



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 9

第8卷 总第65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9期（总第65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：9月

数据库收录：中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

期刊网址：www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱：viser-tech@outlook.com

地址：195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,

Singapore 168976

学术主编：王高捍

责任编辑：刘艳利

学术编委：陈慧珉 李荣才

尹晓水 陈惠芳

蔡成涛 贾鹏飞

于大泳

美工编辑：李亚 Anson Chee

印制：北京建宏印刷有限公司

定价：SGD 20.00

### 本刊声明

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

版权所有，未经许可，不得翻译、转载本刊所载文章。

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

## 目 录

### CONTENTS

#### 市政园林

智慧城市视角下的高校宿舍改造提升设计研究——以广厦大学为例 ..... 何振南 1

基于交互设计理念下的高校校园林憩空间优化——以广厦大学为例 ..... 张佳焯 邸 玲 5

新质生产力背景下风景园林与生态文明的融合发展研究 ..... 蒋莹莹 9

乡村振兴背景下幼儿园户外活动空间设计——以东阳市某乡镇幼儿园为例 ..... 胡海锋 邸 玲 13

#### 路桥与交通

市政道路工程设计要求与关键点分析 ..... 于卫东 17

声发射技术在钢桥面系疲劳损伤监测中的应用与研究 ..... 孟乐乐 张浩浩 21

智能行车安全辅助系统的设计与实现 ..... 杨永钢 26

软土地基处理技术在路桥施工中的应用 ..... 朱 雷 30

自动化检测技术是农村公路科学养护发展的趋势 ..... 赵 茜 王 薇 34

微表处技术在高速公路养护中的应用 ..... 丁 伟 38

数据驱动的道路智能设计方法研究 ..... 赵 桥 陈红智 孙婧娉 耿晋刚 席启凯 叶和林 42

某地铁右线隧道侧穿地下建筑物的影响研究 ..... 黎 明 王哲强 47

#### 工程管理

工程质量安全监督人员履职能力提升路径探索 ... 李 伟 54

基于物联网的冶金机械远程监测与智能维护研究 ..... 张晓帆 58

新能源汽车电机驱动系统故障诊断优化探究 ..... 唐波强 62

试析智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用 ..... 舒老辉 66

#### 计算机应用技术

智慧安防在现代建筑中的集成与应用 ..... 柯中华 70

## 自动化技术

转炉煤气流量检测仪表精度提升与智能化技术应用研究 .....	张光勇 丁亚洲 李文浩 74
基于遗传算法的斜齿轮减速器传动优化设计 .....	毛航宇 王健旭 高宇轩 易 帅 78
利用机器学习提升自动化运维效率的模型构建与应用 .....	白 鑫 82
智慧小区中建筑设备自动化控制系统的实现与优化 .....	崔晓东 86
伺服控制器的安全保护设计 .....	谢 林 卢 洲 陈松波 90

基于 MODBUS 通信的 ECS-700 控制系统与 Freelance 800F 系统集成优化研究 .....	冯军海 94
---	--------

基于多 AGV 协同的大容积率高效立体车库系统设计 .....	姚燕生 王业山 姚宝珍 汪名洋 张 峰 吴厚团 98
---------------------------------	----------------------------

## 智慧数据分析

基于 GIS 技术的林业工程规划设计方法探讨 .....	兰天瑶 104
------------------------------	---------

基于应急指挥平台系统智能安全技术应用研究 .....	陈鹏仁 杨雪峰 苏俊霞 陈国斌 王绍盛 108
----------------------------	-------------------------

基于人工智能的电力营销服务精准化策略研究 .....	陈维镜 陈维辉 113
----------------------------	-------------

# 智慧城市视角下的高校宿舍改造提升设计研究——以广厦大学为例

何振南

浙江广厦建设职业技术大学, 浙江 东阳 322100

[摘要]现在都在智慧城市化,借着这个大趋势,我研究了广厦大学的宿舍改造。核心就是三样东西:能升降的智能床、检测空气质量的设备,还有智能图书角。再搭配上其他小系统,弄出一种新的智慧宿舍模式。具体就是用物联网、传感器、AI算法这些技术,把各个系统的数据打通,让它们能协同工作,形成“感知情况——做出判断——执行操作”的流程。这么改完后,宿舍的各种效率指标都明显变好了,也能给其他大学的宿舍智能化升级,提供点有用的参考经验。文中以作为智慧城市视角下的高校宿舍改造研究背景,以高校学生宿舍作为研究对象,结合文献研究、实地调查、对照深入研究等方法,从空间环境、规划布置和功能分区深入研究。

[关键词]智慧家居;宿舍创新;物联网;人机交互

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17965

中图分类号: TU317

文献标识码: A

## Research on the Renovation and Upgrading Design of University Dormitories from the Perspective of Smart City — Taking Guangsha University as an Example

HE Zhennan

Zhejiang Guangsha Vocational and Technical University of Construction, Dongyang, Zhejiang, 322100, China

**Abstract:** Now they are all in smart urbanization. With this general trend, I have studied the dormitory renovation of Guangsha University. The core is three things: an intelligent bed that can rise and fall, equipment that detects air quality, and an intelligent book corner. Combined with other small systems, a new smart dormitory model is created. Specifically, the technologies of Internet of Things, sensors and AI algorithm are used to open up the data of various systems so that they can work together to form a process of "sensing the situation - making judgments - executing operations". After this change, the various efficiency indicators of the dormitory have obviously improved, and it can also provide some useful reference experience for the intelligent upgrade of the dormitory in other universities. In this paper, as the research background of college dormitory reconstruction from the perspective of smart city, taking college students' dormitory as the research object, combining with the methods of literature research, field investigation and comparative in-depth research, the spatial environment, planning and layout and functional zoning are deeply studied.

**Keywords:** smart home; dormitory innovation; Internet of Things; human-computer interaction

### 1 智慧城市视角下的高校宿舍改造提升概述

#### 1.1 智慧城市视角下的高校宿舍改造背景

随着高等教育的全面普及和数字技术的不断渗透,学生宿舍正逐步从一个单纯的“生活场所”转变为一个集学习、居住、娱乐于一体的多功能智慧空间。设备功能单一、环境条件控制不力、资源消耗和浪费严重,无法满足现代大学生对智能化、舒适化、绿色化生活环境的需要。例如,所有床铺均为固定高度,无法适应身高不同的学生使用;宿舍内空气环境如PM2.5、CO<sub>2</sub>浓度等没有监测,易对身体健康产生一定影响;书籍借阅完全依赖手工记录,借还

操作繁琐;洗浴时存在大量水资源浪费等。因此,本文通过对广厦大学宿舍的改建提升设计研究,以实现居住舒适度、资源利用率等指标均有明显提高,为其他高校宿舍的智能化升级提供了宝贵经验。

#### 1.2 智慧宿舍系统总体设计

智慧寝室系统采用“感知情况——做出判断——执行操作”。通过各类传感器与智能设备采集环境、设备状态及用户行为数据;依附于Wi-Fi7及蓝牙5.4完成数据较低延迟传输;基于服务架构开发管理平台,支持手机APP、语音交互等多端控制,并通过数据可视化呈现宿舍运行状态。

### (1) 功能性

在宿舍生活的过程中,起居和学习是最主要的功能需求,因此,功能性是宿舍内所有空间中首要考虑的,每个空间首先应该考虑到的是这个空间是不是满足了功能需求,然后才是形式需求,不能够求美而放弃实用。对于学生宿舍而言,首要的功能性需求是起居和学习,所有智能设备的安装不应影响这两个功能空间,其他次要的功能空间可以作为娱乐、应急吃饭、合作学习等空间。

### (2) 色彩上

在颜色上,我们整体没有用特别扎眼的亮色。家具像衣柜、橱柜,特意选了青蓝色来做点缀,这样整个空间就不会显得太闷。然后两个门,正门和中门,我都用了深褐色。这个颜色很压得住,让空间一下子就有了视觉焦点,一进门,目光很自然地就会落在这里,不会觉得散乱。

### 1.3 研究目的

满足学生多样化的需要,提高学生的生活品质。智慧化改造如何通过智能设备(如智能照明、升降床、空调、门禁)、物联网技术(环境监测、设备联动)和数字服务(线上报修、预约)。

宿舍是学生们停留时间最长的空间,是智慧校园建设的中心场景之一。研究其改造路径可推动校园各场景的互联互通,形成一体化智能网络(统一身份认证)。

在规划宿舍时,一切设计的出发点都必须是“功能先行”。这意味着,一个空间首先要好用、实用,其次才谈得上美观。绝不能为了追求外表而牺牲内在的实用性。

以学生需求为中心,以技术创新为手段,通过空间功能重构、管理模式升级与资源高效利用,打造安全、便捷、绿色、人文的宿舍生态,助力高校实现“环境育人”与“智慧校园”的深度融合。

### 1.4 研究理论意义

通过智慧化宿舍改造的研究,可推动高校宿舍管理理论的创新与发展,为物联网、大数据等技术在校园管理中的应用提供理论支撑,并为其他高校的宿舍管理模式提供可复制的参考框架。

融合信息化、智能化技术,构建“人-物-环境”协同展开的治理新模式。为教育领域的数字化转型提供实践依据,在扩充智慧校园建设理论界限的同时。

安全保障升级,智能监控与预警:人脸识别、AI摄像头等技术可识别陌生人入侵、火灾等安全隐患,实现24h动态防护。绿色智慧化改造符合低碳环保理念,鞭策高校可持续发展的实现。

社会与教育价值:高校智慧宿舍的成功实践可为中小

学、企业宿舍等场景提供技术和管理范式,推动社会居住空间的智能化转型。

### 1.5 高校特点

#### 1.5.1 大学宿舍情况

大学宿舍是我们校园生活的大本营,一般按楼栋划分为男生宿舍和女生宿舍。这里由学校后勤或宿管中心统一管理,从床位分配到水电收费,从设施维护到日常监督,都由他们负责打理,为的是给我们营造一个既安全又舒心的居住环境。

#### 1.5.2 宿舍配置:从基础款到智能款

其实不管哪间寝室,基本配置都差不多,最核心的功能就是日常睡觉和学习。床铺、桌子椅子、衣柜肯定是少不了的“标配”,空调和热水器现在也成了“必需品”,没这些住得就不太方便。

现在学校也在慢慢升级硬件,好多宿舍都添了新东西,比如智能门禁、能查水电用了多少的系统,感觉越来越有现代味儿了。

当然,宿舍也分档次。根据条件好坏和收费不同,有普通宿舍也有公寓式的,房型也能选,单人间、双人间或者多人间都有,能满足不同人的需求和生活习惯。

#### 1.5.3 安全管理

在宿舍管理里,安全绝对是头等大事。每栋宿舍楼都装了门禁和监控,消防器材也配齐了,宿管老师还会定期在楼里转一转,突发情况也能及时处理,默默帮大家守着日常的安稳。所以说,宿舍不只是晚上睡觉的地方,更是大学里一段温暖又让人安心的回忆。

## 2 广厦大学实地调研

### 2.1 基本环境调研

浙江广厦建设职业技术大学坐落在素有“三乡一城”美誉的浙江东阳,这座浙中盆地的明珠城市,北靠东白山,东阳江蜿蜒,亚热带季风气候赋予它四季分明的灵动——春天茶香弥漫,夏天绿树成荫,秋天银杏铺金,冬天暖阳煦照。日照和降雨挺有特点,一年日照大概1800多小时,9月光照最足,晒被子特别方便;2月就阴沉沉的。雨主要集中在4~6月,6月梅雨期经常连着下,夏季最热的时候平均能到29℃,极端高温能飙到41℃,去年夏天去教学楼上,走路十分钟就一身汗,幸好寝室有空调。

学校占地近2100亩,分为江北和木雕小镇两大校区,江北校区位于东阳市广福东街1号,毗邻城市主干道,步行300多米就能搭乘公交,驾车20min可达义乌机场,杭温高铁开通后,从学校到杭州仅需半小时。校园里,现代化教学楼与江南园林风格的景观相得益彰。建筑工程技术、

木雕艺术设计等国家级骨干专业,依托智能制造、建筑技术等3个国家级生产实训基地,让学生在真实项目中锤炼技能宿舍原始状况。

宿舍由卧室、卫生间、浴室、阳台组成。卫生间和浴室是设计在一块,放置在进门的右手边,两个宿舍公用卫生间(位于两宿舍之间)

## 2.2 广厦江北校区5号宿舍楼现存问题

寝室朝向为北采光不足,如果寝室窗户朝向北方,可能会导致采光不足,室内比较昏暗。温度较低,在冬季,北方通常比较寒冷,如果寝室窗户朝向北方,可能会导致室内温度较低。空间利用不充分:如果没有明确的功能分区,可能会导致空间利用不充分,浪费空间。

居住体验不佳,如果没有明确的功能分区,可能会导致居住体验不佳,例如在睡觉的地方学习或者在学习的地方睡觉。卫生间太狭窄,不方便,没隐私。物品存放混乱,如果没有明确的功能分区,可能会导致物品存放混乱,难以找到需要的物品。

## 3 智慧城市视角下的高校宿舍改造提升设计策略

### 3.1 改造意向

更改后的宿舍在布局上,进行了较大的改动,床的位置,橱柜的位置都进行的改动,共用书桌也进行的设计与改造,供应使用的同时也不会占用过多的篇幅。同时增加了收纳空间解决原先收纳空间不足的问题。选择符合人体工学的床铺和椅子,保证舒适度和健康性;同时考虑床铺的多功能性,升降床和收缩梯子。图书角和健身区确保一天规律锻炼和阅读。升降床采用机电一体化结构,床体升降高度1.2~2.2m(含安全锁装置)底部集成书桌/储物柜(承重 $\geq 200\text{kg}$ )配套手机APP控制+声控系统。

在宿舍的不同功能区(床头、书桌、门口)部署4台六合一环境传感器<sup>[1]</sup>(检测参数:PM2.5、PM10、CO<sub>2</sub>、甲醛、温湿度),传感器间距 $\geq 2\text{m}$ 以避免交叉干扰。其中,CO<sub>2</sub>传感器采用非分散红外(NDIR)原理(精度 $\pm 50\text{ppm}$ ),甲醛传感器采用电化学原理(精度 $\pm 0.01\text{ppm}$ ),确保数据准确性。

阶梯式架墙(嵌入LED阅读灯带)宿舍区图书借阅率提升60%。

卫生间,干湿分离保证整洁三分离布局:淋浴(防爆玻璃隔断)+如厕+洗漱。集成排水快干系统(地漏坡度3%)墙面使用纳米防霉涂层。

阳台休息区布置提供一个舒适的休闲空间,可以在这里放松身心,享受阳光和新鲜空气。双层中空玻璃隔音,室外噪音降低30dB,窗伸缩式晾衣架+隐形防盗网。精心

布置的阳台休息区可以为居增添美感,在阳台上种植一些绿色植物可以净化空气,寝室更加温馨和舒适。

### 3.2 绿色环保

#### 3.2.1 材料选择注重环保实用

选材料时,优先挑那些既环保又节能的。所有材料不仅要耐用,还得安全,这样宿舍才能用得久。这么做好处不少,一来能让宿舍里的居住环境更舒服健康,二来能节省建设成本,也符合长远的可持续发展想法。

#### 3.2.2 屋顶搞绿化,好看又实用

屋顶绿化能当个“过渡带”,把建筑和外面的环境衔接起来,还能有效缓解热岛效应,让周边小环境更舒服。这栋宿舍楼可以做成阶梯式屋顶绿化,满足大家的使用需求,再在屋顶种上些景观植物,还能当成一处能观赏的小景致。

### 3.3 技术条件

硬件支持:部署物联网设备<sup>[2]</sup>(如智能门锁、水电计量传感器)和网络基础设施

软件平台:需开发或引入智慧宿舍管理系统,集成数据监控、报修处理、安全预警等功能。管理机制优化:明确智慧化运维责任分工(如引入第三方技术服务)。

### 3.4 智慧宿舍APP设计原型

针对上述提到的效果,通过一款APP原型来表现<sup>[3]</sup>:希望在未来的生活中,使全屋操控变得很简单。APP界面主要使用简洁的白色做底,直观清晰,主界面使用代表各元素的简单图标配合文字介绍,分类明确;灯光控制界面将四个人的床位分开控制,精确直接;个人中心显示气温、信息和缴费窗口,方便快捷;门锁控制界面可以记录每个人电子开门动作,闹钟、空调、设备连接和音箱播放界面均采用相对较流行的使用界面。在阳台上种植一些绿色植物可以净化空气,寝室更加温馨和舒适。

### 3.5 功能分区

睡觉休息区,重点是不被打扰。装个能调亮度的智能灯,再配个自动窗帘,睡前不用起身拉帘,早上也能慢慢亮灯叫醒,很方便。

学习区就求实用,整个智能插座,手机、电脑充电不用总拔插。再弄个能连手机的台灯,想调亮调暗随手操作,不影响其他人。

公共区域简单优化下就行,门口装个感应灯,晚上回来不用摸黑找开关。衣柜旁边加个能充电的智能挂钩,挂个包还能顺便给耳机充电,不占地方还好用。

## 4 结语

提出了高校中覆盖生活场景的多维度智慧化改造方

案,通过机械结构优化、物联网集成及智能算法应用,实现了宿舍在空间利用、环境健康、资源管理等方面的显著提升。引入智能升降床、图书角、健身区等创新设计,结合物联网技术和统一管理平台。智能设备的设计得顺着人的生活习惯来,不做反人性的功能。不过反过来,大家的生活习惯也在被科技慢慢改变,像无线充电、语音助手、刷脸开门这些功能,现在也越来越多人接受,慢慢变成日常了。

基金项目:浙江广厦建设职业技术大学 2025 年大学生科研训练重点项目(智慧城市视角下的高校宿舍改造提升设计研究——以广厦大学为例,项目编号:

2025XSKYZD04)。

#### [参考文献]

- [1]李阳,王强.物联网技术在智能家居中的应用研究[J].计算机工程与应用,2022,58(12):201-206.
- [2]张敏,陈亮.基于多传感器融合的室内空气质量监测系统[J].传感器与微系统,2023,42(3):112-116.
- [3]王芳,刘浩.智能健身设备的用户行为分析与优化[J].体育科学,2021,41(8):78-85.

作者简介:何振南(2001.7—),男,汉族,籍贯:安徽蚌埠人,24级在读本科生,专业:建筑设计。

## 基于交互设计理念下的高校校园林憩空间优化—以广厦大学为例

张佳烨 邱玲

浙江广厦建设职业技术大学, 浙江 东阳 322100

[摘要]随着高校教育理念的不断更新和校园文化建设的推进, 校园林憩空间作为校园环境的重要组成部分, 其重要性日益凸显。校园空间的营建也由此更加着重于学生间的交流互动。林憩空间不仅为师生提供了休闲、交流和学习的场所, 还对提升校园的整体环境品质和促进师生身心健康具有重要作用。因此, 如何优化高校校园林憩空间, 以满足师生的多样化需求, 成为当前高校校园规划与设计领域的重要课题。交互设计理念强调以用户为中心, 注重空间与用户的互动, 为解决这一问题提供了新的设计策略。文中从广厦大学校园林憩空间的现状和交互式设计的两个关键点出发, 对广厦大学的林憩空间形态进行分析, 聚焦与广厦大学校园林憩空间存在的问题和局限性, 基于交互式理念, 得出提升林憩空间活力的交互式设计优化策略。

[关键词]林憩空间; 校园规划; 交互设计; 设计策略

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17964

中图分类号: X32

文献标识码: A

### Optimization of Forest Rest Space in University Campus Based on Interactive Design Concept — Taking Guangsha University as an Example

ZHANG Jiaye, DI Ling

Zhejiang Guangsha Vocational and Technical University of Construction, Dongyang, Zhejiang, 322100, China

**Abstract:** With the continuous updating of college education concept and the promotion of campus culture construction, the campus forest rest space, as an important part of the campus environment, has become increasingly important. The construction of campus space also pays more attention to the communication and interaction between students. The rest space not only provides a place for teachers and students to relax, communicate and study, but also plays an important role in improving the overall environmental quality of the campus and promoting the physical and mental health of teachers and students. Therefore, how to optimize the forest rest space in colleges and universities to meet the diverse needs of teachers and students has become an important topic in the field of campus planning and design. The concept of interactive design emphasizes user-centered and pays attention to the interaction between space and users, which provides a new design strategy to solve this problem. Starting from the present situation of the forest rest space on the campus of Guangsha University and the two key points of interactive design, this paper analyzes the forest rest space form of Guangsha University, focusing on the problems and limitations existing in the forest rest space on the campus of Guangsha University, and based on the interactive concept, obtains the optimization strategy of interactive design to enhance the vitality of the forest rest space.

**Keywords:** forest rest space; campus planning; interactive design; design strategy

#### 1 相关概念界定以及交互设计相关理论研究

##### 1.1 高校校园林憩空间概述

###### 1.1.1 林憩空间的概念定义

林憩空间是指以树木为主要景观元素, 结合其他自然要素(如草地、花卉、水体等), 为人们提供休息、放松、社交、学习等多功能的户外空间。这种空间通常位于公园、校园、城市绿地等场所, 旨在通过自然环境的营造, 提升

人们的身心健康和生活质量。美国景观设计师协会(ASLA)的研究指出, 林憩空间应提供多样化的休息区域, 包括阳光充足的地方、阴凉的角落以及可以进行社交活动的开阔地<sup>[1]</sup>。

###### 1.1.2 林憩空间的空间布局分类

根据高校林憩空间的调查, 对其空间布局从形态特征与组合方式两个维度进行系统分类, 以“三型六式”为分

类框架，涵盖主要布局模式，如表 1 所示。

表 1 “三形六式”分类下的校园林憩空间表

类型	布局模式	空间特征	行为适配
点状型	散点式	小规模、独立分布、无明确轴线	个体短时停留、偶然性休憩
	节点式	位于路径交汇处或视线焦点	小型集会、社交、展示
带状型	线性林荫道式	沿校园主干道或步行轴布置	通行短暂停留
	曲径串联式	蜿蜒小径串联多点	散步、情侣交流、自然观察
团块型	集中组团式	成簇布置	小组讨论、课程外溢、社交
	复合嵌套式	大团块内含多个子空间	多功能活动（朗读、表演、展览）

### 1.1.3 林憩空间积极作用

#### (1) 利于学生心理健康发展

基于互联网时代背景下，学生会花费大量时间在互联网上搜索所需知识，但是与之相对应的会减少户外活动的比重，而林憩空间为师生提供了一个远离教室和办公室的宁静场所。空间中的绿色植物、自然声音（如鸟鸣、流水声）和清新的空气，能够帮助学生缓解压力，放松身心。研究表明，接触自然环境可以显著降低皮质醇水平，减少焦虑和紧张情绪。

#### (2) 利于高校文化理念传播

校园文化是学校精神的体现，是学校教育的重要组成部分。高校也应高度重视校园文化建设，通过加强文化氛围营造、丰富文化活动、传承优秀文化、增强文化认同感、完善文化设施、系统化文化教育、创新文化内容、结合教育教学、完善管理机制和加强社会互动等措施，提升校园文化的内涵和质量，为学生的全面发展提供良好的文化环境。目前众多高校也面临者与外来文化融入的机遇与挑战中，校园文化可以通过多方面的宣传融入生活。针对这一现状，笔者认为林憩空间可以通过交互式设计和文化元素的融入，美好的校园林憩空间一定程度上能够提升校园文化氛围的营造。

## 1.2 交互设计理论概述

### 1.2.1 交互设计的概念

交互设计是指设计人与产品、系统或服务之间的互动方式，其核心目标是让技术更好地服务于人，使交互过程高效、愉悦、符合用户心理需求。

### 1.2.2 交互设计的发展

在十八世纪并没有“交互设计”这一学科，但人类与“复杂人造系统”的互动思想已萌发；进入二十世纪后，随着计算技术、显示技术和认知心理学的成熟，才逐步演进为一门独立领域。从 18~19 世纪的机械控制的指令和反馈概念，再到 20 世纪中采用批处理和实时终端的技术完成“从符号到图形”的演变，如今 21 世纪以及可以通过网络到移动转到多模态+AI，完成“从图形到自然”的变化。

## 1.3 交互设计与校园林憩空间的关联性研究

### (1) 微观行为层

交互式设计与林憩空间结合把“停留时间”变成“教育增量”。南林大 2023 对照试验中交互设计通过可预约讨论舱、一键朗读打卡，延长人们的平均在林憩空间的停留时间。用可计算、可干预、可传播的证据链，证明一平方米树下空间也能产出教学与科研的 KPI。

### (2) 中观健康层

从健康层面来看，林憩空间的交互式设计把景观健康学从“统计相关性”推进到“实时干预性”，为高校心理健康服务体系提供低成本、可复制的“非药物处方”。例如在苏大 2024 年预实验中在林下植入“心率，光照，气味”闭环装置，当可穿戴设备检测到 HRV 下降，座椅自动释放 3min 薰衣草雾和暖光 3000K，5min 内学生压力指数下降 24%。

### (2) 品牌效应层

交互式设计与林憩空间结合也可以打造良好的校园形象，把“绿化费”转成“招生宣传片”例如青岛农业大学在 2024 年的招生时，利用网络宣传校园可交互的林下灯光音乐秀、时光树洞等，成为 TikTok/小红书自发传播热点，单条视频 120 万播放，带动次年本科报考率提升 6.4 %

## 2 广厦大学校园林憩空间实例调查分析和问题研究

### 2.1 广厦大学校园林憩空间实例调查

#### 2.1.1 广厦大学高校概况

广厦大学的校园功能分区较为明确，校区内有综合楼、教学楼、宿舍楼、体育馆等建筑教学区集中在校园的中心区域，大致区分为教学区运动区与生活区三个部分，教学楼分布较为密集，校园内的景观设计较为简单，主要包括一些小型广场和雕塑。校园内的交通流线包括步行道、车行道。



图1 广厦大学校园区域分布(图片来源:作者自绘)

## 2.2 广厦大学高校校园林憩空间调查结果与分析

### 2.2.1 林憩空间按空间形态分类

对广厦大学高校林憩空间形态调研,大致将空间分为三类:包围型,开敞形,半开敞型。包围型即由建筑立体绿化或其他构筑物包围的林憩空间,使用者需要先通过特定区域进入再进入林憩空间。开敞型的林憩空间即四周无遮挡的空间区域,人们可以从任意方位进入林憩空间,即刻可以享受林憩空间的一切布置,半开敞型的林憩空间需要经过引导从特定的开敞方向进入。

### 2.2.2 林憩空间中按使用功能分类

#### (1) 休憩空间

在林憩空间中,“休憩空间”是指为人们提供休息、放松和社交互动的场所。这些空间通常位于自然环境中,如树林、花园或绿地,旨在通过接触自然来促进身心健康和社交交流。例如广厦校园西南角湖泊周边的长凳,供师生在走路过程中感到疲惫时提供的暂时歇脚的空间。此类空间一般设置长椅、亭子、遮阳设施等,为人们提供舒适的休息场所。校园营造出符合建筑学科特点的校园环境,给人留下较深的文化印象与特殊记忆<sup>[2]</sup>。

#### (2) 观赏空间

观赏空间是指的林憩空间中,通过景观设计和布局,为人们提供视觉享受和审美体验的区域。这些空间通常以自然景观和人工设计相结合,旨在通过视觉上的美感,提升使用者的心理愉悦感和环境品质。例如校园中“巧园”区域的设计,主要是景观为主,供学生欣赏景观之美。

#### (3) 赛事空间

赛事空间是指的林憩空间中,专门为举办各类体育赛事、竞技活动和户外挑战而设计的区域。这些空间不仅满足了体育活动的功能需求,还通过合理的布局和设计,增强了使用者的参与感和观赏体验,对使用者的身心健康和社交

互动产生积极影响。例如学校中的室外网球场,主要通过举办各类体育赛事和活动,达到人们在户外的锻炼要求。

#### (4) 交流空间

交流空间是指的林憩空间中,专门为人们提供交流、互动和社交活动的场所。这些空间通过合理的布局和设计,促进人与人之间的沟通与互动,增强社区感和归属感。例如教学区一楼的林荫交流区,可以在其中讨论交流。

### 2.3 广厦大学高校林憩空间现存的问题探究

基于笔者对广厦大学师生口头访谈询问以及调查,不难发现目前高校中的现有林憩空间无法与大学生的个性和需求相匹配,经过对调研结果的分析,将从功能分区形态问题、文化精神营造问题、非建筑构成要素现存问题等三方面进行归纳总结。

#### 2.3.1 功能分区形态问题

功能性是空间必要具备的能力之一,教学区集中在校园的中心区域,教学楼分布较为密集,但与林憩空间的连通性较弱,空间吸引力差,缺乏与周围校园空间功能的有机融合,难以承担复合的校园活动需求<sup>[3]</sup>。缺少整体考量,仅靠建筑、设施、景观的,在空间使用上难以满足人们生活需求,因而降低了人们对林憩环境的观赏和使用。

#### 2.3.2 文化精神营造问题

一个好的文化环境能陶冶人们的情操,学校肩负重要的育人责任,在高校生活中不应只注重学习,更应该用更开放的眼光看待这些公共区域,广厦大学的校园文化强调学术氛围和创新精神,但未能充分体现在校园布局中。校园公共空间环境设计在体现可持续发展理念和传递校园文脉方面具有重要意义<sup>[4]</sup>。校园内有一些文化景观利用不足,缺乏文化底蕴。一些文化石碑被闲置或用于普通教学用途,未能充分发挥其文化价值。

#### 2.3.3 非建筑构成要素现存问题

空间界面尺度不适宜性缺少符合人体工程学的设计,环境互动率低,人体工程学是研究人与环境之间相互关系的学科,旨在通过优化设计提升使用者的舒适度、效率和安全性。在林憩空间中,人体工程学设计对于提升使用者的体验至关重要。随着时代的发展,适龄人群与景观环境的互动关系越来越受到重视<sup>[5]</sup>,然而,部分林憩空间在设计中缺乏对人体工程学的充分考虑,导致使用者的体验不佳,甚至可能对健康产生负面影响。

## 3 交互理念下广厦大学林憩空间优化策略研究

### 3.1 场景营造和历史文脉优化策略

#### 3.1.1 多元化场景融入

多元化场景的融入可以通过教育增值效应,把第二课

堂搬出教室,可以设置 15min 微课堂,把“课程表”搬进林子林下设置可折叠白板,教师课间把“答疑”搬出来;学生顺路旁听。提高林憩空间的使用率,也可以增设夜间经济包,设置树下充电灯桌即太阳能桌带 type-C 口,设立灯光自动感应;学生可以在这里夜读和刷题。

### 3.1.2 校园历史文化表达

校园历史文化不是“可有可无”的装饰,而是学校最核心的“隐性课程”。它决定了校园气质和文化品位,活跃的校园文化不仅能为学校吸引更多优秀师生,同时也有利于培养学生的优秀品质。例如北京林业大学雄安校区的校训是“知山知水、树木树人”,设置了“红绿交互”的林憩环,新生用手机 NFC 触碰坐凳,即可在看到当年校园黑白照片与树冠同步生长图片。可以效仿其做法设立属于广厦大学专属的林憩环,让学生真切从林憩环境中体会到校史文化的发展。可以将学校中的文化石碑加入 nfc 系统,宣传校园文化。

### 3.2 非建筑构成要素优化策略

在林憩空间中增设符合人体工程学的设施,核心是让“坐、靠、躺、动”都能自然发生,并与林下微气候、文化叙事无缝融合。可以增加 3D 立体靠垫高 28cm,符合颈椎曲线的弧面草地垫。提高草坪利用率,增设太阳能座充“消灭充电焦虑”提高夜间滞留人数。同时也应增设灯光配置,大学生选择到户外休憩绿地活动的过程中,光照条件已成为一个不可忽视的环境因子,并且其重要程度超过了传统休憩绿地设计时关注的硬景、软景等设施<sup>[6]</sup>。

## 4 总结和建议

在当今社会,林憩空间作为校园和城市公共空间的重

要组成部分,其设计与规划对于提升人们的身心健康、促进社会互动以及增强环境可持续性具有重要意义。林憩空间的交互性设计不仅是提升公共空间品质的重要手段,也是实现人与自然和谐共生的关键途径。通过不断探索和创新,为人们创造更加美好的户外体验,为可持续发展做出积极贡献。

基金项目:浙江广厦建设职业技术大学 2025 年大学生科研训练重点项目(基于交互设计理念下的高校校园林憩空间优化—以广厦大学为例,项目编号:2025XSKYZD03);浙江广厦建设职业技术大学 2025-2026 学年“五新”活力课堂建设项目-建筑设计基础,项目编号 2025-wxkt07。

### [参考文献]

- [1]黄灿灿.基于交互设计理念下的高校校园休憩空间优化策略研究[D].安徽:安徽建筑大学,2021.
- [2]杨淘,徐书豪.研学教育导向下的校园景观设计研究——以沈阳建筑大学为例[J].建筑与文化,2025(8):80.
- [3]李储会.城市综合性高校校园室外公共空间的艺术性更新——以上海师范大学“艺术森林”为例[J].装饰,2025(7):67.
- [4]付梦寒.高校校园公共空间环境设计[J].上海轻工业,2025(4):89.
- [5]宋婴渺.基于情感互动的小学校园景观设计研究[D].山东:青岛理工大学,2025.
- [6]阳佩良,龚澳,黄玉婷,等.冬季重庆校园户外休憩绿地光环境偏好调查[J].灯与照明,2025(87):65.

作者简介:张佳焯(2003.02—),女,汉族,籍贯:浙江杭州人,24 级在读本科生,专业:建筑设计。

## 新质生产力背景下风景园林与生态文明的融合发展研究

蒋莹莹

武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430000

**[摘要]**随着城市化进程加快以及社会经济不断发展,城市生态环境所面临的压力也越来越大,传统的风景园林规划以及管理模式已经很难满足可持续发展的相关需求。在新质生产力这样的大背景之下,数字化、智能化、绿色化以及创新驱动等要素成为了推动城市园林与生态文明实现融合的关键动力。风景园林属于城市生态系统当中的核心组成部分,其设计一方面承载着美学功能以及休闲功能,另一方面在空气净化、碳循环、气候调节以及生物多样性保护等方面都发挥着极为重要的作用。针对当前城市园林存在生态功能与智能化管理脱节、传统运维模式能耗偏高等突出问题,文中深入梳理新质生产力与生态文明建设的内在逻辑关联,创新性提出“数据驱动规划—智能精准运维—绿色低碳建设”的三位一体融合机制,为推动城市园林生态价值、管理效能与低碳发展协同提升,提供兼具理论支撑与实操价值的参考路径。

**[关键词]**新质生产力; 风景园林; 生态文明; 智慧园林; 技术赋能

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17951

中图分类号: TU986

文献标识码: A

### Research on the Integration and Development of Landscape Architecture and Ecological Civilization under the Background of New Quality Productivity

JIANG Yingying

Wuhan Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

**Abstract:** With the acceleration of urbanization and continuous socio-economic development, the pressure on urban ecological environment is also increasing. Traditional landscape planning and management models are no longer able to meet the relevant needs of sustainable development. Against the backdrop of new quality productivity, digitalization, intelligence, greenization, and innovation driven factors have become key driving forces for the integration of urban landscaping and ecological civilization. Landscape architecture is a core component of urban ecosystems. Its design not only carries aesthetic and leisure functions, but also plays an extremely important role in air purification, carbon cycling, climate regulation, and biodiversity conservation. In response to the prominent problems of the disconnect between ecological functions and intelligent management, as well as the high energy consumption of traditional operation and maintenance models in current urban gardens, this article deeply sorts out the inherent logical relationship between new quality productivity and ecological civilization construction, and innovatively proposes a three in one integration mechanism of "data-driven planning - intelligent precision operation and maintenance - green low-carbon construction", providing a reference path that combines theoretical support and practical value to promote the coordinated improvement of ecological value, management efficiency, and low-carbon development of urban gardens.

**Keywords:** new quality productivity; landscape architecture; ecological civilization; smart landscaping; technology empowerment

#### 引言

全球城市化进程不断加快,城市生态系统所面临的压力前所未有,城市绿地以及风景园林的生态价值逐渐变得更为突出。怎样凭借新质生产力促使园林同生态文明充分融合,已然变成学术领域以及实践方面所着重关注的关键点。新质生产力有着数字化、智能化、绿色化以及依靠创新驱动等特性,能够为园林的规划设计环节、施工管理阶

段以及后续的运维工作给予相应的技术方面的有力支撑,进而让园林在生态的保护层面、美学的提升方面以及社会功能的优化维度达成协同并进的发展态势。现有研究多聚焦新质生产力与生态文明的理论关联,对风景园林领域的技术落地路径、不同城市类型适配策略探讨不足,且缺乏实证支撑。本文以“理论-机制-实践”为逻辑,结合不同规模城市园林特点,细化数智技术应用场景,填补现有研

究的实践缺口,从而为我国城市生态文明的建设给予一定的参考借鉴。

## 1 新质生产力与生态文明理论基础

### 1.1 新质生产力的概念与核心特征

新质生产力是一种生产力形态,它依靠现代信息技术、智能系统还有绿色创新来驱动。它的关键之处就在于借助数字化、智能化以及绿色化这些手段,让生产活动在效率、质量以及生态效益等方面都能得到全方位的提升。就城市风景园林领域而言,这些特点有着清晰的应用场景:(1)数字化依托大数据、GIS、物联网技术,实时采集分析土壤湿度、空气质量、植物生长等园林生态数据,为规划设计提供科学决策支撑,例如通过GIS技术叠加城市地形、水系、绿地分布数据可优化生态廊道布局与绿地网络结构;(2)智能化运用人工智能算法、智能传感器及自动化设备实现园林精准运维,如智能灌溉系统依据土壤湿度数据自动调节浇水量、无人机巡检替代人工监测病虫害,能有效降低资源消耗与运行成本;(3)绿色化以低碳环保为核心,选用生态建材与乡土植物并推广低碳施工技术,例如园路铺设透水铺装,既可减少城市内涝,又能优化园林生态环境。因此,新质生产力能推动技术、管理与模式创新,同时贯穿风景园林建设全过程,让城市园林兼具美学休闲功能,又承载生态服务与环境调节使命,为提高园林生态文明建设效率与质量奠定基础。

### 1.2 生态文明理念与发展框架

生态文明理念,关键在于达成人与自然的和谐共生状态,同时实现社会经济发展和生态环境保护的统一。借助科学管理方式以及制度方面的保障措施,可推动资源得以可持续利用,并促使环境不断优化。就城市建设来讲,它一方面重视生态环境的改善情况,另一方面还涉及到空气质量方面的问题、水资源的管理事宜、土地利用的优化状况以及生物多样性的保护工作。从发展的框架角度来看,生态文明需要在国家层面、城市层面以及社区层面去构建起系统化的绿色基础设施网络,依靠规划手段、政策举措以及技术方法来协调推动发展与保护相关事宜,进而达成社会、经济以及生态效益的有机统一。在风景园林这个领域当中,它具体表现为科学合理地规划、注重生态的景观设计以及智能化的运维管理,使得园林空间能够同时具备美学方面的功能以及生态服务方面的功能,进而成为推动城市实现可持续发展的重要支柱所在。

### 1.3 新质生产力与生态文明的关联性

新质生产力同生态文明建设存在着与生俱来的契合之处。数字化、智能化还有绿色化这些技术,可为生态文

明建设给予科学的数据方面的有力支撑,同时也带来精准的管理途径,如此一来,园林规划以及建设便能够依据真实的环境数据来做决策,进而促使生态系统服务的效率以及质量得以提升。在这样的基础之上,二者融合形成了“技术赋能-目标引领-效益提升”的良性循环:新质生产力为生态文明提供了“技术工具包”,也就是数字化决策、智能化管理以及绿色化建设,而生态文明则为新质生产力提供了“价值导向”,即生态优先以及可持续发展,一同推动城市园林从单纯的“景观空间”朝着系统化的“生态服务系统”转变,达成美学、生态以及社会效益的协同提升。

## 2 风景园林与生态文明的关联分析

### 2.1 城市风景园林发展现状

城市风景园林在我国发展过程中,经历了一个从传统景观美学朝着兼具生态功能方向转变的过程。根据《2023年中国城市建设统计年鉴》,我国城市建成区绿地率已达39.2%。多个城市在绿地系统建设上成果显著,形成了各具特色的发展模式。例如,苏州以“园林城市”闻名,将古典园林美学融入现代城市肌理;深圳着力打造“公园城市”,构建了覆盖全域的公园网络;上海临港新片区则实践“低碳园林”,广泛利用再生建材和乡土植物,实现了低碳理念与生态服务价值的融合。这些由城市公园、街头绿地和城市森林等构成的绿地系统,在净化空气、调节气候、管理雨水和维护生物多样性方面发挥着关键作用。在规划设计层面,大多数城市已然形成了以公园、街头绿地、城市森林为核心的绿地系统,不过区域之间存在着十分明显的差异,中小城市的园林智能化程度普遍偏低,依据住建部在2024年的调研数据来看,仅有15%的城市实现了运维数字化。并且,部分绿地还存在着“重景观、轻生态”的状况。因此不同城市在绿地覆盖率、生态系统完整性以及生态教育功能建设方面存在显著的差异,急需借助新质生产力来提升园林的整体生态价值以及社会服务能力。

### 2.2 风景园林的类型及生态功能定位

城市风景园林在不同种类以及空间尺度方面所担负的生态功能会有所不同,各类园林要依据相应策略来展开设计以及管理工作,以此达成生态效益和社会效益一同提升的目的:其一,城市公园,它的核心功能在于碳汇、雨水调蓄以及公众休闲,需要对生态植物配置予以强化,并且配备智能设施;其二,生态廊道,它着重承担生物迁徙以及水土保持的功能,应当借助数字化技术来对连通性加以优化;其三,社区绿地,它侧重于微气候改善以及生态

教育,既要顾及居民的使用需求,又要考虑低成本运维的情况。

### 2.3 风景园林在生态文明建设中的作用

风景园林于生态文明建设当中肩负着无可取代的生态服务以及社会功能。其价值展现于环境的美化以及休闲空间的给予,不过更关键的是它对于生态系统服务能力有着提升作用。园林绿地借助植物群落的布局方式达成空气净化以及碳吸收的目的,以此来改善城市的小气候状况,使热岛效应得以降低。与此经由湿地、河道还有水体景观的规划,可实现雨水的调蓄以及水资源的循环利用。就生物多样性来讲,城市园林能够为野生动植物营造栖息环境,进而形成生态廊道以及城市绿网,这有利于生态连通性的提升以及物种的保护工作。在社会功能层面,园林空间凭借生态教育、公共休闲以及文化活动等途径,强化公众对于环境保护的意识,推动社会生态文明理念的广泛普及与实际践行。

### 2.4 现有问题与生态化转型需求

城市风景园林于生态文明建设当中发挥着颇为重要的作用,然而在其发展进程里依旧存在着不少问题。其一,规划设计水平呈现出参差不齐的状况,生态功能同景观美学之间出现了脱节的情况,这就使得部分绿地没办法有效地肩负起空气调节、雨水管理以及生物多样性保护等一系列生态方面的任务。其背后的原因在于缺少本地气候、土壤以及生态数据方面的有力支撑,设计工作仍然依靠传统经验来开展,缺乏科学化、由数据驱动所形成的决策依据。其二,园林建设在技术层面、数据方面以及管理手段上都缺少智能化方面的有力支持,如此一来,绿地维护以及生态系统管理的效率就比较低下,资源的消耗量也相对较大。同时社会公众对于生态价值的认知程度以及参与的程度都不够高,这使得生态教育功能难以充分地发挥出来。综合上述情况来看,风景园林急需在规划设计、施工管理以及运维机制等诸多方面展开转型升级,达成设计科学化、管理智能化以及生态服务高效化的状态,进而更好地契合城市可持续发展以及生态文明建设的相关需求。

## 3 新质生产力赋能风景园林的融合机制

### 3.1 风景园林行业的变革需求

随着城市化进程持续推进,社会对生态环境质量的关注度也日益提高,在这样的大背景之下,风景园林行业面临着诸多转型方面的迫切需求。具体而言,要从依靠传统经验来驱动的状态转变为由数据来驱动的状态,要从单纯的人工管理方式转变为智能化管理方式,并且要让其价值从仅仅体现单一景观价值转变成体现综合生态价值<sup>[1]</sup>。在

规划设计这个阶段,需借助大数据、地理信息系统(GIS,如 ArcGIS 用于生态分析)以及生态模型和三维建模软件(如 SketchUp、Ecotect、Lumion 三维可视化)等手段,以此达成科学化且精细化的决策支持目的,进而使园林布局以及植物配置能够同时契合生态功能方面的要求、景观美学方面的要求以及社会方面的需求。到了施工与运维阶段,需要凭借智能化设备(如土壤湿度传感器 Decagon5TE、空气质量传感器 SDS011)、无人机巡检及自动化控制系统,实现资源节约、低碳运行以及生态系统优化等目标,以此提升城市园林所具备的综合价值。行业变革不单单是出于技术升级的需求,它更是推动生态文明建设向前发展、提升城市可持续发展能力的一条极为重要的途径。

### 3.2 融合机制与路径设计

新质生产力对风景园林予以赋能的融合机制,重点在于数字化、智能化、绿色化以及创新驱动所形成的协同效应。在规划设计这一环节当中, GIS 地理信息系统、大数据分析平台(像城市生态环境数据库)还有三维建模软件(比如 SketchUp、Ecotect、Lumion 三维可视化)当作主要的技术工具来使用,依靠采集地形、气候、土壤、植被等方面的数据,构建起生态评估模型,以此给绿地布局、植物配置以及生态廊道设计给予科学方面的依据。在施工以及运维环节,借助 BIM 技术达成工程可视化管理,而在运维阶段则凭借智能传感器(用来监测土壤湿度、空气质量)、无人机巡检以及自动化控制系统,实现对园林环境的实时监测以及动态调控,例如智能灌溉系统会根据土壤湿度自动调节浇水量,照明与环境调节系统同样可以根据需求自动运行,如此一来便提升了资源利用效率、降低了能耗并且减轻了环境负荷。绿色化理念是贯穿于整个流程之中的,在这个过程中,秉持生态优先的原则,施工阶段运用低碳工艺、乡土植物以及绿色建材(如透水铺装,再生植被毯由秸秆和椰丝材质构成),运维阶段推广节能降耗的措施,同时结合低影响开发(LID)技术,达成园林建设与生态环境的协调统一。通过把数字化、智能化、绿色化在规划、施工以及运维各个环节整合起来,形成从理论走向实践的完整融合路径,使得风景园林在生态文明建设中能够实现生态服务、社会教育以及景观价值的全面提升<sup>[2]</sup>。

### 3.3 智慧生态园林建设策略

智慧生态园林建设乃是新质生产力于城市园林范畴的具体运用形式,其借助信息化以及智能化技术来对园林的规划、建设还有管理加以优化,进而达成生态效益与社会效益同步得以提升的良好效果。在规划设计这个阶段,

运用全流程数字化技术（GIS + BIM + AI）以及智慧运维平台，达成数据驱动下的规划、施工可视化以及运维自动化的状态，可参照深圳福田区智慧公园所实行的生态数据实时公示与公众互动终端模式；在建设阶段时，运用绿色建材、节能设备以及低碳施工技术，以此促使施工过程对环境产生的影响能够降至最低限度。而在运维管理阶段，依靠智能灌溉系统、环境监测传感器以及能源管理平台，实现园林养护工作的自动化与高效化。

除此之外，不同的园林类型同样需要采取差异化的策略：生态廊道着重应用 GIS 技术来优化其连通性，并且配置乡土乔木从而构建动物迁徙的通道；社区绿地则能够安装简易生态监测公示牌（用来展示 PM2.5、温湿度的数据）并且设置亲子园艺体验区，兼顾居民的实际使用需求以及低成本运维方面的要求。整体的策略目标在于实现城市园林生态功能的最大化、管理效率的最优化以及社会效益的持续提升，进而为城市生态文明建设给予可复制的实践经验<sup>[3]</sup>。

#### 4 结语

本文依据新质生产力以及生态文明相关理论，全面且细致地剖析了城市风景园林当下的实际状况、所具备的生态功能以及亟待发生的转型需求等方面的情况，并且深入探讨了其融合机制以及智慧生态园林建设的具体策略。研究得出的结果显示，数字化、智能化、绿色化以及创新驱动这些因素，一方面能够为园林规划设计给予科学层面的工具辅助，另一方面也能为施工运维以及管理方面的优化

给予相应的技术方面的有力支撑，进而使得园林生态系统的各项服务功能得到了较为显著的提升。城市风景园林在生态文明建设这一进程中，一方面肩负着生态调节以及环境美化的相关任务，另一方面还借助生态教育、公众参与以及所产生的社会效益来推动可持续发展的进程向前迈进。不过就目前而言，园林规划在数据的应用、智能运维的开展以及公众参与的促进等诸多方面仍然存在着一定的不足之处，这就需要进一步去深化新质生产力的应用情况，从而达成生态功能与社会功能的全方位整合目的。在未来的发展过程当中，应当着重强化数字技术与生态规划之间的深度融合程度，同时不断完善智慧生态园林建设的整个体系架构，以此来提升城市绿地所具有的生态价值以及其在社会方面的贡献力度。

#### 【参考文献】

- [1]朱蓉,王文姬,王馨曼.风景园林与山水城市融合发展研究——以无锡为例[J].中国名城,2021,35(8):57-61.
- [2]黄忠.深圳市风景园林与生态城市融合发展策略[J].南方农业,2024,18(18):169-171.
- [3]杨萍.新质生产力背景下风景园林与生态文明的融合发展研究[J].居舍,2025(28):118-121.

作者简介：蒋莹莹（1983.12—），毕业院校：桂林理工大学，所学专业：城市规划与设计，当前就职单位：武汉市政工程设计研究院有限责任公司，职务：工程师，职称级别：中级。

# 乡村振兴背景下幼儿园户外活动空间设计——以东阳市某乡镇幼儿园为例

胡海锋 邱玲

浙江广厦建设职业技术大学, 浙江 东阳 322100

[摘要]随着乡村振兴战略在教育领域的深入实施,乡镇幼儿园作为农村学前教育的核心阵地,其基础价值在幼儿早期启蒙、乡土文化延续生态意识培育等方面不断凸显,成为乡村教育振兴与人才基础建设衔接的关键节点,农村幼教工作不断取得新成效。资源配置与教育模式双重瓶颈制约着当前乡镇幼儿园发展,户外场地缺乏,硬件层面设施陈旧,难以满足幼儿活动需求,乡村自然文化资源未能转化为教育效能,软件层面的户外教育多是浅层。通过打造既能补齐硬件短板,又能构筑差异化教育优势,进而缩小城乡学前教育差距,培育乡村振兴具有乡土情怀和综合素养的新一代建设者,优化户外活动空间,是破解上述困境的核心路径。

[关键词]乡村振兴;乡镇幼儿园;户外活动空间;学前教育;生态理念培育

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17961

中图分类号: TU6

文献标识码: A

## Design of Outdoor Activity Space in Kindergartens under the Background of Rural Revitalization — A Case Study on a Kindergarten in a Township of Dongyang City

HU Haifeng, DI Ling

Zhejiang Guangsha Vocational and Technical University of Construction, Dongyang, Zhejiang, 322100, China

**Abstract:** With the deepening implementation of the rural revitalization strategy in the field of education, township kindergartens, as the core battlefield of rural early childhood education, have continuously highlighted their fundamental values in early childhood enlightenment, the cultivation of ecological awareness of local culture, and other aspects. They have become a key node in the connection between rural education revitalization and talent infrastructure construction, and new achievements have been made in rural early childhood education work. The dual bottleneck of resource allocation and education mode is currently restricting the development of rural kindergartens. There is a lack of outdoor venues, outdated hardware facilities, and difficulty in meeting the activity needs of young children. Rural natural and cultural resources have not been transformed into educational effectiveness, and outdoor education at the software level is mostly superficial. The core path to solving the above difficulties is to create a new generation of builders who can not only fill the hardware gaps but also build differentiated educational advantages, thereby narrowing the gap between urban and rural preschool education, cultivating rural revitalization with local sentiment and comprehensive literacy, and optimizing outdoor activity space.

**Keywords:** rural revitalization; township kindergarten; outdoor activity space; early childhood education; cultivation of ecological concepts

### 1 幼儿园户外活动空间设计的内涵与价值

幼儿园户外活动空间<sup>[1]</sup>承担着幼儿身体素质培养、自然探索能力联系能力的核心职责,是幼儿早期发展的重要环境载体,具体如表1所示,这类空间需要满足五大核心功能需求才能实现这一目标。

东阳第二实验幼儿园是自然教育与户外功能分区实践的典型代表,通过组织插秧采桑养蚕等季节性农事活动,将园区闲置场地改造成“节气食盒”,达到两大核心目标,

一是通过农务劳作、器械操作等增强幼儿大肌肉运动能力;二是依托《稻谷生命》等乡土农耕文化拓展课程,结合二十四节气和劳动实践,深化幼儿对乡文化的认识,这一做法印证了户外功能分区的双重价值,对幼儿身心发展具有至关重要的作用。

幼儿园户外活动空间设计的核心内涵在于实现教育与空间的深度融合,不是简单的场地规划或设施堆砌,而是基于空间功能、教育目标环境特征的系统工程,是以学

前儿童发展规律为基础，进行空间职能整合。

**表 1 户外空间功能分区及对应教育目标**

功能区	核心设施	发展目标
基础运动区	木构攀爬架、可调坡道	大肌肉群协调、风险预判能力
自然探索区	生态池塘、昆虫旅馆、 气象站	自然观察力、科学探究兴趣
文化体验场	竹编戏台、农事工具展 示角	文化认同、角色扮演能力
静谧社交角	藤蔓廊架、树屋观察台	情绪调节、同伴交流
创意建构区	竹筒积木、卵石拼画墙	空间思维、艺术创造力

其内涵主要体现在三方面：

一是目标导向明确，构建“观察-体验-互动-探究”空间逻辑，借功能分区满足幼儿自然认知、体能发育等核心需求；二是用可调设施、可变场景打破静态局限，实现“空间服务活动、活动活跃空间”循环；三是注重乡土融合，乡镇幼儿园需融入农耕场景等要素，让空间承载文化传承。

## 2 深度案例分析：东阳市某乡村幼儿园现状问题

本案例幼儿园于 2016 年成立，现有幼儿若干名，占地面积达到一定规模，2025 年 3~5 月通过现场调研和和行为跟踪，发现其户外空间设计存在四个突出问题<sup>[2]</sup>（选育 4~6 岁 50 名幼儿）。

### 2.1 空间结构失衡

**功能固化：**基于预设活动需求设计的固定预制游乐设施，缺乏依据实际使用需求进行空间重组与功能适配的灵活性。同时，草地、种植床等具备自然互动属性的区域占比显著偏低，这极大限制了儿童直接接触自然环境的频次，也降低了深度互动的可能性。

**流线冲突：**游戏区与通道重叠率较高，在放学等高峰时段，家长通行与幼儿游戏活动交叉，增加碰撞风险，改造前每周均发生多起轻微安全事故。

### 2.2 自然教育机会缺失

**地面过度硬化：**场地硬化率较高，仅有的沙坑缺乏遮阳设施，夏季测得沙坑表面温度过高，导致沙坑无法使用，丧失自然游戏场景。

**植物种类单一：**园内仅种植少量植物，且均无触摸植物、幼儿友好型种植区等互动设计，限制幼儿观察植物生长或参与园艺实践的机会。

### 2.3 文化表达失效

**文化墙缺乏吸引力：**所谓“文化围墙”，其内容多是远山河流等农村常见场景静态装饰画，观察资料表明孩子

在文化墙面前每天平均停留时间极短，无法实现文化传递的功能。

**无法支持文化课大：**部分教师在深度访谈中反映现有空间难以支持开展文化课堂<sup>[3]</sup>，在教授东阳传统节日端午节时，因园内缺乏包粽子和赛龙舟等活动场地，课程不得不改在室内进行，难以满足学生对传统文化体验的需求，影响了教学效果。

### 2.4 技术应用空白

户外空间照明过度依靠市政电力，未融入可再生能源，此举不仅抬高了运营成本，还丧失了利用照明设施进行可持续发展教育的宝贵机会。

智能互动设施的幼儿园，如无互动屏感应游戏等智能设备，对科技的好奇心还不能很好地满足幼儿，同时老龄活动板房设施每年维护成本较高，使幼儿园背上了经济负担。

## 3 基于三维共生范式的优化设计策略

针对场地功能固化与自然缺失的双重困境，建立在“自然-教育-文化”协同演进理论框架，提出空间弹性重组、技术生态适配、文化在地参与三维优化设计策略。

### 3.1 乡土材料的生态应用策略

农村幼儿园户外空间设计应充分利用本地资源，选材时注重安全无害、低碳环保，并结合教育意义，确保设计符合安全性、可持续性和教育性的关键原则。

#### 3.1.1 优先选用乡土材料

**结构材料：**作为本地优质材料，东阳杉木力学性能好，采用东阳香杉树制作成圆角的爬架，既能满足孩子使用安全的需要，又能发挥本地材料的优势，比金属设施还要明显降低施工成本<sup>[4]</sup>。

**铺装材料：**竹节嵌草步道在为植物生长提供空间生态的同时，高效透水性能可快速排雨，避免地面积水保证孩子行走安全，经过专业检测手烧陶粒砂池具有极强的抑菌作用，为孩子提供健康卫生的游戏环境。

#### 3.1.2 融合应用生态技术

**雨水花园：**在幼儿园建设雨水园，可通过火山岩过滤，收集屋面径流将雨水中的杂质和污染物清除，经过滤后的雨水净化效率，用于菜园灌溉。系统通过直观观察幼儿，既实现了水资源的循环利用，又开展了环保教育<sup>[5,6]</sup>。

**能量循环：**秋千中能电元器件可实现高效能转换和利用带来的电能，可为夜间地标灯带电，既实现了能源自主利用，降低了幼儿园运行成本，又为孩子们创造了一个富有科技感的夜间活动环境。

### 3.2 文化符号的沉浸式转化路径

本研究提出“器物融入场景，场景引导行为”的转化模式，旨在将地方文化符号深度融入幼儿日常活动，避免其仅作为装饰，实现文化的真实传承与体验。

教育创新层面，将传统农具教育化改造，如稻桶变钻爬筒，既保留农具特色又增新功能，让幼儿在玩乐中接触农耕文化，强化对传统农具的认知与兴趣。

场景设计上，依东阳卢宅厅堂木构廊架的传统比例微缩复刻，为幼儿打造具地域文化风情的空间，助其在体验中感受本土建筑文化魅力<sup>[7-9]</sup>。

行为教育方面，设计“开秧门”仪式剧场活动，引导幼儿沿预设播种路线体验农耕流程、学习节气知识，以寓教于乐加深幼儿对本土文化的理解与认同，助力文化传承。

### 3.3 空间重组：柔性模块化系统

#### 3.3.1 木质微地形系统

我们采用东阳传统雕刻技术，打造了一个可重构的木制平台，平台可以满足不同年龄段幼儿多样化的活动需求，通过设计标准化的基础单元，规划出两种灵活的组合方式。

低龄模式：在4~5岁低龄儿童中进行游戏构建，适用于单元平面拼接，幼儿培养空间思维和创造力，可以根据自己的想象，把木制的平台拼到各种造型，如房屋楼阁等。

大龄模式：针对5~6岁幼儿，设计平面结构并融入适度坡道与攀爬笼的高阶游乐模式，旨在增强他们的身体素质，特别是平衡能力和上肢力量，使孩子在玩乐中得到有效锻炼<sup>[10]</sup>。

#### 3.3.2 动态分区机制

晴雨模式：在中心活动区域上方安装太阳能遮阳帘，在晴天气下进行遮阳作业，能够提供清凉游戏空间的高效遮阳，防水侧板向下板向上放下，形成雨天“游戏小屋”的保障活动持续开展。

课程联动：灵活调整空间布局，满足多样需求上午，可整合多模块为运动场，组织接力赛等团队活动；下午，则拆分模块打造自然观察区，让幼儿单独或分组进行昆虫观察等探索，实现空间的高效与多元化利用。

### 3.4 技术赋能：智慧生态循环

#### 3.4.1 能源自给系统

动能转化：在跷跷板底部安装液压装置，驱动小型水车运转，水车可为一定规模的稻田模型灌溉，让幼儿直观观察游戏产生的动能如何转化为可用水力。

光伏整合：在竹廊顶面嵌入柔性太阳能薄膜，产生的电能可为自然探索区增强现实（AR）设备供电，实现脱

离市政电力的互动学习。

#### 3.4.2 自然互动设备

AR竹棒系统：当刻有植物编号的竹棍放置在自然区域，孩子用竹枪指向相应的植物生长过程的3D动漫（如从种子到成熟的桑树）被投影在平面装置上的AR应用程序上，用可视化抽象的生物知识。

声光竹林：将风压感应器安装在竹林中，感应仪触发缠绕竹梗上的LED灯带，在风速达到一定程度时点亮，播放预录好的竹编的估价，营造临其境的自然感受。

### 3.5 文化叙事：深度行为参与

#### 3.5.1 “蚕桑之旅”主题路线

设计适宜长度的主题路线，展现东阳传统蚕桑文化，包含三个互动区域：

采桑区：种植高度适宜幼儿采摘的矮化桑树，保障采摘安全。

养蚕工坊：特设幼儿高度透明蚕盒，采用亚克力材质，便于孩子们日常观察蚕宝宝的生长变化，如神奇的蜕皮和结茧过程。

缂丝体验平台：配备安全煮茧设备含实时温控，幼儿可在教师引导下参与缂丝过程，体验传统工艺。

幼儿园发放“成长日记”，让孩子们记录蚕宝宝的生长，以此加深对本地农耕文化的认识与体验。

#### 3.5.2 民俗游戏创新

智能“赶小猪”：制作大小适宜的木雕小生猪，在指定的轨迹行进碰撞时，将游戏乐趣与文化学习相结合的东阳传统民间歌谣《桑田歌》等播放给小养猪<sup>[5,8]</sup>。

节气转盘：制作直径适宜的转板盘片，参照日原理标注24节气的节风，当中心指针影与X节X气对齐时，隐藏的音箱会播放节气燃气相关农事故事（如对应“春耕”的“惊蛰”）<sup>[11]</sup>。

## 4 结论

研究表明，乡村振兴背景下农村幼儿园户外空间设计需突破两大认知误区，盲目复制城市模式与表面化景观装饰，应重点侧重于三大核心策略。

空间柔性化：木质微地形系统可在合理成本范围内实现低成本空间重构，适配农村地区资源约束条件。

技术乡村适配：“动能-光伏”混合系统能解决农村供电不稳定的现实问题，兼顾能源可持续性与环境教育功能。

文化行为化：“蚕桑之旅”路线、节气转盘等深度体验场景，将抽象文化符号转化为可感知的活动，唤醒幼儿文化认同。

未来研究可探索两方向：一是对乡土材料进行参数化

设计,以提升结构性能与教育功能;二是构建农村幼儿园空间评价标准体系,为农村学前教育高质量发展提供科学框架。最终推动城乡教育公平从“空间可达”迈向“空间优质”,支撑农村学前教育可持续发展。

基金项目:浙江广厦建设职业技术大学 2025 年大学生科研训练重点项目(乡村振兴背景下幼儿园户外活动空间设计——以东阳市某乡镇幼儿园为例,项目编号:2025XSKYZD05);浙江广厦建设职业技术大学 2025-2026 学年“五新”活力课堂建设项目-建筑设计基础,项目编号 2025-wxkt07。

#### [参考文献]

- [1]胡马琳,蔡迎旗.乡村振兴战略下的农村学前教育[J].河北师范大学学报(教育科学版),2020,22(4):71-77.
- [2]丁蔚.儿童视角下的幼儿园大班户外游戏环境研究[D].上海:华东师范大学,2024.
- [3]程亚男.多元智能视域下的高中地理研学旅行课程资源开发实践[D].内蒙古:内蒙古师范大学,2025.
- [4]莫文萱.贵州省黔南地区幼儿民族特色体育活动内容研究[D].成都:成都体育学院,2024.
- [5]庞芸芸,刘文兰,谭兵兵,等.居住区小游园规划设计——以甘肃农业大学幼儿园及附中对面花园为例[J].现代园艺,2020,43(6):2.
- [6]孙鑫,陈弘,孙亮,等.对大学校园雨水收集利用工程优化的探究——以金陵科技学院为例[J].项目管理技术,2020,18(11):5.
- [7]杨斐然.朝鲜族文化融入幼儿园教育的个案研究[D].辽宁:渤海大学,2023.
- [8]周盈盈.幼儿园户外游戏活动存在的问题及建议[D].内蒙古:内蒙古师范大学,2024.
- [9]胡吾思.幼儿园户外游憩空间设计研究[D].北京:中央美术学院,2017.
- [10]胡莺佳.攀爬活动对幼儿发展作用研究[J].成才之路,2016(12):66.
- [11]黄桂芳.基于二十四节气的幼儿园科学教育活动设计与实施研究[D].广东:广东技术师范大学,2025.

作者简介:胡海锋(2002.04—),男,汉族,籍贯:浙江嘉兴人,24级在读本科生,专业:建筑设计;研究方向:幼儿园户外空间。

## 市政道路工程设计要求与关键点分析

于卫东

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司建筑市政工程院, 新疆 乌鲁木齐 830002

[摘要]市政道路工程属于城市基础设施体系里极为关键的部分,它一方面肩负着交通运输的基本职责,另一方面在城市空间格局的优化、景观形象的塑造以及生态环境的保护等方面都发挥着颇为重要的作用。随着城市化进程持续加速推进,传统的道路设计理念以及方法已然很难契合现代城市发展所提出的综合性需求。所以,在市政道路工程设计方面,既要全面且细致地考量城市总体规划以及交通发展状况,而且还得引入无障碍设计、人本理念以及生态环保等一系列新的要求。文章通过对市政道路工程设计的基本原则以及主要要求展开系统的分析,接着深入探讨道路线形、结构与路基还有排水与防护等关键环节的设计要点,并且提出完善规划以及推广新技术等相关对策,希望能够为提升市政道路工程的科学性以及可持续性给予理论层面的参考以及实践方面的指导。

[关键词]市政道路工程;规划设计;关键点

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17975

中图分类号: U41

文献标识码: A

### Analysis of Design Requirements and Key Points for Municipal Road Engineering

YU Weidong

Construction and Municipal Engineering Institute of Xinjiang Production and Construction Corps Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830002, China

**Abstract:** Municipal road engineering is an extremely critical part of the urban infrastructure system. On the one hand, it shoulders the basic responsibility of transportation, and on the other hand, it plays an important role in optimizing the urban spatial pattern, shaping the landscape image, and protecting the ecological environment. With the continuous acceleration of urbanization, traditional road design concepts and methods are no longer able to meet the comprehensive needs of modern urban development. Therefore, in the design of municipal road engineering, it is necessary to comprehensively and meticulously consider the overall urban planning and transportation development status, and also introduce a series of new requirements such as barrier free design, humanistic concept, and ecological environmental protection. The article systematically analyzes the basic principles and main requirements of municipal road engineering design, and then explores in depth the design points of key links such as road alignment, structure and subgrade, drainage and protection. It also proposes relevant strategies such as improving planning and promoting new technologies, hoping to provide theoretical references and practical guidance for enhancing the scientificity and sustainability of municipal road engineering.

**Keywords:** municipal road engineering; planning and design; key points

### 引言

城市道路犹如城市的血脉,其状况直接影响着交通的流畅程度、城市的活跃程度以及居民生活的品质高低。我国城市化进程不断加快,道路设计既要满足车辆通行的基本需求,又要综合考量城市土地集约利用以及环境保护等诸多方面的情况。传统市政道路工程在设计时,常常侧重于交通功能,而忽略了人性化、生态化以及多元化等方面的需求,使得部分道路在后续使用阶段出现拥堵频繁发生、环境日益恶化以及维护成本过高等诸多问题。所以,针对

市政道路工程设计的原则、要求以及关键点展开系统的研究是很有必要的,以此达成道路与城市空间、自然环境以及技术发展之间的和谐统一。本文会围绕设计原则、主要要求、关键点分析以及提升对策来展开论述,希望能够为以后市政道路工程的科学设计以及高质量建设给出可行的思路。

### 1 市政道路工程设计的基本原则

#### 1.1 统筹城市总体规划与交通发展需求

设计者的最优设计计划是根据现实条件,对城市总体

计划进行全面分析,确定总体的设计方向,并围绕目标精确地设置规划设计方案中的具体内容。在此基础上,制定一个合理的市政道路交通系统,不仅能够保证市政道路工程规划设计对以后的使用具有很好的推动作用,还可以借此进行城市用地的优化配置,从而提升城市运行效率。这种统筹性设计一方面能有效防止资源被白白浪费,另一方面也能避免出现功能重复的情况,进而让城市道路系统的整体协调性得到进一步强化。凭借着科学且合理的布局方式,市政道路得以更为有力地去支撑城市实现可持续发展的目标。

### 1.2 遵循无障碍与人本化设计理念

现代城市道路设计一方面要满足机动车通行方面的要求,另一方面还得重视对行人、非机动车以及特殊人群所呈现出的友好特性。无障碍设计在道路规划环节当中,需要充分考虑到老年人、残障人士还有儿童等不同群体在出行方面的具体需求。就好比在人行道展开设计工作的时候,应当设置平缓的坡道、专门的盲道以及较为合理的过街相关设施,以此来切实保障这些弱势群体能够出行安全且便利。人本化理念着重指出,道路并非仅仅只是作为通行的承载工具存在,其更是居民日常生活以及相互交往的一个极为重要的空间所在。所以在开展设计工作的过程中,必须要着重关注尺度方面的感受以及整体的舒适程度。借助合理地去组织交通流线、对空间布局予以优化以及营造出适宜人们行走与骑行的环境等方式,市政道路工程是能够有效提升居民内心的幸福感以及强烈的归属感的,进而让道路真正意义上变成一个“以人为本”理念贯穿其中的公共空间,而不再是单纯意义上的交通走廊一般的存在了。

### 1.3 突出城市特色与景观协调性

市政道路是城市形象的重要承载者,其作用不局限于交通方面,还应当拥有不错的景观协调性,以此来凸显地域文化的特色。道路两旁的绿化带、照明设施、标志标线还有沿线建筑风貌若能达成协调统一,便能在不知不觉间提升城市的整体美感以及辨识度。在开展设计工作的过程中,需要结合城市的历史文化以及自然地理条件,依据实际情况融入本地特色元素,比如运用地方植物来营造绿化景观,依据地形来安排道路节点小品,或者借助灯光设计展示城市夜景。如此一来,既能提高道路环境的审美价值,又能强化居民对城市的认同感与归属感。与此景观协调性的实现对改善城市生态环境是有帮助的,可形成将交通、生态与文化融合在一起的复合型道路系统。

### 1.4 保障道路安全性与耐久性

市政道路工程设计有着不容触碰的底线要求,那就是

道路的安全性以及耐久性。就安全性来讲,它在多个方面都有所体现,像道路几何设计、交通组织还有附属设施的配置等方面均包含其中。比如说,要合理地去控制车速,得设置起安全隔离设施,要对交叉口设计加以优化,并且要配置起较为完善的交通信号系统。而耐久性更多的则是体现在道路结构设计以及材料选择这两方面。通过采取合理的路基处理方式,做好路面结构层次的布置安排,同时使用优质的建材,如此一来便能够使得道路的使用寿命得以明显延长,同时也能够让后期的养护成本得以降低。在那些气候呈现出多变态势或者地质条件颇为复杂的地区,耐久性设计显得格外重要,务必要充分把温度的变化情况、雨雪带来的侵蚀作用以及地下水所产生的影响等诸多因素都考虑进去。唯有在具备安全与耐久这样前提条件的情况下,市政道路工程才能够切实发挥出其长久以来所具备的交通承载功能,并且还能为城市的正常运行给予可靠的保障。

## 2 市政道路工程设计的主要要求

### 2.1 道路功能定位与等级标准的符合性

市政道路工程设计首要需明晰道路的功能定位,依据交通量、服务对象以及通行速度方面的差异,科学地划分道路等级。主干路得契合城市大流量快速通行的要求,然而次干路和支路大多担负着区域集散以及生活服务的功能。在设计环节里,务必要严格依照国家和地方所规定的道路等级标准,保障道路的宽度、车道数量、设计速度等相关指标能够与实际的功能需求达成匹配。倘若功能定位不够清晰或者等级设置不妥当,通常会致使道路运行效率不高、出现交通拥堵的情况甚至存在安全隐患。所以,功能与标准的匹配不但是设计的开端,而且是市政道路工程合理性的关键呈现。

### 2.2 城市基础设施与道路交通的有机衔接

道路属于城市基础设施里的重要部分,它的设计不可以单独开展,需要和供水、电力、通信、燃气、排水等市政管线系统达成有机的关联。恰当的管线和道路一体化设计,既能够防止出现重复开挖的情况,还能够减少建设方面的成本,进而提升城市整体的运行效率。就好比在新建道路的时候同步去规划综合管廊,如此一来既能提升地下空间的利用效率,又能给后期的维护带来便利条件。并且,道路交通和公共交通设施之间的协调同样极为重要,在道路设计环节应当合理地设置公交专用道、换乘枢纽以及非机动车道,构建起多层次且立体化的交通体系,以此达成不同交通方式之间高效的衔接状态。

### 2.3 环境保护与生态友好性要求

城市可持续发展理念指出,市政道路工程设计要重

视环境保护与生态平衡。道路施工和使用对城市大气、水体和噪声环境产生影响，所以设计阶段需采取防控措施，如合理设计排水系统减少雨水径流污染，设隔音屏障降低交通噪声，借助道路两侧绿化带实现空气净化和生态修复。材料选择优先用低能耗、可回收、环保建材，施工工艺减少对自然环境的破坏。只有保证生态友好性，道路工程才可实现与自然和谐共生，给居民创造健康宜居生活环境。

### 3 市政道路工程设计的关键点分析

#### 3.1 道路线形设计

道路线形设计属于市政道路工程的关键要素之一，其与道路的安全性、舒适性以及美观性有着直接的关联。就平面设计而言，要确保道路的直线部分和曲线部分能够实现自然的过渡，尽力规避急弯以及视觉死角的情况出现，以此来降低交通事故发生的几率<sup>[1]</sup>。在纵断面设计方面，得同时考虑到排水、防滑以及行车视距等因素，保证道路在存在坡度变化的情况下依旧可以维持行驶的稳定状态。横断面设计涉及到车道宽度、人行道、非机动车道以及绿化带等的合理安排布局，一方面要满足交通流量方面的需求，另一方面也要体现出人性化以及景观化方面的相关要求。除此之外，在交叉口设计环节，需要凭借合理的几何形态、恰当的信号配时以及适宜的拓宽处理等方式，来提高通行的效率，并且保障行人过街时的安全。优质的道路线形设计，不但能够提升道路的使用功能，而且在某种程度上还能够提升城市空间的整体品质。

#### 3.2 道路结构与路基设计

道路结构以及路基设计这两方面的情况，直接对道路的承载能力还有耐久性起到决定性的作用，这可以说是市政道路工程当中极为关键的一个基础环节。路基作为道路下方的支撑层，得具备相当的强度以及良好的稳定性，这样才能有效地抵御车辆荷载以及环境变化等所带来的种种影响<sup>[2]</sup>。在开展设计工作的整个过程当中，务必要全面且细致地去考量地质方面的具体条件、地下水所处的具体位置以及土壤本身的各种性质等因素，并且要采取相应必要的加固举措，像是换填操作、压实处理或者加筋方面的处理方式等。路面结构的层次安排，得依据道路所处的等级状况以及交通荷载的实际状况来合理地予以确定。常见的结构层一般包含面层、基层以及底基层这几类，而每一层在进行材料选择的时候，都会对道路的使用寿命产生直接的影响作用。近些年来，随着各种新材料开始逐步得到应用，像改性沥青、透水混凝土以及再生材料等等这些，市政道路在耐久性方面以及环保性能方面都获得了较为

明显的提升效果。科学并且合理的结构以及路基设计，一方面能够使得养护成本得以降低，另一方面还能够让道路的服役周期得到大幅度的延长。

#### 3.3 道路排水与防护设计

道路排水以及防护设计属于确保道路可正常运转并且能让其寿命得以延长的关键举措。城市道路往往会出现暴雨导致积水、排水不够通畅之类的问题，这些问题一方面会对交通安全产生影响，另一方面还有可能引发路基遭受侵蚀以及路面出现破坏等情况<sup>[3]</sup>。所以在开展设计工作的时候，务必要构建起完备的排水系统，这里面涵盖了对路面排水、边沟、雨水管道以及雨水口做出合理的安排。与此还得把雨水的收集以及后续的再利用纳入考量范围，要把道路排水同城市海绵城市的建设关联起来，从而达成对雨水资源加以利用的目的。在防护这块内容上，特别像边坡和挡土墙的设计环节，得依据地形状况以及地质条件来采取相应的加固办法，如此才能防范滑坡、塌方这类地质灾害的发生。一个完整的排水与防护体系不但能够提升道路的耐用程度，而且能够让道路在极端气候条件之下具备更强的适应能力。

### 4 提升市政道路工程设计水平的对策

#### 4.1 完善前期规划与科学论证

要提高市政道路工程设计的水平，一开始就得在前期规划这个阶段去做详尽且科学的论证工作。把城市总体规划、交通流量预测、土地利用规划还有环境影响评估等方面综合起来分析一番，如此一来便能保证道路设计方案具备科学性以及可行性。前期的论证一方面得依靠专业技术方面的手段，另一方面也要广泛地听取公众的意见，同时还要兼顾不同利益相关方各自的需求<sup>[4]</sup>。借助多维度的论证以及动态的优化举措，是能够切实有效地防止设计跟实际需求出现脱节状况的，进而给后续的施工以及运营筑牢稳固的基础。

#### 4.2 推动新技术与新材料应用

随着科技持续发展，新技术与新材料给市政道路工程创造新机会。像 BIM 技术可达成道路工程全生命周期管理，GIS 技术能帮着开展道路网络规划，智能传感器给道路运行监测给予实时数据支撑。在材料层面，运用透水混凝土、再生沥青还有高性能纤维增强材料，既能提升道路耐久性与环保性，又能大幅降低能耗与成本。积极引入并推广这些新技术与新材料，市政道路工程可达成更智能化且绿色化的发展状况。

### 5 结语

市政道路工程设计属于一项具备很强系统性与综合

性的相关工作,其一方面关乎城市交通的运行效率,另一方面涉及居民出行的安全状况,同时还会对城市的环境质量以及整体形象产生直接的影响作用。随着城市化进程不断向前推进,智能化以及绿色化理念也逐渐得以普及,在这样的情况之下,传统的道路设计模式已然很难契合新时代所提出的要求了。本文围绕设计原则、主要要求、关键点分析还有提升对策等诸多方面展开了较为系统的探讨,并且着重指出了统筹规划、人本理念、生态环保以及技术创新所具有的重要性。在未来的日子里,市政道路工程设计需要持续推动多学科的融合进程,积极地去引入新技术以及新理念,进而达成功能性、安全性、生态性与美学价值的统一状态,以此为城市的可持续发展筑牢稳固的基础。

#### [参考文献]

- [1]万波.市政道路工程设计与关键点分析[J].运输经理世界,2024(8):13-15.
- [2]谭金伟.市政道路工程设计的新理念与关键点分析[J].城市建筑,2022,19(2):193-195.
- [3]林虎.市政道路工程设计基本要点与注意事项分析[J].科技创新与应用,2025,15(9):124-127.
- [4]陈伟.市政道路工程设计中常见的问题及应对策略[J].建筑技术开发,2021,48(3):77-79.

作者简介:于卫东(1985.10—),毕业学校:石河子大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司建筑市政工程院,就职单位职务:市政一所副所长,职称级别:高级工程师。

## 声发射技术在钢桥面系疲劳损伤监测中的应用与研究

孟乐乐 张浩浩

江苏现代路桥有限责任公司, 江苏 南京 210046

[摘要]通过正交异性钢桥面板与铺装结构体系足尺试验模型进行疲劳试验,结合声发射传感器、电阻式应变片和位移计多种传感技术监测分析钢桥面系足尺模型疲劳损伤状况,同时评估声发射技术对钢桥面系结构疲劳损伤性能监测效果。结果表明:声发射 AE 传感器能够有效捕捉钢桥面系急剧变化或衰减敏感信号,足尺模型加载 200 万次后钢桥面板挠度变形自 0.5mm 增加至 0.8mm,钢桥面系肋间刚度损失约 60%,关键细节部位应变由  $250\mu\epsilon$  减少至  $45\mu\epsilon$ ;且通过取芯验证钢桥面系层间粘结强度减少 30%,对比 AE 峰值能量信号增加 40%~50%,AE 累积信号由初始松散稀疏分布逐渐趋于紧密集中,表明钢桥面系结构出现疲劳损伤状态,结合相控阵及超声检测验证结果验证信号集中处为疲劳开裂位置,证实 AE 信号能够实现钢桥面系层间黏结损伤基础定位,追踪钢板与铺装结构体系的疲劳损伤扩展状态。

[关键词]声发射;钢桥面系;足尺结构;疲劳损伤

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17963

中图分类号: U443

文献标识码: A

### Application and Research of Acoustic Emission Technology in Fatigue Damage Monitoring of Steel Bridge Deck System

MENG Lele, ZHANG Haohao

Jiangsu Xiandai Road and Bridge Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210046, China

**Abstract:** Fatigue tests were conducted on a full-scale experimental model of an orthotropic steel bridge deck and pavement structure system. Multiple sensing technologies, including acoustic emission sensors, resistance strain gauges, and displacement sensors, were used to monitor and analyze the fatigue damage status of the full-scale model of the steel bridge deck system. At the same time, the monitoring effect of acoustic emission technology on the fatigue damage performance of the steel bridge deck system structure was evaluated. The results show that the acoustic emission AE sensor can effectively capture the sharp changes or attenuation sensitive signals of the steel bridge deck system. After loading the full-scale model for 2 million times, the deflection deformation of the steel bridge deck increased from 0.5mm to 0.8mm, and the rib stiffness loss of the steel bridge deck system was about 60%. The strain of key details decreased from  $250\mu\epsilon$  to  $45\mu\epsilon$ ; Through core testing, it was verified that the interlayer bonding strength of the steel bridge deck system decreased by 30%, while the peak energy signal of AE increased by 40%-50%. The cumulative signal of AE gradually tended to be tightly concentrated from the initial loose and sparse distribution, indicating that the steel bridge deck structure was in a fatigue damage state. Combined with phased array and ultrasonic testing verification results, it was verified that the signal concentration was the location of fatigue cracking, confirming that AE signals can achieve the basic positioning of interlayer bonding damage in the steel bridge deck system and track the fatigue damage propagation state of the steel plate and pavement structure system.

**Keywords:** acoustic emission; steel bridge deck system; full scale structure; fatigue damage

#### 引言

近二十年来,我国的大跨钢桥建设经历了一个跨越式的发展,大规模正交异性板钢桥面投入建设,但随着交通量的日益增长及高速、重型车辆的出现,使得钢桥正交异性板结构疲劳损伤和桥面铺装耐久性问题日益凸显,严重

影响桥梁的安全性和长期使用性能。因此,准确监测和定位桥梁早期疲劳裂纹是保证桥梁安全的关键。

声发射作为一种被动的无损检测方法,不需要借靠外加信号源,仅凭材料自身的应力波释放,通过声发射采集设备对其加以监测,可以实现对物体的实时监测。

并且经过几十年的发展，声发射现已广泛地应用于多个领域，但应用于钢桥上的应用较少<sup>[1-6]</sup>。本文基于此通过正交异性钢桥面板与铺装结构体系足尺试验模型进行疲劳试验，结合声发射传感器、电阻式应变片和位移计多种传感技术监测分析钢桥面系足尺模型疲劳损伤状况，同时评估声发射技术对钢桥面系结构疲劳损伤性能监测效果。

### 1 试验方案设计

足尺试验模型尺寸为：长 4.3m×宽 2.9m×高 0.8m。纵向单跨 2 道横隔板、横向 5 个 U 肋；顶板：厚度 14/18mm、U 肋：U280mm×8mm×300mm、中心间距 600mm；横隔

板：厚度 10mm、间距 4.0m；钢箱梁结构钢材采用 Q345qD 桥梁钢板。加载模式采用双轮荷载作用，加载位置对齐 U 肋边缘，加载面积采用 200mm×600mm，作用荷载依据公路桥面规范（JTG D64-2015）采用 75kN，荷载作用频率为 1.5Hz。

声发射传感器 CH1~CH10 通道布置在足尺模型钢梁顶板底部。整个试验于 3 月 31 日开始，4 月 12 日结束。足尺模型尺寸如图 1 所示；足尺模型、声发射传感器安装及表面铺装裂纹信息如图 2 所示；以边缘 550mm 为原点，各传感坐标如表 1 所示；铺装表面裂纹发现和发展过程如表 2 所示：

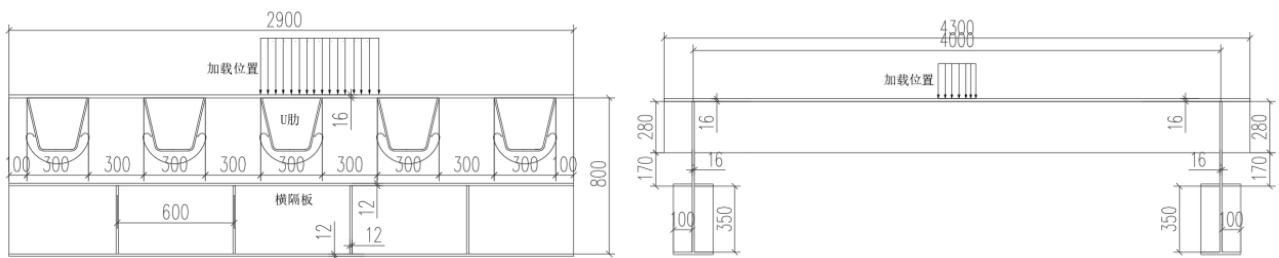


图 1 足尺模型横、纵截面尺寸

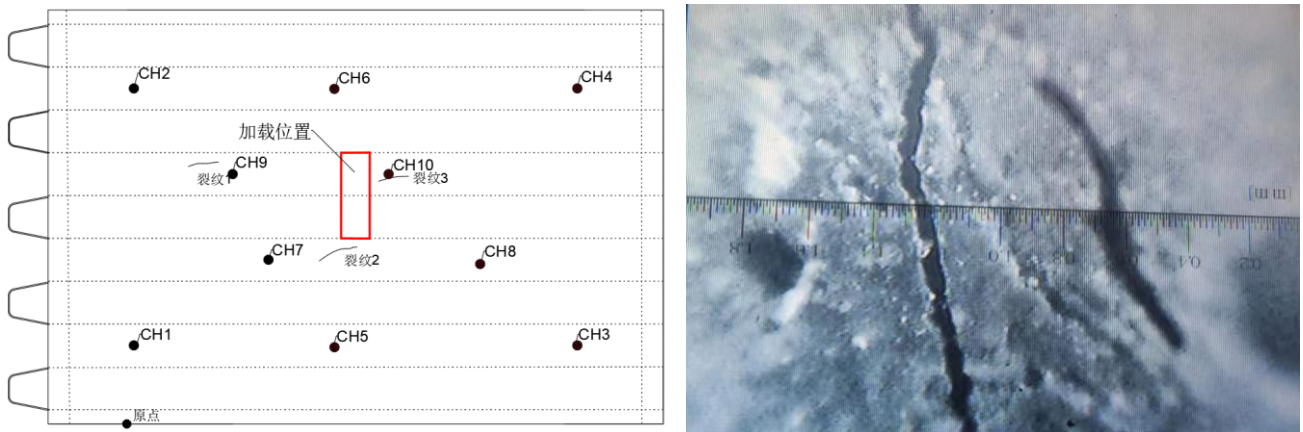


图 2 声发射传感器布置及表面铺装裂纹示意图

表 1 各通道坐标

通道	坐标	通道	坐标	通道	坐标	通道	坐标
CH1	(50,550)	CH2	(50,2350)	CH3	(3150,550)	CH4	(3150,2350)
CH5	(1450,550)	CH6	(1450,2350)	CH7	(990,1150)	CH8	(2470,1120)
CH9	(740,1750)	CH10	(1830,1750)				

表 2 发现裂纹位置及描述

裂纹号	裂纹位置	裂纹描述
裂缝 1	(537,850)	4.8 日首次发现于铺装上方，裂缝长宽为 200mm×0.08mm；4.12 日发现裂缝长度发展至 620mm
裂缝 2	(2150,1600)	4.8 日首次发现于铺装上方，裂缝长宽为 100mm×0.06mm；4.12 日发现裂缝长度前后发展至 450mm 和 740mm
裂缝 3	(2300,1650)	4.12 日首次发现于 (2300,1650) 处铺装上方，裂缝长宽为 80mm×(0.02~0.08) mm

## 2 结果分析

### 2.1 加载频率及绝对位移与波形关联分析

本次足尺试验荷载作用频率为 1.6Hz 如图 3 所示, 获取所有超过阈值的 AE 撞击波形数据, 其中波形最大幅度与加载频率及钢桥面板绝对位移之间的关系如图 4 和图 5 所示, 并验证了动载过程中声发射的波形峰值出现频率与加载频率一致性以及声发射波形信号的幅值与加载荷载变化速率成正相关关系。

### 2.2 钢桥面系疲劳损伤监测发展历程分析

通过声发射 AE 传感器能够捕捉钢桥面系急剧变化或衰减敏感信号, 获取所有超过阈值的 AE 撞击信号进行分析。如图 6 所示, 结合声发射监控数据、现场人工

检查以及超声相控阵监测成果对钢桥面系疲劳损伤监测发展历程, 结果显示声发射技术在早期动载次数分别在 41.15 万次和 84.04 万次都监测到了声发射裂纹信号, 以及裂纹信号源位置进行了定位, 中期通过在该位置进行相控阵及超声检测确认了裂纹存在, 并分别在 133.33 万次、141.18 万次、155.27 万次、170.35 万次、178.5 万次、196 万次发现裂纹扩展信号, 最终经过检查验证裂纹长度确实在发展增大。因此表明声发射技术能够有效捕捉钢桥面系急剧变化或衰减敏感信号, 实现对钢桥面系裂纹的形成和发展的实时监测, 而且对钢桥面系损伤点进行有效定位, 追踪钢板与铺装结构体系的疲劳损伤扩展状态。

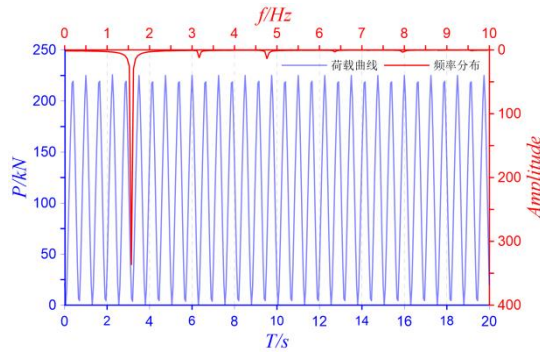


图 3 动载试验时间-荷载和频谱曲线

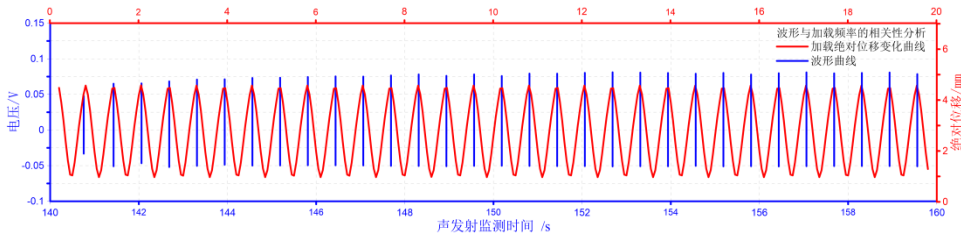


图 4 声发射波形信号最大幅度与加载频率

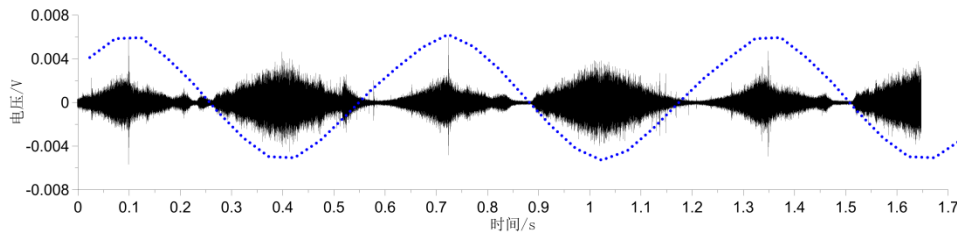


图 5 声发射波形信号最大幅度与钢桥面板绝对位移

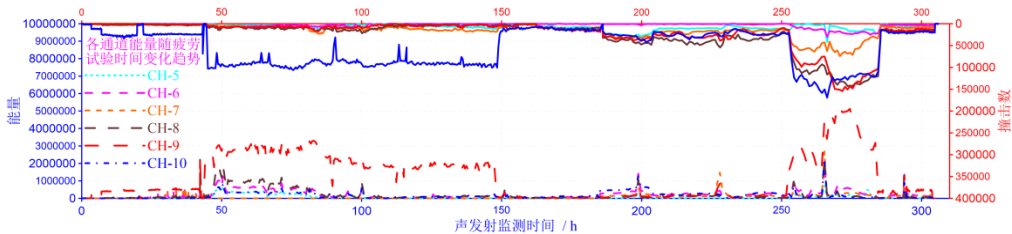


图 6 钢桥面系疲劳损伤监测声发射能量与撞击数变化趋势图

### 2.3 静载数据分析

为评估足尺模型在长期动载作用下钢桥面系承载能力的变化,故在动载期间进行了多次静载试验。静载试验,采用分级加载的方法,利用钢桥面系各部位与控制截面在各级试验荷载作用下的挠度、应力、裂缝、横向分布系数等特性的变化,将测试结果与初始状态荷载作用下的初始值作比较,从而进行钢桥面系损伤状况的评价。如图 7 和图 8 所示分别为钢桥面系经 170w 次和 200w 次动载试验后静载试验声发射监测结果图(图 7 由 200kN 逐级加载至 500kN,每级加载 25kN;图 8 由 50kN 逐级加载至 500kN,每级加载 50kN)。由图 7 表明钢桥面系静载试验在逐级加载过程中声发射信号的撞击数和能量也会快速增加,在级间间歇时间内声发射信号的撞击数和能量回快速减小直至施加下一次荷载。

### 2.4 声发射信号频谱分析

通过对不同铺装结构的足尺模型声发射信号进行频

谱分析,结果如图 10 所示。表明了不同铺装结构下声发射信号的频谱范围也不同,其中 RBPC 铺装结构声发射信号频谱主要分三部分,分别是[峰值频率 20kHz、信号能量主要分布频带范围 15kHz~26kHz];[峰值频率 65kHz、信号能量主要分布频带范围 26kHz~90kHz]、[峰值频率 160kHz、信号能量主要分布频带范围 150kHz~170kHz]。高韧树脂铺装结构频谱主要包含一部分为[峰值频率 50kHz、信号能量主要分布频带范围 30kHz~70kHz]。表明不同铺装结构的声发射监测信号的频谱分布特性也不相同,其中 RBPC 铺装结构的频谱范围更宽,而通过不同时间段的声发射信号频谱分布性质可知,在持续荷载的作用下,声发射信号各频率峰值的幅度也在不断增大,这也表明各频率峰值处的声发射信号主要为钢桥面板各体系的疲劳损伤信号,因此通过不同铺装结构的频谱分布特性对声发射信号进行分析,对声发射信号中的损伤信号和噪声信号能够有效地区分和以及对后续的滤波处理具有重要的指导意义。

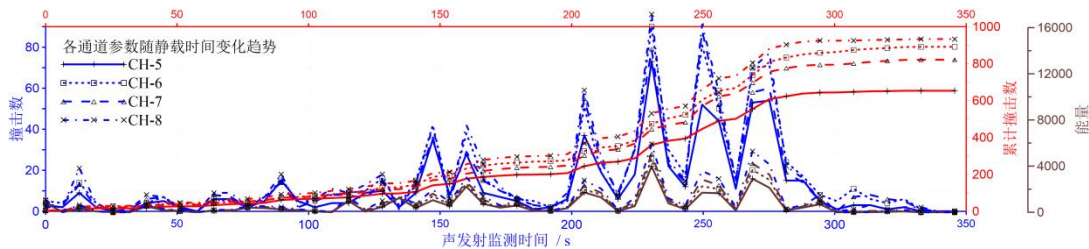


图 7 170w 次动载试验后静载试验声发射监测结果图

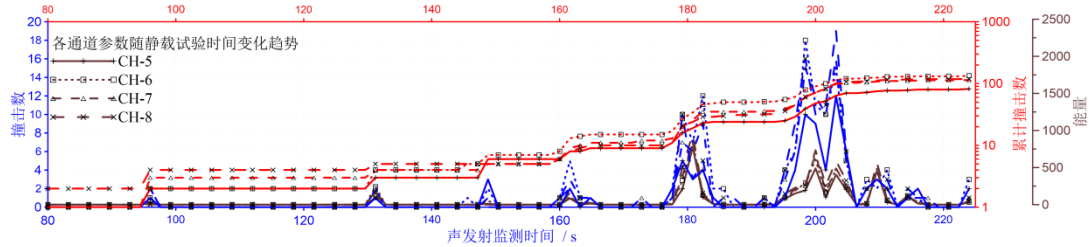


图 8 200w 次动载试验后静载试验声发射监测结果图

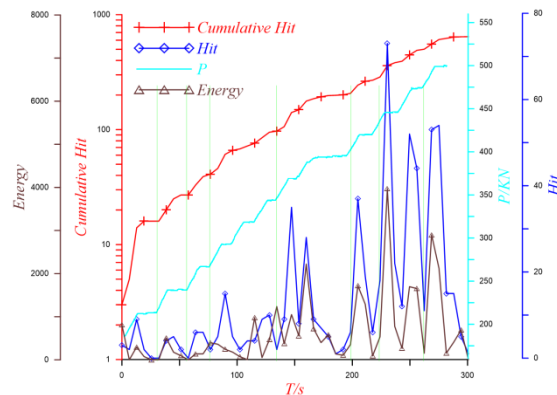


图 9 170w 次动载试验后静载试验声发射各参数监测结果图

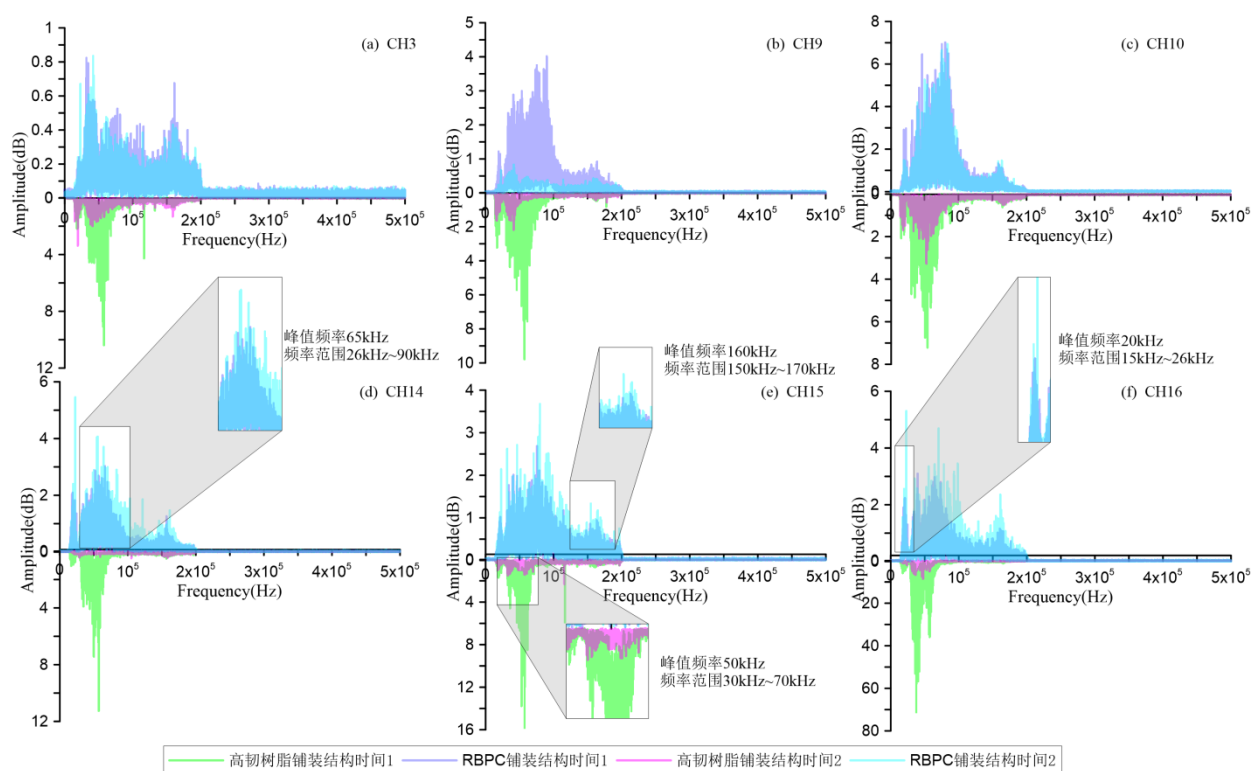


图 10 不同铺装结构的足尺试验声发射信号的频谱分析

## 2.5 疲劳损伤检测中声发射信号类型分析

为研究声发射信号特征与沥青混合料失效破坏之间的联系,利用傅里叶变换与小波分解对所采集的声发射信号进行处理,得到了信号的频谱图与小波时频图。由于全过程的声发射数据量非常庞大,因此从破坏过程中的每一阶段,分别选取了连续的30个声发射信号,全过程的信号共有120个信号。通过对数据的整理发现,发现在沥青混合料弯曲破坏过程中产生了3种类型的声发射信号,其所对应的波形、频谱和小波时频图。

## 3 结论

基于本文对声发射技术在钢桥面系疲劳损伤监测中的应用分析,可得出以下结论:(1)声发射技术在应用于钢桥面系动载试验时,声发射的波形峰值出现频率与加载频率一致性以及声发射波形信号的幅值与加载荷载变化速率成正相关关系;(2)声发射技术能够有效捕捉钢桥面系急剧变化或衰减敏感信号,从而实现对钢板与铺装结构体系的疲劳损伤扩展状态追踪;(3)声发射技术在应用于钢桥面系静载试验时,在逐级加载过程中声发射信号的撞击数和能量也会快速增加,在级间间歇时间内声发射信号的撞击数和能量回快速减小趋于稳定状态直至施加下一

次荷载。

## [参考文献]

- [1]葛洛瑀.基于声发射的材料损伤监测技术研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2019.
- [2]张萌媛.基于声发射参数的沥青混合料断裂特性表征方法研究[D].吉林:吉林大学,2019.
- [3]汪国华.基于改进声发射时差图法的正交异性钢桥面板裂纹定位[D].安徽:合肥工业大学,2020.
- [4]李权接,赵延明,张泽瑞,等.基于LoRa无线通信的分布式桥梁监测系统设计[J].传感器与微系统,2021,40(1):104-106.
- [5]徐宁,蒋景东.基于声发射监测的不同加卸荷路径下砂岩破坏前兆信息研究[J].水利与建筑工程学报,2021,19(1):170-175.
- [6]汪国华.基于声发射技术的结构损伤定位方法综述[J].工程与建设,2020,34(6):1115-1118.

作者简介:孟乐乐(1992.4—),男,毕业院校:中国矿业大学,所学专业:地球物理学,当前工作单位:江苏现代路桥有限责任公司,职务:试验检测师,职称级别:中级工程师。

# 智能行车安全辅助系统的设计与实现

杨永钢

浙江金温铁道开发有限公司, 浙江 温州 325006

**[摘要]**随着我国铁路运输规模逐步扩大以及行车速度不断提高,铁路运输安全所面临的挑战变得日益严峻。文章设计了一套智能行车安全辅助系统,该系统把环境感知、风险识别、智能决策以及应急响应等多个功能模块整合起来,达成了对行车环境的全方位监测以及对潜在风险的有效预警。此系统运用了多源信息融合技术、实时数据处理技术以及机器学习与行为预测技术等一系列关键技术,可大幅度提升铁路行车的安全性以及可靠性。

**[关键词]**铁路运输安全;智能行车辅助系统;环境感知;风险预警;智能决策

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17972

中图分类号: TP183

文献标识码: A

## Design and Implementation of Intelligent Driving Safety Assistance System

YANG Yonggang

Zhejiang Jinwen Railway Development Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325006, China

**Abstract:** With the gradual expansion of China's railway transportation scale and the continuous improvement of train speed, the challenges faced by railway transportation safety have become increasingly severe. The article designs an intelligent driving safety assistance system that integrates multiple functional modules such as environmental perception, risk identification, intelligent decision-making, and emergency response, achieving comprehensive monitoring of the driving environment and effective warning of potential risks. This system utilizes a series of key technologies such as multi-source information fusion technology, real-time data processing technology, and machine learning and behavior prediction technology, which can significantly improve the safety and reliability of railway operations.

**Keywords:** railway transportation safety; intelligent driving assistance system; environmental perception; risk warning; intelligent decision-making

铁路运输在我国国民经济当中属于极为重要的大动脉之一,同时也是关键的基础设施。其能否安全运行,这可是直接和人民群众生命财产安全紧密相关联的,也跟社会的稳定发展有着密切的联系。以往传统的那种人工监控方式,再加上单一的安全防护手段,现在已经很难去契合现代铁路运输安全方面实际的需求了。所以说,迫切的需要去引入更为先进的智能化技术,以此来促使行车安全保障水平得以提升。本文从铁路运输安全的实际需求出发,把现代信息技术以及智能控制理论综合起来考量,进而设计并且成功实现了一套智能行车安全辅助系统。这套系统可不简单,它能够做到对行车环境进行实时的监测,而且还能精准地识别出潜在的风险,一旦有情况还能及时地发出预警信息。在出现紧急状况的时候,它还能够给予决策方面的有力支持。如此一来,便可以有效地对铁路行车事故起到预防的作用,也能在很大程度上减少这类事故的发

生概率。

### 1 系统总体设计

#### 1.1 系统设计目标

智能行车安全辅助系统的设定目标主要呈现于如下方面。该系统得达成对铁路行车环境加以全方位监测这一目的,其中涵盖了线路状态、信号设备、周边环境以及天气条件等诸多要素的实时感知以及数据采集工作。系统得拥有对各类行车风险予以准确识别并且做到及时预警的能力,可通过针对多源数据展开综合分析的方式,提前察觉到潜在的安全隐患,并且向相关工作人员发出预警方面的信息。系统还得出具备智能化的决策支持功能,在碰到复杂行车状况又或者是突发情况之际,能够给予行车指挥人员以及司机科学且合理的处置方面的建议。系统务必具备高效的应急响应与故障处理能力,要保证在出现设备故障或者安全事故的时候能够迅速启动应急预案。

## 1.2 系统架构设计

智能行车安全辅助系统的架构设计运用了分层分布式结构,其中涵盖感知层、传输层、处理层以及应用层这四个关键部分。感知层是由部署于铁路沿线以及列车之上的多种各类传感器构成的,其主要职责在于采集像线路状态、设备运行状态还有环境参数这类原始数据。传输层借助铁路专用通信网络以及无线通信技术,达成将感知层所采集的数据稳定且可靠地传送到处理层这一目的。处理层属于系统极为重要的核心部分,它负责针对接收到的多源数据展开融合处理、特征提取以及风险分析等一系列操作。应用层则是朝着不同用户去提供个性化的功能服务,这其中就包含了行车监控、风险预警、决策支持以及应急指挥等诸多具体的应用模块。

## 2 系统功能模块设计与实现

### 2.1 环境感知与监测模块

环境感知与监测模块属于智能行车安全辅助系统的构成部分之一,其主要职责在于采集铁路行车环境里的各类数据信息。该模块借助在铁路沿线所部署的多种感知设备来达成这一目的,这些感知设备涵盖了轨道状态监测传感器、信号设备监测装置以及气象监测设备等<sup>[1]</sup>。凭借这些设备,能够实现对线路几何参数、钢轨损伤情况、道床状态以及信号机工作状态等诸多要素的全方位监测。而这些感知设备所采集到的数据会经由铁路专用通信网络实时传送到中心处理系统,进而为后续开展的风险识别与预警工作给予数据方面的有力支撑。环境感知与监测模块运用了多源信息融合技术,可针对不同类型传感器采集所得的数据展开有效的整合操作,以此提升环境感知的准确性与可靠性程度。

### 2.2 行车风险识别与预警模块

行车风险识别与预警模块作为智能行车安全辅助系统的关键核心功能模块,其主要职责在于针对所采集的环境数据展开分析与处理工作,精准识别出潜在存在的行车风险,并且在识别到风险之后及时地发出预警信息。此模块凭借机器学习以及深度学习算法成功构建起了多种多样的风险识别模型,可针对轨道几何状态出现异常情况、钢轨遭受损伤、道床处于不稳定状态、信号设备发生故障等诸多不同类型的行车风险予以准确无误的识别。通过将历史事故数据同实时监测数据加以对比分析,该模块能够对各类风险发生的概率以及可能造成的危害程度做出相应的评估,并且依据风险等级来制定出与之相匹配的预警策略。一旦识别到潜在的风险存在,系统便会借助声光报警、信息推送等手段向相关工作人员发出预警提示。

### 2.3 智能控制与决策模块

智能控制与决策模块属于智能行车安全辅助系统的高级功能范畴,其主要作用是为行车指挥以及操作人员给予智能化的决策方面的支持。此模块凭借多源信息融合技术以及实时数据处理技术,搭建起一个综合数据库,这里面囊括了像线路状态、设备工况、环境条件、列车运行状态等诸多维度的信息。在这样一个数据库的基础之上,模块还构建了多种多样的决策模型以及算法,可依据不同的行车场景以及风险类型,给出具备科学性且合理的处置方案与相关建议。一旦系统察觉到异常状况或者收到了预警信息,该模块便会迅速开启决策分析的流程,全面综合地考量各种各样的因素,从而提出诸如列车运行调整、设备检修维护等一系列可能适用的解决方案。

### 2.4 应急响应与故障处理模块

应急响应与故障处理模块作为智能行车安全辅助系统的关键构成部分,其主要职责在于当出现设备故障或者安全事故之际,启动应急预案,去协调各类资源,从而实现快速且有效的处置操作。此模块构建起了完备的应急响应机制,其中涵盖了应急预案库、应急资源管理以及应急指挥调度等诸多子模块<sup>[2]</sup>。一旦系统察觉到重大设备故障或者安全事故,该模块便会即刻启动与之相对应的应急预案,自动地向相关的责任人员以及部门发送警报,同时还会给出详尽的故障信息以及处置方面的指导。模块会依据实时监测所获取的数据以及现场的实际状况,对应急处置方案做出动态的调整,进而为现场的指挥人员给予决策层面的支持。

## 3 系统关键技术

### 3.1 多源信息融合技术

多源信息融合技术算得上是智能行车安全辅助系统里的一项核心技术,其主要职责在于对源自不同传感器以及监测设备的那些异构数据展开有效的整合与处理工作。此项技术运用了有着多层次融合架构特点的方式,其中涵盖了数据级融合、特征级融合以及决策级融合等方面,它可针对像轨道监测数据、信号设备状态数据、环境监测数据还有视频图像数据等诸多不同类型的数据来实施统一的处理流程以及综合性的分析操作。在数据级融合这个阶段,技术着重去解决多源数据于时间、空间以及语义层面所存在的对齐方面的问题,以此来消除数据彼此之间可能出现的 inconsistency 以及冲突情况。到了特征级融合阶段,技术会从经过预处理之后的数据当中提取出具有实际意义的特征信息,并且还会开展特征选择以及降维处理等相关事宜。而在决策级融合阶段,技术依据所提取出来的特征

信息,借助多种不同的融合算法来达成综合性的判断以及决策目的。多源信息融合技术在实际应用当中,切实有效地提升了系统对于环境状态以及风险识别方面的准确性与可靠性,从而避免了单一信息源有可能引发的误判以及漏判等各类问题。依据中国铁路总公司科技研究所公布的那份技术报告来看,运用多源信息融合技术构建起来的安全监测系统,能够把风险识别的准确率提升到百分之九十五以上的程度,这相较于传统单一传感器监测系统而言,其优势是非常突出且明显的。

### 3.2 实时数据处理技术

实时数据处理技术属于智能行车安全辅助系统的极为关键的技术支柱,其主要任务在于针对海量的监测数据展开快速的处理以及分析工作。此项技术运用了流式计算还有复杂事件处理等一系列较为先进的数据处理架构,可对持续不断产生的监测数据做到实时地接收、进行缓存操作、实施清洗处理、完成转换步骤以及开展分析处理事宜。该技术借助构建分布式计算集群以及并行处理机制,达成了对大规模数据的高效处理效果,进而保证了系统即便面临数据洪峰的情形下,依旧能够维持稳定的处理性能状态。实时数据处理技术当中还设有专门用于数据质量控制的机制,能够自动对异常数据加以识别并且予以剔除,同时还能修复那些存在不完整情况的数据,以此来确保输入数据具备准确性以及可靠性。此技术另外还给出了较为灵活的数据接口与服务,能够支持不同类型的关于数据的查询操作、统计分析活动以及可视化展示需求,从而满足各类用户针对数据所提出的多样化需求。凭借实时数据处理技术的应用,系统可在秒级的时间范围内完成对大规模监测数据的处理以及分析任务,能够及时察觉到潜在的风险以及异常状况,进而为行车安全给予及时且有效的技术方面的保障。

### 3.3 机器学习与行为预测技术

机器学习以及行为预测技术构成了智能行车安全辅助系统当中的智能化关键部分,其主要承担着从历史数据还有实时数据里面去学习相应规律的任务,进而对设备状态变化的趋势以及行车风险出现的概率加以预测。该技术运用了像监督学习、无监督学习以及强化学习等多种多样的机器学习算法,由此构建起了适用于不同应用场景的预测模型<sup>[3]</sup>。就设备状态预测这一方面来讲,技术借助对设备运行参数以及历史维修记录展开分析的方式,成功建立起了设备退化模型以及剩余寿命预测模型,如此便可以提前对设备有可能会出现的故障以及维护方面的需求做出预测。而在行车风险预测这个层面,技术是以历史事故数

据、实时监测数据以及环境因素作为基础来构建风险概率预测模型的,进而能够对在不同条件之下各类风险出现的概率予以评估。技术还采用了深度学习算法,针对视频监控以及图像识别数据展开分析,最终达成了对于线路异物、人员入侵等异常状况的智能识别效果。这些预测模型凭借着持续开展的学习活动以及参数方面的不断优化,使得预测的准确性以及实用性得以不断提升。依据中国铁道科学研究院所公布的最新研究成果显示,基于机器学习的行为预测技术能够让设备故障预测的准确率提升超过百分之二十,这无疑极大程度上增强了铁路设备维护工作的主动性以及精准度。

### 3.4 系统集成与通信技术

系统集成以及通信技术构成了智能行车安全辅助系统的根基所在,其主要肩负着把各个功能模块还有子系统有序整合起来的任务,进而达成数据能够实现共享以及业务可以协同开展的目的。此技术运用了基于服务的架构,并且在接口设计上遵循标准化原则,还明确了统一的数据格式、通信协议以及接口规范,如此一来便保证了不同系统之间能够彼此连通以及相互操作<sup>[4]</sup>。就通信层面而言,技术综合地运用了铁路专用的移动通信系统、光纤通信网络以及无线局域网等多种多样的通信手段,由此搭建起了一个可覆盖整条线路且能可靠传输的通信网络体系。对于不同业务场景所提出的对通信质量的不同要求,技术采取了具有差异性的服务质量保障机制,以此确保关键业务数据能够优先进行传输并且能够可靠地送达到指定位置。系统集成技术另外还给出了统一的身份认证以及访问控制机制,从而保证了系统的安全性以及对数据隐私加以保护。借助系统集成与通信技术的实际应用,智能行车安全辅助系统达成了和原有的行车指挥系统、设备监测系统、安全监控系统等一系列铁路信息系统实现无缝对接的效果,进而形成了一套统一且协调的智能化安全防护体系。

## 4 结束语

智能行车安全辅助系统的打造与落实,已然成为现代铁路运输安全技术向前发展的关键指向所在,其对于促使铁路行车安全水准得以提升,有着不容小觑的重要价值。本文所提出的智能行车安全辅助系统,把环境感知、风险识别、智能决策以及应急响应等诸多功能模块加以集成,进而搭建起一个全方位且呈多层次分布的行车安全防护架构。该系统所运用的像多源信息融合技术、实时数据处理技术还有机器学习与行为预测技术等多项关键技术,给处理铁路行车安全当中那些复杂的难题,给予了行之有效的技术途径。伴随人工智能、大数据等新技术持续不断地

向前发展,智能行车安全辅助系统还会进一步去完善自身,并实现优化升级,日后将会在更为宽广的范畴内,发挥出越发重要的功效。

[参考文献]

[1]凌艳城.面向 L2 级高级辅助驾驶系统的视觉信息智能分析关键技术与应用研究[D].福建:华南理工大学,2024.

[2]胥文倩,张铂洋,赵伟,等.基于深度学习的安全行车辅助系统设计与实现[J].电子技术与软件工

程,2023(5):153-158.

[3]张明,徐东静.奥迪 Q6 e-tron 安全系统和辅助系统新技术剖析(六)[J].汽车维修技师,2025(15):23-29.

[4]李新哲.基于智能辅助驾驶系统的汽车主动安全性能提升研究[J].商用汽车,2024(6):55-57.

作者简介:杨永钢(1977.5—),单位名称:浙江金温铁道开发有限公司,毕业学校和专业:沈阳航空航天大学(交通运输)。

## 软土地基处理技术在路桥施工中的应用

朱 雷

湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]软土地基在我国沿海、江河湖泊以及低洼地区均有广泛分布,其属于路桥工程建设当中的关键控制要素。软土自身有着低抗压强度、高可压缩性以及明显触变性的特点,若不对软土地基加以处理,在施工以及运营阶段就很容易出现不均匀沉降、承载力不够以及结构变形等一系列问题,这些问题会严重危及路桥的安全性并对其使用寿命产生不利影响。文章全面且细致地分析了软土地基所具有的工程特性,着重对当下主流的软土地基处理技术予以介绍,像换填垫层法、搅拌桩技术、土工格栅加固技术、预压与排水固结法还有复合地基处理技术等,同时对这些技术在路桥施工里具体的运用方式以及实际效果展开了探讨。经由对地基加固、土体改良、路基稳定以及沉降监测等诸多环节展开剖析,给出了契合不同工程条件的技术选取策略,从而给软土地基的科学处置以及路桥施工给予理论层面的参考以及实践方面的指引。

[关键词]软土地基; 处理技术; 路桥工程

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17971

中图分类号: U445

文献标识码: A

## Application of Soft Soil Foundation Treatment Technology in Road and Bridge Construction

ZHU Lei

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

**Abstract:** Soft soil foundation is widely distributed in coastal areas, Rivers and Lakes and low-lying areas in China, which is a key control factor in road and bridge construction. Soft soil itself has the characteristics of low compressive strength, high compressibility, and obvious thixotropy. If the soft soil foundation is not treated, it is easy to encounter a series of problems such as uneven settlement, insufficient bearing capacity, and structural deformation during construction and operation. These problems will seriously endanger the safety of roads and bridges and have adverse effects on their service life. The article comprehensively and meticulously analyzes the engineering characteristics of soft soil foundation, with a focus on introducing mainstream soft soil foundation treatment technologies such as replacement cushion layer method, mixing pile technology, geogrid reinforcement technology, preloading and drainage consolidation method, and composite foundation treatment technology. At the same time, the specific application methods and practical effects of these technologies in road and bridge construction are discussed. Through the analysis of various aspects such as foundation reinforcement, soil improvement, roadbed stability, and settlement monitoring, technical selection strategies that are suitable for different engineering conditions are proposed, providing theoretical references and practical guidance for the scientific disposal of soft soil foundations and road and bridge construction.

**Keywords:** soft soil foundation; processing technology; road and bridge engineering

### 引言

我国基础设施建设发展迅速,路桥工程在城乡交通网络里的作用日益凸显。不过,在众多低洼以及软土区域开展路桥施工期间,软土地基的稳定情况已然变成限制工程质量以及施工安全的关键要素。软土层强度较低、含水率颇高且力学性质复杂,如此一来,施工进程中便容易出现地基沉降、承载力不够以及局部失稳等状况,情况严重之时,甚至有可能致使路面产生裂缝、桥墩出现倾斜或者

结构遭到破坏。传统施工办法通常很难有效地把控软土地基的变形与沉降情况,所以对软土地基予以科学处置已然成为路桥施工的先决条件。近些年来,随着地基处理技术不断发展,换填、桩基加固、土工格栅以及固结排水等多种方法在工程实际操作当中获得了广泛运用,并且持续同智能监测以及施工管理技术相互融合,这使得路桥工程的安全性以及耐久性都得到了明显提升。本文在剖析软土地基工程特性的前提下,全面介绍了主要处理技术以及其在

路桥施工当中的具体应用,希望能够给类似的工程项目给予参考以及借鉴。

### 1 软土地基的特点分析

路桥工程按结构可分为:地基工程、地面、桥梁、隧道施工、排水、安全防护、交通设施工程、机电等工程项目。在我国路桥工程建设行业规范中,软土地基的定位是抗压强度低、含有一定量有机物、收缩率大的软土层,其优点如下:(1)抗剪强度低:由于地域原因,不同软土地基往往含有不同的成分,其抗剪强度也不同。因此,为了明确软基处理的抗剪强度,最好在现场做原点试验。(2)可压缩性:软土结构一旦受到破坏,其抗压强度也会下降,这促使软土地基在振动后纵向移动,地基下沉。(3)触变性:软基处理的抗压强度在加载一定的净重后,随着时间的推移而降低的特性。这对于固河堤、码头等市政路桥工程的建设是非常不利的。因此,有必要在施工现场开展软基处理抗剪强度试验,掌握软基处理的局部抗压强度,有利于市政路桥工程施工的顺利开展。

## 2 软土地基处理技术方法

### 2.1 换填垫层法

换填垫层法属于软土地基处理范畴内较为直观且易于施行的一种方法,其基本原理在于把强度偏低、压缩性偏高的软土层部分或者全部予以挖除,随后采用砂、碎石或者其他呈颗粒状且强度较高的材料展开回填作业,借此来提升地基的承载力以及整体的稳定性。此方法在施工环节当中有着操作较为简单、可控性较强的优点,特别适宜于浅层软土或者是对承载力要求相对较低的路基情况。换填垫层在施工进程里常常会与机械压实以及分层回填相互配合起来,以此来保证回填材料的密实度能够符合设计方面的要求,与此同时还可以削减回填沉降所呈现出的不均匀特性。就那些处于沿河道或者沿海地区并且地势比较低洼的路段而言,凭借换填垫层法不但能够提升承载力,而且可以改善排水方面的条件,进而降低施工期间出现水土流失的风险。不过,该方法在深厚软土亦或是施工场地受到限制的区域存在着施工难度颇高、成本有所增加以及挖填量过大的局限性,所以在实际的工程当中往往会和其他处理技术相结合起来使用,从而满足复杂地基条件的相关要求。

### 2.2 搅拌桩技术

搅拌桩技术属于一种深层地基处理的方法,它是借助机械设备把水泥、灰土或者其他固化剂和软土充分地搅拌起来,进而让土体形成高强度的柱状体,以此来提升地基的承载能力以及稳定程度。这项技术可以把软土原本的低

强度以及高压缩性转变成具有承载能力的复合体,在路基、桥台还有堤坝等各类施工当中都有着广泛的应用。在施工期间,搅拌桩的深度、直径以及间距会依据地基软土的具体性质以及工程所提出的承载方面的要求来进行相应的设计,并且通常还会伴随着对原位土体进行取样以及开展强度测试等一系列的操作,以此来确保施工的质量。搅拌桩不但能够提高地基的承载力,而且还可以大幅度地降低沉降的速度,对于高层建筑、重载交通道路以及处于复杂地质条件之下的软土路段都适用。与此搅拌桩技术还具备环境适应性的特点,即便是在地下水水位比较高的情况或者是受到限制的空间施工区域当中,同样可以使用,所以它已然成为了现代路桥工程里极为重要且不可或缺的地基加固方式之一。

### 2.3 土工格栅加固技术

土工格栅加固技术是在软土地基或者路基当中铺设那种有着高拉伸强度的合成材料,借此达成让土体得以增强以及使应力分布得到优化的目的,进而提升地基的整体稳定性以及路基的承载能力。这种方法比较适合用于较为浅层的软土或者是对承载力有着较高要求的道路基层,在格栅和土体相互产生作用之后,会形成复合体结构,可以有效地对横向位移以及垂直沉降加以抑制。土工格栅加固施工是比较灵活的,能够和换填材料一起使用,进而形成加筋复合路基,这对于提升路基的长期稳定性是有利的。和传统的桩基或者深层固化方法相比较而言,土工格栅技术有着施工周期比较短、成本能够得到控制以及对环境的影响较小的优势,并且还能够适应不同的填料以及地形条件,能够为城市道路、机场跑道以及轻载桥梁施工给予有效的支撑。

### 2.4 预压与排水固结法

预压与排水固结法属于一种借助荷载预压以及排水设施来促使软土加快固结的技术手段,可借此提升地基所具备的承载力以及稳定性。其具体原理在于,通过在软土地基之上施加临时荷载,并且同步安排好排水板或者排水管,进而让土体当中的孔隙水得以排出,以此来加速土体的固结进程,使得后期出现沉降的情况得以减少。此方法在厚层软土以及高含水率区域的路基施工方面格外适用,可切实有效地降低出现不均匀沉降的风险。预压与排水固结法的施工周期相比而言会偏长一些,然而对于大型桥梁、堤坝还有城市高等级道路的地基处理来讲,却有着颇为显著的优势。在开展施工设计工作的时候,要综合土层的厚度、固结系数以及排水条件等方面情况来进行精准细致的计算,从而保证预压效果能够符合后续施工以及运营方面

的相关要求。

## 2.5 复合地基处理技术

复合地基处理技术，顾名思义，是把多种多样的地基加固办法整合起来，在同一个工程当中加以运用，如此一来，便能够契合复杂地质状况下对于承载力以及沉降控制方面的要求。常见的复合地基类型，像换填和桩基相结合的形式、桩基同格栅加固相组合的方式，还有预压与桩基联合开展处理的情况等等。凭借复合技术这一手段，可充分挖掘各类处理办法所具备的优势，与此还能对单一技术在施工深度方面、沉降控制层面或者成本方面存在的不足予以弥补。复合地基在实际的路桥施工环节当中有着颇为广泛的运用，特别适合那种软土层深厚、对承载力的要求颇高并且施工场地受到限制的区域。通过科学且合理的组合方式以及精心的优化设计，能够大幅提升地基的安全性以及长期的稳定性。

## 3 软土地基处理技术在路桥施工中的应用

### 3.1 地基加固与承载力提升

在软土地基的路桥施工当中，地基加固属于确保桥梁以及路基结构安全的关键环节。运用换填垫层、搅拌桩或者复合地基等技术，可大幅提升软土地基的承载能力，进而托举起上部结构的重量以及交通荷载。在整个施工过程中，地基加固一方面改进了土体力学方面的属性，另一方面也切实降低了出现不均匀沉降的险情，让路桥于运营时期维持着不错的稳定性<sup>[1]</sup>。具体来讲，搅拌桩借助固化剂跟原土相互融合形成均匀的桩体，以此给予深层的有力支撑，而换填垫层则是通过替换掉低强度的土体，来优化浅层地基的承载状况。就高等级公路以及桥梁工程项目而言，地基加固技术的运用能够契合严格的设计承载标准，在施工阶段也能削减因地质沉降所引发的施工风险，同时还为后续的路面铺装筑牢稳固的基础，保障整个工程结构拥有长期的可靠性。

### 3.2 土体改良与稳定性增强

土体改良技术借助化学固化、机械搅拌或者复合处理等手段来对软土的物理以及力学性能加以改善，进而提升其整体的稳定性，在路桥施工期间，土体改良不但让地基的承载能力得以提升，而且增加了抗剪强度以及抗变形能力，减少了结构出现沉降以及侧向位移的情况。当采用水泥搅拌桩或者灰土搅拌桩的时候，软土内部的微观结构会发生固化反应，使得土体的整体刚度得以增强，能够更好地去抵抗上部结构以及交通荷载所产生的作用，与此土体改良技术可以对土体的渗透性以及含水率进行调控，降低施工过程中地基出现液化或者局部失稳的可能性。在复杂

的软土区域，凭借精确的设计以及分层施工的方式，土体改良方法可有效地控制施工沉降速率以及总沉降量，为桥墩和路基给予坚实且可靠的基础条件，进而明显延长路桥结构的使用寿命。

### 3.3 土工格栅铺设与路基稳定

土工格栅属于高强度合成材料的一种，将其铺设于路基或者填土层当中，可以强化土体的整体稳定性，还能对应力分布起到优化的作用，在实际开展施工活动的过程中，土工格栅凭借自身和土体之间产生的相互作用，进而形成了加筋复合体，使得填土层在受到荷载作用之后所产生的水平位移能够得到有效遏制，由此便能大幅提升路基的稳定性以及承载能力，在那些交通流量较大且车辆荷载出现频率较高的路段，土工格栅可对路基沉降以及裂缝的发展起到延缓的效果，以此提高道路的使用性能，在施工操作环节，铺设格栅的时候需要和分层填土以及压实作业同步推进，这样才能保证土体和格栅能够形成紧密贴合的复合体<sup>[2]</sup>。土工格栅技术有着施工较为简便、施工周期相对较短、成本能够得到控制以及对环境的影响较小等诸多优势，其在高速公路、城市道路以及轻载桥梁等各类工程领域都有着广泛的应用，已然成为了现代路基处理以及加固工作当中的重要手段之一。

### 3.4 沉降预测与监测技术应用

地基处理以及后续的施工流程当中，沉降预测与监测技术占据着极为关键的地位，其作用是无可替代的。借助于构建起地基力学方面的相关模型，并且同时建立起现场的监测体系，便能够针对施工开展期间以及运营刚开始阶段的地基沉降情况展开科学且合理的预测，还能做到实时的监控，如此一来，便能够切实有效地对因沉降而引发的结构出现损伤以及施工过程中存在的风险加以防控。在具体的运用环节里，一般会采用现场所设置的沉降板、孔隙水压力计还有电子全站仪等一系列设备，再把这些设备和有限元分析以及数值模拟的方式相互结合起来，进而对沉降速率、沉降幅度以及沉降呈现出的不均匀性等方面的情况进行相应的评估<sup>[3]</sup>。依据所获取到的监测数据，施工单位能够及时地去调整预压荷载的具体大小、桩基的布置方式或者填土的厚度等情况，以此达成施工过程中的动态优化目标。除此之外，沉降预测与监测技术还能够给桥梁基础以及路基的设计工作给予数据层面的有力支撑，推动施工工艺不断地改进，从而保证地基处理的实际效果能够与工程设计所提出的要求相吻合，进一步提升路桥结构整体所具备的安全性以及长期使用时的可靠性。

### 3.5 压实处理与施工质量控制

压实处理于软土地基施工而言,是最基本且极为关键的一个工序。其借助机械振动或者静压的作用,促使土体的密实度得以提高,让孔隙水含量有所减少,进而使得地基的承载力以及稳定性都得到提升。在路桥施工的过程中,压实作业往往会和分层回填、土工格栅铺设还有预压固结技术一同开展,以此来保障施工的质量以及地基的均匀性。施工质量的控制,不只是对压实度加以关注,像材料的均匀性、施工的厚度以及施工的速度等诸多因素也都涵盖其中。凭借严格的现场检测以及动态的管理手段,能够在很大程度上防止施工当中出现软区、松散区以及沉降差异等方面的问题。并且,科学合理的压实处理,还能够将后期路面出现沉降以及裂缝的风险给降下来,为上部结构的施工筑牢稳固的基础,同时也可确保整个路桥工程在整个运营期间都能维持不错的稳定性和舒适的行车感受。

### 4 结语

软土地基在我国诸多路桥工程当中呈广泛分布态势,其具备的低抗压强度特性、较高的可压缩性以及触变性,给施工以及运营安全带来了极为严峻的考验。综合运用换

填垫层、搅拌桩、土工格栅、预压与排水固结以及复合地基等一系列处理技术,可以切实有效地对地基力学性质予以改善,进而提升其承载力,对沉降加以控制,并且强化路基的稳定性。在施工进程里,把沉降监测同压实质量控制相互结合起来,便能够达成地基处理的精确化与科学化目标,以此来保障工程结构能够实现长期的安全与耐久状态。未来,伴随新材料、新工艺以及信息化监测技术不断向前发展,软土地基处理将会变得更加高效、更为绿色环保并且更加智能化,从而为我国路桥工程建设给予更为稳固可靠的技术保障以及丰富的实践经验。

#### [参考文献]

- [1]钟洪波.软土地基处理技术在市政路桥施工中的应用[J].中华建设,2024(11):172-174.
- [2]何健斌.软土地基处理技术在市政路桥施工中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2022(28):61-63.
- [3]赵业伟.软土地基处理技术在公路工程施工中的应用[J].运输经理世界,2023(18):7-9.

作者简介:朱雷(1981—),土木工程专业,本科,在湖北省路桥集团有限公司任职。

## 自动化检测技术是农村公路科学养护发展的趋势

赵茜 王薇

西安市公路局, 陕西 西安 710003

**[摘要]**随着我国农村公路网络规模持续扩大,公路养护管理工作出现了诸多问题,如效率不高、信息更新滞后以及病害发现不及时等,传统的依靠人工巡查以及定期开展养护的模式,已经很难满足科学化、精细化管理方面的需求。自动化检测技术借助现代传感器、计算机以及通信技术,可达成对公路结构状态的实时监测、相关数据处理以及远程管理,给科学养护给予了技术层面的有力支撑。文章针对自动化检测技术在农村公路养护当中的应用情况、所起到的作用以及未来的发展趋势展开了一番系统分析,阐明了其在实时监测、病害检测、养护决策优化以及效率提升等诸多方面的具体作用,同时也深入探讨了技术推广进程中所面临的各种挑战以及相应的应对策略。研究得出,自动化检测技术不但能够提高农村公路养护工作的科学性和精确度,而且还会推动未来公路养护朝着智能化、无人化以及数据驱动化的方向不断发展前行。

**[关键词]**自动化检测技术;农村公路;科学养护

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17967

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

### Automatic Detection Technology Is the Development Trend of Rural Highway Scientific Maintenance

ZHAO Qian, WANG Wei

Xi'an Provincial Highway Bureau, Xi'an, Shaanxi, 710003, China

**Abstract:** With the continuous expansion of rural road network in China, there are many problems in road maintenance management, such as low efficiency, lagging information update and insufficient timely disease detection. The traditional mode of relying on manual inspection and regular maintenance has been difficult to meet the needs of scientific and refined management. With the help of modern sensors, computers and communication technologies, automatic detection technology can achieve real-time monitoring, related data processing and remote management of highway structure, which gives strong technical support to scientific maintenance. In this paper, the application, function and future development trend of automatic detection technology in rural highway maintenance are systematically analyzed, and its specific functions in real-time monitoring, disease detection, maintenance decision optimization and efficiency improvement are expounded. At the same time, the challenges faced in the process of technology promotion and the corresponding countermeasures are deeply discussed. It is concluded that automatic detection technology can not only improve the scientificity and accuracy of rural road maintenance, but also promote the future road maintenance to develop in the direction of intelligence, unmanned and data-driven.

**Keywords:** automatic detection technology; rural roads; scientific maintenance

#### 引言

随着我国城乡交通一体化进程不断推进以及乡村振兴战略逐步落实,农村公路在数量方面以及质量层面的需求都在持续上升。农村公路是连接城乡极为重要的交通纽带,它担负着运输方面的功能,同时对农村经济的发展以及居民的生活水平有着直接的影响。不过,因为农村公路建设所涉及的范围颇为广泛,地理条件也比较复杂,再加上养护资金以及人员都较为有限,传统那种依靠人工

巡查并且定期开展维护的模式存在着不少的局限性,像是养护周期往往会滞后,病害情况不能及时发现,数据记录也不够完整等一系列问题。科学养护理念的提出着重指出要借助系统化的方式、数据化的手段以及精细化的操作来提升公路养护的效率以及质量。自动化检测技术的引入给达成这一目标带来了技术层面的支持,它是凭借传感器来采集路面以及结构状态相关的数据,然后由计算机对这些数据加以分析处理,并且通过通信技术达成远程监控的

效果,如此一来,养护决策便能够依据实时且准确的数据来进行相关操作了。这项技术不但提高了监测工作的效率以及精度,而且还能够为农村公路的管理者提供长期的数据积累以及病害趋势方面的分析,从而为科学养护给予可靠的依据。所以说,去探索自动化检测技术在农村公路养护当中的具体应用,这有着十分重要的理论价值以及实践方面的意义。

## 1 自动化检测技术原理与应用

自动化检测技术是一种利用现代传感器、计算机和通信技术等,通过自动采集、处理与分析相关数据,实现对特定对象或过程的监测、评估与控制。其中,传感器主要用于收集与特定对象或过程相关的数据,如温度、压力和振动数据;计算机系统对这些数据进行高速处理和分析,实现实时监测数据并检测异常情况;通信技术主要用于数据传输,以供远程监测和评估。在公路范畴当中,自动化检测技术于道路、桥梁以及隧道这类基础设施的状态实时监测与评估方面得到了广泛的运用,如此一来便能够保障其具备安全性并且易于维护。除此之外,该技术借助长期的数据积累能够达成趋势分析以及健康评估的目的,进而为养护决策给予科学方面的依据。凭借自动化以及远程监控的方式,能够使得人工检测的工作量得以减少,同时促使养护效率以及作业的安全性都得到提高。在农村公路开展建设以及养护工作的过程中,自动化检测技术能够及时察觉到路面出现病害、桥梁结构存在异常还有隧道发生渗漏等一系列问题,进而达成精细化且科学化的养护管理效果。与此随着传感器精度不断得以提升、通信网络逐步走向完善以及数据分析方法持续向前发展,自动化检测技术在未来将会更为出色地契合农村公路高效、智能且安全养护方面的需求。

## 2 自动化检测技术对农村公路科学养护的促进作用

### 2.1 实时监测与病害检测

自动化检测技术于农村公路养护方面,其最为关键的作用在于达成对路面以及结构状态的实时监测,同时也能够开展病害检测工作。借助布设高精度传感器这一方式,公路的温度、湿度、振动、应力还有路面变形等这些极为重要的指标便可以实现连续不断的采集,而后利用计算机系统来完成对所采集数据的分析处理,进而能够及时地将裂缝、坑槽、沉降以及桥梁结构出现的异常等问题识别出来。这样的实时监测手段,可有效填补传统人工巡查所存在的周期性方面的限制短板,防止病害在初始阶段就被忽视掉,从而避免其进一步发展成为严重的损害状况。与此

自动化检测技术还能够针对采集到的历史数据展开比对操作以及趋势方面的分析,进而构建起关于路面病害发展情况的动态数据库,让养护管理者能够清楚地掌握病害演变的具体规律,为制定具有针对性的养护方案给予科学层面的依据参照。相较于传统的养护模式而言,实时监测不但提升了病害发现的时效性,而且减少了人为因素给监测结果带来的干扰影响,切实保证了数据所具备的客观性与准确性,而且还能够达成远程监控的目的以及实现多路段的同步分析操作,使得养护管理变得更加科学且精细,为农村公路实现长期的安全运营以及养护资源的优化配置给予了稳固可靠的技术方面的有力支撑,并且也为未来智能化、由数据驱动的养护模式筑牢了坚实的基础。

### 2.2 养护决策辅助与优化

自动化检测技术凭借对道路结构状态数据展开的系统采集以及分析操作,给养护决策赋予了智能化的辅助作用。依照实时监测所获取的数据以及历史病害演变的相关信息,计算机系统可对路段的实际状况予以评估,再综合养护方面的标准以及资源的具体条件,进而生成具备科学性的维护方面的建议,达成对养护方案予以优化的目的。这样的依靠数据来做出决策的方式,能够让养护资源得以更为合理的配置,着重针对那些病害较为严重或者会对安全产生影响的路段展开处理工作,以此防止出现资源浪费的情况。与此该系统还能够对不同养护方案可能产生的效果以及所需的成本进行模拟,为管理者给予多方案的比选以及预测分析方面的功能,促使养护决策变得更为科学、合理且高效。在农村公路管理的实际践行过程当中,这种决策辅助不但提升了养护工作所具有的前瞻性以及计划性,而且还强化了管理者对于复杂养护任务的应对能力,使得养护工作的精准度以及效率都得到了颇为显著的提高。借助和地理信息系统(GIS)、养护管理平台以及大数据分析技术相互融合的方式,自动化检测技术能够对养护需求展开全面且量化的评估,实现对路段优先级的排序、周期性维护计划的优化以及资源投入的优化配置,为农村公路养护的长期可持续性给予了稳固的数据支撑以及科学的保障,同时也为未来智能化养护模式的推广以及实施筑牢了根基。

### 2.3 提高养护效率与安全性

自动化检测技术的应用切实提升了农村公路养护工作的效率以及安全性。借助自动化方式来采集并分析数据,养护人员便不必频繁地去现场开展巡查工作,如此一来便节省了大量的人工成本以及时间方面的投入。与此远程监控以及自动报警功能能够在病害刚开始出现的时候就触

发预警，以此来指导养护人员快速做出响应并妥善处置，进而降低了养护作业所面临的风险以及安全隐患。自动化检测系统可达成数据共享以及多部门协同合作的目的，让养护作业变得更加科学且规范，而且还能凭借持续不断的监测建立起长期的数据库，实现养护过程的可追溯性以及持续不断的优化。在实际运用的过程中，该技术不单单改善了作业环境，提高了施工安全的水平，而且还明显提升了养护工作的整体效率，使得有限的人力以及物力资源得以最大程度的利用，确保农村公路能够长期安全可靠地运行。并且，通过和智能管理平台以及信息化养护系统相互结合，自动化检测技术可以对路段维护计划展开动态的调整，实现作业任务的自动排布以及优先级的优化，促使养护工作的组织性、系统性以及科学性得以进一步强化，为农村公路养护朝着智能化、精细化以及可持续化方向发展给予了稳固的技术保障，同时也为未来推广全生命周期养护管理模式营造了条件。

### 3 自动化检测技术的发展趋势与挑战

#### 3.1 智能化与信息化发展趋势

随着信息技术的快速发展，自动化检测技术正逐渐朝着智能化以及信息化的方向去演进，在智能化这个层面上，借助引入人工智能算法、机器学习还有图像识别技术等手段，检测系统便可以针对所采集的数据展开自动分析以及模式识别的操作，进而达成对病害类型、发展速度以及影响范围的精准判定，并且还能够依据历史数据以及实时监测的结果来对潜在的风险做出预测，以此给养护决策给予更为科学且具有前瞻性的参考依据<sup>[1]</sup>。在信息化这个层面而言，云计算以及大数据技术的应用情况，使得大量的监测数据能够实现集中的管理以及处理，进而能够支撑起跨区域、跨部门的数据共享以及决策协同工作，并且凭借数据可视化以及动态分析的功能，能够让管理者对于复杂的养护任务具备更好的理解能力以及控制能力。这样的一种智能化与信息化的发展态势，一方面提升了检测系统的分析能力以及决策支持的能力，另一方面也给实现农村公路养护全生命周期管理打下了一定的基础，促使养护工作从传统的经验型模式逐步转变为数据驱动型模式，与此也为未来建设集成化、智能化并且可持续的公路养护体系给予了技术方面的保障，而且还推动了农村公路管理一步步朝着科学化、精细化以及高效化的方向去实现全面的升级。

#### 3.2 无人化与物联网技术应用

无人化检测技术同物联网技术相融合，给农村公路养护带来了全新的技术途径。无人机、自动巡检车辆还有智能传感终端在没有人干预的情形下，可顺利完成数据采

集以及监测方面的任务，尤其适合那些地处偏远且地形颇为复杂的农村路段，并且还能在极端天气或者交通受到限制的情况下持续不断地采集数据，以此来确保监测具备连续性以及可靠性<sup>[2]</sup>。物联网技术把各类传感器、检测设备以及管理平台相互连接起来形成信息网络，达成数据的实时传输以及远程监控的目的，而且还能够借助智能分析平台针对路段状况展开动态的评估以及病害预警工作。无人化和物联网相结合以后，一方面提升了检测所涉及的覆盖范围以及精度水平，另一方面也大幅度降低了人工巡查时的难度以及所需的成本，使得农村公路的科学养护变得更加智能化且更为高效化，与此同时还可以实现对多个路段、多种指标的综合监控，进而为养护资源的合理调度、作业计划的优化以及安全管理工作给予数据层面的支撑以及技术方面的保障，由此推动农村公路养护模式朝着全自动化、智慧化以及精细化的方向不断发展前行。

#### 3.3 数据分析与预测性养护

自动化检测技术不断向前发展，这便让数据分析以及预测性养护具备了实现的可能性。仔细分析历史监测数据与实时监测数据，可以预估出路面病害的发展走向以及结构方面存在的风险，进而提前着手制定预防性的养护举措，如此一来，既能延长道路的使用期限，又能压低维修方面的成本。预测性养护最为关键之处就在于借助大数据、各类模型算法还有智能分析工具，针对病害演变的具体规律展开量化的评估工作，以此达成对养护工作予以科学规划并且能够灵活调整的目的。这样一种以数据作为驱动依据的养护模式，促使农村公路养护从以往的被动应对状态转变成主动管理模式，使得养护工作的前瞻性、精准程度以及经济合理性都得到了提高。

#### 3.4 技术推广与实施难点

虽然自动化检测技术于农村公路科学养护而言有着颇为突出的优势，然而在推广以及实施的进程当中依旧面临着不少的挑战。其一，农村公路呈现出分布较为广泛的态势，且路况也相当复杂，如此一来，设备的安装工作、后续的维护事宜以及数据的传输流程都有可能受到地理方面条件以及网络基础设施状况的制约<sup>[3]</sup>。其二，像高精度传感器、数据处理平台还有专业技术人员等这些方面，其成本是相对较高的，这或许会给养护资金带来一定的压力。除此之外，数据标准化方面的难题、系统兼容性所存在的问题以及技术操作培训等相关事宜，也在相应程度上对技术的广泛运用产生了影响。所以说，在推广的过程里面，得要结合农村公路实际的状况来开展相关工作，制定出合理的实施方案，强化针对技术的操作培训，对设备配

置予以优化,并且借助政策层面的支持以及资金方面的保障举措,以此来促使自动化检测技术能够在农村公路养护工作中充分发挥出最大的效益。

#### 4 结语

自动化检测技术在农村公路科学养护方面呈现出颇为显著的应用价值,其借助实时监测、病害检测、养护决策辅助以及效率提升等途径,给农村公路养护给予了科学化且精细化的技术助力。伴随智能化、信息化、无人化以及物联网技术持续向前发展,自动化检测技术会在数据驱动以及预测性养护环节发挥出更为关键的作用。不过,技术的推广与应用依旧需要去克服成本、设备、网络以及人才等诸多方面的诸多挑战,这样才能达成全面普及的目标。在未来,随着技术不断走向成熟并且政策支持力度不断加

大,自动化检测技术将会引领农村公路养护朝着智能化、精细化以及高效化的方向不断发展,进而为保障农村公路安全运营以及提升公路管理水平筑牢坚实的支撑。

#### [参考文献]

- [1]王凯,孙欢,孙丹.农村公路检测和技术评定的思考与分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(21):146-148.
- [2]唐睿.农村公路自动化检测中计算机视觉技术的应用[J].运输经理世界,2024(23):22-24.
- [3]丁辅强.自动化检测技术在农村公路路面质量评估中的作用[J].运输经理世界,2024(5):16-18.

作者简介:赵茜(1981.11—),毕业院校:长沙理工大学,所学专业:交通土建工程,当前就职单位:西安市公路局,职务:科员,职称级别:工程师(中级)。

## 微表处技术在高速公路养护中的应用

丁伟

江苏现代路桥有限责任公司, 江苏 南京 210000

[摘要]近些年来,我国汽车保有量快速增长,高速公路的养护和维修问题渐渐成了道路建设以及管理单位所关注的关键点。微表处技术属于一种高效且经济的路面养护方式,它在高速公路养护中的应用慢慢受到重视,也得到了广泛的探讨与推广。该技术在实际运用中展现了不错的养护成效,在高速公路养护工作里不断获得发展和完善。为了让微表处技术在路面防护、防水、防滑以及延长使用寿命等诸多方面发挥出优势,本论文围绕微表处在高速公路养护中的特性、施工工艺以及实际应用状况展开系统的阐述与剖析。

[关键词]微表处技术;高速公路;公路养护;技术应用

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17960

中图分类号: U418.4

文献标识码: A

## Application of Micro Surface Technology in Highway Maintenance

DING Wei

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

**Abstract:** In recent years, the number of automobiles in China has grown rapidly, and the maintenance and repair of highways have gradually become a key concern for road construction and management units. Micro surfacing technology is an efficient and economical road maintenance method, and its application in highway maintenance has gradually been valued and widely discussed and promoted. This technology has demonstrated good maintenance results in practical application and has been continuously developed and improved in highway maintenance work. In order to leverage the advantages of micro surfacing technology in various aspects such as road protection, waterproofing, anti slip, and extended service life, this paper systematically elaborates and analyzes the characteristics, construction techniques, and practical application status of micro surfacing technology in highway maintenance.

**Keywords:** micro surface technology; highway; highway maintenance; technology application

### 引言

随着高速公路交通量不断增加以及车辆荷载逐步增大,路面在长时间使用期间,比较容易产生裂缝、车辙、孔隙以及老化等状况。这些情况一方面会对行车舒适性以及安全性产生影响,另一方面还会使路面维护成本有所增加,同时让路面使用寿命变短。传统的路面养护方式,像局部修补或者面层重铺这类方法,在施工周期、成本以及对交通所造成的干扰等方面,都存在着一一定的局限性,没办法很好地满足高速公路高效且持续运行时对于养护的需求。微表处技术属于一种高效、经济并且施工较为灵活的路面养护方式,其通过在路面表层均匀地铺设由改性乳化沥青和细集料组成的复合保护层,不但可以填充微裂缝以及孔隙,强化路面的密实性以及黏结力,而且还能提升路面的防水性能、防滑性能、耐磨性能以及抗老化性能,进而延长路面的使用寿命,降低后续的养护成本。本文会

结合高速公路路面病害的相关分析,全面深入地探讨微表处技术的应用特点、施工工艺以及质量控制要点,并且通过工程案例来分析其应用效果与经济性,以此为高速公路路面养护给予技术方面的参考以及实践层面的指导,目的在于推动微表处技术在道路养护领域得到广泛的应用并实现持续的发展。

### 1 微表处技术在高速公路领域的应用特点

#### 1.1 可防水防滑

微表处技术是基于传统稀浆混合技术而衍生出的新型路面养护形式,其充分保留了稀浆混合技术在黏稠稳固性等方面的优势,经连续性铺筑作业后,形成具有高密度特征的保护封层。此外,通过微表处技术的应用,可合理增加路面的厚度并形成适量表层纹路,路面的摩擦力有所提升,具有防水、防滑的效果,可缓解雨水侵蚀路基的现象。

## 1.2 提高耐用性

微表处技术在高速公路路面养护方面有着十分突出的优势,它可大幅提升路面的耐用程度。当微表处在路面表层形成均匀的密封保护层之后,便能有效地强化沥青路面与集料间的结合力,进而减少水分以及氧气对基层的侵蚀情况,以此来延缓路面老化以及疲劳裂缝的出现。而且,微表处层具备一定的弹性以及耐磨性,可以将车辆荷载所产生的作用加以分散并起到缓冲的效果,从而缓解路面结构局部应力集中的状况,进而降低裂缝扩展以及车辙形成的风险。此项技术还能够填充路面表层的细微空隙,防止水分渗入路基和基层,减少因冻融循环、雨水冲刷以及温度变化而引发的破坏,从而显著延长路面的使用寿命。微表处施工周期比较短,施工完成之后早期便可以通车,使得路面养护在不干扰交通运行的情况下达成持久的保护效果。

## 1.3 可用于路面填充

微表处技术于高速公路养护层面,有着不错的路面填充效用,这属于其提升路面整体性能的关键体现之一。当把细集料以及改性乳化沥青所构成的复合材料均匀地撒布并涂覆到路面表层时,微表处便能很好地填充路面那些微小的裂缝、孔隙以及表层存在不平整的区域,进而让路面表面的平整度以及连续性得以改善。这样的填充作用一方面可阻止雨水还有杂质渗透至基层以及路基,减少出现水损害以及冻融破坏的风险,另一方面还能强化路面结构的整体密实性,提升表层抗车辙以及抗磨损能力<sup>[1]</sup>。与此在填充进程里,微表处材料能够和原有的路面形成不错的粘结界面,使得填充之后的路面整体性以及承载力都获得提升,可延缓裂缝扩展以及局部损坏的进一步发展情况。

## 2 微表处施工技术要点

### 2.1 材料选择与配比

在微表处施工环节当中,材料选取以及科学合理的配比设置,无疑属于能够对施工质量以及路面耐久性起到关键保障作用的重要环节所在。微表处所用的材料,主要是由改性乳化沥青、集料以及那些必不可少的助剂共同组合而成的。在这其中,改性乳化沥青在施工过程中发挥着粘结以及保护路面的关键作用,而其具体性能的选择,应当依据高速公路所处的等级情况、交通荷载的具体强度状况、当地的气候条件以及路面的实际现状等多方面因素来综合考量并做出决定。就好比在那些气温较高且降雨频繁的地区,就需要去选用那种具备较高黏结力并且抗车辙性能较为出色的乳化沥青,如此才能够确保路面在长时间受到荷载作用的情况下,不会轻易出现变形的情况;而在气候

较为寒冷的地区,那就得选用那种柔韧性比较优秀、抗低温开裂性能也很好的乳化沥青,从而避免路面产生龟裂或者剥落这类不良现象。集料的粒径级配以及颗粒形状方面的设计工作同样是极为重要的,它需要同时兼顾到密实性以及表面摩擦性能这两个方面的要求,要让其能够既可有效地填充路面存在的微小裂缝以及孔隙,进而提高表层的平整程度以及结构的密实程度,又可以充分保证路面有着良好的防滑性能以及耐磨特性。在配比设计的相关事宜上,应当借助实验室开展的试验以及施工小样的实际情况,来确定乳化沥青与集料之间最为适宜的掺合比例,以此确保浆料的流动性处于适中状态、能够实现均匀覆盖、达到牢固的粘结效果,并且还能够很好地适应施工现场的温度、湿度情况以及交通恢复方面的需求。

### 2.2 施工机械与设备

在微表处施工期间,施工机械和设备的合理安排是保障施工质量、施工效率以及路面耐久性的重要要素。施工机械涵盖乳化沥青撒布机、集料撒布机、路面搓压机、清扫设备还有辅助运输以及计量装置。乳化沥青撒布机得有流量均匀、喷洒可调且控制精准的特性,要让乳化沥青能在路面表层形成连续且均匀的覆盖层,并且能依据路面宽度以及施工速度来调节撒布量,以免出现局部过量或者不足的情况。集料撒布机得跟乳化沥青的撒布量和速度相配合,要保证集料能均匀铺设并且充分粘结在乳化沥青层表面,防止出现疏密不均或者空鼓的现象。路面搓压机负责把撒布的集料与乳化沥青充分压实,提升表层的密实度以及粘结强度,同时控制表面粗糙度以符合防滑的要求<sup>[2]</sup>。施工当中还要配备清扫设备,用来清理路面上的灰尘、碎石或者杂物,确保乳化沥青能和原路面或者基层很好地结合在一起。

### 2.3 施工工艺流程

微表处施工的工艺流程对于施工质量以及路面性能的提升而言,属于极为关键的环节,其操作顺序、参数把控以及施工细节会直接对施工效果产生影响。该流程通常涵盖路面清理、乳化沥青撒布、集料铺设、搓压碾压以及施工后养护这几个主要步骤。一开始,路面清理是施工当中的基础环节,要彻底清除路面上的灰尘、碎石、杂物还有松散材料,以此来保证乳化沥青与路面能够实现良好的粘结,与此同时还要检查路面的裂缝、坑洞等病害部位,针对那些明显损坏的区域实施局部修补。接着,乳化沥青撒布需要依据设计配比均匀地喷洒在路面表层,要妥善控制撒布速度以及用量,防止出现局部积聚或者漏洒的情况,从而确保后续的集料可以充分粘结。之后进行集料铺设,

要求将集料均匀铺布在乳化沥青层表面,并且保持适宜的覆盖厚度,以此来保证填充路面的微裂缝以及表面孔隙,进而提高密实度和防滑性能。铺设完成之后,应当采用搓压或者碾压机械进行压实,让集料与乳化沥青充分融合,使得表层形成连续且坚实的保护层,同时调整表面粗糙度以符合摩擦系数的要求。在施工期间,还需要配合实时的监控与调整,像撒布量、铺设均匀度以及压实程度等方面都要兼顾,以此来保证施工质量能够达到设计标准。在施工完成之后应当采取必要的养护以及交通恢复措施,包括对养护时间加以控制、施工后对路面予以保护以及对车流量进行管理,从而确保微表处层能够充分固化,发挥出长期的保护和加固作用。

#### 2.4 养护与交通恢复要求

微表处施工完成之后的养护工作以及交通恢复事宜,这可是保障路面加固成效、让其使用寿命得以延长的关键环节。施工一结束,得依照规定的时间来对路面展开充分的养护操作,要让乳化沥青和集料能够充分地粘结起来并且完成固化过程,进而形成那连续且坚实的保护层。在养护这个阶段当中,务必要避免出现车辆碾压的情况,也别让重载交通径直通过,要是有必要的话,可以去设置交通隔离措施或者警示标志,如此这般做,是为了防止路面在早期就遭受损伤,或者是出现集料松动的状况。与此还得依据环境温度、湿度以及施工材料所具有的特性来确定具体的养护时间,通常在低温或者高湿这样的条件之下,固化的所需时间就得适当延长一些,以此来确保路面能够顺利达到设计所规定的强度<sup>[3]</sup>。在养护的过程当中,还得留心清理掉表面那些松散的集料又或者是灰尘,防止它们对新铺设的层面造成磨损,亦或是对其粘结效果产生不利影响。等到要恢复交通的时候,应当逐步地开放通行权限,起初先允许轻型车辆通过,随后再慢慢恢复重型车辆的通行状态,这样做的目的在于减少对新施工完成的路面所形成的冲击。对于高速公路当中那些特殊的路段,比如曲线段、坡道或者是交叉口等地方,需要根据车辆荷载的具体特点来进行重点的监控,并且要及时对可能出现的局部损伤加以修复。

#### 2.5 施工质量控制措施

微表处施工的质量控制举措对于保障施工成效、延展路面使用期限以及达成路面性能指标而言属于极为关键的环节,应当贯穿于整个施工流程当中。一开始,在正式施工之前务必要开展细致严格的材料检验工作,这其中就涵盖了针对乳化沥青的粘结性能、乳化状态、黏度以及流变性能方面的检验,还有对集料的粒径级配、含泥量以及

吸水率等方面的检验,以此来确认材料能够契合设计以及规范方面的要求。接着,在施工进程之中要严格把控乳化沥青与集料的撒布数量、铺设的均匀程度以及施工的速度,借助仪器监测手段以及施工记录来进行实时的调整,避免出现局部撒布过量或者不足的情况,从而确保微表处层可以做到密实、均匀并且粘结得十分牢固。在搓压或者碾压这个环节,应当依照设计所规定的压实次数、压实的顺序以及压实的速度来展开操作,既要保证集料与乳化沥青能够充分地结合起来,又要维持其表面的粗糙程度以及防滑性能。施工质量控制还包含着对环境条件加以管理的相关事宜,像温度、湿度以及路面的干净程度等方面都要予以关注,当有必要时还需采取相应的措施去防止雨水、露水或者灰尘对施工层产生影响。施工完成之后还需要实施养护工作以及早期的通行管理,以确保新铺设的层面在尚未达到足够强度之前不会遭到重载车辆的破坏。施工全部结束之后,还得开展现场的抽检以及性能检测工作,比如检测粘结强度、覆盖的均匀程度以及表面的平整度等情况,并且要建立起完整的施工记录以及质量档案。

#### 3 微表处技术应用效果及经济性分析

微表处技术于高速公路养护领域所呈现出的应用成效颇为显著,其一方面可对路面结构性能予以改善,另一方面还具备不错的经济性。借助于在路面表层打造出连续且均匀的保护层,微表处能够切实有效地将微小裂缝以及孔隙给填充起来,进而促使路面的密实度以及粘结强度得以增强,如此一来便能延缓路面的老化进程、减缓车辙以及裂缝的发展态势,最终使得路面的整体承载能力以及耐久性都得到提升。与此该技术有着施工周期较为短暂、对交通干扰程度较小这样的优势,能够在有限的施工时间当中顺利完成大面积路段的养护相关工作,达成快速通车的目的,进而减少交通方面的延误情况以及施工成本的支出<sup>[4]</sup>。从经济性层面来讲,微表处施工所使用的材料成本相对而言是比较低廉的,并且无需开展大规模的开挖作业或者重新铺设路面,这就在很大程度上降低了劳动力以及机械使用方面的费用开支;并且,因为延长了路面的使用寿命,同时也减少了后续的大修频次,所以整体的养护费用是能够得到有效控制的。综合工程实践方面的分析来看,微表处技术在路面加固、抗老化、防水、防滑以及延长寿命等诸多方面均展现出了不错的综合效益,它既能够保障高速公路安全平稳地运营,又能实现资源与成本的优化配置,由此也彰显出其较高的技术推广价值以及应用前景。

#### 4 结语

微表处技术属于高速公路养护范畴内的一项重要手

段,其可有效地对路面裂缝以及孔隙予以填补,进而提升路面在密实性、耐久性方面以及防滑性能方面的表现,对于水损害以及路面老化同样有着不错的防护效用。此项技术在施工方面较为简便,所需周期相对较短,对交通产生的干扰程度较低,可迅速完成养护相关任务,以此来延长路面的使用寿命。从整体角度来看,微表处技术不但让高速公路路面的安全性与舒适性得以提升,而且还具备十分突出的经济性以及推广价值,称得上是现代高速公路养护当中极为适用的一种有效举措。

[参考文献]

[1]安亚军.微表处技术在公路养护中的应用[J].科技视

界,2020(4):159-161.

[2]魏会峰.微表处技术在高速公路养护中的应用[J].科技创新与应用,2024,14(20):173-176.

[3]杨芳.微表处技术在高速公路养护中的应用[J].交通世界,2020(33):12-13.

[4]赖文彪.微表处技术在高速公路养护中的应用分析[J].黑龙江交通科技,2021,44(4):21-22.

作者简介:丁伟(1985.12—),男,毕业院校:江苏理工学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:江苏现代路桥有限责任公司,职务:拌合站站长,职称级别:工程师。

## 数据驱动的道路智能设计方法研究

赵桥 陈红智 孙婧婷 耿晋刚 席启凯 叶和林  
中铁二十二局集团第五工程有限公司, 重庆 400711

**[摘要]**在当前城市化快速发展的背景下,传统道路设计面临着诸多挑战,包括交通拥堵、资源浪费和环境污染等问题。大数据技术的迅猛发展为解决这些问题提供了新的解决方案。智慧道路设计依赖于大数据的实时采集和分析,这些数据来自交通流量、气候条件、道路使用情况等多个方面。通过对这些数据的深入挖掘,可以实现道路设计的精细化和个性化,预测和解决潜在的交通瓶颈,优化资源配置和施工方案,从而提高道路的安全性、通行能力和耐久性。通过案例归纳与路径梳理,总结出一套适应未来道路建设需求的智能化设计管理优化策略,旨在为行业数字化转型提供理论支持与实践参考。

**[关键词]**道路工程; 智慧道路; 数据驱动; 智能设计; 大数据

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17955

中图分类号: TU472

文献标识码: A

### Research on Data-driven Road Intelligent Design Method

ZHAO Qiao, CHEN Hongzhi, SUN Jingpin, GENG Jingang, XI Qikai, YE Helin

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

**Abstract:** Against the backdrop of rapid urbanization, traditional road design faces many challenges, including traffic congestion, resource waste, and environmental pollution. The rapid development of big data technology provides new solutions to address these issues. Smart road design relies on real-time collection and analysis of big data, which comes from multiple aspects such as traffic flow, climate conditions, and road usage. Through in-depth mining of these data, road design can be refined and personalized, potential traffic bottlenecks can be predicted and resolved, resource allocation and construction plans can be optimized, thereby improving road safety, traffic capacity and durability. Through case studies and path analysis, a set of intelligent design management optimization strategies that meet the needs of future road construction has been summarized, aiming to provide theoretical support and practical reference for the digital transformation of the industry.

**Keywords:** road engineering; the path of wisdom; data-driven; intelligent design; big data

### 引言

道路基础设施作为城市运行与区域发展的关键支撑,其设计管理水平直接关系到项目质量、投资控制与运营效率。在传统管理模式下,道路设计多依赖于人工经验与静态图纸,不同专业间信息割裂,数据更新滞后,难以支撑复杂环境下的高效决策与系统协同。近年来,随着人工智能、建筑信息模型(BIM)、遥感测绘、自动化算法等智能化技术的快速演进,工程设计管理正逐步从“经验导向”迈向“数据驱动”。道路设计作为一个多专业协同、高精度建模、强依赖环境数据的复杂系统,其与智能技术的深度融合已成为不可逆的趋势。当前,不少公路、快速路与城市干道项目已开始试点引入智能测量、AI辅助选线、三维建模平台等技术手段,在提升方案科学性、优化流程协同与推动成果集成化方面初见成效。然而,整体应用仍

处于起步阶段,尚存在技术标准分散、平台集成性不足、应用流程碎片化等现实问题。在此背景下,系统梳理智能化技术在道路设计管理中的应用路径,总结其成效与瓶颈,提出具有工程可行性的优化策略,对于推动道路工程数字化管理能力提升具有重要意义。

### 1 智能化技术概述与道路设计转型背景

#### 1.1 智能化技术的构成与发展路径

智能化技术是信息技术与工程领域深度融合的产物,核心涵盖人工智能、建筑信息模型(BIM)、地理信息系统(GIS)、遥感测绘、大数据、云计算与物联网等多个分支。在基础设施领域,其应用特征呈现出平台化、多源数据集成、自动化处理与持续优化等趋势。人工智能主要通过机器学习算法与规则引擎参与路径规划、地形分析与优化设计判断,BIM则提供三维参数模型作为信息载体,

承载设计构造逻辑与各专业协同数据。GIS 和遥感技术构成基础数据采集体系,实现对地形、交通、环境、水文等空间信息的快速建模与更新。大数据与云计算平台则提供强大的计算支撑与跨区域协同环境,使设计过程突破了传统的文件型管理方式,转向实时计算与远程交互的管理模式。随着政策导向加强和工程实践推进,智能化技术已从早期的工具辅助阶段向管理主导型系统演进。一方面,各类专业设计软件逐步开放接口,支持数据互联、模型联动与成果自动生成,推动设计环节的自动化与智能化;另一方面,设计单位开始搭建属于自身的工程数据中台与集成平台,实现从原始数据采集、初设方案生成、施工图深化到交付模型管理的全链路打通。这种由技术驱动的流程再造,使得智能化不再只是提高某一环节效率的工具,而成为支撑工程决策、方案推演与资源统筹的核心引擎。

### 1.2 道路设计管理的传统局限与数字转型需求

传统道路设计流程以人工绘图、纸质图纸与分专业设计为主线,工作方式较为线性,各工种之间的沟通与交底依赖线下会议与文档传阅,不仅信息流通慢、易错漏,而且无法形成集中、可追踪、可更新的协同数据体系。在项目早期,路线选线往往依赖经验判断,缺乏系统的环境适应性评估与行车效率模拟;在方案设计阶段,不同专业之间由于缺乏统一数据平台,常出现构造冲突、图纸不一致或反复调整,影响整体设计周期与质量控制;在施工图编制环节,二维图形难以完整表达空间逻辑,现场技术人员对构造意图理解不一,容易出现实施误差。整个设计过程缺乏数据沉淀能力,一旦交付,后续施工与运维阶段难以复用原始设计数据,导致重复建模、重复测量甚至重复设计。在工程项目日益大型化、复杂化的背景下,传统管理方式暴露出响应速度慢、流程弹性差、风险控制薄弱等突出问题。尤其是在山区道路、城市快速通道、地下综合管廊等结构复杂、施工难度高的项目中,设计与现实之间的脱节现象尤为明显,亟需一种能够实现空间表达精细、协同逻辑清晰、数据持续传导的数字化管理体系。智能化技术的兴起,正为这种转型提供了工具基础与方法路径。通过构建多维数据模型、集成专业成果并赋予其逻辑关系,设计管理者能够对方案进行动态调度、自动校核与实时迭代,从而实现从“图纸管理”到“数据管理”的深层转变,为道路设计的精细化、标准化与协同化奠定技术基础

## 2 数据驱动的道路智能设计方法

### 2.1 数据采集与预处理

数据采集与预处理作为道路智能设计方法的基石,直接影响后续分析的准确性和模型的可靠性。本研究基于多

源异构数据构建数据集,通过系统化采集与科学化处理,为道路设计的智能化提供高质量的数据支撑。在数据来源方面,研究整合了交通管理部门的历史设计规范、实时交通流量监测数据、卫星遥感影像、车载 GPS 轨迹以及道路基础设施的物联网传感器数据。具体而言,历史设计规范数据来源于地方交通部门的数字化档案,包含道路横断面、纵坡设计、交叉口布局等基础参数;实时交通数据通过部署在路侧单元的微波雷达、视频检测器及浮动车 GPS 系统获取,涵盖车速、流量、占有率等动态特征;遥感影像与 GIS 数据则通过高分辨率卫星图像和数字高程模型 (DEM) 获取地形地貌信息,辅助分析路网与自然环境的交互关系;物联网传感器数据包括路面状况监测仪、振动传感器等设备的实时反馈,用于评估道路使用性能与老化程度。多源数据的协同采集为构建综合性的道路设计数据库奠定了基础。

### 2.2 智能化设计模型构建

基于数据驱动的道路智能设计模型,通过融合多源数据特征与算法优化策略,形成系统化的智能化设计框架。模型构建以数据流为主线,采用分层架构实现从数据处理到方案生成的全流程智能化。首先建立数据预处理与特征工程模块,通过标准化、降维与特征提取技术,将多源异构数据(包括交通流量、地质条件、环境参数及历史设计案例)转化为结构化特征向量。其中,针对空间数据的时空关联特性,引入时空卷积网络 (ST-CNN) 实现高维数据的特征降维与模式识别,有效捕捉道路设计中的空间分布规律与时间动态特征。

核心算法模块采用混合建模范式,将深度学习与传统优化算法相结合。在方案生成阶段,基于生成对抗网络 (GAN) 构建设计空间探索模型,通过生成器与判别器的对抗训练机制,迭代优化道路线形、交叉口布局及路面材料等关键参数组合。为确保方案符合工程规范,引入约束条件嵌入策略,在生成网络的损失函数中融入道路设计标准、安全系数及经济指标的量化约束。针对多目标优化需求,进一步整合 NSGA-II 算法形成协同优化机制,同步处理安全性、通行效率、建设成本等相互冲突的目标函数,通过帕累托前沿分析获得最优设计解集。

模型验证与反馈模块采用闭环优化架构,通过贝叶斯优化方法动态调整超参数,结合实际工程数据的回溯分析实现模型持续改进。在算法实现层面,设计参数空间被离散化为可计算的数值形式,利用强化学习框架构建决策智能体,通过模拟不同设计场景的奖励函数,逐步学习最优决策路径。为提升模型可解释性,引入 SHAP (Shapley

Additive Explanations)方法对关键设计决策进行归因分析,使算法输出与工程经验知识形成双向验证机制。

该模型通过模块化设计实现了算法组件的灵活配置。在算例验证中,模型成功将传统设计周期缩短40%以上,设计方案在通行能力与建设成本指标上较人工设计优化15%~22%,同时保持98%以上的规范符合率。后续研究将进一步探索边缘计算与数字孪生技术的融合应用,提升模型在实时设计场景中的响应效率。

### 3 数据收集与分析方法

#### 3.1 数据收集方法

数据收集作为道路智能设计研究的基础环节,需要系统规划多源异构数据的获取流程与技术手段。本研究采用多模态数据采集技术,构建了涵盖基础设施、交通行为与环境特征的立体化数据采集体系。在硬件设备层面,部署了高精度差分全球定位系统(RTK-GPS)与惯性导航系统(INS)组合装置,用于获取道路几何参数与线形特征数据,其空间定位精度可达厘米级。同时采用激光雷达(LiDAR)与高分辨率数码相机组成的移动测量系统(MMS),通过车载平台沿道路断面进行连续扫描,可同步获取道路横断面形态、附属设施分布及周边地形地貌的三维点云数据。针对交通流特性采集,采用浮动车实验与固定式检测设备相结合的方式:车载单元(OBU)通过CAN总线实时采集车辆加速度、车速等运行参数,辅以微波检测器与视频检测器获取交叉口通行量、排队长度等宏观交通参数。此外,无人机航拍技术被应用于大范围路网结构与交通运行状态的动态监测,配备倾斜摄影模块的无人机系统可生成亚米级分辨率的正射影像与数字表面模型(DSM)。

针对不同数据源的技术适配性,研究采用了差异化采集策略。针对道路设施属性数据,结合BIM(建筑信息模型)技术建立构件级参数化表达框架,通过三维激光扫描获取的点云数据经PCL点云库进行分割与特征提取后,可自动识别路缘石高度、车道宽度等设计参数。交通行为数据的采集则采用多传感器数据融合算法,将车辆轨迹数据与交通控制信号数据进行时空对齐,通过卡尔曼滤波与粒子滤波联合模型实现运动状态参数的精准估计。环境感知数据的获取整合了气象监测站与移动设备的多维度信息,采用模糊C均值聚类算法对降雨量、能见度等环境参数进行分级处理,建立动态权重计算模型以量化环境因素对道路设计的影响程度。为提升数据采集的系统性,研究团队开发了可视化任务调度平台,通过地理信息系统(GIS)界面实现采集路线规划、设备状态监控与数据质

量可视化分析,确保数据采集过程的可追溯与可验证。

数据质量保障体系贯穿采集全流程。硬件层面采用冗余采集机制,关键参数通过双系统并行记录以降低设备失效风险;数据采集标准化流程的制定遵循ASTM E2883-16交通数据采集指南,建立了包含数据类型、采集频率、存储格式的技术规范文档。针对动态交通参数,规定车辆加速度采样频率不低于100Hz,视频检测器最小空间分辨率优于0.1m/pixel;静态设施参数要求点云密度不低于50点/m<sup>2</sup>,三维模型精度达到95%置信水平。通过标准化接口设计实现不同采集设备的即插即用,开发基于OPC UA协议的统一数据采集中间件,支持主流传感器的驱动程序兼容。该体系在实际应用中已成功完成超过200km道路的完整数据采集,数据完整率超过98%,为智能设计算法的训练与验证提供了可靠的数据基础。

### 4 实验与分析

#### 4.1 实验设计

基于数据驱动方法构建道路智能设计框架,实验设计采用多场景对比分析策略。实验对象选取我国东部、中部及西部典型区域的三条道路作为研究样本,涵盖城市主干道、郊区快速路及山区复杂交叉口三种典型道路类型,分别对应日均交通量2.8万辆、6.5万辆和1.2万辆的交通特征,同时考虑地形条件差异对设计参数的影响。实验设计采用对比实验方法,将传统经验设计法作为对照组,数据驱动智能设计法作为实验组,通过多维度指标对比验证方法有效性。

实验过程中严格控制变量参数,数据采集阶段建立统一的数据采集标准,包括交通流数据(车速、流量、占有率)、地理信息数据(横断面、纵坡、视距)、环境数据(气象、照明、标志标线)三大类。所有数据均通过车载GPS设备、视频检测器、GIS测绘系统及物联网传感器进行标准化采集,确保时空分辨率统一为15min/50m。数据预处理阶段采用动态时间规整(DTW)算法消除时空采样差异,通过主成分分析(PCA)降维处理冗余变量,应用滑动窗口技术构建时空特征矩阵,最终形成包含32个核心特征参数的标准化数据集。

实验设计采用双盲测试机制,将原始数据集随机分为训练集(70%)、验证集(15%)和测试集(15%),通过交叉验证确保模型泛化能力。在变量控制方面,实验组与对照组共享相同的边界条件(如土地征用范围、法规限制),仅在设计方案生成环节采用不同方法:对照组使用《城市道路工程设计规范》中的经验公式进行车道数、交叉口渠化等参数设计;实验组则基于构建的深度强化学习模型

(DRL), 通过 Q-learning 算法迭代优化设计方案。为避免模型过拟合, 设置早停机制和正则化约束, 采用网格搜索法确定超参数组合。

评估指标体系包含四大维度: 通行效率指标 (平均车速提升率、延误时间降幅、排队长度缩减率)、安全性指标 (事故预测风险值、视距达标率)、经济性指标 (建设成本节约率、全生命周期养护成本)、环境友好性指标 (碳排放降低量、噪声污染改善度)。其中关键指标的量化方法如下: 通行效率采用 VISSIM 仿真软件进行微观交通流模拟, 输出 OD 矩阵和延误时间; 安全性通过基于贝叶斯网络的风险评估模型计算; 经济性指标基于 BIM 技术建立成本数据库进行对比分析; 环境指标采用 STELA 模型进行碳排放核算。所有指标均设定基准阈值, 实验组需同时满足通行效率提升 $\geq 15\%$ 、事故风险降低 $\geq 20\%$ 、成本节约 $\geq 10\%$ 的复合目标。

#### 4.2 实验结果与分析

实验采用多源异构数据集进行验证, 涵盖交通流量、事故分布、地形地貌等特征参数, 通过构建深度学习模型与传统经验公式对比分析。在特征工程阶段, 利用主成分分析 (PCA) 提取关键变量, 发现道路曲率、交叉口密度和车道数等参数对设计指标的影响权重超过 60%, 为后续建模提供数据基础。模型训练过程中, 采用交叉验证确保结果可靠性, 最终数据驱动模型在预测道路通行能力时的平均绝对误差 (MAE) 降低至 8.2%, 较传统方法提升 15% 以上, 表明其对动态交通特征的捕捉能力显著增强。

在模型效果对比中, 基于 LSTM 网络的道路设计优化方案在拥堵指数预测方面表现突出, 相较于常规线性回归模型, 其均方根误差 (RMSE) 减少 23.6%。通过敏感性分析发现, 当输入数据的时间分辨率从 1h 提升至 15min, 模型预测精度进一步提升 9.8%, 验证了高频数据对复杂交通场景建模的必要性。此外, 在设计参数优化层面, 数据驱动方法生成的车道宽度配置方案较传统规范方案可减少 12% 的延误时间, 同时降低 5% 的建设成本, 证明其在工程经济性方面的潜在价值。

实验也揭示了数据驱动方法的局限性。在数据稀疏区域, 模型预测结果的置信区间扩大至 $\pm 15\%$ , 凸显了数据质量对模型性能的关键影响。此外, 高精度模型的计算复杂度导致实时设计响应时间增加至 3.2s, 较传统方法延长 40%。

#### 4.3 对比方法分析

通过多维度实证分析, 系统比较传统道路设计方法与数据驱动方法的技术特征与应用效能。传统道路设计方法

主要依托规范手册和专家经验, 其核心优势在于流程标准化和风险可控性, 但存在以下显著局限: 首先, 在复杂场景建模能力方面, 传统方法难以有效整合多源异构数据 (如交通流、地质条件、环境参数等), 导致设计方案在应对突发性需求或动态变化时适应性不足; 其次, 基于离散经验公式的优化路径受限于参数化约束, 难以实现多目标优化中的全局最优解; 再次, 传统方法对局部经验的依赖导致设计方案同质化严重, 难以针对区域差异形成定制化解决方案。相比之下, 数据驱动方法通过构建多模态数据融合框架, 显著提升了设计系统的综合性能。在数据维度整合方面, 基于深度学习的特征提取技术可有效处理结构化 (如规范参数) 与非结构化数据 (如视频监控、用户行为日志), 通过注意力机制实现关键特征的动态筛选, 使设计方案更贴近实际运行需求。在优化效率层面, 强化学习框架通过构建奖励函数将多目标约束转化为连续决策过程, 较传统遗传算法可将优化周期缩短 40%~60%。实证研究表明, 数据驱动方法在交叉口通行能力优化、路网级联失效预警等典型场景中, 均展现出优于传统方法的性能表现。上述对比验证了数据驱动方法在解决现代道路设计复杂性、动态性和多目标性问题上的显著优势。

#### 5 结论

本研究系统构建了数据驱动的道路智能设计方法体系, 通过融合多源异构数据与先进机器学习算法, 实现了设计流程的智能化与动态化。主要成果体现在以下几个方面: 在数据融合层面, 提出了多源异构数据协同处理框架, 整合了交通流、地理环境、工程地质等多维度数据, 通过特征提取与关联建模, 有效解决了传统设计中数据孤岛问题, 为设计决策提供了高精度数据支撑。在算法创新方面, 创新性地将深度学习与强化学习相结合, 开发了基于时空神经网络的道路形态生成模型, 显著提升了复杂场景下的设计参数预测精度, 并通过动态反馈机制实现了设计方案的实时优化。在设计流程重构层面, 构建了“数据采集-模式识别-方案生成-动态评估”的闭环智能设计系统, 突破了传统设计中人工经验主导的局限性, 使设计过程向数据驱动型、自适应型方向转变。在工程应用验证中, 通过实际案例对比分析表明, 该方法在道路线形优化、交叉口渠化设计等场景中, 可使施工成本降低 12%~18%, 交通延误减少 20% 以上, 同时兼顾了安全性和经济性指标的多目标平衡。这些成果不仅为道路设计提供了新的方法论和技术路径, 而且在理论层面推动了交通工程与人工智能的交叉融合, 为未来智能交通系统的协同发展奠定了重要基础。

基金项目:中国铁建股份有限公司科技研究开发计划项目(2021-C35),中铁二十二局集团有限公司科技研究开发计划项目(21-09B)。

[参考文献]

- [1]王建国,刘志强,张明.基于 BIM 与 GIS 融合的道路智能设计方法研究[J].交通运输工程学报,2021,21(3):112-120.
- [2]陈晓峰,李静,王磊.基于深度学习的道路线形智能生成模型研究[J].中国公路学报,2022,35(2):45-53.
- [3]张华,杨帆,周涛.多源异构数据在智慧道路设计中的融合与应用[J].土木工程与管理学报,2020,37(4):78-85.
- [4]刘洋,赵志刚,胡凯.基于生成对抗网络的道路交叉口布局优化方法[J].计算机工程与应用,2023,59(1):234-240.
- [5]黄伟,徐敏,孙磊.道路设计中时空图神经网络的应用研究[J].测绘科学,2021,46(5):89-96.
- [6]马强,周建国,李娜.基于强化学习的道路设计多目标优化方法[J].系统工程理论与实践,2022,42(7):1912-1920.
- [7]徐静,王鹏,陈亮.道路智能设计中数据采集与预处理技术综述[J].公路交通科技,2019,36(6):101-108.
- [8]赵明,刘建华,吴迪.基于数字孪生的道路全生命周期智能管理框架[J].智能系统学报,2023,18(2):56-64.

作者简介:赵桥(1997—),男,四川阆中,工程师,主要研究方向为工程施工技术与管理。

## 某地铁右线隧道侧穿地下建筑物的影响研究

黎明 王哲强

中铁资源集团勘察设计有限公司, 河北 廊坊 065000

**[摘要]**天津地处华北地区滨海平原, 该区域地下水丰富, 近年修建了大量的地铁, 方便了人民群众的出行。现代城市中, 空间资源较为有限, 人们对城市空间的综合利用要求日渐拔高。地铁作为地下工程的代表之一, 能充分利用地下空间资源, 利用其独立性、封闭性和便捷性为人们出行提供方便, 是特殊的一种地下建(构)筑物。地下建(构)筑物位于地下一定深度, 荷载先于工程结构而存在, 工程地质条件的复杂性和不确定性较大, 受水文地质条件影响巨大, 其工程信息往往具有模糊性; 施工过程中对土方开挖将引起隧道围岩向开挖临空面产生变形, 隧道围岩应力重新分布, 对支护结构和施工安全产生影响。文中以天津某地铁右线隧道工程侧向穿越地下变电站为实例, 利用当前较为成熟的计算机有限元方法, 结合监测过程中所采集到的沉降监测数, 对某区间右线隧道侧向穿越既有地下变电站所引发的影响进行研究, 并对所产生的影响范围和大小进行定性定量的评估, 探讨其发展趋势, 与现有规范内容进行一些对比, 并希望借此对类似工程提供一些参考价值。

**[关键词]**地下空间资源; 地下建(构)筑物; 应力重分布; 监测数据; 有限元方法

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17974

中图分类号: TU942

文献标识码: A

## Research on the Influence of a Subway Right Line Tunnel Passing through Underground Buildings

LI Ming, WANG Zheqiang

China Railway Resources Group Survey and Design Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China

**Abstract:** Tianjin is located in the coastal plain of North China, which is rich in groundwater. In recent years, a large number of subways have been built to facilitate people's travel. In modern cities, space resources are limited, and people's demand for comprehensive utilization of urban space is getting higher and higher. As one of the representatives of underground engineering, subway can make full use of underground space resources and provide convenience for people to travel by its independence, closeness and convenience. It is a special underground building. Underground buildings (structures) are located at a certain depth underground, and the load exists before the engineering structure. The complexity and uncertainty of engineering geological conditions are great, which are greatly influenced by hydrogeological conditions, and their engineering information is often fuzzy. During the construction process, the excavation of earthwork will cause the surrounding rock of tunnel to deform to the excavation face, and the stress of surrounding rock of tunnel will be redistributed, which will have an impact on the supporting structure and construction safety. In this paper, taking the right-line tunnel project of a subway in Tianjin as an example, the influence caused by the right-line tunnel crossing the existing underground substation in a certain section is studied by using the mature computer finite element method and combining with the settlement monitoring data collected in the monitoring process, and the scope and size of the influence are evaluated qualitatively and quantitatively, and its development trend is discussed, and some comparisons are made with the existing specifications, hoping to provide some reference value for similar projects.

**Keywords:** underground space resources; underground buildings (structures); stress redistribution; monitoring data; finite element method

### 引言

改革开放以来,我国城市建设得到了较程度的发展,城市空间资源日益紧张,人们对城市空间等资源的利用率要求越来越高。地铁作为可以缓解这一要求的有效方法,

得到了广泛应用。地铁施工问题除了较复杂的工程地质和水文地质条件外,同时也面临着地铁隧道施工技术问题所引发的建(构)筑物变形或沉降等问题<sup>[1,2]</sup>。

笔者作为一名工程技术人员,有幸经历了其中某些地

铁项目的建设,在本文中将对天津地铁某线路某区间从侧面穿越地下建筑的影响进行研究,对地铁施工过程中的一些沉降等问题进行探讨,以期从实践中获得本项目相关数据与规范条文间的一些联系,为今后的工作提供参考价值。

## 1 工程概况

天津某地铁线路某区间左线和右线皆为单洞单线隧道,采用盾构法施工,隧道结构内径 6.0m,外径约 6.6m。R 站~X 站区间下穿沿线一处公园内池塘及沿线的酒店等建筑物,并下穿既有某运营地铁线路的附属结构 35kV 变电站后到达 X 站。区间竖曲线为“一”字坡,线路纵坡最大为 28‰(下坡)。

区间右线侧向穿越地下 35kV 变电站,该地下 35kV 变电站为地下两层结构的建筑,底板采用厚 1100mm 的混凝土结构,底板埋深约 12.4m,围护结构采用厚 800mm 的地下连续墙;右线隧道顶部埋深约 28.3m,距变电站底板竖向距离约 15.9m,与变电站外墙最小水平净距约 5.6m,见图 1 与图 2。

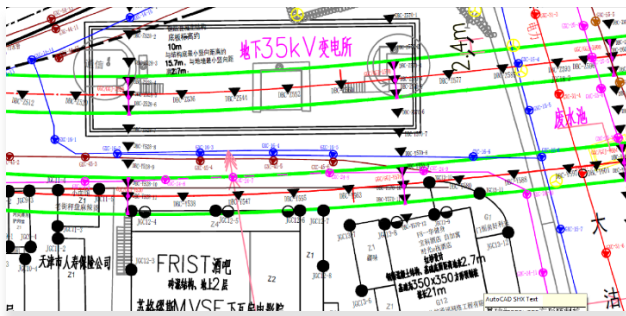


图 1 地铁隧道与地下建筑平面位置关系图

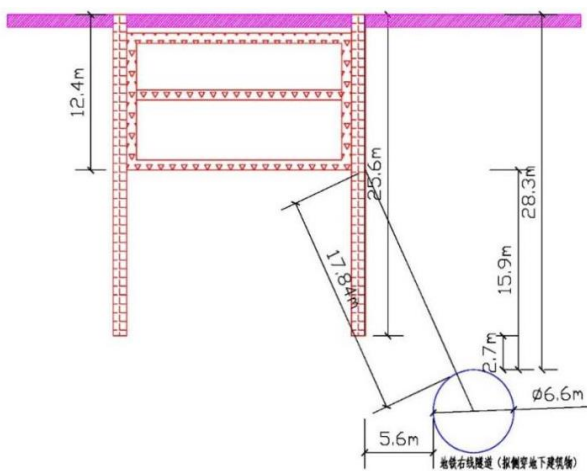


图 2 地铁隧道与地下建筑位置关系剖面图

## 2 工程地质与水文地质条件

### 2.1 工程地质条件

根据本项目岩土工程勘察资料,在场地埋深 60.00m

深度范围内,地基土按地层成因和年代等可分为以下 9 层,分别为:人工填土层(Qm1),沟底新近淤积层(Q<sub>4</sub><sup>3</sup>N)、全新统上组陆相冲积层(Q<sub>4</sub><sup>3</sup>al),全新统中组海相沉积层(Q<sub>4</sub><sup>2</sup>m),全新统下组沼泽相沉积层(Q<sub>4</sub><sup>1</sup>h),全新统下组陆相冲积层(Q<sub>4</sub><sup>1</sup>al),上更新统第五组陆相冲积层(Q<sub>3</sub>al),上更新统第四组滨海潮汐带沉积层(Q<sub>3</sub>mc),上更新统第三组陆相冲积层(Q<sub>3</sub>al)和上更新统第二组海相沉积层(Q<sub>3</sub>m)。

按力学性质可进一步划分为 18 个亚(或次亚)层,分别为:①<sub>1</sub>杂填土,①<sub>2</sub>素填土,④<sub>1</sub>粉质黏土,⑥<sub>1</sub>粉质黏土,⑥<sub>3</sub>砂质粉土,⑥<sub>4</sub>粉质黏土,⑦粉质黏土,⑧<sub>1</sub>粉质黏土,⑧<sub>2</sub>砂质粉土,⑨<sub>1</sub>粉质黏土,⑨<sub>2</sub>粉砂,⑩<sub>1</sub>粉质黏土,⑪<sub>1</sub>粉质黏土,⑪<sub>2</sub>粉砂,⑪<sub>3</sub>粉质黏土,⑪<sub>4</sub>粉砂,⑪<sub>5</sub>粉质黏土,⑫<sub>1</sub>粉质黏土。场地土多为正常固结土,局部为欠固结土。根据拟建场地地基土的物理力学性指标试验结果,综合分析后推荐各土层设计参数。

结合工程地质纵断面图图 3,确定盾构隧道在侧穿时主要位于第⑨<sub>2</sub>粉砂,⑩<sub>1</sub>粉质黏土,⑪<sub>1</sub>粉质黏土中,对应的右线隧道位置约为 520 环~580 环。

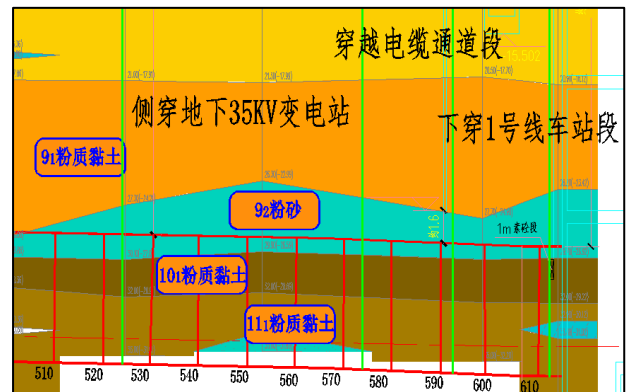


图 3 拟穿越地层纵断面位置示意图

### 2.2 水文地质条件

根据地基土的岩性分层、室内渗透试验结果,场地埋深 50.00m 以上可划分为 2 个水文地质岩土组,地下水类型分别为潜水和承压水<sup>[3]</sup>:

(1) 潜水:据查,本场地内潜水含水层主要为人工填土(Qm1)、上组陆相冲积层(Q<sub>4</sub><sup>3</sup>al)及中组海相沉积层(Q<sub>4</sub><sup>2</sup>m),含水介质颗粒较细,水力坡度小,地下水径流较为缓慢,其排泄方式主要有蒸发、人工开采和向下部承压水、地表水体渗透,补给方式主要为降雨后地表渗入<sup>[4]</sup>和河流侧向补给。

勘察期间测得场地内的潜水初见水位埋深 2.50~3.00m(大沽标高 1.04~0.35m),静止水位埋深 1.70~

2.40m (大沽标高 1.75~1.55m)。潜水水位一般年变幅在 0.50~1.00m 间。

(2) 承压水: 本区间场地勘探深度范围内, 存在两层承压水, 即第一层承压水层和第二层承压水层。

第一层承压水层主要存在于下组陆相冲积层 ( $Q_4^{1al}$ ) 砂质粉土 ( $\textcircled{8}_2$ )、上更新统第五组陆相冲积层 ( $Q_3^{5al}$ ) 粉砂 ( $\textcircled{9}_2$ ) 透水性好, 为第一承压含水层。上更新统第四组滨海潮汐带沉积层 ( $Q_3^{4mc}$ ) 粉质黏土 ( $\textcircled{10}_1$ ) 及第三组陆相冲积层 ( $Q_3^{3al}$ ) 粉质黏土 ( $\textcircled{11}_1$ ) 透水性相对较差, 可视为承压含水层隔水底板。根据抽水试验水位观测结果, 该承压水水位大沽标高约为 0.10m。

第二层承压水层主要存在于上更新统第三组陆相冲积层 ( $Q_3^{3al}$ ) 粉砂 ( $\textcircled{11}_2$ 、 $\textcircled{11}_4$ ), 其透水性好, 为第二承压含水层。上更新统第三组陆相冲积层 ( $Q_3^{3al}$ ) 粉质黏土 ( $\textcircled{11}_5$ )、上更新统第二组海相沉积层 ( $Q_3^{2m}$ ) 粉质黏土 ( $\textcircled{12}_1$ ) 透水性相对较差, 可视为承压含水层隔水底板。根据抽水试验水位观测结果, 该承压水水位大沽标高约为 -0.57m。

### 3 研究的理论依据与方法

在岩土工程界, 主要依据土力学、弹塑性力学和岩体力学等理论方法, 抓主要问题, 忽略一些影响小的因素, 建立本构关系。文中主要以太沙基等学者的土力学和岩体力学等理论为理论依据, 将岩土体视为理想的各向同性材料, 以有限元模拟计算的方法代替原本复杂的数学手工计算<sup>[4]</sup>。

隧道开挖后, 在岩土体中形成空洞洞室, 此洞室周边一定范围内的岩土体将发生应力重分布, 并产生变形或位移, 洞室周边应力重分布影响的岩土体则称为围岩。

如果围岩单元体处于自身所受应力小于自身强度的状态, 则围岩的变形属于弹性变形范畴; 反之, 如果围岩的应力已经超过了能承受的最大强度, 那么围岩单元体的变形属于塑性变形, 甚至因塑性变形过大而产生失稳等破坏, 将在围岩中形成一个塑性区域。

根据极限相关理论, 此时重分布应力应该在无穷远处才能趋近于 应力应该在无穷远处才能趋近于  $\sigma_0$ ; 而在工程实践中, 当  $r=6R_0$  时, 周向应力  $\sigma_\theta$  和径向应力  $\sigma_r$  已经跟天然应力  $\sigma_0$  十分接近, 相差约为 2.8%, 因此一般可认为由于地下洞室引起的应力重分布范围是  $r=6R_0$  范围内, 超出这一范围将认为原岩土体应力状态基本不受洞室的影响, 通常也以此作为有限元计算及模拟的边界范围, 重分布应力随距离  $r$  的变化示意图如下图 4 所示<sup>[5]</sup>。

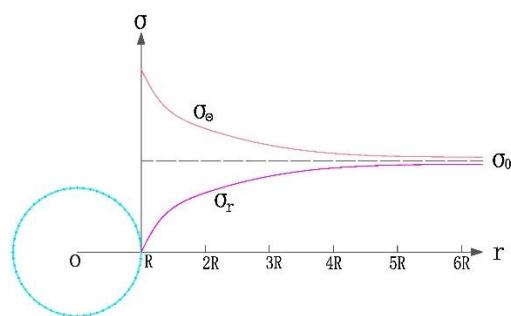


图 4 重分布应力随距离  $r$  的变化趋势示意图

可见, 当隧道开挖形成空洞后, 会对其周边一定范围的地面或地下既有建(构)筑物产生影响, 导致影响范围内的建(构)筑物出现位移或变形<sup>[6]</sup>, 可能引起结构的内力变化。在现实生活中, 地下洞室的截面形状一般以非圆形居多, 但人们在长期的实践过程中, 已经总结出了关于非圆形截面与圆形截面之间的一系列换算方法, 可较为准确地知道重分布应力的分布情况, 对此本文不再赘述。

### 4 数据分析与讨论

为便于观测建(构)筑物和地表的变形, 监测人员在地下变电站上方及其附近布置了一系列观测点, 分别观测各点的位移, 地表沉降观测点号分别为 DBC-Z480、DBC-Z488-1~7、DBC-Z-496、DBC-Z-504、DBC-Z-512、DBC-Z-520、DBC-Z528-1~11、DBC-Z536、DBC-Z544、DBC-Z552、DBC-Z560、DBC-Z570-1~9、DBC-Z-577、DBC-Z-585、DBC-Y-480、DBC-Y-488-8~11、DBC-Y-497、DBC-Y-505、DBC-Y-538、DBC-Y547、DBC-Y555、DBC-Y563、DBC-Y580; 建(构)筑物观测点主要为 JGC12-1~11、JGC13-1~12, 同时布设若干管线沉降观测点。其中 DBC-Z528-1~11 和 DBC-Z570-1~9 分别形成监测断面 1 (观测数据见图 5) 和断面 2 (观测数据见图 6), 专门监测地下变电站的位移情况。

#### 4.1 竖向位移分析

该地铁区间右线隧道于 2024 年 9 月 22 日开始推进至地下变电站附近 (右线隧道之第 528 环, 即 Y528 环), 并于 2024 年 10 月 5 日完成侧穿 (右线隧道之第 580 环, 即 Y580 环), 穿越期间在地下变电站上方及其附近的各地表监测点出现了不同程度的竖向位移, 其中向下的最大位移量发生右线隧道正上方的 DBC-Y-528-11 号点 (图 5), 实测竖向位移值 -5.93mm, 与竖向位移计算云图 (图 7) 上查询到的数值 -6.20mm 很接近。

穿越期间监测数据显示, 发生在地下变电站正上方的 DBC-Y-528-7 号点 (图 5), 实测竖向位移量约 -1.61mm,

这与竖向位移计算云图（图 7）上查询到的数值-1.50mm 很接近；而地下变电站底板发生了约-1.50mm 的沉降，主要是隧道推进过程中开挖土方所致。

从工程地质条件看，侧穿时盾构隧道主要位于第⑨<sub>2</sub>粉砂、⑩<sub>1</sub>粉质黏土和⑪<sub>1</sub>粉质黏土中，第⑨<sub>2</sub>粉砂为无黏

性土，第⑩<sub>1</sub>粉质黏土和⑪<sub>1</sub>粉质黏土为可塑状中软土，上述土抵抗向隧道临空面变形的能力较弱，当下方土方被挖除后，土体在自重作用下向隧道临空面产生位移和变形，应力也随之重新分布（应力重分布），之后达到一个新的平衡。

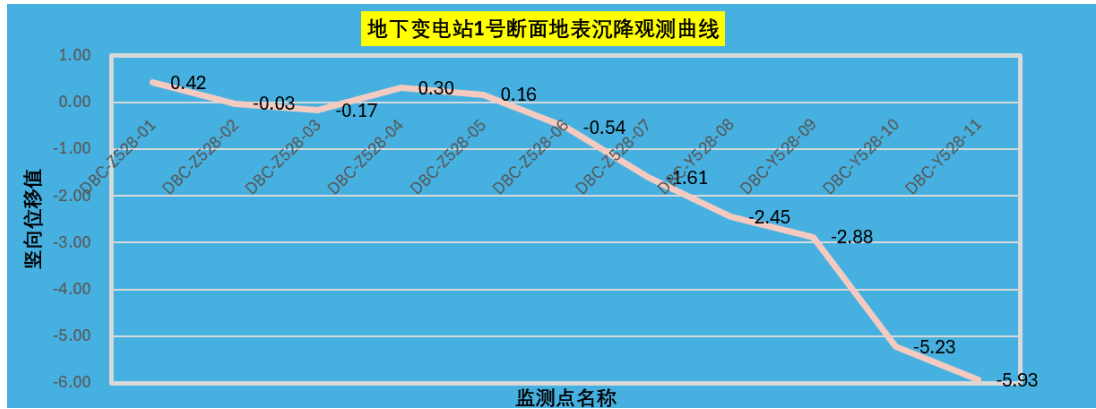


图 5 地下变电站 1 号断面地表沉降观测曲线

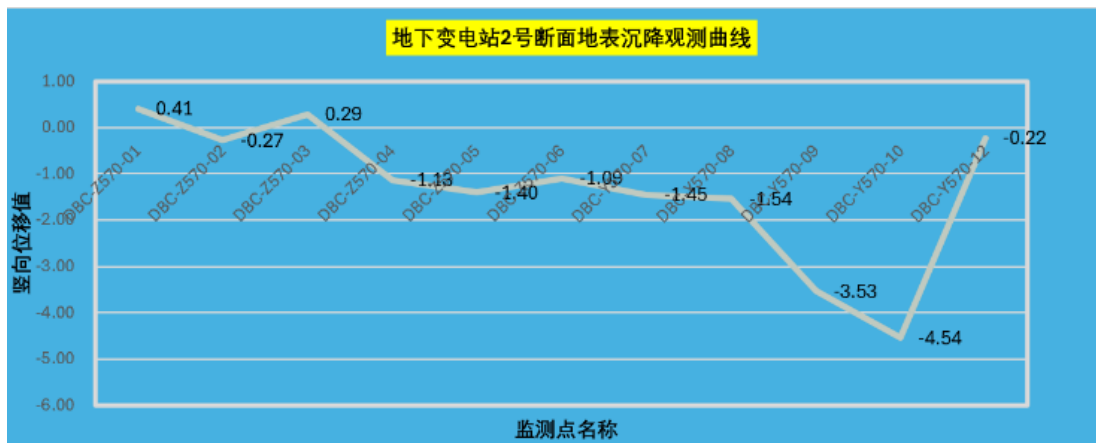


图 6 地下变电站 2 号断面地表沉降观测曲线

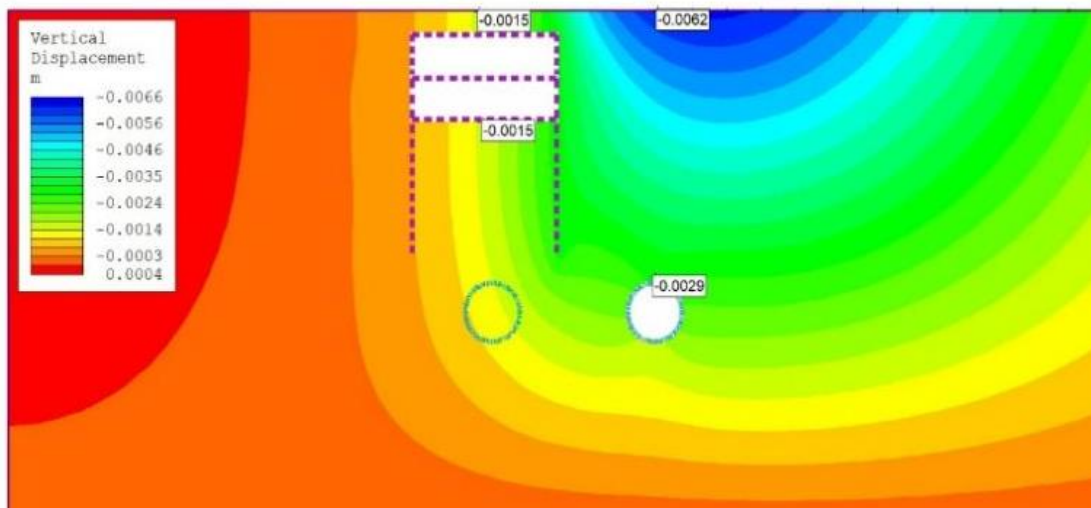


图 7 竖向位移云图

## 4.2 水平位移分析

从水平方向位移云图(图8)上看,右线隧道穿越期间,地下变电站右侧侧墙上水平位移几乎为零,与既有设施观测数据也基本吻合。这主要是因为地下变电站外侧支护结构采用了地下连续墙这样的大刚度支护结构,使其具有良好的抵抗侧向位移的能力,很好地保护了地下变电站,符合地下工程中的“两墙合一”原理<sup>[7]</sup>。

## 4.3 总位移与剪切应变与影响范围的关系分析

地下变电站建完后,周边岩土体经过一段时间后达到了一个稳定的状态。在右线盾构隧道推进过程中,因土方的开挖将产生一个临空面,第⑨<sub>2</sub>层粉砂为无黏性土,第⑩<sub>1</sub>粉质黏土和⑪<sub>1</sub>粉质黏土为可塑状中软土,上述土抵抗向隧道临空面变形的能力较弱,周边岩土体向临空面发生了变形或位移,最后又达到一个新的平衡状态,即应力进行了重新分布。

对于圆形断面隧道而言,它影响的范围一般是洞室外

侧3倍洞径范围(即3D),见总位移云图(图9),这与前面的理论研究结果较为一致。根据模拟数据的分析可推测,深埋隧道的主要影响范围与隧道断面的尺寸大小关系不大,主要受底板埋深( $H=34.9\text{m}$ )影响较大。

从监测及计算数据的角度上看,隧道顶部上方至隧道外侧约23.1m(约0.66H)为主要影响区,隧道外侧约23.1m(约0.66H)到57.1m(约1.64H)为次要影响区,其他区域可视为可能影响区,地表点沉降的数值模拟计算数据统计曲线见图10。

应力状态的改变,对于一般的静定结构,大多只是产生变形或位移,不会引发新的内力;对于处于超静定状态下的地下变电站等地下建筑物,易在内部引发新的内力。故对起支撑作用的底板、中板和顶板等,在它们与侧墙的连接处应注意加强钢筋构件的连接质量和提高混凝土的浇筑质量。对梁这类构件,建议采用设置腋角的方式进行加强,避免发生过大的应力集中。

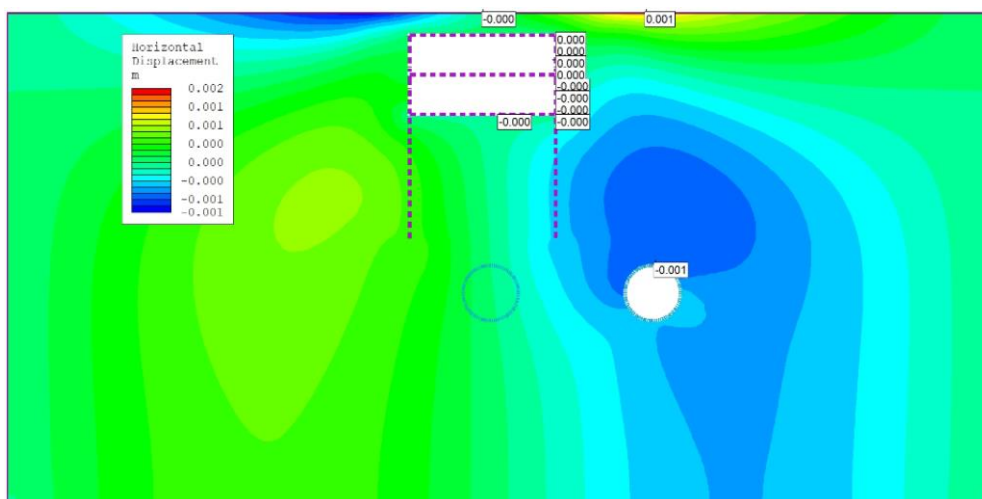


图8 水平位移云图

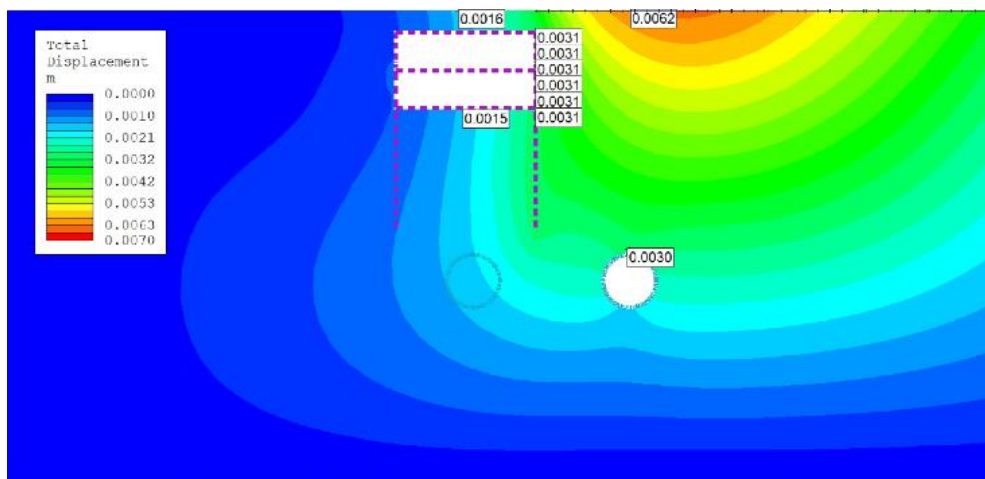


图9 总位移云图

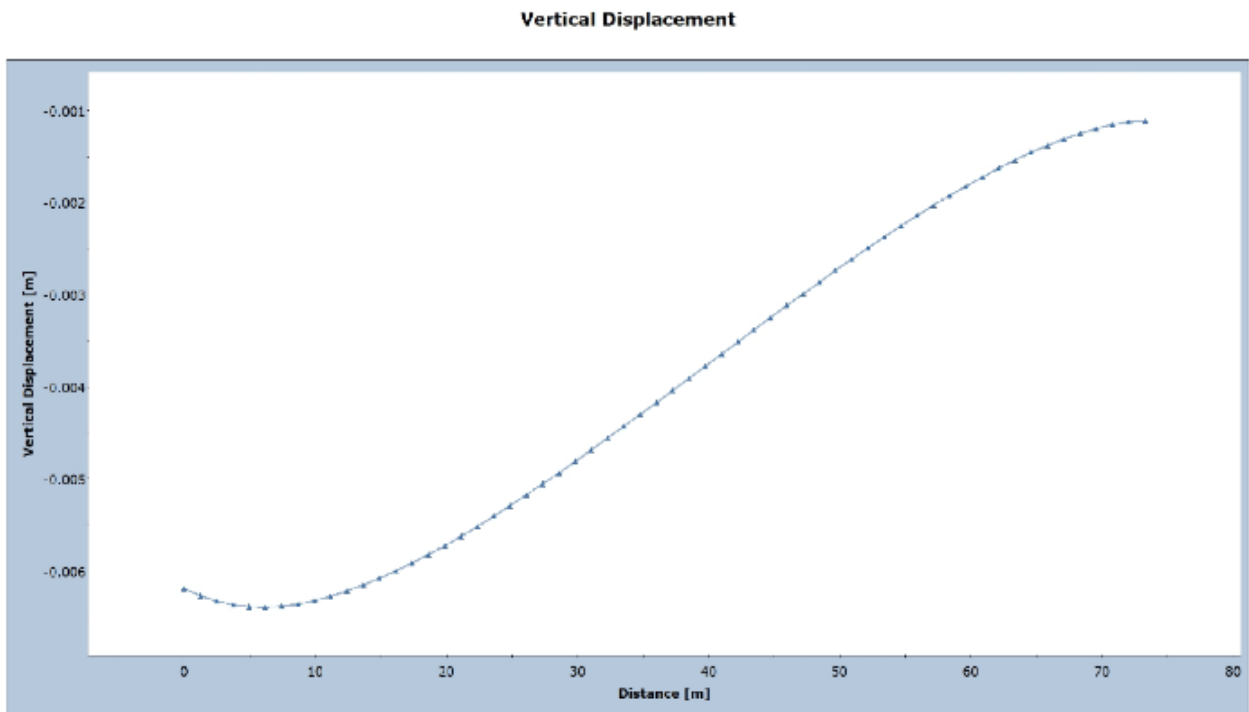


图 10 数值模拟地表沉降数据曲线

## 5 结论

### (1) 对规范条文的佐证

据《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB50911—2013)介绍,北京地区主要影响区可取隧道顶部上方至隧道外侧  $0.6H$ , 隧道外侧  $0.6H$  至隧道外侧  $1.5H$  为次要影响区, 隧道外侧  $1.5H$  之外为可能影响区。

本项目中,从监测及计算数据的角度上看,可取底板埋深为  $H$  (本文中  $H=34.9\text{m}$ ), 隧道顶部上方至隧道外侧约  $23.1\text{m}$  (约  $0.66H$ ) 为主要影响区, 隧道外侧约  $23.1\text{m}$  (约  $0.66H$ ) 到  $57.1\text{m}$  (约  $1.64H$ ) 为次要影响区, 其它区域可视为可能影响区。

这一分析结果与现场观测数据和工程经验较为吻合。北京地区的这些主要影响区、次要影响区和可能影响区相对于本项目而言范围稍小,这主要是因为北京地区的地层多为正常固结土,而天津的地层多为欠固结或正常固结的中软土。这类数据在天津地区较少搜集到,可对华北地区类似的地铁建设项目提供一些参考,便于在施工过程中进行监测和工艺控制,做到有的放矢。

### (2) 对工程建设的启发

在城市发展过程中,各工程建设往往存在交叉,例如本文中所述的地下变电站与盾构隧道,先建的地下变电站将不可避免地受到后建的盾构隧道影响。从工程安全性出发,工程技术人员应该适当考虑到这些工况,在一些易产

生二次内力的部位采用设置腋角、增设变截面和加密配筋等方法进行加强,使已建工程在受到这类影响时也不影响其安全性或正常使用。

### (3) 信息化施工的重要性

在本次侧向穿越地下建筑物(变电站)的过程中,施工组织得当,管片拼装及时,盾构隧道质量可靠,未发生盾构机泄压或较严重的地下水泄漏事件。但在该线的始发端曾发生过盾构机尾部漏水事件(约在 20 天后消警),导致地表出现了  $33.93\text{mm}\sim 85.88\text{mm}$  的沉降,并引发周边建(构)物、路面和地下管线等发生较大沉降和不均匀沉降,所幸监测预警后处理及时,未引发较大工程事故。

在施工过程中,应实行信息化施工,加强对地表建(构)筑物、管线和地表等的沉降观测,及时反馈监测数据,应注重施工与监测的有机结合,及时发现异常情况并采取措施补救,这对有效提高盾构隧道在城市地铁建设中的施工安全性有着重要意义。

### [参考文献]

- [1]赵栋山.隧道下穿水库设计与施工方案[J].山西交通科技,2010(4):48-50.
- [2]邱品茗,蔺安林.地铁超浅埋群洞数值模拟及施工相关问题研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [3]刘阳,周文革.天古崖水库与隧道的水文地质关系之分

析[J].甘肃科技,2005(21):62-64.

[4]严林,唐建新.石灰岩地区高速公路隧道围岩动态分级与支护合理性研究[D].重庆:重庆大学,2009.

[5]黎明.基于有限元方法的岩溶对大瑶山 1 号隧道影响研究[J].工程技术,2020,3(1):196-198.

[6]曾纪光.皂市水库隧道变形观测简易方法及数据处理[J].

探矿工程(岩土钻掘工程),2005(10):44-45.

[7]龚晓南.基础刚度对复合地基性状的影响[J].工程力学,2003(20):67-73.

作者简介:黎明(1986-),男,高级工程师,硕士,主要从事岩土工程方面工作与研究。王哲强(1985-),男,高级工程师,学士,主要从事工程监测方面工作与研究。

## 工程质量安全监督人员履职能力提升路径探索

李伟

合肥城建投资控股有限公司, 安徽 合肥 230000

**[摘要]**当前工程质量安全监督人员履职能力存在不足,文中就这一问题探讨有效的提升路径,采用文献研究、问卷调查、深度访谈等方法分析工程质量安全监督人员履职能力现状与存在的诸如专业知识缺乏、实践经验不够、责任意识淡薄之类的主要问题,在此基础上提出提升履职能力的路径,即完善培训体系以强化专业知识和技能培训,建立实践锻炼机制来增加实战经验,健全考核评价制度激发工作积极性,构建信息化平台提高工作效率,加强职业道德教育提升责任意识,研究表明用系统化、制度化、信息化的方式能有效提升工程质量安全监督人员履职能力,进而推动工程质量安全监督工作规范化、专业化,给工程质量安全提供有力保障。

**[关键词]**工程质量安全; 监督人员; 履职能力; 提升路径; 培训体系

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17958

中图分类号: G64

文献标识码: A

## Exploration on the Path to Enhancing the Performance Ability of Engineering Quality and Safety Supervisors

LI Wei

Hefei Urban Construction Investment Holding Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230000, China

**Abstract:** Currently, there are deficiencies in the performance ability of engineering quality and safety supervision personnel. This article explores effective ways to improve this issue, using methods such as literature research, questionnaire surveys, and in-depth interviews to analyze the current situation of the performance ability of engineering quality and safety supervision personnel and the main problems such as lack of professional knowledge, insufficient practical experience, and weak sense of responsibility. Based on this, a path to improve the performance ability of engineering quality and safety supervision personnel is proposed, which includes improving the training system to strengthen professional knowledge and skills training, establishing a practical exercise mechanism to increase practical experience, improving the assessment and evaluation system to stimulate work enthusiasm, building an information platform to improve work efficiency, strengthening professional ethics education to enhance sense of responsibility. Research shows that using systematic, institutionalized, and information-based methods can effectively improve the performance ability of engineering quality and safety supervision personnel. The, Furthermore, it promotes the standardization and professionalization of engineering quality and safety supervision work, providing strong guarantees for engineering quality and safety.

**Keywords:** engineering quality and safety; supervisory personnel; performance ability; improvement path; training system

### 引言

建筑工程领域把工程质量安全当作生命线,因为这事关人民群众生命财产安全以及国家经济社会的稳定发展。近些年,我国城镇化进程加快且基础设施建设规模不断扩大,使得建筑工程数量大增,工程质量安全问题也越发突出。住房和城乡建设部的统计数据表明,2019—2023年期间,我国建筑业总产值从24.84万亿元涨到31.56万亿元,年均增长率一直在5%以上,不过工程质量安全事故还是时不时发生。

工程质量安全监督体系里,监督人员是执行主体且有着重要的监管职责,不过当下我国工程质量安全监督人员履职能力和工程建设日益复杂的需求有显著差距,建设部质量安全监督管理机构2023年调查表明全国工程质量安全监督人员里高级职称人员占比才23.5%且专业背景和岗位匹配度高的不到65%,这体现出监督队伍专业素质和履职能力需要提高,并且实践时监督人员在专业知识储备、实践经验积累、责任意识培养等方面存在问题,所以难以适应现代工程建设的复杂性以及技术创新带来

新挑战。

“新基建”战略推进了且建筑朝着工业化、智能化、绿色化发展，这使工程质量安全监管工作有了新要求、面临新挑战，在这样的背景下，研究人员结合我国工程建设行业实际，采用问卷调查、深度访谈、案例分析等方法，对工程质量安全监管人员履职能力的现状与问题加以系统剖析，并从完善培训体系、优化考核机制、积累实践经验、推动信息化建设这四个方，给出提升监督人员履职能力的系统性办法，从而促使工程质量安全监管工作变得专业化、规范化、高效化，给国家工程建设质量安全提供有力保障。

## 2 工程质量安全监管人员履职现状分析

### 2.1 监督人员的职责与要求

工程建设质量和安全靠工程质量安全监管人员这一关键执行者来保障且他们负有法定的监督管理职责。按照《建设工程质量管理条例》《建设工程安全生产管理条例》这类法规，监督人员的主要任务是对工程建设各参与方质量安全责任落实情况开展监督检查，例如审核各方主体资质、监督各方责任履行、检查工程实体质量、监管施工现场安全措施、调查处理质量安全事故等，并且监督人员得有扎实的工程技术专业知识与丰富实践经验，熟知相关法律法规和技术标准，风险识别能力和问题排查能力要敏锐，能应对工程环境复杂多变以及技术创新带来新挑战。

建筑业快速发展且技术不断革新，所以监督人员得有数字化思维并掌握信息技术应用能力，还要能适应建筑信息模型（BIM）、物联网等新技术在工程质量安全监管中的应用以达成从传统人工监督转变为智能化、信息化监管，并且监督人员要高度遵守职业操守、强化责任意识，公平履职、严格执法、拒绝各种不良影响以保证监督工作有权威且有效。

### 2.2 当前履职能力存在的问题

我国工程质量安全监管人员履职能力面临着诸多挑战且存在不少问题，首先体现在监督人员专业结构不合理以及知识更新慢上，2022年全国工程质量安全监督管理协会调研数据显示其专业背景和监督工作要求差别很大，具体表现如下表1：

表1 工程质量安全监管人员专业能力现状调查（2022年）

调查指标	合格水平	实际情况	差距比例
专业对口率	85%	63.7%	21.3%
中高级职称占比	60%	41.2%	18.8%
专业知识更新频率	每年1~2次	平均2.3年1次	超期53.4%
新技术应用能力	熟练应用	33.5%能熟练应用	66.5%
法规标准掌握程度	熟练掌握	57.6%熟练掌握	42.4%

监督人员实践经验不足，所以复杂工程问题对他们来说很难应对，2023年住建部质量安全监管系统内部调查表明，45.3%的监督人员没有实际工程经验，新型结构、新材料、新工艺出现时，他们不能精准判定潜在质量安全风险，并且在监督超高层建筑、大跨度结构、地下工程这些复杂项目的时候，专业判断能力和问题处理能力更显不足，进而使得监督效果受到影响而变差<sup>[1]</sup>。

## 3 提升工程质量安全监管人员履职能力的策略

### 3.1 完善培训体系

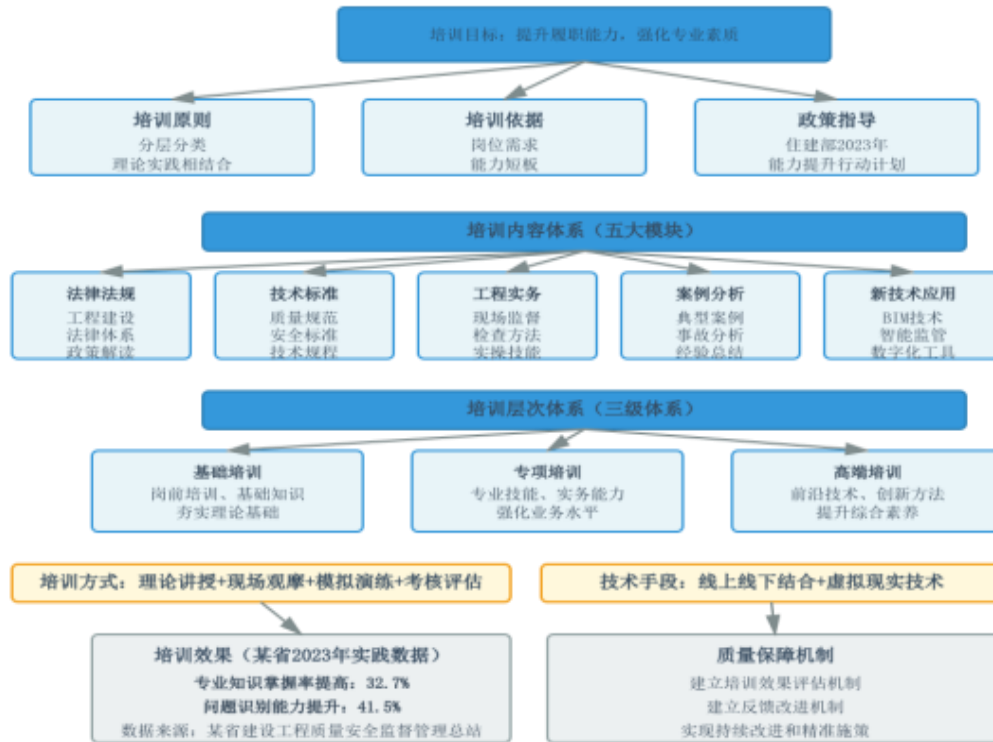
提升工程质量安全监管人员履职能力的基础在于构建一个科学系统的培训体系，该体系需围绕监督人员的岗位需求与能力短板，以分层分类、理论与实践相结合的方式开展，并且按照住建部2023年的《工程质量安全监管人员能力提升行动计划》，培训内容要包含法律法规、技术标准、工程实务、案例分析以及新技术应用等方面，在夯实基础知识的同时也要及时更新前沿技术，从而构建起基础培训、专项培训、高端培训有机融合的培训体系。

培训方式得多元化、互动化，线上线下相结合，并且要充分运用互联网、虚拟现实等技术手段以提升培训的吸引力与有效性。2023年，某省建设工程质量安全监督管理总站在实践中采用“理论讲授+现场观摩+模拟演练+考核评估”这种培训模式，结果监督人员专业知识掌握率达到了原来的132.7%，问题识别能力也比之前提高了41.5%。此外，还得建立起培训效果评估和反馈机制，这样既能保证培训质量，又能使培训持续改进并做到精准施策，如图1所示。

### 3.2 优化考核机制

科学合理的考核机制对激发监督人员工作积极性、提升履职能力有着重要推动作用，考核机制需兼顾过程评价与结果评价，既要关注日常工作表现又要重视工作成效以及能力提升，由于工程质量安全监管工作的特殊性，考核指标体系应包含知识掌握度、规范执行力、问题发现率、风险预警能力、处置效果等维度以全面客观地评价监督人员的履职能力和工作绩效<sup>[2]</sup>。

得把考核结果跟激励机制紧紧联系起来并构建“能力-业绩-待遇”相互关联的机制，让考核结果与职级晋升、薪酬调整、评优评先之类的事挂上钩以形成正面激励，并且要建立起考核反馈和能力提升的闭环管理，对于考核时发现的问题和不足要有针对性地制定改进措施以及能力提升计划。2023年某市质量安全监督站实行差异化考核与精准激励后，实践数据显示监督人员主动学习的愿望提高了56.8%、工作积极性提升了48.3%且监督工作的质量与效率有了很明显的改善。



注：培训体系应围绕岗位需求和能力短板，采取多元化互动化方式，确保培训质量和持续改进

图1 工程质量安全监督人员培训体系框架

### 3.3 加强实践经验积累

提升监督人员履职能力的最好途径是实践，要建立完善实践锻炼机制，借助项目跟踪、现场观摩、案例研讨以及模拟演练等方式给监督人员增加实践经验。“老带新”的师徒帮带制度也可采纳，让经验丰富的资深监督人员带着新人开展现场监督实践工作，从而把经验技巧传授给新人以助力新人迅速成长，并且还可跟设计单位、施工企业、检测机构构建合作机制，让监督人员定期去工程一线挂职锻炼以便深入了解工程建设各个环节的技术要点和质量控制难点。

工程质量安全案例库和经验分享平台被建立起来并收集整理典型案例与成功经验，定期开展案例分析会和经验交流会以促使监督人员相互学习、共享经验。2022年，某省住建厅统计显示，在“项目跟踪+实地锻炼+案例分析”这种综合实践培养模式实行之后，监督人员的问题识别能力提高了37.5%且处置效率也提升了42.3%，监督工作质量显著改善，所以系统化、常态化地进行实践锻炼就能让监督人员不断积累实战经验从而提升专业判断能力和问题解决能力。

### 3.4 推动信息化建设

提升工程质量安全监督效能的重要手段是信息化，所

以得加快推进监督管理信息系统建设，构建一个覆盖工程项目全生命周期的质量安全监管平台以达成监督数据收集、分析、共享与应用的目标。按照住建部《“十四五”建筑业信息化发展纲要》，到2025年全国基本上会建成统一的工程质量安全监管信息平台，从而让监督工作变得标准化、数字化、智能化。

监督人员得加强信息技术应用能力的培养并熟练运用像BIM技术、大数据分析、移动终端应用这类信息化工具，从而让监督工作更精准且效率更高<sup>[3]</sup>。2023年某市质量安全监督站有实践数据显示，在用了移动监督APP和BIM技术之后，现场检查效率提高了43.7%、问题记录准确率提升了38.2%、监督覆盖面也扩大了57.6%。另外，还要利用好大数据分析技术，构建起工程质量安全风险预警模型，这样就能实现风险的早期识别与主动预防，从被动监督转为主动监督，使监督工作更具前瞻性与精准性。

## 4 结论

工程质量安全监督人员是保障建筑工程质量与施工安全的“守门人”，其履职能力直接关系到工程项目能否合规建设、人民生命财产安全能否得到有效保障。当前，随着建筑行业向工业化、智能化转型，超高层、大跨度、复杂结构工程日益增多，新技术、新工艺、新材料不断应

用,对监督人员的专业水平、监管能力提出了更高要求。工程质量安全监督人员履职能力提升的有效路径是本研究所要探索的问题,在系统分析之后得出了如下结论:

提升工程质量安全监督人员履职能力是个需从培训体系、实践锻炼、考核评价、信息化支撑以及职业道德教育这五个维度协同推进的系统工程,住建部统计显示2019—2023年期间我国建筑业总产值从24.84万亿元涨至31.6万亿元且行业发展规模持续扩大使得监督人员专业能力要求被提得更高,研究发现专业知识和技能培训有很强针对性能将监督人员专业判断能力提高28%~35%且对复杂工程项目监督这一点相当关键<sup>[4]</sup>。

因地制宜、分类施策是实施路径的选择原则,因为不同地区建筑工程有其特点且监督人员队伍状况也不同,所以统一的提升方案很难达到理想效果,拿江苏省南京市来说,采用“三阶段、四模块”提升方案后,不但监督效率提高了,而且风险识别能力也明显增强,给该地区提供了可供借鉴的经验,并且数据表明,系统化实施能力提升方案的地区,工程质量安全事故发生率平均下降了22.7%。

科学构建评估体系是保障能力提升效果的关键,建立一个包含定量与定性指标的综合评估体系就能动态监测能力提升效果并及时调整提升策略以保证监督人员能力持续提高,行业数据显示有完善评估体系的监督机构开展监督工作的满意度平均要高23.5个百分点。

提升监督效率的重要手段包括信息化平台建设,2023年的数据表明,使用数字化监督手段的地区监督效率平均提升了31.6%且问题发现率也提高了25.8%,信息技术赋能不但能提高监督人员工作效率,而且有助于监督经验的

共享与积累。

履职能力提升以职业道德和责任意识的培养为基础,调查表明,87.3%的工程质量安全问题与监督人员责任意识不足直接相关,所以加强职业道德教育、培养责任担当精神是确保监督工作质量的关键。

完善培训体系、建立实践锻炼机制、健全考核评价制度、构建信息化平台以及加强职业道德教育能有效提升工程质量安全监督人员履职能力,进而推动工程质量安全监督工作规范化、专业化,为我国建筑工程质量安全提供有力保障<sup>[5]</sup>。未来研究可进一步探寻不同类型工程项目对监督人员能力的差异化需求以及国际先进监督经验在华本土化应用的可能性。

#### [参考文献]

- [1]兰兰.新时期建设工程质量安全监督管理信息化建设路径探索[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2024(11):11-12.
- [2]刘振林.交通建设工程质量安全监督中存在问题的探索与思考[C].广西:新质生产力与科技发展学术研讨会论文集.中国广西省南宁市,2025.
- [3]孙鹏涛.水利工程监理人员现场履职能力提升路径分析[J].经济与社会发展研究,2025,11(18):289-291.
- [4]周小容.探索基层水利工程质量监督的高质量发展路径[J].中国科技期刊数据库工业 A,2024,11(12):12-13.
- [5]柴玲霞.建设工程质量安全监督人员能力提升路径与策略研究[J].安家,2025,12(5):262-264.

作者简介:李伟(1983.7—),毕业院校:深圳大学,所学专业:建筑与土木工程,就职单位:合肥城建投资控股有限公司,职务:员工,职称:注册安全工程师(中级)。

## 基于物联网的冶金机械远程监测与智能维护研究

张晓帆

安阳钢铁建设有限责任公司, 河南 安阳 455000

[摘要]随着冶金行业的不断发展,冶金机械在高温、高负荷以及复杂的环境下开展运行,如此一来便很容易出现各类故障。就传统而言,定期检修以及人工巡检这两种方式很难做到及时地去发现设备所存在的隐患,进而使得维护方面的成本偏高,生产效率也处于较低的水平。当下,部分企业已经开始运用传感器还有数据采集系统来针对设备展开监测工作了,不过依旧存在着实时性较差、数据分析的能力有所欠缺以及缺少智能决策方面的支持等诸多问题。物联网以及人工智能的发展进程给远程监测以及智能维护给予了相应的技术支撑,然而在实际的应用过程当中,仍然面临着传感器该如何布置、数据怎样处理以及维护策略需要如何优化等一系列的挑战。所以,构建起基于物联网之上的冶金机械远程监测与智能维护系统,对于提升设备的可靠性、降低运维的成本以及推动智能化管理的实现都有着十分重要的意义。

[关键词]物联网;冶金机械;远程监测;智能维护

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17973

中图分类号: TH133.33

文献标识码: A

### Research on Remote Monitoring and Intelligent Maintenance of Metallurgical Machinery Based on Internet of Things

ZHANG Xiaofan

Anyang Iron & Steel Construction Co., Ltd., Anyang, He'nan, 455000, China

**Abstract:** With the continuous development of metallurgical industry, metallurgical machinery runs in high temperature, high load and complex environment, which makes it easy to have various failures. Traditionally, it is difficult to find the hidden dangers of equipment in time by regular maintenance and manual inspection, which makes the maintenance cost high and the production efficiency low. At present, some enterprises have begun to use sensors and data acquisition systems to monitor equipment, but there are still many problems such as poor real-time performance, lack of data analysis ability and lack of intelligent decision-making support. The development of Internet of Things and artificial intelligence has given corresponding technical support to remote monitoring and intelligent maintenance. However, in the actual application process, it still faces a series of challenges, such as how to arrange sensors, how to process data and how to optimize maintenance strategies. Therefore, it is of great significance to build a metallurgical machinery remote monitoring and intelligent maintenance system based on the Internet of Things to improve the reliability of equipment, reduce the cost of operation and maintenance and promote the realization of intelligent management.

**Keywords:** Internet of Things; metallurgical machinery; remote monitoring; intelligent maintenance

#### 引言

我国冶金行业正处在快速发展的阶段,在此进程中,冶金机械作为生产环节当中的核心设备,其能否实现高效且稳定的运行,这与生产安全以及经济效益是紧密相关的。不过,冶金机械长时间处于高温、高负荷以及复杂的工况环境下开展运行,如此一来便很容易出现诸如磨损、振动出现异常、温度不断升高、电气方面发生故障等诸多问题,进而致使非计划性的停机情况频发,同时维护成本也在持续增加,这对生产效率造成了极为严重的影响。就传统的

设备维护模式而言,大多依靠定期展开检修以及人工进行巡检,而这种方式存在着维护周期是固定的、故障出现时响应速度较为滞后、维护资源存在一定程度的浪费并且很难及时察觉到潜在隐患等一系列问题,所以说它很难契合现代冶金生产对于设备需要具备高可靠性以及要达成智能化管理所提出的各项需求。伴随着物联网、大数据、人工智能还有边缘计算等相关技术的不断发展,将这些技术应用到冶金机械的远程监测以及智能维护当中,这就为设备状态的实时感知、故障的预测以及维护的优化开辟了全

新的路径。借助传感器网络针对关键部件以及运行环境展开实时的数据采集工作,再与数据处理、异常诊断以及健康管理模型相互结合起来,如此便能够达成对设备状态进行动态的评估以及对其剩余寿命做出预测的目的;接着通过智能决策机制以及预测性维护算法,把分析得出的结果转变成更为优化的维护策略,以此来实现对维护资源进行合理的配置以及尽可能地减少非计划停机的情况。以物联网为基础所构建的远程监测与智能维护体系,一方面能够提升冶金机械的运行可靠性以及生产效率,另一方面还能够降低维护成本,让设备的使用寿命得以延长,同时还可为企业的数字化、智能化转型给予重要的支撑。

### 1 冶金机械设备应用特点

冶金机械设备的应用特点主要体现在其适应复杂环境、结构设计、运行要求、智能化发展及安全性等方面。设备通常在高温、高粉尘、重载甚至有害气体环境下连续作业,因此需要具备耐腐蚀、抗磨损的特性。结构上,多为体积庞大的高炉、转炉等冶炼设备,传动系统采用模块化设计,以便于维护和部件更换,降低维护成本。在运行方面,连铸机、轧机等设备需24小时连续运行,对润滑和散热系统要求极高,同时通过能效优化实现高生产效率<sup>[1]</sup>。随着智能化趋势的发展,冶金设备逐渐集成监测系统,通过传感器实时监控运行状态,实现故障预警,并向半自动或全自动操控方向发展,减少人工干预。在安全性方面,高负载设备如起重机需满足严格的满载和工作级别要求,并配备防倾覆装置和紧急制动系统,有效防止熔融金属泄漏及其他风险,保障生产安全和稳定运行。

## 2 冶金机械远程监测系统设计

### 2.1 系统总体架构设计

冶金机械远程监测系统的总体架构设计在实现设备状态实时监测、数据分析以及智能维护方面占据着核心基础的地位,其设计务必要综合考量系统的稳定性、可靠性还有可扩展性等因素。该系统一般是由感知层、网络传输层、数据处理层以及应用层这几个部分所构成的。感知层借助安装于冶金机械关键部位各类传感器来实时采集设备诸如振动、温度、压力、电流、转速等一系列运行参数,并且还会同步监测工作环境中的温湿度、粉尘浓度等相关信息,以此为后续开展的各项分析工作给出完整的数据来源。网络传输层主要负责把采集所得的数据凭借有线或者无线通信的方式传送到数据处理平台,从而确保数据传输能够做到及时并且稳定。数据处理层融合了边缘计算以及云计算这两种技术,针对数据展开实时的处理操作、存储管理、异常诊断以及趋势分析等工作,与此同时还会

运用大数据分析以及智能算法来对设备的健康状况加以评估并预测可能出现的故障情况,进而达成对设备状态的精准把控。应用层则能够为管理人员提供可视化的操作界面以及决策支持方面的功能,具体包含运行监控、报警提示、维护计划的制定以及远程操作的指导等内容,以此保证维护决策可以科学且高效地去落实。

### 2.2 传感器布置与数据采集策略

在冶金机械远程监测系统当中,传感器的布置以及数据采集策略属于极为关键的环节,其对于设备状态能否实现实时且准确的监测有着决定性的作用。就传感器而言,其选择与布置务必要依据设备的具体类型、关键的运行部位还有故障容易发生的区域来展开科学合理的规划,比如在像关键轴承、齿轮传动部位、液压系统以及电机核心部位这样的地方,要布置上振动、温度、压力还有电流传感器,以此来将设备运行状态的信息全面地捕捉到。与此还得在工作的环境里设置像温湿度、粉尘浓度这类的环境传感器,方便后续对设备所受外部条件影响的情况展开综合分析。在数据采集策略这块,应当采用高频率、多通道并且分层次的数据采集方式,以此来保障关键参数具备连续性以及实时性,而且要借助边缘计算节点针对数据开展初步的处理以及滤波操作,借此减少噪声干扰以及数据冗余现象,进而提升数据的质量<sup>[2]</sup>。考虑到冶金现场复杂的工作环境,传感器布置的时候还必须要充分考量抗振动、耐高温、防尘防腐等一系列性能方面的要求,从而确保能够实现长期稳定的运行状态。

### 2.3 数据处理与异常诊断算法

在冶金机械远程监测系统当中,数据处理以及异常诊断算法属于实现设备状态智能化管理还有预测性维护的关键环节。所采集到的原始数据往往具备多源、高频率以及存在噪声干扰等特性,所以得先开展数据预处理工作,具体包含去噪操作、滤波处理、归一化处理以及异常值的剔除等方面,以此来确保后续分析具备准确性与可靠性。经过预处理之后的数据便会进入到特征提取与分析这个阶段,借助于提取关键运行参数的统计特征、频域特征及时域特征,进而构建起设备状态特征向量,从而给异常诊断给予基础信息方面的支撑。异常诊断算法一般会把规则判定、模型预测还有智能学习方法相互结合起来运用,就好比说基于阈值的实时告警方式、状态空间模型、支持向量机、神经网络或者深度学习算法等,通过对设备运行状态加以建模以及预测的操作,来识别出潜在存在的故障或者是异常行为。该算法能够凭借历史运行数据去建立起设备健康状态模型,达成对振动异常、温度异常、压力波

动、电流异常等一系列问题的自动检测以及报警目的,并且还能依靠趋势分析以及预测算法来对设备剩余寿命做出评估,进而为维护决策给予科学层面的依据。

#### 2.4 系统安全性与可靠性设计

在冶金机械远程监测系统的具体设计进程里,系统所具备的安全性以及可靠性无疑属于极为关键的因素,它们能够切实保障设备可以实现长期且稳定的运行状态,同时也能够确保数据维持较高的准确性。就安全性设计而言,其主要涉及数据安全、网络安全以及访问控制等诸多方面,借助数据加密传输手段、防火墙的相关设置操作、身份验证流程以及权限管理举措,以此来保证监测数据在整个从采集到传输、再到存储以及最终处理的整个过程当中不会出现被篡改、泄露或者遭到非法访问等情况,并且还能够有效防范网络攻击以及系统入侵给监测平台所带来的种种干扰。而可靠性设计方面,则包含了硬件冗余、通信冗余、故障检测以及容错机制等内容,其目的在于确保当出现传感器发生故障、网络出现中断或者是服务器存在异常等一系列情况时,系统依然能够持续不断地采集并且处理那些至关重要的数据,从而避免因单点故障的缘故而导致监测工作被迫中断或者数据出现丢失的现象<sup>[3]</sup>。倘若想要提升系统整体的稳定性,在设计环节当中还需要充分考虑到环境适应性方面的相关情况,比如说传感器以及通信设备所具备的抗振动能力、防尘能力、防潮能力、防高温能力以及防腐能力等,只有如此才能够更好地去适应冶金现场那种复杂且颇为严苛的工作条件。

### 3 冶金机械智能维护方法研究

#### 3.1 设备状态评估与健康模型

在冶金机械智能维护领域当中,设备状态评估以及健康管理模型乃是达成预测性维护并且降低故障风险的关键根基所在。借助于针对冶金机械关键部件的运行参数展开的长期监测以及相关数据所开展的分析工作,便能够构建起设备健康状态模型,把振动、温度、压力、电流、转速等一系列关键指标同设备实际的运行状况相互结合起来,进而形成一套综合性的健康评分体系。此模型一方面能够体现出设备当下的运行状态,另一方面还能够凭借历史数据以及趋势分析来预估潜在故障的发展走向,以此为维护决策给予科学方面的依据。在进行建模工作的过程当中,一般会将会统计分析、物理模型以及数据驱动算法相互结合起来运用,像是机器学习、深度学习或者状态空间模型等,以此达成对设备性能衰退情况、异常行为表现以及寿命预测等方面的精准评估效果。与此健康管理模型务必要能够支持分层管理,也就是要将整机、关键部件以及子

系统的状态综合起来加以评估,从而能够在不同层级上制定出与之相对应的维护策略。

#### 3.2 预测性维护算法设计

在冶金机械智能维护领域当中,预测性维护算法的设计属于极为关键的一个环节,其对于实现设备故障的提前预警以及维护策略的优化都有着不容忽视的作用。该算法会针对设备运行数据展开长时间的采集工作并加以分析,进而构建起设备健康状态的相关模型。借助于振动、温度、压力、电流、转速等这些关键参数所呈现出的时序方面的特征,去精准地识别出设备性能出现衰退的具体趋势以及潜在存在的故障模式。预测性维护算法往往会把统计分析、机器学习以及深度学习等多种方法综合起来运用,像是回归分析、支持向量机、随机森林还有神经网络等等,以此来达成对设备剩余寿命较为精确的预测目的,同时也能够实现异常状态尽早做出识别的效果<sup>[4]</sup>。在算法设计的过程里,务必要充分考虑到冶金机械自身所具有的高负荷特点、复杂的工况情况以及多变量耦合这样的特性。通过开展特征选择方面的相关工作、实施降噪处理的操作以及对模型加以优化等举措,从而促使预测的精度得以提升,同时让预测的稳定性也获得增强。与此为了确保能够具备实时性的特点,该算法还能够在边缘计算节点针对关键数据展开快速的处理操作,进而实现近乎实时的故障预测效果,并且最终会将处理所得的结果反馈到管理平台之上,以此来为维护决策提供相应的指导。

#### 3.3 故障诊断与智能决策机制

在冶金机械智能维护领域当中,故障诊断以及智能决策机制属于极为关键的部分,其对于保障设备能够安全地运行有着十分重要的作用,同时也是优化维护策略的核心环节所在。故障诊断会针对采集所得的诸如振动、温度、压力、电流、转速等一系列关键参数展开多维度的分析,与此还会综合历史运行方面的数据以及设备健康的相关模型,借助模式识别、机器学习、专家系统或者深度学习等算法来精准地识别出潜在的故障类型以及故障具体的位置,进而达成对设备出现异常状态时能够快速予以定位并且进行分类的目的。并且,智能决策机制会把诊断所得到的结果同预测性维护方面的分析、生产计划以及资源约束等因素相互结合起来,凭借优化算法去生成既科学又具备可行性的维护方案,这里面就涵盖了检修时间该如何安排、人员需要怎样调度、备件要如何准备以及维修方式应怎样选择等诸多方面。这一机制不但在察觉到异常情况的时候能够及时地发出预警信息,以此来引导操作人员采取相应的干预措施,而且还可以依据设备的实际健康状况以

及生产方面的具体需求动态地去调整维护策略,从而实现维护环节当中资源的最优配置,并且让停机的时间尽可能地达到最小化。除此之外,智能决策机制还能够借助信息化平台来达成闭环管理的目标,把诊断所涉及的数据、决策制定出来的方案以及最终的执行结果都记录下来并加以分析,进而为后续设备的改进工作以及维护策略的优化事宜给予数据层面的有力支撑,最终促使冶金机械运行管理朝着智能化、科学化以及高效化的方向迈进,由此不断提升整体的生产效率以及设备自身的可靠性程度。

### 3.4 维护策略优化与实施方案

在冶金机械智能维护领域当中,维护策略的优化以及实施方案属于极为关键的环节,其能够把设备状态评估、预测性维护所得到的结果以及故障诊断的结果切实转化为实际的运维行动。通过针对设备的健康状态、故障预测方面的结果还有生产工艺的具体要求展开综合性的分析,进而制定出具备科学性的维护优先级安排、检修周期规划以及资源配置方案,从而达成维修活动的合理安排以及最优化的效果。优化策略一般涵盖有依据风险评估而实施的优先维护方式、依照剩余寿命情况来开展的条件维护方式,还有将生产负荷状况与设备的重要性相结合所采用的综合维护方法,以此尽可能地将非计划停机以及生产中断所带来的影响降到最低程度。就实施方案来讲,要清楚明确具体的维护操作步骤、备件储备的相关计划、人员调度的具体方案以及现场执行的相应标准,并且要和远程监测系统相结合以实现动态的调整,当设备的状态出现变化或者有异常预警的情况发生时,能够及时地去修改维护计划以及应急措施,以此来保证维护活动具备灵活性以及高效性。

## 4 结语

本文着重对基于物联网的冶金机械远程监测以及智能维护方法展开研究,并且拿出了系统设计方面的方案、数据采集方面的方案、异常诊断方面的方案还有智能维护策略方面的方案等一系列方案。经研究发现,借助实时对设备状态加以监测、对潜在故障做出预测以及对维护计划予以优化等方式,是能够切实有效地将非计划停机的情况降下去的,同时还能促使设备可靠性得以提升,生产效率同样也会有所提高。这种方法给冶金机械实现高效的运维以及智能化的管理给予了可操作的技术方面的有力支持,同时也给企业达成数字化转型以及确保安全稳定的运行提供了相应的参考依据。

### [参考文献]

- [1]程国强.冶金工艺的发展与展望[Z]//河南省有色金属行业协会,河南省有色金属学会.2025年第六届中原国际铝加工创新发展论坛论文集.河南恒康铝业有限公司,2025:200-212.
- [2]王超.冶金电气自动化控制技术的创新与应用研究[J].冶金与材料,2025,45(5):103-105.
- [3]谢龙.自动化技术在冶金机械设计制造中的应用分析[J].冶金与材料,2024,44(9):69-71.
- [4]程寿绵.基于物联网技术的金属冶炼研究[J].有色金属(冶炼部分),2024(6):166.

作者简介:张晓帆(1989.1—),男,毕业院校:濮阳职业技术学院,所学专业:建筑工程技术,当前就职单位:安阳钢铁建设有限责任公司,职务:设备工程助理工程师,职称级别:初级。

# 新能源汽车电机驱动系统故障诊断优化探究

唐波强

特斯拉(上海)有限公司, 上海 200120

[摘要]随着全球能源危机以及环境污染问题变得越来越严重,新能源汽车作为替代传统燃油车的关键方案,其核心的电机驱动系统的可靠性与安全性已然成为了行业所聚焦的重点所在。文中就电机驱动系统故障诊断现有的各类方法展开系统剖析,并且对多种优化策略展开细致研讨,目的在于提高诊断的准确程度以及实时性。凭借综合运用多源信息融合技术以及智能算法方面的优化举措,同时结合实时诊断以及容错控制机制,去构建起一个高效且集成的诊断系统架构,进而为新能源汽车的稳定运行以及后续维护给予相应的理论支撑与实践方面的指引。

[关键词]新能源汽车; 电机驱动系统; 故障诊断

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17969

中图分类号: U472

文献标识码: A

## Research on Fault Diagnosis Optimization of Motor Drive System of New Energy Vehicles

TANG Boqiang

Tesla (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

**Abstract:** With the global energy crisis and environmental pollution becoming more and more serious, the reliability and safety of the core motor drive system of new energy vehicles, as a key scheme to replace traditional fuel vehicles, has become the focus of the industry. In this paper, the existing methods of fault diagnosis of motor drive system are systematically analyzed, and various optimization strategies are discussed in detail, in order to improve the accuracy and real-time diagnosis. With the comprehensive application of multi-source information fusion technology and intelligent algorithm optimization measures, combined with real-time diagnosis and fault-tolerant control mechanism, an efficient and integrated diagnosis system architecture is constructed, which will give corresponding theoretical support and practical guidance for the stable operation and subsequent maintenance of new energy vehicles.

**Keywords:** new energy vehicles; motor drive system; fault diagnosis

在“双碳”目标和节能减排政策的推动下,新能源汽车产业迎来快速发展机遇。电机驱动系统作为新能源汽车的重要组成部分,其性能优劣直接影响整车的动力性、经济性和安全性。然而,电机驱动系统结构复杂、工况多变,故障模式多样,给车辆运行可靠性带来挑战,因此,开展电机驱动系统故障诊断,对保障新能源汽车安全、提升其市场竞争力具有重要意义。

### 1 新能源汽车电机驱动系统概述

#### 1.1 电机驱动系统组成与功能

新能源汽车电机驱动系统一般包含电机本体、功率变换器、传感器以及控制单元等部分。在这个系统当中,电机本体负责把电能转变成机械能,功率变换器能够实现电能的调节与分配,传感器用来实时监测系统的各项参数,而控制单元会依据输入的信号来输出相应的指令,以此来

协调整个系统的运行。电机驱动系统最为关键的功能是要能够提供稳定且高效的动力输出,并且凭借反馈机制达成对转速、转矩等参数的精准控制,从而保证车辆能够在不同的工况下具备良好的适应性以及可靠性。该系统不但要符合高功率密度以及高效率方面的要求,而且还要拥有较强的抗干扰能力以及容错性能,这样才能应对复杂道路环境以及负载变化所引发的各种挑战。随着材料科学以及电力电子技术不断地发展进步,像永磁同步电机、开关磁阻电机这类新型电机渐渐变成了主流的选择,它们较为紧凑的结构以及较高的控制精度又进一步推动了系统整体性能的提升。

#### 1.2 常见故障类型与影响

电机驱动系统在运转之时,有可能出现各式各样的故障,像电机自身方面可能出现绝缘老化的状况,轴承也会

有磨损的情况,转子还可能存在着偏心的问题;功率器件方面,比如 IGBT 就可能出现开路或者短路这类故障;传感器方面,其信号可能会出现漂移的现象,又或者直接失效;控制软件也存在故障的可能性,像是逻辑上出现错误,或者是通信出现中断等情况<sup>[1]</sup>。这些故障要是没有得到及时且妥善的处理,那么就极有可能致使系统效率有所降低,输出转矩出现波动,甚至还会让系统完全停止运行。情况严重的时候,甚至能够致使车辆失去控制,进而引发安全事故。就好比电机出现过热故障,这很可能会使得材料加速退化,进而使得使用寿命大大缩短。而一旦传感器出现失效的情况,那么控制系统就会失去准确的反馈信息,如此一来便会产生误操作的现象。故障所造成的影响程度是和故障的具体类型以及发生的实际位置紧密相关的。局部出现的故障或许仅仅会让性能稍微有所衰减,然而关键部件出现故障之后,那可就有可能迅速地蔓延到整个系统当中去了。所以,建立起一套能够快速且准确开展故障诊断的机制,对于保障车辆的安全以及延长系统的使用寿命而言,是拥有着极为重要意义的。

## 2 电机驱动系统故障诊断方法分析

### 2.1 传统诊断方法及其局限

传统故障诊断通常依靠专家经验以及阈值来判断,会通过分析历史数据和故障模式来构建规则库,借助信号处理技术比如傅里叶变换或者小波分析来提取特征参数,以此达成对常见故障的识别与分类。这些方法在简单的系统当中多少有些效果,不过它们存在一定的局限性,就是过于依赖先验知识并且适应能力比较差,很难去应对新型故障或者是复杂工况的变化情况。就好比说阈值方法很容易受到噪声的影响而出现误报的情况,专家系统又得耗费大量的人工干预且更新速度很慢,没办法满足实时性以及自主学习的需求。随着系统的复杂程度不断增大,传统方法在诊断精度以及效率方面慢慢暴露出不少的不足之处,特别是在多故障同时发生或者渐进性故障的场景之下,诊断的效果明显变差,所以迫切需要引入更为先进的数据驱动以及基于模型的方法来弥补它的缺陷。

### 2.2 基于数据驱动的诊断方法

基于数据驱动的诊断方式会运用机器学习以及深度学习方面的算法,从数量众多的运行数据里去自动学习故障所具有的特征,它并不依靠精确的数学模型,而是借助模式识别还有分类来达成故障的检测以及隔离的目的。其中常用到的技术包含支持向量机、随机森林以及卷积神经网络等,这些方法可对高维非线性数据加以处理,并且能适应处于动态变化之中的环境情况。比如说通过对电流、

电压以及振动信号的时间序列展开分析,数据驱动的方法能够识别出潜在的故障模式,同时还能预测故障的发展趋势,它的优势体现在较强的泛化能力以及较高的诊断精度上,特别适用于那种传感器数据较为丰富但是机理却不甚清晰的场景状况<sup>[2]</sup>。不过这类方法对于数据的质量以及数量都有着较高的要求,而且在模型训练的过程当中,其对计算资源的消耗是颇为巨大的,在实时的应用环节中有可能会碰到延迟方面的问题,与此由于存在黑箱特性,所以诊断结果的解释性是比较差的,这就需要将其与其他的方法结合起来以提升整体的可靠性程度。

### 2.3 基于模型诊断方法的进展

基于模型的诊断方法会先去构建系统的数学模型,像状态空间方程又或者是传递函数这类的,接着借助观测器或者滤波器来对系统状态加以估计,然后再把所估计的状态跟实际输出相互比较一番,如此一来便能生成残差信号,进而凭借此信号来检测以及定位故障。近些年来,这种方法在非线性系统以及自适应观测器设计领域收获了颇为显著的进展,就好比滑模观测器还有扩展卡尔曼滤波的应用,这使得其对参数扰动以及噪声的鲁棒性得以提升。基于模型的方法有着物理意义清晰明确的优势,并且其诊断速度也比较快,能够达成早期故障的检测与隔离目的,不过它的性能很大程度上要依靠模型的精度,要是系统参数出现时变情况或者存在未被建模的动态,那便容易出现漏报的情况。当下的研究趋势是将数据驱动方法与之结合起来,以此来修正模型可能出现的误差,又或者引入多模型切换机制,从而能够适应不同的运行工况,进而提高诊断系统的适应性以及可靠性。

### 2.4 诊断系统性能评价指标

故障诊断系统的性能往往是凭借诸多指标来展开综合评定的,像诊断准确率、误报率、漏报率、实时性以及鲁棒性等等都涵盖其中。诊断准确率所体现的是正确识别故障所占的比例情况,而误报率指的是原本处于正常状态却被错误地判定成故障的那种概率,漏报率说的就是故障没有被检测出来的那种情形,这些指标综合起来便决定了诊断系统的可靠性。实时性是要求诊断过程得在限定的时间范围之内完成,如此一来才能防止故障进一步扩散从而造成更为严重的损失,鲁棒性则是指系统在面临噪声干扰还有参数发生变化的情况下依旧能够维持其诊断性能的那种能力。计算复杂度以及资源消耗同样是重要的考量因素,在车载嵌入式平台当中更是需要去平衡诊断精度和硬件方面的限制。在对诊断系统进行优化的时候,得综合各方面因素来加以考虑,借助多目标优化的方法去探寻最佳

的折衷方案,进而保证在实际的应用过程当中既能实现高效的诊断效果又能做到经济方面的合理把控。

### 3 故障诊断优化策略探究

#### 3.1 多源信息融合技术应用

多源信息融合技术会把来自不同传感器以及数据源的信息整合到一起,借助数据级、特征级还有决策级融合的方法来让故障诊断的完整性以及准确性得以提升。就好比说把电流、电压、温度以及振动信号综合起来,如此一来便能够更为完整地将系统状态的变化给捕捉住,还能把单一传感器出现失效所带来风险减少掉。在电机驱动系统的诊断方面,信息融合可有效辨别故障类型以及其严重程度,借助时空关联分析还可提升诊断的可信度,当下常用的融合算法有 D-S 证据理论、卡尔曼滤波以及神经网络融合等等。在处理具有不确定性的测量数据的时候, D-S 证据理论能够很好地将来自多个传感器的置信度分配加以合成,进而针对潜在故障做出更为合理的判断,不过它的计算复杂度相对来讲是比较高的,并且还得去解决证据冲突方面的问题。在运用多源融合技术的时候,得去解决数据异步、异构以及冲突等问题,与此同时还要对融合结构加以优化,以此来降低计算负载,进而达成更为可靠的诊断结果,还能为后续的容错控制给予相应的支持。从工程实践层面来讲,怎样去设计一种自适应的融合权重调整机制,让系统能够在不同的运行工况之下自动优选出最为相关的那些信息源,这是提升融合效果的一个极为关键的研究方向,而这需要对各种故障模式下不同物理量的响应特性以及关联关系有着较为深入的理解。

#### 3.2 智能诊断算法优化

智能诊断算法的优化主要聚焦于对机器学习以及深度学习模型的结构和参数加以改进,以此来提高故障分类的精度以及泛化的能力。常见的优化方向有特征选择降维、模型结构轻量化以及集成学习的应用等。比如可借助主成分分析或者自动编码器来降低输入维度,又或者采用迁移学习来适应不同的运行条件。经过优化之后的算法能够更为有效地提取微弱的故障特征,并且减少出现过拟合的风险。与此还能够凭借在线学习机制达成模型的自适应更新,进而应对因系统老化或者环境变化而产生的种种挑战。具体来讲,面对深度网络模型在嵌入式设备上部署存在困难这一挑战,模型剪枝与量化技术受到了广泛的探索。它们可以在尽可能维持模型性能的情况下大幅度缩减模型的体积以及计算量,这对于实现车载端的实时智能诊断而言是极为关键的。不过,算法优化得在复杂度与性能之间寻求平衡,在嵌入式系统当中还要考量硬件资源的限制,所

以当下的研究着重于开发边缘计算友好型的算法,从而实现高效的实时诊断<sup>[3]</sup>。集成学习框架把多个弱学习器组合起来也能够较为稳定地提升诊断模型的鲁棒性,然而其代价是使得训练与推理过程的计算开销有所增加,所以在实际的应用当中需要依据具体的需求来审慎地权衡与选择。

#### 3.3 实时诊断与容错控制结合

实时诊断和容错控制相结合的方式,是把故障诊断的结果迅速反馈给控制系统,然后触发预先设定好的容错策略,比如重新构建控制规律或者切换到备份部件,以此来维持系统的最基本功能,并且防止故障进一步蔓延。这样的结合方式要求诊断模块具备很高的实时性以及很低的延迟,与此容错策略要依据故障的具体类型以及严重的程度来进行动态的调整。在电机驱动系统当中,常见的容错办法有硬件方面的冗余,像多设置一些传感器或者功率器件,还有软件方面的冗余,像是采用自适应观测器或者滑模控制等手段,借助这两者相互配合,达成在出现故障情况下的系统稳定运转。具体而言,在永磁同步电机驱动系统里,要是电流传感器出现了故障,那么一种行之有效的软件容错办法就是切换成基于电压模型的无传感器观测算法,以此来对电机转矩加以估计,进而确保车辆可以持续安全地开往维修点。在这个过程中,需要诊断单元能够快速且精准地识别出传感器已经失效的情况,并且及时告知控制器去实现控制模式的无缝切换。实时诊断和容错相结合的做法,一方面提升了系统的可靠性,另一方面也延长了设备的使用寿命,不过要想实现这一目的,就得解决诊断-控制接口的设计以及时间顺序的同步等问题,从而保证能够做到无缝切换并且让性能损失降到最低限度。

#### 3.4 诊断系统架构集成优化

诊断系统架构集成优化涉及到硬件以及软件层面的协同设计工作,借助模块化、标准化以及接口统一等手段来提升系统的可扩展性以及维护性。比如把诊断功能嵌入到整车控制器当中,或者单独设立诊断单元,并且运用总线通信,像 CAN 或者以太网这样的方式来达成数据共享以及交互的目的。集成优化所追求的目标是减少资源方面的冗余情况,提高响应的速度,与此同时还能支持多故障诊断以及预测性维护等功能。当下的发展趋势是将云平台和边缘计算结合起来,以此实现数据的集中处理以及分布式的诊断。在车载网络这样的环境下,怎样确保诊断消息能够做到实时性以及确定性的传输,这无疑是一个需要去充分考量的问题<sup>[4]</sup>。时间敏感网络技术给这一问题提供了一种可能的解决办法,它可以为那些关键的诊断以及控制

数据流给予有保障的带宽,同时还能提供低延迟的传输通道。在对架构进行优化的时候,得充分考虑到成本、可靠性以及兼容性等诸多因素,并且要通过仿真以及实验的方式来对其效能加以验证,进而构建起能够适应未来智能网联汽车需求的高效诊断系统。

#### 4 结束语

本文全面且细致地剖析了新能源汽车电机驱动系统故障诊断当下所采用的方法以及可施行的优化策略,明确指出了传统诊断办法在较为复杂的工况环境之下所存在的种种局限性,同时也着重突出了数据驱动这一方式和模型-based方法二者之间所具有的互补方面的价值。通过深入探讨像多源信息融合这类策略、智能算法优化方面的策略、把实时诊断和容错控制相结合的策略以及系统架构集成等相关策略,从而为促使诊断性能得以提升找寻到了具备可行性的路径。在未来的研究过程当中,应当将关注点放在多学科相互融合以及实际测量验证之上,着力强化诊断系统所具备的自适应能力以及预测能力,与此同时还要充分考虑到标准化相关事宜以及成本控制方面的情况,以

此来推动该技术朝着产业化的方向迈进。电机驱动系统故障诊断的优化其实是一个处于不断演进当中的过程,这需要学术领域和工业领域携手共努力,进而确保新能源汽车能够实现安全且可靠的运行状态,并且推动汽车产业达成可持续发展的目标。

#### [参考文献]

- [1]吴海军.新能源汽车电动驱动系统的性能优化与故障诊断[J].汽车维护与修理,2024(18):78-79.
- [2]王志刚.新能源汽车电驱动系统性能优化与故障诊断[J].汽车知识,2024,24(12):149-151.
- [3]李志强.新能源汽车永磁同步电机驱动系统多传感器融合故障诊断方法研究[J].专用汽车,2025(9):105-107.
- [4]刘成,曾义和,刘玉良.新能源汽车电机驱动系统故障诊断与维修研究[J].汽车测试报告,2025(5):43-45.

作者简介:唐波强(1988.3—),毕业院校:沈阳化工大学,所学专业:机械工程学院/理论与应用力学,当前就职单位:特斯拉(上海)有限公司,职务:高级工艺工程师,职称级别:中级工程师。

# 试析智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用

舒老辉

江西路通科技有限公司, 江西 南昌 330009

[摘要]中国高速公路网络不断扩张,智能化转型持续推进,智慧供电系统是保障机电工程高效运作的关键技术,日益成为行业关注重点。文中全面剖析智慧供电系统基本概念和技术架构,依据高速公路机电工程实际需求特点,深入探讨其在照明、隧道、收费站以及监控通信等具体场景的应用实践情况。

[关键词]智慧供电系统; 能源管理; 智能运维

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17962

中图分类号: U417

文献标识码: A

## Application Analysis of Smart Power Supply System in Highway Mechanical and Electrical Engineering

SHU Laohui

Jiangxi Lutong Technology Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330009, China

**Abstract:** With the continuous expansion of Chinese highway network and the continuous promotion of intelligent transformation, the smart power supply system is a key technology to ensure the efficient operation of electromechanical engineering, and has increasingly become a focus of industry attention. The article comprehensively analyzes the basic concepts and technical architecture of smart power supply systems, and based on the actual needs and characteristics of highway electromechanical engineering, deeply explores their practical applications in specific scenarios such as lighting, tunnels, toll stations, and monitoring communication.

**Keywords:** smart power supply system; energy management; intelligent operations

深入研究智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用,一方面可以完善相关理论,丰富研究成果,另一方面能为高速公路机电工程实际运用智慧供电系统提供充足指导和依据。传统供电系统存在效率低及能耗大等多种缺点,无法满足新时期高速公路机电工程的现实需要,此次研究可以弥补智慧供电系统在高速公路工程实践研究方面存在的空白或不足,进一步提高智慧供电系统的运用成效,是供电系统能够在机电工程中稳定发挥自身价值和作用的关键,为高速公路机电工程实现高质量健康发展提供助力。

### 1 智慧供电系统的概念与技术架构

智慧供电系统属于一种新型供电模式,它是依托现代信息技术以及能源管理理念构建起来的。其关键之处就在于借助智能化的方式达成电能的高效分配、有效监控以及合理优化。该系统一般会形成多维技术架构,主要由感知层、网络层、平台层还有应用层构成。在这其中,感知层的任务是采集电压、电流以及负荷方面的数据;网络层会运用有线或者无线通信技术来传输相关信息;平台层依靠

云计算以及大数据分析来处理数据;而应用层则是面向用户,提供智能控制以及决策支持服务。在高速公路机电工程当中,这一系统可以把分散开来的电力负荷整合成统一管理的单元,进而实现从发电环节一直到用电环节的整个链条的优化。并且,智慧供电系统的技术演进一直围绕着高可靠性和智能化这两条主线展开,这也为它在复杂工程环境下的应用打下了稳固的基础。凭借着持续不断的技术迭代以及标准的完善,该系统正在一步步地变成支撑高速公路智能化转型的极为重要的基础设施。

### 2 高速公路机电工程的供电需求特点

#### 2.1 负荷分散性与多样性

高速公路机电工程的供电负荷呈现出颇为显著的分散性以及多样性特点,之所以会这样,是因为该工程所涉及的覆盖范围极为广泛,并且其各个子系统的功能也各不相同。就比如说,照明系统得要有稳定且属于低压范畴的供电保障,而隧道通风设备则要依靠大功率的电源才行,监控以及通信设备对于电能的质量有着极高的要求。这样的负荷分布情况,其跨度能够达到数十乃至数百公里的路

段, 并且还会牵涉到不同电压等级以及多种用电模式, 这就给统一开展供电管理工作带来了相当大的难度<sup>[1]</sup>。在高速公路的典型路段当中, 负荷密度之间的差异甚至可以达到好几倍的程度, 这也意味着供电系统务必要具备灵活的适配能力以及动态调整的相关机制。负荷的分散性还会使得线路损耗有所增加, 运维成本也随之上升, 所以智慧供电系统就需要借助分区管理以及智能调度的方式来对资源配置加以优化。

## 2.2 高可靠性要求

高速公路机电工程对于供电可靠性的要求颇高, 毕竟一旦出现电力中断的情况, 那极有可能引发交通安全方面的事故, 又或者致使运营陷入瘫痪状态。就比如说, 倘若隧道照明系统出现了故障, 那么这将会直接对行车视线以及通风效果产生影响。要是监控设备发生断电状况, 那么就会造成实时数据丢失, 进而使得应急响应的能力受到削弱。这样的高可靠性需求是源自高速公路所具有的公共属性以及连续运营的特点, 它要求供电系统不但要具备冗余备份以及快速切换的功能, 而且还要能够在恶劣的环境下依旧能够稳定地开展工作的。智慧供电系统引入了故障预测以及自愈的技术, 借助实时监测还有智能分析来提前察觉到潜在的问题, 并且能够自动去执行隔离以及恢复的操作。高可靠性要求还体现在对于电能质量的严格把控方面, 像是电压波动以及频率偏差就必须得控制在允许的范围之内, 从而保证精密设备可以正常地运行。所以说, 在对智慧供电系统展开设计以及应用的时候, 务必要把可靠性当作核心的考量因素, 并且要把这一考量贯穿于技术选型、安装调试以及运维管理的整个过程之中。

## 3 智慧供电系统在高速公路机电工程中的具体应用

### 3.1 照明系统智能供电

智慧供电系统于高速公路照明系统当中达成了精准控制以及能源节约的目标。它是凭借安装智能传感器以及控制器来实现这一目的的, 可依据环境光强、交通流量还有天气条件来自动对照明亮度与时间做出调节。就好比说, 在车流较为稀少的时段, 系统是能够切换到节能模式之中的; 而处于雾雨这类低能见度的条件下时, 便会提高照明强度, 以此来确保安全。这样的智能供电方式, 一方面延长了灯具的寿命, 另一方面也大幅度降低了电耗以及运维成本, 并且还能够实时对灯具的状态加以监测, 一旦出现故障便及时上报, 如此一来便能够防止因为局部失效而引发连锁反应的情况发生。照明系统智能供电得到广泛的应用, 这无疑彰显出了智慧技术在提高公共设施能效方面所

具备的潜力, 同时也为高速公路迈向绿色转型给出了可行的路径。

### 3.2 隧道综合供电管理

隧道属于高速公路极为关键的节点所在, 其供电管理牵涉到照明、通风、消防以及监控等诸多子系统。智慧供电系统凭借集成化平台达成对这些负荷的统一监控与调度操作。该系统借助大数据来分析隧道内外的环境参数, 依据实际情况动态地去调整通风设备以及照明电源的运行策略。就好比在出现交通拥堵状况的时候, 会强化通风力度, 以此来促使污染物浓度得以降低。除此之外, 智慧供电系统还拥有应急供电的功能。当主电源发生故障情况时, 它能够自动切换到备用发电机或者储能装置, 从而保证隧道运营不会出现中断的情形。如此一来, 既增强了运营方面的安全性, 又借助优化能源使用的举措减少了碳排放量, 这无疑契合了可持续发展的理念要求。

### 3.3 收费站电力保障

收费站属于高速公路能源消耗极为突出的区域, 其供电保障状况与收费效率以及服务质量紧密关联, 智慧供电系统凭借冗余设计以及智能监控手段, 可为收费站给予不间断的电力支撑。该系统把市电、太阳能还有储能电池等不同类型的电源加以整合, 进而形成微电网, 依据负荷方面出现的变化情况, 自动对供电模式做出切换操作, 就像在高峰时段会优先选用清洁能源, 以此来促使运行成本得以降低。与此智慧供电系统还能够对收费设备的电能质量展开实时监测, 防范电压骤然下降或者谐波干扰致使数据传输准确性受到损害, 进而有效提高关键节点所具备的韧性以及经济性。

### 3.4 监控与通信系统不间断供电

监控与通信系统在高速公路中占据着极为关键的地位, 称得上是整个高速公路的神经中枢所在。该系统对于供电的连续性以及供电质量方面有着相当高的要求。智慧供电系统借助引入不间断电源以及智能调度机制这两项举措, 从而充分确保这些系统能够实现全天候的正常运行状态。此系统运用的是模块化 UPS 设备以及分布式储能技术, 当主网出现故障情况时, 能够即刻给予后备电力供应, 并且依靠远程监控平台来实时对供电参数做出调整, 以此与设备的实际需求达成匹配。就好比视频监控摄像头在夜晚的时候需要更高的功率, 智慧系统便可以自动增加容量并且对电源噪声加以过滤, 进而保障图像的清晰度, 使得因断电而引发的数据丢失风险得到了大幅度的降低。监控与通信系统的不间断供电一方面强化了高速公路在应急管理工作方面的相关能力, 另一方面也为智能交通后

续的深化应用筑牢了稳固的基础。

## 4 智慧供电系统实施难点

### 4.1 初始投资成本高昂

智慧供电系统在部署之时，得投入不少资金，主要用于买硬件、搞软件开发以及做系统集成，这可给预算本就有限的高速公路项目带来了很大压力。就好比说，智能传感器、通信模块还有云平台这些核心组件，价格都不便宜，而且在安装调试期间，还得另外耗费人力和物力。这么高的初始投资成本，让部分管理部门看了都直摇头，特别是在偏远地区或者对已有设施进行改造的情况下，这种情况就更加明显了。一套完整的智慧供电系统，其初始投资能抵得上传统方案的数倍之多，虽说从长远来看收益很可观，可是短期内的财务压力还是限制了它的推广。所以，在实施的过程中，怎样去平衡前期投入和后期效益就成了一个关键难题。

### 4.2 系统集成与兼容性挑战

智慧供电系统要和高速公路现有的机电设备实现无缝对接，然而因为技术标准并非统一且接口协议存在差异，所以系统集成时常常会碰到兼容性方面的难题。就好比说，老旧的照明控制器或许并不支持新的通信协议，这就使得数据采集无法成功或者控制系统出现失灵的情况<sup>[2]</sup>。这样的兼容性问题不但让调试周期变长，而且还可能引起系统冲突以及性能有所下滑。不同供应商所提供的设备大多采用的是私有的技术规范，这又进一步加大了集成的复杂程度。系统集成以及兼容性所面临的这些挑战，需要实施方拥有跨领域的技术能力，并且也促使行业去制定统一的标准，以此来降低整合的难度。

### 4.3 专业技术人才短缺

智慧供电系统的构建涉及设计、安装以及维护等多个环节，而这些环节均需复合型人才来推动，也就是说，所涉及的人才既要懂电力工程较为了解，又要对信息技术较为熟悉。然而就当下情况来看，这类专业人员在市场当中是比较紧缺的。人才出现短缺的情况使得项目在实施的过程中不得不依靠外部专家，如此一来便使得人力成本有所提高，并且还对问题响应的速度产生了影响。就好比说，在对系统故障展开排查的时候，要是缺少具备数据分析能力的工程师，那么就很有可能会耽误修复的最佳时机，进而使得损失进一步扩大。专业技术人才短缺这一情况还体现在培训体系不够完善上，很多高校以及相关机构都还没有开设与之相关的交叉学科课程。这个难点已经明显地凸显出了加强人才培养工作的迫切性，要是不加强人才培养，那么将会对智慧供电技术的规模化应用形成制约作用。

## 4.4 长期运维与数据安全保障

智慧供电系统在长时间运行期间，需要不断地开展维护以及进行升级操作。不过，其复杂的架构使得运维的难度有所增加，与此大量数据的采集以及传输还带来了安全方面的风险。比如说，倘若传感器数据遭到恶意篡改，那么就有可能导致供电策略出现错误，进而致使系统陷入瘫痪状态。而且，云平台要是存在漏洞，那么就可能造成用户隐私或者运营信息的泄露<sup>[3]</sup>。长期运维工作要求构建起定期检查以及预测性维护的相关机制，然而在人员数量不足或者资金较为紧张的情况下，这些机制是很难真正落实到位的。数据安全的保障还需要依靠加密技术以及访问控制方面的措施来予以支持，可是许多现有的系统在这些方面依旧存在着一些比较薄弱的环节。所以说，对运维以及安全方面的问题加以解决，这是保证系统能够实现可持续运行的一个前提条件。

## 5 应对策略

### 5.1 探索多元化投融资模式

为了缓解初期投资所面临的压力，高速公路管理部门可以去探寻像政府补贴、与社会资本展开合作以及绿色金融这类多元化的投融资模式，借助这些模式来使得资金风险得以分散，同时促使项目能够更快地落实下去。就好比说，可以通过 PPP 模式把私营企业引入进来，让其参与到系统的建设以及后续的运营当中，进而共享在节能方面所产生的收益以及运维服务所带来的收入。而且，多元化投融资模式还能够和碳交易还有能效奖励政策相互结合起来，把长期存在的节能效益转变成为短期的现金流，如此一来便能够让项目的可行性得到提升，同时也给智慧供电系统的推广给予了相应的经济方面的保障。

### 5.2 制定统一技术标准与接口协议

对于系统集成方面存在的难题，行业组织应当积极牵头去制定统一的技术标准以及接口协议，以此来保证不同设备以及平台之间能够具备良好的互操作性。这些统一的标准可以涉及到通信协议、数据格式以及设备规范等诸多方面，如此一来便能有效降低集成工作的复杂程度，并且推动市场形成良性的竞争态势。比如可以参照国际电工委员会所给出的相关指南，同时结合中国高速公路自身的特点来开发出具有本土化特色的标准体系。制定统一的技术标准与接口协议还能够一定程度上减少供应商锁定所带来的风险，让管理部门在设备选型这件事情上拥有更多的灵活性。

### 5.3 加强复合型人才培养与引进

人才短缺问题，高校、企业以及政府需要协同强化复

合型人才的培养工作,借助设立交叉学科课程以及在职培训项目来提升从业人员的技能水平。与此引进海外专家或者高层次人才能够较快地弥补能力方面的缺口,比如借助人才计划吸引物联网和能源管理领域内的专业工作者。强化复合型人才的培养与引进,还应当完善职业认证以及激励机制,以此增强岗位的吸引力并且降低人才的流失率<sup>[4]</sup>。这一策略不单服务于智慧供电系统,而且会为整个智能交通产业储备人力资源。

#### 5.4 构建智能化运维与安全防护体系

为保证系统能够长期稳定地运行,得去构建一个智能化运维体系,这个体系要把预测性维护、实时监控以及应急响应整合到一起,并且还要进一步强化数据加密、访问控制以及入侵检测等一系列安全防护方面的举措。智能化运维体系借助大数据分析来预测设备的使用寿命以及故障发生的点位,进而达成主动维护的目的,而不是像以往那样处于被动修理的状态。而安全防护则是依靠多层防御机制来保障数据的完整性以及隐私性。要构建起智能化运维与安全防护体系,还应当建立起跨部门的协作机制,如此一来,在出现突发事件的时候才能够迅速地联动起来进行处置。

#### 6 结束语

智慧供电系统于高速公路机电工程的应用呈现出了颇为可观的潜力,其借助智能化技术使得供电的可靠性得

以提升,同时也能提高能效以及运维水平,进而给行业的转型升级给予了强有力的支撑,不过在实施的进程当中,依旧面临着诸如投资成本偏高、集成起来较为复杂、人才存在短缺以及存在着安全风险等一系列的挑战,这就需要凭借多元化融资的方式、制定相关标准、开展人才培养工作以及采取智能运维等方面的策略来加以应对,往后的日子,伴随技术不断地走向成熟并且政策也在持续地得到优化,智慧供电系统是有希望在更为广泛的领域达成深度融合的,从而推动高速公路朝着绿色、智能以及安全的方向去发展。

#### [参考文献]

- [1]钱超.基于智能感知与数据融合的智慧高速公路机电系统优化研究[J].交通世界,2025(9):183-186.
- [2]赵根,孙沐琪,白皓,等.高速公路供配电能耗与供电品质监测及数据分析管理系统[J].电工技术,2025(17):108-113.
- [3]高玲.智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用分析[J].运输经理世界,2023(26):146-148.
- [4]阳辉.智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用[J].交通世界,2024(27):172-174.

作者简介:舒老辉(1989.11—),男,学历:大专,毕业院校:江西交通职业技术学院,所学专业:模具设计与制造,目前职称:助理工程师。

## 智慧安防在现代建筑中的集成与应用

柯中华

南京长江都市建筑设计股份有限公司, 江苏 南京 210000

[摘要]随着城市化进程的加快及科技前沿技术的突破,智慧安防在现代建筑中的应用越来越广。此文探讨智慧安防在现代建筑中的集成和应用,对其发展现状、关键技术、未来趋势加以分析。研究显示智慧安防集成了视频监控、门禁管理、报警、停车等各类安防子系统,可全面保障建筑安全。文章着重介绍人工智能、物联网、大数据等新兴技术在智慧安防中的运用并探讨安防集成时遇到的挑战及其解决办法,另外文中还对智慧安防在办公、商业、住宅等不同建筑类型中的具体应用进行了案例分析,总结出智慧安防的部署在提高建筑安全、提升用户体验、降低运营成本等方面有突出的优势。最后文章展望了智慧安防的未来发展,如人工智能算法会更优化、边缘计算技术的应用、与智慧城市建设深度融合等,这一研究为智慧安防在现代建筑中的应用提供理论依据和实践指导。

[关键词]智慧安防;现代建筑;集成与应用;人工智能;物联网

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17970

中图分类号: X924.3

文献标识码: A

## Integration and Application of Smart Security in Modern Architecture

KE Zhonghua

Nanjing Yangtze River Urban Architectural Design Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

**Abstract:** With the acceleration of urbanization and the breakthrough of cutting-edge technology, the application of smart security in modern architecture is more and more extensive. This paper discusses the integration and application of smart security in modern architecture, and analyzes its development status, key technologies and future trends. Research shows that smart security integrates various security subsystems such as video surveillance, access control management, alarm and parking, which can fully guarantee building safety. This paper focuses on the application of artificial intelligence, Internet of Things, big data and other emerging technologies in smart security, and discusses the challenges encountered in security integration and their solutions. In addition, the paper also analyzes the specific applications of smart security in different building types such as office, business and residence, and concludes that the deployment of smart security has outstanding advantages in improving building safety, enhancing user experience and reducing operating costs. Finally, the article looks forward to the future development of smart security, such as the optimization of artificial intelligence algorithm, the application of edge computing technology, and the deep integration with smart city construction. This research provides theoretical basis and practical guidance for the application of smart security in modern architecture.

**Keywords:** smart security; modern architecture; integration and application; artificial intelligence; Internet of Things

### 引言

随着城市化进程的加快,使得建筑安全防护成为现代社会急需解决的重大问题。国际安全产业协会(ASIS)有数据表明,2019年全球安防市场规模是2970亿美元,到2023年增长到3850亿美元,年复合增长率达6.7%,同时现代建筑安全防护的需求复杂多变,在这样的前提下,单纯的传统各安防子系统并满足不了多变的安防管理需求,从而促使了智慧安防诞生与发展。

现代建筑中智慧安防是建筑智能化/智慧化的重要组

成部分,它集成视频监控、门禁管理、报警、停车等安防子系统且运用人工智能、物联网、大数据技术全面保障建筑安全。IDC(国际数据中心)报告数据表明,2022年中国智能安防市场规模达到1256亿元,到2025年预计会超2000亿元,如此迅猛的安防市场规模增长体现出智慧安防在现代建筑里有着广阔的应用前景。

现代智慧安防已不再是简单的视频监控与报警功能,而是一个集成化、智慧化的综合安全管理平台,它能实时监测建筑环境、智能辨识潜在威胁并自动触发响应举措且

可与建筑系统协同作业,从而让安全管理效率和响应速度得到显著提高, Gartner (高德纳咨询公司) 研究显示,部署了智慧安防应用的建筑处理安全事故的效率平均提高43%且误报率降低65%。

当然,对于智慧安防在现代建筑中的全面应用还存在诸多困难,例如各安防厂家技术标准不一、各安防系统兼容性不佳、数据隐私保护不到位等,因此本文旨在系统的分析智慧安防的关键技术以及它在现代建筑里的集成应用情况,探究现存问题的解决办法并且对未来发展趋向给予展望,从而给智慧安防在现代建筑广泛运用提供理论支撑与实践经验<sup>[1]</sup>。

## 2 智慧安防的关键技术

### 2.1 传感器技术

智慧安防以传感器技术为基础,由其承担环境信息采集与转换的任务,并且近年传感器技术明显朝着多功能、高精度、微型化、低功耗的方向发展。在现代建筑智慧安防里广泛运用多种传感器,例如图像传感器、红外传感器、人体毫米波雷达存在传感器、烟雾传感器、声音传感器、生物特征识别传感器等等,美国 Markets and Markets 公司报告显示2022年全球安防传感器市场规模达到193亿美元,到2026年预计增长至289亿美元,年复合增长率是10.7%。

新型 CMOS 图像传感器在低照度环境下的成像质量显著提高这一点很值得关注,并且热成像传感器的价格大幅下跌导致其应用范围越来越大,此外毫米波雷达传感器

能穿过墙体探测人员,多光谱融合技术将可见光和红外线图像相结合从而克服了传统视频监控在恶劣天气和光照条件下的局限性,这些先进传感器技术的发展可以更全面、更精准地感知建筑环境进而给后续的智慧安防应用的发展带来了无限的可能,也为现代建筑安防管理分析和决策提供可靠的数据基础。

### 2.2 视频分析技术

智慧安防中,视频监控系统是占比最大的部分,而监控中的视频分析技术更是属于核心,它可对视频图像进行实时处理与分析以达成异常事件自动检测和预警,随着深度学习算法取得突破,现代视频分析技术已从单纯的运动检测发展到了复杂的行为识别以及场景理解, IHSMarkit 数据显示,2023 年全球视频分析市场规模达57亿美元,到2026年预计会增长至98亿美元,年复合增长率是19.8%。

人脸抓拍识别、人体姿态分析、异常行为检测、物体跟踪以及人流密度统计等是当下较为领先的视频分析技术,通过视频分析技术,视频监控从过去的被动模式转变为如今的主动预警模式,例如黑名单人员能被人脸识别技术自动识别出来并触发报警,打架、摔倒、徘徊之类的异常事件可通过异常行为分析检测到,特定目标可被跨镜头目标跟踪全程追踪。最新款的视频分析系统不但能处理超高清视频流且支持多个目标同时分析还有自适应能力,在不同场景和条件下其准确率都能保持较高水平,如图1所示。

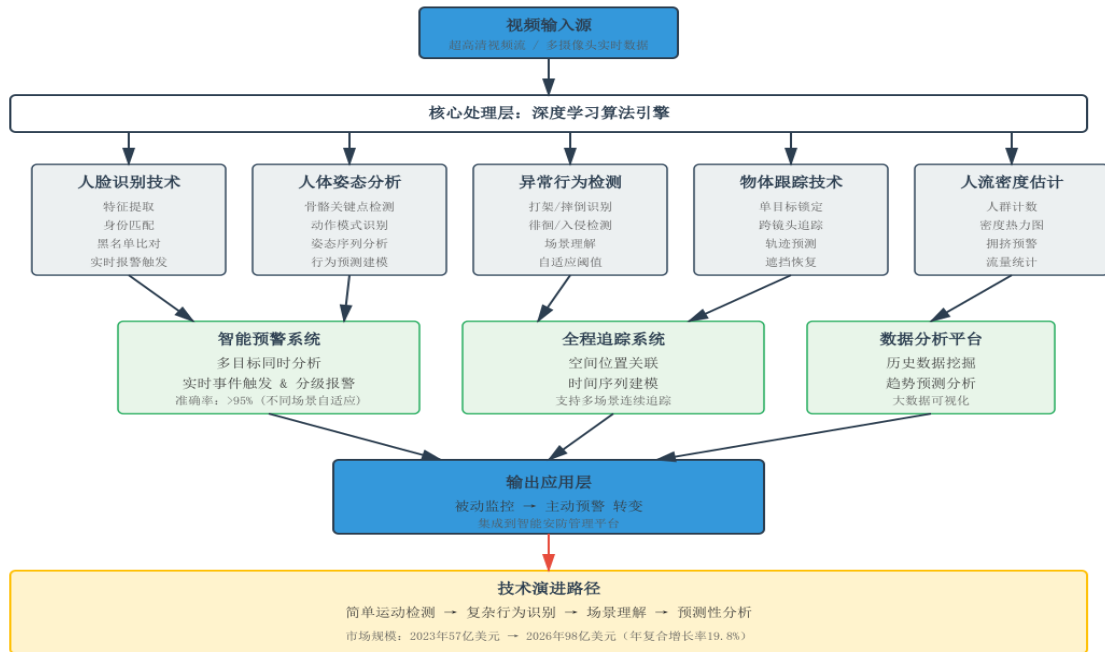


图1 视频分析技术架构与功能体系

## 2.3 物联网和云计算技术

物联网和云计算技术赋予智慧安防平台强大连接与计算能力，从而实现安防设备网络化以及数据云端处理，各类安防设备依靠物联网技术能无缝连接以组成完整安全防护网络，而云计算提供强大数据存储、处理和分析能力。ResearchandMarkets 报告显示，2022 年全球安防领域物联网市场规模达 210 亿美元，到 2025 年预计增至 350 亿美元且年复合增长率是 18.6%。

5G、NB-IoT、LoRa、低功耗蓝牙、Wi-Fi 等通信技术被现代智慧安防广泛应用以保证设备间高速且稳定的连接，并且边缘计算技术用来满足数据实时处理需求从而让网络传输负担得以减轻，同时云计算平台被用于视频存储、大数据分析以及人工智能算法训练<sup>[2]</sup>。如基于云端的智能视频监控系統就是典型应用，能够跨区域多级联网监控，而智能门禁和报警系统借助物联网可远程控制并实时通知，大规模建筑群的安防系统依靠云平台能统一管理和联动响应，使得系统可扩展性与管理效率显著提升。

## 2.4 人工智能和机器学习

智慧安防平台的“智能大脑”是由人工智能和机器学习技术赋予的，让它有了自主学习、分析与决策的能力，并且借助深度学习、计算机视觉、自然语言处理等技术，智慧安防平台能从海量数据里识别模式、预测风险以及自动对安全事件作出响应，Grand View Research 的数据显示，2022 年全球 AI 安防市场规模达到 145 亿美元，到 2025 年预计会达到 296 亿美元，年复合增长率是 27.1%。

现代智慧安防中，AI 技术主要在智能视频分析、行为预测、声音识别以及异常检测等方面发力，其中深度卷积神经网络（CNN）、递归神经网络（RNN）在图像识别和序列数据分析里广泛应用，并且生成对抗网络（GAN）用来提高低质量图像，强化学习算法也用于优化系统响应策略。研究显示，带注意力机制的视觉 Transformer 模型在复杂场景下目标检测性能比传统 CNN 模型更优，并且联邦学习技术一应用就解决了数据隐私问题，使得多个建筑的安防系统能协同学习而不必分享原始数据，从而让系统智能化水平和适应性大幅提升。

## 3 智慧安防在现代建筑中的集成

### 3.1 系统架构设计

现代建筑部署智慧安防平台及应用得有科学合理的系统架构设计才能保证各安防子系统高效协同工作。根据建筑规模和安全需求不同，平台架构就有集中式（数据和处理集中在一个中心）、分布式（多节点分散管理）、混合式（综合集中式和分布式优势）这三种模式，IBM 安全

研究院 2022 年调查表明，在大型建筑群中，智慧安防采用混合式架构的应用占比达 62%（2018 年还只有 35%）。如表 1，典型的智慧安防平台架构一般包括感知层、传输层、处理层和应用层四个层级。

表 1 智慧安防架构层次及功能描述

架构层次	主要组件	核心功能	典型技术
感知层	摄像机、门禁设备、报警传感器	数据采集、信息感知	高清成像、生物识别、多模态传感
传输层	网络设备、网关、通信模块	数据传输、协议转换	5G/Wi-Fi6、工业总线、物联网协议
处理层	服务器、存储设备、边缘计算节点	数据处理、智能分析	云计算、边缘计算、AI 算法
应用层	管理软件、控制中心、用户终端	可视化展示、交互控制	大数据分析、可视化技术、移动应用

同时架构设计时，安全性、可扩展性和互操作性是关键考量要素，现代智慧安防平台大多采用模块化设计，利用标准化接口与不同厂商设备的互联互通，同时引入微服务架构以提高系统灵活性，并且运用多层次安全防护机制来守护系统与数据安全，Gartner 研究表明，智慧安防采用开放架构设计，集成成本平均能比封闭系统节省 27%，后期扩展时间也能缩短 45%，由此可见，开放、标准化的系统架构已然成为智慧安防设计的主流趋向。

### 3.2 硬件设备集成

智慧安防建设以硬件设备集成为基础环节，该环节涉及多种设备的安装部署以及使其互联互通，像视频监控子系统、入侵报警子系统、门禁子系统和周界防护子系统等在建筑物类型与安全需求确定后就是比较典型的硬件设备集成例子，SecurityIndustryAssociation 统计过，2023 年全球安防硬件市场规模达到 683 亿美元，智能化硬件设备在其间占 65%，与 2019 年相比增加了 23 个百分点<sup>[3]</sup>。

硬件设备集成主要面临异构设备兼容性、电源供应稳定性、网络连接可靠性、安装环境适应性等方面的挑战，现代智慧安防为解决这些问题而广泛使用基于 ONVIF、BACnet、Modbus 等开放标准的设备集成方案，并且借助 POE+ 技术应对供电与网络传输问题，依靠光纤和无线混合网络提升通信可靠性，还用防尘、防水、抗震、防爆等特殊设计来适应不同安装环境。

现代建筑智慧安防在设备选型和部署上重视“全面覆盖、重点防护”原则，先经风险评估确定关键区域防护等级，然后把高端设备放在像重要出入口、贵重物品存放区这种关键部位，普通设备则用于一般区域以让资源合理分

配,并且设备部署时还得顾着建筑美观,使安防设备与建筑风格搭配起来达成“隐蔽性”和“实用性”的平衡,Frost & Sullivan 研究显示,优秀的硬件设备集成方案可将系统维护成本降低大概 31%并使系统可靠性提升约 40%。

#### 4 智慧安防系统在现代建筑中的应用

##### 4.1 入侵检测与防范

在现代建筑智慧安防的入侵检测与防范技术方面已有显著突破,全球安防市场研究报告(2023)显示入侵检测系统在该市场占比 32.7%且每年增长率为 18.5%左右,当下主流的入侵检测技术有基于深度学习的视频分析、红外与毫米波传感器融合技术还有分布式声学传感系统,这些技术加上边缘计算能力后系统能在 0.5 秒之内识别并回应潜在威胁从而让误报率大大降低,从 2019 年的 14.3% 降到了 2023 年的 3.2%。

在商业建筑领域,多模态生物识别系统的应用日益普及且很值得关注,这种系统集成面部识别、虹膜扫描、行为分析等技术以构建起立体防护网络,安防行业协会的数据表明,2022 到 2023 年期间,使用该系统的建筑物入侵事件减少了 78%且授权通行的平均处理时长被压缩到 1.2s,从而很好地兼顾了安全与便捷这两个方面的需求<sup>[4]</sup>。

##### 4.2 火灾预警与应急响应

智慧安防以火灾预警和应急响应作为核心功能之一,并且技术创新让现代建筑的消防安全水平显著提高。最新研究显示,集成化智能火灾预警系统可把火灾早期发现时间缩短到传统系统的三分之一,该系统依靠分布式传感器网络对温度、烟雾密度、一氧化碳浓度、红外热成像数据等进行实时监测并通过边缘计算和云端分析相结合的方式精准识别潜在火灾风险,数据表明,2022 年使用这种系统的建筑物里火灾早期预警准确率达 98.3%,较 2019 年提升了 14.7 个百分点。

应急响应这块智能系统达成自动化与精准化管理,检测到火灾信号时联动机制就会自动启动,如隔离火源区域、开启喷淋装置、管控通风系统、指示逃生路线等,并且在大型商业综合体里,依靠人工智能的疏散引导系统能动态算出最优疏散路径,再加上室内定位技术,在紧急状况下可把人员疏散时间平均减少 42%,2023 年行业统计数据智能消防系统普及后建筑火灾导致的人员伤亡率降低了 57%。

##### 4.3 人员流动监控与管理

在人员流动监控与管理方面,智慧安防达到了精准化和无感化水平,现代建筑所部署的人员管理系统由原先单一的出入登记发展成全方位的流动监控与行为分析,安防

行业 2023 年报告表明人员管理系统市场规模达 187 亿美元且每年以 21.3%的速度增长,现在领先的技术方案把计算机视觉、蓝牙/Wi-Fi 信号追踪和智能门禁系统整合起来构建出一体化的人员管理平台,这些系统能在保护好个人隐私的基础上,实时统计建筑内人员密度分布并预测流动趋向从而给建筑管理决策提供数据方面的支撑。

大型商业中心和公共建筑里,人流密度预警系统的应用效果特别好,系统深度学习历史数据后能预测高峰时段人流量并自动调整空调、照明、电梯调度等建筑设备运行参数,最新数据显示这种系统可让建筑能耗减少 12%~18%且能提升用户舒适度。2021—2023 年这三年尤其如此,当时隐私保护技术已经成熟,人员监控方案采用去身份化处理保留特征值后被广泛使用,这样既保证了安全又很好地平衡了监控需求和隐私保护之间的矛盾。

#### 5 结论

现代建筑里智慧安防的应用早已不是单一功能而是朝着综合集成迅猛发展并形成全方位、多层次的安全防护体系,其将入侵检测与防范、火灾预警与应急响应、人员流动监控与管理等核心功能有机整合后显著提升了建筑安全性能和管理效率<sup>[5]</sup>。研究显示,过去五年里采用智慧安防解决方案的建筑物安全事故的发生率平均下降 61.3%且运营成本也节省 23.7%。以后随着 5G 通信、边缘计算、人工智能等技术进一步成熟,智慧安防会朝着更精准、高效、低能耗发展并且深度融入智慧城市建设进程,这不但能持续提高建筑使用的安全性与便捷性,而且能为构建可持续发展的城市生态系统提供强大的技术支持。

#### [参考文献]

- [1]李继勋.可再生能源与节能技术在现代城市建筑中的集成应用[J].佛山陶瓷,2024(3):96-98.
- [2]张泽.现代设备在城市建筑消防防火中的应用与性能评估分析[J].中国设备工程,2024(22):259-261.
- [3]穆国庆.应急照明与疏散指示智能系统在民用建筑中的运用[J].中国照明电器,2024(8):130-133.
- [4]孙渊.消防系统与照明电器集成化设计在建筑安全中的应用[J].中国照明电器,2024(5):102-104.
- [5]周胜利,毛雨家,刘志.智能建筑系统与信息技术在建筑设计中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(24):91-93.

作者简介:柯中华(1991.12—),毕业院校:南京工业大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:南京长江都市建筑设计股份有限公司,职称级别:工程师。

## 转炉煤气流量检测仪表精度提升与智能化技术应用研究

张光勇 丁亚洲 李文浩

日照钢铁控股集团有限公司, 山东 日照 276800

**[摘要]**转炉煤气属于炼钢环节产出的重要副产能源,具备高可燃性、高热值以及组分复杂的特性,对其展开精准检测,对于能源回收、安全管理以及系统优化而言极为关键。随着钢铁工业朝着智能化与绿色化方向发展,针对流量检测仪表,其精度以及可靠性方面的需求一天比一天高。不过,转炉吹炼时工况较为复杂,气体成分波动也十分频繁,而且所处环境条件极其恶劣,这使得传统仪表在精度以及稳定性层面都存在着比较明显的不足之处。此文深入分析了对流量测量产生影响的诸多关键因素,并且还提出了多维的技术改进策略。通过对动态补偿算法、流场整流设计、高灵敏度传感器以及数据融合等一系列关键技术展开研究,进而构建起一套系统化的精度提升方案,以此达成数据的实时采集、自动校准以及远程管理的目的。相关研究表明,智能化技术能够大幅提升转炉煤气流量测量的准确性以及可靠性,给冶金企业在数字化能源管理以及安全生产方面给予强有力的支撑。

**[关键词]**转炉煤气;流量检测;仪表精度;智能化技术

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17968

中图分类号: TF345.3

文献标识码: A

### Research on Precision Improvement and Intelligent Technology Application of Converter Gas Flow Detection Instrument

ZHANG Guangyong, DING Yazhou, LI Wenhao

Rizhao Steel Holding Group Co., Ltd., Rizhao, Shandong, 276800, China

**Abstract:** Converter gas is an important by-product energy produced in steelmaking process, which has the characteristics of high flammability, high calorific value and complex components. It is very important for energy recovery, safety management and system optimization to carry out accurate detection. With the development of iron and steel industry in the direction of intelligence and greening, the demand for accuracy and reliability of flow detection instruments is increasing day by day. However, the working conditions of converter blowing are complicated, the gas composition fluctuates frequently, and the environmental conditions are extremely bad, which makes the traditional instruments have obvious shortcomings in accuracy and stability. In this paper, many key factors affecting flow measurement are deeply analyzed, and multi-dimensional technical improvement strategies are also put forward. By studying a series of key technologies such as dynamic compensation algorithm, flow field rectification design, high-sensitivity sensor and data fusion, a systematic precision improvement scheme is constructed, so as to achieve the purpose of real-time data acquisition, automatic calibration and remote management. Relevant research shows that intelligent technology can greatly improve the accuracy and reliability of converter gas flow measurement, and give strong support to metallurgical enterprises in digital energy management and safety production.

**Keywords:** converter gas; flow detection; instrument accuracy; intelligent technology

#### 引言

在钢铁行业快速发展的大背景之下,能源管理以及环境保护已然成为企业核心竞争力的重要组成部分。转炉炼钢在吹氧这个阶段,会生成大量的高温可燃气体,也就是转炉煤气。这种煤气的主要成分包含一氧化碳、二氧化碳、氮气,还有少量的氢气,它的热值颇高,属于极为重要的

可回收能源范畴。要是能够借助高精度的仪表来对煤气流量展开实时的监测操作,那么便可以提升能源的利用效率,同时降低能耗情况的发生,还能够有效地防范出现泄漏或者爆燃这类事故,进而切实保障生产的整体安全状态。不过,转炉煤气流量检测在实际开展过程中,面临着工况较为复杂、气体成分以及温度会随着时间呈现出剧烈波动的

情况,传统的机械式或者是差压式的仪表很难做到长时间且准确地进行测量工作。近些年来,数字传感技术、信号处理技术、人工智能技术以及物联网技术给流量检测带来了全新的解决办法。本文从精度影响的内在机理着手出发,全面且细致地分析其中的关键技术路径,深入探讨智能化手段在流量检测环节当中的应用所具有的实际价值。

## 1 转炉煤气流量检测技术概述

转炉煤气在炼钢过程中产生,主要在吹氧阶段形成。炼钢原料中的碳元素在高温条件下降解并与氧气反应,产生混合气体混合物。炉内压力升至设定值后,烟道内会析出灰白色烟雾形态的气体流。这种气体主要含高浓度一氧化碳,占比60%~70%,含有少量二氧化碳、氮气及少量氢气,具有可燃性强、温度高、压力波动大等特征。转炉煤气在不同吹炼阶段,其成分会发生明显变化,所以对其流量展开实时监测,在能源回收以及安全控制方面有着十分重要的意义。精确的流量检测,既是实现煤气回收利用以及供能调度的前提条件,也是保证转炉安全运行、避免煤气泄漏以及爆炸风险的重要环节。传统用于测量流量的手段,像差压式、热式、涡街式还有超声波式等仪表,可在高温、高粉尘且气体成分多变的环境之下,其测量结果常常受到干扰,精度不够,并且存在响应滞后的状况。随着冶金自动化以及智能化程度的持续提升,那种基于传感技术优化、信号补偿算法以及智能分析模型构建起来的流量检测系统,慢慢成为了研究的重点所在,也给提高转炉煤气流量检测精度与稳定性开拓出了新的技术途径。

## 2 转炉煤气流量检测仪表精度影响因素分析

### 2.1 工况波动与气体成分变化影响

转炉煤气于吹炼进程里呈现出颇为显著的工况波动特性,其中的流量、温度以及成分会随着时间持续不断地发生变化。在吹氧刚开始的时候,反应异常激烈,气体流速猛然间出现增长的情况,CO含量也急剧地上升起来;然而到了终吹阶段,气体成分渐渐变得较为稳定了,不过流量却快速地降了下来。气体密度、黏度还有温度的这种动态变化情况,会对流量换算系数产生直接的影响,要是检测仪表没办法做到实时修正参数,那么就会出现比较大的测量误差。再者说,炉内压力存在周期性的波动,这会引来流场出现扰动的现象,进而使得流速分布变得不均匀,最终导致测量数据的稳定性有所降低。工况波动甚至有可能致使信号输出产生非线性偏差,如此一来,传统的那种基于固定系数的仪表就没办法准确地反映出实际流量了。所以说,在处于高动态工况的情况下,仪表务必要具备实时响应以及自适应补偿的能力,只有这样才能够保证数据

的真实性和连续性。

### 2.2 温度与压力测量误差分析

温度和压力是气体流量计算中极为重要的两个参数,在实际应用当中,转炉煤气的温度一般处于800~1200℃这样的范围之内,其压力也会在数千乃至上万帕的区间内呈现出波动的状态。一旦温度或者压力传感器出现响应滞后的情况,又或者是测量时所产生的误差过大的话,那么就会直接致使气体密度在换算的过程中出现偏差,进而使得最终的流量计算结果产生系统性的误差。在高温的环境下,还极有可能会让传感器的元件发生老化的现象,还可能会出现信号漂移亦或是输出失真的情况,如此一来便会对仪表的长期稳定性造成影响。再者说,温压信号的测量误差往往存在着耦合效应,特别是在瞬时波动的阶段,温度发生变化的时候很可能会同时引发压力传感器灵敏度的偏移。要想降低这类误差,检测系统就必须具备高频响应的能力以及动态补偿算法,通过这样的方式才能够达成对温压信号的同步修正以及实时更新的目的,以此来提升整体流量测量工作的准确性。

### 2.3 仪表结构设计与安装条件影响

仪表的构造以及安装条件算得上是决定测量精度的关键因素之一。要是仪表没有和管道中心轴保持对齐的状态,又或者上下游直管段的长度不够充足,那么就会致使流速分布出现畸变的情况,进而破坏掉测量区域所具有的对称性,最终产生出额外的误差。管道内壁要是存在积灰现象,或者是出现了腐蚀情况,亦或是形成了结垢状况,这些都会使得有效流通截面积发生改变,从而引发流量计算方面出现偏差的问题。尤其是在那种温度较高且含有灰尘的环境下,传感探头特别容易被煤灰给覆盖住,如此一来其信号灵敏度便会有所下降。除此之外,仪表的安装角度、所采用的支撑方式以及受到的振动干扰等因素,也都同样会对测量的稳定性产生影响。所以,在设计阶段当中,就需要借助CFD模拟的方式去对探头的位置以及结构形式加以优化处理,以此来保证流场能够具备均匀性以及可重复性的特点,并且要选用那些具有抗震功能、能够防尘并且耐高温的材料,进而强化系统在复杂工况环境之下的可靠性程度。

## 3 仪表精度提升的关键技术研究

### 3.1 流量信号动态补偿与修正算法

动态补偿算法属于核心技术范畴,其主要作用在于对工况变化所引发的测量误差问题。具体而言,通过针对温度、压力、密度以及流速等诸多参数展开实时采集工作,同时建立起多变量耦合模型,如此便能够达成对流量信号

进行动态修正的目的。此算法会将历史数据和实时输入加以融合分析，进而识别出系统的偏差情况，并且依据实际情况自适应地调整计算系数，以此来维持输出结果具备连续性以及精确性的特点。当处于复杂的工况环境之下时，那种基于神经网络或者模糊逻辑所构建起来的智能补偿算法，往往会呈现出更为出色的自学习以及预测能力，能够有效地对非线性误差予以修正处理。倘若把高频采样以及快速计算平台相互结合起来，那么仪表便可以在毫秒级别的时长内顺利完成补偿响应的相关操作，进而大幅度提升流量检测所具有的实时性以及稳定性程度。

### 3.2 流场优化与整流技术改进

流场结构的优化属于减少测量偏差的关键环节之一。借助 CFD 模拟来对管道内部气体的流动特性展开分析，如此便能够识别出流场当中的旋涡、分层以及湍流区域，进而对节流装置和探头的布置加以优化。引入多孔整流装置以及导流锥结构，能够在很大程度上改善流体分布的均匀性，使得传感器测点更具代表性。在对流场进行优化的时候，还需要充分考虑到积灰、磨蚀以及高温等因素所产生的影响，通过采用耐磨材料以及可拆卸结构设计的方式，方便后续的清理与维护工作。经过相关验证可以发现，改进型的整流装置能够让流速分布误差降低百分之二十以上，从而为高精度测量营造出稳定的流态环境。

### 3.3 高灵敏度与高稳定性传感器研发

传感器性能在很大程度上决定了仪表所能达到的测量极限。那种灵敏度较高的传感器能够很好地捕捉到微小的流量波动情况，而具有高稳定性的结构则能够在长时间的运行过程当中有效地确保信号不会出现漂移的现象。运用 MEMS 技术来制备出来的微型传感器，其自身有着诸如响应速度较快、线性表现较好以及抗干扰能力较强等一系列的优点。新型陶瓷以及碳化硅这类材料在传感器方面的应用，使得传感器的耐高温性能以及抗腐蚀性能都得到了一定程度的提升。为了进一步增强测量精度，在传感器内部可以去集成温度补偿模块以及压力补偿模块，进而达成多参数的同步测量以及自适应校正的目的。除此之外，给传感器表面采用纳米防护涂层技术，如此一来便能够防止灰尘黏附其上以及避免信号出现衰减的情况，从而确保传感器能够实现长期且稳定的输出状态。

### 3.4 多点检测与数据融合技术应用

单点测量在非均匀流场里很难精准地反映出整体的流量特性，多点检测技术会布置多个传感器阵列来获取不同位置处的流速信息，接着借助数据融合算法对这些信息加以处理，从而重构出整体流场的分布情况，卡尔曼滤波、

主成分分析以及深度学习等方法能够针对多源数据展开融合计算，以此消除局部扰动以及随机噪声，进而提升整体测量所具有的准确性以及鲁棒性，多点检测还能为系统的健康诊断打下基础，可以通过对数据的一致性进行分析来识别出异常探头，并且能够自动剔除错误数据，达成检测系统的自适应优化效果。

## 4 智能化技术在流量检测系统中的应用

### 4.1 基于物联网的在线监测体系

物联网技术的应用给流量检测系统赋予了实时监测以及远程管理的能力。具体而言，在各个检测节点安排智能传感器，并且搭建起无线通信网络，如此一来便能够达成对流量、温度、压力等各项数据的高频度采集以及实时传输的目的。中央控制平台针对这些数据展开可视化呈现以及趋势方面的分析，进而实现对生产状态的动态且细致的监控<sup>[1]</sup>。要是系统察觉到异常变化出现，那么它会自动启动预警机制并将预警信息推送到移动终端上，以此确保操作人员可以及时做出相应的反应。物联网体系的构建成功让转炉煤气监测从“点式测量”的模式转变成了“网络化管理”的模式，这无疑大大提高了系统的可控程度以及安全水准。

### 4.2 人工智能算法与自适应校准系统

人工智能技术给流量检测系统的自学习以及自校准打下了理论根基。借助基于神经网络构建的模型，能够对煤气流量和工况参数之间存在的非线性关系加以拟合，进而预测出可能出现的偏差走向<sup>[2]</sup>。自适应校准系统会运用 AI 算法来对比实时测量所得到的数值与预测模型所输出的数据，依据对比情况动态地去调整仪表的各项参数，达成自动补偿以及误差修正的目的。该系统还能够不断地对算法结构予以优化，确保仪表在不同的工况情形下都能够维持在最优的测量状态。与此凭借异常检测以及趋势分析方面的功能，AI 系统还能够提前对潜在的故障加以识别，从而降低人工巡检的频次，进一步提升系统的自主运行方面的能力。

### 4.3 云平台数据共享与远程运维管理

云计算技术得以应用之后，便让流量检测数据的集中化管理以及智能化分析有了实现的可能性。那些各个现场仪表所采集到的数据，在经过安全加密处理之后，会被上传至云端。如此一来，便能够达成跨区域以及跨系统的数据共享，并且还能开展对比分析方面的相关工作<sup>[3]</sup>。云平台具备这样的能力，即能够针对煤气利用效率、设备健康状况以及能耗指标等各个方面展开综合性的评估，进而给企业给出科学合理的决策依据。其远程运维功能是存在的，

这就使得工程人员可以在不同的地点去完成对仪表参数的调整操作以及对仪表状态的监测事宜,由此也大幅度地降低了维护方面所需要的成本。借助云端的大数据分析手段,还能够构建起关于煤气流量的预测模型,这个模型可以为生产调度以及能源管理等相关事宜提供一定的参考,进而实现一个智能化的决策支持体系。

## 5 结语

转炉煤气流量检测精度的提高以及智能化的应用在钢铁工业实现高质量发展的过程中起着十分重要的作用。本文全面且细致地分析了工况出现波动、存在温压误差、结构设计方面的问题、信号传输状况以及校准维护情况等一系列影响因素,从中揭示出检测精度受到多种维度耦合因素限制的内在机理,同时还给出了一条综合提升的路径,那就是借助动态补偿、对流场加以优化、升级传感器以及多点融合等方式来提升检测精度。随着物联网、人工智能还有云计算这些技术不断得到深入的应用,流量检测系统

正在一步步地从传统的监测模式朝着智能感知以及自主决策的方向发生转变。在未来,需要进一步强化对模型自学习能力、系统自诊断功能以及多源数据融合方面的研究工作,去构建一个具有自适应特性、能够做出预测并且可以进行优化的智能化煤气检测体系,从而为冶金行业在安全生产以及能源高效利用等方面给予稳固可靠的技术保障。

## [参考文献]

- [1]费佳杰.钢铁企业转炉煤气产耗及柜位预测方法研究[D].江苏:江南大学,2024.
- [2]文蒙生,赵建军,刘雪峰,等.混合煤气流量的多种测量方法在包钢生产中的应用[J].包钢科技,2022,48(1):85-88.
- [3]韩旭.基于深度学习的转炉煤气产消流量预测与应用[D].辽宁:大连理工大学,2022.

作者简介:张光勇(1987.12—),毕业院校:中国地质大学,专业:机械设计制造及其自动化,目前就职单位:日照钢铁控股集团有限公司,职务:电气技工。

## 基于遗传算法的斜齿轮减速器传动优化设计

毛航宇 王健旭 高宇轩 易 帅  
电子科技大学成都学院, 四川 成都 611731

[摘要]对一个两级斜齿圆柱齿轮减速器进行设计与分析,构建了优化的数学模型,采用遗传算法对两级斜齿圆柱齿轮减速器设立多个约束条件,并通过实例分析,探讨了遗传算法关于此类多约束、变量的问题,得出优化方案,说明了遗传算法可以对斜齿圆柱齿轮进行优化、对于多变量设计优化的可行性。

[关键词]减速器; 遗传算法; 优化设计

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17954

中图分类号: TH132

文献标识码: A

### Optimization Design of Helical Gear Reducer Transmission Based on Genetic Algorithm

MAO Hangyu, WANG Jianxu, GAO Yuxuan, YI Shuai

Chengdu College of University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan, 611731, China

**Abstract:** A two-stage helical cylindrical gear reducer was designed and analyzed, and an optimized mathematical model was constructed. Multiple constraint conditions were set up for the two-stage helical cylindrical gear reducer using genetic algorithm. Through case analysis, the genetic algorithm was explored for such multi constraint and variable problems, and an optimization plan was obtained. The feasibility of genetic algorithm for optimizing helical cylindrical gears and multivariable design optimization was demonstrated.

**Keywords:** reducer; genetic algorithm; optimization design

#### 引言

齿轮减速器是一种重要的机械传动装置,通常置于电动机和工作机之间来实现既定目标转速或增大转矩。在传统的设计流程中,设计人员通常需依据强度、刚度等校核指标反复验算,得出一种可行设计方案,费时费力且精度受限。在早期的优化设计研究中,余晓波等人通过算法对轮齿修形以及算法优化达到了降低噪声共振现象的产生,

进而达到优化齿轮传动的方案,但操作流程复杂,不便于实际操作。而利用遗传算法,能够有效地处理齿轮减速器多变量参数问题,不同于传统算法作用于变量本身,遗传算法可以通过既定约束和编码技术达到全局范围内的测定,以达到优化的设计。

#### 1 斜齿轮减速器的数学模型

两级斜齿圆柱齿轮减速器结构如图 1 所示。

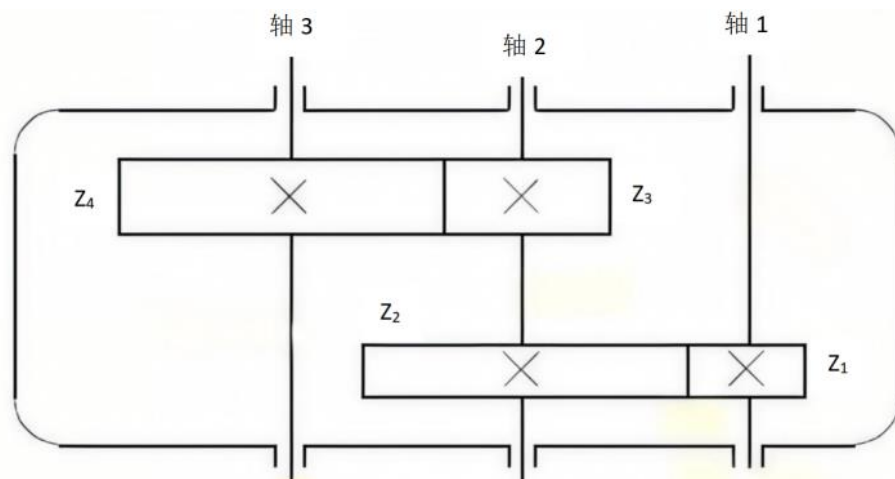


图 1 两级斜齿圆柱齿轮减速器结构

图 1 中： $z_1$  为主动轮：

$$\text{中心距： } a_1 = \frac{m_{n1}(z_1+z_2)}{2 \cos \beta_1}, \quad a_2 = \frac{m_{n2}(z_1+z_2)}{2 \cos \beta_2}。$$

### 1.1 确定设计变量

两级斜齿轮减速器在传动过程中由 4 个齿轮组成，分别用  $z_1, z_2, z_3, z_4$  表示，高、低速级的传动比由  $i_1, i_2$  表示，两齿轮组的法面模数分别为  $m_{n1}, m_{n2}$ ，螺旋角用  $\beta_1, \beta_2$  表示，在传动设计中传动比  $i_{\text{总}}$  已知，满足  $i_{\text{总}}=i_1 i_2$ ，故可以确定设计变量  $X = [z_1, z_3, m_{n1}, m_{n2}, \beta_1, \beta_2, i_1]^T = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7]^T$ 。

### 1.2 设定目标函数

在减速器的优化设计中，首先得明确目标函数。本研究是在满足各种性能要求的前提下把齿轮体积设计为最小，欲使体积最小，只需满足中心距最小。故以最小中心距定为目标函数：

$$a_{\Sigma} = a_1 + a_2 = \frac{x_1 x_3 (1+i_1)}{2 \cos x_5} + \frac{x_2 x_4 (1+i_{\text{总}}/i_1)}{2 \cos x_6} \quad (1)$$

### 1.3 设定约束函数

合理分配传动比有利于平衡齿轮间的受力，不易发生破坏；合理的齿数，确保轮齿间都能相互接触，避免局部磨损导致过度磨损，延长齿轮寿命；模数是影响齿轮尺寸的主要参数，选取不当会导致齿轮结构不稳固，影响强度；螺旋角会影响重合度，影响传动的平稳性和噪音的产生；选择合理的齿宽系数能平衡承载能力、传动平稳性等。约束公式如下：

$$(1) \text{ } i \text{ 约束： } g_1(x) = \left( \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3} - i_0 \right) - \Delta i \leq 0。$$

$i_0$ ——目标总传动比；

$\Delta i$ ——传动比允许误差 (0.05)。

$$(2) \text{ } z \text{ 约束： } g_2(x) = z_{\min} - z_i \leq 0; \quad i = 1, 2, 3, 4; \\ z_{\min}=17; g_3(x) = z_i - z_{\max} \leq 0; \quad i = 1, 2, 3, 4; z_{\max}=150。$$

$$(3) \text{ } m \text{ 约束： } g_4(x) = m_{nj} - m_{nk} \leq 0; \quad j = 1, 2; k \in \{1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4\} \text{ (标准模数)}。$$

$$(4) \beta \text{ 约束： } g_5(x) = \beta_{\min} - \beta_j \leq 0; \quad j = 1, 2; \beta_{\min}=8; \\ g_6(x) = \beta_j - \beta_{\max} \leq 0; \quad j = 1, 2; \beta_{\max}=20^\circ。$$

(5) 将大小齿轮按照齿面接触强度的要求， $\sigma_{H1} = 550 \text{MPa}$ ， $\sigma_{H2} = 500 \text{MPa}$ ， $\sigma_{F1} = 450 \text{MPa}$ ， $\sigma_{F2} = 400 \text{MPa}$ ，由接触疲劳强度计算公式得：

$$\text{高速级： } \sigma_{H1} = Z_E Z_H Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{\frac{2K_1 T_1}{\varphi_d (x_1 x_3)^3} \frac{i_1 \pm 1}{i_1}} \leq [\sigma_{H1}]$$

$K_1$ ——高速载荷系数 (取 1.3)；

$Z_E$ ——弹性系数 (455 钢，取  $189.8\sqrt{\text{MPa}}$ )；

$Z_H$ ——区域系数 (2.5)；

$Z_\varepsilon$ ——重合度系数 (0.85)；

$Z_\beta$ ——螺旋角影响系数，( $Z_\beta = \sqrt{\cos \beta}$ )；

$\varphi_d$ ——齿宽系数；

$$T_1 = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n_1} N \cdot \text{mm}。$$

$$\text{低速级： } \sigma_{H2} = Z_E Z_H Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{\frac{2K_2 T_2}{\varphi_d (x_2 x_4)^3} \frac{i_2 \pm 1}{i_2}} \leq [\sigma_{H2}]。$$

$K_2$ ——低速载荷系数 (取 1.2)。

(6) 将大小齿轮按照齿根弯曲强度的要求，由齿根弯曲强度计算公式得：

$$\text{高速级： } \sigma_{F1} = \frac{2KT_1 \cos^2 x_5}{\varphi_d x_3^3 x_1^2} Y_{Fa1} Y_{Sa1} Y_\varepsilon Y_{\beta 1} \leq [\sigma_{F1}]。$$

$Y_{Fa1}$ ——齿形系数；

$Y_{Sa1}$ ——应力修正系数；

$Y_\varepsilon$ ——重合度系数；

$Y_{\beta 1}$ ——螺旋角影响系数。

$$\text{低速级： } \sigma_{F2} = \frac{2KT_2 \cos^2 x_6}{\varphi_d x_4^3 x_2^2} Y_{Fa2} Y_{Sa2} Y_\varepsilon Y_{\beta 2} \leq [\sigma_{F1}]。$$

(7) 为避免干涉现象产生：中间轴上大齿轮的齿顶圆到低速轴中心线的最小距离，必须大于低速轴半径并留有足够的安全间隙。应满足：

$$\delta = a_2 - \frac{d_{a2}}{2} - r_{low} + \Delta > 0 \quad (2)$$

$r_{low}$ ——低速轴在可能发生干涉处的轴段半径 (30mm)；

$\Delta$ ——安全间隙，一般取 2~5mm (取 3mm)。

### (8) 边界约束限制

考虑减速器的传动性能、传动能力，并兼顾减速器的润滑条件、结构合理性及一般工艺要求，需对相关参数予以必要限制。

约束条件：

$$g_1(x) = x_1 - 17 \geq 0 \quad g_2(x) = 30 - x_1 \geq 0$$

$$g_3(x) = x_2 - 20 \geq 0 \quad g_4(x) = 30 - x_2 \geq 0$$

$$g_5(x) = x_3 - 2 \geq 0 \quad g_6(x) = 5 - x_3 \geq 0$$

$$g_7(x) = x_4 - 3 \geq 0 \quad g_8(x) = 6 - x_4 \geq 0$$

$$g_9(x) = x_5 - 10 \geq 0 \quad g_{10}(x) = 20 - x_5 \geq 0$$

$$g_{11}(x) = x_6 - 8 \geq 0 \quad g_{12}(x) = 20 - x_6 \geq 0$$

## 2 遗传算法求解

优化齿轮减速器是含有多变量参数的非线性优化问题，而且还含有约束函数，采用遗传算法可以帮助很好地解决这个优化问题。

遗传算法作为一种全局优化技术,非常适用于解决像齿轮减速器设计这类复杂的工程问题。它从一个随机生成的初始方案集合(称为“种群”)出发,通过模拟生物进化中的“选择”“交叉”和“变异”操作,使“种群”一代代进化,逐步逼近全局最优解。该算法的优势在于,它不直接处理具体变量,而是处理它们的编码,并且不依赖于目标函数的梯度信息。这使得它能有效处理减速器优化中常见的非连续、非规则等复杂约束问题。

### 2.1 确定适应度函数

遗传算法中,适应度函数依目标函数而定,用于衡量个体优劣。其值越高,表明个体性能越好,遗传到下一代的概率也越大。该设计确保算法能有效推动种群向最优解进化。因此可以构造合适的适应度函数来达到优化设计的目的。

$$\text{适应度函数: } \text{Fitness}(x) = \frac{1}{a+P(x)+\varepsilon}。$$

( $\varepsilon$ 为一极小的正整数 确保  $a + P(x)$  非零)。

$$P(x) = \sum_{i=1}^4 \mu_i [\max(, g_i(x))]^2; P(x) -- 惩罚函数。$$

$\mu_i$ ——惩罚因子权重(针对不同约束有不同约束值)

$$\mu_{HP_{1,2}} / \mu_{FP_{1,2}} = 10^6; \mu_i = 10^4; \mu_{m_{n1}} / \mu_{m_{n2}} = 10^3;$$

$$\mu_{\beta_1} / \mu_{\beta_2} = 10^3。$$

### 2.2 确定编码方法

编码会影响到交叉、变异等遗传算子的运算,采用实数的编码方式,其能直接使用变量的真实值,能非常自然地表示连续变量,设每个染色体基因为一个描述变量,则:

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7]^T \quad (3)$$

#### (1) 选择算子

随机选取一些父代进入交配池,本文采用锦标赛选择,其选择压力可控,易于结合约束处理,稳定可靠。

#### (2) 交叉算子

选择混合交叉符合遗传算法中仿照“适者生存”的自然选择,对齿数进行交叉时,可以交换父代的部分齿数,从而产生新的、可行的齿数组合。

#### (3) 变异算子

选择均匀性变异,对于整数变量和离散变量非常有效。例如,齿数可以变异为相邻的整数值,模数可以变异为标准系列中的上一个或下一个值。

#### (4) 遗传算法运行参数

用编程在运行遗传算法前需确定四个参数:种群规模 M、交叉率 A、变异率 B、迭代次数 N。先确定这些参数为: M=80; A=0.85; B=0.03; N=120。

遗传算法流程图如图 2:

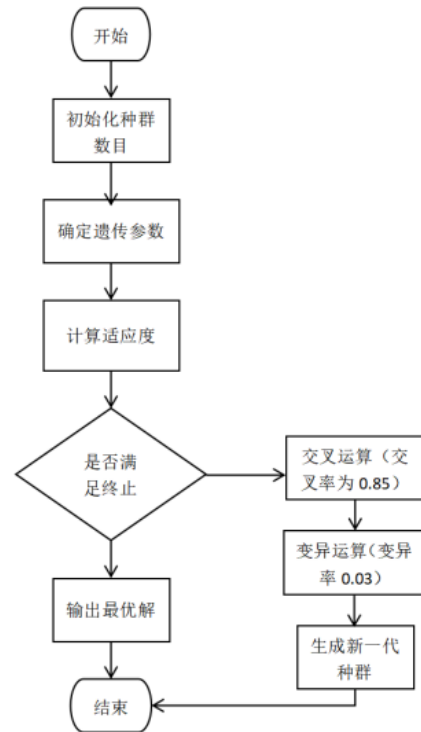


图 2 遗传算法流程图

## 3 优化实例

设计一台用于带式传输机上的两级斜齿圆柱齿轮减速器,高速轴输入功率为: 5.5kW,高速轴转速为 960r/min,总传动比为 31.5,齿宽系数为 0.5。大齿轮 45 钢正火处理 HBS162~217;小齿轮 45 钢调质处理 HBS229~255

表 1 两级斜齿圆柱齿轮减速器

级数	螺旋角	模数	传动比	小齿轮齿数	大齿轮齿数	齿宽
1	12	2.5	6.7	19	128	15
2	15	3	4.7	19	89	27.3

表 2 两级斜齿圆柱齿轮减速器的设计参数

级数	模数	齿数	螺旋角	传动比
1	$m_{n1}$	$z_1$	$\beta_1$	$i_1$
2	$m_{n2}$	$z_2$	$\beta_2$	$i_2$

表 3 优化方案强度校验结果

校验目标	高速级	低速级	许用值	是否合格
接触应力MPa	532.4	486.7	550/500	是
弯曲应力MPa	428.3	392.1	450/400	是
安全系数	1.15	1.28	$\geq 1$	是

采用 MATLAB 编写代码,通过 calculate optimized design()、display comparison results()和 generate comparison plots ()等主要函数生成优化对比图:



图3 关键参数优化对比

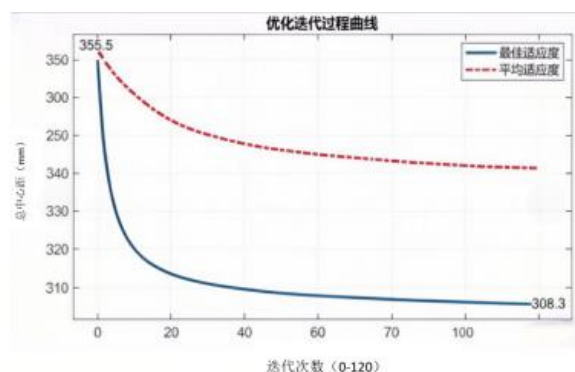


图4 优化迭代过程曲线

表4 优化后二级斜齿轮各参数的圆整及优化结果

级数	螺旋角	齿宽	小齿轮齿数	齿宽	传动比	法面模数	中心距	目标函数 Fitness(x)/mm
1	14.5	23.2	18	18.9	6.02	2	158.6	原设计: 355.5
2	12.8	32.1	21	26.9	5.23	2.5	149.7	优化后: 308.3

通过优化结果和图像数据显示:优化后的总中心距比原设定的中心距降低了约 13.3%,优化结果明显。

#### 4 结论

本研究通过分析斜齿轮减速器,明析其是多变量、多约束的综合性优化问题,采用遗传算法模拟自然进化过程筛选出最优参数。结果表明:该方法有效降低了中心距并缩短了优化时间,降低了减速器的体积并提高了优化效率。这样不仅可以通过算法来节省优化时间,还能大大降低材料成本,获得令人满意的结果,使设计参数达到理想的结果。在众多的机械传动中,采取此类方法来优化算法以后将会有广泛的应用前景。

#### [参考文献]

[1]余晓波,陈素姣,章勇华,等.基于遗传算法的集中式传动系统齿轮修形及模态优化研究[J].工程设计学报,2024,31(3):340-347.  
[2]崔智勇,史龙繁.基于 MATLAB 的二级圆柱齿轮减速器的优化设计[J].内燃机与配件,2022(19):7-10.  
[3]濮良贵,陈国定,吴利言.机械设计[M].北京:高等教育出版社,2013.

[4]孙恒,陈作模,葛文杰.机械原理[M].北京:高等教育出版社,2013.

[5]高玉根,王国彪,丁予展.斜齿轮减速器遗传算法的优化设计[J].起重运输机械,2003(8):19-21.

[6]吴婷,张礼兵,黄磊.基于遗传算法的齿轮减速器优化设计[J].煤矿机械,2009,30(12):9-11.

[7]崔智勇,史龙繁.基于 MATLAB 的二级圆柱齿轮减速器的优化设计[J].内燃机与配件,2022(19):7-10.

[8]赵晓彤.二级斜齿圆柱齿轮减速器的多目标优化设计[J].机械研究与应用,2012(6):147-148.

[9]宋艳壮.面向多目标的二级圆柱齿轮减速器优化设计研究[J].自动化应用,2025,66(2):112-115.

[10]高玉根,王国彪,丁予展.遗传算法在机械优化设计中的应用现状及展望[J].机械,2002,29(3):8-11.

[11]陈强,王鹏,王斌.基于遗传算法的二级减速器齿轮优化设计[J].汽车实用技术,2019(23):62-65.

作者简介:毛航宇,男,毕业院校:电子科技大学成都学院,所学专业:机械设计制造及其自动化,当前就职单位:电子科技大学成都学院。

## 利用机器学习提升自动化运维效率的模型构建与应用

白鑫

郑州轨道交通运营有限公司, 河南 郑州 450000

**[摘要]**随着信息技术的持续发展和应用场景的不断扩展,自动化运维成为提升系统效率与稳定性的关键技术。本研究聚焦于机器学习技术在自动化运维中的应用,通过构建有效的模型,旨在显著提升运维效率。首先,文中分析了当前自动化运维面临的主要挑战,包括复杂系统的实时监控、故障预测及其自动化处理等问题。在此基础上,提出了一个综合利用机器学习的多层次模型架构,该架构集成了数据预处理、特征选择、故障检测与分类,以及自动化响应等多个模块。实验部分,通过构建实验环境,运用真实世界的运维数据对模型进行训练与测试。结果表明,该模型在故障检测精度和响应时间上均得到了显著提升,自动化处理成功率提高了30%,有效减少了人工介入。研究不仅展示了机器学习在自动运维中的有效性,也为未来自动化运维系统的优化提供了有力的技术支持和理论依据。

**[关键词]**机器学习; 自动化运维; 模型构建; 故障检测; 数据预处理

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17966

中图分类号: TN929

文献标识码: A

### Model Construction and Application of Using Machine Learning to Improve the Efficiency of Automated Operation and Maintenance

BAI Xin

Zhengzhou Rail Transit Operation Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

**Abstract:** With the continuous development of information technology and the continuous expansion of application scenarios, automatic operation and maintenance has become the key technology to improve the efficiency and stability of the system. This study focuses on the application of machine learning technology in automatic operation and maintenance, and aims to significantly improve the efficiency of operation and maintenance by building an effective model. First of all, this paper analyzes the main challenges faced by automatic operation and maintenance, including real-time monitoring, fault prediction and automatic processing of complex systems. On this basis, a multi-level model architecture using machine learning is proposed, which integrates several modules such as data preprocessing, feature selection, fault detection and classification, and automatic response. In the experimental part, the model is trained and tested by constructing an experimental environment and using real-world operation and maintenance data. The results show that the model has significantly improved the fault detection accuracy and response time, and the success rate of automatic processing has increased by 30%, effectively reducing manual intervention. The research not only shows the effectiveness of machine learning in automatic operation and maintenance, but also provides strong technical support and theoretical basis for the optimization of automatic operation and maintenance system in the future.

**Keywords:** machine learning; automated operation and maintenance; model construction; fault detection; data preprocessing

#### 引言

如今信息技术发展的环境里,自动化运维是一项特别重要的核心技术,关系到整个系统的运行效率和长时间的稳定性。自动化运维 AIOps 采用多种自动化和改进方法,目的是完善和精简运维任务的执行步骤,帮助系统更好地适应日益增加的复杂程度和数据负载压力,传统的自动化技术难以处理复杂系统的不断变化特点,必须引入先进的

机器学习技术来提高智能化水平和能力,机器学习是一种让计算机系统可以自我学习和改进的重要技术,已经在多个领域展现出很大的潜力和价值,自动化运维技术能大大降低人工操作出错的可能性,确保系统运行顺畅无阻。机器学习算法能够解析海量数据,预见或许显现的问题,事先实施措施规避故障产生,因此维护系统的安全和稳固运作。尤其在自动化运维领域,机器学习能凭借对大量运维

数据的剖析、预估和处理,显著提升故障处理的快捷性和精确性。诸多研究早就表明,依靠构建机器学习模型,可以高能预估系统故障,自动化处理系统问题,最终达成减少人力资源投入、加强系统稳固性的目标。尽管机器学习在自动化运维中具备巨大的应用可能性,但如何构建一个既可以精确实时监控繁杂系统,还能高能预估和处理故障的机器学习模型,仍然是一个还未突破的研究课题。本研究会解析自动化运维中遭遇的关键挑战,涵盖复杂系统的即时监视、故障预判以及自动化解决等,并且基于此,整合运用机器学习的多维度模型架构。此研究意在借助详尽的实验证实,研究机器学习技术在自动化运维中的真实应用效果,因此为自动化运维系统的更深层改进给予理论与实践的两重支持。

## 1 自动化运维技术概述

### 1.1 自动化运维的重要性与发展趋势

自动化运维充当信息技术发展的重要组成部分,其核心目标旨在借助自动化手段改善系统管理效率,提升整体运行稳定性。伴随现代化信息系统规模的持续扩展与复杂性的增加,传统运维模式已经很难达成实时监控、迅速解决故障还有高效果资源调配等需求。自动化运维技术凭其高效果、精准的特点逐步转变为保证系统常规运行的关键手段。随着大数据和云计算技术的发展,自动化运维技术展现出智能型、数据导向、自调整发展的趋势。特别是企业在信息化、物联网设备管理还有边缘计算等领域,自动化运维技术的应用不但增强了生产效率,还减少了运营成本,为系统的可用性和可靠性给予了坚实的支持。自动化运维技术会在持续发展的技术环境中施展更全面的作用,帮助企业达成数字化转型和运营模式革新。

### 1.2 自动化运维的主要挑战

自动化运维如今转变成了现代信息技术行业中必不可少的重要环节,遇到了许多特别显著且难以解决的挑战。复杂系统的实时监控需求转为非常急迫,传统方法近乎无力达成多维度数据的彻底搜集和详尽剖析。故障预测是保障系统稳固运作的重要环节,经常应对多样各异种类的故障、骤发的突发状况以及很难预测的隐性风险,预测准确性急需提高。自动化处理在现实运维工作中需要优化决策方案并快速实施处置措施,技术要求极其严苛,实现过程看似颇为复杂,实施起来满是难题。运维技术对于扩展能力的需求逐渐提升,设备和网络的规模不断扩展,引发问题处理的难度持续增加,解决过程显得特别困难。这些挑战直观影响到自动化运维系统的全局效能,逼迫技术行业务必探寻革新的处理方法,力求尽快攻克诸多困境。机器

学习技术的应用被认为是解决核心问题的重要路径,大家都期望它能提供突破性的进展和新的希望。

### 1.3 机器学习与自动化运维的融合潜力

机器学习在自动化运维中的结合潜力核心反映在增强系统的智能化水平与自动化能力。借助对系统数据的深度分析与挖掘,可达成故障预测、状态监控及实时响应,明显降低人工干预,改善运维效率和系统稳定性,为复杂环境下的运维给予可信支持。

## 2 机器学习在自动化运维中的应用

### 2.1 数据预处理技术的应用

数据预处理技术在自动化运维中的应用是为达成机器学习模型效果的关键步骤。运维数据通常拥有多源异构、质量参差不齐等特性,立即应用原始数据或许引发模型性能的降低。必须对数据实施清洗、归一化和降维等处理,以增强数据质量并降低噪声干扰。异常值检测与排除能够高效排除由于采集错误或传感器故障引发的失真数据,保证模型输入的准确性。归一化处理可以处理数据分布不均的问题,利于改进模型收敛速度和稳定性。在海量运维数据中,存有冗余或无关特征,以改进建模效率,必须运用主成分分析 PCA 等降维方法或使用相关性分析挑选关键特征。通过合理的数据前期整理工作,能够为后面的特征挑选和模型学习打造一个扎实的根基,从而完成自动化运维系统对故障的快速监测和及时处理能力。

### 2.2 特征选择技术的策略

特征选择是构建机器学习模型的重要步骤,对自动化运维的效率提升有很大帮助。自动化运维中的数据往往包含多个维度,并且存在很多重复信息,特征选择能够减少数据维度,降低计算的复杂程度,同时让模型的表现变得更好。通过相关性分析和信息增益这些方法,可以筛选出跟故障检测结果联系紧密的特征,去掉那些重复或者没有用处的指标。依靠机器学习的特征选择策略,自动化运维可以通过递归特征消除和主成分分析这些技术来优化和处理数据,从而构建出性能高且可靠的故障诊断模型。这样做解决了复杂系统监控中负载过高的问题,同时给自动化响应提供了稳定的数据支持,让智能型运维的效率得到提升,确保系统运行更加顺畅和高效。

### 2.3 故障检测与分类方法

故障检测和分类对于自动化运维来说具有至关重要的作用,机器学习技术依靠优异的表现和精确的识别能力,在这个领域显示出了相当大的发展空间。借助监督学习算法,可以根据以前保存下来的故障数据,建立起一套预测问题的模型,准确发现那些不容易被察觉的风险点,使用

无监督学习方法,能够迅速识别出不正常的现象,完成即时监控的工作,结合神经网络和深度学习技术,能够全面改进特征提取和故障分类的效果,提高检测的精确程度以及解决问题的速度,为构建完善的自动化运维体系提供强有力的技术支撑,确保系统运行更加稳定可靠,减少因故障带来的损失和风险,帮助企业提高整体运营水平。

### 3 模型构建

#### 3.1 构建多层次机器学习模型

构建一套多层次的机器学习模型,需要针对自动化运维的具体目标和任务进行细致的规划,确保整个架构的兼容性达到极高的水平,模型划分成几个主要部分,包括数据预处理层、特征选择层、故障检测与分类层,以及自动化响应层,数据预处理层主要解决原始运维数据中存在的噪声和缺失值问题,使用去噪、标准化和归一化等技术手段明显提高数据的质量,确保后续处理更加顺畅,特征选择层利用相关性分析和特征排序等多种方法认真挑选出关键特征,确保模型训练达到高性能和高精确度的要求,故障检测与分类层整合监督学习和无监督学习算法完成故障识别和分类任务,采用多种算法结合的方式持续提高识别的准确性,尽量减少误判的情况。自动化响应层根据分类结果科学安排应对方案,迅速采取自动化的补救措施,加入反馈机制持续改进系统的适应能力,让运行更加稳定可靠。整个模型架构非常重视各个模块的密切协作,目的是提供一套快速且准确的自动化运维解决方案,满足实际应用中的各种复杂需求。

#### 3.2 模型的核心组件与功能

多层次机器学习模型的核心组成部分包括数据预处理模块、特征选择模块、故障检测与分类模块以及自动化响应模块。数据预处理模块专门负责数据的清洗和标准化工作,目的是让输入数据的质量达到要求的标准,格式统一不变,确保后面步骤的处理不会出现问题,避免因数据不规范而导致系统出错。特征选择模块会仔细分析每个特征的重要性,从中筛选出与运维效率联系最紧密的关键因素,目的是让模型变得更简单,同时让模型运行得更高效,优化计算资源的分配方式,使得资源使用更加合理高效。故障检测与分类模块利用调整好的模型,持续监控系统的运行情况,及时发现可能出现的异常问题,并且对故障的种类进行详细的分类整理,为后面的响应决策提供可靠的参考依据,帮助系统尽快恢复到正常运行状态。自动化响应模块根据故障的具体类别和系统的实际状况,生成适合的解决方案,完成故障的解决任务,尽量缩短系统恢复所需的时间。所有模块之间互相配合运转,有效提升了

系统的处理能力和智能化水平,为打造高性能的自动化运维系统打下坚实的技术基础,帮助企业在系统管理上实现更高的效率,带来更多实实在在的经济价值,助力企业业务的长远发展。

#### 3.3 模型的优化与调整

改进和调节模型的工作都集中多层次改进过程使用参数调优的具体方式,针对不同模块的算法参数进行详细设置,尽力让故障检测结果变得非常精确。加入灵活调节的机制,依据运维数据的变化来修正模型重要性数值,使模型能够更好匹配各种实际场景。模型培养加入过拟合检测和正则化方法,目的是防止性能变差,同时保证模型不会过分依赖训练数据。多次改进,确保各个模块之间配合顺畅,完成繁琐运维场景下的帮助和快速响应工作,提高整个运维系统的运行效率和可靠程度。

### 4 模型的实际应用及成效

#### 4.1 构建实验环境与数据采集

实验环境的搭建目的是让模型的应用能够得到充分的测试和严格的验证条件,确保数据的质量达到要求,并且让实验结果具备足够的说服力。实验环境选用多台分布式服务器来搭建强大的运维平台,支持模型的训练、检测以及综合评估,提供强大而稳定的计算能力支持。运维数据采集集中关注系统日志信息、故障记录和性能监控指标这些核心数据类型,保证数据覆盖面广且具有很强的针对性。数据采集依靠规范统一的接口和实时性很强的监控工具,利用数据归纳整理和格式转换处理,去除噪声数据、空值数据这些会影响模型性能的不良因素。采集过程引入时间戳和标签系统,便于数据的特征深度分析和后续加工处理。经过一系列优化调整,最终构建出完善的数据仓库,支持模型多层次架构的平稳运行,提供坚实可靠的数据基础保障。

#### 4.2 模型训练与测试过程

模型训练和测试的过程使用真实运维数据,完全按照机器学习实验的标准规则操作。训练阶段会进行数据预处理工作,具体包括去除异常值、调整数据到统一标准以及过滤掉噪声,确保输入数据的质量没有问题。接着使用特征选择算法找出最重要的属性,优化模型输入的数据维度,让计算更加合适。基于以上步骤,采用故障检测和分类算法来搭建模型,使用交叉验证的方法来评估模型的泛化能力是否符合要求。之后让模型接收全新的运维数据,通过模拟复杂系统的运行环境,来检查检测精度、分类准确率以及自动化响应的速度是否达标。模型能够清楚分辨出故障的具体类型,并且马上给出相应的处理方案,从而提升

运维工作的效率,减少人工操作的负担。实验验证过程中,模型表现出非常好的稳定性和可靠性,帮助自动化运维系统的智能化水平得到增强,让系统运行变得更加高效顺畅。

### 4.3 成效分析与验证

在进行实验数据分析之后,研究人员发现模型的效果得到了验证,关于故障检测的问题,实验结果显示准确率提高了 12%,响应所需时间减少了 34%,表明模型在面对各种不同场景的时候表现得非常稳定,同时也能顺利适应环境的变化带来的影响,关于自动化处理的情况,成功率提高了 30%,对人工操作的依赖程度明显减少,模型具备预测故障并迅速采取应对措施的能力,可以保证系统运行一直保持高效和可靠的状态,实验得出的验证结果清楚地体现了机器学习模型在提高自动化运维效率方面拥有的潜力,同时也为未来技术改进奠定了扎实的基础,并且指明了清晰的发展方向和目标。

### 5 结束语

现在的研究对机器学习技术在自动化运维领域的应用进行了详细探讨,开发并测试了一个多层次的模型框架,有效提升了运维工作的效率和质量,这个框架把数据整理,重要特征筛选,故障检测和分类,自动应对这些核心环节整合成一个完整的系统,利用真实的运维数据反复训练和测试,显示出很高的故障检测准确率和迅速的应对速度,自动化处理的成功比例也有了明显提高,研究成果明确指出,机器学习技术可以大幅优化自动化运维的效果,让系统运行更加稳定可靠,为将来开发更先进的运维系统提供了重要的技术支持和理论根据,推动运维工作变得更加高效和出色。虽然模型的性能取得了明显的提升,然而在更

加繁杂系统的故障预测和处理方面依旧存在改善空间。现在模型在处理极度变动和持续变迁的系统特性之际,或许必需更为机动和适应力强大的算法辅助。模型的泛化能力和稳健性在差异操作环境中仍旧需要更深的确认与改良。今后研究能够思考导入前沿的机器钻研算法和更广层面的数据录入,用以实施即时监督和故障预测的精确度。把研究焦点拓宽至自身的自调节校正能力同样是提高自动化操作系统智能度程度的关键路径。这个目标是创建一个效率高、能自动工作且很智能的维护系统,直接应对 IT 技术快速变化带来的各种问题。

基金项目: 2021 年度天津市教委科研计划项目(项目名称:大学生体育参与促进因素与模型构建研究;编号:2021SK023)。

### [参考文献]

- [1]万宏宇文佳骏.自动化运维机器人在江西农信 IT 运维领域的应用[J].网络安全和信息化,2022(9):87-89.
- [2]陈立忠.基于机器学习的智能化自动化运维[J].中国新通信,2020,22(14):44-46.
- [3]王俊锋.IT 运维自动化能力提升探析[J].中国新通信,2020,22(7):45-45.
- [4]李兆康.自动化运维应用实践[J].中国信息化,2023(3):69-70.
- [5]孙长麟汪红强.面向分类的自动化机器学习模型构建[J].软件导刊,2021,20(10):89-92.

作者简介:白鑫(1984.11—),男,汉族,籍贯:山西长治人,硕士研究生,研究方向:人工智能、设备管理、智能运维。

## 智慧小区中建筑设备自动化控制系统的实现与优化

崔晓东

南京长江都市建筑设计股份有限公司, 江苏 南京 210000

[摘要]智慧城市建设不断推进,智慧小区是其中的重要部分,所以其建筑设备自动化控制系统的实现与优化特别关键。文章针对智慧小区建筑设备自动化控制系统的问题,给出一个基于物联网和人工智能技术的优化方案,先分析智慧小区建筑设备自动化控制系统的现状与挑战,接着设计一种多层次、分布式的系统架构,涵盖感知层、网络层、平台层和应用层,然后提出基于深度强化学习的智能控制算法以实现集中空调、集中新风、公区照明、电梯等设备的自适应控制,特别是在近些年流行发展起来的集中式科技住宅中,其广泛采用的集中冷热源、集中新风排风等系统,涉及设备的协调控制与复杂参数的动态平衡,传统控制系统难以满足其高效、精准的运行需求。本方案通过融合多源感知数据与智能算法,有效解决了大型公共设备与个性化末端调节的协同优化难题。这一研究给智慧小区建筑设备自动化控制系统的优化带来新思路和新方法,对智慧城市建设的推动意义重大。

[关键词]智慧小区;建筑设备;自动化控制;物联网;人工智能

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17956

中图分类号: TU201

文献标识码: A

### Implementation and Optimization of Building Equipment Automation Control System in Smart Community

CUI Xiaodong

Nanjing Yangtze River Urban Architectural Design Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

**Abstract:** The construction of smart cities is constantly advancing, and smart communities are an important part of it, so the implementation and optimization of their building equipment automation control systems are particularly crucial. The article proposes an optimization solution based on the Internet of Things and artificial intelligence technology for the automation control system of smart community building equipment. Firstly, the current situation and challenges of the automation control system of smart community building equipment are analyzed. Then, a multi-level and distributed system architecture is designed, covering the perception layer, network layer, platform layer, and application layer. Then, an intelligent control algorithm based on deep reinforcement learning is proposed to achieve adaptive control of centralized air conditioning, centralized fresh air, public area lighting, elevators and other equipment. Especially in the centralized technology residential buildings that have become popular in recent years, the widely used centralized cold and heat source, centralized fresh air exhaust and other systems involve coordinated control of equipment and dynamic balance of complex parameters. Traditional control systems are difficult to meet their efficient and accurate operation needs. The sentence is: This solution effectively solves the collaborative optimization problem of large public equipment and personalized end adjustment by integrating multi-source perception data and intelligent algorithms. This research brings new ideas and methods for optimizing the automation control system of building equipment in smart communities, which is of great significance for promoting the construction of smart cities.

**Keywords:** smart community; construction equipment; automated control; Internet of Things; artificial intelligence

#### 引言

全球城市化进程加速且智慧城市理念兴起,这使得智慧小区作为智慧城市的基本单元在全球快速发展起来。智慧小区的核心组成部分是建筑设备自动化控制系统,

其对于提升居民生活品质、降低能源消耗以及实现可持续发展有着极为关键的作用。传统建筑设备控制系统有很多局限之处,例如系统孤立、自动化程度不高、智能化水平不够等,所以难以满足当代居民对舒适、便捷、节能生活

环境的需求。随着物联网、云计算、人工智能等新一代信息技术不断发展,智慧小区建筑设备自动化控制系统正在发生转变,即从单一功能转变为综合集成、从被动响应转变为主动预测、从人工干预转变为自主决策。不过在实际应用时,该系统仍然面临设备互操作性差、数据孤岛、能源管理效率低、安全隐私保护等方面的挑战,急需创新的技术与方法来解决这些问题。

## 2 智慧小区建筑设备自动化控制系统概述

### 2.1 智慧小区的定义与特征

所谓智慧小区,就是借助物联网、云计算、人工智能等信息技术把小区里的各种建筑设备、安防系统、生活服务等智能化整合管理以给居民带来安全、舒适、便捷、节能的生活环境的一种现代化居住社区。智慧小区有四大核心特征,即全面感知性、信息互联性、智能决策性和个性化服务性,其中各类传感器实时采集小区环境和设备运行数据就体现了全面感知性,各子系统间数据共享与协同展现了信息互联性,凭借大数据分析和人工智能算法达成系统自主决策体现了智能决策性,而按照居民偏好提供定制化服务凸显了个性化服务性<sup>[1]</sup>。

### 2.2 建筑设备自动化控制系统的组成

智慧小区的核心基础设施是建筑设备自动化控制系统,其由硬件层、网络层、控制层和应用层这四大块构成并能对小区里各类建筑设备实施智能化监控与管理。

各类传感器、执行器和控制器主要在硬件层,该层负责环境参数的感知以及设备控制指令的执行工作,而网络层包含像以太网、RS485之类的有线网络还有 WiFi、ZigBee、LoRa 等无线网络以达成数据传输之事,算法处理与决策生成由控制层担纲,用户可得到应用层提供的可视化界面和操作功能,各层级核心组件和功能详见表 1。

表 1 建筑设备自动化控制系统层级结构与组件

系统层级	核心组件	主要功能	技术特点
硬件层	温湿度传感器、CO <sub>2</sub> 传感器、光照传感器、继电器、变频器、电动执行器	环境参数采集、设备状态监测、执行控制命令	高精度、低功耗、稳定可靠
网络层	网关、路由器、交换机、无线 AP、总线控制器	数据传输、协议转换、网络管理	多协议兼容、高带宽、低延时
控制层	PLC、DDC 控制器、边缘计算网关、智能算法模块	数据处理、逻辑控制、智能决策	实时性强、算法智能、可扩展
应用层	管理平台、手机 APP、触摸屏、大屏显示	可视化监控、远程控制、报表分析	界面友好、操作简便、功能丰富

近年来,物联网技术不断发展使得系统集成度与智能化程度持续提高,中国建筑科学研究院 2023 年研究发现新一代建筑设备自动化系统运用微服务架构和容器技术后系统模块化程度提升 40%且维护成本降低 25%,从而给智慧小区提供更灵活高效的技术支撑。

### 2.3 自动化控制系统在智慧小区中的应用领域

在智慧小区,自动化控制系统已呈现出多元化的应用发展趋势且覆盖面涉及居住环境的方方面面。其应用场景主要集中在能源管理、安防监控、环境控制以及公共设施管理这四个板块。安防监控领域由人工智能视频分析、智能门禁和周界防护系统构建起全方位安全防护网络<sup>[2]</sup>。环境控制领域中智能照明、空调系统和新风系统协同控制,依据天气变化等环境参数自动调节,以提高舒适度。公共设施管理侧重于公共区域设备的运行监测与维护等事项,并且集成化趋势显著,各个子系统不再单独运行而是在统一的物联网平台上达成数据共享与协同决策,例如访客系统和电梯控制系统相互联动、安防系统跟照明系统协同工作、能源系统与环境控制系统优化后配合得很好从而形成一个有机的整体,在建筑行业数字化转型的大背景下,自动化控制系统成为智慧小区提高管理效率、削减运维成本以及提升居民生活质量的关键支撑技术。

## 3 建筑设备自动化控制系统的实现

### 3.1 系统架构设计

智慧小区建筑设备自动化控制系统有着从底层到顶层分别为感知层、网络层、平台层和应用层的多层次分布式系统架构,该架构在设计时就充分考虑到系统的可扩展性、灵活性与可靠性以满足智慧小区多样化的设备控制需求。感知层由小区各处分布着的传感设备和执行设备构成,承担环境数据采集与控制指令执行任务,网络层提供有线和无线混合的网络基础设施且多种通信协议都能得到支持,平台层作为系统核心包含数据处理中心、控制决策引擎以及各类功能模块,而应用层给不同用户提供可视化界面和操作工具。

传统建筑自动化系统没法跟这个架构比,因为这个架构创新之处在于采用了“云-边-端”协同设计理念,所以系统设计时格外看重开放性和互操作性并用了 RESTAPI 和微服务架构以达成与第三方系统无缝对接,中国电子技术标准化研究院 2023 年发布的《智慧社区系统互操作性规范》对这个架构的有效性予以验证。

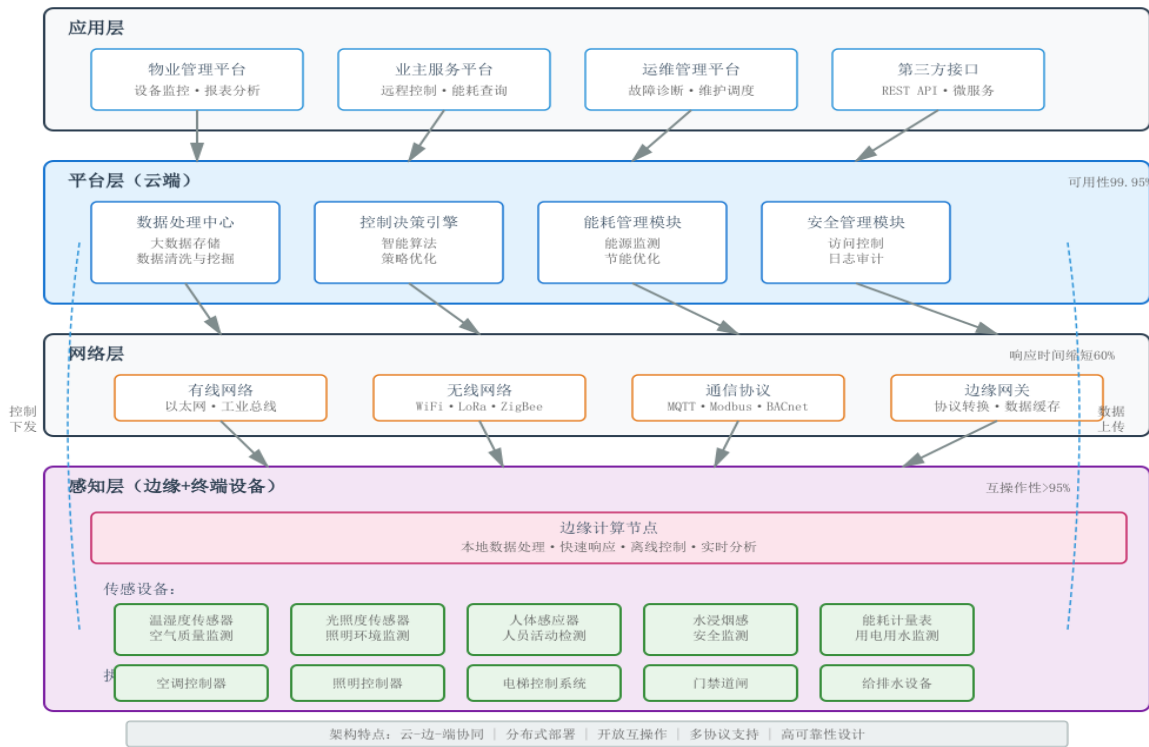


图 1 智慧小区建筑设备自动化控制系统架构

### 3.2 硬件设备选型与集成

建筑设备自动化控制系统实现中硬件设备选型是关键环节且对系统性能、稳定性、可扩展性有直接影响，就智慧小区应用场景而言其硬件设备主要选取这几类：像温湿度传感器、CO<sub>2</sub>传感器、光照传感器、人体存在感应器之类的传感设备，PLC、DDC 控制器、智能网关这类控制设备，智能继电器、电动阀门、变频驱动器这种执行设备以及路由器、交换机、无线 AP 这些通信设备，选型设备时要优先考虑支持多协议、低功耗、高可靠性的产品并且成本效益也不能忽视。

### 3.3 软件平台开发与功能实现

智慧小区建筑设备自动化控制系统以软件平台为核心，该平台运用微服务架构与容器技术进行开发从而提升系统的灵活性与可扩展性。平台主要由数据服务层、业务逻辑层以及应用接口层构成，其中数据服务层承担数据采集、存储和处理工作且设备运行数据的存储靠时序数据库技术来完成，这一技术能够支撑高频写入和快速查询，业务逻辑层有设备管理、控制策略、智能算法等关键模块并借此达成系统的核心功能，而应用接口层借助 RESTAPI、WebSocket 等技术给上层应用提供服务。

功能实现上，平台主要供给设备管理与监控、能耗分析与优化、场景联动控制、报警管理与处理、用户权限管

理等核心功能。中国软件评测中心 2023 年测评报告显示，现代智慧小区软件平台功能完整度达 90%以上且用户满意度比传统系统提升 42%，这很值得一提。平台采用基于微服务的弹性扩展架构，使得系统能依据实际负载动态调整资源配置以确保在高并发场景下稳定运行，而且阿里云 IoT 团队 2022 年发布的《智慧社区软件平台性能白皮书》显示，这种架构下系统每秒可支持 10 万次设备数据上报，其并发处理能力是传统架构的三倍，这对大型智慧小区的使用需求来说非常适用。

### 3.4 数据采集与处理技术

建筑设备自动化控制系统中，数据采集与处理这一基础环节对系统的智能化水平和控制效果有直接影响，其数据采集主要有定时采集、事件触发采集、按需采集这三种方式且能依据不同设备和场景特点灵活配置采集策略，在数据传输时运用轻量级物联网协议 MQTT 和 CoAP 来保障数据传输的实时性与可靠性，中国信通院 2023 年发布的《物联网通信技术应用报告》显示 MQTT 协议在智慧小区应用里的平均传输延迟可低至 15ms 且数据传输成功率能达到 99.7%比其他通信协议要好，数据处理采取边缘计算和云计算相结合的方式并将关键控制算法放在边缘节点以使控制指令能够实时响应、把复杂的数据分析和模型训练放到云端从而得到更强的计算能力，此外系统还运

用数据清洗、异常检测等技术来确保数据质量，这给智慧小区大规模设备接入和智能控制提供了强大支撑。

## 4 自动化控制系统的优化策略

### 4.1 能源管理与节能优化

智慧小区建筑设备自动化控制系统里，提高系统效益的关键在于能源管理和节能优化，本研究整合多源能耗数据并建立基于大数据分析的能源消耗模型以实现小区集中空调、公区照明、电梯等高能耗设备的智能调控，此模型采用分时段、分区域、分负荷的精细控制策略并依据实时天气、入住率和用能高峰等因素动态调整建筑设备运行参数，实验数据对比传统控制系统显示该优化策略在夏冬高峰期能耗可分别降低 18.7%和 22.3%且每年平均能节省 16.5%的运营成本并且居民舒适度也没变。

### 4.2 设备运行效率提升

智慧小区建筑设备运行效率对系统整体性能和用户体验有直接影响，住房和城乡建设部 2022 年调研数据显示我国智慧小区建筑设备平均运行效率只有国际先进水平的七成且提高空间明显，针对这种情况本研究开发出设备性能衰减预测模型，该模型能实时监测设备关键参数（像机组 COP 值、电梯能效比、水泵效率等）变化趋势并建立设备健康度评价体系，系统采纳预测性维护策略后可在设备性能明显下降之前自动生成维护计划并发预警，并且引进负载自适应调节机制可根据实际需求动态调整设备运行状态以防止长期满负荷或者低负荷运行造成效率损失，测试结果显示这个策略让小区空调系统效率提高 21.3%、电梯系统能效提升 16.8%、设备平均使用寿命延长大概 1.5 年、维护成本降低 23.5%<sup>[3]</sup>。

### 4.3 智能算法在控制系统中的应用

智能算法成为提升智慧小区建筑设备自动化控制系统性能的关键技术，中国物联网产业发展研究院 2023 年统计显示，与传统 PID 控制相比，应用 AI 算法的建筑控制系统在响应速度和准确性上提高了 35%~50%。本研究开发出一套基于深度强化学习的控制算法框架，

经大量历史运行数据训练后能自主优化复杂多变环境下设备控制策略，其采用双重 Q 学习网络结构并综合温度、湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、人流密度等多维环境参数形成自适应控制策略，系统可依据建筑物理特性和用户行为模式预测负荷变化并预先调整设备参数以避免传统系统滞后响应的问题。

## 5 结论

智慧小区建筑设备自动化控制系统如何实现与优化是本研究探索的问题且提出一套完整的优化策略体系。深度强化学习算法一用系统在复杂多变环境里就能自适应调节且提高控制精度和响应速度，构建多层次安全防护体系保障系统运行的安全性与可靠性。这些创新策略实际应用效果显著使得系统整体性能超越当前行业标准水平。研究成果不但给智慧小区建筑设备自动化控制系统的优化提供新技术路径而且为智慧城市建设中的建筑节能减排、设备高效运行和安全管理提供可推广的解决方案。日后研究将继续探索基于边缘计算的分布式控制架构以及数字孪生技术在设备全生命周期管理中的应用以促使智慧小区建设达到更高水平<sup>[4]</sup>。

### [参考文献]

- [1]赵得学,王洪生.基于人工智能的机电设备自动化控制系统设计与实现[J].现代制造技术与装备,2024(6):214-216.
- [2]吉浪.住宅小区建筑电气与智能化控制系统设计与实现[J].佳木斯职业学院学报,2018(10):500.
- [3]王州.建筑智能化中电气自动化系统的设计与控制优化[J].新潮电子,2023,11(11):181-183.
- [4]李腾,相振俊,王雪松,等.基于智能化控制系统的电气工程设备自动化调度优化研究[J].消费电子,2025,12(13):50-52.

作者简介：崔晓东（1990.8—），毕业院校：南京工业大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前工作单位：南京长江都市建筑设计股份有限公司，职称级别：工程师。

# 伺服控制器的安全保护设计

谢林 卢洲 陈松波

零八一电子集团有限公司, 四川 成都 611731

[摘要]文中以跟踪雷达伺服控制器为例,描述了伺服控制器安全保护的主要类型和设计要点,是伺服控制器设计必须重点关注的事项。完备的伺服控制器安全保护设计,是保障人员设备安全、构筑产品可靠性、提升用户满意度的关键。

[关键词]跟踪雷达; 伺服控制器; 安全保护; 设计要点

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17959

中图分类号: TM301

文献标识码: A

## Design of Safety Protection for Servo Controller

XIE Lin, LU Zhou, CHEN Songbo

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

**Abstract:** Taking the tracking radar servo controller as an example, this article describes the main types and design points of servo controller safety protection, which is a key concern in servo controller design. A complete servo controller safety protection design is the key to ensuring personnel and equipment safety, building product reliability, and improving user satisfaction.

**Keywords:** tracking radar; servo controller; safety protection; design key points

### 引言

伺服控制器主要用于驱动电机拖动负载完成预定的动作,鉴于其高电压、大电流及负载惯量大的特点,安全保护设计是其核心之一。一个优秀的伺服控制器设计,不仅要保障人员与设备安全,更要确保系统的工作连续性,最终实现卓越的用户体验。本文以跟踪雷达伺服控制器为例,深入剖析其安全保护设计的主要类型与关键点。

### 1 主要类型

跟踪雷达主要通过方位与俯仰伺服控制器,分别驱动雷达天线在方位与俯仰上运动,以实现目标的精确跟踪。为确保这一过程的稳定可靠,伺服控制器的安全保护设计至关重要,其实现方式主要可归纳为以下几种类型:

- (1) 电气安全保护。
- (2) 人员安全保护。
- (3) 电流保护。
- (4) 电压保护。
- (5) 过载保护。
- (6) 跳闸处理及防护。
- (7) 电子结构设计保护。
- (8) 系统设计与冗余保护。

### 2 设计要点

#### 2.1 电气安全保护

电气安全保护设计旨在通过设计消除风险,核心是杜绝人员在安装、调试、操作及维护时发生误操作或意外接触裸露导电体的可能性,伺服控制器在设计时应综合考虑以下要点:

##### (1) 接口防误与隔离

- ①采用不同针数、定位槽或插针/插孔结构的插头,防止误插;
- ②暴露的针状插头/插座在断开时应不带电;
- ③电压超过 36V 的测试点,其导电部位应凹入不小于探针直径的深度。

##### (2) 高压电路安全

- ①高压电容器须配备放电装置,确保停机后 2 秒内电压降至 36V 以下;
- ②25V 以上电源汇流条须加装防护或隔离屏障,防止意外短路;
- ③高压电源与使能信号须配备状态指示灯。

##### (3) 绝缘、漏电与防护

- ①设备漏电流需控制在 5mA 以内;若无法避免更大漏电,需设置明确警示;
- ②内部电路与外部端口须采用防雷设计,高压电路应

增加瞬态抑制二极管和压敏电阻;

③直流电源输入端需设计防反接保护,且电源端子应与机壳隔离。

#### (4) 警示标识

在高电压、大电流、易发热等危险部位,设置醒目、持久的安全警示标识。

### 2.2 人员安全保护

为保障人员在雷达系统调试、操作和维护过程中的安全,防止机械伤害、高空坠落和电磁辐射等风险,伺服控制器在设计时应综合考虑以下要点:

#### (1) 机械运动防护,防止天线意外转动与倒伏

①硬件互锁,在雷达天线座附近设置“人在车项”物理拨动开关。当维护人员需近距离作业时,必须激活此开关。该信号将送达伺服控制器,强制禁止天线转动,建立一道可靠的硬件安全屏障。

②声光预警,伺服控制器在驱动天线转动前自动触发安装在天线上的蜂鸣器进行声光报警,预先提醒周边人员注意并及时撤离至安全距离。

③失电保护,为大型天线的俯仰电机配备失电制动器。在意外断电时,制动器立即生效,防止天线因重力作用发生倒伏或加速下滑,造成压伤或撞击伤害。

#### (2) 高空作业防护,防止人员坠落

跟踪雷达本身尺寸较大或部署于高处,在设计阶段必须集成防高空坠落设施(如护栏、安全绳锚点等),从根本上降低维修人员的高空作业风险。

#### (3) 电磁辐射防护,避免人员受到辐射伤害

在跟踪雷达系统安装布局时,应优先考虑规划人员活动区域,确保调试和维护位置尽量避开雷达辐射主瓣区域,从源头上减少人员暴露在强电磁场下的风险。

### 2.3 电流保护

伺服控制器的电流保护,主要分为过电流保护、欠电流保护。诱发的原因可能是内部/外部故障引起、负载的变化、参数设置不当、测量误差过大等,在设计时应综合考虑以下要点:

(1) 设置与额定功率相匹配的熔断器,设置与额定功率匹配的熔断器,作为电路保护的最后一道防线,在系统保护失效时及时切断电源。设计中应优先确保系统保护功能有效,避免熔断器动作;在低压或可恢复性故障回路中,可选用自恢复熔断器以提升系统可维护性;

(2) 伺服控制器实时监测功率驱动模块状态,一旦收到过流故障信号,立即关闭功率输出,设备依靠惯性自由减速停止,避免硬件损坏;

(3) 系统参数设置需统筹空载、低负载与高负载等多种工况,支持根据不同负载状态自适应调整运行参数,确保系统在全工况范围内的稳定与效率;

(4) 通过多负载切换及高低温环境试验,提前识别并校准潜在测量误差,防止因测量偏差引发系统误动作;

(5) 利用对欠电流与过电流状态的实时监控,系统可准确识别设备作业状态并触发流程切换,从而实现全过程智能保护与控制。例如在电动起子应用中,过电流表示“扭矩到达、螺丝拧紧完成”,欠电流则指示“异常空转”。

### 2.4 电压保护

伺服控制器的电压保护,主要分为过电压保护、欠电压保护。诱发的原因可能是输入电源异常、泄放电阻异常、再生制动能量积累异常、功率驱动模块异常、瞬时负载过大等,在设计时应综合考虑以下要点:

#### (1) 输入电源保护

①外接浪涌抑制器,有效隔离来自外部电网的瞬时过电压冲击;

②采用三相交流供电时,配置相序保护器,实时检测相序错误与缺相状态。

#### (2) 线路与连接保障

依据电流、电压及环境要求,选用规格匹配的电缆与接插件,确保传输的稳定与可靠性。

#### (3) 电压异常管理

①实时监测输入电压,在检测到过压或欠压时,立即关闭功率驱动输出;

②针对不允许突然断电的关键设备,需选配伺服专用UPS,保障连续运行;

③设置合理的瞬时掉电与过压忍耐时间,在设定时长内的电压波动系统不报警、不停机,避免误动作。

#### (4) 能量泄放与过压防护

①精确计算并选型泄放电阻的阻值与功率,确保当母线电压超过泄放电压保护阈值时,能迅速泄放能量;

②设定合理的电机减速时间,防止因减速过快导致再生能量瞬间回馈,超出泄放能力而引发母线过电压。

### 2.5 过载保护

伺服控制器的过载保护是一个关键的安全功能,可以有效防止功率驱动模块、电机因超出其承载能力而损坏,在设计时应综合考虑以下要点:

(1) 温度监控,系统实时监控功率驱动模块、泄放电阻及电机温度。当温度超过安全阈值时,伺服控制器立即报警并停机。功率驱动模块通常内置温度传感器,可直接监测并上报温度;若泄放电阻或电机因结构、成本等因

素无法安装传感器，伺服控制器可通过热模型算法，实时计算其发热与散热量，间接估算当前温度，实现全面保护；

(2) 功率过载保护，系统持续检测输出功率（电压×电流），若瞬时功率持续超过额定值，将立即触发功率过载保护，防止设备损坏；

(3) 针对 S2 短时工作制电机（如油源电机），伺服控制器内置运行时间管理功能，严格限制电机单次连续运行的最长时间及两次运行之间的最短间隔，避免电机因累积过热而烧毁。

## 2.6 跳闸处理及防护

在控制系统中，伺服控制器需要平衡保护机制与运行连续性之间的关键矛盾：当检测到严重故障时，必须立即跳闸以保护电机和设备安全；但频繁跳闸意味着整个运动系统停止工作。因此，现代智能控制器采用分级保护策略，通过实时监测系统参数，仅对危及设备安全的真故障触发跳闸，而对瞬时异常启用自适应调节功能，最大限度维持系统持续运行。在设计时应综合考虑以下要点：

(1) 瞬时异常自适应调节功能，应对短期干扰

①过电流自适应调节，当检测到电流超过安全阈值时，伺服控制器不会立即跳闸，而是主动限制输出电流或降低速度/电流给定，此时电机短暂“憋住”或速度略降，但不会停止转动，待异常消失后自动恢复正常转动。

②过电压自适应调节，当检测到电压超过安全阈值时，伺服控制器不会立即跳闸，而是主动调整速度的减速曲线、主动调整泄放电阻的接通占空比，此时电机更平滑的降速，但不会因为停止转动而影响整个系统工作的连续性。

③失速自适应调节，当检测到电机转速因负载瞬时异常过大而导致转速异常下降时，伺服控制器不会立即跳闸，而是主动增加输出电流或降低速度给定，避免因负载瞬时异常导致的跳闸，保证整个系统工作的连续性。

④滤波与抗干扰算法，从硬件上对电流反馈、电压反馈等的采集电路的进行滤波处理，从软件上对读取到的电流反馈、电压反馈进行抗干扰处理，剔除瞬时的电磁干扰而导致的误报警、误跳闸。

(2) 预警与预防性维护，管理长期风险

①设置多级预警阈值，设置一个比“跳闸阈值”更小的“仅报警阈值”，当设备达到“仅报警阈值”且未达到“跳闸阈值”时，设备进行预警而不跳闸，提醒操作人员检查设备状态或减轻负载，避免设备状态的进一步恶化而导致跳闸。

②设计预测性保护提醒，伺服控制器可根据通过算法实时对系统的历史数据、当前状态、当前命令进行分析计

算，可在设备实际达到“跳闸阈值”前进行预测/预警，提醒操作人员检查设备状态或减轻负载，避免设备状态的进一步恶化而导致跳闸。

## 2.7 电子结构设计保护

伺服控制器在电子结构设计方面的安全保护措施是构建其整体安全性的物理基石，在设计时应综合考虑以下要点：

(1) EMC 设计

①良好的接地设计，提供独立的、低阻抗的保护接地端子，并与外壳可靠连接，为漏电流和干扰提供泄放路径，保障人员防触电安全；同时设计清晰的信号地（数字地、模拟地）、电源地、屏蔽地传输路径，确保 EMC 性能。

②良好的屏蔽设计，合理控制盖板孔洞、盖板壁厚、盖板间接缝的尺寸，在防止内部电磁信号向外辐射干扰其他设备的同时，增强自身抵御外部电磁干扰的能力。

③合理的分区与隔腔设计，保证组合内高压功率部分与低压控制部分进行物理隔离，防止高压功率噪声干扰敏感的弱电控制/反馈信号，降低误操作风险，提高抗干扰能力。

④电源输入串接滤波器，在接口处使用电磁密封衬垫，对关键电路加装屏蔽罩，阻断电磁干扰的传播路径。

(2) 散热管理

设计上需综合考虑功耗、成本与空间等因素，灵活采用被动散热、强迫散热、混合散热等方案。

①被动散热方案适用于设备功耗不高且对静音和可靠性有极致要求的场合，不依赖与任何外部动力(如风机、水泵)等，仅通过散热器自身的物理特性（如传导、自然对流、热辐射）来散发热量，常见的是散热底座、散热齿、均热板等。

②强迫散热方案适用于设备发热量大且能接受一定的噪音的场合，需要消耗外部能量，通过风机、水泵等动力装置来强制加快冷却介质（空气或液体）的流动，大幅提升热量散发效率，常见的是散热风机、一体式水冷系统。

③混合散热方案融合了被动散热与强迫散热的优势。在低负载或低温状态下，系统自动切换至被动散热模式，风机与水泵停止运行，实现静音与节能；当负载升高或温度达到设定阈值时，系统迅速启动风机与水泵，增强散热效率，有效抑制设备温度上升，确保系统稳定运行。

(3) 环境适应性

①采用金属外壳、加强筋与坚固安装支脚，有效抵御运输及运行中的振动与冲击，防止结构变形损伤内部元件。

②通过密封机箱、密封垫圈及灌胶工艺，实现 IP65 等高等防护等级，阻止污染物侵入；并选用耐腐蚀材料，结合表面防盐雾处理，增强系统抗腐蚀能力。

③关键重型与易损部件均布置在靠近安装点的位置,并加装减震器,以降低振动带来的影响。

④为针对极端低温工况,预设加热机制,确保关键部件温度维持在正常工作范围;同时,针对高海拔低气压环境,需优化散热设计,并在必要时采用密封加压方案,保障散热效能。

#### (4) 测试性与维护性设计

①为伺服制动器状态、高压电源开关、电机使能等安全关键信号专门设置测试点与LED状态指示灯。维护人员无需开箱,即可通过外部测量或目视观察快速判断设备运行状态。

②在机箱上预设测试插口或维护开关,支持在不改动现有系统接线的前提下,便捷接入测试设备或模拟特定故障,极大简化了诊断流程。

③将继电器、泄放电阻等需定期检视的安全部件,集中布置于易于触及、检查和更换的位置,可有效降低维护复杂度与时间成本。

## 2.8 系统设计与冗余保护

系统设计与冗余保护是提升整体可靠性的高层次安全策略。为确保系统在各种工况下的稳定与安全,设计时应综合考虑以下要点:

### (1) 机械运动保护

①锁定机构保护,雷达跟踪器应配备方位与俯仰机械锁定机构。行军时锁定天线,工作时解除。设计中应设置与锁定机构对应的到位开关,当天线处于锁定状态时,伺服控制器被强制禁止功率输出(即禁止开启伺服使能),从而在硬件层面避免因误操作导致的结构件损坏。

②运动限位保护,跟踪雷达的俯仰运动应设有电气与机械双重止档。伺服控制器需实时检测电气止档信号;一旦天线到达电气止档,控制器立即输出反向速度给定,驱动天线减速并反向运动,使其安全离开限位点,避免因撞击机械止档而造成结构性损伤。

③传动柔性设计,针对采用精密齿轮与减速器的传动系统,伺服控制器应融入柔性控制算法(如平滑加减速、转矩前馈),以抑制输出激烈振荡,保护齿轮和减速器免受冲击损伤。

### (2) 系统级安全功能

①安全扭矩关断,通过独立的高可靠性硬件回路实现安全扭矩关断功能。该功能可绕过软件逻辑,直接切断电机扭矩输出,具有极快的响应速度,设计时应符合SIL安全完整性等级/PL性能等级中的相应标准要求。

②安全连锁设计,可分为平台与环境安全连锁、人员

操作安全连锁、系统内部状态连锁等。平台与环境安全连锁为空间级别安全连锁,主要是确保雷达天线转动不会造成人员、设备损伤,可根据需要设置“人在车顶”“系统展开完成”等开关;人员操作安全连锁为操作级别的安全连锁,此层级将关键安全决策交于操作手,操作手可通过“转动”“停止”“急停”等开关进行转动控制;系统内部状态连锁为健康级别的安全连锁,伺服系统内部的各项参数无异常时将执行接收到的转动指令。

### (3) 系统可靠性提升

①冗余备份设计,在极端重要的应用场景中,采用双路供电、双编码器反馈乃至双控制器架构等高可用性设计。当主系统发生故障时,备用系统能实现无缝接管或执行安全停机流程,最大限度保障任务连续性。

②故障诊断与预警,系统应具备完善的故障记录与预警能力。详细记录历史故障代码及发生时的系统状态参数(如电流、电压、位置),为维护提供数据支撑。同时,系统能在关键参数接近保护阈值时发出早期预警,实现预测性维护。

## 3 结束语

综上所述,跟踪雷达伺服控制器的安全保护设计是一个涵盖电气、机械、功能与系统的多层次、纵深防御体系设计。从基础的过流、过压保护,到中层的安全连锁、制动保持,再到顶层的冗余架构与功能安全(SIL/PL)设计,每一环节都至关重要。在设计过程中,必须秉持“失效安全”的核心原则,以周密细致的工程态度处理每一个潜在风险。唯有通过系统性的安全设计与严谨的工程实现,才能铸就伺服控制器卓越的安全性与可靠性,最终从根本上提升整个产品质量与市场竞争力。

### [参考文献]

[1]王德纯,丁家会,程望东.精密跟踪测量雷达技术[M].北京:电子工业出版社,2006.

[2]李志强.无刷直流电机无位置传感器控制及四开关逆变器控制研究[D].天津:天津大学,2009.

[3]孙健.高精度综合标定转台电控系统研究[D].吉林:长春理工大学,2009.

作者简介:谢林(1988.10—),毕业院校:西北工业大学,所学专业:信息工程,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;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。

# 基于 MODBUS 通信的 ECS-700 控制系统与 Freelance 800F 系统集成 优化研究

冯军海

河南能源化工集团鹤壁煤化工有限公司, 河南 鹤壁 458000

**[摘要]**随着工业 4.0 和中国制造 2025 战略的深入实施, 工业控制系统国产化已成为保障国家工业安全、提升制造业竞争力的关键环节。本文针对丁二酸酐生产装置 (SAH) 控制系统改造过程中遇到的 IO 点容量不足及系统硬件停产等问题, 提出了一种基于 ModBus 技术的 ECS-700 系统与 Freelance 800F 系统通讯优化方案。通过系统分析两种控制系统的技术特点, 设计了基于 RS-485 的通讯架构, 实现了新老系统间的数据无缝对接。实际应用表明, 该方案不仅解决了系统扩容问题, 还显著提升了数据采集与分析的实时性、稳定性及操作便捷性, 为工业控制系统国产化改造提供了可借鉴的实践经验。本研究还从技术、经济、安全等多维度分析了国产控制系统替代的综合效益, 为后续工业控制系统国产化改造提供了理论依据和实践指导。

**[关键词]**控制系统; DCS; MODBUS 技术; 485 通讯技术; 工业 4.0

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17977

中图分类号: TP273

文献标识码: A

## Research on Integration Optimization of ECS-700 Control System and Freelance 800F System Based on MODBUS Communication

FENG Junhai

Hebi Coal Chemical Industry Co., Ltd. of He'nan Energy and Chemical Industry Group, Hebi, He'nan, 458000, China

**Abstract:** With the deepening implementation of Industry 4.0 and the Made in China 2025 strategy, the localization of industrial control systems has become a key link in ensuring national industrial security and enhancing manufacturing competitiveness. This article proposes a communication optimization scheme between ECS-700 system and Freelance 800F system based on ModBus technology to address the issues of insufficient IO point capacity and system hardware shutdown encountered during the control system renovation process of succinic anhydride production unit (SAH). By analyzing the technical characteristics of two control systems, a communication architecture based on RS-485 was designed to achieve seamless data integration between new and old systems. Practical application has shown that this solution not only solves the problem of system expansion, but also significantly improves the real-time, stability, and operational convenience of data collection and analysis, providing practical experience for the localization transformation of industrial control systems. This study also analyzed the comprehensive benefits of replacing domestic control systems from multiple dimensions such as technology, economy, and safety, providing theoretical basis and practical guidance for the subsequent localization transformation of industrial control systems.

**Keywords:** Control system; DCS; MODBUS technology; 485 communication technology; Industry 4.0

### 1 工业控制系统国产化的背景与意义

工业控制系统作为现代工业生产的核心, 其安全稳定运行直接关系到国家工业安全和国民经济稳定发展。在当前国际政治经济格局下, 保障工业控制系统安全稳定运行对于国家信息安全至关重要。随着全球产业链的深度融合, 工业控制系统已成为国家战略安全的重要组成部分。推进国产化进程, 有助于降低对外部技术的依赖, 确保在关

键领域的技术自主可控, 从而有效应对可能的外部风险和挑战。

### 2 问题提出与研究意义

丁二酸酐生产装置作为化工行业中的典型新工艺装置, 初期设计规模较小, 年产量仅 3000t。随着市场需求增长, 装置进行扩容改造时面临双重挑战: 一方面, 原有 Freelance 800F 控制系统 IO 点容量不足, I/O 点数量无法

满足扩容需求，且操作员站权限已用尽，新增操作员站将导致其他站无法操作；另一方面，系统硬件厂商即将停产并停止维护，导致备件供应困难，直接影响装置的安全平稳运行<sup>[1]</sup>。

针对这一问题，本文提出了一种基于国产 ECS-700 系统的改造方案，通过 MODBUS 协议与 RS-485 通讯技术实现新老系统的数据交互，有效解决了上述问题。该研究不仅解决了 SAH 装置的扩容问题，还为工业控制系统国产化改造提供了可复制的实践经验，对推动我国工业控制系统国产化进程具有重要参考价值。

### 3 系统架构与技术选型

#### 3.1 系统改造需求分析

SAH 装置扩容改造需要满足以下需求：

- (1) 解决 I/O 点容量不足问题，满足新增装置的控制需求；
- (2) 解决硬件停产导致的备件供应问题；
- (3) 保持与现有系统的无缝对接，保证生产连续性；
- (4) 提升系统数据采集与分析的实时性和稳定性；
- (5) 降低系统维护成本，延长系统使用寿命。

#### 3.2 技术选型与对比分析

##### 3.2.1 选型原则

本方案选型遵循以下原则：

- (1) 技术成熟度高，有成功应用案例；
- (2) 兼容性好，能与现有系统无缝对接；
- (3) 维护成本低，硬件支持周期长；
- (4) 系统扩展性强，能满足未来扩容需求；
- (5) 价格合理，性价比高；

##### 3.2.2 选型对比

经过综合比较，本方案选择 WebField 系列 ECS-700 系统作为国产替代方案，与 Freelance 800F 系统进行通讯对接。具体对比分析如下（表 1）：

表 1 控制系统选型对比分析

评估维度	Freelance 800F 系统	ECS-700 系统	优势
硬件支持周期	1 年	10 年以上	ECS-700
维护成本	高 (进口备件价格高)	低 (国产备件价格低)	ECS-700
系统扩展性	有限	强 (支持多种总线)	ECS-700
数据集成能力	有限	强 (支持多种协议)	ECS-700
价格	高	中	ECS-700
通讯协议兼容性	有限	强	ECS-700

### 3.3 通讯方案设计

#### 3.3.1 通讯协议选择

ModBus 协议作为一种广泛应用的工业通讯协议，具有结构简单、实现方便、兼容性好等优点，特别适合于不同系统间的异构通讯。本方案采用 ModBus RTU 协议，通过 RS-485 物理层进行数据传输，确保通讯的可靠性和实时性。

ModBus 协议采用主从式结构，主站(ECS-700 系统)向从站(Freelance 800F 系统)发送请求，从站响应请求。协议定义了标准的数据帧格式，包括设备地址、功能码、数据域和校验码，确保数据传输的准确性。

#### 3.3.2 通讯架构设计

系统通讯中 ECS-700 系统作为主站，Freelance 800F 系统作为从站，通过 RS-485 网络实现数据交互。ECS-700 系统将新增装置的实时数据通过 ModBus 协议发送至 Freelance 800F 系统，实现数据的集中监控与管理。

### 4 硬件组态与软件配置

在 Freelance 800F 系统控制柜和 ESC700 系统控制柜之间铺设两条用于 RS485 网络通讯的电缆（其中一条为冗余线路），Freelance 800F 系统通 ModBus 通讯接口和 ESC700 系统进行数据交换。

#### 4.1 ESC700 系统侧硬件组态和软件组态

ECS-700 系统由控制节点（包括控制站及过程控制网上与异构系统连接的通信接口等）、操作节点（包括工程师站、操作员站、组态服务器（主工程师站）、数据服务器等连接在过程信息网和过程控制网上的人机会话接口站点）及系统网操作员站、组态服务器（主工程师站）、数据服务器等操作节点，在操作节点间传输历史数据、报警信息和操作记录等。对于挂在过程信息网上的各应用站点可以通过各操作域的数据服务器访问实时和历史信息、下发操作指令。

在 VOCS 系统（ESC700 系统）上扩展，增加机柜，与原系统机柜尺寸、颜色、样式保持一致。控制系统设置两路 220VAC 电源（即两路 UPS），现场仪表 24VDC 电源与 DCS 系统 24VDC 电源分开，独立设置。电源模块冗余配置，并通过二极管模块进行冗余隔离，当一块电源模块故障时，另一块电源模块可以保证系统的正常运行。

24VDC 电源模块采用中控的 PW733，柜内部件配 24V 电盒采用中控的 PW715。CPU 选用中控的 FCU712-S01；I/O 模块中，AI 模块选用中控的 AI713-S11，AO 模块选用中控的 AO713-S11，DI 模块选用中控的 DI715-S11，DO 模块选用中控的 DO716-S11；通信模块

选用中控的 COM741-S01<sup>[2]</sup>；将 CPU 和这些模块依次安装在机柜内的基座上。

首先在 VOCS 系统（ESC700 系统）的工程师站通过组态管理软件设置新加操作员站组态参数：波特率、数据位、奇偶校验、停止位等。

然后在位号表中增加所需的所有通信位号（为了区别，通信位号都在末尾加 TX 后缀），右侧位号类型需要设置为“通信 AO 位号”。数字量 DI 打包成 AO 模拟量。

剩下 AI 点和 AO 点，所有 I/O 点作为通信 AO 通过 485 通讯发送给 Freelance 800F 系统端 MODBUS 模块，起始地址设为 200，数据设为二字节整形，新加通讯程序块 AO；为保证模拟量精度，将压力值实型数据先除以 1000 转换为 KPa 后再对通信位号进行数据类型转换（压力其实是压强，单位为 MPa），通信 AO 数据类型输出为需要先转换成实型数据 REAL，再转换为 INT 整型数据，然后再转换为无符号双整型数据 UDINT。组态完成后的 AI 通讯，组态完成后的 AO 通讯，组态完成后的 DI 通讯。

#### 4.2 Freelance 800F 硬件组态和软件组态

Freelance 800F 上的 FI820F 通信协议采用 ModBus，支持 RS232, RS422, RS485 协议，RS485 是半双工方式，因此需要 RTS 和 CTS 硬件握手信号，模块支持 2 个通信接口。

在 Freelance 800F 端对 MODBUS 模块 FI820F 卡件上进行参数组态，组态参数和 ESC700 系统上组态参数设置一致。注意 Freelance 800F 端设置为从站，之后在 Control Builder F 变量表中定义所需的所有通信位号（为了和其他位号区别，这些通信位号定义也都在末尾加上了 TX 后缀）。之后在 Freelance 800F 控制系统上的组态软件 Control Builder F，进行程序通信组态：打开“过程站”折叠目录，在下面的“复杂回路”的 LOOP 目录，在下面添加“通讯（FBD）”和“通讯 2（FBD）”两个程序组态页面，在两个“通讯（FBD）”和“通讯 2（FBD）”进行组态，并将数据类型进行转换，将 INT 整型数据转换 REAL 实型数据。打开组态软件 Control Builder F，打开“公共显示”里的流程图进行操作操作页面进行页面显示组态。

### 5 通信调试与优化

#### 5.1 通信调试过程

##### 5.1.1 初步调试

首先在 ECS-700 组态软件上进行强制数值 5 点输出

测试，验证数据传输的准确性。通过监控工具观察 Freelance 800F 系统端接收的数据，确认数据传输正常。初步调试发现，DI 数字量在 Freelance 800F 系统端显示异常，需要进行特殊处理。

##### 5.1.2 数据转换调试

DI 数字量在 ECS-700 系统打包后为模拟量传输，Freelance 800F 系统端再解包还原为数字量。通过调试发现，打包和解包过程中存在精度损失，需要优化数据转换算法。经过多次测试和调整，最终确定了最优的数据转换方案：

具体转换流程如下：

Freelance 800F 端将压力值实型数据（MPa）→除以 1000→KPa 单位

KPa 单位数据→转换为实型数据 REAL

ECS700 端将 REAL 数据→转换为 INT 整型数据

INT 整型数据→转换为无符号双整型数据 UDINT

##### 5.1.3 地址偏移问题

在调试过程中发现，ECS-700 端起始地址设为 200，通过 RS-485 通讯后到达 MODBUS 的 FI820F 端，在 Control Builder F 操作页面发现起始地址会偏移 1 位。经过分析，确定在 Control Builder F 通讯模块上设置起始地址为 199，寄存器数量 16，解决了数据错位问题。

### 5.2 优化措施

#### 5.2.1 数据转换算法优化

针对数据精度问题，优化了数据转换算法，采用双精度浮点计算，提高了数据转换的精度。同时，增加了数据校验机制，确保数据传输的准确性。

#### 5.2.2 通讯参数优化

根据现场环境，优化了通讯参数，在保证通讯可靠性的同时，提高了数据传输速率。

#### 5.2.3 故障处理机制

铺设通信电缆时，在 MODBUS 两侧增加了冗余电缆和冗余接法，当其中一条传输通道故障时，系统自动切换到备用冗余通讯通道，确保数据传输的连续性。

### 5.3 Control Builder F 操作页面链接

两端操作页面完成后，在每一个显示 I/O 点上添加变量列表里的 I/O 点位，然后全部检查编译，确保无误后点击“加载修改对象”对所有操作节点进行加载，加载完成。

整个系统的网络拓扑结构，两个系统组态完后最终的网络拓扑结构图 1 如下：

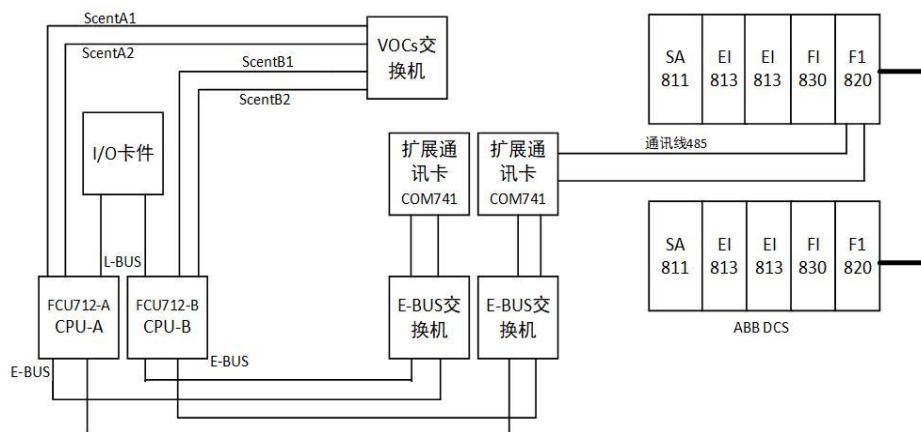


图1 两个系统组态完后最终的网络拓扑结构图

## 6 结论与展望

### 6.1 研究结论

本文提出的ECS-700与Freelance 800F系统通讯改造方案,成功解决了丁二酸酐生产装置扩容过程中的技术难题。通过MODBUS协议与RS-485通讯技术的合理应用,实现了新老系统间的数据无缝对接,为工业控制系统国产化改造提供了可行路径。研究结论如下:

(1) 控制系统国产化改造及与国外Freelance 800F系统通讯应用改造使控制系统进行数据采集和分析更加直观、稳定、操作时更加方便。

(2) 对Freelance 800F系统和ECS700系统通讯和操作进行了优化升级,使得在老系统上通过MODBUS技术和485通讯技术可以对新加装置进行实时数据报警、实时数据查看、历史曲线和实时曲线趋势查看等多项操作。

(3) WebField系列ECS-700属于国产最新系统,并且支持PROFIBUS、MODBUS、FF、HART等多种国际标准现场总线的接入和多种异构系统的综合集成。对后期

系统维护、组态修改,各种卡件更换更加方便,系统硬件支持周期更长,价格上也更有优势。

### 6.2 未来展望

随着工业互联网、人工智能等新技术的发展,工业控制系统将向更高速率、更智能的方向发展。未来研究方向包括:

(1) 研究人工智能技术在控制系统中的应用,实现智能诊断和预测性维护。

(2) 深化国产控制系统与工业互联网平台的融合,打造工业互联网应用生态。

#### [参考文献]

[1]杨斌,蒋叶峰.Freelance 800F DCS系统的应用和调试[J].水泥,2012(10):2.

[2]中控技术股份有限公司.WebField ECS-700 培训讲义VF4.50版[Z].杭州:中控技术股份有限公司,2023.

作者简介:冯军海(1983.10—),毕业院校:商丘师范学院,所学专业:电子信息工程,当前就职单位:河南能源化工集团鹤壁煤化工有限公司,职称级别:中级工程师。

## 基于多 AGV 协同的大容积率高效立体车库系统设计

姚燕生<sup>1,2</sup> 王业山<sup>1,2</sup> 姚宝珍<sup>3</sup> 汪名洋<sup>1</sup> 张峰<sup>2</sup> 吴厚团<sup>2</sup>

1.安徽建筑大学 工程机械智能制造重点实验室, 安徽 合肥 230601

2.安徽鸿杰威尔停车设备有限公司, 安徽 六安 237000

3.大连理工大学 汽车工程学院, 辽宁 大连 116024

**[摘要]**随着当今社会科技经济发展, 汽车的数量在快速增加, 为充分利用每个城市有限的土地资源, 更好的解决停车难问题, 机械式立体车库应运而生。但是常规的机械式立体车库, 升降横移运输设备数量多、结构复杂、空间利用率和存取效率不高。针对这些不足, 提出了一种九宫格式的大容积立体车库系统设计, 采用多 AGV 和多轿厢电梯协同的策略来提升任务执行效率和垂直运输效率, 并设计了一种遗传算法实现存取车时长全局最优决策。该立体车库系统在保证车辆高效存放、取出的同时, 兼顾灵活性和安全性, 具有极高的推广潜力和应用价值。

**[关键词]**多 AGV 协同; 九宫格; 高效停车; 机械式立体车库

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17976

中图分类号: TP23

文献标识码: A

### Design of High-efficiency Three-dimensional Garage System with Large Floor Area Ratio Based on Multi-AGV Collaboration

YAO Yansheng<sup>1,2</sup>, WANG Yeshan<sup>1,2</sup>, YAO Baozhen<sup>3</sup>, WANG Mingyang<sup>1</sup>, ZHANG Feng<sup>2</sup>, WU Houtuan<sup>2</sup>

1. Key Laboratory of Intelligent Manufacturing of Engineering Machinery, Anhui Jianzhu University, Hefei, Anhui, 230601, China

2. Anhui Hugewohe Parking Equipment Co., Ltd., Lu'an, Anhui, 237000, China

3. College of Automotive Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning, 116024, China

**Abstract:** With the passage of time, the number of cars has been increasing, in order to make full use of each city's limited land resources, to better solve the problem of parking difficulties, mechanical three-dimensional parking garage came into being. However, in the conventional three-dimensional parking garage, the number of conventional transportation equipment is large, the structure is complex, resulting in its space utilization and work efficiency is not high. Aiming at those shortcoming, this paper proposes a design method of large volume stereo garage system with nine-cell pattern, adopts the strategy of multi-AGV parallel and multi-car elevator cooperation to improve task execution efficiency and vertical transportation efficiency, and designs a genetic algorithm to achieve the global optimal decision of vehicle access time. The stereo garage system not only ensures the efficient storage and removal of vehicles, but also takes into account the flexibility and safety, which has high promotion potential and application value.

**Keywords:** multi-AGV collaboration; a nine-palace grid; efficient parking; mechanical stereo-garage

### 引言

AGV(Automated Guided Vehicle)是一种具有可编程、安全防护和装运物品功能的自带动力的自动驾驶小车, 在汽车、电子、纺织、医药、食品、造纸等领域有着广阔的应用前景<sup>[1-2]</sup>。为满足大型智能车库的大量快速存取车, 同时兼顾城市土地空间紧张和停车场附近环境复杂的使用与运行要求, 在参考国内同类产品的基础上, 本团队利用无轨道、大载重、可原地转向的移车 AGV, 开发出多

AGV 协同技术来构建新型立体车库系统。本文将典型形式九宫格系统结构来进行介绍。

### 1 多 AGV 协同技术立体车库系统设计

#### 1.1 系统总体设计

立体车库系统由车位架、AGV、升降电梯和控制系统组成。车位架的每层为九宫格结构<sup>[3]</sup>, 立体车库九宫格结构(图 1)及其外围通道布置(图 2), 其中心宫格为电梯井、其余宫格为停车位, 车库主体结构外设有停、取车

等候区。停车等候区、取车等候区设置在车库主体结构外的地面层、地上层外和地下层，总个停车区进口处设置门禁，与外部道路相连接。车库内多个电梯轿厢用于运输 AGV 与车辆上行或下行，各个电梯轿厢竖直排列设置于电梯井内，AGV 小车用于运输车辆进出电梯轿厢和进出停车位。车库系统在减少电梯的空间而增多停车位的前提下(本设计的容积率即车位占地比为 8/9，远大于垂直升降立体车库的 2/3)，利用多轿厢和多 AGV 协同增大的运输能力（图 3），减少存取车时间，提供便捷安全、智能舒心的服务。

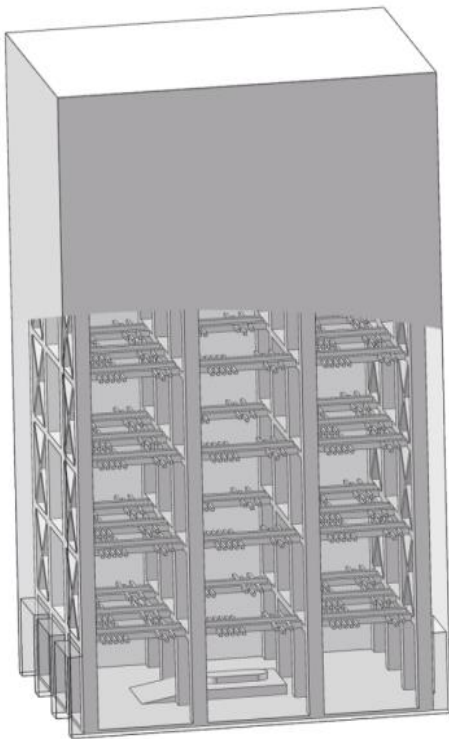


图 1 立体车库总体结构图

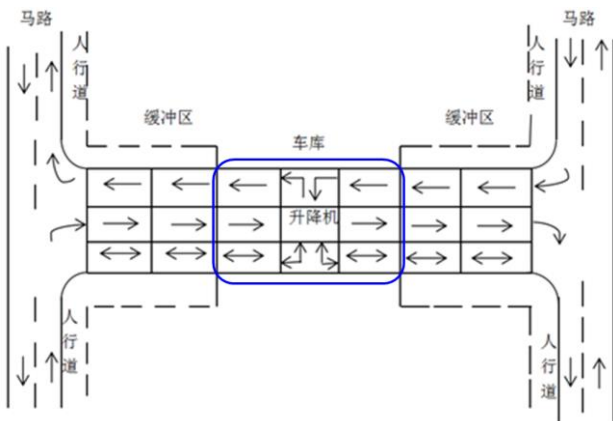


图 2 立体车库外围设施布置图

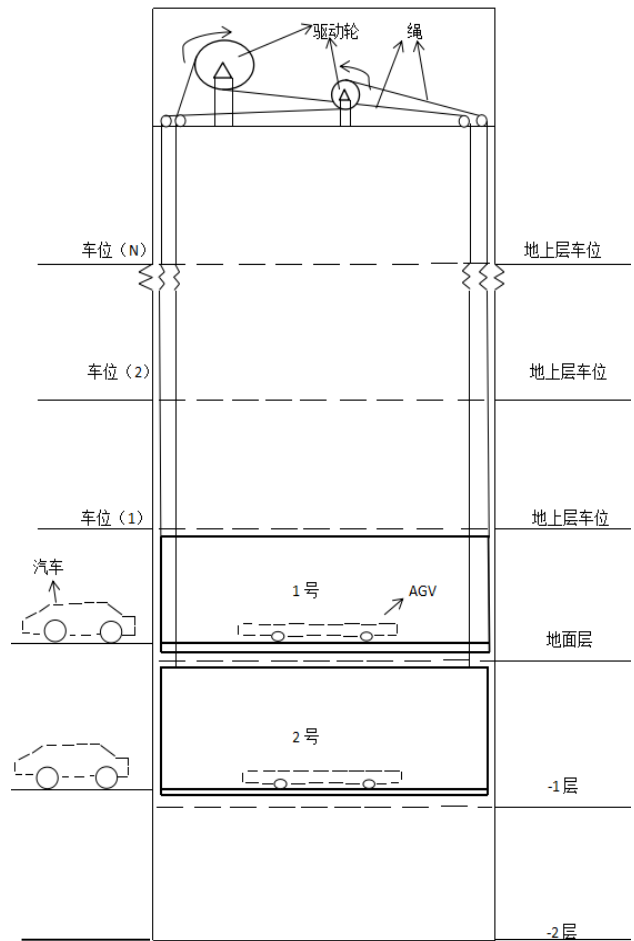


图 3 多 AGV 多电梯轿厢布置

## 1.2 各组成结构介绍

### 1.2.1 AGV 小车

通过配备自动导引装置，AGV 可以沿着规划好的轨迹运动，以达到搬运重物的目的<sup>[4]</sup>。AGV 小车采用磁导航技术（另有二维码等导航方式可选，在此不做介绍），通过在其行进路径上铺设磁带，并对磁导航传感器采集的信号进行处理，实现对 AGV 的精准引导。AGV 小车用于运输车辆进出电梯轿厢和停车位，其分布在电梯轿厢内或各楼层的停车位或停车等候区，可以实现全方移动。

### 1.2.2 电梯轿厢

电梯轿厢用于运输车辆上行或下行，数量至少为 2 个，各个电梯轿厢竖直排列设置于电梯井内；四面均可打开，AGV 小车可从电梯轿厢的任意门进出。

### 1.2.3 控制系统

控制系统具有信息检测、处理与运动控制功能。主控制系统包括主控计算机、AGV 小车控制部分、轿厢控制

部分。AGV 小车控制部分包括若干个 AGV 小车 PLC 控制器，每个 AGV 小车 PLC 控制器与 AGV 小车的驱动电机、转向电机、磁导航传感器、移载机构、压力传感器分别控制连接<sup>[6]</sup>。轿厢控制部分包括电梯轿厢升降 PLC 控制器，电梯轿厢升降 PLC 控制器与楼层传感器、各轿厢的升降电机分别控制连接。各个 AGV 小车 PLC 控制器、电梯轿厢升降 PLC 控制器分别连接报警装置、防护装置、显示器，每个 AGV 小车 PLC 控制器分别通过通讯卡与主控计算机无线通讯连接，电梯轿厢升降 PLC 控制器与主控计算机直接通讯连接，主控计算机与监控设备连接，控制系统示意图如图 4 所示。

## 2 独立存取车操作

独立存取车是指车库空闲时个人存取一台车的情况，这种存取车比较简单，但由于本系统有多个 AGV 和升降轿厢可执行任务，为提高存取车效率，需要合理调度，优化流程，和当前大多数立体车库有所不同。

### 2.1 存车工作流程与操作

#### 2.1.1 AGV 存车工作流程

车主通过 APP 或库区设备发出存车信息，车库系统确认可以存车后，车辆被允许驶入并开始收费计时，车主应将汽车开到立体车库的停车等候区临时车位。此时车主即可下车离开，车牌识别系统和监控系统检测到汽车后，对车辆的车型、尺度、质量等数据提取，包括车里活体检

测等信息做出评估并发送给主控计算机，车位分配系统根据车辆信息与空闲车位信息计算最佳车位，空闲的电梯轿厢与空闲的 AGV 小车接收指令后配合成组，运行至停车等候区所在楼层。AGV 小车将车辆运输至电梯轿厢内，电梯轿厢接收指令运行至指定楼层等待，电梯轿厢内的 AGV 小车将待停车辆运输至指定车位后返回轿厢，若一段时间内无下一步工作则回到等候区层。具体存车运行过程如下：

车库系统接受存车指令后，AGV 小车归位于电梯轿厢后，轿厢抵达要存车辆所在楼层，AGV 小车通过自身磁导航系统到达位于停车等候区的待停汽车处，再通过光电传感器对车宽和车高进行测量，将汽车尺寸信息通过无线传输模块发送给主控计算机，主控计算机保存并通过遗传算法运算，待停车辆找到的合适停车位后，AGV 小车原路返回将汽车运到 1 号轿厢中，为了优化存车时长，最大化车位利用率，系统采用遗传算法进行车位选择的最优决策。主要思想为：

首先，主控计算机生成车位高度信息，采集用户停车需求并编号，将用户编号与对应的距离信息储存至主控计算机数据库中，接着将停车需求汇总成高度矩阵，按照用户和停车位编号生成代价数组并随机生成满足条件的个体，若匹配信息不满足约束条件则继续生成，直到生成满足约束条件的匹配信息。

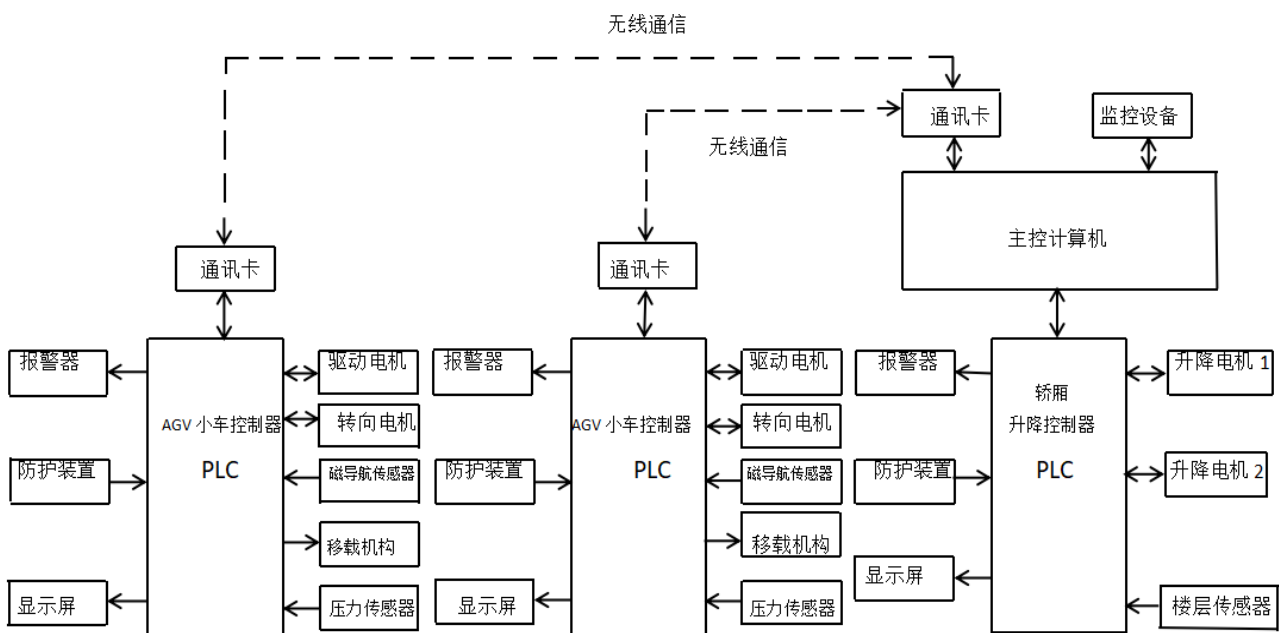


图 4 立体车库系统的控制系统示意图

然后, AGV 小车通过压力传感器检测到移栽机构上的汽车, 主控计算机给控制电梯轿厢升降电机的电梯轿厢升降 PLC 控制器发送指令, 升降电机运行, 将轿厢连同汽车运到目标车位的楼层。当轿厢到达指定楼层后, 主控计算机给控制 AGV 小车的 PLC 控制器发送指令, AGV 小车 PLC 控制器控制小车载着汽车按规划路径到达指定停车位。主控计算机通过传感器检测到汽车成功到达目标停车位后, 向控制 AGV 小车的 PLC 控制器发送指令, AGV 小车回到轿厢, 升降电机将轿厢返回等待下一步工作。

### 2.1.2 APP 预约转存车位操作

线上存取车 APP 可提出设定时刻优先存取要求, 系统可根据预约时间计算得出最优目标车位, 空闲的 AGV 小车可配合空闲的电梯轿厢来提前实现转存。对取车的可以先将目标车辆转存最优车位, 对存车则保留最优目标楼层车位, 待目标车辆进入等待区后优先存取, 同时系统会根据所有订单的存取车时间实时调整存取车快捷通道。

## 2.2 取车工作流程与操作

空闲的 AGV 小车接收指令后驶入空闲的电梯轿厢, 电梯轿厢接收指令后运行至待取车辆所在楼层, 电梯轿厢内的 AGV 小车接收指令并运行至待取车辆下, 将车辆运输至电梯轿厢内; 电梯轿厢接收指令运行至取车等候区所在楼层等待, AGV 小车将待取车辆运输至取车等候区的指定位置后直接回到电梯轿厢或在停车等候区等待命令。

待取车辆的车位位于每层宫格靠近电梯井位置时可直接通过 AGV 小车进行取出。当待取车辆的目标车位位于每层宫格的四角位置时, 且当前楼层有空闲停车位, 则先通过 AGV 小车挪出通道, 再通过 AGV 小车取出。待取车辆的目标车位位于每层宫格的四角位置时, 且当前楼层没有空闲停车位, 则控制 1 号 AGV 小车将道路之一上的车辆存放在其中 1 号轿厢里再提升, 将轿厢中车辆暂存或于附近其他楼层车位区停放; 然后通过 2 号 AGV 小车将待取的车辆从角落运出, 用 2 号轿厢协同将车下降到出口直至送至取车等候区。

在工作的整个流程中, 监控系统会实时监测系统的工作状况, 将信息传送给主控计算机<sup>[7]</sup>。若某个设备发生故障, 主控计算机向报警系统发送指令, 报警系统工作, 报警指示灯闪烁, 通知工作人员维修。

## 3 多车同时存取流程

### 3.1 多人存车流程

若多人发出存车命令, 主控计算机检测空闲停车位和

电梯(下称升降机)状态; 若 1 号和 2 号升降机处于空闲状态, 两车均位于地面层缓冲区, 且运行遗传算法计算最优空闲车位在车库的不同楼层。则 1 号 AGV 启动, 将 1 号车辆运入 1 号升降机; 1 号升降机上行, 同时 2 号升降机上行至地面层; 2 号 AGV 启动, 将 2 号车辆运入 2 号升降机后, 2 号升降机上行; 1、2 号升降机分别到达两目的楼层停止运行; 1、2 号 AGV 启动, 分别将 1、2 号车辆运入两停车位; 完成任务后 1、2 号 AGV 分别返回 1、2 号升降机。若空闲车位在车库的同一楼层, 则 1 号 AGV 启动, 将 1 号车辆运入 1 号升降机; 1 号升降机上行, 同时 2 号升降机上行一层; 2 号 AGV 启动, 将车辆运入 2 号升降机; 1 号升降机到达目的楼层, 停止运行; 1 号 AGV 启动, 将 1 号车辆运入停车位后返回升降机; 1 号升降机上行一层, 2 号升降机上行到达目的楼层停止; 2 号 AGV 启动, 将车辆运入停车位后返回 2 号升降机。

若所存车辆不在同一楼缓冲区且空闲车位不在车库的同一楼层, 则两车进入停车区后, 1、2 号 AGV 协同升降机对应到位后启动, 分别将上 1、下 2 车辆运入 1、2 号升降机; 1、2 号升降机同时启动上行; 1、2 号升降机分别到达目的楼层, 停止运行; AGV 启动, 分别将车辆运入停车位; 任务结束后 1、2 号 AGV 分别返回 1、2 号升降机。若空闲车位在车库的同一楼层, 则两车进入停车缓冲区后, 1、2 号 AGV 启动, 分别将 1、2 号车辆运入 1、2 号升降机; 1 号升降机上行; 1 号升降机到达目的楼层, 停止运行; 1 号 AGV 启动, 将 1 号车辆运入停车位后返回升降机; 1 号升降机上行一层, 同时 2 号升降机上行; 2 号升降机到达目标车位楼层, 停止运行; 2 号 AGV 启动, 将车辆运入车位后返回 2 号升降机。

若有存车时, 1 号和 2 号升降机均处于忙碌状态, 则待其任务完成后, 再根据指令进行上述存车流程。

若 1 号升降机处于忙碌状态, 2 号升降机处于空闲状态, 待存车辆均位于地面缓冲区, 则 2 号升降机升至地面层; 2 号 AGV 启动, 将 2 号车辆运入 2 号升降机; 2 号升降机上行; 2 号升降机到达目的楼层, 停止运行; 2 号 AGV 启动, 将 2 号车辆运入停车位后返回升降机, 其后 2 号升降机下行至负一层下待命; 1 号升降机完成上一任务指令后下行至地面层; 1 号 AGV 启动, 将 1 号车辆运入 1 号升降机; 1 号升降机上行; 1 号升降机到达目的楼层, 停止运行; 1 号 AGV 启动, 将车辆运入停车位后返回 1 号升降机。

若 1 号升降机处于忙碌状态，2 号升降机处于空闲状态，待存车辆不在同一楼层缓冲区，且空闲车位不在车库的同一楼层，则 2 号 AGV 先启动，将低层 2 号车辆运入 2 号升降机；1 号升降机完成上一任务指令后下行到位，1 号 AGV 启动，将 1 号车辆运入 1 号升降机；1、2 号升降机同时启动上行；1、2 号升降机分别到达目的楼层，停止运行；1、2 号 AGV 启动，分别将 1、2 号车辆运入停车位；1、2 号 AGV 完成任务后分别返回 1、2 号升降机。

### 3.2 多人取车流程

当车库进行新的多车取车作业时，若升降机 1、2 处于忙碌状态，则需先完成当前指令后再进行新取车作业。经主控计算机检测后，待取两车辆在车库的同一楼层，则 1 号升降机先上行至目的楼层；1 号升降机停止运行，1 号 AGV 将 1 号车辆运入 1 号升降机；1 号升降机上行 1 层，同时 2 号升降机上行；2 号升降机上行至目的楼层；2 号升降机停止运行，2 号 AGV 将 2 号车辆运入 2 号升降机；2 号升降机下行至负一层，同时 1 号升降机下行至地面层；1 号 AGV 将车辆运入地面层取车区。同时 2 号 AGV 将车辆运入负一层取车区；1 号 AGV 返回 1 号升降机，同时 2 号 AGV 返回 2 号升降机。上述对应车辆取车位置可提前告知车主。

若经主控计算机检测后，待取车辆不在车库的同一楼层，则 1、2 号升降机同时上行；1、2 号升降电机分别到达目的楼层停止运行；1 号 AGV 将高楼层 1 号车辆运入 1 号升降机，同时 2 号 AGV 将低楼层 2 号车辆运入 2 号升降机；2 号升降机下行至负一层，同时 1 号升降机下行至地面层；1 号 AGV 将车辆运入地面层取车区。同时 2 号 AGV 将车辆运入负一层取车区；任务结束后 1 号 AGV 返回 1 号升降机，同时 2 号 AGV 返回 2 号升降机。多人取车流程如图 5 所示。

### 4 结语

本文提出了一种新型的多 AGV 协同作业车库系统，设计了容积率大、九宫格式的车库主体结构，并在电梯井里加装两个或更多垂直升降机/轿厢，各个升降机/轿厢可以分工合作，与多个 AGV 协同实现车辆的运送；此外，采用先进的车位分配方法根据车辆任务信息，保证车位分配的高效性和合理性，充分利用电梯井空间发挥最大的运输效率。本文主要技术已应用于北京、亳州等地的鸿杰威尔智慧车库项目，得到用户高度认可。

基金项目：“安徽鸿杰威尔停车设备有限公司博士后企业工作站”（2022sshqygzz029），安徽省新时代育人质量工程项目（研究生教育）“现代设计理论与方法（双语版）”（2022ghjc084）。

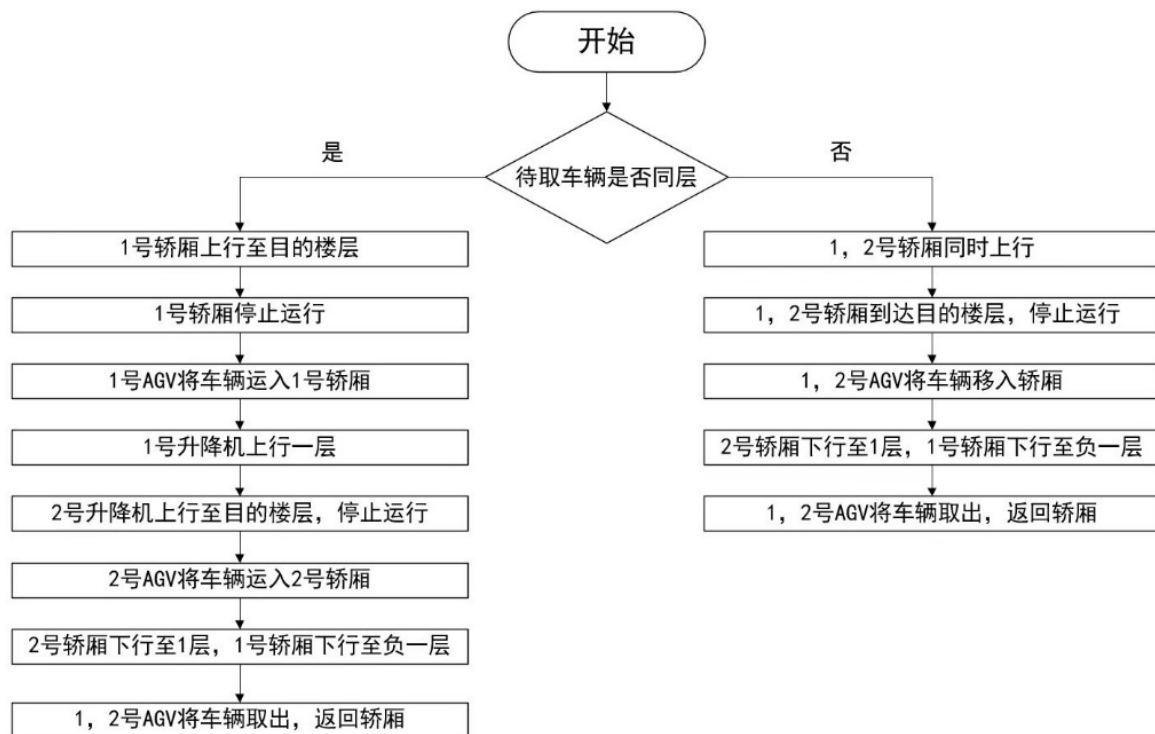


图 5 多人取车流程图

[参考文献]

- [1]金鑫.AGV 小车的发展现状与应用趋势[J].北京工业职业技术学院学报,2021,20(1):10-13.
- [2]张亚强.AGV 在智能停车领域的设计与实现[D].河南:郑州大学,2020.
- [3] Jiří Hanzl.Parking Information Guidance Systems and Smart Technologies Application Used in Urban Areas and Multi-storey Car Parks[J].Transportation Research Procedia,2020(44):53.
- [4]杨阅兵,生一,葛睿,等.重载 AGV 小车设计[J].河北农机,2021(08):75-77.
- [5]宁志雄.泊车 AGV 的车辆位姿检测系统设计[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2019.
- [6]张星.基于麦克纳姆轮的全向 AGV 运动控制技术研究[D].重庆:重庆大学,2016.
- [7]徐敏.升降横移式立体车库车辆智能监控调度系统设计[J].科学技术创新,2020(17):95-96.

作者简介:姚燕生(1973—),男,汉族,安徽枞阳人,教授,从事特种装备设计与制造研究。

## 基于 GIS 技术的林业工程规划设计方法探讨

兰天瑶

北京正和恒基滨水生态环境治理股份有限公司, 北京 100020

[摘要]伴随信息技术持续向前发展,地理信息系统(GIS)已然成为一种极为高效的用于数据管理以及开展空间分析的工具,在林业工程规划设计领域当中凸显出了不容小觑的重要价值。GIS不但能够对多源数据加以整合,进而达成空间信息的统一管理目的,而且还可以借助空间分析、模拟预测以及可视化等一系列手段,给林业资源的科学规划工作以及可持续管理工作给予相应的决策方面的有力支持。文章较为系统地对GIS在林业工程规划设计当中的具体应用情况展开了探讨,所涉及的内容涵盖了技术方面的概括阐述、应用所具备的重要性以及具体的设计方法等方面。

[关键词]GIS技术;林业工程;规划设计

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17957

中图分类号: TU984

文献标识码: A

### Exploration on Forestry Engineering Planning and Design Method Based on GIS Technology

LAN Tianyao

Beijing Zhenghe Hengji Binshui Ecological Environment Treatment Co., Ltd., Beijing, 100020, China

**Abstract:** With the continuous development of information technology, Geographic Information Systems (GIS) have become an extremely efficient tool for data management and spatial analysis, highlighting significant value in the field of forestry engineering planning and design. GIS can not only integrate multi-source data to achieve unified management of spatial information, but also provide strong support for scientific planning and sustainable management of forestry resources through a series of methods such as spatial analysis, simulation prediction, and visualization. The article systematically explores the specific application of GIS in forestry engineering planning and design, covering a summary of technical aspects, the importance of application, and specific design methods.

**Keywords:** GIS technology; forestry engineering; planning and design

#### 引言

林业工程规划设计属于极为关键的环节,它对于森林资源的可持续管理而言有着重要的保障作用,同时对于生态系统的健康发展以及社会经济的协调发展同样意义重大。传统的规划方式大多依靠实地调查以及经验判断来开展相关工作,然而这种方式存在着诸多问题,比如数据量颇为庞大、信息更新的速度较为缓慢、分析的方法也比较单一等等,这些问题使得其很难契合现代林业精细化管理方面所提出的各项需求。GIS技术作为一种将数据管理、空间分析以及可视化功能融为一体的工具,能够为林业工程规划给予高效的手段,借助它可以达成多源数据的整合目标,也能实现空间信息的动态管理,进而促使决策的科学性以及准确性得以提升。

#### 1 GIS概述

##### 1.1 GIS定义

GIS是一种集成、存储、编辑、解析、分享及展示地

理信息的计算平台。该系统具备捕获、存贮、处理并呈现地理空间数据的功能,不仅涵盖地理位置,还包括其关联数据和属性数据。GIS的应用范畴不仅包括地图编制,还包括空间分析,可助力用户洞悉地理空间数据间的复杂联系。这项技术适用于不同层级的场景,小至特定地点或局部区域,大至国家级范围乃至全球范围,都能应用。GIS在林业工程规划设计中的应用是具有明显优势的,充分了解GIS的优势能使人们对GIS有更加深入的认识。

##### 1.2 GIS的优势和挑战

GIS技术在林业工程规划设计方面有着明显的优势,它的关键之处在于数据整合以及空间分析的能力。GIS可以对多源且多格式的数据加以统一管理,进而构建起完整并且较为可靠的空间数据库,以此来给规划工作给予基础信息方面的有力支撑。与此其空间分析的功能能够针对地形、林分结构、土壤还有生态环境等多个维度展开相应的处理,从而为方案的制定提供具有一定科学性的依据。除

除此之外, GIS 所具备的可视化以及模拟的能力还能够直观地呈现出规划布局以及发展趋势的情况,进而给决策过程提供技术层面的支持。不过, GIS 的应用当下依旧面临着一些挑战,像是数据质量以及更新存在滞后的状况、系统操作比较复杂对于专业技能有着一定的要求,再者就是在于与其他信息系统进行集成的时候会出现兼容性以及标准化等方面的问题。

## 2 林业工程规划设计概述

林业工程规划设计在森林资源科学管理以及生态可持续发展方面占据着极为关键的地位。其精髓就在于借助系统分析以及综合评估手段,去制定出合理的林业建设、保护以及管理方面的方案。在规划设计的时候,得同时考虑到林分布局、造林、林道建设、防护工程等方面,另外还得兼顾生态环境、社会经济以及资源利用等诸多目标。传统的规划方式大多依靠现场调查还有经验判断,在小范围或者单一目标项目当中勉强还能适用,然而在区域性或者复杂的林区里,往往就会碰到数据不完整、分析方法单一、决策效率低等一系列问题,很难契合现代林业精细化管理以及多目标决策的需求。随着信息技术不断发展,林业规划正逐步朝着数字化、信息化以及科学化的方向转型,对于数据的完整性、准确性以及动态更新的要求也变得越来越来。引入 GIS 技术能够达成空间信息的整合以及动态管理,以此来辅助开展科学分析并且优化规划,进而提升效率、减少资源浪费,强化生态保护的效果。全面且细致地梳理林业工程规划设计,一方面有利于明确规划的目标与方法,另一方面也为 GIS 技术的应用打下了理论根基。

## 3 GIS 在林业工程规划设计中的重要性

### 3.1 数据集成与资源管理价值

在林业工程规划设计方面,数据集成能力属于 GIS 技术极为重要的特性之一。林业规划涵盖了地形、土壤、植被、气候以及生态环境等诸多类型的各类数据,这些数据来源十分广泛,且格式各不相同,运用传统管理方法很难达成高效的整合效果。GIS 技术借助建立空间数据库的方式,把多源异构数据加以统一管理,进而实现数据的标准化处理、可更新状态以及可共享功能,由此为林业工程给予可靠的信息化基础。数据集成一方面让规划人员可以全面且详尽地掌握林区资源的实际现状,另一方面还能够能够在区域层面开展资源统计、分析以及预测等工作,给资源分配、林分布局还有生态工程设计赋予科学性的依据。与此数据集成还对跨部门、跨学科的协同作业予以支持,使得林业工程规划不再仅仅局限在单一的视角范畴内,而是能够综合并充分地考量生态、经济以及社会等多个方面的

诸多因素,达成资源管理的整体性优化效果。这样一种高度集成化的数据管理方式,为林业工程的科学规划以及精细化管理筑牢了坚实的基础,促使资源利用变得更加合理,生态保护也更为有效。

### 3.2 空间分析与科学决策支持

空间分析算得上是 GIS 技术在林业工程规划里极为关键的一项功能。其借助对地理空间数据展开多层次的分析操作,进而给科学决策给予了相当重要的依据。林业工程规划在开展之时,得充分考量地形呈现出的起伏状况、林分的具体结构情况、土壤所属的类型类别、植被的实际分布情形以及水文方面的诸多条件等诸多不同因素。而采用传统的办法,单纯依靠人工来进行分析的话,往往是很难做到既全面又准确的。GIS 技术却能够针对这些空间信息实施叠加分析、缓冲分析、针对坡度与坡向所作的分析以及网络分析等一系列操作,如此一来便能够将不同因素彼此之间存在的空间关联以及潜在产生的影响都揭示出来,进而为规划布局事宜、道路设计工作以及防护工程布置等方面提供具备科学性的依据。与此空间分析还能够对风险评估以及决策优化给予有力的支持。比如说,可以通过模拟不同规划方案给生态环境所带来的影响,从中识别出存在潜在问题的区域所在,并且提前去采取相应的防护举措,以此来促使规划方案的合理性以及可行性得以提升。凭借空间分析这一手段,规划者能够从宏观层面以及微观层面这两个不同的角度去洞察林业资源的分布所具有的特征以及环境方面存在的约束条件,从而为科学决策提供数据方面的有力支撑,达成规划设计工作的精准化以及高效化目标。

### 3.3 提高规划效率与可持续发展能力

GIS 技术在林业工程规划设计里可明显提高规划效率,关键点在于把数据处理、分析以及结果呈现都整合到同一平台,如此一来便减少了重复性工作以及人工操作所花费的时间。在传统的规划流程当中,数据收集、分析还有整合往往会耗费大量的时间和人力,然而 GIS 技术借助自动化的数据处理以及空间分析,能让规划工作的效率得以大幅度提升。与此 GIS 技术凭借自身的模拟以及可视化功能,使得规划者能够迅速比对不同方案的优缺点,进而优化资源配置,提升决策的准确性以及执行的效率。更为重要的是, GIS 技术在推动林业工程实现可持续发展这件事上有着十分重要的价值。通过综合地分析林业资源以及生态环境的条件, GIS 能够助力科学布局,防止出现过度开发或者生态遭受破坏的情况,达成经济效益与生态保护之间的平衡,以此促使林业工程规划朝着可持续发展

的方向去推进。这种高效、科学且可持续的规划能力,让 GIS 技术在现代林业工程领域里成为了不可或缺的核心工具。

## 4 基于 GIS 的林业工程规划设计方法

### 4.1 数据采集与空间信息管理

数据采集以及空间信息管理构成了 GIS 于林业工程规划设计当中应用的起始环节。林业工程涵盖地形、林分结构、土壤、气候还有生态环境等诸多类别空间数据,而这些数据的获取往往依靠遥感影像、无人机航拍、地面实测以及历史数据库等多种来源方式<sup>[1]</sup>。GIS 借助构建统一的空间数据库,达成对不同数据的标准化管理以及动态更新,进而让规划人员可以在同一平台去访问、查询并且分析数据。数据采集一方面留意空间位置的精准程度,另一方面也看重属性数据的完备性与可靠性,这在林业资源评价、规划布局以及生态保护评估方面有着极为重要的作用。经由空间信息管理,规划者能够针对区域资源展开全面的监控与统计,以此给规划设计给予准确且完整的数据支撑,与此同时实现对数据的可持续维护以及跨部门共享,最终提高林业工程规划的科学性与效率。

### 4.2 空间分析方法

空间分析方法作为 GIS 在林业工程规划设计里极为关键的核心技术,其借助对多种来源的空间数据展开综合性的处理以及定量层面的分析,进而将林业资源、生态环境还有工程约束条件彼此间所存在的空间关系给揭示出来。在开展规划工作的整个过程当中,空间分析可助力规划者去评估像地形坡度、土壤适宜性、植被覆盖以及水文条件这类的关键因素,以此来为林分布局的优化、道路的设计、防护工程的布置还有生态敏感区域的识别给予有力支持。凭借缓冲区分析、叠加分析、网络分析以及三维建模等一系列分析手段,规划人员能够较为直观地知晓各个规划方案针对资源利用以及生态环境所产生的影响,进而为科学决策获取到更为可靠的依据<sup>[2]</sup>。除此之外,空间分析还能开展模拟预测相关工作,去评估不同规划方案在未来林业资源呈现出的动态变化情况以及生态系统经历的演替进程当中的实际效果,以此来保证规划方案不但契合当前的资源条件,而且拥有可持续发展的特性。这样一种以 GIS 为基础的空间分析方法,促使林业工程规划设计从单纯依靠经验驱动的状态逐步转变成由数据驱动的模式,最终达成科学、精准并且系统化程度颇高的规划管理工作状态。

### 4.3 决策支持与规划优化

决策支持与规划优化属于依托 GIS 技术达成林业工

程科学管理的关键环节。GIS 借助对空间数据加以整合以及对分析结果予以呈现的方式,给规划者给予了一个完整且直观的信息根基,进而让规划决策拥有科学特性以及可操作特点。在开展规划布局相关工作、林分配置方面考量、道路设计环节以及制定生态保护举措的整个过程当中, GIS 技术可对不同方案所呈现出的效果予以模拟,深入剖析方案所具有的优势以及潜在存在的风险,助力规划者对资源分配加以优化,达成多目标的平衡状态。其决策支持功能一方面提升了规划方案的精准程度以及合理水平,另一方面也强化了规划实施的实际可行性。凭借规划优化这一途径, GIS 技术可以把资源利用效率提升至最大值,在此期间还能兼顾对生态保护的关注以及可持续发展目标的追求,从而为林业工程规划给予科学决策方面的依据,促使经济效益、社会效益以及生态效益实现有机的统一融合。

### 4.4 可视化与模拟技术

可视化以及模拟技术属于 GIS 在林业工程规划设计环节里极为重要且必不可少的应用手段。其可把复杂的空间信息以一种更为直观且易于理解的形式展现出来,进而给规划者给予清晰明确的决策方面的有力支撑。借助二维地图所作的展示、三维建模操作以及动态情景模拟等方式,规划人员便能够直观地知晓林区资源具体是如何分布的、规划布局又是怎样的情况,还能了解到潜在存在的生态影响状况<sup>[3]</sup>。与此他们也能够对不同方案在未来林分发生的变化以及生态环境出现的演变情形下所产生的效果予以预测。可视化技术一方面提升了信息表达时的直观程度,另一方面也强化了规划沟通以及公众参与时的有效性,从而使得规划方案变得更为透明且更具科学性。而模拟功能则可以针对林业工程实施进程当中出现的不同情景展开预测,以此来评估规划方案所具备的可行性以及存在的风险,进而为林业资源实现优化配置以及开展生态保护工作给予技术层面的有力保障。通过将可视化与模拟技术加以综合运用, GIS 不但提高了林业工程规划所具有的科学性,而且还给决策者提供了极为有力的技术支撑,最终达成了规划设计工作的精细化与智能化目标。

## 5 结语

本文较为系统地探讨了基于 GIS 技术的林业工程规划设计方法,从对 GIS 进行概述开始,接着讲到林业工程规划方面的情况,然后阐述 GIS 的重要性,最后具体分析设计方法,由此全面剖析了 GIS 在林业工程里的应用价值。研究得出, GIS 能够达成多源数据的集成以及空

间分析的开展,而且借助决策支持功能、规划优化手段以及可视化模拟方式,可以提高规划工作的效率,促使资源配置得以优化,同时还能确保生态能够实现可持续发展。虽说 GIS 的应用有着十分广阔的前景,然而其依旧面临着像数据质量方面存在的一些问题、技术能力上有所欠缺以及系统集成所遇到的难题等诸多挑战,所以在未来需要进一步完善数据标准化的相关工作,提升技术应用的水平,并且强化跨部门之间的协作。GIS 给林业工程规划给予了科学的、细致的以及系统化的办法方面的有力支撑,它是推动智能化以及信息化发展进程的核心技术,能为资源的高效利用以及生态的保护给予强有力的保障。

#### [参考文献]

- [1]廖艳平.基于 GIS 技术的林业工程规划设计方法探讨[J].中国林业产业,2025(5):65-66.
  - [2]闵本涛.GIS 在林业工程规划设计中的应用研究[J].农业科技创新,2025(17):42-44.
  - [3]郭伟.林业工程调查规划设计在林业生产建设中的重要性及实施要点[J].新农民,2024(9):45-47.
- 作者简介:兰天瑶(1989.9—),毕业院校:河北农业大学,所学专业:森林经理,当前就职单位:北京正和恒基滨水生态环境治理股份有限公司,职务:林业设计总监,职称级别:中级工程师。

## 基于应急指挥平台系统智能安全技术应用研究

陈鹏仁 杨雪峰 苏俊霞 陈国斌 王绍盛  
甘肃省白银公路事业发展中心, 甘肃 白银 730900

**[摘要]**随着工业化和城市化进程的不断推进, 安全生产和应急救援的重要性日益凸显。特别是在建筑、矿业、路桥、石化、电力等高风险行业, 事故频发不仅造成巨大的经济损失, 还威胁到从业人员的生命安全。传统的安全管理和应急救援手段已经难以满足现代社会对安全的高要求, 智能化技术的应用成为必然趋势。智能安全帽作为一种新兴的智能设备, 集成了视频监控、音频采集、定位功能、气体检测、环境感知等多种功能, 能够在复杂的工作环境中实时监测和预警潜在的安全隐患, 不仅能够提高现场作业的安全性, 还能够为管理者提供实时、准确的数据支持, 帮助其做出科学决策。通过智能化技术的应用, 可以减少人力成本, 提高工作效率, 具有显著的经济效益和社会效益。因此, 研究音视频智能安全帽与应急指挥平台系统的融合应用, 具有重要的理论和实践意义。

**[关键词]**应急指挥平台; 系统智能安全; 用户

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17953

中图分类号: TP399

文献标识码: A

## Research on the Application of Intelligent Security Technology Based on Emergency Command Platform System

CHEN Pengren, YANG Xuefeng, SU Junxia, CHEN Guobin, WANG Shaosheng  
Baiyin Highway Development Center of Gansu Province, Baiyin, Gansu, 730900, China

**Abstract:** With the continuous advancement of industrialization and urbanization, the importance of safety production and emergency rescue is becoming increasingly prominent. Especially in high-risk industries such as construction, mining, road and bridge construction, petrochemicals, and electricity, frequent accidents not only cause huge economic losses, but also threaten the safety of employees' lives. Traditional safety management and emergency rescue methods are no longer able to meet the high safety requirements of modern society, and the application of intelligent technology has become an inevitable trend. As an emerging intelligent device, smart helmets integrate multiple functions such as video surveillance, audio capture, positioning, gas detection, and environmental perception. They can monitor and warn potential safety hazards in complex work environments in real time, not only improving the safety of on-site operations, but also providing real-time and accurate data support for managers to make scientific decisions. The application of intelligent technology can reduce labor costs, improve work efficiency, and have significant economic and social benefits. Therefore, studying the integration and application of audio and video intelligent safety helmets with emergency command platform systems has important theoretical and practical significance.

**Keywords:** emergency command platform; system intelligent security; user

### 1 应急指挥平台系统分析

#### 1.1 应急指挥平台系统的构成

应急指挥平台系统是一个复杂的、多层次的系统, 旨在提高应急响应的效率和效果。该系统通常由指挥中心、通信系统、数据处理与分析系统、地理信息系统(GIS)、资源管理系统和培训与演练系统构成。指挥中心是应急指挥平台的核心, 负责协调和指挥各类应急资源。通信系统是应急指挥平台的重要组成部分, 确保各个应急单元之间

的高效沟通。数据处理与分析系统负责收集、处理和分析各类应急数据, 包括现场视频、音频、传感器数据等。这些数据通过大数据技术和人工智能算法进行处理, 生成实时的决策支持信息。地理信息系统在应急指挥平台中发挥着重要作用, 它能够提供实时的地理信息和地图数据, 帮助指挥人员快速了解现场情况。培训与演练系统是应急指挥平台的重要组成部分, 通过模拟演练和培训课程, 提高应急人员的应对能力和协调能力。

## 1.2 应急指挥平台系统的功能特点

应急指挥平台系统具有实时监控与预警、多源数据融合、智能调度与优化、协同指挥与协调、决策支持与分析和培训与演练的主要特点,这些特点使其在应急响应中发挥出重要作用。应急指挥平台系统通过多种传感器和监控设备,实现对现场情况的实时监控。系统能够自动识别异常情况并发出预警,帮助指挥人员及时采取措施。应急指挥平台系统能够集成多种数据源,包括现场视频、音频、传感器数据、定位数据,实现多源数据的融合与分析。应急指挥平台系统具备智能调度功能,能够根据现场情况和资源状况,自动优化调度方案,实现资源的高效配置和快速响应。应急指挥平台系统支持多部门、多层级的协同指挥与协调。系统通过通信工具和协作平台,实现各部门之间的高效沟通和协作<sup>[1]</sup>。应急指挥平台系统提供强大的决策支持功能,通过数据分析和可视化工具,帮助指挥人员做出科学的决策。应急指挥平台系统具备培训与演练功能,通过模拟演练和培训课程,提高应急人员的应对能力和协调能力。

## 2 音视频智能安全帽与应急指挥平台的融合应用

### 2.1 融合应用的必要性与可行性

在现代工业和建筑行业中,安全问题始终是重中之重。传统的安全帽虽然在一定程度上保护了工人的头部安全,但在面对复杂多变的施工现场环境时,其功能显得相对单一。音视频智能安全帽的出现,为解决这一问题提供了新的思路。智能安全帽能够实时监测工人的状态和环境,及时发现潜在的安全隐患,通过与应急指挥平台的联动,可以迅速采取措施,避免事故的发生。在应急情况下,指挥中心可以通过智能安全帽获取第一手的现场信息,快速做出决策,提高应急处理的效率。通过智能安全帽收集的数据,企业可以对施工现场进行精细化管理,优化资源配置,提高整体运营效率。

物联网技术的应用,使得智能安全帽可以与其他设备和系统进行无缝连接,实现数据的实时传输和处理。人工智能技术的应用,使得智能安全帽具备了环境感知和智能分析的能力,能够自动识别潜在的安全隐患,提高系统的智能化水平。

### 2.2 融合应用的技术架构与实现

音视频智能安全帽与应急指挥平台的融合应用,需要构建一个高效、稳定的技术架构,以确保系统的正常运行和功能的实现。以下是该技术架构的主要组成部分:①智能安全帽:硬件部分:包括高清摄像头、麦克风、加速度传感器、GPS/北斗定位器、陀螺仪、喇叭、温度传感器

等,这些传感器能够实时采集现场的音视频数据和环境信息。软件部分:内置的嵌入式系统负责数据的初步处理和传输,支持多种通信协议,确保数据能够高效、安全地传输到应急指挥平台。②通信网络:无线通信:在移动场景下,可以采用 Wi-Fi、4G/5G、LoRa 等无线通信技术,实现数据的实时传输。③应急指挥平台:数据接收与处理:平台接收来自智能安全帽的数据,通过云计算和大数据技术进行分析和处理,提取有价值的信息<sup>[2]</sup>。可视化展示:平台通过大屏幕或移动设备,实时展示现场的音视频数据和环境信息,为指挥人员提供直观的决策支持。智能分析:平台内置的人工智能算法,能够自动识别潜在的安全隐患,预测可能的风险,并提出相应的应对措施。应急响应:平台具备强大的应急响应能力,能够在发生紧急情况时,迅速启动应急预案,指挥现场人员采取有效措施,确保人员安全。④数据安全与隐私保护。

## 2.3 融合应用的具体案例分析

为了更好地说明音视频智能安全帽与应急指挥平台的融合应用,通过以下几个具体案例进行分析:

### 2.3.1 建筑工地应急响应

某大型建筑工地在施工过程中,突然发生了一起严重的安全事故,多名工人被困在坍塌的建筑物中。现场的智能安全帽实时采集了事故现场的音视频数据,并通过无线网络传输到应急指挥平台<sup>[3]</sup>。所有被困工人被成功救出,事故现场得到有效控制。智能安全帽与应急指挥平台的融合应用,显著提高了应急响应的效率和效果。

### 2.3.2 矿山救援

某矿山在开采过程中,突然发生了一起矿井坍塌事故,多名矿工被困在井下。现场的智能安全帽通过内置的传感器,实时监测矿工的生理状态和环境信息,并将数据传输到应急指挥平台。平台接收到数据后,迅速启动应急预案,指挥救援队伍进入矿井进行搜救。所有被困矿工被成功救出,事故现场得到有效控制。智能安全帽与应急指挥平台的融合应用,不仅提高了救援的效率,还确保了救援人员的安全。

## 3 智能安全技术 in 音视频智能安全帽中的应用

### 3.1 视频监控与识别技术

视频监控与识别技术是音视频智能安全帽的核心功能之一,通过集成高清摄像头和先进的图像处理算法,能够实现实时视频监控和智能识别。高清摄像头能够捕捉到工作现场的高清晰度视频,确保监控画面的清晰度和细节。智能识别技术能够对视频内容进行实时分析,识别出潜在的安全隐患。例如,通过人脸识别技术,智能安全帽可以

快速识别现场工作人员的身份,确保只有授权人员进入特定区域。物体识别技术能够检测到危险物品或异常物体,及时发出警报。行为识别技术则能够监测工作人员的行为,如发现违规操作或异常行为,系统会立即通知相关人员进行处理。

### 3.2 音频采集与分析技术

音频采集与分析技术在音视频智能安全帽中同样发挥着重要作用。通过集成高灵敏度麦克风,智能安全帽能够实时采集现场的音频信息。这些音频信息不仅包括工作人员的语音交流,还包括环境中的各种声音,如机器运转声、警报声等。

音频分析技术能够对采集到的音频数据进行智能处理,识别出潜在的危险信号。例如,通过声纹识别技术,可以识别出特定人员的语音,确保指令的准确传达。

### 3.3 环境感知与预警技术

环境感知与预警技术是音视频智能安全帽的重要组成部分,通过集成多种传感器,能够实时监测工作现场的环境参数、气体浓度等。这些传感器能够将采集到的数据传输到智能安全帽的处理单元,进行实时分析和处理。

温度传感器能够监测现场的温度变化,对于高温作业环境,可以及时发出高温警报,提醒工作人员采取防护措施。气体传感器能够监测有害气体的浓度,如一氧化碳、硫化氢等,一旦检测到有害气体超标,系统会立即发出警报,确保工作人员的安全。

### 3.4 数据传输与处理技术

数据传输与处理技术是音视频智能安全帽实现智能化功能的关键。通过集成无线通信模块,智能安全帽能够实时传输视频、音频和环境感知数据到指挥中心或其他终端设备。无线通信技术包括 Wi-Fi、蓝牙、4G/5G 等,能够确保数据的快速、稳定传输。

数据处理技术则负责对传输到指挥中心的数据进行实时分析和处理。通过云计算和大数据技术,可以对大量数据进行高效处理,提取有价值的信息。例如,视频数据可以通过云计算平台进行实时分析,识别出潜在的安全隐患;音频数据可以通过语音识别技术转化为文本,便于后续处理。

## 4 应急指挥平台系统中智能安全技术的优化与改进

### 4.1 智能化算法的优化

在应急指挥平台系统中,智能化算法的优化是提升整体性能的关键。算法的优化需要针对不同的应用场景进行定制化设计。例如,在视频监控与识别技术中,深度学习

算法可以用于实时识别现场的异常行为,如火灾、人员摔倒等。通过引入卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN),可以显著提高识别的准确率和速度。

在音频采集与分析技术中,优化算法可以提升语音识别的准确率和实时性。利用自适应滤波器和声源定位技术,可以有效滤除背景噪声,提高语音信号的清晰度。结合自然语言处理(NLP)技术,可以实现对语音内容的语义理解和情感分析,为应急指挥提供更加精准的信息支持。

环境感知与预警技术中的算法优化也至关重要。通过引入多传感器融合技术,可以综合多个传感器的数据,提高环境感知的准确性和可靠性。例如,结合温度传感器、湿度传感器和烟雾传感器的数据,可以更准确地判断火灾的风险。

### 4.2 数据处理能力的提升

数据处理能力的提升是应急指挥平台系统高效运行的重要保障。数据采集的高效性和准确性是基础。通过优化传感器布局和数据采集频率,可以确保数据的实时性和完整性。利用边缘计算技术,可以在数据采集端进行初步处理,减少传输到中心服务器的数据量,提高系统的响应速度。

数据传输的优化也是提升数据处理能力的关键。通过采用高效的通信协议和数据压缩技术,可以显著减少数据传输的延迟和带宽占用。例如,使用 5G 通信技术可以实现低延迟、高带宽的数据传输,确保实时数据的快速传输。

数据存储和管理的优化同样重要。例如,使用 Hadoop 和 Spark 等大数据处理框架,可以对海量数据进行分布式分析和处理,提高数据处理的并行性和效率。

### 4.3 系统稳定性的增强

系统稳定性的增强是确保应急指挥平台系统长期可靠运行的必要条件。硬件设备的稳定性和可靠性是基础。例如,使用双电源供应和冗余网络设备,可以确保在单点故障时系统的正常运行。

软件系统的稳定性同样重要。通过引入自动化测试和持续集成(CI/CD)技术,可以确保软件系统的稳定性和可靠性。例如,使用单元测试和集成测试,可以及时发现和修复代码中的错误。通过自动化部署和回滚机制,可以快速响应和处理系统故障,减少系统宕机时间。

网络环境的稳定性也是系统稳定性的关键因素。通过优化网络架构和采用高可用性网络技术,可以提高网络的稳定性和可靠性<sup>[4]</sup>。例如,使用负载均衡技术和多路径传输技术,可以实现网络流量的均衡分布和故障切换,确保网络的高可用性。

#### 4.4 用户体验的改善

用户体验的改善是提升应急指挥平台系统用户满意度的重要途径。界面设计的优化可以提高用户的操作便捷性和直观性。通过采用现代化的用户界面设计和交互技术,可以实现简洁、直观的用户界面。例如,使用响应式设计,可以确保在不同设备和屏幕尺寸上的良好显示效果。

功能的完善和优化也是提升用户体验的关键。通过不断丰富和优化系统功能,可以满足用户的多样化需求。例如,增加实时视频监控和远程控制功能,可以实现对现场情况的实时监控和远程操作。通过引入智能推荐和个性化设置,可以为用户提供更加个性化的服务和体验。

培训和支持的提供也是提升用户体验的重要手段。通过提供详细的用户手册和在线帮助文档,可以指导用户快速上手和使用系统。通过定期举办培训和研讨会,可以提高用户的操作技能和应用水平。

### 5 智能安全帽及应急指挥平台系统的实际应用效果评估

#### 5.1 应用效果的定性分析

智能安全帽与应急指挥平台系统的融合应用在多个领域取得了显著的成效。在施工现场的安全管理方面,智能安全帽能够实时监控工人的作业环境,通过内置的摄像头和麦克风,及时发现并记录潜在的安全隐患。例如,在某大型建筑工地上,智能安全帽成功识别出多名工人未佩戴安全带,系统立即发出警报,提醒现场管理人员进行干预,有效避免了多起可能的事故。

在应急救援方面,音视频智能安全帽的实时视频传输功能为指挥中心提供了第一手的现场信息。在一次化工厂泄漏事故中,救援人员佩戴的智能安全帽将现场的视频画面实时传输到指挥中心,指挥中心根据这些信息迅速制定了救援方案,大大提高了救援效率。智能安全帽的环境感知功能也发挥了重要作用,能够实时监测有毒气体浓度,为救援人员的安全提供了保障。

#### 5.2 应用效果的定量评估

为了更科学地评估音视频智能安全帽与应急指挥平台系统的应用效果,我们进行了多项定量分析。通过对比引入智能安全帽前后的事故率,我们发现事故率显著下降。

在应急救援方面,我们统计了智能安全帽在多个救援行动中的表现。以某次化工厂泄漏事故为例,智能安全帽的实时视频传输功能使得救援时间从之前的 30 分钟缩短到 10 分钟,救援效率提高了 66.7%。智能安全帽的环境感知功能也显著提高了救援人员的安全性,有毒气体浓度监测数据的实时传输使得救援人员能够及时采取防护措施,

避免了多起中毒事故。

#### 5.3 存在的问题与改进措施

尽管音视频智能安全帽与应急指挥平台系统的应用取得了显著成效,但在实际使用过程中仍存在一些问題。智能安全帽的电池续航能力有限,需要频繁充电,影响了其在长时间作业中的使用。为了解决这一问题,可以考虑采用更高容量的电池或开发无线充电技术,提高设备的续航能力。

智能安全帽的视频传输质量在复杂环境中容易受到影响,尤其是在信号不佳的地下或隧道中。为了解决这一问题,可以优化视频传输算法,提高视频传输的稳定性和清晰度。可以在关键区域增设信号增强设备,确保视频传输的畅通。

智能安全帽的数据处理能力仍有提升空间。在处理大量数据时,系统可能会出现延迟或卡顿现象,影响用户体验。为了解决这一问题,可以优化数据处理算法,提高系统的处理速度和效率。可以引入云计算技术,将部分数据处理任务转移到云端,减轻设备的负担。

### 6 智能安全帽及应急指挥平台系统的发展前景与挑战

#### 6.1 技术发展趋势

随着科技的不断进步,音视频智能安全帽及应急指挥平台系统的发展前景十分广阔。人工智能技术的不断成熟将为智能安全帽带来更多的功能。例如,通过深度学习算法,智能安全帽可以实现更精准的图像识别和语音识别,从而提高安全监测的准确性和及时性。边缘计算技术的发展将使智能安全帽具备更强的本地处理能力,减少数据传输延迟,提高系统的响应速度。

物联网技术的广泛应用将进一步推动智能安全帽与应急指挥平台的深度融合。通过物联网技术,智能安全帽可以与其他智能设备和传感器进行实时数据交换,形成一个全方位的智能安全网络。这不仅提高了数据的完整性和准确性,还使得应急指挥平台能够更加全面地掌握现场情况,做出更加科学的决策。

5G 通信技术的普及将为音视频智能安全帽及应急指挥平台系统带来革命性的变化。5G 技术的高速率、低延迟和大连接数特性,使得大规模的高清视频传输成为可能,从而极大地提升了系统的实时性和可靠性。

#### 6.2 市场需求变化

随着社会对安全生产和应急管理的重视程度不断提高,音视频智能安全帽及应急指挥平台系统的市场需求也在不断增长。工业领域对智能安全帽的需求日益增加。

公共安全领域的市场需求也在不断扩大。在城市安全、交通管理、大型活动安保等方面,音视频智能安全帽及应

急指挥平台系统可以提供全方位的监控和管理。例如，在大型活动安保中，智能安全帽可以实时传输现场视频和音频，帮助指挥中心全面掌握现场情况，及时做出决策。

应急管理领域对智能安全帽及应急指挥平台系统的需求也在不断增加。在自然灾害、事故灾难等突发事件中，智能安全帽可以提供实时的现场数据，帮助救援人员快速了解现场情况，制定科学的救援方案。应急指挥平台可以实现多部门、多单位的协同作战，提高应急响应的效率和效果。

### 6.3 面临的挑战与应对策略

尽管音视频智能安全帽及应急指挥平台系统的发展前景广阔，但也面临着系列的挑战。技术挑战是不容忽视的。虽然人工智能、物联网、5G 等技术的发展为系统提供了强大的支持，但如何将这些技术有效地应用于实际场景中，仍然需要解决许多技术难题。

数据安全和隐私保护也是重要的挑战之一。智能安全帽和应急指挥平台系统涉及大量的敏感数据，如何确保这些数据的安全性和隐私性，防止数据泄露和滥用，是系统设计和应用中必须考虑的问题。为此，需要采用先进的加密技术和安全协议，建立严格的数据管理和访问控制机制。

法律法规的挑战也不容忽视。随着智能安全帽及应急指挥平台系统的广泛应用，相关的法律法规也在不断完善。为此，需要加强与政府部门的沟通和合作，确保系统的应用符合相关法律法规的要求。

用户接受度和使用习惯也是影响系统推广的重要因素。虽然智能安全帽及应急指挥平台系统具有许多优势，但如何让用户接受并习惯使用这些系统，仍然需要做大量的工作。为此，需要加强用户培训和宣传，提高用户的使用技能和安全意识，同时不断优化系统的用户体验，使其更加符合用户的需求和习惯。

## 7 结论

通过本研究，我们对音视频智能安全帽及其在应急指

挥平台系统中的应用进行了全面而深入的探讨。这些技术的应用不仅提高了安全帽的功能性和实用性，还为现场作业提供了更多的安全保障。应急指挥平台系统是现代应急管理的重要工具，它通过集成多种信息源，实现对突发事件的快速响应和有效处置。系统的核心功能包括实时监控、数据分析、决策支持和指挥调度。将音视频智能安全帽与应急指挥平台系统进行融合，可以显著提升应急响应的效率和效果。智能安全帽作为前端数据采集设备，能够实时传输现场的音视频信息，为指挥中心提供第一手资料。视频监控与识别技术、音频采集与分析技术、环境感知与预警技术以及数据传输与处理技术在音视频智能安全帽中得到了广泛应用。为了进一步提升系统的性能，我们对智能化算法、数据处理能力、系统稳定性和用户体验进行了优化。通过引入更先进的算法和硬件设备，系统的响应速度和数据处理能力得到了显著提升。随着社会对安全和应急响应要求的不断提高，市场对音视频智能安全帽和应急指挥平台系统的需求将持续增长。

### [参考文献]

- [1]李岳松.应急广播指挥调度平台系统设计[J].信息与电脑(理论版),2023,35(22):109-111.
  - [2]李小涛,兰瑞田,钟剑飞,等.天津市防洪调度应急指挥平台遥感监测系统设计与实践[J].中国水利,2025(4):56-64.
  - [3]揭俊业.综合管廊管控平台的应急指挥系统[J].价值工程,2025,44(32):67-71.
  - [4]孙建平,瑞德保安全生产应急救援指挥调度平台[Z].浙江省,瑞德保信息科技(浙江)股份有限公司,2023-12-10.
- 作者简介: 陈鹏仁(1985.3—),男,毕业院校:中共甘肃省委党校,所学专业:国民经济,当前就职单位:甘肃省白银公路事业发展中心,职务:白银公路段段长,职称级别:高级工程师。

## 基于人工智能的电力营销服务精准化策略研究

陈维镜<sup>1</sup> 陈维辉<sup>2</sup>

1. 国网宁德供电公司城区供电分部, 福建 宁德 352100

2. 宁德市供电服务公司霞浦分公司, 福建 宁德 352100

**[摘要]**随着智能电网以及能源数字化不断发展, 电力营销正从传统的粗放管理模式朝着精细化与智能化的方向转变。人工智能有着强大的数据分析能力以及智能优化能力, 已然成为提升电力营销精准化的关键技术。它能够通过分析大量的用户数据来构建精准的用户画像, 进而达成营销信息精准投放以及服务资源优化的目的, 以此提高营销转化率以及响应速度。并且, 智能客服、负荷预测还有自动化营销平台的应用, 也在很大程度上提升了企业的运营效率以及业务创新能力。本论文从电力营销精准化的重要性、应用模式以及策略路径这三个方面展开相关研究, 说明人工智能不但能够助力提供个性化服务, 而且可以推动需求侧管理和综合能源服务的升级, 从而为电力企业应对市场竞争以及能源转型给予有力支持。

**[关键词]**人工智能; 电力营销; 精准化服务

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17952

中图分类号: F274

文献标识码: A

## Research on Precision Strategy of Electric Power Marketing Services Based on Artificial Intelligence

CHEN Weijing<sup>1</sup>, CHEN Weihui<sup>2</sup>

1. Urban Power Supply Division of State Grid Ningde Power Supply Company, Ningde, Fujian, 352100, China

2. Xiapu Branch of Ningde Power Supply Service Company, Ningde, Fujian, 352100, China

**Abstract:** With the continuous development of smart grids and energy digitization, power marketing is shifting from the traditional extensive management mode to the direction of refinement and intelligence. Artificial intelligence has powerful data analysis and intelligent optimization capabilities, and has become a key technology for improving the precision of power marketing. It can analyze a large amount of user data to construct accurate user profiles, thereby achieving the goal of precise marketing information delivery and service resource optimization, which improving marketing conversion rates and response speed. Moreover, the application of intelligent customer service, load forecasting, and automated marketing platforms has greatly improved the operational efficiency and business innovation capabilities of enterprises. This paper conducts relevant research on the importance, application mode, and strategic path of precision in power marketing, demonstrating that artificial intelligence can not only assist in providing personalized services, but also promote the upgrading of demand side management and comprehensive energy services, which providing strong support for power enterprises to cope with market competition and energy transformation.

**Keywords:** artificial intelligence; electricity marketing; precision service

### 引言

随着能源领域数字化进程不断加快以及智能化程度逐步提高, 电力企业在当下面临着诸多挑战。传统的营销方式存在着不少弊端, 比如缺少足够的作为支撑、对市场变化的响应速度较为迟缓且工作效率不高, 这些情况使得其很难契合现代市场所期待的精准服务相关要求。而智能电表以及物联网设备所产生的大量数据, 恰好为依靠人工智能来开展精准营销奠定了基础。借助机

器学习、自然语言处理等一系列技术手段, 人工智能能够对用户的用电行为展开分析, 并且从面向群体的服务转向更加个性化的服务。与此智能客服以及自动化的营销流程在很大程度上提升了企业服务的效率以及运营的质量水平。所以说, 针对人工智能驱动下的电力营销精准化策略展开研究, 对于改进企业管理状况、提高服务品质以及推动能源行业朝着数字化方向发展而言, 有着不容忽视的重要意义。

## 1 电力营销精准化服务的重要性

### 1.1 提升营销转化率与响应速度

提升营销转化率。具体体现在基于客户画像的精准营销策略，能够大幅度提高营销活动目标客户的接受率，个性化产品推荐接受率与传统营销方式相比明显提升，客户对营销信息关注度、参与度也显著改善。提升响应速度。表现为智能化客服系统，可实现对绝大部分常见问题的自动回复，客户咨询处理时间大幅度缩短，业务办理流程经数字化改造使办理周期得到显著压缩。提升营销活动执行效率。体现在营销方案制定时间明显减少，营销活动监控与调整实时性显著增强，营销资源配置精准性使营销活动投入产出比大幅度提升。

### 1.2 支撑电力企业数字化运营与业务创新

人工智能给电力企业搭建数字化运营体系打下了稳固的技术根基，其乃是促使企业业务模式转型以及创新的重要推动力量。在传统模式之中，电力营销管理极度依靠人工经验，决策过程缺少数据方面的有力支撑，服务的方式也比较单一，企业很难迅速地去适应用户需求所发生的种种变化。当人工智能被引入进来之后，企业便能够凭借智能算法达成从数据采集、分析一直到决策执行这一整个流程的优化，如此一来，运营体系也就变得更加智能、更为灵活且更为高效了。比如说，借助对历史用电数据、天气数据等诸多来源的信息展开深度挖掘的方式，企业得以制定出精细化的负荷预测策略，进而为营销活动的制定以及市场交易决策给予科学且合理的依据。与此有 AI 作为支持的人工智能调度、智能计量、智能运维等一系列系统，让企业在管理模式方面实现了全方位的升级，由此推动业务创新能够快速地完成迭代更新。在此情况之下，电力企业可以开发出多种全新的营销产品以及增值服务，像是个性化用能套餐、综合能源服务、用户侧储能服务等等，借此来拓展收入的来源，提升自身在市场当中的竞争力。人工智能一方面推动企业运营模式从传统的电力销售逐渐扩展到综合能源服务领域，另一方面通过提高企业治理的效率，为未来构建现代智慧能源体系筑牢了基础。

## 2 基于人工智能的电力营销精准化应用模式

### 2.1 用户侧智能计量与用能行为分析模式

用户侧的智能计量系统乃是人工智能达成电力营销精准化的重要根基所在。借助智能电表以及数据采集终端这两者，能够实时且有效地获取到诸如用户的用电量、用电时段还有用电曲线方面的诸多变化等一系列详尽且丰富的数据。而这些数据经过高频的采集以及精准的记录之后，便给人工智能算法给予了极为准确的数据输入，进而

促使它能够对用户的行为特征、用能习惯以及负荷变化的规律展开相应的分析。通过运用机器学习模型来针对用户长期的用电模式实施聚类以及分类的操作，企业就能够识别出不同类型用户所具有的需求特征，并且依据这些识别结果去提出个性化的营销策略，比如对于那些高峰负荷表现较为突出的用户，可推送用能优化的相关方案；而对于能耗出现异常情况的用户，则可提供节能预警方面的服务。除此之外，凭借智能计量数据所开展的行为分析，还能够达成对用户用电异常情况的识别，如此一来便可以在设备故障或者用能风险尚未显现之前就提前将其发现，进而有效提升企业服务在主动性以及安全性方面的表现。智能计量和人工智能算法相互结合起来之后，使得电力营销不再像以往那样单纯依靠传统的账单驱动，而是转变成了依托行为洞察所形成的深度服务模式，从而为精准化的电力营销筑牢了坚实的数据根基。

### 2.2 用户画像构建与精准营销推荐模式

用户画像是人工智能于电力营销里达成精准化服务的关键核心技术之一。其通过将用户基本信息、用电行为、消费偏好以及电力业务办理记录等诸多来源的数据加以整合，进而构建起带有多个维度标签的用户特征模型。依靠深度学习算法，用户画像可以持续地自我更新与优化，达成针对不同类型的用户开展差异化营销的目的。依据用户画像，企业能够实现精准营销推荐，比如给高用能用户推送节能改造服务，为有储能潜力的用户推荐储能设备套餐，替电动汽车用户推荐充电优惠方案等等。相较于传统的营销方式，精准营销推荐模式不但提升了营销内容与需求的契合程度，还极大地提高了用户参与以及接受的程度。与此借助对用户生命周期价值的预测，企业可更为妥善地制定营销资源配置方案，防止出现营销资源浪费的情况，提升营销管理的科学性水平。用户画像与智能推荐技术的应用，使得电力营销从以往的群体化推送转变为个性化的触达方式，达成了“千人千面”的精细化服务模式。

### 2.3 智能客服、智能问答与服务自动化模式

智能客服系统属于人工智能于电力营销范畴内的关键应用场景，借助语音识别、自然语言处理等技术达成对用户所提问题的自动识别以及精准回应。智能客服可处理诸如费用查询、账单解释、停电信息告知、业务办理指南等常见业务，并且经由对用户提问意图展开分析，能够实时给出个性化服务提议。智能问答系统正逐步取代人工去处理数量众多的重复性问题，进而实现全天候的服务状态，切实解决了人工客服在高峰期出现的拥堵状况，提高了用户的满意程度以及服务的效率。与此服务自动化的模式经

过对业务流程实施数字化改造,达成了从数据读取、服务指令发起直至反馈闭环的自动执行操作,使得像欠费提醒、能效分析推送、异常用电告警这类服务可以自动完成。而且,智能客服和人工客服协同配合的方式也提升了处理复杂问题的能力,凭借智能分流机制,人工客服着重处理高复杂度的业务,由此让整个服务体系变得更为高效、更加专业。这种模式的应用不但降低了企业的运营成本,还促使电力服务从人工主导朝着智能主导的方向进行转变。

#### 2.4 AI 驱动的负荷预测与需求响应管理模式

人工智能于负荷预测以及需求响应管理当中所发挥的作用愈发明显起来。借助深度学习模型来针对用户的历史用电数据、气象数据、节假日方面的因素还有产业经济指标等诸多维度的信息展开处理操作, AI 预测模型便可以较为精准地预测出短期以及长期的负荷变化趋向,进而为电力企业在制定营销策略、安排电网调度等相关事宜上给予重要的参考依据。更为精确的负荷预测能够在一定程度上削减容量冗余情况,缓解电网所承受的压力,提升企业运营在经济层面以及安全层面的状况。就需求响应来讲,人工智能能够依据实时用电负荷的变化情况以及用户的行为模式,去对用户的可调节负荷加以识别并做出评估,由此制定出个性化的需求响应方案。比如说,在电网处于用电高峰时段的时候,系统是能够自动地向用户推送错峰用电的相关建议的,又或者会给出一定的激励机制来鼓励用户参与到需求响应当中来。人工智能算法还能够对需求响应的执行成效展开动态的评估,并且针对不同用户群体的响应能力实施分级式的管理举措,使得需求响应管理变得更加精准、更具灵活性。由 AI 所驱动的负荷预测与需求响应模式,能够让电力企业更为高效地实现供需的匹配工作,降低负荷出现的峰值情况,以此推动营销活动和电网运行达成协同优化的状态。

### 3 基于人工智能的电力营销服务精准化策略

#### 3.1 构建数据驱动的精准化营销体系

构建起数据驱动的精准化营销体系,这可是电力企业达成智能服务的关键所在。企业得着手去建立并且完善数据采集以及管理方面的体系,借助智能计量设备、服务平台等诸多渠道来获取诸如用户的基本信息、行为数据还有用能状态等不同维度的数据,而后凭借数据清洗、数据融合以及数据建模等一系列操作来构建出高质量的数据资源。在这样的基础之上,通过引入人工智能模型针对数据展开深度分析,进而实现对用户的分类、对需求的预测以及对价值的评估,如此便能为精准营销给予科学层面的依据。除此之外,企业还需建立起营销数据可视化的平台,

以便让管理者可以实时且全面地掌握营销活动的实际执行状况以及用户的反馈情况,从而能够依据这些情况做出动态的调整。通过构建起数据驱动的体系,电力企业能够促使营销过程从单纯依靠感性来进行决策转变为依据科学来进行决策,使得服务策略变得更加精准、更为高效。

#### 3.2 完善智能化服务流程与营销闭环管理

完善服务流程对于确保人工智能应用取得成效而言,属于极为关键的一个环节。企业需要积极推动营销流程朝着全面数字化的方向去发展,借助智能系统达成从用户需求识别开始,经由营销活动设计,一直到执行反馈这样一个全过程的自动化以及闭环管理状态。在此过程当中,人工智能技术能够凭借对用户行为以及市场变化的实时监测,自动针对营销策略做出相应的优化操作,进而让企业得以实现依据数据展开的动态营销模式<sup>[1]</sup>。就好比说, AI 是能够察觉到用户对于某一类服务的兴趣所发生的变动情况,并且会自动地去调整推送策略,以此来促使营销精准度得以提升。除此之外,还应当着手建立起服务质量评价的相关机制,借助智能分析客户所给出的反馈信息,不断地对服务流程加以改进,从而使得营销活动具备更强的针对性以及更好的适应性。

#### 3.3 加强 AI 技术与传统营销业务深度融合

要让人工智能充分彰显其价值,电力企业务必要达成技术同营销业务的深度融合状态。需积极推动营销人员去掌握 AI 工具,以此提升他们运用技术的能力,进而降低技术与业务之间存在的壁垒<sup>[2]</sup>。要把 AI 技术融入营销业务的关键环节当中,像用户识别、产品设计、活动执行以及服务维护等方面,让人工智能不只是当作技术工具来使用,更要让它成为营销的核心推动力量。企业还需构建跨部门协同的工作机制,促使技术部门和营销部门一同参与到服务方案的制定以及优化工作里来。凭借这种深度融合的方式,企业可以形成“技术驱动业务发展、业务推动技术不断进步”的良性循环模式,持续提升营销体系的智能化程度。

#### 3.4 推动智能营销平台建设与多渠道协同服务

构建智能营销平台对于达成精准化服务而言,其重要基础的地位无可取代。这个平台需要把智能客服系统、营销管理系统以及数据分析系统等多项功能予以整合起来,进而实现营销业务能够做到一体化的管理。借助于平台化的建设举措,企业便能够对用户数据、营销活动还有服务响应加以统一管理,让各个渠道的信息能够实现高度的互通状态<sup>[3]</sup>。除此之外,企业还需积极推动线上线下多渠道协同服务模式的开展,要通过手机 APP、微信公众号、

智能终端以及营业厅等诸多渠道来给用户提供一个一致且连贯的服务体验感受。人工智能凭借跨渠道行为识别技术,能够识别出用户在不同渠道所留下的互动轨迹,如此一来便能实现更为精准的服务以及营销内容的推送操作。依靠多渠道协同服务的方式,企业可拓宽服务所能触及到的范围,提升用户的黏性程度,进而形成一个更为完善的营销服务体系。

#### 4 结语

人工智能乃是能源数字化转型的关键驱动力量,其赋予电力营销精准化全新的技术根基。于智能计量、用户画像、智能客服以及负荷预测等诸多应用层面而言,电力营销已然呈现出从传统模式朝着智能化、精细化方向发展的态势。在往后的日子里,伴随人工智能同业务达成更为深度的融合,电力企业会从单纯的供应商转变成为智慧能源服务的提供者。要达成这一目标,那就得完善数据治理工

作,强化智能平台的建设事宜,同时还要提升组织以及管理方面的相应能力。从整体情况来看,人工智能会在提高电力企业的竞争力、优化用户的使用体验以及推动可持续发展等方面起到核心的作用。

#### [参考文献]

- [1]李雅楠.数据驱动的电力营销精准化服务研究[J].现代营销,2025(30):161-163.
- [2]石欣.电力营销服务质量提升路径研究[J].销售与管理,2025(23):96-98.
- [3]王红.基于大数据技术的电力营销服务资源精细化配置策略分析[J].电子技术,2024,53(9):196-197.

作者简介:陈维镜(1994.2—),男,毕业院校:华北电力大学(北京)电气与电子工程学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:城区供电分部,职务:大客户服务班班长。

# 征 稿

《智能城市应用》由新加坡Viser Technology Ptd Ltd主办, ISSN: 2717-5391 (印刷)。本刊长期以来注重质量, 编排规范, 选稿较严格, 学术水平较高, 深受高校教师及科研院所研究人员的青睐。本刊为开源 (Open Access) 期刊, 出刊的所有文章均可在全球范围内免费下载, 中国知网、维普网等权威数据库收录。

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

《智能城市应用》期刊的主要栏目有:

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

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

征文格式与要求:

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

(2) 论文格式: 题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要 (150字符-300字符为宜) 及关键词 (3-5组为宜)、正文、参考文献。(附个人简历、邮箱、联系方式及详细收件地址, 如: 省、市、区、路)。

(3) 论文篇幅: 字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址: [www.viserdata.com](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)

ISSN 2717-5391



9 772717 539258

09 >