www.viserdata.com

智能城市应用

月刊

SMART CITY APPLICATION

■ 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 7

第8卷 总第63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7期（总第63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： 7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

美工编辑： 李　亚　　Anson Chee

印　　制： 北京建宏印刷有限公司

定　　价： SGD 20.00

本刊声明

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

版权所有，未经许可，不得翻译、转载本刊所载文章。

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

目　录

CONTENTS

城乡规划

城乡规划与乡村振兴融合发展探究 ..... 孙宝庆 1

国土空间规划背景下城乡空间融合规划探索 ..... 孙宝庆 4

市政园林

城市内涝防治中给排水系统与景观设计的融合路径 ..... 李　成 7

路桥与交通

铁路交通运输过程中安全运输的措施探讨 ..... 吴　彬 10

路桥施工技术对软土地基处理方法探讨 ..... 吴　锋 13

轨道交通地下车站空调冷凝水回收利用探究 ..... 汪　瑛 16

城市轨道交通突发事件应急调度与协同联动机制优化研究 ..... 周　权 20

浅析铁路行车安全风险管理的有效策略 ..... 何海翔 23

数字化管理在现代公路建设项目中的实践与发展 ..... 蒋燕茹 26

基于抗震性能提升的桥墩结构创新设计研究 ... 金京京 29

高速公路路基养护过程中存在的问题及其应对策略研究 ..... 汪　勇 32

复杂地质条件下桥梁基础施工技术研究 ..... 胡　浩 35

通讯通信技术

园区综合能源智慧管理运营中心建设探究 ..... 刘聪硕　杜　欢　杨朋勃　王存雷　任军戈 38

论城市轨道交通信号系统互联互通发展的思考 ..... 李天然 41

基于 MPLS-TP 的电力专用通信网络组网方案与可靠性分析 ..... 杨　洋　常宛露　王松瑞 45

5G 通信技术在电子智能机房设备运维中的应用 ..... 常鹤立 48

虚拟现实技术在计算机通信中的应用研究 ..... 汤　宁 51

基于红外传感器的工地防失足安全系统 ..... 陈耀东　徐志浩　吴　江　张雪梅 54

施工技术

房建工程中混凝土施工质量控制措施分析 ..... 王　瑞 58
建筑工程施工中深基坑支护施工技术管理探讨 ..... 王作柱 61
公路路基工程换填法施工技术的应用探讨 ..... 方　勇 64
老旧建筑结构加固改造工程中常见问题与技术对策探讨 ..... 卓　庆　欧雨玄　卓　彬 67

工程管理

基于 BIM 技术的建筑工程技术类项目成本管理与资源调配研究 ..... 刘运飞 71
BIM 技术在房建施工管理中的集成应用研究 ..... 张　威　罗凯旋 74
工程造价跟踪审计在建筑工程全过程中的应用探究 ..... 张　铭 77
建设工程质量监督管理模式创新与实践研究 ..... 华月玲 80
建筑工程造价的动态管理控制措施研究 ..... 李新鸿 83
建筑工程管理中精细化管理的应用与效果评估 ..... 管颢帆 86

节能环保

绿色建筑材料在城市道路建设中的应用和效益分析 ..... 裴彦龙 89

机械机电

高速公路机电设备故障的预防及控制 ..... 覃福运 92
信息化时代工程制图数字化教学模式探究 ..... 张玲莉　万铭谦 95
智能化背景下煤矿机电设备远程监控与故障预警技术研究 ..... 韩春旭 98
机电工程电气施工中的难点和应对策探讨分析 ..... 路瑶瑶 101
高速公路机电设备故障维修与维护措施 ..... 黄　崇 104

自动化技术

电气自动化设备故障预防及检修方法探讨 ..... 张丰收 107
对电气自动化工程中的节能设计技术浅析 ..... 王　悦 110

智慧数据分析

从“被动监测”到“主动防控”：城市噪声治理的智能化转型趋势 ..... 王安银 113
消防机器人路径智能规划系统优化方法研究 ..... 陈　虎 116
城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统的设计与实现 ..... 王元贵 119

勘察测绘

基于 RTK 技术的无人机高精度地形绘方法研究 ..... 寇永涛 123
深基坑支护结构设计中的地质参数敏感性分析 ..... 傅显显 126

城乡规划与乡村振兴融合发展探究

孙宝庆
淮南市毛集镇人民政府，安徽 淮南 232000

[摘要]总体概述城乡规划和乡村振兴融合发展现状，首先融合发展的可行性以及存在的必要性，其次总结关键问题，最后针对问题提出相关策略，如加强顶层设计、推动产业协同、让设施更加均等化、创新治理模式之类的。研究指出只有借助空间治理工具给予系统性的赋能，并且让城乡要素能够高效地流动起来，才能够构建起城乡共生共荣的新发展格局，给农业农村现代化持续不断地注入动力。

[关键词]城乡规划；乡村振兴；融合发展
DOI：10.33142/sca.v8i7.17117　　中图分类号：TU201　　文献标识码：A

Exploration into the Integrated Development of Urban and Rural Planning and Rural Revitalization

SUN Baoqing
Huainan City Maoji Town People's Government, Huainan, Anhui, 232000, China

Abstract: Overall overview of the current situation of integrated development of urban and rural planning and rural revitalization. Firstly, the feasibility and necessity of integrated development are discussed. Secondly, key issues are summarized. Finally, relevant strategies are proposed to address these issues, such as strengthening top-level design, promoting industrial collaboration, making facilities more equal, and innovating governance models. Research has pointed out that only by using spatial governance tools to provide systematic empowerment and enabling efficient flow of urban and rural factors can a new development pattern of urban-rural coexistence and prosperity be established, injecting continuous impetus into the modernization of agriculture and rural areas.

Keywords: urban and rural planning; rural revitalization; integrated development

城乡规划作为对城乡空间布局、土地利用以及各项建设活动进行综合部署和安排的重要手段，在促进城乡协调发展中起着关键作用。党的二十届三中全会指出，“城乡融合发展是中国式现代化的必然要求。必须统筹新型工业化、新型城镇化和乡村全面振兴，全面提高城乡规划、建设、治理融合水平，促进城乡要素平等交换、双向流动，缩小城乡差别，促进城乡共同繁荣发展”。乡村全面振兴必须融入到城乡融合发展中，深入研究两者融合发展的路径具有重要的理论和实践意义。

1 城乡规划与乡村振兴融合发展可行性与必要性

1.1 国家战略导向与政策支持奠定融合基础

中共中央、国务院在 2023 年出台的《关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》，还有《“十四五”新型城镇化实施方案》都清楚地把城乡融合放在了国家发展的重要位置上，强调要充分发挥规划所具有的战略引领以及刚性管控方面的作用。到了 2024 年，国家发展改革委批准的城乡融合发展试验区其范围已经扩大到了全国 128 个县（市、区），这无疑为相关政策的切实落地营造出了极为丰富的实践场景。这些从上而下精心设计的制度安排，给城乡规划能够深入参与到乡村振兴当中构筑起了一套十分稳固的行动框架，进而让全域全要素的统筹运作变得有了实现的可能性。在 2025 年的时候，财政部携手农业农村部共同设立了“城乡融合专项债券”，其首批的发行规模达到了 1200 亿元之多，着重对跨区域的基础设施联通项目予以支持，从资金这个关键端口进一步强化了规划能够顺利落地实施的可行性。

1.2 城乡要素双向流动与互补共生创造融合需求

乡村所蕴含的生态资源、土地潜力以及文化底蕴和城市所拥有的资本、技术、人才之间形成了天然的互补关系。自然资源部在 2025 年所开展的调查显示，试点区域城乡建设用地增减挂钩节余指标跨省域调剂资金的累计金额超过了千亿元，这对于乡村建设起到了有效的反哺作用。城乡要素的对流以及重组迫切需要规划这一空间治理工具箱发挥出桥梁的作用，借助科学的空间管控以及资源配置手段，把城市的动能有序地导入到乡村当中，与此同时还要守护好乡村的本底价值，进而达成“以城带乡、以乡促城”的良性循环状态[1]。2024 年人社部所公布的数据说明，乡村数字经济人才回流的增长率达到了 15.7%，这样的“技术返乡”现象给规划引导产才融合提供了全新的切入点。

1.3 城乡规划作为空间治理工具赋能乡村振兴

城乡规划所秉持的核心价值就在于它具备对空间资源加以系统性整合的能力，同时还能引导实现可持续发展。在乡村振兴这样的大背景之下，规划能够极为精准地去识

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

别乡村地域所具有的功能以及潜在的空间潜力，依据科学的方式划定“三区三线”，并且对村庄布局以及产业用地配置予以优化，另外还能够为基础设施和公共服务设施网络的一体化建设给出相应的空间落点方案。正是这样一种能够统筹协调以及实现空间落位的核心能力，让城乡规划成为了破解乡村空间出现碎片化、发展陷入低效化等难题时不可或缺的重要手段。规划师通过构建起从“诊断”到“策划”再到“设计”直至“运营”的全周期干预链条，把抽象的战略目标转变成可以切实操作的行动路径，实际上是在对城乡空间的生产关系进行重塑。

2 当前城乡规划与乡村振兴发展存在的主要问题

2.1 规划体系衔接不畅与乡村规划深度不足

城镇总体规划、详细规划以及村庄规划之间普遍存在着内容方面的冲突或者管理上的真空地带，这就使得资源配置在城乡过渡的区域出现了错配的情况。更为凸显的是，大量的村庄规划仅仅停留在对空间形态的浅层次描绘上，对于乡村产业振兴的具体路径、地域文化的传承方式、生态安全的格局构建等这些核心的关键议题，缺乏较为深入的分析研判以及有效的应对举措，使得规划所具备的战略性以及实施性都大打折扣。这样的规划呈现出“碎片化”以及“表面化”的特点，对城乡功能与空间的有机融合形成了极大的制约作用。在规划编制的过程当中，各个部门各自为政的现象十分明显，就像林业部门划定的生态红线和住建部门确定的建设边界，常常会存在空间上相互叠合而产生的冲突情况，2024 年自然资源部在核查的时候发现，这类冲突所占的图斑比例达到了 12.3%。

2.2 产业发展支撑薄弱与城乡产业关联度低

很多乡村地区在产业选择方面常常呈现出同质化的倾向，往往过度依靠传统种植或者低端乡村旅游，而精深加工以及高附加值环节较为薄弱，很难形成具备韧性的产业链条。农业农村部在 2024 年的报告中提到，在县域范围之内，那些能够形成紧密产业链配套的农产品加工企业所占的比例还不足 30%。城乡产业没有依据资源禀赋以及市场需求来构建起高效的协同分工体系，城市所拥有的资本技术优势和乡村的资源禀赋优势也没有通过有效的规划转化成为融合发展的强劲动能[2]。特别要指出的是，像冷链物流、检验检测这类产业配套服务在空间布局方面和生产基地之间存在严重的脱节情况，2025 年中国物流学会所做的调研说明，农产品流通的损耗率达到了 18%，这一比率明显比发达国家 5%至 8%的水平要高出不少。

2.3 基础设施与公共服务设施城乡差距显著

即便投入不断增大，城乡基础设施以及公共服务水平之间的差距依旧十分明显。2024 年住建部所做的统计表明，乡村污水处理的覆盖比例仅仅只有 32.7%，这一比例远远低于城市所达到的 96.5%的水平。在教育、医疗资源方面，城乡之间在资源质量以及获取便利性上存在的差距，长期以来一直都是颇为棘手的问题。这样的差距不但让乡村居民的生活质量有所降低，而且对乡村地区吸引人才、资本等关键要素的能力造成了极为严重的削弱，进而成为了融合发展进程中的一个强制性约束因素。就数字基础设施而言，其差距更是格外突出，2025 年工信部所公布的数据说明，乡村千兆光网的覆盖比例仅为 41.2%，这无疑对智慧农业、远程医疗等新兴业态的发展形成了制约作用。

2.4 实施机制不健全与多元主体协同不足

规划实施普遍面临资金保障不足、监督评估缺位、动态调整机制缺失等困境。特别突出的是，政府、市场、村集体、村民等多元主体间权责边界模糊、利益协调机制不畅。村民作为乡村的主体，其在规划制定与实施中的参与度往往流于形式，内生动力未被充分激活，导致规划蓝图难以真正落地生根，甚至出现“政府干、村民看”的尴尬局面。2025 年北京大学乡村振兴研究院调查表明，村民对规划内容的知晓率不足 40%，参与决策的比例更低于 15%，这种参与缺位直接导致规划与村民实际需求错位。

3 城乡规划与乡村振兴融合发展的策略

3.1 强化顶层设计与规划体系融合：构建全域全要素统筹机制

打破城乡分治的规划壁垒，需要在国土空间规划“一张图”框架之下，推动市县、乡镇以及村庄规划实现纵向贯通，并且让其内容做到无缝衔接。去探索编制能够覆盖城乡的“融合单元”专项规划，重点关注城乡接合部、特色小镇以及中心村等关键节点，对生态、农业、城镇空间还有基础设施网络进行统筹安排。建立起规划动态评估以及协同调整的机制，以此来确保规划能够始终契合融合发展的动态需求，达成空间资源在城乡地域的高效配置以及精准投放。构建规划传导机制，要通过建立“战略目标-空间指标-项目清单”三级传导体系，把市级国土空间总体规划中城乡融合的要求一级一级地分解到村庄建设边界的划定以及宅基地布局方案当中，防止政策效力在层层传递过程中不断衰减。应建立城乡融合发展的规划编制、审批、实施、监督的全链条的管理机制，推动城乡规划从单一的空间布局向综合性的经济社会发展规划转变，将产业发展、生态保护、文化传承、社会治理等多方面的要素纳入规划范畴，实现“多规合一”。同时，要加强规划间的衔接与协调，确保各级规划在目标定位、空间布局、产业发展、基础设施建设等方面相互支撑、相互衔接，形成城乡融合发展的整体规划蓝图。建立健全规划实施的责任机制，明确各级政府、相关部门以及社会主体的责任与义务，确保规划的有效落地。加强规划实施的监督检查，定期对规划实施情况进行评估，及时发现并纠正规划实施中的问题与偏差。同时，要建立健全规划调整的动态机制，根据城乡融合发展的实际情况，适时对规划进行调整与优化，确保规划的适应性与前瞻性。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.2 推动产业空间协同与特色发展：优化城乡产业布局与价值链

规划需引导城乡产业依据各自比较优势来达成错位发展以及链条互补。在城市近郊区，要留出能够承接城市功能疏解以及科技农业、都市型工业发展的弹性空间；在农业主产区，强化高标准农田建设，并且保障产地初加工、精深加工、冷链物流等相关设施的空间需求；在生态文化资源丰富的地方，合理安排生态康养、文化体验等特色业态空间。着重去规划建设城乡产业协同发展的园区、农产品加工集聚区，推动一二三产在空间层面实现深度融合，以此提升乡村产业嵌入区域乃至全球价值链的能力。规划要引导产业空间和创新要素相互融合，如在县域科创中心周边预留“技术转化试验田”空间，促使农业科技成果在当地得以转化，2025 年科技部的试点情况显示，这样的布局能够让技术转化周期缩短 40%。

3.3 促进基础设施与公共服务均等化：实现城乡设施网络一体化

将乡村基础设施以及公共服务设施纳入城镇设施网络当中，以此来开展一体化的规划、建设、运营以及管理工作。着重对能够覆盖城乡的快速交通走廊、能源互联网以及数字信息网络展开规划建设，进而缩短时空方面的距离。依据服务人口以及辐射半径的情况，在中心镇、中心村科学地去布局像教育、医疗、养老、文化这类高品质的公共服务设施节点，以此提升设施共享的程度以及服务的效能[3]。探索诸如“城市服务功能乡村延伸”“区域设施共建共享”等全新的模式，国家发展改革委在 2025 年启动的“城乡公共服务均等化试点工程”便是着重聚焦于这方面的。尤其要创新投融资的模式，借助 TOD（公共交通导向开发）理念，在城郊轨道站点周边去配置商业服务的功能，利用经营所获得的收益来反哺乡村设施的运营工作，2024 年成都的相关实践说明该模式能够让设施维护资金的自给率提升至 63%。

3.4 创新治理模式与激活内生动力：完善共建共治共享实施机制

构建起“政府给予引导、市场负责运作、村社自主开展相关事宜、村民积极参与其中”的多层级协同治理架构。要积极去推广规划师下乡以及社区营造等一系列制度，以此来促使基层规划能力得以提升，同时让其自主性也有所增强。进一步深化农村土地方面的改革举措，切实保障村集体以及农民在规划实施进程当中所拥有的财产权益，还有收益分配方面的权利。需建立健全规划公开等相关制度，像村民议事会以及规划实施监督员等方面的制度都要完善起来，从而让村民能够全程顺畅地参与到各项事务当中。归根结底，只有充分地尊重村民的真实意愿，激发出他们作为主人翁的意识，才能够切实保障规划策略具备持久的生命力，并且确保其实施效能得以发挥，真正达成城乡融合成果的共建共治共享这一目标。可以参考日本“町并保存”的经验做法，去建立“规划积分制”，也就是村民参与环境整治、古建修缮等各类行动所累积的积分，能够兑换成规划优先实施的权利，在 2025 年浙江安吉开展的试点当中，该制度使得村民的参与率提升到了 78%。

4 结束语

城乡规划与乡村振兴的深度融合，乃是破解城乡二元结构难题、达成中国式现代化目标的一条必经之路。其核心要义在于借助空间治理方面的系统性创新举措，对城乡关系予以重新塑造，让各类要素的潜能得以激活，进而促使形成一个优势能够互补、利益可以共享、繁荣可共生的城乡发展共同体。面对当下规划衔接存在不顺畅的情况、产业支撑较为薄弱的状况、设施方面存在明显落差的现状以及实施机制有所缺位等种种挑战，务必要毫不动摇地强化全域范围内的统筹工作、进一步深化产业协同方面的相关事宜、积极推进设施均等化的工作进程以及创新治理模式。在未来的研究以及实践活动中，需要更加集中关注于精细化政策的设计环节、探索适应性的规划方法以及提升多元化主体协同的效能等方面，并且始终秉持以人民为中心的理念，充分尊重乡村自身的发展规律，切实守护好乡土文化的根脉所在，以此来确保融合发展的整个过程都充满着生机与活力并且具备可持续性，最终描绘出城乡各具特色之美、美美与共的美好新时代画卷。

[参考文献]

[1]薛轩.城乡规划视角下乡村振兴的实现路径[J].农村科学实验,2025(9):27-29.
[2]李芳芳.当前我国乡村规划实践面临的问题与对策[J].新型城镇化,2025(7):77-80.
[3]张伟.乡村振兴战略下美丽乡村规划建设探析——以灵璧县沙滩村为例[J].农业科技创新,2025(19):9-11.

作者简介：陈晓宇（1991.10—），男，汉族，毕业院校：南京林业大学，专业：城市规划。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

国土空间规划背景下城乡空间融合规划探索

孙宝庆
淮南市毛集镇人民政府，安徽 淮南 232000

[摘要]我国经济社会发展速度较快，城乡二元结构的弊端逐渐凸显出来，城乡空间割裂这一问题已然变成限制区域协调发展的关键阻碍所在。国土空间规划属于对城乡发展加以统筹的重要制度方面的安排举措，其能够给促进城乡空间达成有机融合给予科学层面的依据以及制度层面的保障。立足于国土空间规划这样的大背景之下，针对城乡空间融合展开探讨，涉及其理论根基、发展目标、当下面临的现实困境以及规划方面的对策等内容。借助合理的空间布局形式以及资源分配方式，推动城乡在经济、社会、生态等各个领域实现协调的发展态势，进而达成城乡一体化以及高质量发展的目标。着重指出需要通过优化空间结构、强化产业之间的联动作用、完善各类基础设施建设情况以及健全相关的制度保障体系等方式，促使城乡空间融合发展能够迈向新的阶段，从而为实现乡村振兴以及区域均衡发展给予规划层面的有力支撑。

[关键词]国土空间规划；城乡空间；融合规划
DOI：10.33142/sca.v8i7.17116　　中图分类号：TU201　　文献标识码：A

Exploration on Urban-rural Spatial Integration Planning under the Background of National Spatial Planning

SUN Baoqing
Huainan City Maoji Town People's Government, Huainan, Anhui, 232000, China

Abstract: With the rapid development of Chinese economy and society, the drawbacks of the urban-rural dual structure have gradually become prominent. The problem of urban-rural spatial fragmentation has become a key obstacle to regional coordinated development. National spatial planning is an important institutional arrangement measure for coordinating urban and rural development, which can provide scientific basis and institutional guarantee for promoting the organic integration of urban and rural spaces. Based on the background of national spatial planning, this paper explores the integration of urban and rural spaces, including its theoretical foundation, development goals, current challenges, and planning strategies. By utilizing reasonable spatial layout and resource allocation methods, we aim to promote coordinated development between urban and rural areas in various fields such as economy, society, and ecology, thereby achieving the goal of urban-rural integration and high-quality development. It is emphasized that it is necessary to optimize the spatial structure, strengthen the linkage between industries, improve the construction of various infrastructure, and establish a sound institutional guarantee system to promote the integration of urban and rural spatial development to a new stage, thereby providing strong planning support for achieving rural revitalization and regional balanced development.

Keywords: national spatial planning; urban and rural space; integrated planning

引言

城乡二元结构一直以来使得资源配置出现不均衡的情况，经济社会发展也处于失衡状态，而且生态环境所面临的压力也在不断增大，这已然成为限制我国社会经济能够持续且健康发展的一个深层次矛盾。在新时代的大背景之下，随着乡村振兴战略不断地向前推进以及新型城镇化逐步走向深化，城乡空间融合便成为了破解这一矛盾极为关键的一条路径。国土空间规划属于国家空间治理方面十分重要的一个抓手，其着重强调对空间结构加以优化以及让各项功能实现协调，进而为统筹城乡发展给予相应的制度方面的依据以及技术层面的支持。当下，城乡空间融合不仅仅涉及到土地资源需要进行合理的配置，还涉及到了产业发展、生态保护等诸多不同维度的协调工作，正面临着不少现实层面的问题与挑战。鉴于此，本文围绕着国土空间规划这样一个视角之下的城乡空间融合规划展开探讨，较为系统地去分析其中的发展愿景、现实所处的困境以及应对的对策路径，尽力为推动城乡能够协调发展以及空间实现一体化建设给予一定的理论参考以及实践方面的参考。

1 基本概述

1.1 国土空间规划

国土空间规划属于我国新一轮空间治理体系的关键部分，其借助科学且合理的空间布局方式，达成资源环境的可持续利用以及经济社会的协调发展这一目标。它包含土地利用、生态保护、城市与乡村发展等诸多方面内容，着重于在区域层面去综合各类资源，清晰界定不同空间的功能定位以及发展边界，进而对国土空间结构予以优化，提高空间利用的效率。国土空间规划的重点在于构建功能

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

分区合理、生态环境良好、生产生活协调的空间体系，这乃是破解长久以来城乡发展不平衡以及空间利用低效难题的有效途径。依靠空间规划所给予的指导，可促使城市群、都市圈以及乡村地区实现有机的衔接，达成城乡资源的互补与共享，推动城乡融合发展进入到更高品质的阶段。

1.2 城乡融合发展

从社会学、人类学理论分析，城乡融合发展是指对代表人类文明进步和落后的城市及农村，经过城乡空间有机融合，改变城乡长期以来的割裂现状，促进城市、农村二元主体不同要素的流动，使城乡在经济、生活上实现有机结合，为城乡和谐、健康发展做铺垫。随着时代的变迁，当前社会矛盾表现为人类对高质量生活的需求无法全面实现，特别是城市、乡村发展呈现的不平衡局面。乡村发展空间极为有限，涉及到国土空间规划的设计问题。在解决这一问题时，应进一步提升国土空间规划的科学性，为城乡融合发展提供持久的驱动力。需要意识到，城乡融合发展的前提是在保障城乡各主体利益得到保障的同时，进一步缩小二元主体的发展差距。全面实现乡村振兴目标，对于缓和当前国家主要矛盾而言具有现实意义。

2 发展愿景：城乡空间融合的目标构建与功能定位

2.1 构建高质量生态空间体系

城乡空间融合的首要目标是构建高质量生态空间体系，着重体现生态环境保护以及绿色发展理念的深度融合。生态空间作为城乡可持续发展的根基所在，需要切实保障自然资源得以合理利用，并且要持续推进生态环境的修复工作，以此来提升空间环境的承载能力以及生态服务的功能作用。借助划定生态保护红线以及生态功能区的方式，进一步强化生态保护和修复的相关举措，推动绿色基础设施的建设进程，促使城市绿地与乡村自然景观能够实现有效地连通，达成生态空间在连续性以及多样性方面的良好状态，从而为城乡居民营造出健康且宜居的生活环境。高质量生态空间体系的构建，一方面提升了城乡整体的环境质量，另一方面也给城乡经济社会活动给予了良好的生态支撑，进而促进了绿色生产与绿色生活达成有机的统一。

2.2 建设功能协调、资源共享、区域均衡的空间一体化格局

城乡空间融合最终要达成的目标是要构建起一种功能能够相互协调、各类资源得以共享并且区域发展较为均衡的空间一体化态势。这里所讲的空间一体化着重于不同地域之间功能的互补以及协同作用，它要打破城乡那种二元对立的壁垒，促使资源以及各种要素可以自由地流动起来并实现优化配置。借助空间规划方面的引导举措，推动城市核心区域与周边乡村在功能上相互补充，进而实现产业、生态以及生活等不同类型空间的协调发展。资源共享这里面不仅仅包含自然资源，而且还涉及基础设施、公共服务以及信息资源等诸多方面。区域均衡主要聚焦于不同区域之间存在的发展差距，推动那些边远地区以及发展相对薄弱的地区向前发展，以此来保障区域社会经济能够平稳有序地发展。空间一体化格局的最终形成是城乡融合发展的一个重要标志，同时也是实现国家区域协调发展战略的关键性支撑所在。

3 现实困境：城乡融合规划中存在的主要问题

3.1 空间布局混乱，功能分区不清

当前城乡融合规划里普遍存在着空间布局杂乱无章、功能分区界限模糊等问题，这些问题对城乡资源的合理利用以及协同发展起到了限制作用。不少地区在开展空间规划工作的时候，并没有清晰明确地划分城乡功能分区，如此一来便使得产业用地、居住用地以及生态用地出现交叉重叠的情况，空间利用的效率变得十分低下，甚至还出现了空间被浪费以及资源产生冲突等现象。这样一种混乱的布局情况削减了城乡融合所具备的内在驱动力，对城乡经济社会功能的优化协同也形成了阻碍。功能分区不清晰还致使基础设施建设以及公共服务布局欠缺针对性与有效性，进一步加剧了城乡发展的不平衡状况，对城乡居民生活质量的提高产生了制约作用。要想推进城乡空间融合，那么解决空间布局混乱这一问题便是前提条件所在。

3.2 生态破坏严重，空间环境承载力下降

城镇化进程加快且经济活动趋向集中，生态破坏问题日益凸显，城乡空间环境承载力遭受严峻考验。无序的土地开发、过度利用自然资源以及生态空间保护力度不够，致使出现水土流失、生物多样性减少及环境污染加重等情况。城乡生态环境变差，既影响居民健康，又限制城乡空间可持续发展。在城乡交界处，生态破坏情况更为突出，生态安全边界持续受到侵蚀，生态系统脆弱性增强。生态环境承载力降低，严重影响城乡融合发展质量与效益，在国土空间规划中要强化生态保护，落实生态红线制度，推动绿色低碳发展。

3.3 产业融合不足，空间配置效率低

城乡空间融合当中，产业融合不足的情况着实算得上是一个颇为突出的问题。具体而言，就是城乡的产业链条呈现出一种割裂的状态，产业布局也是比较分散的，并且还明显缺少协同效应。乡村的产业大多是以传统农业为主，现代产业方面的支撑较为匮乏；反观城市，其产业结构虽说相对来讲是比较完善的，然而对于乡村产业所能起到的带动作用却是相当有限的，如此一来便致使城乡产业的发展出现了脱节的现象。在产业空间配置方面，缺乏有效的规划引导，资源配置也很不合理，产业集聚效应不够强，进而使得空间生产的效率变得很低下。这种状况不但对城乡经济整体竞争力产生了影响，而且还对城乡人口的就业以及收入增长形成了限制，进一步阻碍了城乡居民共同分享发展所取得的成果。所以，要想实现城乡空间融合，那

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

么提升产业融合度，推动产业链条不断地延伸并实现升级，无疑是一条极为关键的路径。

4 对策路径：推动城乡空间融合的规划策略

4.1 优化空间格局，推动多层次统筹规划

优化城乡空间格局以及推动多层次统筹规划，这无疑是一项促进城乡空间融合的基石性举措。要在国家、省、市、县各个层面的空间规划体系当中，构建起一套纵横相互结合且层级清晰明确的规划体系，以此来对城乡用地布局加以统筹安排，清楚地界定各类功能区各自所处的位置以及明确其边界所在，进而达成空间的有序向前发展态势[1]。借助于对区域资源予以整合的操作，合理地划定出城市扩展的边界以及乡村发展的边界，促使城市的功能可以向着周边的乡村不断延伸拓展，推动城市群、都市圈和乡村地区之间展开空间层面的互动交流以及实现融合一体。多层次的统筹规划能够在很大程度上协调不同尺度以及不同层级之间存在的空间关系，提高空间利用的效率并提升生态安全的水平，推动城乡资源实现优化的配置状态以及达成功能上的互补效果，从而为城乡融合发展筑牢坚实的空间根基。

4.2 提升土地利用效率，实现集约化空间管理

提升土地利用效率，达成集约化的空间管理，对于缓解土地资源所面临的紧张状况以及保障城乡能够实现可持续发展而言，是极为关键的。应当秉持节约集约用地的原则，尽力遏制那种无序扩张以及低效利用土地的情况出现，借助土地整治、让闲置土地得以重新盘活、赋予土地复合功能等各类手段，以此来提高土地空间的利用效益。强化针对城乡建设用地展开的动态监测以及管理工作，依据实际情况合理地去调整用地结构，推动工业用地、住宅用地以及农业用地能够做到合理布局[2]。积极推动土地流转以及规模经营方面的工作，以此优化农村土地资源的配置情况，进而提升农业现代化的水平。在开展集约化空间管理的时候，还应当充分考虑到生态保护的需求，避免空间开发给生态环境带来破坏，从而促进土地资源能够实现可持续利用，最终形成一种高效且绿色的土地利用模式。

4.3 强化产业联动，构建城乡融合发展机制

强化产业联动，构建起城乡融合发展的机制，这无疑是达成城乡经济协同发展的关键途径。要积极推动城市现代服务业、高新技术产业同乡村特色农业、乡村旅游等相关产业来一场深度融合，进而构建起完整的产业链以及价值链，由此形成城乡产业互动的良好循环态势。凭借城乡要素的流动以及信息的共享，促使资本、技术、人才在城乡之间实现合理的流动，推动产业完成转型升级。创新产业政策，给予乡村创新创业有力支持，推动农村一二三产业融合发展。着力加强产业园区以及农业产业带的建设，实现产业集聚式发展，以此提升整体竞争力以及可持续发展能力。产业联动机制的构建，可有效激发城乡融合的经济活力，推动区域协调发展。

4.4 健全制度保障，推动规划实施与动态监管

健全制度保障体系，推动规划实施并开展动态监管工作，这是城乡空间融合规划能够顺利落地并且持续向前推进的重要关键所在。需要进一步完善与城乡空间规划相关的法律法规以及政策方面的体系，清晰明确各级政府所应当承担的责任，强化规划实施时的约束作用以及执行方面的能力[3]。要建立起动态调整的相关机制，依据实际的发展变化情况及时地去调整规划内容以及采取的措施，以此来保证规划具备科学性以及与实际情况相适应的特性。推动公众参与到其中，并且促使多方展开协作，以此来提升规划的透明程度以及在社会上获得的认可程度。强化对规划执行情况的监督以及评估工作，借助信息化的手段来开展实时的监管，一旦发现问题就要及时地进行纠正偏差的处理。通过这样的制度保障举措，形成规划编制、实施、调整、监管等环节构成的良性循环状态，从而确保城乡空间融合所设定的目标得以实现。

5 结语

在国土空间规划这样的大背景之下，城乡空间融合规划称得上是破解城乡二元结构所存在的矛盾、推动区域实现协调发展的极为关键的一项举措。借助科学的方式来构建起生态空间、生产空间以及生活空间这样一个完整的体系，对空间格局加以优化，强化各个产业之间的联动关系，把基础设施进一步完善起来，并且让制度保障得以健全，如此一来便能够有效地促使城乡要素在彼此间自由流动，达成资源共享的目的，进而推动城乡在经济社会方面以及生态层面都实现协调的发展态势。就目前的情况来看，存在着空间布局较为混乱、生态环境遭受破坏以及产业融合程度不够等诸多现实的困境，所以必须要坚守规划起到引领作用的原则，同时还要统筹推进相关工作，不断深化各项改革举措，持续推进创新进程，从而推动城乡融合发展朝着高质量、可持续发展的新时代迈进。在未来，应当进一步强化针对这一领域的理论方面的研究工作，加大实践探索的力度，不断完善规划体系以及实施机制，以此为实现乡村振兴的目标以及推动区域协调发展做出更为有力的贡献。

[参考文献]

[1]陈荣,李双凤.国土空间规划背景下城乡空间融合规划探索[J].城市建设理论研究(电子版),2025(20):19-21.

[2]樊宇格.国土空间规划背景下城乡空间融合规划[J].居业,2024(9):125-127.

[3]张之山,杨建军.国土空间规划背景下城乡空间融合规划探索——以杭州市新塘街道为例[J].中外建筑,2024(2):100-104.

作者简介：陈晓宇（1991.10—），男，汉族，毕业院校：南京林业大学，专业：城市规划。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

城市内涝防治中给排水系统与景观设计的融合路径

李 成
青海省海东市乐都区住房和城乡建设局，青海 海东 810700

[摘要]随着城市化不断推进，城市地表硬化的面积变得越来越大，降雨形成的径流既集中又快速，使得内涝问题一天天变得更加严重，对城市运行的安全以及居民的生活质量都造成了极为不利的影响。传统的给排水系统主要是着眼于快速排水，缺少对雨水源头进行有效把控的能力，也没有生态调蓄的功能，所以很难符合现代城市在防涝以及生态环境方面所提出的双重要求。文章依据现有的相关研究以及实际操作情况，深入探讨了给排水系统和景观设计相互融合时涉及的关键技术以及实施的具体策略，希望能够为提高城市内涝的防治能力以及生态环境的质量给予一定的参考。

[关键词]城市内涝防治；给排水系统；景观设计；融合路径
DOI：10.33142/sca.v8i7.17137 中图分类号：TU998 文献标识码：A

The Integration Path of Water Supply and Drainage System and Landscape Design in Urban Waterlogging Prevention and Control

LI Cheng
Qinghai Haidong Ledu Housing and Urban Rural Development Bureau, Haidong, Qinghai, 810700, China

Abstract: With the continuous advancement of urbanization, the area of urban surface hardening is becoming larger and larger. The runoff formed by rainfall is both concentrated and rapid, making the problem of waterlogging more serious day by day, which has extremely adverse effects on the safety of urban operation and the quality of life of residents. The traditional water supply and drainage system mainly focuses on rapid drainage, lacking the ability to effectively control the source of rainwater and the function of ecological regulation and storage. Therefore, it is difficult to meet the dual requirements of modern cities in flood prevention and ecological environment. Based on existing relevant research and practical operation, this article deeply explores the key technologies and specific strategies involved in the integration of water supply and drainage systems and landscape design, hoping to provide some reference for improving the prevention and control capabilities of urban waterlogging and the quality of ecological environment.

Keywords: urban waterlogging prevention and control; water supply and drainage system; landscape design; integration path

引言

随着全球城市化速度不断加快，城市地表硬化的面积也在快速增多，城市排水系统面临着以往不曾有过的巨大压力，内涝问题变得越来越严重，已然成为限制城市可持续发展的关键瓶颈所在。传统的给排水系统往往更注重快速排水，然而却忽略了对雨水从源头加以控制以及借助生态手段来调蓄，这就使得排水设施在暴雨频繁出现的时候，经常处于超负荷运转的状态，内涝现象也是一再发生，给城市的正常运行安全以及居民的生活都带来了不容忽视的影响。景观设计作为城市生态环境当中的一个重要构成部分，有着调节微气候、提升生态功能以及美化环境这样的天然优势，能够为缓解城市水患给出全新的思路。近些年来，随着“海绵城市”理念逐渐兴起，开始着重强调雨水管理的系统性以及生态性，推动给排水系统和景观设计实现有机融合，这成为了提高城市雨洪治理能力以及生态环境品质的一条关键途径。把低影响开发技术、绿色基础设施同智慧排水系统相互结合起来，一方面实现了雨水从源头上进行减排以及在路径上予以调控，另一方面也丰富了城市空间的功能层次，促使城市水循环能够自然恢复并且实现多功能利用。本文重点探讨在城市内涝防治当中给排水系统和景观设计融合的关键技术以及实施策略，剖析其在提升城市抗涝韧性以及生态品质方面的具体作用路径，从而为构建绿色、宜居的现代城市环境给予理论层面的支持以及实践方面的指导。

1 城市内涝防治中给排水系统与景观设计融合的必要性

在城市化进程持续加快这样的大背景之下，城市地表出现了大量硬化的状况，绿地所占的面积也在不断地减少，自然水体同样呈现出萎缩的态势，如此一来便致使城市针对降雨所具备的调蓄能力、渗透能力以及排水能力都出现了十分明显的下滑情况，城市内涝方面的问题变得一天比一天严重起来，已然成为对城市安全发展起到制约作用以及影响居民生活质量的一个重要因素。传统的给排水系统大多是以“快速排出”作为主要的操作方式，对于雨水缺乏就地进行滞蓄以及依靠自然来进行调节的能力，在遇到极端天气条件的时候往往会失去其应有的作用，很难去应对暴雨高峰所带来的一系列冲击。与之景观设计在提升城市生态环境、改善微气候以及增加渗透空间等诸多方面都

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

有着与生俱来的优势。把给排水系统和景观设计有机地融合到一起，一方面可以提升排水设施在运行过程中的效率以及其抗涝的能力，另一方面还能够达成城市空间实现生态化、人性化以及多功能利用的目标，这无疑是从“依靠工程手段来排涝”朝着“具备系统性韧性的治理模式”转变过程中极为关键的一条路径[1]。融合的设计理念通过引入绿色基础设施、低影响开发（LID）技术以及自然生态要素等方式，是能够切实有效地提升城市整个水循环系统所具有的韧性，进而实现“雨水排得出、蓄得住、渗得下、用得好”这样一个综合性的目标，真正做到防涝与美化环境、生态修复以及城市更新能够协同发展起来。

2 给排水系统与景观设计融合的关键技术

2.1 低影响开发（LID）技术体系

低影响开发（LID）技术体系属于可持续雨洪管理范畴，其理念着重于雨水的就地处理、源头控制以及自然循环，力求借助模拟自然水文过程的方式，尽可能减小城市开发给环境带来的影响。在城市内涝防治同景观设计相互融合之际，LID 技术体系占据着极为关键的地位。它主要是通过构建雨水花园、生物滞留带、绿色屋顶、透水铺装、植草沟、雨水调蓄池等绿色基础设施，以此来强化城市地表的渗透、滞蓄以及净化方面的能力，进而有效地削减地表径流，降低峰值流量，并且对水质加以改善。LID 技术秉持“以生态替代工程”的原则，不但可以缓解由于暴雨所引发的城市排水方面的压力，而且能够和景观空间紧密结合起来，达成城市美学与生态功能的有机统一。在设计实施的整个过程当中，LID 体系往往会与城市景观布局融为一体，比如说把道路绿化带、城市公园以及街区广场设计成雨水调蓄以及生态过滤的空间，如此一来，既能提升城市绿地系统所具备的功能性，又能构建起具有多层级、多尺度特点的雨洪调控网络。

2.2 雨水花园、植草沟、生物滞留池等技术

雨水花园、植草沟以及生物滞留池等相关技术，乃是达成城市给排水系统同景观设计相融合的关键绿色基础设施途径。这些技术借助生态方面的手段来对雨水展开收集、渗透、滞蓄以及净化等一系列操作，如此一来，既能有效地缓解城市出现内涝的相关问题，又能促使城市景观在生态层面以及美学层面的价值得以提升。雨水花园往往会被设置在城市道路、广场、公园等这类区域的低洼之处，依靠土壤、植被还有砾石层去构建起具有多层过滤功能的结构，如此便可对初期雨水径流当中的悬浮物以及污染物加以拦截，并且借助植物根系来吸收掉部分营养物质，进而实现净化雨水以及增加下渗效果的目的。而植草沟属于一种同时具备排水功能与绿化功能的呈线性的排水设施，一般会布置在道路的两侧或者绿地的边缘位置，通过草坪以及土壤层来对雨水实施缓释以及下渗的操作，这样一来，既能使得地表径流的速度有所降低，又能防止雨水直接对城市那些硬化的地表造成冲刷的情况发生。生物滞留池则是一种将雨水收集、沉淀、过滤以及生物净化等多种功能融为一体的复合型设施，其结构相对来说较为复杂，不过处理能力却更为强大，比较适宜应用于雨水径流较为集中的区域范围当中。

2.3 渗透铺装与透水材料的应用

渗透铺装以及透水材料的应用，乃是达成城市给排水系统同景观设计深度融合的关键技术路径当中的一个，其关键要点在于借助高透水性的材料以及合理的铺装结构，强化城市地表雨水的自然下渗的能力，减轻城市排水系统的负担，缓解内涝出现的风险。传统城市地表存在严重的硬化情况，雨水很难渗入到地下，这就使得在雨季的时候径流量变得很大，汇流的速度也很快，排水的压力会骤然增大。而渗透铺装则是通过设置像多孔沥青、透水混凝土、透水砖、砂砾铺装这类材料来构建有一定承载力的生态地表，如此一来，既能满足人行道、停车场、广场等公共空间的使用需求，又能有效地实现雨水的渗透以及初步的过滤[2]。透水铺装系统一般是由面层、垫层还有基层构成的，各个层次都具备不错的透水性能以及一定的结构强度，而且能够结合地形设计形成下凹式的结构，用于暂时蓄积雨水，以此来延缓地表径流的形成以及流速，进而减小城市排涝系统的高峰负荷。与此这类铺装在城市景观设计里还兼具美观与生态的功能，可以灵活地嵌入到绿地、街道节点、小区步道等场所，形成那种绿色、生态且可渗透的城市微空间，推动地表水与地下水的自然循环，提高城市整体的“海绵”功能。

2.4 智慧排水系统与实时监控技术

智慧排水系统以及实时监控技术属于在城市排水系统里引入信息化、数字化还有智能化手段的一项重要措施，其是达成给排水系统和景观设计相互深度融合、促使城市内涝防治能力得以提升的关键技术当中的一种。传统排水系统往往处于静态管理模式之下，缺少针对雨情、水情以及管网运行状况展开动态感知以及调控的能力，这就使得应急响应无法做到及时，资源调度的效率也比较低下。然而智慧排水系统会通过设置物联网感知设备、视频监控装置、在线水质监测装备、液位传感器等一系列设备，以此来达成对排水管网、水泵站、调蓄池、景观水体等这些关键节点实施全天候且全过程的动态监控以及数据采集的目的，进而搭建起一个具备“感知-分析-决策-控制”一体化特性的排水系统管理平台。该系统能够依据实时雨量以及水位所发生的变动情况，去智能地调度排水设施的运行状况，像是提前开启抽排系统、启用调蓄空间、调整水闸开闭的状态等等，以此有效地发出预警并且缓解因暴雨而引发的内涝风险[3]。与此智慧排水系统还能够和景观设计当中的生态调蓄设施、雨水花园、水体溢流口等实现数据方面的互联互通，进而实现景观空间的动态调蓄以及生态响应，让排水功能和景观功能能够有机地融为一体。

3 给排水与景观设计融合的实施策略

3.1 系统化设计理念与规划路径

城市内涝防治需推动给排水系统和景观设计融合，秉持系统化设计理念和科学规划路径，达成生态效益、排水效率及景观价值的多重统一。系统化设计从城市整体水循环着手，综合考量雨水源头削减、路径控制与末端治理，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

把排水基础设施、地形地貌、绿地系统、道路空间、河湖水体等纳入统一规划，构建多层级、多尺度、多功能的复合排水与景观体系。在规划路径方面，应在城市总体规划阶段明确“灰色基础设施 + 绿色基础设施”的协同思路，合理布局雨水调蓄空间与绿色渗透设施，结合城市空间结构和地形高差，形成“源头 — 路径 — 终端”相衔接的雨水管理链条。注重多专业、多部门协调联动，推动水务、园林、市政、住建等领域融合发展，打破传统单一专业孤立设计局限。系统化设计还需积极引导公众参与与社区共建，提升城市居民对雨水管理和生态景观的认知与维护意识，使排水系统从“隐蔽工程”转变为“公共空间”的重要组成部分。

3.2 融合设计的功能分区与空间布局

融合设计所涉及的功能分区以及空间布局，在实现给排水系统和景观设计有机融合这一过程当中，属于极为关键的实施策略。其核心要点在于把排水功能同城市景观空间予以合理且周全的统筹安排。依照“生态优先、功能复合、因地制宜”这样的原则来对不同功能区域加以划分，并且要科学合理地安排空间布局，从而使得其能够具备排水调蓄、生态修复、美化环境以及市民休闲等多种多样的功能。在城市整体空间范围之内，可以依据地形地势状况以及水流的方向去设置源头控制区、径流传导区以及末端调蓄区，让它们各自担负起雨水就地下渗、路径引导以及集中蓄排等功能。在功能分区方面，可以把道路两侧布置成植草沟或者透水带，把城市绿地、公园、广场设置成雨水花园、生物滞留池、下沉式绿地，将低洼空地规划成为调蓄湿地或者是生态蓄水池，以此达成“以景辅排、以排促景”的目标[4]。各个功能区之间需要构建起连续的水循环通道，进而形成有效相互连通的排水网络，与此同时还要兼顾城市空间的视觉美感以及使用的便捷性，防止出现排水设施“孤立设置”的情况而导致土地资源被白白浪费掉。

3.3 市政工程与景观工程协同施工机制

市政工程和景观工程协同施工的机制对于实现给排水系统和景观设计的融合而言，是极为关键的保障要素。这就需要在项目的规划、设计、施工以及运营等各个不同阶段，着力强化多专业团队之间的相互沟通以及密切协作，从而保证工程各个环节能够有机地衔接起来，实现资源共享，并且达成目标的一致性。具体来讲，应当搭建起跨部门、跨专业的协调管理平台，将水务、市政、园林、规划等相关单位统筹起来，一同参与到其中，把职责分工以及接口管理都明确清楚，推动技术方案和施工计划同步展开编制并且适时做出调整。在施工的过程当中，得实施联合施工管理的方式，防止出现因为施工顺序安排不合理或者技术标准存在差异等情况而引发返工以及造成资源浪费的现象，以此来确保给排水管网、调蓄设施还有绿地景观在空间布局方面以及功能实现层面都能够达成高度的契合程度。

3.4 政策支持与多部门协同机制

政策支持以及多部门协同机制乃是推动给排水系统同景观设计达成融合实施的关键保障所在，唯有对相关政策法规、规范标准还有激励机制加以完善，才能够为融合设计给予制度层面的保障以及发展方面的动力。政府需要制定出科学且合理的规划导则和技术规范，清晰明确绿色基础设施建设的具体标准以及相关要求，促使雨水管理与城市景观规划可以有机地结合起来，并且要加大在财政投入以及政策扶持方面的力度，鼓励运用低影响开发技术以及智慧排水系统这类创新手段。建立起完善的部门协同工作机制显得格外重要，得突破传统意义上的部门壁垒，构建起由水务、住建、规划、园林、环保等多个部门共同联动的工作局面，借助信息共享、联合审批、统筹调度等途径，达成资源整合以及功能协同的目标。多部门协同机制还应当涵盖公众的广泛参与以及社会资本的积极参与，形成政府处于主导地位、多方共同参与、一起建设一起治理的良好循环状态，从政策引导开始，经过技术实施阶段，一直到管理运营环节，实现全流程、多层次的有机融合，以此来切实保障给排水与景观设计的深度融合能够有效落实并且持续发挥其作用，从而助力城市内涝的防治工作以及生态环境的协同提升。

4 结语

在城市内涝防治方面，给排水系统和景观设计相互融合的做法，可算作是提高城市雨洪管理能力以及生态环境质量的关键办法。借助低影响开发技术、绿色基础设施还有智慧排水系统等这些关键核心技术的应用情况来讲，是能够达成对雨水从源头开始加以控制、在过程中进行调蓄以及在末端予以利用这样的效果的，进而让城市针对暴雨以及内涝所具备的综合应对能力得以增强。与此科学且系统的理念用于设计当中，再加上多部门协同开展施工的机制，这就给融合路径的顺利推进给予了相应的保障。在未来，需要进一步强化在技术方面的创新举措以及政策层面的支持力度，进一步加深跨领域的合作程度，推动融合设计朝着规范化与标准化的方向去建设，从而实现城市排水与景观能够达到有机统一的状态，打造出绿色且具有韧性的城市环境，以此来为城市的可持续发展筑牢坚实的基础。

[参考文献]

[1]黄玲芳.结合某校区排涝改造分析城市内涝设计[J].四川建材,2021,47(10):183-184.
[2]彭德倩.城市排水：旧题新解[N].解放日报,2024-07-08(10).
[3]陶丹丹.城市排水系统与城市生态景观可持续化的关系研究[J].科技创新与应用,2019(8):57-58.
[4]顾磊.中国城市涉水景观的转型与治理[D].兰州:兰州大学,2017.

作者简介：李成（1985.10—），毕业院校：长安大学，所学专业：给水排水，当前就职单位名称：青海省海东市乐都区住房和城乡建设局，就职单位职务：乐都区住房和城乡建设局 质监站站长，职称级别：中级八级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

铁路交通运输过程中安全运输的措施探讨

吴 彬
浙江金温铁道开发有限公司，浙江 温州 325000

[摘要]我国始终十分看重铁路运输的安全这一问题，铁路安全不但直接和人民群众的生命财产安全相关联，还与铁路工程建设能否顺利推进以及经济社会是否能够稳定发展有密切关联。树立起创新的交通安全理念，保障各项运输任务能够安全且圆满地完成，这是达成铁路运输高质量发展的核心所在。在此情形下，我国铁路建设部门持续强化对安全运输项目所给予的重视程度，运用更为专业化且科学化的管理手段，一步步提高运输安全的水准，进而促进全国铁路行业实现持续健康的发展态势。
[关键词]铁路交通运输；安全运输；措施
DOI：10.33142/sca.v8i7.17136 中图分类号：F532 文献标识码：A

Discussion on Measures for Safe Transportation in Railway Transportation Process

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

Abstract: China has always attached great importance to the safety of railway transportation. Railway safety is not only directly related to the safety of people's lives and property, but also closely related to the smooth progress of railway engineering construction and the stable development of the economy and society. Establishing an innovative concept of traffic safety and ensuring the safe and satisfactory completion of various transportation tasks is the core of achieving high-quality development of railway transportation. In this situation, China's railway construction department continues to strengthen the importance given to safe transportation projects, using more specialized and scientific management methods to gradually improve the level of transportation safety, thereby promoting the sustainable and healthy development of the national railway industry.
Keywords: railway transportation; safe transportation; measures

引言

随着我国经济快速向前发展以及人民生活水平不断迈上新台阶，铁路交通身为极为重要的一种公共运输途径，其运输规模以及服务范围都在持续拓展开来，担负着数量众多的客货运输方面的任务。铁路运输具备诸多优势，像安全性颇高、运输能力颇为强劲、能耗相对较低等等，已然成为国家交通体系当中不可或缺的重要构成部分。不过，伴随运输网络变得日渐复杂起来，同时运输强度也在不断增加，铁路交通运输进程中所存在的安全风险愈发凸显出来，各类安全事故时不时就会发生，这给人民的生命财产安全以及社会的稳定状况带来了极为严峻的考验。怎样才能有效地确保铁路运输能够安全地运行下去，已然成为行业领域以及整个社会都极为关注的一个核心问题。强化安全运输管理工作，不但关乎铁路系统能否正常且顺畅地运转以及服务质量的高低，而且会直接对国家经济的持续且健康的发展态势以及社会公共安全产生影响。鉴于此，本文将会细致剖析铁路交通运输过程里面存在的那些安全管理方面的问题，去深入探讨一些切实可行的安全运输举措，期望能够为提升铁路运输的安全水准、打造出高效且安全的铁路运输体系给予相应的理论支撑以及实践方面的参考依据。

1 铁路交通运输过程中安全运输的重要性

在铁路交通运输进程当中，安全运输所具有的重要性有着两方面的体现。它能够对乘客的生命安全起到保障作用，同时也能够确保货物得以完整无损地完成运输任务。从更为深层次的角度来讲，它还同国家交通运输体系能否稳定地运行紧密相关，而且也跟社会经济能否实现可持续发展存在着密切的联系。铁路在国民经济当中占据着极为关键的地位，就好比是国民经济的大动脉一般，其肩负着数量众多、规模庞大的运输任务，这些任务往往涉及较长的距离以及较高的密度。倘若在运输期间发生安全事故，那么很可能会出现群死群伤这样的极其严重的恶性后果，如此一来，便会对公众对于交通系统的信任程度造成极为严重的影响，甚至还会引发社会上出现恐慌情绪以及舆情方面出现危机状况。除此之外，铁路运输本身具备着不可取代的枢纽作用，其安全运行的情况直接关系到多个不同行业的物流链条以及供应链是否能够保持稳定状态。要是铁路运输出现中断的情况，那么将会对工业生产环节、城市日常运行情况以及紧急救援工作等诸多方面产生一系列连锁性的反应效果。尤其是在高速铁路正处于迅猛发展态势的这样一个背景之下，列车的运行速度相较于以往有了大幅度的提升，与此运输组织工作的开展也变得愈发趋于复杂的程度。这就给安全管理方面的工作、技术层面的支撑情况以及应急处置的能力等方面都提出了前所未有的全新挑战。所以说，务必要把安全运输相关的工作切实地

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

放在铁路运营整个过程当中的核心关键位置之上，要着力去构建起一套能够涵盖“人”“机”“环”“管”等多个要素的全方位的安全管理体系，以此来推动管理理念以及技术手段这两者在系统层面实现革新升级，真正达成从以往的事后被动响应模式转变为如今的事前主动预防控制模式的改变，从而能够切实有效地确保铁路运输系统可以实现安全、稳定且高效的运行状态，进而为国家经济社会的发展进程以及人民群众能够平安顺利地出行给予强有力的保障支持。

2 现阶段铁路交通运输中安全运输管理存在的问题

2.1 缺乏健全的安全管理制度

当下铁路交通运输里的安全运输管理工作依旧存在着不少亟需去处理的问题，而其中最为显著的便是缺少完备的安全管理制度。在实际开展运输组织工作的进程当中，部分铁路运输企业于安全管理体系构建方面出现了制度存在滞后情况、标准并非统一、责任界定不够清晰等状况，这使得安全管理很难达成闭环状态，与之相关的各项工作的落实往往只是停留在表面形式之上。有一部分安全管理制度欠缺科学性以及系统性，没办法将铁路运输全程、全链条所涉及的安全风险点都涵盖进去，如此一来，在面对突发事件以及高风险作业的时候，常常会呈现决策不够及时、响应不规范的情形[1]。与此制度的执行力度不够强大同样是一个不容忽视的隐患，有些基层单位或者操作人员对于制度的关注度不足，安全管理由此呈现出“上紧下松”的态势，甚至还存在着违规操作、管理盲区等种种问题，这无疑又进一步加大了铁路运输系统的运行风险。

2.2 缺少专业能力突出团队

在当下铁路交通运输安全管理进程中，缺少专业能力颇为突出的管理以及技术团队已然变成制约安全保障水平得以提升的关键要素之一。伴随铁路运输技术的迅猛发展，尤其是高速铁路还有智能化调度系统被广泛运用起来之后，对于安全管理人员的专业素质以及综合能力所提出的要求变得更高了。不过在实际开展工作的过程当中，部分从事铁路运输安全管理工作的人员缺少系统的专业培训以及岗位实战方面的经验，很难全面且有效地掌握复杂运输系统当中涉及到的安全技术、应急响应、风险评估等这些核心要点，如此一来便致使在碰到突发状况或者出现异常运行情况的时候，没办法快速地做出科学并且有效的判断以及应对举措。除此之外，人才队伍结构不合理的状况普遍存在，高层次复合型人才储备不足的情况也比较常见，有个别单位居然还存在着用行政管理人员来代替技术管理人员这样的情形，这无疑又进一步让安全管理工作的专业性以及针对性受到了削弱。

2.3 缺少完善的监督管理设备

能否顺利完成安全运输工作，与完善的监督管理制度密切相关。然而，目前部分监督设备在实际铁路运输中难以充分发挥作用，导致安全管理效果不理想。一些设备运行不稳定，在安全监督中形同虚设，无法有效保障运输安全。未来，铁路交通安全管理不仅需加强员工素质建设，还应积极引进先进的监测设备，以确保高质量的风险排查工作。尽管我国科研力量持续取得突破，但受多种因素影响，交通运输设备检测技术尚未发挥其应有的效能，许多检测工作仍停留在设备表面，难以发现潜在的隐患。此外，电压等问题使部分设备易出现故障，进而影响运输进度。目前，交通运输设备尚未实现完全自动化，仍需大量人工干预，存在引发连锁反应的风险。

2.4 存在突发自然灾害

在当下铁路交通运输进程里面，突发的自然灾害给安全运输管理工作带来了极为严峻的威胁，这已然成为影响铁路运行稳定性以及安全性的不容小觑的关键因素。我国地理环境颇为复杂，气候条件也多有变化，地震、暴雨、台风、滑坡、泥石流这类自然灾害频频发生，特别容易对铁路线路、桥梁、隧道等基础设施形成破坏，甚至还可能引发列车脱轨、线路中断、信号系统失灵等严重的后果[2]。尤其是在山区、高原这些地质灾害高发的区域，自然灾害所具有的突发性以及不可预测性，致使铁路运输面临着极大的运行风险。

3 强化铁路交通运输中安全运输管理的策略

3.1 打造高质量铁路客运人员队伍

打造高质量的铁路客运人员队伍属于强化铁路交通运输安全管理的关键环节，因为人员素质同运输服务的安全性、可靠性以及应急处理能力紧密相关，在实际运营期间，铁路客运人员担负着旅客接待、车厢管理、信息传达等日常服务职责，还是列车运行时安全防范以及突发事件应对的第一道防线。当下，伴随铁路运输系统向智能化与多元化方向发展，对客运人员的综合素质的要求变得更高，他们既要具备良好的职业道德与服务意识，又要掌握必要的安全操作规程、设备应急处理技能以及危机沟通能力，所以得从人员选拔、专业培训、实战演练、考核评价等方面着手，构建起一支业务精湛、作风严谨、响应高效的客运服务团队。与此要重视对一线员工安全意识的持续培育与更新，促使他们在日常工作中能够自觉履行安全职责，及时发现并上报各类安全隐患，切实做到“人在岗、心在责、行有据”，为铁路运输系统的稳定运行给予坚实的人才保障与组织支撑。

3.2 健全相关管理制度

健全相关管理制度，这是提升铁路交通运输安全管理水平的根基所在，也是其得以稳固的制度依靠，更是实现运输全过程以及全链条安全可控的重要环节。在当下的铁路运输安全管理实践当中，倘若制度存在不完善之处，或者执行力度不够到位，那么往往会致使安全责任变得模糊不清，管理措施难以发挥效力，操作流程也不够规范，如此一来便极易引发各类安全风险。所以，构建一套科学且系统的、有着较强可操作性的管理制度就显得格外关键了。健全制度需要涵盖铁路运输的各个不同环节，像列车调度、运行监控、设备维护、人员管理、安全检查以及突发事件

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

处置等等，务必要保证每一项具体工作都能够依照相应的章程来开展，有切实可行的依据能够遵循。在制定制度的时候，要依据国家相关的法律法规以及行业的标准规定，与此同时还要结合铁路运营所实际具有的特点以及存在的安全风险点，使得制度具备一定的前瞻性并且能够与实际情况相适应[3]。除此之外，还应当明确各级管理岗位各自所对应的安全职责，借助对制度进行层级化、标准化以及流程化的管理方式，进一步强化安全责任的落实情况。

3.3 优化铁路设备、设施

对铁路设备、设施加以优化，这在强化铁路交通运输的安全管理方面，可算作是极为重要的技术支撑所在，同时也是达成铁路系统能够安全且高效地运行的物质根基。就当下情况而言，随着铁路运输所涉及的规模不断变得更为庞大起来，而且运输密度也在不停地持续增加，有一部分铁路线路以及和之相关的设施设备，已然慢慢呈现出老化的态势了。并且，部分处于关键技术层面的系统，存在着性能相对落后以及故障率颇高的种种问题，这些问题的存在，对运输系统的稳定性以及安全性造成了颇为严重的影响。所以说，得要加大针对铁路基础设施以及关键设备展开现代化改造的力度，要全面且细致地推进信号系统、通信系统、供电系统、列控系统还有道岔、轨道、桥隧等一系列设施的升级换代工作，以此来促使它们在智能化、自动化以及信息化这些方面的水平都能够得到切实的提升。与此还得对设备配置结构予以优化，强化那些关键部位以及较为薄弱环节在技术保障方面的能力，从而保证在运输的过程当中，各个系统之间能够协同有序地运行，实现高效的衔接配合。除此之外，还应当建立起较为完善的设备运行状态监测与维护体系，充分运用大数据、物联网、人工智能等这些先进的技术手段，提升对于设备故障进行预测预警的能力，进而达成从“被动维修”的模式转变为“主动维护”的目的，有效地降低设备出现故障的比率以及在运行期间所面临的风险，从最根本的源头之处去提升铁路运输系统在安全保障方面的能力。

3.4 加强地方部门及站点合作

加强地方部门以及站点之间的相互合作，这无疑是一项能够提升铁路交通运输安全管理水平的关键举措，对于构建起联动且高效、响应又十分迅速的综合治理机制而言，其意义是颇为深远的。铁路运输系统有着广域性这一特性，并且还存在跨区域运行的特点，其安全保障一方面依靠铁路系统内部所具备的管理能力，另一方面同样离不开地方政府以及相关职能部门给予的协同配合。在实际的运行进程当中，铁路沿线极有可能会面临着诸如自然灾害、治安事件、突发疫情、群众聚集等等多种多样的不确定因素，而这些情况往往只有凭借地方公安、应急、医疗、交通、气象等诸多部门所提供的支持与配合，才能够达成有效的处置效果。与此铁路站点身为旅客高度密集的重要枢纽区域，已然成为安全管理方面的重点部位，强化站点与属地政府、城管、消防、电力等各个单位在日常层面的沟通交流以及联动机制建设，这对于实现信息的互通、预警的同步、应急的联动以及资源的共享都是很有帮助的，进而促使整体的安全管理效率得以提升。

3.5 统筹规划铁路运输业资金收支

统筹规划铁路运输业的资金收支情况，这可是保障铁路交通运输安全管理得以有效施行的关键经济根基以及重要保障举措。铁路运输属于典型的资本密集型行业，其安全管理涵盖了设备更新维护、技术研发投入、人员培训、应急预案演练等诸多方面，每一项都得要有充足并且合理的资金给予支持才行。不过在实际运营的过程当中，资金分配往往缺少科学的规划与统筹协调，如此一来便很容易出现安全管理资金不够或者使用效率不高的状况，进而对安全隐患的及时排查以及风险控制能力的提升产生不利影响[4]。所以说，务必要建立起完备的资金统筹规划机制，科学地测算出安全管理所需的各项经费，合理地安排年度预算，以此来确保资金能够充分覆盖铁路安全生产的各个重点领域以及关键环节。与此还得强化对资金使用情况的监督与评估工作，促使资金更多地向技术创新、安全设施升级、风险防控等重点领域去倾斜，从而提升资金的使用效益以及安全保障的水平。

4 结语

铁路交通运输的安全运输管理在保障铁路系统稳定运行以及人民群众生命财产安全方面起着十分重要的作用。随着运输环境变得日益复杂，安全要求也在不断提高，在此情形下，需要从多个方面来开展工作，比如完善管理制度、提升人员素质、优化设备设施、加强部门协作以及科学统筹资金等等，进而构建起系统化且科学化的安全保障体系。唯有不断地强化安全意识以及管理能力，让技术创新和管理创新相互融合，才能够有效地防范并化解各类安全风险，达成铁路运输的高效、安全且可持续发展的目标，从而为国家经济建设以及社会进步给予稳固有力的支撑。在未来，要持续对铁路安全管理所面临的新挑战予以关注，积极去探索契合实际情况的安全运输新途径，推动我国铁路运输事业朝着更加安全稳健的新时代迈进。

[参考文献]

[1]胡少玲.铁路交通运输过程中安全运输的措施研究[J].中国储运,2025(2):127-128.
[2]张城.铁路交通运输过程中安全运输的措施分析[J].运输经理世界,2023(36):142-144.
[3]张宝.铁路交通运输过程中安全运输的措施研究[J].运输经理世界,2021(26):91-93.
[4]赵腾飞.铁路交通运输过程中安全运输的措施探讨[J].中国储运,2024(3):176-177.

作者简介：吴彬（1978.2—），单位名称：浙江金温铁道开发有限公司，毕业学校和专业：西南交通大学（本科，交通运输）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

路桥施工技术对软土地基处理方法探讨

吴 锋
湖北兴达路桥有限公司，湖北 咸宁 437100

[摘要]为解决路桥施工中软土地基处理问题，探讨到软土地基处理技术的现状及特点，以加强地基承载力与长期稳定性。文章分析了软土地基处理在路桥施工中的应用现状，研究了处理过程中存在的问题及原因，提出了基于优化技术方案、加强材料与质量控制及环境保护与安全管理等应对方法，并对处理效果进行了评估。研究认为，通过精细化地质勘察、智能化处理方案设计等措施，软土地基处理方法在路桥工程中，运用上述策略，可有效提升处理效果，为满足路桥建设的高质量发展提供有力支撑。

[关键词]路桥施工；软土地基处理；技术方案优化；质量控制；环境保护
DOI：10.33142/sca.v8i7.17120 中图分类号：U416.1 文献标识码：A

Exploration on Soft Soil Foundation Treatment Methods for Road and Bridge Construction Technology

WU Feng
Hubei Xingda Road and Bridge Co., Ltd., Xianning, Hubei, 437100, China

Abstract: In order to solve the problem of soft soil foundation treatment in road and bridge construction, this paper explores the current status and characteristics of soft soil foundation treatment technology, in order to strengthen the bearing capacity and long-term stability of the foundation. The article analyzes the current application status of soft soil foundation treatment in road and bridge construction, studies the problems and reasons in the treatment process, proposes response methods based on optimized technical solutions, strengthened material and quality control, environmental protection and safety management, and evaluates the treatment effect. Research suggests that by implementing measures such as refined geological exploration and intelligent treatment plan design, the soft soil foundation treatment method can effectively improve the treatment effect in road and bridge engineering, providing strong support for the high-quality development of road and bridge construction.

Keywords: road and bridge construction; soft soil foundation treatment; technical solution optimization; quality control; environmental protection

引言

软土地基处理是路桥施工的关键环节，直接影响工程安全与质量。目前，相关技术虽能有效提升地基承载力和稳定性，但在实际应用中仍面临技术实施难题、材料与质量控制不足以及环境和安全风险等问题。因此，优化技术方案、加强材料与质量控制、注重环境保护与安全管理等措施显得尤为重要。这些措施不仅能解决现存问题，还能提升处理效果，确保工程安全与质量。未来，随着技术进步，软土地基处理将更加高效、环保和安全，为路桥建设高质量发展提供有力支撑。

1 软土地基处理在路桥施工中的应用现状及特点

1.1 应用技术概述

软土地基处理技术作为路桥施工中的核心步骤，具体包括了如换填法这样直接替换软弱土层的手段，还有通过预压法预先施加荷载以增强地基承载力的方法，以及利用深层搅拌法将固化剂与软土混合搅拌提升强度的方式。此外，还有采用强夯法直接对地基进行强力夯实，以及运用 CFG 桩复合地基法通过打入 CFG 桩来形成复合地基，从而提升地基整体稳定性的多种技术手段。这些先进技术通过细致地改善软土地基的力学特性，显著提升了其承载能力与整体稳定性。

换填工艺采用高强度材料替换软土地基，预压技术促使土体加速固结进程，显著降低沉降量，深层搅拌技术有效增强土体整体强度，强夯手段对土体进行密实处理，CFG 桩法则凭借桩土协同工作机制，实现荷载的均匀分散。随着科技的日新月异，智能化、信息化手段被深度融入到地基处理的各个环节，例如通过更为精细化的勘察手段以及模拟优化设计技术，显著地增强了地基处理的实际效果和作业效率。绿色环保理念促使技术不断向可持续方向迈进，诸如采用生态护坡技术及再生材料的广泛应用，这些措施在充分满足工程项目实际需求的同时，也细致入微地减少了对环境的负面影响。

1.2 应用场景特点

软土地基处理在路桥施工中的应用场景特点显著，不同地质条件下的适用性各异。在实际路桥工程中，存在许多典型应用案例，展示了软土地基处理技术的广泛应用。软土地基对路桥施工的影响不容忽视，其稳定性和承载力直接影响

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工程质量。因此，在路桥施工中，必须充分考虑软土地基的特点，采取相应的处理措施。针对不同地质条件，选择合适的处理技术至关重要，以确保路桥工程的安全与稳定[1]。同时，通过分析典型应用案例，可以进一步总结经验，优化处理方案，提升处理效果。此外，还需关注软土地基处理对路桥施工效率和成本的影响，以实现经济效益和社会效益的双赢。

1.3 处理效果评估

软土地基处理存在着评估处理效果的重要性，很多路桥工程，都对处理效果进行了详细评估。处理效果评估中，处理前后地基承载力变化是关键指标之一，通过对比处理前后的数据，可以直观了解地基承载力的提升情况。沉降控制效果分析也是评估的重要内容，有效的处理能够显著减少地基的沉降量，保证路桥的稳定性和安全性[2]。长期稳定性评估，对于确保路桥工程在长期使用中的安全至关重要，需综合考虑地基的变形、承载力变化等因素。评估过程中，采用科学的方法和手段，能够确保评估结果的准确性和可靠性。通过全面的处理效果评估，可以为路桥工程的设计和施工提供有力依据，进一步提升工程质量。

2 软土地基处理过程中存在的问题及原因

2.1 技术实施难题

地质勘察不准确导致的处理方案偏差，施工效果难以达到预期。技术参数设定不合理，影响软土地基处理的有效性。施工设备与技术不匹配，限制了技术的充分发挥。这些问题都增加了技术实施的难度，影响了软土地基处理的整体效果[3]。技术实施难题是当前软土地基处理过程中亟待解决的关键问题之一。在实际操作中，地质勘察的精确性至关重要，任何偏差都可能导致处理方案的失误。同时，技术参数的合理设定也是确保处理效果的基础，不合理的参数会直接影响处理的质量。

2.2 材料与质量控制问题

材料性能不达标，会导致软土地基处理效果受限。施工过程质量控制不严，会影响处理结果的稳定性。处理效果验收标准不明确，难以确保施工质量的合规性。材料的选择与性能直接关系到地基处理的成败，必须严格把关。施工过程中的质量控制是保障处理效果的关键环节，任何疏忽都可能导致质量问题的出现。建立明确的验收标准，是确保施工质量达标的重要依据，不可忽视。

2.3 环境与安全风险

利用软土地基处理过程，其中的环境与安全风险也能够更直观地展现出来，施工对周边环境的影响。并且软土地基处理，安全隐患及事故预防不到位，环保措施也存在不到位的情况。这些都会导致施工过程中的安全风险增加，导致一定的损失。

3 软土地基处理的应对方法及策略

3.1 优化技术方案

3.1.1 精细化地质勘察与数据分析

精细化地质勘察与数据分析是路桥施工技术中对软土地基处理的重要环节，通过详细的地质勘察能够准确掌握软土地基的土质情况。利用先进的数据分析技术，可以对地质勘察所得数据进行深度挖掘，以此为基础制定更为科学的处理方案。在软土地基处理中充分应用精细化地质勘察与数据分析能够使很多潜在的地质问题和施工难点得到有效解决[4]。这不仅提高了施工效率，还确保了处理后的地基稳定性和安全性。同时，精细化地质勘察与数据分析也为后续的施工提供了可靠的数据支持，有助于实现施工过程的精准控制。在路桥施工过程中，加强地质勘察与数据分析的精细化程度，对于提升整体施工质量具有重要意义。

3.1.2 智能化处理方案设计策略

智能化处理方案设计策略，是现代路桥施工中针对软土地基处理的重要手段。通过智能化的技术手段，能够精确分析软土地基的土质特性与承载需求，为设计提供科学依据。智能化处理方案不仅考虑了地基处理的效率，还兼顾了处理后的稳定性与安全性。在智能化处理方案的设计中，充分应用了先进的计算机模拟技术，对处理过程进行模拟预测，确保方案的可行性。同时，智能化处理方案还能够根据实际情况进行动态调整，以适应不同地质条件下的处理需求[5]。智能化处理方案的设计与实施，标志着路桥施工技术在软土地基处理领域取得了重要进展。

3.1.3 先进施工技术的融合应用

在软土地基处理中，先进施工技术的融合应用是一个不断进行探索和创新的过程。这些技术不仅包括地质勘察与数据分析的智能化手段，还涵盖了多种施工策略的综合运用。应用这些技术的特点，可以通过科学的方式使软土地基的处理效果及其稳定性得以展现，相关施工参数与地基性能的关系也变得更加清晰，这样更加有助于工程师对于该地基的了解和设计。同时，融合应用这些先进技术，可以大幅减少施工中可能会产生的质量问题，并且采用智能化监控手段，能够实现施工过程的精细化管理，大幅加强了工程质量水平。在融合应用过程中，工程师会结合具体工程需求，提出针对性的技术融合方案，从而起到优化设计、提升施工效率的作用[6]。此外，通过不断实践和总结，可以更为具有针对性地发现施工中可能存在的问题及改进方向。

3.2 加强材料与质量控制

3.2.1 材料性能检验与筛选标准

对各种材料的力学性能、耐久性等指标进行全面测试，可以确保所选材料符合软土地基处理的要求。同时，制定明确的筛选标准，有助于在众多材料中挑选出最适合软土地基处理的优质材料。这些标准的实施，不仅提高了材料的使用效率，还进一步保障了软土地基处理的稳定性和安全性。在材料选择过程中，注重材料的适配性和经济性，使得软土地基处理方案更加科学合理。此外，对筛选出的材料进行持续跟踪和定期复检，确保了材料性能的持续稳定，为路桥施工的整体质量提供了有力保障。

3.2.2 全过程质量控制体系构建

全过程质量控制体系旨在确保施工各环节的质量得到有效监控，从而提升整体处理效果。通过构建这一体系，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

可以对施工材料、施工工艺以及施工过程进行全面把控，避免质量问题的发生[7]。体系构建后，将涵盖从材料采购到施工完成的全部流程，实现全程可追溯。同时，该体系还包含了一套完善的质量检验与评估标准，用于对施工成果进行客观评价。在施工过程中，一旦发现质量问题，将立即启动反馈机制，及时进行调整和改进，确保施工质量始终符合设计要求。此外，全过程质量控制体系的构建，还促进了施工团队的质量意识提升，为路桥工程的长期稳定运行提供了有力保障。

3.2.3 处理效果验收标准与反馈机制

制定明确的验收标准，能够对处理后的地基进行全面评估。与此同时，还包含了反馈机制，以便及时发现并纠正处理过程中存在的问题。这些标准基于科学的方法和严格的数据分析，确保地基处理达到预期的效果[8]。在处理完成后，通过验收标准的实施，可以判断地基处理的成效是否满足设计要求。此外，反馈机制还能够收集施工过程中的各种信息，为今后的施工提供宝贵的经验和改进方向。这种机制的建立，有助于不断提升软土地基处理的技术水平，确保路桥工程的安全和稳定。同时，也有效促进了施工质量的持续改进和优化，为路桥工程的长期发展奠定了坚实基础。

3.3 环境保护与安全管理

3.3.1 环境保护措施与绿色施工方案

应用环境保护措施进行软土地基处理，可以借助绿色施工的优势特点，全面且准确地完成对施工中噪音、扬尘和废弃物等各种污染的控制。同时借助先进的施工技术和科学的施工方法，施工人员与管理人员可以更加有效地控制施工中的各种污染，明确关键控制重点和经常出现污染等方面的控制要求，深化环保意识，保证施工的顺利进行。在施工过程中，施工人员借助严格的施工标准，依照施工方案和施工计划，开展施工活动。然后，利用环保设施展示对噪音、扬尘和废弃物的处理、转化以及再利用等。管理人员会在施工现场上进行监督，对施工的实际环保效果，加以评估。通过一系列环境保护措施的实施，可以更为具有针对性地控制施工中可能产生的污染及危害。这样，施工可以大幅减少软土地基处理中可能会产生的环境问题，并且采用绿色施工方案，能够实现可持续发展的效果，大幅加强了环保水平。

3.3.2 施工安全教育与培训机制

施工安全教育与培训机制，通常会提高施工人员的安全意识，有时还需要进行实地演练，这些都会导致施工人员在面对安全隐患时能够迅速反应，减少事故的发生。通过施工安全教育与培训，首先可以让施工人员了解到安全操作规范、紧急疏散路线等安全问题。在培训以后，会针对施工中的常见安全隐患和应急处理措施进行讲解和演示，再一次加深施工人员对安全知识的理解和掌握，相当于对施工安全的一次再教育及重点的重申。同时，依然有新员工加入的情况发生，而以老带新为基础，新老员工间合作实施安全互检，可以使安全问题得到及时发现和解决。这样可以有效预防安全事故的发生，不但保护了施工人员的生命安全，减短了因事故导致的工期延误，同时确保了工程的顺利进行。利用施工安全教育与培训机制对施工人员进行教育过程，亦是发现潜在安全问题的过程。

3.3.3 实时监控与风险评估方法

利用实时监控对施工现场加以把控，使得施工方式下问题和隐患比较容易发现的情况，问题得到了有效规避。并且利用风险评估进行预判，还能够提前发现施工之间冲突。这样可以规避隐患的发生，不但减少损失，减短工期，同时确保了施工的进度。应用实时监控进行现场的监控，可以借助智能的监控优势点，全面且准确地完成对施工中违规、异常和隐患等各种问题的记录。设置风险评估关键点时，应用数据分析加以预判，准确地找出施工中，已经存在或潜在会出现的风险重难点，从而再对最终施工方案，加以调整，进行初步施工中风险的规避。通过实时监控便能及时响应，确保施工的最佳状态，如此可以保障，对施工进行切实有效地管理。施工过程中发生风险的概率，也会大大降低。在路桥施工上，利用实时监控中的各相关数据，加以分析，促成相应的决策。

4 结束语

本文围绕路桥施工技术对软土地基处理方法深入探讨，分析了应用现状及特点。通过精细化地质勘察、智能化方案设计等措施，可有效提升处理效果。未来，软土地基处理方法将更高效、环保，支撑路桥建设。

[参考文献]

[1]文峥.路桥施工技术对软土地基处理方法探讨[J].石油化工建设,2024(3):142-144.
[2]陆建羽.路桥施工技术对软土地基的处理探讨[J].建筑与装饰,2024(2):141-143.
[3]赵久敏,郑桔庆.道路桥梁施工中软土地基施工技术处理措施探讨[J].建材发展导向,2024(12):73-75.
[4]赵钱.路桥施工技术处理软土地基的方法研究——以S06 酒(泉)嘉(峪关)绕城高速公路工程为例[J].工程技术研究,2022(10):79-83.
[5]李锦辉.路桥施工技术对软土地基处理方法探讨[J].经济技术协作信息,2020(1):78-78.
[6]杜军锋,雷高峰.路桥施工技术对软土地基处理方法的应用[J].交通世界,2018(18):68-69.
[7]黄万大.路桥施工技术对软土地基处理方法的创新[J].交通世界,2018(21):76-77.
[8]李林.采用路桥施工技术处理软土地基方法分析[J].工程建设与设计,2018(23):216-218.

作者简介：吴锋（1987.6—），性别：男，民族：汉，籍贯：湖北咸宁，职称：工程师，学历：大学本科，研究方向：路桥施工技术与质量管理。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

轨道交通地下车站空调冷凝水回收利用探究

汪 瑛
上海市隧道工程轨道交通设计研究院，上海 200235

[摘要]针对轨道交通地下车站内废水直接排入市政排水管网，水资源未得到充分循环利用的现状，通过对不同车站水质、水量的调研和分析，聚焦车站废水水质较好的空调冷凝水，选择合适的回收利用技术方案，为轨道交通领域水资源回收利用的推广提供参考。

[关键词]地下车站；冷凝水；废水；中水；回收利用
DOI：10.33142/sca.v8i7.17145 中图分类号：X7 文献标识码：A

Exploration into the Recycling and Utilization of Air Conditioning Condensed Water in Underground Rail Transit Stations

WANG Ying
Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design and Research Institute, Shanghai, 200235, China

Abstract: In response to the current situation of direct discharge of wastewater from underground railway stations into municipal drainage networks and insufficient recycling of water resources, through research and analysis of water quality and quantity in different stations, this study focuses on the air conditioning condensate water with good wastewater quality in stations, selects appropriate recycling technology solutions, and provides reference for the promotion of water resource recycling in the field of rail transit.

Keywords: underground stations; condensate water; wastewater; recycled water; recycling and utilization

引言

水是人类赖以生存和发展的基础，随着社会的发展，水资源短缺和污染问题也成为了制约社会发展的关键性因素。为了进一步提升水资源利用效率，国家及各地先后发布了相关政策文件，以达到实现水资源循环利用、促进社会可持续发展的目的。在轨道交通行业中，随着城市地铁运营规模的不断扩大，所消耗的水资源也与日俱增，与此同时水资源的回收利用就成为轨道交通领域需要研究的重要课题。中国城市轨道交通协会于 2019 年发布的《绿色城市轨道交通车站评价标准》中，提出车站应制定水资源利用方案，统筹利用各种水资源。本文就轨道交通地下车站内水资源如何回收利用的问题，通过对中水水源和回收系统等分析，探究合理可行的利用方案，为地下车站水资源回用提供参考和借鉴。

1 中水水源分析与选取

在轨道交通地下车站中，可供回收利用的水资源主要是各类排水，有生活污水、雨水和废水。其中生活污水为车站工作人员和乘客产生的污水，主要是卫生间内污水，该类排水的污染程度高，处理工艺复杂，工程造价及后期运维费用等都很高，不宜作为中水水源。地下车站雨水主要来自敞口风亭和出入口等处，虽然雨水水质较为洁净，处理工艺相对简单，但雨水量受天气影响存在很大随机性，不利于保证中水水源的稳定性。同时现在地下车站的敞口面积一般较小，通常仅车站的低风井为敞口，总的敞口面积约100m^2，能收集的雨水量较少。综上所述，地下车站内的生活污水和雨水均不适用于作为中水系统的原水。

除去上述生活污水和雨水，地下车站可供回收利用的水资源还有废水。地下车站的废水主要有冲洗废水、生产废水、结构渗漏水、消防废水等。冲洗废水主要是车站公共区域等定期进行冲洗工作产生的废水，水质受车站客流量、冲洗频率及清洗方式等影响有较大差异；生产废水主要是空调冷凝水等，一般从环控机房的空调机组内排出至边上排水沟，水质较单一；结构渗漏水是通过结构外壁渗入车站，不同的土质情况和施工技术，渗漏水的水质、水量偏差较大；消防废水是在发生火灾的特殊情况下消防灭火产生的废水，有其偶发性，且会掺杂灭火剂，水质也较为复杂。除了空调冷凝水先用排水沟汇集，其他排水均通过就近地漏、排水管等排除。

对比上述几种废水的水质、水量及收集难易程度等因素，空调冷凝水相对其他废水而言在水质、水量上较为稳定，更具有可实施性和可操作性。

地下车站空调系统并非一直使用，其使用情况具有季节性。鉴于此因素，空调冷凝水收集后可以用做循环冷却水系统补水，即空调系统的排水用作自身补水在时间上是适配的。同时空调系统补水点集中，不会造成中水供水管网在车站内分散布置，也不会导致与生活用水混接而产生用水安全隐患的风险。

空调冷凝水大部分自冷冻水系统中空调机组排出，拟回

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

用于循环冷却水系统中冷却塔处补水。地下车站循环冷却水系统主要由冷水机组、循环冷却水泵、水处理装置、冷却塔、管道阀门等组成。其主要功能是通过设在地面的冷却塔将循环冷却水降温后，再通过冷水机组的冷凝器对冷凝介质进行降温冷却，从而达到车站空调系统的要求，如图 1 所示。

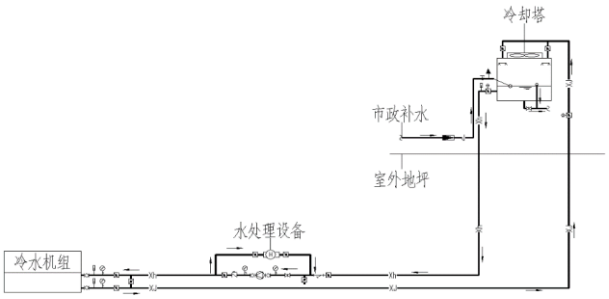


图 1　循环冷却水系统示意图

2 水质与水量分析

2.1 空调冷凝水水质分析

根据国家相关规范标准，中水水质应满足杂用水水质标准才能安全使用。其水质要求虽不如生活用水高，但针对不同的服务对象，依然要达到一定标准。本文研究的中水用于空调系统补水，其水质需满足《采暖空调系统水质》（GB/T29044）中的相关要求，具体详见表 1。

表 1　集中空调间接供冷开式循环冷却水系统水质要求

序号	指标	单位	补充水
1	PH 值（25℃）		6.5～8.5
2	浊度	NTU	≤10
3	电导率（25℃）	μS/cm	≤600
4	钙硬度	mg/L	≤120
5	总碱度	mg/L	≤200
6	Cl-	mg/L	≤100
7	总铁	mg/L	≤0.3
8	氨氮（NH3-Na）	mg/L	≤5
9	游离氯	mg/L	0.05～0.2（管网末梢）
10	化学耗氧量（CODcr）	mg/L	≤30

为了了解地下车站空调冷凝水的水质情况，通过在上海和重庆各选择了 3 座车站（共 6 座），对车站空调机组处的空调冷凝水进行采样检测，具体检测内容详见表 2。

对比表 1 和表 2，可知车站空调冷凝水排水水质基本满足集中空调间接供冷开式循环冷却水系统水质要求，仅个别参数超出标准：①上海车站 2 的电导率、氨氮略超标；②重庆车站 2 的氨氮有超标；③游离氯偏低。

电导率从定义上是为了衡量一个物质对电流的导通程度。水中的电导率受多种因素影响，包括溶解物质、温度、纯度等，一般可采用物理、化学或生物方法处理废水，例如采用氧化剂来氧化分解有机物，减少有机离子含量，从而降低电导率。

氨氮是指水中溶解的氨氮化合物浓度。通常水中氨氮超标是由于工业废水、农业废水中存在较多含氮废水未处理达标，或水体内部生化过程产生。因冷凝水的形成过程中不存在含氮污染物，故冷凝水中的氨氮来源主要为水体内部生化过程产生。对于此类情况可采取化学方法使用氧化剂（氯）来将氨氮转化为氮气或其他无害物质。

空调系统补水中要求存在一定量的游离氯，主要目的及作用是为了杀菌消毒、防止水质恶化、预防健康风险等。因为地下车站循环冷却水系统为开式系统，且循环冷却水的温度特别适合微生物的生存，细菌、藻类和真菌等生物在水中繁殖可能会导致管道堵塞、腐蚀和降低系统效率。可额外投加游离氯，保证其含量达到标准。

由上分析，冷凝水的水质较为清洁，基本满足回用需求，个别无法达标的指标，也可通过较为简单的化学方法处理达到标准。故空调冷凝水回用做本系统补水从水质方面分析是可行的。

2.2 水量平衡分析

根据《地铁设计规范》（GB50157）第 14.2.1-2 条要求，并结合项目经验，空调冷却水系统的补充水量按冷却水循环水量的 1.5%取用，使用时间为 18h，小时变化系数为 1。以一座常规两层地下车站为例，一般设置 2 套循环冷却系统，单套系统对应冷却水循环水量为 200m^3/h，空调冷却水系统补水量如表 3。

表 2　车站空调冷凝水水质检测表

序号	检测项目	上海车站 1	上海车站 2	上海车站 3	重庆车站 1	重庆车站 2	重庆车站 3
1	PH 值（25℃）	7.1	7.1	7.2	6.7	6.7	6.6
2	浊度（NTU）≤	1.5	1.6	1.6	1.7	1.3	1.2
3	电导率（25℃）（μS/cm）≤	459	617	588	417	491	520
4	钙硬度（mg/L）≤	2.18	3.78	4.8	1.62	1.8	1.66
5	总碱度（mg/L）≤	68	98	70	76	86	94
6	Cl-（mg/L）≤	8	6	7	5	6	6
7	总铁（mg/L）≤	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
8	氨氮（NH3-Na）（mg/L）≤	2.99	5.74	4.06	4.74	6.56	1.82
9	游离氯（mg/L）≤	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03
10	化学耗氧量（CODcr）（mg/L）≤	13	10	16	55	60	62

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

表 3 车站空调冷却水系统补水量表

序号	用水名称	用水量标准	用水倍数	使用时间	小时变化系统	最大时用水量
1	空调水系统补水量	400m³/h	1.5%	18h	1	6 m³/h

根据空调设计标准，可参考用冷负荷估算空调冷凝水排水量。每 1kW 冷负荷对应的空调冷凝水量约为 0.4~0.8 kg/h，对应上述车站的空调冷凝水排水量如表 4。

表 4 车站空调冷凝水排水量表

序号	排水名称	使用倍数	排水量标准	最大时排水量
1	空调冷凝水	1860kW	0.4～0.8 kg/h·kW	0.74～1.49m³/h

对比表 3 和表 4 可知，当空调冷凝水用于循环冷却水系统补水时，冷凝水补水量占总补水量的 12.3%～24.8%，故空调冷凝水用作空调水系统补水节能效果明显，具有较好经济效益。

3 回收利用系统方案研究

冷凝水回用系统主要由原水收集系统、原水处理系统和供水系统组成。

3.1 原水收集系统

车站环控机房内空调机组（组合式空调机组、非组合式空调机组等）是分散布置，冷凝水从空调机组排出后就近排入机房内排水沟，再由排水沟内最低点处的漏排至车站轨行区排放。空调机组排水点位于设备底部，距离房间地坪约 300mm，无法通过重力流方式在机房内进行冷凝水收集。但若采用传统方式汇集至轨行区后收集，不仅存在影响行车限界，还会出现其他废水混入等情况，造成收集的废水水质无法控制，影响废水处理方案的选定。

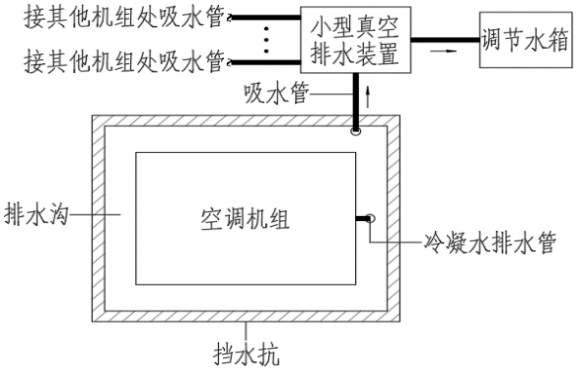


图 2 原水收集平面示意图

为了更好收集空调机组排水，需将环控机房内环通的排水沟进行局部调整，改成围绕空调机组的独立排水沟，形成逐个独立的排水区域。因现有排水沟深度较浅（约 200mm），为了便于排水沟内废水聚集，可在现有排水沟挡水坎上再增高 200mm。针对空间有限的情况，经调研可采用小型真空排水装置用于废水收集。随着冷凝水的排放，排水沟内水位逐渐升高，当升高至设定水位时，小型真空排水装置中真空泵会自动启动，将沟内废水抽至机房内的调节水箱。因一个小型真空排水装置可以有多根吸水管，吸水距离可达 100m 以上，所以在机房内设置一套小型真空排水装置，可同时收集房间内多个排水点。

3.2 原水处理系统

由 6 座车站的空调冷凝水水质分析可知，在检测项目中主要是电导率、氨氮和游离氯三个指标无法达标，针对不达标的内容，可以通过投加氯等强氧化剂进行处理，例如采用次氯酸钠（NaClO）药剂。次氯酸钠溶液是一种常见的消毒剂，通常用于消毒和杀菌，储存在特制的塑料或玻璃容器中，需使用暗色容器，以减少光线对次氯酸钠的分解影响，并确保容器密封良好，以防止气体逸出和外部污染物进入。次氯酸钠溶液拟通过计量泵投加入调节水箱内，对原水进行处理，确保水质达到使用要求。

3.3 供水系统

采用空调冷凝水排水用作循环冷却水系统补水，需要对原有系统进行局部调整，主要在环控机房内设置小型真空排水装置、调节水箱、加药装置、供水泵及配套管网等。通过采用小型真空排水装置将分散在环控机房内各处的冷凝水收集汇至调节水箱，在调节水箱通过加药装置处理后，由配套供水泵提升至室外冷却塔集水盘进行补水。

为了确保上述供水系统可达到较好的回用效果，可将上述功能集成为一套由收集模块、处理模块、回用模块和智能控制模块组成的一体化设备，如图 3 所示。通过各设备的集成及控制逻辑的优化，实现减少设备的占地空间，提升安装效率，也可提升本系统的稳定性。

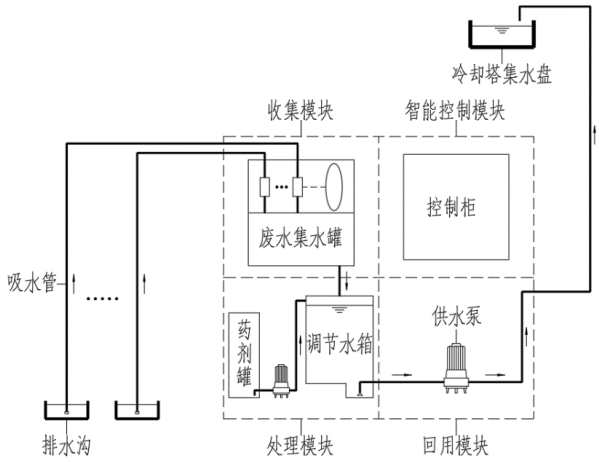


图 3 地铁车站冷凝水回收利用一体化装置示意图

（1）收集模块：由小型真空排水装置、若干末端收集管、若干末端液位传感器等装置组成。通过智能控制模块的逻辑判断，实现根据排水沟内液位高度，自动启动小型真空排水泵，收集各排水点冷凝水至处理模块的功能。

（2）处理模块：由水箱、计量泵、药剂桶，水箱液位传感器等装置组成。通过智能控制模块的逻辑判断，实现精准定量的投药消毒功能。

（3）回用模快：由小型供水泵、供水管、冷却塔集

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水盘液位传感器等装置组成。通过智能控制模块的逻辑判断，实现自动抽取调节水箱内消毒后的水为冷却塔进水补水的功能。

（4）智能控制模块：由控制柜及其内部电控元件组成。根据收集模块、处理模块、回用模块各类传感器收集到的信息，通过严密的逻辑判断后输出启动、停止各模块内对应设备的指令，实现空调冷凝水的自动收集、自动处理、自动回用的功能。

通过一体化装置实现冷凝水回用系统的自动化操作，可减少运营人员的工作量，也提高了工作效率。

4 总结与展望

轨道交通地下车站中采用空调冷凝水回收利用系统在经济效益方面，可节省水费、降低能耗费用；在环境效益方面，可节约水资源、降低污水排放量；在社会效益方面，可提升企业形象、推广节能技术。通过“节流-降本-减排”的三重价值，实现了经济、环境和社会的协同效益，也填补了轨道交通地下车站水资源回收利用研究的空白。

虽然车站空调冷凝水回收利用还面临一些挑战，如初期建设成本高、部分技术有待完善等，但随着技术的不断进步、政策的支持以及人们环保意识的提高，其回收利用前景十分广阔，将为轨道交通的可持续发展以及社会的节能减排目标做出重要贡献。

[参考文献]

[1]中华人民共和国住房和城乡建设部.中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.建筑中水设计标准:GB50336-2018[S].北京:中国建筑工业出版社,2018:2-3.
[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB50157-2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013:3.作者简介：汪瑛（1989—），女，汉族，本科，工程师，研究方向：轨道交通地下车站中水回用。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

城市轨道交通突发事件应急调度与协同联动机制优化研究

周 权
芜湖市运达轨道交通建设运营有限公司，安徽 芜湖 241000

[摘要]城市轨道交通网络规模不断扩大使得突发事件频发且变得更加复杂,传统应急调度模式和联动机制已难以满足高效处置需求。文中基于典型突发事件特征分析当前轨道交通应急调度与协同联动存在的问题，进而提出用智能化手段提高调度响应效率、增强多部门协作能力的系统性路径，通过机制重构、技术集成和流程再造构建高效、联动、智能且能有力支撑城市交通安全运行的一体化应急响应体系。

[关键词]城市轨道交通；突发事件；应急调度；协同联动；机制优化
DOI：10.33142/sca.v8i7.17140 中图分类号：TU984 文献标识码：A

Research on the Optimization of Emergency Dispatch and Collaborative Linkage Mechanism for Urban Rail Transit Emergencies

ZHOU Quan
Wuhu Yunda Rail Transit Construction and Operation Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241000, China

Abstract: The continuous expansion of urban rail transit network has led to frequent and more complex emergencies, and traditional emergency dispatch models and linkage mechanisms are no longer able to meet the needs of efficient disposal. Based on the characteristics of typical emergencies, this article analyzes the problems existing in the current emergency dispatch and collaborative linkage of rail transit, and proposes a systematic path to improve dispatch response efficiency and enhance multi departmental collaboration capabilities through intelligent means. Through mechanism reconstruction, technology integration, and process reengineering, an efficient, interconnected, intelligent, and powerful integrated emergency response system that can support urban traffic safety operation is constructed.

Keywords: urban rail transit; emergencies; emergency dispatch; collaborative linkage; mechanism optimization

引言

近年来，城市轨道交通迅猛发展，各类突发事件如设备故障、火灾、安保事件等对其安全运行发起挑战，现有的应急体系大多存在响应慢、部门协同差、信息传递不通畅等问题，严重影响应急效率和乘客安全，本文打算从机制、技术、组织协作等层面系统探究应急调度与联动机制的优化路径，为城市轨道交通应急管理能力的提升提供理论依据和实践指导。

1 城市轨道交通突发事件特征分析

1.1 突发事件类型分类与演化趋势

城市轨道交通系统复杂且高密度运行，这使得其突发事件趋于多样化、快速演化，常见突发事件有设备故障类（像信号系统故障、供电中断、制动失灵）、自然灾害类（如地震、台风、洪涝）、人为事件类（像恐怖袭击、乘客恶意阻断、群体性事件）以及火灾事故等，城市化进程加快、城市人口密度升高，近年来突发事件频率变高、影响范围扩大、处置难度加大，外部环境多变、内部系统交互复杂等因素让部分突发事件诱因变得复合、隐蔽且事件发生往往快速扩展，传统单一应对模式面临挑战，早晚高峰时段尤其如此，轻微事件若应对不当很可能演变成大规模运营中断事件，可见轨道交通系统对突发风险既敏感又脆弱。

1.2 突发事件对交通运行的影响机制

轨道交通突发事件发生后会连锁性、系统性地影响系统运行，一方面事件发生点也许使列车运行中断、车辆滞留、乘客疏散困难，另一方面信息传递的延迟、应急响应的不及时易引发乘客恐慌、人员聚集甚至次生事故，设备故障类事件往往让列车运行图大幅调整影响列车间隔与发车频率，火灾或人为事件则直接威胁人员安全必须马上组织停运、疏散和警戒，部分事件还会干扰运营控制中心、调度指令、现场执行等环节造成多点位资源调配混乱，媒体和网络的传播效应也可能使舆情升级迫使运营单位在应急处置时兼顾舆情管理使管理压力进一步加大，可见突发事件对轨道交通系统运行的影响有突发性、复杂性、扩散性三个特征急需系统化、快速化、联动性的应对机制来支撑。

1.3 城轨应急处置的特殊要求

城市轨道交通是个半封闭系统，其应急处置与其他城市公共系统相比有一定特殊性，城市轨道交通列车运行环境封闭、隧道多、乘客密集，一旦出事故疏散路径受限且逃生通道复杂，应急方案要有很强的可行性并精确匹配，并且轨道交通运营组织高度集中，调度控制系统应急时要

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

快速切换到应急模式以实现多点联动、统一指令来防止现场决策冲突，像地铁这样的轨道交通有公安、消防、医疗、交管等多个协同单位参与，需要形成高效协同响应机制来统一协调调配人力物力资源，还有运营安全与大量专业设备有关，应急处置人员要有专业操作能力才能确保故障排查、设备切换、紧急撤离等过程高效完成。

2 应急调度体系现状与问题识别

2.1 应急调度组织架构的薄弱环节

多数城市轨道交通系统目前已初步构建起应对突发事件的组织架构，不过整体存在着职责交叉、层级模糊、决策链条过长等结构性薄弱之处，实际操作里应急调度机构大多由运营单位主导，缺乏统一的跨部门协同组织，在涉及公安、消防、医疗等外部单位时容易出现响应主体不明确、沟通通道不畅等状况，部分单位内部应急职责划分不明，存在信息层层上报、调度命令反复确认等情况，决策响应效率因此低下，并且调度指令多靠人工判断和口头传达，缺乏系统化、流程化的信息推送机制，有误传、延误或者执行力不足等风险，关键岗位人员配置不合理、轮班机制不完善、应急操作权限未能及时下放等问题也使组织架构的实战能力被削弱。

2.2 指挥响应效率滞后的成因

轨道交通突发事件发生后，应急指挥系统即时响应、精准调度往往难以做到，效率滞后主要有三方面原因：其一为信息获取迟滞，事件刚发生时现场相关信息难马上传回指挥中心，靠人工汇报则判断依据不够，难以迅速反应；其二是调度流程繁杂，多数运营单位内部调度层级多，事件要经多部门汇总、评估、确认才交决策层处理，从而实际响应滞后；其三应急决策凭主观经验，缺乏数据支撑和智能辅助工具，遇复杂事件常“信息过载”或者“决策犹豫”，并且部分调度人员应急处置训练不足，临场应变能力差，对突发事件应对方式不熟，指令传达不及时，行动不果决。

2.3 应急预案缺乏系统演练与更新

城市轨道交通突发事件应对的应急预案是重要指导文件，其处置成效直接由科学性和实用性决定，但实际工作中部分运营单位的预案存在不少问题，如内容陈旧、针对性不强、操作性差等，编制预案大多为符合监管要求，缺乏基于实际风险评估和历史案例复盘的动态修订机制，不能满足多场景、多类型事件应对需求，尤其预案演练机制不健全，缺乏跨部门、多频次、实战化的联动演练，相关单位之间默契不足、程序衔接不顺畅，有些演练仅是走形式，未暴露和解决预案中的问题，存在纸上演练和实战脱节情况，并且演练后的评估和反馈机制不完善，发现的问题未及时反馈到预案修订中，未形成闭环管理，再者预案更新频率低，未及时融入新技术、新装备和新制度要求，降低了预案实用性和前瞻性。

3 多部门协同联动机制存在的主要问题

3.1 指挥体系与职责划分不清晰

城市轨道交通突发事件应急处置常牵涉运营公司、公安、消防、交警、医疗、应急管理等诸多单位，但实际联动响应时指挥体系层级交叉、责任模糊、权责不对等，这使得指挥协调效率很低，应急状态下一些部门决策权限划分不明确，不晓得啥时候哪个部门牵头响应、谁能调配资源和发出关键指令，指令容易重叠甚至冲突，像火灾或恐怖事件中公安与运营单位、消防没有统一指令源就会协调混乱、延误救援，并且应急响应存在“行政主导”和“专业主导”失衡的状况，关键时候专业调度人员没决策权而指挥官又不了解现场真实情况，这会影响处置事件的及时性和准确性。

3.2 信息共享与决策联动机制缺失

在应急联动里，保障快速响应的关键在于信息共享效率，但现有协同机制下多部门的信息却“孤岛化”，运营单位虽常最先掌握事件信息，却因流程、系统或保密制度受限而不能马上共享给公安、消防等单位，这使外部部门在响应前期信息滞后或误判并影响资源调度和战术安排；不同部门的应急管理系统各自独立，没有统一平台和数据接口，信息传输依靠电话、微信、传真等传统方式，难以做到信息对接的标准化、结构化、实时化，并且联动单位缺乏常态化联合决策机制，应急时各自为战、单线推进的情况很常见，缺少基于统一数据的联合会商机制，很多应急调度会在高压时才临时召开，无法支持快速判断和协调，由于决策流程不透明、信息反馈不及时，下级执行单位难以精准理解上级意图，调度行动执行就会有偏差。

3.3 联动单位间通信与协调障碍

在突发事件应急时，处置速度和效果直接受多单位协作是否顺畅的影响，可当前城市轨道交通联动单位间通信手段落后、协调机制缺失这一问题仍很严重。先从技术方面说，各单位大多用自家的通信系统，运营单位靠轨道专网通信，公安消防则用政务无线系统或指挥平台，相互之间互联互通差且没有统一通信频段或跨部门通信终端，这就使得现场协调只能靠人跑腿或者临时打电话，效率低还容易出错。再从机制方面看，联动单位在应急状态下缺少快速联络和调度优先机制，跨单位调度请求常得层层报批，从而错过最佳干预时机，协作时各单位一般按自己职能独立行事，缺乏协同操作流程、指令标准和任务分工，很难同步执行，有些单位对轨道交通系统运行机制了解不多且缺少针对性培训和常态化沟通，实战中在语言、术语、执行方式等方面就有了“沟通壁垒”。

4 智能化应急调度系统优化路径

4.1 构建基于 GIS+AI 的决策支持平台

要让城市轨道交通应急调度智能化，构建一个集成地理信息系统（GIS）与人工智能（AI）技术的决策支持平

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

台很重要，GIS 技术能精确提供地理空间定位服务，将车站、隧道、疏散通道等关键基础设施可视化管理，让调度人员实时感知空间态势，而 AI 技术融合历史数据分析、机器学习模型、图像识别等手段后，可智能识别事件类型、自动判断影响范围、推荐调度策略等，并且平台要汇聚列车运行数据、乘客流量、设备状态、监控视频和报警信号等多种数据源，依靠规则库与推理机制实现辅助决策功能，火灾预警触发时，平台能自动推演受影响区域、预判人员密集程度，给出最优疏散路径和调度措施方面的建议。

4.2 引入大数据辅助风险预警与响应调度

城市轨道交通突发事件的早期识别和动态调度能从大数据技术的引入得到强有力支持，建立分析模型，涵盖历史事件、运行日志、设备故障记录、客流动态、气象信息等多维度数据，就能提前识别出潜在风险点并生成预警信号。好比在大数据平台上，区间车速变化、电压异常、乘客滞留量等参数可被实时监测，异常组合模式一出现就会触发联动预警，提示可能存在设备异常或者乘客滞留事件。大数据模型还能根据事件类型、发生时间、地点等特征动态调整应急资源配置策略，实现精准化调度，将深度学习和行为预测算法相结合，可预测人群行为趋势，从而为疏散路线规划、人员引导配置提供决策参考。

4.3 智能调度算法与应急资源快速匹配策略

突发事件特点复杂多变，传统人工调度难以快速匹配资源并部署响应，得靠智能算法来提升调度效率和精度，智能调度算法有不少可用的，像基于图论的路径优化算法、用蚁群算法优化资源分配、靠遗传算法处理多目标调度问题之类的，这些算法能短时间计算多个资源点，快速弄出多方案调度策略，还能根据实时反馈动态修正，让调度措施在时间、空间和效果上达到最优，系统要预设各种应急资源数据库，应急列车、疏散引导员、医疗器械、消防设备啥的都得有，再结合 GIS 定位和事件类型，自动匹配最优响应单元，匹配机制也得考虑响应时间、到达路径、当前占用状态等多方面因素，把调度精细化水平提上去，通过算法平台连入“应急资源共享池”和多部门资源库，这样就能跨单位调用资源，提高整体应急效率。

5 协同联动机制的系统重构策略

5.1 建立“平战结合”的协同作战体系

轨道交通应急联动机制系统重构的首要任务是建立“平战结合”的协同作战体系，把日常运行状态和应急状态有效衔接起来形成常态准备、非常态联动的响应格局，具体来讲，构建以运营单位为核心、政府相关部门为支撑的联合指挥架构且日常运营时嵌入多部门协作演练机制，以便一旦进入突发事件状态就能无缝切换到“战时”状态做到统一组织、调度、口径，组织体系方面要明确各部门平时和应急状态下职责转化路径并优化岗位设置与权限分级制度以使响应快速有力，资源上提前建立资源动态储备库和联动调配平台让各类应急力量有随时响应的基础条件。

5.2 制定跨部门联合处置标准流程

联动效率要提升，关键在于跨部门联合处置实现标准化，这需从制度设计方面开始，制定出统一、清晰且操作性强的应急处置流程规范，明确各类突发事件的响应级别、启动条件、主责单位、协同机制、信息通报路径、现场指挥体系等关键环节内容，尤其要强化“黄金十五分钟”快速响应机制，设定应急任务节点时间要求，列出各参与单位响应动作清单，避免出现行动迟缓以及责任推诿的情况，并且还得在流程标准里加入多部门协作模块，如公安现场封控、消防灭火救援、医疗救护衔接、交通接驳等，达成职责清楚、节点明确、路径闭环的协同操作体系。

5.3 构建多维信息融合与实时共享机制

多部门间要实现突发事件应急联动就得快速融合信息并实时共享，这需要构建统一的信息集成平台，打通现有系统间的技术壁垒以让视频监控、车站数据、客流密度、报警信息等多维数据实时接入并集中展示，该平台要有数据标准化、接口通用化、权限分级化的功能才能保障信息可用、可控、可追溯，各单位基于此共享决策依据和调度方案就能提升判断协同能力，技术方面引入区块链、云计算和 AI 算法可保障数据可溯和智能研判，这个平台有助于从“信息孤岛”转变为“智慧共享”从而全面增强应急联动效能。

6 结束语

城市轨道交通突发事件应急管理遭遇多元化、复杂化挑战，传统调度和联动模式难以满足高效响应需求，本文针对应急调度体系和协同机制的现状问题，提出构建以 GIS、AI、大数据等技术为支撑的智能化应急调度平台以系统优化多部门联动协作体系，通过“平战结合”、流程标准化、信息融合来实现现代化应急管理模式，做到响应快、指挥有序、联动高效，从而为提升城市轨道交通运营安全和应急处置能力提供系统性路径。

[参考文献]

[1]张克礼.城市轨道交通行车调度优化与突发事件应急处置研究[J].人民公交,2025(10):176-178.
[2]赵媛.高峰期城市轨道交通司机应急处理能力提升研究[J].人民公交,2025(10):182-184.
[3]穆云江,吕丹.地铁行车调度应急处理的原则和方法研究[J].中国储运,2025(3):78-79.
[4]李颖峰.城市轨道交通调度应急处置能力综合评价研究[J].交通科技与管理,2024,5(24):167-169.
[5]华夏.应急情况下的快速响应机制及对地铁调度优化的影响研究[J].运输经理世界,2024(35):136-138.

作者简介：周权（1979.12—），男，江苏南京人，本科，现就职芜湖市运达轨道交通建设运营有限公司，副总经理，长期从事轨道交通运营安全生产（应急、消防、职业健康、环保、治安反恐等）管理工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

浅析铁路行车安全风险管理的有效策略

何海翔
浙江金温铁道开发有限公司，浙江 温州 325000

[摘要]随着铁路体制改革持续深入推进，铁路事业正一步步走向市场化发展的道路，这给运输行车安全提出了更高的要求。面对全新的形势，铁路企业需要积极去适应这种变化，科学地审视当前的状况，构建起较为完善的行车安全防控机制，切实提高行车安全风险管理所取得的效果。鉴于此，文章着重探讨了怎样建立健全的风险管理体系，希望能够为相关的实践给予一定的参考以及借鉴。

[关键词]铁路行车安全；风险管理；有效策略
DOI：10.33142/sca.v8i7.17139　　中图分类号：F273　　文献标识码：A

Brief Analysis of Effective Strategies for Risk Management of Railway Operation Safety

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

Abstract: With the continuous deepening of railway system reform, the railway industry is gradually moving towards market-oriented development, which poses higher requirements for transportation and operation safety. Faced with the new situation, railway enterprises need to actively adapt to this change, scientifically examine the current situation, establish a relatively complete mechanism for train safety prevention and control, and effectively improve the effectiveness of train safety risk management. In view of this, the article focuses on exploring how to establish a sound risk management system, hoping to provide some reference and inspiration for relevant practices.

Keywords: railway operation safety; risk management; effective strategy

引言

随着我国铁路事业快速向前发展，铁路运输已然成为极为重要的基础设施，同时也是国民经济的命脉所在。其安全运行的情况，与人民的生命财产安全以及社会的稳定状况有着极为紧密的关联。不过在铁路行车的过程当中，存在着不少复杂并且处于动态变化之中的安全风险因素，像设备出现老化的现象、线路所处的环境十分恶劣、人员在操作时出现失误等情况，还有诸如自然灾害这类因素，这些因素相互叠加在一起，这就让铁路行车安全管理面临着极为严峻的挑战。传统所采用的安全管理模式，大多依靠经验来开展工作，并且往往是处于一种被动应对的状态，很难去满足现代铁路运输对于安全方面高效、精准的需求，所以迫切需要构建起一套科学且系统的风险管理体系，以此来达成对风险的全面识别、动态监控以及有效控制的目的。行之有效的铁路行车安全风险管理策略，一方面能够起到预防以及减少安全事故发生的积极作用，另一方面可以提升铁路运输的可靠性与稳定性，同时还能够让应急响应能力以及整体管理水平得到提升，从而推动铁路运输朝着智能化、信息化的方向实现转型发展。鉴于此，本文围绕铁路行车安全风险管理的实际情况展开探讨，深入剖析其中存在的各类问题，并且给出具有针对性的有效策略，以此为保障铁路运输安全给予相应的理论支撑以及实践方面的指导。

1 铁路行车安全风险管理的重大意义

铁路行车安全风险管理的核心在于对车站行车过程中潜在的安全风险进行科学、有效地识别、评估、应对和监控，从而为铁路行车的安全运行提供坚实保障，同时有效保护人员生命和财产安全。当前，尽管铁路各级部门在安全管理方面投入了大量人力、物力和财力，并取得了一定成效，但仍存在管理机制和体制不完善、制度不严谨甚至不合理的问题；管理理念、手段与方式相对滞后；以及安全教育培训难以满足新时代铁路运输安全需求等诸多不足。这些问题严重制约了铁路运输的健康发展，亟需从根本上加强安全基础建设，推动安全管理工作形成良性循环，切实提升铁路运输的安全性、持续性与稳定性。

2 当前铁路行车安全风险管理存在的问题

2.1 风险识别机制不健全

当前铁路行车安全风险管理所存在的诸多突出问题当中，风险识别机制不健全可算作是其一。就实际运行状况而言，铁路运输系统会面临极为复杂的环境以及各式各样的潜在风险因素，像设备出现老化情况、线路发生故障、天气产生变化、人为操作出现失误等等。然而现有的风险识别机制通常只是依靠经验来做出判断，并且依靠事后的总结，缺少具备系统性以及科学性的预警模型，同时也没有风险数据库作为支撑，这就使得部分隐性风险很难被及时察觉到。尤其是在面对那种突发性或者偶发性的风险的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

时候，因为没有统一的识别标准，而且也没有动态监测机制，所以相关单位很难实时掌握潜在的危险源，进而让行车过程中充满了不确定性，安全隐患也增多了[1]。除此之外，部分基层单位对于风险识别的重视程度不够，缺少必要的风险分类以及分级标准，这使得管理层在资源调配以及应对策略方面存在着盲区，最终使得铁路行车系统整体的风险防控能力有所削弱。

2.2 应急预案体系不完善

当前铁路行车安全风险管理方面，应急预案体系存在诸多不足，尽管部分铁路运输单位制定应急响应方案，但多数预案内容空洞、操作性差、更新滞后，难以应对复杂突发事件。实际运行中，出现紧急情况时，相关人员常因对预案流程不熟悉，指挥混乱，导致反应迟钝、处置失当，加剧事故影响。一些铁路管理单位对应急演练不够重视，演练流于表面，缺少针对多部门协同、极端情况模拟、实时通信保障等关键环节的系统演练，致使在实战环境里预案难以有效施行。

2.3 安全培训流于形式

在当下铁路行车安全风险管理者安全培训仅仅流于表面形式这样的问题普遍存在，这对整体安全管理成效产生了颇为严重的影响。虽说各级铁路单位大体上都设置了安全培训的相关制度，可在具体实施的过程当中，诸多培训活动仅仅停留在为了应付检查以及完成任务的这种层面上，缺少系统性、针对性以及实效性。一部分培训内容比较陈旧且缺乏更新，没办法有效地去应对新技术、新设备所引发的操作方面的风险；有一部分培训在开展过程中是照着书本念、理论显得空洞，缺少实际操作方面的演练以及对事故案例的分析，致使员工对于培训内容的理解不够深入、记忆也不牢固。甚至还有这样一种情况，一些处在一线岗位的职工因为工作特别忙碌或者制度执行不够严格，存在着代签、漏训等诸多现象，这就让培训工作几乎形同虚设一般。

2.4 技术手段应用不足

在铁路行车安全风险管理期间，技术手段运用不够的情况已然变成限制安全水准提升的关键难题。当下，即便铁路系统在持续推动现代化进程，可在实际运作以及管理环节里，依旧有部分环节依靠传统的手工巡检以及经验判断，缺少先进技术给予的有效支撑。部分基层单位由于受到资金、技术以及管理能力等方面的限制，对于智能监测系统、数据分析平台、物联网设备这类新兴技术的引入速度比较缓慢，使得关键设备的运行状态以及线路的安全状况很难做到及时且准确地掌握[2]。并且，已有的各个技术系统之间存在着信息孤岛的现象，数据没有达成高效的共享与联动，对风险预警的及时性以及处置的精准性都产生了影响。

3 铁路行车安全风险管理的有效策略

3.1 完善风险评估与分级管理体系

完善铁路行车安全的风险评估与分级管理体系，是提升整体安全管理科学性和前瞻性的关键举措。在铁路运输系统里，面临的安全风险种类繁多、成因复杂、动态变化明显，所以急需建立一套系统化、标准化的风险评估机制，对各类潜在风险进行全面识别、定量分析与动态监测。这一体系要结合铁路运营特点，把设备故障、自然灾害、人员误操作、通信中断等不同类型的风险因素纳入统一评估框架，并依据其发生概率以及可能造成的后果，科学划分风险等级，实现“红、橙、黄、蓝”多级分类管理。在分级的基础上，明确各类风险的控制重点与应对等级，确保重大风险优先管控、重点监测，普通风险常态管控、动态跟踪，形成分工明确、层级清晰的安全管理体系。要强化风险评估结果在日常运营中的指导作用，把评估结论作为制定安全政策、调配资源、组织应急演练的依据，确保风险管理措施与实际运营紧密衔接，提升铁路行车系统应对复杂安全环境的能力与水平。

3.2 建立健全行车安全预警与应急响应机制

建立起完善的行车安全预警以及应急响应机制，这可是提升铁路系统处理突发事件能力的关键所在，同时也是把安全事故的影响降到最低的核心环节。在铁路运输期间，像各类自然灾害、设备出现故障、人员操作失误等等诸多因素，都有可能引发突发性的行车风险，所以得构建起一个从预警、响应、处置到恢复整个过程都包含在内的闭环管理机制。一开始，要依靠大数据分析、物联网感知还有智能监控这类技术手段，去实时收集列车的运行状态、线路所处的环境状况以及信号设备等相关关键数据，进而建立起具备多个维度的安全监测模型，对行车安全的态势展开动态评估，并且设置合理的风险预警阈值，达成对异常情况能提早发现、提早发出预警的目的。在响应这个层面上，需要制定出针对不同风险等级以及各类事故类型的标准应急预案，清晰界定各级指挥机构各自的职责分工、响应的具体流程以及处置所需的时间要求，以此保证在突发事件出现的时候，能够快速启动相关机制并且有效实现各方面的联动[3]。因此还得配备数量足够的应急资源，进一步强化现场的应变能力，借助定期开展实战化的应急演练这种方式，来检验预案的实际操作性以及部门协同工作的效率，持续对应急响应机制的实效性和适应性加以优化，从而全方位地提升铁路系统的风险防控水准以及安全保障的能力。

3.3 强化员工安全意识与操作规范培训

强化员工安全意识以及操作规范方面的培训，这在提升铁路行车安全管理水平而言，是一项基础性的工作。铁路运输系统在运行的时候，对一线员工的操作规范性以及应变能力有着极高的依赖程度。可是在实际开展工作的过程中，有一部分员工对于安全风险的认知存在欠缺，其操作习惯也并不规范，如此一来就很容易引发因人为因素而造成的行车事故。所以说，务必要把安全教育培训当作是

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

常态化且制度化的关键管理内容，借助分层分类的培训体系，依据不同岗位以及职责情况，去制定具有针对性的教学内容以及实训方案，以此来强化员工对于安全制度、操作规程以及紧急处置流程的理解与掌握程度。因此还得重视培训方式的多样性，运用案例教学、模拟演练、沉浸式体验等多种形式，提升员工的参与程度以及实操能力，促使安全意识能够切实地转化为职业素养。

3.4 推进信息化与智能化安全监管技术

推进信息化以及智能化安全监管技术，乃是达成铁路行车安全管理朝着高效、精准且可控方向完成转型的关键举措。伴随大数据、人工智能还有物联网等一系列现代技术不断向前发展，将这些技术运用到铁路行车安全监管领域当中，不但可以让风险监测的实时性得以提升，而且其准确性同样会有所提高，同时还可大幅提升安全管理的科学化程度。在实际运行的过程中，凭借构建起综合信息平台，达成对轨道状态、列车运行参数以及设备运行状况等诸多来源的数据展开集中采集并且进行智能分析的目标，如此一来便能够及时察觉到潜在的隐患，并且发出相应的预警，以此来切实有效地防范事故的发生。因此依靠视频监控、动态识别、人脸识别以及智能传感等各类技术手段，能够针对重点区域、关键岗位人员还有行车调度的整个过程实施可视化监管，进而实现从依靠“人防”转变为依靠“技防”以及“智防”的改变。除此之外，智能化系统还能够借助算法分析自动形成安全风险报告、调度方面的建议以及应急指令，以此来提高管理的效率以及决策的质量。

3.5 加强安全制度建设与安全责任落实

强化安全制度建设以及落实安全责任，这构成了保障铁路行车安全风险管理得以有效运行的基本前提。一套完善且颇具科学性的安全制度，可为各级各类管理人员以及身处一线的员工给予清晰明确的行为规范与操作标准，以此来保证在铁路运输进程当中，各项安全举措能够依照规范切实执行到位。制度建设所涉及的范围，既包含安全生产方面的技术规范以及操作流程相关内容，同时也应当把风险管理、隐患排查、事故报告、应急响应等诸多方面都囊括进去，进而构建起一个能够覆盖整个流程以及全部岗位的制度体系[4]。因此要将各级各岗位的安全责任予以明确界定，建立起相应的责任追究机制，以此来促使安全责任能够一级一级地切实落实下去，真正实现“谁主管、谁负责，谁操作、谁负责”这样一种状态，从而避免出现责任相互推诿以及管理存在盲区等情况的发生。

3.6 构建多部门协同联动机制

构建多部门协同联动机制，可让铁路行车安全风险管理综合效能得以最大程度地发挥，这是极为重要的保障措施。铁路行车安全涵盖多个职能部门，像运营管理、设备维护、应急指挥以及安保监督等等，这些部门职责分工清晰，不过彼此之间存在关联，单靠某一部门很难独自处理那些复杂且多变的安全风险情况。所以得搭建起一个协同工作平台，这个平台要能实现信息共享、资源整合以及快速响应等功能，以此来促使各个部门能够做到无缝衔接并且紧密配合起来。制定出统一的联动流程以及沟通机制，达成在风险预警、隐患排查还有应急处置等诸多环节上的协同联动效果，从而保证当出现安全隐患或者发生突发事件的时候，可以快速地去协调调动各方面力量，形成合力来展开有效的处置行动。因此还要强化跨部门的联席会议以及联合演练工作，以此提升协作默契程度以及实战能力，推动安全管理责任能够在各个部门的整个过程当中都贯穿始终。

4 结语

铁路行车安全风险管理在保障铁路运输安全稳定运行方面占据着极为关键的地位。当下，安全风险呈现出日益复杂的态势且变化莫测，在这样的形势之下，对风险评估与分级管理体系加以完善，同时建立起健全的预警以及应急响应机制，另外还要强化员工的安全意识并且加强操作方面的培训工作，积极推动信息化智能化技术的应用，并且进一步强化安全制度建设以及责任的落实等方面举措，这些共同构成了一套能够有效提升铁路行车安全管理水平的策略。唯有采取多种措施综合施策并且协同推进，才能够实实在在地防范各类安全风险并且妥善化解它们，进而保障铁路运输得以安全且高效地运行。在未来的发展进程中，伴随技术的不断进步以及管理理念的持续更新，铁路行车安全风险管理体系将会变得更为完善，从而为推动铁路事业实现可持续发展给予强有力的保障。

[参考文献]

[1]马骏.浅析铁路行车安全风险管理的有效策略[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2016(10):32-33.
[2]李畅.安全风险管理在铁路车务行车工作中的应用研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2022.
[3]秦国辉.铁路行车安全风险管理方法[J].民营科技,2018(3):159.
[4]魏明.试论铁路行车安全风险管理方法的研究与分析[J].科技与创新,2018(11):113-114.

作者简介：何海翔（1991.11—），单位名称；浙江金温铁道开发有限公司，毕业学校和专业；浙江师范大学行知学院 交通运输专业。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

数字化管理在现代公路建设项目中的实践与发展

蒋燕茹
新疆生产建设兵团第十师交通运输服务中心，新疆 北屯 836000

[摘要]伴随信息技术快速发展，数字化管理已然成为现代公路建设项目提高效率与质量的关键手段。文章全面梳理了数字化项目管理技术的内涵以及它在公路建设中的应用情况，细致剖析了依靠 BIM、GIS、物联网和人工智能等技术搭建起来的数字化管理平台，研究了全生命周期数字化管理体系以及借助数据驱动来把控质量、安全与进度的方法。通过阐述项目各个阶段数字化管理的实际操作，展示出其在可研设计、施工协同还有竣工运维等环节所起到的作用以及具有的价值。与此针对当下应用当中存在的技术集成、数据标准、人员能力转型等方面的挑战，给出了智能演化路径、政策标准建设以及人才培养等相关优化策略，促使数字化管理技术能够更好地为现代公路建设的高质量发展服务。

[关键词]数字化管理；公路建设；项目管理
DOI：10.33142/sca.v8i7.17134 中图分类号：U415 文献标识码：A

Practice and Development of Digital Management in Modern Highway Construction Projects

JIANG Yanru
Transportation Service Center, the 10th Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Beitun, Xinjiang, 836000, China

Abstract: With the rapid development of information technology, digital management has become a key means of improving efficiency and quality in modern highway construction projects. The article comprehensively summarizes the connotation of digital project management technology and its application in highway construction. It meticulously analyzes the digital management platform built on technologies such as BIM, GIS, Internet of Things, and artificial intelligence, and studies the full lifecycle digital management system and data-driven methods for controlling quality, safety, and progress. By elaborating on the practical operation of digital management in various stages of the project, demonstrate its role and value in feasibility study design, construction collaboration, and completion operation and maintenance. In response to the challenges of technology integration, data standards, and personnel capability transformation in current applications, relevant optimization strategies such as intelligent evolution path, policy standard construction, and talent cultivation are proposed to promote digital management technology to better serve the high-quality development of modern highway construction.

Keywords: digital management; highway construction; project management

引言

现代公路建设属于基础设施建设里的重要部分，它肩负着推动区域经济发展以及促进社会交流这样的关键使命。伴随项目规模变得越来越大，技术复杂程度也在提高，传统的管理模式已经没办法满足高效、安全以及精细化方面的需求了。数字化管理技术开始兴起，给公路建设带来了从未有过的变革机会。借助融合 BIM 也就是建筑信息模型、GIS 即地理信息系统、物联网传感器还有人工智能算法等先进的信息技术，建设项目管理达成了从数据采集、信息集成一直到决策支持的全流程智能化，这使得项目执行效率以及质量控制水平都有了明显提升。本文围绕现代公路建设里面的数字化管理模式以及其在各个阶段的实际应用来展开，结合现实所面临的挑战，阐述未来的发展趋势以及优化对策，目的是为行业的技术发展以及管理创新给予理论方面的依据以及实践层面的指导。

1 数字化项目管理技术概述

数字化项目管理技术是指利用 BIM+GIS、物联传感器、移动处理、人工智能算法等数字技术,搭建基于工程实体和数字模型的数字化项目管理平台。通过划分子系统模块,将高速公路项目建设中的安全、质量、劳务、物料、试验室数据,环水保监测数据,节点工程现场视频数据等实时传输并集成至数字化平台,利用移动数字终端和平台终端实现高速公路项目建设的实时、高效管理。

2 现代公路建设中的数字化管理模式

2.1 全生命周期数字化管理体系

现代公路建设一般包含规划设计、施工建设以及验收运营等诸多阶段，构建起覆盖整个生命周期的数字化管理体系，可达成信息的接连集成以及共享，推动资源的优化配置。全生命周期数字化管理体系把数字模型当作核心，将设计数据、施工动态还有运营维护信息加以整合，形成一个统一的信息平台，贯穿于项目从立项一直到退役的每一个环节当中。借助实时数据的采集与分析，管理者能够动态地知晓项目进展以及质量状况，及时发出潜在风险的预警，并且做出科学的决策。与此该体系能够支撑各参与

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

方之间的协同工作，打破信息孤岛的状况，实现高效的沟通以及流程再造，切实提高公路建设的透明程度以及管控能力。从全生命周期的角度来看，这既强化了项目管理的前瞻性与综合性，也为后续的运维给予了详尽的数据支撑，促使公路建设朝着智慧化以及绿色化的方向不断发展。

2.2 项目管理数字平台架构与功能模块

数字平台在现代公路项目数字化管理当中充当着技术载体的角色，其架构设计的好坏会对管理效率以及信息流畅度产生直接的影响。典型的数字管理平台运用的是模块化架构，被划分成数据采集层、数据处理层、业务应用层还有展示交互层这几个部分。数据采集层借助物联网传感器、无人机等这类技术来实时抓取施工现场的环境状况、安全监测情况、材料使用状况以及人员动态等方面的多维信息。数据处理层会利用大数据以及人工智能算法去开展数据清洗、数据分析以及数据挖掘等工作，以此来保证信息能够准确且可靠。业务应用层要依据公路建设的实际具体需求来设置，包含了质量管理、进度控制、安全监管、资源调配以及合同管理等诸多功能模块，可以支撑多个角色以及多个项目的协同作业。展示交互层是以可视化界面以及移动终端作为主要的表现形式，能够提供实时数据监控、异常报警以及决策支持等方面的功能，进而强化管理人员对于项目全局的感知能力。该架构是通过开放接口来达成与第三方系统的无缝集成的，以此来保障平台具备可扩展性与灵活性，从而满足不同规模以及不同复杂程度公路项目的管理方面的需求。

2.3 数据驱动的质量、安全与进度控制方法

数据驱动的管理方式乃是现代公路建设数字化管理的关键所在，其借助实时数据的收集以及分析，达成对质量、安全以及进度的精准把控。就质量管理来讲，通过将 BIM 模型和现场数据加以对比，能够实现工程质量的在线检测以及缺陷识别，从而及时察觉施工偏差并且予以纠正。安全管理依靠环境传感器以及人员定位技术，对危险区域与人员动态展开监测，再结合智能预警系统，大幅度降低了安全事故发生的可能性。而进度控制方面，则是利用施工数据流来动态地调整计划，同时结合机器学习预测进度走势，以此助力管理层优化资源配置以及工序安排。数据驱动的这种控制模式推动了项目管理朝着科学化与精细化的方向发展，强化了风险防控的能力，保证项目能够在预定的成本与时间范围之内高质量地完成。与此该方法还为项目管理积累了极为宝贵的数据。

3 数字化管理在公路建设各阶段的实践应用

3.1 项目前期可研与设计阶段的数字化支持

项目在前期开展可行性研究以及设计阶段的时候，数字化管理的应用可以说是关键的起点所在。借助数字化的相关手段，能够达成对地形地貌、环境资源还有工程方案进行精准建模以及细致分析的目的，如此一来便可以让规划具备更高的科学性，同时也更具可操作性。设计团队运用 BIM 以及 GIS 技术，在三维的数字环境当中，可以直观地呈现出设计方案的具体情况，进而开展冲突检测方面的相关工作，并且做出相应的优化调整，这样能够大幅度地降低后期施工过程中出现变更的风险。与此凭借数字化平台所推动的协同设计，促使多专业、多部门之间能够更好地实现信息的共享以及有效地沟通，从而让设计效率得以提升。像环境影响评估、造价预算以及风险分析这些环节，也都从数字技术所给予的支持当中获得了益处，这使得前期所做的各项决策能够变得更加科学、更为透明，效率也更高。数字化技术还能够支持设计方案实现动态的更新，确保设计数据能够做到实时的同步，进而为后续的施工阶段筑牢坚实的基础。

3.2 施工阶段的数字化协同管理实践

施工阶段在公路建设过程中堪称是最具挑战性的时段，在此阶段，数字化协同管理起到了极为关键的作用。借助搭建起统一的数字化管理平台，可达成施工现场各个工序以及各专业之间信息的共享以及流程的协同，如此一来便打破了传统意义上的信息孤岛状况，进而有效提升了施工的效率。数字化管理所涉及的范围包含了施工进度的实时跟踪、资源调度方面的优化、安全隐患的自动预警以及质量检测的自动化等方面，这在很大程度上降低了施工的风险并且减少了管理的成本。移动终端得以广泛地应用之后，现场的管理人员就能够实时上传相关的数据、反馈存在的问题，并且可以及时地去协调并加以解决，以此来确保项目能够顺利地向前推进。再结合云计算以及大数据分析手段，施工管理便变得更加科学且精准了，施工过程的透明度也有了明显的提升，这对于促进施工质量以及安全水平的全面提升是极为有利的，同时也为项目能够按期且保质交付提供了强有力的保障。

4 数字化管理实践中的问题与挑战

虽然数字化管理技术给现代公路建设赋予了诸多创新元素并促使效率有所提升，然而在实际的应用进程当中依旧面临着不少的问题以及挑战。技术融合存在一定的难度，像 BIM、GIS、物联网还有人工智能等众多技术的集成目前还不够成熟，这就致使各个系统之间的信息流通不顺畅，平台的各项功能也呈现出割裂的状态，进而对整体的管理效能产生了影响。缺少统一的数据标准以及规范，信息孤岛的现象较为普遍，在很大程度上限制了数据的共享以及深度挖掘工作，很难让数据发挥出其最大的价值[1]。相关人员的数字素养以及管理理念都有待提高，传统施工管理方面的思维和数字化技术的应用之间存在着明显的断层，这对新技术的推广以及落地起到了阻碍的作用。除此之外，数字化建设所投入的成本相对较高，特别是在中小规模的项目里，经济效益还没有得到充分的体现，这使得部分企业在面对数字化转型的时候采取了观望的态度。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

数据安全以及隐私保护方面的问题日益变得突出起来，信息泄露以及系统安全方面的风险是需要给予高度关注的。上述这些挑战对于数字化管理的进一步推进形成了严峻的考验，必须要依靠多方协同共同努力才能够将其破解开来。

5 未来发展趋势与优化对策

5.1 数字化管理的智能演化路径

随着信息技术持续推陈出新，数字化管理于公路建设范畴正一步步迈向更为高阶的智能化时期。往后，数字化管理会愈加着重人工智能以及大数据分析的高度融合，借助机器学习还有预测模型，达成针对施工进度、质量风险以及安全隐患的主动预判以及动态调控[2]。数字孪生技术的广泛运用会让项目实体和其数字模型达成实时联动，打造出高度逼真的虚拟工地环境，给管理决策给予强有力的支撑。与此 5G 通信以及边缘计算的普及将会大幅度提升数据传输速率与处理效率，促使现场设备与人员实现实时的互联互通。智能化管理不但可以提升项目的响应速度与灵活性，而且还会推动资源配置的优化，达成绿色建造以及可持续发展的目标。总体来讲，智能演化路径会引领公路建设数字化管理步入“感知-分析-决策-执行”一体化的新时代。

5.2 政策推动与标准体系建设建议

数字化管理得以广泛推广，政策方面需给予有力支持，标准体系也得起到规范引导作用。政府要积极制定专门扶持数字化建设的政策，像资金补贴、税收优惠还有技术研发激励这类举措，以此来降低企业数字化转型的难度和所需成本。与此要强化针对数字技术应用的行业标准与规范的制定工作，把数据格式、接口协议以及安全防护标准统一起来，增进不同系统和平台之间的互操作性以及数据共享程度[3]。构建起涵盖设计、施工、验收以及运维整个生命周期的数字化标准体系，这对提高项目整体管理水准以及质量保障能力很有帮助。还要推动数字化人才的培养以及技术培训工作，培育出跨学科的复合型专业人才，保证政策措施和人才发展能够同步推进。政策与标准共同发挥作用，可为数字化管理营造良好的发展环境，促使公路建设行业朝着智能化、规范化的全新阶段迈进。

5.3 人才培养与组织变革策略

数字化管理得以有效施行，既离不开先进技术，还应依靠那些具备相应技能以及理念的人才队伍。公路建设企业应当构建起系统化的人才培养体系，着重强化针对 BIM、GIS、物联网还有数据分析等技术的专业培训工作，以此来提高管理人员以及一线员工的数字素养以及应用能力。要引进跨领域的复合型人才，推动技术与管理实现深度融合，促使数字化理念能够渗透进企业文化当中。与此企业的组织结构需要做出适应性的调整，冲破传统部门所存在的壁垒，组建起跨职能的数字化项目团队，强化协同创新以及信息共享方面的机制[4]。借助推行数字化考核与激励机制，可以激发员工积极投身于数字管理实践的热情。还需加强和高校、科研机构展开合作，构建起产学研一体化的人才培养平台，以此来确保人才供应的持续性以及创新能力。人才培养以及组织变革在推动数字化管理落地方面起到了关键的支撑作用，其对于公路建设行业数字转型的成效以及深度有着决定性的影响。

6 结语

数字化管理属于现代公路建设项目管理极为关键的变革力量，正推动该行业朝着更为高效、智能且绿色的发展新时代迈进。本文全面剖析了数字化管理的技术根基、管理模式以及其于项目各个阶段的具体运用情况，充分展现了数字化技术在提高质量控制水平、强化安全保障能力以及优化进度管理方面所发挥的明显作用。与此就当下实践当中存在的技术集成难题、数据标准缺失、人才短缺等各类问题，给出了智能演化、政策标准构建以及人才培养等方面的具有针对性的解决办法。在未来，伴随技术的不断发展与管理理念的持续创新，数字化管理定能达成更深层次的智能化集成并获得广泛推行，进而推动公路建设项目达成高质量发展。只有加大技术研发力度、完善政策支持体系、培育专业人才，才能够充分挖掘数字化管理的潜能，促使公路基础设施建设迈向智慧新时代。

[参考文献]

[1]黄媛,谢光星,李军.高速公路建设阶段数字化管理平台研究与设计[J].无线互联科技,2024,21(8):40-42.

[2]李瑞杰,张洪韬,何小俊,等.全要素数字化方法在公路建设项目中的应用[J].中国交通信息化,2023(11):34-37.

[3]马世俊.数字化项目管理技术在高速公路建设管理中的应用研究——以某高速公路项目为例[J].项目管理技术,2023,21(7):6-11.

[4]陈宝光,王茂文,黄学源,等.数字化建造下公路工程建设项目管理平台架构的研究[J].项目管理技术,2021,19(2):58-63.

作者简介：蒋燕茹（1991.2—），毕业院校：中国海洋大学青岛学院，所学专业：土木工程，新疆生产建设兵团第十师交通运输服务中心，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于抗震性能提升的桥墩结构创新设计研究

金京京
吉林省交通科学研究所，吉林 长春 130000

[摘要]地震作用下桥墩结构易损，为此提出一种基于抗震性能提升的创新设计方法，通过优化桥墩截面形式、配置新型耗能构件和采用智能材料复合技术构建多级抗震防线，经数值模拟与振动台试验验证，强震下新结构延性变形能力和能量耗散效率更优且残余变形大幅降低，研究建立的桥墩抗震性能量化评估体系为复杂地震环境中的桥梁工程提供可靠设计依据。
[关键词]桥墩结构；抗震性能；创新设计；耗能构件；智能材料
DOI：10.33142/sca.v8i7.17155 中图分类号：U448 文献标识码：A

Research on Innovative Design of Bridge Pier Structures Based on Seismic Performance Enhancement

JIN Jingjing
Jilin Provincial Transport Scientific Research Institute, Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract: Under the action of earthquakes, bridge pier structures are vulnerable. Therefore, an innovative design method based on seismic performance improvement is proposed. By optimizing the cross-sectional form of bridge piers, configuring new energy absorbing components, and using intelligent material composite technology to construct multi-level seismic defense lines, numerical simulations and shaking table tests have verified that the new structure has better ductility deformation capacity and energy dissipation efficiency under strong earthquakes, and residual deformation is significantly reduced. The established quantitative evaluation system for bridge pier seismic performance provides a reliable design basis for bridge engineering in complex earthquake environments.
Keywords: bridge pier structure; seismic performance; innovative design; energy consuming components; intelligent material

引言

地震是极具破坏力的自然灾害，能严重威胁桥梁结构安全，而桥墩作为桥梁关键承重构件，其整体安危直接取决于抗震性能，传统桥墩设计在强震面前常出现延性不足、残余变形大等问题，探索提升抗震性能的桥墩结构创新设计很迫切，下文会阐述优化截面形式、配置新型耗能构件、运用智能材料等技术，给桥梁抗震设计提供新思路。

1 桥墩结构抗震性能现状与关键问题分析

地震频频发生，这给桥梁安全带来了极大威胁，而桥梁里桥墩是关键部件，它的抗震性能非常重要，当前桥墩抗震设计存在不足，现状和关键问题急需深入剖析。

1.1 桥墩结构抗震性能现状

过往地震灾害里桥墩破坏现象很常见，早期建的部分桥墩由于设计标准低，受地震影响时混凝土压溃、钢筋屈曲之类的严重损伤常出现，从而使得桥梁整体结构功能丧失，一些按现行规范设计的桥墩遭遇超强地震也难以躲开不同程度的破坏，像在强震区域部分桥墩底部出现塑性铰就会有较大残余变形，进而影响桥梁正常使用和后续修复，不同类型桥墩抗震性能差别大，空心桥墩抗剪性能往往比实心桥墩弱，在地震中更易发生剪切破坏。

1.2 影响桥墩抗震性能的关键因素

桥墩的抗震性能受结构形式的重要影响，桥墩截面形状不同，力学性能和抗震能力就有差别，圆形截面的桥墩各方向力学性能较均匀，抗扭性能佳，但在抗弯上可能没矩形截面桥墩那么直接有效。材料特性的关键作用也不容小觑，像混凝土的强度等级、钢筋的屈服强度等都会影响桥墩的承载和变形能力，高强度混凝土虽可提升桥墩抗压强度，却可能使其延性降低。构造细节也不能被忽视，箍筋间距、配筋率等，箍筋配置合理就能有效约束混凝土，让桥墩抗剪能力和延性提高，防止混凝土过早剥落。

1.3 现有桥墩抗震设计存在的问题

目前，相关规范是桥墩抗震设计的主要依据，但规范往往存在一定局限性，一方面大量试验数据和工程经验总结出规范中的设计方法与参数，可是对于特殊地质条件或者复杂地震环境下的桥墩设计也许不能准确反映实际情况，另一方面现有设计着重保证桥墩在地震作用下的强度与变形要求，然而对震后桥墩的可修复性考虑不够，有些桥墩地震后虽没倒塌，但残余变形太大，修复又难又贵，甚至无法修复，这使得桥梁长期不能恢复正常使用。

2 基于抗震优化的桥墩截面形式创新设计

抗震成效与桥墩截面形式有关，传统形式有局限性，因此急需探索创新设计来提升桥墩抗震性能以保障桥梁地震时安全稳定运行。

2.1 常见截面形式对桥墩抗震性能的影响

矩形、圆形、空心等是常见的桥墩截面形式，矩形截面桥墩顺桥向和横桥向抗弯刚度差别大，地震时受力不均，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

刚度小的方向易有大变形和应力集中从而造成局部破坏，圆形截面桥墩力学性能均匀且抗扭能力强，不过在抗弯上比起一些优化过的截面形式材料利用率不高，空心截面桥墩能省材料、减自重，只是抗剪性能弱些，在地震剪力作用下易出现剪切斜裂缝而影响整体抗震能力。

2.2 新型截面设计理念的提出

本文深入分析传统截面形式后提出一种创新的组合式变截面设计理念，这能进一步提升桥墩地震作用下的整体性能且综合多种截面形式的优点并按结构受力特点优化布置，桥墩底部一定高度范围采用抗弯抗剪性能好的实心矩形截面以增强关键部位承载能力，遭受强震时可有效抵抗巨大内力保障结构安全。

高度增加时，桥墩截面会逐渐变成空心圆形截面，这种截面形态既有着圆形截面受力均匀、抗扭刚度高的优点，又让桥墩自重减轻不少从而使地震惯性力随之降低、抗震韧性得以提高，在矩形和圆形截面的过渡段，设计用平滑曲线连接以避免应力集中且提升结构整体性和力学性能的连续性，总体来讲，这个设计理念在保证结构安全、优化材料利用、提升抗震性能上优势明显，工程推广前景不错。

2.3 新型截面改善桥墩力学性能的机制

新型组合式变截面经由合理的形状与尺寸设计优化了桥墩的力学性能，抗弯时底部实心矩形截面抗弯刚度较大能有效抵抗地震弯矩从而减少桥墩弯曲变形且上部空心圆形截面在满足抗弯需求的减轻结构自重进而降低地震惯性力，抗剪时底部实心部分增加混凝土受压面积提高了混凝土抗剪承载力再合理配置箍筋使抗剪性能进一步增强，地震作用下新型截面桥墩靠底部实心部分的塑性铰区域吸收与耗散大量地震能量而上部空心部分保持相对弹性使残余变形减少进而提高桥墩抗震可靠性和震后可修复性。

3 新型耗能构件在桥墩结构中的配置与应用

地震能量容易让桥墩遭受严重损伤，传统设计难以有效应对这种情况，而新型耗能构件的引入意义非凡，对其配置应用加以研究就能提升桥墩的抗震能力，保障桥梁安全。

3.1 新型耗能构件工作原理与性能剖析

新型耗能构件有多种类型，像金属阻尼器、黏滞阻尼器、摩擦阻尼器之类的，金属材料塑性变形耗能是金属阻尼器耗能的依据，当桥墩在地震作用下有较大位移时，阻尼器中的金属构件就进入塑性阶段，地震能量靠不可恢复的塑性变形来吸收，其耗能能力稳定又持久，而黏滞阻尼器耗能靠的是黏滞流体的黏滞阻尼特性，桥墩振动时，流体经过小孔或者间隙产生阻尼力，将地震能量转化成热能散掉，对高频地震动耗能效果较好，摩擦阻尼器则通过构件间相对滑动摩擦实现耗能，地震作用下，摩擦面产生摩擦力，做功把地震能量消耗掉，构造简单成本还低。

3.2 桥墩中新型耗能构件的合理布置策略

桥墩的受力特点、地震作用方向和结构空间等因素都得综合起来考虑才能确定新型耗能构件的布置方式以让能量消耗达到最大程度并使结构得到最大保护，顺桥向将金属阻尼器或者摩擦阻尼器布置在桥墩两边与桥墩串联或者并联成为一个体系是可行的，桥墩若在顺桥向因地震弯曲变形时阻尼器能快速反应有效吸收地震释放的能量从而使主结构受力减小，横桥向若桥墩较高沿桥墩高度多设置几个黏滞阻尼器不但能增强对横桥向地震造成的桥墩扭转、弯曲的控制能力还能使结构在多维振动时响应变好，要合理布置连接构件和锚固系统以保证耗能构件和主结构协同工作、确保桥墩正常使用功能不受影响且方便日后施工、安装、维护和更换操作从而统一结构安全性、功能性和经济性。

3.3 耗能构件降低桥墩损伤的作用机制

地震一来，新型耗能构件比桥墩主体结构先进入塑性工作状态，桥墩受地震力时，耗能构件靠自身塑性变形、摩擦或者流体阻尼这些机制能吸收、耗散好多地震能量，从而使传到桥墩主体结构上的能量减少，就拿金属阻尼器来说，它塑性变形时把地震能量变成金属的热能和变形能，让桥墩应力水平和变形幅度大幅降低，防止桥墩主体结构出现混凝土压溃、钢筋屈曲这些严重破坏，这既能提升桥墩抗震性能，又能降低震后桥墩修复难度与成本，使桥梁结构整体安全性和可靠性更强。

4 智能材料复合技术在桥墩抗震中的融合探索

传统桥墩抗震难以应对复杂地震，智能材料复合技术带来了新的契机，在桥墩中探索二者的融合有望让桥墩实现自适应抗震，提升桥梁的抗震安全水平。

4.1 智能材料特性剖析

智能材料物理和化学性质独特且在外界刺激下能智能响应，其在桥墩抗震领域潜力巨大。形状记忆合金（SMA）有形状记忆效应与超弹性，塑性变形后经加热等激励因形状记忆效应可精准恢复原始形状像有“记忆”，而且超弹性使它在较大应变范围产生可恢复弹性变形，承受较大地震位移也无永久损伤从而极大增强结构韧性。压电材料有正逆压电效应，正压电效应能将机械能转电能，逆压电效应能将电能转机械能，因此机械信号和电信号能灵活互转，这给桥墩抗震的智能感知和精准调控打基础。

4.2 智能材料在桥墩中的应用方式

SMA 能制成丝、棒、索等形式并被灵活用于桥墩，精心将其布置在桥墩的塑性铰区域，这一区域在地震时容易出现较大变形与损伤，桥墩受地震作用而产生较大变形时，SMA 凭借超弹性特性在较大应变范围内会有可恢复的弹性变形，从而大量吸收地震能量，有效减轻桥墩主体结构受力，地震过后利用形状记忆效应，加热使其复原，带动桥墩部分恢复变形，大大减少残余位移，降低震后修复难度；压电材料可制成传感器与驱动器并巧妙地嵌进桥墩，传感器借助正压电效应精确感知桥墩在地震中的应变、振动等状态信息，快速把机械信号转化为电信号传输给控

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

制系统，驱动器按照控制系统指令利用逆压电效应产生微小位移或者力，实时调整桥墩受力状态。

4.3 智能材料实现自适应抗震的作用机制

地震发生时，桥墩的振动频率、加速度和应变等参数被压电传感器迅速感知并随即反馈给智能控制系统，预设抗震策略之下，控制系统会对压电驱动器下达指令，后者借助逆压电效应产生相应作用力，从而改变桥墩局部刚度或阻尼、调整其振动特性，让桥墩避开地震卓越频率、减少共振效应，与此依据桥墩变形情况，SMA 发挥超弹性和形状记忆效应，吸收和耗散地震能量以辅助桥墩恢复变形，智能材料和桥墩结构协同工作使桥墩力学性能得以实时调整，达成自适应抗震目的，有效提高桥墩在复杂地震下的抗震能力和安全性。

5 创新设计桥墩结构的抗震性能验证与评估

桥墩结构创新设计效能的确证需要科学的验证与评估，通过数值模拟和试验来分析响应特性、构建评估体系能给创新设计有力支撑。

5.1 数值模拟验证创新桥墩抗震性能

验证创新设计桥墩结构抗震性能时，数值模拟是重要手段，可用有限元软件建创新桥墩结构的精细模型以精确模拟几何形状、材料特性以及各部件连接关系，向模型里输入天然地震波、人工地震波等不同类型、强度的地震动来模拟地震时桥墩的动态响应过程，分析模拟结果得到桥墩在不同地震动输入下位移、加速度、应力、应变等关键参数变化规律，发现强震下创新设计的桥墩位移响应比传统桥墩明显小且关键部位应力集中现象改善显著，某特定强度地震波作用时，传统桥墩顶部位移达[X1]厘米，创新桥墩顶部位移仅[X2]厘米（[X2]＜[X1]），这表明创新设计能有效提高桥墩抗变形能力，而且创新桥墩应力分布更均匀，可避免局部过早进入塑性阶段，结构整体稳定性和抗震韧性增强。

5.2 振动台试验进一步检验与探索

振动台试验能更真实地模拟地震环境，从而提供创新桥墩结构抗震性能验证可靠的试验依据。按相似理论确定模型与实际结构的尺寸比例、材料性能等参数，设计制作出创新桥墩结构的缩尺模型，将模型安装于振动台并施加不同工况的地震动激励以模拟地震从弱到强的全过程。试验时，用高精度传感器实时采集桥墩模型位移、加速度、应变等数据，观察桥墩的破坏形态和破坏过程。试验结果显示，多次不同强度地震动作用之后，创新桥墩结构完整性依旧良好，没有出现明显的脆性破坏特征，而传统桥墩在较低强度地震动下就有混凝土开裂、钢筋屈服等现象，相比之下，创新桥墩在更高强度地震动下才开始有轻微损伤且损伤发展慢，充分证明创新设计在提高桥墩抗震性能方面效果显著。

5.3 构建量化评估体系并对比分析

全面准确评估创新设计桥墩结构的抗震性能时，建立一套综合考量桥墩位移响应（涵盖最大位移、残余位移等，用于度量桥墩在地震下的变形状况）、损伤程度（靠定义不同损伤等级，结合试验或模拟所得的应变、裂缝宽度等数据确定桥墩损伤状态）、能量耗散能力（反映桥墩在地震时吸收和耗散地震能量的能力）等多个关键指标的科学合理的量化评估体系非常关键，算出各指标数值并赋予相应权重就能得出创新桥墩和传统桥墩的综合抗震性能评分，对比分析结果表明创新设计桥墩结构的综合评分显著高于传统桥墩，在位移控制、损伤抑制和能量耗散等方面优势明显，这再次证实了创新设计的有效性和优越性，给创新设计桥墩结构在实际工程中的应用提供了坚实的理论和实践依据。

6 结束语

桥墩抗震领域的创新研究意义非凡且成果斐然，从截面形式基于抗震优化的创新到新型耗能构件合理布局再到智能材料复合技术融合探索，每一步创新都给桥墩抗震性能提升带来新的思路与方法，通过数值模拟、振动台试验验证抗震性能并构建量化评估体系对比分析，这充分表明创新设计的桥墩结构在位移控制、损伤抑制和能量耗散等方面颇具优越性，这些创新成果有力支撑桥梁工程抗震设计且对提高桥梁地震中的安全性可靠性有益，从而推动桥梁抗震技术不断发展。

[参考文献]

[1]郭光秀.RC 桥墩钢筋不同锈蚀位置及动水压力对其抗震性能影响规律研究[D].烟台:鲁东大学,2019.

[2]董硕.钢纤维橡胶混凝土角部加强空心桥墩抗震性能研究[D].天津:天津大学,2022.

[3]杨海洋.装配式混凝土桥墩上下部连接关键技术研究[D].天津:河北工业大学,2023.

[4]田洪源.装配式双柱自复位桥墩的抗震性能分析及改善[D].沈阳:沈阳建筑大学,2024.

[5]吴永昂.CFRP 及外包钢套加固震损双层高架桥框架式桥墩抗震性能试验与理论研究[D].武汉:武汉科技大学,2024.

作者简介：金京京（1983.1—）男，吉林省长春市人，回族，本科学历，副高级工程师，就职于吉林省交通科学研究所，从事桥梁设计工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高速公路路基养护过程中存在的问题及其应对策略研究

汪 勇
江苏现代路桥有限责任公司，江苏 南京 210000

[摘要]为了提高高速公路路基养护的质量，这篇文章全面且细致地分析了在高速公路路基养护进程里所存在的各类问题，同时也对其应对策略展开了剖析。具体而言，深入探讨了路基养护工作于人员方面、设备方面、材料方面、养护方案方面以及管理制度方面所存在的诸多主要问题。在对这些问题进行了一番探讨之后，还相应地给出了与之匹配的解决办法。此项研究希望能够为高速公路路基养护工作的科学推进给予强有力的支撑，进而为其筑牢稳固的基础。

[关键词]高速公路；路基养护；问题及对策
DOI：10.33142/sca.v8i7.17154 中图分类号：U418 文献标识码：A

Research on the Problems and Countermeasures in the Maintenance Process of Highway Roadbeds

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

Abstract: In order to improve the quality of highway subgrade maintenance, this article comprehensively and meticulously analyzes various problems that exist in the process of highway subgrade maintenance, and also analyzes their corresponding strategies. Specifically, the main issues related to personnel, equipment, materials, maintenance plans, and management systems in roadbed maintenance work were thoroughly discussed. After discussing these issues, corresponding solutions were also provided. This study hopes to provide strong support for the scientific promotion of highway subgrade maintenance work, and thus build a solid foundation for it.

Keywords: highway; roadbed maintenance; problems and countermeasures

引言

我国经济持续快速发展，交通运输需求日益增长。高速公路是连接区域经济、推动社会发展的关键基础设施，其建设与维护状况直接影响国民经济运行效率及人民生活品质。路基属于高速公路的基础构造部分，其质量好坏既影响路面结构的稳定性与承载力，又关乎道路使用寿命以及行车安全。不过，伴随高速公路网规模逐步扩大，路基在长时间运营期间受交通荷载、自然环境以及人为因素综合影响，容易出现沉降、裂缝、边坡滑塌等多种病害情况，给公路安全运营带来严峻考验。当下，高速公路路基养护工作普遍存在养护人员素质参差不齐、养护设备管理滞后、养护材料质量不稳定以及养护方案缺乏科学性等诸多方面的问题，这些问题一方面制约了养护工作的效率与质量，另一方面增加了养护成本以及安全风险。鉴于此，深入剖析高速公路路基养护过程中存在的主要问题，探寻科学合理的应对策略，对于提高路基养护管理水平、确保高速公路安全畅通有着重要的现实意义与长远价值。本文会围绕高速公路路基养护存在的问题展开系统研究，结合实践经验，给出切实可行的改进对策，期望能为相关管理部门和养护单位提供理论支撑与决策参考。

1 高速公路路基养护的重要性

高速公路路基属于承载整个道路结构的基础部分，其稳定性与完整性跟道路整体的使用寿命以及行车安全紧密相关。在高速公路长时间运行期间，路基会受到车流荷载反复施加的作用、气候变化带来的影响、水土的侵蚀作用以及地下水位发生变化等多种因素的共同影响，很容易出现沉降、开裂、翻浆、边坡滑塌等各类病害情况，进而对道路表层结构的平整性与安全性造成影响。所以，开展科学且系统的路基养护工作，是保证高速公路运行质量以及通行效率极为关键的一个环节。路基养护不但可以及时察觉并处理潜在的隐患，避免小问题逐渐发展成为重大安全事故，而且还能使道路的服役周期得以延长，降低整体养护方面的成本，提高基础设施投资的效益。与此随着我国交通运输需求持续增长以及高速公路网不断拓展，高质量且规范化的路基养护已然成为推动交通强国建设以及区域经济发展的重要基础保障。

2 高速公路路基养护存在的问题分析

2.1 养护人员综合素质低

在高速公路路基开展养护工作期间，养护人员的综合素质处于偏低状态，这已然成为当下所面临的一项颇为棘手的问题。众多身处基层的养护人员普遍缺少系统的专业知识以及相应的技能培训，对于路基结构方面的特性、常见病害的识别方法与处理原则等了解不够全面，致使在实际实施作业的时候，没办法精准地去判断具体的养护需求，也难以制定出行之有效的养护举措。除此之外，有一部分人员的安全意识较为薄弱，对于操作规范的执行情况也不

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

尽如人意，这无疑增加了养护作业过程当中出现安全隐患的可能性。部分养护人员的文化水平相对较低，他们接受新技术、新设备的能力相对较弱，在应对信息化、智能化养护管理手段的推广工作时，存在着不小的适应方面的阻碍[1]。由于人员流动性较强，稳定性较差，这也进一步对养护工作的连续性以及规范性造成了影响，使得很难构建起专业化且系统化的养护队伍。

2.2 养护设备管理不当

在高速公路路基养护过程中，养护设备管理不当是制约工作效率和质量的重要因素之一。当前，部分单位存在设备种类配备不齐、技术性能落后、使用频率低以及维护保养不到位等问题。一些关键性机械设备长期处于闲置、损坏或功能不全状态，不能及时投入使用，严重影响了养护工作的时效性和专业性。此外，设备使用记录不完善、管理制度不健全，导致设备调配效率低，资源浪费严重。在实际操作中，由于缺乏统一的调度和管理平台，设备之间的协同作业能力弱，难以应对大范围、多病害类型的路基养护需求。

2.3 养护材料质量差

高速公路路基养护过程中需要采用大量材料，如土、砂、石（碎石、砾石）、木料、水泥、石灰等，养护材料性质的好坏，直接关系到公路路基的养护效果。然而需要注意的是，有些高速公路路基养护时，为了节约养护成本，养护单位仅注重养护材料的成本，而忽略了材料的质量，导致路基养护工作中使用了很多不合格的材料，由于这些材料性质较差，导致路基强度与稳定性不符合规定要求使某高速公路使用时出现了严重的不均匀沉降问题。

2.4 养护方案不合理

在高速公路路基展开养护工作期间，养护方案存在不合理的情况是广泛存在的，这种情况对养护工作的科学性以及实效性形成了极为严重的制约作用。部分养护单位在着手制定方案的时候，缺少针对路基结构的具体状况、病害所属类型以及发展趋势展开细致的调查与剖析，常常凭借经验主义来制定方案或者照搬固定的模板，没办法依据实际的状况做出具有针对性的调整，如此一来，养护措施就没办法有效地契合实际存在的问题[2]。与此有一部分方案在制定之时缺乏在整个过程中的技术方面的有力支撑，对不同季节、不同地区气候、地质等自然条件给路基性能带来的影响没有给予足够的重视，进而使得资源投入和养护效果之间出现不匹配的现象。

2.5 养护制度不完善

高速公路路基养护过程中，养护制度不完善的情况，这在很大程度上制约了养护工作的系统性以及规范性。就当下而言，部分地区在开展养护工作的时候，还没有构建起科学且系统的制度体系，缺少统一的技术标准、操作规程以及管理流程，如此一来，各类养护行为便呈现出较强的随意性，缺少规范方面的指导。有些养护单位对于路基养护并没有制定长期的规划，存在着重视建设而忽视养护、重视突击修复而轻视日常维护的现象，没办法形成常态化的、精细化的管理模式。制度执行机制较为薄弱，监督考核体系要么缺失，要么仅仅流于形式，这就使得养护责任难以得到落实，工作效果也难以进行量化的评估。部分制度内容落后于技术的发展，没办法契合现代化养护的需求，在信息化、智能化手段的应用方面更是缺乏制度层面的支撑。

3 公路路基养护问题的应对策略

3.1 构建高素质养护人员团队

构建起高素质的养护人员团队，这无疑是在提升高速公路路基养护质量以及工作效率方面极为关键的一项举措。一开始，得从源头处着手去强化人员选拔以及培训方面的机制，要去引进那些有着公路工程、土木工程等与之相关专业背景的人才，进而建立起一支把技术能力还有责任意识当作核心要素的养护队伍。在这样的基础之上，要定期开展专业培训活动以及技能竞赛，以此来促使人员对于路基结构、病害识别、养护工艺还有设备操作等方面能够实现较为全面且透彻的掌握，从而保证养护人员在实际开展工作的过程中，可以科学地去判断所遇到的问题、准确无误地操作设备并且精准地执行相关方案。与此还得进一步增强团队成员的安全意识以及质量意识，强化针对职业道德方面的教育工作，让其拥有良好的工作纪律以及协作精神。在管理这个层面上，应当构建起这样一种组织架构，即分工明确、职责清晰且能实现上下联动的状态，以此来推动养护工作从传统的粗放型模式逐步朝着专业化以及规范化的方向去转变。随着智能化、信息化手段在公路养护领域当中得到越来越广泛的应用，还必须要着力去培养那些具备现代信息技术操作能力的复合型人才，从而能够适应智慧养护所呈现出的新发展要求。

3.2 加强养护设备的管理

强化养护设备的管理，这是提高公路路基养护效率以及质量极为关键的一个环节。需要去构建起较为完善的养护设备台账管理制度，针对各类设备实施统一的登记工作，赋予它们相应的编号，并且做好分类处理，还要定期开展检查事宜，以此来保证设备始终能处于良好的运行状态当中。在日常的管理过程当中，务必要严格依照设备使用的相关规范流程来执行，另外还需制定出更为科学合理的维护周期以及技术检查方面的标准，防范设备由于缺少保养而产生故障或者出现性能方面的衰退情况。与此要着重加强设备的集中调度工作，做到合理配置设备资源，防止出现资源闲置不用或者是重复投入资金这样的状况，进而提升设备的使用效率以及作业时的协同能力。在设备更新换代这件事上，应当充分结合养护的实际需求情况，去引进那些自动化程度更高、智能化水平也更高的新型设备，像智能压实设备、病害检测仪器等等这类设备，以此来提升养护作业的精准程度以及增加其中所蕴含的科技含量[3]。除此之外，还得进一步加大针对设备操作人员的培训力度，提升他们操作设备的技能水平以及增强他们的安全意识，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

从而确保设备可以规范、安全且高效地运转起来。

3.3 注重养护材料的管理

对养护材料加以管理，这是保证公路路基养护质量以及工程耐久性的一项基本保障举措。在实际开展工作的过程当中，得从源头处去把控材料采购这个环节，要严格地执行材料进场时的检验相关制度，务必要让所选用的诸如土工材料、稳定剂、加固材料等等各类养护材料都契合国家以及行业所规定的技术标准，且这些材料得具备不错的物理性能以及良好的环境适应性。就材料储存这一方面而言，需要依据不同材料各自所具有的特性来进行分类堆放，同时还要采取像防潮、防晒、防火这类的安全防护措施，以防因为保管方式不妥当而致使材料性能出现下降的情况或者造成材料的浪费。与此还得建立起完善的材料管理台账以及出入库的相关记录，以此来达成对材料数量、使用状况以及剩余库存情况的动态跟踪以及精准的管控目标，进而提高材料的利用率，避免出现资源浪费以及重复采购的状况。在养护施工的具体实施过程中，应当依据不同的路基病害类型、地质方面的条件以及气候因素等情况，科学合理地去选配相应的材料，要确保所选用的材料能够与施工工艺高度地匹配起来，通过这样的方式来提升整体的施工质量以及结构的稳定性。除此之外，还应当积极鼓励采用绿色环保类型的材料，推动节能减排以及可持续发展的理念在养护工作的当中得以深入的应用。

3.4 采取合理的方式制定养护方案

合理方式制定养护方案对于提升公路路基养护的科学性以及实效性而言，乃是极为关键的一个环节。在实际开展工作的过程当中，应当凭借较为完备且精准的基础数据作为强有力的支撑，借助定期展开巡查、运用技术检测手段以及开展病害评估等一系列举措，去细致深入地了解路基当下所处的结构状态、具体呈现出来的病害类型以及后续的发展走向等情况，从而为方案的制定给出科学合理的依据。在此情况之下，再综合考量道路所面临的交通流量状况、所处的气候条件以及地质方面的特点等诸多外部因素，按照不同类别不同等级来制定具备较强针对性的养护策略，务必要达成“一路一策、一段一案”这样的要求，切忌出现盲目追求统一化、照搬模板来进行方案设计的情况[4]。与此还需重视方案在技术层面的适配程度以及在经济方面的合理性，科学审慎地去挑选养护工艺以及确定施工时机，要充分兼顾养护所能取得的效果、施工过程中所产生的成本以及对运营可能产生的影响等方面，以此来保障养护整个过程能够既高效又能确保安全。从技术手段来讲，可以考虑引入 BIM 技术、地理信息系统也就是 GIS、病害预测模型等一系列现代信息化的相关工具，借此来提升养护方案的精确度以及可视化的水准。

3.5 完善养护管理制度

完善养护管理制度对于提升公路路基养护的规范化以及科学化程度而言，实属极为重要的保障举措。得着手建立健全一套制度体系，这套体系要把养护计划制定、施工实施、质量监督、设备管理、人员培训以及安全管理等诸多环节都囊括进去，要清晰明确各级的责任主体以及相应的工作流程，从而保证养护工作能够做到有章可循，并且有据可依。在制度内容的具体设计方面，务必要紧密结合实际的养护需求来开展相关工作，制定出符合国家标准以及行业规范的技术规范和操作规程，进一步强化日常维护与应急处置之间的协调联动关系，促使养护工作从单纯的事后修复逐步转变为更加主动的预防性养护模式。还得进一步完善监督考核方面的机制，构建起科学合理的评价指标体系，针对养护的质量状况、工作效率以及安全情形展开定期的检查活动以及绩效评估工作，以此来推动责任的有效落实以及持续不断的改进进程。

4 结语

高速公路路基养护在保障道路安全运行方面起着重要作用，同时也有助于延长路基的使用寿命。仔细分析高速公路路基养护过程中所存在的诸多问题，比如人员素质方面存在不足，设备管理做得不够好，材料质量参差不齐，养护方案不够合理，还有制度体系也存在不完善之处等等。经过这样的分析，也就清楚了当前养护工作当中那些急需去解决的关键环节到底是什么。针对上述这些问题，相应地提出了诸如加强人员培训工作、对设备管理予以优化、严格把控材料质量、科学合理地制定养护方案以及完善管理制度等一系列综合性的应对策略。唯有不断地完善并切实落实这些措施，才能够提高路基养护的整体水平，进而保证高速公路能够安全、顺畅地运行，并且实现可持续发展。在未来，应当持续推进技术创新以及管理改革，以此给高速公路养护工作带来新的生机与活力。

[参考文献]

[1]张楠欣,崔阳平.高速公路路基养护中的问题与应对策略探析[J].汽车周刊,2024(6):46-48.
[2]倪国锋.高速公路路基养护中的问题与应对策略分析[J].运输经理世界,2024(31):131-133.
[3]郭红涛.浅析高速公路路基养护技术[J].工程建设与设计,2017(8):99-100.
[4]赵晓楠.浅谈高速公路路基养护技术[J].科技视界,2014(34):357.

作者简介：汪勇（1982.3—），男，毕业院校：中央广播电视大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：江苏现代路桥有限责任公司宁沪事业部，职务：材料管理员，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

复杂地质条件下桥梁基础施工技术研究

胡 浩
湖北兴达路桥有限公司，湖北 咸宁 437100

[摘要]为探讨复杂地质条件下桥梁基础施工技术的特点、问题及优化措施，本研究系统分析了地质条件的多样性与复杂性对施工技术的挑战，总结了当前施工技术的现状与发展趋势。通过识别理论体系不完善、数值模拟方法局限性、现场监测技术不足及施工技术优化措施缺乏等问题，本研究提出了加强理论体系研究、改进数值模拟方法、研发先进现场监测技术以及针对性施工技术优化措施等对策。结果表明，这些措施能有效提高桥梁基础在复杂地质条件下的施工质量和安全性能。本研究为复杂地质条件下桥梁基础施工提供了科学依据和技术支撑。

[关键词]复杂地质条件；桥梁基础施工；数值模拟方法；现场监测技术；施工技术优化
DOI：10.33142/sca.v8i7.17119 中图分类号：U445 文献标识码：A

Research on Bridge Foundation Construction Technology under Complex Geological Conditions

HU Hao
Hubei Xingda Road and Bridge Co., Ltd., Xianning, Hubei, 437100, China

Abstract: In order to explore the characteristics, problems, and optimization measures of bridge foundation construction technology under complex geological conditions, this study systematically analyzed the challenges of the diversity and complexity of geological conditions to construction technology, and summarized the current status and development trends of construction technology. By identifying issues such as incomplete theoretical systems, limitations in numerical simulation methods, inadequate on-site monitoring techniques, and lack of optimization measures for construction technology, this study proposes measures to strengthen theoretical system research, improve numerical simulation methods, develop advanced on-site monitoring technologies, and implement targeted optimization measures for construction technology. The results indicate that these measures can effectively improve the construction quality and safety performance of bridge foundations under complex geological conditions. This study provides scientific basis and technical support for bridge foundation construction under complex geological conditions.

Keywords: complex geological conditions; bridge foundation construction; numerical simulation methods; on-site monitoring technology; construction technology optimization

引言

在复杂地质条件下，桥梁基础施工技术的重要性日益凸显，特别是桥梁基础的稳定性，更是取得了广泛的关注。无论是地质条件的多样性与复杂性，还是施工技术与地质条件的适应性，都明显影响着桥梁基础的稳定性，有助于提升桥梁施工的整体质量[1]。然而，从现有研究情况来看，复杂地质条件下桥梁基础施工技术研究起步较晚，相关理论体系尚不完善，存在理论体系不完善、数值模拟方法局限性、现场监测技术不足等问题，这些问题影响了桥梁基础施工技术的进一步发展。为了解决这个问题，有必要对复杂地质条件对桥梁基础稳定性的影响机制进行深入研究，并提出施工技术优化措施。

1 复杂地质条件下桥梁基础施工技术特点

1.1 地质条件的多样性与复杂性

地质条件的多样性和复杂性对桥梁基础稳定性的影响非常明显，这大大增加了施工技术选择的难度和挑战。在面对多变的地质环境时，施工技术必须展现出卓越的灵活性和适应性，以便有效应对地质条件的不断变化[2]。施工技术的适应性，即其与工程实际需求的匹配程度，成为了评价施工技术好坏的关键性标准。为满足工程施工需求，必须持续探索和研究高效、稳定的施工技术，同时加强地质条件的深入研究，以便科学指导施工技术的选择和应用。在桥梁施工过程中，必须对技术参数进行持续的监测和及时调整，以保障桥梁基础的稳定性和长期耐久性。

1.2 施工技术的现状与发展趋势

国内外桥梁基础施工技术在复杂地质条件下的应用现状，因其对桥梁结构安全和使用寿命具有重要影响，而受到工程界和学术界的广泛关注。传统施工技术在面对现代桥梁建设中遇到的复杂地质条件时，已显示出明显的不足和局限性。根据具体的地质条件，需要深入研究和探索切实可行的施工技术方案，以提高施工的技术效率和工程质量，确保工程的顺利进行。在当前的建筑领域，施工技术的创新势头日益强劲，尤其是新型桩基施工技术的应用，它不仅显著增强了桥梁基础的承载力，还有效提高了其稳定性，同时在施工过程中也大大降低了潜在的风险[3]。在不久的将来，建筑施工领域将经历一场革命性的变革，技

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

术将朝着智能化、自动化和绿色化的方向发展。这将特别强调施工过程的高效率、环保性和安全性。随着这些技术的创新能力和应用水平的不断提升，它们将对桥梁建设产生重大而深远的影响，推动整个行业的可持续发展。

1.3 施工技术与环境的相互作用

在复杂的地质条件下，施工技术与周围环境之间的相互作用显得尤为显著。施工活动对地质结构、水文条件等自然环境的干扰可能引发生态连锁反应，同时环境因素也对施工技术的实施产生制约作用。施工技术必须综合考虑复杂的地质条件和环境保护的要求，积极寻求既环保又高效的施工技术，以提升施工过程的环保性能。在众多的施工项目中，很多并未将环境保护纳入重要考量，结果造成了对生态环境的严重破坏。在施工技术的应用过程中，必须重视其环保性和可持续性，以确保施工活动与环境保护之间能够实现和谐共生。

2 复杂地质条件下桥梁基础施工技术问题表现

2.1 理论体系不完善

在复杂地质条件下进行桥梁基础施工时，技术方面面临着理论体系不完善的问题，这主要体现在对地质条件的深入理解和施工技术适应性方面。这种不完善的状况限制了施工技术的创新与发展，进而影响了施工技术的稳定性和系统性的改进。理论体系作为施工技术研究的基石，对复杂地质条件下的施工技术发挥着至关重要的指导作用，能够有效提高施工技术的适应性和安全性，减少盲目施工的风险。尽管目前的理论体系还处于一个相对初级的发展阶段，它在施工技术优化方面的实际应用和帮助还相对有限，未能充分发挥其潜在价值。完善理论体系，能够显著增强施工技术的科学性，提高桥梁基础的稳定性，有效降低施工过程中的风险。在施工技术领域的研究中，必须注重理论体系的完整性和科学性，通过采用系统化的研究方法和手段，持续推动施工技术的创新和进步。

2.2 数值模拟方法的局限性

数值模拟技术在处理复杂地质条件时，其应用受到一定限制。地质条件的非均质性和非线性特性，这两个关键因素显著增加了地质模拟的难度，进而导致模拟结果与实际地质情况之间存在一定程度的偏差。数值模拟技术虽然能够对复杂的地质条件进行模拟，但在实际施工过程中，其模拟结果的准确性仍然存在一定的挑战性。研究者应当对数值模拟方法进行优化和改进，构建有效的验证机制，通过细致的对比分析来对模拟结果进行修正，以确保模拟结果能够准确地反映实际的地质条件。完善数值模拟方法，关键在于解决偏差问题，从而显著提高模拟结果的准确性和可靠性。

2.3 现场监测技术的不足

在复杂地质条件下进行桥梁基础施工时，现场监测技术的发展滞后以及实现实时、动态监测的难度构成了主要挑战。监测技术的局限性导致施工过程中的风险因素难以被及时发现和控制，这不仅增加了施工过程中的风险，而且对施工项目的整体质量和安全性能造成了不利影响。监测技术存在的不足在于难以实现对所有方面的全面监控，并且难以确保所收集数据的准确性和实时性。针对复杂多变的地质环境，必须应用科学有效的监测技术，同时根据具体的地质状况，对监测方案进行细致的调整和改进，以实现监测系统的最优化和升级换代。现场监测作为施工过程中必不可少的一部分，通过采用优化后的监测技术，能够显著降低施工过程中的风险，同时提高施工的整体质量和安全性能。

2.4 施工技术优化措施的缺乏

在复杂地质条件下，桥梁基础施工面临的一个主要挑战是施工技术优化措施的不足。在建筑施工领域，这种资源和专业知识的不足显著增加了对施工质量控制和风险管理的挑战，使得提升施工质量和安全性能变得尤为迫切和重要。针对复杂地质条件下施工困难的优化措施，其主要不足在于缺乏针对性，难以有效应对地质条件的复杂性和施工过程中的挑战。施工技术优化应充分考虑具体的地质条件，采取针对性的合理措施，从而有效提升施工工程的质量和安全性能。针对性优化措施通过精确识别和解决施工过程中的具体问题，显著提升施工效率，同时增强施工作业的安全性和可靠性，从而有效预防和减少施工事故的发生。

3 复杂地质条件下桥梁基础施工技术原因及对策研究

3.1 加强理论体系研究

在复杂地质条件下，为了提高桥梁基础施工技术，众多研究者投身于理论体系的深入研究。他们意识到理论体系对于桥梁基础施工技术提升的重要性，这种研究能够为施工提供坚实的理论支撑。此外，通过理论体系的研究，施工技术的科学性得到了显著提高，为施工技术的实践应用提供了有力保障。同时，这种研究还优化了技术实施的合理性，使得施工技术更加科学、合理，为桥梁基础施工技术的持续发展奠定了坚实基础。

理论体系作为施工技术研究的重要组成部分，具有极其重要的作用，能够有效地指导实践操作。在构建和完善施工指导体系的过程中，能够有效地为施工活动提供科学、准确的指导，从而提高施工的科学性和准确性，有效预防施工过程中可能出现的问题。在理论体系中，方法论的指导对于解决因技术实施不当而产生的风险至关重要。构建系统性的研究框架至关重要，它能够为施工过程提供明确的指导原则，从而显著提高施工的整体质量。此外，该框架还有助于增强施工技术的实际效果，确保工程项目的顺利完成。

3.2 改进数值模拟方法

优化数值模拟技术，并充分考虑地质条件中的非均质性和非线性特征，可以有效提升模拟结果的精确度和可信度。在面临复杂的地质条件时，传统的数值模拟技术往往难以确保模拟结果的精确性。对数值模拟方法进行改进时，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

必须考虑到地质条件的非均质性和非线性特性，这是提升模拟精度和可靠性的关键方向之一。

数值模拟的准确性关键在于其能否真实地反映实际的地质条件。然而，在面对复杂多变的地质条件时，要实现精确的数值模拟往往颇具挑战性。改进数值模拟方法的过程中，必须进行广泛的对比分析以验证其准确性和有效性，这一过程的复杂性和耗时性构成了其改进过程中的主要挑战之一。考虑地质条件的非均质性和非线性特性，提升模拟结果的精确度和可信度，并与现场监测数据进行对比分析，这些是优化数值模拟方法的重要环节。模拟的准确性得到提升后，使得模拟结果的可靠性显著增强，该改进方法的优势在于其能够更加真实地反映地质条件的实际状况。在进行数值模拟方法的改进过程中，除了优化算法和提高计算效率外，还需要充分考虑现场监测数据的对比分析。通过将模拟结果与实际观测数据进行详细对比，可以发现模拟过程中可能存在的问题和不足，从而对模型进行调整和优化。这样，才能确保数值模拟结果与实际情况保持较高的一致性，提高模拟的准确性和可靠性。在持续的对比分析过程中，数值模拟方法能够较为容易地识别出存在的问题并进行相应的优化调整，然而，这种方法很难确保在首次模拟时就能达到完全准确的结果。因此，在考虑现场监测数据时，必须将模拟结果纳入分析之中，以获得更全面和准确的结论。

3.3 研发先进的现场监测技术

开发尖端的现场监测技术，对于实现施工过程中的实时、动态监控是一项挑战，这要求我们确保监测数据的精确性和迅速性。在研发现场监测技术的过程中，我们致力于在现有的技术手段中筛选出更为高效和精确的监测方法。这样做的目的是为了减少因监测技术落后而无法及时掌握风险因素所带来的潜在风险。现场监测技术中，所使用的设备起着至关重要的作用。这些设备各自具有特定的精度水平和适用场景。对于研发人员而言，深入掌握这些设备的精度特性和适用范围是必不可少的。通过采取这些措施，可以有效减少监测过程中出现的误差。

现场监测技术不仅包括对施工过程的实时监测，而且在监测完成后，对数据进行验证和分析。然而，在将监测结果应用于实际施工时，如何有效地指导施工工作仍然是一个亟待解决的问题。在施工过程中，存在大量潜在的风险因素，这些因素可能会对工程安全造成严重威胁。因此，如何在众多风险因素中识别并控制关键风险，确保施工过程的安全性，成为研发人员面临的一项重要挑战。安排具有丰富经验的专业技术人员负责技术研发工作，并构建一个高效的监测数据平台。在深入掌握监测设备性能特点的基础上，运用数据分析技术对潜在风险进行预警。要求施工过程中严格根据预警结果进行调整优化，没有预警结果的情况下严禁进行下一步施工。通过这种科学严谨的管理方式，从根本上消除风险因素，有效预防和解决施工过程中的安全问题。

3.4 提出针对性的施工技术优化措施

在复杂多变的地质环境中，提出了一系列针对性的施工技术改进措施，持续取得显著进展。特别是在桩基布置的调整和桩基施工工艺的优化方面，取得了尤为突出的成效。在桥梁基础施工过程中，加强施工过程的质量控制和风险管理至关重要。通过实施这些措施，可以显著提高施工的安全性和稳定性，从而有效提升桥梁基础的施工质量。具体来说，加强质量控制可以确保施工过程中各个环节符合技术规范和标准要求，减少施工缺陷和质量问题的发生。同时，强化风险管理有助于识别和评估施工过程中可能存在的安全隐患，采取针对性的预防和控制措施，降低施工风险，保障施工人员和工程安全。这些措施的实施，对于提高桥梁基础施工质量、确保工程安全具有重要意义。

在实际施工过程中，部分技术在面对复杂多变的地质条件时，显示出了适应性不足和效果欠佳的问题，这些问题对施工的整体质量和工程进度造成了不利影响。为了有效解决这一问题，必须对施工技术与地质条件之间的适应性进行更为深入和细致的研究。在实施具体的施工技术优化策略时，对地质条件的深入理解和准确把握至关重要，这在很大程度上决定了优化措施的有效性。为确保施工技术优化措施的实际效果，需要从地质条件这一关键因素出发，对当前的施工技术进行细致的调整与改进，同时针对其中出现的不适应性问题，采取有效的解决策略。从施工技术优化的角度来看，深入探讨并实施具有针对性的施工技术优化策略，不仅能够为桥梁基础施工提供更加坚实的保障，而且对提升施工质量、提高施工效率等方面也具有重要影响。

4 结语

本研究细致地分析了在复杂地质条件下桥梁基础施工技术的不同方面，揭示了其多样性和复杂性的具体表现，并识别了施工过程中可能遇到的问题。针对理论体系的构建进行了强化，同时对数值模拟存在的限制进行了改进，并开发了更先进的现场监测技术，在此基础上提出了相应的优化策略。这些措施主要针对复杂地质条件下的施工技术，通过优化施工工艺和提高施工技术水平，以增强施工技术在复杂地质条件下的适应能力。同时，这些措施还强调施工质量控制和安全风险管理，确保施工过程的质量和安全性能达到预期目标，为桥梁基础施工提供坚实的技术保障和安全保障。

[参考文献]

[1]韩玉成.复杂地质条件下桥梁钻孔灌注桩设计及施工关键技术研究[J].工程建设与设计,2024(9):227-229.
[2]董维奇.复杂地质条件下盾构穿越基础薄弱的建构筑物施工技术研究[J].广东土木与建筑,2024(7):73-75.
[3]苏威.基于BIM技术的岩溶地区复杂地质条件下旋挖灌注桩基础施工技术研究[J].建筑施工,2024(7):1098-1101.

作者简介：胡浩（1990.9—），男，汉，中国，中级工程师，本科，路桥施工技术与质量管理。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

园区综合能源智慧管理运营中心建设探究

刘聪硕[1,2] 杜 欢[1,2] 杨朋勃[1,2] 王存雷[1] 任军戈[1]
1.河北鲲能电力工程咨询有限公司，河北 石家庄 050000
2. 河北省分布式能源应用技术创新中心，河北 石家庄 050000

[摘要]随着新型智慧园区建设持续推进，能源系统从单一能源供给转变为多能互补、智能协同、高效运营的综合模式。园区综合能源智慧管理运营中心是统筹各类能源资源的中枢平台，负责能源监测、调度、控制、运维等，推动能源数字化、智能化、低碳化转型。本文围绕园区综合能源智慧管理，探讨建设思路、系统架构、功能设计、运营管理机制，为园区能源系统升级提供理论参考和实践路径。

[关键词]园区能源管理；综合能源系统；智慧运营中心
DOI：10.33142/sca.v8i7.17143 中图分类号：TU85 文献标识码：A

Exploration on the Construction of Comprehensive Energy Intelligent Management and Operation Center in the Park

LIU Congshuo[1, 2], DU Huan[1, 2], YANG Pengbo[1, 2], WANG Cunlei[1], REN Junfa[1]
1. Hebei Kunneng Power Engineering Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China
2. Hebei Province Distributed Energy Application Technology Innovation Center, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous promotion of the construction of new smart parks, the energy system has transformed from a single energy supply to a comprehensive model of multi energy complementarity, intelligent collaboration, and efficient operation. The comprehensive energy intelligent management and operation center of the park is a central platform for coordinating various energy resources, responsible for energy monitoring, scheduling, control, operation and maintenance, and promoting the digital, intelligent, and low-carbon transformation of energy. This article focuses on the intelligent management of comprehensive energy in the park, exploring construction ideas, system architecture, functional design, and operational management mechanisms, providing theoretical references and practical paths for the upgrading of the park's energy system.

Keywords: park energy management; comprehensive energy system; intelligent operations center

引言

在“碳达峰、碳中和”这样的国家战略大背景之下，园区属于我国能源消费方面极为重要的空间承载场所，其能源管理的实际水平跟绿色发展目标能否达成有着直接的关联。传统的能源系统往往存在着诸多问题，像是信息孤岛现象较为严重、响应速度比较迟缓以及调度不够优化等，这些问题使得它很难契合当下绿色低碳以及智能化发展的相关需求。综合能源系统把电、热、冷、气等多种不同的能源形态给整合到了一起，借助信息物理融合的相关手段，进而达成多能协同的状态并实现高效运行的效果。智慧管理运营中心在系统运行当中充当着“大脑”的角色，它将先进的信息技术和能源技术予以集成，针对园区里各类能源系统展开集中化的监控操作、更为优化的调度安排以及更加科学合理的管理举措。本文紧扣园区综合能源智慧管理运营中心的建设这一主题来展开较为系统的探讨研究工作，从总体思路层面、系统设计方面一直到实施路径以及运营机制等方面，都为其最终能够实现园区能源的集约化利用、高效运行以及绿色环保提供相应的支撑助力。

1 园区综合能源智慧管理运营中心的建设思路

园区综合能源智慧管理运营中心在建设之时，应当秉持系统性、集成性还有可持续性方面的原则，并且紧紧围绕着“多能协同、智能调度、绿色低碳以及降本增效”这四个目标来开展相关工作。需要对园区内部的电力、热能、冷能以及天然气等多种不同类型的能源载体加以统筹安排，进而构建起一个具备开放融合特性的综合能源体系。要把智慧感知以及数据驱动当作基础支撑，依靠物联网、大数据以及人工智能等数字技术，针对能源系统的实际状态展开全面细致的感知活动，做到实时的监控以及动态的调控操作。除此之外，建设的思路还要充分考虑到不同类型园区在功能定位以及能源需求方面存在的差异情况，从而促使园区能源系统能够从原本分散且粗放的状态逐步向着更为集约并且高效的态势去演进发展。最终达成园区内部能源供需能够实现高度的匹配程度，能源利用效率也能得到较为显著的提升效果，同时运营管理也能完成智能化的升级转变。

2 系统架构与功能设计

2.1 智慧能源管理系统总体架构

智慧能源管理系统遵循集中管控以及分布协同的原

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

则来搭建其架构，具体构建起“感知层-传输层-平台层-应用层”这样的四级结构体系。感知层会部署多种智能终端设备，借助这些设备来采集用能方面的数据，从而达成对园区内各类能源系统运行状态进行全时段且全方位感知的目的。传输层依靠稳定可靠的通信网络，以此来保障数据能够高效地进行传输，并且还能开展边缘处理相关工作。平台层对数据资源加以整合，同时构建起数据中心以及能效管理平台，进而实现对数据的存储、建模、分析等一系列操作，还能给予调度方面的支持。应用层是面向园区的用户以及管理者来服务的，会提供诸如能源监控、能效评估、碳排管控等多种功能模块，由此实现从底层的数据采集一直到高层的决策这一整个过程的闭环管理。

2.2 系统部署模式与网络结构

系统部署模式需要依据园区规模、功能布局以及能源结构的不同情况来灵活确定，可采用“集中式部署加上分布式管理”这样一种复合型的方式。把核心控制平台统一安排部署在园区智慧能源运营中心当中，借此达成数据的集成处理以及调度指令的下发目的；至于各类分布式能源子系统，其会凭借边缘计算网关来完成局部的优化操作以及协同控制事宜。在构建网络结构的时候，要打造出一个由光纤主干部分、无线通信环节还有物联网协议构成的多层级网络体系，以此来保证数据传输能够具备较高的可靠性并且延迟时间较短。就网络安全这块而言，得采用多级的身份验证手段、数据加密的相关技术以及访问控制的具体机制，从而确保系统在处于开放的那种条件下依然可以安全地运行。

2.3 功能模块设计

2.3.1 能源监测与计量系统

能源监测与计量系统属于智慧能源管理范畴内的基础部分，其主要是借助智能仪表、传感器以及边缘采集设备来达成对电、水、气、热等各类能源介质的精确监测以及实时采集的目的。该系统拥有远程读表、数据对时以及故障报警等多种功能，能够针对用能数据展开动态的统计分析工作，从而能够识别出用能过程中出现的异常情况以及波动呈现出的趋势，进而为后续的能效管理以及优化控制给予相应的数据方面的有力支撑。

2.3.2 多能协同与优化调度系统

多能协同与优化调度系统借助构建园区能源供需动态模型的方式，达成不同能源间的合理分配以及高效协同运行这一目标。该系统依据对园区用能负荷所做的实时预测以及历史数据展开的分析，同时结合能效约束、运行成本、碳排放指标等诸多维度的目标，运用多目标优化算法（像是遗传算法、粒子群优化、线性规划等等），针对电、热、冷、气等多种能源资源实施统一调度与动态调整操作，切实有效地解决了能源出现冗余、调配不够均衡以及调度存在滞后的诸多问题。此系统不但能够提高能源的利用效率并提升其经济性，而且还能依据用户需求的波动情况以及能源价格的变化状况实时地去优化调度策略，从而实现经济性与可靠性之间的平衡状态。与此该系统还对分布式新能源（比如光伏、风能）以及储能装置的接入管理工作予以支持，借助灵活地去配置储能放电策略、开展削峰填谷以及负荷移位等一系列方式，进一步增强了整个能源系统的柔性调节能力以及运行稳定性，有力地推动了园区能源体系朝着低碳、高效、智能的方向不断升级发展。

2.3.3 能效评估与节能控制系统

该系统把实时数据当作基础，针对园区里面的各类用能单元展开能效方面的评估工作，从而找出那些高能耗的区域以及低效运行的环节。在建立起能效基准模型之后，系统能够自动地生成节能优化方面的建议还有控制策略，并且还能与终端设备联动起来，去执行节能控制的相关指令，进而达成动态节能的目的。系统还能够依据季节的变化情况以及负荷的具体特性来对控制参数做出相应的调整，以此提高节能措施所具有的适应性以及实际效果。

2.3.4 碳排放监测与环保管理模块

碳排放监测模块会实时去采集园区里面各个能源系统的碳排放因子以及排放量，依照国家标准来自动算出碳排放的总量还有强度指标。该系统还能够支持可视化的展示以及趋势方面的分析，以此来帮助园区去制定碳减排的具体路径以及达标的相关方案。与此它还集成了环保管理方面的功能，针对排放源展开分类式的监管，并且和环保监管平台进行对接，达成数据上传以及合规评估的目的，进而推动园区朝着绿色低碳的发展目标去努力前行。

2.3.5 智能运维与故障预警系统

智能运维系统把设备健康管理以及运行风险预警功能整合到了一起。该系统会持续采集设备运行参数、环境变量等方面的数据，并且对其进行建模操作，进而达成对故障发展趋势的预测以及对异常行为的识别目的。一旦设备运行状态出现异常情况，系统能够自动启动报警机制，同时还会自动生成维护工单，并且和运维人员联动起来，促使他们去执行相应的处置流程。如此一来，便能让设备运行的可靠性得到显著提升，管理效率也得以大幅提高，同时还能够让非计划停运的风险有所降低。

2.3.6 数据分析与可视化平台

数据分析与可视化平台会把多源异构数据加以融合处理，借助图表、热力图、趋势曲线等手段来直观呈现园区能源的运行状态。该平台可支持自定义报表的生成以及指标的监控，方便用户针对用能状况展开多维度分析并实现决策优化。与此系统还给出了数据挖掘与人工智能算法接口，能够支持用户去开展能耗预测、行为分析以及运营模拟，进而为运营中心给予智能化的支持工具。

3 实施路径与运营管理机制

3.1 建设流程与阶段划分

园区综合能源智慧管理运营中心在建设方面，一般会划分成四个不同阶段来推进相关工作。首先是前期调研以及规划阶段，在这个阶段当中，重点是要去做能源结构方

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

面的调查事宜，同时还要对用户的实际需求展开相应的分析，并且要明确好目标定位等相关事项。接着是系统设计以及建设阶段，在此阶段，需要完成软硬件方面的选型工作，另外还要开展架构设计方面的相关事宜，当然功能配置方面的工作也同样不能忽视。然后进入到试运行以及优化阶段，在这一阶段里，关键是要把系统联调这项工作做好，与此参数优化以及功能验证这两项工作也是需要重点关注的。最后是正式运行以及运维阶段，在这个阶段，日常维护方面的工作得切实抓好，数据分析方面的事情也得认真去落实，持续优化相关事宜同样必不可少，只有这样才能够保证系统能够实现长期、稳定且高效的运行状态。

3.2 软硬件集成与平台搭建

系统建设当中，软硬件集成属于极为关键的核心环节。这一环节涉及多种多样的设备协同集成，像传感器、智能仪表、控制终端以及通信设备等都包含在内，当然还有平台软件。在平台搭建这件事情上，得依照模块化、开放性还有扩展性这些原则来着手构建统一的数据管理平台以及业务应用系统，进而达成各类能源数据和业务流程能够无缝对接起来的目的[1]。该系统务必要支持标准通信协议以及相应的接口，以此来保证不同厂商所生产的设备之间能够实现互联互通，并且能够得到统一化的管理。

3.3 设备接入与数据对接

在设备接入这个环节当中，得依据园区里面现有的能源设备的具体类型以及它们所具备的通信能力状况，去制定出一套统一的接入方面的规范，同时还要制定好相应的数据采集方面的策略。借助边缘计算节点还有协议转换模块这两样东西，达成把各类老旧设备的数据接入起来并且实现兼容整合这样的目的。就数据对接这一方面而言，务必要将数据的格式、采集的频率以及质量所要达到的标准都给明确清楚了，以此来确保平台所拥有的数据具备完整性、实时性以及一致性这些特点，进而能够为上层开展决策分析相关工作给予可靠的数据方面的基础支撑。

3.4 运营管理制度与人员配置

要让系统能够高效、稳定并且可以持续地运行下去，就需要去构建一套运营管理制度，这套制度要把系统运行、设备维护、数据管理、能效优化以及故障响应等全生命周期各个环节都涵盖进去[2]。在这个制度当中，得把各个岗位的职责分工说清楚，业务流程的标准也要明确，信息传递的机制和应急响应的策略同样需要确定下来，以此来保证运维工作有系统性并且是高效的。还得建立起科学的绩效考核以及激励机制，把能源使用效率、系统运行稳定性、故障响应时效还有数据完整性这些核心指标都纳入到评估体系里，促使管理朝着规范化的方向发展，实现流程化操作，并且达到精细化的程度。在人员配置这块，要根据系统的规模、功能模块复杂的程度以及技术集成的水平来合理设置岗位结构，配备那些有着能源工程背景的系统管理人员、对信息系统运维比较熟悉的 IT 技术人员，还有掌握能耗分析以及建模能力的数据分析师等关键人物，进而构建起一支技术上复合、职责上清晰、协同起来高效的运维团队，从而达成园区综合能源智慧管理中心能够长期稳定地运行并且不断优化的目标。

3.5 网络安全与数据保护措施

网络安全对于智慧能源系统的稳定运行而言，属于基础保障以及前提条件范畴，其重要性在系统规划、建设、运维以及升级的各个阶段均有体现。要有效应对来自外部的网络威胁以及内部的信息安全隐患，就需要构建以纵深防御作为核心的多层次安全防护体系，该体系包含物理安全、边界防护、入侵检测、访问控制、身份认证、日志审计以及数据加密等关键环节，进而形成将事前防御、事中监控以及事后追溯相互结合的全流程防护机制，以此来有效抵御恶意攻击、病毒植入以及非法入侵等安全事件。在数据保护方面，要依据数据的重要程度以及敏感程度，制定出科学的数据分类分级管理策略，针对核心运行数据、用户隐私数据以及能效决策数据实施差异化的访问权限控制、传输加密以及存储隔离机制，并且还要建立起定期备份以及灾难恢复体系，保证关键数据在遭受破坏或者丢失的时候具备可追溯性以及可恢复性[3]。所有的网络安全与数据保护措施都应当严格依照国家《网络安全法》《数据安全法》等相关法律法规以及行业标准来执行，确保园区综合能源智慧管理系统在开放性与互联性持续增强的过程中，始终拥有强大的安全韧性以及数据保障能力。

4 结语

园区综合能源智慧管理运营中心是推动园区能源数字化转型以及绿色低碳发展的重要载体，在战略层面有着重要意义，并且具备实际应用价值。本文全面深入地探讨了其建设思路、系统架构、功能设计以及实施机制等方面，给出了一套基于信息技术与能源技术相互融合的综合解决办法。在往后的日子里，伴随技术持续向前演进以及相关政策不断推进落实，园区能源智慧管理于多能融合、智能调度、低碳运维等诸多方面都将迈向更高的水准，进而为构建起绿色、安全、高效的新型园区能源体系贡献出自己的力量。

基金项目：河北省分布式能源应用技术创新中心资助项目（SG20182050）。

[参考文献]

[1]郝阳.高耗能工业园区综合能源管理方法研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2024.
[2]李欣欣.计及碳排放的园区综合能源管控平台设计与开发[D].济南:山东建筑大学,2024.
[3]席周成.园区综合能源系统能源管理优化研究[D].武汉:华中科技大学,2024.

作者简介：刘聪硕（1991.2—），毕业于河北工程大学科信学院，电子信息工程，单位：河北鲲能电力工程咨询有限公司，电气二次设计，工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

论城市轨道交通信号系统互联互通发展的思考

李天然
重庆交通建设管理有限公司，重庆 401120

[摘要]城市轨道交通信号互联互通，依据其运行场景要求有效控制车辆运行行程，并智能化监控其运行状态，在达到高质量控制的同时，维护列车运行安全稳定。本篇文章首先阐述城市轨道交通信号系统互联互通的重要价值，简要分析城市轨道交通信号系统互联互通的关键技术以及实施策略，并在基础上设想城市轨道交通信号系统互联互通的未来发展。
[关键词]城市轨道交通；信号系统；互联互通；实践策略
DOI：10.33142/sca.v8i7.17135　　中图分类号：U231　　文献标识码：A

Discussion on Thoughts on the Development of Interconnected Signal Systems in Urban Rail Transit

LI Tianran
Chongqing Transportation Construction Management Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

Abstract: Urban rail transit signal interconnection effectively controls the vehicle's travel distance according to its operating scenario requirements, and intelligently monitors its operating status, achieving high-quality control while maintaining safe and stable train operation. This article first elaborates on the important value of interconnectivity in urban rail transit signal systems, briefly analyzes the key technologies and implementation strategies of interconnectivity in urban rail transit signal systems, and envisions the future development of interconnectivity in urban rail transit signal systems based on this foundation.
Keywords: urban rail transit; signalling system; interconnection and intercommunication; practical strategies

引言

城市交通网络中城市轨道交通以其高效、便捷等诸多优势，一方面能帮助城市交通减轻压力，另一方面有助于提高出行体验。基于持续性扩张的城市轨道交通网络，线路和线路之间实现互联互通，是轨道交通提升出行效率和质量的动力源之一[1]。针对信号系统而言，不仅要满足自主可控的要求，还能保证系统间稳定协同运行，在此基础上避免出现“信息孤岛”。鉴于此，通过深研城市轨道交通信号系统实现互联互通的策略方法，具有重要现实意义。

1 城市轨道交通信号系统互联互通的重要价值

伴随“都市圈”范围的扩大，居民通勤出行需求也随之增大，并且呈现出多量化和多元化趋势。为满足日常轨道交通出行需求，信号系统应实现互联互通，其所具备的价值体现在以下四个方面（见图 1）。

首先，科学配置线路资源。以互联互通为特点的信号系统，既能保障运力资源分配科学合理，还在一定程度上起到防止重复建设的作用，共享资源的同时提高交通网整体服务质量[2]；其次，提高交通出行质量，集中表现在可以促成建设城市轨道交通“一体化”减少人员换乘、等待的时间，与传统模式相比出行效率被大幅提高；再次，进一步强化应急响应。面对应急情况能在第一时间确保交通运行整体稳定，即在分摊客流压力的同时，将各类资源快速调动起来，共享不同线路以及运营主体的可用资源，由此及时响应和科学预测突发事件；最后，有助于线网运营效益提升。信号系统互联互通能满足城市轨道交通的“网络化”“一体化”运营要求，提高客流吸引力、共享运力资源等，在一定程度上缓解高峰时段的换乘压力，由此提高整体运营效益。

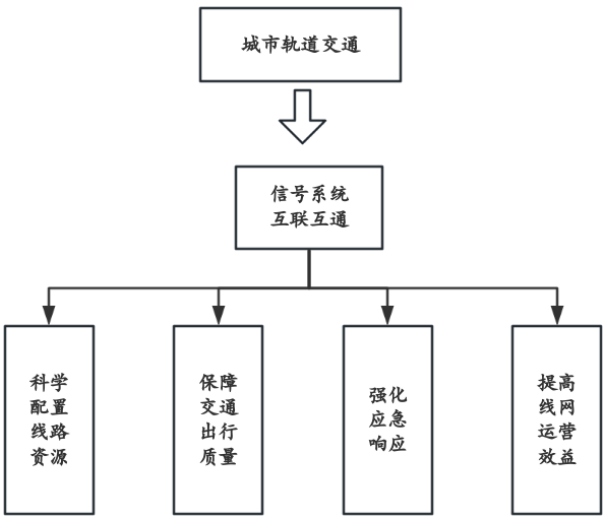


图 1　城市轨道交通信号系统互联互通价值体现

2 城市轨道交通信号系统互联互通的关键技术

2.1 系统制式兼容与统一

信号系统的制式众多，因制式不同导致其在技术特征以及使用场景等方面，都存在着一定差异，所以实现制式兼容与统一极为关键。首先，通信协议统一。不只是实现

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

互联互通的基础所在，还直接影响到车地通信效率，集中表现在安全层以及应用层通信两个方面，前者在传输数据的过程中保证完整性与私密性，防止信息被泄露或随意篡改，后者能定义数据交换流程及格式，满足不同厂商对设备运行状态、故障信息等内容的交流[3]。依托统一的通信标准保障设备协同运行，一方面让系统具有优良兼容性，另一方面保障信息无误交换；其次，确保接口和设备兼容。为能让不同厂商的信号系统实现互联互通，建议采用兼容性能较高的接口设备，并在此基础上有效改进城市轨道交通的信号系统；再次，标准化的数据交换。主要是指通过多源数据之间的有效融合并做到无障碍沟通，让轨道列车得以安全跨线运营；最后，信号基础设备提高适配性。由此类设备连接制式不同的轨道交通信号系统，而适配性集中体现在信号机显示、应答器编码等方面，避免不同厂商设备之间出现兼容问题，进而提高不同线路间的列车运行稳定性，同时使整体系统更可靠。

2.2 列车定位和通信技术

首先，列车定位是轨道交通实现自动控制以及安全保护的关键，这一技术有以无线通信位置为主的列车定位，以及轨道电路列车定位等。例如，上海 14 号线通过“北斗卫星+惯性导航+规范统一电子地图（见图 2）”的融合型定位技术，即使因进入隧道出现卫星信号丢失，仍可以评价惯性导航维持厘米级定位精度，提高列车运行安全性；其次，车地通信技术。为满足轨道列车和地面设备通信实时性，既要选择针对性的通信技术，并通过优化通信系统，保障双方通信的稳定性。比如，北京地铁燕房线通过 LTE-M 技术达到车地双向实时通信效果，支持最高 1.5Gbps 的传输速率，和传统使用的 WLAN 技术更稳定，也大幅降低出现通信中断风险的概率。

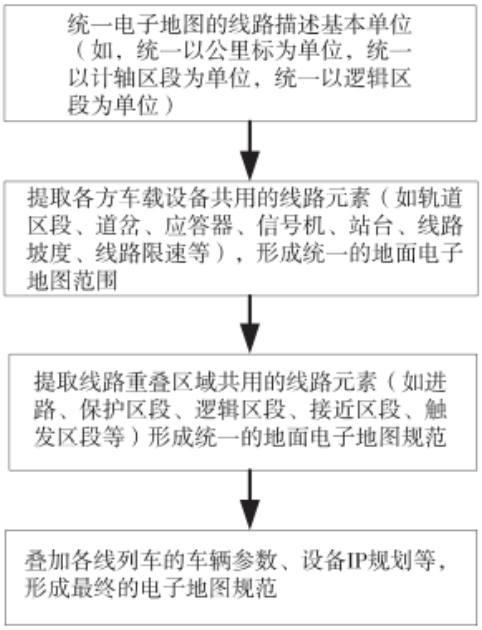


图 2 电子地图规范统一过程

2.3 系统结构和功能划分

首先，系统架构设计。作为影响信号系统互联互通的重要因素，其能支持不同制式城市轨道交通信号系统集成与接入，保障不同系统之间信息流通畅。例如，重庆轨道交通采用 CBTC 系统，依托统一架构设计实现不同供应商设备的兼容。同时，依托标准化车载设备接口，同一列车能在四号线、环线和五号线间跨线运行，不需要更换车载装置；其次，功能模块划分协作。具体来讲，将信号系统进行多功能板块的划分，如地车通信以及列车定位等，在此基础上清楚界定各板块具备的协作关系，这属于信号系实现统互联互通的关键一环。同时依托叠加式以及模块化设计，保障车载设备具备如控制间隔等功能，这样也能进一步提高城市轨道交通信号系统的互联互通流畅性；最后，设计并实现跨系统接口。即设计适宜的接口协议以及数据格式，保障不同系统之间便捷准确地交换信息。

2.4 行车调度和指挥系统

首先，行车调度系统主要负责运行计划以及调度指挥，从而保障城市轨道交通依据已设定的运行图，稳定安全运行；其次，实现跨线行车调度和指挥。即通过设计列车跨线调度系统（见图 3），贡献线路不同列车的运行计划以及调度指令，如日本东京副都心线和东武东上线，通过该系统共享运行计划，满足无缝跨线运营要求，东武东上线列车能直接驶入副都心线，并由调度系统智能调整冲突区段的进路；最后，应急处理和监测故障。依托应急处理机制以及监测故障机制，面对突发紧急情况时能在第一时间响应，采取针对性和实效性的举措，由此确保运行安全。例如，深圳 11 号线通过部署故障监测智能系统，实时分析轨道电路以及信号机等运行状态，2021 年因台风引发接触网故障，该系统通过自动触发应急预案，在 10min 内安全引导全线列车到最近车站。

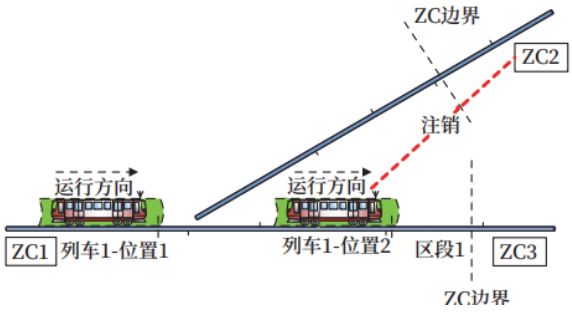


图 3 列车在跨线越交接调度示意

3 城市轨道交通信号系统互联互通的实施对策

3.1 基础设备互联互通设计

轨道交通信号系统中的信号机以及计轴，在具体运行过程中的差异表现在数量、安设方法和位置等[4]。有关数量配置，要求参考互联互通相应的信号系统数量，在确保信号系统运行安全的前提下科学选择安装位置。依据信号

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

系统互联互通的要求制定规范化安装标准，保障基础设备可以一方面扩大信号传播规模，另一方面提升信号使用率。与此同时，应答器以及信标设备设计也十分重要，两个设备作为组成信号系统的重要部分，型号选择会影响能否达到互联互通目标。值得注意的是，安装标准存在区域差异，其中欧标适用范围较为广泛且由不同厂商协作编制。故而在设计技术设备时，可以将欧标用于统一标准，为实施互联互通提供技术保障。例如，重庆地铁 5 号线，作为全球首条互联互通 CBTC 示范线，利用中国通号研发的 FZL300 型 CBTC 系统，成功统一轨旁信号设备的安装标准，如计轴传感装置在联锁区分界处通过交叉设置方案，确保在发生故障时不对相邻线路运营产生影响，实现了重庆轨道 10 号线列车在 5 号线互联互通共线运营。

3.2 构架与数据流互联互通设计

设计城市轨道交通信号系统，利用统一的系统框架和关键技术，系统内部大部分构件的相似度较高。从当前国内实际情况来看，信号系统以及设备配置两者都可以满足集成控制、“集中-分散”控制的要求。而为实现互联以及互通，则应该在建设规划中，利用统一系统构架修正相关功能。除此之外，在系统内需要设置对应外接口，一是为了满足设备互联和设备互通要求，二是提高了接口适用性，防止因接口不适配而必须改造，这样能减少一定成本。考虑到互联互通建设需保证设备间有效的信息交互，则要设置标准接口，按要求将每个子系统接口信息进行配置。长沙地铁 4 号线和 5 号线的信号系统架构与数据流设计，依托“互融互通”技术体系，攻克 CBTC 与数字轨道电路系统的数据融合难点，能统一处理电子地图、定位信息以及移动授权。

3.3 接口互联互通设计

在信号系统内包含列车信息以及接口信息，且这些信息能在不同设备之间联动应用。比如，设计在车地点式通信信号，无论应答装置编码还是解码均应满足技术标准，既要保障报文格式统一，还能通过最大化报文处理数据信息差异，如固定应答设备安装于系统内部，用于控制不同的地图版本信息；可变应答设备用于控制状态信息，同时利用继电装置进一步提高信号传输质量。有关系统交互设备，为能有效控制信息传输量，建议将信号机安装于跨线处以期稳定运行轨道交通信号系统。另外，子系统内的信号装置、物理区间也应互联互通，并通过不断完善系统功能提升信号传输水平。而在设计跨线 ATS 接口时，需要进行防火墙隔离，按要求传输邻站信息，这些信息可以作为列车管理的参考。接口设计后需做好测试验证，一是实验室仿真测试，主要用于验证数据帧格式和异常处理机制等，通过互操作性测试，模拟不同供应商设备的组网环境，检查数据交换是否一致；二是现场测试，包含 CBTC 互联互通测试和全场景压力测试两种方式。

4 城市轨道交通信号系统互联互通的发展设想

城市化进程提升与持续扩展的轨道交通网络，轨道交通信号系统互联互通正成为推动行业可持续发展的重要动力。现阶段，信号系统已由机械控制跃进到智能化、自动化方向，依托人工智能、大数据、物联网等精准高效控制车辆运行，为乘客提供更安全、便捷的出行体验。未来，城市轨道交通信号系统互联互通发展趋势主要体现在以下四个方面。

4.1 云平台资源整合：形成集约化共享中枢

运用云计算技术满足信号系统对海量运行数据分析、处理的要求。通过挖掘其中价值信息，为轨道交通规划、轨道交通运营与管理提供有力的决策支持[5]。以云计算为主导形成的“云信号”，能实现如下核心突破：首先，在数据融合方面，通过整合各子系统数据，衍生成适配全网运行的数字孪生体；其次，在弹性扩展方面，支持接入千万级设备，并且算力资源能按需分配；最后，在灾备冗余方面，依托多云架构部署，提高故障切换效度至毫秒级。

4.2 自动运行互联：形成无人化智能运输网络

伴随逐渐成熟的全自动运行技术，城市轨道交通信号系统能实现跨制式、跨线路互联。基于“车-地-云”协同控制模式，轨道车辆能自动完成动态调整运行计划、智能化识别障碍物和影响应急联动。未来全自动运行扩展到全网互联，让不同生产厂商的列车能在统一标准下将运行数据共享，由此提高路网通过能力。

4.3 数字孪生融合：形成构建虚实互映新生态

城市轨道交通信号系统互联互通融合数字孪生技术，主要结合 BIM、GIS 以及物联网技术建立信号系统数字孪生体，具备实时镜像功能，毫秒级同步物理系统状态；预测推演功能，提前 30 分钟模拟拥堵等场景；自愈能力，能够自动诊断 90%以上信号设备故障。同样信号系统数字孪生体融入城市轨道交通信号系统仿真运行，能大幅提高仿真质量（见表 1）。

表 1 信号系统数字孪生体应用效果

城市	系统名称	实施效果
深圳	Sim City 3D	决策效率提高 40%
上海	City Sim	客流预测误差 4.7%
北京	地铁 5 号线	故障预测准确率 98.2%

4.4 人工智能赋能：实现自适应协同优化

未来控制轨道交通信号中，人工智能会更重要的作用，如系统能按照实时客流数据调整发车间隔以及运行速度，以此保障列车乘客可以快速、便捷地到达目的地。基于来讲，未来人工智能会让城市轨道交通信号系统达成三级智能化。“一级感知层”，以深度学习分析处理多源数据，保障识别准确率超过 99%；“二级决策层”，通过强化学习生成最优列车运行图；“三级控制层”，借助分布式人工智

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

能代理系统，让列车群能自主协商运营。

5 结束语

综上所述，为进一步推动城市轨道交通有效发展，信号系统实现互联互通至关重要。而信号系统想达到互联互通的目标，则应制定统一合理的技术标准、依托网络化运营模式落实跨制式互联。伴随积极进步以及轨道交通管理模式的完善，会进一步发挥信号系统的互联互通性能，为未来交通运输事业蓬勃发展作出应有贡献。

［参考文献］

[1]姚慧欣,侯蓉华.城市轨道交通信号系统互联互通解决方案[J].运输经理世界,2024(33):4-6.
[2]张宏强,华嘉叶,包佳伟,等.城际轨道交通与城市轨道交通信号系统贯通方案研究[J].城市轨道交通研究,2024,27(2):51-55.
[3]李中浩,ZHANG Li man.我国城市轨道交通信号系统发展方向探讨[J].城市轨道交通研究,2024,27(2):3-263.
[4]伍雨彬.城市轨道交通全自动运行信号系统互联互通方案分析[J].内蒙古科技与经济,2023(24):125-127.
[5]李云,王崇国,殷江宁.基于云边协同的城市轨道交通信号系统方案[J].城市轨道交通研究,2023,26(7):194-199.

作者简介：李天然（1984.12—），男，四川农业大学，农业电气化及自动化专业，高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于 MPLS-TP 的电力专用通信网络组网方案与可靠性分析

杨 洋 常宛露 王松瑞
国网河南省电力公司郑州供电公司，河南 郑州 450000

[摘要]智能电网发展起来后通信网络得满足更高的可靠性和实时性要求，MPLS-TP（多协议标签交换传输网）传输性能不错且可管可控，因此慢慢成为电力专用通信网络的理想之选。文中根据电力通信需求特点拿出一种基于 MPLS-TP 的组网架构方案，其中包含核心层、汇聚层、接入层的设计逻辑，还结合关键技术进行系统分析，在网络可靠性方面引入冗余机制、保护切换、故障恢复策略来深入探讨，该方案提高了网络稳定性和带宽利用效率且增强了智能调度、远程控制的支撑能力，能给未来电力通信网络提供技术支撑。

[关键词]MPLS-TP；电力通信；组网方案；可靠性分析；冗余保护
DOI：10.33142/sca.v8i7.17131 中图分类号：TN915 文献标识码：A

Networking Scheme and Reliability Analysis of Power Dedicated Communication Network Based on MPLS-TP

YANG Yang, CHANG Wanlu, WANG Songrui
Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: With the development of smart grids, communication networks need to meet higher reliability and real-time requirements. MPLS-TP (Multi Protocol Label Switching Transmission Network) has good transmission performance and is controllable, making it an ideal choice for power specific communication networks. Based on the characteristics of power communication requirements, a network architecture scheme based on MPLS-TP is proposed in the article, which includes the design logic of the core layer, aggregation layer, and access layer. Key technologies are also analyzed systematically, and redundancy mechanisms, protection switching, and fault recovery strategies are introduced to deeply explore network reliability. This scheme improves network stability and bandwidth utilization efficiency, and enhances the support capabilities of intelligent scheduling and remote control, providing technical support for future power communication networks.

Keywords: MPLS-TP; electric power communication; networking plan; reliability analysis; redundancy protection

引言

国家基础设施里电力系统是重要组成部分，其调度、监控、保护以及信息传输需要保障，通信网络在电力系统里起着关键作用，由于日益增长的数据带宽和智能化需求，传统 SDH 网络很难满足，而传输技术 MPLS-TP 融合了 IP/MPLS 与 SDH 的优势，具有可靠性高、灵活性强和运营级保护能力的特点，从电力通信应用实际情况出发，本文系统地对 MPLS-TP 的组网模式与可靠性机制进行研究，构建适用于不同电压等级与拓扑结构的电力通信网络，并且提出可实施的优化策略，助力电网通信系统朝着更高质量演进。

1 MPLS-TP 技术概述与适用性分析

1.1 MPLS-TP 的基本原理与技术特点

MPLS-TP（多协议标签交换传输网）由 MPLS（多协议标签交换）演进而来，是一种面向连接的传输技术，它把传统 SDH 网络的高可靠性和 MPLS 网络的灵活性融合到一起，有传输效率高、管理可控性强、维护方便等特点，很适合构建运营级、可视化管理的数据通信网络，借助预先建立的 LSP（标签交换路径）进行端到端的数据转发，在技术上有路径确定、标签转发、连接导向等优势，能把转发时延有效降低到亚毫秒级且吞吐率能保证超过 95%，其内部设置了 OAM（运营、管理与维护）功能，支持像 CC（连续检测）、BFD（双向转发检测）、LM（丢包检测）等机制，链路状态可实时监控、故障能快速定位且保护切换 50ms 内就能完成，调度通信和继电保护系统“零中断”的需求能够得到满足，与 SDN 控制器对接没问题且可编程能力不错，能和电力通信网调度平台融合，在实际部署的时候，MPLS-TP 方案已经被多个国家级电网骨干传输网采用，110kV 及变电站部署中网络可靠性达到了 99.999%，整个系统的运维效率和通信保障能力明显提高了。

1.2 电力通信对网络的核心需求

整个电力系统安全、稳定与高效运行靠电力通信系统支撑，它是核心基础设施，其通信网络承载调度指令、实时监测数据、保护信号及自动控制命令等关键业务信息，对网络稳定性、实时性和可靠性要求极高，在调度自动化、继电保护、故障录波、配电自动化等应用中，通信链路中断或者延时过高都可能使调度失灵或者系统故障，从而造成严重电力安全隐患，通信系统要有高可用性（可用性指标要达 99.999%）、链路冗余设计以及快速保护切换能力

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

（切换时间控制在 50ms 以内）以确保业务连续性，在智能电网发展趋势下，大量智能终端、分布式能源和物联网设备不断接入，通信系统需要有强大多业务承载能力，支持 SCADA 系统、语音调度、高清视频监控、大数据平台等多种业务同步运行且保证互不干扰，为使业务更安全，网络要有虚拟隔离、加密传输等安全机制，在网络运维方面，电力企业对系统智能管理能力要求不断提高，要实现统一平台调度、多层级告警管理、链路性能评估、智能故障定位和自动化恢复以提高网络运行效率、降低维护成本。

1.3 MPLS-TP 与传统 SDH/IP 技术对比

传统 SDH（同步数字体系）网络在电力系统里被长期广泛运用，靠着稳定的时钟同步机制与成熟的保护倒换功能给电网调度、继电保护等关键业务可靠的通信保障，但随着智能电网快速发展、数据业务量急剧增加，SDH 网络带宽利用率低、业务调度能力弱、扩展灵活性差等问题越来越明显，无法满足多业务融合、高速传输和灵活部署的需求，而纯 IP 网络拓扑结构灵活，资源使用效率高，不过其面向无连接的传输特性、动态路由的不确定性和较弱的保护机制使其在关键业务保障上存在不足，MPLS-TP（多协议标签交换传输网）是 SDH 和纯 IP 网络的融合，在技术架构上它继承 SDH 的连接导向、低抖动和快速倒换能力并引入 IP 网络的标签转发与灵活组网能力，支持端到端的 LSP 通道配置从而保证通信路径固定可控，其快速保护切换小于 50ms，QoS 策略精细化，有 OAM 链路检测与业务隔离功能，能有效保障调度数据、图像视频、管理信息等多类业务的传输质量。MPLS-TP 与网络管理系统（NMS）深度集成后能够实现链路资源可视化配置、性能动态监控与智能告警等功能，这是现代电力通信网络转型升级的重要支撑技术。

2 电力通信网络架构设计方案

2.1 网络分层结构设计

MPLS-TP 的电力通信网络一般是三层结构，即核心层、汇聚层和接入层，全网的骨干传输功能由核心层承担且负责各区域调度中心和主数据中心的连接，其特点为高带宽、强冗余、高可靠性，通常采用环网或者双核心备份结构以保证网络运行不间断；汇聚层位于核心层和接入层中间，负责下级站点数据流量汇总、多业务集中转发和管理，能连接变电站、配电自动化节点并与本地控制中心通信，业务调度很灵活；接入层是最末端的通信节点，直接接入各类终端设备如保护装置、远动装置、智能电表等，主要任务是数据采集和初步传输，通常部署在变电站、开闭所和配电自动化终端；三层架构有利于分布式部署、集中管理、业务隔离，还能通过划分不同层级的服务级别（SLA）制定网络策略，从而实现差异化资源调度和性能保障。

2.2 拓扑结构优化

实际组网时，电力通信网络拓扑结构设计需兼顾可靠性、资源利用率和扩展性，常用的拓扑结构有单环、双环、星型、网状，双环拓扑因路径冗余、环网能自愈，在核心与汇聚层广泛应用，有数据表明，典型 110kV 及变电站部署 MPLS-TP 双环结构后，链路可用率能提升到 99.999%，环网切换时间控制在 50ms 以内，可有效保障调度控制、继电保护等关键业务连续性，星型拓扑多在小型变电站或者接入层站点使用，其连接简单、运维成本低，但可容灾能力不强，要让全网业务负载均衡、故障快速恢复，复合型拓扑结构可结合使用，如“核心双环+汇聚星型+接入链型”模式，靠着链路自动探测和负载感知机制，动态选最优路径传输数据，实际部署时，核心节点一般配置两条或者更多冗余链路与相邻汇聚节点互联，汇聚节点最少部署一主一备链路，接入节点保持基本链路冗余，科学规划物理路径和逻辑路径，就能有效降低单点故障风险并优化传输性能。

2.3 网络设备选型与接口规划

MPLS-TP 网络设备选型需按照不同层级节点的功能要求和业务承载能力进行匹配，核心层设备要支持大容量交换转发、冗余主控、丰富 QoS 策略以及完整 OAM 维护功能，推荐 100Gbps 端口、支持多业务接入且兼容 SDN 的高性能交换机，汇聚层设备要有强大业务处理能力和多链路聚合能力，端口带宽 10Gbps 为宜且要支持 GE/10GE/40GE 灵活组合，接入层设备接口类型需多样，GE、电口、光口、串口以适应各类终端设备接入需求且不能缺少基本的 QoS 和保护切换能力。在接口规划方面，关键业务如调度数据、保护信号要独立承载，可通过逻辑隔离 VLAN/MPLS 隧道划分业务通道以避免互相干扰，根据业务冗余需求应配置双归属、双链路接入机制以提高整体可用性。为方便集中运维和统一管控，所有设备都要有远程管理、故障定位、软件升级和参数下发功能且要留出接口资源满足未来扩展需求。

3 MPLS-TP 可靠性技术分析

3.1 保护机制与恢复策略

MPLS-TP 在电力通信网络中的高可靠性主要靠其完善的保护机制与故障恢复策略，为保障业务不中断，它支持 1+1 保护、1∶1 保护和共享路径保护等多种方式，其中 1+1 保护在核心与汇聚层最常用，数据主备路径传输，接收端实时挑选优路径，以此实现“零丢包”切换，而 1∶1 保护主路径故障时备路径自动启用，可节约带宽资源，MPLS-TP 还支持双向 LSP 保护，保证双向通信链路对等性，提高对称性和保护效率，它嵌入 APS（自动保护切换）协议，再结合 MPLSOAM 技术，得以实现链路状态实时检测和快速切换，在网络链路断裂或者节点故障时，能在 50ms 内完成业务重路由，确保调度、保护等关键业务稳定运行，在恢复策略方面，MPLS-TP 有自动路径重计算和业务重建能力，结合拓扑感知机制，可动态选取主备路径之外的新路径，实现柔性恢复和多级保护，有效提高整个网络的韧性和可靠性。

3.2 故障诊断与告警机制

MPLS-TP 支持多种实时故障检测手段以构建完备的告警反馈与诊断体系，其基于 OAM 框架引入 CC、LM、DM、AIS 等工具实现全栈监控从物理链路到业务层，CC

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

功能很特别，能在 10ms 粒度内持续检测 LSP 通断状态，链路异常时马上上报故障并启动保护切换，与 BFD 协议配合可将故障识别与定位到毫秒级，MPLS-TP 网络设备支持本地和远程告警功能，告警分为严重、主要、次要、提示等级并向 NMS 发送标准化 Trap 或者 Syslog 信息从而实现智能分析和自动化处置，系统还能预设阈值告警策略对链路时延突然增加、丢包率上升等情况提前预警以有效减少隐性故障引发业务中断的情况，运维人员通过可视化界面可进行拓扑追踪、路径识别、性能趋势分析、历史告警查询，进而大幅提高故障处理效率和精准度。

3.3 网络性能评估指标体系

全面评估 MPLS-TP 网络运行质量需建立科学、量化的性能指标体系，实时性衡量的重要参数有时延（Delay）和抖动（Jitter）且电力调度、保护业务的端到端时延需控制在 10ms 以内、抖动需小于 3ms，数据完整性受丢包率（PacketLoss）直接影响且关键业务丢包率要小于 0.001%，链路切换时间是可靠性的核心衡量指标且配置正确保护机制的 MPLS-TP 能实现小于 50ms 的恢复时间以满足电力系统保护级通信要求，网络可用性也需评估且常用指标是 MTBF（平均无故障时间）和 MTTR（平均修复时间）并且主干链路 MTBF 通常要求大于 5000 小时、MTTR 小于 2 小时，业务承载能力评估涵盖链路利用率、端口带宽匹配率与并发业务数等且要保证网络资源分配合理、各业务互不干扰，网络评估结果可由 NMS 以周报/月报形式归档从而为后续优化调整提供依据以推动通信系统朝着高质量、高效率、低故障方向不断发展。

4 典型应用场景与实施建议

4.1 调度自动化系统支撑

电力系统安全稳定运行的核心是调度自动化系统，其通信支撑系统需要有极高的实时性与可靠性，MPLS-TP 网络靠预置的双向 LSP 通道以及快速保护切换机制能保证调度指令和状态数据低时延、无中断传输且其标签转发机制可减少报文处理延迟从而保障调度命令秒级响应，每条调度链路能被 OAM 监控功能实时检测以便及时发现异常并及时切换路径提升系统运行稳定性，在实际应用里调度主站跟变电站、发电厂、集中器之间配置专属 LSP 通道就能形成高优先级调度业务域并通过 QoS 策略保障调度数据优先转发且抗拥塞能力也强，远程调度、故障隔离、潮流重构这些复杂操作中 MPLS-TP 网络能提供可视化链路管理和业务状态感知从而增强调度人员对通信状态的掌控能力，为提高调度冗余安全性主备调度系统之间建立物理隔离、逻辑冗余的双平面通信路径可通过主用链路和备用链路独立承载实现从而有效防止单点失效导致系统瘫痪。

4.2 电力调度数据中心互联

电力系统数字化转型下，调度数据中心肩负数据采集、实时分析、指令下发等关键任务，这对中心间通信带宽、稳定性与安全性有了更高要求，而 MPLS-TP 网络有高速链路聚合、路径可控和分层隔离的优势，它是数据中心互联理想的基础架构，部署时，用 100G 主干链路能让调度主备数据中心实现高带宽传输且构建多路径保护机制可保障通信稳定，与 VPLS 等虚拟专网技术相结合能给各类业务流量构建独立逻辑隧道，使业务安全隔离互不干扰，多地调度协同、跨区运行监控场景里，MPLS-TP 有多链路汇聚和差异化调度能力，可有效处理大流量数据转发、高并发访问以及突发业务响应，设备部署上，把 SDN 控制器和 NMS 系统相结合构建统一管理平台就能实现网络资源动态调配、链路可视化监管与故障快速排查，为了更好保障互联安全性，最好结合 VPN、MACSec 等加密技术以防范链路劫持和数据泄露风险。

4.3 冗余部署与业务容灾演练

高可用电力通信网络的构建核心在于冗余设计与容灾能力，MPLS-TP 能支持链路、节点、控制面灵活地进行冗余部署，双主控、双电源、双链路这种配置可在关键通信节点达成 1+1 或者 N+1 冗余，设备或者链路出现故障时系统能自动切换到备用资源从而保障业务持续性。电力企业构建网络时可按照网络分区构建区域性冗余结构，“核心环+跨区备份链路”这种模型不错，能提高跨区域业务互通的抗故障能力，而且容灾演练要定期进行链路中断、节点失效、路由漂移这些场景的演练，检验网络切换时间和稳定性，通过仿真系统模拟实际业务路径、故障转移逻辑来验证保护策略是否有效并且优化调度规则。要提升自动化水平可配置业务流量策略模板和快速路径重建脚本以实现容灾切换的可编程、可控化管理，要将演练数据写成完整报告纳入运维体系，这样日常优化和改进就有指导依据，突发事件的应对也有技术支撑和保障依据了。

5 结束语

MPLS-TP 的电力专用通信网络在架构设计、可靠性保障以及应用实施上性能优越，既能满足电力系统对高可靠性、低时延和多业务承载的要求，也能夯实调度自动化、数据中心互联和容灾演练等关键场景的通信基础，部署分层组网、拓扑优化、设备冗余和故障恢复机制可全面提升电力通信网络智能化和韧性水平，往后结合 SDN、网络切片等新兴技术就能实现电力通信网络智能演进和自主调度能力。

[参考文献]

[1]工业和信息化部信息通信管理局.营造健康干净安全的信息通信消费环境[N].中国电子报,2025-07-08(03).
[2]王雅冰.地铁专用无线通信网络干扰信号源识别方法[J].自动化应用,2025,66(12):216-218.
[3]刘璐晨,史新洁,李斐,等.浅谈现代卫星通信技术在海上油气勘探开发中的应用[J].海洋石油,2025,45(2):100-104.
[4]鲁双贵,杨宗铭,苏蓉,等.电力系统网络设备专用串口卡扣式封堵方法[J].云南电力技术,2025,53(3):68-72.
[5]周星.基于卫星移动通信的应急救援系统探析[J].中国煤炭工业,2025(6):69-71.

作者简介：杨洋（1994.10—），女，河南省商丘人，汉族，研究生学历，工程师，就职于国网郑州供电公司，从事电力通信网运维工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

5G 通信技术在电子智能机房设备运维中的应用

常鹤立
中国电信股份有限公司河北分公司，河北 石家庄 050000

[摘要]电子智能机房作为承载计算、通信与供配电设备的核心场所，其运维活动对数据传输速率、控制实时性与多终端协同能力提出更高要求。本篇文章聚焦 5G 在电子智能机房设备运维中的实际应用，系统分析其在高频数据采集、远程故障诊断与控制指令下发等关键环节中的支撑作用。通过引入 5G 网络的低时延、高带宽与广连接特性，运维人员可实现对设备状态的实时感知、精准控制及异常快速响应，突破传统通信方案的性能瓶颈。实际应用表明，5G 有效提升了运维的智能化水平和可靠性，具有较强的场景适配性和推广潜力。

[关键词]5G；电子智能机房；设备运维
DOI：10.33142/sca.v8i7.17125 中图分类号：TP29 文献标识码：A

The Application of 5G Communication Technology in the Operation and Maintenance of Electronic Intelligent Data Room Equipment

CHANG Heli
Hebei Branch of China Telecom, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: As the core location for carrying computing, communication, and power distribution equipment, the operation and maintenance activities of electronic intelligent computer rooms require higher requirements for data transmission rate, real-time control, and multi terminal collaboration capability. This article focuses on the practical application of 5G in the operation and maintenance of electronic intelligent data center equipment, and systematically analyzes its supporting role in key links such as high-frequency data acquisition, remote fault diagnosis, and control command issuance. By introducing the low latency, high bandwidth, and wide connectivity characteristics of 5G networks, operation and maintenance personnel can achieve real-time perception, precise control, and rapid response to equipment status, breaking through the performance bottleneck of traditional communication solutions. Practical applications have shown that 5G effectively enhances the intelligence and reliability of operations and maintenance, with strong adaptability to different scenarios and potential for promotion.

Keywords: 5G; electronic intelligent data center; equipment operation and maintenance

引言

电子智能机房作为数据中心、通信枢纽和关键基础设施的重要组成部分，其设备运行的连续性与稳定性对整体系统安全具有直接影响[1]。设备种类增多与运维对象复杂化，使传统运维模式逐渐暴露出响应滞后、故障预警能力弱、远程控制不稳定等问题，难以满足“全天候、零中断”的智能管理需求。运维通信作为信息交互的核心支撑，其能力直接决定了数据采集频次、诊断时效与控制精度[2]。近年来，5G 以其高带宽、低时延、广连接等特性，为构建高效、智能、协同的运维体系提供了新路径。不同于传统通信方式，5G 具备面向多终端、复杂环境中设备状态实时上传与控制指令稳定下发的技术优势[3]。本文将围绕 5G 在电子智能机房设备运维中的具体应用展开分析，重点探讨其在数据采集、远程诊断与智能控制等关键环节中的实际作用，验证其对运维效率与管理精度提升的价值。

1 5G 概述

第五代移动通信技术（5G）是继 4G 之后的新一代蜂窝通信标准，具备高带宽（Enhanced Mobile Broadband, eMBB）、低时延（Ultra-Reliable and Low Latency Communication, URLLC）与大连接（Massive Machine-Type Communication, mMTC）三大关键能力。其典型特性包括数据传输速率可达 10 Gbps、端到端时延可低于 1 ms，并支持每平方公里百万级设备的并发接入，显著超越传统通信技术在速率、延迟和容量方面的上限[4]。

在 5G 网络架构中，核心网引入了网络切片、边缘计算（MEC）和虚拟化功能，能够根据业务需求灵活分配网络资源，形成面向差异化应用场景的专属通信通道。与此同时，5G 基站支持大规模 MIMO 与波束赋形等技术，提升在复杂环境下的覆盖质量与连接稳定性[5]。

对于智能运维场景，尤其是电子智能机房中的多终端数据采集、高清视频回传、远程控制指令等高频次、高精度通信需求，5G 提供了底层通信能力的本质性突破。其通信架构的开放性与灵活性，为设备运维的实时化、分布化与智能化发展提供了坚实支撑。

2 应用路径

在电子智能机房的设备运维过程中，通信链路的稳定

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

性、时效性与多终端支撑能力直接关系到状态感知的全面性、故障响应的及时性以及控制操作的有效性。传统通信方式在并发处理能力、动态网络环境适应性及远程控制可靠性等方面存在先天限制，已难以支撑现代智能机房对高频数据采集、快速诊断响应与精细化控制的综合需求。5G凭借其低时延、高带宽与广连接的特性，在运维核心环节中提供了稳定、灵活且具备业务感知能力的通信支持。本文将围绕数据采集、远程诊断与指令控制三类关键运维场景，具体阐述5G的实际应用路径及其所发挥的支撑作用。具体应用路径示意如图1所示。

2.1 数据采集与高频传输

电子智能机房设备运维过程中，环境参数监测、设备运行状态采集以及高清视频流的稳定回传，是保障系统实时感知能力的关键环节。传统通信链路在处理大规模传感器接入与多维数据流同步传输时，易出现带宽瓶颈与数据丢包等问题，难以支撑高密度、多频次的动态采集任务。5G通过其高带宽特性（eMBB）与大连接能力（mMTC），为数据采集环节提供了高效、可扩展的通信通道。

在设备层，分布式传感器节点通过5G接入网络可实现毫秒级采样间隔的数据回传。设第i类采集源在时段t内的采样频率为$f_i(t)$，则系统在单位时间内的总数据上传速率可表示为：

$$R(t)=\sum_{i=1}^{n} f_i(t)\cdot s_i \tag{1}$$

其中，s_i表示第i类数据包的平均大小，n为采集源总数。5G链路的高传输速率保障了$R(t)$在数百Mbps以上的稳定运行，确保多类型数据的并发传输不会引发拥塞或缓存延迟。

此外，为实现高频采集下的链路质量动态控制，系统在5G协议层部署速率－丢包率自适应机制，针对不同场景实时调整数据调度策略。设某传输周期内的数据丢包率为$\epsilon(t)$，若设定最大容忍丢包阈值为$\epsilon_{\max}$，则调度条件满足：

$$\epsilon(t)\le\epsilon_{\max},\forall t\in[0,T] \tag{2}$$

一旦超过阈值，5G接入模块触发链路重调或频谱切换，从而保障传输的连续性与可靠性。该机制结合5G网络切片与QoS动态配置能力，使得各类数据流按优先级精准分发，特别适用于对延迟和完整性要求高的温湿度监测、电流变化捕捉与高清视频上传任务。

通过上述技术路径，5G实现了对电子智能机房多源异构数据的高速采集与稳定传输，显著提升了运维系统对运行状态的可视化、可感知与可响应能力。

2.2 远程诊断与故障预警

在电子智能机房设备运维过程中，快速识别潜在故障并实现远程诊断处理，是提升系统可靠性与降低停机风险的关键环节。传统诊断依赖人工定期巡检与异步上报机制，存在响应延迟长、覆盖范围不足与实时性差等问题。5G的低时延（URLLC）与高可靠连接能力，赋能远程运维系统构建高频次、连续化的数据通道，使多维状态信息能够在秒级内被实时获取与处理，从而支撑故障预警的及时触发与远程诊断的精准执行。

具体而言，5G网络切片技术可为机房核心设备诊断任务预留专属低时延链路，保障数据从边缘感知节点传输至运维决策平台的端到端延迟稳定在毫秒级。设备状态数据上传延迟为τ_d，5G网络下其期望值满足：

$$\mathbb{E}[\tau_d]\le\tau_{\text{th}},\tau_{\text{th}}\in[5,10]\text{ms} \tag{3}$$

该传输性能使得AI模型可在接收到最新状态数据后即时进行故障趋势识别与健康评估。故障预警模块采用基于指标波动率的动态风险判定逻辑，设连续T个周期内状态变量$x(t)$的变异系数为：

$$V_x=\frac{\sigma_x}{\mu_x},\sigma_x=\sqrt{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left(x(t)-\mu_x\right)^2} \tag{4}$$

其中，μ_x为均值，σ_x为标准差。当V_x超过阈值V_{crit}时，系统通过5G链路触发远程诊断流程并向运维中心推送风险告警。

同时，基于5G回传的高带宽通道，运维中心可调用边缘视频流、运行日志与热插拔记录进行同步分析，实现远程问题定位、故障研判与处置指令下发。相比传统方案，5G不仅缩短了故障感知—判断—响应的时间闭环，也提升了远程诊断的准确性与覆盖深度。

综上，5G在电子智能机房故障诊断与预警环节中，不仅实现了设备状态数据的高可靠、低时延传输，还支撑了基于大数据建模的智能故障识别体系，显著提升了运维响应速度与异常处理精度。

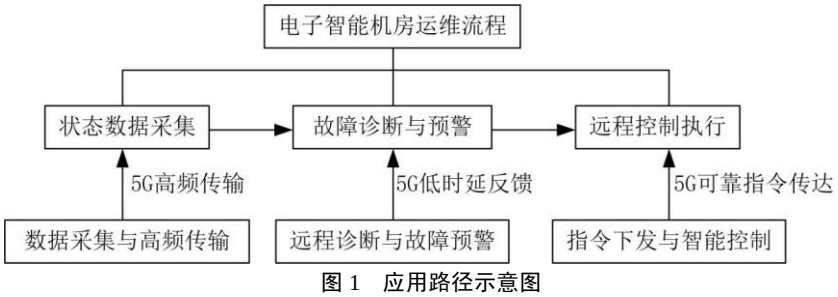


图1 应用路径示意图

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.3 指令下发与智能控制

在电子智能机房的运维过程中，关键设备（如供电模块、冷却系统、安全门禁等）的控制指令需要具备高可靠性、低延迟和实时响应能力。传统控制链路受制于网络拥塞、路径不稳定与响应不确定性，难以满足对操作实时性与精准性的要求。5G 通过其 URLLC（超高可靠低时延通信）特性，为智能控制环节提供了极低时延、高稳定性的无线通道，显著增强了远程控制在执行层的实时闭环能力。

具体而言，5G 支持的端到端控制指令下发延迟可控制在 1～5ms 范围内，有效保障紧急指令（如风机启停、断电保护）的实时传输。设某控制指令 C_i 在系统中的下发时刻为 t_i^{send}，设备执行响应时刻为 t_i^{ack}，则单条控制闭环延迟为：

$$\Delta t_i = t_i^{\text{ack}} - t_i^{\text{send}} \tag{5}$$

为满足高可靠控制要求，系统对 Δt_i 设置上限阈值 $\Delta t_{\max}$，若出现 $\Delta t_i > \Delta t_{\max}$，5G 模块将自动进行链路切换或指令重发处理，提升指令到达率与执行一致性。

另一方面，5G 切片机制支持将控制信道与监控信道逻辑隔离，避免链路拥堵或异常数据干扰指令的实时调度。在控制执行策略中，引入基于优先级的资源调度机制。设控制任务优先级权重为 ω_j，系统在单位时间内可调度控制资源量为 R，则分配给任务 j 的控制带宽为：

$$r_j = \frac{\omega_j}{\sum_{k=1}^{n} \omega_k} \cdot R \tag{6}$$

该机制结合 5G 网络灵活带宽配置能力，使高优先级任务（如安全断电控制）获得更多链路资源，提升了控制策略的分层管理能力与执行效率。

总体而言，5G 在智能控制环节的引入，突破了传统控制链路对响应时延与传输可靠性的制约，实现了多设备并发控制、异步任务精准下发与故障状态下的即时干预，显著增强了电子智能机房运维系统的执行闭环性与动态调控能力。

3 应用成效分析

3.1 案例设计

为验证 5G 在电子智能机房设备运维中的实际应用效果，本文选取某数据服务企业下属智能机房为测试对象，构建基于 5G 链路的运维通信框架，并在数据采集、远程诊断与控制指令下发三个关键环节开展对比测试。机房内部署多类型 5G 接入终端，与边缘计算节点及中心运维平台联动，形成高频采集、低时延控制的运维通道。对比对象为传统基于以太网+4G 通信的混合方案，实验评估内容包括采集频率稳定性、指令响应时效、故障识别率及远程控制成功率等关键指标。实际应用表明，5G 有效提升了运维的智能化水平和可靠性，在复杂、多终端的运维场景中展现出良好的适应能力与工程推广潜力。

3.2 案例分析

为全面评估 5G 在智能机房设备运维中的实际成效，本文对比分析了 5G 方案与传统通信方案在相同运维环境下的关键性能指标，包括数据采集更新频率、远程故障诊断识别率、控制指令响应时延及执行成功率。实验在连续运行 72h 的真实机房环境中开展，相关结果如表 1 所示。

表 1 对比结果

指标项	传统方案	5G 方案
数据采集频率（次/s）	1.2	5.6
故障诊断识别率（%）	78.4	94.7
指令平均响应时延（ms）	145	12
指令执行成功率（%）	83.1	98.9

结果表明，5G 方案在关键运维指标上全面优于传统方案，尤其在数据采集频率与控制响应延迟方面提升显著，有效支撑了高密度设备下的智能化管理需求。实验验证了 5G 在智能机房运维中所具备的高实时性、高可靠性与强协同性，为推动其在更大规模场景中的应用提供了有力支撑。

4 结论

本文围绕电子智能机房运维中的核心环节，系统分析了 5G 在高频数据采集、远程诊断与指令控制等方面的实际应用路径。通过引入 5G 的高带宽、低时延与广连接能力，有效解决了传统通信方式在实时性、稳定性与多设备接入方面的性能瓶颈。案例实验结果表明，5G 显著提升了运维系统在数据传输效率、故障响应速度及控制执行精度等方面的综合表现，具备良好的场景适应性与工程部署价值。未来可进一步结合边缘计算与 AI 算法，构建更加智能、高效、自适应的运维体系，推动电子智能机房运维管理向全面数字化、智能化方向发展。

[参考文献]

[1]汪洋.基于 5G 通信技术的新能源智慧场站运维数据智能传输方法[J].信息记录材料,2025,26(4):168-170.
[2]章海滨,朱垠,鲁峰.基于广电 5G 技术的视频监控智慧运维一体化管理探索[J].广播电视信息,2025,32(4):93-96.
[3]高翀.5G 移动通信技术在通信工程中的应用[J].数字技术与应用,2025,43(2):55-57.
[4]谷洪君.5G 技术在铁路通信中的应用[J].集成电路应用,2025,42(2):82-83.
[5]冯博龙,王朝德,沈子祥,等.基于 5G 通信的变电站输电设备状态在线监测系统研究[J].电气技术与经济,2025(1):156-158.

作者简介：常鹤立（1984.1—），女，民族：汉，籍贯：河北省石家庄市，学历：本科，单位：中国电信股份有限公司河北分公司，职称：中级工程师，研究方向：电子技术、智能运维。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

虚拟现实技术在计算机通信中的应用研究

汤 宁
新疆铁道职业技术学院，新疆 乌鲁木齐 831100

[摘要]计算机通信在人们的日常生活、工作以及学习等方面所发挥的作用日益凸显，各个领域针对通信方面的要求变得更为严格且呈现出多元化的特点。伴随我国虚拟现实等前沿技术发展速度不断加快，在计算机通信领域，对于与这些新兴技术展开深度融合这件事愈发予以重视，正在积极拓宽其应用场景的涵盖范围，同时深入挖掘技术整合方面的潜力，把虚拟现实技术恰当地融入到计算机通信体系当中，达成二者的优势互补状态，这已然成为了当下跨学科研究最为关键的核心攻关所在。
[关键词]虚拟现实；计算机通信；人机交互；通信协议
DOI：10.33142/sca.v8i7.17121 中图分类号：TP39 文献标识码：A

Research on the Application of Virtual Reality Technology in Computer Communication

TANG Ning
Xinjiang Railway Vocational and Technical College, Urumqi, Xinjiang, 831100, China

Abstract: The role of computer communication in people's daily life, work, and learning is increasingly prominent, and the requirements for communication in various fields have become more stringent and diversified. With the continuous acceleration of the development of cutting-edge technologies such as virtual reality in our country, the deep integration with these emerging technologies is increasingly valued in the field of computer communication. We are actively expanding the scope of their application scenarios and exploring the potential of technology integration to appropriately integrate virtual reality technology into the computer communication system, achieving a complementary advantage between them, which has become the most critical core research area for interdisciplinary studies at present.
Keywords: virtual reality; electronic communication; human-computer interaction; communication protocol

引言

虚拟现实技术于计算机通信领域逐渐显露锋芒，已然成为推动创新的重要驱动力量。该技术依靠所构建的极为吸引人的体验环境，还有其高度逼真的世界模拟能力，赋予了用户前所未有的交互深度以及沉浸式感受。不论是细致入微地模拟现实世界的复杂场景，还是大胆无畏地创造出充满想象力的虚构环境，虚拟现实技术均能让人们仿佛身临其境一般去探索未知领域、获取各类知识、享受丰富娱乐或者激发无限创造。在当下这个技术不断更新换代的数字化大潮之中，虚拟现实技术的确为计算机通信的发展开拓出了颇具潜力的全新途径，为其注入了极为强劲的创新活力，预示着通信形态将会迎来深刻的变革，并且还扛起了未来人机交互模式转型的重要重任。

1 虚拟现实技术概述

1.1 定义与核心原理

定义和原理虚拟现实技术（VR 技术）是一种通过计算机技术创建的模拟环境，让用户能够身临其境地感受和交互其中。它通过模拟多感官的输入，包括视觉、听觉、触觉等，创造出一种虚拟的、与现实世界相似或完全不同的体验。虚拟现实技术的基本原理是通过操作一系列技术和设备，将用户置于一个计算机生成的虚拟环境中，并使用户能够与该环境进行实时互动，整个过程的进行需要实时的图形渲染、传感器技术、跟踪和定位技术以及交互设备的支持。

1.2 主要分类与系统组成

用户沉浸程度以及交互方式存在明显区别，虚拟现实系统大致可划分成三个类别，即沉浸式 VR 系统、桌面式 VR 系统还有分布式 VR 系统。完整意义上的虚拟现实系统，一般会涵盖多个部分。其中，有负责对环境进行渲染以及处理逻辑事宜的高性能计算单元，也有能够实现精准捕获用户动作并且追踪其位姿的传感输入子系统。还有用来呈现立体视觉画面并给予多通道感官反馈的沉浸式输出设备，以及能够支撑虚拟世界正常运行且维持交互逻辑的底层软件平台。实现用户与虚拟对象开展自然交互的相关特定交互技术也是必不可少的组成部分。

1.3 常用硬件设备与软件平台

当下主流的硬件有 OculusQuest 系列、HTCVive 系列以及 PlayStationVR2 这类头戴式显示设备，还有像 ValveIndex 手柄这样的控制器，它能精准地捕捉手部的动作与姿态，OptiTrack 光学系统能够实现对全身运动的追踪，Teslasuit 等可穿戴装置可以提供触觉反馈。在软件生态这块，Unity 引擎和 UnrealEngine 因为具备强大的实时渲染能力以及较为完善的物理仿真支持，所以成为了构建虚拟现实内容的关键开发工具。而借助推广 OpenXR 标准

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

的方式，有效地推动了不同硬件平台之间应用内容的互操作性，也使得开发适配的复杂程度得以降低。

2 虚拟现实技术的关键特性

2.1 沉浸性

沉浸性的目的在于借助多感官通道相互间高度协同的刺激方式，切实有效地将用户对物理现实世界的感知予以隔绝或者大幅削弱，进而促使用户的认知焦点能够彻底地转移到虚拟环境当中来。这种极为深入的心理投入状态，恰恰是虚拟现实体验与传统屏幕交互相比而言所具备的本质区别所在。现代头戴显示设备大多都可提供双眼视差渲染的高分辨率画面显示效果，同时还具备低运动模糊方面的特性，并且其视野角度往往能够超出 100 度。再配合上精确的头部追踪功能，其中延迟时间一般都被控制在 20 毫秒以内，再加上沉浸式空间音频技术的应用，这些因素综合起来便共同营造出一种极具说服力的临场感受，能够让用户真切地感觉到场景的逼真程度。

2.2 交互性

交互性着重指出，用户于虚拟环境当中，可好似身处真实世界一样，凭借诸如抓取、行走、注视这类自然动作，或者凭借专用输入设备，去实时操控虚拟对象，并且能即时获取契合物理规律以及环境逻辑的反馈成效[1]。这种具备高自由度且延迟较低的业界标杆，一般要求运动到成像延迟要低于 15 毫秒的自然交互能力，其属于虚拟现实系统支撑复杂任务，如远程协同设计、虚拟手术训练的关键核心基础，它将数字世界与物理世界的操作界限变得模糊不清，就好似远程手术得考量网络延迟一样重要。

2.3 构想性

构想性这项独特的能力赋予了系统设计者和内容创作者突破现实世界中物理定律以及各种客观条件限制束缚的非凡力量，使得他们得以构建出那些在真实物理世界中根本不可能存在或者即使存在也极难复现的奇妙场景空间，例如在原子或分子尺度上对微观结构进行可视化操作、在浩瀚无垠的宇宙尺度进行空间探索漫游、逼真重现重要的历史事件场景或者对未来城市的发展蓝图进行模拟规划展示，这极大地拓展了人类探索未知领域的认知边界和进行创意表达的创造力疆域，为科学前沿研究、创新教育培训和艺术创意表达提供了前所未有的强大工具平台，使得网络通信工程师们能够在一个绝对安全且成本可控的虚拟实验环境中，放心大胆地试验那些在真实网络环境中部署可能具有潜在危险性或者极高经济成本的新型通信协议草案或创新的网络拓扑结构设计方案[2]。在计算机通信这个特定的专业领域内，构想性的价值直接而鲜明地体现在它能够支持工程师们构建起超大规模、结构异常复杂的异构网络仿真验证环境上，工程师可以随心所欲地配置那些在现实物理世界中由于部署难度极大或经济成本高昂而难以实现的特殊网络架构模型，例如精确模拟由数千颗低轨道卫星组成的全球卫星互联网星座其节点间的通信延迟特性和星间链路切换机制，或者构建一个包含数百万个物联网感知节点的城市级智能传感网络模型，用于对新型通信协议进行极限压力条件下的性能测试和网络安全攻防对抗演练。

2.4 多感知性

虚拟现实技术超越了传统的视听体验，其着力于整合触觉力或者振动反馈、嗅觉乃至前庭觉平衡感等多种通道的感官反馈，以此在虚拟环境当中给用户带来更为丰富且更加接近真实世界的综合感官刺激。比如说，触觉反馈手套能够模拟抓取不同材质物体时所产生的触感差异，体感背心可以传递出定向冲击的效果，热反馈装置则能够再现温度的变化情况。多感知融合这一方式大幅度提升了虚拟环境所具有的真实感以及用户交互时的自然程度，而这一点对于远程操作精密仪器或者沉浸式通信时的情感传递来说是极为重要的。

3 虚拟现实技术在计算机通信中的核心应用方向

3.1 沉浸式远程协作与会议系统

虚拟现实技术正对传统视频会议模式展开彻底重构，其借助构建起共享的虚拟三维会议空间，让参与者能够以个性化的虚拟化身形式展开交互，进而达成逼真的空间音频对话、自然的肢体语言交流，同时还能实现实时三维文档、模型的可视化协同操作。Meta 的 Horizon Workrooms 以及 Microsoft Mesh 等平台均是朝着这一方向努力的实践者。依据 Gartner 在 2025 年的预测报告，到 2025 年，全球会有 42%的企业会部分采用 VR/AR 技术来开展内部协作以及客户会议，以此显著提高沟通效率，降低差旅需求，并且改变了我们的开会方式。沉浸式协作所具有的核心价值在于恢复了面对面交流当中的空间感、共在感以及非语言线索传递，像眼神接触、手势指向以及空间方位感等，这些对于设计评审、复杂问题解决以及团队凝聚力的建设而言是极为关键的[3]。技术方面存在的挑战在于需要实时传输高保真的用户化身姿态表情数据、共享的三维模型数据流，并且要维持空间音频效果，这就要求网络能够提供高带宽、低延迟且支持多点同步的数据传输能力。边缘计算被广泛应用于就近处理渲染负载和同步逻辑，以此来减轻核心网的压力并降低端到端的延迟。

3.2 网络可视化与状态监控

在现代通信网络变得日益庞大且复杂的情况下，比如 5G 或者 6G 核心网以及大型数据中心网络，虚拟现实给出了具有革命性的网络拓扑结构三维可视化以及实时状态监控的方式。管理员能够直观地进入到虚拟网络当中，从任意的角度去查看设备连接的情况、链路负载的状态、带宽的利用率、延迟的程度、丢包率的高低以及流量热力图的分布状况，并且还能够凭借手势交互迅速找到故障节点，模拟配置变更所带来的影响。就像诺基亚的 Deepfield

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

Analytics 把 VR 技术运用起来，达成了对超大规模 IP 网络的沉浸式监控与管理，提高了网络运维的直观程度以及响应的速度，让管理复杂的网络变得稍微简单了一点。传统的二维网管界面很难清楚地展示出大规模网络的层次结构以及动态的关系，然而 VR 可视化会把抽象的网络数据转变成具体的三维空间对象以及动态的信息流，让管理员可以快速地了解全局的状态，确定异常热点，像是 DDoS 攻击的源头或者是拥塞的链路，并且可以通过直观的手势来实施隔离、限流等相关操作。其背后需要极为强大的数据处理能力，要实时收集大量的网络遥测数据，像 NetFlow/sFlow/Telemetry 这类数据，然后对其进行聚合分析，以此来驱动虚拟场景的实时更新，对于数据管道的吞吐量以及处理延迟的要求非常高。

3.3 通信协议与网络架构的模拟验证

在着手部署像下一代 TCP 变种、QUIC 这类新型通信协议，又或者是软件定义网络 SDN、网络功能虚拟化 NFV 这般复杂的网络架构之前，借助虚拟现实所构建起来的具备大规模且高保真特性的网络仿真环境来开展前期的验证工作，这已然变得极为关键。工程师能够在这样的虚拟环境当中较为直观地去部署各类节点、对相关策略加以配置、注入诸如 DDoS 攻击、突发流量模型之类的模拟流量，并且能够实时地去观察协议的具体行为、网络性能指标，像是吞吐量、抖动、资源占用率以及潜在存在的瓶颈情况。美国国家标准与技术研究院在 2024 年所发布的关于未来网络测试平台的白皮书 NIST SP 1274 里，着重指出了基于 VR/AR 的沉浸式仿真验证对于降低真实网络部署过程中所面临的风险起到的极为重要的作用，称其为测试环节当中不可或缺的一种手段。与传统的命令行或者二维图表式的仿真工具相比而言，VR 环境能够赋予工程师以一种空间化、具身化的方式来去理解协议交互的具体过程以及数据流的动态情况，比如说可以较为直观地看到数据包在各个网络节点之间出现的排队、拥塞以及重传等现象，又或者是能够观察到 SDN 控制器指令下发的实际路径以及其对流量所产生的具体影响。这样一种沉浸式的调试环境，切实有效地提升了工程师诊断那些复杂的协议交互方面的问题以及对网络性能加以优化的工作效率。仿真平台得要集成像 NS-3、OMNeT++这类较为成熟的网络模拟器内核，并且要建立起其输出数据和 VR 可视化引擎之间的实时对接渠道。

3.4 新型人机交互界面的通信支持

虚拟现实乃是下一代自然人机交互的关键载体，其高效运作离不开底层通信网络给予的极低延迟、超高可靠性和大带宽的数据传输保障。就无线通信来讲，像 5G 或者 6G 的 URLLC 特性以及有线网络的边缘计算、确定性网络，针对虚拟化身表情与动作的实时同步、高保真三维环境数据的流式传输、多用户间实时交互状态的精准一致等方面，都提出了极为严苛的要求。反过来说，为了满足 VR/AR 的通信需求，还推动了诸如注视点渲染数据传输优化、分布式渲染协同计算等新型通信技术的发展以及标准化进程，就好比 MPEG-I 标准里的沉浸式媒体传输规范，使得通信技术得以不断发展[4]。具体来讲，注视点渲染技术借助人眼视觉特性，仅仅对用户注视的中心区域展开全分辨率渲染，而周边区域则降低分辨率，如此一来便能大幅减少需要传输的像素数据量，这对于移动 VR 和云 VR 而言是极为重要的，这就要求网络得能支持动态码率传输以及快速区域更新。分布式渲染会把繁重的图形计算任务在用户终端、边缘云以及中心云之间进行动态卸载与协同处理，依靠网络将渲染指令或者部分渲染结果高效地传输出去，这就需要网络拥有灵活的任务调度与资源分配能力，还得具备低延迟的远程过程调用机制。VR/AR 作为网络性能的“终极测试者”，正在强有力地牵引着通信技术朝着更高性能、更智能化的方向不断演进。

4 结语

虚拟现实技术和计算机通信相互融合，并不是简单地把两种技术堆砌到一起，而是一种全新的、有沉浸感、互动性强且有构想空间的通信方式。从能彻底改变远程协作模式的虚拟会议空间，到可直观呈现复杂网络运行状况的可视化监控工具，再到能为验证未来通信基础设施提供安全环境的仿真环境，以及支持自然化人机交互界面所需的通信能力革新，虚拟现实正在全方位地渗透并重塑计算机通信的应用场景。往后的日子，随着算力不断提升、显示与交互设备变得更为轻便舒适、网络性能尤其是 6G 与空天地一体化网络的飞跃发展，两者融合的程度与范围会呈指数级扩大。不过，在技术快速发展的过程中，一定要十分重视网络信息安全、用户隐私保护以及沉浸式技术可能会引发的社会心理影响等伦理难题，迫切需要制定具有前瞻性的技术标准与伦理审查机制，推动虚拟现实赋能之下的计算机通信朝着更高效、更惠及大众、更安全、更负责任的方向不断发展。

[参考文献]

[1]杨雪平.虚拟现实技术在计算机通信中的应用研究[J].软件,2024,45(9):133-135.
[2]杨富平.虚拟现实技术用于计算机通信的分析及研究[J].电子技术与软件工程,2023(3):13-16.
[3]张丽.虚拟现实技术在计算机信息系统安全保护中的应用[J].信息与电脑(理论版),2024,36(3):183-185.
[4]吴晓冰.虚拟现实技术在计算机网络平台中的应用[J].电子技术,2024,53(7):408-409.

作者简介：汤宁（1989.12—），女，毕业院校：新疆大学，所学专业：计算机科学与技术，当前就职单位：新疆铁道职业技术学院，职务：教师，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于红外传感器的工地防失足安全系统

陈耀东 徐志浩 吴 江 张雪梅*
南通理工学院，江苏 南通 226001

[摘要]城市建设进程加快使高空作业坠落风险愈发严峻，而传统防护措施在实时监测、精准识别和主动预警方面存在明显局限，那么如何提升工地作业安全水平？有人提出一种融合红外传感网络和智能分析算法、采用非接触式感知技术且具备环境光干扰补偿机制的防失足安全系统，该系统能高效识别人员异常靠近临边区域并秒级响应，经测试，其可使坠落事故风险降低 40%，具有不错的实用性和推广价值且适用于多种复杂施工环境。

[关键词]红外传感；高空坠落预警；智慧工地；非接触感知；边缘计算
DOI：10.33142/sca.v8i7.17118 中图分类号：TU857 文献标识码：A

Construction Site Safety System for Preventing Slipping Based on Infrared Sensors

CHEN Yaodong, XU Zhihao, WU Jiang, ZHANG Xuemei*
Nantong Institute of Technology, Nantong, Jiangsu, 226001, China

Abstract: The accelerated process of urban construction has made the risk of falling during high-altitude operations increasingly severe, and traditional protective measures have obvious limitations in real-time monitoring, accurate identification, and proactive warning. So, how to improve the safety level of construction site operations? Someone has proposed an anti slip safety system that integrates infrared sensing networks and intelligent analysis algorithms, adopts non-contact sensing technology, and has an environmental light interference compensation mechanism. The system can efficiently identify personnel approaching the edge area abnormally and respond in seconds. After testing, it can reduce the risk of falling accidents by 40%, and has good practicality and promotion value, and is suitable for various complex construction environments.

Keywords: infrared sensing; high altitude fall warning; smart construction site; non-contact perception; edge computing

引言

城市建设规模不断扩大且高空作业场景越来越复杂，建筑施工领域坠落事故频发是重大安全隐患，统计数据表明高处坠落事故在建筑施工事故里占比将近一半，传统依靠物理防护和穿戴设备的方式难以全天候、全覆盖地实现智能防护，当前防护手段滞后性明显、响应慢且适应性不好，急需新技术构建主动式风险预警机制，借助红外传感、智能分析和协同预警等关键技术能识别高危行为并实现秒级干预，让工地安全管理更科学、更及时。

1 文献综述与技术基础

1.1 国外研究现状

近年来，建筑施工高空安全防护领域的技术革新在欧美及澳大利亚等国家不断被推进，其中智能传感网络和行为识别算法的集成应用尤其受关注，德国慕尼黑工业大学开发的“Safesite”系统运用分布式光纤传感技术，可实时感知建筑结构微变形和人员靠近高危区域的动态行为，通过边缘处理节点实现快速识别与本地报警，其误判率和传统红外系统相比降低 45%%，美国麻省理工学院把毫米波雷达与深度学习算法组合起来构建出人员定位系统，该系统在低可视度环境如烟雾、雨雾中能穿透探测，精准感知达到厘米级，有效拓展了高空监测在恶劣环境中的应用边界，澳大利亚悉尼大学提出的基于径向基函数（RBF）神经网络的行为识别模型，可捕捉作业人员姿态变化的时空特征，能提前 3～5s 预判高空临边作业风险，识别准确率超 92%，且该技术集成到轻量级智能安全帽里具备边缘计算能力，极大提升了响应效率且降低了通信延迟，欧盟“Horizon 2020”计划资助的“SAFEBUILD”项目构建了基于多智能体协同决策的感知系统，赋予各类传感节点自主学习与参数自适应能力，将系统整体误报率控制在 5%以内，代表着国际高空防护技术的前沿水平。国外研究总体上呈现技术集成、系统智能、感知多样的发展态势，从而给主动型施工安全系统的构建奠定了坚实理论与实践基础。

1.2 国内研究现状

我国建筑施工高空坠落防护领域发展步伐加快，“技术+政策”双轮驱动格局逐步形成。从工程实践来讲，2025 年中交第二航务工程局推出的“模块化抗风防坠高空作业平台”作业稳定性保障表现优异，其平台模块化结构设计、抗风优化支撑结构，能快速搭建于临边、悬挑作业各类区域，且通过智能传感网络实现多维数据采集、动态预警，已获国家专利（CN119041321B）。理论研究方面，国内学者基于 194 起事故调查报告文本挖掘成果对高空坠落事故原因机制进行系统量化分析，构建含“行为因素”“环境因素”“管理因素”“设备因素”这四大一级指标的坠落风险评价体系，结合 G1-熵权法给各指标赋权，用云模型定量划分风险等级，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

该模型在 30 个工程项目应用，借 MATLAB 平台生成风险标准云图并实时对比测量数据，经实践证明确实使事故率平均下降 38%。人工智能与物联网方面的研究也在逐步深入，像清华大学和中建科技合作开发的基于深度学习的作业行为监控系统具备行为识别、违规检测、远程报警功能，给智慧工地建设提供可落地的安全管控路径。

1.3 技术发展趋势

综合国内外发展的当下动态，高空作业安全技术呈现出防护模式从“被动响应”转变成“主动预警”、传感结构从“单点监测”变成“协同网络”、数据处理从“集中决策”变为“边缘协同”这三大演进趋势。防护模式方面，传统防护以物理隔离和人工巡视为主要手段，而新型系统靠智能感知、行为识别与风险预测，能对危险行为实时干预，国新科创 2025 年发布的地下工程智能监测系统（CN120274645A），其达成的“感知—判断—执行”闭环控制机制有效使隧道坍塌等突发风险降低 60%。传感结构方面，多节点布控的红外传感阵列、超声波定位、雷达感知等构建起动态感知网络，支持数据共享和融合判断的跨区域、跨平台，从而显著提高风险识别的空间分辨率与环境适应能力。数据处理方面，通过部署边缘计算节点可实现大部分判断逻辑下沉到现场终端，减少数据上传延迟、提升预警反应速度并减轻云端处理负担，并且传感网络正逐步融合 BIM、数字孪生与 5G 通信等新一代信息技术朝着高集成、高实时性和高可靠性的方向发展。未来施工安全系统可不只是监控工具了，而会成为有着“自学习、自优化、自适应”能力的智能决策平台，这对建筑业安全管理从经验驱动向数据驱动转型有重大推动意义。

2 系统架构与实现路径

2.1 系统结构设计

基于红外传感器的工地防失足安全系统整体架构被划分为感知层、分析层与响应层这三层，从而构建起从数据采集、智能识别到风险干预的完整技术闭环，如图 1 所示。



图 1 系统三层架构图

阵列式红外传感器在感知层处于核心地位，系统将其部署于建筑物临边、洞口、悬挑作业区等高坠风险区域以非接触方式感知人体红外辐射特征，集成环境光强传感器辅助识别不同光照条件下的目标活动轨迹，传感器布设遵循“重点区域密布、低风险区域稀疏”原则以使监测覆盖最大化、资源利用最优化；分析层的系统搭载边缘计算单元，其通过内嵌的行为分析模型实时处理原始数据，包含危险靠近区域识别、动作轨迹判断、停留时间分析等内容，智能区分正常作业行为与潜在失足风险以减少误报率；响应层系统将处理结果同步至云端控制平台，触发声光报警、个体震动提醒、视频联动回放等多级响应策略，且安全管理人员可通过移动端应用实时接收告警信息以实现远程监控与指令下发；整体系统模块化、分布式且鲁棒性高，适用于建筑工地多场景、多结构、多气候条件下的部署。

2.2 数据采集与分析机制

作业人员体表的红外辐射特征主要由作为核心感知单元的红外传感器识别且其位移状态与靠近行为也被该传感器实时检测，每个传感节点在系统里以非接触方式采集热源位置信息且感应响应时间不到 0.5s、探测精度能达到 10～20cm，系统要在复杂环境下提升稳定性就得采集环境光照强度和遮挡系数数据并用动态补偿算法把红外信号滤波和校正以有效消除阳光直射、阴影叠加等导致的虚警或者信号丢失，系统数据分析环节内嵌姿态识别和轨迹预测算法且用卷积神经网络（CNN）提取时序特征并与建筑边界图像匹配后就能识别作业人员是否有越界、逗留、快速靠近等高危行为，特别是临边 1.2m 范围内系统能动态设置高敏感区域且一察觉到异常移动轨迹就自动切换到高频采样模式以实现毫秒级的数据处理和反馈，分析模块采用轻量化边缘计算架构从而在本地完成大部分识别任务以避免所有数据上传云端带来的延迟问题进而保障系统的实时性和稳定性。多节点协同模式下，Mesh 网络可使多个传感器之间信息同步且有容错能力，个别节点失效也不会导致关键区域数据丢失。

2.3 云端平台与联动预警

云端平台处于系统响应层的核心位置，集成了数据管理、事件记录、报警推送以及平台联动等功能以支持施工安全风险的智能化管控。平台设置了三级预警机制，其中一级预警机制通过蓝牙提醒作业人员撤离危险区域，二级预警机制联动声光报警与摄像头自动录像且存档，三级预警机制生成风险报告并推送至管理层以确保响应闭环。系统支持图像还原、轨迹回放以及风险热力图展示来辅助风险分析与决策优化。平台能够无缝对接 BIM、施工日志、考勤与环境系统以实现信息互通与统一管理，具备开放接口以支持多种传感设备的接入，通过多角色权限控制保障数据安全。系统具备断网时切换至本地模式的能力，可达成极端环境下的持续运行以实现云-边-端的高效协同联动。

3 核心创新与技术优势

3.1 理论创新点

施工现场环境复杂多变，传统风险识别方法单靠一个数据源难以应对多干扰、多源误差的问题，本系统首次构建“环境—行为”双流风险识别框架，将人员行为轨迹和光照强度、红外遮挡等环境干扰因子作为双重输入信号并引入动态加权融合机制以实现感知信息多维交叉验证，框架在原始红外

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

数据上增加光照补偿机制、建立红外强度和可见光变化的非线性映射模型来实时修正环境因素造成的定位偏差从而大大提高红外探测的鲁棒性和稳定性，行为方面系统采用人体姿态和位移轨迹识别算法对靠近边界的潜在危险行为如“驻足”“反复靠近”“临边徘徊”等高危状态进行语义分类实现智能识别，双流融合这一理论创新有效突破现有单流识别在遮挡、逆光、复杂反射环境下容易失效的技术瓶颈为提升施工现场智能预警系统的场景适应性提供坚实理论支撑。

3.2 技术突破点

在具体技术实现上，传统防护依赖人工巡检和事后追责的模式被系统打破，多种关键技术协同构建起具备全天候、全流程、全空间覆盖能力的高空坠落预警体系。核心技术在三方面有所突破，一是实现 7×24h 不间断非接触式人员感知，能很好适应夜间无光环境、强风扰动场景以及传统视觉监控难以覆盖的封闭施工空间区域；二是达成高危行为即时识别和快速响应机制，通过红外阵列和边缘计算终端协同处理，人员一旦被识别靠近临边 1.2m 高危区域，系统 0.5s 内就会发出多级预警，从而大大缩短风险识别到干预响应的时间延迟；三是分布式智能算法和场景自适应模块可自动调节系统感知参数，根据施工环境变化动态调整检测灵敏度和警戒阈值，进而极大降低误报和漏报率。实际部署测试时，极端照明、强反射、人员交叉穿行场景下系统依然能保持高稳定性和准确性，显著提升建筑施工现场的技术防护水平。

3.3 系统扩展能力

系统的本地感知与响应能力很强大且支持多平台、多系统、多协议协同运行，开放性与扩展性良好。能通过标准化 API 接口与 BIM 系统深度融合以基于三维构件模型达成监测布控与风险可视化，从而对构件级安全管理起到推动作用。可无缝对接视频监控、视觉相机、人员定位与门禁系统以构建跨设备的综合防护网络。与数字孪生平台配合能在虚拟空间重建作业行为与风险演化过程，辅助仿真推演与应急预案制定。支持多项目、多楼层并行接入统一平台，使集团化管理更方便。系统算法有“场景自学习”能力，能根据历史数据动态优化识别策略以快速适配不同施工环境，从而高效运行。如图 2 所示。



图 2 红外传感+穿戴设备协同感知图

4 应用前景与推广价值

4.1 施工场景适配性强

建筑工地作业场景复杂多样，设计之初系统就充分考虑到这点，因而适应能力很强，能在脚手架搭建区、楼体临边区域、垂直吊装点、洞口作业区、悬挑平台、屋面作业带等高危作业区域广泛应用。传统监控摄像头在临边或封闭狭小空间存在视野遮挡、识别延迟问题，而红外阵列感知系统靠非接触式热感探测和光照补偿机制能克服这些局限，精准感知、主动识别危险行为。系统结构为模块化，布设灵活，施工现场用有线或者无线方式快速连接电源和边缘计算节点即可，部署周期短，对施工进度影响小，且具备防尘、防水、防撞等工业级耐候性能，可长期运行。说到维护，集中远程管理平台能自动检测系统运行状态、预警故障，从而大幅降低运维人员数量和维护成本，特别适合中小型建筑企业快速部署和使用。

4.2 安全管理转型升级

智慧工地建设逐步推进，建筑施工安全管理模式正在加速从依赖经验和人工巡检朝着依托数据驱动的智能管控体系转型，系统构建的“感知—识别—响应—反馈”闭环机制突破了传统巡检机制中盲区覆盖不足、检查频次低、人员主观判断等瓶颈，能够全天候实时掌控高空失足风险，它支持与“双控机制”（风险分级管控和隐患排查治理）无缝融合，施工时可自动识别高风险作业行为并根据项目进度生成动态风险地图以帮助安全管理人员实施差异化管控策略，而且报警事件、行为记录与响应数据都能实时上传到平台数据库形成可追溯的数字档案，为安全评估、事故调查和绩效考核提供真实可靠的数据支撑，推动施工安全管理朝着标准化、数字化、智能化迈进。

4.3 社会与经济效益显著

建筑行业会因该系统的推广收获显著的社会与经济综合效益，一方面它对保障人员生命安全有直接作用，模型测算显示全国大规模部署这种系统每年预计能避免 300 起高处坠落致命事故，施工领域人员伤亡率会显著降低，这体现“科技兴安”的核心价值，另一方面部分人工巡检工作可被系统有效替代，人力成本和安全投入能节约 30%，管理风险因误判与疏漏减少而降低，并且系统积累的大量结构化数据能让保险公司开展施工风险等级评估和个性化保费定价，建筑工地保险服务会向精准化、数据化转型，助力“科技+保险”的协同防控新机制构建，在上下游产业链也会带动传感器制造、边缘计算设备、AI 算法开发和智慧建筑平台等多个行业的联动发展，释放建筑安全领域的数字化红利。

5 结语

工地防失足安全系统以红外传感器为基础构建起一个集非接触式感知、智能分析与多级响应于一身的闭环预警机制，突破了传统防护方式在实时性与适应性上的瓶颈，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

运用“环境-行为”双流识别模型和边缘计算技术有效达成高空坠落风险的精准识别与快速干预，显著提高施工现场安全防护能力，其场景适配性广泛、可扩展性强、推广前景良好，未来将进一步融合 AI 与多源数据助力建筑安全智能化升级。

项目来源：2025 国家级大学生创新创业项目 202512056002Z；校级课堂教学改革项目 2023JKT031。

[参考文献]

[1]龙泽泓.建筑业高处坠落事故风险分析与防控措施研究[D].广东:华南理工大学,2019.
[2]纪晓雨,王利红.基于 BIM 的高层建筑施工安全预警研究与应用[J].安徽建筑,2021,28(4):71-72.
[3]杨雄.基于机器视觉的施工现场高空坠物监测方法研究[D].陕西:西安建筑科技大学,2024.
[4]潘文雅,陈宏同,周良绩.高空作业防坠器防坠制动状态监测与预警方法[J].机械制造与自动化,2024,53(6):185-189.
[5]李娟,陈义,郭健.建筑施工高空作业智能安全防护技术研究[J].新城建科技,2025,34(5):13-15.

作者简介：陈耀东（2004—），男，江苏盐城人，学生。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

房建工程中混凝土施工质量控制措施分析

王 瑞
合肥市包河建设发展投资有限公司，安徽 合肥 230000

[摘要]在房建工程里，混凝土施工质量至关重要，其与建筑结构的耐久性和安全性直接相关。随着建筑技术的持续发展，对混凝土施工质量的控制要求越来越高。混凝土施工过程存在关键环节，文中围绕这些环节剖析影响施工质量的主要因素并给出不少有效控制措施，内容包括原材料的选用、配合比设计、浇筑和振捣的控制、养护管理以及现场监督等方面，旨在给实际工程提供操作性强的质量保障方法，系统梳理混凝土施工流程中的质量控制点有助于提升整体工程质量水平并推动建筑行业高质量发展。

[关键词]混凝土施工；质量控制；房建工程；现场管理；工艺优化
DOI：10.33142/sca.v8i7.17147 中图分类号：TU7 文献标识码：A

Analysis of Quality Control Measures for Concrete Construction in Building Engineering

WANG Rui
Hefei Baohe Construction and Development Investment Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230000, China

Abstract: In building construction, the quality of concrete construction is crucial, as it is directly related to the durability and safety of the building structure. With the continuous development of construction technology, the requirements for controlling the quality of concrete construction are becoming increasingly high. There are key links in the concrete construction process, and this article analyzes the main factors that affect construction quality around these links and provides many effective control measures, including the selection of raw materials, mix design, control of pouring and vibration, maintenance management, and on-site supervision. The aim is to provide practical engineering with highly operational quality assurance methods. Systematically sorting out the quality control points in the concrete construction process can help improve the overall engineering quality level and promote the high-quality development of the construction industry.

Keywords: concrete construction; quality control; building construction projects; on-site management; process optimization

引言

在房建工程里，主体构造大部分是混凝土结构，其施工质量直接影响建筑物整体性能和使用寿命，但实际施工时，由于人员素质、材料差异、技术控制、管理水平等因素，混凝土质量问题常出现，要达成工程质量目标就得从施工全过程着手系统、标准地控制各环节质量，本文联系工程实际，分析混凝土施工中的共性问题并提出针对性控制对策，以保障工程质量、提高施工效率和降低质量风险。

1 原材料控制与配合比优化

1.1 水泥、骨料与外加剂质量要求

混凝土性能在很大程度上由其组成材料质量决定，混凝土结构强度和耐久性得以确保的重要前提是优质原材料。混凝土主要胶结材料水泥，其强度等级、安定性、细度和凝结时间等关键指标严格符合国家现行标准很有必要，选水泥优先考虑正规厂家生产、有质量保证体系且附带出厂合格证和检测报告的产品，从而避免水泥质量波动造成施工隐患。骨料分粗、细两种，是混凝土骨架结构组成部分，其质量对混凝土工作性和后期强度有直接影响，粗骨料得选坚固、洁净、级配合理的碎石，不能使用含软质颗粒或杂质的材料，细骨料要求颗粒级配均匀，含泥量 1%以内，以保证浆体和骨料黏结良好。外加剂合理使用能显著改善混凝土性能，减水剂能提高流动性和强度，缓凝剂适合高温环境缓凝控制，防冻剂能保障冬季施工质量，所有外加剂使用前要做相容性测试，保证不和水泥等其他组分发生不良化学反应。原材料质量控制要从源头加强，建立严格的进场验收和检测制度，绝不能使用劣质或来源不明材料，全面保障混凝土施工质量。

1.2 配合比设计的合理性与实验验证

保障施工质量的关键一环是混凝土配合比设计，要在工作性能、强度等级、耐久性和经济性之间达成平衡，合理的配合比既能提高混凝土施工性能，像流动性、粘聚性和可泵性都不错，又能让成型后的结构有稳定的强度和耐久能力。设计之初，得充分考虑项目结构形式、荷载特性、施工工艺要求和环境暴露等级，综合设定水灰比、水泥用量、骨料粒径与级配、外加剂掺量这些关键参数，拿常用的 C30 混凝土来说，水灰比可设在 0.45～0.55 之间，水泥用量控制在 280～320kg/m^3，配上合适级配的骨料和高效减水剂，拌合物性能就能提升。设计人员要在试验室做多组试配，通过立方体抗压强度试验（7d 强度达 22MPa、28d 强度达 32MPa）、坍落度测试（目标值 150±20mm）等方式，全面评估混凝土拌合物性能稳定性，由于试验验

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

证对控制强度波动、减少施工偏差有帮助，也给现场混凝土浇筑、泵送和后期养护提供科学依据，还能为材料采购和成本控制提供可靠依据。混凝土施工质量要想可控、可预期的基础保障是有标准化的配合比设计流程。

1.3 材料进场验收与检测制度

实现混凝土质量可控，材料进场后的验收环节是首要防线，各类材料需严格按施工图纸和规范要求核对，水泥要检查品种、强度等级、出厂日期和合格证书且取样复检，避免使用过期或不合格产品，骨料进场要检测粒径分布、含泥量、有害杂质含量等以满足施工要求，外加剂进场要复核包装标识、储存条件和生产批次且现场抽测性能，检测手段上要用标准试验方法和仪器设备且将检测数据详细记录归档，项目部要设立专项验收流程，由质量管理人员牵头，监督材料取样、送检、复核的全过程以保证验收结果真实可靠，检测不合格的材料要马上清退，绝不能进入施工现场使用，完善进场验收和检测制度就能从源头遏制质量隐患，保障混凝土施工的稳定性和一致性。

2 施工过程中的工艺控制措施

2.1 模板安装质量对成型影响

混凝土成型靠模板这一临时结构，其安装质量直接决定混凝土构件的外形尺寸、平整度和边角质量，模板一旦错位、变形或者支撑不牢，浇筑后的混凝土极易产生蜂窝麻面、胀模变形、垂直度偏差等问题，施工时要严格依据图纸尺寸和模板设计方案加工安装以保证模板的稳定性与密封性，钢模板要表面光滑、无锈蚀，木模板要平整、干燥、变形小且拼缝要做防漏浆处理，支模之前要做好基层清理和放线定位工作，支模时按标准验收垂直度与平整度误差（像墙模垂直度控制在 3mm 以内）且支撑体系要设置足够，梁板交接处、角部与孔洞周围更要加强支撑，混凝土浇筑之前还要预检验收，只有确认模板结构牢固且无渗漏隐患才可以投入使用，这样从源头上确保混凝土构件的成型质量和结构稳定。

2.2 混凝土运输与泵送技术要求

混凝土在拌合站拌制好后，得在规定时间内快速运到施工现场，不然发生初凝就会影响浇筑质量，按《混凝土结构工程施工规范》，商品混凝土从拌合到入模总时长不能超 90min，夏季高温时还得适当缩短时长保证性能稳定。混凝土运输常用搅拌运输车或者吊斗，搅拌车运输途中得不停转搅拌筒，让混合物均匀且可泵，高层建筑或者大体积结构工程，泵送混凝土施工效率更高，泵送设备要定期检修保养，泵管内壁得光滑、密封要好，泵管布置也得优化，减少弯管和接头数量，降低阻力防止离析。泵送作业要连续稳定，中断操作可不行，不然堵管、离析或者混凝土质量下降就来了，楼层高度和水平输送距离不同，泵送压力就得合理调整，压力太大导致胀模或者爆管这种安全事故可不能发生，泵送开始前要湿润预泵，结束时得用砂浆封管，这样整个输送过程质量才能受控且混凝土性能才稳定。

2.3 浇筑与振捣工艺控制要点

在混凝土成型过程里，浇筑与振捣是核心工序，需科学合理安排分层、分段、分区作业顺序以保证浇筑连续、防止冷缝出现，一般每层浇筑厚度控制在 30cm 上下，超过 50cm 则需分层浇筑，浇筑时要防止坍落度损失、离析、泌水等情况，使用吊斗、泵管、斜槽等定点入模设备避免自由落差超 2m 使骨料分层，墙体、柱体等垂直结构要自下而上匀速浇筑，梁板结构从一端向另一端推进以防止空洞和夹渣；振捣主要采用机械振捣如插入式振捣器，振捣时间一般控制在 15～30s（根据混凝土表面泛浆程度判断即可），振捣棒插点间距 50cm 左右且逐个点移动，不能漏振和过振，在柱梁交接、钢筋密集处要重点振捣以保证混凝土密实、无蜂窝麻面，浇筑完需进行表面找平处理为后续养护和结构强度形成创造条件，科学控制浇筑与振捣可提高构件强度并有效降低质量返工和结构缺陷率。

3 养护阶段的质量保障措施

3.1 龟裂与干缩的原因及预防方法

混凝土硬化时容易龟裂和干缩，这对结构耐久性与外观质量影响严重，龟裂主因有温度梯度改变、水分蒸发太快、收缩变形不均等，干缩大多是混凝土内部水分蒸发使体积变小所致，在气温高、湿度低、风速大的环境里更显著。研究统计显示，新拌混凝土前 72h 水分损失速度最快，养护不好的话，表面早期裂缝出现率超 30%。要防止这些质量问题，得把水灰比控制好，不能过小，并且适量添加膨胀剂或者纤维增强材料，浇筑后马上用湿草袋、保湿布或者塑料薄膜覆盖，防止阳光直晒和风吹，夜间施工或者在结构表面喷洒养护剂也行，还有，设置合理的后浇带和变形缝，避免结构约束过强而开裂，这对防治干缩裂缝很重要，科学预控且工艺合理衔接，能提升混凝土抗裂性能，减少后期修补成本。

3.2 常规养护方式与特殊环境养护对比

大多数常温常湿环境下的常规养护方式主要有覆盖保湿、洒水养护、涂刷养护剂等，其中洒水养护每天得有 3 次，覆盖保湿起码得持续 7d，强度等级高些的混凝土覆盖保湿要延长到 14d，楼板、路面这样的平面构件适合洒水养护，立面结构适合用喷雾器定时喷水以便让水分均匀渗透，特殊气候条件像高温或者寒冷的时候要有针对性的养护办法，夏季高温养护要结合遮阳、防风设施且施工时间控制在早晚，冬季施工得热养护，像盖保温棉被、用电加热法或者蒸汽养护法以保证温度不低于 5℃使水化反应正常进行，干燥环境里可喷养护液在表面弄个保护膜减少水分蒸发，地下室、隧道这些潮湿或者封闭的地方要注意排水通风防止过度湿润让表面碳化变慢，根据环境不同制定养护方案就能明显提高混凝土结构的密实性和使用寿命。

3.3 养护期内的检查记录与数据采集

混凝土养护阶段，质量管理不应局限于工艺执行，更要重视数据化管理和全过程记录，得先建养护台账，记录

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

起止时间、养护方式、施工人员、环境参数等关键信息，养护时每天要有专人巡检并拍照存档，内容包含湿润程度、覆盖情况、裂缝观察等，温湿度计要放在施工区域有代表性的地方，每天定时读取数据以保证环境条件合乎规范，大体积混凝土结构最好埋设温度传感器，用无线采集系统实时监测内部温度变化，从而判断温控效果和裂缝风险，强度评估可依据 7d、28d 龄期标准试块试压数据，与设计要求对比来评估养护效果，若有早期开裂、掉边掉角之类的异常情况，必须赶紧分析原因并制定补救措施，细化检查流程和数据采集制度，既能提高质量控制精度，又能为后期质量评估和技术复盘提供有力的支撑。

4 施工管理与质量监控机制

4.1 施工人员技术培训与标准化作业

确保混凝土质量控制措施得以落实的前提是施工人员的技术水平，当前房建工程项目人员流动性大且经验参差不齐的情况普遍存在，容易造成施工操作不规范和质量意识淡薄等现象，开工前施工单位要组织集中技术培训，培训内容包括混凝土浇筑、振捣、养护等关键环节的操作标准和质量控制要点，且要将典型案例、视频演示和现场实操结合起来以增强岗位技能和质量意识，项目推进期间要持续开展“班前教育”，交底当天工序要点和安全注意事项，实现工艺规范执行的关键是推行标准化作业制度，建议统一操作流程、规范工具配置、细化质量检验流程，像模板支设、钢筋绑扎、混凝土入模等环节都要按照标准图集和作业指导书执行，通过建立岗位责任制和操作规范手册明确操作权限和质量责任，避免操作随意性带来的质量缺陷以达到人员素质和施工质量双提升的目的。

4.2 现场质量检查制度与整改机制

全过程质量控制中，施工现场质量检查是重要保障环节，要建立“日常巡检+专项检查+节点验收”这种三位一体的检查制度以确保各工序受控、各节点有据。施工现场质量管理人员每日巡检时要重点关注混凝土配合比执行情况、浇筑质量、振捣密实度、养护执行情况等关键指标，对于基础、柱梁板、楼梯这些节点部位，浇筑前、中、后期都要安排专项检查且填写留档《施工质量检查表》。发现问题后要立马下达书面整改通知并明确整改内容、责任人、完成时限，整改完由原检查人组织复检以形成闭环，还要建立质量问题统计与分析机制，定期开质量分析会总结易发问题、高发部位并提出改进建议用来优化后续施工安排，严格执行质量检查制度和整改机制有效就能大幅提升工程质量的一致性和稳定性并减少返工、质量投诉。

4.3 第三方检测与数据化监测手段的应用

现代房建工程里提升混凝土质量控制的客观性和准确性很重要，引入第三方检测和智能化数据监测手段成了重要趋势，第三方检测机构技术能力独立又公正，在原材料进场检验、混凝土强度评估、钢筋保护层厚度检测等方面很权威，能补上施工单位自检的漏洞，要和有资质的检测机构签检测服务协议，明确检测批次、项目内容、报告格式并按规定给检测数据备案，智能化数据监测技术能实时感知施工过程并预警，用物联网感应器监测混凝土内部温度、湿度、应力变化，再通过数据平台实时上传、分析和预警，能有效防止早期裂缝、强度不达标的问题，有些先进项目引入 BIM 系统结合质量监控，三维模型和施工进度、质量信息同步更新，提高了管理效率和可视化程度，科技给质量监管赋能，混凝土施工就能从经验型管理转变成数据驱动型管理，使质量控制智能化、精准化。

5 结语

在房建工程里，结构安全与使用性能的保障的核心环节是混凝土施工质量控制，通过强化原材料管理、优化配合比设计、严格把控施工工艺、规范养护流程、建立完善质量监控体系，就能全面提升混凝土工程的成型质量与耐久性，并且施工管理走向制度化、作业趋于标准化、检测手段变得智能化能有力支撑混凝土质量控制，往后要持续推进技术培训与信息化手段融合使用以推动混凝土施工质量管理朝着精细化、数字化迈进，从而为房建工程高质量建设目标的达成提供坚实保障。

[参考文献]

[1]任泰城.房建土建工程中的高支模施工技术探究[J].建材发展导向,2025,23(11):64-66.
[2]何昕.浅谈住宅工程施工管理及质控措施[J].居舍,2025,11(16):138-141.
[3]闫亚飞.房建施工项目中业主方质量管理与技术创新分析[J].中华建设,2025,12(6):39-41.
[4]岳庭.房建里爬模施工技术在高层建筑中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,11(15):124-126.
[5]刘卫涛.房建项目施工质量监理方法研究[J].建设监理,2025,12(5):35-38.

作者简介：王瑞（1996.2—），毕业院校：安徽建筑大学，所学专业：建筑与土木工程，当前就职单位：合肥市包河建设发展投资有限公司，职务：工程部职员。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑工程施工中深基坑支护施工技术管理探讨

王作柱
北京建工集团有限责任公司，北京 102607

[摘要]随着城市建设的不断加快，深基坑支护作为大型建筑施工的一项关键的施工技术，需要合理的施工工艺和管理策略来确保工程的安全和质量。本论文结合深基坑支护施工的技术特点，系统分析其支护技术类型及施工管理的现状与存在问题提出优化管理策略，以期为相关工程施工提供理论指导和实践参考。

[关键词]建筑工程；深基坑支护；施工技术；工程管理
DOI：10.33142/sca.v8i7.17129　　中图分类号：TU753　　文献标识码：A

Discussion on Technical Management of Deep Foundation Pit Support Construction in Construction Engineering

WANG Zuozhu
Beijing Construction Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 102607, China

Abstract: With the continuous acceleration of urban construction, deep foundation pit support, as a key construction technology in large-scale building construction, requires reasonable construction technology and management strategies to ensure the safety and quality of the project. This paper combines the technical characteristics of deep foundation pit support construction, systematically analyzes the types of support technology and the current situation and existing problems of construction management, and proposes optimization management strategies, in order to provide theoretical guidance and practical reference for related engineering construction.

Keywords: construction engineering; deep foundation pit support; construction technology; engineering management

引言

在现代城市化进程当中，随着建筑规模变得越来越大以及地下空间利用程度不断加深，深基坑工程在建筑施工中所占的地位有了明显提高。深基坑支护属于能够保障基坑稳定以及施工安全的关键技术手段，其施工技术较为复杂，管理起来也存在较大难度，还涉及土壤力学、结构工程、施工工艺还有监测技术等诸多学科领域。虽然技术手段一直在不断发展进步，但在实际施工过程里面，依旧存在着施工风险比较高、技术管理不够到位等一系列问题。本文把深基坑支护施工技术当作核心内容，围绕着施工技术的特点、类型、管理现状以及存在的问题展开系统分析，给出科学合理的管理优化策略，目的是要提升深基坑施工的整体质量以及安全水平，推动建筑工程行业实现可持续发展。

1 深基坑支护施工技术特点

1.1 复杂性分析

深基坑支护施工技术的复杂性在很大程度上是由其所在的自然环境以及施工条件所呈现出的多变性决定的。地质结构本身是复杂且多样的，土层的组成情况、地下水位的变化状况以及周围建筑物的实际情况，这些因素都促使基坑支护设计与施工得依据具体情形来开展工作，要综合运用多种技术手段。并且，在施工进程当中，既要考虑到基坑的稳定性，又要顾及施工的进度，还要留意安全风险方面的情况，这就要求技术方案既要科学且合理，还得具备相当强的适应能力。深基坑支护施工会涉及多种专业技术，像结构设计、土力学分析以及施工工艺控制等等，所以施工人员必须要拥有较为扎实的专业知识，并且要有丰富的现场实践经验，只有这样才能够有效地去应对复杂环境所带来的各种挑战。从这一点来看，深基坑支护施工技术的复杂性对施工管理提出了更高的标准，必须要借助科学的技术管理方式来保障施工能够顺利地完成。

1.2 支护技术多样性

深基坑支护技术有着多种多样的类型，形成了多样化的形式，其中涵盖了悬臂式支护、混合式支护、重力式支护，利用深基坑支护技术的过程中，要结合深基坑支护技术的作用和具体的应用方法，进一步利用支挡基坑加固基坑等方式，提高建筑工程的施工质量，优化建筑工程施工的安全系数，保证施工的质量目标、安全目标同时落实到位。在进行具体的支护施工过程中，针对多种支护技术形式的选择和应用，要确保技术应用的可行性效果，充分地将技术的价值凸显出来，支护技术形式的多样性特征为深基坑支护施工的质量提供了依据和保障。

1.3 施工监测与数据精度要求

在深基坑支护施工期间，精准的施工监测乃是保证基坑安全以及施工质量的关键举措。其监测内容涵盖了基坑边坡位移、支护结构变形、地下水位还有周边环境影响等

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

诸多方面，而这些数据的实时获取以及准确剖析对于及时察觉潜在风险、防止事故发生有着极为重要的作用。因为监测数据的采集常常需要用到高精度的仪器设备，像是全站仪、倾斜仪、地下水监测仪等等，所以监测精度会直接对管理决策的科学性以及有效性产生影响。故此，施工现场务必要构建起完备的监测体系，严格依照数据采集标准来执行，以此确保监测结果的准确且可靠。与此监测数据得借助专业软件展开系统的分析与预警，达成智能化管理，从而保障深基坑施工过程能够安全稳定地运行。

2 深基坑支护施工技术类型

2.1 土层锚杆技术

土层锚杆技术乃是借助锚杆把土体同支护结构予以有效关联起来的一种施工手段，其可提升基坑的整体稳定性，此技术在多种土质状况下皆适用，特别是在松散土层当中，其加固成效颇为不错。土层锚杆是经由钻孔的方式把钢筋锚杆植入进去，而后注入锚固剂进而形成强有力的锚固体，锚杆的头部要和支护结构相连接，如此便能有效地抵御土体的侧压力以及水压力。该技术在施工方面较为灵活，易于和其他支护形式联合起来使用，由此提高了支护结构的安全系数以及耐久性。在实际的应用进程里，对锚杆长度、间距以及角度展开合理的设

2.2 重力式支护技术

重力式支护技术是凭借支护结构本身所具有的重量来抵御土压力的，一般会选用混凝土或者石料来进行构筑。这项技术其结构是比较简单的，而且施工工艺已经相当成熟了，在土质相对较为坚实并且基坑深度不算太深的情况下适用。重力式支护有着不错的稳定性和耐久性，不过它的结构体积偏大，对于施工空间以及材料消耗方面的要求都比较高。伴随着技术不断取得进展，把钢筋混凝土结构和重力式支护相结合起来的方式，可有效提升抗变形的能力，并且通过优化设计还能减少材料的使用量，进而降低施工成本。在施工期间，务必要保证基础的承载力足够充足，要防止出现沉降以及倾斜的情况，施工管理方面需要着重关注结构的质量控制以及施工环境所带来的影响。

2.3 土钉墙支护技术

土钉墙支护技术属于一种借助把钢筋土钉植入到土体当中，进而形成土体同土钉构成的整体受力体系，以此达成对边坡进行加固以及支护目的的技术方式。此方法在施工方面有着速度较快的特点，并且适应能力也很强，尤其适宜应用于软土以及松散土层这类情况。土钉墙能够在很大程度上对土体出现的位移以及变形起到有效的抑制作用，而且在施工的时候所造成的扰动相对较小，对于周边环境所产生的影响也比较轻微。在技术具体实施的过程当中，土钉所设计的长度、锚固的质量状况以及覆盖喷射混凝土的厚度这些因素，都属于能够确保支护效果得以实现的关键要素。在施工管理环节里，需要强化针对土钉的质量检验工作，同时也需加强对喷射混凝土均匀性的把控，从而确保整个结构能够具备整体的稳定性和安全性。

2.4 混凝土灌注桩技术

混凝土灌注桩技术是依靠钻孔操作，之后把混凝土灌注入土层从而形成桩体，以此来支撑基坑支护结构或者承载上部结构的荷载。此项技术有着承载力相对较高、施工较为灵活以及适用范围颇为广泛的特性，其在软弱地基以及深基坑工程当中有着广泛的应用。灌注桩施工的时候，需要对钻孔深度、桩径尺寸以及混凝土的浇筑质量加以严格把控，以防桩体出现断桩情况或者存在质量方面的缺陷。合理的施工组织与技术管理可有效规避桩体缺陷，确保基坑的整体稳定性得到保障。灌注桩一般会和其他支护技术联合起来使用，借此来提升基坑支护系统的整体性能表现。

2.5 地下连续墙技术

地下连续墙技术乃是运用专门设备于基坑周边接连不断地开展施工操作，由此所形成的混凝土墙体可达成对基坑边界的有力支护效果，同时具备良好的防水功能。此技术有着诸多优点，比如刚度颇为可观、密实性表现优异，并且在施工进程当中对周围环境的扰动程度相对较小，特别契合深基坑以及复杂地质环境方面的相关需求。地下连续墙的施工工艺涵盖槽体开挖环节、钢筋笼安装步骤以及混凝土浇筑工作，在整个施工流程里，其精度把控情况以及工艺执行状况会直接对支护质量产生重要影响。在管理工作的开展过程当中，务必要把设备的运行实际状态、施工现场的具体环境状况以及混凝土的质量情况作为重点来予以关注，通过这样细致周到的管理举措，有效防范墙体出现诸如裂缝、渗漏之类的各类问题，进而切实保障基坑能够处于安全且稳定的良好状态。伴随着技术的不断发展演进，地下连续墙若能与自动化监测手段相互结合起来，那么便能够达成高效且精准的施工管理目标。

3 深基坑支护施工技术管理现状及问题分析

3.1 管理现状

当前，深基坑支护施工技术管理正逐步从传统依靠经验的管理模式朝着更为科学化以及规范化的方向去发展。多数施工单位已然构建起了与之相应的技术管理体系，同时也制定了相关的安全管理制度，并且还配备了专业的技术人员以及专门的监测设备，在施工进程当中，对于施工方案的设计以及施工质量的把控都给予了高度重视。技术标准以及规范在实际当中的推广应用，使得管理工作的系统性以及规范性都得到了进一步的强化。除此之外，信息化技术在施工监测以及管理方面的应用也日益普遍起来，借助实时的数据采集以及智能预警系统，施工风险能够在一定程度上得以控制。不过就整体而言，其管理水平还是存在着一定的差距，尤其是在面对复杂地质条件以及特殊施工环境的情况之下，技术管理所采用的手段以及具备的能力还没有能够充分满足高难度施工方面的需求。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.2 主要问题分析

虽然管理体系在逐步变得完善起来，然而深基坑支护施工技术管理依旧面临着不少的挑战。在施工的过程当中，地质勘察往往不够充分，或者信息传递出现不顺畅的情况，这就使得技术方案的调整总是滞后于实际需求，进而对支护效果产生了影响。部分施工单位在监测数据采集方面做得并不及时，又或者是数据的精度不高，如此一来便很难及时察觉到潜在的风险所在。除此之外，技术人员的专业水平存在着很大的差异，培训以及技术交底工作也做得不够到位，这也就致使施工工艺在执行的时候无法完全落实到位。而且，安全管理体系还存在着不完善之处，施工现场的安全隐患频频发生，事故风险处于比较高的状态。环境保护方面的意识较为薄弱，基坑施工给周边环境以及地下水带来的影响也没有得到有效的控制，这对施工的绿色发展起到了一定的制约作用。所以说，提升深基坑施工技术管理的科学性与系统性已经是刻不容缓的事情了。

4 深基坑支护施工技术管理优化策略

4.1 加强勘察与监测管理

为了提高深基坑支护施工的安全性以及科学性，需要进一步加大地质勘察的力度，提升其精度，要保证施工方案是依据较为完备且精准的地质资料来制定的。在施工进程当中，应当搭建起完善的监测体系，借助高精度的仪器设备来实时获取基坑边坡位移、支护结构变形还有地下水位等这些关键方面的数据。监测所得到的数据要及时上传到集中管理的平台，与智能分析软件相互配合，开展趋势分析以及风险预警工作，以此确保施工出现的异常情况可以被迅速地识别出来并且得到有效处置[1]。管理层需要定期去组织开展技术评审活动，依据勘察以及监测的结果来对施工方案做出相应的调整，达成动态管理的目的。通过加强对勘察以及监测的管理工作，能够在很大程度上降低施工风险，提升施工安全保障的水平。

4.2 质量控制提升措施

施工质量在深基坑支护工程的安全方面占据着极为重要的地位，所以务必要构建起一套严格的质量控制体系。得着重强化针对施工材料的进场检验以及验收环节，要切实保证像钢筋、混凝土还有锚杆这类关键材料全都能够契合设计所规定的标准[2]。在施工开展的过程中要施行全流程的质量监管举措，专门设置专职的质量监督员，让他们针对施工工艺、设备的运行状况以及施工环境等方面展开实时的检查工作。与此还需运用先进的施工技术以及遵循工艺标准，以此来确保各项施工细节都能够满足规范所提出的要求。除此之外，还应当进一步强化技术方面的培训工作，借此提升施工人员的操作技能水平以及质量方面的意识。借助推行信息化的质量管理系统，达成质量数据的实时采集以及分析的目的，从而推动质量管理朝着更加透明化以及规范化方向发展，进而确保深基坑支护施工质量能够得以持续且稳定地提升。

4.3 安全风险管理

安全风险管理在深基坑施工管理里属于核心内容范畴。一开始，施工单位需要去完善自身的安全管理制度，要把各个岗位的职责给明确清楚，并且切实落实好安全生产责任制。要全面开展具有系统性的安全风险辨识以及评估相关工作，同时还要制定出具备针对性的应急预案。在施工现场，务必要严格依照安全操作规程来执行各项事宜，而且要配备上必要的安全防护设施。得不断强化针对安全方面的培训以及演练活动，以此来提升全体人员的安全意识，增强他们在应急情况下的处置能力[3]。要结合现代信息技术的应用，运用安全监测以及预警系统，针对基坑变形的情况、设备的运行状况还有施工环境等展开实时的监控，以便能够及时察觉到隐患并且将其消除掉。借助安全风险管理实现全方位的覆盖，从而尽可能地将事故发生概率降得很低，以此来确保施工人员的生命安全得到保障，并且让工程可以顺利推进下去。

5 结语

深基坑支护施工属于建筑工程里极为关键并且充满高风险的施工阶段，其技术管理的水平状况同工程所具备的安全性以及质量紧密关联。本文就深基坑支护施工所具有的技术特点以及类型展开探讨，对当下技术管理的实际现状以及存在的一系列问题进行了细致剖析，着重给出了在加强勘察监测、提高质量控制水平、强化安全风险管理以及注重环境保护等方面优化策略方面的相关建议。唯有持续对技术管理体系加以完善，促使施工技术以及管理水平得以提升，才能够切实有效地去应对那种复杂且多变的施工环境，进而保障深基坑工程能够实现安全且稳定的良好状态。在未来的发展进程中，随着智能化以及信息化技术得到更为广泛的运用，深基坑支护施工技术管理将会朝着更加高效、更为精准以及更显绿色的方向不断迈进。

[参考文献]

[1]范玉红.建筑工程施工中深基坑支护施工技术管理探讨[J].居业,2025(1):171-173.

[2]纪晓湃.建筑工程施工中深基坑支护施工技术初探[J].建材发展导向,2025,23(3):112-114.

[3]杨杰.建筑工程施工中深基坑支护的施工技术应用[J].四川建材,2024,50(5):117-119.

作者简介：王作柱（1983.6—），毕业院校：中国石油大学（北京），所学专业：土木工程，当前就职单位：北京昌平某项目（保密工程），职务：质量总监，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

公路路基工程换填法施工技术的应用探讨

方 勇
四川路桥盛通建筑工程有限公司，四川 西昌 615000

[摘要]在公路路基工程里，软土、不均匀沉降和地基承载力不足这些问题的解决常广泛用到换填法施工技术，通过把不稳定土层换成稳定的填充材料，换填法有效提高了地基承载力、减少了路基沉降，保障了路面平整度和结构稳定性。施工时土方开挖、换填材料的选择、压实施工都是关键环节，换填法施工周期短、经济效益好、适用范围广，在复杂地质条件下优势明显，若优化材料选用和施工工艺，就能进一步提高施工质量和环保效益，促进公路工程可持续发展，不过换填法对材料质量要求高，施工过程需严格管理，这些问题仍然存在，迫切需要进一步技术改进和创新。

[关键词]换填法；施工技术；路基承载力；地基改良；工程应用
DOI：10.33142/sca.v8i7.17128 中图分类号：U416 文献标识码：A

Discussion on the Application of Replacement Method Construction Technology in Highway Subgrade Engineering

FANG Yong
Sichuan Road and Bridge Shengtong Construction Engineering Co., Ltd., Xichang, Sichuan, 615000, China

Abstract: In highway subgrade engineering, the solution to the problems of soft soil, uneven settlement, and insufficient foundation bearing capacity is often widely used in the construction technology of replacement filling. By replacing unstable soil layers with stable filling materials, the replacement filling method effectively improves the foundation bearing capacity, reduces subgrade settlement, and ensures the smoothness and structural stability of the road surface. During construction, excavation of soil, selection of replacement materials, and compaction are all key steps. The replacement method has a short construction period, good economic benefits, and a wide range of applications. It has obvious advantages in complex geological conditions. If the material selection and construction technology are optimized, the construction quality and environmental benefits can be further improved, and the sustainable development of highway engineering can be promoted. However, the replacement method has high requirements for material quality and strict management of the construction process. These problems still exist, and further technical improvement and innovation are urgently needed.

Keywords: substitution method; construction technology; roadbed bearing capacity; foundation improvement; engineering application

引言

公路路基工程质量直接影响道路使用寿命和安全性，复杂地质条件下传统路基处理方法挑战较多，而换填法作为高效的地基改良技术，将不稳定土层替换后可显著提高地基承载能力和稳定性，在软土、膨胀土等特殊地质环境里应用时优势强大且适用性广泛，随着工程技术不断进步，换填法的优化创新成为提高公路工程建设质量与效率的重要路径。

1 换填法施工技术概述

1.1 定义和基本原理

路基工程里常用换填法这种地基改良技术，将地基中的不稳定土壤或者软弱层替换成砂、碎石、特种土等稳定性和承载力较好的材料，从而提高地基承载能力并确保路基的稳定性，这一过程能有效避免路基沉降、裂缝等问题，在软土、湿陷性黄土和膨胀土等特殊地质条件处理时尤其适用，其基本原理是提高地基土壤密实度、改变物理性质以增强力学性能，进而减少基础沉降和不均匀变形。

换填法具体操作时，先把地基里不稳定的土层开挖去掉，再挑合适的稳定材料填充，这样地基整体稳定性得以增强，分层填筑、逐层压实后，填料密实度和承载力进一步提高，路基长期稳定就有了保障。

1.2 适用范围

各类复杂地质条件下换填法都广泛适用，在软土地基、膨胀土、湿陷性黄土以及有机土等不稳定地层中它的优势尤其独特，软土区域里换填法能有效替换湿软表层土从而避免软土地基沉降造成路面不均匀沉降的问题，特别是在低承载力区域换填法可提升地基承载能力并减少地基沉降引起的结构变形。

膨胀土和湿陷性黄土地区换填法的应用效果也不错，膨胀土和湿陷性黄土遇湿润或干燥环境变化时体积易变会使路基不均匀沉降，而换填法用稳定的填充材料可有效控制降低这些土壤变形潜力以保障道路稳定安全，该技术在交通运输、机场建设、大规模市政建设中有广泛应用前景。

1.3 施工流程

换填法施工的流程关键有土方开挖、材料选择、换填

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

材料铺设与压实几个步骤，通常施工方依据地质勘查结果确定土层开挖的厚度和范围，原地基里不稳定的土层往往要去除，土方开挖完后要处理基底、清理杂物以保证底层坚实。

材料选择时，通常会选压实性能佳、稳定性好的材料，像砂、碎石之类的，而具体到项目要求，有些特殊土壤也能选改良过的填充材料，含一定比例黏土的混合土，并且填充材料得严格筛选检测，其物理和力学性质要符合设计要求。

填充工作一般分层开展，每层材料的厚度大多控制在30～50cm之间，铺完一层材料就要充分压实以保证填料和基础土壤紧密结合从而达到预期的承载力，换填时得一直控制压实度和填料均匀度才会使施工质量符合标准要求。

2 换填法施工技术的优势与应用效果

2.1 提高路基承载力

换填法的核心优势之一是能让路基的承载力显著提高，这在公路建设里非常关键，地基的承载力决定着路面能否长期稳定地承受交通荷载，不稳定的土层，像软土、膨胀土之类的，被换填法用具有较高密实度和强度的稳定材料替换后，地基的承载能力就能被有效提高，进而路基的稳定性增强，因地基不均匀沉降或者裂缝产生风险也减少，路面的长期使用安全就有了保障，而且路基稳定了，沉降、裂缝等问题会减少，道路的使用寿命会显著提升。

换填法靠科学选材与精细施工可进一步提升土层的压实度和稳定性，严格控制换填材料的选择、铺设厚度和压实度就能有效增强地基强度并确保其长期使用的稳定性，在交通繁忙、荷载较大的公路项目里换填法增强路基承载能力很有效，能防止路面因不均匀沉降损坏、减少后期维护成本并延长道路使用寿命。

2.2 减少沉降和变形

在减少路基沉降和变形方面换填法效果格外显著，传统地基处理方法里地基沉降问题常得花很长时间观察处理还难以有效控制，而换填法把不稳定土层去掉换上压实性能好的稳定材料，这样施工时就能快速提升地基稳定性降低长期沉降风险。

换填法分层填筑逐层压实，有效防止了不均匀沉降，在软土地区，土层松软且水分易变化，地基易沉降，而换填法能减少这种沉降，保持路基平整，避免路面裂缝和不规则沉降出现，确保道路平稳通行。

2.3 缩短施工周期

传统路基加固方法像深层搅拌、静压桩之类的土壤改良法，施工周期长、工艺复杂、技术处理和监控环节多，这不仅让施工难度加大，还可能拖慢项目进度，并且施工时常得对土壤大量人工处理、技术改造，人工投入和设备使用量都很大，工期进一步延长，而换填法跟传统方法比，施工周期优势明显。

换填法施工流程简洁高效，不良土层开挖后选择合适填料替换并分层压实即可，整个过程直接简便，技术工艺不复杂且设备投入不大，能在短时间内完成路基处理，在工期紧张的公路建设项目里成为首选技术，可大幅缩短整体工期，在短时间内让路基稳定，为后续施工和工程建设创造有利条件。

2.4 改善施工环境

换填法一用，路基的承载力和稳定性就提高了且施工环境也有效改善了。跟传统路基加固法比，换填法施工时污染物产生得少，在湿陷性土层和软土地区按传统方法施工往往会产生大量泥浆、废水之类污染物，这些污染物可能渗进周边土壤和水源从而严重影响环境质量，而换填法选合适填料换掉不良土层就可减少污染物产生，不让周围环境受不良影响。

换填法施工相对清洁，无需大量使用化学药品和大型机械设备，从而大大减少施工中的噪音和空气污染，只要合理选择填料并严格控制施工操作，就能最大限度降低对生态环境的干扰，换填法在提高施工质量的也在一定程度上保护了施工区域生态环境，符合现代绿色施工与可持续发展理念，有力支持公路建设的环保要求。

3 换填法施工中的关键技术与问题

3.1 材料选择与处理

材料的选择是换填法施工的首要环节之一，为确保地基稳定性与路基质量，选择合适的换填材料很关键。砂、碎石、砾石等是常用换填材料，因物理特性较好，密度高、透水性佳、承载力强，在换填法里广泛应用，并且砂石和碎石压实性能不错，能有效提升地基承载能力与稳定性。不同地质条件下，部分特殊土壤可选用改良后的填充材料，轻质土、特种土等，从而能进一步提高填料稳定性与适应性。

选择材料时得考虑来源、质量控制和环保因素，来源方面要保证材料无污染、无有害物质且符合相关环保标准，施工时材料质量控制特别关键，粒径、含水量、粒度分布等都得严格检测以符合设计要求，合理选材加上精确的质量控制能明显提高换填法施工效果保证路基长期稳定。

3.2 施工质量控制

换填法施工，施工质量控制是另一个关键，换填时施工质量常见问题有换填材料压实度、填层厚度控制和施工顺序管理等，压实度是换填法施工质量的核心指标之一，压实度不足填料就松散，路基承载力受影响，换填时每层填料都得严格压实，达到设计的压实度要求才行。

确保施工质量的关键在于对填层厚度的控制，要依据材料特性和施工机械性能合理确定每层填土厚度，一般来说，换填材料每层厚度需控制在30到50厘米之间，否则压实不均匀会让路基不稳定，并且施工顺序上要遵循逐层分布、逐层压实原则，这样各层材料的密实性和稳定性才有保障，科学合理的质量控制措施能有效减少路基沉降和

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

变形，从而保证工程质量。

3.3 环境与安全问题

换填法施工时环境或许会被影响，特别是处理湿陷性土壤与软土地基时容易出现土壤侵蚀、地下水污染等问题，要减少环境污染，施工时就得采取有效防护措施，设置临时排水设施防止雨水冲刷施工现场泥土、控制扬尘以免影响周围环境，并且换填材料的选择也要注重环保，不能使用有害物质，得确保材料可持续且环保。

换填法施工中需要着重考虑安全问题，施工时特别是开挖与填筑期间可能会出现土体滑坡、机械设备故障或者施工人员受伤之类的安全隐患，施工之前要进行详细的安全风险评估且让施工人员知晓相关安全防护措施，要在施工现场设置安全警示标志、定期检查设备以保证其正常运转，施工期间也要对人员进行安全培训以确保操作规范、防止安全事故发生，加强环境保护和安全管理能够降低施工中的环境污染和安全风险、保障工程顺利推进。

4 换填法施工技术的改进与发展趋势

4.1 新型换填材料的研究

工程技术不断发展，新型、高性能换填材料渐成研究重点，虽然传统砂、碎石等换填材料力学性能好，但环保性与可持续性差，大规模应用时可能造成资源浪费和环境污染，研究人员开始探寻更环保的材料，像高分子土工合成材料、复合土壤改良剂等新型材料在增强地基稳定性、减少材料浪费上潜力较大，并且高分子土工合成材料强度和耐久性优异，能有效提升路基承载力，环保性也不错。

复合土壤改良剂作为一种新型土壤改良材料，改良原地基土后可显著提升土壤稳定性和抗压能力，新型材料一应用就能进一步提升换填法施工效果，并且使用这些材料有助于削减传统填充材料的开采和运输成本、减轻环境负担。

4.2 智能化施工技术的应用

换填法施工在智能化施工技术的应用下有了全新突破，引入 GPS、无人机、自动化检测技术等智能化设备后其精度与效率得以提升，就拿 GPS 技术来说，它能实时监测换填材料施工位置，让每层填土铺设厚度和位置都准确无误，而且无人机在施工时可高效进行现场勘测和实时数据采集，工程师借此精准掌握地基状况与施工进度，自动化检测技术在换填法施工中也广泛应用，能实时监控压实度、土层厚度等参数，施工问题一旦出现就能及时发现并调整。

4.3 绿色施工理念的融合

环保法规日益严格且可持续发展有要求，换填法施工逐渐融入绿色施工理念，在换填法施工里环保型材料的选择和施工工艺的优化很关键，使用可再生绿色材料、减少依赖自然资源、降低碳排放与环境污染是未来发展方向，环保型换填法实施时材料选择要考虑环保和可回收性并且施工中要严格控制污染物排放如扬尘、废水、噪音等。

施工过程中对节能减排的关注也体现出绿色施工理念的融合，像使用低能耗机械设备、优化施工流程以减少能源浪费这些做法都是体现，换填法实施绿色施工后既能提高公路建设的质量与效率，又能推动公路建设行业可持续发展以满足现代工程环保要求。

4.4 未来发展方向

未来，更加精细化、智能化、环保化会是换填法施工技术的发展方向，随着材料科学不断进步，新型高性能材料的应用会更广泛，换填法施工效果和环境适应性也能进一步提高，并且智能化施工技术不断完善时施工精度和效率会进一步提高，当自动化和实时监控技术普及，换填法施工就会进入全新的时代。

未来换填法施工会更注重材料的高效利用以及减轻环境负担，利用废弃材料再生、采用低能耗设备和技术以减少对环境的负面影响，并且随着人工智能、大数据等技术不断发展，换填法施工过程会更精确更科学，达成高质量低成本环保的目标，而这些技术持续创新应用会使公路建设的发展空间更大。

5 结语

换填法是一种在公路建设中起重要作用的有效路基改良技术，合适的换填材料一旦选定且合理施工一旦进行，地基承载力就能显著提高、沉降和变形减少，进而路基的稳定性与安全性就有了保障，新型材料、智能化施工技术和绿色施工理念一旦引入，换填法施工效果和环保性会进一步优化且施工效率和质量显著提升，但换填法也面临像材料选择、施工质量控制这些问题需要进一步完善的挑战，随着科技不断进步，换填法施工技术以后会朝着更精细化、更环保的方向发展，从而给公路工程可持续发展提供更坚实技术支持。

[参考文献]

[1]陈建国.换填法地基加固施工技术在建筑工程中的应用[J].石材,2024(6):63-65.
[2]向阳,王骥,雷增威.建筑工程中换填法地基加固施工技术的应用[J].住宅与房地产,2025(2):101-103.
[3]刘瑜.建筑工程换填法地基加固施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(1):86-88.
[4]黄刚.房屋建筑工程中换填法地基加固施工技术的应用[J].中国建筑装饰装修,2025(8):169-171.
[5]甄亮.软土路基施工技术在公路施工中的应用[J].交通世界,2018(12):40-41.

作者简介：方勇（1994.12—），男，毕业院校：西南交通大学；所学专业：土木工程（道路与桥梁），当前就职单位：四川路桥盛通建筑工程有限公司，职务：工程科长，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

老旧建筑结构加固改造工程中常见问题与技术对策探讨

卓 庆[1] 欧雨玄[2] 卓 彬[3]
1.中南林业科技大学，湖南 长沙 410000
2.毕节工业职业技术学院，贵州 毕节 551700
3.湖南湖大建设监理有限公司，湖南 长沙 410000

[摘要]由于城市化进程不断深入，老旧建筑结构加固改造这个情况已经成为城市更新核心任务。文章系统探讨了老旧建筑加固改造中的关键技术、常见问题及优化策略那个方面。重点分析了钢-混凝土组合加固技术、加大截面加固、纤维复合加固等核心技术的原理、适用性与局限性，并详述了梁斜截面承载力计算方法。针对空间功能优化、电梯加装、地基处理等专项改造措施提出了具体方案。深入剖析了隐蔽缺陷检测、新旧材料协同、施工期安全保障及历史建筑保护冲突等实施难点，最后提出 BIM 技术辅助设计、基于性能的抗震加固、模块化装配施工及全生命周期成本控制等优化策略，为工程实践提供理论支撑。
[关键词]老旧建筑；结构加固；电梯加装
DOI：10.33142/sca.v8i7.17153 中图分类号：TU746 文献标识码：A

Discussion on Common Problems and Technical Countermeasures in the Reinforcement and Renovation of Old Building Structures

ZHUO Qing[1], OU Yuxiuan[2], ZHUO Bin[3]
1. Central South University of Forestry & Technology, Changsha, Hunan, 410000, China
2. Bijie Industry Polytechnic College, Bijie, Guizhou, 551700, China
3. Hunan Huda Construction Supervision Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract: Due to the continuous deepening of urbanization, the reinforcement and renovation of old building structures have become the core task of urban renewal. The article systematically explores the key technologies, common problems, and optimization strategies in the reinforcement and renovation of old buildings. The principle, applicability, and limitations of core technologies such as steel-concrete composite reinforcement, enlarged section reinforcement, and fiber composite reinforcement were analyzed in detail, and the calculation method for the bearing capacity of beam oblique sections was elaborated. Specific plans have been proposed for special renovation measures such as optimizing spatial functions, installing elevators, and treating foundations. In depth analysis was conducted on the implementation difficulties of hidden defect detection, coordination of new and old materials, safety assurance during construction, and conflicts in historical building protection. Finally, optimization strategies such as BIM technology assisted design, performance-based seismic reinforcement, modular assembly construction, and full lifecycle cost control were proposed to provide theoretical support for engineering practice.
Keywords: old buildings; structural reinforcement; elevator installation

我国大量建于上世纪的老旧小区普遍面临建筑结构老化、功能缺失及抗震性能不足这些突出的问题。城镇住宅中相当比例的建筑使用年限较长，其砂浆强度处于较低水平，部分构件承载力不满足现行规范要求。老旧建筑改造这个系统工程需要兼顾结构安全提升、使用功能优化以及历史风貌保护，这个平衡不容易搞好。当前工程实践中，既存在检测技术局限，如隐蔽缺陷识别困难、施工扰动风险，也面临新旧材料协同工作性能控制这个技术瓶颈。

1 住宅建筑结构加固关键技术

1.1 钢-混凝土组合加固技术

该技术通过外贴钢板或外包角钢、槽钢并与原混凝土构件通过结构胶及抗剪连接件协同工作，显著提升构件承载力 30%～50%和刚度。其核心优势在于施工便捷、对空间占用小且承载力提升效果显著，广泛应用于梁、柱、节点的加固。

根据受力需求选择钢板厚度通常 4～12mm 或型钢规格如 L75×6，[10 槽钢。采用抗拉强度≥30MPa 得高强结构胶粘贴，并辅以间距 300～500mm 的化学锚栓或贯穿螺栓进行机械锚固，确保有效传力。原混凝土表面进行凹凸差≥4mm 的凿毛处理并涂刷界面剂。钢构件表面喷 Sa2.5 级的砂除锈，并涂刷≥80μm 的环氧富锌底漆+≥100μm 的环氧云铁中间漆+≥80μm 的聚氨酯面漆，做三重防腐体系。特别适用于需大幅提升承载力且空间受限的梁柱节点、大跨度梁加固。对节点处理精度要求高，防火处理需外包防火板或涂刷防火涂料，成本较高，且外露钢构件在历史风貌保护区应用受限。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.2 加大截面加固技术

通过显著地扩大构件截面面积并同步增设钢筋网这个方式，可以有效地直接提升结构刚度与承载能力这个核心目标，该技术特别适用于梁柱承载力不足需要进行改造的那个场景。主要实施方法具体包括以下两个重要方面：①覆盖式钢筋加固：在原有梁表面焊接较高强度级别的附加纵筋，然后浇筑较高强度等级的细石混凝土材料；②横向增强：采用钢板箍或碳纤维布材料紧密地包裹柱端部位，以此提升其抗剪能力（如图 2、图 3 所示）。设计时需验算新旧混凝土界面剪切应力，界面抗剪强度不应低于 1.5MPa。需注意，截面增大会导致结构自重增加 10%～20%，需同步复核地基承载力。因此，在采用该技术时，全面评估其对整体结构的影响是至关重要的那个环节。

工程应用实例：该技术在老旧建筑柱体抗震加固中具有显著效果。例如，在 XXXX 中学教学楼加固方案，针对一层 C～D 轴交 3～5 轴共 6 个框架柱轴压比严重超标（实测最大轴压比 1.04，超出三级抗震规范限值 0.85）且配筋不足（计算需 16cm^2/边，实际仅 10cm^2/边）的问题，采用专项加固措施：

（1）先拆除影响施工的内隔墙，提供操作空间；

（2）根据加固设计方案的要求进行柱加固外尺寸放线定位；

（3）采用全钢板箍包裹加固：在柱体四周焊接封闭钢板箍形成约束体系，显著提升混凝土约束效应和抗剪承载力，最终使轴压比和配筋率满足抗震要求。

此案例体现了加大截面加固技术（特别是横向增强措施）在解决柱体抗震性能不足问题中的直接有效性。

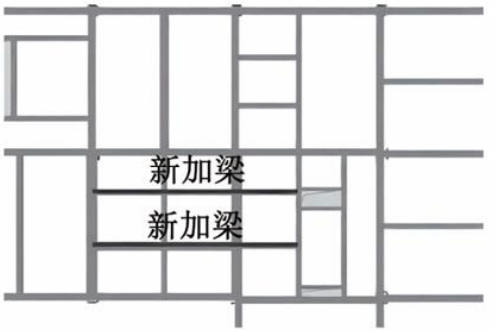


图 2　新加混 546 混凝土梁



图 3　增大截面加固

1.3 纤维复合加固技术

具有高强轻质和优良耐腐蚀特性得碳纤维布与玻璃纤维材料，成为进行非侵入式加固时较为理想的材料选择。施工流程需要严格遵循一个特定的多步骤操作方法：基面处理得平整→涂刷环氧底胶→浸润树脂并粘贴纤维布→滚压以除去气泡→在常温条件下进行充分的固化。该技术对原有结构的扰动相对较小，是一个明显的优点。但是，大家知道，当环境温度低于某个临界值时，树脂的固化效果会变得不够理想，并且在长期湿热环境作用这个条件下，存在发生脱黏现象的风险。

工程应用实例：该技术在老旧建筑裂缝修复与承载力补强中应用广泛且效果显著。例如，在 XXXX 中学实验楼加固方案，针对检测发现的次梁混凝土强度偏低（大部分在 C20 左右，低于原设计 C30）导致在受剪较大支座附近出现斜裂缝的问题，制定了专项加固方案，该方案的核心措施是：

（1）对裂缝采取低压慢注法进行注胶修复，封闭裂缝恢复整体性；

（2）根据加固设计方案的要求，做好梁截面尺寸的控制线；

（3）采用粘贴碳纤维布（300g，|级布）进行加强处理，具体参数为。

碳纤维布粘贴宽度：以裂缝为中心向两侧各延伸 200mm。

碳纤维布粘贴长度：沿裂缝方向两侧各延伸 200mm。

梁侧面处理：采用 U 形粘贴方式包妻梁侧面和底面。

板烈缝处理方式与梁相同此案例充分体现了纤维复合加固技术扰动小、施工便捷、能有效提升构件抗剪性能的特点，适用于对已出现损伤且强度不足构件的修复与补强。

1.4 梁斜截面承载力加固计算

在梁类构件的加固设计过程中必须充分考虑其在受弯状态下的正截面和斜截面承载性能。承载力的计算是基于构件在极限状态下的截面性能进行的，根据《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367—2006）的相关规定，对斜截面的加固计算涉及在受拉区域增加钢筋混凝土层，通过U型箍筋与原有箍筋焊接，以确保斜截面的受剪承载力达到以下要求：

$$V \le \alpha_c[f_t b h_0 + \alpha_f b(h_0 - h_{a0})] + f_{y0}\frac{A_{sv0}}{s_0}h_0 \qquad (1)$$

其中，α_c=0.7，斜截面混凝土受剪系数，α_f=0.7，f_t 为混凝土抗拉强度设计值，f_{y0} 为原箍筋抗拉强度，A_{sv0} 为单截面原箍筋总面积，s_0 为箍筋间距。同时必须满足构造条件：当截面高宽比 $h_a/b \le 4$ 时，限制 $V \le 0.25\beta_c f_c b h_0$（$\beta_c$=1.0）；当 $h_a/b \ge 6$ 时，$V \le 0.20\beta_c f_c b h_0$；中间值采用线性插值。

根据给定的混凝土构件参数 b=675mm，h_0=750mm，f_t=1.43N/mm^2，f_c=1.71N/mm^2，A_{sv0}=314mm^2，f_{y0}=360N/mm^2，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

s_0=100mm 时，计算得承载力限值 1386.5kN，构造限值 2417.34kN，当实际剪力 970kN 时双条件均满足。

2 结构改造专项措施

2.1 空间功能优化改造措施

老旧建筑内部空间布局常常存在不够合理的情况，例如不同结构体系并存这个复杂问题，需要通过有效的改造策略来提升其使用功能。核心的改造方法主要包括以下几个方面：首先是拆除非承重隔墙，这个操作能够释放空间，然后采用轻钢龙骨石膏板这种材料体系来重建更为灵活的空间划分，以满足现代生活需求[1]。其次是整合功能区域，具体做法例如将相邻的小户型单元进行合并，同时增设公共活动区域，这个方式可以显著改善居住品质和社区互动。最后是采光优化措施，通过扩大原有窗口的尺寸这个手段来增加自然光照，但需要特别注意在洞口顶部增设钢筋混凝土过梁这个关键步骤，以确保结构安全，搞不好要出事特别是采光优化时洞口开得太大。

2.2 电梯井加装方案与受力分析

为老旧建筑加装电梯需要重点解决新增荷载如何有效传递以及如何确保新增结构与原结构能够协同工作这个核心难题。如图 4 所示所采用的关键技术。首先，采用独立基础结合滑动连接这个系统方案，具体是电梯井采用钢框架结构，并将其支承于独立的筏形基础之上，然后在电梯井道与原建筑结构之间设置宽度为 50mm 的变形缝，最后在顶部通过摩擦系数不超过 0.05 的滑移支座进行连接，这个连接方式允许一定程度的相对位移。其次，需要清晰地设计荷载传递路径，确保电梯运行产生的动荷载，其标准值为 2.0kN/m^2，能够通过专门设置的 H 型钢梁有效地传递至新增的独立基础，这个设计要点至关重要，因为它可以最大程度地避免对原有条形基础造成附加的不均匀沉降问题，从而保障整体结构的安全稳定[2]。因此，在电梯加装工程中，精确的受力分析和可靠的连接构造是确保成功实施不可或缺的那个环节，这个环节搞不好容易出问题。

2.3 型钢框架门施工步骤与节点处理

当对老旧建筑的门窗洞口进行扩大改造后，必须采用型钢边框对其进行结构补强这个必要的加固措施，以确保开口周边的承载力和稳定性。首先是在扩大后的洞口两侧埋设规格为 L50×5 的等边角钢，然后使用尺寸为 40mm 宽、3mm 厚的缀板，按照间距 500mm 的布置要求，将角钢焊接成稳固的边框框架。其次是采用抗拔力不低于 25kN 的 M10 化学锚栓，将焊接好的型钢框架牢固地锚固进入原有砌体墙体内部，这个锚固步骤的可靠性直接关系到加固效果。最后是在型钢框架与周围砖墙之间存在的间隙内，灌注强度等级为 C30 的膨胀性细石混凝土进行填充密实，这个填充过程需要确保密实无空洞，密实度不够会严重影响最终效果。

2.4 地基与基础加固技术

在老旧建筑改造项目中，经常会遇到施工现场空间狭小这个限制条件，例如周边环境不允许进行大范围的边坡开挖作业，此时就需要选择适用的地基与基础加固技术。①是使用小直径静压钢管桩，其规格通常为外径 219mm、壁厚 6mm、材质 Q235B 的钢管桩，并且要求单桩的竖向承载力特征值不低于 150kN，这种桩型具有施工扰动小和承载力可靠的特点。②是对钢管桩进行完善的防腐处理，具体做法是涂刷环氧底漆作为底层，再覆盖云铁中间漆，最后施作聚氨酯面漆，形成三重防护体系，这个防腐处理对于提高桩基的耐久性至关重要[3]。③是针对基础下方存在杂填土等不良土层的情况，采用级配良好的碎石进行置换处理，并且要求换填后土层的压实系数达到 0.97 以上，以确保地基的均匀性和承载力，均匀性不好会影响上部结构安全。

3 老旧建筑结构加固改造工程实施难点

3.1 既有结构隐蔽缺陷检测难题

老旧建筑内部孔洞、钢筋锈蚀这类问题，常常难以通过常规检测准确识别，这个情况有潜在风险。解决这个情况需要联合应用红外热成像与冲击回波法探测空鼓区域，并且利用电磁感应仪检测钢筋分布，要求误差控制在不大于正负 3mm 范围内，这个精度对后续设计很重要。准确探明缺陷是确保安全的前提，必须投入资源选择合适的检测手段。

3.2 新旧材料协同工作性能控制

新旧材料界面特别是混凝土界面，非常容易出现剪切滑移，严重影响加固效果。控制这个风险需要严格措施：对原有混凝土表面进行凿毛处理，凹凸差不小于 4mm，然后涂刷界面剂增强黏结力；增设直径 10mm 的抗剪销钉，间距 300mm 植入，提高抗剪能力。新旧材料协同工作是关键因素，必须把控界面质量和销钉安装这个环节。

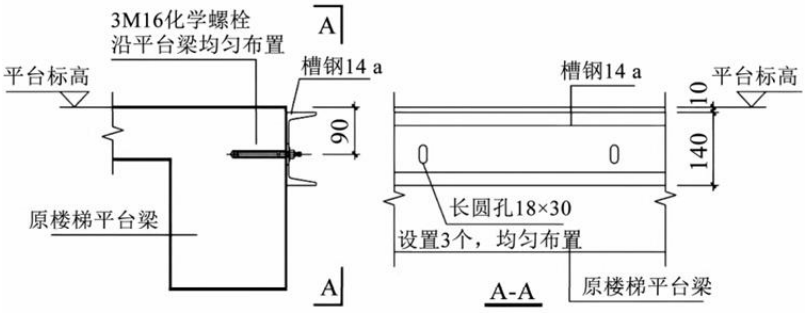


图 4 电梯井走道钢梁与原结构滑动连接

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.3 施工期间结构安全稳定性保障

加固改造施工过程本身可能对原有结构造成二次损伤，这个风险点必须得到充分重视和有效控制。为了保障施工期间的结构安全稳定，需要实施两方面的核心保障措施：第一是建立全过程监测系统，对结构的位移、裂缝等关键指标进行实时监控，并且将位移预警值设定为相关规范规定限值的百分之七十，例如控制侧向位移不超过29.4mm，这个预警阈值需要及时报警并采取措施。第二是架设可靠的临时支撑体系，通常采用承载力安全系数不低于2.0的可调式钢支撑，在关键受力部位提供有效的临时支承，防止在加固操作过程中发生过大的变形或意外失稳。

3.4 历史建筑保护性改造的技术冲突

位于历史风貌保护区内的老旧建筑在做加固改造时，通常都会面临禁止外露加固构件的严格要求，而禁止外露加固构件会和加固技术方案产生直接冲突。为了在保护好历史风貌的同时又能把结构加固搞好，需要采取采用内嵌式碳纤维布加固技术，把高强度碳纤维布贴在构件内侧表面上，然后外面做保护层盖住不让它露出来。对那些必须用到的钢构件进行装饰性处理，比如在钢构件外面抹上一层有传统装饰效果的抹灰，把它巧妙地藏起来，让外观和原来的风貌保持一致。

4 老旧建筑结构加固改造优化策略

4.1 BIM技术辅助改造方案优化

应用建筑信息模型技术能够帮助优化老旧建筑加固改造方案。在开工之前就提前发现并解决掉各种专业管线和结构构件可能撞在一起的问题，比如电梯井道位置和原来的结构梁位置重叠了这种常见情况，避免做到一半再返工。通过构建不同加固方案的三维模型，对比它们在结构性能上有什么差别，像是位移减少率提高了多少、结构应力峰值降低了多少，最终选取出最优方案。

4.2 基于性能的抗震加固设计方法

要想做得比传统的“小震不坏”这个基本目标更好，就需要用上基于性能的抗震加固设计方法，这个方法的重点在于设定更清楚、能量化的目标：首先是设定性能水准目标，比如要求房子在遭受设防地震后，不能用的时间要控制在72h以内，好让功能快点恢复。其次是设定经济性目标，通常把整个加固工程的花费控制在新建一个同样房子造价的 40%以内，尽量做到既安全又划算。基于性能的设计方法代表了更先进、更灵活的抗震设计思路，它能更好地适应老旧建筑改造的各种不同需要。

4.3 模块化装配式加固技术应用

用模块化装配式加固技术是提高老旧建筑改造效率、减少现场环境影响的靠谱办法，具体形式包括壁厚通常做到60mm的预制混凝土套筒加固件，或者用工厂预先做好的钢套箍件[4]。这些标准件在厂里做好后，运到现场直接拼装起来，这比起传统的现场浇混凝土，能大大缩短工期达到50%以上，并且能有效减少现场湿作业带来的灰尘、噪音和垃圾，对环境友好，施工也文明。

4.4 全生命周期成本控制体系构建

对老旧建筑加固改造项目的成本评估，不能只是关注初始投资，而是要构建覆盖全生命周期的成本控制体系。①是初始加固成本，即项目启动时投入的直接工程费用；②是在建筑剩余使用寿命期内的维护费用；③是潜在的灾害损失预期值。其数学模型通常表达为全生命周期成本等于初始成本加上维护费用现值之和再加上失效概率乘以灾害损失，即：

$$LCC = C_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{M_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^{n} \frac{P_t \cdot D}{(1+r)^t} \quad (2)$$

在这个公式中，C_0是初始成本，M_t是第t年发生的维护费用，r是折现率，P_t是结构失效的概率，D是结构失效导致的灾害损失代价，这有助于从长远角度评估加固方案的经济合理性，避免短期决策带来的长期负担。

5 结束语

老旧建筑结构的加固改造是个门道儿贼多的系统工程，要把它整明白、整漂亮喽，必须得把房子的结构安全、功能提升，还有文化保护三者兼顾。在挑技术上，钢-混凝土组合加固和纤维复合材料加固，因其整得精细、对老房子折腾小，特别适合那些得轻拿轻放的精细活儿；而加大截面法的做法，因为能实实在在地把柱子承载力提上去，在那些老房子骨架快散架的地方效果拔尖儿。在具体改造上，加电梯用的滑动连接和微型桩基技术，确实解决了在狭小场地和打地基的麻烦。在提速增效上，BIM 技术往深了用、模块化装配技术铺开了使，这哥俩儿被证明是让改造活儿干得快、干得好的关键路子。未来一是把智能监测预警系统整明白用起来，二是把又省材料又环保低碳的加固材料搞出来推出去，才能让老旧建筑加固改造更高效、更智能、更绿色。

[参考文献]

[1]慕安童.既有老旧建筑的加固改造技术研究[J].中国高新科技,2025(9):83-85.
[2]詹立敏.BIM技术在老旧房屋建筑加固与改造中的应用[J].建设科技,2025(10):83-85.
[3]胡科香,李秀芬,翟锡佳.低扰动施工技术在老旧小区建筑结构加固中的应用[J].住宅与房地产,2025(16):105-107.
[4]高超,贾仁涛,冯海峰.城市更新中加固施工改造建筑的质量控制研究[J].建设机械技术与管理,2025,38(3):147-149.

作者简介：卓庆（2006.9—），单位名称：中南林业科技大学，学校和专业：中南林业科技大学 土木工程；欧雨玄（2005.6—），单位名称：毕节工业职业技术学院，学校和专业：毕节工业职业技术学院、工程测量；卓彬（1975.10—），单位名称：湖南湖大建设监理有限公司，毕业学校和专业：华中科技大学，土木工程。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于 BIM 技术的建筑工程技术类项目成本管理与资源调配研究

刘运飞
山东远程建设集团有限公司，山东 青岛 266112

[摘要]伴随建筑领域朝着信息化、精准化方向的转变，以往项目成本管理和资源调配模式，难以跟上现代建筑工程渐趋复杂的管理需求步伐。BIM（建筑信息模型）技术，作为把可视化、参数化、协同性汇于一处的信息集成平台，在项目建设全时段内呈现出强大的管理潜力。通过依据 BIM 技术的特点起笔，剖析其在建筑工程技术类项目中针对成本控制与资源配置的优化意义。借助对当前项目成本控制及资源管理所存问题的分析，拟定基于 BIM 技术涵盖成本测算、资源规划、进度协同及管控的相关策略，意在为行业提供成系统、高效能、可付诸实践的解决路径，协助建筑工程项目达成成本降低、效益提升及高质量的跃升。

[关键词]BIM 技术；建筑工程；成本管理；资源调配；信息化
DOI：10.33142/sca.v8i7.17150 中图分类号：U41 文献标识码：A

Research on Cost Management and Resource Allocation of Construction Engineering Technology Projects Based on BIM Technology

LIU Yunfei
Shandong Yuancheng Construction Group Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266112, China

Abstract: With the transformation of the construction industry towards informatization and precision, the previous project cost management and resource allocation models are unable to keep up with the increasingly complex management needs of modern construction projects. BIM (Building Information Modeling) technology, as an information integration platform that combines visualization, parameterization, and collaboration, presents strong management potential throughout the entire project construction period. Starting from the characteristics of BIM technology, analyze its optimization significance for cost control and resource allocation in construction engineering technology projects. By analyzing the existing problems in cost control and resource management of current projects, relevant strategies based on BIM technology covering cost estimation, resource planning, schedule coordination, and control are proposed. The aim is to provide the industry with a systematic, efficient, and practical solution path to assist construction projects in achieving cost reduction, benefit improvement, and high-quality leaps.

Keywords: BIM technology; construction engineering; cost management; resource allocation; informatization

引言

从资金密集角度看建筑工程，成本控制与资源调配是否科学，对项目的经济效益以及管理水平起着直接作用。针对传统管理手段而言，成本概算较为粗糙、资源无端浪费十分严重、信息隔阂现象普遍存在，造成项目出现超支、延误之类的问题屡见不鲜。BIM 技术依靠其三维可视化呈现、参数化设计、协同管理等特质，渐渐成长为建筑行业改革创新的技术核心支撑。引入 BIM 这一技术，不仅使设计及施工方式出现变动，还为项目成本的精准管控与资源的优化调配开辟了新途径。本文目的是梳理 BIM 技术在成本和资源管理中的实践运用路径，分析现存的实际问题，提出贴合实际的策略，增强工程项目综合管理成效。

1 BIM技术在成本管理与资源调配中的作用概述

以建筑信息模型为依托，BIM 技术得以成为一种技术，把设计、施工、运维整合起来的一体化管理平台。在项目成本管理方面，BIM 以对接工程量清单、材料价格库的途径，可完成实时动态化的成本估算及管控；就资源分配调度而言，BIM 能把包含人力、材料、机械的资源数据和时间轴相联结，实现施工安排跟资源配给的可视化动态演示。BIM 系统还支持与项目管理软件（如 P6、Navisworks、Glodon）协同运作，将“设计-预算-采购-施工-运维”各阶段数据予以打通，实现“全时段过程、全要素、全参与对象”的精细化治理[1]。

2 建筑工程项目中成本管理与资源调配面临的主要问题

2.1 成本管理粗放，缺乏精细控制机制

在众多的工程项目里面，成本管控依然采用传统的定额估算以及静态预算控制手段。这种模式一般是于项目起始阶段拟定一次性预算，然而在后续施工阶段变更较为频繁的情况下，缺少有效的跟踪与动态调控机制，施工现场实际产生的费用往往与预算规划相背离，引起预算出现“虚值”。此外，项目预算往往未与施工进程、材料价格起伏以及人工成本变动等要素相联动，难以做到实时变动。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.2 资源配置计划缺乏科学性

当下诸多施工项目于材料采购、机械调配以及人员安排等范畴，依然主要依靠项目经理抑或现场负责人凭经验加以判断，缺少依托 BIM 模型、施工工序节点以及实际工作量开展的科学预估。此般“凭直觉式”资源规划往往会忽略施工进程与现场实际情形的变化，极易引发材料积压、资源调配失当乃至工序间的冲突。

2.3 数据孤岛严重，信息整合困难

建筑工程项目牵涉设计、预算、招采、施工、运维等多个方面环节，不同阶段采用不同信息系统（如设计时会用到 CAD，预算环节采用广联达，施工时采用项目管理软件），这些系统彼此间缺少高效的数据交互接口，引发数据的互通障碍。只要某一环节的信息更新表现出滞后情形，就会影响到其他环节的判定与响应能力。例如，设计实施变更后，预算未同步开展相应调整，材料采购依旧依照原计划开展，引发库存过量积压[2]。

2.4 缺乏多专业协同平台，管理分散低效

在项目组织框架里，设计、施工、监理等单位与采购供应商各自为营，欠缺统一数据平台及实时沟通机制。变更的资讯、预算的调整、进度的修订无法快传给相关方，致使工作衔接的连贯性欠佳，反馈流程推进滞缓，往往需凭借会议、电话，甚至运用纸质文档来传达讯息，极大降低了行事效率。

3 基于 BIM 技术的成本管理与资源调配优化策略

3.1 建立 BIM 成本数据库，实现动态预算控制

建筑项目成本把控的核心之处是预算的精确无误与动态调整能力。传统成本管理方法一般依靠人工编制预算明细清单，数据更新显现出滞后性，难以应对设计变更当下造成的即时影响。以 BIM（建筑信息模型）技术的引入为契机，为设立动态、瞬时的成本控制系统提供了技术后盾。借助把模型里的构件（如墙体、梁、柱、楼板之类）与标准定额数据、人工费率以及材料价格库相绑定，可形成一套完整的 BIM 成本数据仓库。

以建筑设计阶段为例，设计人员可借助成本数据库，衡量不同设计方案的经济合理性，针对高成本构件实施优化调校，以此削减后期变更引发的资金无谓消耗。此外，该数据库可为招投标供给数据支撑，增进报价准确度与竞争实力。在项目施工开展阶段，项目管理者可借助模型自动导出的工程量清单，动态监控成本消耗的动态[3]。

3.2 开展 BIM 资源调配模拟，实现供需精准对接

建筑施工的现场牵扯到大量人力、物料、机械等各类资源，怎样合理配置资源、杜绝损耗，为项目管理的紧要事项。以往资源调配主要依靠人工所积累的经验判断，易造成特定时间段里材料积压和人员的空闲。而 BIM 技术凭借着自身 4D（时间维度）和 5D（成本与资源维度）的扩展功用，可实现资源调配与时间、空间维度的双维模拟，供给科学层面的数据支撑。

在项目实施施工之前，项目团队可凭借 BIM 模型输入工序的进度与资源计划，借助模拟运算，推断出各施工节点所需的特定资源类别与数量，以此达成对高峰期在人力、材料、机械等资源需求上的精确预判。此“提前探知、提前调遣”模式，可推动制定更科学的资源采购及调度安排，杜绝出现材料囤积、机械闲置、劳动力不足等现象。

3.3 推动 BIM 与多系统协同，打通信息链条

就实际的工程项目情况而言，设计、预算、采购、施工及运维这类环节，常由不同部门、单位分别承担，引发若干“信息孤绝点”，引发数据重复输入、传输滞后、版本错乱等状况。推动 BIM 技术同企业管理系统（如 ERP、EAM 等类型）以及进度控制软件等协同集成起来，构建融合型的信息管理平台，为实现高效管理的核心路径。

在 BIM 平台之中定义一套统一的构件编码规则、材料标准及数据接口规范，保证各类系统相互间信息可顺畅传输。例如，预算部门于 ERP 系统之上开展采购计划的制定，可借助 BIM 导出的材料清单精准地匹配；而施工现场把设备使用数据录入到 EAM 系统里，还可马上反馈至 BIM 模型，供项目管理人员查看后实施调整[4]。

3.4 建立 BIM 驱动的全过程成本管理机制

传统工程项目成本控制一般聚焦到施工阶段上，反倒遗漏掉前期设计与后期运维中的成本影响因素。凭借 BIM 技术，有条件构建“设计-施工-运维”全生命周期成本管控架构，让项目自起始阶段便兼具可控性与经济性。

在项目设计的初始阶段，能运用 BIM 模型快速对不同方案的成本效果作对比，借助模拟分析为项目决策给出量化支撑。例如，对不同幕墙设计的造价进行比对考量其材料成本与施工工艺是否切实可行。在项目施工阶段，BIM 可跟预算体系进行联动配合，依照实际施工的进度变化动态生成成本报表，完成“施工进度跟成本开支”的双曲线对比，协助项目经理掌握资金的耗用情况，即刻开展风险预警。

建筑的运维阶段，在 BIM 模型里，可记录诸如设备型号、安装时间、维修历史之类的信息，可支撑对建筑资产全生命周期的跟踪管理活动。基于此类数据，企业可开展资产的评估审定、残值计算以及更新策略的拟定工作，为后续新项目的成本概算与方案设计提供可靠借鉴，催生良性的循环模式。

3.5 加强人员培训与团队协同能力建设

虽然 BIM 技术展现强大功能，此项技术价值的实现依靠人，需培育一支熟通技术、通晓管理的复合型人才梯队。诸多企业引入 BIM 以后，缘于系统培训及岗位机制的匮乏，引发项目团队成员在 BIM 理解上的分歧，模型运用效能欠佳，甚至出现徒有其形而无神的表面化应用现象[5]。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

因此，企业需拿出 BIM 专项培训的计划，对设计师、造价师、从事施工管理的人员、采购人员等岗位而言，进行契合各岗位的操作培训与案例讲授。培训内容需包含 BIM 基础原理、模型搭建、数据萃取、系统协同等范畴，且结合实际项目实施操作练习，增进团队的综合实战素养。同时，应助力 BIM 岗位专业化发展步伐，如设置 BIM 模型构建员、BIM 协调操作员、BIM 数据洞察分析师等岗位，清晰界定岗位责任与成长轨迹，搭建岗位激励架构，招引更多专业人才加入到 BIM 管理行列。

企业推进 BIM（建筑信息模型）技术应用的阶段里，搭建一个高效的 BIM 协同管理班子，是保障项目管理信息交互顺畅、资源调配科学得当的关键手段。该小组一般而言由设计人员、造价工程师、施工管理工作者、采购人员、运维专家等各岗位代表组建而成，包括项目建设全生命周期里的核心管理功能。依靠不同部门的紧密配合，BIM 协同管理小组有本事实现对模型数据的统一把控和共享，激励项目各环节达成无梗阻对接，充分挖掘以发挥 BIM 技术的综合效益。

设立 BIM 协同管理小组，能切实打破传统建筑项目那种“信息孤岛”的局面。传统项目管理大多是因为各部门职责分散、沟通渠道的不通，造成信息滞后、误传或出现缺失，对决策的效率以及施工质量形成直接影响。小组各成员按既定时间开会议，就项目 BIM 模型的数据更新情况、问题反馈内容以及变更协调事宜开展深度研讨，保障各参与方就模型内容及变更信息形成一致认知。借助周期性的模型联合审视，成员们可迅速察觉设计冲突、工序不一致以及资源调配欠合理等潜在问题，给出优化办法并马上实施。项目面临的风险实现了大幅削减，工程开展愈发畅达，成本把控更具精准度[6]。

协同管理小组也担当着推动 BIM 技术应用步入规范化轨道的任务。实现不同系统间数据互联互通，模型数据的统一格式及标准化管理是关键基础。小组应当拟定且实施严谨的 BIM 建模规范、数据录入标准及审核手续，保障各成员所上传模型信息精准、完备，且契合企业技术标准。严格规范的 BIM 数据管理，极大方便后续自动化计算分析，也能为成本运筹、进度设定、资源分配等环节给予稳固的数据支持，推动管理朝着智能化高度迈进。

以 BIM 模型为中心开展的资源协调和进度管理事宜，为协同小组核心工作内容。鉴于建筑项目的复杂性，不同工序、材料与设备的需求必须精准契合，这或许会引起施工的延误以及资源的浪费。小组借助 BIM 平台开展动态模拟与进度跟踪，可实时把控材料供给、设备运用及人员配备状况，且能依照项目进展态势，对资源分配方案做灵活的调整。凭借信息交互，采购部门可预先为关键材料做准备，施工管理相关人员能科学排布施工节点，杜绝重复等候及资源空置，促成项目顺利开展。

BIM 协同管理小组的工作极大地增进了企业内部培训及技术的传承。日常沟通与协作之际，小组成员彼此学习、交换最佳实践的心得，营造起知识互通的优良环境。企业借助小组开展针对 BIM 技能的专项培训，推动团队整体数字化管理能力进阶，引导 BIM 技术从“单点应用层面”跃升至“系统集成层面”。完善的培训模式与岗位技能上扬，使得员工对 BIM 的领悟更为透彻，可自行察觉并化解管理进程中的问题，增强工作成效。

伴随 BIM 协同管理小组逐步优化管理流程与协同运作机制，企业项目管理模式逐渐地从传统的“经验化管理”过渡至“数据驱动管理”，实现对项目全周期精细化与智能化的管控。这不仅对降低施工风险、把控工程资金成本有效，且可提升项目的品质与交付效率，使企业于激烈市场竞争环境下夺得先机。企业凭借搭建以“模型驱动”为核心的协同工作架构，把 BIM 切实融入日常管理进程，带动建筑数字化转型跃上新台阶[7]。

4 结语

BIM 技术给建筑工程技术相关项目的成本管控与资源分配带来了颠覆性革新，其具备的可视化、集成化以及实时性特点，为项目管理赋予了全新的活力。当下依然面临着传统管理的惯性作用、系统整合不易以及人员素质参差不齐等现实挑战。只有借助系统规划与协同实施，构建围绕 BIM 核心的信息化管理格局，才能够切实实现工程成本与资源管理的精细、智能特性及全生命周期的优化效果，促进建筑行业达成高质量、绿色永续发展。

[参考文献]

[1]蔡佳含.BIM 技术在建筑工程项目成本管理应用中的影响因素研究[D].重庆:重庆大学,2022.
[2]王伟伟,王伟强.BIM 技术在建筑工程管理中的有效应用[J].中国建筑装饰装修,2022(9):60-62.
[3]薛英.BIM 技术在建筑工程造价管理中的应用探讨[J].科技视界,2022(1):117-118.
[4]王黛丝.探讨BIM技术在建筑工程成本控制管理中的运用[J].财富生活,2021(20):89-90.
[5]陆新宇.BIM 技术在市政工程造价管理中的应用[J].工程技术研究,2021,6(12):171-172.
[6]赵培莉.BIM 技术在装配式建筑工程项目全寿命周期成本管理中的应用研究[J].四川水泥,2021(4):208-209.
[7]韩文娟.浅析BIM技术在工程造价管理中的应用及效益[J].质量与市场,2020(24):105-106.
作者简介：刘运飞（1985.4—），男，汉族，毕业院校：东北财经大学，专业：工程管理。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

BIM 技术在房建施工管理中的集成应用研究

张 威 罗凯旋
中国建筑第八工程局有限公司，安徽 合肥 230011

[摘要]建筑信息模型（BIM）技术快速发展，在房屋建筑工程施工管理中的集成应用越来越广泛，其借助三维建模、信息集成、施工模拟等方式让施工过程的可视化、协同化和智能化水平显著提高，使施工进度、质量、安全和成本得到精细化管理。文中研究 BIM 技术在房建施工中的应用路径并探讨其在信息集成管理、施工组织优化、进度与质量控制等方面的实际成效与发展趋势，研究显示 BIM 技术集成应用能有效解决传统施工管理里信息孤岛、协同效率低和数据管理混乱这些问题，提高工程项目整体执行效率和管理水平，推广价值和现实意义良好。

[关键词]BIM 技术；房建施工；集成应用；施工管理；信息化
DOI：10.33142/sca.v8i7.17148 中图分类号：TU712 文献标识码：A

Research on the Integrated Application of BIM Technology in Building Construction Management

ZHANG Wei, LUO Kaixuan
China Construction Eighth Engineering Division Corp., Ltd., Hefei, Anhui, 230011, China

Abstract: With the rapid development of Building Information Modeling (BIM) technology, its integrated application in construction management of housing projects is becoming increasingly widespread. With the help of 3D modeling, information integration, construction simulation and other methods, the visualization, collaboration and intelligence level of the construction process are significantly improved, enabling precise management of construction progress, quality, safety and cost. The article studies the application path of BIM technology in building construction and explores its practical effects and development trends in information integration management, construction organization optimization, schedule and quality control. The research shows that the integrated application of BIM technology can effectively solve the problems of information silos, low collaboration efficiency, and chaotic data management in traditional construction management, improve the overall execution efficiency and management level of engineering projects, and have good promotion value and practical significance.

Keywords: BIM technology; building construction; integrated application; construction management; informatization

引言

房屋建筑工程领域，信息传递效率低、各参与方协同不足、施工风险难预控等问题困扰着传统施工管理方式，数字技术发展起来后，BIM 技术渐渐深入房建施工各个环节，成为建筑行业信息化转型的重要手段，其具有可视化、参数化、协同化等技术优势，还能把各类施工数据集中起来管理并且动态更新，给施工过程有力支持，本文分析 BIM 技术在房建施工管理中的集成应用，探讨具体实施策略、应用效果和未来优化方向，以推动建筑行业管理模式走向现代化。

1 BIM 技术基础与房建施工特点

1.1 BIM 技术的概念与核心功能

一种集成化的建筑工程信息管理技术是建筑信息模型（Building Information Modeling，简称 BIM），创建可视化、参数化的三维模型能让它把建筑设计、施工、运维等全过程信息集成于同一个平台以实现数据的统一表达与动态更新。BIM 技术有三维建模、信息集成与共享、参数化设计、施工模拟、冲突检测和进度模拟等核心功能，三维建模技术可清晰展示建筑结构、机电管线与装修节点的空间位置关系以提升施工前可视化程度，信息集成功能能使设计、造价、采购、施工、运维等各环节的数据在统一模型中呈现从而打破传统的“信息孤岛”局面，模型中构件的参数设定实现构件之间的逻辑联动和变更自动更新从而极大提高设计效率与修改的灵活性，BIM 还可支持施工过程的 4D 模拟以制定出更合理的施工组织方案并提前预判施工冲突和风险为房建项目的高效管理奠定坚实基础。

1.2 房建施工管理的主要特征

房建施工过程中，土建、安装、装饰、消防、电气等多个专业工种需密集协作，其施工节点安排既复杂又频繁变更，管理难度较大，并且房建项目一般体量大、施工周期长，不同阶段要协调多家施工单位和专业队伍，容易出现任务交叉、信息脱节之类的问题，这会影响施工效率与质量，而且现场施工条件复杂，施工场地受限、临时设施安排不均衡、垂直运输有冲突等都对施工组织是个挑战，各专业工序相互依赖又有干扰风险，缺乏有效协调机制就极易发生工序延误或者返工，房建施工里设计变更频繁，传统二维图纸不能直观呈现变更影响，会导致沟通滞后、实施混乱，质量与安全管控方面也存在施工标准不一致、现场监管难以落实等问题，房建施工管理迫切需要更高效、可视、集成的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

数字化手段来依靠，达成全过程动态协调和精细管控。

1.3 BIM 与房建施工的契合度

房建施工全过程的信息集成、过程模拟与协同控制能力体现出 BIM 技术与之高度契合，施工阶段的信息载体 BIM 模型可把设计、结构、设备、材料等各类专业信息有效整合，使各参与方能在统一平台共享最新数据，减少重复建模工作和信息传递误差；BIM 有施工过程动态模拟和进度可视化能力，在开工前能进行多方案比选和施工路径优化，提升施工组织的科学性与前瞻性，在房建项目出现常见设计变更时，BIM 系统能快速调整模型参数，使相关构件自动更新，避免图纸与现场施工脱节，提高响应效率；碰撞检查和施工场地模拟得到 BIM 支持，可提前发现各专业间的冲突问题，降低施工阶段的返工率与资源浪费，更关键的是 BIM 技术能和移动终端、无人机、物联网等设备集成，构建现场实时监管体系，增强房建施工的信息化与智能化水平；总体而言，BIM 和房建施工管理在技术上高度互补，集成应用前景广阔。

2 BIM 技术在施工准备阶段的集成应用

2.1 施工图深化与碰撞检查

施工准备阶段，传统二维图纸常表达不清、信息缺失且错漏不少，这就容易使现场施工时专业间信息脱节、空间冲突频发且协调困难，进而导致大量返工和进度延误。统计显示，传统项目未使用 BIM 技术时，图纸问题引发的施工返工比例能达到 10%～15%这么高。BIM 技术构建可视化三维数字模型，将结构、建筑、给排水、电气、暖通等多专业图纸集成到一个平台上，使图纸能够空间展示、参数化表达，从而大大提高图纸准确性和现场可读性。管线综合布置时，BIM 模型依靠空间算法自动检测碰撞，及时发现管道、梁体、电缆桥架等构件间交叉冲突，并以模型可视化形式标注出干涉位置，为设计优化提供直观依据。项目团队以模型为基础会审、协同设计、调整验证，确保施工前各系统布局合理无冲突。实际项目应用表明，BIM 碰撞检查能使施工阶段返工率降到 2%以下。BIM 深化设计还能为构件工厂预制提供精确数据，提高构件和现场安装契合度，从而提升施工效率和工程质量，为项目高效推进打下坚实基础。

2.2 施工组织设计与虚拟建造

项目能否高效推进，施工组织设计是关键环节，传统方式大多靠经验判断、二维图纸辅助编排，直观性和科学性不足，在施工准备阶段，BIM 技术能构建完整的三维场布模型，合理布置临建设施、机械设备、道路通行、材料堆放区等要素，模拟各施工阶段场地变化，提前发现场布冲突、资源配置不当等问题，结合 4DBIM 技术，施工流程的时序模拟得以实现，施工路径动画与关键工序演练形成，项目管理人员借此全面掌握施工逻辑、资源调配和人员作业安排，施工方案评审与安全技术交底可通过虚拟建造来组织，现场人员对施工任务的理解和执行准确性得以提高，BIM 虚拟建造还可细化推演大型构件吊装、特殊工艺流程等关键节点，复杂作业的可控性和可预判性提升，项目施工准备阶段的决策科学性和操作可行性显著增强。

2.3 材料计划与工程量管理

施工材料计划与工程量管理直接影响施工成本控制和资源配置效率，传统的人工统计和纸质计划表存在数据繁杂、更新滞后、误差较大等问题，而 BIM 模型作为包含构件信息和尺寸数据的数字载体，能凭借构件数量、规格、位置等属性自动生成材料清单和分项工程量清单，使材料计划与工程量核算自动化、精准化，对 BIM 模型里墙体、梁、柱、门窗等构件快速统计，就能导出混凝土用量、钢筋布置、门窗尺寸等详细数据，便于制定分阶段采购计划，减少库存积压和材料浪费，并且工程量统计可与进度计划关联，施工进展过程中材料需求能够动态更新，为施工单位提供实时数据支持，管理人员还能依据模型数据进行成本预算、费用控制和材料对比分析，提高项目整体成本管控能力，借助 BIM 的工程量管理功能，施工准备阶段可从“粗放式计划”转变成“数据驱动决策”，全面提高施工资源的组织效率和资金使用效益。

3 BIM 在施工过程中的动态管控作用

3.1 施工进度模拟与动态更新

确保项目如期交付，施工进度控制是重要环节，传统进度计划常以甘特图或网络图呈现，难以直观反映实际施工状态与空间作业关系，但 BIM 结合 4D 技术（时间维度）后则不同，能把进度计划和三维模型绑定，实现施工进度模拟可视化，展示不同施工阶段构建顺序、时间节点与空间逻辑，项目管理人员可直观查看各构件在施工时间轴上的变化，通过模拟发现可能存在的时间冲突或施工瓶颈，提前调整进度编排，像某房建项目在实际应用中利用 4DBIM 模型优化施工节奏，将 14 个月的原定施工周期压缩到 12 个月，缩短了将近 14%，显著提升工期控制效率，而且现场数据采集终端能与 BIM 平台对接，实现实时进度数据更新，在实际进展和模型计划不一致时，快速反映偏差并调整，提升项目管理的及时性和准确性。

3.2 施工质量追踪与信息反馈

施工质量控制实现从源头预控、过程监管到结果验收的全过程闭环管理，此过程中 BIM 能给予强大支持，给模型里每个构件赋予唯一编码并结合二维码技术后，现场施工人员用移动终端扫描构件二维码就能快速调用构件的设计信息、施工要求、检验标准等，操作方便得“所见即所得”，在某个工程项目里，墙体混凝土构件的二维码记录着浇筑时间、施工班组、检验批号和验收人员信息，方便后续追踪质量、落实责任，若有质量问题，相关整改记录和照片资料也能实时绑定到模型构件上，形成完整的质量数据链，管理人员可根据模型规划质量巡检路径、展示隐蔽工程留存情况以及做统计分析，使质量管理更透明、

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

响应更迅速，施工单位还能依据质量反馈结果优化施工工艺或者施工资源配置，提高整体工程质量，真正做到信息驱动下的质量闭环管理。

3.3 安全管理的可视化提升

项目管理中施工安全一直是核心难题，房建项目尤甚，毕竟有高空作业、交叉作业和设备吊装等高风险工序，而 BIM 能集成三维模型与安全信息，施工前期就可进行危险源识别与评估，从而制定更有针对性的安全防控方案，可视化演示时，管理人员可通过模型展示安全施工工艺流程、作业范围与高危区域布置，进而提升作业人员的直观理解与操作规范程度，某房建项目里，用 BIM 对塔吊运行路径动态模拟，提前把和高层结构接近的危险点识别出来，调整布设方案后潜在事故得以避免，并且 BIM 还能和物联网设备联动，传感器采集的温度、振动、作业人数等安全数据可实时接入模型，实现作业环境监测与预警，人员超限或者设备异常被传感器发现时，模型中高风险区域会自动标示，相关人员能及时收到通知进行干预处理，统计显示，采用 BIM 可视化安全管理的项目，重大安全隐患识别率提升超 30%，作业事故发生率下降 20%，充分说明 BIM 技术在安全管控中的实践价值与成效。

4 BIM 协同平台与管理效益提升

4.1 多方协同与信息同步机制

房建项目里有设计单位、施工总包、专业分包、监理单位和业主等众多参与方且协作紧密，不过传统施工管理常因沟通慢、信息不对称、数据传输不准而导致项目拖期或资源浪费。BIM 平台作为多专业协作的集成信息平台有统一的数据格式和模型视图，能为各方提供实时共享和反馈的技术基础，设计单位可在 BIM 上发布最新设计变更模型，施工单位据此调整施工组织，监理方根据模型做质量和进度审查，无需频繁传纸质图纸或手动比对，例如一个 50000m^2 的房建工程，项目借助 BIM 平台将设计变更的响应周期从 5 天压缩到 2 天，协作效率大幅提高，而且 BIM 平台有权限管理和操作记录功能，可保障不同角色的信息界限和协同效率，让项目整体沟通更透明、决策更高效，避免信息不流通和重复劳动。

4.2 数据标准化与资料归档

房建施工时会产生诸如图纸、进度报表、施工日志、质量检查记录等大量信息资料，传统管理模式下常出现文件版本混乱、资料缺失、归档不及时等问题。BIM 技术能借助统一的构件编码规则与属性定义标准，把各类施工数据嵌入模型构件里，让信息实现结构化与标签化管理，混凝土柱构件在 BIM 模型中除尺寸、位置信息外，还包含施工日期、施工人员、材料批次等信息，做到一物一档、一构件一数，施工各阶段的资料能实时绑定到模型节点形成多维度、多时段的“数字施工档案”，并且 BIM 支持一键导出施工过程数据、图纸和报表，这对竣工验收与后期审计很方便，在实际工程里，用 BIM 完成电子资料归档的项目资料缺失率能下降 60%，后期归档整理与管理的负担大大减轻，标准化管理还为企业积累工程知识和数据资产提供了基础条件，有助于管理水平不断优化。

4.3 集成 BIM 与其他管理系统（ERP、PM）

企业级管理系统集成应用能力，特别是企业资源计划系统、项目管理系统等平台的互通互联方面，这是 BIM 平台价值的突出体现且其价值还体现在三维模型可视化和现场多方协同上。BIM 与企业资源计划系统对接，能自动提取 BIM 模型构件数量、工程量信息并同步到物料采购与成本核算模块从而让设计阶段到采购执行无缝衔接，使物资管理响应速度和精准度显著提升，像在某大型房建工程，BIM 模型自动提取混凝土构件工程量生成入库计划，采购响应时间从传统 3d 缩到 1d，材料浪费率将近 25%。BIM 和项目管理系统集成后，进度模型可实时推送到计划系统，计划制定、执行反馈与进度分析能闭环控制，施工问题或设计变更事项，现场发现后可通过 BIM 模型生成任务工单，直接发到责任人员管理界面，进而问题处理效率有效提升。BIM 平台利用应用程序接口整合办公自动化系统、质量安全巡检系统、劳务实名制系统等的数据构建企业级数字化施工管理生态，覆盖计划、设计、采购、施工和质安管控，助力房建项目全过程数据驱动、全流程智能决策。

5 结语

在房建施工管理里集成应用 BIM 技术，突破了传统管理方式下的信息壁垒和协同瓶颈，使设计、施工、监理等多方能够同步信息、共享数据，且 BIM 全面渗透到施工准备、过程控制和资料管理等环节，不但提高了施工效率和质量，还加强了安全管控和成本优化，特别是跟 ERP、PM 等系统融合之后，更促使施工管理朝着智能化和一体化发展，往后，BIM 技术会在标准化建设、系统集成和人才配套等方面不断完善，推动建筑行业高质量转型。

[参考文献]

[1]吴建洪,张凯.BIM 技术在房建工程施工安全管理中的应用[J].中国住宅设施,2025,11(4):151-153.
[2]杨波.BIM 技术在房建工程质量监管控制中的应用[J].中国建筑装饰装修,2025,12(8):79-81.
[3]王榆寒.BIM 技术在房建工程造价管理中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2025,12(2):137-139.
[4]乔军.BIM 技术在房建工程成本管理中的应用研究[J].砖瓦,2025,11(1):118-120.
[5]胡恩繁,董楠楠,付志强,等.BIM 与智能传感器技术在房建工程基坑支护施工中的协同应用[J].中国建筑装饰装修,2025,12(1):84-86.

作者简介：张威（1989.10—），毕业院校：安徽建筑大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：中国建筑第八工程局有限公司，职务：项目经理，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工程造价跟踪审计在建筑工程全过程中的应用探究

张 铭
阿克苏地区城乡建设服务中心，新疆 阿克苏 843000

[摘要]随着新疆建筑行业不断发展，工程造价管理面临复杂挑战。全过程跟踪审计是动态、系统的监督方式，能控制工程成本、提升项目效益，保障工程质量与进度。依据新疆地区建筑工程实际，分析造价管理现状，阐述造价跟踪审计重要性，探讨其在项目立项、设计、施工、竣工结算阶段的应用，给出提升新疆建筑工程造价跟踪审计水平的建议。研究发现，推动全过程跟踪审计在新疆建筑工程中应用，可防范化解造价风险，助力地区经济发展，为管理实践提供理论和方法支持。
[关键词]全过程跟踪审计；建筑；工程造价；应用
DOI：10.33142/sca.v8i7.17141 中图分类号： 文献标识码：A

Exploration on the Application of Engineering Cost Tracking Audit in the Whole Process of Construction Projects

ZHANG Ming
Aksu Urban and Rural Construction Service Center, Aksu, Xinjiang, 843000, China

Abstract: With the continuous development of the construction industry in Xinjiang, engineering cost management is facing complex challenges. Full process tracking audit is a dynamic and systematic supervision method that can control project costs, improve project efficiency, and ensure project quality and progress. Based on the actual situation of construction projects in Xinjiang, this article analyzes the current situation of cost management, elaborates on the importance of cost tracking audit, explores its application in project initiation, design, construction, and final settlement stages, and provides suggestions for improving the level of cost tracking audit in Xinjiang's construction projects. Research has found that promoting the application of full process tracking audits in construction projects in Xinjiang can prevent and resolve cost risks, support regional economic development, and provide theoretical and methodological support for management practices.
Keywords: full process tracking audit; construction; engineering cost; application

引言

随着新疆经济不断发展以及城市化进程不断加快，建筑工程项目数量呈现出持续增长的态势，其规模也变得越来越大，复杂性更是显著提升，这无疑给造价管理带来了全新的挑战。由于受到特殊地理环境以及气候条件的限制，施工成本会出现较大的波动情况，使得造价控制的难度有所增加。传统的那种以事后审计为主要模式的管理方式，存在着监督存在滞后现象、成本容易出现失控等问题，很难满足当下对于科学且高效的管理方面的需求。全过程跟踪审计是一种贯穿项目整个周期的动态监督方式，它可实现对工程造价进行实时的监控以及相应的调整，能明显提高成本控制在科学性以及时效性方面的表现。本文结合新疆建筑的实际状况，去探讨全过程造价跟踪审计的具体应用路径，目的是为区域工程管理效能的提升给予一定的理论方面的支撑以及实践层面的参考。

1 建筑工程造价管理现状分析

新疆在中国西部占据着重要地位，近些年来在基础设施建设以及城市开发领域都取得了颇为显著的进展，建筑工程的规模以及复杂程度也在持续不断地提升。就新疆建筑工程造价管理而言，在整体层面依然存在着不少的问题，其主要呈现出管理体系不够完备、审计所涉及的范围较为有限以及信息化程度比较低等状况。因为新疆地理跨度颇大，交通条件相对来说也比较落后，这就使得新疆部分偏远地区的建筑项目在信息传递方面出现滞后的现象，造价数据很难做到及时且准确地收集以及反馈，进而致使成本控制出现了盲区。新疆多样化的自然环境，像沙漠、高原还有严寒地区，给施工材料的采购、运输以及施工工艺都提出了较高的要求，同时也加大了工程造价的复杂性。传统的造价管理大多依靠阶段性审计以及事后的核算，缺少对全过程进行动态跟踪的有效机制，所以很难对设计变更、施工进度以及材料价格波动做出及时的响应。这些诸多因素共同作用，对新疆建筑工程的造价控制效果产生了影响，迫切需要引入科学且高效的跟踪审计手段，以此来提高造价管理的精准程度以及实时性。

2 工程造价跟踪审计的重要性

2.1 避免造价事后监督的弊端

通过在工程施工时期正确进行全过程跟踪设计可以有效地防止进行事后监督，降低工程损失，及时找出存在的问题。通过和传统造价审计措施进行比较能够看出，现阶段的造价审计方法能够更好地符合造价设计需求。传统

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

的审计措施主要就是在施工完毕再开展审计工作，现在的审计方法可以在工程开始之前、工程进行的过程中，工程结束之后全过程开展跟踪审计，其可以有效地防止工程造价产生失误的情况。通过监督工程进度，可以更好地促进工程的完成，能够给企业带来更多的经济效益。

2.2 促进建设方案更加合理

在新疆建筑工程范畴内，鉴于地域面积颇为广阔并且自然环境呈现出多样性特点，建设方案是否合理会在很大程度上直接对工程的经济性以及可持续性产生影响。全过程造价跟踪审计凭借介入到项目的整个设计阶段以及施工全过程当中，切实有效地推动了方案朝着更为科学的方向去优化。跟踪审计可针对设计阶段所涉及的预算以及技术方案展开较为全面细致的评估工作，能够在第一时间察觉到设计环节存在的缺陷以及不合理的地方，推动设计人员依据实际的地质状况以及气候条件来对方案做出相应调整，进而降低后期出现设计变更以及施工风险的可能性。在审计进程里所形成的实时数据反馈情况，能够为建设单位给予精准的经济方面的分析，以此确保各项工程预算都能够与实际需求达成匹配的状态，防止因为一味地盲目追求低成本而致使工程质量受到不利影响这类现象的发生。与此跟踪审计还能够对材料采购以及使用过程予以监督，推动绿色环保材料实现合理的运用，这恰好与新疆在生态保护方面的需求是相契合的。除此之外，借助动态的方式去监控施工进度以及成本方面的变动情况，有益于施工单位依据施工现场的实际状况及时对施工方案以及资源配置做出优化调整，从而减小成本波动给整体预算所带来的冲击影响。经过全过程开展科学的跟踪以及反馈操作，建设方案得以不断地得到完善并持续优化，一方面保证了工程技术的相关标准，另一方面也有效地对经济成本进行了把控，最终达成了建设方案合理化以及经济效益最大化的目标。

3 工程造价跟踪审计在建筑工程全过程中的具体应用

3.1 项目立项及设计阶段的造价跟踪审计

在新疆建筑工程项目的立项以及设计这个阶段当中，造价跟踪审计实实在在地发挥着一种处于基础位置并且极为关键的作用。审计人员得仔细去剖析项目初步设计方案还有预算编制情况，同时要综合考虑到新疆那种特殊的自然条件，像是冻土、沙漠以及高原气候等，这些条件给工程施工所带来的种种影响，进而对设计方案所具备的科学性以及经济合理性展开相应的评估。通过针对材料选用方面、施工工艺环节以及设备配置状况来开展审计工作，以此来促使预算能够做到准确无误，资源配置也能够合理妥当，从而避免在设计阶段因为预测不够充分而致使后续出现成本失控的状况。除此之外，审计工作还应当对设计变更加以严格的把控，要结合现场的实际状况以及相关的技术规范，去评估变更的必要性以及其可能产生的经济影响，防止由于无序变更而引发的预算不断膨胀的情况。这一阶段的跟踪审计为后续施工造价控制筑牢了稳固的基础，称得上是保证新疆建筑项目在经济效益方面以及技术质量层面的关键环节所在。

3.2 施工阶段的动态造价跟踪审计

施工阶段属于建筑工程造价出现变化最为频繁且管理起来难度颇大的时期，在新疆地区，施工环境存在诸多不确定性，像是昼夜之间温差偏大、气候条件较为恶劣，而且部分偏远地区交通运输也颇为困难等情况，这些因素统统会对工程进度、材料成本以及劳务支出带来直接的影响。全过程造价跟踪审计在此阶段所肩负的主要职责便是实时去监控项目实施进程当中的各类成本支出，务必要保证所有的经济活动都能够处在预算所划定的控制范围当中。审计人员需要借助审查施工单位所出具的月度工程进度报表、现场材料采购的相关记录、人工使用的具体明细等一系列的数据，以此来掌握成本的动态走向，能够及时察觉到潜在存在的成本异常或者资源出现浪费的情形，并且针对工程变更、工程签证这类比较敏感的事项展开实地的核实工作以及进行数据方面的比对操作。与此还得着重对施工单位是否依照合同规定的要求以及招标文件所明确的标准来执行工程相关事宜予以监督，防范出现擅自更换材料、随意改变工艺流程又或者是虚报工程量这类行为的发生情况。借助信息化审计平台，达成对成本数据实现可视化的呈现以及动态的更新效果，以此提升审计工作的效率以及精准程度，从而为建设单位更为科学地调整项目资源配置、更为合理地安排施工计划给予强有力的支撑，最终实现对整个项目经济效益以及建设质量的双重保障作用。

3.3 竣工结算阶段的造价审计重点

竣工结算阶段作为全过程造价跟踪审计的最后一个环节，同时也是工程成本最终得以确认以及经济效益进行评估的重要节点，在新疆地区，竣工结算通常会涉及多项变更、追加以及分包项目，使得审计任务颇具挑战性。跟踪审计在这个阶段的主要重点在于对工程量进行全方位的核查，对合同执行情况进行审验，并且确认所有结算数据具备合法性与真实性。审计人员需要参照合同条款、施工图纸以及现场的实际完成情况，一项一项地去核对工程量清单，审查施工单位所提交的结算资料是不是规范且完整的。得针对工程变更、临时签证项目展开严格的核实工作，尤其在新疆地区，因为气候或者地质等客观因素致使工程出现调整的情况比较多，所以更要结合变更的原因、施工记录以及实际发生的工程内容来开展详尽的审查，以此确保费用调整是合理的并且依据是充足的。除此之外，审计还应当关注项目中间支付以及进度款结算的情况，避免出现重复计价以及超额支付的现象。凭借严谨细致的审计流程，不但能够规范工程结算的行为，防范腐败以及违

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

规操作的发生，而且还可以为相关项目的后续管理、财政拨付以及财务决算给予真实且可靠的数据支撑。

3.4 工程变更与追加造价的跟踪审计

在建筑工程开展建设期间，工程变更以及追加造价这类情况往往是难以避免的管理方面难题。特别是在新疆这一地区，存在着诸多不可预估的因素，像地质方面的条件、气候出现的变化、物资的供应状况等等，都有可能致使项目产生调整变动。全过程跟踪审计在处理这一难题的时候，起到了十分关键的监督以及平衡方面的作用[1]。一开始，审计人员得从制度以及程序这两方面去着手展开工作，要保证所有的变更都能够经过相应的审批流程，并且具备完整的有关技术以及经济方面的依据，坚决杜绝那种“先施工后签证”或者“先实施后结算”之类的不符合规定的行为出现。对于追加造价的这部分内容，务必要和原始的预算去做比对分析，要合理地去评估新增项目给整体造价所带来的影响，并且依据市场的实际行情以及当地的实际情况价格水平来核算变更费用，以此来防止出现虚高的报价或者是不合理的涨价情况发生。接着，审计工作需要实时地对项目预算加以更新，要动态地去调整各项成本控制的指标，维持审计工作和项目进展处于同步的状态。与此还应当针对工程变更背后所隐藏的管理逻辑展开反思，从源头处去查找是不是存在设计不够周全、勘察有所欠缺、管理方面有缺失等深层次的原因，并且提出相应的优化方面的建议。凭借全过程、全节点的跟踪审计举措，切实有效地保障工程变更具备合理性并且处于可控的状态，进而提升项目整体在经济管理方面的水平，防范工程造价风险不断扩大的情况出现。

4 提升建筑工程造价跟踪审计水平的对策建议

4.1 推进审计信息化建设

信息化手段对于提升全过程造价跟踪审计的效率以及精准度而言，称得上是极为关键的因素。就新疆地区来讲，其地域广阔且人口稀少，工程项目呈现出分布点众多、分布范围广泛的特点，传统的手工审计方式很难契合对审计效率、精度以及实时性方面所提出的较高要求。所以，需要加快推进能够涵盖工程造价整个过程的数字审计平台建设工作，凭借大数据、物联网、人工智能等相关技术，达成对项目数据的自动采集、智能分析以及预警管理的目标[2]。该系统务必要针对预算、合同、进度、支付以及变更等关键环节，在全过程层面实现数据追踪，并且要构建起统一的数据标准与接口规范，以此来冲破信息壁垒，促进数据在互联方面的共享。除此之外，还应当积极推动“移动审计”以及“远程监管”模式，以此提升审计在空间方面的覆盖能力以及工作的便捷程度，促使审计工作从以往单纯的“事后查错”逐步转变为“过程控制”，进而全面提高新疆建筑项目审计的现代化水平。

4.2 强化专业人才培养与队伍建设

为了确保全过程造价跟踪审计工作具备专业性并能实现可持续发展，应当重视审计人才队伍建设方面的工作。借助强化岗位培训、鼓励开展职业资格认证以及积极推动跨专业复合型人才的引进等举措，可促使审计人员的技术能力以及实务水平得以提升[3]。与此构建起多层次的人才梯队，并且对审计组织结构加以优化，这对于提升审计队伍的整体执行力以及协同效能是有帮助的。

5 结语

全过程造价跟踪审计属于新时代建筑工程管理的关键手段，已然逐步变成提升项目经济效益以及风险防控水平的重要途径。本文依据新疆地区建筑工程的实际情况，对工程造价管理的现状和存在的问题展开系统分析，明确阐述了造价跟踪审计的重要意义，深入阐述了其在工程建设各个阶段的具体运用方式，还给出了行之有效的优化策略。实践表明，推动全过程跟踪审计在新疆建筑工程当中的广泛应用，一方面有利于提高项目管理的科学性与透明度，另一方面能够有效整合资源、提升资金使用效益、强化施工质量与安全控制，最终达成经济、技术与社会效益的统一。在未来，需要持续深化制度改革，强化审计技术创新以及专业人才储备，构建起制度化、规范化、智能化的全过程造价审计体系，以此为新疆建筑行业的高质量发展给予有力保障。

[参考文献]

[1]王蕾.全过程跟踪审计在建筑工程中的应用研究[J].房地产世界,2023(5):124-126.

[2]丁凯.建筑工程造价跟踪审计在建筑工程全过程中的应用[J].居业,2021(4):110-111.

[3]李一哲.建筑工程造价全过程标准化跟踪审计的应用[J].江苏建材,2024(1):136-138.

作者简介：张铭（1983.7—），毕业于：塔里木大学，所学专业：土木工程，当前就职单位名称：阿克苏地区城乡建设服务中心，职务：阿克苏地区城乡建设服务中心副主任。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建设工程质量监督管理模式创新与实践研究

华月玲
青海省海东市乐都区住房和城乡建设局，青海 海东 810700

[摘要]随着我国城市化推进速度不断加快，建设工程质量问题愈发受到社会各界的关注，质量监督是保障工程安全、促进建筑行业健康发展的重要环节，其管理模式的创新与实践格外重要。从质量监督站的角度出发，全面分析当前建设工程质量监督管理的现状以及存在的问题，深入研究现代质量管理理念与信息化技术对监督管理模式的作用，着重说明智能监督平台建设、全过程动态监督、多方协同机制等创新实践路径，结合实际情况展开分析，最后给出优化质量监督管理模式的建议，为质量监督站提高监管效能、推动建筑行业高质量发展提供理论依据与实践指引。

[关键词]建设工程；质量监督管理；模式创新
DOI：10.33142/sca.v8i7.17138 中图分类号：TU712.3 文献标识码：A

Research on Innovation and Practice of Construction Quality Supervision and Management Mode

HUA Yueling
Qinghai Haidong Ledu Housing and Urban Rural Development Bureau, Haidong, Qinghai, 810700, China

Abstract: With the continuous acceleration of urbanization in China, the quality of construction projects has received increasing attention from all sectors of society. Quality supervision is an important link in ensuring project safety and promoting the healthy development of the construction industry. The innovation and practice of its management mode are particularly important. Starting from the perspective of the quality supervision station, comprehensively analyze the current situation and existing problems of construction project quality supervision and management, deeply study the role of modern quality management concepts and information technology in the supervision and management mode, and focus on innovative practical paths such as intelligent supervision platform construction, whole process dynamic supervision, and multi-party collaboration mechanism. Based on the actual situation, analyze and provide suggestions for optimizing the quality supervision and management mode, providing theoretical basis and practical guidance for the quality supervision station to improve regulatory efficiency and promote high-quality development of the construction industry.

Keywords: construction project; quality supervision and management; mode innovation

引言

建设工程的质量状况，一方面关乎建筑物能否安全地投入使用，另一方面也是确保人民群众生命财产安全以及城市能够实现可持续发展的关键基石。近些年来，随着建设项目数量持续增加，而且技术复杂程度也在不断提升，在这样的情况下，传统的质量监督管理模式就面临着不少的难题。质量监督站作为处于基层的质量监管主体，有着保障工程质量、规范施工行为以及推动行业标准得以执行等重要职责。不过，传统监督方式所存在的种种局限性慢慢凸显出来了，像人力资源方面存在短缺情况、监督技术手段较为落后、协同监管机制有所缺失等等这些问题，对监督效果的提升造成了极为严重的制约作用。在这样的背景下，创新质量监督管理模式已然成为推动建筑行业完成转型升级以及达成质量安全保障目标的迫切需要。本文依据质量监督站实际开展的工作，聚焦于监督管理当前的实际情况、存在的各类问题以及创新所涉及的理论基础等方面，全面且细致地总结了创新实践探索所取得的成果，希望能够为未来的质量监督管理工作给出有效的路径指引以及策略方面的有力支撑。

1 建设工程质量监督管理现状分析

当前，我国建设工程质量监督管理正逐步从传统单一的现场检查模式朝着多元化、智能化管理方式转变。质量监督站作为具体的执法主体，肩负着监督施工过程、检测工程质量以及协调相关部门等诸多职责。在实际工作当中，监督站已经构建起相对较为完善的法规体系与管理流程，清晰明确了各方责任主体，并且强化了针对违法行为的处罚力度。与此信息化技术的应用也逐渐变得更为普及，像质量管理信息平台、移动执法终端这类工具的运用，切实提高了监督工作的效率，同时也增强了数据的透明度。除此之外，监督站还积极引入第三方检测机构来参与质量评估活动，以此进一步增强监督工作的客观性以及权威性。即便如此，监督管理依然面临着人力资源存在局限、技术装备有所欠缺以及部分地方执法不够严格等一系列问题，这些问题对监督的深度以及广度都产生了影响。从整体情况来看，质量监督管理正朝着信息化、科学化的方向不断发展，监督站在推动监管体系实现现代化的过程中发挥出

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

了极为重要的作用，不过仍然需要持续不断地加以完善，以便能够有效应对复杂且多变的工程建设环境。

2 传统质量监督管理模式存在的问题

2.1 人员配置与专业能力不足

质量监督站于传统监督模式之中，人员配置不足的情况普遍存在，特别是在工程项目较为密集的区域，监督人员很难达成全覆盖的状态。监督人员的专业技能以及业务水平呈现出参差不齐的状况，有一部分人员缺少系统的培训以及实践经验，所以在复杂工程当中，难以精准地判断其中的质量问题。人员的流动性比较大，经验积累不够充分，这便对监督工作的连续性以及专业深度产生了影响。人员在数量方面与质量方面均存在不足，这不但增加了监督盲区的存在，还使得执法公信力以及效率有所降低。面对新技术、新材料持续不断地涌现出来的情况，监督人员的专业适应能力需要迫切地提升，以此来满足日趋复杂的工程质量管理方面的诸多需求。

2.2 监督技术手段落后，信息化应用不足

当前不少质量监督站依靠传统的人工现场巡查以及纸质档案管理方式，缺少现代信息技术方面的有效支持。信息化工具与智能设备的应用才刚刚开始，还没建立起系统的数据采集、分析以及预警机制，监督过程中存在信息滞后的状况，数据孤岛的问题比较严重。由于缺少实时监控的方式，使得工程质量问题很难及时察觉并处理。信息化水平不高还限制了跨部门协作以及资源共享，没办法达成监督资源的最佳配置，也无法做到风险的动态管理，这对质量监督工作的科学性以及精准性产生了很大影响。

2.3 监督执法难度及违规行为查处不力

在传统的管理模式当中，监督执法力度不足已然成为一种普遍存在的现象。有一部分违法违规的行为，因为取证起来比较困难，并且处罚程序也相当繁琐等缘故，所以没有能够及时且有效地得到处理，甚至还存在着执法不够严格以及执法标准不统一等诸多情况，如此一来便致使监管所具有的威慑力出现了下降的态势。与此监督执法在规范化方面以及透明度层面都存在着不足之处，这对公众对于质量监督工作所抱有的信任产生了影响。执法难度之大还体现在监督站和施工单位之间存在着利益方面的博弈，在这样的情况下，部分执法人员面临着较大的压力，而且执法环境也不是很完善，这些因素都在一定程度上制约了依法开展监管工作的力度。

2.4 协同监管机制不健全

建设工程质量监督涉及到多个部门以及单位，并且单一部门很难达成全面监管的目的。在传统模式当中，各个监管主体彼此之间缺少行之有效的沟通以及协作机制，信息共享的渠道也不够通畅，如此一来，便致使监督资源出现分散的情况，重复检查以及监管盲区同时存在。并且由于缺少联动机制，所以质量风险没办法获得及时的响应以及协同处置，监管效能也因此受到了很大影响。除此之外，还缺少统一的质量管理标准以及综合评价体系，这就很难形成合力来推动质量的提升。健全的协同监管机制对于实现科学监督以及风险防控而言是极为关键的。

3 质量监督管理模式创新理论基础

3.1 现代质量管理理念与方法

现代质量管理着重于全过程控制以及持续改进方面，其强调从设计环节开始一直到采购、施工乃至验收整个周期都得有质量保障，尤其看重预防优先这一原则以及风险管理事宜。依照全面质量管理也就是 TQM 理念还有精益管理理念来开展工作，要强调各个参与方把责任切实落实到位并且做好协同配合，以此推动质量管理朝着系统化与标准化方向发展。还要强化依靠数据来驱动决策的做法，构建起科学的质量评价体系，达成监督工作精准且高效的成效，从而给监管创新给予理论层面的有力支撑。

3.2 信息化与智能化技术在监督中的应用潜力

信息技术发展快，给质量监督模式创新带来技术保障，大数据、物联网、人工智能、移动互联网等技术可实时采集、智能分析、预测风险，智能平台集成视频、传感器数据、工程管理信息，帮监督人员判断质量状况，发现异常，智能化技术还促进远程监控、无纸化办公，提高监督效率、透明度，推动监管方式数字化、智能化转型。

3.3 多方协同与联动监管理论

多方协同监管着重于监管部门、施工单位、第三方机构以及公众彼此间的信息共享以及责任共担，以此来构建起监管合力。依照系统论还有协同理论，去搭建跨部门、跨领域的监管网络，达成资源整合以及功能互补的目的。借助联动机制，对监管流程予以优化，增强风险防控的能力，进而形成闭环监管体系。多方协同一方面能够提升监督的效率，另一方面也强化了监管的社会公信力以及参与程度，这无疑是在提升质量管理水平方面极为重要的一个方向。

3.4 风险预警与动态管理机制

风险预警机制作为质量监督模式创新的关键内容，凭借信息化平台来达成对潜在质量风险的动态监测以及预警目标。建立起质量风险指标体系，并构建实时数据监控模型，如此便能够及时察觉到异常信号，进而提前介入并开展处置工作。动态管理机制着重于监督工作的持续追踪与相应调整，以此保证风险能够得到有效的把控。风险预警以及动态管理推动监督从单纯的被动应对转变为积极的主动预防，促使监管在科学性与有效性方面都得以提升。

4 质量监督管理模式创新实践探索

4.1 智能监督平台的建设与应用

智能监督平台在建设过程中，其建设工作大幅度地提高了质量监督方面的数字化程度，已然成为了推动建设工程质量管理迈向现代化进程当中的重要助力。此平台把工程项目管理相关内容、质量检测所获取的数据、施工现场的监控视频还有与之相关的法规标准库都进行了集成处理，达成了对多维度数据实施统一管理的目标，并且能够

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

做到实时动态地进行更新操作，如此一来便确保了信息具备完整性以及准确性这两个特性。监督人员有了配备的移动终端设备之后，便能够想什么时候调取施工现场的实时信息以及历史数据就什么时候调取，无论身处何地皆可操作，这对于远程执法、质量评估以及问题追踪都给予了有力支持，切实有效地减少了现场存在的盲区以及信息出现滞后的那种情况。平台自身还设有先进的自动预警功能，该功能可凭借大数据分析以及人工智能算法针对潜在的质量风险展开智能识别以及预判工作，进而助力质量监督站提早介入进去，采取行之有效的举措来开展风险防控相关事宜。智能监督平台在实际应用方面，一方面极大地提升了监督的效率，另一方面也降低了人力方面的成本开支，同时还让监督工作的透明程度以及科学性都得到了增强，促使监管决策变得更加精准且更为及时，推动了工程质量管理朝着智能化以及信息化的方向展开深度的转型变革。与此该平台给多部门协同监管搭建起了数据共享以及沟通交流的桥梁，推动了监管资源的整合以及优化工作，切实有效地提升了整体质量监督的水平以及在社会层面的公信力。

4.2 推行全过程动态质量监督管理

全过程动态监督管理模式着重于从项目立项一直到最后验收这一整个流程当中的质量监管，尤其重视对全过程展开动态跟踪以及给予实时反馈，务必要让每个环节的质量都能够处于严格的把控状态之下。质量监督站借助建立起详尽完备的项目质量档案以及科学合理的进度跟踪机制，达成对各个关键节点的质量把控目的，同时也可开展风险评估工作，以此来防止质量管理当中出现盲区以及薄弱环节的情况。动态管理模式依靠持续不断地监测以及对数据加以分析，能够保证在各个阶段所出现的质量问题可以被及时地察觉到、精准地定位好，并且还能迅速地进行整改处理，彻底杜绝质量隐患不断积累并且四处扩散的现象[1]。这种模式不但提升了质量监督工作的系统性与连续性，而且强化了监督工作的针对性以及实际效果，而且还有效地减少了建设工程里因为质量问题而引发的各种风险，推动了工程质量逐步得到提升，也保障了工程的安全。与此全过程动态监督管理还促进了信息的共享以及多方的协同合作，增进了建设单位、施工方以及监督机构彼此之间的沟通与协作，进一步将质量管理体系予以完善，提高了工程建设的整体水准以及公众对于工程质量的满意程度。

4.3 多部门联动及第三方机构参与机制

为了对单一监管力量存在的不足加以弥补，监督站积极去推动多个部门展开联动监管，进而建立起信息共享以及协同执法方面的机制，以此来形成监管方面的合力。通过和建设、规划、安全等诸多相关部门开展紧密的合作，达成数据能够互通、资源可以共享以及实施联合执法的目的[2]。与此要充分地发挥出第三方检测机构所具备的专业优势，引入第三方的质量评估，以此增强监督所具有的独立性以及权威性。这样一种由多方协同构成的监管模式，使得监督效能得以提升，也推动了工程质量保障体系朝着更加完善的方向发展。

4.4 专业能力提升与人才培训体系建设

监督人员存在专业能力欠缺这一问题，监督站着重在人才培养以及培训体系建设方面下功夫。其定期开展业务培训活动，安排现场技能演练环节，并且搭建经验交流平台，以此促使监督人员的技术水平得以持续提升，执法能力也不断强化。与此还引入了质量管理领域、信息技术范畴等方向的专业人才，进而让队伍的整体素质得到增强。如此完善的培训体系可确保监督人员能适应新技术、新材料以及新工艺的发展需求，从而使得监督工作具备更强的专业性与更高的有效性。

4.5 创新执法方式与质量风险预警机制

监督站积极探寻执法方式方面的创新途径，把信息化手段融入其中，借此达成远程执法以及智能化取证的目标，进而促使执法效率得以提升，公正性也获得了增强。还建立起以数据分析作为基础的质量风险预警机制，能够对关键质量指标展开实时监测，一旦出现异常情况，便能及时发出预警，并且立刻启动相应的处置流程[3]。如此一来，将执法创新和风险预警巧妙结合起来，使得监管具备了更强的主动性以及更高的针对性，推动质量安全隐患能够尽早地被发现，尽早地得到整改，从而切实有效地提升了监督管理的整体水平。

5 结语

建设工程质量监督管理模式的创新乃是保障工程质量安全的一条必经之路。质量监督站身为基层监管主体，得立足于实际情况，进一步深化管理理念方面的改革，积极去运用信息化以及智能化技术，以此来推动全过程动态监管以及多方协同，进而全面提高监管效能与专业能力。在往后的日子里，需要持续对法规政策予以完善，强化人才队伍建设工作，完善协同机制，推动质量监督管理朝着更为科学、高效且智能化的方向不断发展。唯有不断地开展创新与实践，质量监督站才能够更好地去履行自身职责，保障建设工程的质量安全，从而为推动建筑行业实现高质量发展给予坚实的保障。

[参考文献]

[1]唐志成.新形势下建设工程质量监督管理模式的创新探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(36):46-48.
[2]朱子涵.新形势下建设工程质量监督管理模式的创新探讨[J].房地产世界,2022(6):79-81.
[3]刘宏涛.建设工程质量监督管理的管理模式创新思考[J].陶瓷,2020(10):140-141.

作者简介：华月玲（1986.9—），毕业院校：九江学院，所学专业：土木工程，就职单位名称：乐都区住房和城乡建设局，职务：干部，职称级别：中级八级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑工程造价的动态管理控制措施研究

李新鸿
青海锦鸿工程项目管理有限公司，青海 西宁 810000

[摘要]建筑工程造价管理不再是单纯的静态控制模式了，逐步演化为动态管理控制，这是在建筑行业发展以及市场竞争变激烈的背景下发生的。动态管理控制对于保障工程项目的成本合理、提高资源配置效率具有重要意义。文中着重讲建筑工程造价动态管理的关键问题，仔细分析了它受哪些因素影响，像设计变更、材料价格有波动还有外部政策环境会起干扰作用。当下造价管理存在制度不够完善、信息化程度不高、专业能力欠缺等问题，提出要构建动态管理体系、把预算调整机制弄完善、强化施工过程控制并且让信息技术得到充分应用，希望通过这些综合策略给建筑工程造价的科学控制给予系统支撑以及理论依据。

[关键词]建筑工程造价；动态管理；控制措施
DOI：10.33142/sca.v8i7.17130　　中图分类号：TU198　　文献标识码：A

Research on Dynamic Management and Control Measures of Construction Engineering Cost

LI Xinhong
Qinghai Jinhong Engineering Project Management Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

Abstract: Cost management in construction projects is no longer a simple static control mode, but has gradually evolved into dynamic management control, which has occurred against the backdrop of the development of the construction industry and fierce market competition. Dynamic management control is of great significance in ensuring the reasonable cost of engineering projects and improving resource allocation efficiency. The article focuses on the key issues of dynamic management of construction project costs, carefully analyzing the factors that affect it, such as design changes, fluctuations in material prices, and external policy environments that can interfere. At present, there are problems in cost management such as incomplete systems, low level of informatization, and lack of professional capabilities. It is proposed to build a dynamic management system, improve the budget adjustment mechanism, strengthen construction process control, and fully apply information technology. It is hoped that these comprehensive strategies will provide systematic support and theoretical basis for the scientific control of construction project costs.

Keywords: construction project cost; dynamic management; control measures

引言

在现代建筑工程项目当中，造价管理属于全过程管理极为关键的部分，它的控制水准会对工程投资效益以及项目管理效率产生直接的影响。传统造价管理的方式是把定额当作基础，着重于事前的预算以及事后的结算，对于过程里缺少动态的调节以及实时的控制，所以很难契合当下建筑项目复杂且多变的特性。动态管理控制着重于对造价全过程实施动态的监控、灵活的调整以及系统的优化，它不但重视成本数据的收集与分析，而且更加看重借助科学管理的手段来提高项目运行的效率以及经济方面的效益。本文选取建筑工程项目当作研究的对象，围绕着动态管理的控制原则、影响因素、现实存在的问题以及策略优化展开系统性的探讨，盼望着能给建筑企业处在复杂项目环境之下达成造价的科学控制给予理论方面的参考以及实践层面的指引。

1 建筑工程造价动态控制的原则

目前，传统建筑原有的定额造价管理方式正逐步转变为动态控制的方式。在进行建筑工程造价的动态控制管理过程中，相关的造价管理人员应遵循以下原则：其一，将相关的管理责任落实到个人。在建筑工程造价控制过程中，它不仅是财务部门的工作，还与每个施工人员有着密切的联系。相关的管理部门应制定完善的责任管理制度，并根据实际的运行情况以及管理制度等进行整体的优化与创新。对相关的责任人以及其应承担的责任等进行明确，对于细化流程的各个运行环节，需要动态管理和控制责任的内容进行详细规划，并确保这些要求落实到每个管理人员的岗位上，以确保他们能够全面实时地掌握企业各类重大造价成本费用波动的控制因素，从而有效地控制运行成本。其次，建筑工程造价动态管理方面受到多种因素影响。为了控制这些影响因素，提高造价风险的动态管控效果，在实施过程中要把经济控制与工程技术防范结合起来。例如，考虑现代高新技术体系的应用条件等各种复杂因素。为了快速实现建设成本控制，在全程过程中，造价研究人员要善于运用先进的高新技术，以动态不断调整和优化预算管控方案系统，从而确保项目工程造价的变动在合理可控的范围内。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 建筑工程造价动态管理的关键因素分析

2.1 设计变更因素

设计变更乃是建筑工程造价出现动态波动的关键诱发因素。在项目的具体实施进程当中，因为建设方面的需求有所调整、技术标准发生了更新或者现场的实际条件出现了变化等诸多缘由，原有的设计方案常常得要做出局部乃至整体层面的修改改动。而这些变更情况很可能会致使施工工艺产生调整变动、材料需要重新展开采购以及施工顺序得重新加以排列等各类状况，如此一来便有可能引发成本出现增加的情形。尤其是在那些规模较大或者结构复杂的工程项目里，设计变更不但频次颇高，而且所涉及的范围也极为广泛，它对于工程造价所产生的影响呈现出明显的滞后特性以及叠加特性。设计阶段在管理上不够严谨、协调沟通方面的机制不够完善，这往往是引发变更的一些常见原因所在。所以说，动态造价管理务必要对设计环节给予高度的关注重视，要强化针对设计评审以及变更审批的相关制度建设，以此来提升前期设计工作的质量水准，从而降低变更出现的频次以及减少成本方面的风险，进而达成对造价波动的预先控制目的。

2.2 材料与劳务价格波动

建筑材料以及人工费用在工程总造价里所占的比例颇为显著，其市场价格的起伏变化会直接对项目成本产生影响。近些年来，受到经济周期、供应链做出调整、政策加以调控等诸多因素的作用，材料价格普遍呈现出一种不太稳定的态势，像钢材、水泥、木材这类主要建材的价格波动更是格外激烈。与此劳动力成本因为人口结构出现变化、劳动政策有所调整以及技能型人才存在短缺等原因而持续上涨。在动态管理的过程当中，管理人员应当去建立并完善材料与劳务价格的监测机制，以便及时把握市场的动态情况，并且要借助合理的采购策略以及合同条款来降低成本波动所带来的风险。动态预算调整机制也得针对材料与人工成本展开科学的预估并作出灵活的响应，以此保证工程成本能够控制在合理的区间范围之内。

2.3 政策法规及市场环境变化

政策法规以及市场环境在建筑工程造价动态管理方面属于不可被忽视的外部因素。政府针对工程审批、税费征收还有环保要求等方面所做出的制度方面的调整，通常会对工程成本结构产生直接的影响。就好比说，新颁布实施的环保规范很可能会让项目被迫去更换材料或者采用全新的技术，如此一来便使得成本有所增加；然而税收优惠政策却有可能促使综合造价得以降低。除此之外，金融市场出现的变化、产业政策发生转向以及突发的公共事件等等情况，同样也有可能会使得项目的预算以及投资计划被打乱。所以说，在动态管理的过程中需要进一步强化对政策的敏感程度以及市场预测的能力，要建立起政策预警以及应对的相关机制，以此来提高对于外部不确定性加以管理的水平，从而保证工程造价具备合理性并且能够处于可控的状态之中。

3 建筑工程造价动态管理中存在的问题分析

3.1 造价管理制度不完善

当前大部分建筑企业，在动态管理机制建设方面大多还停留在初始阶段，其造价管理制度有着十分突出的缺陷。从一个方面来讲，这些企业在制度层面上缺少针对全过程动态控制做出的完整规定，这就使得造价管理更多地依靠经验来做出判断，从而缺乏科学依据以及规范遵循。从另一个方面来讲，现有的制度和实际项目的运行之间存在脱节情况，很难去应对在项目实施过程中频频出现的设计调整、材料价格起伏波动以及进度变更等一系列问题。除此之外，还存在着制度执行力不够强大、奖惩机制不够完善、责任体系不够清晰明确等诸多问题，这些问题又进一步削减了制度所具有的实际效能。所以，强化制度建设、完善责任机制，应当成为推动造价动态管理能够有效运行的首要任务所在。

3.2 信息化水平不足

虽然信息化于建筑行业的发展颇为快速，然而其在造价动态管理方面的深度运用却依旧不够充分。部分企业大多是以人工报表以及静态数据分析作为主要手段，如此一来便很难达成数据的实时共享以及动态更新，进而致使决策出现滞后的情况，反应也较为迟缓。特别是在项目存在多点协同、数据体量颇大且变更频发这样的背景之下，缺少统一的信息管理平台对管理效率产生了极为严重的影响。与此像 BIM、ERP 这类先进的信息系统并没有和造价管理充分地融合在一起，这就使得信息技术在造价控制当中呈现出“看得见、用不上”的状况仍旧存续着。所以，要提高信息化的基础水平，强化系统的集成以及功能的应用，这无疑是推动造价动态管理朝着科学化、智能化方向发展的关键途径。

3.3 预算执行与控制不到位

预算是动态造价控制所不可或缺的基础工具，其实际的执行效果会对项目成本的达成程度产生直接影响。然而在部分项目当中，预算编制往往只是流于表面的形式，并且严重缺乏针对项目实际动态情况所做的前瞻性预测，如此一来便致使控制标准失去了应有的效力。与此在预算执行的整个过程当中，还存在着缺乏行之有效的跟踪、反馈以及修正等一系列机制的情况，进而使得项目出现了诸如费用超支、资金出现流失等诸多问题。部分企业还存在着预算管理与实际操作呈现出“两张皮”这样一种现象，也就是说预算管控并没有真正地渗透到施工过程当中的每一个具体环节，其原本应有的控制作用也因此受到了很大程度的削弱。所以应当从预算编制方面的科学合理性、执行过程当中的动态调整机制方面，还有预算与施工管理的深度融合等多个不同层面去着手展开相关工作，以此来促使预算管控能

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

够具备更强的系统性并且取得更为显著的实效性。

4 建筑工程造价动态管理的实施策略

4.1 建立动态管理体系

建立起科学的动态管理体系，这可是实现对建筑工程造价予以有效控制的关键所在。这一体系得把全过程各个不同环节都涵盖进去，要构建起一个完整的管理链条，这里面包含了成本预测、实时监控、动态调整以及绩效评估等诸多方面。从制度层面来讲，需要明确各个部门各自的职责分工情况，建立起跨部门能够协同开展工作的那种工作机制，以此来强化责任的落实程度以及信息的共享状况；在流程设计这个层面上，应当依据项目的实际情况去设置预警机制以及相应的应对策略，进而提升自身的应变能力以及调整的效率；就组织保障而言，得设立专门负责造价动态控制的团队，由其统一来协调设计、采购、施工等这些关键环节，从而保证各项控制措施能够切实落地并得以执行[1]。通过开展体系化的建设工作，能够让管理具备更强的系统性以及前瞻性，进而为造价控制筑牢坚实的支撑。

4.2 预算编制与动态调整机制

预算乃是动态管理的起点所在，也是其基准参照。而预算的编制质量的好坏，会实实在在地影响到后续的控制成效。科学合理的预算，应当是在详尽的工程量分析、合理的市场价格预测以及充分的风险预估这样的基础之上去建立起来的，并且还应当具备一定的弹性以及可供调整的空间余地。在项目的执行进程当中，需要建立起预算的动态调整相关机制。对于设计方面的变更情况、市场价格出现的波动状况以及施工计划所发生的变更情形等，要及时地去修订预算方面的数据内容，并且要重新去设定相应的控制目标[2]。除此之外，还得强化对预算执行过程当中的监督以及评估工作，借助数据的对比分析、偏差的剖析以及反馈的优化等一系列手段举措，不断地提升预算管理在精度方面以及适应性方面所达到的水准，从而达成在动态环境下对预算能够实现持续且有效的管控这样一个目的。

4.3 施工过程成本监控

施工阶段在造价控制方面占据着极为关键的地位，务必要达成对成本数据从始至终的动态监控状态。一开始应当着手构建施工数据的实时采集体系，该体系要把材料的进出情况、人工的投入状况、设备的使用情形以及进度的完成程度等这些关键指标都涵盖进去，进而打造出一套完整且精准的数据根基。接着要借助信息平台来完成成本数据的集中处理工作以及动态更新事宜，如此一来便能够方便各个相关方实时知晓项目成本的实际状况以及其变化的发展趋向。再者还应当建立起异常预警以及相应的处理机制，针对可能出现的超支风险给予及时的干预举措，避免让问题进一步扩大延伸开来[3]。与此需要把成本监控和项目绩效考核相互结合起来，以此来激发各个参与方提升自身的成本意识，强化在整个过程当中的成本控制所具有的主动性和执行方面的力度。

4.4 信息技术的应用

信息技术对于提升建筑工程造价动态管理的效能而言，称得上是极为重要的一种工具。在当下数字化转型进程不断加速这样的大背景之下，应当充分挖掘并发挥像BIM、ERP、项目管理软件以及大数据分析等一系列技术所具有的优势，这些优势体现在信息整合、流程控制以及数据预测等诸多方面。具体来讲，依靠 BIM 技术能够达成从设计环节、采购环节一直到施工环节的全生命周期数据集成，并且实现可视化的管理方式，如此一来便能为成本控制给予较为精准的依据。借助 ERP 系统则可以实现对财务相关信息、进度相关信息以及物资相关信息等的一体化管理，进而提升数据共享的效率，同时让决策更具科学性。凭借大数据技术能够针对历史成本数据展开分析，并且对成本趋势做出预测，以此提高预算编制以及调整工作的精准程度。要全面提高信息技术在动态造价管理当中的应用程度，这无疑是实现智能化以及精细化管理的一条关键路径。

5 结语

建筑工程造价动态管理控制对于达成工程项目成本的优化以及效益的提升而言，无疑是极为重要的保障手段。本文从动态管理当中那些关键的因素着手去探讨，较为系统地剖析了当下管理实践里所存在的种种问题，与此还综合行业的发展趋向，给出了一系列多维度的策略方面的建议。在未来，伴随建筑行业信息化以及智能化程度的持续提高，动态造价管理也会逐步朝着系统化和智能化的方向去发展。建筑企业需要顺应这一变革趋势，不断地去完善自身的管理制度，着力强化人员的能力水平，进一步深化信息技术的应用程度，促使造价管理从单纯依靠经验的状态转变为由数据来驱动的状态，进而实现项目在整个过程当中的高效运转、可控制并且透明化的操作，以此为企业可持续发展筑牢稳固的基础。

[参考文献]

[1]张秋仲.建筑工程造价的动态管理控制研究[J].建材发展导向,2024,22(24):130-132.
[2]李夏玫.建筑工程造价动态管理与成本优化控制策略[J].居业,2024(10):128-130.
[3]刘琳.建筑工程造价的动态管理与成本优化控制[J].中国招标,2024(5):117-119.

作者简介：李新鸿（1994.4—），毕业院校：华北电力大学科技学院，所学专业：工程造价，当前就职单位名称：青海锦鸿工程项目管理有限公司，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑工程管理中精细化管理的应用与效果评估

管颢帆
温州浙瓯物产管理有限公司，浙江 温州 325000

[摘要]建筑行业快速发展且现代工程对质量、安全、效率要求很高，传统粗放型管理模式满足不了，文章研究建筑工程管理中的精细化管理，系统分析在组织制度、施工流程、质量控制等方面的具体应用并探讨其在提高工程效益、保障施工安全、提升项目质量方面的作用，还实证评估实施效果，结果显示精细化管理模式对提升建筑工程综合管理水平有帮助且能为行业发展提供可靠技术支撑和管理范式。

[关键词]建筑工程；精细化管理；项目控制；施工效率；质量评估
DOI：10.33142/sca.v8i7.17127　　中图分类号：TU17　　文献标识码：A

Application and Effect Evaluation of Fine Management in Construction Project Management

GUAN Haofan
Wenzhou Zheou Property Management Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: With the rapid development of the construction industry and the high requirements for quality, safety, and efficiency in modern engineering, the traditional extensive management model cannot meet the needs. This article studies the refined management in construction project management, systematically analyzes its specific applications in organizational systems, construction processes, quality control, and explores its role in improving project efficiency, ensuring construction safety, and enhancing project quality. It also empirically evaluates the implementation effect. The results show that the refined management model is helpful in improving the comprehensive management level of construction projects and can provide reliable technical support and management paradigms for industry development.

Keywords: construction engineering; refined management; project control; construction efficiency; quality assessment

引言

建筑工程是一种高度复杂、涉及多工种、多流程、多环节的系统工程，当前行业普遍存在管理标准不统一、资源利用效率低、质量安全隐患突出等问题，精细化管理这种以“标准化、量化、流程化”为核心理念的现代管理方式正逐步被引入建筑工程实践，从实际工程管理角度出发，本文深入剖析精细化管理的具体实施路径和核心技术环节并结合实际效果评估，想给建筑项目提升管理效能提供理论基础和实践指导。

1 精细化管理理念在建筑工程中的引入背景

1.1 行业发展对管理模式转型的需求

城市化进程加快建筑行业竞争加剧，建筑工程项目规模越来越大、建设周期变长且管理内容复杂，传统粗放型管理模式在实际工程中暴露出资源浪费、施工效率不高、质量控制不易、管理流程不清等诸多问题，难以适应现代建筑项目高效优质安全的管理要求，国家对工程质量与安全制定了更高标准，建筑企业受到的监管压力和市场挑战不断增加，行业迫切需要一种更系统、可控、可量化且能让项目管理更科学规范的新型管理模式，精细化管理理念便在这种情况下逐渐应用到建筑工程管理实践中，成为推动行业升级的重要方法。

1.2 精细化管理的定义与特征

一种管理理念是精细化管理，其核心为“全流程控制、全要素优化、全过程量化”，强调在项目管理各个环节做到精确计划、标准执行、科学评估和持续改进，本质是用系统化手段把施工组织、资源配置、人员管理、技术措施等分解细化，让每一项工作任务都能对应到具体时间、人员和标准，从而使管理变得可视化、量化、流程化，具有“高标准、重细节、控节点、明责任”的特性，靠科学建模和实时监控提升施工的可控性与可预期性，并且注重闭环管理和反馈机制，重视数据支持与结果导向，追求管理效果最大、资源效益最优，是建筑项目精益管理的重要体现。

1.3 与传统管理模式的比较分析

传统建筑工程管理大多以经验和阶段控制为导向，缺乏系统性的流程体系，任务安排和资源调配常主观判断，使得管理弹性大、执行偏差多、协调效率低，在复杂工程任务或者多项目并行时容易进度延误、质量失控、安全隐患频发，而精细化管理在流程设置、资源调度、风险控制方面优势明显，与传统模式相比，其重视管理责任层层分解且执行路径标准化设计，强调科学决策要有数据支持且动态调控依靠信息系统辅助，管理过程更有条理、更透明，还提倡“事前计划-事中控制-事后评估”的全周期闭环运行机制，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

对工程全过程的把控能力更强，从根本上提高了项目执行的质量和效率，在现代建筑工程里，精细化管理正慢慢取代传统模式，是提升项目竞争力和管理水平的重要策略。

2 建筑工程中精细化管理的实施策略

2.1 组织架构与责任体系的精细化重构

建筑工程实施中，管理效率和执行力与组织架构是否科学直接相关，精细化管理着重把传统层级式、职责模糊的组织模式转变成扁平化、职责明晰、系统的管理体系，为此先得按项目特点设专业化职能部门，像质量控制部、安全管理部、成本核算部等，明确各部门职责与接口关系，防止职责重叠和推诿，要构建以岗位责任制为核心的责任体系，把每项工作任务细化到个人，落实到具体时间节点和执行标准，做到定人、定岗、定责，还得强化项目经理部在管理体系里的核心作用，保证其统筹调度、横向协调、纵向管理职能有效发挥，建立岗位绩效考核制度和激励机制，增强员工责任意识与执行力，达成从“要我做”到“我要做”的转变，提升整体管理效能。

2.2 施工计划与进度控制的细化执行

施工计划在精细化管理下，完整性只是要求的一方面，可实施性与动态调整能力更被看重，施工初期要结合工程实际编详细的项目总进度计划和阶段性施工计划并将它们分解成日计划、周计划和月度节点以构建“总控—分控—点控”三级进度管理体系，各工序间要明确衔接逻辑和时间参数来防止资源冲突和工序交叉，要配备专业进度控制人员实时监测计划执行情况并建立进度预警机制，一旦发现偏差就启动调整流程，技术手段上要借助项目管理软件和 BIM 系统对施工全程动态模拟、计划推演以提升计划可视化程度和执行精度，还要建立配套奖惩制度把进度绩效和人员考核挂钩来推动计划目标全面达成。

2.3 材料设备资源的标准化配置

工程成本与施工效率直接被建筑施工中的材料与设备资源管理所影响，精细化管理用标准化手段对资源配置流程予以优化且管控模式强调“事前规划、事中控制、事后追踪”这三位一体。得建立并健全材料和设备的分类编码体系以明确规格型号、使用范围、供应周期等基本信息，达成资源管理的信息化与系统化，在工程开始前要依据施工计划制定详细的资源需求计划和采购计划并和供应商建立长期合作机制以保证物资能及时到场、设备可高效调配。施工时借助现场扫码登记、库存实时更新等办法强化对物资的动态监控以避免资源被浪费和流失，建立资源使用分析机制定期评估材料损耗率与设备利用率给后续项目积累数据支撑促使资源配置不断优化、管理成本得到有效控制。

3 质量控制与安全管理中的精细化措施

3.1 施工质量检测的制度化与流程化

精细化管理强调施工质量控制的系统性与规范性，要求构建覆盖全过程的质量检测制度和科学流程。在制度建设方面，要参照国家与行业标准并结合项目实际制定严密的质量管理制度，明确质量责任人、检测频次、验收标准及奖惩机制，建立质量检查分级制度，涵盖自检、互检、交接检和专检等多个层级，以保证问题在萌芽阶段就被发现并处理。在流程执行时，施工各环节要设置质量控制节点，实行首件验收制度与过程旁站监督，做到每道工序“有依据、有记录、有反馈”，并且推广使用质量检测电子台账、影像记录与二维码追溯等技术手段，对施工过程中的材料、工艺、设备使用情况进行信息化管理，实现施工质量可溯源、可追责、可优化，保障项目整体质量水平稳步提升。

3.2 安全管理信息化平台的建设

建筑工程施工现场安全管理工作面广风险高，传统人工巡检方式难以满足管理的实时性和精准性，而构建安全管理信息化平台能集中采集、智能分析并可视化展示施工现场安全数据，提升管理的科学性和效率。平台集成视频监控、人员定位、环境监测、智能预警等功能，可全天候监控高空作业、深基坑、脚手架、塔吊等重点区域和设备，设定安全行为规则后，一旦出现违规操作或异常情况系统就会自动报警并推送到管理终端。平台还有辅助安全教育培训、隐患整改闭环管理的在线学习、考试、签到、整改追踪等模块，可提高施工人员安全意识和操作规范，其建设有助于打破信息孤岛，实现从人防到技防智防的转变。

3.3 风险识别与应急响应机制的精细化

已知风险要防控，这是精细化安全管理的要求且得建立起有系统性、前瞻性的风险识别与应急响应体系。风险识别这方面各专业部门得定期被组织起来开展风险识别评估工作并要把施工阶段、工艺特点、环境条件等因素考虑进去编出详细风险清单和分级分类管理策略。像临边作业、高空施工、吊装运输这些高风险作业得提前把专项风险防控措施制定好且安全技术交底与人员培训都得落实。应急响应方面得建立起统一指挥、分级响应的应急管理体系且要制定出各类突发事件的应急预案并定期组织应急演练以检验响应流程和协同能力，应急物资储备要完善、通讯系统要配备且要有联动机制以便突发事件发生的时候能够快速定位、迅速反应、有效处置，构建起制度化、专业化的风险防控与应急机制就能全面提升工程项目面对安全风险时的韧性和应变能力。

4 信息技术在精细化管理中的赋能应用

4.1 BIM 技术在工程流程管控中的整合

精细化管理中，建筑信息模型（BIM）技术是重要工具，在工程流程管控里起关键作用，通过建立可视化、数字化的三维模型，BIM 技术可将建筑结构、构件细节准确呈现出来，且能集成施工进度、材料信息、成本数据等多维信息，构建出“可视化+数据化”的综合管理平台，在项目实施时，方案比选、碰撞检测、施工模拟、进度控制都可使用 BIM 模型，从而有效避免设计冲突、施工返

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工，并且与施工计划联动可做到“四维建模”，动态跟踪施工进展，提前预判问题，优化资源配置，在质量、安全和运维阶段，BIM 还能助力信息追溯、维护管理，提高项目全生命周期的控制力和执行力，是精细化施工流程的核心技术支撑。

4.2 项目管理软件在实时协同中的作用

多个专业、多个团队都被建筑工程项目管理涉及到，由于有实时协同和数据统一的要求，传统纸质台账和手工记录已经满足不了。像 Project、Primavera、Navisworks 这些现代项目管理软件集成了进度计划、任务分派、资源调度、成本控制等功能构建出一个管理平台，该平台信息统一、任务清晰、协作高效，各参与方在这个统一系统里能实时更新任务状态、提交报表、共享文档以实现跨区域、多层级的无缝协作。这软件还有数据分析和预警功能，能自动生成统计报表、进度偏差分析、成本预算对比等信息以快速辅助管理者做决策。移动端和云端技术相结合后，管理人员在现场就可以用移动设备查看进度图、上传施工影像，达成“管理数据一体化、协同指令一张网”，显著提升施工组织效率和响应速度。

4.3 大数据与物联网技术的协同使用

传感器、RFID、监控设备等智能终端在施工现场广泛应用，这使得大数据与物联网（IoT）技术成为推动精细化管理智能化升级的重要引擎，物联网系统对人员定位、机械运转、温度湿度扬尘噪声等环境数据实时采集并传输至大数据平台，从而让管理者能全面掌握施工现场动态，做到可视化监控和远程控制，用大数据技术分析挖掘历史数据，识别施工瓶颈、预警安全风险、优化资源调度策略，进而由“事后管理”转型为“预测管理”，而且大数据还能服务于质量分析、供应链管理和运营绩效评估，给建筑企业提供数据支持和决策依据，促使建筑工程管理不断从粗放走向智能、系统、精细化。

5 精细化管理效果的评估与优化建议

5.1 评估指标体系的构建（成本、进度、质量）

科学评估建筑工程中精细化管理的实施效果需要建立多维度、可量化的评价指标体系，成本方面要有预算控制率、材料损耗率、人工成本偏差等指标以衡量资源配置是否经济节约，进度方面要设置计划完成率、节点达成率、延误时长等指标来反映施工计划执行的严谨性与调控能力，质量方面可将一次验收合格率、返修率、不合格项数量等数据当作关键评价依据来考察质量控制的精度与成效，还能引入安全事件发生率、员工满意度、信息传递效率等辅助指标构建全面、系统、数据导向的评估框架，为精细化管理效果提供科学判断的基础。

5.2 实施成效的案例分析与数据验证

已实施精细化管理的工程项目经系统性案例分析与数据验证能更直观、全面地反映出其实际应用的显著成效，就像某大型市政工程全面引入精细化管理后从组织架构优化、流程节点细化、施工资源配置等多方面入手使项目管理水平整体跃升，有数据表明施工进度按期完成率从78%提升到 94%且计划执行力明显增强，直接材料成本比预算降低大概 8%体现资源配置高效精准，工程质量一次性验收合格率提升到 98%使返工次数大幅减少且施工效率和客户满意度提高，并且这个项目在安全管理方面没发生重大安全事故且施工人员流失率明显下降、员工稳定性增加，现场施工记录完整度达 100%为后续管理和数据追踪提供有力支撑。

5.3 管理持续优化的路径探索

精细化管理并非一劳永逸的静态体系而是一个依据项目特性和外部环境变化不断调整优化的动态过程。未来可从以下方面进行优化：其一要对管理人员强化专业培训、更新理念以提高他们对精细化手段的理解运用能力，其二推动信息技术深度融合并加强 BIM、大数据、AI 等智能技术的集成应用，其三构建标准化流程和模块化模板以提高不同项目管理的复用性与适配性，其四建立反馈纠偏机制并借助项目后评估及时修正管理偏差形成良性的持续改进循环机制以保证精细化管理不断深入并实现常态化运行。

6 结语

建筑工程管理要革新，精细化管理是必由之路，这不只是手段的创新，还能提高工程质量、安全水平和管理效率，通过组织体系优化、流程细致控制、信息技术赋能、建立系统评估机制，精细化管理让建筑项目从传统的粗放型成功转向现代高效型，实践表明其在成本控制、质量提高、风险防控等方面都干得相当漂亮，往后要不断推动技术融合、制度创新，完善管理体系，使建筑工程管理科学化、规范化、智能化，从而给行业高质量发展一直注入动力。

[参考文献]

[1]王志国.复杂地形地区建筑工程质量与安全的精细化管理分析[J].城市建筑,2025,22(13):212-214.
[2]樊磊.精细化管理在住宅建筑工程施工中的运用[J].居舍,2025(19):149-152.
[3]梅诚,陈晓丽.精细化管理在建筑工程管理中的应用[J].江苏建材,2025(3):141-142.
[4]贾夫银,王守龙.全生命周期成本下的建筑电气造价精细化管理技术[J].电气技术与经济,2025(6):332-335.
[5]黄纯.精细化管理在建筑工程施工监理中的应用探究[J].建材发展导向,2025,23(12):13-15.

作者简介：管颢帆（1986.10—），单位名称：温州浙瓯物产管理有限公司，毕业学校和专业：中央广播电视大学建筑工程管理。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

绿色建筑材料在城市道路建设中的应用和效益分析

裴彦龙
图木舒克经济技术开发区管理委员会，新疆 图木舒克 843900

[摘要]随着城市化进程不断推进，城市道路建设规模持续扩大，传统建筑材料所引发的资源消耗以及环境污染等问题变得日益严重起来。绿色建筑材料作为节能环保的关键载体，正逐步在城市道路建设当中得到推广运用。特别是在新疆地区，面对着特殊的自然环境以及资源条件，绿色建筑材料的应用不但满足了道路工程对于耐久性以及环保性方面的需求，而且推动了资源的循环利用以及生态环境的保护工作。当下，新疆部分城市已经开始采用再生材料、节能环保材料等绿色建筑技术，不过整体推广的程度依然比较低，受到技术成熟程度、成本控制情况以及政策支持力度等诸多因素的限制。文章通过对新疆地区绿色建筑材料应用现状展开分析，来深入探讨其在城市道路建设中的应用技术以及所产生的经济、环境效益，希望能够为促进绿色建筑材料的广泛运用给予理论层面的支持以及实践方面的参考。

[关键词]绿色建筑材料；城市道路建设；应用；效益
DOI：10.33142/sca.v8i7.17142　　中图分类号：TU5　　文献标识码：A

Application and Benefit Analysis of Green Building Materials in Urban Road Construction

PEI Yanlong
Tumushuk Economic and Technological Development Zone Management Committee, Tumushuk, Xinjiang, 843900, China

Abstract: With the continuous advancement of urbanization and the continuous expansion of urban road construction scale, the problems of resource consumption and environmental pollution caused by traditional building materials have become increasingly serious. Green building materials, as a key carrier of energy conservation and environmental protection, are gradually being promoted and applied in urban road construction. Especially in Xinjiang region, facing special natural environment and resource conditions, the application of green building materials not only meets the durability and environmental protection requirements of road engineering, but also promotes the recycling of resources and the protection of ecological environment. At present, some cities in Xinjiang have begun to adopt green building technologies such as recycled materials and energy-saving and environmentally friendly materials, but the overall promotion level is still relatively low, limited by factors such as technological maturity, cost control, and policy support. The article analyzes the current application status of green building materials in Xinjiang region, in order to deeply explore their application technology in urban road construction and the economic and environmental benefits they generate. It is hoped that this can provide theoretical support and practical reference for promoting the widespread use of green building materials.

Keywords: green building materials; urban road construction; application; benefit

引言

随着全球环境问题变得日益严峻，可持续发展理念也逐渐深入人心，在这样的形势下，绿色建筑材料作为一种推动生态文明建设的关键载体，正在逐步渗透至城市基础设施领域，特别在道路建设方面更是如此。城市道路属于城市交通网络的骨架部分，在其建设以及维护的过程当中，会消耗大量的资源与能源，而且还会产生环境污染，这已然成为制约城市绿色发展的极为关键的因素。传统道路建设所用的材料大多依靠天然矿产资源，其生产过程耗费能源较多，并且给环境带来的负担也比较重，这就使得资源枯竭以及生态环境退化的问题显得格外突出。新疆地区位于我国的西部地区，有着独特的自然地理条件以及生态环境，该地区呈现出干旱少雨、温差较大、生态较为脆弱等特点，这些特点对道路建设材料的性能以及环保方面都提出了更高的要求。在这样的背景情况之下，绿色建筑材料凭借其节能减排、资源循环利用以及环境友好等诸多显著的优势，给新疆城市道路建设带来了新的技术路径以及发展契机。通过科学合理地去选择以及应用绿色建筑材料，一方面能够大幅度提升道路结构的耐久性以及适应性，降低维护方面的成本；另一方面还能够有效地减轻道路建设给生态环境所带来的压力，推动区域生态系统朝着可持续发展的方向迈进。本文将会深入剖析绿色建筑材料在新疆城市道路建设当中的实际状况、技术应用情况及其所产生的经济与环境效益，同时也会对面临的各项技术与管理方面的挑战展开剖析，其目的在于为推动新疆以及类似生态区域的道路实现绿色转型给予理论层面的基础支撑以及实践层面的操作指导，从而助力达成交通基础设施与环境协调发展这一双重目标。

1 绿色建筑材料在新疆地区城市道路建设现状

新疆地区是我国西部经济发展的重要区域，在近些年城市化进程不断加快，城市道路建设的需求也在持续增加，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

随着可持续发展理念变得越来越普及，生态环境保护意识也在不断提升，绿色建筑材料在新疆城市道路建设中的应用逐渐受到大家的关注，绿色建筑材料有节能环保、资源循环利用以及减少环境污染等诸多优势，符合新疆特殊的自然环境和资源条件，能有效减轻道路建设给生态环境带来的负面影响。当下，新疆部分城市已经开始尝试把再生骨料、环保型沥青材料等绿色材料运用到道路建设项目当中，并且取得了一定的效果，不过由于技术水平、材料供应链以及政策支持等方面存在限制，绿色建筑材料的推广应用还面临着许多挑战，整体的应用比例不高，应用范围也比较有限。所以深入剖析新疆地区绿色建筑材料在城市道路建设中的实际状况，有利于找出其中存在的问题和瓶颈，为后续的推广和优化应用给予理论依据和实践方面的指导。

2 绿色建筑材料在城市道路建设中的应用技术

2.1 绿色路面材料的选用与配比技术

绿色路面材料的选用以及配比技术，在实现城市道路可持续发展这一进程中，属于极为关键的核心技术环节，它会径直对道路的结构性能以及环境效益产生影响。在开展选材工作的过程当中，务必要全面且细致地考量材料所具备的环保特性、机械性能、耐久性，还有其与本地气候条件的适应程度，要优先去选用那种低碳排放、能够实现循环利用并且对生态环境影响相对较小的材料种类，像是再生沥青混合料、经过改性的废弃物材料以及无害化的工业副产品等。配比技术一方面要符合道路承载力以及抗疲劳性能方面所规定的技术指标，另一方面还需要借助科学合理的试验设计以及优化算法，达成材料组分的合理搭配比例，以此来保障绿色材料能够在确保工程质量的基础之上，尽可能充分地发挥出节能减排以及资源节约方面的积极作用[1]。就新疆地区而言，那里复杂多变的温差情况以及干旱的环境状况，对于路面材料的抗冻融性能以及抗裂性能提出了更高的要求，必须要依靠精确的材料筛选工作以及严格的配比控制手段，进而提升材料自身的韧性以及适应能力。与之绿色路面材料的配比技术还应当充分兼顾施工操作的可行性以及经济成本方面的因素，从而实现环境效益与经济效益之间的平衡状态。

2.2 再生材料的利用技术

再生材料利用技术属于绿色建筑材料应用范畴内的关键构成部分，其有力地推动了城市道路建设朝着可持续发展的方向迈进。这项技术包含了针对废旧沥青混合料、废弃混凝土、工业废渣以及其他各类建筑废弃物展开的回收、处理以及再利用等一系列流程。借助科学且细致的破碎操作、筛分环节、净化工序以及改性处理手段，一方面使得再生材料的物理性能得以改善，另一方面也促使它的化学性能获得提升，同时还强化了其与新材料相互结合的能力，进而保障再生材料可充分契合城市道路在承载力、耐久性以及环境适应性等诸多方面所提出的严格要求。特别是在新疆地区，那里存在着复杂且多变的气候状况，像是极端的温差情况、较为严重的干旱情形以及频繁出现的冻融循环等，这些都给再生材料的稳定性以及抗老化性能带来了更高的考验，所以有必要运用先进的改性技术，像使用高分子改性剂、实施纳米材料掺杂或者采取复合增强技术等方式，以此来提高再生混合料的抗裂性能、耐磨特性以及黏结强度。除此之外，再生材料的利用技术务必要和合理的配比设计方案以及施工工艺紧密结合起来，从而达成材料性能的最优化以及施工过程的高效化目标。

2.3 节能环保材料的施工工艺

节能环保材料的施工工艺在城市道路建设中有着举足轻重的地位，它关乎着道路工程质量、性能以及环境效益能否得以实现。这类施工工艺着重于在确保施工效率与工程质量的基础之上，尽可能地去降低能耗以及环境污染的程度。节能环保材料通常具备特殊的物理以及化学性质，在施工的时候需要运用低温拌合、温拌沥青技术等较为先进的工艺，如此便能够大幅削减传统高温施工所造成的能源耗费以及有害气体排放量；施工设备的选择以及工艺流程的优化同样极为关键，借助引入高效节能的机械设备以及自动化控制系统，达成对施工过程的精细化管理，进而减少施工期间出现的材料浪费以及环境扰动情况。考虑到新疆地区存在干旱少雨、温差大以及冻融循环等气候特点，施工工艺得做出相应的调整，像是合理安排施工时间窗口，把控施工温度与湿度，以此来保证节能环保材料的性能可以得到充分的发挥，并且能够和基层以及路面结构很好地结合起来[2]。施工现场的环境保护举措也不能被忽视，像扬尘治理、噪声控制以及废水废气处理等方面都要做好，从而确保施工活动对周边生态环境所产生的影响能够降到最低限度。

3 绿色建筑材料应用的经济效益分析

3.1 成本节约分析

绿色建筑材料在城市道路建设当中的运用，可切实达成成本节约之效，这在材料采购环节、施工进程以及后期维护等诸多方面均有体现。部分绿色建筑材料的采购成本或许会比传统材料稍高一些，不过因其耐久性以及稳定性均较为出色，故能有效延长道路的使用寿命，使维修频次得以减少，进而让长期维护费用有所降低。再生材料的运用削减了对天然资源的倚赖程度，使得原材料的开采成本以及运输成本都得以降低，如此便有利于节省大量资金。绿色建筑材料往往具备不错的施工性能，与先进的施工工艺相互配合起来，可提升施工效率，缩短工期，减少施工机械以及人工方面的成本支出。

3.2 使用寿命与维护成本比较

绿色建筑材料于城市道路建设方面的运用，让路面的使用寿命得以明显提升，而且有效地将维护成本降低了。与传统材料不同，绿色建筑材料一般有着更为出色的耐久性以及抗老化性能，其可较好地契合新疆地区复杂且多变的气候状况，像干旱、温差偏大以及存在冻融循环等情况，如此一来便能减少路面出现早期损坏以及结构性病害的情形发生。该材料所具备的高稳定性，一方面延长了道路能够提供服务的时长，另一方面也削减了频繁开展修补以及维护工作的需求，进而降低了维护的频次以及相关的费

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

用支出。与此绿色建筑材料优良的环保属性，致使在维修期间对环境所产生的影响大幅度降低，防止了由于频繁施工而引发的交通拥堵以及环境污染等问题。

3.3 投资回报率分析

绿色建筑材料于城市道路建设的应用，虽说在初始投入方面或许会比传统材料稍高一些，然而其长期投资回报率却颇为出色。绿色建筑材料凭借其出色的耐久性以及良好的环保性能，使得道路的使用寿命得以明显延长，减少了频繁开展维修以及重建工作的需求，进而使后期维护成本以及运营费用有所降低[3]。绿色材料的运用推动了资源的循环利用以及节能减排工作，这有利于企业在环保政策以及绿色认证等方面获取到相应支持，提升项目所具备的社会效益以及市场竞争力。除此之外，绿色建筑材料在施工过程中所采用的高效节能工艺，还使得施工周期得以缩短，人工与机械使用成本也有所减少，从而进一步提高了资金的使用效率。

4 绿色建筑材料应用的环境效益分析

4.1 节能减排效果

绿色建筑材料于城市道路建设当中的运用，对于节能减排而言，有着颇为显著的推动效用。这类材料往往会采用那种环保且能耗较低的生产工艺，如此一来便使得在制造流程里，能源的耗费以及温室气体的排放都得以减少。绿色建筑材料自身有着相当不错的保温隔热特性，它可以有效地缓解因温差出现变化而致使得道路产生热胀冷缩的那种效应，进而让路面病害发生的频次有所降低，如此也就减少了对路面进行维护乃至重新铺设的需求，从侧面来讲也降低了施工机械的使用量以及能源的消耗情况。大量运用再生材料还有工业副产品来取代传统的天然材料，这不但削减了对矿产资源的依赖程度，还减少了在开采以及运输环节当中所产生的能源耗费以及碳排放，同时也能减轻建筑废弃物给环境所带来的负担。在施工阶段，采用诸如温拌沥青技术这类节能环保的施工技术，可进一步使施工过程里的能耗以及有害气体排放都得到降低。

4.2 资源循环利用效益

绿色建筑材料于城市道路建设方面的应用，切实有效地推动了资源的循环利用进程，使得建筑材料的可持续使用率得以显著提升。借助广泛采用再生骨料、废旧沥青以及工业废渣这类废弃物资源的方式，绿色建筑材料成功地减少了对天然矿产资源的依靠程度，对资源紧缺这一问题起到了一定的缓解作用，有力地推动了资源实现高效的循环以及再利用状态。在材料生产以及施工的整个过程当中，对这些再生资源加以合理的利用，一方面能够降低建筑废弃物的堆积情况，另一方面也有助于减轻环境污染状况，并且还能节省在开采环节、运输环节等所耗费的能源以及所产生的碳排放量。再生材料的应用与先进的处理技术以及改性技术相结合之后，能够确保其物理力学性能以及耐久性都处于良好状态，进而满足城市道路建设所提出的技术方面的要求，推动废弃资源朝着优质建筑材料的方向实现转化[4]。与此资源的循环利用还对绿色产业链的发展起到了带动作用，进一步推动了区域经济向着绿色转型的方向迈进。

4.3 对生态环境的保护作用

绿色建筑材料在城市道路建设方面的应用，对于生态环境保护而言有着十分重要的作用。这些材料大多采用的是环保无害或者低毒性的原料，如此一来便避免了有害物质的释放，防止了土壤以及水体受到污染，切实有效地减少了在施工以及运营过程中对生态环境所造成的破坏。绿色建筑材料凭借自身优势能够提升道路的耐久性以及稳定性，进而减少了因频繁修复和重建而产生的资源消耗以及废弃物排放，也降低了工程给周边生态系统带来的干扰。借助再生材料和工业废弃物，既减少了垃圾填埋的情况，又避免了环境污染的出现，同时还推动了资源的循环利用，缓解了对自然资源的过度开采，保护了区域生态的多样性与完整性。在新疆地区这种特殊的生态环境状况之下，大力推广绿色建筑材料，对于减缓土地退化以及水土流失是有帮助的，也有利于维护区域生态的平衡状态。

5 结语

绿色建筑材料在城市道路建设方面的运用，一方面契合了节能环保以及可持续发展的时代走向，另一方面也给新疆地区道路建设质量的提高以及生态环境的保护给予了强有力的支撑。借助科学且合理地选用以及配比绿色材料，并且结合先进的施工工艺，能够有效地延长道路的使用寿命，降低维护所花费的成本，进而大幅提升经济效益以及环境效益。与此绿色建筑材料的推广应用促使资源得以循环利用，减少了碳排放以及环境污染的情况，有力地助推了城市道路建设朝着绿色转型的方向发展。虽说当下在技术推广、成本控制以及政策支持等方面依然存在着一定的难题，然而随着相关技术的逐步成熟以及政策体系的不断完善，绿色建筑材料在新疆城市道路建设当中将会发挥出愈发重要的作用。在未来，需要强化技术创新以及应用示范的工作，进一步完善标准规范和激励机制，推动绿色建筑材料得到广泛的应用，达成城市道路建设与生态环境的协调发展，为建设美丽新疆贡献出积极的力量。

[参考文献]

[1]陈唐睿,高公略.绿色工程材料在道路工程中的应用与发展趋势[J].散装水泥,2025(1):22-24.
[2]陈唐睿,高公略.绿色工程材料在道路工程中的应用与发展趋势[J].散装水泥,2025(1):22-24.
[3]黄成福.浅谈道路建筑材料的未来发展[J].建材发展导向,2022,20(20):1-4.
[4]贾淳忠.道路工程中绿色材料施工技术的应用探索[J].石材,2023(3):19-21.

作者简介：裴彦龙（1986.8—），毕业院校：太原科技大学，所学专业：工程管理，就职单位职务：图木舒克经济技术开发区管理委员会规划建设局（生态环境局）工作人员，职称级别：高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高速公路机电设备故障的预防及控制

覃福运
广西交通投资集团梧州高速公路运营有限公司平南分公司，广西 贵港 537300

[摘要]高速公路属于我国交通运输体系的关键部分，其能够实现高效且安全的运行，离不开各类机电系统的相互协作。不过，随着机电设备在高速公路当中得到广泛运用，设备故障出现的频率变高、维护起来难度增大等问题也随之凸显出来，对道路运行效率以及交通安全产生了颇为严重的影响。此文从高速公路机电设备的典型系统出发，全面且细致地剖析了电子监控、通信、收费、照明与供电等主要设备常见的故障类型以及这些故障形成的原因，还给出了具有针对性的预防与维护机制，并且着重就基于智能化方式的故障监测以及应急控制策略展开了深入探讨。此项研究目的在于为提高高速公路机电系统运行的稳定性以及管理的水平给予相应的理论支撑与实践方面的指引。

[关键词]高速公路；机电设备；故障预防
DOI：10.33142/sca.v8i7.17122 中图分类号：U495 文献标识码：A

Prevention and Control of Mechanical and Electrical Equipment Malfunctions on Highways

QIN Fuyun
Pingnan Branch of Guangxi Communications Investment Group Wuzhou Expressway Operation Co., Ltd., Guigang, Guangxi, 537300, China

Abstract: Highways are a key part of Chinese transportation system, and their efficient and safe operation cannot be achieved without the cooperation of various electromechanical systems. However, with the widespread use of electromechanical equipment in highways, the frequency of equipment failures and the difficulty of maintenance have become increasingly prominent, which has had a serious impact on road operation efficiency and traffic safety. Starting from the typical system of highway electromechanical equipment, this article comprehensively and meticulously analyzes the common types of faults in major equipment such as electronic monitoring, communication, toll collection, lighting, and power supply, as well as the causes of these faults. It also provides targeted prevention and maintenance mechanisms, and focuses on in-depth exploration of fault monitoring and emergency control strategies based on intelligent methods. The purpose of this study is to provide theoretical support and practical guidance for improving the stability of the operation and management level of highway electromechanical systems.

Keywords: highway; mechanical and electrical equipment; fault prevention

引言

随着我国高速公路网络持续拓展，交通流量也在不断增长，这便对道路管理以及运行保障提出了更高的要求。机电系统是高速公路里极为重要且必不可少的组成部分，它在车辆检测、交通诱导、信息发布、收费管理以及安全监控等诸多环节都有着广泛的应用。其技术复杂程度以及系统集成程度都在逐步提升，确保其能够可靠地运行已然成为了高速公路管理方面的一项核心任务。不过，因为使用年限逐渐增加、运行环境较为复杂、维护体系不够健全等缘故，机电设备出现故障的问题日益凸显出来，轻一点会影响通行的效率，严重的话会引发交通事故，甚至还可能造成安全隐患。所以说，深入研究高速公路机电设备的各类故障类型、这些故障形成的内在机制以及与之相应的预防控制举措，进而构建起系统化且智能化的运行管理体系，这已然成为了当下交通行业里一个十分重要的课题。

1 机电设备在高速公路运行中的作用

高速公路机电设备是现代交通基础设施的重要组成部分，它在确保道路安全、提升交通效率以及提供信息服务方面发挥着至关重要的作用。以电子监控系统为例，它通过安装在关键位置的摄像头和传感器，实时监控交通流量和道路状况，为交通管理中心提供精确的数据支持。据统计，有效的电子监控系统能够减少高达 30%的交通事故发生率。通信系统则确保了信息在高速公路管理者、驾驶者以及紧急救援团队之间的快速传递，例如，通过无线通信技术，可以在发生紧急情况时，迅速通知最近的救援车辆，缩短响应时间。收费系统不仅提高了通行效率，减少了拥堵，还通过电子支付方式减少了现金交易，提升了财务管理的透明度和效率。照明系统则在夜间或能见度低的情况下，保障了驾驶者的安全行驶。这些机电设备的协同工作，共同构建了一个高效、安全、便捷的高速公路运营环境。

2 高速公路机电设备故障及成因分析

2.1 电子监控系统故障

电子监控系统在高速公路安全管理工作当中占据着

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

极为重要的位置，它依靠摄像头、雷达、传感器等一系列设备来达成对道路状况的实时监控目的，同时也能够完成相关数据的采集工作。该系统一旦出现故障，常常会呈现出诸如图像丢失、信号中断、识别出错以及数据传输不顺畅等等诸多问题。其产生故障的原因是多方面的，像设备老化、镜头受到污染、供电状态不稳定、电缆接触存在不良情况，还有就是恶劣天气给摄像头以及传感器带来的直接影响，都属于常见原因之列。除此之外，监控系统往往呈多点分布态势，其网络架构也比较复杂，在这种情况下，就很容易因为中继设备出现故障或者带宽不够而致使信号出现延迟甚至陷入瘫痪的状态。系统软件如果更新得比较滞后，又或者是兼容性方面存在欠缺，那么同样有可能引发识别误判等相关问题。随着监控设备精度的不断提高，其对于运行环境的依赖程度也在不断增加，这一点务必要给予足够的关注与重视。

2.2 通信系统故障

通信系统作为高速公路管理信息的中枢所在，承担着将前端所采集到的信息及时传送到指挥中心的重要职责，同时还要负责协调各个系统之间的联动事宜。通信故障呈现出多种多样的表现形式，像信号不够稳定、数据出现丢包情况、传输过程中存在延迟现象以及通信模块发生失效等等。而这些问题的产生，有可能是因为光纤断裂、无线链路受到干扰、设备参数设置出现错误或者主控设备出现宕机等情况所导致的。施工过程中不慎对通信系统造成损伤、自然灾害的发生以及供电时常出现波动等情况，同样会给通信系统带来颇为严重的影响。特别是在发生突发事件的时候或者是在车流量较大的时段，通信系统的负荷会明显增大，进而容易出现拥堵或者直接崩溃的情况，倘若情况严重的话，甚至有可能致使整个高速管理系统陷入失联的状况。所以说，针对通信系统的故障防控工作，就需要从网络架构方面的优化、备份链路的部署以及实时监测等多个不同方面着手去开展相关工作。

2.3 收费系统故障

收费系统在高速公路资金回收以及流量控制方面占据着极为关键的地位，其一旦出现故障，那么势必会对通行效率产生影响，而且还会直接对运营效益带来损害。就常见的故障而言，像车牌识别失败、ETC 系统出现异常情况、计费存在错误、栏杆发生失灵状况以及系统出现崩溃等问题都属于其中。而造成这些诸多问题的缘由是多种多样的，就好比识别摄像头因被灰尘遮挡或者自身参数出现偏移，感应线圈发生损坏，车载单元出现问题，还有因为网络延迟致使交易无法成功等情况。除此之外，部分系统是依靠第三方平台来达成结算目的的，如此一来，倘若接口协议不相一致或者是数据同步出现延迟的话，那么同样有可能引发收费方面的差错。在频繁开展的软件升级工作当中，又或者是数据重构的过程中，所出现的漏洞，往往也会成为新型故障的触发点所在。为了确保系统能够稳定地运行下去，那就必须要从整体上提升硬件的可靠性以及软件的兼容性。

2.4 照明与供电系统故障

高速公路的照明与供电系统属于极为关键的基础设施，其对于保障高速公路能够实现全天候顺畅运行起着决定性作用。就该系统而言，其中任何一个环节出现故障情况，都有可能引发大面积的系统无法正常运转。具体来讲，照明系统发生故障时，常常会呈现出诸如灯具无法正常发光、灯光出现频闪现象以及光照分布不均匀等情况。而造成这些故障的原因，可能是灯具已经老化、线路出现了短路状况、电源遭到损坏亦或是控制模块存在异常。再看供电系统，它肩负着为整个高速公路机电系统供电的重要任务，倘若在这个系统当中出现电压不够稳定、电缆发生断裂、变压器被烧毁或者配电环节出现问题等状况，那么将会直接致使其他的各个子系统陷入瘫痪的状态。特别是在高温、雷雨这类极端天气条件之下，照明与供电系统所面临的运行压力会变得更大，要是防护等级不够完备，那就特别容易引发各类故障的发生。所以说，有必要从设计、选材、防护以及监测等多个不同方面来全面提升该系统的抗风险能力。

3 故障预防与日常维护机制

3.1 设备选型与安装阶段的预防策略

设备选型与安装属于机电系统生命周期管理的初始阶段，其质量以及匹配的程度会直接影响到后期运行的稳定性，还有维护的难易程度。在设备选型的时候，得充分考量高速公路所处的地理环境、气候方面的特性以及使用频次，优先去选用那些技术较为成熟、耐候性较强且品牌信誉良好的设备。并且，还要重视系统之间相互间的兼容性以及扩展性，防止因为接口不统一而引发兼容方面的问题。在安装这个环节，务必要严格依照规范化的流程来执行，保证安装的位置是合理的，接线的工艺达到标准，密封以及防护等级也都符合相关的要求。施工过程里的每一个细节都要严格把控，以防因施工过于粗放而留下隐患。要开展充分的联调联试工作，以此来验证设备的性能以及系统的协同能力，确保“带病交付”的情况能够被彻底消除。

3.2 日常巡检制度与预防性维护措施

日常巡检对于机电系统的运行安全而言，属于极为重要的一项保障措施，它可视为发现问题以及预防故障的首道防线所在。应当着手建立起一套巡检制度，这套制度需具备全面的覆盖范围，并且巡检频次也得合理安排妥当。要清楚地明确好检查内容具体包含哪些方面，所使用的工具设备有哪些，责任人又是谁，还有记录的方式方法该如何确定。依据设备的不同类型以及其实际运行时的负荷情况，去制定出分级分频的检查计划，确保能够对重点设备给予重点的检查力度。像监控摄像头、光纤节点以及收费

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

道口等这些核心设备，就需要相应地增加高频次的巡检安排。预防性维护工作应当涵盖诸如定期开展清洗作业、进行参数校准操作、及时更换零部件以及实施系统升级等一系列内容。借助技术方面的手段来预判设备的使用寿命状况，从而能够在潜在故障出现之前就提前加以干预处理。运用移动终端以及管理平台来完成数据化的巡检记录工作，如此一来既能有效提升工作效率，同时也能为后续的数据分析以及决策制定等相关事宜提供充足的数据支撑。

3.3 维护团队能力建设与制度规范

维护工作的效率高低，很大程度上取决于团队的能力以及管理机制的完善程度。需要构建起一支拥有机电系统综合知识的复合型维护团队，借助常态化的培训来提高他们的专业技能水准。培训所涉及的内容要包含新设备的认知、故障诊断方面的技术、安全操作的相关规范、应急处置的具体流程等诸多方面。与此应当建立起严格的考核以及奖惩制度，以此促使团队的责任心与执行力得以提升。在制度建设这要把各类维护任务的流程标准以及应急响应预案进一步细化，保证各项工作的开展都能够做到可追溯、可考核。可以设立轮岗与值守制度，确保在任何一个时段都有具备实操能力的人员处于在岗状态，进而提高系统运行的连续性以及抗干扰的能力。

4 故障监测、应急响应与智能化控制

4.1 故障实时监测与远程诊断技术

实时监测技术在预防突发故障以及提升响应效率方面起着极为关键的作用。依靠传感器网络、边缘计算还有视频识别等相关技术，能够达成对机电设备运行状况的不间断感知以及迅速反应的目的。通过预先设定报警阈值，针对电压、电流、温度、信号质量等关键指标展开监控，要是出现异常情况并触发报警，运维人员便可以凭借远程诊断来做出初步的处置决策[1]。远程诊断系统依靠大数据平台以及专家知识库，针对设备的历史运行数据进行智能分析，以此精准地判断出故障的具体类型以及可能发生的部位，进而提升维修工作的效率，缩短现场排查所花费的时间。在此基础之上，还能够构建预测性模型，提前对故障趋势加以识别，从而实现从“事后维修”模式向“事前预防”模式的转变。

4.2 应急响应预案制定与演练体系

突发故障难以避免，建立应急响应体系对于确保系统的韧性而言至关重要。一方面要依据设备类型、故障等级以及地理位置等等方面的情况来制定分级分类的应急响应预案，把各类突发状况的处理流程、责任人以及所需资源都明确下来；另一方面需建立应急演练制度，定期组织开展现场模拟故障处置活动，像通信中断、电源故障、收费系统崩溃这类场景都要涉及，以此提升运维人员的应急处置能力以及协同效率，演练结束之后还要进行总结评估，进一步完善流程与机制，保证预案有可执行性以及实效性[2]。除此之外，还得构建和交通管理、公安、救援等相关单位的联动机制，保障在突发事件发生时能够实现多方快速响应、信息互通以及资源共享。

4.3 智能化手段在故障控制中的应用（物联网、AI、大数据等）

随着新一代信息技术不断发展，物联网、人工智能以及大数据技术在高速公路机电系统中的应用变得越来越普遍，这为故障控制开拓了全新的解决途径。物联网技术能够实现设备的广泛连接，并且可实时采集数据，进而增强系统的感知能力。人工智能借助机器学习以及模式识别来分析设备运行状态，达成自动判断与智能决策的目的[3]。大数据平台会整合历史数据与实时数据资源，开展多维度分析，以此提升运维策略的科学性与精准性。这些技术融合运用之后，故障预测变得更加精确，响应速度也更快，资源调配更为合理，给建设智慧高速给予了稳固支撑。与此还推动了从传统人工维护朝着自动化、智能化、协同化运维模式的彻底转型。

5 结语

高速公路机电系统属于现代交通的关键支撑部分，其运行是否稳定和道路是否通畅以及行车安全有着直接联系。本文针对常见机电设备故障类型以及成因展开分析，深入挖掘当前存在的诸多问题，还提出了一系列预防与控制措施，从选型安装环节一直到日常维护环节，再到智能化监测以及应急响应环节都有涉及。实际操作表明，要提升故障防控能力以及管理水平，构建标准化、信息化、智能化的机电系统运行管理机制是必不可少的途径。往后，伴随技术的持续演进以及管理理念的更新换代，高速公路机电系统会朝着更为高效、更为可靠、更为智能的方向不断发展。

[参考文献]

[1]陈学林.高速公路机电设备故障及其预防策略[J].汽车画刊,2024(7):244-246.
[2]许兆锋.高速公路机电设备故障及其预防策略分析[J].中国设备工程,2024(9):190-192.
[3]凌焕华.高速公路机电设备故障诊断及控制措施[J].中国高新科技,2021(7):116-117.

作者简介：覃福运（1994.1—），男，壮族，广西贵港，助理工程师，大学本科。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

信息化时代工程制图数字化教学模式探究

张玲莉　万铭谦
江西电力职业技术学院，江西 南昌 330033

[摘要]在信息化快速发展的大背景之下，高职工科类院校的工程制图教学面临着诸多挑战。当下多数课程依旧是以传统的手工绘图方式为主导，对于 CAD、三维建模以及 AR 等信息化工具的有效运用有所欠缺，因此，学生的实践能力较弱，空间想象力不足，难以满足现代工程岗位的实际要求。教学内容与行业发展之间出现了脱节，教师对于信息化教学手段的掌握程度也不够到位，这在很大程度上对教学质量的提高形成了制约作用。本文提出了契合高职教育特点的改革思路以及相应的方法，希望能够为高职院校工程制图课程的教学创新给予一定的理论方面的支撑以及实践层面的思路参考。

[关键词]信息化；工程制图；数字化教学；教学模式
DOI：10.33142/sca.v8i7.17149　　中图分类号：G4　　文献标识码：A

Exploration on Digital Teaching Mode for Engineering Drawing in the Information Age

ZHANG Lingl, WAN Mingqian
Jiangxi Electric Vocational and Technical College, Nanchang, Jiangxi, 330033, China

Abstract: Against the backdrop of rapid development of information technology, engineering drawing teaching in vocational colleges and universities is facing many challenges. Currently, most courses are still dominated by traditional manual drawing methods, and there is a lack of effective use of information tools such as CAD, 3D modeling, and AR. Therefore, students have weak practical abilities and insufficient spatial imagination, which makes it difficult to meet the practical requirements of modern engineering positions. There is a disconnect between teaching content and industry development, and teachers' mastery of information technology teaching methods is not sufficient, which greatly restricts the improvement of teaching quality. This article proposes reform ideas and corresponding methods that are in line with the characteristics of vocational education, hoping to provide theoretical support and practical reference for the teaching innovation of engineering drawing courses in vocational colleges.

Keywords: informationization; engineering drawing; digital teaching; teaching mode

引言

在信息化时代不断推进之下，工程制图教学正面临着从未有过的变革契机。传统工程制图教学模式主要依靠手工绘图以及二维图样，很难满足现代工程技术对于高效、精准、可视化表达方面的要求。随着 CAD、三维建模、虚拟仿真、AR 等先进技术持续发展并且广泛运用，工程制图作为工科专业的一门基础课程，逐步从静态知识传授转向动态数字化教学转变。这种变化一方面提高了教学效率，另一方面也提升了学生的空间认知能力，还更加契合实际工程设计与制造过程的需求。尤其是在高职工科类院校当中，培育学生的实践操作能力以及岗位适应能力是教学的关键目标，所以迫切需要把现代信息技术切实融入到课程内容以及教学方法里，达成教学模式的优化与升级。本文会围绕信息化背景之下工程制图课程的教学现状以及存在的问题展开探讨，探寻数字化教学工具的融合途径，并且给出契合高职教育特点的改革策略。

1 高职工科院校工程制图教学现状与问题分析

1.1 当前教学内容与岗位需求脱节现象分析

当前高职工科院校工程制图课程在教学内容设置上，普遍出现和实际岗位需求不匹配的情况。课程内容大多围绕传统二维工程图纸绘制展开，着重讲解基本制图规范、线型、投影、视图表达等理论知识，却忽略了对学生综合绘图能力以及实际应用能力的培养。随着制造业、能源行业还有智能装备等领域对技术人才的要求不断提高，岗位对于三维建模、数字化制图、计算机辅助设计（像 CAD、中望 3D 这类）等能力的需求变得越来越明显，然而这些内容在现有课程里所占比例较小，缺少系统性与实操性训练，致使学生进入实际岗位后很难快速胜任工作。

1.2 教学方法传统化与学生参与度低的问题

当前，高职工科院校就工程制图课程而言，其教学方法大多是以传统的“教师讲授加上板书以及学生临摹”这种方式为主的，教学模式显得较为单一，互动性以及实践性都有所欠缺，很难去激发学生对于学习的兴趣以及主动参与的意识。在这样以教师作为中心的课堂里面，学生常常处于被动接受知识的一种状态，缺少动手操作以及自主思考的相关机会，比较容易出现学习倦怠以及认知隔阂的情况。与此在教学过程之中，对于实际工程案例的引入是比较少的，课堂内容和具体的工作场景有所脱节，致使学生难以把所学的知识和职业技能紧密地联系起来[1]。此外，工程制图本身具有较强的抽象性，理解难度较大。学生在

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

缺乏直观引导和互动体验的情况下，往往难以培养出良好的空间思维和绘图能力，导致课堂参与度和学习效果明显下降。

1.3 教师数字化教学能力不足的挑战

在高职工科院校开展工程制图教学期间，教师所存在的数字化教学能力有所欠缺这一情况，已然变成限制教学创新以及教学质量得以提升的关键难题。伴随信息化技术持续向前发展，CAD、三维建模、虚拟仿真、AR 这类数字化工具于工程制图教学当中的应用需求变得日益强烈起来。然而部分教师因为长期以来一直沿用传统的教学方式，所以对于新兴的数字化教学手段，在理解方面以及掌握程度上都显得比较薄弱，缺少系统的培训以及实践方面的经验，如此一来便使得他们在教学进程里很难有效地对现代技术手段加以整合。除此之外，部分教师针对数字化工具的应用仅仅停留在基础的演示阶段，没办法进一步去开展像任务驱动式、项目导向式这样的教学设计，进而没有办法充分地发挥出信息化资源所具备的优势，以此来激发学生的学习兴趣并且促使学生的能力得到提升。

2 信息化工具在工程制图教学中的融合路径

2.1 CAD 技术在二维制图教学中的系统应用

在工程制图教学领域当中，CAD 技术已然成为计算机辅助设计里极为重要的一种工具，其在二维制图教学环节里，已然变成了一个不可或缺的关键部分。借助引入像 AutoCAD、中望 CAD 这类专业的软件，是能够有效地取代传统的手工绘图方式的，如此一来便可以让绘图的效率以及准确性都得以提升，进而助力学生能够更为娴熟地去掌握工程图样的具体绘制规范以及相应的表达方式。在实际开展教学活动的过程中，教师完全可以凭借 CAD 平台来展开实时的演示操作，以此来展示各类工程图形具体的绘制流程，从而让学生能够更加直观且清楚地去领会点、线、面之间那种构造方面的关联性，还有视图投影所涉及的原理。与此 CAD 软件所具备的图层管理功能、图块调用功能以及标注控制功能等等，也都能够让复杂图纸的表达方式变得更加清晰而且规范，这对于学生构建起严谨的绘图思维方式是很有帮助的。

2.2 三维建模软件（中望 3D 等）在空间认知教学中的应用

在工程制图教学环节引入三维建模软件，像中望 3D、SolidWorks 这类软件，对于提高学生的空间认知能力有着颇为显著的作用。传统的二维图纸通常很难直观地呈现出物体的立体结构以及构造关系，在学生缺少实际经验的情形下，就很容易出现理解上的偏差。然而三维建模技术可以把抽象的图形内容变得具象且立体起来，助力学生从多个不同角度直观地去观察零件或者装配体的结构特征还有连接方式。在教学进程当中，凭借引导学生借助建模软件完成从草图绘制一直到实体建模的整个过程，促使他们一步步构建起“图形-模型-实物”之间相互对应的关联，进而强化他们对几何形体的空间想象以及分析的能力[2]。并且，三维软件还具备动态旋转、剖切、爆炸视图等多种功能，这有效地补足了传统教学在表述复杂结构方面存在的局限性，给学生带来了沉浸式的、交互式的全新的学习体验。

2.3 AR 技术在工程图形识读与交互教学中的应用探索

AR 技术在工程制图教学中有着广泛的应用，它给工程图形的识读以及交互式教学带来了全新的途径。当把虚拟的三维模型叠加到现实环境当中时，学生便能够凭借移动设备或者 AR 眼镜以立体且直观的方式去观察图纸所对应的结构形态，如此一来便突破了传统二维图纸平面表达所存在的局限，让原本抽象的图形信息变得更为具体化、形象化了。在教学开展的过程之中，AR 技术可达成图纸内容与虚拟模型的实时联动效果，学生不但能够针对复杂结构实施放大、旋转、剖切等一系列交互操作，而且还能更为透彻地理解视图之间转换关系以及构造逻辑，进而大幅提升识图的效率以及准确率。

2.4 信息化资源平台（如虚拟仿真、智慧教室）辅助教学探索

在工程制图教学当中，引入信息化资源平台，像虚拟仿真系统以及智慧教室环境这类平台，给教学方式以及学习体验都带来了颇为深刻的变革。虚拟仿真技术是能够构建出高度还原的三维工程场景的，学生能够在虚拟的环境里开展制图实践相关活动，进行零部件观察以及装配操作，如此一来便突破了时间、空间还有设备方面的种种限制，进一步增强了教学所具有的沉浸感以及实践性。借助虚拟实验平台，学生不但可以反复去练习绘图技能，而且能够较为直观地理解复杂结构的构造逻辑，进而加深自身对于制图原理的理解程度以及掌握水平。智慧教室则是依靠信息化教学终端、互动屏幕以及数据采集系统等，达成教师对学生学习状态进行实时监测并且给予个性化指导的目的，与此同时它还支持课堂演示、任务推送、互动答题等多种多样的功能，教学效率以及学生的参与度都得到了明显的提升。

3 高职工科类工程制图课程改革策略研究

3.1 教学目标导向的再构建：由“会画图”向“会表达工程设计”转变

高职院校工科类工程制图课程的教学目标，要从以往单纯侧重于“会画图”的技能培育模式，逐步转向更为综合且具有应用指向性的“会表达工程设计”模式。这样的转变，表示课程不再仅仅关注学生是否掌握了制图方面的规范以及绘图的相关技巧，而是着重去强调培养学生能够运用工程制图语言，精准且清晰地将设计意图以及技术方案表达出来的能力。借助加强对图纸信息的理解与分析，学生便可以有效地把工程设计里的结构关系、尺寸标注还

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

有功能要求传递出去，进而达成设计思想的无障碍交流。除此之外，教学目标还应当融入现代工程实践方面的需求，激励学生去掌握计算机辅助设计（CAD）以及三维建模软件的应用方法，促使他们拥有利用数字化工具来进行设计表达以及开展创新活动的能力。

3.2 教学内容的模块化与实践型重构

高职院校工科类工程制图课程的教学内容需要达成模块化以及实践型的重新构建，以此来更好地与现代工程技术的发展状况以及岗位需求方面所发生的变化相互契合。模块化设计会把课程内容划分成若干个相对来讲较为独立然而又紧密关联在一起的教学单元，像二维制图基础、三维建模应用、工程图识读与分析、数字化设计工具操作等等，每一个模块都是围绕着具体的技能目标来展开相关事宜的，如此一来便利于学生对知识点加以系统性的掌握，并且能够一步步地提升自身的综合能力[3]。与此实践型重构着重于理论跟实操要紧密结合到一起，借助项目驱动以及任务导向的教学模式，把实际工程案例、仿真实训、课外实践等诸多内容有机地融入到课程体系当中，进而增强学生动手操作的能力以及解决实际问题的能力。

3.3 项目导向与任务驱动式教学法的融合应用

在高职院校工科类工程制图课程里，把项目导向教学法和任务驱动式教学法融合起来运用，这对于冲破传统的灌输式教学模式是有帮助的，可以让学生在真实的或者模拟出来的工程情境当中积极主动地去开展学习活动并且解决碰到的问题。项目导向教学是以实际存在的工程问题当作核心要点，借助去设计一些典型的工程项目，像设备部件图的绘制工作、装配图的设计事宜、电站管道布置图等相关内容，使其贯穿于整个教学的过程之中，以此来引导学生在完成这些项目任务的进程里掌握制图方面的技能、相关的规范以及设计表达方面的能力；而任务驱动是会把大的项目分解成若干个具体的学习任务，比如绘制轴测图、标注尺寸、公差配合分析等等这类事项，这样能够让教学目标变得更加明确，实施的具体路径也更为清晰，操作起来更有实际可执行性。

3.4 多元评价机制设计：过程性评价与成果型评价结合

在高职工科类工程制图课程进行改革的时候，构建起多元化的评价机制，促使过程性评价和成果型评价能够有机地结合起来，这可是提升教学质量以及学生综合能力的一条重要途径。过程性评价侧重于学生在学习过程当中的表现以及成长状况，它包含着课堂参与的程度、作业完成的情况、阶段性任务执行的效果、团队协作的能力以及对于信息化工具掌握的水平等等，借助教师的观察、课堂上的提问、小组之间的互评还有学习日志等形式来动态地记录学生的学习轨迹，以此强化在学习过程中给予的引导以及激励作用。成果型评价主要聚焦于学生最终所形成的制图作品的质量、规范性、设计表达的准确性以及工程思维的体现程度等方面，常常是以图纸评审、实训成果展示、课程设计答辩这样的方式来呈现出来的。

3.5 教师信息化素养与课程内容同步提升路径

在高职工科类工程制图课程改革进程里，提高教师的信息化素养并达成与课程内容的同步升级，对于推动教学现代化以及提升人才培养质量而言，属于极为关键的因素。随着 CAD、三维建模、虚拟仿真、AR 等一系列信息化工具在工程制图教学当中得到广泛运用，教师除了要具备传统制图方面的理论与技能之外，还应当掌握各类数字化教学工具的操作办法、教学资源整合的能力以及基于信息技术的教学设计与组织能力[4]。当下，不少教师在信息化教学这块依旧存在着知识结构较为单一、技术应用不够娴熟、教学理念相对滞后的状况，这些情况对现代化教学手段的深入推行形成了制约作用。所以，有必要借助系统化的培训机制、校企协同实践平台的建设以及教学团队之间的交流互助等方式，推动教师持续更新知识储备，提高技术应用能力。

4 结语

随着信息化技术持续向前发展，工程制图教学已然逐步朝着数字化、智能化这样的全新阶段去迈进。在高职工科类专业针对实践能力以及岗位适应能力有着颇高要求的情形之下，传统的教学模式已经很难契合现代人才培养的实际需求了。把 CAD、三维建模、AR 技术等一系列信息化手段融入到教学的整个过程当中，如此一来，既能让学生的制图技能得以提升，又能够增强他们对于空间的认知能力，同时还能够让课堂的互动性以及实用性都得到强化。与此对课程内容展开模块化的重新构建，采用项目导向的方式来设计教学，并且建立起多元的评价机制，这些举措为达成“教-学-做”一体化这一目标给予了强有力的支撑。在未来，工程制图教学需要不断地深化教学改革，提高教师在信息化方面的素养，进一步完善教学资源体系，持续地去适应新技术、新行业的发展要求，从而全面提升高职院校工科类人才的培养质量。

[参考文献]

[1]赵英,李源,孙美英.数字化、信息化教学在技工院校机械制图课程中的应用[J].职业,2020(16):80-81.
[2]商义叶.浅谈信息化技术应用下的机械制课程教学改革[J].科技视界,2018,(28):164-165.
[3]张攀.信息化时代机械制图数字化教学资源建设与应用研究[J].课程教育研究,2019(43):255.
[4]陈铁牛,陈海涛,曾文平,等.高职《工程制图与 CAD》课程信息化教学的探索[J].模具制造,2025,25(4):67-69,72.

作者简介：张玲莉（1983.12—），女，布依族，毕业院校：长春工程学院，专业：建筑环境与设备工程。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

智能化背景下煤矿机电设备远程监控与故障预警技术研究

韩春旭
中煤第七十一工程处有限责任公司，安徽 宿州 234000

[摘要]智能化矿山建设进程加快，煤矿机电设备的远程监控与故障预警技术成了保障生产安全和设备稳定运行的重要手段，文中系统分析煤矿机电设备运行特点与常见故障类型，结合智能传感、物联网、大数据和 AI 算法等技术发展状况，探讨煤矿机电设备远程监控系统的体系构建和关键技术环节，重点阐述故障预警的技术机制、实现方法和优化路径，煤矿机电设备运行状态的实时感知、远程控制和智能预测靠技术集成和系统升级得以实现，这为提升矿井安全水平和管理效率提供了技术支撑与实践依据。

[关键词]煤矿机电设备；远程监控；故障预警；智能化技术；安全管理
DOI：10.33142/sca.v8i7.17132 中图分类号：TP27 文献标识码：A

Research on Remote Monitoring and Fault Warning Technology of Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment under the Background of Intelligence

HAN Chunxu
China Coal 71st Engineering Office Co., Ltd., Suzhou, Anhui, 234000, China

Abstract: The construction process of intelligent mines is accelerating, and remote monitoring and fault warning technology for coal mine electromechanical equipment has become an important means to ensure production safety and stable equipment operation. This article systematically analyzes the operating characteristics and common fault types of coal mine electromechanical equipment, and combines the development status of intelligent sensing, Internet of Things, big data, and AI algorithms to explore the system construction and key technical links of remote monitoring system for coal mine electromechanical equipment. The technical mechanism, implementation method, and optimization path of fault warning are emphasized. The real-time perception, remote control, and intelligent prediction of coal mine electromechanical equipment operation status are achieved through technical integration and system upgrading, which provides technical support and practical basis for improving mine safety level and management efficiency.

Keywords: coal mine electromechanical equipment; remote monitoring; fault warning; intelligent technology; safety management

引言

煤矿生产环境复杂且机电设备运行任务繁重，煤矿机电设备运行是煤矿系统稳定运行的关键环节，而传统人工巡检与事后维修模式存在响应慢、成本高、风险大等问题，随着智能矿山不断推进，煤矿机电系统逐步应用远程监控与智能预警技术使设备运行有了更高效的管理手段，本文分析煤矿机电设备远程监控系统的技术框架与故障预警机制，为煤矿设备智能化运维提供理论支持与实践策略。

1 煤矿机电设备运行特点与监控需求

1.1 设备类型与运行环境分析

煤矿生产靠大量机电设备协同运行，像采煤机、刮板输送机、胶带运输机、电动机、变压器、排水泵、通风机等都是，这些设备构成煤矿生产的核心支撑系统，由于这些设备常长时间连续、高负荷运转，对设备运行的稳定性和可靠性要求极高。煤矿井下作业环境特殊，高温、高湿、高粉尘和腐蚀性气体等不利因素很普遍，因此设备的密封性、防爆性、抗腐蚀能力和抗震性能面临严峻挑战，煤矿设备要有很好的环境适应性和强结构防护能力才能长期稳定运行。煤矿设备间协同关系紧密，通风系统和瓦斯检测系统必须联动响应才能保证井下作业人员生命安全，要是某个关键设备出故障，很可能引发多级连锁反应，导致生产中断甚至井下安全事故，因此构建机电设备监控系统，让其有高精度感知、实时控制和联动响应能力，这不仅是煤矿设备正常运行的技术要求，更是煤矿安全生产体系建设的核心基础。

1.2 传统监控方式存在的问题

传统煤矿设备管理大多靠人工定时巡检和定期维护，在实际运用中有明显滞后和低效的问题，井下高危环境下，瓦斯泄漏、坍塌等安全风险威胁着巡检人员，且照明不足、噪声干扰、空间狭窄等客观因素还可能使他们误判、漏检设备运行状态或者延迟反馈，尤其深井、复杂巷道结构和设备密集区域巡检范围大、频次高，人工很难全覆盖，很多隐性故障早期不能及时发现，传统煤矿监控系统大多是分散式控制架构，设备间没有统一数据交互机制，信息孤岛现象严重，状态数据不能共享且难以进行预测分析，没有集中化的数据处理平台和智能诊断模型，故障预警和维护响应往往滞后于问题产生，运维效率低、设备故障率高，严重制约煤矿设备管理智能化、自动化和安全水平的整体提升。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.3 智能监控需求与发展方向

煤矿生产普遍存在高风险、高强度的作业环境，构建一套高效、实时、智能的设备监控系统是保障安全生产、提升管理水平的必然选择。传感器技术、无线通信、工业互联网、人工智能等关键技术不断进步促使煤矿机电设备远程监控系统朝着智能化方向逐步演进。这个系统能集成多种类型传感器，对设备运行状态（像温度、电流、电压、振动频率等）以及环境参数（像瓦斯浓度、水位、风速等）进行实时监测且依靠边缘计算平台就地处理数据，初步分析数据并快速预警，从而大大提高了系统对异常状态的响应速度与识别准确率。未来会重点发展系统的高度集成化、数据处理的实时性和智能模型的自学习能力，进而促使煤矿设备管理模式从传统的“事后检修”慢慢转向“主动预测性维护”，既能降低设备运维成本，又能有效提升煤矿整体安全性与智能化水平，给智慧矿山建设提供坚实的技术支撑和数据基础。

2 远程监控系统架构与核心技术

2.1 系统组成与功能模块

煤矿机电设备远程监控系统主要有数据采集层、通信传输层、平台处理层和用户应用层四个部分，构成“感知—传输—处理—控制”的闭环结构，其中数据采集层会部署各类高精度传感器用于实时监测设备运行状态参数，如电流、电压、温度、振动频率、润滑状况、湿度、瓦斯浓度等环境因素，并且利用智能终端进行边缘计算和本地故障判断以减轻中心平台负载，通信传输层运用有线与无线混合网络技术，如工业 Wi-Fi、光纤通信、5G 或者 LoRa 等低功耗远距离通信协议使数据能够稳定、高速、低延时传输，平台处理层集成大数据管理、AI 建模分析、状态可视化和远程控制功能，从而支持设备状态趋势分析、故障预警与能效评估，用户应用层设有图形界面和远程控制入口，支持多终端访问和多用户协同管理，实现远程集中监控、自动报警、调度指令下发等功能，为运维人员提供直观、精准、高效的管理工具。

2.2 关键技术实现路径

多项核心技术协同应用才能实现远程监控系统，传感与感知技术是系统运行的基础，煤矿井下环境及设备状态靠布设多种类型传感器（像温湿度传感器、电参量传感器、图像采集器、激光测距仪之类）来全面感知，并且边缘计算技术在数据源头初步分析和过滤数据，这能减轻传输带宽压力、提升响应速度，网络通信部分用高可靠性的工业以太网或者无线通信技术构建抗干扰强、通信稳定的传输路径以保证数据链路连续，数据处理环节中，系统引入随机森林、支持向量机、LSTM 等人工智能算法，采集的数据经其特征提取和模型训练后故障识别更准确、预警更及时，数字孪生技术用来构建虚拟仿真平台，实现实际设备状态的数字化复现和运行模拟，能给预测性维护和设备生命周期管理提供支持，人机交互界面借助可视化平台展示设备运行状态、异常告警信息和维护建议，方便用户操作判断。

2.3 系统集成与部署策略

远程监控平台要确保系统高效稳定运行，就得有良好的系统集成能力和可扩展性，对于原有监控系统，集成策略上要做兼容分析并分阶段制定替换和整合方案，不能一次性大改让系统瘫痪，系统结构按模块化设计理念，将感知单元、通信模块、平台接口等用标准化形式封装以方便后期升级维护，部署策略要根据矿区实际环境和设备分布情况合理布点布网，强化关键设备区域监测密度并构建边缘节点和主控平台的层级管理结构，实现本地实时预警和远程集中控制并行，数据管理方面要建立统一数据标准和接口规范，以保证多厂商设备数据互联互通，安全上采用多重身份验证、数据加密传输、权限分级控制机制，保障系统运行安全和信息数据保密，采用分布式部署和云边协同控制提升系统灵活性、鲁棒性和故障容错能力，满足煤矿智能化建设对高可靠监控系统的严苛要求。

3 故障预警技术原理与应用机制

3.1 常见故障类型与数据特征

煤矿机电设备长期高负荷运行时容易出现多种故障，常见电气类故障包括电动机过载烧毁、绝缘老化引发短路、电缆绝缘破损、电压波动、电流突升等，典型机械类故障包含轴承磨损卡滞、润滑失效、皮带跑偏、传动部件振动异常等，相关统计数据表明全部设备故障里电气类故障约占 46%、机械类故障约占 38%、系统配置不合理或者井下环境因素导致的其他故障约占 16%，这些故障发生时有一系列可量化的异常数据表现且时间序列性和趋势性很明显，电动机故障前常有温度缓慢上升、电流频繁波动或者出现异常尖峰、电压短时跌落等现象，设备传动机构的运行稳定性可由振动监测数据反映且振动频率偏离正常区间也许预示潜在风险，电机温度正常在 60℃以内且温度持续超 75℃达 2min 就会触发报警机制，三相电流不平衡度超 10%表明存在负载偏移或者内部故障隐患且得马上启动校正与检测流程，上述数据特征为智能预警系统构建模型提供了精确、能量化的输入基础。

3.2 智能预警模型构建

大数据积累和机器学习算法是构建预警模型的基础，大量历史故障数据与正常运行数据经对比分析后可提取出典型故障征兆参数组合。煤矿行业常采用决策树模型（如 CART）、支持向量机（SVM）、人工神经网络（ANN）、长短期记忆网络（LSTM）等模型，拿神经网络模型来说，采集到的电压、电流、温度、振动、声音信号等多维特征用于训练后系统就能对潜在故障类型进行识别与分类且准确率达 91%。处理具有时间相关性的监测数据时 LSTM 模型表现格外优越，它能实现设备状态的趋势预测和提前预警，以过去 10min 的振动频谱序列作输入，模型能预测

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

未来 2min 是否有异常波动进而提前进行干预控制，专家系统与之相结合构建混合型模型能有效提升模型对非线性、突发性故障的识别能力并减少误报与漏报概率。

3.3 预警机制实施流程

故障预警机制的实施流程大体上有五个阶段，即数据采集、异常检测、预警判断、分级响应和反馈闭环：现场部署的传感器对目标设备进行高频率（如 1s/次）的数据采集并传输到边缘计算节点以初步检测异常，从而排除短时噪声数据的影响；接着，监测系统把采集到的数据输入已训练好的预警模型进行实时计算，模型输出“正常”“轻微异常”“重度异常”等状态标签后依据预设阈值进行比对判断；一旦有异常信号，系统启动分级预警机制，温度异常升高但没超限的时候系统提示人工关注，升高超过限值则触发Ⅱ级报警并记录日志推送到值班调度平台，系统同步联动自动控制模块以自动执行停机保护、故障隔离、备用设备切换等操作；所有预警信息进入历史数据库，靠这些数据进行后续分析和模型优化，从而形成数据驱动的闭环管理机制，全面提升煤矿机电系统的故障防控能力和运行安全水平。

4 系统优化与实际应用成效分析

4.1 技术瓶颈与优化需求

煤矿机电设备远程监控与故障预警技术虽已在不少矿区应用，但系统运行时仍有一系列技术瓶颈和现实挑战，数据采集不完整是有的设备传感器布设不合理且井下环境恶劣会使传感器损坏从而造成数据采集有空档和误差，网络通信不稳定由于井下空间、金属反射干扰、设备电磁辐射等因素让无线信号在某些区域衰减严重进而导致数据传输延迟或者丢包影响远程控制的及时性，智能预警模型大多靠大量样本训练泛化能力差无法适应新设备和罕见工况致使误报率高且漏报严重，系统运维成本高在于多厂家设备接入、协议转换、系统维护都要做这需要技术门槛高的人力，平台间数据割裂系统接口不统一影响不同部门协同决策效率，系统在精度、稳定性、兼容性和可持续运维能力上需要不断优化、迭代技术。

4.2 优化措施与技术升级路径

上述瓶颈问题需要多维度技术优化策略和系统升级路径来应对，数据采集时用多冗余布点且防护等级高的工业级传感器，像 IP68 级温湿度一体传感器、抗爆电流探头之类的，可提升井下恶劣环境下的数据获取能力，并且借助边缘 AI 技术能在传感端初步异常分析和自我诊断，减少数据回传压力。通信架构上全面引入 5G+Wi-Fi6 混合组网模式，井下主干通道用高带宽、低时延、多连接的 5G 网络覆盖，设备集中区布设 Wi-Fi 热区，以保证通信稳定性和数据实时性。模型算法优化方面推广迁移学习和联邦学习策略，可使模型在不同矿区间共享知识，提高对新设备、新工况的适应能力，构建多模型融合机制，提升异常识别的准确率和鲁棒性。平台层面推进统一接口协议标准化，就能实现视频监控、设备控制、人员定位、能耗监测等子系统的数据互联和协同管理。运维模式引入“云+边+端”架构，平台支持远程升级和智能诊断，边缘节点有局部故障容错能力，终端应用简洁可视，全面提升系统的扩展性和易维护性。

4.3 实际应用效果与前景展望

技术优化和系统升级后，多座煤矿的智能监控系统收获了显著的实际成效，山西某大型国有煤矿 2024 年引入智能化远程监控系统后，设备故障率同比降了 37%、停产时间缩减 22%、设备平均运转效率提高到 95%，改造前预警准确率约 75%现在提升到 93%、误报率降至 3%以内，维护效率和安全保障能力大大提高，运维人员数量减少 26%、人均设备管理量提高近 40%，人力资源得以有效配置，并且系统平台还能进行历史数据分析并提供决策支持，给制定设备维护计划、优化生产调度提供了科学依据，往后随着 AI 算法、高可靠通信、新能源驱动设备和大数据分析技术不断进步，煤矿远程监控系统将朝着更高层级的自主诊断、自我恢复、自主优化发展，推动煤矿智能化管理从“感知智能”升级到“决策智能”再到“协同智能”，给智慧矿山构建提供核心支撑，预计 2030 年全国 85%的中大型煤矿将被智能化监控系统覆盖，为我国煤炭工业高质量安全发展提供强大的技术保障。

5 结束语

在智能化矿山建设中，煤矿机电设备远程监控与故障预警技术的作用日益关键，构建完整系统架构、集成先进感知与通信技术、应用智能化预警模型可有效提高设备运行安全性与稳定性并显著降低运维成本与人为干预风险，虽然现在还面临通信延迟、模型适应性不足等问题，但随着技术不断优化、实践不断深化其应用效果越来越显著，日后在推动煤矿数字化智能化安全化上会持续发挥核心价值。

[参考文献]

[1]刘晓兵.智能矿山背景下的煤矿机电设备管理创新[J].能源与节能,2025(3):25-27.
[2]段瑞贺.煤矿机电设备的智能化管理[J].内蒙古煤炭经济,2024(20):169-171.
[3]刘忠平.智能矿山背景下煤矿机电技术管理创新路径探索[J].能源与节能,2025(2):25-28.
[4]张永文.基于智能矿山的煤矿机电技术研究[J].流体测量与控制,2025,6(2):88-91.
[5]刘正佳.智能矿山背景下自动化技术在煤矿机电设备中的应用探析[J].中国机械,2024(19):96-99.
作者简介：韩春旭（1987.3—），男，河南省周口项城市，汉族，本科学历，助理工程师，就职于中煤第七十一工程处有限责任公司，从机电工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

机电工程电气施工中的难点和应对策探讨分析

路瑶瑶
河北静林电力工程设计咨询有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]机电工程电气施工属于整个工程建设里的核心环节，肩负着保证设备能够正常运转以及确保用户安全的关键职责。伴随建筑技术持续不断地升级更新，电气系统在设计以及施工方面的难度也在一天天增加。文中着重围绕机电工程电气施工进程当中碰到的众多难点展开细致剖析，涉及管线敷设所呈现出的复杂情况、供电系统需要具备的安全稳定特性、照明系统的设计与施工事宜、配电箱体的安装以及维护工作。对于这些难点，给出了完善设计方案、强化现场管理、严格把控材料采购、提升施工人员技能以及实施有效的调试与验收等一系列多方面的应对策略。研究最终得出的结果显示，综合运用这些策略不但可以有效地攻克施工难题，而且能够提高整体工程的质量以及安全水准。

[关键词]机电工程；电气施工；难点；对策
DOI：10.33142/sca.v8i7.17124 中图分类号：TU8 文献标识码：A

Exploration and Analysis of Difficulties and Countermeasures in Electrical Construction of Mechanical and Electrical Engineering

LU Yaoyao
Hebei Jinglin Electric Power Engineering Design Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Electrical construction in mechanical and electrical engineering is the core link of the entire engineering construction, responsible for ensuring the normal operation of equipment and ensuring the safety of users. With the continuous upgrading and updating of building technology, the difficulty of designing and constructing electrical systems is also increasing day by day. The article focuses on a detailed analysis of the numerous difficulties encountered in the electrical construction process of electromechanical engineering, including the complex situation presented by pipeline laying, the safety and stability characteristics required for power supply systems, the design and construction of lighting systems, the installation and maintenance of distribution boxes. For these difficulties, a series of multi-faceted strategies have been proposed, including improving the design scheme, strengthening on-site management, strictly controlling material procurement, enhancing the skills of construction personnel, and implementing effective debugging and acceptance. The final results of the study show that the comprehensive application of these strategies can not only effectively overcome construction difficulties, but also improve the overall quality and safety level of the project.
Keywords: mechanical and electrical engineering; electrical construction; difficulties; countermeasures

引言

机电工程里的电气施工属于极为关键的环节，它对于实现建筑的各项功能以及保障整个系统的安全都有着不容忽视的作用。近些年来，建筑设计逐渐变得越来越复杂，样式也越发多样起来。与此电气设备的种类可谓是多种多样，如此一来，施工所面临的难度以及存在的风险也随之不断增大。在施工的实际进程当中，经常会碰到诸如管线出现冲突、供电系统不够稳定、设备安装不够规范等一系列的问题，这些问题频频对工程的进度以及质量产生影响。面对这样复杂的施工环境以及诸多的技术挑战，迫切地需要对电气施工当中存在的各类难点加以系统性的总结，并且要结合现代的施工管理方式以及技术手段去探寻出切实有效、行之有效的解决办法。本文选取机电工程电气施工当作研究的对象，着重对施工的难点展开分析，同时深入探讨相应的应对策略，希望能为工程的实际操作给予一定的理论方面的支持以及技术层面的指导。

1 机电工程电气施工概述

电力施工是整个机电工程的重要环节之一，直接关系着施工的过程质量和对用户的安全保障。所以，政府相关部门都必须对这一过程进行科学规范的控制。在整个机械安装建造的施工过程中，主要施工内容包括防火卷闸门施工、电气设备安装施工、中央空调和通风施工、城市消防工程、燃气灭火和给排水施工等。而电力安装施工也同样是在整个机械安装施工中的主要施工环节，其主要施工过程包括电力系统工程、室外电气工程、配电设备施工、接地和防雷安装施工、电力照明安装施工、备用和不间断的供电装置施工、供电线路工程[1]。现在的相关设施已经更加先进，设备更加现代化。有关工程技术人员也应该与时代同步及时提升自己，发现潜在隐患及时加以解决，以保证电气设备安装的施工安全与效果，以及使用者的财物与人身安全。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 机电工程电气施工中的难点分析

2.1 管线敷设复杂与空间协调难题

在机电工程当中，电气管线的敷设往往会因为空间受到限制以及多个系统相互交叉的缘故而变得极为复杂，难以顺利开展相关工作。在现代建筑的内部，电气线路得穿越那些十分狭窄的通道以及诸多重叠的结构层，并且还必须要和其他诸如给排水系统、暖通系统以及消防系统等各类机电管线合理地进行分隔与协调处理。鉴于各个系统的管线走向以及安装的时间都存在差异，所以很容易会出现管线之间发生冲突以及布置不够合理等情况，这无疑给施工现场带来了相当大的组织方面的难题。空间的约束情况还对大型设备以及管线的合理布置形成了限制作用，在施工的时候往往需要不断地去调整方案，从而避免彼此之间产生相互干扰的现象。除此之外，复杂的空间环境使得管线的固定、支撑以及保护等相关工作的难度进一步增加，要是稍不留神，就极有可能会导致后续线路维护以及检修工作的开展变得极为困难，进而对工程的质量以及使用寿命造成极为严重的影响。

2.2 供电系统的稳定性与安全性问题

供电系统在机电工程正常运转方面起着基础性的保障作用，于施工期间，确保该系统的稳定性以及安全性显得极为重要。在施工环节当中，电源引入、配电系统的设计还有设备安装都务必要遵循严格的技术规范，要是不如此操作，那出现供电不稳定、短路以及漏电等各类安全隐患的概率就会变得极高。因为施工环境往往比较复杂，所以线路敷设出现错误、接地状况不佳以及保护装置配置不到位等情况时常都会冒出来，这些情况一方面会威胁到设备的安全，另一方面也会影响到人员的生命财产安全。况且有些工程项目规模颇为庞大，系统也比较复杂，供电系统的协调调试工作难度颇高，一旦稍有差池，就极有可能致使设备遭到损坏或者系统陷入瘫痪状态。所以说，要切实保障供电系统施工按照高标准、高质量的要求来执行，这是确保机电工程能够安全运营的一个关键所在。

2.3 照明系统设计与施工难点

照明系统在建筑物当中占据着十分重要的地位，它一方面与建筑物的使用功能紧密相关，另一方面还对环境舒适度以及节能效果有着不容忽视的影响。在电气施工的过程里，对于照明系统的设计环节而言，得全面且细致地考量诸多方面的因素，像是光源的布局情况、照度的均匀程度、能耗的效率状况以及美观方面的表现等等。到了施工阶段的时候，就要精准无误地去安装照明设备，并且合理有序地进行布线操作，务必要确保能够切实满足设计所提出的要求，同时还要严格遵守相关的安全规范。因为建筑结构本身往往较为复杂，而且照明的种类也是多种多样、数量众多，所以施工人员在针对照明线路展开敷设工作、进行接线操作以及开展设备安装活动的时候，会面临着相当高的技术方面的要求。要是稍不留神出现些许疏忽，那就极有可能会出现照度不够充足、灯具遭到损坏乃至发生电气故障等诸多不良后果。除此之外，随着节能型照明技术不断地得到推广并加以实际使用，这更是给施工技术以及设备的适应性提出了更高的挑战要求，因此施工单位就需要持续不断地去更新自身的技术手段，从而才能够充分满足现代照明系统所提出的各项要求。

2.4 配电箱体安装及维护难题

配电箱在电气系统当中属于极为重要的枢纽部分，它的安装质量的好坏会直接对线路运行时的安全状况以及稳定程度产生影响。在施工的具体进程里，针对配电箱的选型方面、安装位置的确定以及固定的方式方法，都得充分地去考量设备日后的维护事宜、线路布线的实际需求还有防护的相关要求。要是配电箱体的安装位置设置得不合理，那么就很容易出现空间拥堵的情况，如此一来，维护检修工作就会变得极为不便，同时还会使得安全隐患有所增加。除此之外，配电箱内部的电气元件在接线的时候务必要做到严密且规范，因为施工的质量存在着参差不齐的现象，所以这就容易引发出接触不良的问题，并且故障也会频繁地出现。维护方面的诸多难题还具体表现在后期开展的定期检查工作、元件更换操作以及故障排除等环节上。倘若在施工阶段没有充分地考虑到维修工作的便捷性，那么后续的维护工作将会变得极为艰难，这不仅会增加运营的成本，而且还会加大安全方面的风险。

2.5 材料质量控制及供应保障

材料质量构成了保障电气施工质量的根基，倘若材料出现劣质情况，那么其极有可能变成安全隐患的源头所在。在施工现场当中，材料的种类颇为繁杂，像导线、电缆、管材以及配件等诸多方面皆有所涉猎。要是材料采购环节缺少严格的把控举措，那便容易致使材料的质量呈现出参差不齐的状况，甚至还会让部分不合格的材料堂而皇之地流入到施工现场，如此一来，无疑会对工程的安全性以及耐久性都构成威胁。除此之外，材料供应周期不够稳定，并且库存管理也做得不够妥当，这同样会导致施工进度受到阻碍，进而使得施工成本有所增加。要想构建起有效的材料质量控制体系，那就得将供应商评估、进场检验以及存储管理等诸多环节都囊括进去，以此来保证施工所使用的材料都能够契合国家标准以及设计要求，从而从源头处为工程质量给予有力的保障。

3 机电工程电气施工的应对策略

3.1 完善设计方案及施工图纸审核

完善设计方案以及施工图纸的审核工作，是保证机电工程电气施工能够顺利推进的关键开端。科学且合理的方案，一方面得契合工程的功能方面的需求，另一方面还得充分顾及施工的实际操作可行性还有安全层面的考量。在正式施工之前，相关的技术人员务必要针对设计图纸展开多轮细致入微的审核，以便能够及时察觉出图纸当中存在的矛盾之处以及种种不足之所在，进而加以妥善处理，防止后期出现因设计方面的缺陷而引发的施工返工情况以及安全隐患问题。与此还需进一步强化设计单位和施工单

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

位彼此间的沟通与协作配合，从而切实保障设计方案能够与实际的施工环境达成良好的适配状态。要充分利用计算机辅助设计（CAD）等当下较为先进的技术手段来开展三维建模以及管线的综合布置工作，提前对施工方案予以模拟推演，借此优化管线的敷设路径走向，以此提高空间的利用效率。唯有规范图纸审核的具体流程，并且强化对于设计工作的管理力度，才能够有效降低施工的难度，进而大幅度提升工程质量以及安全保障的水准。

3.2 加强施工现场管理与协调

施工现场管理以及协调能力的强化，乃是解决机电电气施工在复杂环境下所面临难题的必备保障。施工现场的环境本就复杂且多变，还涉及多个工种、多个部门协同开展作业，倘若管理松散无序，那便极易出现资源方面的冲突、工序出现错乱以及存在安全隐患等情况。所以应当构建起完善的现场管理体系，清晰明确各个岗位的职责所在，强化对施工人员的纪律管理，并且加强作业规范方面的培训工作。现场管理人员需要实时对施工进展以及安全状况加以监控，协调并解决现场出现的各种各样的问题，以此来确保施工秩序能够保持井然有序的状态。与此借助信息化管理平台达成施工过程的数字化监控以及信息的共享，从而提升管理的效率以及透明程度。强化现场协调机制，一方面可以提高工作效率，另一方面也能有效地预防安全事故的发生，进而保障施工人员的生命安全以及工程的质量。

3.3 严格材料采购及质量检测

材料采购以及质量检测方面若能做到严格把控，这无疑会成为保障电气施工质量的一处坚实基础所在[1]。材料的质量到底如何，其好坏情况可是会对电气系统的安全运行状况以及使用寿命长短产生直接影响作用的。施工单位有必要去建立起一套较为完善的供应商选择方面的机制，针对供应商所具备的资质情况以及产品质量这两方面内容展开严格细致的评估与精心筛选，要优先去选用那些符合国家以及行业所规定的相关标准的优质材料。当材料进入到施工现场之后，应当组织起专业的人员来开展起全面且细致的质量检测以及验收工作，尤其要着重对电缆的绝缘性能、导体材质情况以及防腐蚀性能等诸多关键指标加以检验。对于那些不符合相应标准的材料，务必要坚决地予以拒收，彻底杜绝劣质材料进入到施工环节当中。在施工的整个过程之中，得进一步加强对材料的存储以及保护工作，防止出现受潮、受损或者发生变质等情况。唯有通过不断完善材料管理方面的制度并且强化对于质量的监控举措，才能够切实有效地保障施工所用材料的合格比率，从源头上切实提升工程的质量水准以及安全性能表现。

3.4 提升施工人员专业技能与安全意识

施工人员所具备的专业技能以及他们的安全意识，这两者和电气施工的质量以及安全水平存在着直接且紧密的关联。就当前情况来看，部分施工队伍在技术水平方面参差不齐，对此应当着手建立起一套行之有效的系统培训机制，按时组织开展技术技能方面的培训活动以及安全方面的教育工作，以此促使施工人员能够更为透彻地理解并更好地掌握最新的施工技术、相关的标准规范还有安全操作的具体要求[2]。借助模拟实训、现场给予指导等多种方式来强化施工人员的实际操作能力，进而提升他们面对复杂施工环境时的应变能力以及故障处理的水平。与此还要着重加强施工人员安全意识的培养工作，让他们能够严格遵循安全操作规程，并且积极投身到安全风险的辨识以及防范相关工作中去。建设起一支素质较高的、专业程度颇高的施工团队，这对于达成电气施工高质量以及高安全的目标而言，无疑是极为关键的保障所在。

3.5 实施有效的调试与验收管理

调试以及验收属于机电工程电气施工里的关键收尾阶段，它直接左右着系统能不能够安全且稳定地运行。在施工告一段落之后，得依照设计方面的要求还有相关的规范规定，去拟定详尽的调试计划以及验收标准。在调试的进程当中，要开展针对电气系统的绝缘测试、接地测试、负载试验等一系列的检测工作，从而及时地把存在的问题给找出来并且加以整改。至于验收这个环节，则应当邀请设计方、施工方以及监理方等诸多方面一同来参与其中[3]。构建起科学合理且规范有序的调试与验收管理方面的体系，一方面能够对电气系统运行的可靠性起到有效的保障作用，另一方面也给工程质量后续的长期维护筑牢了稳固的基础。

4 结语

机电工程电气施工期间存在着不少技术以及管理方面的难点，像管线布置、供电安全、照明施工、设备安装、材料控制、现场管理还有人员素质等诸多方面都有涉及。对于这些难点，得靠完善设计方案、强化现场管理、严格把控材料、提高施工人员技能以及实施规范调试验收等多种办法一起上才能去应对。唯有综合运用各种措施并且协同推进，才可以切实提升电气施工的质量以及安全水准，保证机电工程能够顺利开展并实现长期稳定运行。往后的日子，伴随智能化和信息化技术的应用越来越广泛，机电电气施工将会进入到一个更为高效、安全且绿色发展的全新阶段，给现代建筑以及工业设施的可持续发展给予稳固有力的支撑。

[参考文献]

[1]龙浩.机电工程电气施工中的难点和对策[J].城市建设理论研究(电子版),2024(15):103-105.
[2]崔秉健,沈海东.机电工程电气施工中的难点和对策[J].城市建设理论研究(电子版),2023(11):4-6.
[3]侯文儒.探究机电工程电气施工的注意事项[J].中国设备工程,2022(12):207-209.

作者简介：路瑶瑶（1996.1—），当前就职单位：河北静林电力工程设计咨询有限公司，职务：电气一次设计，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高速公路机电设备故障维修与维护措施

黄 崇
广西交通投资集团梧州高速公路运营有限公司平南分公司，广西 贵港 537314

[摘要]随着我国高速公路建设持续推进，机电设备已然成为保障高速公路安全且高效运行的关键部分，其运行状况会对道路的通行能力以及管理水平产生直接影响，在长时间高强度的运行进程里，机电设备极易出现各类故障问题，这给高速公路的正常运营造成了不少挑战。此文从高速公路机电设备的概况讲起，全面深入地剖析常见故障及其成因，并且结合当下的故障诊断技术以及维修手段，着重探讨科学合理的维护管理策略，凭借落实预防性维护、规范日常保养以及强化维护人员培训等举措，可有效提高机电设备的运行稳定性与使用寿命，确保高速公路的安全畅通。最后对机电设备维护工作的未来发展趋势予以展望，希望能给相关管理和技术人员给予参考与借鉴。

[关键词]高速公路机电设备；故障维护；维护措施
DOI：10.33142/sca.v8i7.17123 中图分类号：U418 文献标识码：A

Maintenance and Repair Measures for Mechanical and Electrical Equipment Malfunctions on Highways

HUANG Chong
Pingnan Branch of Guangxi Communications Investment Group Wuzhou Expressway Operation Co., Ltd., Guigang, Guangxi, 537314, China

Abstract: With the continuous promotion of highway construction in China, mechanical and electrical equipment has become a key part of ensuring the safe and efficient operation of highways. Its operation status will have a direct impact on the road's traffic capacity and management level. In the long-term high-intensity operation process, mechanical and electrical equipment is prone to various faults, which poses many challenges to the normal operation of highways. This article starts with an overview of highway electromechanical equipment, comprehensively and deeply analyzes common faults and their causes, and combines current fault diagnosis techniques and maintenance methods to focus on exploring scientific and reasonable maintenance management strategies. By implementing preventive maintenance, standardizing daily maintenance, and strengthening maintenance personnel training, the operational stability and service life of electromechanical equipment can be effectively improved, ensuring the safe and smooth operation of highways. Finally, the future development trend of mechanical and electrical equipment maintenance work is discussed, hoping to provide reference and inspiration for relevant management and technical personnel.

Keywords: highway electromechanical equipment; fault maintenance; maintenance measures

引言

随着社会经济不断发展以及交通运输需求持续增加，高速公路作为重要交通基础设施，其智能化和自动化程度不断提升。机电设备是高速公路运营管理核心硬件，负责信息采集、交通控制、收费管理以及安全监控等关键工作，在保障高速公路运行安全、提高管理效率方面起着重要作用。机电设备长时间处于复杂环境条件下，设备技术含量高且结构复杂，所以设备故障时常出现，这会影响道路正常通行和管理。有效的故障维修及科学维护措施能减少设备停机时间，降低运营成本，还是提升高速公路智能化管理水平的关键所在。本文围绕高速公路机电设备故障特性，结合先进检测与维修技术，提出切实可行维护管理策略，为高速公路机电设备稳定运行给予技术支持和管理保障。

1 高速公路机电设备概述

高速公路机电设备属于一种统称，其指的是在高速公路运营以及管理环节所运用到的各种各样的机械与电子设备。从类别方面来讲，它主要涵盖了收费系统设备、通信系统设备还有监控系统设备这三大类。这些设备有着极为关键的核心功能，那就是要保证车辆收费能够精准无误、信息传输可以顺畅无阻并且交通安全监控也能够行之有效。就收费系统设备而言，其中包含有自动收费机、票据打印机以及自动栏杆机等等，它们的主要职责在于达成车辆收费以及流量管理方面的自动化操作。而通信系统设备，其作用在于确保信息能够实现实时的传输，并且能够让指令得以及时地下达，它可以说是高速公路管理信息系统当中的基础设施所在。至于监控系统设备，则是借助摄像头、地感线圈这类硬件来实时对交通状况展开监控，进而给出交通流量的统计数据以及针对异常事件做出预警提示。机电设备本身的结构是比较复杂的，它涉及机械、电子、计算机以及网络等诸多不同的技术领域。并且它的运行环境

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

也是多变且复杂的，所以设备必须要能够满足高可靠性以及高稳定性这样的一些要求。伴随着智能交通技术不断地向前发展，机电设备也逐步朝着集成化以及智能化的方向去发展了，如此一来，其不但提高了管理方面的水平以及运行方面的效率，然而与此它也给设备维护带来了更高层面的技术以及管理方面的要求。

2 机电设备常见故障及原因分析

2.1 故障类型

（1）收费系统设备方面。票据打印机产生故障问题。高速公路收费系统运行中，打印票据产生卡纸或延迟问题，影响车辆通行效率，这主要是因为打印机长期运行，工作负荷较高，加大了内部零件压力，由此会增加故障发生概率。自动栏杆机产生故障问题。该问题表现在自动栏杆运行中会产生上下起落无法及时处理工作人员指令要求以及存在不稳定发热现象等。究其原因在于主板故障、感线圈问题等。（2）通信系统方面。高速公路运行中通信系统故障十分常见，主要表现为显示器故障，无法正常进行文字、图片显示以及语音播报活动。检查和维护中，要针对保险丝、显示器连接控制中心的设备，观测其是否存在熔断现象，如发现则必须及时加以更换和维护[1]。（3）监控系统设备方面。监控系统处于长期运行状态中，容易产生故障问题，需要切实加强维修防护。若监控系统中的地感线圈无法识别进入车辆，会影响车辆检测效果，为此，要着重检测地感线圈，确保其电量处在正常状态，如存在问题要及时开展维修。

2.2 故障原因

高速公路机电设备故障的原因颇为繁杂，大致可归纳为设备自身性能存在缺陷、受环境因素影响以及管理维护工作做得不够到位这三个方面。设备老化的情况属于导致故障出现的主要原因之一。机电设备往往需要持续不断地运行较长时间，在这样的情况下，其机械部件会因长时间的摩擦、振动以及负载的作用而无可避免地出现磨损状况，与此电子元件随着使用时长的增加也会呈现出性能不断衰减乃至完全失效的情形，进而致使设备的整体性能有所下滑，各项功能也难以顺畅地发挥出来。环境方面的因素给设备的稳定性带来了较为明显的影响。高速公路机电设备一般会被安装在户外，这就使得其长期处于高温、潮湿、灰尘以及雨雪等恶劣气候条件之下，这些因素会加快设备零部件的腐蚀速度以及老化进程，对电路板、连接器以及机械机构的正常运转形成阻碍，甚至有可能诱发短路或者是机械卡滞之类的故障。高速公路所处的开放性环境以及其特殊的地理位置，很容易受到电磁干扰以及电压波动等方面的影响，而这些电力以及信号的异常波动情况，又会进一步加大设备出现故障的风险，对系统的稳定性以及安全性都产生不利影响。从另外一个层面来讲，操作不规范同样是导致故障频繁发生的极为重要的原因。由于缺少标准化的操作流程，操作人员在日常使用设备的过程中，极有可能会出现误操作的情况，亦或是忽视了设备发出的异常信号，又或者是未能及时采取有效的应对措施，如此一来，便会让设备的损伤程度变得更加严重，甚至还会引发二次故障。与之相应，维护保养工作做得不够到位，这无疑是故障频发的深层次原因所在。不少高速公路机电设备并未建立起科学合理的维护计划以及定期巡检的相关制度，如此一来，设备所存在的潜在隐患便无法及时被察觉并加以处理，随着时间的推移，问题不断累积，最终导致设备性能大幅度下降，甚至出现重大故障。除此之外，设备在设计以及采购环节当中存在的种种缺陷，比如配件质量未达到标准等情况，同样会给设备后期的运行埋下诸多隐患。这些缺陷涵盖设计不够合理、材料选择欠妥当、制造工艺不够精细等诸多方面，都会在实际使用过程当中陆续暴露出各式各样的问题。所以说，面对呈多维度、多层次特点的故障原因，必须要采取具有系统性的预防以及维护举措，构建起完善的管理体系以及技术保障体系，唯有如此，才能够切实有效地降低高速公路机电设备的故障发生率，确保设备能够稳定地运行下去，从而保障高速公路能够实现安全且畅通无阻的通行状态。

3 故障诊断与维修技术

3.1 故障检测方法

故障检测的方法包含人工巡检、仪器检测以及在线监测这三大类别。人工巡检依靠维护人员针对设备展开定期的目视检查以及功能测试，如此便能够直观地察觉到诸如机械损坏、线路异常这类较为明显的故障，不过它受到时间以及人员技能方面的限制，所以存在检测不到的盲区。仪器检测借助专用设备来测量电气参数、温度还有振动信号，可以捕捉到更为细微的异常情况，然而通常属于间断性的检测方式。在线监测属于现代机电设备维护的一项重要手段，凭借安装在设备之上的传感器持续不断地采集关键的运行参数，并且实时将其上传至管理平台，再通过大数据分析来识别异常模式，进而达成早期故障预警的目的。部分系统还会将视频监控以及红外成像技术相结合起来，从多个角度对设备的状态展开综合性的评估。合理地选择检测方法，同时结合设备的运行特点以及故障规律来看，能够极为有效地提升故障发现的及时性与准确性，进而成为保障设备能够安全且稳定地运行的关键基础所在。

3.2 维修流程与措施

维修流程需依照规范化管理来开展，自故障申报起始，要精准且及时地将设备异常信息记录下来，务必要保证信息在传递环节不出差错。之后凭借现场或者远程的方式去诊断，以此确定故障的具体性质以及所涉及的范围，进而制定出具有针对性的维修方案，这里面涵盖所需的各类材料、相关工具还有人员方面的安排事宜。在维修实施的过程中，得严格遵循既定的操作规程，确保维修的质量能够

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

达标，同时也保障人员的人身安全。对于不同种类的故障，要运用诸如机械调整、更换零部件、电路修复或者是软件更新这类技术手段来处理。维修工作结束之后，还需进行功能复验，以确认设备已经恢复到正常的运行状态。维修所采取的措施，一方面要能够解决当下的故障问题，另一方面更要针对故障产生的根源去采取改进举措，从而避免类似的问题一再出现。除此之外，在维修的过程当中，还应当做好详尽的记录工作，以便为后续的维护事宜给予数据层面的支持。建立起科学合理的维修流程以及行之有效的维修措施，能够在很大程度上提升设备维修的效率与质量，进而保障高速公路机电设备可以持续且稳定地运行下去。

3.3 紧急故障处理

紧急故障处理需要维护团队有快速反应能力以及高效故障排除技术，保证设备尽快恢复运转。出现紧急故障时，要立即启动应急预案，快速组织技术人员去现场开展故障诊断与抢修工作，如需可启用备件替换，确保关键设备能持续运行。在处理期间，得密切留意设备安全状况，防止因维修不妥当导致更大范围的设备损坏或者发生安全事故。维护人员要配备必要的应急工具和备件，维持通信顺畅，保证信息能够及时反馈回去。依据不同的故障类型，制定详尽的紧急处置流程与操作规范，提高应急维修的标准化程度。借助科学合理的紧急故障处理机制，尽可能地缩短设备停机时间，确保高速公路运营的安全与畅通无阻。

4 维护管理策略

4.1 预防性维护

预防性维护是依据科学方式来制定周期性的维护计划以及检测项目，其可提前察觉到设备所存在的潜在异常情况与磨损状况，进而防止突发性故障出现。这种维护既包含定期开展的机械润滑、清洁以及部件更换等操作，同时也十分重视依靠数据驱动展开的状态监测工作，借助对设备运行参数变化趋势的分析，可精准地判断出设备的健康状况[1]。实施预防性维护这一举措，能够有效地延长设备的使用寿命，减少维修的频次以及停机的时间，从而降低运营方面的成本。合理的预防性维护计划要综合考虑设备的类型、运行所处的环境以及使用的强度等因素，对维护周期与内容做出动态的调整，以此确保维护措施具备科学合理性。凭借完善的预防性维护体系，能够达成从被动修复朝着主动预防转变的目的，大幅度提升高速公路机电设备的稳定性与可靠性。

4.2 日常维护与保养

日常维护以及保养属于保障机电设备可稳定运行的一项重要基础性工作，这就需要维护人员秉持规范作业的原则，依照设备维护手册的规定来定期实施清洁操作、润滑处理、紧固相关部位以及开展性能方面的检查工作。在日常工作的进程当中，应当将目光着重聚焦于易损部件以及关键控制系统之上，要针对所发现的异常情况及时予以妥善处理，以防问题不断积累进而引发故障产生。行之有效的日常维护举措对于维持设备的运行效率而言是有帮助的，它还能降低环境因素给设备所带来的负面作用，促使设备抗干扰的能力得以提升[2]。与此维护记录要是具备完整性并且保证准确性，这对于后续展开故障分析以及对维护计划做出相应调整来讲是极为重要的。借助规范化的日常维护流程，能够确保机电设备始终处于良好的工作状态之中，从而为高速公路的运营安全筑牢坚实的保障防线。

4.3 维护人员培训

维护人员的专业技能以及责任意识，这两者对机电设备维护工作的质量以及效率有着决定性的影响。系统性的培训计划应当包含设备的结构与功能、常见的故障诊断方法、维修技术要点、安全操作规程以及新技术的应用等内容，以此来保证维护人员拥有较为完备的专业知识以及实际的操作能力。定期开展培训以及考核活动，一方面能够提高维护队伍的整体水平，另一方面也有助于推动经验的交流以及技术的创新[3]。加强安全方面的教育工作，提升维护人员的风险意识，从而在维修过程中预防发生安全事故。伴随着智能化设备逐渐普及开来，维护人员需要不断地去学习并掌握智能诊断以及远程维护等技术，以适应设备技术发展所提出的新要求。凭借持续不断的培训以及能力的提升，维护团队才能够更为有效地确保高速公路机电设备能够安全且稳定地运行。

5 结语

高速公路机电设备能否稳定运行，关乎道路是否安全畅通，合理开展故障维修以及采取科学维护举措，可充分保障设备的可靠性。本文深入剖析高速公路机电设备各类故障及其成因，同时结合先进诊断技术与规范维修流程，给出以预防性维护当作核心、日常保养作为基础，并且借助维护人员培训的综合管理策略，施行这些举措，可有效减少设备故障率，增加设备使用寿命，提高高速公路整体管理水平，以后伴随技术持续发展，智能化、信息化维护技术会逐步在机电设备管理中应用，给高速公路运营带来更为稳定且高效的支撑，相关管理部门需积极推维护体系创新，持续完善维护机制，提升维护能力，以此保障高速公路机电设备安全稳定运行，推动交通运输可持续发展。

[参考文献]

[1]高贤.高速公路机电设备故障维修与维护措施[J].运输经理世界,2022(17):160-162.

[2]黄耀辉.高速公路机电设备故障维修与维护措施探讨[J].居舍,2021(14):45-46.

[3]郭鑫.高速公路机电设备故障维护分析及维修的高效管理[J].交通世界,2021(2):219-220.

作者简介：黄崇（1993.7—），男，汉族，广西桂平，助理工程师，大学本科。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电气自动化设备故障预防及检修方法探讨

张丰收
克拉玛依荣康机电设备有限公司，新疆 克拉玛依 834000

[摘要]现代工业生产离不开电气自动化设备，这些设备的运行状态对企业经济效益和生产安全影响很大。在气候特殊、文化多元的地区，电气设备故障模式和维修需求常常带有地域特点，传统维护方法效果不佳。现有研究对标准设备维护探讨深入，但对特殊环境适应性维护的系统研究相对缺乏。本研究从环境工程信息技术和跨文化管理视角切入，致力于开发一套实用的设备全生命周期维护方案。该方案旨在应对地域性运维困境。技术代差问题也需同步解决。
[关键词]电气自动化；故障预防；检修方法；地域性运维困境；全生命周期
DOI：10.33142/sca.v8i7.17146　　中图分类号：TM615　　文献标识码：A

Discussion on the Prevention and Maintenance Methods of Electrical Automation Equipment Malfunctions

ZHANG Fengshou
Karamay Rongkang Electromechanical Equipment Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract: Modern industrial production cannot do without electrical automation equipment, and the operating status of these equipment has a significant impact on the economic benefits and production safety of enterprises. In regions with unique climates and diverse cultures, the failure modes and maintenance needs of electrical equipment often have regional characteristics, and traditional maintenance methods are ineffective. Existing research has delved deeply into the maintenance of standard equipment, but there is a relative lack of systematic research on adaptive maintenance for special environments. This study focuses on developing a practical equipment lifecycle maintenance plan from the perspectives of environmental engineering information technology and cross-cultural management. This plan aims to address regional operational challenges. The issue of technological differences also needs to be addressed simultaneously.
Keywords: electrical automation; fault prevention; maintenance methods; regional operational difficulties; all life cycle

引言

电气自动化设备在现代工厂中至关重要，其故障导致的停产损失巨大。在昼夜温差大、风沙多的区域，设备电子元器件老化速度惊人，既定维护周期完全行不通。够快，设备就坏了。多语言环境存在沟通障碍，准确传递故障信息很困难，这种复杂运维现状急需创新方案。现有研究多聚焦单一故障分析，却较少关注特殊环境下多种故障同时发生的耦合效应。耦合效应是研究难点。设备厂商的标准方案常忽略地域适应性，导致预防措施效果打折。一线维护人员技术水平跟不上设备更新速度，这种技术代差显著放大了故障风险。因此，建立既技术先进又符合地域特点的故障防控体系因此成为当务之急。地域性运维困境亟待系统性方案。

1 电气自动化设备故障问题分析

1.1 系统故障

系统层面的故障问题，主要指的是发生在控制软件内部、通信协议交互过程以及数据处理算法执行这些逻辑层面的功能紊乱现象，程序跑飞、信号传输过程中发生丢包、控制指令最终执行结果出现偏差等等，都是这类故障经常能观察到的典型表现。当整个系统长时间处于过负荷的运行状态时，那些未能被及时释放的内存资源，就可能逐步地累积起来，最终导致整个控制程序完全崩溃掉，在那些需要连续不停运转的生产线上，这种情况造成的经济损失尤其严重。更让人头疼的是，有相当一部分系统故障，会把自己伪装成硬件出了问题的样子，比如说当通信模块的驱动程序本身存在设计缺陷的时候，它表现出来的症状，跟物理连接发生松动所产生的现象，几乎可以说是一模一样，这无疑给准确定位故障点增添了额外的困难。

1.2 硬件故障

硬件方面的故障问题，具体涉及到电气元件自身性能的逐步劣化、机械结构件发生失效、连接部件出现物理性损伤等等多种形式，这类故障其发展变化的过程，通常都是符合那个著名的浴盆曲线规律的。在那些昼夜温差变化特别剧烈的特定地区，印刷电路板上面那些小小的焊点，因为材料反复经历热胀冷缩而产生的机械应力作用，会导致焊点内部产生微观的裂纹并且逐渐扩展变大，这种损伤在刚开始的时候，可能仅仅表现为设备偶尔出现的接触不良现象，但随着时间一年年地推移下去，最终就会发展成永久性的断路故障[1]。电动机轴承里面填充的润滑脂，在低温的环境条件下黏度会显著增大，这就会造成电机启动

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

时所需的扭矩大大超过设计标准，还有高温环境会导致绝缘材料加速老化变脆等问题，这些都是在特定地域环境下非常典型的硬件故障模式。特别需要维修人员提高警惕的是，像编码器、压力变送器这类特别关键又精密的传感器件，它们的性能衰减过程，往往不是线性的均匀变化，一旦传感器的测量误差超过了系统设定的安全阈值，搞不好就会引发一连串的连锁反应，最终导致整个控制系统做出了完全错误的判断[2]。

1.3 人为操作造成故障

在好多电气自动化设备运用过程中，除了机械自身的故障外，还有一部分是人为的原因，在一些电气自动化设备的生产厂家，由于操作工人的专业化水平低，在操作过程中不能熟练地操作，或者发生问题不能及时解决延误机器的正常运转引起系统的故障，还有随着电气自动化设备的不断更新以及操作的复杂程度，一些操作人员由于麻痹大意对设备的操作流程不熟悉或者不规范操作，就会导致电气自动化控制设备出现故障。

2 电气自动化设备故障预防措施

2.1 环境适应性改造方案

提升电气自动化设备密封防尘等级至关重要。这需要平衡成本控制与防护需求。长期暴露在含大量悬浮颗粒环境中的电气控制柜，IP65 防护等级标准是特别重要的。密封结构必须达标。柜门缝隙处硅橡胶密封条的质量，还有线缆进线口迷宫式密封装置的质量，直接决定防尘效果。这些部件的性能是核心因素。

密封材料会发生物理性能衰退，源于持续的热胀冷缩循环。弹性模量降低会发生，表面硬化裂纹也会产生。短期内密封可能不会立即失效。但长期防护性能必然受影响，这点是明确的。安装自适应调节功能的温度补偿系统时，设备内部功率器件的热量分布需要考虑。当地气象资料记载的极端温度记录也需要考虑。补偿方案应基于此设计。半导体加热与强制风冷相结合的复合温控方式能应对剧烈温度波动。然而，这种方式会带来负面效应。额外的能源消耗会存在，而且维护工作量也会增加。系统稳定性可能受此影响。

2.2 基于工况的预防性维护制度

沙尘季节正式到来之前的专项检测机制，需要建立一份包含电气连接点紧固程度、散热系统工作效率、光学仪器镜头透光率等总共 12 项关键指标的详细检查清单内容，并且要求在沙尘天气实际来临前大约两周的时间点完成清单上所有检测项目的检查工作。检测过程的每一个步骤，都应当努力做到标准化和流程化，针对每一个具体的检测项目，都必须制定清晰明确的操作步骤规范和最终的验收合格标准，这样做主要是为了避免因为不同检测人员操作习惯或者能力水平的差异，导致最终的检测结果不可靠或者缺乏可比性[3]。与此同时，检测过程中获取的各项数据的详细记录和后续的深入分析工作同样非常重要，通过对比分析历年积累下来的检测数据，有可能发现一些潜在设备问题逐渐发展的趋势和规律。针对冻融循环这种特殊气候现象制定的周期性维护计划，则应该重点关注液压系统密封圈弹性性能的变化、润滑油脂在低温状态下流动特性是否达标以及金属结构部件表面是否出现疲劳裂纹等典型问题，维护计划的具体执行间隔时间，需要参考当地长期积累的气象历史记录数据进行动态灵活的调整。整个维护制度最终能不能发挥出应有的效果，高度依赖于日常执行过程的标准化程度到底怎么样，然而这一点在实际生产操作中常常被追求操作便利性的想法给削弱了作用。

2.3 智能监测系统建设

部署在工业现场的传感器网络除了要监测传统的三相电流波动和轴承振动频谱之外，还应当增设能够实时采集空气中可吸入颗粒物浓度和相对湿度变化趋势的特殊传感单元，这些传感单元的安装位置既要避开变频器产生的高频电磁干扰又要保证信号传输链路具有足够的信噪比，如此复杂的技术要求使得整个监测系统的拓扑结构设计成为考验工程师专业水平的试金石。开发故障预警平台时遇到的最大难题莫过于如何在云端的批量数据处理能力和边缘计算节点的实时响应速度之间找到最佳平衡点，那些未经优化的机器学习算法要么会产生大量无效报警消磨运行人员的耐心要么会遗漏真正的危险征兆贻误处理时机，这种两难处境暴露出智能诊断技术在实际应用中面临的深层困境。

2.4 人员培训体系优化

编写用于指导现场操作的多语种技术文档时经常遇到的陷阱是专业术语的直译会造成理解偏差，那些没有配备三维爆炸图和错误操作对比示意的说明书即使翻译得再准确也难以避免被误读的命运，更糟糕的是不同版本的文档混杂使用会导致操作标准出现令人担忧的分裂现象。采用虚拟现实技术开展培训虽然能减少对实体设备的依赖却隐藏着仿真模型精度不足带来的风险，当受训人员在虚拟环境中反复练习的那些故障处置流程与实际情况存在细微差别时，这些差别可能会在实际操作中造成灾难性的后果，这种潜在风险暴露出仿真培训系统验证机制存在严重缺陷。

2.5 备件供应链本地化

建立区域性备件储备中心时面临的悖论是既需要控制库存资金占用又必须确保关键备件随时可用，那些基于故障模式与影响分析理论计算出的最优库存量往往在实际执行时会被各种意外因素打乱，尤其当遇到交通运输受阻或供应商交货延迟等突发情况时，再精确的库存模型也会失去指导意义。确定耐候型电子元器件的技术参数时需要参考的不仅是产品样本标注的标准测试数据，更重要的是这些元器件在特定环境应力作用下的实际退化曲线，那

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

些没有制造商技术支持团队参与的选型决策很可能会忽略某些关键的失效机理。

2.6 应急响应机制完善

编制极端天气应对预案时最容易犯的错误是过度关注设备保护措施而忽视人员安全保障方案，那些没有标明紧急疏散路线和备用通讯频点的预案文本在真正面临台风或暴雪袭击时会暴露出致命的缺陷，这种缺陷反映出安全管理思维中存在重物轻人的错误倾向。配置移动检修车辆时经常陷入的误区是过分追求装备的齐全而牺牲了机动性，那些装载着精密检测仪器却无法通过泥泞路段的救援车队在关键时刻反而会成为摆设，这种本末倒置的做法值得我们深刻反思。

3 电气自动化设备故障检修方法

3.1 分级诊断技术

构建远程专家会诊系统面临着如何协调现场维修人员区域技术中心专家和设备制造商技术支持团队这三个层级技术力量的核心难题。高清视频传输技术实时数据共享平台和协同诊断软件的集成应用虽然理论上能够实现跨地域技术支援，但在实际操作中经常遇到现场人员无法准确描述故障特征的困境。那些仅凭主观感受描述的机器异响或指示灯异常现象完全无法满足精确诊断的要求，必须通过专业培训使其掌握振动频率测量和信号时序分析等标准化故障信息采集方法。配备在防震工具箱中的便携式示波器与红外热像仪等智能诊断设备，这些价值高昂的精密仪器在实际恶劣工况下的可靠性往往取决于操作人员能否正确解读不断跳动的波形图。分级诊断体系最大的价值在于将有限的高级技术资源从更换保险丝这类简单工作中解放出来，但这种资源优化必须以建立复杂的多级响应机制为代价。

3.2 模块化替换策略实施

标准化功能模块更换流程中，防静电措施常被维修人员忽略。不佩戴防静电手环便直接接触电路板的行为，存在着难以预估的风险。新安装模块的性能验证过程必须严格执行，包含从初始上电至满载运行全阶段的十三步测试流程。任何一项关键参数异常，都可能导致修复失败甚至引发更严重的二次故障。故障模块返厂分析工作的有效性，很大程度受限于物流运输条件。需要恒温恒湿环境运输的精密电路板，在普通物流中经历的物理冲击会彻底改变其失效特征。模块化维修虽显著缩短现场抢修时间，但同时也带来了新问题，备件库存资金占用率显著上升。模块化维修带来了备件积压问题。备件管理成为新的挑战。

3.3 环境参数追溯法解析

分析微气候数据与设备运行日志时，常存在思维陷阱：将相关性误判为因果性。例如，将某次故障前记录的湿度峰值简单归为根本原因，而忽略同时段发生的电压骤降事件。采用机器学习算法构建故障预测模型时，必须警惕过拟合陷阱——模型在训练集表现优异却无法适应新环境数据。环境因素对设备性能的影响常呈现明显滞后效应，这种特性在年平均温差超四十度的地区尤为突出。基于实时监测数据得出的诊断结论，在此类地区经常偏离实际情况。环境因素导致诊断偏差，诊断偏差也就由此而产生了。追溯环境参数需格外谨慎，设备运行状态与外部环境之间存在复杂关联，这种关联有时难以直观把握，容易陷入数据迷雾。数据迷雾需要清晰认识。

3.4 民族地区特色解决方案

多语言智能诊断界面开发过程中最具挑战性的不是文字翻译本身而是图形符号的文化适应性，某些在西方工业标准中代表正常的绿色对勾图案在部分少数民族文化语境中可能被赋予负面含义[4]。技术术语翻译的一致性保障需要建立跨语言的标准化术语数据库作为支撑，缺乏这种基础性工作就会导致相同电气元件在不同语言版本手册中出现完全不同的命名方式。调整设备检修计划以避开重要宗教节假日的做法虽然看似简单，却能显著提升当地维修团队的工作配合度，这种对文化习俗的尊重所产生的管理效益常常超过纯粹的技术改进措施。

4 结束语

电气自动化设备故障的预防与检修，构成了一项需要持续完善的系统工程。本研究提出的环境适应性改造思路以及智能诊断方法，为解决特殊环境设备维护难题开辟了新途径。实施分级诊断策略和模块化替换路径，可以显著提升故障处理效率。基于实际工况的预防性维护制度，则能有效降低故障发生的源头风险。再先进的技术方案，如果脱离了操作人员的能力范围，操作人员的技能鸿沟可能引发事倍功半的效果。需要反思的是这一点。接下来的研究重心应置于预测性维护技术在特殊环境中的本地化应用探索。培养具备跨学科知识的复合型人才，该任务也亟需加速推进。提升电气设备维护水平，不仅依赖技术创新，更需要管理思维的根本性转变，并且需要培育专业的维护文化。说到底，只有将先进技术与因地制宜的实施策略相结合，才能建立起真正经得起考验的设备健康管理体系。

[参考文献]

[1]吴沁莹.自动化设备的故障预防与检修方法分析[J].集成电路应用,2023,40(8):244-245.
[2]谢家骅.电气自动化控制设备故障预防与检修技术概述[J].世界有色金属,2022(16):12-14.
[3]秦鑫,陈霞.电气自动化控制设备故障预防与检修技术分析[J].电子测试,2022,36(20):116-118.
[4]石磊.电气自动化控制设备故障预防与检修技术探析[J].仪器仪表用户,2024,31(11):37-39.

作者简介：张丰收（1991.5—），毕业院校：东北大学，所学专业：电气自动化技术，当前就职单位名称：克拉玛依荣康机电设备有限公司，就职单位职务：总经理，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

对电气自动化工程中的节能设计技术浅析

王 悦
机械工业第九设计研究院股份有限公司，吉林 长春 130000

[摘要]随着“双碳”战略目标的提出以及能源结构的持续调整，汽车制造企业迫切需要借助系统的节能减排举措来提高能源利用效率并削减运行成本。电气自动化工程身为制造系统的支柱性支撑，在能源管控方面发挥着无可取代的作用。特别是在涂装车间这个典型的高能耗单元当中，科学合理的节能设计不但与企业绿色转型能否达成紧密相关，而且还是制造智能化水平得以提升的关键根基。文章从汽车生产线的能耗特性着手，全面剖析涂装车间以及总装车间在电能、水资源还有热能使用环节里的关键节能节点，明晰节能设计所遵循的原则以及优化的途径，并且借助电气自动化技术的综合运用，给出具备现实指导价值的节能办法。在此基础上，深入探寻车间能源管理朝着智能化、数据化方向发展的趋势，给汽车制造企业打造绿色高效的生产体系给予理论方面的支撑以及实践层面的参考。

[关键词]电气自动化；节能设计；技术
DOI：10.33142/sca.v8i7.17144　　中图分类号：TP29　　文献标识码：A

Brief Analysis of Energy-saving Design Technologies in Electrical Automation Engineering

WANG Yue
MMI Planning & Engineering Institute IX., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract: With the proposal of the "dual carbon" strategic goals and the continuous adjustment of energy structure, automobile manufacturing enterprises urgently need to use systematic energy-saving and emission reduction measures to improve energy utilization efficiency and reduce operating costs. As the backbone support of manufacturing systems, electrical automation engineering plays an irreplaceable role in energy management and control. Especially in the typical high-energy consumption unit of the painting workshop, scientific and reasonable energy-saving design is not only closely related to whether the enterprise can achieve green transformation, but also the key foundation for improving the level of manufacturing intelligence. The article starts with the energy consumption characteristics of automobile production lines, comprehensively analyzes the key energy-saving nodes in the use of electricity, water resources, and heat energy in the painting workshop and final assembly workshop, clarifies the principles and optimization methods followed in energy-saving design, and provides energy-saving methods with practical guidance value through the comprehensive application of electrical automation technology. On this basis, we will deeply explore the trend of workshop energy management developing towards intelligence and dataization, providing theoretical support and practical reference for automobile manufacturing enterprises to create a green and efficient production system.

Keywords: electrical automation; energy-saving design; technology

引言

当下，全球制造业遭遇着能源短缺以及环保方面所施加的压力这两方面的严峻挑战，汽车产业属于典型的耗能颇高的行业，所以其朝着绿色方向的转型已然变成了时代赋予的一项极为重要的课题。涂装车间在汽车生产的整个流程当中，算得上是能耗较为集中的地方，其对于电、水、热这三类能源的使用情况颇为密集，并且设备的运行状态呈现出高度的自动化以及连续化特点，这就确定了它有着巨大的节能方面的潜力。怎样在不对工艺质量产生影响的情况之下，尽可能地去提升能源的利用效率，这便是电气自动化设计所要着重去完成的一项关键任务。这篇文章把目光聚焦在汽车制造环节里的涂装车间以及总装车间，细致深入地对节能设计所遵循的原则、所采取的路径以及所运用的技术手段展开剖析，着重指出需要将电气自动化技术融入能效控制体系当中的重要性，目的是给相关的工程实践给予具有系统性的思路以及可供参考的方案。

1 汽车制造车间的能源特征与自动化基础

汽车制造各个车间在生产流程方面有着紧密的协同配合，其能源使用的结构也呈现出多元化的态势。冲压、焊装、涂装以及总装这些环节各自有着不同的能源需求，不过就用电、热能以及水资源的消耗情况来看，涂装车间长期处于首位的位置。尤其是在电泳、喷漆还有烘干等工序当中，数量众多的加热设备以及输送设备一直处在持续运行的状态，这使得能耗始终维持在比较高的水平。与此现代汽车制造对于电气自动化系统有着极高的依赖程度，像 PLC 控制器、智能传感器以及 SCADA 系统等等，都在生产的各个环节广泛地布置着，以此来达成对能源系统精准控制以及远程监控的目的。这样的一种高度自动化的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基础情况，给节能优化营造了不错的平台，同时也对节能设计在系统性以及智能化方面提出了更高的要求。

2 涂装车间节能设计的原则与思路

2.1 安全优先与系统稳定性保障

在开展节能设计相关工作之时，务必要将安全性牢牢置于首要地位，尤其在像涂装车间这类环境颇为复杂并且存有不少易燃易爆物质的场合更是如此。涂料以及溶剂有着特殊的性质，这便让温控系统还有电控系统的设计变得极为重要，要是配置得不妥当，那极有可能会引发火灾或者爆炸这类严重的安全事故。所以说，电气自动化系统在设计环节必须要严格按照国家所制定的相关安全标准以及行业规范来执行，要保证各类保护措施，像是保护接地、过载保护装置、温控安全装置等等，都得以完整且可靠地配置到位。除此之外，在设计流程当中还需要引入冗余以及容错机制，以此来强化系统面对故障时的抵御能力，确保即便是在出现异常工况的情况下，设备以及系统依旧可以安全且稳定地运行下去。与之所有的节能设备连同其控制逻辑都得经过严格的测试以及验证，要确保在着力追求节能成效之际，并不会给生产节拍以及工艺质量带来任何负面的影响，进而达成节能和安全、稳定之间的有机融合，切实保障涂装车间的生产环境是安全且可靠的，推动整体运营朝着高效以及可持续发展的方向迈进。

2.2 节能与环保目标协同

节能并非仅仅是对能源加以节约，它还意味着要对环境负责。涂装车间往往会涉及高温热源以及挥发性有机物的排放，所以合理的节能设计务必要让环境指标能够达标。就好比在烘干系统当中引入尾气热回收装置，如此一来既能提高热效率，又可以降低尾气温度并且减少排放量；在喷涂环节采用无泵房设计，这样一来，能够在大幅度降低水耗和能耗的也减少了废水排放，很好地体现了节能和环保并重的理念。

2.3 技术先进性与工艺适用性统一

节能设计要依靠当下较为先进的自动化以及能源管理方面的技术，然而不可以脱离车间的工艺要求。就好比说，运用智能照明、变频送风还有自动流量调节等一系列措施的时候，务必要和喷涂、干燥等关键工艺相互契合起来，从而保证不会因为节能改造这一行为而给生产质量或者生产效率带来负面的影响。在技术选择方面，应当把成熟度比较高、适配性比较强当作前提条件，要积极鼓励本土化的创新以及定制化的集成方式，绝对不能够盲目地追求所谓的“高端化”，进而忽略了实际的效果。

2.4 成本控制与投资效益评估

节能改造通常会伴随着一定的投资成本出现，设计方案务必要在具备技术可行性这一前提下达成经济性方面的优化效果。借助生命周期成本分析这种方式，针对设备投资情况、节能所能带来的收益状况以及维护成本等方面展开系统的评估工作，这对于实现投资回报的最大化是很有帮助的。在实际开展的项目当中，应当把那些节能潜力较为突出且回收周期相对较短的技术路径作为优先选择的对象，如此一来既能体现出节能所取得的实际成效，又能提升管理层对于节能项目更高的接受程度以及更强的推动力度。

3 涂装车间节能设计的电气自动化技术路径

3.1 电能节约技术

在涂装车间当中，电能的消耗往往集中在输送系统、空调通风系统、循环泵、风机以及照明系统等这些较为关键的设备与环节上。若想切实达成电能节约的目的，那么便能够从输送链着手，引入先进的变频控制器。借助该控制器来对工艺节拍以及负载需求加以实时监测，进而依据实际情况动态地去调整电机的转速，如此一来就能够防止电机出现长时间满载运行的情况，进而避免由此产生的能量浪费。对于风机与泵系统而言，同样可运用变频控制以及 PID 调节策略，依据实际的工况灵活地调整其运行的状态，以此尽可能地将无效能耗降下来，确保系统能够高效地运转起来。照明系统采用智能化的控制方案显得格外重要。把光感传感器与时间控制器相结合，进而实现双重的调节功能，确保在没有人员活动的时候能够自动关闭照明，在人员到场之际则能够及时地点亮照明，如此便大大削减了照明电能的无端消耗。再进一步来讲，现代的自动化配电系统应当对功率因数补偿设备加以整合，以此来提升电网的功率因数，降低无功功率的损耗，同时还要配备电能质量监控装置，针对电压、电流等关键参数展开实时的监控以及动态的调控，从而避免电压出现波动以及电力发生扰动而给设备带来的额外损耗以及故障的风险。凭借上述多个维度的电能节约技术的综合运用，不但有效地提高了电能的利用效率，而且还强化了涂装车间电气系统的稳定性与可靠性，最终达成了节能减排这一目标。

3.2 水资源节约技术

涂装车间在预处理阶段往往需耗费诸多水资源，其主要用于清洗、酸洗以及磷化等一系列工艺环节当中。水资源的利用效率高低，一方面直接牵涉到车间的运行成本情况，另一方面也对环保绩效能否达成产生着影响。为了达成有效节约用水的目的，不少涂装车间都引入了循环水系统，并且配备了多级过滤装置。如此一来，便能针对清洗水展开高效的净化处理工作，进而实现水的重复使用，大幅度地降低对新鲜水的需求数量，同时也能减少废水的排放情况。就喷淋系统而言，采用 PLC 自动化控制技术，可精准地设定喷洒压力以及喷头角度，与此再结合电磁阀来实施定时开关控制，如此便能够科学合理地调节用水量，有效避免了在传统人工控制之下所容易出现的过量喷洒这一现象，由此进一步达成了节约水资源的效果。除此之外，部分处于领先地位的企业还引入了雨水收集系统，把收集到的雨水用于厂区的冲洗、绿化以及其他并非工艺环

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

节的用水需求上，这在一定程度上有效拓宽了水资源的利用途径，提升了整体水资源的综合使用效率，进而实现了经济效益与环境效益的双双提升。

3.3 热能利用与回收技术

热能在汽车涂装车间的烘干作业、空调运作以及热水供应环节里，其能耗比重颇为关键，怎样高效地利用并且回收热能，已然成为达成节能目标的重要环节。得对热源系统的结构予以科学层面的优化，借助提升燃气炉的燃烧效率以及热交换效率的方式，尽最大可能地提高热能的利用率，以此来削减燃料的消耗量以及排放所造成的污染情况。与此余热回收技术的应用有着不容忽视的重要性，该技术可从烘干过程当中的尾气里回收大量的余热，这些热能经过合理的处理之后，能够用于给新风或者工艺用水进行预热，如此一来便能大幅度地降低对一次能源的需求，进而实现节能减排的既定目的。就烘干工艺而言，采取多段温控区的设计方案，以此达成分段供热以及精准的温度控制效果，如此既能避免因整体过度供热而引发的热能浪费问题，又能确保涂装工艺的稳定性以及产品的质量状况。在空调系统这块，将热泵技术与能量回收新风机组加以集成，能够高效地完成制热与制冷功能的切换以及优化操作，让系统在保障高温高湿涂装环境下舒适度的尽可能地降低能耗水平。凭借这些具有综合性特点的热能利用与回收举措，涂装车间不但提高了能源利用的效率，而且还有效地减少了碳排放量，有力地推动了绿色制造的实现进程。

4 总装车间的典型节能设计措施

4.1 电动装配工具能耗控制与能效分级管理

总装车间广泛运用电动拧紧工具、升降机还有各类辅助搬运设备，这些设备一般有频繁启停的运行特点，使得用电负荷呈现较为突出的峰值波动情况，能耗水准相对较高[1]。要想有效把控能耗，应当优先选用高能效等级的电机，这种电机在运行效率以及能量转换方面都有着不错的表现，可大幅降低设备的电能耗费。与此配置节能待机系统，让设备处于非工作状态时可以自动断电，防止无意义的空载能耗，进而达成对用电的有效节省。借助在工位层面展开细致的能耗监控与分级统计，能够实现对设备能耗的定额管理与分区控制，这不但有利于察觉能耗异常与浪费状况，而且能为后续的能效提升给予数据方面的支撑。综合运用这些举措，可大幅提升总装阶段的能效管理水平，减少整体电能消耗，推动生产流程朝着绿色化与智能化方向发展。

4.2 智能空调系统与区域环境节能控制

总装车间一般面积都比较宽敞，人员数量众多，热负荷也不小，所以对环境控制的精确程度以及能效方面的要求颇高。为了达成有效的节能管理目的，广泛采用分区控制的变冷媒流量调节系统也就是 VRV 空调设备或者工业冷风机当作首选方案，这类系统可依据不同区域的温湿度需求来灵活做出调节。借助配备高精度的温湿度传感器还有智能网关，空调系统能够实时对车间内的人流密度以及热源分布加以监测，凭借所收集到的数据智能地去调节送风量与送风方向，防止出现无意义的能源耗费，尽可能地将整体空调能耗降下来[2]。与此合理地去设计并布置门帘，另外划分出隔断区域，可有效地阻止冷热空气相互串流，强化局部环境的温度控制成效，进而提高空调系统的局部调节效率。综合智能控制技术，整个空调系统能够达成动态且精准的环境调节，既保证了车间内员工的工作舒适性，也确保了生产环境的稳定性，还大幅推动了节能减排目标的实现。

4.3 智能照明系统与工位照度动态调节

总装车间里，由于各道工序的工作特性以及作业环境不一样，所以照明方面的需求差异也挺大的[3]。这时候，采用依据 DALI 协议的智能照明系统就显得特别重要了。此系统可达成对各个工位光照强度的实时且精准的调节效果，会依照现场作业的实际工况，自动去匹配最为适宜的照度水准，如此一来便能保证作业环境既舒适又安全。与此把先进的人员定位系统与之结合起来，那么照明区域就能够实现动态的自动开关控制，确保只有有人作业的区域才会开启照明，如此一来便大幅削减了无效能耗。再配合着高效节能的 LED 灯具一同使用，这样的智能照明方案不但明显提升了照明质量以及视觉体验，而且还切实降低了能源消耗，展现了节能与环保这两方面的优势。除此之外，在昼夜更替的时候或者是在自然采光条件不错的场地，系统是能够接入天光传感器的，通过和自然光联动起来控制，智能地调整室内照明强度，进一步提升能源利用效率，达成照明系统的绿色节能目标。

5 结语

汽车制造企业面临着节能减排以及智能制造这两方面的任务。涂装与总装车间属于关键的用能节点，其在实现降本增效以及绿色转型方面占据着核心的地位。本文全面且细致地梳理了节能设计的原则，并且对电气自动化技术路径展开了深入剖析，着重指出了在保障安全并且能够稳定运行的前提之下，借助数字化以及智能化的方式提升能源利用效率是很有必要的。在未来，随着智能工厂建设不断向前推进，能源管理会变得更为精细化、集成化，电气自动化工程在推动制造业朝着绿色高质量方向发展这一过程中将会扮演起更为关键的作用。

[参考文献]

[1]张辉.浅析电气自动化工程中的节能设计技术[J].电子元器件与信息技术,2022,6(1):108-109.

[2]孙国君.电气自动化工程中节能设计技术应用研究[J].电气时代,2022(5):67-69.

[3]程敏.节能设计技术在电气自动化工程中的应用[J].产业创新研究,2022(20):142-144.

作者简介：王悦（1986.8—），单位名称：机械工业第九设计研究院股份有限公司，毕业学校和专业：吉林大学自动化专业。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

从“被动监测”到“主动防控”：城市噪声治理的智能化转型趋势

王安银
伊宁市环境监测站，新疆 伊宁 835000

[摘要]伴随城市化进程不断深化，诸如交通运输、建筑施工、商业娱乐等活动不断增多，环境噪声问题愈发突出。传统采用“被动监测、事后处理”模式的治理方式效率欠佳，难以匹配现代城市对高效、精准管理的期望。依托物联网、人工智能、云计算等先进前沿技术，城市噪声治理正迅速向智能化方向转型，实现“主动预警、实时响应、精准控制”。以构建多维度、全包括的感知网络为途径，把数据分析跟智能决策模型融合，噪声污染治理逐渐达成从静态监测到动态干预、从单一治理到协同互助的跃升，象征城市环境管理方式正经历深度的革新转变。

[关键词]城市噪声；智能化治理；主动防控；物联网；大数据；生态城市
DOI：10.33142/sca.v8i7.17152　　中图分类号：TB533　　文献标识码：A

From "Passive Monitoring" to "Active Prevention and Control": the Intelligent Transformation Trend of Urban Noise Control

WANG Anyin
Yining City Environmental Monitoring Statio, Yining, Xinjiang, 835000, China

Abstract: With the continuous deepening of urbanization, activities such as transportation, construction, and commercial entertainment are increasing, and environmental noise problems are becoming increasingly prominent. The traditional governance approach of "passive monitoring and post-processing" is inefficient and difficult to match the expectations of modern cities for efficient and precise management. Relying on advanced cutting-edge technologies such as the Internet of Things, artificial intelligence, and cloud computing, urban noise control is rapidly transitioning towards intelligence, achieving "active warning, real-time response, and precise control". By building a multidimensional and fully inclusive perception network and integrating data analysis with intelligent decision-making models, noise pollution control has gradually achieved a leap from static monitoring to dynamic intervention, and from single governance to collaborative assistance, symbolizing the deep transformation of urban environmental management methods.

Keywords: urban noise; intelligent governance; proactive prevention and control; Internet of Things; big data; ecology city

引言

环境噪声被列为城市“隐性污染”之一，尽管不存在直接的可见形态，却显著影响着城市生态系统与居民的身体和心理健康。世界卫生组织宣称，长时间暴露在高噪声环境之下，有可能引发听力障碍、心血管疾病、睡眠方面障碍及心理压力等。伴随着城市规模的增大与人口密度的上扬，城市噪声源体现出多样化、复杂化的走向，以往依靠人工巡查跟简单监测设备的管理模式，难以对噪声污染做到及时预警和有效限制。快速发展的新一代信息技术为城市噪声治理增添新契机。从“可视可辨”的噪声源识别，进而有“想得透彻”的大数据分析。

1 城市噪声治理的演变与智能化趋势概述

早期城市噪声治理多采用被动响应手段，主要凭借群众投诉与例行监测相契合的形式。虽说建立起噪声限值标准和部分监管体系，但鉴于监测手段短缺、数据采集零碎，难以支撑起动态管理及综合决策进程。自进入信息化时代起，噪声监测陆续采用电子传感器、移动监测车等用具，扩大覆盖范围同时提升效率，可还是以数据“采集-上报-分析-处理”的线性流程为主要内容，缺少实时应对能力。

借助智能化技术，城市噪声治理迈向“主动防控”阶段。依靠大量物联网噪声传感器节点的投放，可达成全天候不停歇自动监测。依托云平台集聚多源数据，采用人工智能算法做噪声溯源、趋势研究与风险预警，使治理从“被动应付难题”转向“精准预防危机”[1]。

2 当前城市噪声治理存在的主要问题

2.1 监测网络布局不均

目前很多城市在推动噪声智能监测网络构建的时候，经常优先选定交通主干道、商业中心、学校、医院等人口密集或敏感区域实施布点安排。“点状”布设思维下城市空间的整体性被忽略掉了，导致监测点大多汇聚在核心地带，但针对城郊结合部、背街小巷、城乡接合区等噪声污染潜在高发的地带，关注未达要求。

某些城市部署监测设备时未进行统一规划，面临布点重复设置、布点疏密差异大等难题，引起资源的无效耗费，也对数据的全面性及代表性有影响。布局的这种不均匀会对治理资源合理调度形成干扰，同时降低了噪声数据对政

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

策制定的参考意义。因此，未来城市噪声监测体系要以“点面结合”“动态优化”为起始点，选用多源传感器跟移动监测设备相衔接的做法，合理弥补感知存在的盲区，促进实现“全区域覆盖、要点突出、灵活调度”的精准监测成果。

2.2 数据孤岛与信息壁垒

多个管理部门被牵扯进城市噪声治理，涵盖生态环境部门开展环境监测与执法事宜，公安部门针对扰民事件展开处理，交通管理部门熟知路面噪声情形，城管部门管理着建筑施工以及市政维护相关事宜。多部门的这种参与，彰显了治理协同的必要意义，但在现实的操作执行里，却因为统一的数据接口、标准协议及共享机制的缺乏，形成了“数据孤岛”[2]。

环境部门的监测数据未同步推送给执法机构，导致对违法行为无法及时实施干预；施工管理平台掌握着的噪声源活动计划内容，未能与噪声分析模型实现对接，降低了预警模型的精准度，此类信息壁垒明显制约着城市噪声智能化治理系统的整体效率。打破数据壁垒、达成跨部门数据整合，应搭建起统一的“城市声环境数据平台”，利用标准化的数据接口、统一数据规则和依托云计算的协同框架，达成多源异构数据的汇聚、剖析与共享，以此为实时监测、风险预警及执法调度事宜提供支撑。

2.3 算法识别精度不足

虽说现今城市于噪声监测期间逐步引进人工智能技术，借助声音识别模型对声源做分类判定，但因为城市声环境存在复杂与不确定状况，现有算法的识别精度依旧未达理想水平。城市里噪声的种类林林总总，涉及交通带来的噪声、施工造成的噪声、商业活动里的噪声、人群吵闹喧哗声、设备运转发出的声响等，各类声源的频率、时长、波形等参数差别明显，频繁呈现“声音相互交融重叠”或“背景噪声干扰识别效果”的现象，这让算法在识别声源类别时极易出现误判或漏判。

当下的识别模型往往依赖现有的训练数据集，而这些数据集面临声源样本量短缺、环境适应能力差等难题，无法契合复杂多变城市环境的需求。因此，未来城市需强化声环境大数据的采集与标注事宜，促进创建规模更大、样式多元的城市声源数据库，支撑深度学习算法实施优化训练，增强噪声识别的精准度、稳定性与自适应水平，实现货真价实的“声源感知智能化”[3]。

2.4 管理机制滞后于技术发展

虽说城市噪声治理技术不断演进，由传统的人工监测发展成借助物联网的实时感知，从单一的噪声值记录迈向声源识别与趋势预估，但相关管理机制的更新步伐和技术发展相比明显滞后。目前大部分城市依旧采用传统的执法响应程序，靠着市民反馈、人工巡查加事后处理，该模式有着响应滞后的弊端，还往往因证据欠缺难以形成有效处理。

处于智能技术普遍应用的大背景，很多城市尚未打造出“智能发现-自动预警-快速联动-闭环反馈”的应急管理体系，造成智能化成果无法有效转化为治理能力。同时，现有的法律法规在噪声污染的界定标准、处罚依据以及行政权责划分等层面存在空白或模糊空间，执法进程往往欠缺技术支撑以及法理依据。例如，针对夜间施工噪声扰民问题时，执法人员或许没办法在实时情况下获取合法证据，也不能判断是否超标，导致执行面临阻碍、取证面临难题、问责面临困境。

2.5 公众参与度不高

城市噪声治理不只是技术和制度范畴的问题，更是一场需公众深度参与的社会治理实践。然而，在现实治理工作里，公众在噪声污染问题上的重视程度、举报行为与治理参与度普遍不达标。居民在噪声污染认知上存在缺漏，没充分意识到其对健康与生活质量存在的潜在威胁，未拥有主动防护与维护权利的意识。

城市在公众参与机制设计里缺乏系统性跟便捷性，现存的举报渠道多依赖热线电话、网站投诉等惯用方式，操作流程冗杂、反馈周期久长，让市民参与的积极性受挫。此外，部分群众对噪声问题反映后，未给出明确的处理结果反馈，易出现“举报无用武之地”的消极心理。噪声污染往往与“邻里关系”“日常活动习惯”等敏感问题相关，部分居民由于担心邻里矛盾，选择沉默不语或忍耐[4]。

3 推动城市噪声智能化治理的优化策略

3.1 完善智能监测体系

推动城市噪声治理从“被动反应”走向“主动预警”转型，首先要做的是打造一套高效科学的智能噪声监测体系。当下监测体系存在区域布点分配不均、感知盲区不少、监测方式单一的情况，迫切需用多层级感知网络来进行系统性的填补加强。应在城市主干道、密集居住区域、商业核心、学校医院等重点区域四周，恰当布置固定式智能噪声监测点，做到对高风险区域全天候、全频域的监控。

引入便携式噪声监测设备、以公交车和巡逻车搭载设备为实例的移动传感平台与无人机动态监测等模式，开展针对施工密集区、城乡接合部等流动性强、空间分布复杂区域的补充监测，实现动态状况感知的全面覆盖。此外，需实时采集、处理及传输各类监测数据，提升数据获取的宽泛程度与精度。

3.2 推动数据融合与平台建设

环保、公安、交通、城管等多个职能部门被纳入城市噪声治理范畴，治理效率和协同能力长期受数据分散、信息壁垒的制约。因此，应加速推动噪声相关数据的整合及平台化构建，当由城市级政府进行牵头，构建无差异的“城市声环境大数据平台”，以标准化的数据接口规范为起始，破除各职能部门间的数据传输壁垒，促成噪声监测数据、执法记录、投诉举报、声源活动计划等多方面数据的统一归集[5]。

此平台需具备数据融合、实时建模、趋势前瞻与可视

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

化展示等相关功能，支持利用 AI 算法对高风险区域做动态预警、对异常声源做自动标注，同时给出分区域、分时段归类的噪声动态图谱，为管理者的决策提供精确后盾。此外，应进一步强化平台的开放及兼容能力，为对接未来交通流量、气象、城市规划等数据系统预留接口，增大平台综合管理本领。

3.3 加强技术支撑与算法优化

伴随人工智能跟声学工程的进展，城市噪声治理的核心能力已从简单的“分贝监测”渐渐过渡成“声源识别”与“趋势预测”，技术的迭代升级程度左右着治理精度的上限。当前，大部分监测系统依旧停留在对噪声强度数值的检测阶段，缺少对声源类型、持续时间、传播途径等更深入层面的感知本领。

因此，应强化智能算法的引入及做本地化的优化处理，着重推动深度学习、语义识别、声纹识别等先进算法于城市噪声治理中的应用。例如，借助对多声源场景卷积神经网络模型的训练，能自动对交通、施工、喧闹、音乐等常见声源进行区分；采用语义特征提取算法，还能进一步鉴定声源是否为违法或扰民的情形。需构建契合本地化的噪声训练样本库，涉及多种气候类型、多样地形及各时段的城市典型声环境，为算法的持续优化提供基础数据后盾[6]。

3.4 健全法规标准与响应机制

技术进步须与制度更新协同配合，才可真正转化成治理成效.现今我国噪声污染相关的法律法规存在更新滞后、监管界定模糊、问责机制有缺失等情况，不能契合智能化治理的现实所需。应加速对现行《环境噪声污染防治法》等相关法律的修订工作，将施工、交通、商业、社会生活等各类噪声的判定标准、监测手段与处罚规范加以细化，法规体系应纳入智能监测结果的法律效力，明确智能监测设备收集的数据在执法中的合法与否及可采信程度，促使证据从“人证”过渡到“机证”。

在治理流程方面，建立“发现-处置-反馈”一体化响应机制，提升行政响应速度。即：凭借监测平台自动找出异常噪声，即刻启动执法协同联动，由对应职能部门按照声源类型实施处置，把处置结果回传平台，接着反馈公众。此外，还需明晰多部门之间的协同职责，切实强化责任追溯机制，实现治理链条封闭循环，保障问责切实有力量。采用法规和机制的协同优化，为城市噪声治理打造坚实的制度后盾。

3.5 强化公众参与与共治机制

城市噪声污染呈现出显著的生活影响属性，治理成效很大程度跟公众的参与度与认同度相关。然而，多数城市尚未具备便捷的公众参与渠道及有效的反馈机制，造成市民举报积极性欠佳，政府与公众的信任链条稳固性欠佳。为破除这一困局，应主要打造面向大众的“智能噪声治理参与平台”，如手机 APP、小程序以及微信公众号之类的数字化渠道，集成噪声检举、实时问询、问题跟踪、反馈评判等功能，构建“随时可检举、事事有回音”的互动框架。

可劝勉居民运用手机拍摄、录音等形式上传举报证据，由系统自行分析是否达到扰民界限，减小市民参与的门槛高度。此外，应着力提升噪声污染科普宣传与社区教育水平，结合健康讲座的开展、宣传月的设立、学校课程的安排，增强公众对噪声风险的察觉与自我防护能力，在社区层面，可以设立“居民+街道+企业+职能部门”四方的沟通协商机制，促进形成长效共同治理格局。通过技术赋能与机制建设并举，形成政府引导、公众积极投入、共同建设与分享成果的噪声治理新态势[7]。

4 结语

城市噪声污染治理正历经从传统手工监测到智能感知、从事后干预到主动防控的重大转变。在这个过程里面，技术升级为根基，其关键是数据融合，保障靠的是制度创新，实现兼具智能化、协同化、前瞻化的城市噪声治理体系，必须在感知网络打造、数据平台集成、法律制度优化及公众联合治理等方面多方施策。只有打破“信息孤岛”、提高响应水平，才可从本质层面上遏制噪声污染蔓延趋势，助力宜居城市和智慧城市的可持续发展。

[参考文献]

[1]方聪,章芸,张杰,等.城市交通噪声污染的综合治理策略[J].清洗世界,2024,40(10):87-89.
[2]魏炳鑫,李玉路,叶利宾,等.城市轨道交通振动噪声治理及管控模式研究[J].现代城市轨道交通,2024,10(8):135-141.
[3]张译文,段明杰,吕兆斌,等.城市噪声环境现状与噪声治理措施分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(10):190-192.
[4]张楠.整体性治理视角下Q市F区政府噪声污染治理优化研究[D].河北:燕山大学,2024.
[5]孙雨欣,段媛媛,王文婷,等.施工现场扬尘噪声污染的智能化监测研究[J].中国设备工程,2022,8(13):173-174.
[6]李静.综合治理城市交通噪声污染[J].投资北京,2022,15(6):31-33.
[7]岳思.基于 GIS 平台的铁路噪声预测智能技术研究[J].绿色科技,2021,23(22):241-250.

作者简介：王安银（1986.8—），毕业院校：塔里木大学，所学专业：生物化学与分子生物学，当前就职单位：伊宁市环境监测站，职务：监测站副站长，职称级别：副高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

消防机器人路径智能规划系统优化方法研究

陈 虎
胜利油田应急救援中心滨州综合应急救援站，山东 东营 257000

[摘要]人工智能和机器人技术不断发展使消防机器人在高危环境里的应用越来越广泛，其核心模块路径智能规划系统对机器人作业效率和安全性有着直接影响，文章研究消防机器人路径智能规划系统的优化，梳理当下技术的局限并分析改进的方法，从算法、感知、协同等方面给出优化策略以提升路径规划的智能化、实时性和抗干扰能力，给实战部署提供可靠的技术支撑。
[关键词]消防机器人；路径规划；智能算法；环境感知；系统优化
DOI：10.33142/sca.v8i7.17151 中图分类号：TP242 文献标识码：A

Research on Optimization Method of Intelligent Path Planning System for Firefighting Robots

CHEN Hu
Shengli Oilfield Emergency Rescue Center Binzhou Comprehensive Emergency Rescue Station, Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract: The continuous development of artificial intelligence and robotics technology has led to the increasingly widespread application of firefighting robots in high-risk environments. The core module of the intelligent path planning system has a direct impact on the efficiency and safety of robot operations. This article studies the optimization of the intelligent path planning system for firefighting robots, sorts out the limitations of current technology, and analyzes improvement methods. Optimization strategies are proposed from the aspects of algorithms, perception, and collaboration to enhance the intelligence, real-time performance, and anti-interference ability of path planning, providing reliable technical support for practical deployment.
Keywords: fire fighting robot; path planning; intelligent algorithm; environmental perception; system optimization

引言

复杂火灾现场传统人工救援风险巨大，消防机器人这一智能装备已成为救援力量的重要补充，路径规划系统负责实时导航和避障任务是作业效率与任务成功率的保障关键，目前路径规划技术在动态环境适应性、障碍处理、多目标协同上仍有挑战，本文针对现有问题系统研究路径智能规划系统的优化方法以推动消防机器人在复杂火场的实际应用。

1 路径智能规划系统的组成与功能

1.1 感知模块的作用与技术框架

消防机器人路径智能规划系统的前端核心部分是感知模块，它主要负责火灾现场环境的动态感知和实时数据获取，该模块使用多种传感器（像激光雷达、红外热成像、深度摄像头、气体传感器之类的）收集周围环境信息，涵盖障碍物分布、热源区域、烟雾浓度、地形结构这些关键参数，并且感知模块必须具备数据融合能力以整合不同传感源的信息为统一的环境模型，从而给路径规划提供准确的输入基础，当前常用基于 ROS（机器人操作系统）的传感数据同步架构、实时 SLAM（同步定位与地图构建）技术及环境语义识别模块的感知框架，感知模块性能直接影响路径规划的准确性与实时性，它是实现智能导航的基础。

1.2 规划模块的基本原理与工作流程

智能系统的核心是路径规划模块，要根据感知模块构建的环境模型算出从当前位置到目标点的最优行进路线，其工作流程有四个阶段分别是环境建模、目标设定、路径搜索和结果优化，建图时系统用感知数据构建二维或三维地图并定义可行和不可行区域，目标设定时系统按照救援任务或操作指令确定目标点，路径搜索就调用像 A、RRT、Dijkstra 等算法在地图上算全局或局部路径，用平滑处理、曲率控制等方法优化路径以便让机器人能走，好的路径规划模块得考虑最短路径且综合避障安全性、路径平稳性和时间效率，这样才能保证机器人在复杂火场快速稳定地完成导航任务。

1.3 控制模块对路径执行的支撑机制

路径规划系统中，控制模块是执行中枢，它把规划好的路径变成具体运动指令以驱动机器人动起来，实际操作时，该模块靠运动控制算法将路径坐标点变为速度指令、转向角度和动作序列且能根据环境变化实时调整路径、修正误差，PID 控制、模型预测控制（MPC）、模糊控制等都是常用控制方法，给机器人运动学模型建模后就能高精度跟踪路径、稳定运行，控制模块必须与感知系统高度同步，在突然有障碍物或者路径偏移时能快速反应以避开障碍或者重新构建路径，系统安全检测也是其任务，在突发事件或者高风险环境下会自动触发紧急停车、路径回退或者人工接管机制，该模块的智能化程度和响应速度直接关系到路径规划系统是否实用、可靠。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 消防机器人常用路径技术及其适应性问题

2.1 基础路径搜索算法的特点与适用性

消防机器人路径规划常用的基础搜索算法有 Dijkstra 算法、A 算法和 BFS（广度优先搜索）算法，其中 Dijkstra 算法在路径代价均相等时可输出最短路径，但可遍历效率低，不适用于时间敏感的火场任务；A 算法引入启发函数，在搜索效率提升的保留最优性，是当前应用广泛的路径搜索算法之一，只是其性能取决于启发函数设计，复杂障碍物分布易对其造成干扰；BFS 结构简单，不过在高维空间里路径复杂度大增，效率会大幅下降。在标准仿真平台 Gazebo 中对比这三类算法的平均路径搜索时间，A 是 0.15s，Dijkstra 是 0.43s，BFS 是 0.65s，这表明 A 在静态火场更具实际应用价值，而基础算法适用于已知、规则环境，在复杂多变场景下还是存在一定局限性。

2.2 建图策略对路径可行性的影响

路径规划的基础是建图，不同策略会直接影响路径的可行性与导航质量，栅格地图和拓扑地图是常见的建图方法，栅格地图将环境离散化构建二维网格能清晰表示出障碍物边界利于 A 等算法应用但在高精度环境里会过度消耗内存和计算资源，拓扑地图以关键节点和连通性为重点更适合大范围低分辨率环境能快速规划路径只是细节表达能力不强在障碍物密集区域不适用，实际测试时在精度 0.05m 的分辨率下栅格建图构建一层建筑地图要占用 45MB 内存而拓扑建图才 3MB 但拓扑建图路径规划准确率下降 12%，消防机器人应用时要根据场景复杂度灵活选择建图策略或者用融合方式提高路径可行性与效率。

2.3 静态算法在火场动态环境中的局限性

静态路径算法往往是在初始地图构建好之后一次性生成路径且后续对环境变化没有感知能力，在动态火场里碰到坍塌、烟雾遮挡、新增障碍等突发事件时难以应对，火灾现场模拟实验中，建筑物结构有变化或者障碍物移动时，用 A 静态路径规划的消防机器人重新寻路成功率就只有 57%且平均路径调整还延迟超 2.3s，由于火场环境不确定因素太多，光靠静态算法机器人会经常走进死胡同或者路径断掉，而且这种算法也不能动态调整优先任务目标，对时间约束、避开危险区域和实时协同都处理不了，在高度动态的环境里，静态算法得跟动态避障、路径再规划机制相结合才能够满足实际作业的需求。

3 路径智能优化与避障机制融合方法

3.1 基于全局搜索算法的路径改进模型

要提升消防机器人在大型建筑或复杂环境里的路径导航效率，就得对 A 星算法这类传统全局搜索算法进行结构优化，传统算法存在在大型建筑或复杂环境中导航效率低等不足。优化方式一方面是引入多启发式函数组合，由于不同区域风险等级不一样，这么做能让路径决策更灵活，另一方面是对路径进行平滑处理，从而使机器人在行进的时候不会因频繁转向而运行不稳。在实验里，用改进后的 A 星算法做路径规划系统，在多目标任务环境下，路径长度能缩短大概 8%且规划花的时间差不多能减少 30%，并且结合代价地图设置，将高温高风险区域的路径代价设得更高，搜索路径的时候优先避开危险，进而让算法在复杂火场里更实用了。

3.2 局部避障策略与移动控制融合技术

局部路径优化主要靠像动态窗口法这样的动态避障算法，消防机器人移动时，该算法能实时察觉周边障碍并调整路径，在复杂空间里，此算法可与速度和方向预测模型相结合迅速生成短期内可行的路径，让机器人在动态环境中不断前行，避障策略与底层移动控制系统融合起来，借控制器达成精确的速度调节和轨迹跟踪以提高整体响应速度，实际测试发现，在障碍物密度比常规场景高 50%的情况下，这种融合机制的避障成功率能保持在 85%，可保证机器人稳定运行并减少碰撞风险。

3.3 强化学习在复杂任务导航中的应用策略

深度强化学习因自适应能力强、无需精确建图而在消防机器人路径智能规划里渐渐成为核心方法，构建状态动作空间与奖励函数后机器人能在训练时慢慢学到最优导航策略以躲开路径陷阱且不受障碍干扰，在地铁站、仓库等复杂非结构化环境中强化学习模型可识别动态元素并及时修正路径，有个基于深度 Q 网络的试验强化模型无人干预完成多阶段任务的成功率达 92%且路径选择更灵活高效从而让机器人在高风险任务场景有更强自主决策能力。

4 多机器人协同路径规划机制优化

4.1 信息共享机制与通信协议设计

多消防机器人协同作业，路径协调和任务同步需先建立信息共享机制，每台机器人的位置、速度、目标点、路径规划状态、本地环境感知数据都要实时共享才能构建统一的全局作业态势图，要确保信息传输实时且稳定就要构建高效、抗干扰的无线通信网络并设计适合高温、高湿、高烟火场景的专用通信协议，如 Mesh 网状结构的自组织通信系统和冗余传输机制，协议层面支持多源数据包并行传输、时间戳同步、数据优先级标记和差错重传机制才能保障关键路径数据优先传递，而且要引入信息融合模块来解决多机器人感知结果冲突或者重复的问题以形成统一的动态环境模型为协同路径规划提供可靠数据支撑，信息共享机制高效可提升任务执行协同性和效率、避免路径冲突和任务冗余并提高整体系统智能化水平。

4.2 协同避障策略与优先级调度方法

多机器人在同一作业区域执行任务时，由于路径重叠与动态交叉极易产生碰撞风险，要设计科学的协同避障策略和合理的优先级调度机制。协同避障可采用预测性路径重构法，即每台机器人预测邻近机器人下一步移动轨迹并根据其运动状态提前调整自身路径以规避潜在碰撞，再结合虚拟力场法设定机器人间排斥力模型自动保持安全间

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

距。优先级调度可按照任务紧急程度、路径长度、能耗水平和角色分工分配执行优先级，高优先级机器人有路径优先通行权，低优先级机器人要避让，相对静态任务区域可设固定优先级，动态任务场景则引入动态优先级调整机制根据实时反馈动态排序，引入中央协调控制节点或者基于分布式协调算法的共识机制能进一步保证调度决策的全局一致性和快速响应能力以增强系统稳定性和容错性。

4.3 多目标任务分配与路径协调

消防机器人执行火灾救援任务时，常要面对灭火、搜索、探测、物资输送等多目标任务，整体作业效率和任务完成质量与合理的任务分配、路径协调机制直接相关，多目标任务分配能靠拍卖机制、蚁群优化或者基于收益函数的分布式策略达成且要综合考量每台机器人的位置、资源负载、任务适配度和当前状态来动态分配任务，路径协调得引入任务地图分区和空间调度策略以使多个机器人执行任务时路径不冲突、空间不重叠、资源不浪费，跨区域任务还得引入路径接力和任务转交机制来提升跨区域协同效率，设置路径“锁定”和“释放”机制能避免机器人在关键节点竞争以保证重要通道顺畅，智能任务调度和路径动态协调联动设计能让多机器人高效联动、自主协同作业从而大大提高复杂火场应对能力和系统整体效能。

5 复杂环境下路径规划系统的鲁棒性提升

5.1 多源传感数据融合与动态建图技术

消防机器人置身火场面临高温、高烟、低可视度等极端环境，感知系统稳定性和路径规划准确性受到严峻挑战，若要增强鲁棒性就得构建多源传感数据融合机制，让激光雷达、红外热成像、深度摄像头、超声波传感器、IMU（惯性测量单元）等多种传感器协同作业以补上单一传感器存在的盲区和误差，数据融合可用卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波、贝叶斯估计等方法从而使环境信息精度和完整性得到提升，地图构建时要结合动态 SLAM 技术做到行进建图以及时更新火灾蔓延或建筑坍塌导致的环境变化，为适应动态障碍物和临时变化区域可采用局部动态更新机制只快速重构受影响区域以节省系统计算资源，引入语义地图建模方法把热源、浓烟、高风险区域等以语义标签形式整合进地图为路径规划提供更具防护意识的导航依据从而使复杂场景下路径稳定性和适应能力显著提高。

5.2 火场不确定性建模与路径再规划机制

火灾现场的障碍物动态变化、烟雾扩散、可燃物爆炸等情况体现出不确定性，路径规划系统得具备动态应对能力，构建像基于概率图的环境状态预测机制那种不确定性模型，将历史感知数据和当前观测数据相结合以评估潜在变化区域的风险等级，从而提前预警路径风险，在路径规划策略方面引入风险地图和惩罚代价函数设计，把高不确定性区域的代价设高使路径避开危险区域，在路径执行时若实际路径和规划路径不一样或者出现临时不能通行的情况，系统得有路径再规划机制，实时调用如 DWA 或者 TEB 这样的局部路径规划算法在局部重新算可行路径并马上切换执行，为提高响应速度可在关键节点预先设置好几个备选路径并能够快速切换以防止系统卡住或者反复尝试，还可设定路径规划冗余机制，在路径规划一开始就生成主路径和次级路径，在主路径不行的时候能无缝切换以增强系统在复杂火场里的连续作业能力。

5.3 系统稳定性与异常恢复能力优化

系统鲁棒性的关键在于复杂或异常状况下路径规划与执行也能稳定运行，路径规划系统需要有多级容错和恢复机制。软件方面，要给路径规划、感知、控制等核心组件设置实时状态监测与健康评估程序，一旦有异常就触发自诊断和局部重启机制以避免系统整体崩溃，执行方面引入状态机设计，将机器人任务分成多个阶段且每个阶段都有独立恢复策略，路径失败就回退、导航失败就原地待命、传感异常就重采样等以保证特定故障下能快速恢复运行，并且在复杂灾害使环境结构突变时还能预设人工远程干预接口，在系统无法自己处理时操作人员可介入调整路径。硬件方面，要选择抗干扰强、温湿度稳定的工业级嵌入系统并加上能量备份模块，防止火场断电导致系统瘫痪，消防机器人若要在复杂环境中长期稳定运行安全作业，多层级的异常感知和自我修复机制非常重要。

6 结语

提升火灾救援效率与安全性的关键在于优化消防机器人路径智能规划系统，引入改进 A 算法、DWA 动态避障、深度强化学习等先进技术并结合多机器人协同机制和鲁棒性设计后，系统就能在复杂、动态的环境里有更强的适应能力和智能水平，往后要进一步强化软硬件协同、跨模块融合和实地验证以促使路径规划系统实用化、智能化、工程化，给智慧消防发展提供坚实的技术支撑。

[参考文献]

[1]黎星华.面向多消防机器人的协同控制方法研究[D].北京:北京邮电大学,2024.
[2]史飞飞.多传感器融合技术在消防机器人中的应用研究[J].消防界(电子版),2024,10(17):53-55.
[3]莫崇德.基于数字孪生的超高层建筑火灾疏散路径规划研究[D].北京:北方工业大学,2024.
[4]梁化雨.隧道火灾场景下的移动救援机器人路径规划研究[D].北京:中国矿业大学,2024.
[5]郭婷.智能防火物联网应急系统关键技术研究[D].北京:北京工业大学,2024.

作者简介：陈虎（1981.4—），单位名称：胜利油田应急救援中心滨州综合应急救援站，毕业学校：中国石油大学（华东）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统的设计与实现

王元贵
重庆市铁路（集团）有限公司，重庆 401120

[摘要]轨道交通的发展为城市出行带来了极大便利，是缓解城市交通压力以及提升城市交通效率的重要支撑。对于城市轨道交通而言，供电系统是其重要组成部分，负责为车辆系统等提供电力，因此保障供电系统的安全稳定运行至关重要。近年来信息化、智能化技术在城市轨道设施设备管理与维护中得到了广泛应用，智能化技术的应用提升了城市轨道交通供电设备运维管理的智能化水平，有助于提升运维管理系统在城市轨道交通供电设备运营维护管理中的作用，对于提升供电系统运行的安全性与稳定性具有重要意义。基于此，本篇文章结合实际案例，就城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统的设计与实现进行探索。

[关键词]供电设备；智能运维；城市轨道交通；在线监测
DOI：10.33142/sca.v8i7.17133　　中图分类号：U231　　文献标识码：A

Design and Implementation of Intelligent Operation and Maintenance Comprehensive Control System for Urban Rail Transit Power Supply Equipment

WANG Yuangui
Chongqing Railway Group Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

Abstract: The development of rail transit has brought great convenience to urban travel and is an important support for alleviating urban traffic pressure and improving urban traffic efficiency. For urban rail transit, the power supply system is an important component responsible for providing electricity to vehicle systems, etc. Therefore, ensuring the safe and stable operation of the power supply system is crucial. In recent years, information technology and intelligent technology have been widely applied in the management and maintenance of urban rail facilities and equipment. The application of intelligent technology has improved the level of intelligence in the operation and maintenance of urban rail transit power supply equipment, which helps to enhance the role of operation and maintenance management systems in the operation and maintenance of urban rail transit power supply equipment. It is of great significance for improving the safety and stability of power supply system operation. Based on this, this article explores the design and implementation of an intelligent operation and comprehensive control system for urban rail transit power supply equipment, combined with practical cases.

Keywords: power supply equipment; intelligent operation and maintenance; urban rail transit; on-line monitoring

引言

供电系统的安全稳定运行是城市轨道交通安全稳定运营的前提和基础。以往针对供电设备的运营维护管理通常采用计划维修或者故障维修的方式，存在维修不及时等方面的问题，不利于城市轨道交通的安全稳定运行，因此探索智能化运营维护解决方案至关重要。智能监测技术与信息化管理系统在城市轨道交通供电设备运营维护管理中的应用，不仅有助于提升运营维护管理效率，而且对于保障供电系统安全稳定运行也具有重要意义。某市从地铁供电设备智能运营维护管理实际需求角度出发，构建了智能运维综合管控系统，提升了运维管理的智能化水平，同时也能更好地保障城市轨道交通的可靠运行。

1 系统架构

某市城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统主要由感知层、传输层、应用层以及智慧层构成，详见图 1。

智能运维综合管控系统中的感知层借助智能监测系统采集城市轨道交通供电设备的状态信息、异常信息、运行信息以及系统分析数据等，采集到的信息通过互联网进行传输，保证信息的即时性。信息采集由感知层负责，信息传输由传输层负责，以互联网为依托将采集到的信息传输至信息管理网络[1]。应用层由不同的智能化分析模块共同组成，包括状态监测、设备管理、运维管理、状态评估、智能巡检、故障预警、故障诊断等功能，可以为城市轨道交通供电设备运营维护提供决策依据与决策指导。智慧层为运维平台基于大数据分析，对数据进行相应处理，实现各类智慧功能，通过 PC 端软件或者移动端软件与用户进相应的人机交互，辅助运营维护管理工作的高效开展。

2 系统功能

智能运维综合管控系统的功能主要包括设备维护管理、状态监测管理以及统计分析等。某市城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统从顶层业务出发，以供电设施设备运维管理为主线，实现供电设备运维智能化管理。该系统

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

不仅可以满足专业管理层需求，而且能够给经营决策层的决策提供可靠的数据参考与依据，同时还可以满足一线人员的现场使用需求。这便需要构建完善的系统功能（图 2）。

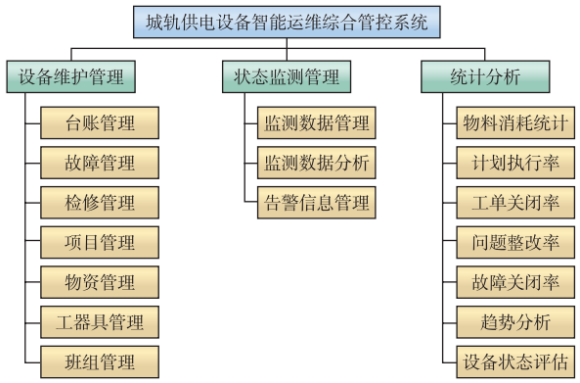


图 2　某市城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统功能

2.1 设备维护管理

智能运维综合管控系统负责设备维护管理。系统功能设计应分别从设备台账管理、检修管理、物质管理以及班组管理等方面入手，实现对设备的分类、修程制定以及故障保修等供电设备的全流程管控[2]。

2.1.1 台账管理

台账管理不仅要对供电设备进行分类，而且还需要结合分类后的设备建立相应的台账，另外也涉及设备的报废处理以及设备的变更管理等。秉持固定资产划分原则对供电设备进行统一分类并设置与之对应的目录，在此基础上再结合目录构建设备台账。设备台账应包含设备安装位置、设备所属专业、设备使用寿命以及相关技术参数等信息。设备台账能够结合设备变化情况做出调整和优化，能够对那些难以满足运行要求或者达到报废年限的设备进行报废处理。

2.1.2 检修管理

检修管理主要涉及定期维修计划流程审批与变更管理、检修规程制定、预防性维护的配置等。结合检修规程制定预防性维护，并在基础上系统能够智能化生成维修计划，生成的维修计划能够结合实际实施情况做出调整与完善。系统会根据计划要求自动向运维人员派发工单，辅助运维人员定期进行设备维修。

2.1.3 物质管理

物质管理主要涉及物资调拨、零部件送修、物资盘点以及库房信息等。可以直接通过资产管理系统获取物料信息，运维人员在执行工作单的过程中，可以直接发起物料申请，也能直接进行物料登记。与此同时，还能还可以直接针对损坏零部件提报送修申请、交付和验收，也可以对库房中的物资进行调拨与盘点。



图 1　某市城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统架构

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.1.4 故障管理

故障管理是设备维护管理的重要组成部分，包括在供电设备发生故障时进行报修、故障字典、故障处理以及问题管理等。可以直接通过供电设备智能运维综合管控系统实现跨专业的故障申报、专业故障处理、故障修复评价、长期未闭环故障挂起、物料等级等，最终实现对城市轨道交通供电设备故障的全过程管控[3]。以故障字典为例，故障字典可以看作是供电设备故障数据库，其中收集了大量的设备故障数据，对关键故障信息进行编码。在故障字典的支持下，可以辅助维修人员高效处理设备故障，并为故障处理方案的制定提供参考和依据，保障故障处理效率与效果。

2.1.5 项目管理

项目管理也是城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统的主要功能之一，不仅涉及建设项目创建，同时还涉及项目实施过程管理等。在建设项目创建过程中，以供电设备大修或者供电设备更换等项目为依据，构建对应的项目目录，在此基础上配置与项目相关的信息，最后借助项目工单配置的方式组织项目实施。在项目实施过程中系统会在设备台账以及设备维修履历中自动更新供电部件更换以及设备变更等方面的信息，进而为设备的全寿命周期管理提供便利。

2.1.6 工具管理

工具管理包括台账管理，同时也涉及电力安全工具定检等。运维人员可以直接通过该模块对工器具台账进行维护，也可以直接申请工具维修与送检鉴定等，十分高效便捷。

2.1.7 班组管理

班组管理模块的作用主要体现在辅助人员管理等方面，例如借助该模块对班组人员进行权限管理，也可以通过该模块进行任务分派等。人员信息维护也是该模块的主要功能之一，管理人员可以直接维护班组人员的相关信息，也可以通过改模块为班组人员分配相应的工作任务，还可以查看工单等。该模块可以自动记录班组人员的工作内容数据，辅助管理人员查看工作进展等。

2.2 状态监测管理

状态监测管理模块的功能主要体现在两个方面，一方面能够实现对设备状态的监测，另一方面体现在对设备状态数据的管理上。系统通过监测设备实时监测供电设备状态，获取供电设备运行参数信息。监测到的信息直接通过互联网传输至运维平台进行处理。结合处理后的信息生成设备运行参数履历信息，如果监测到设备运行异常，会自动生成设备故障工单，设备故障工单下发给运维人员，由运维人员负责处理。最终实现对设备故障的闭环管理。以整线为对象，建立供电设备及环境的实时数据库及关系数据库，实现对供电设备及环境数据的统一管理；通过数据整合，将监测到的信息进行展示。

2.3 统计分析

统计分析即对供电设备的日常维修数据进行统计和分析，包括对检修作业过程中的物料消耗数据进行统计与分析，对各类工单关闭率的统计与分析、对供电设备的故障率的统计与分析等。另外，供电设备故障趋势分析以及在线监测数据统计分析等也属于统计分析范畴。

3 关键技术

3.1 设备台账映射

该城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统在运维平台建立供电设备台账映射关系，在此基础上结合实际需求构建相应的应用界面，通过这种方式能够将外围系统重的供电设备台账映射到运维平台之中，这样一来便能实现对台账的统一管理。除此之外，系统以运维平台供电台账编码设置，因此在系统构建过程中不涉及供电设备编码体系的构建。通过这种方式既能对台账信息进行标准化管理，也有助于提升供电设备台账信息的共享率[4]。

3.2 告警信息管理

以往在供电设备管理过程中存在告警信息分散的问题，影响了告警信息查看的便捷性，容易造成告警响应不及时现象，不利于供电设备快速维修。为解决上述问题，可以借助运维平台的存储能力与计算能力集中处理告警信息，对系统判断的各类报警信息，如电力监控上报故障、在线监测异常、巡检异常等进行多种形式的报警推送，如弹窗推送、滚动条播报、移动 APP 推送等，确保运维人员快速发现设备异常，实现对分布在不同监测系统中的告警信息的集中处理、集中管理，为告警信息查看提供便利，解决告警响应不及时问题。

当设备故障时，监测系统发出告警，云平台可以智能分析告警信息的重要程度，并结合信息重要程度来创建对应的工单，同时将工单下发给相应的运维人员，同时创建问题工单并发送至运维人员，运维人员在接收到工单后第一时间做出响应。通过这种方式可以更好地保障故障处理效率。另外借助供电智能运维平台跟踪那些暂时难以闭环的问题工单，结合运维进展情况第一时间更新调账信息，通过这种方式有助于提升城市轨道交通供电设备维护管理的精细化水平。

3.3 数据分析

以管理人员的实际需求为依据，个性化配置各类数据分析指标，同时融合分析监测数据与生产数据，进而为维修计划的制定提供参考和依据，确保供电设备维护周期合理，保障供电设备长时间保持最佳的运行状态[5]。除此之外，数据分析还包括对历史故障数据的分析，通过对历史故障数据的分析判断供电设备在接下来一段时间内的运行状况以及故障趋势等，并以此为依据制定预防方案，通过人工干预的方式降低设备故障发生概率，保障供电设备运行的安全性与稳定性。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.4 运维平台接口设计

在 HTTP 协议上构建运维平台应用程序编程接口，为实现服务的对外开放，运维平台接口采用 Restful 架构风格，同时采用 JSON 数据格式来进行参数传递。这样一来便可以实现运维平台接口与不同编程语言开发的智能监测系统之间的兼容性接入。接口服务通过 HTTP 协议的 GET 方法提交请求，也可以通过 POST 方法提交请求，其接口对接流程详见图 3。

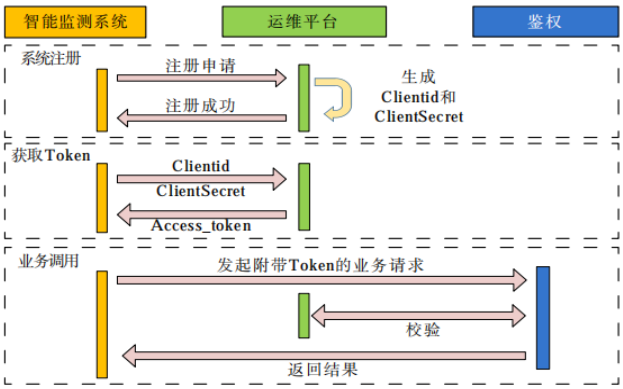


图 3 接口对接流程

在注册过程中，首先由智能监测系统发起申请，运维平台在接收到申请之后进行注册，完成注册之后生成 ClientSecret 以及 Clientid，并在运维平台服务器注册表中储存，以便在业务调用过程中鉴权。数据交互过程中由智能监测系统向运维平台申请 ClientSecret 以及 Clientid 请求身份认证，在完成认证之后便可以获得 Access_token，认证 Token 默认有效期为 5min。结合运维平台提供的返回值类型以及接口标准，同时结合获取的 Token 发起业务调用请求，由运维平台进行审核，审核通过后便可以得到平台认证，赋予智能监测系统相应的访问权限，在此基础上智能监测系统便可以调动相关数据资源，也可以调用相应的业务功能。

4 系统应用

构建的城市轨道交通供电设备智能运维综合管控系统已经被应用于某市的城市轨道交通供电设备运维管理之中，应用效果比较显著。借助该系统能够对城市轨道交通供电系统 170 个设备进行分类，实现了对 7.0 万台左右供电设备的日常维护管理。在系统的支持下，在很大程度上提升了城市轨道交通供电设备运维管理的精细化水平，进一步强化了城市轨道交通供电设备全寿命周期管控能力。系统的应用实现了对供电设备台账的统一管理，取消了 88 项传统纸质记录台账，同时取消了 20 个相关统计报表。极大地提升了城市轨道交通供电设备管理的信息化水平，同时也为供电设备维修决策的制定提供了更加全面、详实、可靠的数据支撑。该系统投入应用之后，目前已经与车站外部 35kV 电缆桥架撞击报警系统等实现了互联互通，这样一来，不仅该系统可以从其他相关专业系统中获取监测数据，而且能够实现对监测数据的自动存储、自动分析等，并且可以自动呈现监测数据分析结果。除此之外，系统还实现了对异常告警信息的快速影响，更好地保障供电设备故障处置效率，保障城市轨道交通供电系统运行的安全性与稳定性。

5 结束语

供电系统是城市轨道交通安全稳定运营的基础和保障，做好供电系统的运维管理至关重要。近年来随着城市轨道交通的发展，对供电系统运维管理也提出了更高的要求，传统的运维管理模式已经难以满足城市轨道交通发展的需求。在此背景下，构建智能运维综合管控系统便成为了研究的关键。本文结合具体案例分析介绍了供电设备智能运维综合管控系统的设计与实践。该系统的应用实现了对供电设备的自动化监测，实现了对供电设备的精细化管理，同时借助该系统整合数据资源，提升了数据资源的共享水平和利用率，不仅能够为运维人员提供全面、可靠的数据支撑，而且能够为运维决策的制定提供可靠的数据支持，进而提升供电设备运维水平与运维效率，为城市轨道交通供电系统的安全可靠运行提供更为有利的保障。未来随着技术的发展，运维综合管控系统的功能也将愈发完善，在供电系统运维管理中也将发挥更大的作用。

[参考文献]

[1]蔡宇晶,高凡,孟宇坤,等.城市轨道交通设备智能运维系统设计及关键技术研究[J].铁路计算机应用,2023,32(7):79-83.
[2]申樟虹,乔志忠,刘潇洋,等.城市轨道交通车站机电设备智能运维及能源管理系统[J].城市轨道交通研究,2022(2):131-135.
[3]何小兵,陈学锋,陈俊,等.多源异构数据实时主动处理技术在城市轨道交通供电智能运维中的应用研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(9):16-22.
[4]张发明,于小坤,宋超,等.城市轨道交通供电系统智能运维的设计与实现[J].设备管理与维修,2019(23):16-18.
[5]张发明,于小坤,宋超,等.城市轨道交通供电系统智能运维方案研究[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2019(10):35-36.

作者简介：王元贵（1987.2—），女，毕业院校：西南交通大学；所学专业：电力系统及其自动化，当前就职单位：重庆市铁路（集团）有限公司，职务：系统设备管理岗，职称级别：高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于 RTK 技术的无人机高精度地形绘方法研究

寇永涛
鄯善县土地勘测规划队，新疆 吐鲁番 838200

[摘要]无人机技术以及实时动态差分定位技术 RTK 的飞速进步，使得依托 RTK 技术的高精度地形绘制手段，已然成为工程测量、地理信息系统（GIS）以及农业监测等行业领域不可或缺的核心技术之一。采用 RTK 技术进行差分修正，显著提升无人机定位的精确度，确保厘米级精度，该技术在地形描绘与数据搜集领域展现出关键性的功能。研究聚焦于 RTK 技术主导的无人机高精度地形绘制，深入剖析了 RTK 技术运作机制及其应用领域，评估了无人机在复杂地形条件下的测绘效能，提出了 RTK 定位精度提升的解决方案，并通过具体案例实证了该技术在多样化场景中的实际应用成效。研究表明，采用 RTK 技术的无人机在执行地形绘制任务时，显著提升了数据的精确度和处理效率，特别是在进行高精度测量与广阔区域数据搜集方面，展现出巨大的应用潜力。

[关键词]RTK 技术；无人机；高精度地形绘制；差分定位；测绘精度；地理信息系统；优化策略
DOI：10.33142/sca.v8i7.17156　　中图分类号：TN967　　文献标识码：A

Research on High-precision Terrain Mapping Method for Unmanned Aerial Vehicles Based on RTK Technology

KOU Yongtao
Shanshan Land Survey and Planning Team, Turpan, Xinjiang, 838200, China

Abstract: The rapid advancement of unmanned aerial vehicle technology and real-time dynamic differential positioning technology RTK has made high-precision terrain mapping methods relying on RTK technology an indispensable core technology in industries such as engineering surveying, geographic information systems (GIS), and agricultural monitoring. By using RTK technology for differential correction, the accuracy of drone positioning is significantly improved, ensuring centimeter level precision. This technology has demonstrated critical functions in terrain depiction and data collection. The research focuses on the high-precision terrain mapping of unmanned aerial vehicles led by RTK technology, deeply analyzes the operation mechanism and application fields of RTK technology, evaluates the surveying efficiency of unmanned aerial vehicles under complex terrain conditions, proposes solutions to improve RTK positioning accuracy, and verifies the practical application effectiveness of this technology in diverse scenarios through specific cases. Research has shown that unmanned aerial vehicles using RTK technology significantly improve the accuracy and processing efficiency of data when performing terrain mapping tasks, especially in high-precision measurements and wide area data collection, demonstrating enormous potential for application.

Keywords: RTK technology; unmanned aerial vehicle; high-precision terrain mapping; differential positioning; surveying accuracy; geographic information system; optimization strategy

引言

在传统的地形测量中，使用地面测量仪器获取数据，精度高但工作效率低，且测量过程烦琐。地理数据采集与地形测量领域，无人机技术日益成熟，已成为关键设备。在 RTK 技术的辅助下，测绘工作得以实现厘米级的实时定位，显著提升了数据的精确度与采集效能，基于地面基站差分修正的 RTK 技术，有效消除了 GNSS 系统因电离层、大气层等因素造成的误差，显著提升了定位的精确度。采用该技术的高精度无人机地形绘制方法，可迅速搜集大范围、高精度的地形信息，并在建筑工程、城市规划、农业监测等多个领域得到广泛应用。

1 RTK 技术原理与无人机高精度定位

RTK（实时动态差分定位）技术是一种通过差分基站与移动站之间的数据交换来实时修正 GNSS（全球导航卫星系统）信号误差的定位技术。RTK 技术主要依赖基准站和流动站之间的差分数据，基准站通过接收卫星信号并将测得的位置与已知位置进行比对，从而产生误差信号；流动站则是无人机的载体，接收卫星信号并计算出其相对位置。基准站将误差信息通过无线电或网络实时传输给流动站，流动站根据这些误差信息修正自身的位置坐标，从而实现厘米级的精度定位[1]。

定位精度显著提升得益于 RTK 技术，该技术核心优势表现为误差修正的高效性与实时性的结合。RTK 技术，凭借其精确的定位能力，确保了无人机在复杂多变的地形与环境中，能实现高精度地形数据的搜集工作。GNSS 定位系统误差在多路径效应、卫星信号遮挡以及气候变化等

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

因素的交织影响下，往往更为凸显。尤其是在复杂地形如城市、山区等，RTK 技术凭借实时差分修正功能显著降低误差，确保无人机在飞行中实现高精度定位及可靠导航。RTK 技术装备的无人机，在获取更精确的三维定位数据的基础上，得以绘制出高精度的地形图。在 RTK 技术精准定位的助力下，无人机展现出卓越的机动性，为地形测绘、农业监测以及环境保护等领域输送了高效、精准的数据服务。

2 基于 RTK 的无人机高精度地形绘制方法

基于 RTK 技术的无人机高精度地形绘制方法是一种结合现代测绘技术与无人机飞行的创新性技术手段。运用搭载 RTK 定位系统的无人机，凭借实时差分修正技术的辅助，实现精确的空间定位，持续捕捉地面的物体位置、形态及其空间属性，进而绘制出详尽的高精度地形图。在飞行过程中，无人机通过 RTK 系统即时捕捉卫星所发出的信号，以此进行精确定位调整。RTK 技术精控无人机飞行路径与高度，确保各数据点位置误差维持厘米级标准。在相应阶段，对地面上的建筑物、道路以及植被等特征进行详尽拍摄与留存，并利用激光雷达、相机及红外探测等传感器，搜集各类地形特征信息。具备广泛覆盖能力与适应多地形特征的无人机，能实时高效地传输与采集数据，进而保障了数据信息的即时性与精确度。

完成数据采集后，点云与图像数据经软件加工，运用高精度算法对地形数据实施三维模型构建。高质量建模结果的实现得益于 RTK 技术的精准定位，数据处理软件则依据精确的定位信息，精准地复现地形三维图像，确保了模型精度与整体完备性。采用基于实时动态定位系统（RTK）的无人机技术，能够高效完成地形图的精确绘制及三维模型的构建，此成果广泛适用于地理信息系统（GIS）、城市规划、农业监测、环境保护等众多领域[2]。

3 优化 RTK 定位精度的策略

3.1 信号增强技术

无人机 RTK 定位领域，信号增强技术扮演着举足轻重的角色，其显著提升信号强度与稳定性，进而大幅增强定位的精确性与信赖度。在城市高楼林立、山区或森林等信号遮挡较为显著的地区，无人机运行环境尤为复杂，卫星信号受阻，进而导致定位误差的显著提升。无人机要想获取精准实时定位，依赖信号增强技术，该技术旨在多途径提升信号传输质量。

常见的信号增强技术包括多天线系统、双频接收机和高增益天线等。无人机装备的多天线系统，凭借从多颗卫星接收信号的能力，确保其在各个角度和方位均能获取到有效信号，进而有效减少因单一信号源受干扰导致的精度损耗问题。卫星信号接收设备，即双频接收机，通过捕捉 L1 与 L2 两个频段的信号，确保数据的精确性，进而增强系统的抗干扰效能与信号传输的稳定性。在城市信号较弱区域，高增益天线通过信号聚焦，显著增强接收信号强度，从而显著提升信号质量与定位精确度。实施信号增强技术时，务必融合 RTK 差分修正，以基站至移动站间的实时差分数据交换，对卫星信号误差进行即时校准，进而显著提高定位的准确性与可信度。技术进步不断，信号增强技术日渐广泛地融入无人机 RTK 定位领域，为高精度地形测量带来了更加坚实的支撑。

3.2 后处理与误差修正

后处理与误差修正技术是提高无人机 RTK 定位精度的另一个关键环节。在信号遮挡、设备故障等特殊环境条件下，即便 RTK 定位技术实施实时差分修正，其误差降低效果也可能并不尽如人意。对已采集数据实施后处理技术，显著提升测量精度，进而保障测绘成果的精确度。在数据采集完毕后，后处理技术针对卫星信号的原始数据进行分析，旨在消除由多路径效应和卫星几何分布不理想等因素引起的定位误差。误差校正等步骤构成了后处理过程，其中涉及差分数据计算等关键环节，流动站的误差得以通过对比基准站数据得到有效校正，从而显著减少环境因素对测量结果的影响[3]。

在数据融合过程中，后处理技术得以与高精度算法巧妙融合，通过整合多种测量设备，诸如激光雷达、光学成像、IMU 等传感器所采集的数据，进行深度综合处理，能够显著校正单一设备带来的误差，进而大幅提升定位的精确度与系统的稳定性。在误差修正过程中，确保测量数据可靠性是关键所在，此举措旨在规避因设备误差与信号不良等因素所引发的偏差。RTK 应用领域下，无人机普遍采用卡尔曼滤波算法等数据融合技术以及 GNSS 数据差分处理等误差修正手段。运用所述技术途径，无人机定位的精确度得以提升至厘米级别，从而确保了测量数据的高精确度和可靠性，尤其是在地形复杂和极端环境情境下。

3.3 避免多路径效应与环境干扰

多路径效应和环境干扰是影响无人机 RTK（实时动态定位）精度的两大关键因素。在传输过程中，卫星信号受多种因素影响，其接收质量欠佳，进而对定位的精确度带来负面影响。在传播路径中，卫星信号经地面、建筑与树木等实体反射或折射，导致其传输轨迹发生改变，进而引发接收信号与原信号在时间与相位上的差异，从而造成定位上的误差。在天气、气候、磁场等因素作用下，环境干扰产生，对卫星信号的传播带来显著影响，特别是在地形复杂的都市环境下，信号传播遭遇阻碍，进而显著提升了定位误差的生成可能性。在城市、高楼林立以及山区、森林等复杂地形区域，无人机 RTK 定位技术所面临的多路径效应与环境干扰问题尤为显著，因而，如何高效规避及校正这些效应与干扰，已经成为该技术领域内亟待攻克的关键难题[4]。

为了避免多路径效应带来的定位误差，常用的技术手段包括优化天线设计、选择合适的天线安装位置和角度，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

以及采用多频段接收技术等。天线设计的优化是减少多路径效应的关键。通过提高天线的接收灵敏度、选择性和方向性，可以最大限度地减少接收信号中的反射成分。例如，采用高增益天线和定向天线设计，可以在信号来源的方向上增强信号接收，抑制来自其他方向的反射信号，从而减少由于多路径效应带来的误差。

确定恰当的天线布局及倾斜度，亦为减轻多径效应的良策。高楼林立的城市，天线安装位置的选择尤为关键，障碍物遮挡或反射天线，将使接收信号品质受损，进而影响定位的精确度。为了降低反射信号对通信质量的影响，天线布置需优先考虑开阔地带，同时确保与建筑物及地面反射源保持足够距离。在应对多路径效应的诸多技术手段中，多频段接收机表现出了其显著的缓解作用。具备多频段接收功能的设备，能够捕捉 L1、L2 等不同频段的卫星信号，然而，这些信号在传输过程中会受到多路径效应的各异影响。为在信号处理环节精确辨识出直达信号与反射信号，运用差分修正与多路径分离算法成为关键，此举可大幅减少多路径效应所引发的误差。在 RTK 定位系统中，通过基准站与移动站的差异，对信号的多路径效应实施差分修正，以此显著提升定位的精确度[5]。

在无人机 RTK 定位精度的影响因素中，环境干扰发挥着不容忽视的作用，其多路径效应亦不容小觑。天气变迁、气候状况、磁场扰动与电磁波干扰等诸多因素，均构成对卫星信号传播特性的直接影响，形成环境干扰的主要来源。在雨雪、雾霾、强风等恶劣气象条件下，信号传播的速度与衰减程度发生改变，从而降低了接收信号的品质，进而影响了定位的精确度。高楼林立的城市中心，电磁环境对 GNSS 信号的传播构成了显著干扰，其影响尤为严重。在现代无人机 RTK 系统的解决方案中，普遍应用多天线接收技术，该技术通过同时捕捉多个方向卫星的信号，旨在有效减轻环境干扰对定位精度的潜在负面影响，定位精度得以稳固，得益于多天线系统对信号多向比对与融合，从而剔除干扰，精准剔除受干扰信号。面对繁复环境，实施多天线系统技术，通过对比多元天线接收信号，实现误差的精准修正，显著增强定位的精确度。环境干扰的应对策略中，高精度的差分修正技术与误差检测算法扮演着关键角色。基准站与移动站间实时数据交互，运用差分修正技术，有效校准因天气等环境因素造成的信号误差。电磁干扰侵袭信号时，依托基准站的实时差分修正能力，得以校正信号失真，从而降低干扰对定位精度的负面影响。运用高精度滤波算法、卡尔曼滤波以及自适应算法等技术，对各类来源的干扰信号进行识别与排除，进而显著增强数据的可靠程度[6]。

无人机 RTK 定位技术，若要克服多路径效应与环境干扰的根源，需在硬件与软件层面持续优化，为确保复杂环境下的卫星信号接收质量，需研发更高效率的信号接收器、更强的抗干扰天线以及更精确的差分修正装置。在工作环境的多样化考量下，对天线的设计与布置实施个性化选配，旨在增强信号的接收稳定性与可靠性。重点于软件层面，展望未来，引入更为先进的信号处理与误差修正算法，诸如机器学习与人工智能技术，这些技术能自动识别并处理信号干扰，从而显著提高 RTK 定位系统的智能化程度。在实时动态定位环节，这些技术实现了误差的精准剖析，并自主采纳调整措施，显著提升了定位的精确性与可信度。为确保无人机 RTK 定位系统的精准度与稳定性能，需多维度考虑，包括硬件的优化与软件的更新，并融入信号增强、差分校正及数据融合等前沿技术，以克服多路径效应与环境干扰的双重挑战。随着技术的不断发展和完善，未来的无人机 RTK 定位技术将能够在更复杂和更严苛的环境中实现高精度的定位，推动其在工程测量、航拍、农业监测等多个领域的广泛应用。

4 结语

总体而言，基于 RTK 技术的无人机高精度地形绘制方法，为传统地形测绘领域带来了革命性的变革。尽管在信号干扰、环境复杂度等方面存在挑战，但随着技术的不断创新与优化，未来的无人机 RTK 系统将在更复杂的环境中展现更强的适应性和稳定性，推动测绘精度和效率的进一步提升。基于 RTK 技术的无人机高精度地形绘制方法不仅为工程测量提供了更高效、精确的解决方案，也为智能化、自动化测绘的未来发展铺平了道路。

[参考文献]

[1]李晓强,许健.基于无人机遥感技术的高精度地理空间数据获取[J].海河水利,2024(9):68-73.
[2]武静,郑惠娟.基于无人机贴近摄影测量技术的城市高精度三维实景模型建模研究[J].价值工程,2023,42(12):123-125.
[3]任智龙,李风贤,柴生亮,等.RTK和PPK融合差分技术的无人机摄影测量免像控测图精度实证[J].北京测绘,2022,36(9):1225-1230.
[4]李明,饶弘.基于北斗的无人机高精度自主导航与监控技术分析[J].电子元器件与信息技术,2022,6(1):164-166.
[5]余力,王晨,刘洪飞,等.基于RTK和PPK技术的无人机航空摄影测量精度分析[J].经纬天地,2021(6):30-32.
[6]李天.基于RTK技术的无人机在大比例尺地形图测绘中的精度分析[J].测绘与空间地理信息,2019,42(3):166-168.

作者简介：寇永涛（1979.10—）毕业院校：中国地质大学（武汉），所学专业：测绘工程，当前就职单位名称：鄯善县土地勘测规划队，就职单位职务：办公室主任，职称级别：工程师（中级）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

深基坑支护结构设计中的地质参数敏感性分析

傅显显
安徽建筑大学设计研究总院有限公司，安徽 合肥 230009

[摘要]地质参数的不确定性直接影响深基坑支护结构的稳定性，开展地质参数敏感性分析对优化设计方案很重要，构建典型深基坑有限元模型并结合多种地质参数变异情形来系统评估不同参数对支护结构位移、内力和安全系数的影响程度，结果显示土体的内摩擦角、黏聚力和弹性模量影响最显著且内摩擦角对基坑侧向位移最敏感，研究成果能给深基坑支护设计中的参数选取与风险控制提供理论依据。

[关键词]深基坑；支护结构；地质参数；敏感性分析；有限元法
DOI：10.33142/sca.v8i7.17126 中图分类号：U452.2 文献标识码：A

Sensitivity Analysis of Geological Parameters in the Design of Deep Foundation Pit Support Structures

FU Xianxian
Anhui Jianzhu University Design and Research Institute Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230009, China

Abstract: The uncertainty of geological parameters directly affects the stability of deep foundation pit support structures. Conducting sensitivity analysis of geological parameters is important for optimizing design schemes. A typical deep foundation pit finite element model is constructed and combined with various geological parameter variations to systematically evaluate the degree of influence of different parameters on the displacement, internal force, and safety factor of the support structure. The results show that the internal friction angle, cohesion, and elastic modulus of the soil have the most significant impact, and the internal friction angle is most sensitive to the lateral displacement of the foundation pit. The research results can provide theoretical basis for parameter selection and risk control in deep foundation pit support design.

Keywords: deep foundation pit; supporting structure; geological parameters; sensitivity analysis; finite element method

引言

城市化进程加快且地下空间开发增多，深基坑工程在城市建设中被广泛应用，在复杂地质条件影响下支护结构安全面临很多挑战且地质参数不确定常是影响设计精度和工程稳定性的关键，合理识别、分析关键地质参数敏感性能优化设计路径并有效提升基坑施工安全保障水平以及给工程决策科学支持。

1 深基坑支护结构设计概述与地质参数作用机理

城市地下空间开发中深基坑工程很重要，其工程安全直接取决于支护结构设计是否合理，而地质参数是设计输入的核心内容，得深入探讨它的作用机理和影响才能让设计更科学可靠。

1.1 深基坑支护结构的基本类型与设计要点

深基坑支护结构主要用于控制土体位移、防止基坑坍塌以及保障周边环境安全，在不同地质条件与使用需求下，放坡支护、重力式支护、排桩支护、地下连续墙、锚杆加支护等是常见支护形式，软土地区的排桩和地下连续墙因高刚度且止水性良好而应用广泛，设计时要综合基坑深度、土层结构、水文地质条件、周边环境等因素选型，支护结构的结构设计需满足强度、稳定性和变形控制要求，内力计算和变形预测一般采用极限平衡法、有限元分析等方法，确定安全系数时要充分考虑施工阶段的不确定性以保障结构在全过程稳定。

1.2 地质参数对支护结构行为的影响机制

土体的内摩擦角、黏聚力、弹性模量、泊松比、单位重度及孔隙水压力系数等都被包含在地质参数里，且土体的抗剪强度、刚度和变形特性直接受这些参数影响。深基坑开挖时，土体应力状态会改变并产生侧向压力和位移，这得由支护结构来承受。土体的抗滑稳定性由内摩擦角和黏聚力决定，边坡破坏和围护结构受力受这俩因素的关键影响，基坑变形特性受弹性模量影响，这对支护结构刚度要求有导向意义。参数取值偏差大的话，结构过度设计或者出现安全隐患都有可能，明白各参数在结构响应中的作用机制，这对提高设计精度、减少不必要的工程开销很重要。

1.3 地质参数不确定性对设计精度的影响

地质条件复杂且现场勘察手段有局限性，实际得到的地质参数常存在一定程度的不确定性，这种不确定性在基坑设计时若未被充分考虑，结构响应预测就可能出现偏差进而影响支护体系的安全性和经济性，弹性模量小或者内摩擦角被低估时，支护结构的位移和内力可能被高估从而需加大构造尺寸造成资源浪费，反之风险可能被低估导致结构被破坏，设计时要用敏感性分析找出关键参数，再结合统计方法或者概率模型合理确定设计值以使结构设计更可靠。

2 地质参数选取与敏感性分析方法构建

深基坑支护结构设计合理性和可靠性的提高，关键在

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

于准确选取地质参数并构建科学的敏感性分析方法，系统化分析手段可有效识别影响结构响应的核心因素，给设计优化提供依据。

2.1 常用地质参数的选取原则

现场勘察数据和试验结果是选取地质参数的依据，综合判断时需将区域地质背景、土层分布特征以及工程经验考虑进去，内摩擦角、黏聚力、弹性模量、单位重度、泊松比、渗透系数等是常用参数且土体的强度特性、变形能力和稳定性指标由这些参数代表，原位测试数据优先采用像标准贯入试验（SPT）、静力触探试验（CPT）、十字板剪切试验（VST）等的数据能反映真实工况，要是多层土体或者复杂地层参数需分层定义而不能用平均值替代否则结果会失真，参数有离散性需统计分析各参数的变异范围再根据工程重要性确定代表值这样设计输入才合理可靠。

2.2 敏感性分析模型的建立流程

通常基于有限元或者有限差分数值模拟平台构建敏感性分析模型，利用控制变量法或者多参数扰动法系统地评估各参数对结构响应的影响程度，先建立符合实际工况的深基坑模型以精准反映支护结构形式、土体分布、开挖顺序以及边界条件，接着在保持其他参数不变的情况下给目标参数施加一定范围（如±10%、±20%之类）的扰动并分析结构变形、内力以及安全系数等响应的变化幅度，可用灵敏度系数或者贡献率指标将结果量化以明确参数影响的相对程度，若涉及多个参数还能引入多元回归、响应面法、拉丁超立方采样等统计方法高效全面地进行敏感性评估，这一流程能为设计人员提供清晰的参数－响应关系图谱助力设计优化和风险控制。

2.3 地质参数敏感性分级方法

各地质参数敏感性结果得分类分级才便于工程实践应用从而形成有指导意义的评价体系，敏感性一般能分成高敏、中敏、低敏三个等级，内摩擦角、弹性模量等高敏参数会使结构位移和内力因微小变动就发生显著变化，黏聚力、单位重度这类中敏参数对稳定性影响大且对变形影响处于中等水平，泊松比、渗透系数这些低敏参数在多数工况下对结构响应的影响比较有限，可结合灵敏度系数阈值或聚类分析等算法定量判断这个分级，敏感性等级明确后在设计和施工阶段就能有针对性地强化关键参数控制从而提高地质勘察精度、更合理地分配资源，参数调整和模型简化时按照分级结果科学取舍就能提升工程分析效率和经济性。

3 不同地质参数对支护结构响应的影响对比

深基坑支护结构响应受不同地质参数影响程度各异，识别这种差异对工程设计很关键，而对比分析各参数影响效应能明确设计重点和控制要素，提高结构安全性与经济性。

3.1 内摩擦角对结构变形的控制作用

土体颗粒间的抗剪能力由内摩擦角反映出来，而基坑边坡稳定性和支护结构侧向位移受其影响，它是核心参数，敏感性分析时，基坑变形受内摩擦角变化的影响非常显著，内摩擦角增大时土体剪切强度就提升，从而基坑侧壁土压力会明显减小，进而支护结构承受的水平荷载跟着降低，结构变形幅度大大减少，而内摩擦较小的时候，土体抗滑能力下降，边坡容易失稳，结构变形可能超限，严重的话支护系统会被破坏，该参数和土体类型、压实程度以及颗粒级配关系密切，因此设计时得先保证取值准确，像砂土、粉土这种摩阻型土体，要加强内摩擦角的现场测试和验证，防止因估值有偏差产生工程安全隐患。

3.2 黏聚力与基坑稳定性的关系

土体抵抗剪切破坏的另一关键参数是黏聚力，在黏性土中它对稳定性起着重要作用，和内摩擦角比起来，黏聚力对基坑变形的影响比较小但对整体抗滑稳定系数的贡献挺明显，敏感性分析结果表明，黏聚力升高时土体整体强度跟着提升、滑动面出现剪切破坏的风险会降低且支护结构的安全储备增加，降雨、地下水位波动等工况下尤其要注意，黏聚力要是降低了土体可能就软化、结构支撑效果会被显著削弱且可能诱发局部失稳，软土地区或者有高填土的场地得充分考虑黏聚力对基坑安全的影响，勘察和实验的时候要把不固结不排水剪切试验（UU）、快速无侧限抗压试验这些方式结合起来以得到更有代表性的黏聚力参数值，它容易受含水率影响，施工期间要加强对土体含水状态的监测以预防时变效应带来的稳定性问题。

3.3 弹性模量对支护刚度的调控作用

土体在荷载作用下的变形能力由弹性模量反映出来，它是评估基坑变形控制效果的重要参数之一，对比分析显示，支护结构位移和弹性模量呈显著负相关关系即弹性模量越大结构位移就越小，数值模拟时，弹性模量增加能有效让围护墙体水平移动和基坑底部隆起程度降低从而减少对周边建（构）筑物的不利影响，弹性模量在土层间变化大且在软弱地基中波动更显著，若设计用统一经验值的话分析结果容易失真，要提高模型精度，各主要土层的弹性模量值得独立设定，实际参数建议通过室内三轴压缩试验或者板载荷试验获取并适当结合修正系数反映施工扰动影响，对这个参数进行敏感性分析能在设计阶段合理配置支护结构刚度以使结构响应和土体性能协调性提高从而减少刚性不匹配产生的应力集中和潜在变形。

4 关键敏感参数识别与工程设计优化建议

深基坑支护设计的关键在于识别关键敏感地质参数，这是提升设计精度与工程安全性的重要步骤，明确敏感性高的参数并制定有针对性的优化策略就能有效增强结构适应性、提升整体经济效益。

4.1 高敏感参数识别的判别方法

建立科学、量化的判别标准是识别地质参数敏感性的关键，灵敏度系数法、影响因子排序法、主成分分析、响应面分析等是常用方法，其中灵敏度系数法能对比参数扰动前后结构响应的相对变化率，明确各参数对位移、内力或安全系数的影响程度，操作简便且直观性强，主成分分

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

析在多参数条件下可揭示变量内在关系，有助于识别综合影响最大的关键因子，有限元分析结果中的灵敏度图谱也能被借助，直观呈现各参数变化对基坑稳定性的空间分布影响，实际工程中，多方法结合可增强识别结果准确性，为后续设计优化奠定坚实数据基础。

4.2 重点参数控制策略与措施

高敏感参数被识别出来后，勘察、设计与施工阶段需采取差异化控制措施才能降低其不确定性带来的风险。地质勘察阶段要加密高敏感区取样点且提高试验频次和参数覆盖范围，优先采用压力计、静力触探等原位测试手段以获取更可靠数据；设计阶段建议用保守估值或者概率范围设计高敏感参数并预留结构调节余量，防止因估计偏差造成结构超载或者变形失控，还可引入参数区间分析或者蒙特卡洛模拟等方法来评价结构在不同参数组合下的性能边界以提高设计的稳健性；施工阶段要实时监测和反演高敏感参数对应的结构响应如墙体位移、支撑轴力等，从而动态修正模型、优化施工方案以确保结构在实际条件下的适应性和安全性。

4.3 优化设计的工程实践价值

关键敏感参数被识别并针对性控制，深基坑支护设计的合理性与工程效益就能显著提升，实际项目里敏感性分析成果常用来指导支护结构的类型选择、刚度配置和施工工艺制定，从而避免“盲目加固”或者“结构冗余”之类的问题，就像某软土地区的基坑工程，内摩擦角和弹性模量被识别为高敏参数后，设计人员加大了相关参数的试验密度，用可调刚度支撑体系应对变形风险，让支护系统兼顾轻量化与安全性，敏感性分析结果还能用于制定分阶段施工和应急预案，增强对突发地质变化的响应能力。

5 地质参数敏感性分析在深基坑设计中的应用价值与展望

地质参数敏感性分析是连接地质不确定性与工程响应的关键桥梁，在深基坑支护设计里正显示出愈发重要的应用价值，科学分析参数影响能助力工程优化、风险控制与智能决策。

5.1 指导设计参数取值的科学依据

地质参数敏感性分析为识别关键参数提供了定量手段，使设计者能在众多土体参数中清楚哪些对结构安全性和稳定性起主导作用，从而防止“平均化”或者“经验化”处理造成的误判，并且在参数取值时有利于优化试验资源配置以及为保守估值提供数据支持，分析中若发现内摩擦角对支护结构位移特别敏感，则需优先保证该参数测试准确且有代表性，在设计中设置安全裕度，精细建模结构响应和地质参数的关系便从“经验导向”转变成“数据驱动”设计，参数选取的科学性和工程适应性也得到有效提高。

5.2 增强基坑工程风险管理能力

在基坑工程里，地质条件的不确定性是潜在风险的重要来源，而敏感性分析是理解这种不确定性传播路径的关键工具。工程师构建参数扰动模型可模拟各种不利工况下的结构响应以识别薄弱环节并制定有针对性的应对策略，给高敏感参数搞实时监测、动态反演与预警机制，这样就能及时捕捉参数变化引发的结构响应偏差，提前采取加固或者调整施工顺序等措施从而大大降低工程风险。在工程投标、施工组织和应急预案制定阶段，敏感性分析结果可作为决策依据，这会增强项目各方识别和应对地质风险的能力从而推动基坑工程全过程风险可控化管理。

5.3 推动智能化与数字化设计转型

BIM 技术、数值模拟平台和大数据算法不断发展，深基坑设计的智能化流程正逐步融入地质参数敏感性分析，且参数反演技术、机器学习模型与之相结合，敏感性分析不但能高效处理多源地质信息，还能预测结构响应对参数波动的非线性影响以提升分析精度与决策前瞻性，可与建筑信息模型联动实现设计—施工—监测全周期的信息共享和响应调节，为数字孪生技术应用于地下工程提供基础支持，以后随着智能算法持续演进，敏感性分析在辅助设计优化、自动化风险评估和实时反馈控制方面将发挥更大潜能，成为深基坑工程智能建造的重要组成部分。

6 结语

深基坑支护结构设计中地质参数敏感性分析是贯穿参数选取、结构响应分析与设计优化过程的关键环节，科学识别高敏感参数既能让地质勘察更有针对性、提高设计精度，又能有效提升工程安全性和经济性，实践表明内摩擦角、黏聚力和弹性模量是基坑稳定性和结构变形的主要影响因素需重点控制并动态管理，随着工程技术和信息化手段不断发展敏感性分析会进一步融入数字建造和智能设计促使深基坑工程迈向高效、安全、智能新阶段。

[参考文献]

[1]张耀强.深基坑支护结构设计方案优化及其工程应用[D].山东:中国石油大学(华东),2022.
[2]魏奇科,傅翔,黄加羽,等.基于地质模型的支护结构设计施工一体化研究[J].重庆建筑,2022,21(1):183-186.
[3]詹文文.复杂地质条件下基坑支护结构设计及数值模拟研究[J].江西建材,2024(3):173-174.
[4]张朋,张全烨.基于矿山地质条件的深基坑支护结构设计与优化研究[J].世界有色金属,2025(7):118-120.
[5]夏祺.建筑工程深基坑支护结构设计研究[J].价值工程,2025,44(16):55-58.

作者简介：傅显显（1987.2—），男，毕业院校：安徽建筑工业学院；所学专业：勘查技术与工程，当前就职单位：安徽建筑大学设计研究总院有限公司，职务：专业副总工，职称级别：高级工程师（副高）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

征 稿

Call for Papers

《智能城市应用》由新加坡Viser Technology Ptd Ltd主办，ISSN：2717-5391(印刷)。本刊长期以来注重质量，编排规范，选稿较严格，学术水平较高，深受高校教师及科研院所研究人员的青睐。本刊为开源（Open Access）期刊，出刊的所有文章均可在全球范围内免费下载，中国知网、维普网等权威数据库收录。

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

《智能城市应用》期刊的主要栏目有：

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

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

征文格式与要求：

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

（2）论文格式：题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要（150字符-300字符为宜）及关键词（3-5组为宜）、正文、参考文献。（附个人简介、邮箱、联系方式及详细收件地址，如：省、市、区、路）。

（3）论文篇幅：字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址：www.viserdata.com



Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址
195 Pearl's Hill Terrace, #02–41, Singapore 168976

官方网站
www.viserdata.com

ISSN 2717-5391