合喷射混凝土的操作,进而把原本松散的土体加固成为一个完整的结构,如此一来便能够切实有效地提升基坑边坡的稳定程度。土钉墙具备施工流程比较简单、在经济层面较为实用以及工期相对较短等诸多优点,而且它可以依

据基坑的具体形状来灵活地展开布置工作,对于处理中小深度基坑的支护方面的需求而言是极为适用的。喷锚技术则是依靠高压喷射混凝土的方式,可迅速形成起保护作用的层,以此来阻止土体出现坍塌的情况,并且还能进一步增强土体表面的强度。这样的技术组合一方面能够减少对基坑周边环境所产生的影响,另一方面也方便后续开展维护以及监测相关的工作。不过需要注意的是,土钉墙还有喷锚技术对于施工工人的技术水平以及设备操作的要求是比较高的,并且在地质条件比较复杂的状况下,还需要与其他的支护措施相互结合起来使用,这样才能充分确保施工的安全性。其在深基坑施工当中的推广应用,给多样化的支护方案给予了强有力的支撑。

## 3 深基坑施工中的关键控制要点

### 3.1 围护结构施工质量控制

围护结构的施工质量在深基坑安全方面起着极为关键的作用,其任何一处存在缺陷或者质量未达标准的情况,都有可能致使基坑出现失稳的状况,甚至引发坍塌方面的事故。所以在整个施工进程当中,务必要严格依照设计规范以及技术方面的要求来切实执行,以此来保证所使用的材料质量是合格的,并且施工工艺也能够做到规范操作。施工单位需针对钢筋混凝土、钢板桩这类材料展开全面且细致的检测工作,从而避免那些劣质材料混入到施工的具体环节之中。像模板安装、混凝土浇筑、后续的养护等一系列工序,都必须给予极为细致的管理与把控,以防出现蜂窝麻面、裂缝等种种质量问题。与此还得着重去关注焊接以及连接节点的强度情况与密封性能,进而保障整个结构能够保持完整无缺的状态。在整个施工期间,要定期组织开展质量检测以及对隐蔽工程进行验收的相关工作,以便能够及时地将存在的问题给找出来并且加以整改处理。对于围护结构的质量控制而言,还应当把施工环境这一因素纳入到关注范畴之内,要极力避免基坑周边出现震动的情况,或者是施工机械对结构产生损害的情形发生。

### 3.2 土方开挖施工组织与顺序控制

土方开挖属于深基坑施工的关键阶段,其组织管理以及施工顺序会对基坑稳定性以及施工安全产生直接影响。合理的开挖方案需要遵循分层分段的原则,切忌一次性大面积开挖,以此来减少土体受到的扰动程度。并且,开挖顺序要和支护结构设计相互结合起来,优先对外围基坑展开开挖工作,以保证支护结构能够率先就位,防止裸露边坡出现失稳的情况。在施工期间,应当同步开展支撑架设以及土方运输相关工作,确保各个施工环节能够顺利衔接起来,避免出现施工盲区。对于软弱土层或者高水位地区而言,需采用将分层开挖与及时降水相结合的方式,从而降低土体所承受的压力。施工组织方面还需具备灵活性,依据现场监测数据及时对开挖计划做出优化调整,以此来确保施工安全。合理的土方开挖施工组织以及对开挖顺序

的控制,既能保障基坑边坡的稳定状态,又能提升施工效率,降低施工风险。

### 3.3 监测系统的布设与数据预警机制

对于深基坑施工风险加以有效控制而言,科学的监测系统以及及时的数据预警机制是不可或缺的。监测系统的布置务必要涵盖基坑围护结构出现的变形情况、土体发生的位移状况、地下水位的变动情况以及邻近建筑物产生的沉降程度等诸多关键指标<sup>[1]</sup>。在具体操作过程中,可采用将自动化测量仪器与人工巡检相互融合的方式,以此来提升监测数据所具有的准确性以及时效性。借助对监测数据展开实时的采集以及细致的分析,便能够动态地去掌握基坑施工的实际状态,并且可以及时察觉到其中出现的异常变化。数据预警机制需要把历史数据以及设计安全阈值相互结合起来,进而设定出多个层级的预警标准。倘若监测数据超出了所设定的安全范围,那么就能够快速地触发警报,并且随即启动应急响应程序。这一机制一方面能够切实保障施工过程中的安全状况,另一方面也为施工方案的调整给予了科学方面的依据。构建起较为完善的监测与预警体系,这无疑是实现深基坑施工过程实现智能化管理以及对风险进行主动防控的关键举措所在。

## 4 深基坑工程风险分析与控制对策

### 4.1 地质与水文不确定性风险

地质和水文条件存在诸多不确定性,这是在深基坑工程里面普遍存在的,并且很难彻底规避掉的一个风险因素。那复杂且多变的土层结构,再加上地下水的流动情况以及其水位所发生的变化,这些都会对基坑的稳定性起到直接的影响作用,使得支护结构在设计以及施工这两个方面都面临着更大的困难<sup>[2]</sup>。现场的条件又处于一种动态变化的状态,如此一来就有可能致使设计参数和实际的情况之间出现偏差,最终引发像地基沉降、侧壁失稳等一系列的问题。对于这样的风险,在施工开始之前务必要开展细致完备的地质以及水文方面的调查工作,要运用多点取样的方式以及动态监测的方法,持续对地质模型加以完善。在整个施工的过程之中,要结合实时监测所得到的数据,对施工方案做出相应的调整,采取较为灵活的降水以及减压的相关措施,以此来减少水文变化所带来的不利影响。借助系统的风险识别手段以及动态的管理方式,尽可能地将地质与水文不确定性风险给工程所带来的威胁降到最低限度。

### 4.2 支护结构失稳风险分析

支护结构出现失稳的情况,这在深基坑施工当中,可算是最为严重的一种安全隐患了。其失稳的原因是多方面的,有可能是因为设计环节存在缺陷,又或者是施工过程中出现了质量问题,还可能是材料本身的性能有所欠缺,亦或是外部环境发生了变化<sup>[3]</sup>。当支护结构失稳时,它会

呈现出大幅度的变形情况,甚至还会出现开裂乃至倒塌的现象,这对施工安全以及基坑的稳定性都会构成直接的威胁。而且其风险来源是多种多样的,在受力计算方面可能会存在误差,导致无法满足实际荷载的要求;在施工的过程中,还可能出现误操作的情况,再加上材料的老化以及自身存在的缺陷,这些都可能成为风险源。除此之外,像地震、暴雨这类突发的自然灾害,很可能会让结构负荷进一步加重,从而诱发失稳的情况发生。为了对这一风险加以控制,就需要在设计阶段着重加强其合理性与科学性,可以采用将先进的结构分析软件和丰富的工程经验相互结合起来的方式,以此来确保设计参数能够准确且合理。在施工的过程当中,要严格把控材料进场时的质量状况,同时还要规范施工工艺流程,并且要实施全程的质量监控工作。并且要结合监测系统的运用,实时且全面地掌握支护结构的实际状态,一旦发现有异常情况,就要及时采取相应的处置措施。通过这样多层次的风险控制举措,来切实保障支护结构能够处于安全稳定的状态之中。

## 5 结语

深基坑支护施工属于建筑工程里技术层面较为复杂并且风险相对较高的关键环节,其施工质量以及安全管理工作会对工程的最终成败产生直接影响。通过合理地去选择并运用多种多样的支护技术,再结合科学合理的施工组织安排以及极为严格的施工质量把控举措,是能够切实有效地对基坑稳定性予以保障,同时也可确保施工过程中的安全无虞。并且,在面对那复杂且多变的地质水文相关条件以及存在的潜在各类风险时,就需要着重强化针对风险的识别工作,做好监测预警方面的安排,还要完善应急管理措施,进而构建起较为完备的风险控制体系。唯有让技术方面和管理层面做到两手都要抓、两手都要硬,才能够达成深基坑施工的安全且高效的境界,推动建筑工程朝着可持续发展的方向迈进。在未来,随着施工技术以及智能监测手段不断地取得新的进展,深基坑支护施工将会变得更为科学、更为精准,由此也能进一步促使工程的安全水平得以提升,施工质量获得提高。

### [参考文献]

- [1]田冲.建筑工程施工中深基坑支护施工技术管理探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2025(17):99-101.
  - [2]焦永胜.建筑施工中深基坑支护技术进展[J].石河子科技,2025(3):54-56.
  - [3]陈超,曹辉.建筑工程中深基坑支护技术的应用分析[J].中华建设,2024(12):147-149.
- 作者简介:赵言(1989.2—),单位名称:中国二十二冶集团有限公司,毕业学校和专业:河北联合大学轻工学院,土木工程。



# 公路工程项目路基路面压实施工技术的应用分析

何 静

平湖市飞越交通工程有限公司, 浙江 嘉兴 314200

[摘要]在公路工程建设中,压实是关键一环,关系到公路的平整性,路基塌方、路面裂缝等均与压实技术应用不合理有关,因此应该做好路基路面的压实工作。本篇文章主要以公路工程项目路基路面压实施工为切入点,简要阐述压实施工的必要性,着重分析路基路面压实施工技术的具体应用,并明确了施工期间需要注意的事项,以促进路基路面施工质量的提升。

[关键词]公路工程;路基路面压实;施工技术

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17624

中图分类号: U416

文献标识码: A

## Application Analysis of Roadbed and Pavement Compaction Construction Technology in Highway Engineering Projects

HE Jing

Pinghu Feiyue Traffic Engineering Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314200, China

**Abstract:** In highway engineering construction, compaction is a key link, which is related to the smoothness of the highway. Roadbed collapse, pavement cracks, etc. are all related to the unreasonable application of compaction technology. Therefore, the compaction work of roadbed and pavement should be done well. This article mainly takes the compaction construction of roadbed and pavement in highway engineering projects as the starting point, briefly expounds the necessity of compaction construction, focuses on analyzing the specific application of roadbed and pavement compaction construction technology, and clarifies the matters that need to be paid attention to during the construction period to promote the improvement of roadbed and pavement construction quality.

**Keywords:** highway engineering; compaction of roadbed and pavement; construction technology

### 引言

路基路面压实作为公路工程中的重要环节,不仅可以为工程质量的提升提供保障,还能将工程使用寿命延长。近年来,我国公路建设步伐在加快的同时,对路基路面施工的要求也明显提升。压实是路基路面中的关键工序,压实效果会对路基稳定性、路面平整性产生较大影响。故而,为避免路基路面后期出现塌方、裂缝等问题,应该对压实施工技术深入研究。

### 1 公路工程项目路基路面压实施工的作用

#### 1.1 确保路基路面平整

在组织开展公路工程项目路基路面施工作业时,合理利用压实施工技术,加强各个环节的控制,对路基路面结构平整性的提高有促进作用。倘若路基路面压实度没有达到既定标准,很难让设备正常通行,各个路面区域填充物的高度也无法保证平整。而若选用合适的压实施工工艺以及设备,则可以将此问题解决,将平整度把控在可控范围,确保路基路面在使用过程中不会有不均匀沉降、凹凸不平等情况发生,避免使用期间出现安全事故<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 提升路基路面耐用性

在路基路面施工期间,需要对耐用性严格要求,满足施工设计标准,如若耐用性与施工要求不一致,工程项目在建成投入运营后,使用寿命将会缩短。在施工过程中<sup>[2]</sup>。路基路面的耐用性会被各方面因素影响,包括施工材料质

量、工艺水平、现场条件等,如若其他基础施工条件均与建设标准相符,则要将路基路面压实施工工作做到位,增强施工工艺的合理性、规范性,从整体角度上促进路基路面耐用性水平的提高。

### 2 公路工程项目路基路面压实施工技术的应用

#### 2.1 施工前期准备

为保证公路工程项目正常推进,提高路基路面压实施工效率和水平,使工程质量达到设计标准,在项目实施前,应该做好前期准备工作,对影响施工的各方面要素加强把控,并做好技术交底工作,保证后续施工作业能有条不紊地进行,从源头将质量、安全隐患消除。具体而言,在施工前,对施工图纸、设计方案等严格审核,注意细节的检查,相关负责人要通过会审的方式,从不同层面对图纸进行分析,找出施工图中存在的问题,诸如理论与实践不符、数据计算不正确等,并在施工前做好方案的调整工作,确保正式施工过程中不会出现工程变更等问题,提升路基路面压实施工的规范性<sup>[3]</sup>。在资源方面,根据现场情况和施工要求灵活分配,准备好施工所需的材料以及设备,明确压实各环节的负责人及具体内容,施工期间要严格按照标准将各项任务完成。

#### 2.2 压实方案制定

为保证压实施工作业正常推进,应该以工程项目的建设要求为基础,制定合理的压实方案。通常情况下,在含

水量、土体力学性质、应用压实设备等多方面因素的干扰下,路基路面压实过程中,可能出现压实度不达标的情况,所以要提前对压实方案进行优化和调整<sup>[4]</sup>。为保证制定的方案更为可行、合理,需要在施工前进行试验。在开展压实试验期间,立足工程项目实际,利用现有压路机等设备,在确保各项压实技术参数科学、经济的前提下,对具有代表性的公路段进行试验,长度在 100m 以上。针对试验路段,最好进行重型压实处理,了解土壤最大干密度、最佳含水量等参数,以便后续施工质量能达到要求。为保证各项性能达到最佳,可以绘制关系曲线,并将其作为土壤含水量把控的依据。压实技术参数通常和土壤类型有关,针对砂土,在路基路面压实过程中,压实和碾压次数偏少,黏土则要适当增加次数。

### 2.3 压实设备选取

压实施工工作的开展需要有先进的设备辅助,因此压实设备的选取格外重要,以施工现场条件和施工要求为依据,选择合适的压实设备,保证设备的功能可以充分发挥,促进压实效果的提高<sup>[5]</sup>。现阶段,振动压路机、轮胎压路机等应用较为常见,具体选取何种设备,还要通过对各项性能的对比、施工现场条件等,选择最为合适的机械,确保压实过程中路面的平整度能提高。振动压路机的振动功能较强,对提升路基填料、路面混合料压实度有促进作用,可以增强路面的整体平整度。轮胎压路机则是以自身重力为基础对路基路面进行压实,能使材料更为稳定。如果公路工程项目所在区域为砂性土,最好利用振动压路机,黏性土则可以利用夯击式压路机。

### 2.4 含水量测量

为将路基路面压实施工技术的优势发挥到最大,在保证压实设备选取合理、科学的前提下,也要将含水量的测量和控制工作落实好。路基强度和稳定性、压实度之间为正比关系,而压实度和含水量之间也有较大联系,如果含水量在最佳范围内,压实碾压工作在开展过程中,填土干密度能达到最大,压实度可以满足设计要求。在对土体含水量控制过程中,应该比最佳含水量高,以便压实施工作业能始终处在良性的条件下。需要明确的是,含水量如果比最佳含水量高,则要将数值控制在 1%以内,倘若路基填土做加水处理,在取土前一天在取土坑内洒水,或者将填土运送到压实填筑现场后,将洒水车与拌和设备联合,使喷洒、搅拌工作同步推进。

### 2.5 路基压实施工

路基路面压实施工期间,路基的压实是关键,关系到工程的整体质量和效果,在开展此项工作前,需要对含水量再次测量,如果含水量没有达到设计要求,应该采取洒水润湿处理,如果含水量比设计要求高,需要利用摊铺晾晒的方式处理。压实工作在开展过程中,压路机的速度要控制好,先慢速运行,每小时的行进速度在 4km 以下。

碾压期间,先从路基直线段两侧开始,逐步朝着中间碾压,针对小半径曲线段,则要先从内部开展碾压工作,而后逐步朝着外端扩展。倘若公路工程项目应用的是振动压路机,在压实过程中,横向接头部位要有重叠,具体范围控制在 40~50cm,若利用的是三轮式压路机,同样要控制好重叠范围,具体为后轮宽度的 50%。相邻位置碾压区域应将纵向重叠的宽度控制好,即 100~150cm。

压路机初步碾压工作结束后,需要对路基全面检查,了解是否有遗漏、死角等情况,并对其均匀程度准确判断。若选用振动式压路机,碾压过程中要在初压期间进行静压,先缓慢碾压,然后适当将行进的速度加快。对于通行重型车辆的路段,要对行车路线科学规划,保证重型车辆的压实优势能充分发挥出来。重型车辆的轴载较大,能够为路基压实提供辅助。但要明确的是,重型车辆在行驶过程中,需要在同一条路线上,且不能有碾压过度、车辙等现象发生,以免对路基的稳定性造成影响。在路基压实期间,对车辆合理安排,最好在全幅度内采取分开行驶的办法,以便压实功能在充分发挥的同时,路基质量能够达到要求。为避免路基出现质量问题,还要做好检查工作,具体参数如表 1 所示。

表 1 公路路基压实检查参数

| 序号 | 名称   | 允许偏差/规定值 | 频率                                |
|----|------|----------|-----------------------------------|
| 1  | 压实度  | 93%      | 以 1000m <sup>2</sup> 为基础,设定 3 个点位 |
| 2  | 平整度  | 20mm     | 以 1000m <sup>2</sup> 为基础,设定 4 处   |
| 3  | 宽度   | 不小于设计值   | 以 200m 为基础,设定 4 处                 |
| 4  | 中线偏位 | 100mm    | 以 200m 为基础,设定 4 处                 |

### 2.6 路面压实施工

在组织开展路面压实施工作业过程中,可以利用直来直回的施工工艺,不能在碾压路面上有倒轴现象发生。碾压时要控制好压路机的速度,最好保持匀速。因为压路机类型不同,碾压次数自然存在差异,具体要根据实际情况而定,如表 2 所示。

表 2 不同类型压路机碾压此时

| 设备类型 | 初压    | 复压    | 终压    |
|------|-------|-------|-------|
| 钢筒式  | 2~3 次 | 3~5 次 | 3~6 次 |
| 轮胎式  | 2~4 次 | 4~5 次 | 4~6 次 |
| 振动式  | 2~3 次 | 3~4 次 | 3~5 次 |

在明确碾压路线、方向后,在没有特殊要求的情况下,不能对路线、方向随意更改,以免摊铺层出现位移问题。碾压段的长度要保持稳定,折回位置要以摊铺情况为依据,针对性地进行调整,水平方向不能在同一断面上。路面碾压工作结束后,对平整度、压实度等重要参数仔细检查,了解是否能达到设计标准。在没有开裂、推移等情况下,每一碾压段均要在高温条件下进行,低温条件下不能反复碾压,以免出现石料压碎、棱角磨损等问题。在路

面压实期间,混合料摊铺温度需要严格控制,通常在 $130\sim 140^{\circ}\text{C}$ ,碾压处理期间混合料内部温度通常在 $125\sim 135^{\circ}\text{C}$ ,碾压工作结束后路面表面温度为 $60\sim 75^{\circ}\text{C}$ 。压路机在使用过程中,无论选用哪种类型,均要保证整洁,不能有任何杂质,以免在压实期间轮胎被杂物黏附。此外,将洒水量控制好,不能有漫流现象发生,防止混合料的温度下降,具体流程如图1所示。

在进行路面压实过程中,如果采取两台摊铺机同时工作的模式,后方位的摊铺机在工作期间,应该和前方设备重叠一定宽度,并且在接茬位置,混合料要保证充足,后方摊铺机的熨平板延伸到前方摊铺带,具体在 $5\sim 10\text{cm}$ 。上下层位置的纵缝应该错开,控制好距离,通常在 $15\text{cm}$ 以上。在处理接缝过程中,利用全幅一次碾压的办法,如果施工所在位置不能达到此要求,则要在前方摊铺带上进行碾压,后方摊铺带预留一定宽度,具体在 $20\sim 30\text{cm}$ ,不对此位置进行碾压,让其与后方摊铺带同步碾压。

### 2.7 压实质量检测

在路基路面压实施工结束后,质量检测是关键,利用先进的设备辅助,了解压实效果能否达到设计要求。在检测期间,可以使用散射法,直接应用在基层材料压实质量的检测上。或者利用核子密度仪法,先确定检测的位置并对仪器预热,稳定后对设备测试,之后开展测量工作并收集数据信息。在此环节,需要严格按照规范操作,以既定的测量方案为基准,以免测量数据有误差。测试结束后,保管好仪器设备,避免损坏、安全事故等出现,保证后续工作能正常使用。

## 3 公路工程项目路基路面压实施工技术应用注意事项

为保证路基路面压实施工作业能够在规定时间内保质保量地完成,在压实施工技术应用过程中,应该格外注意以下几点:

### 3.1 做好新旧路基的连接和压实工作

公路工程项目在实施过程中,可能同时存在新旧路基,在对新路基路面挖掘期间,原有路基路面可能会受影响,二者之间会有边界形成,倘若不能对此细节格外注意,利

用科学的方式处理,施工质量将很难达到要求。因此,在压实施工期间,应该将新旧路基连接工作做到位,加大压实力度,对压实点以及试样科学布置,反复多次地进行检查,保护施工期间不会有偏差、误差等问题存在。在压实期间,如果压实坑的深度较深,致使锤子的提起难度增大,此时需要将夯击工作停止,仔细检查,在确保没有任何问题后重新开展施工工作,如果平均沉降量没有超过 $2\text{cm}$ ,说明夯击达到要求。

### 3.2 合理运用原有路面

为将路基路面压实施工的时间缩短,有效节约施工成本,应该注意对原有路面的合理应用,针对性地制定路基路面施工方案,确保压实施工作业能正常推进。与共振碎石的处理的方式相比,直接破除可以将施工难度降低。在路基路面设计期间,各方面要素综合考量,包括运输需求等,并对施工所在地的水文以及土壤条件深入分析,合理地进行设计,提升设计的可行性与可操作,避免后期出现裂缝等问题。

### 3.3 强化路基路面含水量把控

为保证施工质量达到设计要求,避免路基路面后期使用过程中出现裂缝、不均匀沉降等情况,在压实施工过程中,还应该将土壤含水率控制好,加大监测力度。在此期间,可以利用烘干法、称量法等。在施工前,对现场土壤含水量进行监测,尤其是在雨天、高温等天气下,土壤含水量应该严格把控。在开展开挖以及填土施工期间,应该确保土壤含水量适宜,黏性土的含水量把控在 $10\%\sim 22\%$ ,砂土的含水量把控在 $8\%\sim 12\%$ 。为提升含水量监测精准性,应选用先进的设备,自动化管控与处理,对土壤含水量的变化情况动态掌握。

### 3.4 严格检查压实机设备

压路机的性能会直接影响路基路面压实效果,因此在施工期间,应该对压实机械设备严格检查,各项性能均要保持稳定,设备能正常运转。在设备运行期间,操作人员应结合土壤性质、现场条件等,灵活调整操作参数,保证路基路面压实质量能达到预期。同时,做好机械设备的管理工作,将其纳入设备日常维护计划中,使设备的运行状态始终保持平稳。

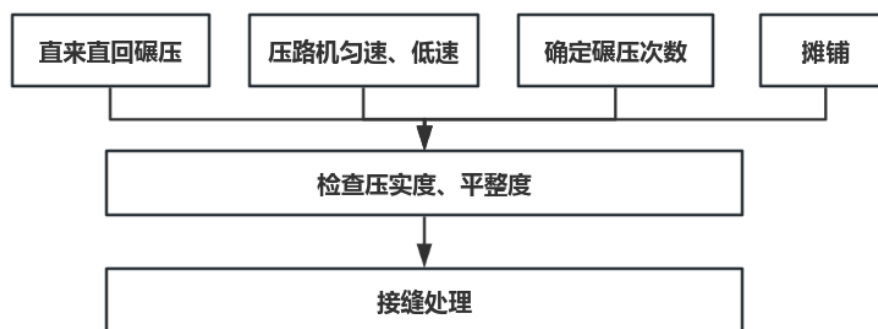


图1 公路路面压实施工流程



#### 4 结束语

综合而言,公路工程项目在施工期间,路基路面压实是重要环节,合理选用施工技术,不仅可以促进路基路面压实水平的提升,还能增强路基路面的整体性能,延长工程的使用寿命。故而,相关人员应该对路基路面压实施工高度重视,以工程实际为出发点,使用先进的设备和技术,在明确施工要点的基础上,注意施工各环节的管理,以便施工作业能顺利进行。

#### [参考文献]

[1]白月.公路工程施工中路基路面压实技术的应用[J].居业,2025(5):61-63.

[2]谭云国.公路工程路基路面压实施工技术的有效应用[J].中国储运,2023(11):198-199.

[3]张立军.公路工程项目路基路面压实施工技术[J].交通世界,2023(23):58-60.

[4]蒲鹏.公路工程项目路基路面压实施工技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(14):109-111.

[5]薛英.公路工程项目路基路面压实施工技术探究[J].四川建材,2022,48(4):197-198.

作者简介:何静(1979.7—),女,学历:西南科技大学,土木工程,本科,工程师。

# 桥梁钻孔灌注桩后压浆施工技术与承载力提升研究

刘 伟

青海省公路工程咨询监理有限公司, 青海 西宁 810000

**[摘要]**桥梁钻孔灌注桩后压浆施工对提高桩体承载力和保障结构稳定性起着关键作用。依据施工经验,探究了后压浆施工的技术关键,包含浆液配制方式、分段压浆操作、注入工艺手段以及质量控制办法,还分析了其对桩身承载性能的增强效果。恰当的后压浆施工可有效填补桩孔和土体间的空隙,增大桩端及桩身的摩阻力,提高桩体整体的稳定性,为桥梁基础设计施工给予科学参考。

**[关键词]**桥梁基础; 钻孔灌注桩; 后压浆; 承载力提升; 施工技术

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17611

中图分类号: TU47

文献标识码: A

## Research on the Construction Technology and Bearing Capacity Enhancement of Bridge Drilling and Grouting Pile after Grouting

LIU Wei

Qinghai Highway Engineering Consulting and Supervision Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

**Abstract:** The post grouting construction of bridge bored pile plays a key role in improving the bearing capacity of the pile and ensuring the stability of the structure. Based on construction experience, the technical key points of post grouting construction were explored, including slurry preparation method, segmented grouting operation, injection process, and quality control methods. The enhancement effect on the bearing performance of the pile body was also analyzed. Proper post grouting construction can effectively fill the gaps between pile holes and soil, increase the frictional resistance of pile ends and shafts, improve the overall stability of piles, and provide scientific reference for bridge foundation design and construction.

**Keywords:** bridge foundation; drilled pile; post grouting; capacity enhancement; construction technology

### 引言

桥梁工程作为交通基础设施里的重要一环,基础施工质量直接决定桥梁整体安全和使用时长。鉴于钻孔灌注桩施工适应性良好且承载力高,普遍用于桥梁基础。然而,桩体施工结束后,桩孔和周围土体或许存在细微空隙,这会削弱桩体与地基的整体协同力,进而限制桩体承载力的充分施展。后压浆施工技术作为一种高效的桩体补强方法,能在灌注桩完工后注入高性能浆液来加固桩体,促使桩体与土体形成更紧密的一体化结构,增强承载力与桩体稳定性。本文针对桥梁钻孔灌注桩后压浆施工技术展开研讨,归纳其施工方式、质量把控以及对承载力提高的成效,为工程实践提供参考。

### 1 后压浆施工原理

后压浆施工关键是运用具备高流动性和高填充性的浆液,将其注入桩孔与周边土体间的空隙,让桩体与地基紧密结合起来。此过程不只是桩体施工结束后的补强举措,更是增强桩体承载力与结构稳定性的核心步骤。在施工过程中,压力驱使浆液沿桩身四周均匀渗透,形成连贯的补强层,由此提高桩身与土体的摩擦阻力,让桩端负荷更均匀地分散到土体里。均匀受力的状况能有效缓解桩端局部应力集中现象,缩小沉降差异,增强桩体整体稳固性<sup>[1]</sup>。

同时,后压浆施工使浆液与桩身及周边土体相结合,

形成了桩-浆-土整体结构。该整体性结构不仅增强了桩体与土体的界面结合强度,还强化了桩身抵抗侧移和倾覆的能力,使桩体在承受桥梁上部结构荷载时能更好地体现力学性能。当处于软土或者孔隙大的土层环境中,原始灌注桩和土体之间或许存在微小空隙,若不实施后压浆处理,桩体受力过程中易发生沉降、偏移或局部失稳现象。采用后压浆工艺,浆液可充分填满这些空隙,构建高强度的结合层,大幅降低桩体沉降与位移,增强基础承载能力。

### 2 施工技术要点

#### 2.1 浆液配制

在桥梁钻孔灌注桩后进行压浆施工期间,浆液的配制情况是影响施工成效的关键因素。后压浆的主要目标为借助浆液填充桩周土体跟桩身之间的微小缝隙,构建稳固的桩-浆-土一体化结构,进而增强桩体的承载能力和长期稳固性。因此,浆液要拥有高流动性、早期强度提升迅速、泵送性能佳以及低收缩性等特质。凭借高流动性,浆液可顺利渗透进桩周微缝隙,即便桩周岩土存在不均匀状况或微小孔隙,浆液仍可充分填充,杜绝“空腔”现象产生,保障桩体与土体紧密结合。早期强度增长迅速有助于施工完毕后浆液迅速凝结,促使桩体早期承载能力及时增强,保障后续桥梁施工不受桩体沉降干扰顺利开展。良好的泵送性能可保障浆液在长距离输送和高压注入时不会出现

管道堵塞或浆液分层现象,进而保障施工的连续性与均匀性<sup>[2]</sup>。

## 2.2 分段压浆

在深桩或大直径桩施工中,单次注浆通常难以让浆液在整个桩周均匀散布,易产生局部空隙或压浆不充分的情况。因此,分段压浆成为保障施工质量的核心技术,分段压浆基本做法为沿桩体纵向划分出若干施工段,逐段依次开展注浆作业,且在注入时逐渐增大压力,让浆液充分渗入桩周土体,形成连续且密实的补强层。该方法既能调控注浆压力,规避高压引发的桩体位移与土体扰动问题,还能使每一段的浆液都得到充分填充,以此提高桩-土整体结合力。在实际施工时,施工单位要依据桩长、土层分布以及注浆泵能力来明确段长与注浆顺序,每段注浆结束后一般安排短期养护时段,让浆液凝固初步达成补强成效,接着开展下一段注浆,以此保障整体浆液充盈率。

## 2.3 注入工艺

注浆管布置和移动的方式,是后压浆施工里决定桩体承载力提升成效的关键要素之一。钻孔灌注桩施工完毕后,桩体跟周边土体间往往存在一些细微空隙或孔隙,若后压浆时浆液不能充分渗入这些空隙,极有可能引发局部未填满、浆液分层或者桩周结合不紧实的问题,进而影响桩体摩阻力和桩端承载力的发挥。因此,注浆管合理布置且科学移动,是保障浆液均匀散布、形成完备桩-浆-土整体架构的重要基础。

在实际施工时,一般采用让注浆管沿着桩身逐段上下移动的方式。具体的操作流程如下:把注浆管放到桩顶处,慢慢下沉到设计位置,各段注浆均按照规定压力与流量注入,让浆液均匀渗入桩周土体的空隙,完成注浆操作后,让管道慢慢往上移动或者按照设计段落进行水平偏移,保障浆液可充分覆盖桩周区域,防止漏浆或局部空洞出现。将分段注浆与上下移动结合起来的办法,既能提升浆液注入的均匀性,又能有力管控注浆压力,防止因压力过高引发桩身位移或土体扰动。

在注浆作业期间,施工人员要实时监测注浆压力与流量。这是保证浆液充盈率以及施工质量的紧要环节,依靠压力监测,能判定浆液是否成功渗入桩周土体;流量监控能让每段注浆的浆液量与设计要求相契合,若监测表明压力不正常或流量不够,需马上调整注浆泵输出参数,也或对注浆管在桩孔中的位置作出调整,杜绝局部空隙形成。若未及时进行调整,或许会造成浆液在桩周分布不均衡,致使桩体摩阻力与桩端承载力下降,危及桥梁基础整体稳定性<sup>[3]</sup>。

对于深桩或者倾斜桩而言,单根注浆管通常难以实现浆液的均匀渗透。面对此情形,可运用多根注浆管同步注浆或者循环注浆的方式。多根管道同步注浆能扩大桩周空间的覆盖范围,让浆液分布更为均匀;循环注浆可在一次

注浆结束后,重新安置注浆管开展二次或多次注浆,保证浆液充分渗透到土体微孔隙中,增强补强成效。特别是处于高地下水位或者松散土层的环境时,循环注浆能补充一次注浆未能渗透的区域,进而提升桩体的承载力与稳定性。

## 2.4 质量控制

后压浆施工的质量把控在桥梁钻孔灌注桩施工中极为关键,能保障桩体承载力提高和长期稳定。钻孔灌注桩施工完毕后,桩体和周边土体间或许存在细微空隙或孔隙,若浆液注入不足或注浆压力调控不佳,会直接对桩体与地基的紧密结合造成影响,从而对桩体摩阻力、桩端承载力以及基础整体稳定性造成影响。后压浆施工期间,执行全程、科学又严格的质量把控措施,对保障桥梁基础结构的安全起着关键作用。

在观测桩体沉降,能直观展现桩体在注浆时的受力与位移状况。沉降观测一般运用高精度水准仪、激光测距仪或者自动监测系统,对桩顶以及关键截面进行实时测定。若桩体沉降超出设计许可值,或意味着浆液注入不均,或反映注浆压力设置欠妥,要马上调整注浆管位置、注浆压力或者流量,让浆液能充分渗透桩周土体并实现紧密结合。沉降观测能协助施工人员评估不同土层与桩体的相互反应,迅速察觉潜在隐患,实施补救手段,防止桩体在后续荷载作用时产生异常沉降或倾斜<sup>[4]</sup>。

对注浆压力的监测是质量控制的又一核心要点。后压浆施工期间,要严格把注入浆液的压力控制在设计区间,一方面要保证浆液可顺利渗入桩孔与土体间空隙,又要防止因压力过大导致桩周土体受扰或桩身移位。一般运用压力传感器对注浆管端压力变化进行实时监测,同时配合流量计监控浆液输送情况,若监测数据呈现异常状况,如压力过高或者流量不足,施工人员要立刻对注浆泵参数进行调整或重新布置注浆管的位置,避免局部空隙或浆液分布不均问题出现。

此外,对浆液性能的质量把控同样不容小觑。后压浆浆液应具备高流动性、优良泵送性能和快速早期强度等特点,保证注入时能充分填满桩周空隙,固结后提供充足承载能力。因此,施工前期和施工期间,要对浆液样品的流动性、密度、凝结时间及早期抗压强度等指标进行检测,涉及流动性、密度、凝结时间与早期抗压强度等指标。严格把控浆液性能,能让注入桩体的浆液在固结后与桩身、土体形成一体化结构,增强桩体摩阻力与桩端承载力,同时降低后期出现沉降和位移的风险<sup>[5]</sup>。

## 2.5 承载力提升效果

后压浆施工可明显提升钻孔灌注桩的承载能力,特别是在软土区域以及土体孔隙丰富的地层中,其效果更为显著。在传统钻孔灌注桩施工完毕后,因桩体和周围土体间或许存在微小空隙,且孔隙未完全填满,桩-土整体结合力欠佳,致使桩体摩阻力和桩端承载力难以充分施展。在



此情形下,桩体承受上部结构荷载时易出现沉降过度、荷载传递不均衡或局部应力聚集的状况,由此影响到桥梁基础的稳定与安全。后压浆施工借助高流动性浆液填充桩周的空隙,促使桩体与土体形成一体化结构,切实提升了桩周摩阻力和桩端承载力,从根本上化解了这一难题。

在实际施工过程中,后压浆施工可大幅优化桩体受力性能。浆液灌入桩孔与土体的缝隙后,借助压力让桩周土体与桩身紧密相连,形成连贯的补强层,增强桩周摩阻力。这种强化效果并非仅体现在桩体承载的初始阶段,也就是在桥梁施工时,桩体可承受设计荷载且不会产生过大沉降;同时,经过长时间的运行,因桩-浆-土整体结构构建完成,桩体极限承载力明显提高,桥梁基础的整体稳定性与抗倾覆能力也得以增强。在软土或流塑土层,后压浆的效果十分显著,原因是这些土层孔隙率大,原本桩体与土体的结合较为松散,实施后压浆能有效填充孔隙,减少土体位移,提升摩阻力和抗剪承载力。

此外,经施工监测和荷载试验对比分析可知,后压浆施工能让桩体极限承载力提升大致 10%~25%,此提升幅度受土层性质、桩径和桩长等因素影响而有差异。例如,在黏性土层里,浆液可充分渗入土体孔隙,加固成效突出;在砂土或砾石土层里,虽然桩身摩阻力提升相当明显,然而桩端承载力提升的幅度相对不大。监测数据进一步显示,后压浆施工之后桩体沉降速率大幅降低,沉降量分布更为均匀,说明桩体在荷载作用下受力状态渐趋稳定,土和桩之间的接触应力分布变得更加均匀,对桥梁结构整体安全有益<sup>[6]</sup>。

另外,后压浆施工对桩体长期性能的改善效果也十分明显。使用期间的桩体,因上部结构荷载以及地基土体沉降,或许会出现微小位移或倾斜。后压浆造就的桩-浆-土一体化结构可有效抵御这种位移,借助增大桩周摩阻力以及桩端承载力,增强桩体抗倾覆性能与承载均衡性,减少桩体局部的过载现象以及结构应力的集中状况,以此延长桥梁基础使用寿命。借助浆液与土体的黏合,桩体与周边地基构建更紧密联系,降低桩体的震动与微小位移,提升桥梁在风载、震动等外界荷载作用时的整体稳定性与安全性。

在工程实际运用里,多项桥梁工程证实了后压浆施工的实践效果。例如,在软土地带开展的桥梁建设里,经后压浆处理的钻孔灌注桩在承载力测试里,桩周摩阻力提升大约 15% - 20%,桩端承载力增长约 12%到 22%,明显比

未压浆桩体的承载效果要好。同时,施工监测表明,后压浆显著降低了桩体的沉降量,改善了桩体受力的均匀状况,有力维护了上部桥梁结构的稳定性。开展大直径深桩施工,借助分段压浆、压力监控及多点注浆技术,既确保浆液均匀渗入桩周土体,又进一步提升了桩体承载性能,达成高效施工与结构加固双目标。

后压浆施工技术能明显增强桥梁钻孔灌注桩的摩阻力与桩端承载能力,尤其是在软土以及孔隙多的土层里效果显著。经施工监测、荷载试验和沉降观测证实,后压浆可使桩体极限承载力提升幅度达 10%~25%,并且增强桩体整体稳固性、抗倾覆能力以及长期使用效能,为桥梁基础提供可靠支撑。该技术对于保障桥梁结构安全、提升承载性能以及延长服役寿命有着重大的工程应用价值,是现代桥梁施工中必不可少的桩基优化方法。

### 3 结语

桥梁钻孔灌注桩后压浆施工技术能显著提升桩体承载力,增强桩身和地基的结合力,进而提高整体稳定性。借助科学配置浆液、合理划分注浆段、规范注入操作以及严格质量管控,可保障后压浆施工成效。实际工程验证,此技术可切实提升桩体力学性能,保障桥梁基础的安全性与使用寿命。未来,可融合数值模拟与施工监测技术,进一步改进后压浆施工参数,促成施工技术与承载力提升的高效契合。

### 【参考文献】

- [1]余科宏.山区公路桥梁钻孔灌注桩施工关键技术研究[J].工程技术研究,2025,10(11):77-79.
- [2]武泉.公路桥梁钻孔灌注桩后压浆技术分析[J].黑龙江交通科技,2025,48(4):85-89.
- [3]董德全,贺江平.桥梁钻孔灌注桩分布式后压浆施工技术[J].施工技术(中英文),2025,54(6):134-138.
- [4]李彬.后压浆钻孔灌注桩在公路桥梁工程中的应用[J].交通世界,2024(20):126-128.
- [5]许佳林.基于钻孔灌注桩后压浆技术的桥梁优化建设研究[J].工程建设与设计,2024(13):120-122.
- [6]范超雪.公路桥梁超大直径钻孔灌注桩桩端后压浆施工技术[J].中国公路,2024(10):108-109.

作者简介:刘伟(1990.1—),毕业院校:广西科技大学鹿山学院,所学专业:土木工程,单位名称:青海省公路工程咨询监理有限公司,就职单位职务:专业监理工程师,职称级别:中级工程师(一建公路专业)。

## 建筑工程管理技术及控制要点研究

范 翔

伊犁建设工程有限责任公司, 新疆 伊宁 835000

**[摘要]**建筑工程得以高效、优质且安全地实施,这离不开施工方对先进管理理论以及关键技术的切实掌握,同时也需要其精准把控全过程控制要点。此项研究从施工方核心诉求出发,全面且细致地梳理现代工程管理理论的发展脉络,并且深入剖析像 BIM 集成、智慧工地、绿色建造这类关键技术在施工场景中的应用价值以及具体实施路径。着重关注质量、进度、成本、安全以及合同风险这五大控制维度的关键要点,进而提出包含组织优化、信息协同、流程再造还有人员培养在内的管理效能提升策略。相关研究表明,施工方只有将先进技术与管理实践充分融合起来,同时强化全过程的精细化管控举措,才能够切实有效地提升自身的项目履约能力以及市场竞争力。

**[关键词]**建筑工程管理; BIM 技术; 智慧工地; 安全管理

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17636

中图分类号: U41

文献标识码: A

## Research on Construction Engineering Management Technology and Control Points

FAN Xiang

Yili Construction Engineering Co., Ltd., Yining, Xinjiang, 835000, China

**Abstract:** The efficient, high-quality, and safe implementation of construction projects relies on the construction party's practical grasp of advanced management theories and key technologies, as well as their precise control of the entire process control points. This study starts from the core demands of the construction party, comprehensively and meticulously sorts out the development of modern engineering management theory, and deeply analyzes the application value and specific implementation path of key technologies such as BIM integration, smart construction sites, and green construction in construction scenarios. Focusing on the key points of the five control dimensions of quality, schedule, cost, safety, and contract risk, and proposing management efficiency improvement strategies including organizational optimization, information collaboration, process reengineering, and personnel training. Related studies have shown that only by fully integrating advanced technology with management practices and strengthening refined control measures throughout the entire process can construction companies effectively enhance their project performance capabilities and market competitiveness.

**Keywords:** construction project management; BIM technology; smart construction site; safety management

### 引言

建筑工程管理是一项复杂且多维度的工作,涉及项目的计划、施工、成本控制和安全保障等多个方面的内容。随着建筑工程项目规模的不断扩大、复杂程度的逐渐增加,如何有效地管理和控制上述关键要素,成为了业界关注的焦点。传统的管理方法在面对新技术、新材料和新工艺的挑战时,逐渐显现出其局限性。因此,探索和应用先进的管理技术和控制要点,不仅可以提高工程的整体管理水平,还能有效降低风险,确保项目顺利进行。

### 1 建筑工程管理核心理论

#### 1.1 现代工程管理理论发展

现代工程管理理论已然经历了颇为深刻的变革,从传统的经验管理朝着科学化、系统化以及信息化的方向转变。施工方在实际开展项目的过程中,已经渐渐抛弃了仅仅单纯关注进度和成本的那种较为狭隘的观念,而是去采纳一种融入了系统论、控制论还有信息论精髓的集成化管理理念。项目管理知识体系 PMBOK 以及精益建造 Lean Construction 理念在不断地传播开来,这给施工方带来了

结构化的办法以及持续改进的工具,使得资源配置的效率以及过程协同的水平都得到了较为明显的提高。国际项目管理协会 IPMA 所提出的能够基线 ICB 模型,同样也给施工企业的管理人员在能力评估以及提升方面提供了在国际上通用的参考标准。理论每发展一步,都会要求施工方进一步提升自身管理的科学性以及前瞻性。

#### 1.2 全生命周期管理框架

全生命周期管理要求施工方把目光延伸至项目规划、设计、施工、运维直到拆除的整个链条,虽说施工阶段处于核心位置,然而施工方得透彻理解自身工作在整个链条里的承上启下作用,在施工阶段全面考量设计意图的可施工性以及未来运维的便利性,这是达成项目全生命周期价值最大化的重要环节,这就需要施工方积极投身于前期策划工作,运用价值工程方法来优化方案,并且在施工进度中赋予建筑产品持久的耐久性与易维护性特质,施工方的价值创造,就这样贯穿了建筑从诞生直至终结的漫长时间。

#### 1.3 项目管理标准化体系

构建并实施标准化的项目管理体系,这是施工方提高

管理效率、保证交付品质以及把控运营风险的关键基础所在。该体系一般包含技术标准、管理标准以及工作标准这三个维度,涉及到工艺流程、质量控制点、安全操作规程、成本核算方法、合同管理范本以及信息流转规则等诸多方面<sup>[1]</sup>。我国建筑业协会所颁布的工程建设施工企业质量管理规范 GB/T50430,为施工企业构建质量管理体系给予了在国家层面具有权威性的指导。推进标准化并非是对创新加以束缚,相反它能够成为施工方达成规范化运作、复制成功经验的有力保障,同时也是衡量企业管理成熟程度的一个重要标示。要建立并维护起一套行之有效的标准体系,施工方得持续投入资源并且坚定地去执行。

## 2 关键技术应用

### 2.1 BIM 技术集成管理

建筑信息模型 BIM 技术已然从单纯的三维可视化工具逐步发展成了能够对施工全过程予以精细化管理的核心平台。施工方借助深化设计模型,便能够提前开展碰撞检测工作,如此一来,现场返工的情况得以大幅减少;凭借 BIM 模型来模拟与优化施工方案,尤其是 4D 以及 5DBIM 的应用,可直观地呈现出进度计划以及资源消耗情况,进而辅助做出精准的决策;依靠基于模型所进行的工程量自动统计,成本预算与控制的效率以及准确性都得到了极大的提升。依据住房和城乡建设部所公布的信息来看,明确指出到 2025 年的时候,甲级勘察设计公司还有特级、一级房屋建筑工程施工企业务必要实现 BIM 技术的深度应用,新建的政府投资工程普遍都会采用 BIM 报建审批的方式<sup>[2]</sup>。BIM 技术的深度集成应用正在对施工方的作业模式与管理流程进行着深刻的重塑,已然成为了项目取得成功必不可少的技术支柱。施工方得投入相应的软硬件资源,并且要着力去培养 BIM 专业人才,唯有如此,才能够有效地掌控这项有着巨大潜能的变革性技术。

### 2.2 智慧工地技术体系

智慧工地乃是物联网 IoT、大数据、云计算以及人工智能 AI 等诸多信息技术同施工现场紧密融合之后所产生的产物,其可为施工方赋予一种前所未有的实时感知能力、全面互联的能力以及智能决策的能力。人员定位与实名制管理、环境监测,尤其是针对 PM2.5 和噪音指标的监控、塔吊运行监控、高支模变形监测以及智能视频分析预警等一系列系统得到了广泛的应用,进而达成对“人、机、料、法、环”这些关键要素展开动态管控的目标。我国建筑业协会在所发布的 2024 年我国建筑业智慧工地应用与发展报告里清晰地指出,那些运用了智慧工地技术的项目,其安全事故率平均而言大约下降了 23%,管理效率也提升了大概 15%。智慧工地的构建并非能够一蹴而就的,施工方应当依据项目的规模、自身的特点以及管理方面的需求,去制定出具有切实可行性的分阶段实施方案,以此来保证技术投入能够有效地转化成为管理效益。

### 2.3 绿色建造技术

在“双碳”目标这样的大背景之下,绿色建造已然变成了建筑业实现高质量发展必不可少的要求,同时也是施工方践行社会责任、促使品牌形象得以提升的一条重要路径。施工方得积极去推广并应用那些节能环保的建材以及部品部件,像高强钢筋、高性能混凝土、预制装配构件等这类材料,要施行把减少扬尘、降低噪音、对光污染加以控制以及处理建筑垃圾当作核心目标的绿色施工技术,这一目标规定资源化利用率要达到 45%以上,其依据的是住建部所公布的“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划。还要去探索可再生能源在施工现场的具体应用情况,比如太阳能板临时用电方案。绿色建造不只是与环境保护有关,更是借助资源节约以及工艺优化,给施工方带来了潜在的降低成本的效益。施工方应当主动地把绿色理念融入到施工组织设计以及日常管理实践当中,积极地响应国家可持续发展战略方面的要求。绿色建造能够切实落地并得以实施,其关键之处就在于施工方对于环保标准和技术规范的严格遵守执行以及全体人员环保意识的普遍提高。

## 3 全过程控制核心要点

### 3.1 质量控制

施工质量乃是企业存续发展的生命线,它是施工方信誉以及市场竞争力得以稳固的根基所在。质量控制的关键要点在于构建起能够贯穿从材料进场检验开始,经由工序交接检查、隐蔽工程验收直至分部分项工程验收整个过程,并且涵盖多个层级的质量保证与监督体系。要严格推行样板引路方面的制度安排,清晰明确工艺的具体标准以及验收的相应尺度;着重强化针对关键工序以及特殊过程所开展的旁站监督和技术把控工作,像大体积混凝土浇筑以及防水工程这类情况就需要特别关注;借助数理统计的相关方法来开展质量数据方面的分析工作,其中包含运用排列图、因果图等各类工具,以此推动持续不断的改进举措。施工方务必要牢固地树立起“质量第一”的理念意识,把质量标准切实内化到每一项具体的操作细节当中去<sup>[3]</sup>。对于质量问题加以有效的预防以及及时地纠正偏差,其重要程度远远超出事后返工整改所能够达到的效果。

### 3.2 进度控制

科学且合理的进度计划,乃是项目能够按时交付的蓝图所在,而动态并且有效的进度控制,则是让这蓝图得以实现的有力保障。一般会采用像关键路径法 CPM 或者项目评估与审查技术 PERT 这类网络计划技术。施工方得依照合同所定的工期目标,去编制出详尽且具备可行性的总进度计划,还有年季月周计划,甚至是日计划;要运用赢得值法等工具来实时对进度偏差 SV 以及绩效指数 SPI 加以监控;要深入剖析偏差产生的原因,比如设计有所变更、材料供应出现延迟、天气情况恶劣、劳动力存在不足等等因素,并且要及时采取诸如组织方面的、技术方面的、经



济方面的以及合同方面的各种纠偏措施,像是增加资源的投入、对施工逻辑予以优化、施行赶工激励举措。进度管理的关键在于要有预见性以及执行力,这就要求施工方具备十分强大的资源协调能力以及风险应对能力。进度计划在有效执行的过程中,它所面临的诸多挑战往往是从外部环境的多变情况以及内部协调的复杂程度这两方面来的。

### 3.3 成本控制

施工项目的盈利能力在很大程度上依靠的是精细的成本控制。成本控制从投标报价开始,一直到目标成本的设定、过程中的动态监控、成本核算与分析,再到竣工结算以及审计,是贯穿整个过程的。施工方应当建立起以目标成本或者责任成本作为核心的成本管控体系,并且推行每月开展成本核算与偏差分析会的制度。要着重对人工费加以控制,努力去优化班组的组织形式以及工作效率;对于材料费,需要强化采购计划的制定以及对消耗情况的控制,以此来降低损耗;针对机械使用费,要提升设备的利用率并且强化台班的管理工作,同时也要对现场管理费的支出予以关注<sup>[4]</sup>。得十分重视设计变更以及现场签证在及时性方面、规范性方面的管理,以此来保证变更费用能够合理地得到确认并追加进去。成本意识务必要渗透到项目管理的每一个环节当中,而且要让每一位参与者都具备这样的意识。成本控制目标得以达成,其根本原因在于施工方构建起了一套责权利明确且能高效运转的成本责任体系。

### 3.4 安全控制

安全生产对于施工企业而言是一条绝对不能跨越的红线,它和员工的生命健康紧密相关,也对企业能否良好生存发展以及社会能否保持和谐稳定有着直接影响。安全控制最为关键之处就在于去构建起“风险分级管控”以及“隐患排查治理”这两重预防机制。施工方务必要切实落实安全生产责任制,要清晰明确各个岗位所对应的安全职责;得确保安全生产投入能够足额且及时地到位;要细致深入地开展危险源辨识以及风险评估工作,运用像作业条件危险性评价法(LEC)这类的方法,针对重大危险源制定专项方案并加以论证,同时进行严格管控,比如像深基坑、高支模、起重吊装以及脚手架工程等都属于此类情况;还要强化三级安全教育以及班前安全活动,以此来提升全体人员的安全意识以及操作技能;并且要加强日常的巡查以及专项检查工作,以便能够及时有效地消除事故隐患。培育良好的安全文化是施工方达成长久安宁稳定状态的根本性保障。要想有效地预防安全事故,其核心要点就在于要把安全规程转化成每一位作业者发自内心的自觉行动。

### 3.5 合同与风险控制

工程合同作为界定各方权利义务以及处理争议的根基所在,风险管理则充当着项目顺利开展的稳定之锚。施工方需要极为重视合同谈判及评审工作,要清晰明了地理解合同各项条款,尤其针对工程范围、价款调整、变更索

赔、违约责任等这些关键点;在履约进程当中,需认真细致地去收集并保存施工日志、会议纪要、影像资料等过程记录,以此为潜在的索赔事宜给予充足依据;还需构建起项目风险清单,定期开展风险扫描与评估活动,针对常见的各类风险制定出具有针对性的预案或者转移策略,比如面对业主支付风险、分包商履约风险、价格波动风险、政策法规变化风险等情况,可以通过工程保险等途径来转移部分风险。严谨细致的合同管理以及具备前瞻性的风险防控举措,构成了施工方维护自身合法权益、确保项目平稳有序运行的重要防线。合同风险的识别与应对情况,其实际成效常常是由施工方法务与商务团队的协同作战能力所决定的。

## 4 结语

从施工方的角度去审视建筑工程管理,其中最为关键之处就在于以先进的理论作为指导依据,依靠关键技术来推动相关工作开展,并且以全过程的精细化控制作为有力保障,进而达成管理效能的系统层面得以提升的目的。像BIM、智慧工地以及绿色建造等这些技术,在得到深度应用之后,正在对施工方式以及管理模式产生着极为深刻的影响,能够为提升工作效率、确保施工安全、降低工程成本以及践行绿色环保理念给予强有力的支撑作用。质量、进度、成本、安全以及合同风险这五个方面的控制维度,共同构成了施工项目管理当中的关键支柱所在,只要其中任何一个维度出现短板情况,那么就极有可能危及到整个项目的总体目标。而对组织架构加以优化、借助信息平台赋予其相应功能、依靠标准流程起到牵引作用以及着力锻造人才团队等方面的做法,便是施工方用来突破管理瓶颈、实现可持续发展的重要路径。在面对变得日益复杂的市场环境以及不断发生的技术变革情况之下,施工企业只有坚持走创新驱动的发展道路,努力提升自身管理水平,坚守诚信原则履行相关契约义务,并且勇于承担起社会责任,才能够在激烈的市场竞争当中稳稳地立于不败之地,从而为建设美丽我国以及创造美好生活贡献出自专业领域坚实的力量。

### 【参考文献】

- [1]孙宇,屈磊,耿何翔.智能化工程管理新技术在建筑工程管理中的运用[J].产业创新研究,2025(10):99-101.
- [2]黄志超,卢德辉,陈顾元,等.基于实地调研的计算机视觉技术在建筑工程管理领域适用性研究[J].广州建筑,2025,53(6):88-95.
- [3]袁晓光,殷晓林,周嗣延,等.智能化技术在建筑工程管理中的应用[J].四川建筑,2025,45(3):290-292.
- [4]孙辉.绿色建筑工程管理中的智能化技术应用[J].我国战略新兴产业,2025(20):191-193.

作者简介: 范翔(1991.9—),毕业院校: 大连理工大学城市学院,所学专业: 工程造价,当前就职的单位名称: 伊犁建设工程有限责任公司,就职单位职务: 工程管理部副主任,职称级别: 工程师。

## AI 智能辅助系统在安全管理中的技术研究

胡代梦

中铁二十三局集团第二工程有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161000

**[摘要]**随着建筑施工项目日益复杂、规模化, 传统的安全管理模式难以满足现代建筑工地的需求。文中探讨 AI 智能辅助系统在安全管理中的应用, 围绕施工现场的人、机、环等要素, 提出了一套基于设备自动采集、数据自动传输和后台集成分析的智慧工地解决方案, 该方案涵盖了人员管理、机械设备与视频监控管理、安全隐患排查、环境监测的应用与设想等多个方面, 旨在通过智慧工地建设以实现建筑施工项目的全面、高效和智能化管理。

**[关键词]**AI 智能辅助系统; 安全管理; 建筑施工; 智慧工地

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17632

中图分类号: TP319

文献标识码: A

## Research on the Technology of AI Intelligent Assistance System in Safety Management

HU Daimeng

The 2nd Engineering Co., Ltd. of China Railway 23nd Bureau Group, Qiqihar, Heilongjiang, 161000, China

**Abstract:** With the increasing complexity and scale of construction projects, traditional safety management models are unable to meet the needs of modern construction sites. The article explores the application of AI intelligent assistance systems in safety management, and proposes a smart construction site solution based on equipment automatic collection, data automatic transmission, and backend integrated analysis, focusing on the human, machine, and environmental elements of the construction site. The solution covers multiple aspects such as personnel management, mechanical equipment and video surveillance management, safety hazard investigation, and environmental monitoring applications and ideas, so as to achieve comprehensive, efficient, and intelligent management of construction projects through smart construction site construction.

**Keywords:** AI intelligent assistance system; safety management; construction of buildings; smart construction site

### 1 研究背景

#### 1.1 国外研究现状

近年来, 国际学界针对“AI 智能辅助系统在建筑业的应用”已取得显著进展。麻省理工学院团队通过“深度强化学习算法”实现了“建筑能耗预测模型”, 但受限于“数据获取难度大”, 仍存在“模型泛化能力不足”问题。在技术层面, 物联网技术的兴起为“智能建筑管理”提供了新思路, 但跨学科融合的深度不足导致应用场景受限。

#### 1.2 国内研究现状

国内研究主要集中在“AI 智能辅助系统的集成与优化”方向, 清华大学团队在“基于深度学习的建筑结构健康监测”方面取得突破, 但在“高端传感器技术”上仍依赖进口设备/理论模型。近年来, 国家政策对“AI 领域”的支持力度加大, 但产业化应用与发达国家存在差距, 亟需原创性技术突破。

建筑业作为国民经济的重要支柱产业, 其安全生产状况直接关系到人民生命财产安全和社会稳定。然而, 由于施工环境的复杂性、作业人员的不规范操作以及管理监督的不到位等因素, 建筑施工安全事故频发, 成为亟待解决的社会问题。随着信息技术的快速发展, 特别是人工智能(AI)技术的广泛应用, 为建筑施工项目的安全管理提供

了新的思路和方法。智慧工地作为信息技术与建筑施工深度融合的产物, 正逐步成为提升施工安全管理水平的重要手段。目前的主要任务是“建筑工程管理、施工调度”等应用场景提供更优解决方案。

### 2 人员管理

#### 2.1 实名制系统

传统的考勤管理依赖于人工记录, 对建筑工人实名信息的采集非常慢, 而且还会因为量大难以匹配导致管理混乱, 容易引起各种各样的劳务纠纷, 导致拖慢工程进度; 而 AI 智能辅助系统的出现则完全解决了以上痛点, 大大降低了人力成本。通过引入 AI 智能辅助系统, 我们可以实现工人信息的快速录入、核实和更新。系统利用 OCR (光学字符识别) 技术自动识别身份证、银行卡等证件上的信息, 确保信息的准确性和一致性。同时, 结合人脸识别技术, 实现工人身份的快速验证和考勤记录, 有效杜绝代打卡等违规行为的发生。

本单位施工现场的出入口安装了此设备, 通过人脸识别、指纹识别等生物识别技术实现工人身份的快速验证和考勤记录。考勤数据实时上传至后台服务器, 与工人的个人档案信息相关联, 形成完整的人员管理数据库。管理人员可以通过系统随时查看工人的考勤情况、工作时长等信息, 为工资结算、绩效评估等提供依据。

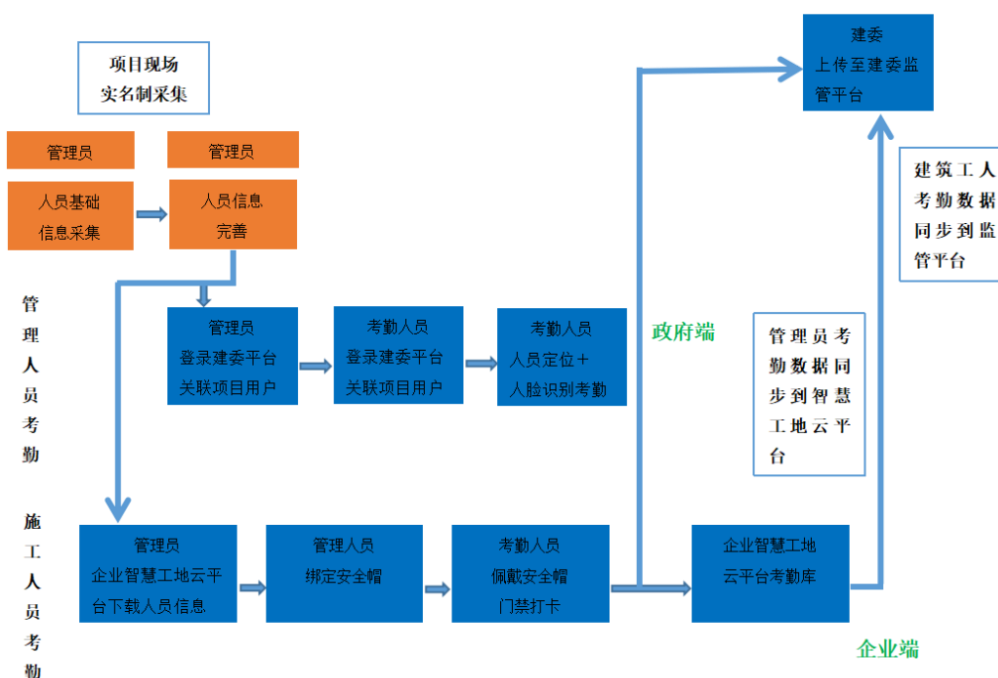


图1 实名制考勤系统谱系图

本研究期望基于 AI 智能技术的实名制考勤优化模型，通过构建多模态身份认证与动态薪酬核算系统，实现考勤管理的智能化升级。该系统采用卷积神经网络（CNN）进行人脸特征提取与活体检测，结合区块链技术建立不可篡改的实名认证体系；在考勤数据处理环节，引入时空关联规则挖掘算法，有效识别异常考勤行为并自动生成合规工时记录；薪酬核算模块则通过深度强化学习构建动态优化模型，实时关联岗位系数、加班策略等参数，实现薪资计算的毫秒级响应与政策合规性校验。该 AI 智能辅助系统可使考勤数据准确率提升至 99.7%，薪酬核算效率提高 83%，同时通过多维度数据分析为用工决策提供量化支撑，显著降低传统人工核算的差错率与管理成本。

## 2.2 安全教育

AI 智能辅助系统通过构建全流程安全教育管理体系，实现了从新入场到岗位变动的全周期精准化培训。系统基于人脸识别技术建立人员身份档案，结合施工项目岗位数据库，为每位工人生成个性化安全教育画像。在新入场教育阶段，系统自动匹配其工种属性、文化程度和从业经历，智能生成包含法规普及、设备操作、应急演练等模块的入职必修课程，并通过移动端定位功能监控学习进度，强制完成规定学时后解锁电子安全认证。当发生岗位调动时，系统实时调取人员技能矩阵与新岗位风险图谱，运用知识缺口分析算法生成二次教育方案，重点强化新增危险源辨识、差异化操作规程等内容，同步启动 VR 模拟实训考核，确保转岗人员快速适应新环境风险。

该体系采用“学-测-练-评”四维闭环模式：工人通过移动终端完成微课学习后，系统立即推送情景化测试题库，

运用机器学习算法诊断知识薄弱点；针对高危作业岗位，强制要求通过 3D 虚拟实操考核方可获得上岗资格。后台管理系统实时生成多维学习热力图，智能识别群体性知识盲区，自动触发专项补习课程推送。对于重复测试不达标人员，系统将联动人力资源部、安全监督部启动线下强化培训，并纳入个人安全信用档案。这种动态化、精准化的教育监控机制，可使新员工三级教育合格率提升至 98.7%，转岗人员再培训时间缩短 65%，有效构建了覆盖全职业生涯的安全能力提升通道。

## 3 机械设备与视频监控协同管理

AI 智能辅助系统通过多源异构数据融合与智能分析算法，实现机械设备运行管理与视频监控的深度协同。系统采用“端-边-云”三级架构，在终端层部署多功能感知设备，包括机械设备内置传感器（振动、温度、载荷等）、高清摄像头（具备夜视/防尘功能）及 AI 边缘计算节点，形成覆盖全场地的设备状态与作业环境感知网络。

### 3.1 机械设备

在数据融合层面，系统通过时空标签匹配技术，将塔机回转角度、吊钩位置数据与对应区域的视频流进行动态绑定，构建三维可视化监管场景。针对塔机盲区问题，采用多摄像头拼接与深度学习图像补全算法，消除吊钩视觉盲区；同时利用卷积神经网络（CNN）对设备运行参数与视频特征进行联合分析，建立设备故障与异常行为的关联预警模型。施工升降电梯监测模块则通过激光雷达与视觉融合技术，实现轿厢位置、门状态、载重的多模态验证，其异常数据自动触发对应区域摄像头的预置位追踪。



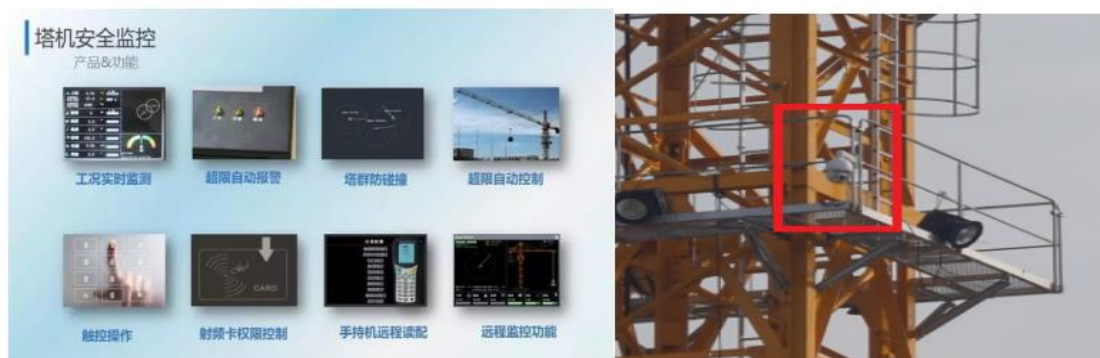


图2 安装在塔吊上的监控

### 3.2 AI 智能识别

智能分析平台搭载轻量化 YOLOv5s 模型实现安全帽佩戴实时检测,同时结合设备运行数据开展关联分析:当检测到未佩戴安全帽人员进入危险设备作业半径时,系统自动提升预警等级并联动声光报警装置。存储体系采用分布式云存储架构,对机械设备运行数据(采样频率 10Hz)与视频流(H.265 编码)实行分级存储策略,关键操作视频保留周期延长至工程竣工后 2 年,并支持基于语义检索的快速调阅。

该融合系统可通过数字孪生技术实现设备维护模拟与视频监控预案的联动演练,使设备故障预警准确率提升至 98.7%,安全隐患响应时间缩短至 2.3s。经实际项目验证,管理成本可降低 42%,设备利用率提升 18%,形成“物联感知-智能分析-闭环处置”的完整治理链条。

AI 智能辅助系统中的 AI 识别模块除了上述特定场景外,还具备强大的扩展性与适应性。通过不断优化算法与增加训练样本数据,系统可以逐渐识别更多类型的危险行为与其他特殊场景,如违规操作、非法入侵等。当系统检测到这些危险行为或场景时同样会触发相应的警报机制,并通知管理人员进行处理。这种智能化的识别方式有效提升了施工现场的本质安全水平,增强了系统的灵活性与可扩展性,为未来的安全管理工作提供了更多可能性与选择空间。

## 4 安全隐患排查

### 4.1 安全巡检

传统的巡检方式往往依赖于人工巡查和经验判断,不仅效率低下,而且容易遗漏隐患。但是 AI 智能辅助系统通过集成图像识别技术和智能分析算法能实现对施工现场的自动化巡检。系统可以定时或不定时地对施工现场进行拍摄并自动识别图像中的安全隐患如未佩戴安全帽、违规操作等。一旦发现隐患系统立即发出警报,通知相关人员进行处理,确保安全隐患得到及时整改。

本研究期望构建“云-边-端”协同架构实现自动化巡检与动态风险防控。系统依托图像识别技术(YOLOv5 目标检测算法)与三维点云重建技术,结合 BIM 施工模

型进行空间语义匹配,实时识别人员违规行为(如未佩戴护具)、设备异常状态(如塔吊载荷超限)及环境风险因子(如烟雾浓度突变)等。在此基础上,部署具备环境感知能力的四足机器人(搭载 LiDAR/RGB-D 相机/气体传感器阵列)与仿生机器猫(集成温度-应力感应胡须),通过改进的 SLAM 算法实现复杂工地场景的自主导航与地形适应,其分布式计算单元采用轻量化 TensorRT 模型实现毫秒级风险判别。典型的应用场景有:工业巡检:特斯拉上海工厂部署的巡检机器人,实现电池组检测覆盖率 100%,异常识别准确率 99.2%;电力巡检:国家电网在特高压线路的巡检效率提升 3 倍,缺陷识别率从 85%提升至 97%;建筑巡检:上海中心大厦采用的自适应巡检机器人,完成 2.8 万 m<sup>2</sup> 空间巡检,发现 12 处隐蔽裂缝。该系统较传统人工巡检效率提升 4.8 倍,隐患识别准确率达 98.7%(其中高处坠落风险预测 F1 值 0.93,机械碰撞预警响应时间 < 2s),同时通过多智能体协同策略生成最优巡检路径,使危险区域覆盖率提升至 99.2%。

### 4.2 重点工程监控

对于施工现场的重点区域如高支模工程、深基坑工程等地方,需要加强监控力度以确保施工安全。AI 智能辅助系统通过安装应力传感器、位移传感器等设备对高支模结构的受力情况和变形情况进行实时监测。系统可以根据监测数据计算出结构的稳定性系数预测可能发生的失稳风险。一旦发现异常情况系统立即发出警报,通知相关人员进行加固措施,确保高支模工程的安全施工。深基坑开挖过程中存在着坍塌、滑坡等安全风险。AI 智能辅助系统通过集成边坡雷达、地下水位监测仪等设备对深基坑的边坡稳定性和地下水位变化情况进行实时监测。系统根据监测数据判断边坡的稳定性状况,预测可能发生的地质灾害风险。一旦发现异常情况系统立即发出警报,启动应急预案,确保深基坑施工的安全进行。

### 5 环境监测

通过多源数据融合与智能决策算法,实现环境监测、扬尘治理、车辆污染管控三大模块的联动控制,形成“感知-分析-调控”闭环管理架构,有效提升施工现场环境管

理的科学与高效性。部署高精度传感器组（PM2.5、噪声、温湿度等）与高清摄像头，实时采集环境参数、车辆状态及作业场景数据。传感器数据通过 LoRa/WiFi 传输至边缘计算节点，视频流经 GPU 加速处理后提取关键特征（如车辆清洁度、扬尘分布）。搭载轻量化 AI 模型（如 YOLOv5s），完成数据预处理与紧急事件响应。例如，车辆未清洗识别结果直接触发道闸拦截指令，PM2.5 超限信号即时启动喷淋预案。基于大数据平台实现多源异构数据融合，建立环境质量评估模型与污染溯源算法。通过时空关联分析，挖掘扬尘浓度与车辆出入、施工活动的相关性，优化喷淋策略与车辆调度方案。

### 5.1 自动喷淋系统

系统集成多参数传感器，实时监测空气颗粒物（PM2.5/PM10）、噪声（dB(A)）、温湿度等指标，数据采样频率达 10Hz，支持异常值（如突发高噪声或扬尘峰值）的毫秒级捕获。采用改进的 LSTM 神经网络对环境数据进行趋势预测，当预测值超过阈值（如  $PM_{2.5} > 75 \mu g/m^3$ ）时，自动触发多级预警（声光报警+短信推送+PC 端弹窗），并联动喷淋系统预启动。喷淋系统基于强化学习算法生成自适应控制策略，结合实时 PM2.5 浓度、风速风向及施工区域人员密度，动态调整喷头角度、水量与覆盖范围。与气象预报系统对接，通过 API 获取未来 72h 天气数据，提前预判沙尘、暴雨等极端天气对扬尘的影响，制定预防性喷淋计划。

### 5.2 车辆未清洗监测

出口处摄像头利用 ResNet-50 模型识别车身清洁度，结合语义分割技术定位未清洗区域（如轮胎、底盘）。若

检测到污染车辆，系统立即抓拍车牌并记录违规时间，通过 TCP/IP 协议通知道闸关闭，同时推送信息至管理员 APP。建立车辆“冲洗-放行”联动机制：未清洗车辆需返回冲洗区，系统根据其停留时长与二次检测结果判断是否合规，数据同步计入环保考核档案。

## 6 结束语

本文深入探讨了 AI 智能辅助系统在建筑施工安全管理中的应用潜力与价值。通过详细阐述该系统如何整合设备自动采集、数据自动传输、后台集成分析等功能模块以及其在人员管理、机械设备与视频监控协同管理、安全隐患排查、环境监测等方面的具体应用实例及预想，我们可以看出 AI 智能辅助系统在提升建筑施工安全管理水平方面的显著成效。该系统不仅提高了安全管理的效率与准确性，还增强了施工现场人员的安全意识与自律性，为建筑施工项目的顺利进行提供了有力保障。

### 【参考文献】

- [1]薛全文.建筑工程施工安全管理中智慧平台应用探究[J].城市开发,2025(4):42-44.
- [2]冯娜.建筑施工智慧平台在施工安全隐患实时监测中的应用研究[J].建设科技,2025(3):71-73.
- [3]刘力.基于智慧工地管理系统的建筑工程安全管理研究[J].中国建筑金属结构,2024(4):31-33.
- [4]胡芸畅.智慧工地系统在建筑施工过程中的应用[J].价值工程,2024(8):113-115.

作者简介：胡代梦（2001.3—），女，贵州省瓮安人，汉族，大学本科，助理工程师，就职于中铁二十三局第二工程有限公司，从事建筑工程安全管理工作。

## 绿色施工理念下的建筑工程管理模式创新路径

黄晓娟

荆州市住房和城乡建设局, 湖北 荆州 434000

**[摘要]**随着全球生态环境方面的问题变得日益凸显,绿色施工理念在建筑行业当中的重要性也在持续提升,已然成为推动该行业实现可持续发展的一个关键指向。文章紧扣绿色施工理念这一核心,全面且细致地分析其于建筑工程管理之中的应用价值,同时深入剖析传统建筑工程管理模式当下所遭遇的种种困境,进而给出建筑工程管理模式朝着绿色转型迈进的创新途径。借助强化绿色施工方面的意识,去构建起贯穿全过程的绿色施工管理体系,另外还要制定出绿色施工的具体实施方案以及将其流程予以标准化处理,以此来促使建筑工程管理模式达成绿色转型升级的目标,最终实现资源得以节约、环境能够得到保护并且与企业社会责任有效结合起来,提高建筑工程项目的整体效益以及社会价值。

**[关键词]**绿色施工; 工程管理; 创新路径

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17631

中图分类号: TU71

文献标识码: A

### Innovative Path of Construction Project Management Mode under the Concept of Green Construction

HUANG Xiaojuan

Jingzhou Housing and Urban Renewal Bureau, Jingzhou, Hubei, 434000, China

**Abstract:** As global ecological and environmental issues become increasingly prominent, the importance of green construction concepts in the construction industry continues to increase and has become a key direction for promoting sustainable development in the industry. The article focuses on the core concept of green construction, comprehensively and meticulously analyzing its application value in construction project management. At the same time, it deeply analyzes the various difficulties encountered by traditional construction project management models, and provides innovative ways for construction project management models to move towards green transformation. By strengthening the awareness of green construction, we can establish a green construction management system that runs through the entire process. In addition, we need to develop specific implementation plans for green construction and standardize its processes, in order to promote the green transformation and upgrading of the construction project management mode, ultimately achieving resource conservation, environmental protection, and effective integration with corporate social responsibility, improving the overall efficiency and social value of construction projects.

**Keywords:** green construction; project management; innovation path

#### 引言

建筑行业属于资源消耗方面的“大户”,同时也是环境污染的重要源头所在,该行业的施工管理模式和资源利用效率以及环境保护水平有着直接的关联。随着可持续发展理念不断向前推进,传统建筑工程管理模式所存在的资源浪费、环境污染以及管理效率低下的诸多问题也逐渐变得更为突出,迫切需要依靠绿色施工理念来引导管理模式展开创新与变革。绿色施工理念着重于在建筑项目整个生命周期当中针对环境影响实施科学管理,目的在于达成资源的高效利用并且使环境受到最小程度的破坏,促使建筑行业朝着低碳、节能以及生态友好的方向去发展。本文会围绕绿色施工理念在建筑工程管理方面的应用价值展开分析,探讨传统管理模式面临的困境,并且进一步深入探讨绿色转型的具体途径,希望能够给行业绿色发展给予有力的支撑。

#### 1 绿色施工理念

绿色施工理念是构建在可持续发展思想基础上的—

种施工管理理念,旨在通过全面考虑建筑项目的生命周期内对环境的影响,促进资源的高效利用与环境保护,从而实现建筑行业的绿色、低碳发展。此理念主张在建筑工程各个阶段,都应采取措施减少对自然环境的负面影响,降低能源消耗,优化材料使用,减少废弃物排放,保护生态环境和提高施工现场的工作环境质量。绿色施工倡导的是一种全面的、系统的理念,要求项目参与各方共同配合,从项目的规划和设计阶段开始就融入绿色施工的理念,选择环保材料,采用高效施工技术,设计回收与再利用方案,确保施工活动不对周围环境造成不可逆的破坏,尽可能减少施工噪音、扬尘等对周围社区的影响,以及保护施工场地周围的自然生态系统。包括技术和材料的革新,更涉及到管理方法、行业标准的更新以及从业人员环保意识的提升对建筑项目进行全生命周期的管理,以确保每个环节都符合绿色施工的要求,并通过整合设计与施工流程,优化工程项目的资源效率,促进生态保护,提高工程质量,为



建筑使用者创建更加安全、健康、舒适的居住和工作环境。

## 2 绿色施工理念在建筑工程管理中的应用价值

### 2.1 推动资源节约与环境保护

绿色施工理念着重突显资源节约以及环境保护所处的核心地位,其贯穿在整个建筑项目从开始到结束的整个过程之中。借助采用那些较为先进的节能技术以及绿色材料,对设计方案以及施工工艺加以优化,以此来尽可能地使能源、水资源还有建筑材料方面的浪费程度减少至最低限度,并且使建筑废弃物的排放量得以降低,进而对施工场地的生态环境起到保护作用。与此绿色施工对于施工现场的环境管理工作颇为重视,像扬尘控制、噪音治理以及废水处理等方面都包含在内,实实在在地减少施工给周边环境以及社区所带来的影响。绿色施工在实施的过程当中,一方面能够对资源紧张以及环境污染等问题起到一定的缓解作用,另一方面还通过大力推广循环利用以及废弃物再生利用技术,推动建筑产业链朝着绿色的方向实现升级,从而进一步促进建筑行业达成绿色低碳的转型目标。

### 2.2 提高工程项目综合效益

绿色施工理念借助优化资源配置以及施工管理的方式,让工程项目综合效益得以明显提升。在确保工程质量以及施工安全的基础之上,绿色施工凭借科学且合理的计划安排以及流程控制手段,可使建设周期缩短,能耗与材料成本降低,进而达成施工效率与经济效益双双提升的良好效果。绿色施工技术与管理方法加以应用,能够助力减少返工以及安全事故的发生,同时降低维护和运营方面的成本,还可延长建筑物的使用寿命。除此之外,绿色施工理念还会推动建筑产品朝着高品质、高性能的方向去发展,满足用户对于健康舒适环境的相关需求,由此促使建筑项目的市场价值以及社会认可度得以提高。从整体来看,绿色施工在提升经济效益期间,切实有效地推动了环境和社会效益的协同发展进程。

### 2.3 强化企业社会责任与公众健康意识

绿色施工理念让建筑企业社会责任意识更强了,企业施工时会更留意环保和公众健康。绿色施工契合政府环保法规、行业标准,展现企业积极承担社会责任的决心。降低施工噪音、粉尘等污染排放,可优化现场作业环境,保护施工人员、周边居民健康。企业树立绿色形象,能提高公众认同感、信赖感,营造良好社会舆论环境,形成市场竞争优势。绿色施工推动建筑行业生态文明建设,助力社会绿色消费观念形成,为建筑行业和社会可持续发展打下坚实基础。

## 3 传统建筑工程管理模式面临的困境

### 3.1 资源浪费与环境污染严重

在传统的建筑工程管理模式里面,资源浪费的情况是格外显著的。存在着大量的材料,因为前期计划做得不够周全,又或者是在施工进度当中出现了损耗,形成了资源

浪费现象,并没有发挥出实际的作用。而且能源使用的效率也是非常低下的,施工现场对于废弃物的处理方式也不够规范,这就催生出了颇为严重的环境污染方面的诸多问题。建筑废弃物要是随意地去堆放以及排放,致使土壤受到污染,水体也会遭受污染,还有扬尘以及噪音等一系列的环境污染问题,这些问题的存在对周边居民的生活质量产生了不容忽视的影响。并且还缺乏行之有效的资源回收以及循环利用的相关机制,这无疑进一步加剧了资源那种不可持续的消耗状况。由这种状况所引发出来的生态环境遭到破坏这一情况,一方面增加了治理工作的成本,另一方面也使得项目在社会上获得的认可度有所降低,企业自身的形象也因此受到了一定程度的损害,进而成为了限制建筑行业实现可持续发展的一个极为重要的瓶颈所在。

### 3.2 管理流程粗放与效率低下

传统建筑工程管理流程常常欠缺科学规划以及精细化管理,存在职责不够清晰、流程较为冗长、信息传递不够顺畅等问题,致使管理效率不高。施工进度以及质量控制手段比较单一,很难有效地预警和调整,增加了工程延期以及返工的风险。资源配置缺乏合理性,容易引发材料浪费以及人力闲置的情况。因为缺少现代信息技术的应用,施工现场管理缺少数据支撑以及实时监控,决策依据不足,难以达成动态优化与协同管理的目标。这样的粗放管理模式不但影响项目整体效益,还降低了绿色施工理念的实施效果。

### 3.3 缺乏绿色理念与系统设计

在传统管理模式里面,绿色施工理念没有很好地融入到项目的规划设计以及施工管理环节当中,缺少一套系统的绿色管理体系以及相应的标准。不少项目在设计阶段时,并没有充分地去考量环保节能方面的诸多因素,在施工阶段又常常会忽视节能减排以及资源循环利用这些方面,对于绿色技术以及绿色建材的应用也显得不足。绿色施工所采取的措施大多只是停留在表面而已,缺乏能够贯穿整个过程的系统性支持以及协调机制,所以很难形成有效的绿色管理闭环。由于缺乏绿色理念,使得在施工过程里环境保护的相关措施落实不到位,资源浪费的现象也比较普遍,这对建筑行业绿色转型的进程以及取得的成效都产生了很大的制约作用。

### 3.4 技术手段滞后与协同能力不足

传统建筑工程管理所采用的技术手段往往较为陈旧,信息化以及智能化方面的支持严重匮乏,这就使得施工管理很难达成实时、动态且精准的控制效果。在施工现场,各个参与方之间信息沟通存在诸多不顺畅之处,协同管理的能力也有所欠缺,这些情况对工程的进度以及质量都产生了影响。并且还缺少针对 BIM、物联网等先进技术的综合性运用,所以难以做到资源的高效配置以及对环境影响的动态监测。技术方面存在的滞后状况限制了绿色施工

技术的推广与应用,对建筑工程管理模式创新与升级造成了影响,同时也阻碍了绿色施工目标的实现。

#### 4 建筑工程管理模式的绿色转型路径

##### 4.1 强化绿色施工意识与组织文化建设

推动建筑工程管理模式走向绿色转型,起初得从理念方面强化绿色施工意识,并且着手建设与之相应的组织文化。绿色施工并非单纯的某种技术或者管理手段,它更是价值观以及责任感的一种呈现形式。企业管理层要把绿色理念当作战略的核心所在,推动绿色施工理念渗透至企业文化的所有层面,借助持续开展的各类培训以及宣传活动,提升全体员工对于环境保护以及资源节约所具有的重要性的认知程度。唯有让绿色理念变成员工发自内心的自觉行动,才能够切实有效地激发出他们在参与绿色施工过程中的积极性以及主动性<sup>[1]</sup>。除此之外,构建绿色组织文化还应当进一步强化领导方面的责任,清晰明确环保方面的目标,推动绿色管理体系得以切实落实到位。通过去建立绿色绩效考核以及激励方面的机制,把绿色施工纳入到员工绩效评价的体系当中,促使绿色理念和实际行动能够紧密结合起来。优良的绿色施工文化氛围,一方面有助于提升企业在社会上的形象以及在市场中的竞争力,另一方面也为建筑项目的绿色转型筑牢了坚实的思想根基以及行动保障。

##### 4.2 构建全过程绿色施工管理体系

构建全过程绿色施工管理体系,对于实现建筑工程管理向绿色转型而言,是极为关键的保障所在。这一体系把项目的规划设计、采购、施工、验收乃至运营维护等诸多阶段都涵盖其中,以此来保证绿色施工的理念能够贯穿整个建筑项目的全生命周期。在设计阶段的时候,得着重关注将绿色设计理念融入进去,借助优化建筑结构的方式,还有节能技术以及环保材料的选用,从而达成节能减排的目的;在采购这个环节当中,需要优先去选择那些绿色建材以及环保供应商,以此来保障所用材料具备绿色属性;而在施工的过程之中,依靠严格的环境管理举措以及对资源的把控,切实落实针对扬尘、噪声等各类污染物的有效控制办法,进而确保施工现场能够满足环保方面的要求<sup>[2]</sup>。与此管理体系还需建立起较为完善的信息化平台,借助BIM技术、物联网等现代信息技术来达成对施工过程的实时监控以及动态调整,提升绿色管理所具有的科学性以及精细化的程度。全过程绿色施工管理体系一方面强化了各个环节所设定的绿色目标以及相应责任,另一方面也推动着施工单位内部以及上下游供应链展开协同合作,进而为绿色施工给予系统的支撑以及技术层面的保障。

##### 4.3 制定绿色施工实施方案与流程标准化

科学地制定绿色施工实施方案以及将其流程标准化,这可是保障绿色转型得以切实落地的一项极为重要的举措。在制定实施方案的时候,得充分结合项目实际的具体

情况来开展相关工作,要清晰明确地确立起绿色施工所要达成的目标以及应当遵循的技术路径,而且方案内容务必要涵盖诸如绿色材料的使用情况、节能设备的配置状况、施工废弃物的处理办法、施工现场的环境保护举措等诸多方面,以此来保证各项绿色措施都能够具备具体的可操作性<sup>[3]</sup>。而标准化的施工流程,其实在整个实现绿色施工管理走向规范化的进程当中占据着核心的地位,它涵盖了设计审核环节、材料采购环节、施工操作环节、环境监测环节以及验收评估环节等多个不同环节,并且要清楚明确各个阶段各自的责任主体以及相应操作需要遵循的规范。借助流程的标准化,能够在很大程度上避免在绿色施工过程中出现那种随意行事的情况以及盲目操作的现象,进而有效提升施工的效率以及施工的质量,同时也能够让监管部门更为便利地开展监督检查工作以及进行绩效考核方面的相关事宜。标准化流程还应当融入先进的信息管理系统,以便能够实现对绿色施工过程中的各类数据加以采集并且展开相应的分析,从而为持续不断地改进以及经验的积累给予有力的支持。科学合理的绿色施工实施方案加上完善无缺的标准化流程,这就给建筑工程管理的绿色转型给予了稳固扎实的制度层面的保障以及明确清晰的操作方面的路径指引,有力地推动着建筑行业朝着绿色发展的方向稳步向前迈进,进而迈上了一个全新的台阶。

#### 5 结语

绿色施工理念的施行乃是建筑行业达成可持续发展以及绿色转型的必然之选。当下传统建筑工程管理模式有着不少欠缺之处,迫切需要借助理念方面的引领、体系层面的构建以及标准化的实施等途径来完成绿色转型升级。强化针对绿色施工的意识以及文化建设,构建起能够贯穿全生命周期的绿色施工管理体系,推动绿色施工流程走向标准化,这将会有力地推动建筑项目在资源节约、环境保护以及社会责任等方面达成协调统一的状态。在未来,建筑企业应当持续不断地创新管理思路,融入现代信息技术,提高绿色施工管理的水平,从而为打造绿色低碳的社会尽一份力。绿色施工既然是技术层面的进步,那同时也是管理模式以及行业文化方面的革新,其成功的实践必定会引领建筑行业迈向更为生态友好且高质量的发展阶段。

#### [参考文献]

- [1]陈蓉.绿色施工理念下的建筑工程管理模式创新[J].建材发展导向,2024,22(17):87-89.
  - [2]吕平,付学文.绿色施工理念下的建筑工程管理模式创新[J].四川水力发电,2024,43(5):129-131.
  - [3]李明.绿色施工理念下的建筑工程管理模式创新思考[J].城市建设理论研究(电子版),2022(23):37-39.
- 作者简介:黄晓娟(1980.4—),单位名称:荆州市住房和城乡建设局。

## BIM 技术在建筑工程管理当中运用分析

汤川鄂

中电建路桥集团有限公司, 重庆 400000

[摘要]随着我国城市化进程的持续推进, 建筑工程行业迎来了快速发展的态势, 人们对于工程管理以及施工质量的关注程度也在不断提升。确保建筑工程施工的质量, 保障施工企业获取合理的收益, 这既关乎经济发展与社会稳定, 又会对人民生活水平的提高产生直接影响。BIM 技术的应用给建筑工程管理赋予了更高的效率以及更为先进的特性。文章通过对 BIM 技术核心优势的剖析, 对其在建筑工程管理中的具体应用展开深入探究, 以此为提升工程管理水平给予理论层面的依据以及实践方面的参考。

[关键词]BIM 技术; 建筑工程; 工程管理; 技术运用

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17629

中图分类号: TU71

文献标识码: A

### Analysis of the Application of BIM Technology in Construction Project Management

TANG Chuan'e

PowerChina Construction Road and Bridge Group Co., Ltd., Chongqing, 40000, China

**Abstract:** With the continuous advancement of urbanization in China, the construction industry has ushered in a rapid development trend, and people's attention to engineering management and construction quality is also constantly increasing. Ensuring the quality of construction projects and guaranteeing reasonable profits for construction enterprises is not only related to economic development and social stability, but also has a direct impact on improving people's living standards. The application of BIM technology has endowed construction project management with higher efficiency and more advanced features. The article analyzes the core advantages of BIM technology and explores its specific application in construction project management, providing theoretical basis and practical reference for improving the level of engineering management.

**Keywords:** BIM technology; architectural engineering; engineering management; technical application

#### 引言

随着建筑行业朝着信息化、智能化的方向持续发展, 传统的工程管理模式遭遇了诸多挑战, 比如设计冲突时常发生、施工进度难以精准把控、质量与安全管理效率不高等。在这样的情况之下, BIM 技术便应运而生, 并且慢慢变成了推动建筑工程管理变革的关键工具。BIM 能够把建筑项目的三维几何信息、施工工艺、材料属性以及各类管理数据都整合起来, 同时还拥有可视化、模拟以及协同的特点, 使得设计、施工与运维各个阶段的信息可以实现连通与共享。借助 BIM 技术, 项目团队可以在设计阶段提前察觉到潜在冲突、对施工方案予以优化; 在施工阶段对质量、进度与安全展开动态监控; 在运维阶段达成设施管理的精细化与数字化。正是因为这样, BIM 技术在提高工程管理效率、降低施工风险、节省成本以及提升建筑品质等方面展现出了明显的优点。所以, 针对 BIM 在建筑工程管理中的应用展开系统分析, 不但有益于深入理解其技术特性与管理价值, 而且也能为推动建筑行业数字化转型、优化工程管理模式给予重要的理论参考与实践指引。

#### 1 BIM 技术特点

##### 1.1 协调性

BIM 技术所具备的协调性, 重点在于它可把建筑工

程各个参与方涉及的设计、施工以及运维方面的信息都整合到同一个数字化的平台之上, 进而达成信息的实时共享状态以及协同更新的目的, 如此一来便能够切实有效地降低因信息存在滞后情况或者沟通环节不够顺畅而引发的设计冲突以及施工错误等问题。在项目实际实施进程当中, BIM 模型能够直观地呈现出各专业之间存在的空间关系以及接口的具体位置, 这就使得建筑、结构、水电、暖通等多个专业在设计阶段便可以察觉到碰撞问题并加以解决, 从而防止出现返工状况以及资源无谓的浪费情形。与此 BIM 平台还给项目管理团队给予了统一的数据根基以及工作环境, 这无疑有利于跨部门、跨区域的团队展开协同作业, 进而促使决策的准确性得以提升, 执行效率也获得提高, 从根本上提升了工程管理的整体水准与质量状况。

##### 1.2 可视化

BIM 技术有着可视化这一特点, 它是借助三维数字模型把建筑物的结构、构造还有各类机电系统都直观地展现出来的, 如此一来, 原本抽象的设计图纸便转化成了可以被感知到且能够进行互动的立体形象, 进而使得信息的理解以及传达效率得到了大幅度的提升。和传统的二维图纸相比而言, BIM 模型不但能够呈现出建筑物的整体外观, 而且还可以精准地表现出其内部的诸多细节以及各



个构件之间存在的空间关系,这就让设计人员、施工人员以及业主在项目的各个不同阶段都能够直观地去把握设计意图以及施工方案<sup>[1]</sup>。与此可视化的这项功能还能够对不同的设计方案、施工流程以及材料选型展开对比与演示,这便方便了各方在较早的时候就能够发现潜在的问题并且及时地去优化方案,以此来降低施工过程中所存在的不确定性以及返工的风险,最终提升工程管理的科学性与可控性。

### 1.3 模拟性

BIM 技术的模拟特性在于它能凭借精准的三维模型以及多样的工程数据,针对建筑项目在设计阶段、施工阶段以及运营阶段的各种场景展开动态模拟与预测活动,进而给决策给予科学方面的依据。借助 BIM 平台,项目团队可提前对施工流程、工序安排还有设备安装步骤加以模拟,剖析施工顺序给进度、成本以及资源配置带来的影响,预估可能会出现的冲突与风险并制订相应的应对办法。BIM 技术还能够对建筑物处在不同环境条件之下的性能表现予以模拟,像采光情况、通风状况、能耗水平、结构受力状态等,从而对设计方案加以优化,提升建筑的安全程度、舒适感受以及能源利用的效率。

## 2 BIM 技术在建筑工程管理中的应用

### 2.1 质量管理应用

#### 2.1.1 事前质量管理

在事前质量管理阶段, BIM 把质量控制提前到了设计策划以及供应链准入环节。项目团队以 BIM 执行计划和质量策划作为主要线索,清晰明确模型精度与信息需求、命名与编码体系、提交与审批流程,从而在共用数据环境当中达成版本受控以及能够追溯的目的。依据模型展开规范校核、参数化构造规则运用以及碰撞检查,针对净空、接口、检修可达性、安装容差等方面实施机读式的批量核验,最终输出问题清单与整改闭环,以此提前清除设计缺陷并且完成可施工性方面的审查工作。借助数字样板以及 4D 施工演练,去验证工序顺序、场地布置、机具资源与临设方案的可行性,并且把关键质量控制点与检验试验计划精准地锚定到具体的构件与工序上,进而实现“构件-标准-验收”的一体化关联<sup>[2]</sup>。在采购与预制策划环节,把材料与设备的技术参数、合格供方、检验要求映射到模型对象之上,开展“模型-图纸-清单”一致性核验以及下料数据前置校对工作,以此降低出现错漏项以及返工的风险。与此结合风险清单与 FMEA 对可能存在的失效模式(像尺寸偏差、接口冲突、施工容差不足等情况)做出预判,制定出纠偏以及应急的相关策略。

#### 2.1.2 事中质量管理

在事中质量管理这个阶段, BIM 技术借助实时信息共享以及动态可视化监控手段,把施工过程当中的质量控制从以往传统的那种事后检验转变成了涵盖全过程且涉及全要素的即时管理模式。在施工进程之中,各个工序的施工数据、检测所得到的结果还有现场拍摄的照片能够凭

借移动终端和 BIM 模型实现实时的关联起来,进而形成一个“施工进度-构件信息-质量记录”这样的一体化数据库,如此一来便能够让管理人员在模型当中较为直观地去定位并且对质量状况展开核查。依据 BIM 所开展的 4D 施工模拟,可以针对施工顺序、作业面衔接以及关键节点展开动态的对比分析,从而及时察觉到与设计或者规范存在不符的情况,并且借助由模型驱动的碰撞检查、容差验证以及构件尺寸核对等方式,提前做好防范质量问题发生的相关工作。与此 BIM 平台还能够和激光扫描、无人机测绘等技术相互结合起来,针对已经完成施工的部分进行三维实景的比对操作,精准地识别出变形、偏位、漏装等一系列的缺陷情况,并且会生成相应的整改清单,以此来保证问题能够得以闭环式的处理。

#### 2.1.3 安全管理应用

就安全管理的应用而言, BIM 技术凭借其三维可视化以及信息集成方面的优势,把安全风险的识别、预防还有控制贯穿在整个施工过程当中,由此促使安全管理从原本的事后应对逐步转变为事前预防以及过程中的动态管控模式。借助 BIM 所具备的 4D 模拟功能,在施工策划阶段,能够针对脚手架搭设、高空作业、深基坑施工、吊装作业等一系列高风险工序展开动态演练,进而提前去识别其中存在的危险源以及作业空间可能出现的冲突情况,并且能够在相关模型里对施工顺序、临边防护以及安全通道布置加以优化,以此来保证方案能够契合安全规范方面的各项要求。在施工实施的过程中, BIM 平台可以联合物联网传感器、视频监控以及 RFID 技术,达成对塔吊运行状态、人员进出情况、环境监测(像温湿度、有害气体浓度这类)的实时数据采集以及在模型上进行可视化展示的效果,如此一来便有利于管理人员迅速掌握现场的安全状况并及时采取相应的干预举措<sup>[3]</sup>。与此安全交底以及培训活动则能够借助 BIM 的虚拟现实(VR)或者增强现实(AR)技术,使得作业人员能够在沉浸式的模拟环境当中去体验施工的具体场景以及安全操作的关键要点,从而提升他们对于风险的感知能力以及防范方面的意识。

#### 2.1.4 根据模拟施工开展安全管理

在依据模拟施工来展开安全管理相关工作之际, BIM 技术会去构建起较为精确的三维施工模型,与此同时还会结合时间轴来展开 4D 动态模拟操作,如此一来便能够把施工的整个过程以一种可视化的形式呈现出来,进而使得项目团队可以在施工正式开始之前,针对各个工序所占的空间情况、作业的具体顺序,还有人员以及设备之间的交互关系等方面展开较为全面的分析,由此提前对潜在的安全隐患以及存在较高风险的作业环节予以识别。借助于对吊装路径、脚手架搭建的位置、临时支撑结构的布置情况以及施工通道的安排等方面的虚拟演练活动,管理人员便能够直观地去判断是否存在作业面出现冲突的情况、机械设备产生干涉的现象或者人员通行存在障碍的情形,并且

还能够在模型当中直接对施工方案做出调整,以此来避免危险情形的出现。BIM 的模拟功能还能够把诸如临边防护网、围栏、防坠落装置等一系列安全防护措施都集成到模型当中,以此来对防护设施的合理性、其覆盖的范围以及安装的时机等方面进行验证,从而保证这些防护措施能够在施工现场得以切实有效的落实。

### 2.1.5 安全识别与防护

就安全识别以及防护这一方面来讲,BIM 技术凭借三维可视化、信息集成还有动态模拟这些手段,能够把施工现场所存在的安全风险以一种较为直观的方式呈现出来,并且和防护措施紧密地绑定在一起,进而达成从风险发现一直到防护落实整个过程的全方位管控。通过在 BIM 模型当中加载施工方案以及场地布置方面的数据,管理人员便能够迅速地识别出高空作业、交叉作业、临边坠落、深基坑、吊装作业等这类存在较高风险的区域,并且借助颜色标识、风险标签等等方式来开展可视化的标注工作,如此一来便能够在策划阶段提前去制定具有针对性的防护措施。像安全网、防护栏、临时围挡、防坠落装置这类防护设施,可以在模型里面进行相应的布置以及优化操作,以此来验证它们的覆盖范围、安装位置以及和施工工序之间的衔接情况,从而保证在整个施工过程当中始终都能够处于有效的防护状态。与此 BIM 平台还能够和物联网传感器、RFID 以及视频监控系统实现集成,针对关键的风险点展开实时的监测与预警,并且在模型界面当中对风险状态进行动态的更新,这样就能够让管理人员能够快速定位风险所在并及时采取干预措施。

## 2.2 工程进度管理应用

### 2.2.1 工程进度预测

在进行建筑工程施工进度的预测时,必须建立建筑工程的三维心理模型,并根据实时数据对模型进行调整和优化,以保证模型数据的准确性。根据施工方案对系统的施工流程进行预演,检测工程施工进度是否满足施工进度目标要求,如果不符合相关的要求,要及时改进,调整优化,确保施工按照既定的施工计划完成<sup>[4]</sup>。与此同时,施工工程进度的预测过程中,按照施工设计要求构建施工工程的三维信息模型,以此来检测施工设计与施工进度度的相匹配程度,如若发现不合理的情况,要根据施工设计技术要求,合理调控施工进度,预测出准确科学的施工工期。

### 2.2.2 工程进度的管理

在工程进度管理方面,BIM 技术凭借高度集成的三维模型、施工计划以及资源信息,达成了对施工全程的全景式、动态且细致的管理效果。借助 BIM 所具备的 4D 施工模拟功能,项目团队得以把施工工序在时间维度上展开虚拟的演练操作。如此一来,不但能够清晰直观地呈现出每一工序的具体空间位置、施工的先后顺序以及工序彼此间的衔接关联状况,而且还能够对施工面的占用情况、关键节点可能出现的瓶颈问题以及潜在存在的各类冲突

加以分析,进而提前察觉到那些可能会致使工期出现延误的风险所在之处。由此,便能够在施工正式开始之前对施工组织设计、工序安排以及资源调配方案做出相应的优化调整。与此 BIM 平台还能够实时对施工计划和实际进度加以比对,依靠模型动态更新构件的实际完成状况、施工过程中出现的偏差情况以及存在滞后的节点情况,以此实现对进度偏差的分析、异常情况的预警以及决策方面的支持作用,使得项目管理者能够及时对施工策略做出调整,从而确保工程能够按照预定计划顺利推进下去。BIM 技术还能把人力、设备、材料供应以及临时设施布局等相关信息与施工进度关联起来,达成跨专业、跨部门的协同管理成效,让各个参与方能够同步知晓资源的使用状况、施工的进度情况以及潜在存在的风险因素,以此提升现场组织的工作效率以及施工过程中的安全性。除此之外,通过将 BIM 和物联网、传感器以及无人机等技术相结合的方式,可实现对施工现场的实时监控、施工量的精准统计以及进度的严格验证,将实际施工所获取的数据与模型当中的信息做到高度的匹配,进一步强化进度管理的精确程度以及可控水平。

## 3 结语

BIM 技术凭借其具备的信息集成特性、可视化功能以及模拟能力,正在对建筑工程管理的传统模式产生着颇为深刻的影响。在设计这个阶段,BIM 能够有效地降低冲突发生的概率,并且对施工方案加以优化;到了施工阶段,借助于针对质量、进度以及安全展开的全过程管理举措,使得施工效率得以提高,管理精度也得到了提升;而在运维阶段,BIM 同样能够给设施管理提供较为可靠的数据支撑,同时也可作为决策的重要依据。虽然在实际的应用过程当中,依旧存在着技术成本偏高、专业人才短缺以及标准体系不够完善等一系列问题,不过伴随信息化水平的不断提高以及行业经验的不断累积,BIM 技术在建筑工程管理当中的应用所呈现出的前景是十分广阔的。在未来,充分地发挥出 BIM 在协同管理方面、风险控制领域以及数据驱动决策方面的优势,这对于推动建筑行业的数字化转型是有帮助的,也有助于达成工程管理的科学化、精细化以及智能化的目标。

### 【参考文献】

- [1]董宇杰.BIM 技术在建筑工程管理中运用分析[J].建材发展导向,2024,22(24):85-87.
- [2]刘洪江.建筑工程管理中 BIM 技术的运用分析[J].工程建设与设计,2023(2):116-118.
- [3]朱育铨,李俊华.建筑工程管理中 BIM 技术的运用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(20):60-62.
- [4]李娟.BIM 技术在建筑工程管理中的应用分析[J].居舍,2021(29):49-50.

作者简介:汤川鄂(1987.4—),单位名称:中电建路桥集团有限公司,毕业学校和专业:长春工程学院 工程管理专业。

## 市政路桥工程现场施工管理内容及策略研究

李洪志

青海中凯建设工程有限公司, 青海 西宁 810000

**[摘要]**随着经济水平持续提升, 交通运输行业发展迅速, 市政路桥工程也有明显进展。作为城市基础设施关键部分, 路桥工程建设质量和市民生产生活紧密关联, 若出现严重问题, 还可能引发安全事故, 导致难以承受的损失。所以建设单位得采取科学合理管理举措, 切实做好市政路桥工程现场施工管理工作。鉴于此, 这篇文章结合自身工作经历, 分析探讨市政路桥现场施工管理存在的问题, 同时给出相应改进办法, 希望能为市政路桥工程安全、规范、稳定发展提供参考借鉴。

**[关键词]**市政路桥; 现场施工; 施工管理; 管理内容; 策略

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17626

中图分类号: TU99

文献标识码: A

### Research on the Content and Strategy of On-site Construction Management for Municipal Road and Bridge Engineering

LI Hongzhi

Qinghai Zhongkai Construction Engineering Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

**Abstract:** With the continuous improvement of the economic level and the rapid development of the transportation industry, there has also been significant progress in municipal road and bridge engineering. As a key part of urban infrastructure, the construction quality of road and bridge projects is closely related to the production and life of citizens. If serious problems occur, they may also trigger safety accidents, resulting in unbearable losses. Therefore, construction units must adopt scientific and reasonable management measures to effectively carry out on-site construction management of municipal road and bridge projects. In view of this, this article combines my own work experience to analyze and explore the problems in on-site construction management of municipal road and bridge projects, and provides corresponding improvement methods, hoping to provide reference and guidance for the safe, standardized, and stable development of municipal road and bridge projects.

**Keywords:** municipal roads and bridges; on-site construction; construction management; management content; strategy

#### 引言

市政路桥工程属于城市基础设施建设里的重要部分, 其施工的质量、进度还有管理的水平会直接影响城市交通的安全状况、通行的效率以及公共资源是否能有效利用。在施工期间, 因为桥梁以及道路的结构比较复杂, 施工环境多变, 并且地质和气候条件也有不确定性, 所以工程施工会面临进度出现滞后情况、质量控制存在较大难度、施工安全风险比较高以及资源和成本管理不够规范等诸多方面的挑战。所以说, 科学且系统的现场施工管理就显得格外重要了, 它可合理地组织施工资源, 优化施工流程, 同时还能保障工程质量、安全以及经济效益达成统一。现场施工管理包含进度管理、质量管理、造价管理、安全管理以及环境保护与文明施工等方面, 每一个环节都会直接对工程的整体水平以及可持续发展产生影响。本文要对市政路桥工程现场施工管理的主要内容、存在的问题以及相关策略展开系统分析, 通过针对施工组织、进度控制、质量管理、成本控制、安全管理以及环境文明施工展开深入研究, 给出科学合理的管理策略, 期望能给工程项目提供理论层面的指导以及实践方面的参考, 推动市政路桥工程施工朝着规范化、精细化以及高效化的方向发展。

#### 1 市政路桥工程现场施工管理的主要内容

##### 1.1 进度管理

在市政路桥工程开展施工活动之时, 进度管理堪称是极为关键的一环, 其对于促使工程能够如期完工、合理有序地组织各类资源以及提升施工方面的效率都有着不容小觑的作用。进度管理所涵盖的内容并不仅仅局限于施工计划的编制工作以及后续的实施事宜, 它还涉及到针对施工各个不同阶段展开节点方面的把控操作、对工序之间的衔接情况进行妥善安排, 另外还要对时间资源予以优化的配置方式。在正式施工开始之前, 应当依据工程的实际规模大小、具体的施工条件状况以及相应技术方面的要求来制定出既科学又合理的总体进度计划。与此要结合运用关键路径法、甘特图或者网络计划技术等相关方法, 对施工工序加以细致的分解处理并进行合理的排序安排, 从而清晰明确地确定出各个工序所对应的工期时长、资源的具体需求情况以及那些处于关键位置的控制要点所在。在施工具体实施的过程当中, 得对进度计划展开动态化的跟踪监测并且适时做出相应的调整改动。借助现场的实时监控举措、定期开展的汇报工作以及信息化管理所具备的各类手段, 能够及时有效地察觉到施工过程中出现的延误情况或者是存在的瓶颈类问题。



## 1.2 质量管理

质量管理即通过对施工现场的管理有效确保整个工程的最终施工质量,市政道路桥梁工程开发管理工作的重要部分是施工质量的管理,整个施工质量的效果与市政道路桥梁工程项目开发的设计、勘察和监督管理工作具有紧密的联系。所以对市政道路桥梁工程开发的管理与各个部门之间的工作协调十分重要,但进行部门协调与管理却并不是容易的事,工程的施工工作与各个部门的工作都具有紧密的联系。而产生施工质量的原因与各个部门的工作效果也十分紧密<sup>[1]</sup>。首先市政道路桥梁工程的建设单位如果为了获取更大的利益,会降低整体的施工标准,从而导致施工质量问题的出现。

## 1.3 造价管理

在市政路桥工程的施工进程里,造价管理属于极为关键的一环,它对于保障工程具备经济性以及促使资源得以合理利用而言有着重要意义。造价管理所确立的核心目标是要把工程成本控制在预算所划定的范围之内,并且要确保施工质量以及进度方面的各项目标都能够顺利达成。造价管理会贯穿整个工程建设的始终,在施工开始之前的阶段,像预算的编制工作、材料设备采购的相关计划制定、施工方案的优化处理等方面,施工正在进行的过程之中,像成本的监控事宜、合同的管理工作、资源的调配操作以及费用的核算事项等等,一直到竣工完成之后的阶段,像结算以及后续的分析工作等,都务必要采用科学且系统的管理方式来加以开展。在施工阶段当中,应当着手建立起成本控制的体系,针对各个分项工程、材料设备、人工以及机械使用的相关情况展开量化的管理并且实施动态的跟踪,借助信息化的手段能够及时察觉到成本出现的偏差,并且要及时采取相应的调整举措,比如对施工方案予以优化、合理地调配资源、对材料消耗加以控制、提升机械的利用率等等,以此来削减那些不必要的开支。

## 2 市政路桥工程现场施工管理存在的问题

在市政路桥工程现场施工管理进程当中,存在的各类问题呈现出有着多层次以及多方面这样的特点,这些情况对工程能够顺利地去实施以及实现长期的运营是产生了一定的影响的。在施工进度管理上存在着滞后的状况或者说出现脱节的现象,其主要呈现出来的表现是施工计划和实际现场的条件无法很好地契合到一起,工序之间的衔接不够顺畅,对于关键节点的控制也不够严谨,并且在施工处于高峰期的时候,由于资源、机械或者劳动力出现不足的情况,进而导致了工期出现了延误的状况。施工质量控制同样面临着不少的挑战,比如说有一部分分项工程在施工工艺的执行方面做得并不到位,材料的检验工作也不够充分,现场所采用的检测手段比较落后,而且对于隐蔽工程质量的监督力度也不足,如此一来便有可能引发诸如结构出现裂缝、沉降情况不均匀或者是桥梁构件耐久性有所下

降等一系列的问题。在造价管理这个方面也存在一些不够完善的地方,主要表现在施工预算的编制缺乏科学合理的安排,成本监控的机制也不是很健全,资源的调配也不够合理,再加上施工变更以及临时措施所导致的额外支出不断增加,这无疑增加了整个工程投资的不确定性<sup>[2]</sup>。除此之外,施工安全管理还存在着较为薄弱的环节,像是安全防护设施不够完备,施工人员的安全培训做得不够到位,对于风险隐患的排查工作也没有做到位,而且现场的安全生产管理制度在执行的时候也不够严格,这些情况是很容易引发安全事故或者是职业健康相关问题的。在环境保护以及文明施工管理方面同样存在着一定的不足,比如施工扬尘的控制做得不够有力,噪声对周围居民造成了干扰,施工废弃物的处理也不够规范,施工现场文明施工的标准在执行的时候也没有到位,这些情况对周边的环境以及城市的形象都是会产生影响的。

## 3 市政路桥工程现场施工管理策略

### 3.1 完善施工组织与科学进度管理

在市政路桥工程展开施工之际,将施工组织予以完善并且开展科学的进度管理,这无疑是在为工程能够按时且保质保量地完成筑牢一道重要前提。一开始便要在施工正式开始之前着手去做科学的施工组织方面的设计工作,要对施工段落做出合理的划分,要清楚明确各个工序究竟该按照怎样的先后顺序来开展以及每个节点具体对应的时间点又是如何,还需对机械设备、劳动力以及材料供应加以统筹安排,以此来达成施工资源能够得到合理配置并且可以实现高效利用这样的目标。与此要运用那些先进的进度管理方法,像是关键路径法、甘特图、网络计划技术还有信息化进度管理系统等等,针对各个施工环节实施量化的控制并做到实时的监测,从而促使施工计划和现场的实际状况能够实现动态的契合。在施工正在开展的过程当中,应当定期去组织开展进度的检查以及相关分析工作,以便能够及时察觉到施工出现滞后的情况、工序之间存在冲突的问题或者资源出现短缺等种种状况,并且通过采取诸如调整施工的顺序、对施工方案予以优化、增加补充劳动力或者调配机械设备等一系列措施来展开科学的调控操作,进而确保关键节点以及整体工期都能够顺利地向前推进。

### 3.2 提升工程质量管理水平

在市政路桥工程施工期间,提高工程质量管理水平属于极为关键的环节,其对于确保工程的安全性、耐久性以及使用性能有着重要意义。一开始,得构建起完备的质量管理体系,要清晰明确各个施工环节的质量标准、检验规范以及责任分工情况,让每一个施工节点以及每一项工序都能够有章可循且可以追溯源头。在施工开始之前,有必要针对施工人员开展质量意识方面的培训,要保证操作人员能够掌握规范的施工方法以及相关技术要求,并且要对材料、机械设备以及施工工艺予以严格的把控,确保投入使用的各类资源都符合设计以及规范所规定的标准<sup>[3]</sup>。在

施工实施的过程中,应当强化现场的质量控制工作,运用过程巡检、关键工序验收以及隐蔽工程检查等多种手段,以便及时察觉并纠正施工过程中出现的偏差,避免缺陷进一步扩大,同时依靠现代检测技术比如无损检测、试验监测以及数字化质量管理平台等,达成对施工质量的实时监控以及数据化的管理工作。等到工程完工之后,需要开展全面的验收工作以及质量评估活动,进而形成完整的质量档案资料,以此为后续的养护以及使用提供可靠的依据。

### 3.3 强化施工安全管理与风险防控

在市政路桥工程施工期间,强化施工安全管理以及风险防控属于极为关键的环节,其对于保障人员生命安全、推动工程顺利推进以及维持施工环境稳定有着重要意义。一开始,需构建起较为完善的施工安全管理体系,要清晰明确安全责任制,把安全职责切实落实至每一个工作岗位以及施工环节当中,务必要让管理层、现场的技术人员还有施工班组都能够清楚知晓自身所应承担的安全方面的义务以及相应的操作规范。在正式施工之前,应当针对施工人员展开系统性的安全培训以及教育工作,以此来提升他们对于安全的认识程度以及风险辨识的能力,与此还要对施工机械设备给予安全方面的检查以及维护,保证其能够可靠地运行。在施工整个过程之中,必须严格依照安全操作规程来执行各项操作,尤其要对高空作业、深基坑施工、桥梁吊装以及交通导改等这些存在高风险的作业予以重点监控,另外还需设置警示标识、安全防护设施以及应急通道,以此来保障施工现场能够处于安全且有秩序的状态。除此之外,还应当建立起风险预警以及应急处置的相关机制,借助定期开展的安全检查、隐患排查以及安全评估等工作,及时察觉到潜在的风险,并且采取有效的举措加以防控,对于可能出现的各类突发事件要制定出应急预案,其中涵盖人员疏散的具体安排、事故处理的操作流程以及环境保护的相应措施,从而确保风险可以处于可控状态,事故能够得到有效预防。

### 3.4 优化资源配置与成本控制

在市政路桥工程施工期间,优化资源配置以及加强成本控制,这二者乃是达成工程具备经济性并且促使施工效率得以提升的关键举措。需在施工正式开始之前做好详尽的资源规划工作,具体涉及劳动力、机械设备、各类材料还有资金等各个方面,要予以合理的配置安排,务必要让各类资源都能够充分契合施工进度方面的要求以及工序环节的需求,与此同时还要尽力规避出现重复调配资源或者资源处于闲置状态而造成浪费的情况。在施工行进的过程中,应当构建起科学合理的成本控制体系,针对各个分项工程、材料采购事宜、机械使用情况以及人工投入等方面展开动态化的监控,借助信息化管理的相关手段来达成成本数据的实时采集、细致分析以及及时反馈的目的,从而能够及时察觉到出现超支情况或者资源存在浪费的问题,

并且随即采取相应的调整办法<sup>[4]</sup>。施工现场得着重去优化施工方案,要妥善安排施工的先后顺序以及施工班组的调度,以此提高机械的利用率并推动施工效率的提升,另外还要严格把控材料的消耗量,努力减少废料的产生,并且对于变更事项以及临时采取的措施也要加以审查与管理,借此防止出现那些不必要的额外支出情况。

### 3.5 推进环境保护与文明施工管理

在市政路桥工程开展施工之际,推进环境保护以及文明施工管理相关事宜,这无疑是一项极为重要的举措,其目的在于达成工程的可持续发展,同时也对维护施工现场周边环境的秩序起到关键作用。务必要在施工正式开始之前便制定出详尽的环境保护方案以及文明施工方案,要清楚地明确针对扬尘、噪声、废水还有施工垃圾等各项因素所采取的具体控制举措,并且要明确施工现场道路、材料堆放以及交通组织等方面应当遵循的规范要求。在施工具体实施的过程当中,需要严格依照施工规范以及环保标准来切实执行,借助设置防尘网、洒水抑尘、降噪设施以及废弃物分类收集处理等一系列方式,以此来降低施工给周边环境所带来的影响,与此同时还要确保施工现场能够保持整洁且有条不紊的状态。文明施工管理除了上述内容之外,还应当涵盖施工标识清晰醒目、通道保持畅通无阻、施工人员严格遵守现场秩序以及施工行为做到规范化等方面,从而切实保障施工过程的安全性,不让周边居民的生活受到任何干扰。

## 4 结语

市政路桥工程施工现场的管理,对于确保工程质量、把控施工进度、节约成本以及维持施工安全等都极为关键。借助对施工进度、质量、造价、安全还有环境保护与文明施工等方面展开科学管理,能够妥善处理施工过程中出现的各种问题,提高工程组织协调方面的实力以及施工的效率。完善施工组织安排、合理配置资源、强化安全方面的管理、提高质量水准并推进文明施工,这不但能促使工程按时顺利完成,而且还能为工程的长久使用以及城市交通的发展给予稳固的保障。

### 【参考文献】

- [1]任国勇.解析加强市政路桥工程现场施工管理策略[J].居舍,2020(5):170.
- [2]李波.市政路桥工程现场施工管理难点及解决策略[J].城市建设理论研究(电子版),2024(27):133-135.
- [3]古发祥.市政路桥工程现场施工管理难点及解决策略[J].城市建设理论研究(电子版),2023(31):67-69.
- [4]毛春阳.市政路桥工程现场施工管理内容及策略[J].居舍,2019(26):140.

作者简介:李洪志(1996.8—),毕业院校:青海交通职业技术学院,所学专业:道路桥梁工程技术,当前就业单位名称:青海中凯建设工程有限公司,就单位职务:技术员。

## 机械 CAD 与机械制图一体化教学融合的思考

万铭谦 张玲莉

江西电力职业技术学院, 江西 南昌 330032

**[摘要]**机械工程教育领域当前面临着传统制图课程与现代 CAD 技术教学割裂造成的严峻挑战, 这种课程分离导致的知识体系断层在人才培养过程中表现得特别明显。那种过度强调手工绘图技法而忽视三维设计能力培养的陈旧教学模式, 已经难以适应基于模型定义的现代制造范式转型需求。教育工作者必须正视产业技术变革带来的课程改革压力, 所以推进机械制图与 CAD 课程的深度一体化融合成为亟待解决的核心课题。文章系统分析两门课程教学中存在的内容重复脱节、手段滞后低效、能力培养不足等关键问题, 论证实施教学融合的必要性及紧迫性, 进而提出重构课程体系、创新教学方法、强化实践环节等具体策略。

**[关键词]**机械 CAD; 机械制图; 一体化教学; 课程融合

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17642

中图分类号: TP39

文献标识码: A

### Thoughts on the Integration of Mechanical CAD and Mechanical Drawing Teaching

WAN Mingqian, ZHANG Lingli

Jiangxi Electric Vocational and Technical College, Nanchang, Jiangxi, 330032, China

**Abstract:** The field of mechanical engineering education is currently facing severe challenges caused by the separation of traditional drawing courses and modern CAD technology teaching. The knowledge system gap caused by this course separation is particularly evident in the process of talent cultivation. The outdated teaching model that overly emphasizes manual drawing techniques and neglects the cultivation of 3D design skills is no longer suitable for the transformation needs of modern manufacturing paradigms based on model definitions. Education workers must face the pressure of curriculum reform brought about by industrial technological changes, so promoting the deep integration of mechanical drawing and CAD courses has become an urgent core issue to be solved. The article systematically analyzes key issues in the teaching of two courses, such as repetitive and disjointed content, outdated and inefficient methods, and insufficient ability development. It argues for the necessity and urgency of implementing teaching integration, and proposes specific strategies such as restructuring the curriculum system, innovating teaching methods, and strengthening practical activities.

**Keywords:** mechanical CAD; mechanical drawing; integrated teaching; course integration

数字化设计制造技术的迅猛发展彻底重构了机械产品开发流程, 基于三维模型的企业模式正在取代传统二维图纸主导的生产体系。产品设计源头已转变为三维数字模型而二维工程图降格为辅助性技术文档的这种根本性转变, 对工程人才培养规格提出了全新要求。然而当前多数院校的机械制图课程仍然维持着以手工绘图和投影理论为核心的陈旧体系, 那些与 CAD 课程分设造成的教学内容重叠与能力培养脱节问题日益凸显。传统教学手段在培养学生空间思维能力方面效率低下, CAD 教学又普遍沦为软件操作培训而偏离工程本质。这种双重困境导致毕业生既缺乏扎实投影理论基础, 又难以运用现代工具解决实际设计问题。教育领域必须响应产业变革调整教学内容, 那种将三维设计能力培养纳入核心课程体系的改革方向已逐渐成为共识的地得选择。

#### 1 机械 CAD 与机械制图课程教学现状分析

##### 1.1 课程设置分离导致内容断层

当前多数院校将机械制图与机械 CAD 课程人为切割成两个独立教学阶段, 这种时序分隔与内容模块化直接造

成知识点的重复讲授与关键衔接点的缺失。传统机械制图课程过度强调手工绘制二维图纸的技法训练和国标条文的机械记忆, 然后现代 CAD 工具如何高效实现二维图样表达这个实践环节, 以及基于三维模型自动生成规范工程图的核心能力培养, 这些至关重要的内容却未能建立系统化的教学链路。理论与实践之间的割裂, 传统手段与现代工具之间的代差, 使得学生始终难以构建起完整的设计表达知识体系, 这种情况在教学中表现得特别明显。

##### 1.2 传统教学模式的固有缺陷

依赖教师单向灌输配合大量手工绘图作业, 辅以静态挂图与实物模型演示的教学形式, 对空间想象力与三维构型能力的培养效果极其有限。学生理解投影关系的过程往往伴随着强烈的挫败感, 那些基于黑板绘图和实体模型展示的传统教学方法, 在表现复杂形体结构、动态投影变换以及多角度观察需求方面, 确实存在着难以克服的直观性不足问题, 教师们常常为此感到棘手。

##### 1.3 CAD 教学偏离工程本质

许多 CAD 课程沦为软件操作培训, 聚焦基础命令讲



解与简单几何体建模练习,未能融入真实机械产品设计情境。学生可以操作拉伸旋转扫描放样这些建模工具,但如何综合运用这些工具构建满足功能需求的三维模型,如何根据设计意图生成符合工艺要求的工程图纸,这些核心能力却缺乏系统性训练<sup>[1]</sup>。参数化设计、关联更新、装配管理这些高级功能在教学中的缺失,使得 CAD 技术被降格为电子绘图板,其在设计创新与质量优化方面的价值完全没有被释放出来,与工程实践需求严重脱节。

#### 1.4 学生核心能力培养缺失

过度依赖二维图样训练导致空间思维培养失衡,缺乏“三维构思→三维表达→二维出图”的完整思维闭环,学生难以建立动态投影推演能力。工程实践方面更显薄弱,学生对真实零部件的设计流程与制造要求缺乏必要认知,能完成标准习题却无法应对实际设计任务,包括合理构型、规范出图及技术文档编制在内的综合能力明显不足。设计表达与制造要求之间的关联性,学生往往搞不清楚其中的逻辑关系,这种情况在毕业生中表现得特别明显。

### 2 机械 CAD 与机械制图课程融合的重要性与必要性

#### 2.1 适应现代技术发展的必然选择

基于三维模型定义和基于模型企业的范式已经成为现代机械制造领域的主导模式,产品设计的核心载体转变为三维数字模型,二维工程图更多承担着由三维模型自动生成的辅助性角色。整个设计流程的核心逻辑已经彻底转向三维设计驱动二维出图这种模式,继续维持以二维图纸为中心的传统教学模式,显然与产业技术发展方向背道而驰。那些在汽车制造和航空航天领域广泛应用的数字化设计流程,已经将三维模型作为唯一数据源的这个事实,教育领域必须正视这个趋势变化。教育必须面向未来需求,所以将机械 CAD 与机械制图深度融合,以三维设计能力培养为主线重构课程体系,成为工程图学教育契合现代工业实践的必然要求,这种情况在产业升级中表现得特别明显。传统制图课程过分强调手工绘图技法的情况,在智能制造时代显得尤为不合时宜,这种矛盾在企业的用人反馈中表现得特别明显。

#### 2.2 知识体系整合与效率提升

打破传统课程边界实施一体化教学,最直接的好处在于重组优化原有割裂的知识体系,通过建立以三维设计表达为核心逻辑的教学序列,能够消除两门课程在投影理论视图表达尺寸标注等基础知识点上的重复覆盖。投影法基本原理这类原本在两门课程中重复讲授超过 12 学时的内容,经过整合后可以压缩到 5 学时以内,这种改变在试点课程中表现得特别明显。宝贵的课堂时间得以从繁复的手工绘图训练中释放出来,那些原本消耗在孤立软件命令练习的教学资源,可以集中投入到空间思维训练三维建模技巧设计意图表达等关键能力的培养环节。学生有更多时间

进行复杂装配体设计这类综合性训练,动手做项目的机会显著增加。这种转变显著提升单位时间教学效能,使学生更快掌握系统实用的知识技能,这种情况在试点院校中表现得特别明显。

#### 2.3 强化空间思维与三维能力

当学生在三维环境中直接进行形体构造观察剖切装配操作时,空间概念的形成变得特别直观迅速。原本需要六周课时才能建立的组合体投影概念,在三维软件辅助下两周就能掌握,学生搞不清楚投影关系的情况大幅减少。三维建模过程本身就是强大的空间思维训练,需要在大脑中精确构建操作验证三维形体关系。进行齿轮箱建模这类复杂任务时,学生必须同步思考内部结构和外部特征的表达方法。以三维模型为源头逆向学习二维投影表达的逻辑方法,这种从三维到二维的学习路径完全符合现代设计流程,能帮助学生理解投影本质,彻底打通空间思维与平面表达的认知障碍,学生往往搞不清楚这两者的转化原理。在完成减速器三维建模后生成工程图的训练中,超过一大半的学生表示真正理解了剖视图的形成机制。

#### 2.4 提升实践能力与就业竞争力

深度融合模式引入真实或仿真的设计项目,学生完成简单机构或典型零部件设计时需要综合运用建模出图标注装配等系列技能。比如设计液压夹具的项目要求学生完成定位元件三维建模、装配干涉检查、工程图标注等全流程任务。这种项目驱动方式让学生在接近真实工程环境的地地体验完整设计流程,理解图纸在制造沟通中的核心作用,体会工程规范的实际意义<sup>[2]</sup>。学生在处理公差配合标注时经常忽略加工工艺要求,这个细节问题在企业实习中表现得特别明显。毫无疑问具备扎实三维设计能力和规范工程表达能力的学生,在就业市场展现出强大竞争优势,更能满足先进制造业对高素质人才的需求,他们的职业发展潜力也更巨大,毕业生在找工作时表现得特别明显。

### 3 机械 CAD 与机械制图课程融合的教学策略

#### 3.1 重构一体化课程体系与教学内容

彻底打破原有课程壁垒构建以三维设计表达为核心逻辑的新课程体系,这个体系需要遵循认识三维基础几何体建模到理解投影三维模型生成二维视图再到掌握规范三维环境应用制图标准这样的螺旋式能力培养路径。学生从简单立方体建模开始逐步过渡到复杂装配体设计的学习过程需要特别注意阶段性目标的设置,那些没有接触过三维软件的学生在初期操作中往往表现得特别吃力。教学内容深度整合意味着大幅压缩手工绘图训练,将点线面投影基本体投影组合体构型这些传统内容完全融入 CAD 三维建模实践中进行讲解。投影法这类抽象理论结合三维软件的可视化操作,学生搞不清楚的情况明显减少但需要警惕过度依赖软件导致理论基础弱化的新问题。制图国家标准如图样画法尺寸标注公差配合等技术规范的学习,必须

嵌入三维模型标注与二维工程图生成的具体任务中,强调其在设计制造信息传递中的实际价值,这种情况在教学设计中表现得特别明显。企业工程师反馈毕业生标注尺寸时经常忽略加工工艺要求,这个缺陷必须在教学中重点强化。

### 3.2 创新教学方法与手段

所有新知识引入都应以三维模型创建观察操作为起点,例如讲解组合体画法时教师首先引导学生用 CAD 构建三维模型,然后通过工程图模块实时动态演示如何生成基本视图剖视图等,同步解释视图形成原理。那些复杂的相贯线表达问题,通过三维模型剖切功能可以直观展示形成过程,学生在地得操作过程中往往搞不清楚截交线的投影变化规律。学生在理解视图生成机制后再动手操作软件学习调整视图布局和规范标注,这种做中学的方式让抽象投影理论变得直观可视。动态剖切虚拟装配这些功能要作为辅助理解空间结构的工具,但要注意避免学生沉迷特效操作而忽视制图规范的本质要求<sup>[3]</sup>。充分利用参数化驱动和干涉检查等功能验证设计合理性,这种教学手段在试点课程中表现得特别明显。教学团队发现采用减速器案例贯穿课程时,学生对装配约束的理解程度提高了很多。

### 3.3 深度融合实践环节

实践内容设计摒弃零散习题采用贯穿课程的综合设计项目,项目难度梯度递进从螺栓轴承三维建模到轴齿轮箱体类零件设计,再到减速器夹具的装配体建模与运动检查。学生做减速器项目时需要同时考虑轴承配合公差与装配干涉问题,这个综合要求在企业实战中表现得特别明显但学校设备往往跟不上实际需求。在 CAD 虚拟环境完成主要设计建模任务的同时,必须辅以实物模型观察测绘和金工实习,让学生理解虚拟模型背后的物理实体制造过程。那些在屏幕上看不见的加工刀痕与装配间隙,通过实物拆解才能搞得清楚实际状况,实训车间的地面油污常常让学生感到困扰。深化对设计表达制造三者关联性的认识,这种情况在实践环节中表现得特别明显。校企合作项目中企业提供的真实失效零件案例,对培养学生工程责任感特别有效。

### 3.4 建立多元化考核评价体系

传统笔试无法评价一体化教学目标,必须建立着重考察三维空间思维建模能力工程图表达能力的多元评价体系。那些只看最终图纸的传统评分标准,往往忽略特征建模的逻辑合理性这个关键维度,考评组教师在地得评审时经常争论评分标准的权重分配。评价方式包含:①过程性评价记录课堂练习项目阶段成果中的表现;②项目成果评价三维模型质量与工程图规范性;③基础理论考核关键投影原理掌握度;④综合能力测试现场根据轴测图构建模型出图。评分细则要特别关注特征构建逻辑性与工程图完整性,学生在地得标注时经常搞错公差配合的标注位置这个

顽固问题<sup>[4]</sup>。考核指挥棒必须指向核心能力达成,这种情况在评价改革中表现得特别明显。引入企业专家参与毕设答辩后,设计方案的工艺可行性评分显著提升。

### 3.5 强化师资与资源建设

融合改革成功依赖教师能力转型与资源保障,师资培训要覆盖现代三维设计理念与 CAD 软件高级应用。那些刚从传统制图转型的教师,需要重点培训参数化设计关联更新这些高阶技能,老教师学习新软件的地得过程往往充满挫败感。鼓励教师参与企业实战项目积累工程经验,教学资源建设要以三维设计流程为主线组织内容,建立典型零部件库工程图范例库常见错误案例库。微课视频要包含剖视图生成难点解析这类实用内容,学生看得懂才能做得对但视频更新速度跟不上软件版本迭代。确保机房配备性能达标计算机与正版软件,网络环境满足常态化教学需求,这种情况在资源投入中表现得特别明显。实训室管理员反映学生操作不当导致的设备损坏率,在开展三维设计教学后大幅度上升。

## 4 结语

机械 CAD 与机械制图课程的一体化融合改革是应对产业数字化转型的必然选择,这种以三维设计能力为核心重构教学体系的实践探索在工程教育领域表现得特别明显。通过系统性地打破课程壁垒整合知识内容,创新三维建模驱动的教学方法,实施项目引领的实践训练,建立多元化的考核评价机制,能够有效解决传统教学中存在的理论实践脱节、能力培养低效等根本性问题。教育工作者应当充分认识这场改革的复杂性与长期性,那些在师资转型和资源建设过程中遇到的地得阻力需要持续攻坚。唯有通过这种深度融合才能真正培养出掌握现代设计工具、理解工程规范本质、具备创新实践能力的技术人才,从而满足先进制造业对高素质从业者的迫切需求。这场关乎工程教育质量的转型实践,最终将深刻塑造我国机械工程技术人才的培养规格与竞争实力。

### 【参考文献】

- [1]王庆凯.机械制图与机械 CAD 的融合研究[J].中国金属通报,2025(3):76-78.
  - [2]刘浪,王哲.基于 CAD 的造纸机械精密放样测量及安装技术[J].华东纸业,2025,55(4):64-66.
  - [3]代荣,翟彦博.“机械 CAD/CAM”教学改革研究与实践[J].教育教学论坛,2025(19):49-52.
  - [4]时幸辉.产教融合背景下数控专业机械 CAD/CAM-UG 项目式教学实施探索[J].农机使用与维修,2025(5):156-158.
- 作者简介:万铭谦(1984.2—),男,汉族,本科,工业设计。

# 压力容器用机电式安全泄放装置的性能优化研究

辛丹丹

浙江亚光科技股份有限公司, 浙江 温州 325025

**[摘要]**压力容器属于高压工艺系统的关键设备,其能够安全运行依靠的是泄放装置可以及时做出响应并且实现精确控制。在传统机械式安全阀存在着响应会出现滞后、泄漏控制不够稳定等状况的这样的情况之下,机电式安全泄放装置因为自身有着感知、判断以及驱动一体化这样得天独厚的优势,所以逐渐在石化、能源、航空等诸多领域得到了应用。近些年来,随着自动化控制以及智能制造不断发展,泄放装置除了要满足基本的压力控制方面的功能之外,还应当具备较高的响应速度、较高的重复精度以及较强的环境适应性。文中主要是依据机电式结构的特点,全面且细致地分析其性能受哪些因素的影响,给出关于响应机制、材料选型以及控制策略相互协同优化的具体方案,并且通过仿真以及实验来加以证实,从而提高其在多种工况环境之下的运行稳定性以及工程实施的可能性。

**[关键词]**压力容器; 机电式安全泄放装置; 可靠性

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17633

中图分类号: TH136

文献标识码: A

## Research on Performance Optimization of Electromechanical Safety Relief Devices for Pressure Vessels

XIN Dandan

Zhejiang Yaguang Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325025, China

**Abstract:** Pressure vessels are key equipment in high-pressure process systems, and their safe operation relies on the timely response and precise control of the relief device. In the context of traditional mechanical safety valves experiencing response lag and unstable leakage control, electromechanical safety relief devices have gradually been applied in many fields such as petrochemicals, energy, and aviation due to their unique advantages of sensing, judgment, and driving integration. In recent years, with the continuous development of automation control and intelligent manufacturing, relief devices should not only meet basic pressure control functions, but also have high response speed, high repeatability accuracy, and strong environmental adaptability. The article mainly analyzes in detail the factors that affect the performance of the electromechanical structure based on its characteristics, and provides specific solutions for the coordinated optimization of response mechanisms, material selection, and control strategies. These solutions are confirmed through simulation and experiments to improve its operational stability in various working environments and the possibility of engineering implementation.

**Keywords:** pressure vessel; mechanical and electrical safety release device; reliability

在 2023 年至 2025 年这个时间段当中,特种设备安全监管工作的力度一直在不断地得到强化。就全国范围而言,特种设备事故的数据呈现出下降的态势,然而与之相对的是,压力容器相关的风险却没有出现本质上的缓解情况。依据国家市场监督管理总局在 2024 年所做出的通报来看,全国范围内发生了 3 起压力容器事故,这 3 起事故造成了 4 人死亡,而且这些事故都和泄放装置响应不够及时以及密封出现失效等这类因素有着直接的关联。当前正在施行的泄放装置设计标准,其主要是针对静态性能方面的要求来设定的,而对于动态响应的情况、使用寿命长短以及信息化诊断的能力等方面考虑得并不周全,这就使得有些装置虽然符合相关规定,但却很难去适应复杂工况下实际运行的具体需求。与此随着工业介质压力等级的不断提升,装置所面临到的冲击载荷以及温变梯度都有了相当程度的增长,这种状况进一步加剧了结构方面的磨损以及密封

产生的疲劳情况。所以说,去构建那种拥有高响应速度、高可靠性特点并且具备数字化特性的机电式安全泄放系统,已经变成了压力容器运行保障体系极为重要的一个发展趋向。关于其相关的优化设计以及验证方法展开的研究,也具备着比较强的现实紧迫性以及工程应用的导向性。

### 1 机电式安全泄放装置的工作原理与结构分析

#### 1.1 安全泄放装置的基本功能与分类

安全泄放装置在设定压力触发阈值被越过时会主动释放介质,以此防止结构遭到破坏,其关键功能体现在对越限压力的快速察觉、及时泄放以及可重复复位的稳定维持方面,而且它还需提供过程数据,以便事后审计以及维护决策能够顺利开展。与传统的弹簧式阀门或者一次性爆破片相比,机电式装置把压力传感、判据算法以及电驱动融合在一个可配置的控制域当中,进而达成阀位轨迹的程序化以及事件记录的可追溯性,不过,如此一来,系统的



复杂度以及失效模式都会有所增加<sup>[1]</sup>。从整体来看,这种复杂度并非负担,而是经过良好的工程化之后能够转化为性能灵活性的资源,不过,转换效率则取决于设计者的经验以及所采用的验证手段。

## 1.2 机电式泄放装置的核心结构与工作流程

机电式泄放装置典型的结构包含了压力传感器、信号调理以及控制单元、执行机构、密封副还有泄压通道这几个部分。其信号链路是通过采样、滤波、判据以及驱动这些环节来形成控制闭环的。常见的执行机构多为电磁阀或者是由步进电机带动的阀芯组件。而阀口的几何特性以及流动特性在很大程度上决定了瞬态流量以及压力回落曲线的情况。为了能够适配不同的介质,在设计的时候往往会配置二级缓冲以及限位过渡段,以此来减少阀芯受到的冲击以及密封面出现的啮合磨损情况。并且数据记录模块会将启闭的时间戳、温度、供能电流以及累计的动作次数都写入到不可篡改的历史文件当中,这样便于后续的追溯操作。

## 1.3 关键性能参数及其影响因素

关键参数主要包含响应时间、启闭精度、泄漏率、回座偏差以及动作寿命这几个方面。其中,响应时间会受到传感迟滞、控制算法处理周期还有执行机构惯性等多重因素叠加起来的影响;启闭精度则会受到传感器线性度以及阀位定位分辨率等方面的制约;泄漏率会受到密封材料弹性回复和表面形貌相互协同作用的影响;动作寿命和阀芯导向副的磨粒磨损以及电驱动的热疲劳有着极为密切的关系。按照安全阀通用标准所规定的泄漏以及型式试验相关要求,在工程领域当中,人们常常会把高压等级阀门的出厂泄漏限值控制在一个量级为  $1 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$  的区间范围之内,并且在整机评定的过程当中还会辅以更严格的内控指标,以此来满足过程安全方面的实际需要。规范文本以及更新节点能够通过行业渠道去获取,从工程化的角度来看,合规边界务必要提前进入到概念设计这个阶段当中。

## 2 机电式安全泄放装置的性能问题分析

### 2.1 响应延迟与动作精度不足问题

在真实工况当中,多个扰动源相互叠加,此时响应延迟通常是由于采样周期、信号调理滤波、判据执行以及驱动上电建立这四个环节依次串联起来所形成的,要是其中任何一个环节出现了瓶颈情况,那么系统的总延迟便会呈现出明显的增长态势。本文将总延迟大致分解成分量的可加模型,其中控制器任务调度和执行机构起动电流斜率这两方面表现得极为敏感,并且这种敏感性会随着环境温度的变化而呈现出非线性的放大特点<sup>[2]</sup>。需要着重指出的是,当压力升速较快并且介质处于临界流状态之时,倘若控制环存在过度保守的去抖动时间窗,那么阀位动作就有可能错过最佳的开阀时机,进而致使过冲以及回座震荡的情况不断加剧,从反面来看,这恰恰是很多现场装置被错误地判定为“阀门不灵”的根本原因所在。

### 2.2 密封性能失效与泄漏风险分析

密封副主要存在热老化、腐蚀侵蚀、颗粒划伤以及疲劳龟裂等退化机理,金属对位或者软硬配合的选择对介质窗口与温度窗口的重叠区有着决定性影响,温度降低到低温端时,电磁阀的驱动力和橡胶类密封材料的弹性回复都会下降,泄漏率随之升高,尽管不同厂商的数据存在差异,但低温对电磁元件动作可靠性的负面影响已被多家技术资料所着重指出,在极地工况或者深冷介质领域表现得尤为突出。反之,采用氟橡胶加金属唇形复合密封并借助微观台阶面形貌来抑制介质微渗,那么在高温端能获得更为稳定的泄漏抑制效果,然而材料成本以及加工公差管理也会大幅增加。

### 2.3 机械部件磨损与疲劳寿命问题

执行机构以及导向副处于高频启闭的状态之下,其承受着颇为复杂的接触应力还有冲击载荷。倘若阀杆同轴度和导向套硬度在搭配方面出现不妥的情况,那么磨损颗粒就会在阀座周边不断累积起来,进而形成二次磨损以及密封面微坑这样的状况。这种退化现象在寿命刚开始的时候往往是难以被察觉到的,然而一旦累计的动作次数越过某个特定的阈值,那么响应时间便会猛然增大,并且还会伴随着回座偏差出现漂移的现象。从整体的角度来分析,寿命的可预测性是源自于统计建模这一方式,而不是依靠单次极限试验。本文在后续部分将会采用 Weibull 族分布去对寿命数据展开拟合操作,以此来获取可靠性参数,并且能够为维护节距提供相应的指导。

### 2.4 环境适应性的影响

装置所具备的环境适应性,并非仅仅由温度和湿度这两个方面来加以定义的,它实际上还同供电品质、振动谱密度、介质洁净度以及电磁环境等因素存在着密切的关联。并且,这些来自外部的各类扰动,在现场往往呈现出短脉冲或者随机突发这样的特性,如此一来,便致使控制器对于鲁棒性的需求有了很大程度的提升。再看 2024 年全国特种设备事故的结构情况,其中使用环节发生的事故所占的比例超过了八成,这就清楚地表明,在真实的运行过程当中,维护策略、使用条件以及现场治理能力等方面的情况,往往是比较设计极限更快地去决定风险暴露强度的关键因素。所以说,设计工作务必要将可维护性以及自诊断功能融入到架构当中,而不能等到出现事故之后再依靠那些教训来进行补救。尽管这种观点听上去或许会显得有些过于直白,然而它却是实实在在极为重要的。

## 3 机电式安全泄放装置的优化设计

### 3.1 传感与反馈控制系统的改进

为了降低迟滞并且提升动作一致性,本文实施了三项联动优化举措。在传感链路方面引入双通道冗余以及将中值滤波和一阶滞后补偿加以组合的轻量方案,以此来提高在突变压力前沿时的有效带宽。控制器由原本固定的周

期任务转变为依据事件触发的混合调度模式,并且针对判据阈值引入自适应滞回,进而实现对压力升速的响应整形效果<sup>[3]</sup>。在驱动侧采用电流斜坡预激励以及微开度预位移策略,如此便能缩短执行机构的磁路建立所需的时间以及克服静摩擦时的爬移时间。换一种方式来讲,更为可靠的响应一致性,其实是通过对于最不稳定的边界段施加最为温和的控制手段才得以达成的。在经过近似分解之后所得到的响应时间模型当中,有四项分量分别对应着传感环节、控制环节、驱动环节以及机构环节。本文通过缩短采样周期、借助事件触发判据以及采用预激励驱动的方式,把后三项分量都显著地进行了压缩处理,并且在系统辨识的过程中凭借阶跃试验来获取各项分量的估计值,从而能够逐项展开优化操作。从工程化的角度来看,这样的分解虽然有所简化,但是已经足够用来指导配置选型以及参数整定相关事宜了。

### 3.2 材料与密封结构的优化设计

密封副运用了金属唇形环和氟橡胶复合而成的结构,其座面经过微弧氧化以及抛喷丸相结合的处理方式,以此来使表面粗糙度得以降低,并且引入较为均匀的残余压应力层,进而对微渗通道的形成起到抑制作用。阀芯导向方面采用了镀 CrMoN 涂层,目的是让抗磨性得以提升,同时降低黏着磨损出现的倾向。软硬相互配合所形成的弹性回复情况以及温度漂移状况是通过热机械耦合仿真的手段来进行窗口化的评估的,设计所要达成的目标是要将出厂泄漏率稳固地压制在标准上限量级的一半之下,并且在整个温度范围内都要维持回座偏差小于设定压力的 0.8% 这一控制线。与之相对应的是,倘若一味地去追求较高的硬度而忽略了热匹配的问题,那么密封线在热循环的过程当中就会出现翘曲的现象,如此一来,反而会得不偿失地使得泄漏波动被放大了。

### 3.3 动态响应特性的仿真与实验验证

就动态特性来讲,本文构建了二阶等效模型,并且运用小信号线性化的办法来描述从阀位开度到压力回落这条通道。接着在 Simulink 所处的环境当中开展阶跃以及斜坡输入方面的响应试验,其目的在于在没有出现过冲或者过冲幅度较小的情况之下,将整定时间压缩至百毫秒量级范围之内。在实验平台这边,会配置快速压力源、热箱还有可编程电源,以此来模拟不一样的供能以及温度条件,测试时的采样频率要达到不低于十千赫兹这样的程度,这样才能捕捉到那些前沿的细节之处。综合来讲,仿真的结果和实验所得数据的契合程度与参数辨识的质量有着极为紧密的相关性,所以本文选用最小二乘和粒子群相结合的混合算法来开展参数拟合工作,进而能够稳定地收敛至可以被复制的一系列模型之中<sup>[4]</sup>。

### 3.4 可靠性增强与维护便捷性设计

在可靠性与可维护性层面,本文采用了三层策略:其

一为故障预防,具体涵盖密封副的冗余台阶以及阀芯微开度限位这两重保险;其二为故障检测,具体涉及驱动电流与阀位双通道的一致性监测,还有异常动作次数和温度阈值的组合告警;其三为故障隔离与带病运行,具体包含旁路泄放以及降级模式,并且在控制器里以只读日志的形式记录关键事件;维护便捷性借助可达性设计、快速拆装接口以及自校准向导来实现,既顾及现场工况有限的操作空间,又顾及审计对数据完整性的要求;综合来讲,将 IEC 61508 系列的功能安全理念移植到机电式泄放装置的层级,能够以相对较小的成本获取较为可观的完整性收益,这一跨越是值得持续推动的。

## 4 结束语

本文着重围绕压力容器所使用的机电式安全泄放装置在较为复杂的工况环境下所呈现出的性能方面的不足之处展开探讨。提出了一个优化方案,该方案是以提升传感链路带宽、实施事件触发控制、开展驱动预激励以及使密封副复合化这几点为核心内容,进而达成多域协同优化的效果。此方案在仿真以及台架试验当中成功实现了对响应时间、泄漏率还有寿命等方面的同步改进。综合来看,这种方法能够将规范合规性、功能安全性以及工程可维护性统一整合到同一个优化层面之上,从而确保设计不会一味地去追求某一点的极值表现,也不会因为过度追求单点极值而牺牲掉全寿命成本以及审计可追溯性。与之形成对比的是,倘若忽视使用环节的治理状况以及现场运维能力存在的差异,那么无论在设计方面取得怎样的进步,都有可能被现实当中的种种弱点给完全抵消掉。这一情况需要我们在推广阶段不断地予以强调,并且要依据此来构建起可以复制的落地流程。从工程化的角度来讲,未来的工作应当进一步强化针对低温极端环境以及振动电磁复合扰动场景的系统辨识力度,与此要把基于数据驱动的劣化预测以及备件策略全都纳入到统一的资产管理范畴当中,通过这样的方式把风险提前转化为可以控制的维护任务,如此一来,安全边界便会变得更加稳固坚实。

### 【参考文献】

- [1]魏雷.海上固定式压力容器的不停机定期检验技术[J].科技与创新,2025(13):158-160.
- [2]包健,李科,徐奔.压力容器常用爆破片破裂性能研究现状概述[J].广州化工,2025,53(13):153-156.
- [3]潘文杰,李清山,谢旭梦,等.基于磁记忆检测技术的压力容器缺陷识别与诊断[J].无损探伤,2025,49(4):6-8.
- [4]李兵.高温高压环境下压力容器材料的耐久性评估[J].中国设备工程,2025(14):105-107.

作者简介:辛丹丹(1981.4—),毕业院校:齐齐哈尔大学,所学专业:化工机械,当前就职单位:浙江亚光科技股份有限公司,职称级别:高级工程师。

## 工程机械焊接自动化技术的应用

平兴川

贵州黔希化工有限责任公司, 贵州 毕节 551500

**[摘要]**文章全面且细致地探讨了工程机械焊接自动化技术当下的应用状况以及未来的发展走向。着重剖析焊接机器人系统、传感与跟踪技术、智能控制方法还有工艺参数优化等关键核心技术在工程机械制造环节的具体施行途径与实际成效。经由对自动化焊接于结构件生产、质量检测、人机协作以及经济性评估等诸多方面实际呈现情况的综合探究, 彰显出其在提高工程机械产品品质、生产效率以及降低生产成本方面所具有的颇为显著的作用。并且能为后续的技术升级以及行业应用给予相应的理论参照与实践方面的指引。

**[关键词]**工程机械; 焊接自动化; 机器人技术; 智能控制

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17609

中图分类号: TG409

文献标识码: A

## Application of Welding Automation Technology in Construction Machinery

PING Xingchuan

Guizhou Qianxi Chemical Co., Ltd., Bijie, Guizhou, 551500, China

**Abstract:** This article comprehensively and meticulously explores the current application status and future development trends of welding automation technology in construction machinery. Emphasis is placed on analyzing the specific implementation methods and practical effects of key core technologies such as welding robot systems, sensing and tracking technology, intelligent control methods, and process parameter optimization in the manufacturing process of construction machinery. Through comprehensive exploration on the actual situation of automated welding in structural component production, quality inspection, human-machine cooperation, and economic evaluation, it has demonstrated its significant role in improving the quality, production efficiency, and reducing production costs of engineering machinery products, which can provide corresponding theoretical references and practical guidance for subsequent technological upgrades and industry application.

**Keywords:** construction machinery; welding automation; robotics; intelligent control

由于科学技术的不断发展进步, 机械制造领域原有的手焊技术已经无法满足现代化焊接的实际需求, 并且随着机械设备的组成日趋复杂, 对焊接技术的要求也越来越严格。因此, 如何灵活地将自动化技术应用在工程机械焊接工作中, 并利用技术的优势弥补传统手焊技术存在的不足至关重要, 可以最大限度地提升作业质量, 保障作业效率, 还可以解决焊接精度不足的问题。

### 1 工程机械焊接自动化技术概述

#### 1.1 焊接自动化技术的基本原理

焊接自动化技术的基本原理在于借助机械系统、电子设备以及计算机控制技术的深度融合与系统集成, 达成焊接生产过程的无人化操作或者少人化运行, 其技术核心涵盖焊接设备的数字化程序控制、工艺参数的精确化动态调节以及生产流程的连续化科学管理。就现代自动化焊接系统而言, 一般是由焊接电源装置、高精度执行机构、智能控制单元还有多源反馈装置等关键部件构成的, 在这个系统当中, 智能控制单元会依据预先设定好的程序算法来驱动执行机构完成焊接动作, 与此它还会通过多种类型的传感器实时监测焊接状态的变化, 并且及时对工艺参数做出调整, 以此来保证质量的稳定性<sup>[1]</sup>。这样的先进技术一方

面有效地减少了人为因素所导致的质量波动, 另一方面还极大地提高了生产效率以及产品的一致性水平, 在工程机械制造领域, 当面对大型结构件以及复杂空间焊缝的时候, 它更是展现出了十分明显的技术优势。焊接自动化技术能够持续发展, 主要是因为计算机控制技术、传感器检测技术以及人工智能算法的深度融合与创新应用, 这使得现代焊接系统可以自适应不同工件材料特性以及几何形状的变化, 进而实现高效能与高精度的智能化焊接作业, 而这恰恰是工程机械行业追求高品质以及高可靠性制造目标的技术基础之所在。

#### 1.2 工程机械焊接的特点与需求

工程机械焊接工艺一般会涉及到像大型挖掘机的动臂总成、起重机的底盘框架还有装载机的车架总成这类关键部件, 这些重型结构件往往有着外形尺寸偏大、板材厚度也大以及焊缝形式颇为复杂等明显特点, 所以对于焊接技术在连接强度、耐久性能方面以及加工精度上都有着不低的要求。传统手工焊接这种方式, 因为操作人员技能水平存在差异, 所以焊接质量常常会出现较大波动, 并且还存在着劳动强度过高的情况以及安全生产风险比较大的实际问题。而现代自动化焊接技术借助机器人工作系统和



智能控制方法的有机结合,能够很好地克服这些技术方面的局限,可充分契合工程机械制造领域针对高承载能力、高运行可靠性以及批量规模化生产所提出的特定需求。工程机械产品多数是应用在矿山开采、建筑施工等工况环境较为恶劣的地方,其焊接接头得能经受住动态交变载荷以及腐蚀介质侵蚀等多种因素的影响,这就需要焊接制造过程不但要确保外观成形质量,而且要让接头内部组织均匀性以及缺陷控制水平都达到标准规定的要求。自动化焊接技术依靠对热输入参数以及焊接运动轨迹的精准控制,可以达成这一质量控制的目标,与此同时还能有效降低材料消耗以及能源浪费的现象,这与现代制造业朝着绿色化发展以及可持续化建设的战略趋向是相符的。

## 2 焊接自动化关键技术

### 2.1 焊接机器人系统

焊接机器人系统属于自动化焊接技术当中的核心装备一部分,其主要由多关节机械臂结构、专用焊枪装置、系统控制柜以及人机编程界面等多个部分组合而成。该系统借助多轴联动控制可精准地模拟人工焊接的动作,并且具备比人工更高的重复定位精度以及运动稳定性。在工程机械制造领域实际运用的过程中,常见的机器人类型主要有六关节式机器人和龙门式机器人这两种主流形式<sup>[2]</sup>。其中,六关节式机器人适用于复杂空间轨迹的焊缝处理,而龙门式机器人则在大型平面结构的高速焊接方面更为擅长。这些先进的系统往往会集成视觉识别功能以及自动路径规划算法,能够自动适应工件位置出现的偏差,并且优化焊接的顺序,以此来提升生产效率。依据中国知网的相关研究数据来看,焊接机器人在工程机械制造行业里的普及率呈现出逐年递增的趋势。像三一重工集团以及中联重科股份这类行业龙头企业,已经大规模地采用机器人焊接生产线来用于关键结构件的制造工作。如此一来,不仅将生产效率提升了30%以上的程度,而且还大幅度降低了高水平焊工的招聘难度以及培训成本,这无疑充分彰显了自动化先进技术对于推动行业实现转型升级所起到的积极作用。

### 2.2 传感与跟踪技术

传感与跟踪技术对于焊接自动化系统达成精准作业而言,属于极为关键的支持技术。该技术借助激光视觉传感器、CCD 摄像系统或者电弧传感装置来实时采集焊缝的位置信息、装配间隙的数据以及成形形状的特征,并且会把这些信息实时反馈给控制系统,以此动态地去调整焊枪的空间姿态以及焊接工艺参数。在工程机械焊接的应用进程当中,因为工件的尺寸相对较大,而且装夹定位出现误差的情况也较为普遍,所以先进的传感技术便能有效地对系统的定位偏差加以补偿,进而实现焊缝轨迹的动态跟踪功能,如此一来就能够避免出现漏焊缺陷或者过焊的现象,进而使得产品质量水平得到明显的提高。比如说,基于机器视觉的智能焊缝跟踪系统能够自动识别接头类型

所具有的特征以及坡口尺寸的相关参数,还能自动生成最为优化的焊接路径,并且能够适应不同板厚材料的工艺方面的要求,这样的一种先进技术,不但能够大幅度地缩减系统调试所花费的时间,而且还能够让生产系统的柔性化程度得以增强,尤其适合应用于多品种小批量的现代制造模式。根据从百度学术平台引用的一项专题研究来看,在国内处于领先水平的企业像徐工集团,已经成功地把先进的传感技术运用到了起重机臂架的焊接制造过程当中,由此实现了毫米级的精度控制能力,并且在质量一致性方面也有了颇为显著的提升。

### 2.3 焊接过程智能控制

焊接过程智能控制技术融合了人工智能算法、模糊逻辑推理以及神经网络等多种先进手段的创新运用,它借助对焊接电流的大小、电弧电压的数值、焊接运动的速度还有层间温度等诸多参数展开实时监测并加以动态优化的方式,以此来保障焊接过程的稳定程度以及接头质量达标的情况。智能控制系统往往依靠机器学习算法模型从历史生产数据里自行学习出最优的工艺参数组合,并且能对外部干扰因素像材料成分出现波动或者受到热变形影响等情况做出自适应应对,进而切实降低焊接缺陷产生的可能性并且提升能源利用的效率。在工程机械制造这一领域,智能控制技术被大量应用于厚板多层焊接以及特殊材料焊接等较为复杂的场景当中,它可精准预测熔池的动态行为并且实时调节热输入参数,以此来避免裂纹或者气孔这类缺陷的产生,与此借助工业互联网平台达成生产数据的共享以及远程监控的功能,进而为生产管理决策给予有效的支撑。这样的智能控制方式不但提升了焊接自动化技术的水平,而且还充分彰显了智能制造的核心理念,也就是数据驱动以及持续优化。

### 2.4 工艺参数优化与数据库管理

工艺参数优化以及数据库管理技术在焊接自动化系统里属于极为重要的支撑技术。它是凭借数量众多的工艺试验数据,再加上数值模拟分析所得出的结果,来确认最佳的焊接参数组合,这里面像电流的大小、送丝的速度还有保护气体的流量等都算是关键指标。并且还会构建起 centralized 数据库系统,这个系统的用途在于存储以及检索那些极为宝贵的各类信息,进而对实际的生产起到一定的指导作用<sup>[3]</sup>。先进的数据库管理系统往往会被集成到企业资源规划平台当中,如此一来便能够让工程师可以快速地调用经过了充分验证之后的成熟工艺方案,以此来削减试错成本方面的投入。与此还能够借助数据挖掘技术去探寻工艺参数和焊接质量二者之间所存在的内在关联规律。就工程机械制造这个行业来讲,工艺参数优化方面的工作有着非常重

## 3 焊接自动化在工程机械制造中的应用

### 3.1 结构件焊接自动化

构件焊接自动化于工程机械制造领域有着颇为广泛

的运用,特别是对于动臂、斗杆以及车架等极为关键的部件而言,其会采用机器人工作站又或者自动化生产线来达到从装夹一直到焊接的整个流程操作,借助固定工位或是移动式机器人能够实现大型工件的多角度焊接作业。自动化系统一方面可确保焊缝具备均匀性并且强度达标,另一方面还能削减变形方面的问题,这要归功于其精准的热控制能力以及路径规划,进而促使结构件的寿命以及可靠性都得到了明显的提高。依据国内像中国焊接协会这类网站所发布的报告显示,众多大型工程机械企业已经成功建成了智能化焊接车间,在这些车间里,自动化率超过了百分之六十,并且实现了 24h 不间断的连续生产。如此这般模式,不但能加快订单的交付速度,而且能够压低生产成本,也由此彰显出自动化技术在现代制造业当中所占据的核心地位。

### 3.2 焊接质量在线检测与控制

焊接质量在线检测以及控制技术会把传感器加以集成,并且配合数据分析软件来实时对焊接过程予以监控,进而能够识别出像咬边、未焊透或者气孔这类缺陷。它是运用 X 射线、超声或者是机器视觉等方法展开无损检测的,一旦检测到异常情况,便会马上对相关参数做出调整或者发出警报。在工程机械的应用方面,在线检测系统会被嵌入到自动化生产线上,由此形成闭环控制,以此确保每一个焊点都能够契合设计标准,进而防止出现后续维修以及退货所造成的损失。比如可参考从搜狐科技所转载的一篇文章,其中提到中联重科在混凝土泵车的焊接环节应用了在线视觉检测系统,该系统能够在短短 1 分钟之内完成对全长焊缝的扫描工作,并且还能生成相应的质量报告,这样的一种即时反馈机制,一方面提高了产品的合格率,另一方面也节省了人工检查所花费的时间,这无疑体现了自动化技术对于质量管理所起到的强化作用。

### 3.3 人机协作与柔性生产

人机协作以及柔性生产已然成为焊接自动化的发展走向。其借助协作机器人同人工相互配合来达成高效作业的目的,在此过程中,机器人负责处理那些重复程度高且精度要求高的任务,而人工则承担起调试、监控以及异常处理等工作,如此一来,既能充分利用自动化所具备的速度优势,又能将人类所拥有的灵活性予以保留。在工程机械制造领域当中,柔性生产系统能够实现快速切换焊接程序,并且可以适应不同的产品型号,凭借可重构工装以及模块化设计,可有效缩减换线所需的时间,进而提升设备的利用率。国内像柳工集团这样的企业已经引入了人机协作焊接单元,将其应用于小型批次生产环节,该单元借助安全传感器来确保操作者与机器人能够共享工作空间并且不会存在任何风险,这种方式不但能够提升生产效率,而且还能缓解劳动力短缺的问题,契合未来制造业朝着智能化以及人性化方向发展的大趋势。

### 3.4 自动化焊接的经济性与效率分析

对自动化焊接展开经济性以及效率方面的分析可以发现,尽管其在初期阶段所需的投资额度颇高,这里面涵盖了设备采购方面以及集成费用方面的开支,然而从长远角度来讲,凭借着节约人力、减少废品以及提高产能等优势,是能够较快地实现成本回收的。就工程机械行业而言,典型的自动化焊接线能够使得生产效率提升的幅度达到 20%到 50%,与此同时还能使能耗降低超过 10%,除此之外,由于产品质量一致性得以提升,进而减少了售后服务以及保修方面的成本,由此也增强了企业在市场当中的竞争力<sup>[4]</sup>。依据中国工程机械协会所公布的数据来看,那些采用自动化焊接技术的企业,其产品的缺陷率已经下降到了 1%以下,并且它们的投资回报周期往往是在两年之内。正是这样的经济效益,推动着越来越多的中小企业逐步去引入自动化技术,以此来达成产业升级的目标,这无疑就是技术驱动发展的一个非常生动的实例呈现。

## 4 结束语

焊接自动化技术于工程机械制造领域所呈现出的应用情况,彰显出了颇为显著的技术方面的优势以及经济层面的价值。它是借助机器人系统的传感技术还有智能控制手段来达成焊接过程具备高精度、高效率以及高可靠性的状态的。就未来而言,随着人工智能以及物联网技术逐步走向深度融合,自动化焊接将会朝着更加智能化以及更为绿色化的方向去发展,进而给工程机械行业不断赋予持续向前的动力,并且对国家制造业战略的施行给予有力的支持。本研究秉持这样的看法,即强化技术研发以及人才培养这两方面的工作,乃是推动该技术得以广泛运用的极为关键的因素,与此还得留心关注中小企业在转型进程当中所面临的诸多挑战,以此来切实保障整个行业的均衡发展态势能够得以维持。

### 【参考文献】

- [1]李佳宁,黄争艳,张晓亚.焊接机器人轨迹跟踪控制方法优化研究[C].重庆:重庆市大数据和人工智能产业协会.人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(三).广东工贸职业技术学院,2025.
  - [2]王盈熹.基于激光焊接技术的自动化装配系统设计研究[J].自动化应用,2025,66(9):239-241.
  - [3]余宏亮,彭震.建筑钢结构焊接机器人研究热点、趋势与展望——基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的文献计量与可视化分析[J].土木工程与管理学报,2025,42(3):88-99.
  - [4]杨庆,李佳鑫,徐高雷,等.视觉传感技术在智能化焊接中的研究现状[J].焊接技术,2025,54(8):1-4.
- 作者简介:平兴川(198811—),单位名称:贵州黔希化工有限责任公司,毕业学校和专业:河南工学院专业:应用化工技术。

# 新能源汽车电池换电装置优化设计研究

符养斌

山西省交通新技术发展有限公司, 山西 太原 030012

[摘要]在全球能源危机以及全民环保意识提升的双重驱动下,具备减少城市空气污染、降低化石能源依赖优势的新能源汽车得到迅速发展,逐渐成为全球汽车工业重点发展方向。业内关于新能源汽车续航补给能力的研究多集中于电池性能、材料优化等领域。文中从汽车底盘换电装置入手,先介绍了其结构组成,探讨了其对新能源汽车可持续发展的重要意义。随后针对车辆进出阻力大、定位过程顿挫感强等问题,从结构优化、功能集成、关键技术等角度展开详细介绍,提出一种优化设计方案,旨在为新能源汽车换电装置的创新发展提供理论参考与实践指导。

[关键词]新能源汽车; 电池换电装置; 活动斜辊角度调节技术; 顶升与调节一体化设计; 平稳驱动技术

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17627

中图分类号: TM91

文献标识码: A

## Research on Optimization Design of Battery Swapping Device for New Energy Vehicles

FU Yangbin

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

**Abstract:** Driven by the global energy crisis and the increasing awareness of environmental protection among the public, new energy vehicles with the advantages of reducing urban air pollution and reducing dependence on fossil fuels have rapidly developed and gradually become a key development direction of the global automotive industry. Research on the range replenishment capability of new energy vehicles in the industry is mostly focused on battery performance, material optimization, and other fields. Starting from the automotive chassis battery swapping device, the article first introduces its structural composition and explores its important significance for the sustainable development of new energy vehicles. Subsequently, a detailed introduction was given from the perspectives of structural optimization, functional integration, and key technologies to address issues such as high vehicle entry and exit resistance and strong jerkiness during the positioning process. An optimized design scheme was proposed with the aim of providing theoretical reference and practical guidance for the innovative development of new energy vehicle battery swapping devices.

**Keywords:** new energy vehicles; battery swapping device; technology for adjusting the angle of the activity inclined roller; integrated design of lifting and adjustment; stable driving technology

### 引言

汽车底盘换电装置是换电站的核心组成部分,其性能直接影响换电效率、运行安全性、用户体验感。现有换电装置在车辆定位、换电稳定性等方面尚存在一些亟待解决的问题。基于此,本文提出了一套创新性的优化设计方案,为提升换电站运营效率、助力新能源汽车推广普及、优化用户体验感提供新的思考方向。

### 1 新能源汽车行业发展现状及换电装置的重要性

#### 1.1 换电装置结构概述

汽车底盘换电装置是新能源汽车的核心组成部分,主要负责电池包的快速更换,通常由前轮定位装置、后轮定位装置、顶升机构、机械臂等元件组成。前后轮定位装置构成换电仓停车底座,用于车辆停放时的精准定位,确保电池更换的稳定性与安全性;顶升机构、机械臂构成机械台架,用于执行电池更换。其中顶升机构负责将车辆顶起,方便机械臂拆卸与安装电池包。现阶段新能源汽车行业换电装置多采用分层架构设计,并集成自动化设备与安全监控系统,用于控制和管理不同级别设备的应用需求,提高换电效率与安全性<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 换电装置结构设计问题

现有换电装置技术相对成熟,可在一定程度上满足新能源汽车的换电需求,但仍存在一些亟待解决的问题,典型问题表现如下:其一兼容性不足。不同品牌、车型的新能源汽车电池包尺寸、安装位置、接口规格存在显著差异,限制换电装置的普及范围。第二自动化与智能化水平待提升。当前换电装置虽然已经多集成自动化设备,但在复杂场景表现并不能令人完全满意。如车辆因停放角度稍有偏差或轮胎胎压异常导致定位不准时,机械臂往往无法自主调整作业轨迹,需要人工干预校准,变相延长换电时间,增加人力成本。再比如部分换电装置电池检测智能化程度较低,仅能完成基本电量检测,难以精准判断电池衰减程度、潜在故障等深层信息,影响更换后电池使用安全性与续航稳定性。其三用户体验感较差。部分换电装置前轮定位装置采用V字辊轮的布置方式形成凹坑,目的是通过限制前轮移动,从而限制车辆移动。然而车辆换电结束后,在驶出凹坑过程中,不仅需要克服凹坑产生的阻碍,还需经历前轮+后轮两次凹坑颠簸,可能导致行驶不稳,影响用户换电体验感。



### 1.3 新能源汽车换电装置的重要性

换电装置是换电站核心装备,其性能直接影响换电效率、运营成本、用户体验、行驶安全性。高效的换电装置能大幅缩短新能源汽车的补能时间与用户等待时间,提高换电站运营效率,使得换电站在单位时间内服务更多用户。电池是新能源汽车的核心部件,其更换过程涉及复杂的机械操作,稳定可靠的换电装置是确保电池更换以及车辆行驶过程安全性的前提基础。若换电装置不可靠,轻则出现电池安装不到位、电气连接不良等问题,重则导致安全事故发生。

同时良好的换电装置设计还能提升用户的换电体验,增强用户对新能源汽车的接受度。基于人性化设计理念,充分考虑用户的使用习惯与需求设计换电装置,可间接增加新能源汽车使用者对新能源汽车的好感度。当用户感受到换电的便捷与高效后,会更愿意选择新能源汽车,从而促进新能源汽车普及。

此外高质量的换电装置还能推动换电技术的发展。换电装置研发、制造期间涉及材料科学、电气控制、机械设计等多个领域。其技术水平的提升将带动电池制造、换电站建设、运营服务等多个相关产业链的进步,为新能源汽车行业可持续发展提供有力支撑。

## 2 新能源汽车电池换电装置优化设计

### 2.1 总体设计方案

本文对新能源汽车底盘换电装置进行优化设计,对换电平台及充换电站进行优化设计,提升新能源汽车换电便捷性、可靠性,为用户提供更舒适的换电体验。新设计的换电装置整体结构示意图如图1所示,包括底板平台(1)、前轮定位装置(2)、后轮定位装置(3)等装置。

其中第一顶升装置和第二顶升装置设置在前轮定位装置和后轮定位装置沿平台宽度方向的两侧,无需占用前轮定位装置、后轮定位装置的下方空间,可大幅度降低平台本体高度,使车辆更加便利、平稳、丝滑地驶入换电平台。同时前轮定位装置和后轮定位装置均固定在底板平台上并设置有可改变倾斜角度的活动斜辊,在需要限制车辆移动时,可增大与地面之间的倾斜角度,与固定斜辊配合形成足够的“凹坑”。当车辆需要行驶时缩小其与地面之间的倾斜角度,减少“凹坑”深度<sup>[2]</sup>。

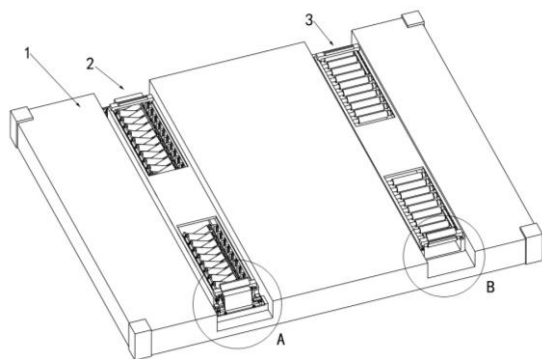


图1 整体结构示意图

### 2.2 前轮定位装置的优化设计

#### (1) 斜辊组件

斜辊组件是前轮定位装置的关键组成部分,包括定位推板、斜辊支架、固定斜辊和活动斜辊。固定斜辊与活动斜辊均设有若干个,且固定斜辊与活动斜辊之间呈X状交错布置(如图2)。

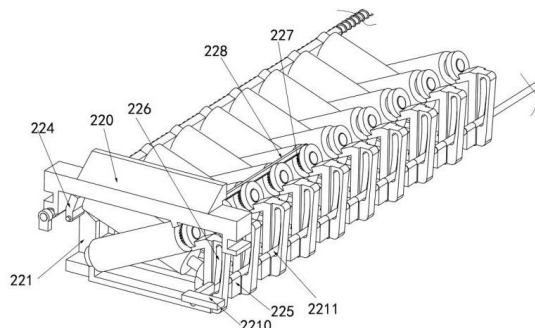


图2 斜辊组件结构示意图

固定斜辊两端均与斜辊支架的两侧转动连接,倾斜角度固定不变,支持自由转动。斜辊支架的一侧铰接有摆架,另一侧设置有弧形槽,弧形槽滑动连接有活动架,活动斜辊的两端分别与摆架与活动架转动连接。通过推动活动架沿弧形槽移动,能够带动活动斜辊和摆架运动,从而改变活动斜辊的倾斜角度。图3是斜辊调节状态示意图。

同时定位推板的内侧创新性集成橡胶缓冲层。该橡胶板采用高弹性耐磨材料制成,通过与轮胎胎面的柔性接触实现三重保护机制,确保推动前轮移动与夹持固定前轮时能更好地保护轮胎,避免轮胎被刮伤或损坏。

第一道保护机制为橡胶材料的弹性模量。其可有效吸收定位过程中的冲击载荷,降低轮胎局部应力集中;第二道保护机制为橡胶表面经模压工艺形成的防滑纹路。其可在保证夹持力的同时将滑动摩擦系数控制在0.3以下。第三道保护机制为橡胶板轮廓依据轮胎曲面进行仿形设计,确保接触面积 $\geq 85\%$ ,避免点接触造成的压强超标。

图2、3中21为支撑框,200为底座,220为定位推板,221为斜辊支架,222为固定斜辊,223为活动斜辊,224为摆架,225为活动架,226为弧形槽,227为驱动齿轮,228为驱动齿条,2210为第二连接板,2211为连接轴。

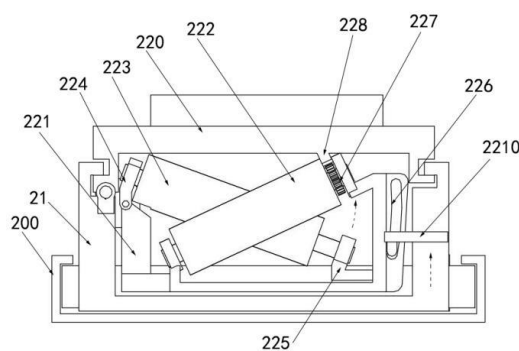


图3 斜辊调节状态示意图

## (2) 顶升组件

顶升组件设有两个,包括底座和滑架,分别位于支撑框两侧,如图4所示。滑架上固定连接伸缩缸、滑架与底座滑动连接。支撑框上固定连接第一连接板,活动架固定连接第二连接板,滑架移动带动伸缩缸移动至第一连接板/第二连接板下方。当需要将车辆顶起进行电池更换时,滑架移动使伸缩缸位于第一连接板下方,伸缩缸伸长,将支撑框顶起,进而带动车辆前轮上升,实现车辆顶升。当换电结束,车辆需要驶离时,滑架移动使伸缩缸位于第二连接板下方,伸缩缸伸长,推动活动架沿弧形槽移动,改变活动斜辊的倾斜角度,减小车辆行驶阻力。

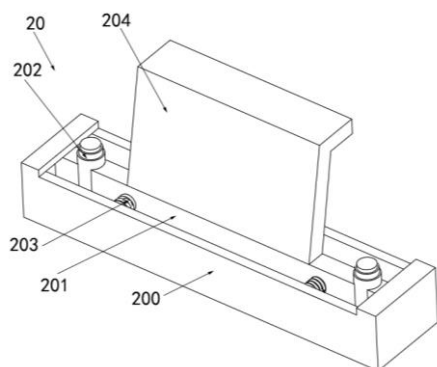


图4 顶升组件结构示意图

此外底座与滑架之间亦设有复位弹簧,滑架上固定连接推杆,定位推板与推杆接触推动滑架移动。在换电过程中,两定位推板向中间移动,不与推杆接触,在复位弹簧的作用下,伸缩缸位于第一连接板下方。换电结束后,定位推板相背运动,与推杆接触并推动滑架移动,使伸缩缸位于第二连接板下方便于复位弹簧积蓄弹性势能,为后续滑架复位提供动能<sup>[3]</sup>。

图4中20为顶升组件,201为滑架,202为伸缩缸,203为复位弹簧,204为推杆。

## (3) 驱动组件

驱动组件包括驱动电机与正反丝杠。正反丝杠与支撑框转动连接,两斜辊组件中的定位推板与正反丝杠螺纹连接,驱动电机的外壳与支撑框固定连接,通过驱动电机驱动正反丝杠旋转。当驱动电机带动正反丝杠正转或反转时,由于两定位推板分别与正反丝杠的正反螺纹段连接,使得两定位推板能够相对或相背运动。相对运动时推动车辆前轮移动,实现前轮的定位;相背运动时松开前轮,便于车辆驶离。

## (4) 驱动齿轮与驱动齿条

斜辊组件中位于外侧的固定斜辊上均固定连接有驱动齿轮,定位推板上固定有与驱动齿轮啮合的驱动齿条。当定位推板移动时,驱动齿条随之移动,与驱动齿轮啮合,带动位于外侧的固定斜辊转动。固定斜辊转动时则带动其上的车辆前轮移动。在车辆定位初始阶段,通过固定斜辊

的转动实现车辆的移动,减少定位推板直接推动轮胎产生的晃动与顿挫感,提高定位过程平稳性与车内人员舒适性。随着定位推板的继续移动,当移动至未设有驱动齿轮的固定斜辊处时,定位推板对车辆前轮进行夹持固定,完成定位操作。

## 2.3 后轮定位装置的优化设计

后轮定位装置如图5所示,采用与前端一致的驱动原理,主要包括后轮定位框、支撑辊、驱动系统、顶升机构等组件。后轮定位框两侧设有若干个可转动的支撑辊,支撑辊对车辆后轮起支撑作用,便于后轮在定位过程中移动;驱动系统通过第二驱动齿条与齿轮啮合,实现后轮平稳移动;顶升机构配备第二伸缩缸,实现后轮定位框的升降控制。后轮定位装置协同运行逻辑如下:后轮定位框与底板平台之间固定连接第二伸缩缸,当需要对车辆进行顶升换电时,第二伸缩缸伸长,将后轮定位框顶起,与前轮定位装置的顶升动作配合,实现车辆的整体顶升,提升底盘电池更换操作便捷性。

图5中3为后轮定位装置,30为后轮定位框,31为支撑辊,32为后轮推板,33为第二驱动组件,34为第二驱动齿轮,35为第二驱动齿条,36为第二伸缩缸。

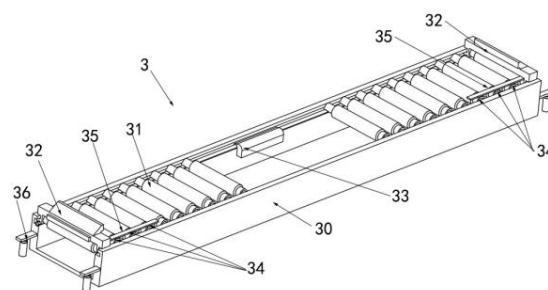


图5 后轮定位装置结构示意图

## 3 关键技术创新点与性能优势分析

### 3.1 活动斜辊角度调节技术

该技术通过在斜辊支架上设置弧形槽与活动架,实现活动斜辊倾斜角度的精确调节。新型换电装置斜辊倾斜角度在 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间,当需要限制车辆移动时,角度自动扩展,形成足够“凹坑”,确保车辆稳定;在车辆需要行驶时,角度自动收缩,降低“凹坑”深度,减少行驶阻力。经试验测试,该技术可降低车辆驶离阻力60%,缩短通过时间40%,减少机械磨损35%。

### 3.2 平稳驱动技术

该技术通过引入驱动齿轮与驱动齿条,改变传统直接通过推板推动轮胎移动的模式。核心原理为利用辊轮转动带动车轮移动,减少推板与轮胎直接接触产生的冲击力,降低晃动、顿挫感,实现定位期间的平稳移动,提高车内人员舒适性。经试验测试,该技术可降低初始晃动幅度70%,降低驱动噪声50%,定位精度达 $\pm 2\text{mm}$ 。

### 3.3 顶升与调节一体化设计

该技术将顶升功能与活动斜辊角度调节功能集成于同一顶升组件中,实现支撑框顶升、电池更换、驱动活动架灵活移动的自动切换。并且该技术通过设备集成,有效简化了换电装置零部件的数量,降低了装置复杂性与制造成本,提高了设备的自动化水平与操作便捷性。经试验测试,该技术降低构件数量 40%,空间占用缩减 25%,维护成本减少 30%<sup>[4]</sup>。

### 4 数据分析与实施效果验证

为验证新的换电装置对换电效率、运行安全性、用户体验感的影响,进行为期 6 个月的实地试验,收集关键性能数据,并与现有换电装置进行对比。传统装置与优化装置关键性能指标对比结果如表 1 所示。

表 1 传统装置与优化装置效果对比

| 关键指标              | 传统装置 | 优化装置 | 提升幅度  |
|-------------------|------|------|-------|
| 单次换电时间(单位: min)   | 3.5  | 2.4  | 31.4% |
| 定位晃动幅度(单位: mm)    | 8.2  | 2.   | 72.0% |
| 驶离阻力(单位: N)       | 320  | 125  | 60.9% |
| 设备故障率(单位: %)      | 5.2% | 1.8% | 65.4% |
| 用户满意度(单位: 分, 百分制) | 78 分 | 93 分 | +15 分 |

### 5 结论

综上所述,本文提出的新型汽车底盘换电装置在多方

面表现出显著优势。研究表明其能有效降低车辆行驶阻力,减少定位期间的晃动与顿挫感,提升换电效率与用户舒适性,具有较好的应用价值与推广前景。未来可探索传感器技术、自动控制算法与换电装置有机融合,促使换电过程向全自动化、智能化方面发展。或者针对不同类型新能源汽车,对换电装置结构进行适应性调整,扩大其适用范围,促进新能源汽车的全面普及。

#### [参考文献]

- [1]郭昌桥,代海铭,陈权,等.新能源汽车电池包动态气密性实时监测系统设计与研究[J].时代汽车,2025(15):82-84.
- [2]万方成,黄梓倚,谭靖,等.基于热失控预警的新能源汽车电池包防自燃保护系统研究[J].汽车知识,2025,25(8):16-18.
- [3]李彧文,贾薇.新能源汽车电池测试中温度传感器的精准检测与热管理策略优化[J].汽车维修与保养,2025(7):62-63.
- [4]罗福祯,刘欢.新能源汽车电池管理系统可靠性测试方法及其在实车应用中的性能分析[J].科技与创新,2025(9):226-228.

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



## 基于 matlab 六自由度摇摆平台分析和仿真

卢 洲 陈松波 姜 伟

零八一电子集团有限公司, 四川 成都 611731

**[摘要]**在现代工业与科研领域, 六自由度摇摆平台凭借其能够模拟复杂空间运动的特性, 广泛应用于飞行模拟器、汽车动力学测试、机器人运动控制等诸多场景。其运动控制的核心在于精确求解各驱动杆的长度变化, 以实现平台在空间中的六自由度运动, 而这一过程依赖于位置反解算法的准确性。本文将深入探讨六自由度摇摆平台的位置反解分析, 并通过 Matlab 仿真与 SolidWorks 模型验证相结合的方式, 确保算法的可靠性与有效性。

**[关键词]** Matlab 仿真; 六自由度; 摇摆台

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17613

中图分类号: TM743

文献标识码: A

## Analysis and Simulation of Six Degree of Freedom Swinging Platform Based on Matlab

LU Zhou, CHEN Songbo, JIANG Wei

Lingbayi Electronics Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611731, China

**Abstract:** In the fields of modern industry and scientific research, the six degree of freedom swing platform is widely used in flight simulators, automotive dynamics testing, robot motion control and many other scenarios due to its ability to simulate complex spatial motion. The core of its motion control lies in accurately solving the length changes of each driving rod to achieve the six degrees of freedom motion of the platform in space, and this process depends on the accuracy of the position inverse solution algorithm. This article will delve into the position inverse analysis of a six degree of freedom swing platform, and ensure the reliability and effectiveness of the algorithm through a combination of Matlab simulation and SolidWorks model verification.

**Keywords:** Matlab simulation; six degrees of freedom; swing table

### 引言

在现代高端装备制造与精密运动控制领域, Stewart 结构六自由度摇摆平台凭借其高精度、高刚度和灵活的运动特性, 成为诸多关键技术研究与应用的核心载体。从航空航天飞行器姿态模拟, 到汽车工业的底盘性能测试, 再到虚拟现实领域的动感体验设备, Stewart 平台的应用场景不断拓展。Stewart 结构六自由度摇摆平台以其独特的并联机构设计著称, 由固定的下平台、可动的上平台以及六根连接上下平台的并联伸缩杆构成。这种结构赋予了平台在空间中实现六个自由度运动的能力, 即沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个方向的平移以及绕这三个轴的旋转。各伸缩杆之间相互协同, 微小的伸缩量变化都能引发上平台复杂的空间位姿改变。本文根据六自由度平台的三维结构模型和位置逆解分析建立数学模型, 运用 Matlab 软件进行仿真得出各伸缩杆杆长值, 并在 solidworks 利用三维结构模型测量相关数据验证数学模型正确性。

### 1 六自由度摇摆平台位姿定义

六自由度摇摆平台用来模拟载车、舰船或飞行器的位姿, 参照相应运动平台(以舰船为例)建立其坐标系。在舰船运动分析中, 采用右手坐标系定义如下运动形式: 以舰船前进方向为  $X$  轴正方向, 此时绕  $X$  轴的旋转运动( $\alpha$  角)定义为滚转(横摇); 垂直于前进方向的水平轴为  $Y$  轴, 绕  $Y$  轴的旋转运动( $\beta$  角)定义为俯仰(纵摇); 竖

直向上的方向为  $Z$  轴, 绕  $Z$  轴的旋转运动( $\gamma$  角)定义为偏航。

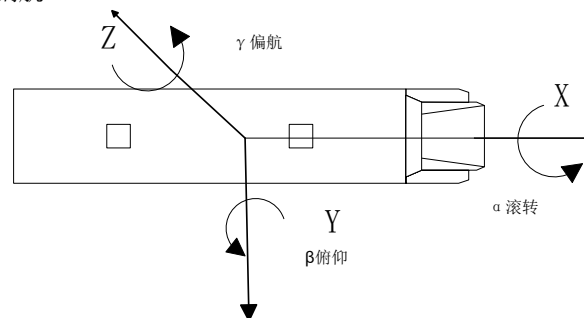


图 1 六自由度摇摆平台坐标系

### 2 六自由度平台位置反解变换矩阵

在构建数学模型前, 需对平台进行细致的结构参数分析。下平台通常稳固安装于基座上, 其铰点分布位置与角度是固定参数; 上平台作为运动执行端, 铰点布局同样具有特定几何关系。通过建立以固定下平台几何中心为原点的坐标系, 可精确描述上下平台铰点在空间中的位置坐标。设有固定坐标系为  $OXYZ$  及运动坐标系为  $O^*X^*Y^*Z^*$  (如图 2 所示), 在初始状态时, 两坐标系完全重合。根据空间坐标系变换原理, 当运动坐标系的原点平移到绝对坐标 ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ), 及绕固定坐标系  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴分别旋转  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  角时, 有以下的齐次坐标变换矩阵:

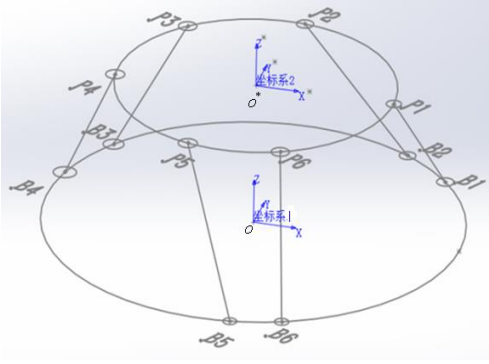


图2 固定坐标系及运动坐标系示意图

$$H = \begin{bmatrix} C\beta C\gamma & -C\alpha S\gamma + S\alpha S\beta C\gamma & S\alpha S\gamma + C\alpha S\beta C\gamma & a \\ C\beta S\gamma & C\alpha C\gamma + S\alpha S\beta S\gamma & -S\alpha C\gamma + C\alpha S\beta S\gamma & b \\ -S\beta & S\alpha C\beta & C\alpha C\beta & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中  $\cos$  简写为  $C$ ,  $\sin$  简写为  $S$ 。

根据上平台在坐标系中零位的中心位置量及姿态量 ( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ ) 来求解各支撑杆的伸缩量即六自由度运动平台位置反解。要求解各支撑杆的伸缩量, 首先要计算出上下各铰点在固定坐标系的坐标。

由于下平台静止不动, 所有各铰点的坐标固定, 记为  $B_i$ , 上平台在运动坐标系的坐标为  $P_i$ , 在固定坐标系的坐标为  $P_i'$ , 则有:

$$P_i' = H \cdot P_i \quad (2)$$

设上下平台各铰点在静坐标系的坐标为:

$$P_i' = [P_{ix}, P_{iy}, P_{iz}]^T \quad (3)$$

$$B_i = [B_{ix}, B_{iy}, B_{iz}]^T \quad (4)$$

则各伸缩杆长度:

$$|L_i| = \sqrt{(P_{ix} - B_{ix})^2 + (P_{iy} - B_{iy})^2 + (P_{iz} - B_{iz})^2} \quad (5)$$

### 3 杆长计算

上、下平台铰点的分布以及平台结构参数在六自由度摆摆平台的设计与运动学分析中起着决定性作用。图3为上平台和下平台铰点的空间布局图, 六自由度平台主要结构参数有5个, 分别为上铰点分布圆半径  $R_p$ 、上铰点分布角  $\theta_p$ 、下铰点分布圆半径  $R_B$ 、下铰点分布角  $\theta_B$  及初始状态上下铰点垂直高度差 (图2中  $OO^*$  的间距) 为  $h$ 。如图3所示, 上、下平台铰点均呈圆周对称分布。下平台作为固定基座, 其铰点分布圆以固定坐标系原点 (下平台几何中心) 为圆心, 半径  $R_B=675\text{mm}$ , 铰点沿圆周均匀分布, 相邻铰点之间的夹角  $\theta_B=30^\circ$ , 这使得6个铰点将圆周等分为12份。这种分布方式为平台提供了稳定的支撑基础, 且各向同性的布局有助于均匀传递驱动力, 保证平台运动的平稳性。上平台作为运动执行端, 铰点分布圆以零位时上平台的几何中心为圆心, 半径  $R_p=468\text{mm}$ , 同样6个铰点沿圆周均匀分布, 相邻铰点夹角为  $\theta_p=30^\circ$ 。初始状态上下铰点垂直高度差  $h=900\text{mm}$ , 该参数决定了平台在零位时的初始高度, 影响着支撑杆的初始长度以及平台运动过程中的行程范围。

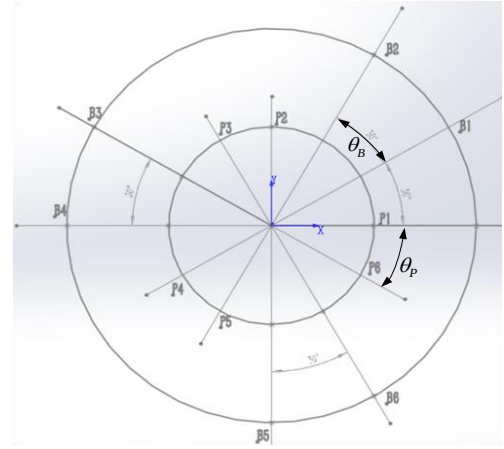


图3 铰点分布图

以6个下铰点中心所在的平面设为下平台, 以6个上铰点中心所在的平面设为上平台, 将固定坐标系  $OXYZ$  建立在下平台外接圆中心, 将活动坐标系  $O^*X^*Y^*Z^*$  建立在上平台外接圆中心, 平台初始零位时, 坐标轴  $OX$  平行于  $O^*X^*$ ,  $OY$  平行于  $O^*Y^*$ ,  $OZ$  与  $O^*Z^*$  重合, 当上平台位姿变化时, 上平台即活动系位姿可用  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$  这6个参数来表达, 其中 ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) 为活动系原点  $O^*$  在固定坐标系的绝对坐标,  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为上平台的姿态角, 即分别为上平台法向量相对于下平台三个固定轴  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的转角。

首先根据上平台结构尺寸, 按图2可求得上平台各铰点在活动系的相对坐标 ( $X_i'$ ,  $Y_i'$ ,  $Z_i'$ ), ( $i=1\sim6$ ):

$$P1: (R_p, 0, 900)$$

$$P2: (0, R_p, 900)$$

$$P3: (-R_p \times 0.5, R_p \times 0.866, 900)$$

$$P4: (-R_p \times 0.866, -R_p \times 0.5, 900)$$

$$P5: (-R_p \times 0.5, -R_p \times 0.866, 900)$$

$$P6: (R_p \times 0.866, -R_p \times 0.5, 900)$$

根据式1求得上平台各铰点在固定系的绝对坐标 ( $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$ ) ( $i=1\sim6$ )。

$$(x_i \ y_i \ z_i \ 1)^T = H \times (x_i' \ y_i' \ z_i' \ 1)^T, i=1,2,3,4,5,6 \quad (6)$$

其中  $\alpha$ : 横摇角度值、 $\beta$ : 纵摇角度值、 $\gamma$ : 偏航角度值,  $a$ :  $O^*$  相对初始状态  $X$  轴平移量、 $b$ :  $O^*$  相对初始状态  $Y$  轴平移量、 $c$ :  $O^*$  相对初始状态  $Z$  轴平移量。

根据下平台结构尺寸, 按图2可求得下平台各铰点坐标 ( $X_{bi}$ ,  $Y_{bi}$ ,  $Z_{bi}$ ) ( $i=1\sim6$ ):

$$B1: (R_B \times 0.866, R_B \times 0.5, 0)$$

$$B2: (R_B \times 0.5, R_B \times 0.866, 0)$$

$$B3: (-R_B \times 0.866, R_B \times 0.5, 0)$$

$$B4: (-R_B, 0, 0)$$

$$B5: (0, -R_B, 0)$$

$$B6: (R_B \times 0.5, -R_B \times 0.866, 0)$$

根据式2求得杆长值  $L_i$ ,  $i=1\sim6$ 。

$$L_i = \left[ (x_i - x_{bi})^2 + (y_i - y_{bi})^2 + (z_i - z_{bi})^2 \right]^{1/2}, i=1,2,3,4,5,6 \quad (7)$$

已知初始杆长，可求出各杆的伸缩量。

#### 4 仿真及验证

分别对单自由度的杆长算法进行了仿真验证，平台参数：上铰点分布圆半径  $R_p=468\text{mm}$ 、上铰点分布角  $\theta_p=30^\circ$ 、下铰点分布圆半径  $R_B=675\text{mm}$ 、下铰点分布角  $\theta_B=30^\circ$ 、初始状态上下铰点高度差  $h=900\text{mm}$ ，杆长仿真图如图 4 所示，仿真模块代码如下。

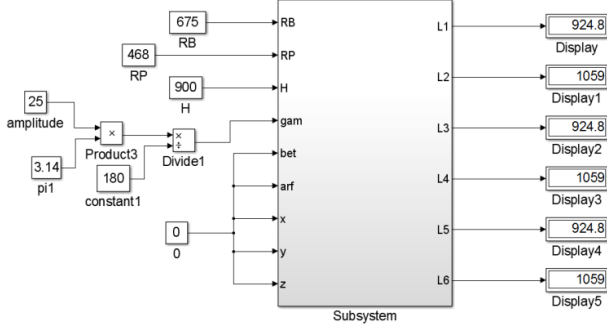


图 4 杆长仿真图

```

sarf=sin(arf);
carf=cos(arf);
sbet=sin(bet);
cbet=cos(bet);
sgam=sin(gam);
cgam=cos(gam);
h11=cbet.*cgam;
h12=-carf.*sgam+sarf.*sbet.*cgam;
h13=sarf.*sgam+carf.*sbet.*cgam;
h14=x;
h21=cbet.*sgam;
h22=carf.*cgam+sarf.*sbet.*sgam;
h23=-sarf.*cgam+carf.*sbet.*sgam;
h24=y;
h31=-sbet;
h32=sarf.*cbet;
h33=carf.*cbet;
h34=z;
po11=h11*rp+h13*h+h14*1;
po12=h12*rp+h13*h+h14*1;
po13=-h11*rp*0.5+h12*rp*0.866+h13*h+h14*1;
po14=-h11*rp*0.866-h12*rp*0.5+h13*h+h14*1;
po15=-h11*rp*0.5-h12*rp*0.866+h13*h+h14*1;
po16=h11*rp*0.866-h12*rp*0.5+h13*h+h14*1;
po21=h21*rp+h23*h+h24*1;
po22=h22*rp+h23*h+h24*1;
po23=-h21*rp*0.5+h22*rp*0.866+h23*h+h24*1;
po24=-h21*rp*0.866-h22*rp*0.5+h23*h+h24*1;
po25=-h21*rp*0.5-h22*rp*0.866+h23*h+h24*1;

```

```

po26=h21*rp*0.866-h22*rp*0.5+h23*h+h24*1;
po31=h31*rp+h33*h+h34*1;
po32=h32*rp+h33*h+h34*1;
po33=-h31*rp*0.5+h32*rp*0.866+h33*h+h34*1;
po34=-h31*rp*0.866-h32*rp*0.5+h33*h+h34*1;
po35=-h31*rp*0.5-h32*rp*0.866+h33*h+h34*1;
po36=h31*rp*0.866-h32*rp*0.5+h33*h+h34*1;
bo11=rb*0.866;
bo12=rb*0.5;
bo13=-rb*0.866;
bo14=-rb;
bo15=0;
bo16=rb*0.5;
bo21=rb*0.5;
bo22=rb*0.866;
bo23=rb*0.5;
bo24=0;
bo25=-rb;
bo26=-rb*0.866;
bo31=0;
bo32=0;
bo33=0;
bo34=0;
bo35=0;
bo36=0;

```

$l1=\sqrt{(po11-bo11)^2+(po21-bo21)^2+(po31-bo31)^2}$ ;  
 $l2=\sqrt{(po12-bo12)^2+(po22-bo22)^2+(po32-bo32)^2}$ ;  
 $l3=\sqrt{(po13-bo13)^2+(po23-bo23)^2+(po33-bo33)^2}$ ;  
 $l4=\sqrt{(po14-bo14)^2+(po24-bo24)^2+(po34-bo34)^2}$ ;  
 $l5=\sqrt{(po15-bo15)^2+(po25-bo25)^2+(po35-bo35)^2}$ ;  
 $l6=\sqrt{(po16-bo16)^2+(po26-bo26)^2+(po36-bo36)^2}$ ;  
 设横摇角摆幅为  $25^\circ$ ，纵摇及偏航角摆幅为  $0^\circ$ ，X、Y、Z 三轴平移值为 0，根据仿真结果求得杆长  $L1=1093\text{mm}$ ，杆长  $L2=1197\text{mm}$ ，杆长  $L3=1104\text{mm}$ ，杆长  $L4=968\text{mm}$ ，杆长  $L5=689\text{mm}$ ，杆长  $L6=720\text{mm}$ ，根据杆长值在 Solidworks 建模验证图如图 5 所示，实测横摇角摆幅为  $24.96^\circ$ ，验证了横摇单自由度旋转时杆长解算算法准确性。

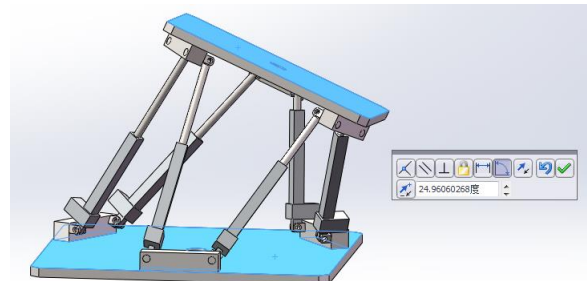


图 5 横摇角摆幅验证图



设偏航角摆幅为  $25^\circ$ ，纵摇及横摇角摆幅为  $0^\circ$ ，X、Y、Z 三轴平移值为 0，根据仿真结果求得杆长  $L_1=924.8\text{mm}$ ，杆长  $L_2=1059\text{mm}$ ，杆长  $L_3=924.8\text{mm}$ ，杆长  $L_4=1059\text{mm}$ ，杆长  $L_5=924.8\text{mm}$ ，杆长  $L_6=1059\text{mm}$ ，根据杆长值在 Solidworks 建模验证图如图 6 所示，实测偏航角摆幅为  $24.85^\circ$ ，验证了偏航单自由度旋转时杆长解算算法准确性。

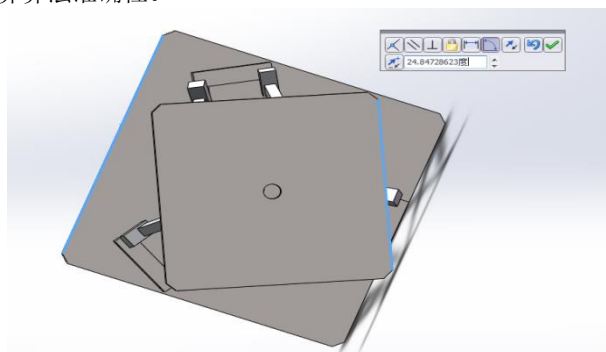


图 6 偏航角摆幅验证图

设 Z 轴向上平移 200mm，偏航、纵摇及横摇角摆幅为  $0^\circ$ ，X、Y 两轴平移值为 0，根据仿真结果求得杆长  $L_1=L_2=L_3=L_4=L_5=L_6=1157\text{mm}$ ，根据杆长值在 Solidworks 建模验证图如图 7 所示，实测上铰点和下铰点的垂直高度为 1100mm，比初始值升高了 200mm，验证了垂荡单自由度平移时杆长解算算法准确性。

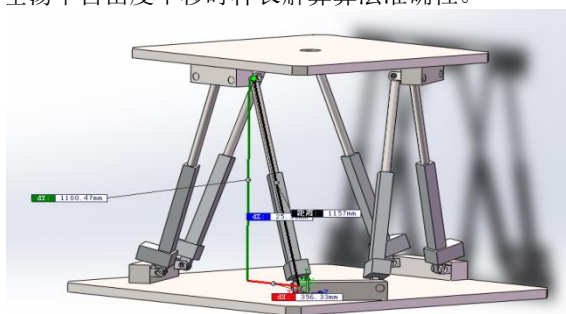


图 7 垂荡摆幅验证图

设 Y 轴平移幅值为 300mm，偏航、纵摇及横摇角摆幅为  $0^\circ$ ，X、Z 两轴平移值为 0，根据仿真结果求得杆长  $L_1=908\text{mm}$ ，杆长  $L_2=979\text{mm}$ ，杆长  $L_3=1034\text{mm}$ ，杆长  $L_4=942\text{mm}$ ，杆长  $L_5=1091\text{mm}$ ，杆长  $L_6=1113\text{mm}$ ，根据杆长值在 Solidworks 建模验证图如图 8 所示，实测纵荡摆幅为 300mm，验证了纵荡单自由度平移时杆长解算算法准确性。

纵摇角摆动与横摇角摆动可等效分析，X 轴平移与 Y

轴平移可等效分析，经仿真分析验证杆长解算算法准确。

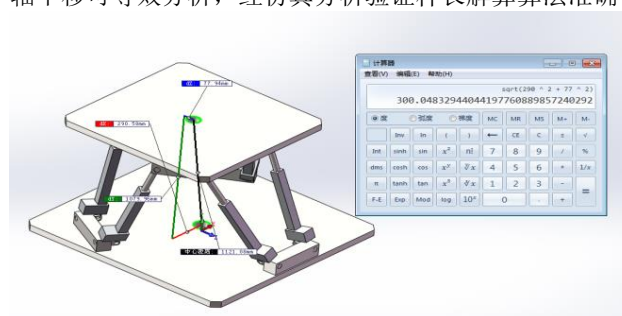


图 8 纵荡摆幅验证图

## 5 结论

本文对某六自由度摇摆平台杆长解算进行理论分析，给出了运动学描述矩阵、建立了仿真平台，经仿真得出了单自由度摇摆时各伸缩杆杆长，并通过三维结构模型测量验证。充分证明仿真技术在六自由度摇摆平台杆长解算及设计优化中具有重要作用。仿真能够在设计阶段快速模拟平台的各种运动工况，为设计人员提供直观的数据参考，帮助优化平台结构参数，使摇摆平台设计更加合理可行，有效缩短研发周期，降低研发成本。后续研究可进一步拓展仿真工况，探索多自由度耦合运动下的平台特性，为平台的实际应用提供更全面的技术支持。

### 【参考文献】

- [1]刘荣,王宣银.并联六自由度平台的运动仿真及其可视化设计研究[J].液压与气动,2005,1(8):67.
  - [2]从爽.并联机器人-建模、控制优化与应用[M].北京:电子工业出版社,2010.
  - [3]蔡自兴.机器人学基础[M].北京:机械工业出版社,2015.
  - [4]赵景山.机器人机构自由度分析理论[M].北京:科学出版社,2009.
  - [5]李磊.六自由度并联平台位置正解及控制方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- 作者简介: 卢洲 (1986.7—), 毕业院校: 南京理工大学, 所学专业: 自动化, 当前就职单位: 零八一电子集团有限公司, 职称级别: 中级工程师; 陈松波 (1985.12—), 毕业院校: 中南大学, 所学专业: 测控技术与仪器, 当前就职单位: 零八一电子集团有限公司, 职务: 机电研究所所长, 职称级别: 高级工程师; 姜伟 (1985.4—), 毕业院校: 北京航空航天大学, 所学专业: 飞行器设计与工程(航天方向), 当前就职单位: 零八一电子集团有限公司, 职务: 机电研究所副所长, 职称级别: 中级工程师。

## 空调系统节能运行自动控制的应用研究

王明章 郭重阳 王 锋 王婵君

华商国际工程有限公司, 北京 100069

**[摘要]**随着全球能源供应日益紧张以及环保要求持续提高,空调系统作为现代建筑里能源消耗极为集中的设备之一,其节能运行方面的问题逐渐得到越来越多的关注。尤其是在像大型公共建筑、工业厂房、商业综合体还有高端住宅这类高负荷用能的场景当中,空调系统的运行效率会直接影响到整体的能源成本以及环境排放状况。文章针对空调系统节能运行里的自动控制技术展开较为系统的探究,起初从自动控制系统的基本原理着手,接着介绍构成控制系统的那些关键设备,像传感器、执行器还有控制器这些核心部件。在此基础之上,着重对多种先进控制策略在空调系统当中的适配程度与实际运用情况展开探讨,比如PID控制所具有的稳定性、模糊控制具备的柔性应对能力,以及预测控制在多变量耦合系统里面呈现出的前瞻性调度优势。与此结合空调水系统、风系统以及冷热源系统的结构特点与运行需求,深入剖析自动控制在各个环节节能运行方面的应用成效与实践成果。研究说明,自动控制技术经过科学合理的部署并加以集成应用之后,不但大幅降低了空调系统在不同工况之下所耗费的能源,而且还切实提高了系统运行的精准程度、稳定水平以及用户的舒适感受。

**[关键词]**空调系统; 节能运行; 自动控制

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17641

中图分类号: TP202

文献标识码: A

## Application Research on Energy-saving Operation Automatic Control of Air Conditioning System

WANG Mingzhang, GUO Chongyang, WANG Feng, WANG Chanjun

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

**Abstract:** With the increasingly tight global energy supply and the continuous improvement of environmental protection requirements, air conditioning systems, as one of the equipment with extremely concentrated energy consumption in modern buildings, have gradually received more and more attention in terms of energy-saving operation. Especially in high energy consumption scenarios such as large public buildings, industrial plants, commercial complexes, and high-end residential buildings, the operational efficiency of air conditioning systems directly affects the overall energy cost and environmental emissions. The article conducts a systematic exploration of automatic control technology in energy-saving operation of air conditioning systems. Initially, it starts with the basic principles of automatic control systems, and then introduces the key equipment that makes up the control system, such as sensors, actuators, and controllers. On this basis, we will focus on exploring the adaptability and practical application of various advanced control strategies in air conditioning systems, such as the stability of PID control, the flexible response capability of fuzzy control, and the forward-looking scheduling advantage of predictive control in multivariable coupled systems. Based on the structural characteristics and operational requirements of the air conditioning water system, air system, and cold and heat source system, this paper deeply analyzes the application effectiveness and practical achievements of automatic control technology in energy-saving operation in various links. Research has shown that after scientific and rational deployment and integrated application, automatic control technology not only significantly reduces the energy consumption of air conditioning systems under different operating conditions, but also effectively improves the accuracy, stability, and user comfort of system operation.

**Keywords:** air conditioning system; energy-saving operation; automatic control

### 引言

空调系统属于现代建筑环境调节范畴内极为重要的设备,其肩负着确保室内处于舒适温度状态以及保障空气质量的关键任务。不过,伴随城市化进程不断加快以及建筑规模持续拓展,空调系统的能耗也随之大幅攀升,已然变成建筑能耗当中占据相当比重的部分。传统空调系统大多运用集中式控制方式,对于能耗呈现出的动态变化情况以及系统实际运行效率有所忽略,进而致使能源出现较为严重的浪费状况。为契合节能减排这一国家战略,达成能

源利用达到最优状态的目标,空调系统节能运行自动控制技术便成了当下研究以及工程应用方面的核心要点。自动控制技术凭借自身具备的高效性、精准度以及智能化等特性,给空调系统的节能运行给予了颇为有力的技术层面的支撑。借助传感器来采集系统运行时的状态相关信息,同时联合先进的控制算法,自动对设备运行的各项参数加以调节,以此达成系统负荷与之动态匹配并且实现节能优化的效果,大幅度提高了系统的能源利用效率。本文会全面且细致地分析空调系统节能运行自动控制所涉及的相关

技术, 深入探讨该技术在水系统、风系统以及冷热源系统当中的具体运用情况, 目的是为实现空调系统的节能运行给予相应的理论依据以及技术方面的指导。

## 1 空调系统运行原理及节能重要性

空调系统的运行原理就是热量转换的过程, 如果需要制冷就将制冷剂气化吸热, 将室内的空气温度降低, 将热量排出室外, 制热则与之相反。空调主要是由内机和外机组成, 具体来说是由制冷系统、压缩机、蒸发器、盘管以及水泵风机构成, 由于空调的运行原理是冷热转换, 空调拥有制冷和制热的功能, 起到关键性作用的就是制冷剂。制冷剂的作用就是进行冷热转换, 在气化的状态吸热, 在液化的状态放热, 在这个过程中, 室外机内部的压缩机和蒸发器起到了关键性的作用, 蒸发器则是将制冷剂蒸发成气体的零件。目前, 正在使用的空调系统中, 由于采取的是集中式的控制系统, 加上设计的时候考虑节能粗放的因素, 因此对于能源的消耗是巨大的。但是, 正是因为空调使用的数量越来越多, 碳排放量也就越来越多, 对于能源的损耗也逐渐地增大, 由此很容易造成温室效应。所以, 在目前节能环保的要求下, 可以在自动化控制的基础上, 实现空调的自我循环利用, 以便能够达到不断降低损耗的目的, 在空调中运用该技术已经成为一种趋势。

## 2 空调系统节能运行自动控制技术

### 2.1 自动控制系统基本原理

空调系统节能运行的自动控制技术依据反馈调节原理来开展相关工作, 其具体做法是实时对系统运行状态予以监测, 并且自动去调整运行参数, 以此达成系统负荷和需求处于动态平衡的状态。这项控制技术最为关键之处就在于会借助传感器实时去采集像温度、压力、流量这类的关键参数, 接着把采集所得的数据信号输入到控制器当中, 控制器依照预先设定好的目标值以及控制算法, 自动发出控制指令来调整执行机构的动作, 进而使得系统运行状态发生变化, 最终实现按需供能的节能效果。自动控制系统的原理主要体现为闭环控制, 也就是系统持续不断地去监测自身输出结果和期望目标之间存在的偏差, 然后凭借自动调节的方式将偏差消除掉。空调系统的自动控制往往会采用多变量、多目标的控制模式, 这就需要对水系统、风系统以及冷热源的运行参数加以协调, 从而保证空调系统在整体上能够实现节能并且具备舒适的使用体验。通过引入像模糊控制、预测控制这样的智能控制算法, 控制系统可以突破传统控制方法所存在的种种局限, 更为灵活地去应对那些复杂的动态变化情况, 达成能耗的最优控制以及系统的稳定运行状态。

### 2.2 关键控制设备介绍

#### 2.2.1 传感器与检测器

传感器在空调系统自动控制中充当着“眼睛”的角色, 其主要负责对环境以及设备运行状态的变化予以实时感知。温度传感器主要用于监测室内外还有水系统里面的温

度变化情况, 可精准地反映出空调负荷方面的需求, 像热电偶以及热敏电阻这类类型便是常见的。压力传感器针对制冷剂以及风系统当中的压力变化展开监测, 以此来保障系统能够安全且稳定地运行。流量传感器的作用在于检测水流以及空气流量, 能够助力控制系统去判断负荷的大小并且对设备运行加以调节。传感器所具有的精度以及响应速度会直接对控制系统的调节效果产生影响, 在现代, 传感器还拥有数字化以及智能化的功能, 能够支持远程监测与诊断工作, 从而给节能控制给予可靠的数

#### 2.2.2 执行器

执行器在控制系统当中充当着“手”的角色, 其主要职责在于依据控制器所发出的各项指令, 去对空调系统里各个不同部件的运行状态做出相应调整, 进而达成对相关参数的精细控制。像电动阀门、电动风门以及变频调速器等等, 都属于较为典型的执行器范畴。其中, 电动阀门会通过调节制冷剂或者冷冻水的流量情况, 对系统的制冷或者制热能力产生一定影响; 电动风门则负责调节送风量以及新风量, 以此来确保室内空气品质以及舒适度能够得到保障; 而变频调速器主要是用来调节水泵和风机的转速, 从而精准地与负荷需求相匹配, 同时也能有效降低能耗。执行器的响应速度以及控制精度这两方面的情况, 和系统的节能效果有着直接且紧密的关联。在现代的执行器当中, 大多都会采用智能驱动技术, 而且还具备自诊断以及故障保护等多种功能, 如此一来便能够提升系统的可靠性以及稳定性。

#### 2.2.3 控制器

控制器在自动控制系统里充当着“大脑”的角色, 它依据传感器所反馈的数据以及预先设定好的控制算法来精准地算出最为理想的控制指令, 以此来指引执行器做出相应动作。就常见的情况而言, 控制器的类型有像 PLC 也就是可编程逻辑控制器、DCS 即分布式控制系统还有专用空调控制器这样的。控制器可不仅仅只是完成传统意义上的 PID 调节这一项任务, 它还将模糊逻辑、神经网络这类智能控制算法都整合进来了, 进而能够达成多变量耦合控制以及自适应调节这样更为复杂的控制操作。并且, 控制器自身还拥有数据采集、历史记录以及远程通信等诸多功能, 如此一来便能让运维管理以及节能效果评估等工作开展起来更为便捷一些。高性能控制器在实际应用当中, 其实在很大程度上提升了空调系统在自动化方面的水准以及节能方面的潜力。

### 2.3 控制策略与算法

#### 2.3.1 PID 控制

比例-积分-微分 (PID) 控制乃是空调系统自动调节所依据的一种基础算法。该算法借助比例调节来消除偏差, 凭借积分调节去消除稳态误差, 并且依靠微分调节对系统振荡加以抑制, 进而达成精确控制的目的。PID 控制有着结构较为简单的优点, 其调节效果也比较稳定, 在多数传统空调设备当中都适用。而其中的关键之处就在于要对参



数做出合理的整定,如此一来良好的PID调节才能够快速地对负荷变化作出响应,同时也能减少能量的浪费。虽说PID控制在单一变量调节方面表现得相当不错,然而一旦面对复杂非线性以及多变量耦合这类问题的时候,它的控制效果就会显得颇为有限了,而且容易出现调节迟滞以及超调等情况。

### 2.3.2 模糊控制

模糊控制依靠模糊逻辑来运作,可对空调系统里的不确定性以及非线性特性加以处理。此算法把传统的精确控制变量转变为模糊集合,并且与专家经验规则相结合,进而达成更为灵活且更为智能的控制效果。模糊控制在温度调节以及负荷预测这些方面有着明显的优势,能够随着环境的变化而做出适应,实现较为平稳且节能的运行状态。不过它也有缺点,那就是设计起来比较复杂,得有大量专家知识作为支撑,并且其计算量也不小。

### 2.3.3 预测控制

模型预测控制(MPC)借助构建空调系统的数学模型来预测未来系统运行的走向,并且提前对控制参数做出调整,以此达成动态的优化效果。这种方法在多变量存在耦合情况以及负荷会随时间变化的空调系统中适用,可切实提高节能成效。预测控制需要依靠精准模型以及实时的数据,其拥有不错的自适应能力以及鲁棒性,当下在节能控制的研究领域里属于热门的方向之一。

## 3 空调系统节能自动控制的应用分析

### 3.1 空调水系统自动控制

空调水系统在空调运行里很关键,是冷热交换的直接媒质,节能控制对系统能耗管理很重要。用自动控制技术能提高水系统效率和能源利用率,变频调速技术在水泵控制很关键,能根据冷负荷变化自动调水泵频率,让水流量和系统负荷精准匹配,防止低负荷时水流过剩浪费能量,保证高负荷时供冷能力。温度传感器实时监测冷冻水、冷却水温差,控制系统动态调设备参数,保持冷冻水温度在最佳制冷效率范围,让系统节能和舒适性平衡<sup>[1]</sup>。电动阀门依据多维参数反馈自动调制冷剂 and 冷冻水流量,配合水泵、冷冻机组协同控制,提升系统调节能力和响应速度。如此智能控制,空调水系统可降低水泵、电机、冷冻机能耗,减少设备负荷波动,延长设备寿命,提高系统稳定性和安全性,还助力绿色节能建筑发展。

### 3.2 空调风系统自动控制

风系统作为空调系统里负责空气输送及循环的关键部分,对于保持室内热湿环境的舒适性以及空气质量有着极为重要的作用,其节能控制对于减少整个建筑的能耗并且达成高效运转有重大意义。借助引入自动控制技术,风系统能够依照室内外环境状况以及人员活动的变化来灵活调整自身运行状态,达成对送风量、风速还有新风比例的动态优化。其中,风机变频调速器的应用让送风系统能够依据实时的负荷需求精准控制风量的输出,既防止了传

统定速运行时出现的能量浪费情况,又能有效地保障各个功能区域的通风换气需求。风门和风阀的智能化开闭与自动控制系统相互配合,针对新风与回风的比例展开实时调整,在满足新风量要求的前提下尽可能地减少冷热量的损失,进一步提高能源利用效率。与此布置于室内关键区域的温湿度传感器可不间断地监测环境参数的变化,并且把相关信息反馈给中央控制器,系统依据预先设定的舒适性指标智能地调节风速和风量,以此维持室内空气的均匀性以及舒适性<sup>[2]</sup>。部分高端系统还整合了CO<sub>2</sub>浓度检测装置,用于控制新风引入的量,从而在确保空气质量的基础之上进一步优化能耗分配。凭借风系统的自动化调节,不但大幅降低了风机耗电以及运行成本,而且还有效地提升了室内空气品质以及人体舒适度,达成了节能减排与健康生活环境构建的有机统一。

### 3.3 冷热源系统自动控制

冷热源系统在空调系统里属于能量供应的那一端,而其自动控制情况对于达成全系统节能而言是极为关键的。就冷水机组来讲,它是借助自动控制来对压缩机的启停以及负荷匹配加以调节的,并且会联合变频技术来调整制冷能力,如此一来便能够防止出现过度运行以及频繁启停的现象<sup>[3]</sup>。再看锅炉以及热水系统,它们采用的是自动点火以及燃烧调节的方式,在保证热能能够正常供应之际,还能够最大程度地去减少燃料方面的浪费情况。冷热源系统的自动控制通过对能源输出进行精准调节,进而和水系统以及风系统协同开展运行工作,以此达成整体能量流的最优状态,从而使得系统的效率以及节能水平都得以显著地提升起来。

## 4 结语

本文较为详尽地阐述了空调系统节能运行自动控制技术所涉及的基本原理、关键设备以及控制算法等方面内容,同时深入剖析了自动控制技术于空调水系统、风系统以及冷热源系统当中的实际应用状况。借助自动化控制手段,空调系统可达成负荷与运行状态的动态契合,进而削减那些不必要的能源耗费,促使系统的运行效率得以提升,并且让使用环境的舒适度也有所改善。伴随智能控制技术持续向前发展,未来的空调系统节能自动控制将会变得更加智能化、集成化并且更为高效,从而给绿色建筑以及可持续发展赋予坚实的技术保障。

### [参考文献]

- [1]陈瑞.智能建筑空调系统节能研究与实现[D].湖北:长江大学,2023.
- [2]申建光.集中式空调系统新风节能自动控制实施探讨[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2021(1):190-191.
- [3]孙国忠,李娜,王敏.中央空调系统节能改造技术分析[J].建筑经济,2024,45(2):337-340.

作者简介:王明章(1973.7—),性别:男,民族:汉,籍贯:天津,职称:高级工程师,学历:本科,毕业院校:浙江工业大学,研究方向:制冷空调控制与节能方向。

## 科研仪器设备开放共享的实施路径与方法

朱家缔 唐永辉 常健 吴海龙 姬鑫萃

中国运载火箭技术研究院, 北京 100076

[摘要] 科研仪器设备开放共享对提高国家创新体系效能具有重要意义, 构建专业化共享平台能高效整合资源、实现服务数字化。文章以某国企试验检测能力共享服务平台为例, 说明了科研仪器开放共享信息化平台的建设路径、核心功能模块和技术架构, 并明确了平台的总体设计思路、应用架构、数据架构、安全设计与运维保障措施。

[关键词] 科研仪器; 共享平台; 平台架构; 试验测试

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17623

中图分类号: G482

文献标识码: A

## Implementation Path and Method of Open Sharing of Scientific Research Instruments and Equipment

ZHU Jiadi, TANG Yonghui, CHANG Jian, WU Hailong, JI Xincui

China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing, 100076, China

**Abstract:** Open sharing of scientific research instruments and equipment is of great significance for improving the efficiency of the national innovation system. Building a specialized sharing platform can efficiently integrate resources and achieve digitalization of services. The article takes the shared service platform for testing and inspection capabilities of a state-owned enterprise as an example to illustrate the construction path, core functional modules, and technical architecture of the open sharing information platform for scientific research instruments. It also clarifies the overall design concept, application architecture, data architecture, security design, and operation and maintenance measures of the platform.

**Keywords:** scientific research instruments; sharing platform; platform architecture; experimental testing

### 1 平台架构与技术实现

共享服务平台系统的架构设计决定了系统的稳定性、扩展性和运维成本。某国企试验检测能力共享服务平台系统建设遵循四项总体思路: 一是以标准规范为基本, 制定安全、稳定、可扩展的系统规范; 二是以总体规划为指导, 统筹资源配置, 确保建设有序推进; 三是以业务流程为主线, 打破信息孤岛, 推进协同管理; 四是以用户需求为导向, 持续优化界面与操作体验<sup>[1]</sup>。平台系统采用四层分离架构, 包括用户交互层、业务逻辑层、数据服务层与设备接入层。系统前端采用 Vue.js 3.0 框架构建单页面应用, 结合 Webpack 打包和 Axios 异步通信实现组件化开发, 前端部署在 Nginx 上, 启用 Gzip 压缩与 HTTP/2 协议, 实测首屏渲染时间低于 1.2s。系统后端基于 Spring Cloud 套件构建微服务集群, 拆分为 12 个独立服务模块, 包括服务注册、账号管理、设备管理、预约响应、系统介绍和数据分析等。数据库层采用混合存储模式: 核心数据使用 MySQL 8.0 主从集群与 ShardingSphere 分库分表; 设备实时数据使用 InfluxDB 时序数据库; 检索服务使用 Elasticsearch 7.17 集群。系统底层基础设施运行于某单位专有云环境, 采用 Kubernetes 容器编排, 节点配置为 32 核 128GB 内存, 网络通过 VPC 隔离和 SLB 负载均衡, 支持 5Gbps 峰值带宽, 并部署同城双活灾备方案, 恢复点目标低于 15s, 恢复时间目标 (RTO) 低于 3min。系统

在 JMeter 模拟 10 万并发压力测试下的可用性达到 99.95%。此外, 平台确立了“以规范化标准化为守则、以业务需求为中心、以数据准确安全为基础、满足国产化支持要求”的四项原则, 为平台长期稳定运行奠定制度基础。

### 2 核心功能模块设计

#### 2.1 智能资源检索系统

该平台的智能检索系统把多维索引和语义解析融合起来, 可支持多达 12 个检索维度, 像设备类型、技术参数以及设备、设施所在地点等等都在其中。该系统还集成了自然语言处理模块, 对于诸如“耐高温真空环境试验舱”这样复杂的语句也能够加以解析, 进而达成检索语义和设备能力参数的对齐效果。借助 Elasticsearch 的倒排索引以及实时标签机制, 平台能够在毫秒级的时间内完成那些较为复杂的条件查询操作。系统还实现了基于 WebGL 来渲染设备模型的 3D 可视化设备展示功能, 方便用户能够全方位地浏览设备。在智能推荐板块, 系统运用协同过滤方式, 同时结合依据历史使用数据所训练出来的 GBDT 模型, 以此来计算设备的匹配程度, 最终实现在检索结果当中优先呈现出能够满足用户需求的设备, 进而提升从检索一直到下单环节的转化比率<sup>[2]</sup>。

#### 2.2 全流程在线协作系统

该平台的全流程在线协作系统把试验前的沟通环节、合同反馈流程、试验执行过程以及结果归档工作串联起来,

形成了一套闭环管理模式。平台整合了基于 WebRTC 的试验过程监控功能,运用 AES-256 加密方式来保障安全;试验结束后,试验报告能够直接导出成为 PDF 格式的规范文档。在合同反馈方面,利用合同信息上传功能模块限制关键字段,验证合同编号和合同额,以此确保所生成的合同具备法律追溯方面的特性。对于试验执行任务的管理,采用的是可视化的任务看板形式,依据敏捷工单机制对任务阶段加以拆解,并且借助 OPC UA 协议以及 PLC 接口来实时同步设备的状态情况,进而达成对整个过程进行在线化监管的目的。

### 2.3 数据化运营监控系统

该平台的统计分析模块从资源效能、服务效能以及经济效能这三个维度着手来构建“数据驾驶舱”。在资源效能方面,系统依据 ARIMA 模型来预测设备的利用率,以此辅助资源调度工作。就服务效能而言,系统会跟踪平均响应时长以及履约率这两项指标,同时结合六西格玛以及控制图相关方法来分析其稳定性情况<sup>[3]</sup>。在经济效能方面,平台凭借平准化成本模型对收益以及成本分摊加以量化处理。系统还设有预警机制,比如说当设备在 15d 内的利用率低于 10% 的时候便会触发闲置预警,或者预约响应时间超出 24h 就会触发超时告警,并且会通过可视化面板展示各项优先级情况。

### 2.4 用户需求适配系统

如果系统内现有设备仪器无法满足用户需求,该平台的“需求对接”模块针对这一情况设计出了协议转换矩阵还有虚拟仪器集成机制。协议转换矩阵借助规则引擎把厂商特有的协议转变成统一控制接口,以此来简化接入流程,降低其复杂程度。虚拟仪器集成机制会把 LabVIEW 程序打包成 Docker 容器,再依靠 gRPC 提供远程调用服务,使得 legacy 软件能够在容器化的环境当中按照标准的方式去运行,进而达成让用户需求可以反馈给相关专业设备提供方的目的。

## 3 系统集成与扩展能力

### 3.1 跨系统互联架构

跨系统互联依靠标准化 API 以及身份互认机制来确保数据交换具备一致性与安全性。该系统已达成和航天电子采购平台等系统的双向字段同步,并且拥有向国家大型仪器网络管理平台上报元数据的能力。就区域互通来讲,平台凭借 OAuth2.0 单点登录以及互认机制,与航资网实现了用户无缝登录以及设备互可见;与此借助 API Gateway 调用策略以及服务治理能力,与哈尔滨工业大学设备仪器共享网站搭建起应急服务通道,以此支持跨区域科研需求能够快速做出响应。

### 3.2 可扩展接口体系

该系统构建了开放的 API 网关,借助 Swagger 来对 142 个 RESTful API 加以管理,这些 API 包含了设备元数

据查询、预约单创建以及试验数据下载等一系列核心功能。为了方便第三方进行扩展操作,平台特意设计了插件式的框架以及动态加载的相关机制,还支持 Java SPI 服务提供机制,同时给科研人员提供了针对 Python 和 Matlab 的设备接入 SDK,以此来降低二次开发的难度门槛,鼓励相关平台系统基于该平台去开展各类创新活动。

### 3.3 未来兼容性设计

该系统在架构设计上预留了量子通信接口以及数字孪生的能力空间。就量子通信而言,该系统预设了 SM9 算法硬件加速卡插槽,同时还有量子密钥分发光口模块,这便为后续抵御量子威胁的加密工作打下了相应的基础。在数字孪生方面,平台依靠 Unity 引擎来构建设备的数字模型,并且结合物理引擎达成实验环节的仿真效果,进而为远程操作以及由 AI 驱动的自动化实验营造出虚拟化的环境<sup>[4]</sup>。

## 4 安全认证与权限管理

### 4.1 立体化认证机制

该系统运用三级身份核验机制来区分企业用户、个人用户以及操作员的相应权限。企业用户借助工商信息接口来核验统一社会信用代码;个人用户采用的是将公安部实名认证、手机号以及人脸识别相结合的方式;而操作员需要运用 OTP 动态口令加上生物识别的多因子认证方式。其权限管理是依据细粒度 RBAC 模型来进行的,会划分出 ADMIN、PROVIDER 还有 USER 这三类角色。比如说,ADMIN 能够执行像 userban 这类高风险操作;PROVIDER 可以开展设备更新以及订单确认等工作;USER 则仅仅限定在设备查询以及下单这样的范围之内,以此达成最小权限原则并且保证审计可追溯。平台在认证环节还引入了行为识别以及动态风控机制。系统会对用户的登录位置、访问时段以及操作频率加以建模,要是察觉到与历史行为模式存在明显差异的时候,就会触发二次验证或者限制操作。这样一种智能化的风控举措,切实有效地降低了账号被他人盗用或者遭到恶意操控的风险。与此平台还支持基于 PKI 的证书登录方式,从而为那些安全等级较高的用户赋予更强的身份可信度,确保不同层级的认证策略和业务敏感度能够相互匹配起来。

### 4.2 数据安全防护体系

数据安全在传输层以及存储层都采用了加密防护措施。传输层运用的是 SSL/TLS 1.3 协议,而且还能和国密 SM2 双证书体系实现兼容。存储层针对敏感字段会实施 AES-GCM 加密操作,另外还会借助 LUKS 来对磁盘展开全盘加密处理,以此防止出现物理方面的泄露情况。该系统还集成了 QRNG 量子随机数发生器,其主要用于密钥的初始化工作,从而保证未来能够实现平滑的升级操作。在数据生命周期管理这块,平台构建起了从“产生”到“传输”再到“使用”以及“存储”最后到“销毁”这样一个



完整的闭环流程,针对不同的各个阶段都会去设定相应的安全策略。比如说在数据销毁这个环节当中,会采用 DoD 5220.22-M 三遍覆盖算法,以此来确保敏感数据可以彻底地无法被恢复。系统还会同时部署日志审计以及实时入侵检测功能,一旦发现有异常流量或者数据出现越权访问的情况时,便能够自动触发阻断的相关措施并且生成安全告警报表,方便安全管理员去进行追溯以及整改方面的操作。

#### 4.3 保密分级控制策略

该系统会根据设备的不同敏感程度来设定三个等级的保密控制措施,分别是红色等级、黄色等级以及蓝色等级。其中,红色等级主要针对国防专利设备,仅仅展示其基础信息,并且在数据导出的时候需要有专人来进行监控;黄色等级针对的是军工敏感设备,其参数会被模糊化处理,同时还需要借助 VPN 以及带有水印的 PDF 格式来导出;蓝色等级则适用于民用设备,可以将参数直接公开并且允许下载。这样的策略在满足合规要求的基础上尽可能地提升了设备的利用率。平台还会结合动态水印技术以及区块链溯源技术,在数据导出的时候自动嵌入使用者的身份信息以及时间戳,如果出现泄漏情况,能够迅速定位到责任主体。通过把分级以及可追溯机制结合起来,平台一方面兼顾了安全以及合规的要求,另一方面也保障了科研设备实际的利用效率。

### 5 用户界面与交互工程

#### 5.1 门户界面设计规范

该系统门户界面运用了响应式设计方式,是依据 Bootstrap 5 网格体系来达成的,可实现 PC 端、平板以及移动端的自适应展示效果。系统严格遵循 WCAG 2.1 AA 无障碍标准,以此确保能与屏幕阅读器、键盘导航相兼容。在设备详情页还有预约流程当中,引入了可视化图表以及交互提示,目的是降低用户的学习成本,提高操作效率。就界面风格而言,平台着重于信息分层以及视觉引导方面。首页展示模块被划分成“实时设备状态”“热门资源”“新闻动态”与“服务指南”这四个部分,以此保证关键信息能够让人一目了然。为了满足科研人员高效操作的需求,系统设置了快捷入口以及个性化工作台,用户可以依据自身所从事的研究领域来定制常用设备面板,进而减少二次检索的成本。

#### 5.2 核心交互流程优化

系统针对设备预约流程展开漏斗式分析并加以优化,其中在检索阶段要确保有 70%的详情点击率,而在合同上传阶段依靠智能合同和电子签名,实现了 92%的合同完成率以及 89%的上传成功率。更进一步来讲,平台引入了用户路径分析以及热力图追踪手段,凭借大数据建模去发现用户在预约、下载报告等各个环节的高频点击区域以及停留时长,从而对页面布局进行动态优化。比如说,当数据表明多数用户在“合同签署”这个环节停留的时间

比较长的时候,平台通过设置引导提示并且优化模板的方式,把操作时间缩短了 30%,这些依据行为数据驱动所开展的持续优化举措,大幅度地降低了用户的流失率。

#### 5.3 体验量化评估体系

平台构建起一套评估体系,其核心围绕任务完成率、搜索平均时长以及用户满意度这几方面展开,所设定的目标分别是任务完成率达到或超过 95%,搜索时长控制在 8 秒以内,CSAT 不低于 4.5 分。平台借助 ELK 日志以及埋点分析来对用户行为加以监控,同时结合 AB 测试和自动化测试调度来验证优化效果,以此保证改进具备统计学意义上的显著性。除此之外,平台还设置了用户分级体验调研这一环节,针对新用户、活跃用户以及高频科研团队分别去设计问卷,并且结合 NPS 展开长期的跟踪调查。经由界面迭代以及功能优化之后,科研团队的 NPS 值提高了 18%。在此期间,平台逐步推进跨平台适配测试工作,以确保在国产浏览器、移动端轻应用环境之下都能够顺畅运行,进而为后续的国产化迁移给予可靠的用户体验方面的保障。

### 6 结语

借助某国企试验检测能力共享服务平台开展建设的实际实践活动来看,微服务架构切实有效地对高并发以及高可靠性的需求给予了有力支撑,其模块化功能设计也明显地将系统的耦合度降了下来,而开放的 API 以及标准接口则给生态扩展开拓出了一条较为稳健的路径。立体化的安全防护措施为设备实现上云与共享提供了符合规定的保障。该平台已经与国管局公物仓等诸多系统成功实现了互联互通,充分展现出了技术方案所具备的通用特性。展望未来的发展情况,平台需要持续不断地推进区块链确权治理相关工作,以此来进一步对设备以及数据的权益加以切实保障,并且还要在量子安全以及数字孪生等处于前沿领域的方向上展开更为深入细致的探索,从而为科研仪器的开放共享去构建起一套更为安全、更加高效且更为智能的数字基础设施。

#### [参考文献]

- [1]廉静静.大型科研仪器设备开放共享的实施路径与方法[J].设备管理与维修,2023(12):15-17.
  - [2]李昕,赵辉,孙文慧,等.科研院所科学仪器国产化研发管控模式研究[J].产业与科技论坛,2025,24(12):227-229.
  - [3]朱亚娟.高校大型仪器设备开放共享机制的优化路径研究[J].实验室检测,2025,3(12):91-94.
  - [4]刘津彤,刘继明,吴文征,等.大型精密检测设备“三维度”开放共享模式研究[J].实验室科学,2025,28(3):143-147.
- 作者简介:朱家缔(1996—),男,民族:汉族,吉林省长春市人,现职称(职务):工程师,2021年7月毕业于中国运载火箭技术研究院材料科学与工程专业,最高学历:硕士研究生,现主要从事的工作或研究的方向:资产能效效益管理。

# 智能自动化控制在动力机械系统中的应用与性能优化研究

张小刚

亿利洁能股份有限公司达拉特分公司, 内蒙古 鄂尔多斯 014300

**[摘要]**随着智能自动化控制技术快速发展,推动动力机械系统向智能化、自动化与高效化方向转型。作为现代工业和交通运输的核心装备,动力机械系统的性能优劣直接决定了能源利用效率、环保指标达标情况及经济收益水平。在与智能控制技术结合后,动力机械系统能在复杂情况下自主调节,提高稳定性和可靠性。文章分析了动力机械系统里的智能感知、传感技术,还有模糊控制、神经网络控制、多智能体自适应控制等应用,从能效优化、稳定运行、故障诊断与预测性维护等方面研究性能优化机制。研究表明,智能控制技术为机械系统高效、可靠运行提供了技术支撑,在绿色、智能、可持续发展方面有广泛应用前景。

**[关键词]**智能自动化控制技术;动力机械系统;性能优化

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17605

中图分类号: TH122

文献标识码: A

## Research on the Application and Performance Optimization of Intelligent Automation Control Technology in Power Machinery Systems

ZHANG Xiaogang

Dalad Branch of Elion Clean Energy Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 014300, China

**Abstract:** With the rapid development of intelligent automation control technology, the transformation of power machinery systems towards intelligence, automation, and efficiency is being promoted. As the core equipment of modern industry and transportation, the performance of power machinery systems directly determines energy utilization efficiency, environmental indicators compliance, and economic benefits. After being combined with intelligent control technology, power mechanical systems can autonomously adjust in complex situations, improving stability and reliability. The article analyzes the intelligent perception and sensing technologies in power machinery systems, as well as applications such as fuzzy control, neural network control, and multi-agent adaptive control. It studies performance optimization mechanisms from the aspects of energy efficiency optimization, stable operation, fault diagnosis, and predictive maintenance. The research results indicate that intelligent control technology provides technical support for efficient and reliable operation of mechanical systems, and has broad application prospects in green, intelligent, and sustainable development.

**Keywords:** intelligent automation control technology; power mechanical systems; performance optimization

随着现代工业体系一步步地升级,全球能源结构也在不停地优化,在这样的背景下,动力机械系统在国民经济当中的战略地位愈发凸显。传统动力机械多依赖人工去干预及预设控制逻辑,面对复杂且多变的工作状况的时候,通常就会出现响应比较滞后以及适应性不够强的情况。而智能控制技术的兴起为这一难题带来了全新的解决办法,它的关键之处就在于通过信息感知、数据处理与智能决策技术相互协同,实现系统运行状态的自主调节与动态优化。智能控制不但可以让动力机械系统的能效得以提升,而且还能让它的运行更加稳定,而且还能够在设备发生故障之前预先做出干预,延长设备的使用寿命的同时也能降低维护方面的成本,形成全生命周期的效能提升闭环。因此,推动智能控制技术与动力机械系统的深度融合,探索其应用模式与性能优化机制,已成为学术界与工业界共同聚焦的核心方向。本从融合路径、控制方法以及性能优化这三个不同的层面来着手展开分析,全面且细致地阐述智能控制在动力机械系统里面的应用价值以及未来的发展

趋势。

### 1 智能控制技术

工程机械领域智能控制技术应用的主要原理是通过实时精准感知设备正常运行状态下的外界环境及工况变化,实现信息的采集、分析与整合,进而在设备控制过程中达成智能化、动态化调节,保障机械设备长期稳定运行。详细来讲,在设备控制环节,智能控制系统可实时获取外部环境及工况相关数据;当外界条件发生变动时,系统能依据感知数据自动进行局部参数调整,确保设备运行适配性。同时,借助信息通讯系统,可向工程机械远程下达作业指令,实现智能控制与设备运行的高效衔接。目前该技术已取得阶段性技术成果,比如三一重工在部分道路施工设备的智能控制技术研发与应用中实现突破,成功将智能化控制功能应用于装载机设备,提升了设备作业效能与稳定性。

### 2 动力机械系统与智能控制的融合路径

#### 2.1 动力机械系统的结构与运行特性

动力机械系统通常由能量转换装置、传动机构、控制

单元及辅助设备构成,其运转所追求的目标是高效稳定地完成能量转换与输出这一整个过程。从结构方面来讲,系统具有能量传递链较长、运行状态耦合程度较高的特点;而在运行方面,它会碰到负载出现较大波动、环境存在频繁扰动以及多变量参数发生变化等诸多挑战。这些特点促使传统的线性控制方法在许多情形下都难以符合实际需求,然而智能控制技术凭借自适应调节以及非线性建模的方式,可以更为妥善地去应对动力机械在运行期间所呈现出的复杂情况与不确定性状况。通过对系统运行特性的深度解析,智能控制能够实现精准工况识别、实时参数调整及动态能效优化,进而显著提升动力机械系统的整体运行性能。

## 2.2 智能感知与传感技术的嵌入

智能感知与传感技术是动力机械系统实现智能化控制的关键前提。通过在系统内部布设高精度传感器与边缘计算单元,可实时、高效采集温度、压力、流量、振动等多维度运行数据。这些采集的数据不仅为控制算法提供了核心输入基础,还能借助大数据分析技术揭示系统运行规律及潜在故障特征。在整个过程中,传感技术的智能化主要体现在多源信息融合能力与异常检测功能,多源信息融合可整合不同类型传感器的监测数据,消除信息冗余与误差;异常检测则能实时识别数据偏离正常范围的情况,为系统风险预警提供依据,支撑系统对外部环境与内部运行状态的全面感知。依托智能感知与传感技术的深度嵌入,动力机械系统摆脱了对单一信号的依赖,实现了多维度信息的综合运用,为后续智能决策制定与控制策略优化奠定了坚实的数据基础。

## 3 智能控制方法在动力机械系统中的应用

### 3.1 模糊控制方法及其应用

模糊控制属于智能控制技术里相对成熟的一种方法,它的关键原理在于借助模糊逻辑来应对动力机械系统在运行进程里所存在的那种不确定性以及非线性方面的问题。传统的控制策略往往要依赖精确的数学模型,但动力机械系统因为负载动态波动、外部工况复杂多变等因素影响,若构建完全精准的数学模型往往面临显著的技术挑战,难以满足实际控制需求。相对于传统控制,模糊控制采用“接近人类思维”的决策逻辑,将领域专家的经验、操作的规则转变成模糊规则库,凭借模糊推理达成对复杂工况的有效掌控。从应用的角度来讲,模糊控制方法在动力机械的燃料喷射调节、液压执行系统的控制还有作业参数的优化等诸多场景下都有广泛的应用。就好比说,在内燃机的燃烧控制方面,模糊控制能够依据发动机转速、进气压力以及排放指标等一系列实时参数,自动地去调整喷油量以及喷油时机,进而实现燃烧效率和排放性能之间的平衡。又比如说,在工程机械的液压系统当中,模糊控制可以有效地抑制由于负载出现突变而引发的系统振动以及冲击情况,提升运行时的平顺程度与稳定水平。

### 3.2 神经网络控制方法及其应用

神经网络控制法依靠人工神经网络所具有的自学习以及自适应的能力,可在复杂的非线性系统里达成高效的建模以及实时控制,为动力机械系统的精准调控提供关键技术路径。动力机械系统属于典型的多变量耦合对象,其运行状况不仅受自身结构特性的主导,还受到环境条件以及任务需求等多重因素的综合影响,传统的借助解析手段进行建模的方式很难将它的动态特征完整地涵盖进去。

而神经网络具备大规模并行处理与非线性映射的能力,通过对样本数据的训练学习,能够精准捕捉系统输入与输出间的关联规律,为控制策略的科学拟定提供可靠数据支撑与模型基础。就具体的应用情况来看,神经网络控制在发动机的空气燃油比调节方面、机械臂的动力学补偿方面以及复杂作业机械的多自由度协调控制方面都发挥了十分重要的作用。比如说,依据BP神经网络的控制方法能够依照历史运行数据来预测发动机的燃烧走向,并且实时地去调整点火以及供油策略,以此提高燃油的经济性并且提升排放达标的比例。再比如,在大型挖掘机械开展作业的进程当中,神经网络通过对操作数据加以学习,可预测液压缸动作的惯性以及阻尼效应,对控制信号予以优化,达成更为平稳的作业动作。需要留意的是,神经网络控制自身具备适应性还有自学习的能力,而且还能够和其他智能算法相结合,以此进一步提升控制的精度,所以它在动力机械系统当中的应用前景是极为宽广的。

### 3.3 多智能体与自适应控制策略

多智能体与自适应控制策略属于动力机械系统智能化发展进程里所形成的一种前沿方法,它的特点在于借助分布式智能单元共同协作的方式来实现对系统整体运行状态的精细化管理,同时依托动态参数调整能力适配复杂工况变化。

多智能体系统把机械系统里的各个子系统当作是独立且相互协作的智能体,依靠信息交换以及决策协同来达成全局优化的目的,而自适应控制策略则可依据系统状态的变化来实时地去调整控制参数,以此维持系统处于不同工况之下的稳定性和高效性。在应用方面,多智能体方法被广泛运用在大型机械群体协同作业、复杂的动力传动网络以及自动化生产线的协调控制当中。比如,在矿山大型设备作业期间,多智能体系统能够对挖掘机、运输车辆还有输送系统展开联合调度,让各类设备在空间以及时间层面都达成最优协作,进而提高作业的效率以及安全性;在船舶动力系统里面,自适应控制策略可以根据海况变化以及负载波动来实时地去调整发动机与推进装置的工作状态,从而保证航行平稳并且能效最优。凭借着多智能体与自适应控制的结合,动力机械系统在面临复杂环境以及多样化的任务之时能够实现高度智能化的运行管理,这为系统性能的优化以及可靠性的提升给予了稳固的技术支撑。



## 4 智能控制技术的性能优化机制

### 4.1 能效优化与节能控制

动力机械系统于运行之时,其能耗颇为可观。而能效优化这已然成为衡量智能控制技术所具有的应用价值的关键指标所在。借助智能控制技术,可对机械系统的运行状态予以实时监测,从中获取像功率输出、负载变化还有能源消耗这类关键数据,并且凭借算法分析达成节能控制的目的。能效优化既涵盖了动力分配方面的合理安排,也包含了针对系统工作模式展开的动态调节举措,从而让设备无论处于何种工况之下,都能够维持高效运行的状态<sup>[1]</sup>。就好比在混合动力工程机械当中,智能控制技术能够依据实时负载的情况,自动挑选出电驱或者油驱模式,进而以最为恰当的方式去分配能源,达成燃油消耗量尽可能最小化的成效;而在大型泵站又或者是风力发电装置里,通过智能控制来对转速、阀门开度以及能量回收装置加以协调性的调节操作,是能够有效降低能耗的,同时还能提升系统整体的效率水平。需要留意的是,能效优化一方面有利于降低运行成本,另一方面还能够一定程度上减少对环境的负荷影响,进而促使形成一种绿色化且具备可持续性的动力机械运行模式。凭借着智能化的能效管理手段,动力机械系统在面临复杂工况的情形下,是能够实现长期稳定并且高效地利用能源的状况,这无疑为节能减排的相关事宜给予了可靠的支撑保障。

### 4.2 运行稳定性与动态响应优化

动力机械系统稳定与否以及其动态响应能力如何,会实实在在地影响到它的作业质量以及安全状况。在那些复杂的工况环境下,负载出现波动、受到环境方面的扰动,还有系统内部存在的耦合特性等,这些情况都会给系统稳定性带来不小的影响。而智能控制技术可凭借实时对系统状态加以感知以及依靠动态调节相关机制,切实有效地提升系统的稳定性,加快其响应的速度<sup>[2]</sup>。借助对传感器所采集数据的快速处理操作,控制系统能够精准预估负载的变化走向,并且提前对控制信号做出调整,以此来降低振动以及冲击给机械设备所带来的影响。就好比在液压挖掘机械当中,智能控制技术能够就作业臂的惯性以及液压系统存在的延迟情况展开动态补偿,进而让操作动作变得平顺,而且响应也十分迅速。在像涡轮或者发动机这类高速旋转的系统里,智能算法可针对转速出现的波动实施实时的调节操作,确保系统始终处于最佳的平衡状态。经过对运行稳定性以及动态响应方面的优化处理,智能控制不但提高了动力机械系统的作业精度,而且还有效地延长了设备的使用寿命,从而为实现高效作业以及开展安全管理给予了稳固有力的保障。

### 4.3 故障诊断与预测性维护

智能控制技术于动力机械系统当中的运用,更是让设备的故障诊断以及预测性维护能力得到了明显的强化。以

往的传统机械维护往往依靠定期开展的检修或者人工进行的巡检,存在响应滞后、成本较高的局限;而智能控制系统却可以通过对关键部件的运行状态予以实时监测,进而对振动、温度、压力还有电流等一系列数据特征展开分析,以此来提前将潜在的故障识别出来,并且给出相应的维护方面的建议<sup>[3]</sup>。这种预测性维护这一方式,一方面能够削减因突发性故障而产生的停机风险,另一方面也能够对备件管理以及维修计划加以优化,使得运维成本得以降低。就好比在重型工程机械领域,借助智能控制系统去分析液压泵以及执行器的工作数据,便能够提前察觉到磨损呈现出的趋势或者是液压出现泄漏的问题,进而安排相应的维修或者更换事宜;而在内燃机系统方面,通过对燃油喷射压力、排气温度以及转速波动等情况进行监测,智能控制能够预测到气缸可能出现的磨损状况或者燃烧异常的情况,以此来确保发动机能够实现长期且高效的运转状态。

## 5 结语

本文就智能控制技术于动力机械系统当中的应用状况以及性能优化事宜展开了较为系统的探究活动。从动力机械系统同智能控制相互融合的具体路径切入,一直讲到智能控制方法的实际应用情况,再到性能优化机制的构建等方面,都给予了较为详尽的阐述说明。相关研究清晰地表明,像模糊控制、神经网络控制、多智能体控制以及自适应控制等诸多方法,在动力机械系统实实在在的应用过程当中,切实有效地促使系统的能效得以提升,稳定性的程度有所增强,并且可靠性也得到了进一步的提高。与此智能控制技术借助于对能效加以优化、使运行稳定性得以提升以及开展故障预测等一系列举措,为动力机械系统能够实现长期且高效的运行状态筑牢了稳固有力的支撑基础。在未来的发展进程中,伴随者智能感知技术、数据分析手段以及控制算法等相关领域不断地向前发展,动力机械系统在朝着绿色化、智能化以及可持续运行这些方向迈进的过程中,将会达成更高层次的性能优化成效,进而为工业生产的开展、交通运输的运作以及能源利用的实施给予更为高效、更为可靠并且更为智能的技术层面的保障措施。

### 【参考文献】

- [1]伍赛特.动力机械技术发展史研究及展望[J].科技视界,2024,14(3):66-70.
- [2]周莉萍,李召.电子控制技术在动力机械中的前沿应用[J].铸造,2022,71(4):512.
- [3]郝慧荣,赵文超,杨子明,等.动力机械内力拓扑模型二元动力传递函数及应用研究[J].振动与冲击,2025,44(2):73-83.

作者简介:张小刚(1986.2—),单位名称:亿利洁能股份有限公司达拉特分公司,毕业学校和专业:东北农业大学-电气工程及其自动化。

## 基于数字化平台的海上风电与光伏联合智能运维技术研究

辛明<sup>1</sup> 魏玮<sup>1</sup> 滕丽霞<sup>1</sup> 姜晨曦<sup>1</sup> 袁雪萌<sup>1</sup> 王宏任<sup>2</sup> 顾翔<sup>2</sup> 糜文杰<sup>2</sup>

1. 国华(东港)新能源有限公司, 山东 东营 257000

2. 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]**近年来,我国在“海上风电+”的发展模式下,不仅在海上风电与渔业养殖方面取得了显著成效,还在多个领域进行了创新探索。其中,海上风电与海上光伏的融合发展,正成为一个备受瞩目的研究方向,其联合运维对于提高能源利用效率、降低运维成本、促进能源转型和可持续发展具有重要意义。文中针对海上风电与光伏智能联合运维技术进行研究,旨在探索将海上风电场与光伏电站的运维工作通过智能化数字化手段进行高效整合与优化的方法,即通过海上风光智能运维管理平台,实现对海上风电场和光伏电站的实时监控、故障预警、远程诊断与维护等功能,从而大幅度提高运维工作的效率和质量。海上风光智能运维管理平台从系统架构、数据采集、系统功能三个方面进行研究,提出了海上风电与光伏智能联合运维技术方案,该方案是一套完整、高效且实用的解决方案,为海上风电与光伏智能化联合运维提供了新的思路和方法。

**[关键词]**海上风电;海上光伏;风电与光伏;智能联合运维;智能运维管理平台

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17637

中图分类号: TM6

文献标识码: A

## Research on Joint Intelligent Operation and Maintenance Technology of Offshore Wind Power and Photovoltaic Based on Digital Platform

XIN Ming<sup>1</sup>, WEI Wei<sup>1</sup>, TENG Lixia<sup>1</sup>, JIANG Chenxi<sup>1</sup>, YUAN Xuemeng<sup>1</sup>, WANG Hongren<sup>2</sup>, GU Xiang<sup>2</sup>, MI Wenjie<sup>2</sup>

1. Guohua (Donggang) New Energy Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

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

**Abstract:** In recent years, under the development model of "offshore wind power+", China has not only achieved significant results in offshore wind power and fishery aquaculture, but also made innovative explorations in multiple fields. Among them, the integrated development of offshore wind power and offshore photovoltaics is becoming a highly anticipated research direction, and their joint operation and maintenance is of great significance for improving energy utilization efficiency, reducing operation and maintenance costs, promoting energy transformation and sustainable development. The article focuses on the research of intelligent joint operation and maintenance technology for offshore wind power and photovoltaic power plants, aiming to explore efficient integration and optimization of the operation and maintenance work of offshore wind farms and photovoltaic power plants through intelligent digital means. That is, through the offshore wind and solar intelligent operation and maintenance management platform, real-time monitoring, fault warning, remote diagnosis and maintenance of offshore wind farms and photovoltaic power plants can be achieved, thereby greatly improving the efficiency and quality of operation and maintenance work. The intelligent operation and maintenance management platform for offshore wind and solar power has been studied from three aspects: system architecture, data collection, and system functions. A comprehensive, efficient, and practical solution has been proposed for the intelligent joint operation and maintenance of offshore wind power and photovoltaic power. This solution provides new ideas and methods for the intelligent joint operation and maintenance of offshore wind power and photovoltaic power.

**Keywords:** offshore wind power; offshore photovoltaics; wind power and photovoltaics; intelligent joint operation and maintenance; intelligent operation and maintenance management platform

### 引言

随着海上风电产业链的不断完善和技术进步,我国已成为全球最大的海上风电市场,海上风电累计装机容量快速增长<sup>[1]</sup>。国家能源局《电力系统调节能力优化专项行动实施方案(2025—2027年)》支持探索海上风电、光伏发电和海洋牧场融合发展<sup>[2]</sup>。同时,为了进一步提高海域资源利用效率,政策层面《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》鼓励采用“风电+”的综合开

发利用模式,实现“一海多用”,切实提高海上风电场区海域资源利用效率,推动海上风电与海上光伏等多种能源资源的融合发展<sup>[3]</sup>。沿海省区如山东、江苏、浙江等也制定了详细的规划,积极推动海上光伏项目的落地实施。

我国在“海上风电+”的发展模式下,不仅在海上风电与渔业养殖方面取得了显著成效,还在多个领域进行了创新探索<sup>[4]</sup>。其中海上风电与海上光伏的融合发展,正成为一个备受瞩目的研究方向,这种模式不仅能够缓解海洋空间资源

紧张的问题,为海上新能源的持续发展开辟新路径,还能促进技术创新和产业升级,推动能源结构的优化调整<sup>[5]</sup>。

海上风电和光伏项目不断增加,其运维需求也日益增长。这些项目通常位于远离陆地的海域,海上运维面临可达性差、窗口期短、效率低、出海成本高等诸多挑战。为了应对这些挑战,需要采取一系列的解决方案,基于数字化平台的海上风电与海上光伏联合智能运维的模式应运而生。这一模式旨在通过智能化、数字化的运维手段,实现两种能源形式的互补优化,提高能源利用效率,降低运维成本。此外,联合智能运维还有助于加速海上新能源的规模化、商业化进程,因此,海上风电与海上光伏联合智能运维具有重要的战略意义和广阔的发展前景。

## 1 概述

海上风电和海上光伏要联合运维,首先需要对两者的运维工作进行分析,找出相同点和不同点。

相同点:运维目标方面,两者运维的目标都是确保发电设施正常运行,提高发电效率和稳定性,减少故障和停机时间。远程监视方面,两者都需要利用远程监视技术实时监测设备的运行状态,及时发现并处理潜在的故障。运行管理方面,两者都有故障记录、工单两票、设备管理等生产运行管理的要求。安全管理方面,两者运维工作都涉及高空操作、人员落水等安全风险。设备管理方面,两者都有海上升压站或陆上集控中心,其电气设备基本相同。可视化管理方面,两者都需要运行可视化,故障可视化。

不同点:设备类型方面,海上风电运维主要涉及风力发电机组的维护,包括叶片、齿轮箱、发电机等关键部件的检查、维修和更换等;海上光伏运维主要涉及光伏电池板、逆变器、支架等光伏系统的维护,包括清洁、检查、更换等。监测数据方面,海上风电监测数据主要包括风机本体、CMS 系统等,数据来自风机 SCADA 系统;海上光伏监测数据主要包括逆变器、箱变等,数据来自光伏监控系统。数据分析方面,风电和光伏发电设备不同,故障

诊断的技术则不相同,数据分析的技术也不相同。

通过分析发现,海上风电和海上光伏在运维方式上有很多相同点,而海上风电智能运维管理平台的应用已经相对成熟,这为海上光伏智能运维提供了很好的借鉴和融合基础。将海上光伏智能运维与成熟的海上风电智能运维相结合,通过在孪生电站、在线监测、数据分析、智能巡检等关键领域加入海上光伏智能运维功能,实现对海上风电场和光伏电站的实时监控、故障预警、远程诊断与维护等功能,最终形成海上风光数字化智能运维管理平台,实现两者的智能联合运维。

海上风光智能运维管理平台从系统架构、数据采集、系统功能三个方面进行研究,提出了一整套完整的海上风电与光伏联合运维技术方案,为海上风电与光伏智能化联合运维提供了新的思路和方法。

## 2 系统架构

海上风光智能运维管理平台,融合工业与数字智慧,实现全要素连接,构建一体化大数据工业互联网平台。该平台集数据采集、存储、清洗、建模分析于一体,针对业务难题,提供故障预警、健康分析、绩效评估、智能数据分析、安全保障及监测等模块。通过深挖数据规律,自动化人工经验与决策,显著提升生产管理效率与质量,实现业务量化、集成管理、平台统一及智能协同。

为满足电力二次安全防护的要求,风机 SCADA 系统、光伏监控系统、升压站综自系统部署在安全 I 区,功率预测系统、电能计量系统、塔筒和基础监测系统、防腐监测系统、海缆监测系统等部署在安全 II 区,安全 I、II 区所有监控系统数据汇聚到一体化监控系统,再通过正向隔离装置将数据传至安全 III 区的 Web 服务器。

海上风光智能运维管理平台部署在安全 III 区,从一体化监控系的 Web 服务器采集监控系统数据,供生产、运维和分析等功能使用,为智能化运维系统平台研究提供数据支撑。



图 1 海上风光智能运维业务架构



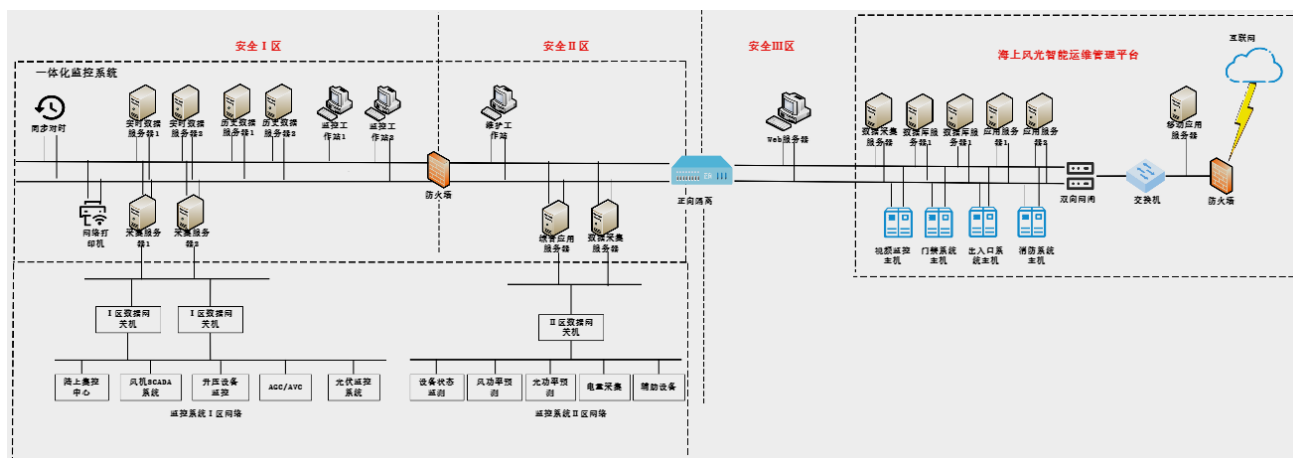


图2 海上风光智能运维网络拓扑图

### 3 数据采集

海上风电与光伏智能联合运维需要采集的数据包括实时数据采集、风功率预测数据采集、光功率预测数据采集、历史监测数据采集、数字仿真数据采集等。将采集到的数据传回运维平台进行相关数据分析。为保证通信的可靠性、实时性，一体化监控系统与智慧运维管理平台的实时数据采集，采用 IEC-60870-5-104 电力系统实时数据通信协议，由一体化监控系统向运维平台单向传输，通信过程中首次主动传输全数据，平时主动传输变化数据。功率预测采用 SFTP 协议，5~10min 主动传输数据。风机数据量，单机在 1000 点左右，场区总数据量取决于风电场规模。海上升压站，以 220kV 为例，大概在 1.5 万点。陆上集控中心，以 220kV 为例，大概在 2 万点光伏场区，以 100MW 为例，数据量 20 万点左右。根据数据点数量、存储频率和数据点大小，海上风电和光伏每日产生的数据量是相对较大的数值，可能达到几 GB 至十几 GB 不等。

运维系统需考虑存储和处理这些海量数据，使得实时监控和故障预测成为可能。因此，在设计海上风光智能运维系统时，需充分考虑数据量、通信协议以及系统点数的容量问题，确保系统能够稳定、高效地处理和分析这些数据，为运维决策提供有力支持。

### 4 系统功能

#### 4.1 孪生电站

孪生电站是以 BIM 和建设期信息为基础，将运维期的动态信息与 BIM 模型紧密关联，并结合 GIS 大场景技术，形成与现实场景一致的虚拟场景。通过 GIS+BIM 的三维可视化界面，孪生电站能够直观地展示电站的地理位置、接入系统关系，以及虚拟的海上风电和光伏电站生产过程的动态模拟。此外，孪生电站还将海上光伏阵列进行数字化建模，使其与海上风电处于同一虚拟环境中进行查看。在数据驾驶舱页面，综合展示了海上风电和光伏场的的数据，为快速决策提供了有力支持。同时，孪生电站的在线监测模块接入了光伏阵列的逆变器数据，实现了对电气参数及故障报警的实时监控。

#### 4.2 水文气象

海上作业基本要求、风电场运行和维护一般规定，需监测风电、光伏场海域的海洋水文天气信息，通过该模块可以及时全面地了解海域内的海事信息，关注航行警告和航行通告的发布，并根据这些信息确定维护计划。

#### 4.3 在线监测

在线监测功能模块包括升压站监测、风机在线监测、逆变器监测、箱变监测、塔筒/基础监测、防腐监测、海缆监测。升压站监测包含主接线，主要开关状态，生产数据，在线监测系统数据。风机在线监测，包括风机状态监测矩阵、风机叶片状态在线监测、风机振动在线监测、变桨轴承监测、塔筒及基础状态监测、螺栓预紧力监测、油液监测主要监测数据。逆变器监测主要包括关键参数监测及故障预警与监测。箱变在线监测，包括箱变所属集电线路概况，箱变状态、油温、低压侧电流电压等监测数据。海缆监测对电气故障或机械故障监测，为电力送出系统故障诊断提供基础数据和分析依据。

#### 4.4 数据分析

包括原始数据查询、运维指标分析、风光功率预测协同、水电能耗监测、风机故障预警、系泊缆系统分析预警、浮体结构状态分析预警、动态海缆结构分析预警等。

通过采集实时数据、状态信息、风电场与光伏场的原始数据等，并进行智能数据分析。原始数据查询功能解决了对设备实时状态和数据的即时查看需求，使得运维人员能够迅速掌握设备运行情况。运维指标分析及时发现风电、光伏场区运行过程中存在的问题，为运维决策提供了数据支持。风光功率预测协同解决了风光功率预测结果与实际运行数据的对比分析需求，通过直观的对比曲线，可以评估预测模型的准确性。水电能耗监测解决了对水电能耗情况的实时监控和评估问题，有助于发现能耗异常和节能潜力。风机故障预警解决了风机故障的提前预警问题，通过数据分析及时发现潜在故障，避免故障发生对生产运行的影响。系泊缆系统分析预警、浮体结构状态分析预警、动态海缆结构分析预警解决了海上风电设施结构安全的监测和预警问题，通过数

据分析及时发现结构异常,保障设施的稳定运行。

#### 4.5 智能巡检

智能巡检模块融合了无人机与多种智能机器人技术,实现了高效且精准的巡检。无人机被部署于光伏阵列和海上风机的巡检任务中,凭借搭载的先进传感器,能够迅速识别潜在问题。海上升压站及陆上集控中心的室内区域,挂轨机器人沿预设轨道自主运行,配备了高清摄像头与红外热像仪,监测设备状态并预警潜在故障,其设计充分考虑了海风、海浪及腐蚀等特殊环境因素,确保了设备的安全稳定运行。陆上集控中心的室外区域,配置轮式机器人,能够自主导航,灵活应对复杂地形,高效完成巡检任务。

#### 4.6 生产管理

生产管理是海上风电和光伏智能运维的相同模块,可采用同一套生产管理系统进行管理,该模块包含故障缺陷管理、检修计划管理、工单及两票管理、设备管理及交接班管理五个功能模块。故障缺陷管理模块采集故障缺陷信息、发现人信息、任务派发信息、处理信息、验收信息,有效记录并跟踪故障缺陷的全过程,确保每个故障都能得到及时发现、处理及验收。检修计划管理,获取检修计划相关信息包括检修计划创建、计划审批、任务分配及完成情况,对检修工作进行全过程管理,便于掌握检修工作的进度和质量。两票管理则针对操作票和工作票,跟踪其发令、填写、审核、执行及验收,实现全程监控,增强了工单任务的透明度,确保了两票管理的准确性和安全性,降低了操作风险。设备管理获取设备台账、备品备件信息、仪器仪表信息及损坏件数据,全面管理设备及其相关备件和工具,确保设备的正常运行和及时维护。交接班管理通过获取到的交接班日志和排班系统数据,提高了交接班效率,确保了生产过程的连续性和稳定性,减少了因信息交接不清导致的生产问题。

#### 4.7 资料管理

资料管理包括技术资料管理、运维制度管理、合同管理三个功能模块。通过技术资料管理模块,实现了对各种技术资料的分类管理,并将电子版技术资料与BIM模型进行关联,有效解决了传统方式下技术资料查找困难、信息不直观的问题,达到了从设备模型属性中快速调取该设备所有相关资料的效果,提高了运维效率。运维制度管理模块,实现了对值班管理制度、工作票制度、操作票制度等运维相关制度的电子版文件管理,解决了制度文件分散、不易查阅的问题,确保了运维工作的规范性和安全性。合同管理模块实现了对设备采购类、备品备件采购类、生产物资采购类、生活物资采购类以及服务类等各类合同的电子版文件管理,解决合同文件繁多、管理混乱的问题,提高了合同管理的效率和准确性。

#### 4.8 安全管理

安全管理包括智能安防、安全培训及安全制度三个模块。智能安防采集视频监控录像、人员位置信息、门禁使用记录、出入口通行数据、火灾报警信号等相关数据,实现了对安全风险的全面、实时监控和快速响应,可以有效提升安全防范能力。安全培训,系统自动对照培训计划与实际资料,实时

跟踪培训实施情况,生成可查阅的安全培训台账,确保了培训工作的有序进行和效果评估的准确性。安全制度,通过构建包含法规库、法规选取、规章管理、操作规程、制度评价等五大子模块的安全制度管理体系,实现了对安全制度的集中管理、及时更新和有效评价,确保了制度合规性和执行力。

### 5 结论

本文深入探讨了海上风电与光伏智能联合运维技术方案,旨在通过智能化手段高效整合与优化海上风电场与光伏电站的智能运维工作。经过对系统架构、数据采集以及系统功能三个关键领域的细致研究,我们提出了一套针对性的智能联合运维技术方案。在系统架构方面,我们整合并优化了针对海上风电场和光伏电站运维需求的多个关键模块,如故障预警、健康分析、绩效评估、智能数据分析、安全保障及监测等。这些模块共同实现了运维工作的智能化和高效化,显著提升了运维效率和质量。在数据采集环节,我们全面覆盖了实时数据采集、风光功率预测数据采集、历史监测数据采集以及数字仿真数据采集,确保了数据的全面性和准确性,为后续的数据分析和运维决策提供了坚实的基础。系统功能方面,我们设计并实现了包括孪生电站、水文气象、在线监测、数据分析、智能巡检、生产管理、资料管理、安全管理等在内的多个功能模块,这些模块覆盖了智能运维工作的各个方面。本论文提出的海上风电与光伏智能联合运维技术方案是一套完整、高效且实用的解决方案,它不仅解决了传统运维方式中存在的诸多问题,还为海上风电与光伏智能化联合运维提供了新的思路和方法。展望未来,随着技术的不断进步和创新,海上风电与光伏联合智能运维技术将更加成熟和完善。同时,随着可再生能源的不断发展,该技术将得到更广泛的应用和推广。基于数字化平台的海上风电与光伏联合智能运维技术具有广阔的应用前景和重要的战略意义,它将为海上风电和光伏的融合发展提供有力的支撑和保障。我们将继续深化研究,不断完善和优化该方案,以更好地服务于新能源产业的发展。

#### 【参考文献】

- [1]水电水利规划设计总院.中国可再生能源发展报告2023[M].北京:人民日报出版社,2023.
  - [2]国家能源局.电力系统调节能力优化专项行动实施方案(2025—2027年)[EB/OL].(2024-12-30)[2025-01-14].
  - [3]自然资源部.关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知[EB/OL].(2024-12-30)[2025-01-14].
  - [4]张哲,郑国富.海上风电与渔业融合发展研究[J].渔业研究,2025(1):1-10.
  - [5]岳云峰,彭欣然,王洪庆,等.海上漂浮光伏发电技术及其融合发展展望[J].南方能源建设,2024,11(2):1-8.
- 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;\*通信作者:王宏任(1996—),男,工程师,硕士研究生,就职于中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,主要从事海上风电数字化设计工作。

# 多船协同疏浚作业中的智能航行调度系统设计与实践

施海忠

上海长升工程管理有限公司, 上海 200120

[摘要]港口建设和航道治理需求日益增长,多船协同疏浚作业成为提高施工效率和资源利用率的关键办法,而传统调度模式在优化船只运行路径、实时协调船只方面存在明显不足,影响施工安全和效能。文中利用人工智能和自动航行技术设计出一套智能航行调度系统,可对疏浚船队进行动态路径规划、冲突预警和作业协同控制,实地案例验证该系统提高了调度效率和作业质量,有良好应用前景。

[关键词]多船协同;疏浚作业;智能航行;调度系统;路径优化

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17630

中图分类号: TV851

文献标识码: A

## Design and Practice of Intelligent Navigation Scheduling System in Multi-ship Collaborative Dredging Operations

SHI Haizhong

Shanghai Changsheng Engineering Management Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

**Abstract:** The demand for port construction and waterway management is increasing day by day, and multi-ship collaborative dredging operations have become a key method to improve construction efficiency and resource utilization. However, the traditional scheduling mode has obvious shortcomings in optimizing ship operation paths and real-time coordination of ships, which affects construction safety and efficiency. A set of intelligent navigation scheduling system was designed using artificial intelligence and automatic navigation technology in the article, which can dynamically plan the path, warn of conflicts, and coordinate operation control for dredging fleets. Field cases have verified that the system improves scheduling efficiency and operation quality, and has good application prospects.

**Keywords:** multi-ship collaboration; dredging operation; intelligent navigation; scheduling system; path optimization

### 引言

在港口航道建设、水域整治等领域,疏浚工程的重要性不可小觑,工程规模一旦扩大且作业密度提高,多船协同作业就成了常态,这使得路径冲突频繁、调度复杂程度高之类的问题随之而来,而传统人工调度模式满足不了高效、安全的疏浚需求,这些年智能调度技术在海事运输、自动驾驶等领域渐渐成熟,为解决前面提到的问题提供了新的技术办法,这篇文章就是想探讨基于智能算法和传感融合的航行调度系统以优化多船协同作业流程。

### 1 多船协同疏浚作业的技术背景与挑战

#### 1.1 疏浚工程发展现状与技术需求

全球港口基础设施不断升级且河道治理工程持续推进,疏浚工程的规模、频率与技术要求也随之不断提高,特别是深水航道拓宽、港池扩容、航道整治、吹填造地等工程中多船协同作业慢慢替代单船作业模式,成为提升疏浚效率与施工能力的关键手段,中大型疏浚任务往往涉及挖泥船、泥驳船、吹填船、抛泥船等多种船舶,这些船舶要在同一水域协同完成连续高强度的疏浚任务,这对调度指挥的实时性和科学性有了更高要求。

疏浚作业的施工区域常水域狭窄、环境复杂,存在潮流影响大、水下地形变化快这些实际困难,作业时要满足

疏浚精度控制、船位保持、施工进度同步等施工规范,还要考虑船舶间相对位置与航线规划,防止因误操作或信息延迟造成船只碰撞、堵航等问题,现代疏浚工程急需高响应性、高智能化的协同调度系统来让多船作业高效运转。

#### 1.2 多船协同作业面临的主要问题

路径冲突、信息孤岛与调度滞后这三方面是当前多船协同疏浚作业面临的主要核心问题。

疏浚船舶在有限水域频繁穿插作业,若不能有效预测路径、协调避让,则极容易航线交叉冲突,作业连续性和施工安全都会受影响,在潮流不稳定、能见度差或者船只密集的环境里,路径冲突风险更是大增。

信息孤岛问题很常见,由于不同厂商制造各类船舶,各系统间统一的通信协议和数据接口缺失,使得船只作业状态、位置信息共享困难,调度中心难以实时感知整个疏浚现场,指挥决策容易缺乏准确性和前瞻性。

传统调度模式高度依赖人工操作与经验判断,会有信息获取不及时、反馈链条长、应急响应能力差等状况,而在复杂施工场景中,这种滞后的调度模式难以适应作业需求的快速变化,常致使作业效率低下,甚至引发安全事故。

#### 1.3 当前国内外调度技术的研究综述

多船协同作业很复杂,近年来国内外在智能调度与路径



规划技术上做了大量研究,像荷兰、日本这些疏浚强国在国外较早把基于 AIS(自动识别系统)与 VTS(船舶交通服务)系统的调度辅助平台引入港口工程,并且利用卫星定位、雷达监控和模拟演算实现疏浚船舶可视化管理和路径预判。

算法层面,路径规划动态路径优化常采用 A\*算法、Dijkstra 算法、遗传算法等,部分研究还引入粒子群优化和蚁群算法以提升多目标调度能力,虽然国内相关技术起步晚,但近年来一些大型疏浚项目开始尝试智能调度平台,将 GNSS 定位、多传感数据融合和人工智能模型相结合并取得了初步成果。

然而,大多现有调度系统还处在半自动阶段,存在模型适应性差、数据延迟厉害、不能实时调整路径的问题,很难满足复杂施工海况下高频率又高灵活性的协同调度需求。

## 2 智能航行调度系统架构设计

### 2.1 系统总体架构与功能模块

智能航行调度系统的主要构成部分为感知层、决策层和控制层这三大核心结构,其形成“信息获取—智能分析—执行控制”的闭环作业逻辑并实现多船协同疏浚全过程的智能化管理。

系统的基础是感知层,它主要承担着现场环境信息、船舶作业数据以及通信状态的收集工作,这一层集成了像 AIS(自动识别系统)、GNSS 全球定位系统、船载雷达、水深探测器、风速仪这类传感设备,从而能实时获取船舶位置、航向、速度、姿态、作业状态以及周边航行环境数据。

系统的大脑是决策层,承担路径规划、任务分配、冲突预判、动态避障等关键算法逻辑处理功能,这一决策层依靠大数据分析平台和人工智能调度引擎,在将各类传感数据与任务优先级信息融合起来之后进行多目标优化计算,从而输出最优航行路径与协同调度方案。

决策结果由控制层负责下达到各类船舶执行机构以实现转向控制、速度调整、任务切换等操作,并且控制层还有反馈机制能即时修正航行偏差、作业异常等情况进而达成闭环调度和高精度协同控制。

### 2.2 多源数据融合与实时感知技术

高精度、低延迟的环境感知与目标识别能力是多船协同调度的关键基础,系统构建多源异构数据融合框架,整合 AIS、GNSS、雷达和现场传感器等信息源,通过时间同步与空间匹配算法实现对船只和作业水域的全面感知。

船舶的唯一识别码、动态定位、航速与航向等基础数据由 AIS 系统负责传输,高精度三维定位信息由 GNSS 提供,近距离目标与障碍物的探测依靠船载雷达,从而弥补 AIS 在密集区域下信号被遮挡的问题,使用扩展卡尔曼滤波(EKF)或者贝叶斯估计方法这类融合算法将多类传感器数据在时间维度统一起来就能增强系统对环境变化的反应能力。船舶轨迹预测模型与局部建图模块被系统引入,水域障碍物、潮汐变化、水流方向等动态要素得到实时建模,从而为后续路径优化与避障策略提供准确依据,

感知层借助边缘计算设备和 5G 通信模块,可把融合数据马上传到云端决策模块,实现实时同步与并行处理,进而显著提升调度反应效率与环境适应能力。

### 2.3 人工智能调度算法与路径规划模型

多船协同作业时路径冲突频繁、资源调度不均且决策效率低,本系统核心调度模块采用多种人工智能算法和路径规划模型构建起动态、智能的作业优化框架。

系统把 A 算法集成起来作为路径规划方面的基础寻路算法,这算法用于在静态环境下快速生成路径挺合适,并且系统在此之上结合遗传算法(GA)来搜索路径的多样性,通过染色体编码、选择、交叉、变异操作得到更优的路径解,这种方式适用于大规模搜索空间和多目标优化需求的情况,而到了复杂动态环境,系统进一步引入深度强化学习(DRL)方法,训练智能体在模拟水域里学习最优避障和协同行为以让经验自主积累,还能提高模型泛化能力。

调度层面,算法把作业任务权重、船舶当前状态和预测冲突概率相结合构建起基于优先级的任务指派模型,且系统支持滚动更新机制,能动态调整任务分配与路径选择以应对突发情况和环境变化,强化学习策略网络尤其可依据历史作业数据自我优化调度逻辑,提高系统整体决策效率和鲁棒性。

## 3 系统实践应用与性能验证

### 3.1 实地试验场景与船队构成

2025 年 3 月,某沿海疏浚工程海域将实地部署本系统进行测试,该海域处于港口主航道南段,水域面积大概 1.2 平方公里,水深频繁变化且通航密度中等,有典型的疏浚作业代表性条件,实验持续 10d,分白天和夜间两个作业时段。5 艘功能各异(其中有 2 艘绞吸式挖泥船、1 艘自航泥驳船、1 艘吹填船和 1 艘多功能指挥船)的船舶组成了试验船队,这些船都配备 AIS、GNSS、雷达与通信终端并且接入了智能调度系统的统一平台。通信系统采用了 5G 和北斗短报文混合方式,使得在信号受干扰或者岸站距离远的时候也能实现低时延数据回传。控制系统基于陆岸一体化部署模式,由岸基调度中心发出调度指令并通过中控平台实时下达到各船舶控制终端,从而指挥船舶控制终端执行路径调整、速度调节和作业节奏配合等操作。

### 3.2 智能调度系统运行效果分析

试验期间为了对系统性能加以验证,分别拿传统人工调度方式和本智能航行调度系统做对比测试,测试场景包括执行标准疏浚路线、交汇避让、协同装卸、昼夜作业切换等。路径优化时,系统自动生成的路径比人工调度路径平均要短 8.6%,最优的案例航程能从原来的 940m 降到 815m,节省大概 125m,且 10 次典型调度任务中智能调度平均航线长度 871m,人工的是 953m。智能调度在作业效率上,作业周期(从出港到返回卸料)平均能达到 36.5min,而人工调度需 42.7min,约节约 14.5%的时间且协同作业效率提升显著,泥驳与吹填船交互等待时间平均从 5.2min 降到 2.1min。人工调度时记录下来的路径冲突事件有 7 起,

安全性堪忧且这 7 起里有 3 起是紧急减速避让情况,而智能调度系统就不一样了,冲突次数才 1 起,系统能自动执行指令调整规避路径不用人去干预,系统里冲突预判机制这么一介入,冲突率就从 14%降到 2%了。综合对比下来,智能航行调度系统在路径优化、作业效率和安全性这三个方面都比传统模式要好得多,其工程应用潜力很不错。

### 3.3 异常处理与安全保障机制

系统架构设计引入多重冗余和异常检测机制,为疏浚作业连续性和安全性提供保障且使关键环节具备抗故障能力。通信层面,系统设计有双链路冗余机制,以 5G 公网通信为主链路、北斗短报文链路为备用链路,系统检测到主链路延迟超 800ms 或者中断达 3 秒时会立马自动切换至北斗通道以保障调度数据不中断,实地测试里系统模拟通信中断共 4 次,平均切换时间 2.3 秒且数据传输成功率保持在 98%。传感器层,系统有个多源数据比对与容错判断机制,靠这机制能实时判断 GNSS 定位是否异常或者 AIS 是否漂移,若偏差超过了设定阈值(如位置偏移 10m 这种情况),备份传感源就被系统自动调用临时替代且船位路径也由预测模型修正。整套系统运行期间,自动避障命令触发了 5 次、备用链路切换了 2 次且调度干预暂停 1 次,但系统运行无事故,这有效验证了系统识别异常状态的能力以及安全保障机制的稳健性。

## 4 推广应用与未来优化方向

### 4.1 系统可扩展性与多作业场景适应性

实际疏浚作业中智能航行调度系统的表现显示其有着不错的平台兼容性与多船型适配能力,该系统现有的架构为模块化设计,能灵活地与不同类型船舶的控制接口和作业参数对接,不管是绞吸式挖泥船这种以精准作业为主的,还是自航泥驳船这种以运输为主的,又或者是对节奏匹配要求更高的吹填船、抛泥船,系统都能根据它们不同的任务角色加载对应的调度模型和路径规划算法。在实际工程里,疏浚、运输、卸料这些工序常并行开展,这就需要各类船舶高频次地协同起来,系统靠统一的调度框架和动态任务分发机制,把不同作业任务的资源统一调配,并且依据实时的水域分布、船舶状况以及作业优先级,动态调整路径与作业顺序,从而达成跨作业场景的高效协同。第三方设备管理平台、环保监测系统、能耗控制系统等都能被系统支持对接,这给疏浚作业实现信息化、绿色化、精细化管理提供了不错的技术基础,后续在内河疏浚、水库清淤、围海吹填等场景推广的可行性很高。

### 4.2 融合 5G 通信与边缘计算的前景

信息传输的时效性与稳定性是调度系统要求极高的方面,传统的无线通信方式如 VHF/UHF 受距离和带宽限制,在复杂协同任务下的数据回传需求面前已难以满足,而 5G 通信有高带宽、低时延、大连接的优势,为调度系统实时性与灵活性的提升提供了理想的技术条件。系统基于 5G 网络的数据传输初步得以实现且平均通信延迟被控制

在 20ms 以内,从而指令下达与船舶响应速度得到大幅提升,在此基础上结合边缘计算节点部署,使部分数据预处理、局部路径规划、感知冗余判断等功能能在本地完成,进而对中心服务器的依赖显著降低,避免了单点故障导致全局调度失效的情况。未来“调度-通信-计算”一体化架构会被系统进一步拓展,边缘网关与轻量型调度引擎将被部署在重点港区、施工船队中心或者浮动作业平台以构建分布式调度决策网络,云边协同架构能保障调度指令响应时间和大规模扩展与部署能力,有助于系统智能化、广域化应用的实现。

### 4.3 人机协同与调度智能决策演进

当前系统在调度智能化上虽说取得了显著进展,但在人机协同效率、调度决策透明性、自适应能力这几方面还有可优化之处,未来系统的发展得从“调度自动化”慢慢朝着“调度智能决策”和“人机共融协同”转变。系统的自主学习能力得进一步强化,引入深度强化学习和联邦学习机制后,系统能依据不同水域的历史作业数据,持续优化调度策略、风险评估模型和路径生成逻辑,逐步形成有知识迁移能力的泛化调度框架。人机交互界面的优化非常关键,当前系统大多展示二维地图、路径标识和状态信息,以后要集成三维作业可视化、语音交互、手势控制这些交互技术以提高调度员操作效率、加深调度员理解并防止调度员界面复杂或者信息过载而误判。智能调度系统的推广离不开调度逻辑的解释性,若建立决策链条溯源、算法透明呈现与任务执行可回溯机制,调度决策过程就能“可解释、可追溯、可干预”,从而为全流程无人化疏浚作业在未来的实现创造了条件。

## 5 结束语

多船协同疏浚作业对调度效率与航行安全提出了更高要求,传统人工指挥模式已很难满足现代施工场景的复杂需求,本文深入探讨智能航行调度系统的架构设计、关键技术与实践应用,验证了其在路径优化、提升效率、控制风险方面的明显优势,实地测试表明系统稳定性、扩展性和适应性良好,以后随着 5G 通信、边缘计算和人工智能不断融合,调度系统在人机协同、自主决策、跨场景应用等方面会有更大突破,推动疏浚作业全面进入智能化时代。

### [参考文献]

- [1]李华文,高亮.疏浚作业航运公司安全管理对策研究[J].中国海事,2025(6):37-40.
  - [2]孙健.耙吸挖泥船疏浚作业数据分析与优化决策系统设计[D].镇江:江苏科技大学,2018.
  - [3]唐建中.绞吸式挖泥船疏浚作业优化与控制研究[D].杭州:浙江大学,2007.
  - [4]何纯桥,陈绪义,黄骅赵东石油平台航道及港池疏浚作业中的创新研究[J].中国水运.航道科技,2017(25):23-25.
- 作者简介:施海忠(1986.2—),男,江苏人,现就职上海长升工程管理有限公司,船长,长期从事航道疏浚船舶驾驶工作。



# 智能化疏浚技术在航道治理中的应用与发展趋势

王 旭

长江南京航道工程局, 江苏 南京 210000

[摘要]在航道治理里智能化疏浚技术将大数据、物联网人工智能以及自动控制加以融合, 凭借这一方式对水下地形展开实时监测并做到精准挖泥, 其优势极为显著。疏浚作业的效率与安全性可通过该技术得到提升, 对人力的依赖得以减少能耗以及环境影响也会降低, 智能化系统应用阶段对施工参数予以动态优化的支持, 让航道治理的可持续性跟科学性得到增强。未来发展趋势聚焦于绿色低碳技术的深度应用, 智能决策支持以及多源数据融合推动航道治理朝着生态化精细化与高效化方向前行。

[关键词]智能化疏浚; 航道治理; 人工智能; 可持续发展

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17614

中图分类号: U616

文献标识码: A

## Application and Development Trend of Intelligent Dredging Technology in Waterway Management

WANG Xu

Changjiang Nanjing Waterway Engineering Bureau, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

**Abstract:** Intelligent dredging technology in waterway management integrates big data, Internet of Things, artificial intelligence, and automatic control, enabling real-time monitoring of underwater terrain and precise dredging. Its advantages are extremely significant. The efficiency and safety of dredging operations can be improved through this technology, reducing reliance on manpower, energy consumption, and environmental impact. Intelligent systems provide dynamic optimization support for construction parameters during the application stage, enhancing the sustainability and scientificity of waterway management. The future development trend focuses on the deep application of green and low-carbon technologies, intelligent decision support, and multi-source data fusion to promote the ecological refinement and efficiency of waterway governance.

**Keywords:** intelligent dredging; channel management; artificial intelligence; sustainable development

### 引言

航道疏浚如今已成为保障水运安全, 以及提升通航能力的关键环节, 这是由于全球航运规模在持续不断地扩大, 智能化疏浚技术的兴起为航道治理注入了新的活力, 与之相比传统疏浚方式在效率精度以及环境保护方面, 存在着诸多局限。人工智能物联网大数据协同应用下, 疏浚作业正朝着自动化智能化方向逐步转型, 这一变革为生态友好型治理提供了可能, 不仅展现出广阔的发展前景还提升了施工效率与安全性。

### 1 智能化疏浚技术的基本内涵与发展背景

随着科技进步, 智能化疏浚技术逐渐成为提升生态友好度与治理效率的关键手段, 航道治理乃是保障水运畅通的重要环节。

#### 1.1 智能化疏浚技术的概念界定与特征

新型水利工程技术——智能化疏浚技术其核心涵盖人工智能大数据, 物联网以及自动控制, 通过多源传感器与实时监测系统来获取水下地形泥沙沉积, 以及水文变化的数据这是其核心特征。借助算法模型展开分析与预测, 以此达成挖泥船作业的精准控制, 智能化疏浚和传统人工经验驱动的模式相较, 可自动对施工路径予以优化对设备参数进行调节, 对作业风险加以预判让效率与安全性得到大幅提升。该技术在为航道治理给出高效且可持续解决办

法之际, 还拥有绿色环保特性, 不仅能够减少对周边生态系统的破坏, 还可在降低能耗方面发挥作用。

#### 1.2 智能化疏浚技术的发展历程与推动因素

水运规模扩张科技创新, 以及环境保护理念的兴起和智能化疏浚的发展紧密相连, 早期的疏浚作业依赖的是人工测量以及经验判断方式, 不仅效率低下而且误差极大。自动化测深设备与全球定位系统伴随信息化技术的兴起, 在疏浚工程里渐次得到应用为智能化奠定了基础, 21 世纪来临, 人工智能以及物联网迅猛发展, 这促使疏浚作业达成了从“被动操作”向“主动决策”的转变。推动这一演变的主要因素包括: 全球航运贸易对通航能力的需求提升, 节能降耗与环保政策的倒逼, 以及高精度传感与计算技术的突破。智能化疏浚于航道治理里的广泛应用, 是由这些条件共同推动达成的。

#### 1.3 智能化疏浚在航道治理中的意义与价值

在现代航道治理里, 智能化疏浚不只是一种技术手段, 更是治理理念的一次转变, 其意义主要体现在三个方面: 一是保障通航安全与效率。智能系统可凭借精确预测泥沙淤积以及水流变化的情况, 对疏浚策略实施动态调整防止出现过度施工或者施工不足的状况, 减少能源浪费以及对水域生态的干扰, 推动治理朝着绿色低碳方向发展, 实现航道与环境的协调共生。三是提升治理决策的科学性, 治



理单位因大数据与模型的引入得以依据客观数据制定更合理的疏浚计划，降低对主观经验的依赖。

## 2 航道治理中传统疏浚方式的局限性

随着航运规模扩大以及环境保护需求的增强，航道治理长期所依赖的传统疏浚方式虽在一定程度上保障了通航安全，然而其局限性正逐渐显现，难以满足现代治理对于高效精细以及可持续发展的要求。

### 2.1 作业效率与精度不足的局限

传统疏浚的作业效率和精度明显受制约，因其依赖人工测量以及操作，水下地形实时变化难以借助人工测深手段全面反映，因其往往存在数据滞后以及空间分布不均的情况，这使得疏浚作业常出现过度挖掘或者清淤不足的情况。这种误差在一方面致使工程周期延长，还造成了施工成本的增加，另一方面航道治理目标很难与疏浚效果高度契合，通常要多次返工这进一步降低了效率。在干线航道或者大型港口里航道条件繁杂，船舶通行量巨大，传统方式存在不精确与低效问题更容易引发安全隐患，甚至会对航运秩序造成不利影响。随着航运需求不断攀升，这一局限变成了制约航道治理迈向现代化的显著瓶颈。

### 2.2 环境影响与资源浪费的隐患

传统疏浚模式中环境保护意识匮乏，施工进度常伴有较为显著的生态扰动情况，大规模机械式挖掘不仅可能破坏水生生物的栖息环境，致使水体浑浊度升高还会对河口湖泊以及近海生态系统的稳定产生影响。传统方式因缺乏实时监控以及精确调控，常出现“过度施工”的现象，这种现象致使大量的能源与燃料被浪费，不仅增加了碳排放还提高了治理成本。当前绿色发展以及低碳经济的战略目标，同这种粗放式治理方式呈现出显著的冲突状况，在全球环境保护标准持续走高的形势里，传统疏浚方式不只是在技术领域呈现出滞后状态，于政策合规以及社会责任这两个层面也正面临着愈发沉重的压力。

### 2.3 管理模式落后与决策支持不足

传统疏浚作业通常依赖经验推动以及事后总结归纳，在决策支持方面欠缺系统化与数据化，在管理进程中通常是以人工开展调度作为主要方式，信息的传递存在不及时的情况面对突发情形时很难做到及时加以应对。传统手段无法对泥沙淤积的动态变化实现实时预警，使得治理措施滞后甚至对航道的畅通与安全造成影响，施工计划的制定，资源的分配以及工程质量的监督都因缺乏智能化管理平台而存在显著不足。随着治理规模在航道方面的扩大，这种管理模式的弊端正愈发明显地显现出来：在航道疏浚领域，一方面极大地阻碍了现代信息化智能化技术的推广与应用，另一方面还严重降低了治理具备的科学性与前瞻性。在很大程度上可以说，传统疏浚方式的局限性因落后的管理与决策体系而被大大加剧。

## 3 智能化疏浚在航道治理中的应用实践

在智能化技术迅猛发展的大背景下，航道治理领域越

来越多地开始广泛应用智能化疏浚手段，智能化疏浚借助引入自动化设备物联网以及数据分析系统，不仅将工作效率提高更极大提升了治理精度与生态环保水准，促使航道治理迈进了全新阶段。

### 3.1 智能化疏浚技术的核心应用

先进的传感器自动化系统以及数据分析技术，助力智能化疏浚技术达成精准监控与高效作业，在实际运用里借助全球定位系统（GPS）、遥感测量、水下激光扫描等技术方式实时收集水下地形资讯，对泥沙淤积状况展开监测并动态调整施工方案。自动化船舶借助内置智能系统调控作业深度速度以及动力，保障挖掘作业于最优参数状态下开展，显著降低了人为操作误差。系统借助人工智能算法能够对作业路径予以优化并开展风险预测，如此一来可规避传统疏浚里常出现的过度挖掘情况，以及安全隐患相关问题。

### 3.2 智能化疏浚的实际应用案例

在扬州港航道疏浚工程里，此工程位于中国江苏省，智能化疏浚技术获得了成功运用，扬州港通航能力的提升为目标的该工程，要保障能让更大吨位船舶顺利实现通行。全自动化的疏浚船被该项目采用，且水下传感器和自动控制系统先进且与之配备，自动化船舶凭借实时对泥沙沉积状况的监测，可精确调控工作深度以及速度，不仅减少了人工干预的需求还切实降低了对环境的干扰。在施工进程中系统不但凭借数据回传功能对施工计划予以实时优化，而且能够展开高效挖掘工作切实保障了航道治理兼具高效性与环保性。扬州港借助这一技术开展疏浚工作，大量能源消耗得以节省碳排放也有所减少，该技术应用后疏浚工期相较于原计划缩短了约 30%，成功达成了经济效益和环境效益的双赢局面。

### 3.3 智能化疏浚技术的优势与挑战

传统疏浚的作业方式被智能化疏浚技术的推广和应用改变了，在极大缩短工程周期降低成本方面它有着极为突出的表现，具体体现为提升作业效率与精度减少人为错误以及返工次数。在扬州港这一案例里，凭借智能化系统所给予的实时反馈以及数据分析结果，项目组得以随时把控施工的进度与质量情况，进而及时对作业策略做出调整，有效避免了诸如过度挖掘施工延误这类问题的出现。然而智能化疏浚技术虽然于实践里获取了显著成效，可它的推广依旧遭遇一定挑战，智能化设备投入成本在初期阶段尤其高，许多港口和航道治理单位可能会对其投资回报率产生顾虑。专门的技术培训和操作规范是设备维护及操作人员所必需的，因其技术要求较高这让技术应用的复杂性有所增加，智能化疏浚系统全面覆盖，在基础设施技术标准与管理体制等多方面因素制约下仍面临困境。要实现其全面覆盖，需政府与行业给予支持并制定相关标准。

## 4 智能化疏浚对航道治理效能与生态环境的影响

智能化疏浚技术应用伴随航道治理持续深入，给提升治理效能保护生态环境带来新可能，在保障航运畅通的该

技术推动了绿色可持续的治理模式,通过精准化自动化的操作提升了疏浚作业的效率与安全性,还减少了对环境的负面影响。

#### 4.1 提升航道治理效能与作业精度

通过先进传感器与实时数据分析,智能化疏浚技术能够对水下地形以及泥沙沉积的动态变化展开精确监测,进而于疏浚作业里达成高效精准的操作。智能化系统能够凭借自动化设备,实时对作业参数予以优化降低不必要的施工与挖掘,与之相对传统疏浚往往遭遇人工测量误差,过度施工以及反复作业等诸多状况。以扬州港疏浚项目为例,运用智能化设备后疏浚精度显著提升,作业速度加快工期缩短了将近 30%,智能化系统引入后施工人员对作业过程的掌控能力得到提升,能及时调整策略减少人工干预产生的错误,进而提高了航道治理的整体效能。智能化疏浚不仅推动了更为精细化的治理,而且减少了因操作不当造成的重复性工作还提升了作业效率。

#### 4.2 智能化疏浚对生态环境的正面影响

在生态保护方面发挥重要作用的智能化疏浚技术,在提升作业效能上的表现也十分突出,传统疏浚作业往往会产生较高噪音,还会有废弃物与污染物排放,并且在施工期间泥沙的搅动很容易致使水质遭受污染对生态系统造成破坏。通过实时监测水文和泥沙情况,智能化疏浚能够降低施工对周围环境的负面影响,减少不必要的挖掘作业和对水体的扰动,智能化系统能够借助对施工深度与路径加以优化的方式,防止对水生生物栖息地或者敏感区域造成破坏。施工量能够被自动化设备精准控制,防止因过度疏浚致使泥沙外泄或者水质被污染,智能化疏浚凭借这些措施能够为实现绿色可持续的航道治理提供技术保障,它可有效保护航道周边生态环境,降低对生物的干扰减少水体污染以及噪音。

#### 4.3 智能化疏浚对节能减排的推动作用

智能化疏浚技术显著推动了节能减排,高能耗的机械设备被传统疏浚所依赖,人工操作以及低效作业让能源浪费的情况更加严重。通过精确控制智能化疏浚的每个作业环节,将能源使用效率最大化,自动化船舶依据实时数据对动力系统作出调整,以此保证作业能够处于最节能的状态之中。智能化设备对作业路径以及速度予以优化,让停机与重复作业得以减少,由此达成能源消耗与碳排放的降低,在扬州港所开展的智能化疏浚这一案例当中,项目借助减少人工操作以及对能源使用予以优化的方式,实现了能源消耗节省大约 20%碳排放减少幅度超过了 15%。这推动航道治理朝着低碳高效方向发展,不仅符合全球日益严格的环保政策还降低了施工成本。

### 5 智能化疏浚技术的发展趋势与前景展望

随着科技的进步,智能化疏浚技术在航道治理里的应用持续拓展,未来会迎来更具智能化绿色环保特性的发展走向,智能化疏浚借助人工智能大数据与物联网技术的融

合,不仅可达成更低碳环保的治理模式,而且能够提高作业的效率与精度。更加可持续的新时代将在未来发展推动下,让疏浚行业进入。

#### 5.1 智能化疏浚技术的集成化发展趋势

智能化疏浚技术在未来会朝着集成化,以及系统化的方向有更进一步的发展,随着自动化技术与人工智能持续走向成熟,疏浚设备不再仅局限于单一智能化应用,而是借助多个技术模块协同运作构建起完整的智能化作业系统。未来的智能疏浚船舶会把激光测深系统、自动导航实时数据监测与分析环境保护等众多模块进行集成,构建起一个集成化操作平台让每个环节都可实现智能优化。疏浚作业借助集成化技术能够达成自动化调度,实现精准的实时监控与调整进而提升作业精度提高效率降低能源消耗,为未来大规模航道治理提供技术保障,还能达成更为高效的资源利用这样一来不仅可大幅降低成本减少人工操作。

#### 5.2 智能化疏浚技术的绿色环保趋势

智能化疏浚技术未来发展的核心趋势之一将是绿色环保,随着全球环保标准愈发严格,传统疏浚方式因具备高能耗高污染的特性很难契合可持续发展的要求。通过实时监控泥沙变化精准控制作业深度,以及优化施工路径等方式,智能化疏浚技术能够显著降低不必要的环境扰动与能源浪费。智能化疏浚在未来会更为侧重低碳节能这类设计理念,船舶动力输出能够被系统依据实时数据,自动作出调整以降低不必要的能量消耗;智能化技术能够精准把控挖掘量,防止因过度疏浚致使泥沙出现外泄情况或者引发水体污染问题,伴随绿色能源技术进步,未来疏浚船舶有望采用风能太阳能这类可再生能源对环境的影响将进一步降低。智能化疏浚技术在航道治理里,借助这些绿色环保措施会成为绿色解决方案。

#### 5.3 智能化疏浚技术的应用前景与挑战

智能化疏浚技术虽前景广阔,然而也遭遇一定的挑战,智能化疏浚的推广一大障碍仍是技术的高成本,尽管智能化设备可提升作业效率,减少人工干预然而其初期投资高昂不少港口和航道治理单位对其回报周期心存疑虑。智能化疏浚设备对操作人员技能要求较高,需要专业的操作与维护,相关培训和技术支持体系亟待完善,在某些地区特别是偏远地区的航道治理当中,数据传输和处理能力或许存在一定制约毕竟智能化疏浚技术的应用依赖着强大的数据支持以及信息传输网络。行业的规范化发展需要各方协作推动,智能化疏浚系统的标准化法规以及政策体系仍未彻底健全,在市场需求不断增长以及技术持续进步的态势下,尽管存在现状但智能化疏浚技术在未来定会获得广泛应用,将全球航道治理朝着更智能更绿色且更具可持续性的方向有力推动。

### 6 结束语

在航道治理领域,智能化疏浚技术作为一项关键创新正驱动行业朝着更高效精准且环保的方向迈进,智能化疏

浚借助集成化技术的运用,可极大提高作业效率减轻对环境的影响,还能为可持续发展给予技术支持。尽管智能化疏浚技术面临着高成本技术门槛以及基础设施等诸多挑战,然而鉴于技术的持续成熟以及市场需求的不断攀升,其应用前景依旧十分广阔。智能化疏浚在未来会成为推动全球航道治理朝着绿色低碳且高效方向发展的关键力量,对航运安全以及生态保护发挥日益重要的作用。

**[参考文献]**

[1]周富林.船舶智能化对耙吸式挖泥船疏浚效率提升的实证研究[J].珠江水运,2025(7):148-150.

[2]陈文锋.港口航道泥沙淤积与疏浚技术研究[J].珠江水运,2025(10):28-30.

[3]张文.复杂工况航道疏浚设备方案优化[J].珠江水运,2025(11):133-135.

[4]李晓峰.基于水运需求增长的港口航道疏浚工程智能化发展路径分析[J].珠江水运,2025(14):58-60.

[5]高莉,徐云辉,雷潘.江苏省干线航道和船闸养护科学决策与管理的思路 and 对策[J].中国水运,2025(16):27-29.

作者简介:王旭(1983.12—),男,江苏人,现就职于长江南京航道工程局,船长,从事航道疏浚船舶管理工作。



# 舞台升降装置的智能监测与故障诊断技术研究

朱 莎

杭州友邦文化科技有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要] 文章对现代舞台升降装置的智能监测及故障诊断关键技术展开探讨, 就当下舞台机械系统安全性存在欠缺这一问题, 给出了一种综合解决办法, 该办法将多传感器融合监测和数据驱动故障诊断集成到了一起。通过对升降装置的结构特性以及运行机理加以分析, 设计出基于干扰观测器的多电机同步控制方法, 另外还设计了基于数据驱动的编码器故障诊断以及容错控制策略, 以此来大幅提高舞台系统的可靠性以及安全性。

[关键词] 舞台升降装置; 智能监测; 故障诊断; 多传感器融合

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17608

中图分类号: TP39

文献标识码: A

## Research on Intelligent Monitoring and Fault Diagnosis Technology of Stage Lifting Device

ZHU Sha

Hangzhou Youbang Culture Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

**Abstract:** This article explores the key technologies for intelligent monitoring and fault diagnosis of modern stage lifting devices. A comprehensive solution is proposed to address the lack of safety in current stage mechanical systems, which integrates multi-sensor fusion monitoring and data-driven fault diagnosis. By analyzing the structural characteristics and operating mechanism of the lifting device, a multi motor synchronous control method based on disturbance observer was designed. In addition, a data-driven encoder fault diagnosis and fault-tolerant control strategy were designed to significantly improve the reliability and safety of the stage system.

**Keywords:** stage lifting device; intelligent monitoring; fault diagnosis; multi sensor fusion

随着文化娱乐产业的蓬勃发展, 现代舞台演出对机械系统的需求日益提高, 舞台升降装置作为核心设备之一, 其运行安全性直接关系到人员生命财产安全和演出效果质量。在现代的舞台表演当中, 优质的舞台升降装置设备配置可以让一场舞台表演更加的出色, 呈现给观众水平更好的舞台效果。由于舞台演出的复杂性, 所以舞台升降装置所包括的品种类型也是非常丰富的。随着科学技术的不断发展和完善, 目前追求的是实现台上机械设备的自动化、智能化操作, 利用智能技术实现自动控制。

### 1 舞台升降装置的结构与运行机理

#### 1.1 装置基本构成

舞台升降装置一般来讲是由机械结构系统、驱动系统以及控制系统这三大块构成的。在这些当中, 机械结构系统囊括了底座、升降臂还有支撑平台等一些关键的部件。就现代的升降机构而言, 它会有底座, 并且在底座的顶部会固定安装着液压缸, 而液压缸的活塞杆和支撑盘是牢牢地连接在一起的, 这样的设计能够在很大程度上承受起较大的载荷, 进而达成平稳升降的效果。旋转机构是由带齿环形导轨以及万向轮组合而成的, 带齿环形导轨是固定安装在支撑盘之上的, 至于万向轮, 则是在环形滑槽的内部去实现滑动连接, 如此一来便能够确保旋转运动有着良好的流畅性以及不错的稳定性。驱动系统常常会采取将液压驱动和电机驱动相互结合起来的方式。升降装置在设计方面呈现出多样化的态势, 如此便能够契合不同场景所提出

的各类需求。就好比某些有着特殊用途的升降装置, 其会采用这样一种设计方式, 即把多组升降机构较为均匀地分布于支撑架顶部的边缘部位。凭借着往复丝杆、升降架、升降块以及升降连杆等部件展开协同配合, 进而使得舞台顶部的边缘区域在受力方面变得更加均匀了。

#### 1.2 运行原理与典型控制方式

舞台升降装置采用的是液压传动和机械传动相结合的运行方式, 依靠对液压力以及电机转速加以控制, 进而达成升降与旋转的效果, 在液压旋转升降舞台当中, 当油泵电机开始启动之后, 双联油泵便会随之开展工作, 而当舞台处于上升状态之时, 电磁铁会得电, 此时液压油就会进入到液压缸的无杆腔内, 从而推动舞台不断上升, 并且其同步控制是通过选用相同型号的相关元件以及输入相应的流量来实现的。典型控制方式有位置控制、速度控制以及同步控制, 其中多电机同步控制属于关键要点所在。升降舞台出现不同步的情况, 其原因在于受到外界干扰以及电机参数发生扰动等因素的影响。学者们提出了一个同步控制方案, 该方案是基于预测函数与偏差耦合复合而来的。通过借助预测函数所具备的鲁棒性以及动态性能, 并且与位置均值偏差耦合补偿相结合的方式, 以此来促使同步性能得以提升。

### 2 智能监测技术

#### 2.1 传感器布置与数据采集

智能监测系统关键在于把多传感器网络安排得当并高效地采集数据, 现代舞台升降装置一般会配备各式各样

的传感器，以此来对运行状态和环境参数展开实时监测。其先进的数据采集模块涵盖了温度、湿度、光照、气体浓度等各类传感器，还有用来监测舞台结构状态的红外线感应器以及压力感应器。这些传感器颇为巧妙地分布于舞台的重要部位，就好比在升降舞台的四周安置了多个红外线感应器，舞台内部设有旋转空腔，在空腔底部装有旋转驱动电机，连接底板上侧壁固定设置了压力感应器，这些传感器一同构成了舞台状态监测的感知网络。数据采集的频次以及精度会切实影响监测系统的性能表现。新型的多传感器融合技术把不同来源的传感信息加以整合，这使得数据采集在全面性与可靠性方面都得到了明显提升。最新的多传感器融合技术是在目标舞台空间去布置融合传感网络，然后让这个融合传感网络处于激活状态，以此来进行多维数据的采集工作，并且要结合舞台的基本特征来对实时多维数据集展开关联分析。用这种方法能够解决现有技术里存在的一个问题，即因为没能和舞台任务的实际需求实现精准的匹配，所以致使舞台机械控制不够精准。通过运用这种方法，可以获取实时的舞台任务，实时地去适应舞台环境所发生的变化，从而精确地匹配舞台任务的需求，进而提升舞台机械控制的精确程度。

## 2.2 状态特征提取方法

状态特征提取属于从原始传感器数据当中提取出有价值信息的重要环节，依据数据驱动而来的特征提取办法会凭借历史运行数据去构建起系统处于正常运行状态时的基准模型，再通过将实时数据和基准模型之间的偏差加以比较的方式，以此来识别出异常状态。研究机构把最小二乘支持向量机和序贯概率比检验这两种方法结合起来运用，凭借历史数据来构建系统的预测模型，让模型预测得出的数值和实际编码器所输出的数据之间产生残差，接着运用特定的算法来开展故障检测相关工作。特征提取的准确性很大程度上取决于信号处理技术，其中时域分析、频域分析以及时频分析都属于常用的方法范畴。现代舞台升降装置监测系统往往会运用诸如振动信号分析、电流信号分析还有声学信号分析等一系列手段，从而从多个不同的维度去提取设备运行状态所对应的各类特征指标。先进的位置自校准系统会在每一个升降台都设置上位置传感器以及转速传感器，这些传感器再借助信号放大器来和 PLC 控制系统以及实时状态数据库建立起连接关系，如此一来便能够实时地将升降台当前所处的位置等状态信息予以存储起来，进而达成自动生成升降台实时位置状态运动曲线的效果，从而能够为后续的故障诊断给予丰富且准确的特征数据支撑。

## 2.3 实时监测系统架构

实时监测系统一般选用分布式分层架构来达成数据采集、传输、处理以及展示等功能的集成，其主要由智能控制系统、数据采集模块、数据传输模块还有智能控制终

端这四大构成部分。智能控制系统负责针对整个舞台安全控制系统展开智能检测以及控制工作，其中囊括了传感器、执行机构、逻辑控制单元等各类组件，主要用于检测舞台各个部分的状态以及环境数据，并且依照预设的安全规则来实施智能控制。数据传输模块采取有线和无线相结合的方式，以此保证传感数据能够实时且可靠地传送到处理中心，发送数据模块会整合实时采集到的数据并予以发送，接收数据模块则把数据传递给智能控制系统以及其他相关的设备。智能控制终端可提供人机交互界面、数据处理以及分析功能，另外还有警报或者指示输出设备，能够便于操作人员掌握设备的运行状态，及时察觉潜在的故障情况。

## 2.4 数据通信与集成管理

数据通信以及集成管理在实现智能监测系统各个组件协同开展工作方面起着十分关键的作用。现代舞台监测系统往往会把工业以太网、现场总线还有无线通信技术相互结合起来，进而构建起一个能够实现高速且较为可靠的用于数据通信的网络。其中，先进的数据传输系统涵盖了发送数据模块、数据传输通道以及接收数据模块这几个部分，以此来切实保障数据能够稳定地进行传输。集成管理平台借助统一的数据标准以及接口协议，把源自不同传感器和子系统的数据加以整合并融合到一起，进而形成较为完整的设备状态视图。研究机构着手开发了上位监控软件还有 PLC 控制程序，同时达成了上位机与 PLC 之间的通信目的，在上位软件以及下位控制程序当中设置了完备的连锁保护、限位保护、报警提示等一系列安全举措，如此一来既能提升数据的利用效率，又能强化系统的可靠性以及安全性。

## 3 故障诊断方法

### 3.1 常见故障类型与特征分析

舞台升降装置在实际运行期间，其有可能出现的故障类型呈现出多样性特点。就常见的故障而言，像机械结构方面存在故障、驱动系统出现故障、传感器发生故障以及控制系统产生故障等等情况都是存在的。其中，机械结构故障往往是以导轨出现磨损状况、连接件发生松动情况、结构产生变形等问题形式呈现出来的；驱动系统故障则包含有液压系统出现泄漏现象、电机产生过热情况、传动机构出现卡滞等这类现象；至于传感器故障，那么它所涉及的便像是信号出现漂移状况、完全失去作用、精度有所下降等情况；而控制系统故障大多表现为软件逻辑出现错误、通信出现中断情况、控制器自身发生故障等等问题。依据以往的运行经验来看，之前就曾出现过这样的故障情形：即泵启动之后出现了异常的声响，并且舞台升降显得不够灵活。具体表现就是在操作上升按钮之后，舞台要么是没有丝毫反应，要么是反应速度较为迟缓，在下降的时候同样出现了类似的故障情况，并且还伴随着舞台出现抖动的现象。

故障特征分析属于故障诊断领域里的基础性工作，各



类不同的故障会呈现出不一样的特征模式。就机械故障而言,其常常会伴随出现诸如振动增大的情况、噪声变得异常以及位置存在偏差等等这类特征;而液压系统故障所表现出来的则是像压力出现异常、温度有所升高、流量不够稳定等一系列的现象;至于传感器故障,它往往会致使信号发生异常、数据出现丢失或者干脆没有任何输出。先进的安全控制系统具备自动将防护挡板升起的功能,这样一种安全机制在设计的时候,恰恰是依据对人员位置出现异常这一状况进行准确识别以及相应特征分析来开展的。通过对各种不同类型故障的特征表现展开细致分析,可以给故障诊断模型的构建给予极为关键的先验知识,以此来提升诊断工作的准确性以及效率。

### 3.2 基于数据驱动的诊断模型

数据驱动的故障诊断方式无需依靠系统精准的数学模型,它是凭借历史运行数据以及实时监测数据来构建诊断模型的,这种方法尤其适用于复杂的舞台升降装置。某研究机构把最小二乘支持向量机和序贯概率比检验加以结合,进而提出了针对编码器故障的数据驱动检测办法:依据历史数据去构建系统的预测模型,让该模型所预测出的数值同实际编码器的输出情况相互比对从而产生残差,再运用特定的算法来开展故障检测工作;借助位置与速度之间的解析关联或者通过软冗余切换实施安全容错控制,以此来保障在传感器出现故障的情况下舞台升降系统的安全性。此类模型能够自主地去学习系统处于正常运行时的模式状况,当出现异常状态的时候还能够发出预警信息。它会综合考量实时的舞台任务方面的具体需求以及设备实际的运行状态情况,以此来提升诊断工作的精准程度以及实际应用的价值。并且它还具备识别那些较为微弱的故障特征的能力,进而达成对早期故障进行较为准确的预警以及诊断的目的。

### 3.3 智能诊断算法应用

智能诊断算法在故障诊断系统里占据着极为关键的位置,在现代舞台升降装置的故障诊断方面所应用的算法涵盖了机器学习算法、深度学习算法、模糊逻辑系统以及专家系统等多种类型。就舞台机械控制系统里面的编码器故障而言,相关研究机构把最小二乘支持向量机和序贯概率比检验相互结合起来,进而设计出一套容错切换机制,通过用模型预测得出的输出来替换出现故障的编码器原本的输出信号,并将其反馈到控制器当中,最终借助软闭环的方式来达成容错控制的目的。预测函数控制算法同样有着不俗的表现,该算法具备较强的鲁棒性以及良好的动态性能,能够有效地应对系统所存在的不确定性以及来自外部的干扰,相比于传统的PI控制而言,它拥有更好的

鲁棒性以及更高的控制精度,能够在舞台多电机驱动过程中,减弱因同步性能欠佳而产生的安全隐患,并且还能够提升故障诊断的准确程度,使得诊断所需的时间得以缩短。

### 3.4 诊断系统性能评估

故障诊断系统的性能评估要依靠诊断准确率、误报率、漏报率、响应时间以及可靠性等一系列指标来加以验证,而且得历经长时间的运行测试以及在极端条件下的测试,像在不同负载情况、不同速度状况以及不同环境条件下所呈现出的性能表现情况。先进的舞台安全控制系统经过了极为严格的测试,能够在各式各样的演出环境当中稳定地运行:当演出人员站在旋转台上之际,该系统能够自动控制防护挡板降下,以此保证观众可以清晰地观看演出,并且还能够升降舞台出现故障时,有效减轻其晃动所带来的力道。对系统性能展开持续不断的监测与评估,这是实现长期可靠运行的重要关键所在,通过定期去更新诊断模型并且对优化算法参数加以优化调整,便能够适应设备逐渐老化、环境发生变化等诸多因素所带来的影响,进而维持住诊断系统所具备的高性能水准。

## 4 结束语

舞台升降装置的智能监测以及故障诊断技术的研究属于一个典型的多学科交叉融合的综合研究范畴,其中涵盖了机械工程、控制科学、信息处理等诸多专业领域的知识综合运用。此项研究借助对舞台升降装置的结构特点以及运行机理展开细致分析,深入探讨智能监测系统的各项关键技术,像传感器的布置情况、数据的采集方式、特征的提取手段以及系统的架构设计等方面,并且针对基于数据驱动的故障诊断方法以及智能诊断算法的实际应用情况进行相关研究。后续的研究工作需要将关注点聚焦于人工智能技术方面最新的发展动向,比如像深度学习、强化学习、迁移学习这类先进的算法在舞台机械系统故障诊断环节当中的具体应用,以此来促使故障诊断的准确性、适用性以及实时性能够得到进一步的有效提升。

### 【参考文献】

- [1]吴二波,杨帅,刘洪吉,等.无人机+电动升降装置法带电检修策略分析与应用[J].电力安全技术,2025,27(5):56-59.
  - [2]谈欢欢,戴桂林,翁志坚,等.新型电动升降装置配套挂线组合工具的研制[J].电工技术,2025(12):186-188.
  - [3]宋中辉,黄坤,程斌,等.铝模爬架施工升降装置的创新研究与应用[J].安装,2025(8):11-15.
  - [4]武发.基于机械磨损特征的矿热炉电极升降装置故障诊断研究[J].模具制造,2025,25(9):228-230.
- 作者简介:朱莎(1987.12—),性别:女,职称:工程师,籍贯:台州。



## 基于数字孪生的油气储运地面建设与运维一体化研究

胡 杨

新疆中油路桥机械工程有限公司，新疆 阿克苏 841000

[摘要]随着数字化与智能化技术不断发展，数字孪生在工业和能源领域应用越来越广泛，在油气储运系统里，其于建设与运维一体化管理方面展现出了独特优势。文章围绕数字孪生技术在油气储运地面设施建设和运维中的应用展开研究，分析其在数据采集、设备健康预测、风险识别、应急响应、运维优化以及建设与运维一体化模型构建等环节的作用。通过深入探讨数字孪生技术架构及应用场景，提出构建高效运维管理体系的方法，为油气储运系统高可靠性运行、资源优化配置以及可持续发展提供理论参考和实践指导。研究显示，数字孪生在运维管理和建设优化方面能提高系统运行效率，还能在保障安全的同时降低资源消耗，为能源基础设施数字化转型提供新思路和技术支撑。

[关键词]数字孪生；油气储运；地面建设；运维一体化

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17617

中图分类号: TE832

文献标识码: A

## Research on the Integration of Ground Construction and Operation of Oil and Gas Storage and Transportation Based on Digital Twins

HU Yang

Xinjiang Zhongyou Road and Bridge Machinery Engineering Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 841000, China

**Abstract:** With the continuous development of digital and intelligent technologies, digital twins are increasingly widely used in the industrial and energy fields. In the oil and gas storage and transportation system, they have shown unique advantages in the integrated management of construction and operation. The article focuses on the application of digital twin technology in the construction and operation of oil and gas storage and transportation ground facilities, analyzing its role in data collection, equipment health prediction, risk identification, emergency response, operation and maintenance optimization, and the construction of integrated models for construction and operation. By delving into the architecture and application scenarios of digital twin technology, a method for constructing an efficient operation and maintenance management system is proposed, providing theoretical reference and practical guidance for the high reliability operation, resource optimization and allocation, and sustainable development of oil and gas storage and transportation systems. Research shows that digital twins can improve system operational efficiency in operation and maintenance management, as well as construction optimization. They can also reduce resource consumption while ensuring security, providing new ideas and technical support for the digital transformation of energy infrastructure.

**Keywords:** digital twins; oil and gas storage and transportation; ground construction; integrated operation and maintenance

### 引言

油气储运属于能源供应链里的关键环节，其建设以及运维效率会对能源安全、供应可靠性还有经济效益产生直接影响。在传统的模式当中，建设跟运维存在着信息分割、管理分散以及响应滞后的诸多问题，很难达成全生命周期的高效管理。伴随数字孪生技术不断发展起来，凭借虚拟模型所具备的实时数据同步以及分析的能力，给油气储运地面设施的建设与运维一体化带来了全新的解决办法。数字孪生通过针对物理系统展开虚拟映射的操作，可实现对数据的实时采集、状态监控、运行预测以及风险分析等，让建设以及运维环节可以协同进行优化。着重探讨数字孪生技术在油气储运系统当中的应用框架以及实施路径，全面且细致地分析运维数据采集、设备预测、风险管理、运维优化以及一体化模型构建的方法。本文所涉及的研究内容，一方面丰富了数字孪生在能源基础设施领域内的理论

研究内容，另一方面也给实际的工程应用提供了具有可操作性的方案。

### 1 数字孪生技术概述

数字孪生技术是一种把物理实体、运行过程以及环境状态在虚拟空间里予以精准映射的技术方式，它的关键之处就在于达成物理系统和数字模型之间的双向且实时的互动交流。借助传感器以及监测设备来收集实时数据，再与历史运行数据相结合并开展仿真分析，数字孪生可以精准地反映出系统的实际状态、性能状况以及潜在存在的风险情况，进而为相关决策给予科学层面的依据。在油气储运系统当中，数字孪生不但可以在建设阶段实施虚拟建模以及方案方面的优化工作，而且在运维阶段也能够达成设备健康状态的监测、故障发生的预测以及风险程度的评估等一系列目的，由此形成了从设计环节、施工环节一直到运维环节的全流程数字化管理方式。数字孪生技术得以实

现是依靠数据采集、数据处理、模型仿真以及可视化展示等诸多核心环节,从而构建起一个呈现出多层次特点且能够动态协同运作的系统架构。它的应用能够提升油气储运设施在运行过程中的可视化程度,强化管理决策所具备的科学特性,对资源配置加以优化,并且凭借预测性运维来降低设备出现的损耗以及系统存在的风险,进而为建设与运维一体化管理筑牢了坚实的技术根基。

## 2 地面建设的关键要素

地面建设是油气储运系统的基础,其设计、规划、施工和维护环节直接影响着整个系统的可持续性。在设计和规划方面,考虑到地质条件、环境影响和社会因素是至关重要的。设计阶段需要深入分析地质结构,确保油气设施的安全性和稳定性。同时,设计还应当充分考虑环境友好性,采用符合可持续发展标准的技术和材料。规划阶段不仅涉及项目布局,还需要明确资源利用计划和时间进度。综合考虑能源需求、输送距离和资源分布,科学合理的规划可以降低系统建设和运营的成本,提高整体效益。施工阶段需要高度专业化的工程团队,确保设施按照设计要求和标准进行建造。施工时,必须严格遵循环保和安全规定,采用先进的建筑技术,确保设施的长期稳定运行。在这个过程中,项目管理的有效性也至关重要,包括进度的监控、成本的控制以及对变更的灵活应对。设施的定期检修和维护工作需要系统性的计划,以确保各个组件的性能和安全性。地面建设的关键要素包括设计和规划、施工和维护。这一系列环节紧密相连,相互影响,通过科学合理的设计和规划,高效专业的施工实践以及系统性的维护管理,可以最大限度地降低环境和社会风险,推动油气储运系统向更可持续发展的方向。

## 3 运维一体化管理与数字孪生应用

### 3.1 运维数据采集与实时监控

在运维管理领域当中,数据采集以及实时监控这两个方面,属于数字孪生应用的最为基础的环节所在。借助于去布设诸如传感器、智能终端还有监测设备等一系列相关设备,便可以实时且有效地获取到油气储运设施所涉及的各项关键参数,像温度、压力、流量、振动以及能耗等方面的信息均包含在内。而这些所采集到的数据,会通过高速通信网络传送到中央处理平台之上,在此之后,经过一系列如清洗、校验以及融合处理等诸多操作流程,进而达成对系统在整个生命周期状态下实时可视化的这样一个效果。运维人员能够凭借直观的界面,迅速知晓设施的实际运行状况,从中发现存在的异常情况或者潜在的风险隐患,并且及时采取与之相应的应对措施,如此一来便能够有效避免出现停运或者是事故发生的不利情形。实时监控一方面为日常的管理工作给予了数据方面的有力支撑,另一方面也为后续开展的预测性维护、风险评估以及决策分析等相关工作打下了坚实的基础,使得运维管理整体而言变得更加科学、更为精准以及更高效率。

### 3.2 设备状态预测与健康管理

数字孪生技术借助对设备历史数据以及实时监控数据展开综合分析的方式,构建起设备状态预测以及健康管理方面的模型。该系统针对设备的运行行为、性能指标还有环境影响因素加以建模处理之后,便能够提前察觉到设备出现的磨损情况、潜在的故障问题以及性能呈现出来的下降趋势,进而达成预测性维护的目的。健康管理并非仅仅着眼于单台设备,其还涉及到整个系统的运行特性。通过针对各类设备处在不同工况之下所做出的响应展开仿真分析,可为运维人员给予维护决策的相关依据以及优化方面的策略,并且还能够是不一样的运行条件以及环境发生变化的情况下,对设备寿命以及可靠性予以评估,以此来保证维护计划具备科学性以及可操作性。预测性维护模式能够在故障尚未发生之前就采取相应的干预举措,如此一来便能够缩减非计划停机所花费的时间,压低运维方面所耗费的成本,同时也能够确保油气储运设施可以持续且可靠地运行下去。除此之外,该模型能够联合设备之间存在的关联性展开分析,进而对系统整体性能做出评估,优化能源的使用状况以及资源的分配情况,达成全系统协同运行的目标以及将风险降至最低的程度。这种依托数字孪生所开展的状态预测与健康管理工作,不但大幅提升了系统的安全性以及资源利用的效率,而且还为油气储运设施实现长期稳定的运行给予了稳固的技术保障以及决策方面的有力支撑。

### 3.3 风险识别与应急响应仿真

在油气储运系统的运行进程里,设备出现故障、操作过程中出现失误以及受到环境方面因素的影响,都有可能引发安全风险。数字孪生凭借构建起与现实设施高度保持同步的虚拟模型这一方式,可以针对潜在的风险展开实时的识别与预测工作,而且还能借助仿真技术来评估不同应急措施所取得的效果。该系统能够模拟出各类紧急的情况,像设备出现异常状况、发生泄漏事故还有能源供应突然中断等等这类情况,并且会分析应急响应流程给系统安全性所带来的影响,进而对应急方案以及资源分配加以优化。经过仿真的预演环节,运维管理者便能提前察觉到其中存在的薄弱环节,进而制定出科学且合理的风险应对策略,使得事故响应的速度以及处理的效率都得到显著的提升,同时也增强了油气储运系统的整体韧性以及安全保障方面的水平。

### 3.4 运维优化与资源调度

运维优化以及资源调度属于数字孪生在油气储运系统当中的关键应用范畴。借助对实时运行数据、设备状态信息还有历史运维记录加以综合剖析的方式,系统便能够生成行之有效的运维策略以及资源分配方案,进而对设备运行参数、维护周期以及能源消耗等方面予以优化处理。资源调度所涉及的方面并不仅仅局限于人力以及物资,还囊括了能源供应以及运输路径规划等内容。凭借数字孪生



模型展开协同分析的操作,可以达成设施运维与资源配置之间的精准匹配效果,从而使得系统运行效率得以最大限度地提升。经过优化之后的运维管理工作,能够在确保设施安全且稳定的状态下,有效降低能源消耗以及运营成本,并且与此同时还能进一步提升应急响应的能力,进而为建设与运维一体化给出具备科学性且切实可行的实施途径。

#### 4 建设与运维一体化的数字孪生模型

##### 4.1 模型架构设计

数字孪生模型的架构设计构成了其功能得以实现的根基所在。就油气储运系统来讲,一体化模型一般涵盖数据采集层、信息处理层、仿真分析层以及可视化应用层这几个层面。其中,数据采集层主要承担着从传感器、监测设备还有历史记录当中去获取实时数据以及静态数据的任务,并且要针对所获取到的数据展开标准化方面的处理工作<sup>[1]</sup>。信息处理层会针对采集上来的数据实施融合操作、清洗处理以及建模事宜,从而为后续的仿真分析给予高质量的数据输入保障。仿真分析层这边,则是借助物理模型、行为模型以及运行规律来开展虚拟实验活动,进而对系统的运行趋势以及潜在存在的风险做出预测。可视化应用层则是通过图形界面、三维模型以及动态仪表盘等方式,把分析所得的结果以一种直观的形式展现给管理者,以此达成由数据所驱动的决策支持效果。而合理的模型架构设计能够切实保证在建设阶段以及运维阶段能够实现信息的同步状态,并且达成协同优化的目标,进而为系统的安全状况以及运行效率筑牢坚实的根基。

##### 4.2 数据集成与信息流管理

在一体化模型当中,数据集成以及信息流管理属于极为关键的核心环节。油气储运系统所涉及的数据来源颇为广泛,囊括了在建设阶段时的设计参数、施工记录,还有处于运维阶段的实时监控数据、设备状态数据以及历史运维数据等。借助于数字孪生模型,其能够凭借统一的数据平台达成对多源数据的整合处理以及结构化的管理方式,以此来保障数据在整个各个不同环节之间具备连续性与一致性。与此信息流管理可实现数据的高效传输、存储以及调用操作,进而能够让建设方面的管理者以及运维方面的管理者都能够实时地获取到自身所需的各类信息<sup>[2]</sup>。数据集成一方面提高了模型仿真的精度,另一方面也为预测性运维以及决策优化给予了可靠的依据,从而促使建设环节与运维环节达成深度融合并实现协同运作的状态。

##### 4.3 多维可视化与仿真分析

多维可视化与仿真分析属于数字孪生模型的关键应用方式,其可把复杂的系统状态以直观且动态的形式展现给管理者,进而提升信息理解的效率以及决策的科学性。在油气储运系统当中,借助三维建模、时序动画以及指标仪表等多种可视化技术,能够完整呈现设施布局、设备状态、能源流动、物料输送还有潜在风险分布情况,助力管理者从空间与时间两个维度全方位把控系统运行状况。仿

真分析凭借历史数据、实时监控信息以及预测性算法来开展工况模拟、故障演练以及应急预案验证工作,让管理者可在虚拟环境里评估不同方案的实施效果、风险程度以及资源消耗状况,以此优化运维策略和资源配置,达成安全性、经济性与效率的综合均衡。多维可视化与仿真分析可支撑跨部门协同管理,把建设、运维、应急和调度信息整合到统一界面,使得管理者能同步掌握全系统的状态,快速应对突发事件,并持续迭代优化运维方案,从而为建设与运维的一体化管理给予稳固、可靠并且可持续的技术支撑。

##### 4.4 模型验证与迭代更新

数字孪生模型要靠持续的验证以及不断的迭代更新来保证其有效性,在油气储运系统里,模型得和实际设施的运行状态高度一致才行,借助历史数据回溯以及实时监控的方式去校验模型,以此来确保预测以及仿真的结果是准确的<sup>[3]</sup>。并且,随着设施的改造、运维经验的积累还有技术的推进,模型得持续迭代更新,以便能适应新的工况、新的设备以及新的需求,迭代更新既涵盖模型参数的调整以及数据的补充,也涉及到对建模算法以及仿真逻辑的优化,进而提高系统的响应速度以及预测的精度。凭借持续的验证以及迭代,数字孪生模型可长期维持对建设以及运维环节的高适应性,给油气储运系统的安全、稳定以及高效的运行给予强有力的保障。

#### 5 结语

数字孪生技术给油气储运地面设施的建设以及运维一体化带来了全新的管理模式和技术途径。借助构建高精度的数字孪生模型,该系统可在建设阶段达成虚拟优化,在运维阶段实现实时监控以及预测性管理,同时于风险识别、资源调度还有运维优化等方面给予科学决策方面的支撑。数字孪生不但强化了系统的可视化程度、可控性以及智能化水准,而且推动了建设与运维环节展开深度协同,进而为油气储运系统的高效运作、安全无虞以及可持续运行给予了强有力的保障。在未来,伴随技术不断向前发展以及应用经验逐步积累起来,数字孪生在油气储运乃至更为广泛的能源基础设施管理领域将会释放出更大的潜能,促使能源系统朝着数字化、智能化以及绿色化的方向不断发展前行。

#### 【参考文献】

- [1]肖开阳,曾庆林,陈伟.油气田地面建设储运工艺技术的创新发展分析[J].化工管理,2022(26):162-164.
  - [2]赵连成.地面建设与油气储运系统的可持续发展研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(12):98-100.
  - [3]魏哲明.油气田地面建设储运工艺技术的创新发展研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(4):184-186.
- 作者简介:胡杨(1978.9—),毕业院校:新疆农业大学,所学专业:城镇建设,当前就职单位名称:新疆中油路桥机械工程有限公司,就职单位职务:生产管理员,职称级别:工程师。



# 论空分装置爆炸危险性分析与安全技术措施

毛建武

国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司, 宁夏 银川 750000

[摘要]空分装置属于化工生产必不可少的基础设备,空分装置的安全性能将会显著影响到企业的人员安全以及财产完整。近些年来,高效化、自动化、大型化的空分装置转型趋势更加突出,空分装置由于不慎操作、维护与管理而导致的爆炸风险等级也在持续提升。因此如何采用积极、有效的措施预防空分装置的爆炸事故,应当成为化工生产工艺获得可持续发展的关键所在。

[关键词]空分装置;爆炸危险性;安全技术措施

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17612

中图分类号: X913

文献标识码: A

## Discussion on Analysis of Explosion Hazards and Safety Technical Measures for Air Separation Plants

MAO Jianwu

Coal to Oil Branch of CHN Energy Ningxia Coal Industry Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750000, China

**Abstract:** Air separation units are essential basic equipment in chemical production, and their safety performance will significantly affect the safety of personnel and the integrity of property in enterprises. In recent years, the trend of efficient, automated, and large-scale transformation of air separation units has become more prominent, and the explosion risk level caused by careless operation, maintenance, and management of air separation units is also continuously increasing. Therefore, how to adopt active and effective measures to prevent explosion accidents in air separation units should become the key to achieving sustainable development of chemical production processes.

**Keywords:** air separation device; explosion hazard; safety technical measures

### 引言

空分装置即为“空气分离装置”,其基本作用就是实现空气分离。随着化工生产工艺的加快转型,化工领域的空分装置型号与功能更加多样化,企业人员应结合化工生产的实际需求进行合理的选取。为保证化工生产的稳定开展,企业人员还需要深入分析空分装置发生爆炸事故的风险等级,采用因地制宜的风险防控方案,将空分装置爆炸的发生率降低至最小程度。

### 1 空分装置的基本运行原理

空分装置的作用在于空气分离,化工生产中常用的空分装置应包括空气冷却设备、空压机、膨胀机、净化设备、液体贮存设备、产物压缩设备、精馏设备等,以上部分共同组成了完整的空分装置。具体在空分装置的运行过程中,空气压缩机首先需要压缩空气原料,并且对于空气进行净化;然后在空冷设备的辅助下,经压缩的空气产物将会迅速降低原有温度,还需要经过精馏器与换热器的气体分离、转化<sup>[1]</sup>。

经过机械自动分离得出的液态氮、液态氧等成分将会输入到存储装置,通常设计为液态产品的压缩存储机,从而得

出最终的空气分离产物。在目前的化工生产发展趋势下,空分装置正在被广泛应用于化工、环保、医疗等生产实践领域,体现出空分装置在化工生产方面的良好适用性<sup>[2]</sup>。

如下图1,为空分装置的基本运行原理图:

### 2 空分装置的爆炸危险性分析

#### 2.1 硬件设计存在缺陷

一些空分装置在系统硬件的设计方面存在固有缺陷,由此埋下空分装置发生燃爆事故的重大隐患。多数情况下,易造成空分装置发生爆炸的硬件缺陷主要为分馏塔的冷箱系统、活塞式氧压机的气缸部位、管路堵塞等因素。例如在碳氢化合物的总量超出系统最大的承受限度时,那么空分装置的输送管路就会呈现出运行不畅的特点,进一步影响到系统局部区域的液氧流量指标,甚至直接引发制冷设备的爆炸;活塞式的氧压机如果存在气缸温度超标的现象,则会造成皮套、活塞环、密封件等结构件发生剥落,由此造成氧气与易燃物充分混合。如果此时的气筒空间不慎落入了金属碎片,则会在碎片撞击或者相互摩擦的作用下形成大量的电火花,从而引发气封渗漏或者密封圈失效的严重后果<sup>[3]</sup>。



图1 空分装置的运行原理图

除了以上的硬件设计缺陷问题之外,容易造成空分装置出现爆炸的常见隐患还集中于分馏塔的冷却系统、氧气涡轮的压缩机组、增压涡轮的膨胀机组、氮气的涡轮机组部位。以上机组的设备运行压力一旦超出了规定限度,则通常容易造成空分装置的关键节点发生损坏。出现断裂情况的空分装置连接处就会引发易燃气体的泄漏,从而威胁到操作人员的人身安全。

## 2.2 易燃易爆物的聚集

易燃易爆的化工气体或者生产原料如果在短时间内快速积聚,那么液态氧中溶解的易燃易爆物就会达到“爆炸下限”。现阶段的调查统计数据显示,能够被液态氧溶解的“最危险可燃物与爆炸物”即为丙烯,其次为乙炔、甲烷等气体,而丁烷等气体混合物也存在一定程度的爆炸风险<sup>[4]</sup>。能够快速溶解于液态氧的乙炔气体混合物本身具有不稳定的溶解度指标,并且属于“不饱和烃”的范畴,由此决定了该气体混合物具备相对较差的稳定性。在此前提下,如果空分装置所承载的乙炔等气体达到了“爆炸下限”的指标,那么无法经过沉积而转化为固态形式的易燃物就会迅速引发爆炸。尤其是在摩擦、碰撞、净电荷等外界作用的辅助下,空分装置发生爆炸的概率将会更高。

除了易燃物可能会造成空分装置的爆炸后果之外,化工生产中常见的某些“助燃物”同样容易引发重大的爆炸灾害,最为典型的就是“液态氧”或者纯氧的助燃物。具有很强氧化性的液态氧或者纯氧一旦遇到可燃化工原料,那么氧化反应的进程就会明显加快,还会在很短的时间里释放出大量的反应热。由于以上因素导致的不利影响,空分装置的输送管道就会被引燃,导致空间狭窄的装置管道内部发生剧烈的爆炸<sup>[5]</sup>。

如下表 1,为爆炸混合物的类型及其“爆炸下限”:(其中,统计爆炸混合物“爆炸下限”的主要依据为液态氧内的爆炸物体积占比)

表 1 引发空分装置爆炸的爆炸混合物的类型及其“爆炸下限”

| 易爆物类型 | 溶解状态 | 爆炸下限 (%) |
|-------|------|----------|
| 乙炔    | 悬浮   | 2.79     |
| 丙烷    | 分层   | 1.48     |
| 甲烷    | 溶解   | 19.90    |
| 乙烯    | 悬浮   | 4.28     |
| 丁烷    | 悬浮   | 1.42     |
| 丙烯    | 分层   | 0.36     |

## 2.3 可燃性的气体泄漏

造成空分装置爆炸的因素不仅在于可燃物或者助燃物、管道等硬件设计不当,而且还体现在气体泄漏的潜在威胁。处在运行过程中的空分装置如果遇到高压、高温或者明火等外部条件,那么经由管道而缓慢溢出的易燃易爆气体将会触发火源而导致燃爆事故。空分装置在缓慢泄漏

可燃性气体的状态下,装置的内部压力就会失去良好的平衡性,以上因素就会造成装置内部空间呈现快速的压力下降趋势,并导致气流冲击引发管道破裂、剧烈振动等后果<sup>[6]</sup>。

例如在空分装置中的煤气缓慢溢出影响下,处于管道狭小空间内的可燃气体密度将会达到“顶点”。逐渐溢出管道的煤气还会与空气中的氧气充分混合,从而在很短的时间里发生爆炸,直接威胁到附近人员的人身安全。尤其是在化工企业车间明火掉落的状态下,触及火源的可燃性气体就会迅速发生燃烧,位于附近区域的人员甚至无法进行有效的躲避。例如与液体气体比较,乙炔更易溶于液态氧,此类物质的溶解度将会随着温度降低而降低。乙炔的化学活性高而且稳定性差。当空气降温到-173℃时,乙炔并不能以固体状态沉淀下来,而是随着空气被带到塔中;其在液相中的溶解度相对较高,通常不在液相中沉淀,而是随着液空流入上部分的馏柱,然后以液氧形式进行沉淀。近些年来,化工生产车间由于乙炔等物质燃烧或爆炸而导致的重大伤亡事故时有发生。

## 3 空分装置的爆炸风险防范以及安全保障措施

空分装置一旦存在爆炸物或者易燃物超标的风险,则化工企业人员需对此采取行之有效的整改解决方案,旨在最大程度上降低空分装置的安全隐患等级,切实保障企业人员以及财产的完整性。但是在目前看来,一部分化工企业人员仍缺乏对于设备运行隐患的监测预警意识,某些化工企业还缺少物联网的自动感测仪器作为支持,总体上呈现出较低的信息化监测预警水平。基于以上的因素考虑,全面防范空分装置的爆炸灾害事故应体现为如下的技术优化措施:

### 3.1 加强密封,严防管线渗漏

加强对于空分装置的管线接头等部位密封,可以有效降低装置发生燃爆事故的几率。相关负责人员应定期排查空分设备的管线连接处,一旦察觉到空分设备的管线接头存在磨损、严重腐蚀、连接松动等问题,那么立即着手进行修复或者更换结构件。企业应安排各车间、各班组人员负责定期查看管线的细微渗漏点,借助自动传感监测设备,对于隐蔽性、潜在性的空分装置运行隐患实施全方位的排查解决。化工厂空分装置的爆炸故障只有实现了精准的定位,则企业人员才能够对其实施有效的处理,从而在最短的时间里恢复装置的稳定运行。

当前背景下的化工厂人员应重视人工智能技术在设备故障定位方面的采用,主要在于物联网自动传感技术的应用。化工企业的设备检修人员需要通过实施全方位的故障点排查来明确空分系统的故障形成位置,使得企业人员能够在精准定位故障的前提下予以及时、妥善的处置。例如,某化工企业主要借助分子筛的净化装置来吸附乙炔成分,并且将空气吸收器(具备气体与液体吸收功能)连接于上部塔顶以及下部塔底等重点部位。由于空气吸收器的长期作用影响,

易燃易爆性的烃类物质、乙炔成分都能够得到大幅度的吸收。该化工企业经过一体化的分子筛净化设备改造,目前投入使用的净化设备已经能够持续抽出液态乙炔物质,然后将其排放至塔外予以汽化处理。一旦空气中的乙炔浓度达到了“燃烧或者爆炸下限”,则可以立即将其排放至空分装置的外部空间,同时还可以有效预防液态氧的剧烈燃烧事故。

### 3.2 消除静电, 定期润滑维护

空分装置所在的运行环境比较复杂,由于人为操作不慎或者静电影响都有可能造成爆炸。基于此,化工企业需要安排专门人员负责检查空分设备的运行环境,并采取有力措施消除“摩擦起火”造成的潜在威胁。企业人员还需要将防火门与防火墙布置在空分装置的周围区域,并且针对空分装置的管道连接部位采取润滑养护的改进方法。遵循因地制宜的指导思想,进一步加强针对操作人员的安全宣传与培训,敦促化工生产车间的一线作业人员牢固树立安全警惕意识。化工生产车间应当严格采取禁止明火的措施,企业各班组的管理人员应督促一线作业人员严格遵守规章制度,在维护人员安全的基础上降低企业的事故处置成本。化工生产车间的设备维护人员应具备强烈的责任心,能够运用专业知识来妥善处理空分装置的运行隐患。对于经过长期运行而存在老化、腐蚀、接头脱落等风险的设备管道接头需采用必要的加固以及润滑处理措施,确保改进后的空分装置在输送气体时更加顺畅,从而有效避免了管路严重堵塞的后果。

定期润滑存在老化或者异常的设备结构部件,化工企业的各班组人员之间应当加强协作,充分利用物联网传感器检测水泵设备老化构件。具体可以利用梅花垫来加固水泵的本体结构,对于水泵与换热器等关键部分的管线渗漏风险应保持高度的警惕性。化工厂空分装置中的换热设备具有较高的故障发生率,由此决定了企业人员应采取定期检测与更换老化结构件的措施,避免换热设备呈现出带病运行。空分装置水泵结构中的过滤器、止回阀、出口阀在液体的长期侵蚀下容易发生损坏,因此企业人员应密切重视水泵的使用异常情况,做到定期加固水泵的支撑基座及其连接管线。

### 3.3 在线监测, 优化预警机制

预防空分装置爆炸事故的有效方式就是建构动态的预警监测体系,化工企业应充分利用物联网、云计算、大数据等技术辅助工具,打造全员参与的空分装置安全预警管理模式。具体应明确空分装置在线监测的基本参数指标,此类指标至少需要包含乙炔、丙烯、甲烷、丁烷等可燃性气体。健全一体化、多层次的动态预警响应机制,企业人员需要结合科学监测得出的结果数据,启动某一级别的应急预案来进行处理。除此以外,化工企业还应当进一步完善自动化的紧急停车系统,充分利用紧急停车设备来切断设备电源或者动力源,从而达到防止损失扩大的目的。自

动传感器在检测到装置爆炸的高风险信号基础上,则应当立即触发与之相连的紧急停车按钮,立即中止空分装置的运行。并需要等待技术人员准确排查并消除了空分装置的爆炸隐患,才能够恢复该设备的正常使用。

化工企业人员对于可能大量生成爆炸性气体的区域空间,应使用防爆设备作为安全保障,并确保设备符合防爆等级的相关要求。企业应安排各班组的专门负责人员,确保其能够及时对于空分设备进行表面清洁处理。根据空分设备的生产厂家规定,空分装置在使用一个循环后需要停止运转一次,然后安排相关负责人员对于装置进行一次的全面加热,使得装置中的烃类及油脂得以完全排出。企业人员还应采取定期的防爆检查措施,及时发现并消除潜在的装置爆炸危险。在装置设备的停机状态下,为避免乙炔与碳氢化合物在自然挥发的过程中出现浓缩与沉淀,则需要首先将装置中的液空液进行彻底排出。企业负责人员还应当保证液体氧气的液位稳定,避免液氧液位在规定的水位以下。

## 4 结束语

综上所述,空分装置的爆炸危险形成根源较为复杂,集中体现在净电荷聚集、易燃易爆气体泄漏等方面。在目前的现状下,化工企业正在致力于采取有力措施来避免空分装置发生大规模的燃爆事故,但是仍存在一些化工企业人员具有麻痹大意的心理情绪,易导致空分装置常见的安全隐患遭受忽视。因此为了妥善解决空分装置在全寿命周期内的爆炸隐患问题,最关键的就是要健全企业的隐患监测预警机制,以期在根源上降低空分装置爆炸的事故率。现阶段的化工企业人员还需要掌握空分装置防爆、可燃气体泄漏监测等操作流程,充分利用信息化、数字化的仪器设备辅助,打造更加安全高效的化工生产运行空间。

### [参考文献]

- [1]季云海,黄康.空分装置爆炸危险性分析与安全技术措施[J].化工设计通讯,2024,50(4):98-100.
- [2]王永健,陆君君.空分装置危险点分析及处理措施[J].化学工程与装备,2022(7):218-220.
- [3]陆君君,王永健.空分装置爆炸原因分析及其防范措施[J].化学工程与装备,2022(6):245-247.
- [4]傅吉品,何俊霖.空分装置危险性分析及处置注意事项[J].化工管理,2021(25):141-142.
- [5]陈慧慧,张神钊,王利聪,等.双重预防机制在大型空分装置中的建设与应用[J].河南化工,2021,38(7):59-62.
- [6]康庆元.空分装置冷箱泄漏的原因与处理措施[J].化工管理,2020(22):145-146.

作者简介:毛建武(1984.12—),男,毕业于湖南科技大学,化学工程与工艺专业,就职于国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司空分厂,中级职称。



## 实景三维技术在测绘和地理信息领域中的创新与应用

郜天泽<sup>1</sup> 马鑫<sup>2</sup>

1. 河北省第三测绘院, 河北 石家庄 050000

2. 河北省保定市定兴县北田乡, 河北 保定 071000

**[摘要]**随着信息技术和传感技术的快速发展, 实景三维技术作为测绘与地理信息系统 (GIS) 中的重要创新手段, 极大地提升了空间数据的获取效率与精度。此文章系统阐述了实景三维技术的基本原理及其在测绘和地理信息领域中的创新应用, 重点分析了其在城市规划、灾害管理及智能交通中的典型案例, 并深入探讨其未来发展趋势与技术挑战。研究表明, 实景三维技术不仅显著优化了空间信息的表达方式, 还加速推动了地理信息产业的智能化与数字化转型, 为智慧城市建设提供了坚实支撑。

**[关键词]**实景三维技术; 测绘; 地理信息系统; 创新应用

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17638

中图分类号: P208

文献标识码: A

### Innovation and Application of Realistic 3D Technology in Surveying and Geographic Information Fields

GAO Tianze<sup>1</sup>, MA Xin<sup>2</sup>

1. Hebei No.3 Surveying and Mapping Institute, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

2. Beitian Township, Dingxing County, Baoding City, Hebei Province, Baoding, Hebei, 071000, China

**Abstract:** With the rapid development of information technology and sensing technology, real-time 3D technology has become an important innovative means in surveying and geographic information systems (GIS), greatly improving the efficiency and accuracy of spatial data acquisition. This article systematically elaborates on the basic principles of real-life 3D technology and its innovative applications in the fields of surveying and geographic information. It focuses on analyzing its typical cases in urban planning, disaster management, and intelligent transportation, and deeply explores its future development trends and technological challenges. Research has shown that real-time 3D technology not only significantly optimizes the expression of spatial information, but also accelerates the intelligent and digital transformation of the geographic information industry, providing solid support for the construction of smart cities.

**Keywords:** realistic 3D technology; mapping; geographic information system; innovative application

#### 引言

传统测绘技术在空间信息采集与表达时, 存在精度欠佳、数据更新迟缓及信息呈现单调等状况, 实景三维技术把激光扫描、摄影测量和三维建模技术整合起来, 凭借高精度传感器采集现实世界三维数据, 让空间信息实现动态及立体表达。随着无人机 (UAV)、移动测量系统及云计算普及现象的出现, 实景三维技术在测绘及地理信息范畴的应用持续拓展深入, 作为数字地球创建与智慧城市前行的重要依靠。

#### 1 实景三维技术的基本原理与创新特点

##### 1.1 技术原理概述

实景三维技术获取目标对象的三维点云和高分辨率影像数据, 主要借助激光扫描 (LiDAR)、多视角摄影测量以及深度相机, 再跟点云处理和三维建模算法相融合, 创造出真实感强烈、精度极高的三维模型。

##### 1.2 技术创新点

###### 1.2.1 数据采集多样化

通过多种先进传感办法, 实景三维技术让数据采集变得多样, 航空激光雷达 (LiDAR) 系统可在高空迅速扫描

大面积地形, 适用在区域性测绘与地形建模领域; 移动测量系统 (如车载激光扫描这种) 可灵活甄别道路及城市环境的细节特征, 适配城市层面的精准化建模; 无人机航拍借助低空飞行长处, 可采集到高分辨率影像与点云数据, 适应中小尺度场景相关需求, 多种采集途径的融合, 大幅提高数据采集灵活性以及适用范畴<sup>[1]</sup>。

###### 1.2.2 高精度数据融合

实景三维技术把来自不同平台以及传感器的多源数据加以融合, 显著改善空间信息的完整性及精度水平, 诸如激光点云、影像数据、GPS 定位信息之类的多维数据, 经精密配准和融合加工, 还补救了单一数据源的局限性, 且提升了模型在细节表现力方面和空间准确度方面的水平, 激光点云供应准确的三维几何资讯, 影像数据让模型的纹理细节得以充实。两者一旦融合, 便可创建高精度、高逼真度的三维场景, 数据融合技术让测绘成果质量实现升级。

###### 1.2.3 实时处理与云端共享

依托云计算平台, 实景三维数据完成大规模、复杂数据快速处理及存储, 云端展现出强大的计算实力, 具备并

行处理海量点云及影像数据的能力,显著减少数据生成跟更新的时间周期,云端共享机制破除了数据壁垒,实现多部门、多用户联合访问与实时启用,城市管理与规划设计人员能借在线平台即时查看最新三维模型,即刻响应各类需求,借助实时处理与云端共享,空间数据利用效率得以提升、应用广度得以拓展。

## 2 测绘领域中实景三维技术应用的相关案例

### 2.1 城市规划与管理

伴随城市规模持续拓展与城市管理需求渐趋繁杂,面对现代城市管理精细化和智能化要求,传统二维平面信息显得捉襟见肘,凭借实景三维建模技术手段,城市管理部门可精准采集到建筑物及基础设施的三维信息,完全呈现出城市空间的结构,该三维信息不仅让管理者对城市空间布局有更直观且全面的认知,还为达成城市动态监控以及数字孪生管理构建了稳固基础,数字孪生技术可实时反馈现实城市的动态状态,帮助管理部门及时掌握城市运行动态,提高应急响应的及时性<sup>[2]</sup>。

深圳充当智慧城市建设开拓者,凭借无人机实景三维建模技术,把全市主要城区三维信息采集和建模工作完成,该项目整体覆盖面积为 350 平方公里,充分展现出其规模以及技术的挑战,凭借高精准度无人机航拍器材采集海量点云数据,项目处理点云数据,超过了 100TB,实现建模数据既完整又高精度,最终生成三维模型,其精度达 5 厘米,此高精度模型对城市规划、绿地布局、管线管理等提供了极有参考价值的空间数据依据。深圳市项目在数据处理及更新频次上也获得显著提高,经由对数据采集及处理流程加以优化,每日更新频次增加了 30 个百分点,促使三维模型可更及时展现城市变化及发展趋向,该技术成果极大促进智慧城市相关决策实现科学精准的目标,同时为别的城市数字化转型奉上了宝贵的经验及示范样本。伴随技术实现进一步的成熟,实景三维建模于城市管理范畴会起到愈发关键的效用。

### 2.2 土地测绘与资源管理

因广泛应用了实景三维技术,大幅增进地形地貌测绘的精度及效率表现,跟传统的测绘方式相比,实景三维技术通过把高精度激光雷达(LiDAR)跟多角度影像采集进行结合,达成了地形数据快速采集及高精度重现,这极大促进了测绘工作的进度提升,也极大增强了测量结果的精准水平,为土地资源科学治理搭建可靠数据基石,精确的地形模型可助力更精准地评判土地利用现状及变化趋向,为合理规划及保护事宜提供支撑。

某省借助机载的那套 LiDAR 系统,结合多向度的航空影像素材,实施了大范围山区土地利用状况调查,此项目所涉及的覆盖面积为 2000 平方公里,归为大规模地籍测绘范畴,采用前沿的技术手段,此项目把地形高程误差成功限制到了 10cm 的误差区间,实现测绘数据高精度且

可靠,精准的高程数据对山区复杂地形的分析以及土地资源管理意义显著,可为防灾减灾、生态维护与土地开拓等领域提供科学依据。此项目在测绘效率范畴实现重大跨越,凭借实景三维技术在数据采集与处理上的高效能力。与传统测绘方法比,速度提升了 50%以上,这般的效率提升把项目周期缩短,把测绘成本降下来,还让相关部门可更迅速地采集与更新土地利用数据,迅速应对自然环境与土地资源的变化要求。随着实景三维技术逐步发展,其在地籍测绘与土地资源管理范畴的应用前景会愈发宽广<sup>[3]</sup>。

### 2.3 工程测量与施工监控

当开展大型工程建设时,施工现场管理难度不容小觑。在进度把控和质量监管的层面,以往人工测量及现场巡查方式效率不高,且较易出现数据的延时或误差现象,借助实景三维技术的引入,工程项目施工现场管理出现了颠覆性的改观。通过高精准度三维数据采集与实时处理,管理人员可实时、全面地掌握施工现场实际状态,由此达成更为科学精准的进度管理与质量掌控,这既推动了工程建设的整体效能提升,也有效缩减了资源的过度浪费及施工风险。

某高铁建设工程首先开河引入移动测量体系,采用无人机、激光扫描仪之类设备,实时抓取施工场地的三维数据要点,该移动测量系统可迅速覆盖大面积施工区域,实现数据时效性和精准性,项目团队把实时所采三维数据 and 设计模型加以对照,迅速察觉施工偏差及潜在隐患,保证施工按规划开展,凭借实时数据反馈机制,项目管理透明度及响应速度大大加快,促使施工过程朝着规范可控迈进。经由实景三维技术的采用,该高铁项目返工率大幅降低,实现了 15%的降幅,此不仅节省了大规模的人力、物力和时间成本开支,也降低了因返工产生的工期延误与安全方面风险。实景三维技术作为现代工程建设关键工具,正稳步成为保障工程质量和掌控进度的关键手段,助力大型工程项目朝着智能化、数字化持续迈进,带动行业技术、管理水平迈向新高度。

## 3 实景三维技术在地理信息范畴的创新式应用

### 3.1 智能交通系统

把三维路网模型和交通流数据结合在一起,属于增强智能交通系统感知及决策能力的重要途径,常规的交通管理往往借助二维地图跟静态资料,难以完整体现复杂道路场景及动态交通态势,三维路网模型可真切、直观地呈现城市道路架构,把实时交通流量数据加以结合,为交通管理给予更为精准、全面的信息支撑,凭借多维度数据的汇聚,智能交通系统能更深入地理解路网空间的关系以及交通动态走向,增进交通事件预测及应急响应功效<sup>[4]</sup>。

以北京某区为例,依托实景三维数据,配合先进人工智能算法,实现了该区域信号灯控制方案的优化调整,该区域覆盖的道路,长度差不多 120 公里,实时数据更新以 5min 为频率间隔,让系统能迅速对交通状况的改变做出

响应,依靠对三维路网和交通流数据深度研判,系统可实时对信号灯配时方案作出调整,降低车辆等候时长,缓解交叉路口拥堵现象。这种智能调控举措有效躲开了传统固定时长信号灯引发的交通难题,实现对路网资源动态情形下的优化利用。经过应用及调试,该智能交通方案显著提升了该区域交通状况的良好程度,交通拥堵所占用时间减少了差不多 12%,既提升了车辆的通行速率,而且削减了尾气排放与燃油消耗的量,对环境的保护起到积极推动,系统数据高频更新且三维模型实现动态展示,为交通管理相关人员提供直观又精确的决策佐证,带动智慧城市交通管理水平提升,该成功范例为其余城市区域的智能交通搭建给予了珍贵的借鉴与样板。

### 3.2 灾害监测与应急响应

实景三维技术——一种先进的空间信息获取途径,可迅速建成灾害现场的真实三维模型,为应急指挥及灾后评估给予强大技术支撑,跟传统的二维地图及现场勘察对比,三维模型能更为直观、完整地展示灾害现场的地形、建筑结构及损伤状况,有力强化了灾害响应的效率与精确水平,采用多源数据融合办法,实景三维技术为救援指挥决策给予精准、即刻的空间信息,助力救援队伍迅速制定恰当预案。

选取四川某因地震受灾区域做示例,当地凭借无人机搭载高精度传感器开展三维重建这一技术,在地震发作后的 24h 范畴内,快速达成灾区主要建筑三维影像采集与模型搭建,无人机凸显出灵活矫健的能力,能深入复杂危险的灾区空间,采集高清晰影像数据,达成数据时效性及完整性要求,依靠先进三维重建算法实现,快速处理把这些影像数据转化成高精度三维模型,对应急救援给予了精准空间地图的支撑,明显提升救援队伍对灾情的把握度与救援速率。此次采集工作涉及的建筑物数量达到数千座,模型实现空间精度 10cm,可详实反映建筑物结构细节及损坏程度,这既为现场救援给予了直观参照,还为灾后损失测评、灾害因素分析以及恢复重建规划实施奠定扎实根基,凭借实景三维技术的采用,四川地震灾区应急管理能力和灾害响应水准有显著的提升,同时为未来类同灾害的迅速应对积累了重要经验,助力应急指挥朝现代化与智能化迈进。

### 3.3 环境保护与生态监测

依靠三维数据实施生态环境变化监测,得以实现环境保护动态治理与精准抉择,以往环境监测多借助人巡邏和二维影像数据支撑,遭遇覆盖范围狭小、监测周期拖沓、数据更新落后的困境,实景三维技术依靠高精度、多角度的数据采集来实现,能即刻、完整地展现自然环境空间结

构与变化情形,借助三维数据直观展示及智能剖析,环境管理部门可迅速掌握生态系统动态的演化,发现隐匿的环境困境,增进环境保护的科学性及实效性<sup>[5]</sup>。

以云南一处自然保护区为实例,该区域借助实景三维技术对森林覆盖变化实施持续监测,借助像无人机、地面激光扫描的装置,按时采集保护区内高精度三维数据,产出周全的森林空间结构模型,这些模型可精准呈现森林覆盖范围与树种分布情况,还可识别出由人为活动或自然灾害引起的森林状况改变,尤其在对非法砍伐区域的辨识上,三维技术拿出了更具清晰度与具体度的证据,协助执法部门迅速实施干预,切实阻止了破坏举动。依靠该技术手段达成,保护区森林覆盖率稳定地保持在 85%以上水平,生态环境维系良好局势。三维监测系统还能把气象、土壤以及生物多样性数据整合起来,实施多层面生态环境剖析,引导保护区生态系统达成整体健康格局。云南该实践不光提升了区域生态环境保护水平,还为其余自然保护区的环境治理供给了珍贵借鉴,促进生态文明建设及绿色发展进一步深化。

## 4 结语

实景三维技术作为测绘与地理信息范畴的创新工具,依靠它高精度、多维度、实时交互的长处,引领传统测绘模式向智能化、数字化迈进。伴随传感器技术及人工智能算法持续优化升级,实景三维技术会在更多样的应用场景中起到关键效能,助力智慧城市搭建、环境保护与公共安全监管等领域深度融合与创新拓展,数据处理效率和标准化的问题要进一步去突破,进而实现更广泛运用普及。

### [参考文献]

- [1]刘杰,刘禹博.浅析基础测绘与实景三维技术的实践应用[J].测绘与空间地理信息,2025,48(1):117-118.
- [2]吕静.实景三维建模技术在地下矿山测绘中的优化研究[J].世界有色金属,2025(6):160-162.
- [3]鲁彬彬.倾斜实景三维技术在地形图测绘中的应用[J].智能城市,2025,11(3):57-59.
- [4]胡群珍,胡燕琴.无人机倾斜摄影测绘技术在城市实景三维建模中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):31-33.
- [5]陈奕达,席岩松.实景三维技术在测绘和地理信息领域中的创新与应用[J].测绘与空间地理信息,2024,47(1):140-141.

作者简介:郜天泽(1996.1—),性别:女,毕业院校:马里兰大学帕克分校;所学专业:地理空间信息科学,当前就职单位:河北省第三测绘院。



## 岩土工程施工安全风险研究

周之光

河北地矿建设工程集团有限责任公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**岩土工程施工期间会受到诸多因素干扰,很容易诱发各种安全事故,所以得强化施工安全风险,尽力把事故发生几率降到最低。在这样的大背景之下,这篇文章剖析了岩土工程施工安全事故所具有的特点,理清了施工安全管理当中存在的种种问题,对施工安全管理的流程予以归纳总结,还给出了与之对应的管理举措,希望能给岩土工程施工的风险把控给予科学方面的参考以及实践层面的指引。

**[关键词]**岩土工程; 施工安全; 风险管理

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17606

中图分类号: TU432

文献标识码: A

## Research on Safety Risk Management in Geotechnical Engineering Construction

ZHOU Zhiguang

Hebei Geological and Mineral Construction Engineering Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** During the construction of geotechnical engineering, various factors can interfere and easily trigger various safety accidents. Therefore, it is necessary to strengthen the management of construction safety risks and try to minimize the probability of accidents. In this context, this article analyzes the characteristics of safety accidents in geotechnical engineering construction, clarifies various problems in construction safety management, summarizes the process of construction safety management, and provides corresponding management measures, so as to provide scientific reference and practical guidance for risk control in geotechnical engineering construction.

**Keywords:** geotechnical engineering; construction safety; risk management

### 引言

岩土工程施工工作于建筑工程而言属于极为关键的一个环节,其中涉及到诸如基坑开挖、支护结构搭建、土方运输以及地下结构施工等一系列相当复杂的工序。其施工所处的环境颇为复杂,工序数量繁多,并且作业条件呈现出多种多样的变化情况,所以其安全风险相较于一般建筑工程而言要高出许多。近些年来,随着城市建设规模逐步得以扩大,而且像高层建筑、深基坑工程以及地下空间这类复杂岩土工程项目也变得越来越,施工期间发生的安全事故频次以及危害程度已然引发了社会各界的广泛关注。岩土工程施工安全事故的发生,不但有可能致使出现严重的人员伤亡情况,还有可能造成数额不小的财产损失,与此它还极有可能拖延工程的推进进度,进而使得施工成本有所增加,这无疑给企业的声誉以及施工管理的水平都带来了十分严峻的考验。并且,施工安全风险的形成是受到地质条件、施工技术状况、设备性能表现、人员素质高低以及管理制度完善与否等诸多方面因素共同作用影响的,其本身的复杂性与不确定性对于传统的安全管理模式而言提出了更高的要求。所以说,针对岩土工程施工安全风险展开系统性的识别、评估以及管理工作,去构建起一套科学且行之有效的风险防控体系,这既是当下保障施工安全的实际需求所在,同时也是提高施工管理水平、推

动工程建设实现可持续发展的一条重要途径。本文会围绕岩土工程施工所具有的安全风险特点、当前的管理现状以及存在的各类问题展开,深入且细致地探讨风险识别的具体方法、评估的相关方式以及安全管理方面的相应对策,目的就在于能够为岩土工程施工给出科学的安全管理方面的参考依据以及实践层面的指导建议,以此来提升施工安全的整体水平,进而降低事故发生的具体比率。

### 1 岩土工程施工安全事故的特点

岩土工程施工安全事故呈现出一些显著特点。其一,事故类型繁杂多样,像坍塌、滑坡、落石、机械伤害,还有施工时出现的结构失稳等情况都包含其中,而且这些事故常常会带来严重的人员伤亡以及财产方面的损失。其二,事故发生存在极高的不确定性与突发性,它受到地质条件、施工环境、气候因素以及施工操作失误等多种因素的影响,所以事故发生的具体时间、地点以及形式是很难准确预估的。其三,事故危害程度颇高,一旦发生往往会阻碍施工的整体进程,甚至有可能致使施工被迫停工,并且给工程带来重大损失,同时也会给企业的安全管理施加巨大的压力。其四,事故多发性以及区域性较为突出,在地质条件复杂、施工高度较高或者环境恶劣的岩土工程当中,其安全风险会更高。这类事故往往具备连锁效应,要是初期事故没有得到及时有效的控制,就有可能引发次生事故,进

而使得事故范围进一步扩大。

## 2 岩土工程施工安全管理存在的问题

### 2.1 施工人员缺少安全意识及安全培训

部分施工人员在作业过程中缺乏安全意识,未能遵守安全操作规程,存在侥幸心理,这是导致安全事故发生的重要原因。同时,由于岩土工程施工环境复杂,施工人员若不能时刻保持警惕,严格遵守安全规范,则极易引发安全事故。此外,部分施工单位对施工人员的安全培训不足,导致施工人员缺乏必要的安全知识和技能<sup>[1]</sup>。在岩土工程施工中,施工人员需要具备一定的安全操作技能和应急处理能力。然而由于安全培训不足,部分施工人员可能无法应对突发事件,从而提高了安全事故的发生风险。

### 2.2 安全管理制度不健全

在岩土工程施工期间,安全管理制度不完善的情况属于影响施工安全的关键因素之一。部分施工企业缺少系统且规范的安全管理制度,其制度内容并不完备,对于安全规范、操作规程以及责任划分等表述不够清晰,如此一来,安全管理在实际施行的时候便出现了诸多漏洞。有一部分安全管理制度没有及时更新,没办法契合工程规模逐步变大、施工技术产生变化以及施工环境变得更为复杂的实际状况,这就致使管理制度和现场施工实际相脱节。除此之外,在制度的执行以及监督环节当中,有些企业存在着管理层对其重视程度不够、监管机制不够完善、责任追究不够严格等一系列问题,进而使得制度在实际操作中很难切实发挥出应有的作用。而且,安全管理制度在细化标准、操作流程以及风险控制要求等方面不够细致,缺乏相应的针对性与可操作性,这使得施工现场人员在具体操作的过程中缺少明确的指导方向,从而增加了发生事故的可能性。

### 2.3 施工现场管理不到位

施工现场管理存在诸多不足,这在岩土工程施工里算是常见安全问题,给工程安全以及施工秩序造成了颇为严重的影响。部分施工现场缺少清晰明确的施工安全管理分工安排,责任落实方面也做得不够到位,如此一来便使得安全监管工作出现了盲区与漏洞。现场开展安全检查以及巡查的频次不够高或者操作不够规范,安全隐患很难被及时察觉并妥善处置,有一部分施工人员还存在着违规操作或者不遵守安全规程的情况。除此之外,施工现场的安全防护设施并不完备,或者使用方式也不够规范,像支护设施、警示标识、防护栏杆以及安全通道等都未能将整个施工区域全面涵盖起来,这无疑增加了作业过程中的风险。而且,施工现场物料堆放的方式、设备布置的状况以及施工通道的管理都显得不太合理,很容易引发行人受到伤害、机械发生碰撞或者出现施工障碍等一系列安全问题。

## 3 岩土工程施工安全风险识别与评估

岩土工程施工安全风险识别以及评估在施工安全管理方面属于极为关键的一个环节,其重点就在于要对施

工进程里有可能存在的各式各样的安全隐患还有它们潜在的影响展开系统的剖析与判定。一开始,借助风险识别这一举措,能够全方位地对施工进程当中的危险源予以梳理,像地质条件呈现出复杂状况、施工机械在使用过程中、人员的操作情况、材料的堆放方式、所处的环境因素以及工序出现交叉等诸多方面都要涉及,进而明确到底哪些因素有可能致使事故的发生。接着,针对已经识别出来的那些危险源,风险评估会开展定量或者定性的分析,去评估这些危险源发生的概率、可能会造成的损失以及危害的程度,由此来确定风险所处的等级以及优先控制的先后顺序<sup>[2]</sup>。评估所采用的方法通常包括专家评审、对历史数据的分析、失效模式与影响分析、层次分析法,以及现代信息化监测技术等手段,从而保证评估结果具有科学性和可靠性。与此风险识别与评估不只是着眼于单一的风险因素,而且还要考量多种风险因素相互叠加所产生的效应以及可能引发的连锁反应,以便能够完整且细致地反映出施工进程当中潜在的安全风险实际状况。经过系统的识别与评估之后,施工管理者便能够对安全风险形成清晰的认知,进而为后续的风险防控以及管理举措给予科学方面的依据,从而切实有效地降低岩土工程施工事故发生的几率,提升施工安全的水准。

## 4 岩土工程施工安全风险管控措施

### 4.1 加大岩土工程施工安全的教育力度

加大岩土工程施工安全方面的教育力度,这可是提升施工整体安全水准以及降低事故发生概率的一项基础举措。借助系统且专业的安全培训,能让施工人员对施工危险源的认知能力得以全面提升,使得他们不但掌握施工操作规程,而且能主动去识别潜在的风险,并且采取相应的防护举措。教育内容需包含施工安全法律法规、岗位职责、施工工艺里的关键风险点、设备操作规范以及典型事故案例分析,通过把理论和实践相结合的方式,促使施工人员能把安全知识转化为日常的操作行为。与此得依据不同的岗位、不同的施工环节以及工程复杂的程度,制定出分层次、分岗位的培训计划,以此确保各类人员都能明确自己在施工安全管理当中的责任与义务。在培训期间,定期开展模拟演练、应急处置演练以及现场观摩活动,既能增强施工人员的实际操作能力,又能提升其应对突发事件的反应速度与处理水平。凭借持续不断的安全教育,还能逐步培育施工团队的安全文化意识,让安全理念渗透到每一位施工人员的行为习惯里,进而营造出全员参与、持续改进的安全管理氛围,给岩土工程施工的高风险环境给予科学、系统且可持续的保障。

### 4.2 不断完善安全管理制度

完善安全管理制度乃是岩土工程施工安全管理体系建设里极为重要的一环,它对于削减事故风险以及规范施工行为有着不容小觑的作用。完备的安全管理制度得把清

晰的安全责任分工、操作规程以及管理流程囊括进来,并且还得包含风险识别、隐患排查、事故报告以及应急处置等诸多环节,以此来保障施工整个过程都能受到制度方面的约束并接受监督<sup>[3]</sup>。在制度的设计环节,务必要充分考量岩土工程施工所呈现出的复杂性以及多样性,依据不同的施工环节、不一样的作业类型以及各不相同的岗位去制定出具体的且具备可操作性的安全标准与操作规程,防止出现那种过于笼统或者空洞无物的管理规定。与此制度的动态更新以及其适应性同样相当关键,需依照工程的推进情况、施工技术方面出现的变化、设备的更新换代以及事故案例分析得出的结果,及时地对相关制度予以修订与优化,从而确保管理制度能够始终契合实际施工的实际需求。在执行的进程当中,安全管理制度应当和检查考核机制、奖惩机制以及责任追究制度相互结合起来,进而形成一种闭环管理的状态,以此来保证制度不是仅仅存在于文件之中,而是能够在施工现场切实得到严格的落实执行。

#### 4.3 加强施工现场管理

强化施工现场管理乃是保障岩土工程施工安全极为重要的环节,其关键之处就在于借助科学且规范的现场管理方式,把安全风险切实控制在能够把控的范围当中。需要构建起完备的现场管理体系,要清楚界定各类管理岗位的具体职责以及相应的工作流程,达成责任分工明确、权责相互对应的状况,从而保证每一个环节都能够有专门的人士来进行监管。得对施工现场展开全方位的布局安排以及管控举措,具体涉及到施工通道、材料堆放区域、机械设备使用区域还有危险区域等,需合理地加以划分并做好标识标注,以此来维护施工秩序的有序开展、操作行为的规范实施,同时也可削减潜在存在的安全隐患。现场管理同样要重视对施工人员行为规范方面的监督工作,可以通过日常的巡查、操作过程中的检查以及施工日志的记录等多种途径,及时察觉到违规操作以及安全隐患的情况,并且对其展开跟踪式的整改处理。应当依据岩土工程施工所具有的特殊性特点,针对施工环境较为复杂、作业高度相对较大、工序之间交叉情况较多等诸多特性,运用动态管理以及分级管理这两种模式,针对关键的施工环节以及存在高风险的区域施行重点的监控措施,进而确保风险可以及时得到识别并且被有效控制住。

#### 4.4 采用先进的技术和设备

在岩土工程展开施工之际,运用先进的技术以及设备,这无疑是在提升施工时的安全水准,同时也是降低出现事故的风险的一项极为重要的手段。这些先进的技术与设备,

一方面能够促使施工效率得以提高,另一方面在施工进程当中,还能给予更为精准的监测以及控制方面的助力,进而能够及时地将潜在存在的安全隐患给挖掘出来。具体来讲,要是引入了高精度的测量仪器、自动化的施工机械还有信息化的监控系统,那么便可以针对土体变形的情况、支护结构所受力的具体状况、施工荷载的实际情况以及环境的变化等等这些关键参数来实施实时的监测,如此一来,就能够为施工管理的相关人员给予科学且可靠的数据方面的支撑,同时也可作为他们做出决策的重要依据<sup>[4]</sup>。与此智能化的预警系统以及远程监控设备,是能够达成对那些危险区域予以实时的监控这一效果的,而且对于出现的异常状态也能够做到即时发出警报,进而能够助力施工人员在风险尚未发生之前就采取行之有效的防护举措,以此来削减事故发生的可能性。除此之外,倘若采用的是先进的施工工艺以及高性能的设备,那么就能够减轻对施工人员直接操作方面的要求,减少因人为操作出现失误而引发的安全方面的问题,并且还能让施工现场的作业条件得到改善,进而提升整个施工过程的安全性。

#### 5 结语

岩土工程施工安全风险在保障施工人员生命安全方面有着重要意义,它可维护工程质量并推动工程顺利开展。分析施工安全事故的特点,梳理其中存在的问题,并运用风险识别与评估的方法,能全面了解施工过程里的潜在风险。依靠教育培训、完善制度、加强现场管理以及应用先进技术与设备等举措,可降低安全事故发生的几率,提高施工管理水平。以后,随着施工技术及信息化管理方式的发展,岩土工程施工安全风险管理会变得更科学、更系统且更智能,这为达成高效、安全且可持续的施工给予了有力支撑,也给行业安全管理的实践与理论研究提供了关键参考。

#### 【参考文献】

- [1] 邹东瑞,杨晓瑞.岩土工程施工安全风险研究[J].低碳世界,2025,15(6):69-71.
- [2] 盖宇.岩土工程施工安全风险研究[J].民营科技,2018(9):179.
- [3] 路通.我国大型岩土工程施工安全风险研究进展[J].居业,2019(12):171-173.
- [4] 胡兆江,曹启增,邹愈.新形势下岩土工程施工安全管理研究[J].住宅与房地产,2022(13):179-181.

作者简介:周之光(1980.6—),河北工程大学,土木工程,河北地矿建设工程集团有限责任公司,副部长,助理工程师。



## 卷包车间智能能耗控制系统的应用与研究

龚发雪

重庆中烟工业有限责任公司涪陵卷烟厂, 重庆 408000

**[摘要]**文章针对我厂卷包车间能耗较大的问题,研究设计了一种智能控制能耗系统。该系统通过信号采集、处理与执行,实现了对车间设备能耗的精准控制。阐述了项目背景、研究意义、国内外现状,详细介绍了主要研究内容、关键技术问题、实施方案、技术参数与设备选型、安全节能控制策略、试验数据及经济效益。实践表明,该系统能显著降低能耗,提高能源利用率,保障设备和人身安全,为企业绿色低碳发展提供支持。

**[关键词]**卷包车间;智能能耗控制;节能降耗;安全保障;数据交互

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17628

中图分类号: TP273

文献标识码: A

## Research and Application of Intelligent Energy Consumption Control System in Rolling Car Workshop

GONG Faxue

Fuling Cigarette Factory of Chongqing Tobacco Industry Co., Ltd., Chongqing, 408000, China

**Abstract:** This article focuses on the problem of high energy consumption in our factory's rolling and chartering workshop, and studies and designs an intelligent energy consumption control system. The system achieves precise control of workshop equipment energy consumption through signal acquisition, processing, and execution. This article elaborates on the project background, research significance, domestic and international status, and provides a detailed introduction to the main research content, key technical issues, implementation plan, technical parameters and equipment selection, safety and energy-saving control strategies, experimental data, and economic benefits. Practice has shown that this system can significantly reduce energy consumption, improve energy utilization efficiency, ensure equipment and personal safety, and provide support for the green and low-carbon development of enterprises.

**Keywords:** rolling car rental room; intelligent energy consumption control; energy conservation and consumption reduction; security guarantee; data interaction

### 1 项目背景与研究意义

在国家“双碳”战略深入推进的大背景下,烟草行业的设备能耗问题愈发凸显。我厂作为烟草生产企业,现有16组卷接包装机组、7组装封箱机以及4000盏LED照明灯,同时车间的空调、正压除尘负压供给等设备能耗较大,能源消耗成本居高不下,成为制约企业绿色低碳发展的重要因素。在此背景下,设计一种智能控制能耗系统具有至关重要的意义。该系统从立项之初就以高效、可持续、可拓展、稳定可靠为第一要素,全方位考虑便捷性、可操作性、可维护性,统筹安全等各项指标,以满足各方需求。

综合而言,开发智能节能系统可以极大提高能源利用率。而且先行一步开展相关研究,可优先于烟草同行提前规划统计能源数据,用历年数据库为工厂以后规划发展提供实践依据。通过车间优化先行,进一步为全厂能源供给优化提供经验和预判,后续还能在全厂能源调配提供实践方案和技术支持,助力企业创建节能工厂,实现高质量和绿色低碳发展。

### 2 主要研究内容

#### 2.1 信号采集方面

设计包装机GH透明纸厚度检测装置,通过速度脉冲

测得实时厚度,以此识别烙铁是否工作。这一检测能为后续判断相关设备的工作状态提供重要依据,为精准控制能耗奠定基础。实时采集机器编码器信号和卷烟机包装机运行信号,知晓机器实时工作状态。同时监测S90烟支状态和排空状态,分析包装机用电器是否提前预工作,实现对设备的动态监控。通过全面掌握设备的运行状态,可及时发现不必要的能源消耗情况。增设能耗功率仪采集信号,通过总线传输到PLC分析实时用电量,并连接触摸屏实时显示。将采样信号通过网线分配给动力车间,为优化控制动力除尘和正压风机提供支持,给出这些电机的降频数据,从而降低功耗。通过这一过程,逐步将经验转化为智能控制策略。

#### 2.2 信号处理方面

通过程序分析机器状况,制定各个用电器的最佳运行方案。实现智能检测系统PLC和触摸屏的通信与控制,并预留接口以满足更多后续需求。优化原有PLC程序,智能控制烙铁实现温控错误报警。对于大功率美容器,根据不同信号设置待机功耗,在满足条件时切断供电,以减少不必要的能源消耗。编写PLC和触摸屏程序,计算每天工作用电功率,并通过存储系统写入数据库,使工作人

员能直观实时地了解每一台卷包机组的实时用电量和每天用电量。同时将数据接入车间服务器,方便随时调用,为能耗分析和管控提供数据支持。设置触摸屏节能模式选用窗口,可随时改变节能模式。采用一键操作,方便快捷,同时设定分级密码,挡车工、维修工都可以根据实际具体情况简单修改参数,使设备达到最佳运行模式。在保养时段开启保养节能模式状态,不再需要开电启动卷包设备,从而显著降低保养时段的能耗。

### 2.3 信号执行方面

停机时自动识别并关闭非必要用电器。包装机通过信号采集处理分析,智能关闭烙铁、静电消除器等大功耗设备,在满足生产条件时自动提前开启。同时分析各功率烙铁升温时间,以达到节能且不影响生产的最佳效果。卷烟机通过自动分析是否长时间维修停机,进而关闭风机、冷却风机、烙铁、螺旋回丝、振槽等供电,并在正常生产时快速恢复,确保生产效率不受影响。当设备断电且无保养时,机组照明灯智能关闭或降低功率,减少照明能耗。运用总线连接触摸屏,控制各 I/O 状态,设置节能参数,显示机器能耗状态,修改节能模式以优化运行状态,及时反馈能耗信息。设计手自动切换装置,以满足特殊或维修时的用电需求,同时在保养时段优化供电,无需开启设备电源即可进行保养作业。设计电气控制系统,针对拼接烟包未检测不剔除的情况进行自我诊断,防止 A 类质量缺陷烟包的产生,在保证节能的同时确保产品质量。优化原有 PLC 程序,智能控制烙铁实现温控错误报警。与以往仅通过一个加热按钮控制不同,现在通过所有机器联网,宏观判断每一个用电器的的工作条件,不仅提高了控制的准确度,而且可以随时简单调整以满足最佳工作状态。接入网络并编写数据库,随时采集调用各设备实时用电数据。获取各机组常态下用电数据和节能数据报表,使设备运行状况一目了然,为能耗管理和决策提供有力支撑。优化精简触摸屏窗口,可人为设置维修、轻度、中度、极度节能模式,也可自动通过程序判断各种模式并自我调节。通过长时间的对比自学习,可将实时数据接入全厂的能耗系统,优化协调以降低全场能源供给。

## 3 拟解决的关键技术问题与难点

### 3.1 精确控制用电器启停时间

需使各烙铁智能加热控温,各用电器快速待机和介入。优化烙铁加热 PID 设计,设置合理待机功率,在保证控温快速准确的同时,不影响正常生产效率。这要求对烙铁的工作特性有深入了解,通过大量试验确定最佳的 PID 参数,以实现精准温控和能耗控制的平衡。

### 3.2 电控系统的精简设计

利用速度脉冲精确测得透明纸厚度,关键在于解决包装机透明纸厚度检测的脉冲丢失和干扰问题,防止设备误动作。这需要在传感器选型、信号传输线路设计以及抗干

扰算法开发等方面进行深入研究,确保检测信号的稳定性和准确性。

### 3.3 换纸判断与故障报警

利用停机和纸盘速度变化判断是否换纸,设计合理的诊断信息。对于诊断信息出现后,需准确判断是否停机,并及时报警反馈操作人员故障信息。这要求系统具备快速的信号处理能力和智能的决策逻辑,以提高设备的运行可靠性和故障处理效率。

### 3.4 PLC 与触摸屏的通信与数据学习

实现 PLC 与触摸屏的及时通信,并通过数据学习不断优化节能降耗流程。需要开发高效的通信协议和数据处理算法,确保数据传输的实时性和准确性,同时通过对历史数据的分析挖掘,不断优化节能策略。

### 3.5 编码器的应用与处理

通过编码器的应用与处理,准确知晓设备实时位置,自动识别机器运行状态。这需要对编码器信号进行精确解码和处理,提高设备状态识别的准确性和及时性,为能耗控制提供可靠的依据。

### 3.6 电气控制辅助系统设置

设置电气控制辅助系统,增加保养时段按钮(可放在触摸屏),让刹车和连锁自动脱开,该功能需应用在普陀 17、ZJ19/29、GDX1、GDX2 等设备上,必要时可应用到 ZJ118 上。同时要防止误动作,在正常上电后自动切断手动控制系统并且实现手自动互锁并提示信号。这要求系统具备良好的兼容性和安全性,确保在不同设备上都能稳定可靠地运行。

### 3.7 多科室、多车间协调与系统对接

前期需要多科室、多车间协调且进行大量调研,以确定正确的方向,避免走弯路,不影响现有工作现状。同时分析是否设置独立节能系统(独立供电),为以后与工厂节能系统对接做好准备。这需要建立有效的沟通协调机制,确保各部门之间的信息畅通和协同配合。

### 3.8 变量的即时传送、统计与 APP 制作

实现所有变量的即时传送和即时统计,建立数据库,方便各车间调用数据,后期可制作 APP 使能源消耗情况一目了然。这需要解决数据传输的实时性、安全性和存储管理等问题,确保数据的有效利用和便捷访问。

## 4 项目实施方案及其可行性

### 4.1 方案设计

根据我厂包装机实际情况,在不改变原有设备功能的前提下,技术团队设计了相应的实施方案。选择合适的传感器计算透明纸厚度,设计传感器紧固装置,做好传感器脉冲信号到 PLC 的防干扰工作;根据厚度传感器和机器测速脉冲计算实时透明纸厚度,增加机器停机信号、辅机编码器信号合理计算触发拼接烙铁工作;增设触摸屏,添加各种故障信息显示,方便工作人员知晓能耗数据和调整

变量参数。根据机器各传感器和机器运行状态自动启停各用电器。通过降耗电控系统的组装,设计程序对 CH 拼接产生烟包是否剔除作出自诊断,触发信号让操作工第一时间知晓并剔除不合格烟包;根据实际情况不断改进完善系统,为优化其他能耗装置保留接口,确保运行稳定可靠。

#### 4.2 实施步骤

设计试验阶段(2023.4—2023.8)

任务:制定设计方案,设计零部件,加工或采购电气元件,进行安装试验,确定技术可行、零部件可靠。

在该阶段,项目组规划了电气控制元件,如供电断路器 Q30、运行工作接触器 KM3、开关电源 U10 等,并设计了控制电路图,进行大范围初调,修改设计不合理位置,同时设计了触摸界面。

考核指标:形成设备研制方案和实施方案。

实施制作、调试阶段(2023.8—2023.10)

任务:根据研制方案和实施方案,项目组成员先在试验平台上进行相关试验,设置智能温控程序并调试运行,不断改进,检验是否达到设计要求,实现条装缺包的检测和剔除功能。

本阶段,项目组进行了电气元件的装配,如一键启动按钮,在三相电源关闭情况下,启动该按钮,PLC 启动,在满足运行条件下,按钮指示灯点亮,可进行轮保和保养作业。同时对主 PLC A1、互锁 K1、K2,切换接触器 KM3,220v 进线空开 Q30,24V 电源 U10 以及显示触摸屏等进行了安装和调试。

考核指标:实现关闭总电源情况下进行轮保和保养作业。

巩固及验证阶段(2023.10—2024.4)

任务:将软、硬件安装在车间一组卷包机组,并调试。继续合理增加减耗能源采集,优化设计方案。收集多方信息,进行人性化改进。

考核指标:确保系统稳定性,不影响设备正常运行,改进不合理设计。

#### 4.3 可行性分析

该方案基于我厂卷包车间的实际设备情况和能耗问题制定,充分考虑了不改变原有设备功能这一前提,降低了实施难度和风险。在设计试验阶段,通过对电气控制元件的规划和控制电路图的设计,以及触摸界面的开发,为系统的搭建奠定了基础。实施制作、调试阶段在试验平台上进行充分试验和调试,不断改进完善,确保了系统的可行性和可靠性。巩固及验证阶段将系统应用于实际生产环境,进一步优化和改进,能有效应对实际生产中可能出现的问题。同时,项目组由多科室、多车间的专业人员组成,具备丰富的经验和专业知识,能够协调解决项目实施过程中出现的各种问题。此外,所选用的 PLC 控制器、功率采集模块等关键设备均符合相关标准和要求,具有良好的兼容性和稳定性,为系统的顺利实施提供了保障。

## 5 关键技术参数与设备选型

### 5.1 关键技术参数

PLC 控制器:选用 S7-200 SMART CPU SR40,具有 24DI/16DO,其兼容现有设备通信协议,能满足系统的控制需求。

功率采集模块:采用 PM1200 三相电表,精度为 0.5 级,满足 IEC 62053 标准,可精确采集三相电源功率、电流等数据。

安全互锁:采用双继电器冗余设计,响应时间<50ms,符合 EN 60204-1 安全要求,确保系统运行的安全性。

网络接口:具备 PROFINET+以太网双通道,满足工业 4.0 通信需求,便于数据的传输和共享。

### 5.2 设备选型

触摸屏 1 组:通过人机界面查看三相用电功率电流情况、界面上设置能耗功率情况,方便工作人员实时了解设备能耗状态和进行参数设置。

S7-200PLC 一个,轮保作业按钮一个:使用 PLC 控制能耗处理情况,打开关闭轮保作业模式,实现对能耗的智能控制。

时间继电器、接触器一个:设备关机信号使用延时继电器控制机组上方 LED 照明关闭,减少照明能耗。

正压负压关断阀各一组:停电关闭正负压阀门,轮保期间启动,合理控制正负压供给,降低能耗。

直流电源 20A 一个:设备三相电关闭时提供备用电源,确保系统在特殊情况下的正常运行。

## 6 安全节能控制策略

激活安全互锁,采用 PLC 和双重继电器互锁,使市电和独立供电相互切断,实现放呆傻瓜式切换。这种控制策略能有效防止在保养、轮保时段因设备带电引发的人身伤害事故,同时确保在节能模式切换过程中设备的稳定运行。在具体操作中,关闭设备三相总电源时自动切断设备风压,一键切换到轮保、保养模式。实现长时间停机关闭美容器,设备关闭电源时关闭上方 LED 照明。在保养和轮保时段不需要开启电源,降低了保养工和维修工因意外触电受伤的风险。

## 7 试验数据对比与分析

表 1 试验数据对比

| 指标        | 改造前                 | 改造后                    | 下降率   |
|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 待机加热器能耗   | 12.14kW/h           | 0.001kW/h              | 99.9% |
| 维保和保养时段能耗 | 9.8kW/h             | 0.02kW/h               | 99.8% |
| 照明能耗      | 1.8kW/h             | 0.6kW/h                | 66.7% |
| 空调负荷      | 车间电器元件电发热较高,动力空调能耗大 | 车间电器元件电发热降低,动力空调能耗相应减少 |       |

从上述数据可以看出,智能能耗控制系统的应用取得



了显著的节能效果。待机加热器能耗下降率达到 99.9%，维保和保养时段能耗下降率达 99.8%，照明能耗下降率为 66.7%，充分证明了该系统在降低能耗方面的有效性。同时，车间电器元件电发热降低，使得动力车间控制空调的能源消耗相应减少，虽然无法精确量化这部分能耗降低，但从整体来看，系统对降低工厂综合能耗起到了积极作用。此外，系统的应用还降低了设备故障率，减少了维护成本；降低了电气触电事故风险，提升了安全效益；实现了能耗数据可视化，简化了操作，提高了管理效益。

## 8 经济效益分析

### 8.1 经济技术指标

轮保和保养时段会开启包装机总电源，包括 GD 包装机、YF13 卷烟存储输送机和 S 型条烟提升机等，能耗较大。该项目降低了设备保养阶段和设备轮保阶段的电能消耗（由于保养时段和轮保时段时间不固定，无法量化具体降低能耗）。降低了设备长时间停机时大功率用电器的电能消耗。在触摸屏设定时间停机状态下，自动关闭主机、辅机美容器烙铁等所有电能。设备关闭总电源情况下自动延迟关闭设备上方 LED 照明，降低了照明的能耗。设备关闭总电源情况下自动关闭风压供给，减少了相关能耗。降低了卷包车间用电器的发热量，同时降低了动力车间控制空调的能源消耗。保养和轮保时段不需要开启电源，降低了保养工和维修工因意外触电受伤的风险。

### 8.2 节约费用

直接节能效益（单机）按照最低节约能耗计算。

年节电量： $[(9.8-0.02) \times 3 + (1.8-0.6) \times 4] \times 200 \text{ 天} = 6828 \text{ kWh}$ 。

折合电费： $6828 \text{ kWh} \times 0.8 \text{ 元/kWh} = 5462.4 \text{ 元}$ 。

间接效益。

维护成本降低：设备故障率下降。

安全效益：电气触电事故风险降低。

管理效益：实现能耗数据可视化，简便操作，傻瓜防呆。

## 9 结束语

卷包车间智能能耗控制系统的应用，有效解决了我厂卷包车间能耗过高的问题。通过精准的信号采集、智能的信号处理和高效的信号执行，实现了能耗的显著降低，同时保障了设备和人身安全，提升了企业的管理水平。

该系统的成功应用，不仅为我厂带来了可观的经济效益，也为烟草行业的节能降耗提供了可借鉴的经验。随着智慧化工厂建设的不断推进，我们将继续优化系统，进一步拓展其功能，实现与全厂能耗系统的深度融合，为企业的绿色低碳、高质量发展贡献更大的力量。未来，还可将该系统的经验推广到其他行业的工业车间，推动整个工业领域的节能转型。

### 【参考文献】

- [1] 吴壮, 甄爱陈. 卷包车间高速卷烟机冷却水系统优化研究[J]. 节能, 2025, 44(4): 76-78.
- [2] 贾炯. 卷烟厂空调系统的能耗特点及节能运行策略[D]. 云南: 昆明理工大学, 2025.
- [3] 曾兴旺. 卷烟厂醇化卷包过程温湿度监测与数据处理研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2025.

作者简介：龚发雪（1981.12—），性别：男，学历：毕业院校：涪陵师范学院，所学专业：应用电子技术，目前职称：中级。

## 智能制造政策下机器人技术融入机制研究——以资阳市雁江区食品饮料行业为例

王 旭

电子科技大学成都学院 智能制造工程系, 四川 成都 611731

**[摘要]**为了提升食品与饮料企业的生产线智能化,进一步提升企业的经济效益。以资阳市雁江区食品饮料行业为研究对象,通过分析政府出台的相关政策,并搭建了分析框架。随后对雁江区部分大型和中小型食品饮料企业进行采样,采用混合研究方法得到了大型企业和中小企业选择不同智能化路径的主要实现方式以及实施后企业在生产率、经济性等方面的成效和存在的问题。为后续企业在智能化转型过程中的具体方案实施,提供了行之有效的参考依据。

**[关键词]**智能制造政策; 机器人技术; 食品饮料行业; 混合研究方法; 智能化路径

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17622

中图分类号: TP24

文献标识码: A

### Research on the Integration Mechanism of Robot Technology under Intelligent Manufacturing Policy — Taking the Food and Beverage Industry in Yanjiang District, Ziyang City as an Example

WANG Xu

Department of Intelligent Manufacturing Engineering, Chengdu College of University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan, 611731, China

**Abstract:** In order to enhance the intelligence of production lines in food and beverage enterprises and further improve their economic benefits. Taking the food and beverage industry in Yanjiang District, Ziyang City as the research object, this study analyzed the relevant policies issued by the government and established an analytical framework. Subsequently, samples were taken from some large and small food and beverage enterprises in Yanjiang District, and a mixed research method was used to obtain the main implementation methods of large enterprises and small and medium-sized enterprises choosing different intelligent paths, as well as the effectiveness and existing problems of enterprises in productivity, economy, and other aspects after implementation. This provides an effective reference for the implementation of specific plans in the process of intelligent transformation for subsequent enterprises.

**Keywords:** intelligent manufacturing policy; robot technology; food and beverage industry; mixed research method; intelligent path

### 引言

随着我国社会经济的高速发展,各个行业的智能化程度也日趋深化。近年来,国家数据局综合司出台了《数字中国建设 2025 年行动方案》,指出各地需要持续深挖人工智能技术并结合当地特点,应用于不同的场景,以达到驱动生产和生活向数字化转变的目标。与此同时,各个地方也积极响应,如 2025 年,成都市高新区数字经济局发布的《成都高新技术产业开发区关于支持人工智能(机器人)产业高质量发展的若干政策》,明确将食品饮料行业列为重点应用场景。重庆市城市治理委员会办公室数字重庆建设领导小组办公室发布的《重庆市人工智能赋能超大城市现代化治理行动计划(2025—2027 年)》提出了至少完成 7 个以上的 AI 赋能应用场景建设。由此可见,在智能制造政策驱动下,将人工智能应用于各个场景,对于助推行业高速发展,具有举足轻重的意义。

近年来,国内较多高校在该方面做了大量研究。例如:文献<sup>[1]</sup>通过对智能制造相关政策分析,提出了食品饮料领域在物流行业的作业中,机器人技术在产品包装、码垛以及搬运等环节对于作业效率的提升以及经济效益的优化;文献<sup>[2]</sup>分析了机器学习、图像识别等技术在食品行业

的质量控制以及销售预测等方面的作用,并提升了食品企业对产品链的管理和决策能力;文献<sup>[3]</sup>通过开发数据智能系统,提升了食品和饮料质量监管的效率,提升了食品监管的智能化程度;文献<sup>[4]</sup>利用大数据技术对库存进行精确调控,并建立食品和饮料信息的数据系统,对食品企业的库存量进行优化处理,达到了优化食品行业经济管理模式的目。从上述研究可以看出,目前国家出台的各项推动人工智能应用场景发展的文件中,食品与饮料行业也是人工智能应用的重要场景。同时,也有不少相关企业应用机器人技术,提升了企业的产品品质和管理效率。因此,本文以资阳市雁江区食品饮料产业为研究对象,研究政策驱动下,机器人技术的应用与产业升级的关系。

### 1 理论基础与研究框架

#### 1.1 核心概念界定

##### 1.1.1 智能制造政策

本文的研究对象为资阳市雁江区食品饮料行业,故从智能制造政策方面,主要以当地政府出台的相关文件为准。主要包括:技术补贴、标准规范、平台建设等政策。在本研究中,通过分析资阳市人民政府办公室出台的《资阳市支持工业智能化改造数字化转型八条政策措施》等相关文

件,明确指出,食品和饮料行业作为当地的重点特色领域,要打造数字赋能平台。同时,对于支持企业推广应用机器人、智能装备以及软件和控制系统等,进行车间的智能化升级,对于认定为国家级、省级智能制造示范工厂或智能制造优秀场景的企业,给予相关的经济奖励支持。故本文以相关政策为基础,分析资阳市雁江食品饮料企业机器人技术应用的驱动机制与适配性要求。

### 1.1.2 机器人技术融入机制

机器人技术融入机制,是指将机器人技术从引入到深度应用于食品和饮料产业生产的系统性过程,包含:技术选型、场景适配、成本控制、政策协同四大环节。其核心在于解决企业“不敢用、不会用、用不起”的转型困境。

### 1.1.3 政策-技术耦合

政策-技术耦合是指在政策的驱动下,食品饮料生产企业结合机器人技术的特性,利用机器人技术构建企业管理平台,并实施模块化的管理思路,降低生产成本,提升经济效益,形成政策和技术相匹配的良性互动。

### 1.1.4 机器人技术融入度

对于资阳市雁江区食品和饮料行业的机器人技术融入而言,首先需要建立评价指标,作为融入度的评价依据<sup>[5]</sup>。结合课题的特点,机器人技术融入度拟采用:渗透率、场景覆盖度以及经济性三个指标作为评价依据。

渗透率:即在雁江区的各类食品和饮料企业中,机器人设备的具体覆盖率。

场景覆盖度:在食品和饮料企业中,机器人的应用场景覆盖了产品生产环节的程度。按照产品生产的流程,可以从生产-质检-物流三个环节进行数据统计,以监测机器人技术应用场景的覆盖程度。

经济性:在企业投入机器人技术时候,其投资成本、投资回收周期(ROI)、利润等方面的效益。

## 1.2 分析框架设计

在基于智能制造政策的基础上,在具体的分析中,主要考虑推行的政策如何与企业的技术实现更佳的匹配、资源的投入情况如何安排、企业在操作中具体如何实施以及经济效益追踪等问题。考虑到上述因素,本文提出了基于“政策工具-技术属性-组织能力”的适配框架,如图1所示。即在技术融入的成效即非单一的技术先进性,而是从三个方面相结合的形式,来确定融入的具体成效,并适时进行优化。

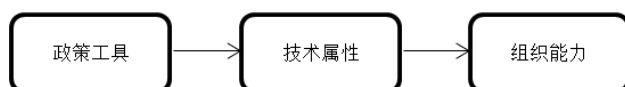


图1 分析框架

完成该分析框架后,下一步需要构建不同维度下的观测变量和观测方式,并进行合理的评价从而为适时观测效果和优化奠定良好的基础。以技术属性为例,可以采用模块化程度作为观测参数,并采用专家权重法对该指标进行评分。

完整的评价维度、观测变量以及测量方式如表1所示。

表1 测量维度及方式

| 维度     | 观测变量    | 测量方式             |
|--------|---------|------------------|
| 政策工具   | 供给型补贴强度 | 企业获补贴金额/年度设备投资额  |
| 技术属性   | 模块化程度   | 专家评分(1-5分)       |
| 组织能力   | 技术吸收能力  | 工程师占比×培训频次       |
| 技术融入成效 | ROI     | (人力节省+效率增益)/设备投入 |

## 2 研究设计与方法

### 2.1 案例选取

本文选择对资阳市雁江区食品饮料行业作为研究对象。主要原因在于,根据2024年资阳市雁江区经济科技信息化局的数据统计,食品饮料业占规上工业产值61%。在2024年的1~11月中,13户规模以上食品饮料企业实现产值20.3亿元,同比增长3.2%。故食品饮料行业的研究,对于该区域的产值具有举足轻重的意义。案例选取采取规模分层式抽样:选择2~3家规模较大的企业以及4~6家中小型企业作为样本企业进行采样、问卷调查等操作。

### 2.2 混合研究方法

对于样本企业的研究,主要采取混合研究法。即采取定量分析和质性验证相结合的方式进行研究。其中,定量分析主要是通过对调研企业发放问卷的形式进行信息整理,收集包括企业对于政策的落实率、机器人技术的融入度以及经济效益等。而质性验证则主要通过深度访谈的形式,针对企业在向智能制造方向转型过程中存在的问题进行调研,包括技术落地是否存在障碍、企业的运维能力是否存在缺口等。

## 3 实证分析

### 3.1 政策-技术适配断层

通过对采样企业进行混合研究方法的调研,其结果显示。超过半数的企业存在政策与技术匹配度不高的问题。即超过半数的企业根据政策获得了相应的补贴,但企业的自动化改造进度比较缓慢,有相当部分企业尚未完全完成机器人的自动化平台改造。主要原因在于,企业获得补贴之后,虽然按照要求对设备进行了采购和调试。但是,对于整个生产线的运行和维护方面,是比较忽视的。故导致设备虽然已经投入使用,但遇到变量时,例如:不同饮料的包装形状不同、尺寸不同,需要机械臂在操作时进行调整,甚至设备故障时,解决起来费时费力,尤其对产品多样化的企业,该问题尤其突出,在一定程度上影响了生产的效率。故需要从设备的运行和维护方面进行优化。

### 3.2 技术融入的差异化路径

虽然采样企业存在政策和技术匹配的问题,但随着智能化技术的融入,整体而言,企业的效率呈上述趋势。从研究的结果来看,智能化技术的融入,对于大企业和中小企业的影



表 2 技术融入的差异化效果

| 企业类别 | 技术方案                                                              | 改进效果       |
|------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 大型企业 | 全链路集成(视觉检测+AGV 物流)                                                | 生产效率提升 28% |
| 中小企业 | 模块化协作机器人为主, 单点突破<br>(在食品和饮料的某些生产环节<br>进行技术突破, 如某糕点企业的柔<br>性包装臂使用) | 初始成本降低 67% |

从表 2 所示的情况来看, 大型企业和中小型企业采用的机器人技术并不相同, 大型企业因为经济实力较强、产品多样化程度高, 多采取全链路集成的模式, 构建完整的生产线, 而中小企业则几乎没有进行完整生产线的革新, 而是根据自己企业的特点, 对产品生产的某些环节进行突破, 从而达到效率的提高。两种不同的技术融入路径, 均实现了生产效率的提升和成本的降低等目标, 从一定程度上来说, 达到了提升企业经济性的目的。

#### 4 结论

本文以资阳市雁江区食品饮料产业为研究对象, 分析了政策工具和技术属性的匹配关系, 并对雁江区的部分食品饮料企业采用混合研究方法进行研究, 得到了不同规模企业的智能化技术融入特点不同, 但均达到了显著提升生产率和经济性的目标的结论。同时, 也提出了智能化设备

使用后存在的运维问题。下一步工作, 将针对研究中发现的设备运维问题, 结合企业特点为企业建言献策并进行针对性优化, 从而进一步优化政策-技术融入-组织能力整个流程的结构, 实现该区域内食品饮料企业的经济效益进一步提升。

基金项目: 2025 年度资阳市社会科学规划课题项目-智能制造政策驱动下机器人技术在雁江食品饮料产业的应用路径研究 (ZY2025S0086)。

#### [参考文献]

[1]喜崇彬.食品饮料行业物流机器人技术创新与应用探索[J].物流技术与应用,2022,27(10):152-154.  
[2]毛明.人工智能技术在食品智能包装设计中的应用及创新实践[J].包装工程,2023,44(2):231-235.  
[3]左敏,王菲,宋绍义,等.智慧+食品监管”:发展历程、应用现状与未来方向[J].食品科学技术学报,2024,42(3):1-10.  
[4]赵长利.可持续发展视角下的食品行业经济管理模式[J].中外食品工业,2025(3):81-83.  
[5]魏芳芳.大数据背景下财务机器人在企业财务中的应用[J].中国管理信息化,2023,26(22):72-74.

作者简介: 王旭 (1982—), 男, 四川成都人, 教授, 硕士, 主要从事机电一体化方面的教学与研究。

## 现代机器人在汽车焊接生产线柔性化中的管理

杨 煊

安徽江淮汽车集团股份有限公司, 安徽 合肥 230001

**[摘要]**现代机器人于汽车焊接领域有着颇为显著的优势,其能够大幅提升生产效率,并且能够在关键部位达成高精度焊接,以此来确保工件定位的精准性以及焊缝质量的稳定性。机器人凭借可以反复执行的动作以及能够被控制的焊接参数,使得缺陷得以减少,返工情况也相应降低。与此机器人还能够与传感器以及机器视觉技术相结合,进而实时地对焊接位置和姿态做出调整。处在柔性生产的环境当中,机器人还能够迅速地去适应不同车型以及零部件的焊接方面的需求,实现工艺的快速转换,进而提高生产线所具备的灵活性。文章提出了较为合理的管理以及优化方面的建议,从而为提升焊接的质量以及生产效率给予一定的参考。

**[关键词]**现代机器人; 汽车焊接生产线; 柔性化; 管理

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17615

中图分类号: U468.2

文献标识码: A

## Management of Modern Robots in the Flexibility of Automotive Welding Production Lines

YANG Huan

Anhui JAC Group Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230001, China

**Abstract:** Modern robots have significant advantages in the field of automotive welding, as they can greatly improve production efficiency and achieve high-precision welding in key areas to ensure the accuracy of workpiece positioning and the stability of weld quality. Robots, with their repeatable actions and controllable welding parameters, reduce defects and correspondingly decrease rework situations. This robot can also be combined with sensors and machine vision technology to make real-time adjustments to the welding position and posture. In a flexible production environment, robots can quickly adapt to the welding needs of different vehicle models and components, achieve rapid process conversion, and which improve the flexibility of the production line. The article proposes reasonable management and optimization suggestions, providing some reference for improving the quality and production efficiency of welding.

**Keywords:** modern robots; automotive welding production line; flexibility; management

### 引言

随着汽车工业持续快速地发展,市场对于多样化、个性化的车型的需求也在不断地增加,在这样的情况之下,传统的那种刚性生产线已经很难去满足制造方面高效率、高灵活性以及高质量的要求了。汽车焊接属于整车生产当中极为重要的一环,其工艺是比较复杂的,对精度的要求也很高。传统的人工操作方式或者固定的流程生产线,在面对车型频繁地进行更换以及小批量生产这样的情形时,会存在着效率比较低、产品质量不稳定以及成本较高的诸多问题。在这样的大背景之下,现代机器人在汽车焊接生产线当中的应用便成为了实现柔性化管理的关键核心手段。机器人自身具备高速、精确并且能够重复作业的能力,而且还能够借助智能化编程、感知技术以及信息系统的融合集成,达成生产任务的动态调度以及工艺切换,进而能够在很大程度上提升焊接的质量、生产的效率以及柔性响应的能力。与此机器人和信息化、数字化管理系统相互之间深度融合之后,使得生产线可以实时地对各类生产数据进行采集、分析以及反馈,从而为柔性化管理给予科学方面的依据以及决策层面的支持。基于上述这些情况,全面

且细致地去研究现代机器人在汽车焊接生产线柔性化当中的应用以及管理事宜,一方面有助于对生产工艺加以优化,提升整车制造的整体水平;另一方面对于推动汽车制造业朝着智能化、绿色化以及高质量的方向不断发展也具有十分重要的意义。

### 1 汽车焊接中机器人应用生产线的基本特征

目前从汽车制造行业的发展趋势来看,该行业的竞争已经越来越激烈,这就要求汽车行业从基本质量来进行改进,使焊接的工作进度得到提升,以此来产生巨大的经济效益。在将用户需求量满足的同时,还需要进行市场扩大,因此要提升生产技术的柔性和弹性。但从根本信息来看,车身内部的结构和制造工艺会对乘客乘车的安全系数有影响。车身内部的构造是由多个冲压件在经过一系列工作的流程连接而成。但是现在机器人的出现,可以很好地使制造工艺提升,并且成本不高,安全性也得到了提升。机器人可以利用自身带有的特点,对控制器和电焊控制器进行完美的控制,对水汽供应也得到了充足,以此来实现对汽车内部的构造。焊接的柔性是由多个生产线组成的高端生产线,可以满足各个被焊工件焊接需求<sup>[1]</sup>。在以往的焊

接工作中,工作人员只能白天来进行焊接工作,但对机器人而言,他们可以不分昼夜的进行焊接工作。从工件的布置、到取件,所有的柔性焊接工作都可以顺利完成,节省了人力,实现的成本也得到了理想中的需求,大大提升了焊接工作效率。

## 2 柔性化管理的实现路径与关键技术

### 2.1 柔性化生产线的设计与优化思路

柔性化生产线的设计与优化工作要以“多品种、小批量、快换型、稳质量、低成本”这一目标为导向来展开相关事宜:从整体层面来讲,应当以节拍作为牵引力,去开展产线容量以及工序方面的分解工作,运用模块化单元还有可重构工位布局(像标准化定位基准、可调治具、通用末端执行器以及快速换型接口等),以此达成“即插即用”这种站间重组以及工艺拓展的效果;在工艺方面,要推动标准件以及工艺参数朝着平台化的方向发展,同时配合机器人离线编程以及参数化程序库,让不同车型、版本仅靠配方调用便能够完成切换操作;在计划与调度环节,需引入 APS/MES 一体化模式,联合实时采集到的节拍、在制品以及设备状态,展开动态线平衡以及瓶颈缓解相关工作,并且借合理的缓冲区以及分流策略来吸纳波动情况;在物流与供给方面,要安排布置 AGV/AMR 以及电子料架,进而实现按照节拍进行拉动以及防止错料出现的目的;在质量与过程控制方面,要配备视觉/激光跟踪、焊缝在线监测以及数据追溯等设施,依靠统计过程控制以及异常安灯来实现快速闭环效果;在工程实施阶段,借助数字孪生手段来进行虚拟调试以及变型模拟工作,提前对产能、路径以及碰撞风险加以验证,以此缩短上线所需的时间;在维护方面,以 TPM 以及状态监测作为基础,去优化 MTBF/MTTR,并且要兼顾能耗管理以及安全隔离区域的人机协同组织工作。

### 2.2 机器人柔性调度与工艺切换技术

机器人柔性调度以及工艺切换技术乃是达成汽车焊接生产线柔性化管理的关键所在,其中最为关键之处就在于凭借智能化的算法、模块化的工艺单元还有高效的软件平台来达成机器人于不同任务之间实现快速的切换以及动态的分配。具体来讲,柔性调度依靠实时数据的采集以及 MES、ERP 系统的协同运作,针对生产订单、车型结构、工艺参数还有设备状态展开综合性的分析,运用智能调度算法对机器人作业任务加以动态分配,如此一来便能防止因产品种类多样以及批量存在差异而引发的生产瓶颈出现。就工艺切换而言,依靠机器人末端执行器快速更换系统、通用夹具以及参数化焊接程序库,机器人可以在较短的时间内完成不同焊接工艺的切换,这无疑大幅提升了生产线对于车型更迭所具备的适应能力<sup>[2]</sup>。与此借助离线编程与仿真技术,企业能够在虚拟环境当中提前开展工艺验证以及路径优化工作,以此降低实际切换过程中出现

的停机时间以及调试成本。再加上人工智能与机器视觉技术的配合,机器人能够实现对工件的自适应识别与精准定位,进一步提高了调度以及切换过程当中的灵活性与精度。

### 2.3 信息化与智能化管理系统的支持作用

信息化以及智能化管理系统给汽车焊接生产线的柔性化打下了基础,也给予了技术方面的有力支撑。其通过达成设备相互连接、数据清晰透明以及智能决策等,极大地提升了生产线针对多种品种、少量批次以及快速更换型号的响应速度。具体来讲,凭借 IIoT/PLC 展开的实时数据采集加上边缘计算,可把机器人、传感器、焊机还有物料输送设备的状态、运转节奏以及质量参数迅速上报给 MES/APS/ERP 系统,进而实现从接到订单到实际执行的闭环式联动效果。MES 以及 APS 负责去做动态排产、线平衡以及资源调度等相关事宜,同时结合智能调度算法以及离线/在线编程机制,能够在极短的时间内完成工艺配方的切换以及路径的重新编排工作。数字孪生以及虚拟仿真会在正式投产之前开展工艺验证、碰撞检测以及换型演练等活动,以此来降低实际操作中的试错成本。机器视觉、焊缝在线检测以及统计过程控制(SPC)共同构成了质量闭环体系,能让异常情况得以快速被识别出来,并且触发参数的自适应调整或者回溯追溯等相关动作。

## 3 将现代机器人应用在汽车焊接生产线柔性化的具体体现

### 3.1 提升焊接工艺质量与精准程度

在汽车焊接生产线上,现代机器人应用有着极为突出的表现,其能大幅提升焊接工艺的质量以及精准度,这主要是因为机器人具备高度自动化且智能化的操作能力,在焊接作业进程中,机器人借助高精度传感器、激光跟踪、机器视觉以及实时监控系统,可达成焊缝的精准定位与轨迹把控,如此一来便规避了传统人工焊接时因操作不够稳定、存在疲劳情况或者经验方面存在差异而引发的焊缝出现偏移、产生气孔、形成裂纹等一系列质量问题,与此机器人凭借参数化编程以及自适应控制技术,依据工件材质、厚度以及位置的差异,可自动对电流、电压、焊接速度以及角度做出调整,让焊接过程更为均匀且稳定,进而保障焊缝的强度与一致性。而且机器人焊接还能够完成重复性相当高的动作,确保在大批量生产环节里每一个焊点的精度保持一致,大幅度提升整车制造的标准化程度,借助将实时数据采集与质量监控相结合的方式,系统能够即时察觉焊接缺陷并且反馈修正信息,有效减少返工以及报废的情况发生,进一步提高生产效率与质量的可靠性。

### 3.2 优化焊接的实际方案

在汽车焊接生产线走向柔性化的进程当中,现代机器人优化焊接的具体方案重点表现在工艺路径方面的优化、工装夹具方面的创新以及智能控制系统的集成运用等方面。一开始,凭借离线编程还有数字孪生技术,能够在虚



拟的环境里针对焊接路径、操作顺序以及工位布局展开仿真的相关操作并且加以优化,以此来保证机器人能够在最短的时间内顺利完成焊接方面的任务,与此同时还能规避掉焊枪出现干涉以及工件发生变形等情况,进而大幅度地提高生产的效率。接着,借助模块化且可调节的夹具设计方式,机器人便能够迅速地去适应不同车型以及不同部件在装夹方面的需求,减少了因为车型更替而产生的停机以及换型所花费的时间,提高了产线的柔性程度<sup>[3]</sup>。再者说,机器人所搭载的传感器、机器视觉以及激光跟踪系统,能够让其依据工件的实际位置以及存在的偏差做出自适应的调整,从而确保焊接位置以及焊缝质量的稳定状态得以维持。除此之外,在工艺优化这个层面上,依靠实时数据的采集以及大数据的相关分析,系统能够对焊接电流、电压、速度、气体流量等一系列参数实施动态的调节操作,达成对不同焊接工艺(像点焊、弧焊、激光焊等)最为恰当的匹配效果。把智能监控以及缺陷检测系统相互结合起来,那么焊接过程当中出现的异常情况就能够被及时地察觉到并且反馈回来加以修正,进而形成一种闭环的优化机制,进一步地提升焊接方案在稳定性以及可靠性方面的表现。

### 3.3 在汽车焊接生产线柔性化中机器人的作用表现

在汽车焊接生产线走向柔性化的进程中,机器人所发挥的作用重点体现在几个方面,一是能够提升生产效率,二是能增强对柔性的适应能力,三是可保障焊接质量的稳定状态。就提升生产效率而言,机器人凭借其高速且高精度的焊接操作,可以在确保工艺一致性不受影响的情况之下,把生产节拍大幅缩短,进而让整体产线的运转效率得以提高。在增强柔性适应能力方面,依靠机器人自身的可编程特性以及通用化的末端执行器,其能够迅速适应不同车型、不同零部件以及多种多样的工艺需求,在那种小批量且多品种的生产模式当中,展现出极为出色的柔性适应能力,有效地解决了传统生产线在面对频繁的产品迭代情况时所存在的换型困难、效率偏低等问题。在柔性生产里,机器人还承担着智能控制以及自适应调节的重要角色,通过配备视觉识别、激光检测以及实时监控系统等一系列装置,能够针对工件位置出现的偏差、焊缝间隙以及环境发生的各种变化展开自动修正,以此来保证焊接工作的精度以及稳定性。与此机器人还能够和 MES、APS 等信息化系统相互联动起来,达成生产任务的动态调度以及质量追溯的目标,进而为柔性化管理给予稳固的技术方面的有力支撑。

### 3.4 未来汽车焊接生产线柔性化中机器人的应用与发展方向

在未来汽车焊接生产线走向柔性化的进程中,机器人应用以及其自身的发展趋向会变得更加智能化、协同化还

有绿色化,这将有力地推动汽车制造朝着高效、柔性以及可持续发展的方向去演进。就一方面来讲,随着人工智能、机器学习以及大数据技术得以更为深入的应用,机器人在自学习、自优化以及自适应这些方面将会取得一定的突破,它能够通过实时对生产数据加以分析,不断地对焊接路径、工艺参数以及作业策略做出改进,达成从“被动执行”到“主动优化”的转变<sup>[4]</sup>。就另一方面而言,人机协作型机器人将会获得更为广泛的应用,因其操作具备灵活且安全的特点,所以它可以和工人一起完成那些复杂或者定制化的焊接任务,进而提升柔性生产所能适应的范围。与此 5G、工业互联网以及数字孪生技术相互融合之后,会让机器人和生产线实现高效的互联,能够支持远程监控、智能调度以及虚拟验证,如此一来便能够在多车型同时进行生产以及快速切换的场景下发挥出更大的优势。在可持续发展这个层面,未来的机器人会更多地采用节能型驱动以及绿色焊接工艺,把资源循环利用以及低碳制造的理念结合起来,以此推动汽车生产向着绿色工厂的方向去发展。

## 4 结语

现代机器人于汽车焊接生产线的柔性化管理方面起着极为关键的作用,其不光提升了焊接的精度以及工艺的质量,而且还大幅度提高了生产的效率以及生产线对于柔性适应的能力。借助智能调度、工艺切换还有信息化系统所给予的支持,机器人可以应对多种车型、较小批量以及快速更换型号的生产需求,达成生产任务的动态优化以及质量的稳定把控。与此机器人同数字化、智能化技术相结合,给生产线带来了实时的监控、数据的分析以及决策方面的支持,推动着汽车制造朝着高效能、智能化以及绿色环保的方向不断发展。在未来,伴随人工智能、机器视觉以及数字孪生等相关技术的持续应用,机器人在焊接生产线当中的作用将会更为凸显,这既有助于提升企业的竞争力,也为实现柔性化、智能化并且可持续发展的汽车制造给予了稳固的保障。

### 【参考文献】

- [1]邓文强.现代机器人在汽车焊接生产线柔性化中的管理[J].山东工业技术,2018(23):26.
- [2]车英芳.现代机器人在汽车焊接生产线柔性化中的应用员的管理[J].时代汽车,2018(4):38-39.
- [3]张喆.机器人在汽车焊接生产线柔性化中的应用分析[J].科技风,2017(9):21.
- [4]张香彬.机器人在汽车焊接生产线柔性化中的应用[J].科技风,2013(10):111.

作者简介:杨焕(1984.7—),毕业院校:合肥工业大学,所学专业:车辆工程,当前就职单位:安徽江淮汽车集团股份有限公司,职务:工程师,职称级别:中级。

# 征 稿

Call for Papers

《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](http://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](http://www.viserdata.com)

