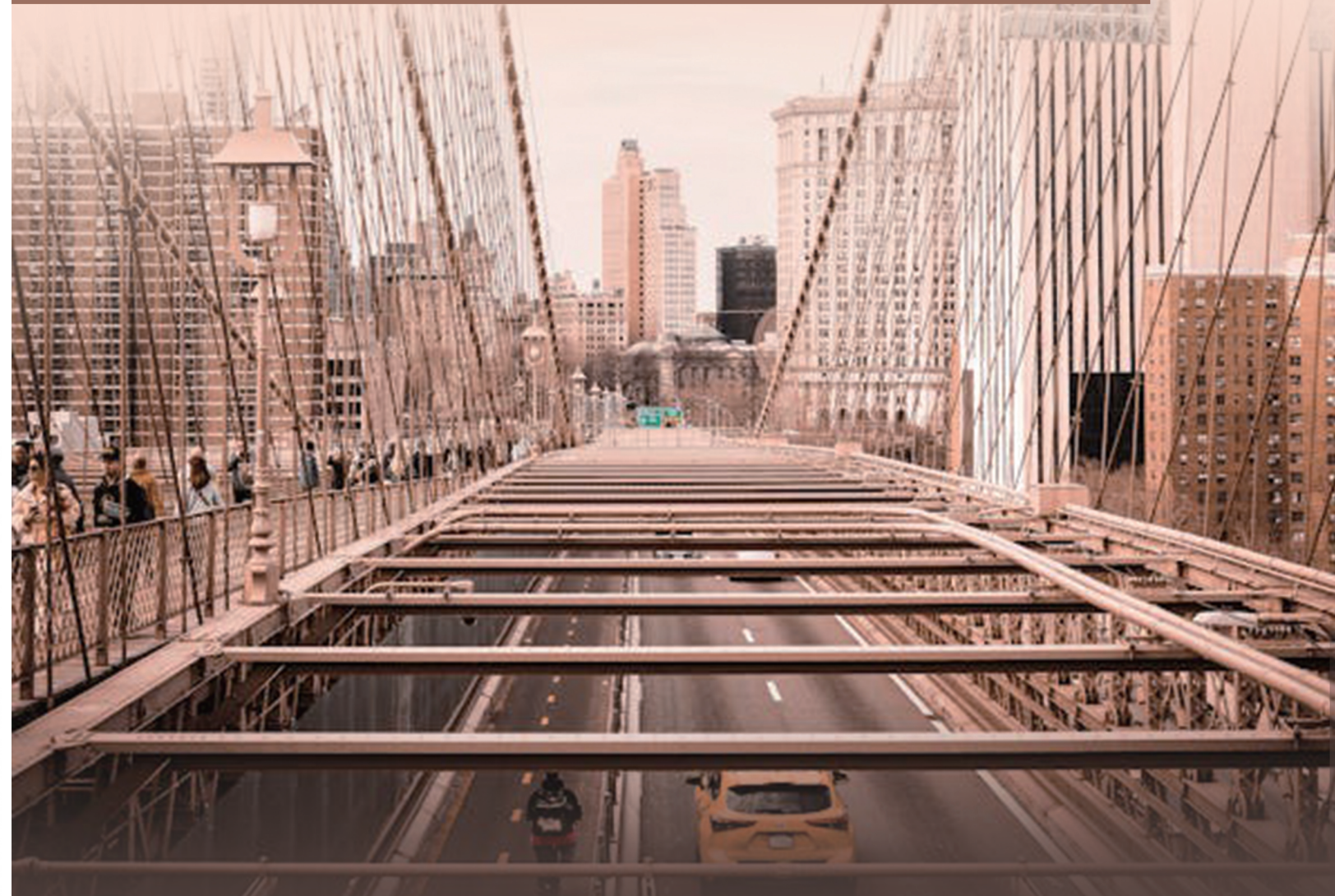


公共交通与建设

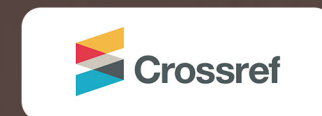
Volume 5 Issue 1 February 2026 ISSN 3060-8872 (Print) 2811-0390(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.:+65 62233839

E-mail:contact@nassg.org

Add.:12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



中文刊名：公共交通与建设

ISSN: 3060-8872 (纸质) 2811-0390 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/ptc

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Public Transportation and Construction

ISSN: 3060-8872 (Print) 2811-0390 (Online)

Language: Chinese

URL: http://journals.nassg.org/index.php/ptc

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《公共交通与建设》征稿函

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge
Infrastructure

版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

Website: http://www.nassg.org



期刊概况：

中文刊名：公共交通与建设

ISSN: 3060-8872 (Print) 2811-0390 (Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/ptc

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 中国知网（CNKI）、谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

公共交通与建设

Volume 5 Issue 1 February 2026
ISSN 3060-8872 (Print) 2811-0390 (Online)

主 编

武瑞娟

Ruijuan Wu

编 委

王同科 Tongke Wang

罗学荣 Xuerong Luo

黎光明 Guangming Li

- 1 铁路接触网作业车运行优化策略探讨
/ 田正庆
- 4 BFCF 型踏面制动单元结构分析与应用
/ 丁兴利 付学峰
- 7 铁路尽头线终点站位选址方案研究
/ 何乔亮
- 12 市政工程概预算审核关键要点与造价合规性控制研究
/ 王大鑫
- 15 公路桥梁支座病害修复性养护技术选型与长期服役性能监测
/ 安建辉
- 18 云环境下商用密码应用研究
/ 刘宇 董军 张鹏 胡小宁 郝哲
- 24 区域综合交通规划的环境影响评价与可持续性研究
/ 孙春刚
- 27 城轨车辆 TCMS 系统与信号融合智能驱采系统研究
/ 周宁 夏夕盛 刘宏杰 张春雨
- 33 高速公路施工组织优化与工程进度协同控制研究
/ 谭嘉银
- 36 探究油田运输管理中车辆的安全问题与对策
/ 刘文通
- 39 油田运输车辆油耗定额标准制定与考核体系构建
/ 韩宇
- 42 交通运输安全风险识别与防控机制优化探析
/ 郭震宇
- 45 高速公路施工安全风险识别与全过程管控模式研究
/ 兰剑波
- 48 HXD3、HXD3C 型机车轮轴压装末端异常的分析及处置
/ 杨志生
- 51 国际物流供应链中断风险的识别与应对策略研究
/ 杨波
- 54 真山真水 地貌赋形 基础设施融合提升空间环境实践
/ 曾惠芬 王健 戈若愚
- 57 道路运输行业信用体系建设实践研究——以灵寿县货运车辆管理为例
/ 李增章
- 60 基于无损检测技术的道路工程质量评价与控制研究
/ 吴兆富
- 63 高速铁路驻所联络员日常管理优化路径探讨
/ 李俊强
- 66 铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量的影响及其优化
/ 黄栋
- 69 城市快速路互通立交设计安全性能分析
/ 赵亮
- 72 盾构机穿越运营地铁隧道的关键风险因素研究
/ 洪文轩
- 75 高速公路养护技术的优化策略分析
/ 李建

- | | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Discussion on the Operation Optimization Strategy of Railway Catenary Maintenance Vehicles
/ Zhengqing Tian | 45 | Research on Safety Risk Identification and Whole Process Control Mode of Expressway Construction
/ Jianbo Lan |
| 4 | Structural Analysis and Application of BFCF Type Tread Brake Unit
/ Xingli Ding Xuefeng Fu | 48 | Analysis and disposal of abnormal conditions at the end of wheel axle press fitting for HXD3 and HXD3C locomotives
/ Zhisheng Yang |
| 7 | Study on the Location of the Terminal Station of the Railway End Line Scheme
/ Qiaoliang He | 51 | Research on Identification and Response Strategies for International Logistics Supply Chain Interruption Risks
/ Bo Yang |
| 12 | Key Points in Municipal Engineering Budget Review and Cost Compliance Control Research
/ Daxin Wang | 54 | Real Mountains and Waters, Geomorphology and Infrastructure Integration and Improvement of Space Environment Practice
/ Huifen Zeng Jian Wang Ruoyu Ge |
| 15 | Selection of Repairable Maintenance Technology and Long-term Service Performance Monitoring for Bridge Bearing of Highway
/ Jianhui An | 57 | Research on the Construction of Credit System in Road Transport Industry-Taking the Management of Freight Vehicles in Lingshou County as an Example
/ Zengzhang Li |
| 18 | Research on the Application of Commercial Cryptography in Cloud Environments
/ Yu Liu Jun Dong Peng Zhang Xiaoning Hu Zhe Hao | 60 | Research on Quality Evaluation and Control of Road Engineering Based on Nondestructive Testing Technology
/ Zhaofu Wu |
| 24 | Environmental Impact Assessment and Sustainability of Regional Comprehensive Transportation Planning
/ Chungang Sun | 63 | Discussion on the Optimization Path of Daily Management of Station Liaison Officers in High-speed Railways
/ Junqiang Li |
| 27 | Research on Multi-Safety-Level Intelligent iRIOM
/ Ning Zhou Xisheng Xia Hongjie Liu Chunyu Zhang | 66 | Influence of Process Parameters on Welding Quality of Rail Flash Welding and Its Optimization
/ Dong Huang |
| 33 | Research on Optimization of Highway Construction Organization and Coordinated Control of Project Schedule
/ Jiayin Tan | 69 | Design Safety Performance Analysis of Interchange of Urban Expressway
/ Liang Zhao |
| 36 | Exploring safety issues and countermeasures of vehicles in oilfield transportation management
/ Wentong Liu | 72 | Research on the Key Risk Factors of Shield Machine Crossing the Subway Tunnel
/ Wenxuan Hong |
| 39 | Establishment of fuel consumption quota standards and construction of assessment system for oilfield transportation vehicles
/ Yu Han | 75 | Analysis of Optimization Strategy of Highway Maintenance Technology
/ Jian Li |
| 42 | Analysis on the Identification and Prevention Mechanism Optimization of Traffic Safety Risk
/ Zhenyu Guo | | |

Discussion on the Operation Optimization Strategy of Railway Catenary Maintenance Vehicles

Zhengqing Tian

Hohhot Power Supply Section, China Railway Hohhot Bureau Group Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

Abstract

With the continuous improvement of China's railway network and the increase in operational speeds, the catenary, as a core power supply facility, directly affects railway transportation safety through its operation and maintenance. The stable operation of the catenary is a key prerequisite for smooth railway transportation, and work vehicles, as the core carriers for maintenance, have their operational quality directly influencing maintenance effectiveness. In recent years, with the rapid development of China's railway industry, there have been higher requirements for the safety, efficiency, and economy of work vehicle operations. However, the existing operational system has many pressing issues that need to be addressed, becoming a bottleneck for improving maintenance standards. This paper focuses on the practical challenges in work vehicle operations, systematically reviews multidimensional core problems, and proposes a series of targeted optimization strategies, aiming to provide theoretical and practical support for enhancing the efficiency of work vehicle operations and strengthening the safety of railway transportation.

Keywords

Railway; Catenary; Maintenance vehicle

铁路接触网作业车运行优化策略探讨

田正庆

中国铁路呼和浩特局集团有限公司呼和供电段, 中国·内蒙古·呼和浩特 010000

摘要

随着我国铁路网络持续完善与运营速度提升, 接触网作为供电核心设施, 其运维保障直接关乎铁路运输安全。接触网稳定运行是铁路运输畅通的核心前提, 作业车作为运维核心载体, 其运行质量直接影响运维成效。近年来我国铁路事业快速发展, 对作业车运行的安全性、高效性、经济性提出更高要求。但现有运行体系存在诸多亟待解决的问题, 成为运维水平提升的瓶颈。本文立足作业车运行实际痛点, 系统梳理多维度核心问题, 针对性提出系列优化策略, 旨在为提升作业车运行效能、筑牢铁路运输安全防线提供理论与实践支撑。

关键词

铁路; 接触网; 作业车

1 引言

铁路接触网作业车是接触网检修、施工及应急处置的关键装备, 其运行效能决定运维质量。当前, 铁路运输密度增加、运维需求升级, 作业车运行在调度管理、设备技术、人员素养等多方面暴露出短板, 制约运维效率提升。在此背景下, 开展作业车运行优化策略研究, 对保障运输安全、降低成本、推动运维现代化具有重要现实意义。

2 铁路接触网作业车运行的核心问题

调度管理层面存在显著短板, 核心问题集中于调度计划合理性不足、资源配置失衡及应急响应滞后。调度计划编

制多依赖传统经验, 缺乏对作业需求、线路状态、运输密度等多维度数据的综合研判, 导致计划与实际运行场景脱节; 资源配置存在“重核心线路、轻支线”“重常规作业、轻应急储备”的失衡现象, 作业车、人员等资源难以实现精准匹配; 应急响应机制不完善, 突发故障或险情发生时, 调度指令传递层级多、信息流通不畅, 导致处置决策延迟, 进一步扩大故障影响范围。

作业执行层面的问题会出现行为不规范。部分作业人员未严格遵循标准化操作流程, 存在违规操作、流程简化等现象, 影响作业质量与安全。

设备技术层面呈现出车辆性能老化、监测预警系统不完善及智能化水平偏低的问题。部分作业车服役年限较长, 关键部件出现磨损、老化等情况, 动力性能、安全性能下降, 不仅增加故障发生率, 也制约作业效率提升; 车辆及接触网状态监测预警系统覆盖不全面, 仅能监测部分关键指标, 且

【作者简介】田正庆(1989—), 男, 中国内蒙古呼和浩特人, 本科, 技师, 从事接触网作业车专业。

数据采集精度低、预警阈值设置不合理,难以实现故障的早期预判与精准预警;作业车智能化改造滞后,仍以人工操作为主,缺乏自动导航、精准定位、远程操控等智能功能,无法适应现代化铁路运维的高效需求。

人员管理层面存在驾驶与作业人员技能参差不齐、安全意识薄弱及培训体系不健全的短板。人员队伍结构不合理,既有经验丰富的老员工,也有技能生疏的新员工,部分人员对新型作业车操作、复杂线路作业等关键技能掌握不扎实;安全意识淡薄,部分人员存在侥幸心理,对作业安全规范重视不足,违规操作现象时有发生;培训体系缺乏系统性与针对性,培训内容陈旧、方式单一,难以匹配作业车技术更新与作业场景复杂化的需求,无法有效提升人员专业素养。

能耗与成本层面则凸显能耗管控粗放、运维成本偏高及资源浪费现象突出的问题。能耗管理缺乏精细化手段,未建立科学的能耗核算标准,对作业车油耗缺乏有效监控,驾驶人员不良驾驶习惯进一步加剧能耗浪费;运维成本管控体系不完善,预防性维护开展不及时,多以故障后维修为主,增加维修成本,同时备件采购、库存管理不科学,存在备件积压或短缺的情况;资源利用效率低下,部分作业车闲置率较高,设备、人员等资源未得到充分盘活,形成资源浪费^[1]。

3 铁路接触网作业车运行优化核心策略

3.1 调度管理优化策略

构建智能调度体系,引入大数据与AI算法是核心方向。通过整合作业需求、线路占用、车辆状态、气象条件等多维度数据,利用AI算法实现作业任务与资源的智能匹配、线路冲突的提前预判,打破传统调度依赖经验的局限,提升调度决策的科学性与精准度。

优化调度计划编制流程,推动计划从“静态预设”向“动态调整”转型。在计划编制阶段,充分调研各作业单元需求,结合铁路运输高峰期与低谷期特点,精准划分作业时间窗口;建立实时动态调整机制,当出现临时作业任务、车辆故障或线路突发状况时,快速重构调度计划,确保资源配置始终与实际运行场景匹配。

建立多部门协同调度机制,破解信息壁垒与协调低效难题。明确调度部门、运输部门、运维部门、作业班组的权责边界,搭建一体化协同调度平台,实现作业计划、线路占用、运输调度等信息实时共享;建立定期会商与应急联动机制,针对作业与运输的冲突点提前研判、协同处置,提升整体运行效率^[2]。

完善应急调度预案,强化突发情况处置能力。梳理接触网作业车运行常见应急场景,制定分级分类应急预案,明确应急响应流程、资源调配方案与责任主体;加强应急演练与预案动态更新,提升调度人员应急处置熟练度,确保突发故障、自然灾害等情况下,能快速启动应急调度流程,最大

限度降低对铁路运输的影响。

3.2 作业流程优化策略

首先,需推进作业流程标准化建设,梳理各类型作业场景的核心环节,制定覆盖作业准备、现场操作、收尾验收全流程的操作规范与安全准则,明确各环节操作要点、质量标准及安全禁忌,通过全员培训与考核强化规范落地,杜绝违规操作与流程简化现象。

其次,深化已落地的“一体化”作业模式,巩固多车协同作业成效。持续完善多车联合作业统筹机制,根据作业区域、任务类型整合作业需求,实现同区域多任务一次性集中完成;依托作业协同调度平台,实时同步各作业车位置、进度及任务完成情况,明确车辆间衔接流程与时间节点,持续提升多车协同作业效率,控制重复作业成本。

最后,构建作业质量追溯体系,强化全流程管控。依托信息化手段,对作业人员、作业车辆、作业时间、操作过程及质量验收结果进行全要素记录,形成可追溯的作业档案;建立质量抽检与责任倒查机制,对不合格作业及时整改,明确各环节责任主体,倒逼作业质量提升^[3]。

3.3 设备技术升级优化策略

构建车地一体化通信网络,破解数据传输壁垒与远程管控难题。依托5G、工业互联网等技术,搭建高速、稳定的车地通信链路,实现作业车运行数据、设备状态数据、现场作业影像等信息的实时传输;搭建远程监控中心,对作业车行驶轨迹、操作状态、作业进度进行全程可视化监控,支持远程故障诊断与应急指令下发,提升对作业现场的远端管控能力。

积极引入新能源作业车,优化能耗结构以降低运营成本。结合作业场景需求,逐步替换传统燃油作业车,推广电动、混合动力等新能源车型,这类车型不仅能大幅降低燃油消耗与尾气排放,还可减少发动机维护等后续成本;配套完善充电、换电基础设施,建立新能源车车辆能耗监测与管理机制,确保能源补给高效便捷,充分发挥新能源技术的节能优势。

建设备全生命周期管理体系,全面提升维护保养质量。梳理设备从采购、入库、使用、维护到报废的全流程节点,制定标准化管理规范,依托信息化系统记录设备技术参数、维护记录、故障信息等全要素数据;推行预防性维护模式,根据设备运行状态与使用年限制定个性化维护计划,精准匹配备件需求,减少过度维护与维护缺失,延长设备使用寿命,保障设备始终处于最优运行状态^[4]。

3.4 人员管理与素养提升策略

人员是铁路接触网作业车运行优化的核心主体,其专业素养与责任意识直接决定运行安全与作业效能,需通过系统化管理机制构建,实现人员能力与岗位需求的精准匹配。首要任务是构建分层分类培训体系,针对驾驶人员、作业人员、管理人员等不同岗位群体,结合新员工入门、老员工技

能升级、新技术应用等不同阶段需求,定制差异化培训内容。基础培训聚焦操作规范、设备基础原理等核心内容,进阶培训侧重智能设备操作、复杂场景作业、应急处置等专业技能,通过实操演练、案例研讨、技能比武等多元化方式,提升培训实效。

强化安全文化建设是筑牢运行安全防线的关键。通过定期开展安全警示教育、事故案例复盘、安全知识竞赛等活动,将安全理念深度融入日常工作;建立全员参与的安全监督机制,鼓励员工主动排查安全隐患、提出改进建议;常态化组织应急处置演练,覆盖车辆故障、线路险情等各类场景,提升员工应对突发状况的快速反应与协同处置能力。

完善考核激励机制是激发人员积极性的重要保障。建立以作业效率、安全达标率、质量合格率、节能成效等优化指标为核心的考核体系,将考核结果与绩效工资、评优评先、岗位晋升直接挂钩;设立专项奖励基金,对技能提升显著、隐患排查及时、作业优化成效突出的个人与班组给予表彰奖励,同时落实责任追究机制,对违规操作、履职不力等行为严格追责,形成“奖优罚劣”的鲜明导向。

建立人才梯队建设机制,保障专业人才持续供给。推行“导师带徒”制度,选拔经验丰富的骨干员工与青年员工结对帮扶,加速青年人才成长;明确岗位晋升通道,为技术型、管理型人才提供差异化发展路径;建立人才储备库,定期开展人才盘点,针对性培养稀缺岗位人才,确保作业车运行管理领域始终拥有结构合理、素质过硬的专业人才队伍。

3.5 能耗与成本优化策略

建立精细化能耗管控体系,推行全流程节能驾驶规范。依托信息化监测手段,对作业车油耗等核心能耗数据进行实时采集与动态分析,精准定位高能耗环节与场景;结合不同作业工况制定差异化节能驾驶标准,明确怠速控制、匀速行驶、制动频率等操作要求,通过专项培训强化驾驶人员节能意识与操作技能,同时将能耗指标纳入个人考核,倒逼节能措施落地。

优化运维成本分摊机制,提升资源利用效率。梳理作业车运维全流程成本构成,建立“谁使用、谁承担”与“效

益挂钩”的成本分摊标准,明确各作业班组、线路运维单元的成本责任;统筹整合运维资源,建立区域化备件共享中心,优化备件采购、库存与调配流程,减少备件积压与重复采购,同时推行运维服务社会化协作模式,对专业性强、频次低的运维任务引入第三方服务,降低自主运维成本。

引入全生命周期成本管理理念,降低综合运营成本。将成本管控贯穿作业车采购、使用、维护、报废全流程,采购阶段优先选择性价比高、能耗低、维护便捷的车型,避免单纯追求低价而忽视后续运维成本;使用阶段通过精细化运维延长设备使用寿命,减少故障维修支出;报废阶段规范资产处置流程,实现残值最大化。同时建立全生命周期成本核算模型,动态跟踪成本变化,定期开展成本分析与优化,持续提升成本管控精准度^[5]。

4 结语

铁路接触网作业车运行优化是推动铁路运维现代化的关键举措,关乎运输安全与运营效益。本文明确了作业车运行在调度、作业、设备等多层面的核心问题,构建了涵盖调度管理、技术升级、人员素养等维度的全方位优化策略体系,各策略协同互补,为解决运行痛点提供系统方案。研究成果可为铁路运维单位提供管理参考,助力提升接触网运维保障能力。未来需依托新技术深化优化,推动铁路运输事业高质量发展。

参考文献

- [1] 关海龙. 浅谈铁路供电系统接触网作业车的运用安全管理[J]. 湖北应急管理, 2025, (22): 31-33.
- [2] 王荣新. 铁路接触网作业车双蓄电池电源电路的改进[J]. 上海电气技术, 2025, 18(02): 39-43.
- [3] 王荣新. 提升铁路供电接触网作业车节能及安全的策略与实现[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2023, 13(04): 32-36.
- [4] 韩超, 周明, 马浩, 等. 高速铁路接触网腕臂抓取装置及运输作业车方案设计[J]. 铁道建筑技术, 2023, (06): 21-23.
- [5] 钟永红. 铁路接触网作业车运行优化研究[J]. 中国新技术新产品, 2022, (23): 51-53.

Structural Analysis and Application of BFCF Type Tread Brake Unit

Xingli Ding Xuefeng Fu

CRRC Datong Electric Locomotive Co., Ltd., Datong, Shanxi, 037000, China

Abstract

This paper conducts an in-depth study on the BFCF type tread brake unit, a core component produced by Datong Electric Locomotive Co., Ltd. for the Harmony 2 type electric locomotive. This unit integrates three main functions: common braking, automatic brake shoe gap adjustment and spring parking braking. It has significant advantages such as compact structure, reliable performance and small space occupation. This article introduces the precise mechanical composition of the braking unit, the dynamic process of wedge force amplification, the adjustment logic of the lead screw nut pair, and the parking braking principle with the X-valve protection mechanism, clarifying its key role in the safety guarantee system of modern heavy-duty locomotives.

Keywords

BFCF-type tread brake unit; Service brake; Parking brake; X valve

BFCF 型踏面制动单元结构分析与应用

丁兴利 付学峰

中车大同电力机车有限公司, 中国·山西大同 037000

摘要

本文深入研究了大同电力机车有限公司为和谐2型电力机车配套生产的核心部件——BFCF型踏面制动单元。该单元集成了常用制动、自动闸瓦间隙调节及弹簧停放制动三个主要功能, 具有结构紧凑、性能可靠及空间占用小等显著优势。本文通过对该制动单元的精密机械构成、楔形力放大动力学过程、丝杠螺母副调节逻辑以及带有X阀保护机制的停放制动原理进行介绍, 阐明了其在现代重载机车安全保障体系中的关键作用。

关键词

BFCF型踏面制动单元; 常用制动; 停放制动; X阀

1 引言

在轨道交通领域, 基础制动单元是确保列车安全运行与精确停车的最终执行机构, 其性能表现直接决定了机车制动系统的整体效能。和谐2系列电力机车作为我国铁路货运重载运输的主力机型, 其运行环境复杂、牵引吨位大, 对制动装置提出了极高的要求。BFC/BFCF型踏面制动单元, 正是在这种背景下应运而生。

传统的机车停放制动多采用手制动机等落后技术, 不仅操作强度高, 且在复杂工况下的可靠性难以完全保障。而BFCF型单元集成的停放制动新技术, 实现了从人工到自动化的转变, 极大地提升了作业效率并预防了溜逸事故的发生。对该单元进行深度的结构分析与应用总结, 对我国轨道交通基础制动技术的持续迭代具有深远的指导意义^[1]。

2 BFCF 型踏面制动单元的结构体系详述

BFCF型踏面制动单元是一套气动执行机构和精密的机械能转换系统的有机结合体。其设计核心在于实现在有限的轮对空间内, 布置下能够产生大输出力的机构。

2.1 整体构造解析

BFCF型单元的物理结构由多个功能模块精密耦合而成。其外壳主要由铸造制动缸体构成, 该缸体不仅作为气压能向机械能转换的场所, 还作为整个制动反力的承载支架。单元内部的核心组件包括: 用于产生机械增益的楔形力放大器、用于维持制动效能一致性的自动闸瓦间隙调整器、以及作为动力来源的闸瓦托。此外, BFCF型号特有的停放制动模块由停放缸(通常称为弹簧缸)和关键的控制元件X阀组成。

2.2 气路接口与空间布局

为了实现多功能的协调工作, 该单元设计了两个主要的气路进气口。其中, 常用制动进气口具有较大的管径(约为12.7mm), 以确保在紧急制动或常用制动指令下, 压缩

【作者简介】丁兴利(1977—), 男, 中国山西大同人, 本科, 高级工程师, 从事电力机车技术研究和试验检测研究。

空气能够迅速充入制动缸体，减少空走时间。另一个进气口则连接至停放制动缸，其直径相对较小（约为 6.35mm），专门负责停放弹簧的压缩与缓解控制。这种差异化的布局既保证了响应速度，又优化了管路安装空间。

BFCF 的结构如图 1 所示。

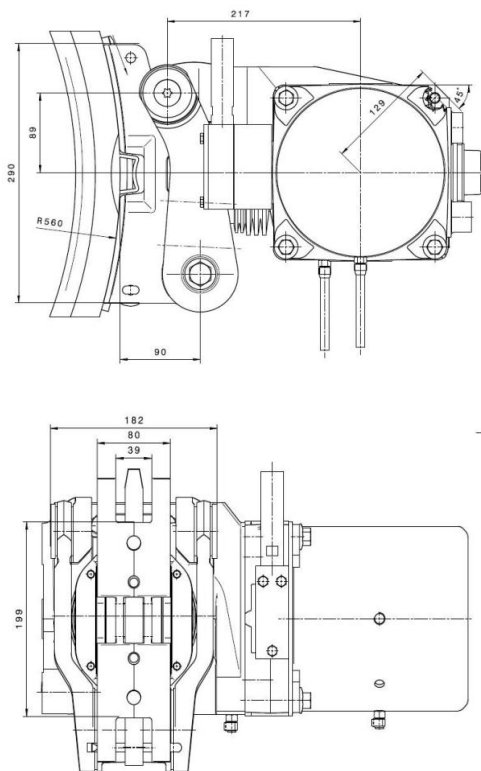


图 1 BFCF 型踏面制动单元整体机械结构解剖图

3 常用制动工作原理及楔形力放大机制

3.1 动力传递路径

当机车实施常用制动时，压缩空气进入常用制动缸腔室，产生的气压推力作用于活塞上。活塞向下垂直运动，带动与其刚性连接的楔子向两组滚柱轴承之间插入。楔子的楔面通过倾斜角度将垂直向下的推力转化为侧向的挤压力，推动前部轴承及与其相连的闸调器向前水平移动。最终，这种力量传递至闸瓦托，使闸瓦紧贴车轮踏面，通过摩擦力产生制动扭矩^[2]。常用制动工作原理及楔形力放大器结构图如图 2 所示。

3.2 楔形原理的应用

楔形力放大器是 BFCF 单元的主要力学实现机构。它以经典的斜面压榨原理为依据，将较小的活塞推力放大至实际制动所需的高吨位级制动力。楔子的设计倾角（通常为 10.2°）是经过精密计算的，目的在于寻求放大倍数与动作行程之间的最优平衡。在实际应用中，设计人员可以根据机车轴重的不同需求，通过调整楔子角度或选用不同直径的常用制动活塞，来定制化调整放大倍数，确保输出力在

380kPa 的标准压力下达到 46.9kN 左右，而最大允许输出力可达 50kN。

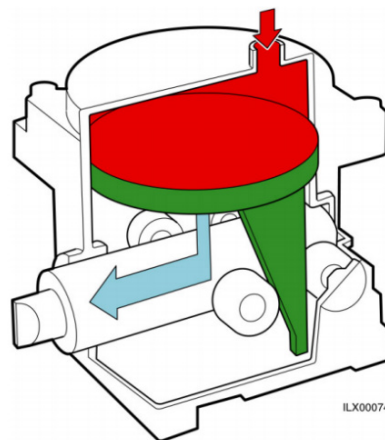


图 2 常用制动工作原理及楔形力放大器结构图

4 闸瓦间隙自动调整器的控制逻辑

闸瓦在长期制动过程中会产生持续磨损，导致闸瓦与车轮间的间隙增大。如果不能自动补偿这种间隙，制动活塞的行程将会越来越长，最终导致制动响应延迟甚至力传递失效。

调节器的构造基础：BFCF 单元内置的自动间隙调节器（闸调器）是一套精巧的丝杠螺母系统。它主要利用非自锁丝杠与前、后调整螺母之间的相对旋转和轴向位移来实现长度的自我修正。

间隙增大与产生过程：在正常制动位下，闸调器整体随活塞移动距离 A（设计间隙）。如果车轮磨损使得闸瓦与踏面的实际距离大于 A，闸调器将不得不继续向前移动。此时，由于位移超限，后调整螺母与卡套之间的伞形齿轮会发生脱开，并随之向左移动额外的距离。

间隙消除与补偿逻辑：在制动过程中，后调整螺母在内部弹簧力的作用下，相对于不自锁螺杆发生旋转运动，并在轴向方向上向右移动距离 e，从而“吃掉”多余的空程。当制动缓解、闸调器整体右移回位时，前调整螺母也会在相应弹簧力和卡位作用下重复类似的旋转运动，完成最终的长度调节循环。通过这种往复动作，闸瓦间隙始终被锁定在设计规定的 8mm 左右^[3]。

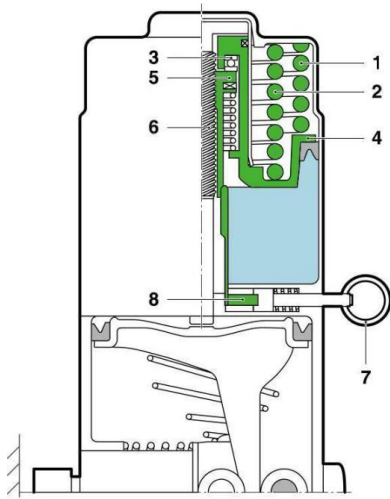
5 停放制动系统及其 X 阀防护机制

停放制动模块是 BFCF 型单元区别于 BFC 型的重要特征，其设计逻辑是基于能量储存与释放的原理。

5.1 弹簧停放缸的储能与释放

停放缸内部的核心部件是大刚度的螺旋压缩弹簧。在机车运行状态下，停放缸内充入压缩空气，气压推动活塞上移并压缩弹簧，使其处于储能缓解状态。此时，棘轮螺母与主轴随之上移，不干扰常用制动缸的正常动作。当机车需要

停放或系统发生失压故障时，停放缸排气，弹簧势能瞬间释放，推动活塞下行^[4]。通过棘轮螺母与主轴组成的螺旋副，垂直的力量被传递至常用制动活塞，实现强制制动。图3给出了BFCF型停放制动缸内部构件简图。



1, 2- 停放缸弹簧; 3- 轴承; 4- 停放缸活塞; 5- 棘轮螺母; 6- 主轴; 7- 拉环; 8- 棘轮机构。

图3 BFCF型停放制动缸内部构件简图

5.2 X 阀的智能化防护逻辑

X 阀是停放制动系统中的安全阀门，其核心任务是针对副风缸压力下降的不同速率，采取不同的应对策略，以保护闸瓦和车轮不受损伤。

充气缓解状态：当系统正常充气时，X 阀拉杆回缩并锁定棘轮装置。此时，主轴不能相对于活塞发生位移，停放功能处于就绪状态。

快速放气防护状态：若管路意外破裂导致气压极速下降，X 阀感知到压降速率异常，拉杆被顶出并解锁棘轮。此时，棘轮螺母可以随主轴旋转，使得弹簧力在未传递至闸瓦前被内部机构抵消，主轴无法推动活塞，停放制动失效。这一机制有效地避免了闸瓦因受力过猛而剧烈撞击车轮踏面。

慢速放气制动状态：在人工操作排气实施停放制动时，由于压降速率较慢，X 阀保持锁定状态。棘轮装置无法旋转，弹簧力能够平稳、全额地通过主轴传递至活塞，确保制动有效。

5.3 机械快速缓解与复位

为了应对停放制动无法通过气源缓解的极端情况，BFCF 设计了手动拉环机构。通过拉动拉环，可以直接松开棘轮销，解除棘轮装置的锁定。在这种状态下，即使弹簧力存在，棘轮的自由转动也会使主轴回缩，实现机械式的快速缓解。

6 性能参数与应用优势总结

BFCF 型踏面制动单元的各项指标参数表现优越，其在紧急情况或试验压力下可承受高达 800kPa 的高压冲击，气缸允许最高工作压力为 500kPa。该单元的调节能力很强，最大间隙调整量可达 125mm，足以应对从新闸瓦到闸瓦完全磨耗的整个生命周期。

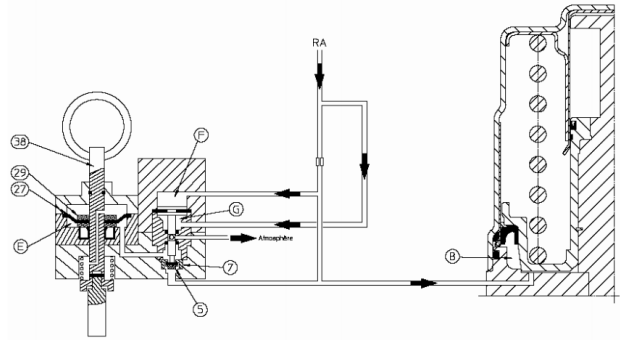


图4 X 阀气路示意图（以充气缓解状态为例）

BFCF 型踏面制动单元通过巧妙的结构设计，解决了电力机车在有限空间内布局基础制动装置的难题。其全自动的间隙补偿与可靠的弹簧停放功能，大大降低了机务人员的工作强度，同时通过 X 阀等安全逻辑，为重载铁路运输提供了多层级的制动冗余保护。其在和谐 2 型机车上的长时间可靠应用，证明了该类制动单元是轨道交通装备领域中一项成熟且具有广泛推广价值的技术成果^[5]。

7 结语

综上所述，BFCF 型踏面制动单元通过其先进的楔形力放大结构、精密的丝杠螺母调节阀以及具备智能化保护逻辑的停放制动系统，构建了一套高效、紧凑的基础制动方案。其“充气缓解、排气制动”的弹簧缸逻辑，与常用制动的充气制动逻辑形成了互补，显著增强了机车在各类运行工况下的安全性这对于未来研发更高性能、更长寿命的轨道交通基础制动产品具有重要的参考价值和借鉴意义。

参考文献

- [1] TB 2056-89 电力机车制动机技术条件. 中华人民共和国铁道部, 1989-10.
- [2] 王俊勇.准高速DF11机车制动系统研究与分析 [J].西南交通大学学报, 1997, 32 (6): 637-642.
- [3] 刘凡, 王俊勇, 袁锦林. F8型空气分配阀及其电空制动机 [M].北京: 中国铁道出版社, 2003.
- [4] 杨志刚.LKJ2000型列车运行监控记录装置 [M].北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [5] 王俊勇, 杨美传.大秦线2万吨重载组合列车制动计算分析 [J].内燃机车, 2008 (4): 5-7.

Study on the Location of the Terminal Station of the Railway End Line Scheme

Qiaoliang He

China Railway Second Survey and Design Institute Engineering Group Co.,Ltd., Nanning, Guangxi, 530022, China

Abstract

This paper examines the Pingxiang-bound terminal line project of the Nanning-Pingxiang Railway as a case study. Through comprehensive multi-scheme evaluation, it identifies a mutually acceptable station location. Drawing on design experience, the study emphasizes conducting thorough feasibility studies for all potential options, avoiding premature abandonment of proposals, and fully incorporating stakeholder feedback. For terminal lines with future expansion needs, the research should extend to the next interval level in feasibility studies. The findings should be integrated into territorial spatial planning for regulatory purposes.

Keywords

End line; Railway; Station layout; Route selection

铁路尽头线终点站位选址方案研究

何乔亮

中铁二院工程集团有限责任公司, 中国·广西南宁 530022

摘要

本文以尽头线南宁至凭祥铁路引入凭祥地区方案为例, 通过详细多方案比选论证, 找到了各方都接受的合理站位。通过对设计经验进行总结, 提出了方案研究中, 要对可能的方案进行饱和式研究, 不要轻易放弃方案, 要充分参考相关各方的意见, 对有预留需求的尽头线, 要按可研深度研究到下一个区间, 研究成果要纳入国土空间规划进行控制等观点。

关键词

尽头线; 铁路; 站位方案; 选线

1 引言

铁路尽头线是指一端终止, 另一端与铁路网相连的铁路线。其与两端都与路网相连的铁路线最大的不同点是, 其终点站自由度大, 选择多, 方案多。根据其终点是否继续延伸, 又可分为临时尽头线和永久尽头线。本文研究的南凭铁路, 远期要延伸至越南, 为临时尽头线。

本文以南宁至凭祥铁路引入凭祥地区方案为例, 以符合规划线路走向为核心、结合城市总体规划、环境及涉敏感区分布、工程及地质条件等因素, 对引入凭祥地区方案进行论证, 以期能找到一条既符合规划走向, 又能被各方接受的最优方案。

2 项目概况

2.1 南凭铁路概况

南宁至凭祥铁路是我国“十四五”规划与周边国家互

联互通的重点项目, 是一条南宁直通中越边境口岸城市的快速客运通道, 是规划“南宁-凭祥-河内”跨境高铁的国内段。

其线路总长 201 公里, 设计时速 250 公里/小时, 分南宁至崇左、崇左至凭祥两段。其中, 南宁至崇左段已于 2022 年开通运营, 崇左至凭祥段 2025 年开通运营。全线新设车站 7 座, 凭祥东站为终点站, 其也是未来中越高铁的国境站。本线引入凭祥地区, 不仅要考虑凭祥市的需要, 也要考虑预留以后通往越南方向的条件。

2.2 凭祥城市总体规划

2.2.1 城市概况

凭祥市位于中国南部, 属广西壮族自治区县级市, 与越南接壤, 边境线长 97 公里, 有“祖国南大门”之称。市域面积 650 平方公里, 2020 年人口为 12.98 万人。境内有友谊关公路口岸和凭祥铁路口岸 2 个国家一类口岸, 1 个二类口岸, 5 个边民互市点, 是广西口岸数量最多, 种类最全, 规模最大的边境口岸城市, 是内陆通往越南及东南亚最大和最便捷的陆路通道。

【作者简介】何乔亮(1980—), 男, 壮族, 中国广西南宁人, 本科, 高工, 从事铁路工程建设、设计研究。

2.2.2 城市总体规划概况

根据《凭祥市城市总体规划（2015—2035年）》，凭祥市是面向东盟开放合作的口岸城市，以发展国际贸易、跨国旅游、进出口加工为重点，是具有边关历史景观风貌特色的国门城市。

城市发展总体规划结构为：“一廊两区、四心九组团”。

一廊引领：即以城市综合服务设施走廊引领城市发展骨架。

两区一体：即跨境经济合作区和城市主城区联动发展。

四心引擎：构建老城商业核心、中央商务核心（CBD）、中央活动区

核心（CAZ）、跨境经济合作区商贸旅游核心。

九组团拓展：老城组团、新区综合组团、旅游生态宜居组团、行政文化活力组团、红木文化研发组团、跨境经济合作区进出口加工组团、跨境经济合作区商贸旅游组团、叫隘边贸组团和平而边贸组团。

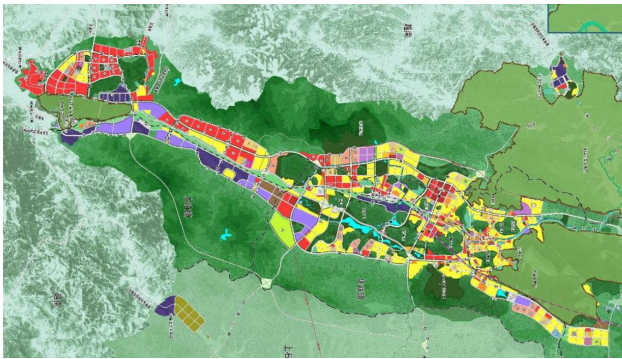


图1 凭祥市城市总体规划图

3 铁路引入凭祥地区方案研究

3.1 地区既有铁路概况

凭祥地区既有铁路为湘桂线南凭段，既有湘桂铁路从北端引入凭祥地区，从北至南纵贯全境。地区范围设有夏石、上石、凭祥北、凭祥站4个车站。其中凭祥北站为办理货运业务的中间站，凭祥站为办理客货运业务的区段站兼国境口岸站。线路出凭祥站后衔接越南同登方向。

3.1.1 地区内主要既有车站概况

凭祥地区主要车站有凭祥站和凭祥北站。

(1) 凭祥北站：车站现有到发线3条（含正线），有效长695m~699m，客运设备设有基本站台1座，站房面积320m²。站房同侧凭祥瑞设货物线1条，对侧为中国外运公司专用线，专用线内设装卸线3条。本站现已停办客运业务。

(2) 凭祥站

湘桂线的一个综合性客、货联运二等国境站，是我国铁路与越南铁路接轨的国家一类口岸站。站房与联检大楼于2001年合建，面积分别为4204m²和2700m²。本站主要办理本地客、货运业务及国际旅客出入境、进出口物资检验检

疫运输服务，可以办理列车接、发和调车作业。

车站到发场设到发线7条（含正线），有效长362~500m，编组场设有编组线6条，有效长634~708m；车站南北两端各设牵出线1条，有效长为510m。到发场和编组场间设有综合性货场，站房对侧设有凭祥口岸物流中心，规划总用地约400亩，内设装卸线2条。车站友谊关端右侧设有机务折返段，目前无专用线接轨。

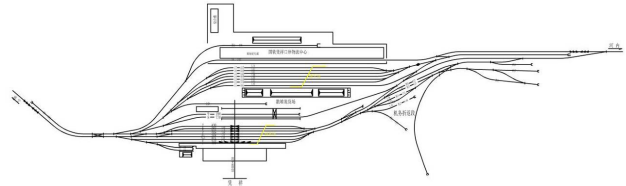


图2 凭祥站平面现状示意图

3.1.2 地区铁路存在的问题

(1) 既有线技术标准低，湘桂线工程始建于1950年10月，次年11月正式通车至凭祥国境站，1955年与越南铁路接轨联运。崇左至凭祥段至今无改扩建工程，列车通行能力低，运行时分长。

(2) 地区沿线车站设备除凭祥站于2019年翻新外，其他车站设备老旧，服务水平较低；部分车站也已停止使用。

3.2 引入凭祥地区方案比选

本线结合既有凭祥站条件、沿线敏感点分布，地形地质条件、城市总体规划情况，引入凭祥地区研究了引入既有站（方案I）和新建车站（方案II）两系列共10个站位方案。方案构成图、方案示意如图3、图4所示。

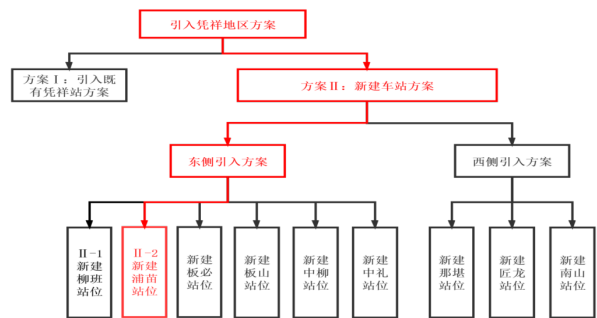


图3 引入凭祥地区方案构成图

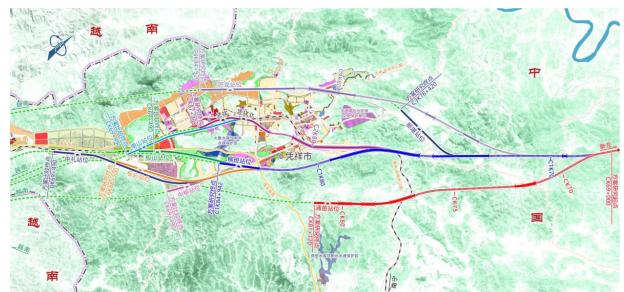


图4 引入凭祥地区方案示意图

3.2.1 方案 I：引入既有凭祥站方案

本方案线路走向沿用城市总体规划中预留的铁路通道接入既有车站，即线路经那堪后，沿既有湘桂铁路通道行进至既有凭祥北站东端往南以隧道穿越狮子山，向南前行上跨金象大道后引入凭祥站既有到发场。线路长度 31.307km。

凭祥站按横列式布置改造，车站自西向东分为高速场—普速场—调车场—货运中心，维持既有有机务段不变，改建方案示意图如图 5。

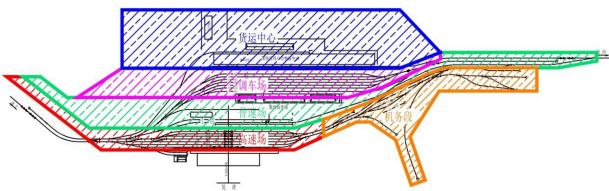


图 5 凭祥站改建方案示意图

3.2.2 方案 II：新建站方案研究

新建站根据地形地质情况，结合城市规划及各类敏感区的分布，共研究新建凭祥东柳班、浦苗、板必、板山、中柳、中礼站位，新建凭祥西匠龙、那堪、南山站位，共 9 个站位方案。

经与凭祥市多次对接和现场核对，由于涉密敏感区、用地等原因，新建车站系列方案中，西侧引入方案的新建那堪站位方案、新建匠龙站位方案、新建南山站位方案不确定因素大，研究后放弃。东侧引入方案的新建板必站位方案位于北投集团地块范围内，周边场地已完成三通一平，需要协调土地调规和置换，且该区域主要规划为仓储，距离城市居民集中区较远，研究后放弃；新建板山站位方案离城区较远，不方便城区乘客乘降，且车站夹在高速公路与物流园之间，空间较小，研究后放弃；新建中柳站位方案站位地形条件较差，且出站端穿越涉密敏感区，研究后放弃；新建中礼站位方案位于凭祥市城区南端礼茶村与中礼村内，车站周边有南友高速公路凭祥至友谊关段及在建的东环路与城区相连，距既有凭祥站 6.2 公里、距老城区中心约 10 公里，目前该地块已开发，线路与既有湘桂线距离只有 160 米，空间过窄，不满足站房及站前广场需要，研究后放弃。

因此，本次研究仅对引入既有凭祥站方案、新建浦苗站位方案和新建柳班站位方案做深入比较，比较方案示意图见图 6。

(1) 方案 II -1: 凭祥东 - 柳班站位方案

本方案线路自比较起点 CK56+000 起，而后行进与城市东侧，在进站前在白云山隧道出口下穿南友高速公路，再上跨规划的东环路后进入凭祥东站，线路长度 28.942km，示意图如图 7 所示。

该站位于凭祥市东部的板透和柳班村，车站周边有南友高速公路、友谊关大道、金象大道以及在建的东环路与城区各方向相连，距既有凭祥站 2km、距城中心约 3.5km，距

市政中心 1.6km，交通方便，站位条件较好。



图 6 比较方案示意图



图 7 凭祥东 - 柳班站位方案示意图

(2) 方案 II -2: 凭祥东 - 浦苗站位方案

本方案线路自比较起点起，经那堪后，在天桥上跨湘桂铁路和 322 国道，之后在白云山东侧设凭祥东站，线路长度 25.120km。该站位位于凭祥市上石镇浦苗屯西南侧，与市区有白云山相隔，距既有凭祥站 5.5km、距老城区中心约 3km，距市政中心 6km，示意图如图 8。



图 8 凭祥东 - 浦苗站位方案示意图

本方案线路短，缺点是现状交通条件不便，需增设市政配套工程。

3.2.3 主要工程数量及投资比较

主要工程数量及投资比较表如表 1。

3.2.4 优缺点比较及推荐意见

交通时间如表 2。

方案优缺点比较如表 3。

表 1 凭祥站位方案主要工程数量及投资比较表

项 目	单 位	引入既有凭祥站方案	新建柳班站位	新建浦苗站位
建筑长度	km	31.307	28.942	25.12
用地	亩	1153.1	808.1	837.1
拆迁	10 ⁴ m ²	9.21687	9.96539	2.07324
路基	土石方	10 ⁴ m ³	364.68	140.2332
	圪工	10 ⁴ m ³	11.7279	6.2991
桥涵	桥梁合计	座 - 延长米	12-12279.012	15-8840.683
隧道	隧道总长	座 - 延长米	9-13860	9-16530
桥隧总长		km	26.139	25.37
桥隧比重		%	83.4	87.6
静态主要工程投资		亿元	34.501	29.534
差额		亿元	+11.245	+6.278
				0

表 2 凭祥站位方案交通时间对比表

项 目	单 位	引入既有凭祥站方案	新建柳班站位	新建浦苗站位
			方案	方案
居民中心（祥和广场）到站距离	km	3.6	4.7	4.1
旅行时间	公交车	min	11	13
	私家车	min	8	9

注：本次旅行时间按公交车平均速度 20km/h，自驾车平均速度 30km/h 计算。

表 3 凭祥站位方案优缺点比较表

编号	方案	优点	缺点
I	引入既有凭祥站	1、引入既有站，方便车站附近老城区居民乘降； 2、与既有站合设，有利于运营期集中管理； 3、占用城市规划用地较少。	1、接入既有凭祥站，需对车站客、货运系统重新布局，既有站改造工程大； 2、沿线及站区房屋拆迁量大； 3、车站改扩建施工期间对既有有线运营干扰大，施工过渡复杂； 4、穿狮子山段线路附近分布有军事设施，线路通过对军事设施是否有影响有待进一步与相关部门协调落实，线路方案具有不确定性； 5、工程投资高。
II -1	新建柳班站位	1、站位离城区较近，与城市规划适应性较好。有多条道路与各城区相连，交通方便，方便乘客乘降，有利于吸引客流； 2、站区地形相对开阔；站区范围土地综合利用条件较好； 3、线路方案无环境、军事敏感点控制。	1、车站范围民房拆迁量大； 2、下穿南友高速公路施工对公路有干扰； 3、线路与在建东环路干扰较大。 4、拆迁难度大。
II -2	新建浦苗站位	1、拆迁量小； 2、线路长度短，工程投资省； 3、线路方案无环境、军事敏感点控制。 4、地方政府积极支持该站位方案。	1、站位处于城市规划外，城市配套工程大； 2、站位所在地地形起伏较大，地形条件差。

(3) 研究结论

综合分析，引入既有站方案受控于涉密敏感区，不确定性大；施工对运营干扰大；近期工程投资大。新建柳班站位距城区近，交通便利，且位于城市规划区中部，客流吸引能力好，但该方案涉及搬迁柳班、板透村两个较大的村庄，搬迁安置难度大。新建浦苗站位虽处于城市规划区外，城市配套工程大，但站位距离城市建成区及居民集中区约 3 公里，东面约 5km 规划有夏石工业区，既能覆盖建成区，亦能带动新区的发展，区位优势较好，近期新建线路长度短，拆迁

量小，工程投资省，地方政府积极支持该站位方案，结合建设单位及运营单位意见，推荐采用新建浦苗站位方案。

4 凭祥东至友谊关段方案研究

南宁经崇左至凭祥铁路作为我国面向东盟的形象工程，是中越高等级铁路的一部分，本项目延伸至友谊关十分必要。因此，虽本线的设计终点为凭祥东站，但为论证本线方案的合理性及保证后续延伸方案的可行性，本次研究按可行性研究深度，将研究范围延伸到了友谊关站。为确保后续方

案可行，本研究成果已提交地方政府，建议将其纳入国土空间规划。

4.1 线路走向

线路从凭祥东（浦苗站位）引出，先下穿南友高速公路后，而后一直沿南友高速东侧向西南方向前进，经下敖、友谊镇后到达友谊关，于友谊关景区北侧 0.6km、凭祥市综合保税区西侧 25m 处设友谊关站，车站为高架曲线站，距离凭祥东（柳班站位）16.35km。友谊关站位示意图如图 9。



图 9 友谊关站位示意图

4.2 友谊关站说明



图 10 友谊关站位示意图

友谊关站受控于周边涉密敏感区及保税区，站位位于友谊关凭祥综合保税区办公区与既有湘桂铁路间的夹心地带，距离友谊关景区旅客服务中心 500m。车站按横列式布置，按尽头式设置，设到发线 4 条（含正线 2 条）；车站为高架站，正线临靠站台，有效长为 650m；车站设 450m×13.0m×1.25m 岛式中间站台 2 座（预留远期邻靠正

线处增设站台门条件），站房按线下式设计，预留接往越南方向条件，预留海关用房及相关设备条件。车站平面布置示意图如图 11。

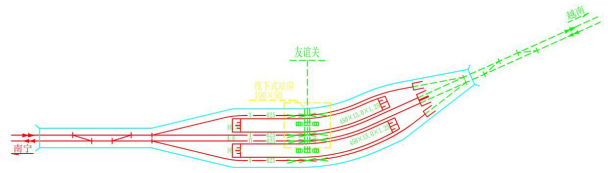


图 11 友谊关站车站布置示意图

5 结语

本文通过对引入凭祥地区方案的比选研究，总结了以下经验值得在以后的研究工作中借鉴：

(1) 不要轻易放弃任何一个方案。要充分结合地区现状、城市总体规划等，对可能的方案开展饱和式研究，以免遗漏有价值的方案。

(2) 站位选址要充分征求各方的意见，特别是地方政府的意见。不要单纯从设计者的角度出发，简单认为某方案不合理就轻易否定，要充分征求包括地方政府、建设单位、运营单位等多方面的意见，综合考虑，才能选出更合理的方案。

(3) 对于远期有预留需求的尽头线，一定要把研究范围扩大，并研究透。不能只研究到本线的终点，或仅对预留方案简单研究，建议至少应按可行性研究深度，研究到下一个区间，以确保本线工程的科学性和合理性，保证后续工程的可行性。

(4) 对于规划的预留工程，应坚持“统筹规划、分步实施”的原则。因通道资源有限，远期预留工程按可研深度研究好后，应与地方政府对接，建议地方将其纳入国土空间规划，避免通道占用，导致后续方案不合理或代价变大。

(5) 有既有车站的地区，要详细研究既有铁路接轨站的地形地质、城建、交通等现状，找到其薄弱环节，有针对性的提出改扩建方案和存在的问题、难点，结合规划，合理选择站位。

参考文献

- [1] 梁文杰《南凭铁路引入凭祥地区方案研究》江西建材 2016
- [2] 李霞 边境口岸城市总体规划策略及实践-以《凭祥市城市总体规划(2015—2035年)》为例 规划师 2020
- [3] 杨平《南昆线增建第二线引入南宁枢纽接轨方案研究》铁道运输与经济 2015

Key Points in Municipal Engineering Budget Review and Cost Compliance Control Research

Daxin Wang

Liaoning Transportation Planning and Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

The review of municipal engineering estimates and budgets serves as a critical mechanism to ensure rational allocation of construction funds and maximize project investment returns. With the expansion of urban infrastructure and diversification of investment entities, cost management has evolved from static control to comprehensive, dynamic supervision. This review process not only verifies quantities, quotas, material prices, and cost standards, but also requires multidimensional oversight in compliance, rationality, and economic viability. Starting from practical needs in municipal engineering budget preparation and review, this paper systematically analyzes common issues and risk points in the review process, while exploring the roles of cost control, contract management, and information technology applications. By establishing a management system featuring “standardized review—dynamic supervision—end-to-end control,” it enhances cost compliance and financial transparency, enabling scientific and refined investment decision-making in municipal projects. These insights provide actionable references and practical pathways for the industry’s high-quality development.

Keywords

Municipal engineering; Budget review; Cost control; Compliance management; Full-process cost management

市政工程概预算审核关键要点与造价合规性控制研究

王大鑫

辽宁省交通规划设计院有限责任公司, 中国·辽宁 沈阳 110000

摘要

市政工程概预算审核是保障建设资金合理使用与工程投资效益实现的关键环节。随着城市基础设施规模的扩大与投资主体多元化,工程造价管理逐渐由静态控制向全过程、动态化监管转变。概预算审核不仅涉及工程量、定额、材料价格与费用标准的核查,更需在合规性、合理性及经济性层面实现多维度把控。本文从市政工程概预算编制与审核的实际需求出发,系统分析审核工作中存在的常见问题与风险点,探讨成本控制、合同管理及信息化技术应用在审核过程中的作用。通过建立“标准化审核—动态化监管—全过程控制”的管理体系,强化造价合规性与资金使用透明度,实现市政工程投资决策的科学化与精细化,为行业高质量发展提供参考与实践路径。

关键词

市政工程; 概预算审核; 造价控制; 合规管理; 全过程造价管理

1 引言

市政工程作为城市公共基础设施建设的重要组成部分,其投资规模大、资金来源复杂、施工周期长,造价管理水平直接影响财政资金的使用效率与项目建设质量。概预算审核在其中起到“投资闸门”的关键作用,是控制工程造价偏差、防范资金浪费的重要环节。然而,在实际工作中,受设计变更、定额执行偏差、市场价格波动与政策调整等因素影响,部分市政工程的概预算审核存在工程量计算不准、取费标准执行不严、价差调整不合理等问题,导致造价控制失真与资

金风险加剧。近年来,国家陆续出台《政府投资条例》《工程造价管理条例》《造价工程师职业标准》等政策文件,对造价合规与审核程序提出更高要求。本文立足市政工程建设实际,分析概预算审核的核心要点与合规控制路径,提出完善审核机制与强化全过程造价监管的策略,以促进工程造价管理的科学化与规范化。

2 市政工程概预算审核的内涵与作用

2.1 概预算审核的定义与职能定位

概预算审核是指在项目立项、设计与施工阶段,对工程造价文件进行核对、评估与修正的专业活动。其核心目的是确保预算编制符合国家定额、取费标准及相关技术规范,实现投资合理化与资金合规化。市政工程概预算审核具有投

【作者简介】王大鑫(1986—),男,中国黑龙江讷河人,本科,高级工程师,从事工程概预算研究。

资决策依据、施工造价指导与资金分配平衡三重职能,是连接设计与建设管理的重要纽带。在政府投资项目中,审核结果直接关系到财政资金拨付与合同执行的合法性与合理性。

2.2 市政工程造价的复杂性与动态性特征

市政工程涵盖道路、桥梁、排水、供水、照明等多个子系统,具有专业交叉、工程量庞大与施工环境复杂等特征。概预算审核需面对地质条件差异、材料市场波动及政策变动带来的不确定性。此外,市政工程多采用分阶段实施与动态调整模式,造价管理需兼顾设计优化与施工变更。审核人员不仅需具备专业定额与计价能力,还需对工程全过程具备宏观把控力,实现动态审核与阶段复核相结合的管理机制。

2.3 概预算审核在工程投资控制中的价值

审核工作的根本目的是实现投资控制的“源头管理”。通过审核,可纠正设计阶段造价偏高、施工阶段变更频繁及材料价格失真等问题,从而避免超预算和资金浪费。实践表明,科学的概预算审核可将市政工程投资偏差率控制在5%以内,并提升资金使用效率20%以上。同时,完善的审核体系还能促进合同价款合理确定,减少结算纠纷与审计风险,为建设单位与施工方提供公平透明的造价环境。

3 概预算审核的关键环节与控制要点

3.1 工程量审核的精度控制

工程量审核是市政工程概预算审核的基础环节,其准确性直接决定造价核算的科学性与投资控制的合理性。审核人员应严格依据设计图纸、施工规范及《工程量计算规则》,逐项复核计算过程,确保计量逻辑与技术参数一致。在道路工程中,应重点校核土方开挖与回填量、路基压实厚度及沥青混合料铺设量,防止因设计与施工偏差导致重复计量;在给排水与管网工程中,应核查管径、埋深、接口形式及附属构筑物数量,避免工程量虚增。采用BIM(建筑信息模型)技术可将设计数据与施工清单进行自动比对,实现工程量的三维提取与误差校验,有效降低人工计算失误。建立“设计量—清单量—结算量”三维审核机制,通过动态核对与可追溯分析,可显著提高审核精度与工作效率,为造价审核提供科学的数据支撑。

3.2 定额与取费标准的合理执行

定额与取费标准是市政工程造价审核的重要依据,其合理执行直接关系到工程计价的合规性与公平性。审核过程中,应核查定额套用的适用性及工艺匹配度,防止高等级定额或错项套用现象。部分施工单位在特殊工况下人为提高机械台班单价或扩大材料损耗率,导致预算虚高,必须通过现场核实与对比分析进行纠正。审核人员应结合施工工艺、地质条件及设备配置,对取费系数进行科学调整。人工费与材料差价部分应依据地方造价信息平台公布的动态价格指数核算,保持与市场行情一致。通过建立标准化取费模板和自动校验系统,可有效减少主观判断造成的偏差。严格执行定

额管理制度,不仅保障了计价的客观性和公正性,也为财政资金的合规使用提供制度保障。

3.3 材料价格与市场波动的动态校核

材料价格是影响市政工程造价波动的关键因素,其波动性强、影响面广。审核人员应重点关注钢筋、水泥、沥青、管材及砂石等主要材料的单价变动情况。利用地方造价信息网与行业大数据平台,可实时获取材料市场行情,实现价格的横向对比与纵向跟踪。对于超过定额基准价20%以上的异常项目,应要求施工单位提供采购合同、发票及市场报价证明,确保数据真实可信。建立价格浮动调整机制,将材料价格指数与合同价联动,能够在市场波动时实现预算动态修正,避免造价偏差积累。采用信息化审核平台,可自动捕捉价格变动趋势,生成价格敏感性分析报告,为管理部门提供决策依据。动态校核机制的建立,不仅提升了造价审核的时效性与精准度,也强化了市政工程投资控制的前瞻性与科学性。

4 概预算审核中的常见问题与风险防控

4.1 设计阶段造价控制薄弱

市政工程项目的投资失控往往源于设计阶段造价控制的缺失。由于部分设计单位过于注重技术方案的完整性与结构安全,而忽视经济可行性与成本约束,导致初步设计阶段概算偏高或功能性重复。设计深度不足、缺乏工程量校核和材料用量优化,是造成预算误差的重要原因。为改善这一问题,应在设计阶段引入全过程造价咨询机制,实行“限额设计”制度,将投资限额作为设计优化的强制约束条件。设计单位与造价工程师应协同参与方案比选与价值工程分析,对不同技术路线进行经济性对比,确定“性能—成本”最优方案。通过动态投资控制手段,在设计变更与图纸深化过程中同步修正概算,实现从源头上对造价的科学控制。实践证明,设计阶段每减少1%的概算偏差,可为项目节约约3%的施工成本,这一阶段的造价控制效益显著。

4.2 变更签证与结算审核风险突出

市政工程建设周期长、施工环境复杂,设计变更频繁,极易成为造价失控与资金风险的集中环节。部分施工单位借助签证模糊性扩大变更范围、虚报工程量或重复签证,导致项目投资明显超支。为防范此类问题,造价审核应重点关注变更的依据、审批程序与计量合理性。凡超出合同范围的签证,必须经项目管理机构和建设单位共同审核确认。推行电子签证与项目日志管理制度,利用时间戳与数据加密技术确保签证记录的唯一性与可追溯性,可有效避免事后补签与重复结算风险。在结算审核阶段,应严格比对合同条款、付款节点与工程量清单,对预付款抵扣、材料差价及索赔事项进行系统复核,确保资金支付与实际工程量相符。通过建立变更台账与风险分级响应机制,能够显著降低造价异常增长风险,维护工程投资秩序的公正与透明。

4.3 造价审核信息化水平不足

当前部分市政建设单位的造价审核仍依赖纸质图纸与人工计算,信息化程度偏低,审核周期长且准确性不足。传统模式下的数据孤岛现象导致审核环节脱节,信息传递滞后、重复录入现象频发,难以支撑大型工程的动态造价控制。为提升审核效率,应加快建设造价管理信息化平台,整合设计、施工、监理、审计等多方数据,实现资料共享与实时校核。BIM(建筑信息模型)与GIS(地理信息系统)技术的融合,可实现工程量的自动提取与三维可视化对比,辅助审核人员发现异常成本点。人工智能与大数据技术在造价分析中也发挥重要作用,通过算法比对同类项目的单方造价与定额差异,可实现智能预警与风险识别。建立基于云端的数据协同系统,不仅提高审核透明度与科学性,还为后期项目审计、绩效评价提供可追溯的数据基础,从根本上提升造价审核的现代化与精细化水平。

5 造价合规性控制的体系构建与实践路径

5.1 建立全过程造价合规管理机制

市政工程造价合规管理是一项系统性、动态化的全过程工作,应贯穿项目立项、设计、施工与竣工结算等各阶段。立项阶段需明确项目投资限额、资金来源及使用方向,确保预算目标与财政约束相匹配。设计阶段实行概算动态跟踪,对比初步设计与施工图预算的差异,及时修正投资控制指标。施工阶段重点在于强化变更与签证管理,通过严格审批流程防止不合理变更造成预算失控。竣工阶段应实施结算复核与绩效评估,对造价偏差进行原因分析与问责,形成闭环反馈。以“事前预防—事中控制—事后审计”的三维管理模式为框架,可实现从预算编制到结算审计的全周期风险防控。尤其对于政府投资项目,应引入第三方独立造价审核机制,以防范内部操作不规范、利益输送等问题,提升资金管理的公正性与透明度。全过程造价合规体系的建立,标志着市政工程投资管理从“静态核算”向“动态管控”的转变。

5.2 强化造价审核的法规依据与责任追溯

造价审核的合规性离不开完善的法规支持与责任体系构建。依据《政府投资条例》《建设工程造价管理规定》等政策文件,造价审核单位及注册造价工程师需对审核结论的准确性与合法性承担相应法律责任。应建立标准化的造价审核文件归档与审批制度,确保工程量核减、单价调整及结算复核等过程均具备可追溯性和数据证据链。对于存在的违法违规行,如虚报工程量、串通报价、篡改单价或滥用取费标准,应依法追责并纳入造价信用管理体系,形成“违规可查、责任可究”的合规监管机制。通过法规约束与责任明晰,不仅能提高造价审核的严肃性与公信力,还能倒逼各参建主

体规范操作,减少行政干预和道德风险。同时,应建立行业黑名单制度,将严重违规单位列入公开监管范围,从制度层面实现“以法促廉、以责促控”的管理目标。

5.3 信息化技术在合规审核中的应用

随着信息化建设的推进,造价合规审核逐步迈向数字化与智能化阶段。借助大数据与人工智能技术,审核系统可通过对历年项目造价、定额参数及市场价格的多维比对,识别异常取值与潜在风险环节,实现风险预警与动态管控。基于区块链技术的造价文件管理系统可有效防止数据篡改,确保合同、变更、结算等文档版本的完整可追溯。BIM(建筑信息模型)与GIS(地理信息系统)的结合,为造价审核提供三维可视化分析支持,可实现工程量自动提取、成本分布对比与数据联动复核。云计算与移动终端技术的应用,使各级监管部门能够实时共享造价数据,打通设计、施工与审计环节的信息壁垒。通过智能算法识别定额偏差、材料单价异常等问题,审核人员可快速定位风险点并生成分析报告,大幅提高审核效率与准确度。信息化技术的深度应用,不仅提升了造价审核的透明度与时效性,也为政府部门实施全过程、全链条监管提供了强有力的技术支撑。

6 结语

市政工程概预算审核是保障工程投资合理性与资金合规使用的重要基础。面对建设规模扩大、材料价格波动与政策环境变化,传统的静态审核模式已无法满足精细化管理需求。应通过完善审核制度、强化法规执行与推广信息化审核手段,构建全过程、全要素的造价合规控制体系。研究表明,科学的审核机制可有效降低投资偏差、提高资金使用绩效,并为城市基础设施建设提供可靠的经济保障。未来,应进一步深化BIM与大数据在造价审核中的融合应用,形成以数据驱动的智慧造价管理模式,实现从“事后审核”向“实时监管”的转变,推动市政工程造价管理向规范化、智能化与高质量方向发展。

参考文献

- [1] 张周红.市政工程预算审核中常见问题及应对措施[J].中国住宅设施,2024,(10):61-63.
- [2] 李杰柯.市政工程造价超概预算的原因与控制研究[J].居舍,2021,(07):174-176.
- [3] 张宝.对如何加强市政工程造价中概预算管控的思考[J].福建建设科技,2016,(05):94-95.
- [4] 孙湘平.浅析市政工程预算审核中易遇到的问题及其处理方法[J].河南建材,2010,(03):137-138.
- [5] 吕涛.政府投资市政给排水工程项目中的造价控制探究[J].建筑与预算,2025,(02):40-42.

Selection of Repairable Maintenance Technology and Long-term Service Performance Monitoring for Bridge Bearing of Highway

Jianhui An

Xinjiang Jiaotou Maintenance Group Co., Ltd., Wulumuqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

As pivotal components in highway bridge structures, bearings serve as critical connectors between upper and lower elements, with their performance directly determining load coordination and operational safety. During prolonged service, bearings are susceptible to performance degradation and structural damage caused by vehicle loads, thermal deformation, material aging, and environmental erosion, leading to abnormal beam stress and restricted expansion/contraction. This study establishes a systematic repairable maintenance framework through a closed-loop approach encompassing "fault identification—performance evaluation—technical selection—monitoring feedback." The system incorporates multiple techniques including elastic bearing replacement, polyurethane grouting repair, sliding plate interface renewal, and rubber composite layer replacement. Integrated with IoT monitoring technology, it enables real-time detection of bearing strain, temperature, and displacement. Engineering validation demonstrates that this system significantly extends bearing lifespan, enhances bridge safety and durability, and provides scientific evidence and practical demonstration for highway bridge maintenance.

Keywords

Bridge bearings; Damage repair; Maintenance technology; Performance monitoring; Long-term service

公路桥梁支座病害修复性养护技术选型与长期服役性能监测

安建辉

新疆交投养护集团有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

支座是公路桥梁结构中承上启下的关键构件, 其性能直接关系到桥梁的受力协调与运行安全。长期服役过程中, 受车辆荷载、温度变形、材料老化及环境侵蚀影响, 支座易出现性能退化与结构病害, 导致梁体受力异常和伸缩受限。本文基于“病害识别—性能评估—技术选型—监测反馈”的闭环思路, 构建了系统化修复性养护技术体系, 涵盖弹性支座更换、聚氨酯灌注修复、滑板界面更新与橡胶复合层置换等手段, 并结合物联网监测技术, 实现支座应变、温度与位移的动态感知。工程验证表明, 该体系可显著延长支座寿命, 提升桥梁安全性与耐久性, 为公路桥梁养护提供科学依据与示范。

关键词

桥梁支座; 病害修复; 养护技术; 性能监测; 长期服役

1 引言

支座作为桥梁上部结构与下部结构的连接关键部件, 其主要功能是传递荷载、适应变形并保证结构受力均衡。长期运行中, 支座易因橡胶老化、钢板锈蚀、聚四氟乙烯(PTFE)磨损、混凝土基座沉降等因素引发多种病害。这些病害不仅影响支座的变形协调能力, 还可能导致梁体受力偏移、伸缩受阻、桥面开裂等问题。

传统的支座维修往往以被动修复为主, 缺乏针对性和系统性。随着交通量增大与结构复杂度提升, 支座养护管理

逐渐向科学化、数字化方向发展。近年来, 结构健康监测(SHM)、物联网(IoT)和大数据技术的应用为桥梁支座状态监测与养护策略优化提供了新的技术路径。本文围绕公路桥梁支座病害的形成机理、修复性养护技术选型及服役性能长期监测体系展开研究, 旨在探索一套适应现代公路桥梁运行需求的综合养护与监测系统, 为实现桥梁结构的长寿命、安全化管理提供参考。

2 公路桥梁支座病害类型与成因分析

2.1 支座结构与工作机理概述

桥梁支座作为上部结构与下部结构之间的关键连接部件, 主要承担竖向荷载传递、水平位移协调及转角调节等功能。按结构形式与受力特征可分为橡胶支座、盆式支座、球

【作者简介】安建辉(1975—), 男, 中国河南郑州人, 本科, 高级工程师, 从事公路工程、运营与养护研究。

形支座和滑动支座等类型。橡胶支座依靠橡胶层的弹性变形实现竖向承载与水平转动,具有结构简单、适应性强的特点;盆式支座通过橡胶块与钢板的组合结构提供竖向承载力,并依靠不锈钢滑板实现微量转动与位移协调;球形支座利用球面滑动副实现多向自由转动,适用于大跨度桥梁。支座在长期受力与环境作用下,其性能可能因疲劳、摩擦或老化而退化。当支座失去弹性或转动受限时,会造成梁体内力重新分布,导致墩顶约束增强、梁端抬升或裂缝扩展,从而影响结构整体安全与耐久性^[1]。

2.2 支座常见病害类型

支座在服役过程中常出现多种形式的结构性与功能性病害。橡胶老化与龟裂是最常见问题之一,长期受紫外线照射、氧化反应及温度循环影响,橡胶表层发生硬化、剥落与裂纹扩展,弹性模量显著下降,导致支座转动协调性减弱。钢制支座在湿热环境及含氯离子侵蚀下易发生锈蚀与膨胀变形,局部厚度变化会引起梁体受力不均甚至产生抬升。滑动界面磨损与污染亦属关键病害,PTFE板磨损后摩擦系数升高,造成梁体伸缩受阻;若砂尘杂质进入滑面,将加剧磨损并影响滑移顺畅性^[2]。

2.3 病害形成的主要机制

支座病害的形成通常是多种内外因素耦合作用的结果。从结构材料角度看,长期荷载作用下橡胶及金属部件会产生累积疲劳损伤;高温、湿度及盐雾环境导致橡胶链结构断裂与钢件腐蚀失稳。交通荷载的频繁冲击与车辆重载化趋势加剧了支座局部应力集中,使剪切与拉压交替作用下的损伤发展加快。同时,设计与安装偏差如支座中心偏移、预留位移不足、支承面不平等,往往在运营期放大病害效应。运维环节中检测频率不足、排水不畅及防护层老化也会促进病害扩展。典型桥梁病害调查显示,约60%的支座损伤与材料老化及环境侵蚀有关,30%源于设计安装误差,10%则与维护管理缺失直接相关,表明支座寿命的延长需在设计、施工与养护三环节协同控制^[3]。

3 支座病害检测与性能评估技术体系

3.1 现场检测与病害识别方法

桥梁支座的病害检测是开展修复与养护工作的基础环节,其科学性与精度直接影响评估结果的可靠性。现场检测主要分为外观检查、无损检测与结构响应测试三个层面。外观检查利用高清摄像设备及无人机航拍技术对支座表面进行全面扫描,可快速识别裂纹、剥落、变形及锈蚀等外显性病害。无损检测采用超声波、红外热成像及激光测距等方法,对内部橡胶脱层、金属构件疲劳裂纹及空鼓现象进行定量分析。结构响应测试则通过在关键节点布设应变计、位移计与温度传感器,实时监测梁体转角、竖向位移及热响应特征,综合反映支座的受力协调能力与变形规律。多源检测结果经数据融合处理后,可形成支座结构健康的初步判定,为后续

退化评估与风险预测提供高可信度的基础数据支撑。

3.2 性能退化评估模型构建

在检测数据的基础上,建立科学的性能退化评估模型是实现支座健康状态量化分析的关键。采用模糊综合评价与层次分析法(AHP)构建多指标评估体系,选取承载能力、滑动性能、转动性能、耐久性及环境适应性五大核心参数作为评价维度。通过归一化处理与权重分配,计算支座综合健康指数(HI),其取值范围为0~1,当HI<0.6时判定为性能异常状态,应立即采取修复性养护措施。该模型可结合历史监测数据与材料老化特征,实现对支座性能退化趋势的动态跟踪与预测。研究表明,该方法能有效反映支座由初期损伤至功能衰减的全过程,具有较高的实用性与工程可操作性,为桥梁健康管理提供量化决策依据^[4]。

3.3 寿命预测与风险评估

支座寿命预测是制定科学养护计划与优化资源配置的关键环节。本文采用Weibull分布模型与退化方程相结合的方式,对支座材料老化速率与荷载循环次数进行拟合分析,推算剩余使用寿命及可靠度变化趋势。模型引入环境影响系数与应力集中参数,可反映温湿度变化及交通荷载对寿命衰减的耦合效应。风险评估方面,通过概率统计与结构可靠度理论,计算支座在不同服役阶段的失效概率,并将结果划分为安全、可控与高风险三级等级。

4 支座修复性养护技术选型与应用

4.1 修复技术选型原则

支座修复技术的选型是保障桥梁安全性与经济性的关键环节,应遵循“安全性优先、经济性兼顾、可操作性保障”的综合原则。在技术路径确定过程中,应结合支座的结构形式、受力特征、病害类型及运营条件进行系统评估。对于橡胶类支座的龟裂及剪切变形,应优先考虑材料替换或表层再生技术,以恢复其弹性性能与变形能力;对于滑动支座因摩擦副磨损造成的功能退化,应选用新型低摩擦材料并优化润滑系统;而钢结构支座出现锈蚀、裂纹或焊缝疲劳时,则需采用表面除锈、防腐涂层重建及局部加固等综合修复措施。技术选型过程中还应考虑交通导改、顶升空间及施工环境的限制,确保修复施工的可操作性与安全性。通过科学的选型原则与合理的技术组合,可实现支座修复过程的高效性与可持续性^[5]。

4.2 常用修复技术分析

橡胶支座的更换与再生修复是目前最常见的技术之一。对于老化严重或失效支座,采用低位同步顶升技术进行整体更换,可有效避免梁体受力不均问题。新型抗老化复合橡胶支座在耐压性、抗剪性及环境适应性方面均优于传统类型,对轻度龟裂区域可采用聚氨酯树脂浸渍修复,恢复表层完整性并提升耐久性能。针对滑动界面磨损问题,可通过安装新型超低摩擦PTFE板或施加硅酮润滑膜恢复滑移性能,使摩

摩擦系数降低 30% 以上,从而改善位移协调能力。对于钢制支座的防腐与加固,则采用超高压水射流除锈技术结合环氧富锌底漆与聚氨酯面漆形成多层防护体系。对于应力集中区域,可加装不锈钢衬板或外包防护罩以延缓二次腐蚀,显著提高支座的服役寿命与可靠性。

4.3 新型材料与复合工艺的应用

近年来,新型高分子材料与复合修复工艺的推广显著提升了支座修复的效率与质量。碳纤维增强聚合物(CFRP)在支座底板及受拉部位的加固中表现出优异的强度重量比与抗疲劳性能,其粘贴层可有效分散局部应力集中,提升整体承载能力。纳米改性橡胶材料通过分子级填充与交联技术,增强了橡胶的抗紫外、抗氧化与耐磨特性,使其在高温与潮湿环境下保持稳定性能。同时,具有自愈合功能的聚合物材料开始应用于微裂纹修复中,其内部微胶囊在受力破裂后释放修复剂,可自动填充细微裂隙,恢复原有力学性能。复合工艺方面,采用真空注胶与热压结合的工艺路径,不仅提升了材料致密度,还减少了施工误差。上述新技术的集成应用,使支座修复由传统的“事后修补”转向“功能再造”,标志着桥梁养护向长寿命、高可靠与低维护方向的转型发展。

5 支座长期服役性能监测与数据分析

5.1 监测系统构建与布设方案

为实现桥梁支座性能的长期健康监测与精细化管理,构建了一套集传感检测、数据采集、无线传输与云端分析于一体的综合监测系统。系统监测指标涵盖竖向位移、水平滑移、转角变形、温度应力及结构应变等关键参数,全面反映支座的工作状态与性能演化特征。传感器布设采用光纤光栅(FBG)与微机电系统(MEMS)复合监测技术,兼具高灵敏度、抗干扰性与长期稳定性,可实现微米级变形量的精确测量。各监测节点分布于主梁与支座连接区域,通过 LoRa 低功耗广域通信与 4G 无线网络实现实时数据回传,极大提升了数据传输的可靠性与时效性。监测数据经边缘计算终端初步处理后上传至云端数据库,云平台对采集信息进行集中存储、动态展示与异常可视化分析,为桥梁支座性能评估提供连续、可靠的数据支撑。

5.2 长期数据分析与健康评估

长期监测数据的分析是实现支座健康状态量化评估的核心。通过时间序列分析与多维特征融合建模,对支座位移、温度、应变等多参数数据进行趋势识别与异常诊断。利用主成分分析(PCA)方法提取关键特征,去除冗余噪声数据,

提升模型计算效率;结合神经网络与深度学习算法,建立支座性能退化识别模型,能够动态识别出由老化、疲劳或环境变化引起的非线性响应特征。系统自动生成健康指数(HI)变化曲线,通过与历史监测数据及气候、荷载等环境因素的耦合分析,实现对支座性能变化的定量追踪与预测。

5.3 预警机制与智能运维模式

在健康评估基础上,构建了基于人工智能与大数据技术的支座性能预警与智能运维体系。系统通过异常检测算法对实时监测数据进行多维特征比对,当监测参数出现突变或偏离阈值时,自动触发预警信号并生成事件报告。结合贝叶斯推断与模糊逻辑模型,可判断异常的性质与严重程度,并依据历史数据分析提供针对性的运维建议。管理人员可通过移动端或控制中心界面实时查看支座运行状态,实现远程化、可视化的决策支持。系统预警响应时间不超过 5 秒,可实现“数据采集—异常识别—预警提示—维修决策”的闭环管理流程。智能运维模式的引入,不仅提升了桥梁支座维护的主动性和科学性,还显著降低了人工巡检频率与维护成本,推动桥梁结构安全管理向数字化、智能化与预防性维护方向转型。

6 结语

公路桥梁支座的健康状态直接关系到结构安全与行车稳定性。本文以支座病害为研究对象,系统分析了其成因机理、修复性养护技术与长期监测方法,构建了集评估、修复、监测与预警为一体的综合技术体系。研究表明,通过科学的技术选型与信息化监测手段,可显著延缓支座老化进程,降低病害发生率,提升桥梁全寿命周期的服役性能。未来,支座养护应向数字化、智能化与可持续方向发展,充分利用物联网、人工智能与数字孪生技术,实现桥梁支座的精准诊断与自适应维护,推动公路基础设施管理水平迈向新阶段。

参考文献

- [1] 张晓东.高速公路桥梁伸缩缝病害修复技术研究[J].汽车周刊,2025,(11):95-97.
- [2] 杨红海.高速公路桥梁路面养护与维修技术探究[J].建材发展导向,2025,23(11):58-60.
- [3] 刘金乾,张萌,赵华.公路桥梁养护中桥面病害诊断与修复技术研究[J].运输经理世界,2025,(16):139-141.
- [4] 朱峰,毕超.基于传感器数据的高速公路桥梁支座位移检测方法[J].装备制造技术,2023,(11):202-204.
- [5] 戴鹏飞.寒冷地区公路混凝土桥梁病害养护及修复技术研究[J].北方交通,2022,(12):17-20.

Research on the Application of Commercial Cryptography in Cloud Environments

Yu Liu¹ Jun Dong² Peng Zhang³ Xiaoning Hu³ Zhe Hao⁴

1.China Railway Information Technology Group Co., Ltd., Beijing, 100044, China

2.China Railway Express Co., Ltd., Beijing, 100000, China

3.China Railway Information Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 100844, China

4. Beijing Institute of Computer Technology and Applications, Beijing, 100854, China

Abstract

Cryptography is the core technology and fundamental support for safeguarding network and information security, as well as the most effective, reliable, and economical core technical means to maintain network and information security. Therefore, aiming at the characteristics of scenario applications in cloud environments (abbreviated as: on the cloud), how to correctly and effectively apply commercial cryptography technology to solve network and information security problems is the key focus of this research. In view of this, this paper elaborates on the application characteristics and facing problems of commercial cryptography on the cloud, clarifies the universal needs of commercial cryptography application in on-cloud scenarios, constructs a commercial cryptography application service support system on the cloud, and demonstrates its exemplary value combined with application practices. The research results can provide theoretical guidance and practical reference for the systematic promotion of the implementation and application of commercial cryptography in the railway industry.

Keywords

Cloud-based; Cloud Password; Commercial Cryptography; Password Resource Pool; Application Service Support Platform.

云环境下商用密码应用研究

刘宇¹ 董军² 张鹏³ 胡小宁³ 郝哲⁴

1. 中国铁路信息科技集团有限公司, 中国·北京 100044

2. 中铁快运股份有限公司, 中国·北京 100000

3. 中铁信息工程集团有限公司, 中国·北京 100844

4. 北京计算机技术及应用研究所, 中国·北京 100854

摘要

密码是保障网络与信息安全的核心技术和基础支撑,也是维护网络与信息安全最有效、最可靠、最经济的核心技术手段。因此,针对云环境(简称:云上)的场景应用特点,如何正确有效应用商用密码技术解决网络和信息安全问题,是本文的研究关键所在。鉴于此,本文详细剖析了商用密码在云上的应用特点与面临问题,明确了云上场景商用密码应用的普适性需求,构建了云上密码应用服务支撑体系,并结合应用实践体现其示范价值。本研究成果可为铁路行业体系化推进商用密码落地应用提供理论指导与实践参考。

关键词

云上; 云密码; 商用密码; 密码资源池; 应用服务支撑平台

1 引言

随着各行业数字化转型全面提速,企业业务系统向云

【基金项目】“铁路商用密码体系架构及应用研究”;子课题2“铁路商用密码技术体系及关键技术研究”(项目编号:WJZG-CKY-2024041(2024P02))。

【作者简介】刘宇(1993—),男,蒙古族,中国内蒙古赤峰人,硕士,工程师,从事铁路网络安全和信息化研究。

上迁移已成为主流趋势。基于云上虚拟化、资源共享、分布式架构的特性,在其带来弹性伸缩、降本增效的同时,也催生了新型安全风险;叠加相关法律法规要求、密码应用安全性评估及网络安全等级保护的合规约束,传统密码技术的物理部署模式已难以适配云端动态化、分布式的应用场景^[1-2]。综上,推动商用密码技术向云上转型应用,构建体系化的云上密码应用服务支撑,已成为保障云上安全与合规落地的核心路径。本文重点聚焦云上商用密码应用服务支撑体系的构建及关键技术研究,旨在破解技术瓶颈、强化安全防护能力,

为云上业务稳健运行筑牢密码安全根基。

2 研究现状

2.1 云上密码应用现状分析

云上商用密码应用现状分析从密码应用合规、密码应用形态、密码应用覆盖、密码应用交付等四方面展开分析。

1) 密码应用合规方面。云上商用密码应用合规性测评以《中华人民共和国密码法》《商用密码管理条例》《信息安全技术 信息系统密码应用基本要求》(GB/T 39786-2021)等要求为参考依据,技术层面主要围绕国密算法与合规产品使用、密钥全生命周期安全、场景化应用有效性及云架构适配性展开;管理层面聚焦制度建设、运维规范与密评闭环管理推进落实^[7]。

2) 密码应用形态方面。云上商用密码应用的核心形态是“云密码服务资源池化”,该形态主要针对云计算虚拟化、分布式、多租户的架构特性,基于云上业务动态弹性、资源共享的核心需求,构建系统化密码服务模式。其以云上分散密码资源整合为基础,依托云服务器密码机等专用硬件设备提供底层算力支撑,通过多租户隔离机制保障不同用户密码资源的安全隔离,封装形成密钥全生命周期管理、数据传输与存储加解密、身份安全认证等标准化核心服务能力,最终实现密码资源的弹性调度、按需分配与规模化应用,既满足云上业务动态安全防护需求,又契合密评、等保等合规要求,成为云上安全保障与合规落地的核心支撑。

3) 密码应用覆盖方面。商用密码在云上的应用已深度贯穿数据存储、传输、运行全生命周期,形成全链路云上密码应用安全服务能力,可全面满足云上多场景、多维度的安全需求。

4) 密码应用交付方面。“密码即服务”已成为云上商用密码应用的主流应用模式。该模式摆脱了传统硬件设备的物理部署限制,企业可通过标准化API接口快速接入云上密码服务,获取密钥管理、加解密等核心服务能力,大幅降低业务系统改造门槛与建设成本。

综上所述,云上密码应用以合规测评要求为核心原则,以“云密码服务资源池化”为核心应用形态,深度贯穿云环境中数据存储、传输、运行全生命周期,以“密码即服务”为核心交付模式,全面支撑云上密码应用与企业业务高效、安全开展。

2.2 云上密码应用面临挑战分析

1) 安全合规与风险防控。云上密码应用要满足密评、等保等合规要求,但云环境多租户隔离特性、数据流转动态性加大了密评合规落地难度,同时也会面临密钥泄露、非法调用等安全风险。

2) 技术适配与性能优化要求高。云端分布式架构与动态调度特性,对密码技术的场景适配性提出更高要求。部分传统密码算法在虚拟化环境下存在性能损耗,大规模并发访问场景下易出现响应延迟;同时,密钥同步与信任机制的协

同难度较大。这些问题均会影响云上密码应用的稳定性与效果^[1-2]。

3) 密码管理及运维复杂度增加。云上密码的集约建设模式,加大了密码监控覆盖范围、实时预警与动态扩展的管理难度,直接导致密码管理及运维复杂度显著上升。如何对多租户环境下密码资源的全生命周期管控,对云上密码资源的集中统一监控、实时预警及动态扩展,以成为云上密码管理方面的核心难题。

综上所述,云上密码应用面临安全合规与风险防控、技术适配与性能优化、密码管理及运维复杂度增加三大核心挑战,涵盖合规落地、技术适配、日常运维等关键环节,需针对性形成有效解决路径。

3 应用需求

云环境下商用密码的应用应着重考虑以下合规、技术、管理等三点核心需求。

合规需求。需依据《国家密码法》、《商用密码管理条例》等相关规定,定期开展商用密码应用安全性评估,确保云上商用密码应用全流程合法合规、安全有效^[4-6]。

2) 技术需求。一方面,传统信息系统架构中,密码技术多以软件、硬件产品形态独立提供服务,而云上密码技术核心强调资源共享与按需使用,通过虚拟化、分布式等技术实现密码资源池化与动态弹性分配,二者架构特性存在显著差异。因此,需将传统密码服务技术转型升级为云原生密码服务技术,并建设适配云架构的密码服务支撑平台,才能符合云上密码应用的需求。另一方面,云上在身份鉴别、数据传输加密、数据存储加密、操作抗抵赖等多个环节均有密码应用需求^[2],因此密码服务需具备多样化、全场景覆盖的服务能力,进而需要构建起闭环可控的云上密码应用安全防护体系。

3) 管理需求。云上密码管理需具备三大核心能力:一是统一管理能力,可对密码服务接口、服务订购、应用调用、应用认证及平台运行状态进行全流程管控;二是多租户管理能力,需具备租户间安全隔离与独立自治管理,满足多租户差异化需求;三是核心运营管理能力,涵盖密码资源统筹调度、密钥全生命周期追溯、密码资源状态监控等功能,保障云上密码管理规范、高效、合规。

4 应用研究

4.1 总体框架设计

依据现有商用密码管理标准及规范,结合云环境场景基本特性与密码应用需求,本文从四个方面来阐述云上商用密码服务支撑体系框架及其业务内容。该框架设计是将密码软硬件资源以云密码资源池化的方式融入云环境,并依托云上密码应用服务支撑平台将多类商用密码能力通过统一接口以服务的方式动态灵活的提供服务,实现“密码即服务”,为云租户的云上应用系统提供合规、安全、便捷的商用密码

服务支撑，满足云上应用系统的密码应用需求。总体框架设计见图1。

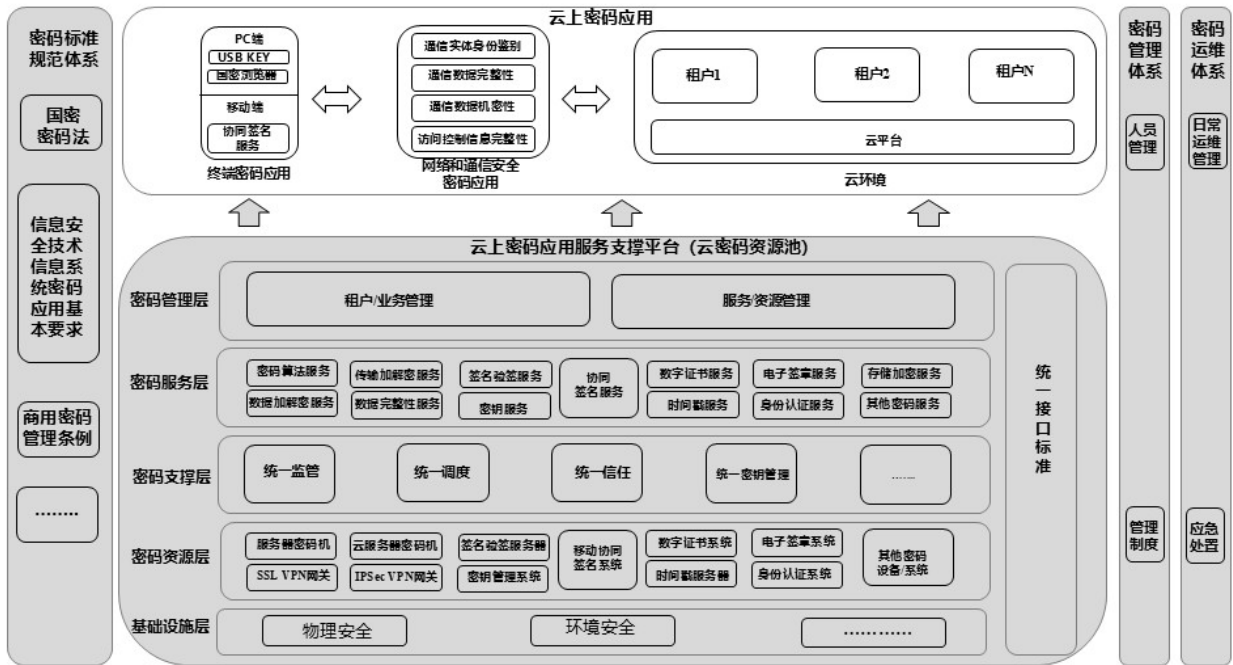


图1 云上商用密码服务支撑体系总体框架图

其中，云上密码应用服务支撑平台是整个体系框架的服务能力中心，密码管理标准规范是整个体系框架的标准规范中心，密码管理体系是整个体系框架的管理中心，密码运维体系是整个体系框架的运维中心^[3]。上述四大能力中心既各司其职，又相互依赖，共同构筑完善的云上商用密码应用服务支撑体系。

1) 云上密码应用服务支撑平台采用层次化、结构化设计思路，为云上业务系统提供密码服务能力。自下而上分为基础设施层、密码资源层、密码支撑层、密码服务层、密码管理层，低层级为上一层级提供资源支撑。

基础设施层。基础设施层涵盖物理安全、环境安全等，为上层密码资源提供基础运行环境。

密码资源层。密码资源层是所有服务的基础，为云上各类密码服务提供产品和技术支撑，包括服务器密码机、云服务器密码机、签名验签服务器、SSL VPN网关、IPSec网关、签名验签服务器、移动协同签名系统、数字证书系统、时间戳服务器、电子签章系统、身份认证系统、服务器密码机、其他密码设备及系统等。密码设备中，VPN安全网关将支持SSL VPN及IPSec VPN等通信链路传输加密服务，云服务器密码机支持将授权开通服务器密码机或签名验签服务器功能，同时支持虚拟出多个虚拟机；移动协同签名系统为云上业务系统和密码资源调度中心提供移动签名验签服务。时间戳服务器为云上业务系统中安全服务统一提供的可信时间服务。

密码支撑层。位于密码服务层与密码资源层之间，它

按照云上不同的密码应用场景、不同的密码应用诉求等，基于底层密码资源协同纳管、调度运行能力，为密码服务层提供同类型的密码服务支撑，主要提供统一监管、统一调度、统一信任、统一密钥管理支撑等。如密码监管平台作为密码设备的统一监控、管理平台，可提供资源管理、密码安全监察等功能；密码调度平台支持对密码设备的集中管理，包括虚拟化的云密码机和传统的密码设备；统一信任服务为云上业务系统提供统一网络信任支撑；统一密钥管理提供密钥全生命周期统一管控支撑。

密码服务层。以国产密码技术为基础，为云管理平台及云上业务系统提供相应的密码安全服务能力，包括密码算法服务、数据加解密服务、数据完整性服务、传输加密服务、签名验签服务、密钥服务、数字证书服务、电子签章服务、存储加密服务、时间戳服务、身份认证服务、其他密码服务等。如密码算法服务：采用加解密算法和认证算法对云上业务系统中的敏感数据进行加解密，同时能为云上业务系统和密码资源调度中心自身提供密码算法、信息鉴别、数据完整性及抗抵赖服务，保证信息安全；传输加解密服务：可为云上业务系统和密码资源调度中心自身提供敏感信息传输加解密服务，通过对称加密、非对称加密和数字签名等方法保证用户与密码传输链路之间的安全性，确保身份可信、服务可信、信息可信。

密码管理层。用于对云密码资源及服务的统一标准化管理，是用户层面使用云上各类商用密码服务以及内部密码管理和运维人员用于密码管理和运维的交互界面，根据用户

身份的不同,可提供租户业务管理、服务资源管理两大类管理能力。其中租户业务管理主要为云租户使用,云租户可实现对云上商用密码服务的订购和使用;服务资源管理主要为云上密码应用服务支撑平台的管理及运维人员提供的服务,如租户管理、订单管理、许可管理、密码服务接口、调度管理、平台运行监控告警等,帮助管理及运维人员掌握云上商用密码应用及平台运行情况,实现对云上密码应用服务支撑平台进行统一便捷化的管理。

统一接口标准:云上密码应用服务支撑平台与外部平台以统一的 Web 接口标准进行对接,包括资源管理接口标准、接入认证接口标准等多个方面规范平台的接入与开发标准,以标准化要求提高服务质量与服务效率,支撑实现密码服务使用的统一、便捷、高效、安全。

2) 密码标准规范体系。标准规范是云上密码规范化应用和管理的重要依据,更是云上密码应用服务支撑平台规范化建设、运行、管理的指导依据,其构建以《中华人民共和国密码法》为根本遵循,以《商用密码管理条例》为重要监管准则,同时严格遵循《信息安全技术 信息系统密码应用基本要求》(GB/T 39786-2021)等国家强制性标准^[1],确保云上密码应用全流程合法合规、规范有序。

3) 密码管理体系。包括人员管理及制度管理两方面,为云上密码应用服务支撑平台的建设、使用、运维提供管理保障。其中人员管理:包括密码岗位组织架构及人员设置情况、培训等,如密码操作员、密码安全审计员、密钥管理员等具体岗位设置情况、岗位职责设定等;制度管理:包括密码人员管理、密钥管理、建设运行、应急处置、密码设施管理等制度规范,以及日常密码应用管理相关的操作规程、操作执行记录、业务处理流程等内容。

4) 密码运维体系。包括日常运维管理和应急处置两方面,为云上密码应用服务支撑平台提供运维管理保障。其中日常运维管理:包括对云上密码服务支撑平台的运维人员、日常运维策略以及日常运维流程的制定与管理;应急处置:包括对云上密码应用应急策略制定、应急组织管理和事件应急处置流程的制定等。

4.2 关键核心技术

密码资源虚拟化技术。

该技术是平台适配云环境弹性特性的核心基础,核心目标是打破传统密码硬件“物理绑定、刚性分配”的局限。一方面,通过采用支持硬件虚拟化隔离技术的密码产品,实现单个租户独享专属密码芯片的隔离效果,既保障租户密码运算的独立性,又从底层规避租户间的安全干扰风险。另一方面,结合云环境的虚拟化能力,将密码资源层的各类软硬件密码资源进行统一虚拟化处理,整合为可弹性调度的密码资源池。资源池支持密码资源按需分配给不同租户,不仅解决了传统密码设备采购周期长、扩展灵活度低的痛点,还能实现毫秒级响应,轻松承载云上高并发业务场景的密码运算

需求。

2) 国密算法适配与标准化封装技术

该技术是平台构建合规密码服务能力的核心支撑,既保障密码应用符合监管要求,又降低云租户接入难度。平台以国密算法为能力底座,全面集成 SM2(非对称加密)、SM3(哈希运算)、SM4(对称加密)、SM9(标识加密)等标准国密算法,所有密码运算操作均严格按照《密码法》及商用密码应用安全性评估(密评)相关规范,从算法层面筑牢合规底线^[5]。同时,通过对底层不同厂商的加密卡、密码机等硬件设备的运算能力进行抽象封装,屏蔽硬件型号、技术架构的差异,对外提供统一、标准化的密码服务接口。在此基础上,可将数据加解密、签名验签、密钥协商等核心功能封装为模块化、可复用的标准化服务,并搭配轻量级 SDK,兼容主流开发框架,云租户无需关注底层硬件适配细节,通过简单调用接口即可快速集成密码服务,大幅降低云上密码应用的接入门槛与开发成本。

密钥全生命周期管控技术。

密钥作为密码服务的核心,其安全管理依赖全流程管控技术。平台搭建集中式密钥管理系统,实现密钥从生成、分发、存储到销毁的全生命周期可控。在生成环节,采用随机数生成算法保障密钥的唯一性和随机性;分发环节通过密钥云安全分发技术,结合加密通道完成密钥的安全传输,避免传输过程中泄露;存储环节则借助云原生数据库等自主可控存储产品,对密钥片段、租户密码服务规则等数据加密存储,并搭配 CRedis 缓存处理高频访问的密钥相关数据,兼顾安全性与访问效率;销毁环节则通过不可逆的密钥清除机制,确保废弃密钥无法被恢复。

多场景协同签名与安全传输技术。

该技术聚焦解决移动端与云平台的密码协同难题,同时保障数据传输全链路安全。针对移动端协同签名需求,移动端密码模块与云平台采用挑战应答机制完成双向身份验证与协同运算,既确保移动端身份的真实性与合法性,又保障签名数据的机密性、完整性与不可否认性,充分满足移动多终端的协同签名需求。在数据传输层面,平台集成 SSL 安全网关等专用模块,提供零侵入式通信加密服务,通过 TCP、HTTP/HTTPS 等标准化协议构建端到端加密传输通道,全程保障云上应用系统间、租户与平台间的数据传输安全,确保通信实体身份可信、传输数据不被篡改、窃取或伪造。

多租户隔离与动态调度技术。

面对多租户共享平台资源的场景,该技术是保障租户数据安全的核心。平台从资源分配、权限管理、数据存储多维度实现隔离,比如通过租户 ID 标识对密码资源、密钥数据进行逻辑隔离,每个租户仅能访问自身授权的资源;在权限管理上,划分平台管理员(包括运维人员)与租户两类角色,细化操作权限,避免越权访问。同时,依托云计算调度技术实现资源动态伸缩,当租户面临业务高峰时,平台可自

动扩容密码运算资源，应对高并发访问；业务低谷时则回收资源，降低运维成本。

监控与审计技术。

该技术为平台稳定运行和合规追溯提供支撑。平台集成日志分析、告警预警等功能，并采用Elasticsearch等工具处理密码服务中的海量日志，对密钥操作、密码服务调用、租户访问行为等进行全面记录。同时通过平台可视化界面，可实时展示资源状态、服务响应速度等信息，一旦出现密钥泄露、服务中断等异常，可快速告警并定位故障。此外，审计日志会留存完整的操作轨迹，涵盖操作人、操作时间、操作内容等关键信息，既满足等保、密评等合规要求，更为安全事件的追溯提供可靠依据。

5 应用实践

为满足云租户对云上应用系统的数据签名验证、数据

加解密、移动端协同签名等多样化商用密码应用需求，某行业结合云环境弹性伸缩、多租户隔离等特性与商用密码合规要求，创新提出云上密码服务支撑体系的整体构建方案。该行业通过整合云上商用密码基础设施资源、规范密码服务接口标准、优化密钥全生命周期管理流程，成功搭建功能完备、安全可控的云上密码应用服务支撑平台，形成了云密码服务资源池。基于该平台提供的标准化、集约化云密码资源服务能力，有效解决了该行业商用密码应用合规性不足、移动端签名安全性保障弱等多项核心难题，推动了该行业数字化转型等场景的商用密码应用落地。这一实践不仅为该行业云上商用密码应用的标准化推广、体系化建设提供了可复制的实施路径，更积累了丰富的技术与管理经验，为后续全行业商用密码规模化应用推广，奠定了坚实基础。应用场景如下图2某行业商用密码应用拓扑图所示。

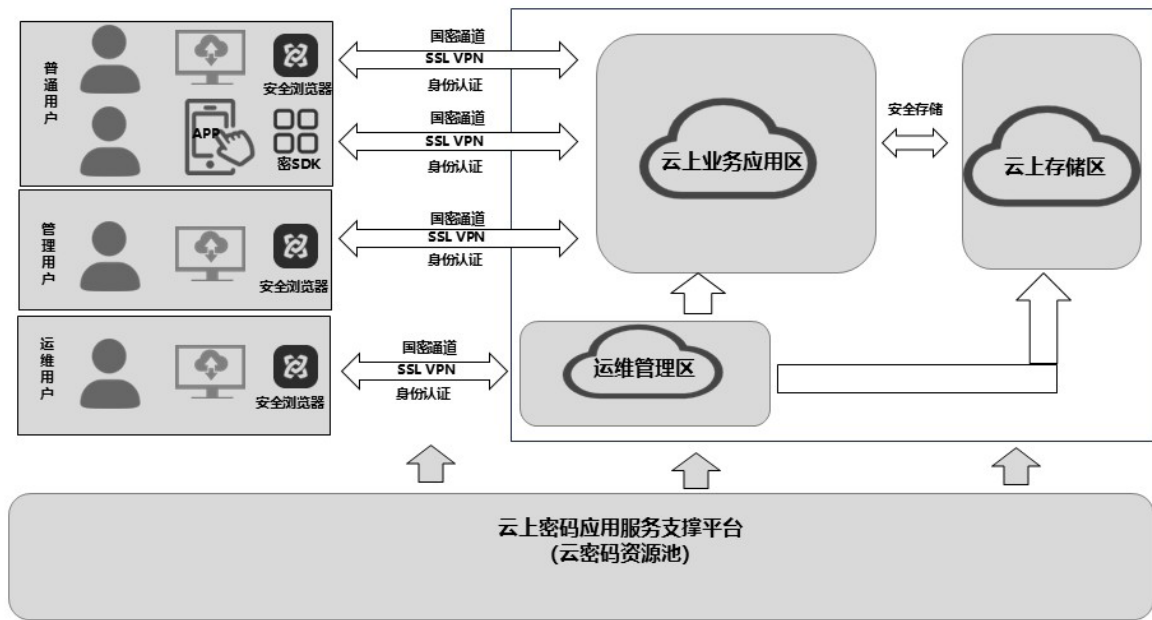


图2 某行业商用密码应用拓扑图

云上密码服务支撑平台为某行业业务应用提供PC终端及移动端密码服务能力（支持移动终端本地数据加密保护）、身份认证、传输加密保护、重要业务数据保护、文件存储加密等安全防护。

移动办公系统密码应用。将密码服务SDK套件嵌入手机端移动办公APP，通过商用密码算法实现对办公人员移动终端的认证与鉴权、移动办公业务应用的加解密服务。

备份容灾密码应用。在两地三中心备份架构中，采用商用密码算法对云平台数据进行加密存储，保障存储系统内部数据安全，同时提供用户身份认证、权限管理等多类保护措施，形成了可靠的数据存储系统和数据保护体系。

6 结语

当前，云计算的普及推动各行业业务系统加速向云端迁移，云上业务的规模化部署使商用密码应用需求愈发迫切。然而，云上商用密码应用尚未形成体系化、规范化、标准化的可落地指导性建设路径，制约了商用密码安全能力与云上业务的深度融合。针对这一核心痛点，本文开展系统性研究与实践，一方面通过构建云上密码应用服务支撑体系，明确云上密码服务支撑平台的核心功能与关键技术路径；另一方面通过应用落地与实践验证，形成可复用、可推广的实施范式。

本研究成果与实践案例，不仅为铁路行业体系化推进商用密码服务建设提供切实可行的实践借鉴，具备较强示范

意义。同时,文中构建的云上密码服务支撑体系,不但能为各行业云上商用密码的规模化应用推广提供系统性指导,更能推动云上商用密码应用模式的创新迭代与规范升级,为我国商用密码产业高质量发展注入持久动能。

参考文献

- [1] 《中国信息安全》杂志2023年第7期.
- [2] 吴善杰, 国产商用密码在信息系统数据安全防护领域的应用[J]. 信息安全与通信保密,2025(8):62-72.
- [3] 网御星云, 云计算环境商用密码应用安全建设体系框架研究与思考.
- [4] 霍炜, 郭启全, 马原等.《商用密码应用与安全性评估》. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [5] 黄昌熙,郑志永,孙雪冬,等.云环境下基于国密算法的密码服务平台建设思路探讨[J]中国新通信.2022,24(8).DOI:10.3969/j.issn.1673-4866.2022.08.039 .
- [6] GM.信息系统密码应用测评要求: GM/T 0115-2021[S].2021.
- [7] 李玮,花小齐.试析云计算环境下网络信息安全技术发展[J].网络安全技术与应用.2024,(5).DOI:10.3969/j.issn.1009-6833.2024.05.026 .

Environmental Impact Assessment and Sustainability of Regional Comprehensive Transportation Planning

Chungang Sun

Qinghai Provincial Transportation Planning and Design Institute Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

Abstract

Regional integrated transportation planning plays a pivotal role in guiding spatial development and industrial layout, with its profound environmental impacts and inherent sustainability increasingly becoming central considerations in decision-making. This study systematically examines the value, evaluation framework, and research strategies of incorporating sustainability principles into Environmental Impact Assessment (EIA) within regional transportation planning. Integrating environmental and sustainability factors into the planning process holds irreplaceable strategic value in mitigating ecological risks, optimizing resource allocation, and facilitating low-carbon transition. The research establishes an evaluation pathway encompassing multi-scale environmental impact identification, comprehensive indicator system development, and dynamic monitoring with feedback mechanisms. By adopting multidisciplinary integration, full-process coordination, and technological innovation as core approaches, this study aims to provide theoretical references and practical guidance for enhancing the ecological benefits and long-term sustainability of regional transportation planning.

Keywords

Regional Integrated Transport Planning; Environmental Impact Assessment; Sustainability; Ecological Effects; Planning Integration

区域综合交通规划的环境影响评价与可持续性研究

孙春刚

青海省交通规划设计研究院有限公司, 中国·青海 西宁 810000

摘要

区域综合交通规划对区域空间发展与产业布局起着关键引导作用, 其对环境的深远影响以及规划自身可持续性日益成为决策的核心考虑点。本文系统研究区域综合交通规划里做环境影响评价(EIA)且加入可持续性理念的价值内涵、评价框架和研究策略。将环境与可持续性因素预先纳入规划流程, 在规避生态风险、优化资源配置、促进低碳转型方面具有不可替代的战略价值。文章构建评价路径, 其涵盖多尺度环境效应识别工作、综合评价指标体系建立工作以及动态监测与反馈工作, 推出以多学科融合、全过程整合、技术创新为核心的研究举措, 研究意在为增强区域综合交通规划的生态效益以及长期可持续性给予理论参考与实践指引。

关键词

区域综合交通规划; 环境影响评价; 可持续性; 生态效应; 规划整合

1 引言

城市化进程与区域一体化进程加速推进, 由公路、铁路、航运、航空等系统组成的区域综合交通网, 其规划和建设在让经济社会要素高效流动方面发挥作用, 也极大改变了区域自然生态基础以及资源环境状况。传统交通规划一般把重点放在工程可行性和经济效益上, 未充分考量累积性、长期性的生态影响与资源承载能力, 或许会引发栖息地破碎、环境污染、碳排放加剧等一系列难题。面对生态文明建设与“双碳”目标的背景时, 怎样全面评估区域综合交通规划对环境

的影响, 保证它的发展路径符合可持续性准则, 已成为规划学、环境科学同公共管理的重要研究课题。本文会深度分析它的核心价值, 构建系统的评价体系, 提出指向可持续性的研究方案, 期望给科学决策提供支撑。

2 区域综合交通规划中环境与可持续性考量的核心价值

声环境影响评价和可持续性理念深度融入区域综合交通规划全流程, 不是简单的环境合规性审核, 却有着多重战略价值的基础性事项。

2.1 规避与减缓生态风险的预防性价值

大型交通基础设施网络的建设呈现显著不可逆性, 建成后会对区域地形地貌、水文过程、生物迁徙通道及生态系统完整性造成持久影响, 具有前瞻性的环境影响评价能在规

【作者简介】孙春刚(1995—), 男, 硕士, 中国甘肃定西人, 工程师, 从事交通工程与规划研究。

划选址、选线及结构布局的阶段发挥作用。首先找出生态敏感区、重要生境的潜在威胁,凭优化方案避免或最大程度降低对自然保护地、关键物种栖息地的切割与侵占。运用桥梁跨越、隧道穿越以及线路绕避等手段,可有效保障生态系统连续性与生物多样性。这一过程从源头预防生态出现破坏,降低了后期治理及修复的成本,也降低了难度,充分彰显了“预防为主、保护优先”的现代环境管理原则,成为促使交通建设与生态保护协同共行的重要支撑^[1]。

2.2 优化资源配置与空间结构的引导性价值

交通规划和土地利用、产业布局、城镇体系发展紧密相连,把环境承载力与可持续性目标体系纳入规划,能科学指引交通廊道及枢纽布局,使其跟区域生态格局以及资源禀赋相适配。这有利于推动土地集约节约利用,切实遵守生态保护红线及永久基本农田,防止对重要生态空间及优质耕地进行无序侵占。这种整合规划能引领出更紧密、功能融合的“交通与土地利用”协同发展模式,在空间结构方面先扶持公交、慢行交通体系发展,在源头降低不必要的交通需求。全面削减区域交通能耗,推进形成绿色、高效的空間发展格局。

2.3 促进绿色低碳转型的战略价值

能源消耗与温室气体排放,交通行业是关键。规划顶层设计阶段对系统纳入全生命周期碳评估、能源结构优化与低碳技术应用等战略目标,可为区域找准绿色交通发展道路。具体体现为:把电气化铁路、内河航运等低碳运输方式的主骨架网络发展规划放在首位;前瞻性地为新能源汽车充电换电、加氢等配套设施预留出空间和廊道;以及优化设计助力“公转铁、公转水”、多式联运顺畅衔接和整体运输效率提升的网络与枢纽方案,此类战略规划,按照系统工程思路,为国家及区域碳达峰、碳中和长期目标的达成供应基础性、先导性支撑,推动整个交通体系朝绿色低碳彻底转变。

3 区域综合交通规划环境影响与可持续性评价的系统框架

创立科学、实用的评价框架,能精准识别影响、衡量可持续性水平很关键,该框架应是个动态的、多层次系统。

3.1 多尺度环境效应的系统识别与预测

评价要在空间上涵盖宏观(区域/流域)、中观(廊道/节点)、微观(工程点位)等多个尺度。宏观尺度留意规划对区域大气环境质量、温室气体排放总量、景观格局以及生物多样性的整体影响,中观尺度着重分析交通廊道给沿线生态系统连通性、水土保持功能以及声环境带来的影响;微观尺度针对具体枢纽、站场建设,评估其局部生态干扰与污染排放。从时间角度考量,包含施工期、运营期还有远期,尤其要重视累积效应与长期演变趋势^[2]。

3.2 综合性评价指标体系的构建与应用

指标体系乃评价工作的核心利器,应包含环境、社会、

经济三维的可持续性的内容。环境维度涉及生态足迹、碳排放强度、空气污染物浓度、噪声水平、生物多样性指数等方面,社会维度涉及公众健康风险问题、交通公平性情况、社区分割影响事宜以及文化遗产保护工作等;从经济维度考量绿色投资的效益、全生命周期的成本、环境损失的价值等,指标要具备科学性、代表性以及数据可获取性,能借助GIS空间分析、模型模拟(例如交通排放模型、生态模型)和大数据技术开展量化评估。

3.3 动态监测、评估与规划调整的反馈机制

环境影响评价不能只停留在规划审批前做预测,应创建贯穿规划实施、运营直至更新全周期的动态监测与后评估体系,建设环境监测网络。采用遥感与物联网技术,始终跟进关键指标的实际改变,跟规划阶段的预测进行比对验证。按照监测与评估结果,搭建灵活的规划调整跟补救措施触发机制,保证在出现未预见到的不良环境影响状况时,可及时开展生态修复、交通管理优化等举措予以应对,构建“规划-评价-监测-反馈-优化”的闭环管理模式。

4 导向可持续区域综合交通规划的研究策略

为真正落实上述评价价值与框架,必须对研究范式及方法开展系统革新。

4.1 强化多学科交叉融合的集成研究

区域综合交通规划的环境及可持续性相关研究,它属于典型的复杂系统问题范畴。单从一个学科的视角,往往难以掌握其中交织的多维关联,一定要破除交通工程、城乡规划、环境科学、生态学、经济学、社会学等传统学科间的隔阂。这类整合需从系统思维开启,了解交通基础设施的布局及运营会影响通行效率,还会引起连锁反应,直接或间接转变区域土地利用格局、能源消耗结构、局部气候以及空气质量、生物栖息地完整性状态,乃至社会公平同经济发展活力。孤立地提升交通流量或降低某一种污染物的排放,或许在其他地方会出现未被预见到的消极影响。唯有借助跨学科的深度交融,才能实现对系统整体行为的深刻领会。

推动这个研究范式转变,关键是积极组建名副其实的跨学科研究团队。此类团队应超越单纯的知识叠加状态,全力形成共同的研究架构及话语体系,推动方法论的融合与革新,发展可综合模拟“交通-环境-社会-经济”复杂互动原理的集成模型。此类模型不是单一工具的简单组合,而是要在统一的地理空间与时间维度里,让不同子系统过程模型深度结合,能够构建地理信息系统基础上的空间决策支持系统。把交通网络模型、交通流仿真模型同土地覆盖变化模型、大气污染物扩散模型、生态系统服务评估模型,把社会经济活动与能耗模型有效融合^[3]。

4.2 推动环境影响评价与规划过程的全链条整合

如今环境评价在规划体系里的定位,一般滞后于主体规划方案出台,实际上起着“后置附件”的角色。这种模式

造成环境考量往往在规划核心框架大致确定后才开始介入,其作用多是对既定方案进行补充性的评估与局部的修正,没法从源头上躲开重大环境风险,也无法引导规划走向更好的可持续之路。需要扭转这一态势,一定要推动环境影响评价完成根本性的范式转型,由“末端评估”转变为“规划早期参与、全过程融合”的主动式流程。核心要点为,把环境及可持续性目标融入规划自身的核心,保障规划构思在最初阶段,生态底线、资源承载力、气候韧性等重要环境维度,构成定义规划愿景与约束条件的基石。

实现这种深度的融合,应在规划编制的全部流程里,在关键决策的各个节点均嵌入严格的环境分析环节。在规划目标设定的阶段,应当按照区域生态环境本底状况评估的结果,制定可量化、可监测的生态保护与低碳发展目标。方案生成及比选优化阶段,需运用空间分析以及情景模拟等工具,对不同规划布局方案引发的生态系统服务损益、碳排放轨迹、资源消耗强度与环境健康影响做预测和对比。每个环节里的决策,明确详尽的环境及可持续性分析结论必须作为输入依据,使环境优劣变为方案取舍的核心标准之一,绝非事后的点缀物。

这种深刻的流程重造,肯定需要对现有的规划编制技术规程以及管理流程实施系统性革新。制度上要明确规定规划文本得有从头到尾的环境逻辑线和专题分析章节,同时明确其提交与论证的时间顺序,必须让规划编制单位和环境影响评价机构全程协同工作。双方要在早期共同成立团队,实现工作大纲制定、基础数据共享、模型方法对接、结论会商等环节的无缝协作。必须重点加强规划决策者以及环境管理者相关能力的建设,经由培训提升其综合思维素质,让其切实明白并看重早期环境介入的战略意义,可在审查决策中精准辨认与采纳融合成果,依靠管理终端保障这一变革切实落地^[4]。

4.3 发展基于大数据与智能技术的创新评价方法

多种数据资源融合给交通与环境研究打下前所未有的分析基础,手机信令数据可连续且大范围地呈现人口流动的时空特性,浮动车轨迹数据细致勾勒出道路网络的运行情况与拥堵模式,环境遥感数据可对大气污染物分布、地表温度及植被覆盖变化进行动态监测,多维空间要素被地理信息数据整合起来。这些数据的交叉验证与叠加剖析,可以打造一个高度精细、可视化的线状图像,清晰呈现出交通流分布规律,也一同呈现出与之有关的环境本底情形,像交通走廊

跟空气质量监测高值区的空间耦合情况,给深入理解城市系统里人、车、环境的互动打下了坚实的数据底子。

有强大的数据做后盾,人工智能与机器学习技术介入,大幅提高分析模型智能水平与预测能力。借助训练深度神经网络之类的模型,可以深入钻研交通流量、车速、车型构成与噪声排放、尾气污染物的复杂非线性关系,实现对交通环境影响的高精度动态模拟及预测。这种智能分析能力进一步为规划过程的生态保护环节赋能,系统能自动掌握生态敏感区域多源特征。

更进一步说,这种技术集成体系可实现对不同规划情景可持续性绩效的快速、多维度评价,构建起数字孪生或仿真平台,可动态模拟不同交通发展策略、基础设施配置或管理政策施行后,交通效率、能源消耗、排放水平、生态影响以及社会经济成本等方面的综合成效。这种仿真过程可实时对参数进行调整,即时将结果可视化呈现,用直观图表、热力图、动画等形式呈现长期演变趋势与空间差异,这把传统又耗时又费力的评估工作变成高效的数字化推演,极大提升工作效率,可向决策者提供更深入的因果洞察以及前瞻性预警,支持达成更科学、更具韧性的可持续交通与空间规划方案^[5]。

5 结语

区域综合交通规划的环境影响评价同可持续性探究,兼顾发展与保护、平衡效率与公平的必然需要。未来实践要把这些理念、框架及策略制度化、工具化,使环境可持续性目标真实变为区域综合交通规划的硬性规定与内在逻辑,进而促进形成绿色、高效、包容、韧性的区域综合交通体系,为区域高质量、可持续发展筑牢坚实根基。

参考文献

- [1] 袁康贵.区域综合交通规划环境影响评价指标体系分析[J].皮革制作与环保科技,2021,2(20):151-152.
- [2] 王艳,王浙锋,王一宁.对目前城市轨道交通建设规划环评编制的思考——以宁波市为例[J].绿色环保建材,2020,(10):56-57.
- [3] 朱高儒,刘杰,王兰,徐洪磊,杨柳.区域综合交通规划环境影响评价指标体系研究[J].公路,2020,65(03):279-284.
- [4] 熊吉安,梅仁明.我国规划环评现状与问题及对策建议[J].中国工程咨询,2018,(03):56-59.
- [5] 程时广,孟娟.战略环评在城市群生态综合交通规划中的应用分析[J].交通与运输(学术版),2017,(02):85-89.

Research on Multi-Safety-Level Intelligent iRIOM

Ning Zhou¹ Xisheng Xia¹ Hongjie Liu² Chunyu Zhang¹

1. MetaBox Technology Co., Ltd., Beijing, 100070, China
2. Beijing Jiaotong University, Beijing, 100044, China

Abstract

This paper addresses the issues such as equipment redundancy, space occupation, and high cost caused by the separate deployment of train network control equipment and signal system acquisition units in the electronic and electrical systems of rail transit vehicles. It proposes an intelligent acquisition system iRIOM for vehicle TCMS and signal integration. This scheme is based on a unified hardware platform, integrates the SIL2 network control acquisition and the SIL4 signal safety acquisition capabilities, and focuses on the goals of “high real-time, strong isolation, certified security, and operability”. It covers the hardware architecture, software architecture, task scheduling architecture, and security mechanism design. The aim of this paper is to achieve resource integration and cost optimization throughout the entire lifecycle without lowering the SIL4 safety standard. It provides an overall solution that can be implemented in engineering for the safe integration of vehicle TCMS and signal systems.

Keywords

iRIOM; Multi-safety levels; Safety isolation; Real-time performance; Redundancy and fault tolerance

城轨车辆 TCMS 系统与信号融合智能驱采系统研究

周宁¹ 夏夕盛¹ 刘宏杰² 张春雨¹

1. 米塔盒子科技有限公司, 中国·北京 100070
2. 北京交通大学自动化与智能学院, 中国·北京 100044

摘要

本文针对轨道交通车载电子电气系统中列车网络控制设备与信号系统驱采单元分立部署导致的设备冗余、空间占用、成本高昂等问题, 提出一种车辆TCMS与信号融合智能驱采系统iRIOM方案。该方案基于统一硬件平台, 融合SIL2网络控制驱采与SIL4信号安全驱采能力, 核心围绕“高实时、强隔离、可证安全、可运维”目标展开, 涵盖硬件架构、软件架构、任务调度架构与安全机制设计。本文旨在不降低SIL4安全标准的前提下, 通过架构融合实现资源整合与全生命周期成本优化, 为车辆TCMS与信号系统的安全融合提供可工程化实施的整体解决方案。

关键词

iRIOM; 多安全等级; 安全隔离; 实时性; 冗余与容错

1 引言

1.1 研究背景

轨道交通车辆电子电气架构由多个控制与安全子系统构成, 其中:

列车网络控制设备承担大量非安全或 SIL2 安全等级 I/O 驱动与采集任务, 驱采单元安全等级往往为 SIL0~SIL2^[1]。

车载信号系统直接影响行车安全, 其 I/O 驱采与安全处理链路通常要求 SIL4, 并且在主机架构上常采用二乘二

取二(2*2oo2)或等效冗余策略, 以满足极低失效概率要求。

行业中普遍采用“网络控制驱采”和“信号安全驱采”分立配置的原因很直接: SIL4 的安全认证、隔离要求、实时性要求、故障响应策略与 SIL2 明显不同。分立部署能降低耦合风险, 但带来了系统层面的代价:

- 1) 插箱数量增加、线缆与连接器规模膨胀、重量与体积上升;
- 2) 运维对象增多、备件体系复杂;
- 3) 设备间接口增多, 潜在故障点增加;
- 4) 多系统之间的时序协调与一致性维护更困难。

1.2 问题与挑战

把 SIL2 网络驱采与 SIL4 信号驱采融合到同一设备, 需要解决两个问题:

- 1) 实时性与确定性: 信号驱采与 ATP 主机之间通常使用内部实时总线/专用链路, 周期短、抖动要求严苛; 驱采

【基金项目】国家自然科学基金(项目编号: 52372310, U2569210); 北京市自然科学基金(项目编号: L251056)。

【作者简介】周宁(1988—), 男, 中国河南焦作人, 硕士, 工程师, 从事交通信息工程及控制研究。

是 ATP 子系统 2*2oo2 安全链路组成部分。融合后如何保证该链路的端到端时延、抖动与吞吐不受 SIL2 业务影响^[2]？

2) 可靠性与安全性: SIL4 需要强隔离、强诊断、确定的故障响应、可审计的安全机制^[3]。融合后如何避免“低安全等级故障向高安全等级传播”？

1.3 创新点

本文的主要贡献可概括为:

1) 多安全等级融合的 iRIOM 架构: 提出在同一平台内实现 SIL4 安全域与 SIL2 控制域并存的硬件 / 软件分区方案, 明确隔离边界、受控数据交换路径与故障遏制策略。

2) 面向 ATP 的 SIL4 驱采实现要点: 给出双通道独立处理、2 乘 2 取 2 一致性比对、故障触发安全状态的关键机制及其工程化落地方式。

2 需求分析与总体指标

2.1 功能需求

1) SIL4 信号驱采能力: 支持 ATP 需要的安全输入采集与安全输出驱动; 支持 2 乘 2 取 2 处理与一致性判决; 支持与 ATP 的高实时性、确定性通信接口。

2) SIL2 网络驱采能力: 支持车辆控制与网络 I/O; 支持列车网络通信; 支持在线诊断与常规维护。

3) 融合需求: 两套功能在同一平台并存, 互不干扰; 同一供电、维护接口, 减少系统级复杂度。

2.2 非功能需求

1) 实时性与确定性: SIL4 任务周期、抖动、端到端延迟需可预算、可验证; SIL2 负载变化不得影响 SIL4 关键路径(强隔离、强优先级)。

2) 可靠性与可用性: 支持电源冗余、关键处理冗余(; 故障可检测、可定位、可恢复, 必要时进入安全状态。

3) 隔离与故障遏制^[4]: SIL2 故障不得传播到 SIL4; SIL4 故障以 fail-safe 方式处置。

2.3 SIL2 与 SIL4 驱采差异对比

SIL2 网络驱采与 SIL4 信号驱采从多个角度的差异对比如表 1 所示。

表 1 SIL2 与 SIL4 驱采差异对比表

类别	SIL2 驱采	SIL4 驱采
典型架构	主备	2 乘 2 取 2
实时性	软实时	硬实时
诊断覆盖	基础诊断	周期自检
隔离要求	中等	强隔离
故障处置	重启、降级	阻断输出、进入安全状态

3 总体架构设计

3.1 系统架构

满足多安全等级融合驱采要求的 iRIOM 系统架构图如图 1 所示, 系统架构设计依据如下原则:

1) 安全域优先: SIL4 关键路径必须有“资源优先权”和“隔离保障”。

2) 隔离先于共享: 能隔离的先隔离, 必须共享的通过网关受控共享。

3) 故障可控扩散: 定义故障遏制区域(Fault Containment Region), 让故障在域内闭环。

4) 证据链设计: 架构设计同时考虑后续安全认证、测试与审计需要。

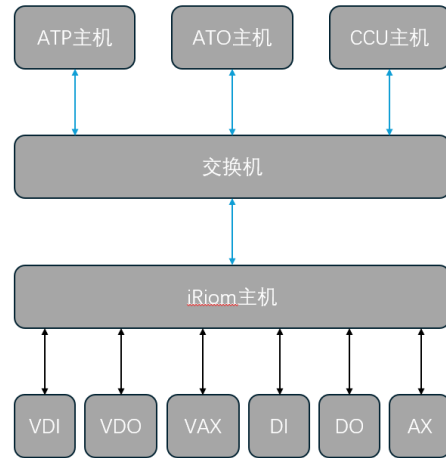


图 1 系统架构图

系统分为控制层、融合层、执行层。控制层包括 ATP 主机、ATO 主机、CCU 主机。融合层包括 iRIOM 主机以及交换机。执行层包括安全数字量采集板、安全数字量驱动板、安全模拟量混合驱动采集板、数字量采集板、数字量驱动板、模拟量混合驱动采集板。

3.2 系统接口

iRIOM 位于控制层与执行层之间:

对上: 与 ATP 主机进行高实时数据交互(安全输入/输出、状态); 与车辆网络 /TCMS/ 其他控制设备交换信息(非安全 / 低安全)。

对下: 连接传感器、执行器、继电器、编码器等 I/O 现场侧。

4 硬件架构设计

多安全等级 iRIOM 的主控板将基于 2 乘 2 取 2 冗余架构设计, 旨在提供极高的可靠性和功能安全。每个“2 取 2”系统(即一个主控板)内部将集成多核处理器, 并通过硬件和软件层面的隔离, 同时承载 SIL4 和 SIL2 级别的 I/O 驱采服务。

4.1 主控板硬件组成

每个主控板将包含以下主要硬件组件^{[5][6][7][8]}:

1) 多核安全处理器: 选择支持硬件虚拟化辅助功能的处理器, 具备内存保护单元(MPU)和内存管理单元(MMU), 以及可能支持缓存分区和内存带宽管理功能。处理器应具备高可靠性和容错能力, 并符合相关功能安全标准。

2) 安全 I/O 接口:包括数字输入/输出、模拟输入/输出等接口,用于连接 ATP、ATO、TCMS、牵引、制动等系统的传感器和执行器。这些接口应具备电气隔离、故障检测和故障安全输出等特性。

3) 高速通信接口:如千兆以太网接口,用于与外部控制系统(如车载 ATP 主机、ATO 控制器)进行安全通信,并支持冗余通信。

4) 安全存储:采用冗余存储或 ECC 内存,用于存储安全关键代码、配置数据和日志信息,确保数据完整性和可靠性。

5) 电源管理单元:提供稳定的电源供应,并具备电源监控、欠压/过压保护、故障检测等功能。

6) 硬件看门狗:独立的硬件看门狗电路,用于监控处理器和软件的运行状态,防止系统死锁或异常。

7) 时钟同步单元:支持 PTP 等高精度时间同步协议,确保系统内部和外部设备的时间一致性。

在 2 乘 2 取 2 架构中,两个主控板(每个主控板内部为 2 取 2 结构)将并行工作,实现硬件层面的冗余。每个主控板内部的“2 取 2”结构通常由两个独立的 CPU 或处理通道组成,它们执行相同的逻辑并进行交叉比较。当两个主控板都正常工作时,它们会相互验证结果,只有当结果一致时才对外输出。当其中一个主控板发生故障时,另一个主控板可以继续提供服务,从而保证系统的持续运行和高可用性。

4.2 硬件隔离措施

iRIOM 采取以下隔离措施^[9]:

电源域隔离: SIL4 关键电源路径可单独滤波与监测;

背板与信号隔离: SIL4 关键链路不与 SIL2 共享非必要背板通道;

I/O 物理隔离: Vital I/O 与 Non-vital I/O 使用不同板卡或不同隔离区;

调试/维护口隔离: SIL4 调试口严控,避免被 SIL2 运维口侧向影响。

为解决“ATP 与驱采之间内部实时总线极高实时性”要求,融合 iRIOM 需提供:

专用 ATP Interface: SIL4 域到 ATP 的接口使用专用通道(点到点),避免与车辆网络共享;

确定性传输机制:硬件支持 DMA、优先级中断、固定周期触发;

资源不可抢占: SIL4 数据路径不受 SIL2 总线占用影响(仲裁优先级、独立链路或隔离带宽)。

4.3 网络隔离措施

本研究采用交换机转发架构,通过专用 VLAN 对安全数据流进行逻辑隔离,并在交换机上配置优先级队列,保证毫秒级的确定性传输能力。网络规划遵循以下原则^[10]:

安全业务 VLAN 独立: iRIOM 安全以太网口与 ATP 安全以太网口加入专用 VLAN;

优先级队列保障:安全 VLAN 报文设置最高优先级,交换机按严格优先级或至少保证带宽进行转发;

非安全业务限流:对其他 VLAN 的报文进行限速或整形,避免抢占缓存与转发资源;

端到端黑通道^[11]:将交换机与以太网链路视为黑通道,安全由端系统实现的安全层保证。

5 软件架构设计

5.1 软件总体结构

iRIOM 按照以下结构进行分层设计,如图 2 所示:

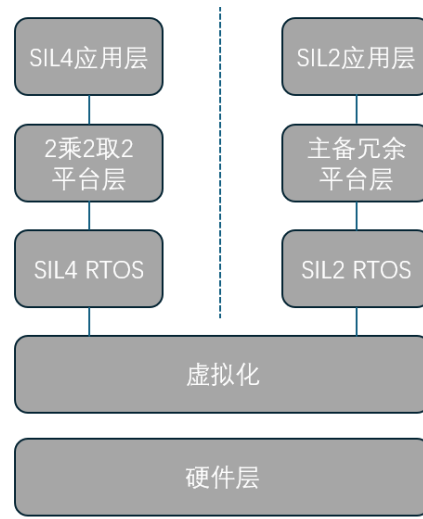


图 2 软件架构图

5.2 虚拟化层

虚拟化层作为软件架构的核心直接运行在多核安全处理器上^[12],负责以下关键功能:

1) 资源虚拟化与管理:将物理 CPU 核心、内存、I/O 设备等资源抽象为虚拟资源,并根据预设策略分配给不同的虚拟机。

2) 严格的时间与空间隔离:确保不同虚拟机之间在 CPU 时间、内存空间和 I/O 访问上的严格隔离,防止故障或恶意行为从一个虚拟机扩散到另一个虚拟机。

3) 虚拟机调度:采用确定性调度算法^[8],确保 SIL4 级虚拟机能够获得足够的 CPU 时间,并保证其任务的实时性。

4) 中断管理:管理所有硬件中断,并将其安全、高效地路由到相应的虚拟机。

5) 故障隔离与处理:监控虚拟机的运行状态,当检测到虚拟机内部故障时,能够将其隔离,防止影响其他虚拟机或整个系统。安全通信通道:提供受控的虚拟机间通信机制,如共享内存或消息队列,确保不同安全等级功能之间的数据交换安全可靠。

5.3 操作系统层

在虚拟化层之上,将运行不同类型的实时操作系统(RTOS),以满足不同安全等级应用的需求:

1) SIL4 RTOS: 专用于承载 SIL4 级应用 (如 ATP/IO 驱采服务)。该 RTOS 必须是经过功能安全认证的, 具备高确定性、高可靠性、小内存占用和严格的实时性。它将运行在虚拟化层分配的专用硬实时核心上, 并独占分配的内存和 I/O 资源。

2) SIL2 RTOS: 用于承载 SIL2 级应用 (如 ATO、TCMS、牵引、制动 IO 驱采服务)。该 RTOS 可以是更通用的实时操作系统, 如 Linux(经过实时补丁优化)、FreeRTOS 等。它将运行在虚拟化层分配的软实时核心上, 并共享部分资源, 但仍需确保其任务的实时性。通过虚拟化层的隔离, SIL2 RTOS 的故障不会影响 SIL4 RTOS 的运行。

5.4 软件隔离措施

除了虚拟化层提供的硬件隔离, 软件层面还将通过以下机制增强隔离和安全性:

1) 内存保护: 操作系统和应用程序将利用处理器的 MPU/MMU 功能, 对各自的代码和数据段进行内存保护, 防止越界访问。

2) 任务调度隔离: SIL4 RTOS 和 SIL2 RTOS 将分别管理各自的调度, 虚拟化层确保不同 RTOS 之间 CPU 时间的隔离。

3) 故障安全编程^[5]: 所有安全关键代码将遵循故障安全编程原则, 包括防御性编程、错误检测与处理、余计算等。

4) 安全通信协议栈: 在应用程序和操作系统之间, 以及虚拟机之间, 将实现安全通信协议栈, 确保数据传输的完整性、可靠性和时效性。

5) 软件看门狗: 在每个虚拟机内部, 都将运行软件看门狗, 监控应用程序和 RTOS 的运行状态, 并在检测到异常时触发相应的故障处理机制。

6 安全机制设计

6.1 安全对比机制

为确保 iRIOM 不成为薄弱环节, iRIOM 安全域采用如下策略:

1) iRIOM 上行同一份安全输入帧同时送达 ATP 通道 A 与 ATP 通道 B (同 VLAN 高优先级);

2) ATP 通道 A 与通道 B 分别生成安全输出指令帧 (下行);

3) iRIOM 同时接收两份下行输出指令并执行一致性检查:

- 指令内容一致
- 序号一致
- 周期计数一致
- 超时窗口一致

4) 只有一致才更新 DO AO 输出; 不一致或超时则进入安全状态并上报 ATP。

6.2 故障检测与恢复机制

故障检测与恢复流程如图 3 所示。

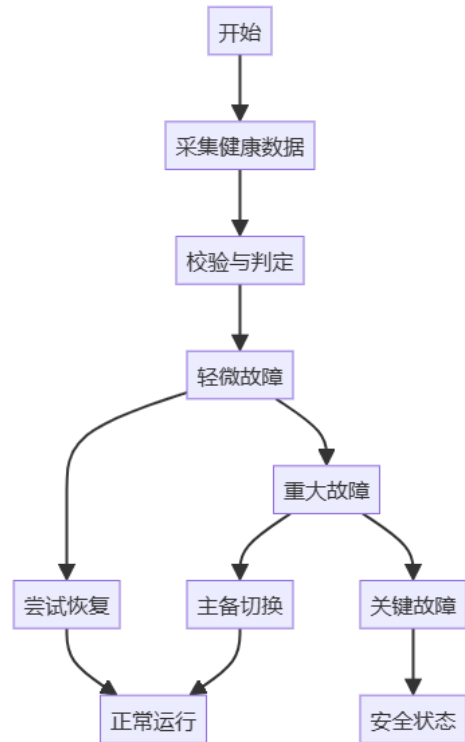


图 3 故障检测与恢复流程图

故障检测覆盖范围包括:

- 周期心跳与看门狗;
- 自检 (上电 / 周期);
- 输入范围与 CRC 校验;
- 任务执行超时监控;
- 双通道一致性监测。

故障恢复采用分层策略^[6], 措施如下:

- 轻微故障 (Minor): 任务重启、模块复位、重新同步;
- 重大故障 (Major): 主备切换、降级运行;
- 关键故障 (Critical): 进入安全状态 (阻断输出、通知 ATP)。

6.3 iRIOM 与 ATP 安全通信时序

iRIOM 与 ATP 通信时序如图 4 所示:

该时序强调: ATP 请求→双通道采样→比对→返回有效 / 故障。

7 验证与确认方案

7.1 实时性验证

建议采用“预算 + 实测闭环”:

静态预算: 按关键路径拆解;

动态测量: 用硬件时间戳、逻辑分析仪或内部 trace 记录周期与抖动;

压力测试¹: 将 SIL2 网络负载拉满, 验证 SIL4 关键路径不劣化; 可以采用如表 2 的用例验证各种情况的实时性满足故障注入: 模拟丢帧、延迟、CPU 过载, 验证保护机制生效。要求。

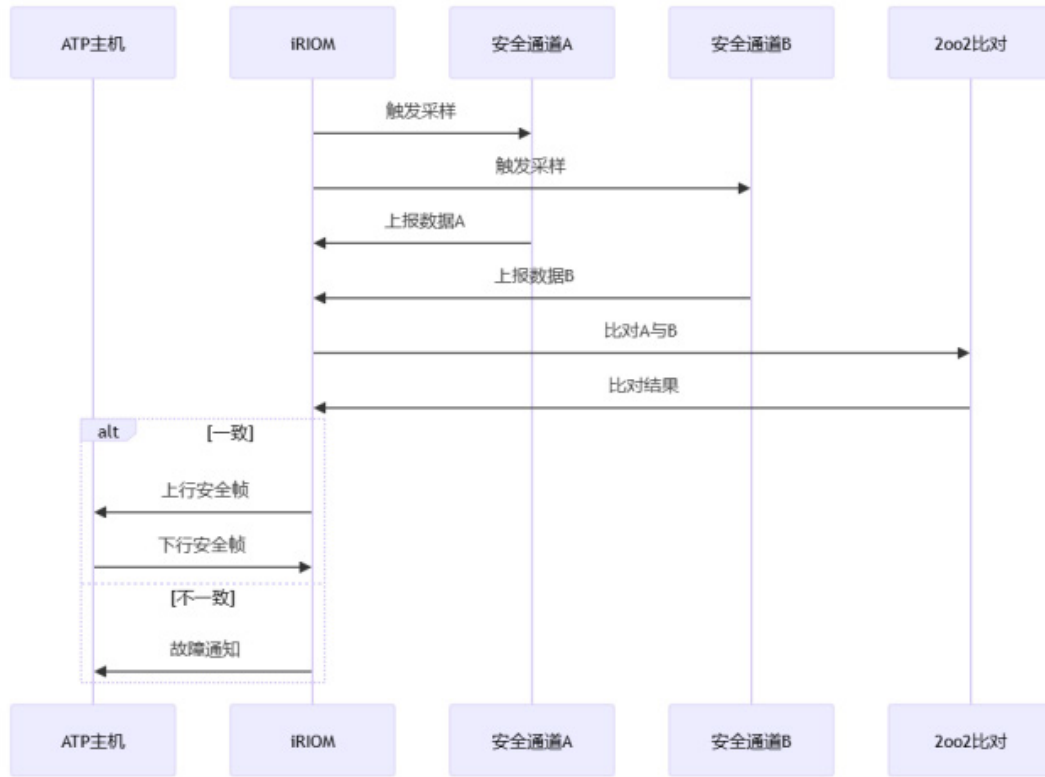


图 4 iRIOM 与 ATP 通信时序图

表 2 实时性验证表

测试用例	SIL4 周期抖动	iRIOM 到 ATP 延迟	ATP 到 iRIOM 延迟	判定
标称	记录	记录	记录	不超预算
非安全满载	记录	记录	记录	安全不退化
大帧阻塞	记录	记录	记录	阻塞不超上界
拥塞注入	记录	记录	记录	超时触发安全
丢包注入	记录	记录	记录	序号机制生效
乱序注入	记录	记录	记录	周期计数生效
延迟注入	记录	记录	记录	超时进入安全
切换测试	记录	记录	记录	切换满足门槛

7.2 容错与冗余验证

为了检验系统的容错能力^[8], 建议从以下几方面进行验证:

- 电源切换测试 (Power A/B 断电切换);
- 主备处理切换测试 (Failover latency);
- I/O 通道异常与 2oo2 不一致触发测试;
- 安全状态触发后的输出阻断与 ATP 通知验证^[9]。

8 结语

本文针对轨道交通车载电子电气系统多安全等级 I/O 融合的工程挑战, 提出了一种多安全等级智能 iRIOM 的总体

设计方案。该方案旨在打破传统“网络控制驱采”与“信号安全驱采”分立部署的模式, 在同一平台内融合 SIL2 网络控制驱采与 SIL4 信号安全驱采能力, 从而显著降低设备数量、线缆规模、维护复杂度和生命周期成本。

参考文献

- [1] 孙传亮. 青岛地铁一期工程拟采用的行车组织运营方式介绍[C]/降低地铁造价及工程建设管理等若干问题的研究论文集. 北京, 2003: 368-377.
- [2] 魏涛,曹志刚,孙建.基于时间敏感网络的城市轨道交通列车多系统融合控制研究[J].城市轨道交通研究, 2025, 28(11): 1-5.
- [3] 梁鸿煜,周小路,苏科.铁路控制和防护系统的工具安全性研究与

- 应用[J].铁道通信信号,2025,61(1):10-15.
- [4] 杨震宇,罗峰,王子通.基于服务的多域电子电气架构安全访问控制[J].汽车工程,2023,45(1):15-23.
- [5] 李亮,袁红,郭海荣.基于安全平台裁决的ATO系统冗余设计与实现[J].铁路计算机应用,2020,29(1):1-5.
- [6] 许涛,孙晓军,贾利民.轨道交通信号系统中冗余技术研究[J].铁道通信信号,2015,51(10):1-5.
- [7] 汪小勇,孙志强,许涛.城市轨道交通信号系统冗余技术分析[J].铁道通信信号,2012,48(1):1-5.
- [8] 袁帅,郭海荣,李亮.基于多核异构操作系统的动态冗余可靠机制研究[J].铁路计算机应用,2023,32(5):1-5.
- [9] 李夏,曹志刚,孙建.铁路信号领域安全计算机的应用及发展[J].铁路计算机应用,2019,28(11):1-5.
- [10] 徐东超,尹光辉,李宗亮.基于实时以太网的城轨列车多网融合系统研究[J].智慧轨道交通,2022,3(3):58-62.
- [11] 孙建,曹志刚,魏涛.城市轨道交通信号系统车地无线冗余方案探索[J].铁道通信信号,2016,52(1):1-5.
- [12] 严刚,肖堃,褚文博.智能网联汽车计算平台虚拟化技术研究北京[J].汽车工程,2020,42(1):33-37.

Research on Optimization of Highway Construction Organization and Coordinated Control of Project Schedule

Jiayin Tan

Chongqing Beixin Rongjian Construction Engineering Co., Ltd., Chongqing 400000

Abstract

Highway engineering projects are characterized by long construction periods, complex processes, and intensive resource inputs. The level of coordination between construction organization and project schedule directly affects construction performance and investment control outcomes. Focusing on practical issues in highway construction, such as inappropriate organizational configuration, insufficient process continuity, and delayed responses in schedule control, this paper systematically analyzes the internal logical relationship between construction organization optimization and coordinated schedule control. From the perspectives of organizational structure, resource allocation, construction processes, and dynamic management, the study explores the supporting mechanisms through which construction organization optimization facilitates the achievement of schedule objectives, as well as the reverse constraints imposed by schedule control on organizational adjustment. The research provides theoretical support and practical references for improving overall construction efficiency, shortening construction periods, and reducing schedule risks in highway engineering projects.

Keywords

Highway engineering; Construction organization optimization; Project schedule control; Coordinated management; Construction management mode

高速公路施工组织优化与工程进度协同控制研究

谭嘉银

重庆北新融建建设工程有限公司, 中国·重庆 400000

摘要

高速公路工程建设周期长、工序复杂、资源投入密集,施工组织与工程进度之间的协同水平直接关系到项目建设成效与投资控制效果。本文围绕高速公路施工实践中组织配置不合理、工序衔接不顺畅、进度控制响应滞后等问题,系统分析施工组织优化与工程进度协同控制的内在逻辑关系,从组织结构、资源配置、施工流程及动态管控等维度入手,探讨施工组织优化对进度目标实现的支撑机制,以及进度控制对施工组织调整的反向约束作用,为提升高速公路工程整体施工效率、缩短建设周期、降低进度风险提供理论支撑与实践参考。

关键词

高速公路工程; 施工组织优化; 工程进度控制; 协同管理; 施工管理模式

1 引言

在高速公路建设规模持续扩大、技术标准不断提高的背景下,工程建设对施工组织管理和进度控制提出了更高要求。传统施工管理中,施工组织设计与进度控制往往分散实施,组织安排侧重施工便利性,进度管理偏重节点考核,二者缺乏系统协同,容易在施工过程中形成资源浪费、工序冲突与进度失衡等问题。尤其是在多标段并行施工、复杂地质条件和工期约束并存的情况下,施工组织不合理将直接放大进度风险,影响工程整体推进效果。如何在满足质量与安全

全要求的前提下,通过优化施工组织实现工程进度的稳定可控,已成为高速公路建设管理中的关键议题,对施工组织优化与工程进度控制之间的作用机理与实现路径进行系统研究,以提升高速公路工程施工管理的整体水平。

2 高速公路施工组织体系的结构特征

高速公路工程施工组织是以工程目标为导向、以施工流程为主线构建的综合管理系统,涵盖组织架构设置、施工单元划分、工序衔接关系以及管理层级运行方式等内容。从整体上看,该体系以项目管理机构为核心,通过纵向管理层级与横向专业分工形成稳定运行结构,确保设计、施工、监理及各类专业队伍在统一管理框架下协同运作。施工组织体系内部通常按照路基、路面、桥梁、隧道及附属工程等专业

【作者简介】谭嘉银(1991—),男,中国四川眉山人,本科,工程师,国家一级建造师,从事市政、公路工程研究。

模块进行配置，不同模块在施工顺序、资源需求和作业节奏方面存在显著差异，需要通过组织设计进行协调匹配。与此同时，施工组织体系还承担着施工计划执行、资源调配、信息传递和现场协调等多重功能，其运行状态直接影响施工现场的秩序性和施工活动的连续性。科学合理的施工组织体系能够在复杂工程条件下保持管理结构清晰、职责边界明确，为工程进度控制和施工效率提升奠定基础^[1]。

3 高速公路施工组织优化的关键影响因素

3.1 工程规模与线路条件对施工组织配置的制约

高速公路工程规模和线路条件是决定施工组织配置方式的重要基础因素。以双向六车道高速公路为例，路线长度超过 80 km、桥隧比达到 35% 时，施工组织往往需要设置多个平行作业区段，以保证工期目标可控。在实际工程中，单标段控制长度通常控制在 6 km—10 km 之间，当线路穿越山区且纵坡大于 3.5%、隧道单洞长度超过 1 000 m 时，施工组织需要额外配置专门的隧道施工单元和独立管理班组。工程规模扩大还会显著增加资源投入总量，例如年均完成土石方工程量达到 500 万 m³ 以上时，现场同时投入的大型施工机械数量往往超过 120 台。线路平纵线形复杂程度直接影响施工便道布设、材料运输距离和作业面展开方式，若线路沿线可利用施工场地不足，将对施工组织集中度和作业顺序安排形成明显约束，从而对组织优化提出更高要求^[2]。

3.2 资源配置方式对施工组织效率的影响

资源配置方式是影响施工组织运行效率的核心因素之一。在高速公路工程中，人力、材料和机械设备投入具有明

显阶段性特征，资源配置合理程度直接决定施工组织能否高效运转。以路基施工阶段为例，当单日土方填筑量达到 30 000 m³ 时，现场需配置挖掘机不少于 18 台、自卸车辆不少于 90 辆，机械配置不足将导致作业面闲置率上升至 20% 以上^[3]。材料供应节奏同样影响组织效率，水泥、沥青等关键材料若供应延误 1 天，往往会引发后续工序整体顺延 2—3 天。人员配置方面，技术人员与作业人员比例通常控制在 1 : 8—1 : 10 区间，比例失衡会削弱现场管理与技术控制能力。通过对资源投入数量、结构和时间节点进行优化配置，可显著降低等待时间和重复作业概率，提高施工组织整体运行效率，使工程进度保持稳定状态。

3.3 施工环境与外部条件对组织优化的约束作用

施工环境与外部条件对施工组织优化具有长期而复杂的约束影响。在气候条件方面，年平均降雨量超过 800 mm 的地区，雨季施工天数往往占全年有效施工时间的 25% 以上，施工组织需要预留充足的工序调整空间，以应对连续降雨带来的停工风险。地质条件同样构成重要制约因素，当软弱土层厚度超过 6 m、地下水位高于地表 2 m 以内时，路基处理工序将显著延长，单公里施工周期可能增加 15—20 天。外部条件中，征地拆迁和地方协调进度对施工组织影响尤为突出，若沿线征迁完成率低于 90%，施工组织难以按计划展开，作业面分散度明显提高。此外，交通组织、环保要求和安全监管强度也会对施工组织方式形成约束，需要在组织优化过程中统筹考虑多重外部条件，以确保施工组织调整具备现实可行性，详细内容见表 1。

表 1 高速公路施工组织优化关键影响因素数据分析表

影响因素类别	典型工程参数	对施工组织的主要影响	对工程进度的量化影响
工程规模与线路条件	路线长度 80 km；桥隧比 35%；单洞隧道长度 > 1 000 m	施工区段划分增多，专业施工单元独立设置，组织层级与协调难度显著提升	单标段施工周期增加 12%—18%，关键线路工序持续时间延长 15—20 天
资源配置方式	日均土方 30 000 m ³ ；挖掘机 18 台；运输车辆 90 辆	资源投入与作业面展开高度相关，配置不足易形成等待与窝工	机械不足时作业效率下降 20% 以上，整体进度滞后 2—3 天
施工环境与外部条件	年降雨量 800 mm；雨季施工占 25%；征迁完成率 < 90%	作业面不连续，施工顺序频繁调整，组织稳定性下降	雨季影响有效工期减少约 20%，单公里施工周期增加 15—20 天

4 高速公路工程进度控制的核心环节与控制要点

4.1 施工计划编制与进度目标分解机制

高速公路工程进度控制以施工计划编制为基础，其科学性直接决定进度管理的可执行程度。施工计划编制需要在充分分析合同工期、工程规模、技术条件和资源能力的基础上，将总体工期目标转化为可操作的阶段性任务安排。通过对路基、桥梁、隧道、路面及附属工程等专业工程进行系统梳理，明确各分项工程的施工顺序和持续时间，使进度目标形成清晰的时间结构。进度目标分解过程中，需要将总工期逐级分解至年度、季度和月度计划层面，并落实到具体施工单元和作业面，确保每一阶段目标具备明确责任主体和实施

条件。进度计划在编制阶段还应充分考虑施工环境变化和资源供给能力，预留合理弹性空间，使计划具备动态调整基础。通过科学的目标分解机制，进度控制由宏观管理转化为过程管控，有效提升施工计划对现场施工活动的指导作用。

4.2 关键工序衔接对整体进度的控制作用

高速公路工程施工过程由多道工序连续构成，关键工序的衔接状态对整体进度具有决定性影响。路基成型、结构物施工和路面铺筑等关键工序之间存在明显的时间依赖关系，任何环节出现衔接不畅，都会对后续工序形成连锁影响。进度控制中，需要通过施工组织安排保证关键工序在时间和空间上的连续展开，使作业面转换平稳有序。关键工序衔接不仅体现在施工顺序安排上，还体现在资源配置和技术准备

的同步程度上,若人员、设备或材料未能及时跟进,将导致工序间出现停滞。通过强化关键工序的衔接管理,可有效降低等待时间和重复作业概率,使进度曲线保持稳定状态。进度控制实践表明,对关键工序实施重点管控,有助于提升整体施工节奏的可控性,是保障高速公路工程按期推进的重要手段。

4.3 施工过程动态调整对进度偏差的修正功能

高速公路工程施工周期较长,外部条件和内部因素变化频繁,进度偏差在施工过程中具有客观存在性。施工过程动态调整机制通过对实际进度与计划进度的持续对比分析,及时识别偏差来源,并采取针对性调整措施,发挥进度修正功能。动态调整并非简单压缩工期,而是通过调整作业顺序、优化资源投入节奏和改变施工组织方式,使进度逐步回归计划轨道。在实施动态调整过程中,需要保持管理信息传递的及时性,使现场问题能够迅速反馈至管理层,形成有效决策支持。通过动态调整机制,进度控制由静态计划管理转变为动态运行管理,增强了进度控制体系对不确定因素的适应能力,有助于降低进度风险对工程整体目标的冲击^[4]。

5 高速公路施工组织优化与工程进度协同控制机制

5.1 施工组织优化对进度计划实施的支撑作用

施工组织优化是进度计划顺利实施的重要前提条件。通过对施工组织结构、作业单元划分和管理流程的优化,可使进度计划在现场层面具备良好的执行基础。合理的施工组织安排能够使施工资源按照进度计划要求有序投入,避免资源配置与进度节点脱节。施工组织优化还体现在对作业面展开方式的调整上,通过减少无效转换和交叉干扰,提高施工连续性,使进度计划得以稳定实施。在管理层面,优化后的施工组织有助于明确职责边界和沟通路径,提升进度指令传递效率。实践表明,施工组织优化程度越高,进度计划执行偏差越小,二者之间呈现出明显的正向支撑关系。

5.2 进度控制需求对施工组织调整的反向约束

进度控制目标在实施过程中会不断对施工组织运行提出新的要求,形成对施工组织调整的反向约束。当实际进度与计划目标出现偏离时,进度控制需求将促使施工组织对资源配置、作业顺序和管理方式进行相应调整。这种约束作用使施工组织不再保持固定模式,而是根据进度控制反馈进行动态优化。进度控制需求还通过关键节点考核和阶段目标约

束,引导施工组织强化对关键工序和薄弱环节的管理力度。在这种反向约束机制下,施工组织调整具备明确方向性,避免盲目变动对现场秩序造成干扰。通过进度控制需求的持续作用,施工组织逐步形成与进度目标相适应的运行状态。

5.3 施工组织与进度控制协同运行的实现路径

施工组织与进度控制协同运行需要在管理理念、制度设计和实施方式上形成系统衔接。协同运行路径强调以进度目标为导向,将施工组织优化嵌入进度控制全过程,使二者在计划制定、执行和调整阶段保持高度一致。在实际运行中,通过建立以进度信息为核心的协调机制,使施工组织调整能够及时响应进度变化,避免组织决策滞后。协同运行还要求在现场管理层面强化跨专业协调能力,使施工组织安排与进度控制要求同步落实。通过构建协同运行机制,施工组织和进度控制不再作为相对独立的管理模块存在,而是形成相互支撑、相互约束的整体运行体系,从而提升高速公路工程施工管理的综合效能^[5]。

6 结语

高速公路工程建设具有系统性强、影响因素多、进度约束严等特点,施工组织与工程进度之间的协同关系贯穿项目建设全过程。通过对施工组织体系特征、进度控制关键环节以及协同运行机制的系统分析,可以看出,科学的施工组织优化是实现进度目标的重要基础,而有效的进度控制又为施工组织动态调整提供了明确导向。二者在相互支撑与约束中形成良性互动,有助于提升施工管理的整体协调性和执行力。强化施工组织优化与工程进度协同控制,对于提高高速公路工程建设效率、降低进度风险、保障工程建设目标顺利实现具有现实意义。

参考文献

- [1] 张亚军,史明志.高速公路施工组织方案动态优化决策系统探究[J].中国交通信息化,2024,(S2):44-46+54.
- [2] 卢旭,茂湛高速公路改扩建施工及交通组织优化研究[J].广东交通职业技术学院学报,2023,22(04):4-6+57.
- [3] 王飞,杜侃,王琪,童戴舟.高速公路集约化养护施工交通组织优化设计研究[A].中国公路学会养护与管理分会第十二届学术年会论文集[C].中国公路学会养护与管理分会:2022:692-698.
- [4] 刘东旭.高速公路不断交施工区交通流特性与交通组织优化[D].导师:崔洪军.河北工业大学,2022.
- [5] 宋鹏宇.高速公路改扩建交通组织优化[D].导师:徐婷.长安大学,2017.

Exploring safety issues and countermeasures of vehicles in oilfield transportation management

Wentong Liu

PetroChina Kunlun Logistics Co., Ltd. Huabei Oilfield Transportation Branch, Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract

Vehicle transportation is a core support link in oilfield production operations, and safety management has a direct impact on personnel safety, property security, oilfield production continuity, and corporate economic benefits. Currently, issues such as weak vehicle condition control, low personnel proficiency, poor road condition adaptability, and imperfect supervision mechanisms have emerged in the safety management of oilfield transportation vehicles, highlighting potential safety risks. This article, based on the actual situation of oilfield transportation management, systematically analyzes the core significance of vehicle safety management, deeply explores the root causes of various safety issues, and provides targeted safety management measures throughout the entire process. Research shows that a scientifically sound safety management system can effectively mitigate transportation safety risks, ensure the orderly conduct of oilfield transportation operations, and provide practical support for the high-quality and safe development of oilfield enterprises. It holds significant theoretical and practical importance.

Keywords

Oilfield transportation management; Vehicle safety; Security risks; Management strategies; Personnel literacy; Vehicle condition control

探究油田运输管理中车辆的安全问题与对策

刘文通

中国石油昆仑物流有限公司华北油田运输分公司, 中国·河北 廊坊 065000

摘要

车辆运输是油田生产作业的核心支持环节, 安全管理对人员生命财产安全、油田生产连续性及企业经济效益有直接影响。目前油田运输车辆安全管理出现车况管控薄弱、人员素养不高、路况适配性差、监管机制不完善这类问题, 安全风险隐患凸显。本文结合油田运输管理实情, 系统剖析车辆安全管理的核心意义, 深度探究各类安全问题的根源, 给出全流程、针对性强的安全管理办法。研究表明, 科学完善的安全管理体系可有效化解运输安全风险, 保障油田运输作业有序开展, 为油田企业高质量、安全化发展提供实践支撑, 具有重要的理论与实践意义。

关键词

油田运输管理; 车辆安全; 安全风险; 管理对策; 人员素养; 车况管控

1 引言

油田运输作业覆盖区域大, 涉及原油运输、物资配送、人员通勤等多种使命, 作业环境多为边远矿区、蜿蜒山路, 路况复杂且糟糕, 车辆运输安全风险甚高。由油田安全管理统计数据可知, 运输环节安全事故在油田生产安全事故总数里占比达45%以上, 为油田安全管理的重点及难点环节。《石油天然气安全生产专项整治三年行动方案》明确要求做好油田运输车辆安全管控事宜, 增强运输安全保障力。现今多数油田运输车辆安全管理仍有粗放情形, 难以契合复杂作业环境的安全保障需求。本文着重研究油田运输管理里车辆的安

全问题与应对策略, 剖析问题缘由、探寻改进途径, 给油田企业提高车辆运输安全管理水平给予理论引导与实践借鉴。

2 油田运输管理中车辆安全管理的核心价值

从油田生产到运营的整个流程里, 车辆运输安全管理具备无法替代的核心意义, 维系油田生产稳定、人员安全与效益上扬的关键支撑。保障人员生命平安, 夯实安全防线。油田运输以重型车辆为主, 而且时常运输原油、化学品等危险品, 一旦出现安全事故, 极易造成人员伤亡情况。

保证生产不断进行, 提高运营成效^[1]。车辆运输是油田各生产环节的“连接者”, 原油外销、设备物资补充等皆依赖运输保障。安全且高效的车辆运输可保障生产物资按时达、原油顺畅运, 避免运输安全问题引发生产中断, 增进整体运营效率。减少经济亏损, 增进经济收益。运输安全事故

【作者简介】刘文通(1997—), 男, 中国河北衡水人, 本科, 助理工程师, 从事运输安全研究。

能引发车辆损毁、货物丢失，还或引发环境污染、停产整顿等系列损失。一次重大油田运输安全事故所造成的直接经济损失可达数百万元，间接损失极难进行估量。科学实施安全管理能有效避免这类损失，提升企业经济成效。守护企业形象，担当社会责任。油田企业身为大型国有企业，提升车辆运输安全管理水平，是践行安全生产责任、护卫生态环境、维护社会稳定的显著体现，能助力企业树立良好社会形象。

3 油田运输管理中车辆存在的核心安全问题及成因

3.1 车辆车况管控薄弱，安全性能不足

一是车辆老化情形突出，部分油田运输车辆服役时间偏长，发动机、制动系统、转向系统等关键部件磨损甚重，安全性能急剧下降，却未按时完成更新；部分车辆长期高负荷运转，维修保养缺时效，发生“带病运转”情形。二是车辆改装不合规，部分油田运输车辆为契合特殊运输需求进行改装，然而改装期间未严格依循安全准则，若油罐车防渗、防爆装置改装未达合格水平，增添了运输危险物品的安全风险。三是车辆安全设施缺失或出现失效现象，部分车辆未依规配备灭火器、应急锤、警示标志等安全设备，或配置的设施老化且失去功效，不能在紧急情况里起作用。

3.2 驾驶人员素养不足，安全意识淡薄

一是专业技能不合格，一些驾驶人员未接受系统的油田运输专业培训，对油田特殊路况驾驶技巧、危险物品运输规范等的掌握欠佳，应对复杂路况及突发情况的处置能力弱^[2]。二是安全观念薄弱，部分驾驶人员出现超速行驶、疲劳驾驶、违规超车、不按规定佩戴安全防护用品等违规情形，在危险物品运输期间，对安全操作流程重视不够，存有违规装卸、随意停放等情形。三是职业素养水平不一，部分驾驶人员责任意识淡薄，运输前对车辆未作全面检查，运输之时未认真关注车辆运行状态及货物情况。

3.3 作业路况复杂恶劣，环境适配性差

一是路况状况糟糕，油田矿区的道路大多系临时修成的土路或砂石路，路面高低不平、坡度很大、弯道繁杂，而且交通标志标线不够完善；雨季时部分道路易发生泥泞、塌陷现象，冬季结冰易造成打滑，极大提升了车辆行驶难度。二是自然环境条件繁杂，偏远地方多有油田存在，常经受大风、暴雨、暴雪、高温、严寒等极端天气，影响车辆行驶的视线与制动的性能；部分地区存在风沙、大雾等天气，使安全风险进一步增大。三是作业区域环境情形特殊，油田作业区管线纵横、设备繁杂，车辆行驶空间被局限，易与管线、设备产生碰撞；部分运输路径途经居民区、农田等场所，行人数量多，非机动车也多，交通状况繁杂。

3.4 安全监管机制不完善，管控效能不足

一是监管责任不明确化，未能搭建“企业-运输中队-单车”分级监管体系，各层监管职责模糊，安全问题出现后

易互相推诿。二是监管措施粗糙，许多油田依旧依靠人工巡检、纸质记录等传统监管模式，监管范围狭小、效率不高，难以对运输全程开展实时监控；对驾驶人员违规行为的发现与处理延后。三是应急管理体制有漏洞，没有针对油田运输车辆可能出现的交通事故、危险物品泄漏等突发状况制定完善的应急处置预案。四是安全考核激励机制存缺陷，考核指标单一化，常把事故发生率当作核心指标，未把驾驶人员安全行为、车辆维护保养等纳入到考核中；激励与约束失调，安全奖励力度欠缺，处罚手段刚性不足，难以让考核发挥导向作用。

4 油田运输管理中车辆安全问题的核心解决对策

4.1 强化车辆全生命周期管控，提升车况安全性能

一是完备车辆更新维护制度，健全车辆管理台账体系，对车辆使用年限、行驶里程以及保养维修记录等展开全面追踪，增加资金投放，及时弃用老化、性能不达标汽车，替换为安全性更佳的车辆；编制常态化保养维修方案，定期对车辆发动机、制动系统、转向系统等关键机件予以检查维修，保障车辆维持良好运行状况^[3]。二是规范车辆改装及安全设施配置，车辆改装须严格遵守国家相关标准以及油田安全要求，改装结束经专业检测合格才可投入使用，按照规定为车辆配备完整有效的灭火器、应急锤、警示标志、卫星定位装置等安全设施，而且定期检查修护，保障设施完好能用。三是构建车辆安全技术检测体系，定期实施运输车辆安全技术检测工作，主要检查车辆的制动性能、转向性能、灯光信号以及安全设施等，检测不合格的车辆严禁上路通行。

4.2 加强驾驶人员队伍建设，提升安全驾驶素养

一是强化人员招聘及准入管理，制定清楚的驾驶人员招聘标准，优先选用具备充足驾驶经验、持有相应从业资格证书、无重大交通事故经历的人员；入职前实施全面背景调查及岗前培训事宜，培训内容涉及油田运输安全规范、特殊路况驾驶技能、危险物品运输管理、应急处置流程等，考核合格后才可上岗。二是实施常态化安全培训与教育工作，构建分层别类培训体系，定期安排驾驶人员参与安全知识讲座、案例分析会、技能实操培训等活动，运用事故案例进行警示教育，提升驾驶人员的安全意识及责任意识。三是完善激励约束体系，把驾驶人员安全驾驶行为、车辆维护保养情况、应急处置表现等归到考核体系中，考核成效跟薪酬、评优评先、岗位晋升直接相连。

4.3 优化作业路况与环境适配，降低外部安全风险

一是推动矿区道路提档升级，增加对油田矿区道路的资金投放，改造崎岖不平、坡度大、弯道急的道路，增强道路平整度以及通行能力；优化道路交通标志标线，增添警示灯、减速带、防护栏这些安全设施；构建道路养护长期机制，按时对道路开展巡查与养护，快速修补破损路面，清理路面

的积水、积雪以及杂物等。二是加强应对极端天气与特殊环境,设立气象预警与应急响应体系,及时掌握天气资讯,极端天气来临前预先发出警报,暂停高风险运输活动;为运输车辆装备适应极端天气的装备品,诸如防滑链、防雾灯、应急通讯设备等;针对风沙、大雾这类特殊情形,改良运输路线与行车时长,减少行车风险。三是规范作业区域车辆行驶治理,在油田作业区划分专用运输通道,确立明显标志,禁止非运输车辆占用;移除通道周边障碍物,让车辆行驶空间得以充足;给途经居民区、农田等区域的路线设置限速标志以及警示装置,调配人员疏导车流,防止行人车辆混杂同行。

4.4 完善安全监管与应急体系,提升管控与处置效能

一要建立分级分类监管制度,界定企业、运输中队、单车各层级的监管责任,构建“全员参与、全程管控”安全监管格局;构建运输车辆卫星定位监控平台,实时监测车辆行驶轨迹、速度及驾驶行为,及时察觉违规行为并发出预警,同时督促改正,增强对运输全流程的监管检查,着重检查车辆状况、驾驶人员资格、货物装载情形、安全设施配置等情况。二是强化应急管理机制,拟定完备的运输车辆安全事故应急处理预案,清晰界定应急组织机构、职责分工明细、处置流程环节、救援措施要点等;定期组织开展应急演练,演练涉及交通事故救援、危险物品泄漏处置、人员疏散等内容,提高驾驶人员及管理人员应急处置水平;配置充裕的应急救援物资,像救援车、灭火器、堵漏设备、急救药物等,并定期实施检查更新,保证应急救援的需求得到落实。三是强化多部门配合联动,加强跟交通、公安、应急管理等部门沟通协同,打造信息共享及联合执法机制;及时明了行业最新政策跟规范,促进油田运输车辆安全管理契合行业标准;重大安全事故出现之际,共同开展救援处理及事故调查事宜,增强应急响应速度。

5 油田运输管理中车辆安全管理的实施保障机制

让车辆安全问题解决对策有效落实,增进油田运输车辆安全管理水平,构建实施保障机制要从组织领导、制度建设、资源保障、文化建设四个维度入手。强化组织引领,明晰统筹责任。由企业分管领导牵头成立,运输管理部门、安全管理部门、财务部门、人力资源部门等协同组成的车辆安全管理专项工作组,界定各部门职责分工:运输管理部门承

担车辆管控以及运输组织任务;安全管理部门履行安全监管及应急处置职能;财务部门承担资金保障工作;人力资源部主管人员培训和考核。构建定期商讨机制,每月召开安全管理工作例会,研究处理安全管理过程问题,实现管理合力,健全制度架构,规范流程管理,编订《油田运输车辆安全管理办法》《驾驶人员安全考核细则》《车辆维护保养规范》《应急处置预案》等一批专项制度,清晰各环节操作规范及责任要求;构建制度执行监督体系,定期检验评估制度执行情况,及时找出并修正问题,保证制度有力推行;依据行业发展及企业实际,定期修正改进制度,提高制度的适配程度与科学性。

增强资源保障力度,筑牢安全根基。增添资金投入,保证车辆更新维护、道路升级改造、安全设施配备、人员培训、应急救援等工作资金到位,改进资源分配,优先落实高风险运输线路、重点运输任务的安全资源保障;增进与专业机构合作,采用先进的安全管理技术及设备,如智能监测系统、应急救援装备等,提升安全管理的智能水平度。增进安全文化创建,营造良好环境。利用企业内部宣传栏、公众号、微信群等平台,传播油田运输车辆安全知识及先进典型事迹;开展“安全驾驶月”“安全生产竞赛”等主题活动,提升全员参与安全管理的积极性;创立安全文化考核评核机制,把安全文化建设成果放进企业整体考核,推动安全理念扎根人心,营造“人人关注安全、事事关乎安全、时时想着安全、处处注重安全”的良好氛围。

6 结语

油田运输车辆安全管理需坚守“预防为主、综合治理”方针,实施多维度、全流程的系统举措,可切实化解安全隐患。必须进一步深化智能化技术和安全管理的融合应用,按照油田运输行业走向优化管理规划,促进车辆安全管理朝着精细化、智能化、规范化迈进,为油田企业高质量、安全化发展提供更稳固的后盾。

参考文献

- [1] 樊永杰.房屋建筑工程混凝土裂缝成因和控制对策解析[J].砖瓦世界,2025(4).
- [2] 张力明.房屋建筑工程混凝土裂缝成因和控制对策解析[J].居业,2025(3):58-60.
- [3] 徐兵.房屋建筑工程混凝土裂缝成因及控制对策探究[J].智能城市应用,2025,8(5):91-93.

Establishment of fuel consumption quota standards and construction of assessment system for oilfield transportation vehicles

Yu Han

PetroChina Kunlun Logistics Co., Ltd., Huabei Oilfield Transportation Branch, Xilinhaote, Inner Mongolia, 026000, China

Abstract

The core component of enterprise operating costs is the fuel consumption of oilfield transportation vehicles. Scientific fuel consumption quota standards and assessment systems are key factors in achieving energy conservation, reducing consumption, and improving quality and efficiency. Currently, the management of fuel consumption for oilfield transportation vehicles faces issues such as unscientific quota standards, imperfect assessment mechanisms, and insufficient data support, which limit the effectiveness of cost control. This paper systematically explores the core significance of establishing fuel consumption quotas and constructing an assessment system based on the characteristics of oilfield transportation scenarios. It explores quota setting methods based on actual measured data and dynamic adjustments, and constructs a graded and classified assessment system. Scientific quota standards combined with a comprehensive assessment system can effectively reduce fuel consumption costs, enhance the level of meticulous management, and provide practical support for the high-quality development of oilfield transportation enterprises. This has significant theoretical and practical implications.

Keywords

Oilfield transportation vehicles; Fuel consumption quota standards; Assessment system; Cost control; Dynamic correction; Graded assessment

油田运输车辆油耗定额标准制定与考核体系构建

韩宇

中国石油昆仑物流有限公司华北油田运输分公司, 中国·内蒙古 锡林浩特 026000

摘要

企业运营成本的核心构成是油田运输车辆油耗,科学的油耗定额标准及考核体系是达成节能降耗、提质增效的关键因素。目前油田运输车辆油耗管理面临定额标准不科学、考核机制不完善、数据支撑不足等问题,限制成本管控成果。本文参照油田运输场景特性,系统探究油耗定额制定及考核体系构建的核心意义,探究凭实测数据与动态修正的定额制定办法,构建分级分类考核制度。科学定额标准加上完善考核体系可有效削减油耗成本,提高管理细致水平,为油田运输企业高质量发展供应实践支撑,有着重要的理论及实践意义。

关键词

油田运输车辆; 油耗定额标准; 考核体系; 成本管控; 动态修正; 分级考核

1 引言

油气生产的关键配套在于油田运输,车辆作业涉及广、路况多样杂、任务重又多,运输生产变动成本的49%以上是油耗成本,是企业成本管控的核心要点。《“十四五”石油石化行业绿色低碳发展规划》明确规定强化重点领域节能降耗,促进运输环节精细化管控。现在很多油田运输企业油耗定额标准欠缺科学性,考核体系有着指标单一、权责模糊

这类问题,致使油耗浪费极大、管理效能不高。本文针对油田运输车辆油耗定额标准制定及考核体系构建展开探讨,梳理现存难题、摸索优化道路,向油田运输企业提供油耗管理水平提高、绿色低碳发展实现的理论指导及实践参考。

2 油田运输车辆油耗定额标准制定与考核体系构建的核心价值

伴随油田运输行业绿色低碳转型及成本管控升级,打造科学的油耗定额标准及考核体系具有多重核心价值,全程贯穿运输管理。精细管控成本,增进经济成效。凭科学定额明确油耗基准,依靠考核机制强化能耗限制,能切实降低燃

【作者简介】韩宇(1988—),男,中国重庆人,本科,助理工程师,从事物流运输研究。

油损耗,降低运营开支。实践所获数据显示,规范开展油耗定额管理及考核的油田运输企业,平均油耗下降超12%,一年节约燃油费用超数百万。推进节能降耗,落实绿色发展^[1]。定额标准及考核体系的刚性限制,能推动驾驶人员养成良好驾驶习惯,降低无效油耗量,降低碳排放,适配石油石化行业绿色低碳发展要求。改进资源分配,提高管理效率。按照定额标准可精确核算不同车型、不同任务的油耗量,为车辆调度与运力配置供应数据支持,防止资源错搭;完善考核体系可明确各级管理责任,增强管理执行力度。抵御廉洁风险,优化管理程序。依靠定额管控及考核监督,可切实遏制偷油漏油、虚报油耗等违规行径,消除管理漏洞,构建规范透明的管理氛围。

3 油田运输车辆油耗管理的现存问题

依照油田运输企业管理实际,当下油耗定额制定与考核工作出现诸多突出难题,着重在定额标准、数据支撑、考核机制、技术应用这四个维度上。定额标准不科学,适配性欠佳。一些企业直接采用国家标准或通用运输定额,未充分考虑油田矿区道路崎岖、重载运输、恶劣作业环境等特殊情形,引发定额标准同实际运营脱节;定额制定未对车型、任务类型、路况等级加以区分,采取“整齐划一”模式,缺乏针对性及公平性。二是数据支撑欠缺,制定依据欠缺。定额设定大多依靠经验估算或单一统计数据,没有系统的道路实测、车型性能测试等基础数据做支撑;油耗数据采集依靠人工记录,误差大且滞后性强的状况存在,无法给定额优化精准提供数据保障。三是考核体系有缺陷,激励与约束不匹配^[2]。考核指标单一化,多把百公里油耗当核心指标,未把运输任务量以及里程利用率这些关键因素综合起来,引发考核结果非客观;考核层级含糊,尚未形成“企业—中队—单车”分级考核体系,责任落实有欠缺;激励机制欠缺,节油奖励力度弱,惩罚措施刚性欠佳,不易调动驾驶人员节能干劲。四是技术应用的进程滞后,管理手段粗糙。未能充分利用物联网、GPS、大数据等先进技术,实时监控车辆运行状态、油耗变化的能力欠佳,难以及时发现异常油耗状况;欠缺数字化管理平台,数据整合分析水平欠佳,无法实现油耗管理动态优化。

4 油田运输车辆油耗定额标准的制定方法与实施路径

4.1 系统开展基础数据采集,夯实制定基础

基础数据乃定额制定的核心依据,要搭建“实测数据、统计数据、车型数据”多维数据采集体系。实测数据采集的相关方面,选择油田常见车辆类型,针对矿区道路、山区道路、长途公路等各类路况,按照额定载重量实施全场景道路实测,记录不同工况时的油耗数据、行驶里程、行驶时间等关键指标。统计数据整合这件事,对近3年各类车型实际油耗、运输任务量、里程利用率等历史数据进行梳理,删掉异

常数据生成统计样本;在车型数据采集,收集车辆出厂油耗参数、发动机性能、载重能力等技术材料,为定额制定给出理论参考,创立数字化数据采集平台,依靠安装高精度燃油传感器、GPS定位器具,自动实时收集油耗数据及运行轨迹,提高数据采集的效率及精准性。

4.2 实施分类分级定额制定,提升适配性

鉴于油田运输车辆的车型差别、任务特点及路况不同,创立分类分级的定额标准体系^[3]。以车型类型划分,针对轻型、中型、重型汽车以及专用运输汽车,分别制定基础油耗额度;以任务类型分类,分辨重载运输、空载运输、短途转运、长途运输等不同任务情形,基于基础定额去设定调整系数;按照路况等级归类,按照道路坡度、平整度、通行条件等,把油田运输路况分成1级,对应设定为1.0、1.2-1.5、1.6-2.0的路况修正系数。构建以“百吨公里油耗”为主、“百公里油耗”为辅的定额指标体系,百吨公里油耗定额主要用以考核单车运输成效,计算方法为:百吨公里油耗(kg/100tkm)=实际油耗(kg)×100/(实际载重量(t)×行驶里程(km));百公里油耗定额大多用于长途运输、临时任务等不能精准核算吨公里的状况,以辅助考核指标呈现。

4.3 建立动态修正优化机制,保障定额时效性

油耗定额标准不会一直不变,应依照实际运营情形搭建常态化修正机制。定期做好定额标准核查,每个季度对比定额标准与实际油耗的偏差,若偏差超出5%,及时解析原因并调改定额;按照外部环境改变修订,因油价大幅波动、运输路线调整、车辆老化等因素而使油耗出现变化时,实施专项修正流程;构建定额反馈制度,征集驾驶人员、管理人员针对定额标准的意见建议,参照一线实践经验改进定额参数设定,针对某油田矿区道路升级改造后路况改善的情形,可把该区域的路况修正系数从1.3降低到1.1,保证定额标准契合实际场景。

5 油田运输车辆油耗考核体系的构建框架与运行机制

5.1 构建多维度考核指标体系,提升考核科学性

冲破单一油耗指标的局限,构建涉及油耗效率、运输效能、驾驶规范的多维度指标体系。核心指标包含百吨公里油耗达标率(实际百吨公里油耗同定额的比值)、百公里油耗达标率、里程利用率(重车行驶里程占全行程里程的比例乘以100%)、节能降耗率((定额油耗减掉实际油耗)除以定额油耗乘以100%)。辅助指标有不良驾驶行为次数(如急加速、急刹车、长时间怠速等)、车辆维护保养合规程度、运输任务完成质量状况等。给不同层级考核对象定不同指标权重,单车考核着重考量百吨公里油耗达标率及不良驾驶行为,中队考核主要聚焦整体节能降耗率与里程利用率,企业考核聚焦于成本降低幅度及绿色发展指标。

5.2 建立分级分类考核机制,明确权责边界

搭建“企业-中队-单车”三级考核架构,明确各层级

考核责任及流程。企业制定整体考核方案,对各个中队实施考核,考核结果跟中队负责人绩效相联;中队落实企业考核相关要求,执行单车及驾驶人员日常考核,监测油耗数据变动,迅速察觉并处理问题;单车方面把驾驶人员当考核主体,落实“一人一车一考核”办法,个人薪酬与考核结果直接挂钩,开展分类考评,着重对长途运输车辆的百公里油耗及里程利用率进行考核,重点考量矿区作业车辆的百吨公里油耗及任务完成质量,对专用车辆着重考核油耗合规率与安全驾驶指标,保证考核有针对性。

5.3 完善激励约束机制,强化导向作用

打造正向激励为主、反向约束为辅的奖惩体制,全面提升驾驶人员节能的积极性。正向激励范畴,设立专项节能奖金,对单车节能降耗率排名居前的驾驶人员给予物质奖励;举办“节油标兵”评选活动,赋予荣誉表彰并同评优评先、岗位晋升挂钩;对于中队而言,若整体节能目标达成,给团队发放奖励。反向限制情形,设定油耗预警线、红线、高压线三级管控规范,超出预警线的予以约谈警示,超红线者扣减绩效工资,超高压线或有偷油漏油等违规举动,实施纪律处分并追究责任。某油田采油厂小车队实施“节油拿奖金”政策,令全队平均节油率上扬2个百分点,成效显著。

构建数字化考核管理平台,提高运行成效。凭借物联网、大数据技术搭建一体化考核管理平台,归集油耗数据、行车轨迹、任务信息等核心资料,完成考核流程自动化、智能化,平台具备实时监视能力,自动预警车辆油耗异常降低、长时间怠速等状况,及时传递给管理人员;具备数据统计分析本领,自动制作单车、中队的考核报表,直观呈现考核指标达成情形;拥有考核结果公示功能,让考核公开透明得到保障,接受所有人员监督。依靠平台搭建,达成“数据采集-指标核算-考核评价-奖惩落实”的全流程闭环管控,提升考核的效率及公信力。

6 油田运输车辆油耗定额管理与考核的实施保障机制

保证油耗定额标准与考核体系有效落实,应从组织领导、制度建设、技术支撑、人员培训4个维度搭建实施保障机制。加强组织引领,界定统筹责任。构建由企业分管领导牵头,运输管理部门、财务部门、安全部门联手成立的油耗管理专项工作组,清楚规定各部门职责:运输管理部门承担定额制定和考核实施职责,财务部门承担成本核算及奖金发放工作,安全部门主管驾驶行为的监管工作。设立定期商讨

机制,每月开展油耗管理工作会议,探究处理定额执行及考核流程里的问题,实现管理合力。优化制度体系,规范管理程序。制定关于油田运输车辆油耗定额管理的办法以及油耗考核实施细则等专项制度,确切明晰定额制定、数据采集、考核实施、奖惩兑现等环节的操作标准及责任要求;设立定额标准及考核体系的动态调整规则,让制度适配行业发展及企业实际;完善监督检查体系,定期实施油耗管理专项检查,严厉惩治虚报数据、偷油漏油等违规举动,让制度刚性落实。加强技术支撑,筑牢硬件根基。增大技术投入,为运输车辆全面装备高精度燃油传感器、GPS定位设备、智能加油终端等硬件器材,做到油耗数据的实时收集与精准监测;携手科技企业优化数字化管理平台,增强数据整合分析、智能预警、报表生成等能力,为定额管理及考核给予技术保障;制定设备定期保养机制,让硬件设备与管理平台稳定运转。加大人员培训力度,增强执行力度。实施分层别类培训,重点给管理人员培训定额制定办法、考核体系运行程序、数字化平台操作等方面;针对驾驶人员重点实施节能驾驶技巧、定额标准解读、考核奖惩政策等培训工作,增进其节能认知与操作水平,构建案例分享体系,推广出色节油经验及管理实践,打造“人人重视节能、人人争相节油”的良好氛围。

7 结语

本文围绕制定油田运输车辆油耗定额标准以及构建考核体系开展研究,确定了其于成本管控、节能降耗、规范管理等方面的核心意义,归纳了当前定额标准不科学、考核机制不完善、数据支撑缺乏、技术应用滞后的问题,提出“基础数据获取—分类定额规划—动态修正优化”的定额制定办法,构建起“多维度指标-分级考核-激励约束-数字支撑”这一考核体系,另外从组织、制度、技术、人员角度建立起实施保障机制。科学的油耗定额标准以及完善的考核体系是提升油田运输车辆油耗管理水平的关键要点。要进一步加强数字化技术融合运用,推动定额标准及考核体系动态优化,协助油田运输企业达成节能降耗与高质量发展,给石油石化行业绿色低碳转变予以有力支撑。

参考文献

- [1] 常超,夏晨,封小红.浅谈石油企业车辆油耗定额管理[J].企业技术开发:下半年,2010,29(10):2.
- [2] 常超,夏晨,封小红.浅谈石油企业车辆油耗定额管理[J].企业技术开发:新远见,2010,029(010):P.74-75.
- [3] 宗福军.观念一变天地宽——青海油田运输集团公司扭亏增盈的启示[J].石油政工研究,1998(2):2.

Analysis on the Identification and Prevention Mechanism Optimization of Traffic Safety Risk

Zhenyu Guo

Jiangsu Comprehensive Transportation Society, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

This study investigates the optimization of transportation safety risk identification and prevention mechanisms through intelligent technology empowerment. It analyzes the "perception-analysis-prediction" intelligent identification technology chain and constraints including data availability, cost efficiency, and system stability. The research identifies current limitations in prevention mechanisms, such as insufficient real-time early warning capabilities, inadequate intelligent decision-making, and poor coordination between technological and managerial systems. The study proposes an optimization strategy of "multi-technology integration empowerment and end-to-end precision prevention," offering four key dimensions: establishing intelligent early warning and rapid response mechanisms, improving data-driven decision-making systems, creating technical-management collaboration frameworks, and enhancing technical application support systems. The findings provide theoretical and practical foundations for enhancing the precision, coordination, and sustainability of transportation safety risk prevention.

Keywords

Transportation safety; Risk identification; Optimization of prevention and control mechanisms

交通运输安全风险识别与防控机制优化探析

郭震宇

江苏省综合交通运输学会, 中国·江苏·南京 210000

摘要

本文聚焦智能技术赋能下的交通运输安全风险识别与防控机制优化, 剖析了“感知-分析-预测”的智能识别技术链路及数据、成本、稳定性等约束条件, 指出当前防控机制存在预警实时性不足、决策智能化薄弱、技术与管理协同不畅等短板, 最后提出“多技术融合赋能、全流程精准防控”的优化路线, 从构建智能预警与快速响应机制、完善数据驱动决策体系、建立技术与管理协同机制、健全技术应用保障体系四个维度给出优化策略。研究为提升交通运输安全风险防控的精准性、协同性与可持续性提供了理论与实践支撑。

关键词

交通运输安全; 风险识别; 防控机制优化

1 引言

交通场景日趋复杂, 传统防控模式适配性不足, 智能技术为风险防控提供新路径但存在应用难题。本文探索优化路径, 旨在提升交通防控智能化、精准化水平。

2 智能环境下交通运输安全风险识别的技术基础

2.1 关键识别技术原理

智能环境下的交通运输安全风险识别主要是以多技术协同感知和分析为基础, 关键识别技术已形成了“感知-分析-预测”的技术链路。其中物联网感知技术通过道路、车

辆、基础设施等重要的点位部署传感器或 RFID 等设备采集车辆行驶状态参数、路况信息、环境气象数据等多维动态数据, 并搭建全域感知网为风险识别提供实时、全面的原始数据支撑; 大数据分析技术利用分布式计算框架清洗整合并挖掘海量异构交通数据, 运用关联分析法和趋势研判方法提取出风险存在的关联特征, 辨别风险属性并对潜在风险源进行初步筛选; 最后, 在采集到的历史风险数据及现阶段监测数据的基础上建立基于历史风险及当前的风险数据训练机器学习与预测模型, 完成基于深度学习的、决策树的学习模型, 并结合本项目的风险发生概率以及影响范围计算的风险量化指标实现事前精准预判。

2.2 技术应用的适配性与约束条件

技术应用的适配性与约束条件决定了智能识别技术的落地效果。适配性层面, 不同交通运输场景对技术的需求存在差异, 如城市道路拥堵风险识别更侧重实时性强的物联网

【作者简介】郭震宇(1991—), 男, 中国江苏南京人, 本科, 从事交通运输安全研究。

感知与短时序大数据分析，而长途货运线路的风险识别则需结合长时序数据与精准的机器学习预测模型，技术应用需与场景特征、风险类型精准匹配。约束条件主要表现为数据质量与技术成本两个维度：一方面，数据的完整性不足、准确率偏低，直接影响识别与预测精度，导致识别技术难以充分发挥作用；另一方面由于存在多部门间、多区间的数据壁垒，在不同程度上阻碍了识别预测技术的应用发挥；再者由于目前大部分智能终端设备的部署成本、系统运维成本和技术更新成本较高，这也会使得中小规模交通经营主体难以开展智能识别技术的应用；最后是技术本身的稳定性，技术的极端环境下适配能力与技术标准也一定程度影响着智能识别技术的规模化、规范化的应用推广^[1]。

3 技术赋能视角下现有防控机制的现状与问题

3.1 现有防控机制的技术应用现状

技术赋能视角下，现有交通运输安全防控机制已逐步开启智能化转型进程，技术应用已渗透到防控工作的多个关键环节，形成了兼具基础监测与初步处置能力的技术应用格局。在交通管理层面，多数城市及重点交通干线已实现视频监控、交通流量监测设备的广泛覆盖，借助大数据技术对重点路段的拥堵状况、车辆违规行驶等显性风险进行常态化筛查与统计分析，为日常管控提供数据参考；部分高风险区域如桥梁隧道、危险货物运输通道等，已初步引入风险预警系统，通过设定固定阈值对超限超载、超速等风险行为进行判断，并以短信、平台弹窗等形式向管理人员推送预警信息，辅助开展现场核查与处置工作。在运输企业运营管控层面，车辆定位跟踪、驾驶员状态监测等技术也得到逐步应用，实现对运输车辆行驶轨迹的实时追踪、行驶状态的动态监测，以及异常行为的即时报警，为企业内部风险防控提供了技术支撑，具体如下图所示。推动防控工作从传统的“人工巡查+事后处置”向“技术监测+事前预警”初步转型^[2]。



图1 运输企业车辆监控平台界面示意图

3.2 技术赋能不足导致的防控短板

然而，技术赋能的不充分性使得现有防控机制仍存在诸多突出短板，难以适配复杂多变的交通运输安全风险防控需求。其一，风险识别与预警的实时性严重不足，现有技术体系普遍存在数据传输延迟、分析流程繁琐等问题，多数风险识别依赖事后数据汇总分析，对车辆突发故障、路面突发障碍物、极端天气骤变等突发风险的响应存在明显时间差，无法实现风险的即时感知与精准预警，导致防控工作陷入“被动应对”的困境。其二，防控决策智能化支撑乏力，目前防控决策过程依靠管理人员经验，机器学习、智能算法应用较少，难以精准判定风险发生的机理、影响范围和链式反应，使得防控决策缺乏针对性和科学性，不能实现风险分级分类精准处置。其三，技术与管理流程之间协同衔接不够畅通，各部门、各环节技术系统各自独立建设，存在“信息孤岛”，缺乏全链条连接，交通监测、风险预警、应急处置、后期复盘等数据无法互联互通，造成技术应用脱节于管理流程，防控工作效率较低，同时也容易出现风险处置的某些环节脱节、责任不明等问题，如下图所示。其四，技术赋能由于缺乏数据安全和共享机制而难以发挥应有的效能，一方面，在跨区域、跨部门的交通数据共享方面，没有统一的数据共享制度规范和技术标准，归口主体及使用权限不明确，造成交通大数据的汇集整合以及技术和运营价值空间受限；另一方面，在数据采集、存储、传输、使用全流程缺乏有效的安全防护，缺少对数据加密的应用和安全规范的规定，存在数据泄露或篡改的风险，同时也会降低各方面的数据共享意愿^[3]。



图2 信息孤岛与协同阻断示意图

4 技术驱动的交通运输安全风险防控机制优化

4.1 优化的技术路线与核心目标

技术驱动的交通运输安全风险防控机制优化要确定“多技术融合赋能、全流程精准防控”的核心技术路线来突破当

前交通运输安全风险防控机制在技术赋能不到位和协同性不强等问题,在此过程中以物联网全域感知为基本依据,运用大数据和机器学习技术开展风险识别和风险预测,并借助于区块链、云计算等先进技术强化风险防控的数据共享和流程协同,打造覆盖“感知-分析-决策-处置-复盘”的全链路技术支撑体系;针对三大目标开展工作,一是提高风险防控精准性和预见性,由“被动处置”转到“主动预防”;二是提高防控流程协同效率,打破部门间和地区间的“信息孤岛”与“管理碎片化”;三是建立可持续发展的技术应用生态环境,使优化完善后的机制具备与不同场景下的通用用户及各类运输企业相匹配的适宜性、稳定性和可拓展性^[4]。

4.2 构建智能预警与快速响应机制

智能预警和快速响应是利用技术驱动防控优化的重要举措,归根到底是为了实现预警更准确和响应更快速的目标。一方面要对全域物联网感知数据进行汇总分析,提高机器学习预测算法水平,根据不同交通场景的风险特性设置不同交通场景下对应的预警临界值,对常发性风险实现提前预警、突发风险做到超前预警,在此基础上制定分级预警制度,划定不同级别预警范围及预警层级传递方式,实现预警信息直达相关责任人;另一方面需要运用智能化技术打造一体化的响应指挥平台,将预警信息以及处置资源进行智能匹配,实现预警信息发布至预警处置响应的全过程自动化、预警指令发布至预警措施落实的事态展示全过程可视化;依托技术打通交通、公安、应急等多个部门之间的响应通道,确定各相关部门各自职责及协同程序,从而实现“预警-研判-调度-处置”全链条闭环式智能响应,从而更好地应对突发风险问题。

4.3 完善数据驱动的防控决策体系

进一步健全和完善基于数据的数据驱动防控决策体系,从根本上提升防控机制的科学性,从两个方面着手:一方面要做好数据治理工作,搭建跨部门、跨地区的交通数据共治共享体系,明晰数据共享范围、数据标准及权责分工,以统一数据接口、统一数据标准为支撑,将车辆、道路、环境、管理等多维度数据聚合起来,并做好数据全生命周期的管理,建立数据质量核查、数据清洗工作机制,保障数据全生命周期内的完整、准确、时效,筑牢防控工作数据底座。另一方面,在模型应用上基于多源数据,优化机器学习决策模型,设置风险发生可能性、影响范围、处置成本等指标项,对防控方案进行智能化推演与选择,促进建立基于模型和数据的防控决策机制,从“经验主导”到“数据与模型支撑”,从粗放到精准化^[5]。

4.4 建立技术与管理协同的防控机制

建立技术与管理协同的防控机制来破解技术与管理“两张皮”困境,推动技术效能和管理效能叠加。一方面要借助

技术改进管理,利用智能感知、预警、决策等技术手段改造现有的管理程序,将智能感知、预警、决策的流程有机嵌入现有的管理流程之中,从而将风险排查、隐患整改、应急处置的技术效能更好地转化为管理效能,明确技术手段在应用中的作用以及工作事项之间的界限。另一方面要充分发挥管理的作用来支持技术的应用,建立技术应用常态化评价机制,定期研判技术是否合适以及技术应用的效果如何,进而做出相应的技术方案或管理模式调整;强化跨部门协同管理组织建设,确定各相关单位技术应用、数据共享、风险处置的工作职责,运用管理制度确保技术管理和应用技术的有机融合,推动形成“技术支撑管理、管理保障技术”的工作局面。

4.5 健全技术应用的保障体系

健全技术应用的保障体系,是使优化后的防控机制可以长期稳定的运行的基础,可从三个方面进行保障:制度、安全、成本。制度保障方面,加快建立健全交通运输智能防控相关的技术标准、管理制度等,对相关的技术设备选型、数据共享、模型应用等提出具体的标准要求,并提供一个统一的依据;通过建立健全激励与约束机制来鼓励企业和各大主体加大智能防控技术投入。安全保证方面,需要加强对数据安全防护体系建设,利用加密传输、权限管控、安全审计等手段来避免因数据泄露或篡改带来的安全问题;加强技术系统安全稳定性的建设,提高应对极端天气和网络攻击的技术应急保障能力。成本保障方面,合理制定多方面成本分担的办法,依靠政府补贴、企业自筹资金、社会筹资等手段分担中小运营主体的技术投入负担;推进技术的应用,采取跨区域或者跨企业的共享方式实现技术的集约化发展,降低技术部署及运维的成本。

5 结语

综上所述,智能技术为交通风险防控提供重要支撑,但受多重因素制约。本文提出的优化方案破解了现有短板,推动防控模式转型。未来,随着技术与机制完善,交通防控将更高效精准。

参考文献

- [1] 田泽,罗帆.基于多源文本挖掘的飞行事故关键风险识别[J].中国安全科学学报,2025,35(08):156-163.
- [2] 罗松,张宇,段义乾.民机试飞的危险源识别及风险管理[J].民用飞机设计与研究,2025,(02):99-103.
- [3] 冯川,张孜,黄钦炎.城市交通运输风险识别与防控策略[J].黑龙江交通科技,2023,46(11):150-152+157.
- [4] 付世亮,朱冬进,王良良.机场自动旅客运输系统的安全风险识别及危害控制[J].城市轨道交通研究,2023,26(03):133-137+142.
- [5] 刘川,孙广林,满聪,等.危化品运输路线交通安全风险关键因素识别[J].山东交通科技,2019,(06):122-128.

Research on Safety Risk Identification and Whole Process Control Mode of Expressway Construction

Jianbo Lan

Chongqing Beixin Rongjian Construction Engineering Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract

Expressway construction is characterized by long construction periods, complex operating environments, numerous participating entities, and frequent cross operations, resulting in safety risks with multi-source, dynamic, and cumulative characteristics. In response to the practical demands of expressway construction safety management, this study systematically clarifies the connotations, categories, and evolutionary patterns of construction safety risks. On this basis, the major safety risks associated with the preparation stage, key construction processes, hazardous operations, and external environmental conditions are systematically identified, and the critical nodes and action pathways of risk generation are clarified. Integrating the concept of whole-process management, a construction safety risk control model covering the pre-construction, construction, and post-construction stages is established. Systematic control approaches are proposed from the perspectives of risk pre-control, dynamic monitoring, collaborative management, and feedback-based improvement, thereby strengthening closed-loop management of construction safety risks.

Keywords

Expressway construction; Safety risk identification; Whole-process control; Risk pre-control; Dynamic management

高速公路施工安全风险识别与全过程管控模式研究

兰剑波

重庆北新融建建设工程有限公司, 中国·重庆 400000

摘要

高速公路建设具有施工周期长、作业环境复杂、参建主体多、交叉作业频繁等特点,安全风险呈现出多源性、动态性和累积性特征。所以高速公路施工安全管理实际需求需要系统梳理施工安全风险的内涵、类型及演化规律,在此基础上本文对施工准备、关键工序、危险作业及外部环境等环节的主要安全风险进行系统识别,明确风险产生的关键节点与作用路径。结合全过程管理理念,构建覆盖施工前、施工中与施工后的安全风险管控模式,从风险预控、动态监测、协同管理和反馈改进等方面提出系统化管控思路,强化安全风险的闭环管理。

关键词

高速公路施工; 安全风险识别; 全过程管控; 风险预控; 动态管理

1 引言

随着我国高速公路建设规模持续扩大,工程逐步向山区、高填深挖、特大桥隧集中等复杂条件延伸,施工安全形势愈发严峻。多工种交叉作业、高风险工序密集叠加,使施工安全事故的诱发因素更加隐蔽,传统以事后处置为主的安全管理方式难以适应当前工程建设需求。实践表明,部分施工项目在安全管理中仍存在风险识别不系统、管控措施碎片化、动态调整不足等问题,制约了整体安全水平的提升。将安全风险识别与全过程管控有机结合,从施工全周期视角对风险进行系统分析与持续控制,已成为高速公路施工安全管

理的重要发展方向^[1]。基于此,有必要围绕高速公路施工安全风险的识别方法与全过程管控模式展开深入研究,为构建系统完备、运行高效的施工安全管理体系提供支撑。

2 高速公路施工安全风险识别的理论基础

2.1 高速公路施工安全风险的内涵界定与类型划分

高速公路施工安全风险是指在工程建设活动中,由人员行为、机械设备、施工工艺、材料条件及管理因素等相互作用而可能引发人身伤害、设备损坏或工程事故的不确定性结果。该类风险具有客观存在性和潜在累积性,贯穿施工全过程,并随施工条件变化而持续演变。从表现形态看,既包括因技术措施不足引发的结构性风险,也包括由组织管理失当导致的管理性风险,同时还涵盖作业环境复杂、自然条件变化所形成的环境性风险。通过对不同风险来源和作用路径进行分类,有助于明确风险边界,提升施工安全风险识别的

【作者简介】兰剑波(1990—),男,中国四川中江人,本科,工程师,国家注册一级建造师,从事高速公路施工安全技术管理相关研究。

针对性与系统性。

2.2 高速公路施工安全风险的形成机理与演化特征

高速公路施工安全风险的形成源于多因素耦合叠加作用，既受工程地质条件、施工工艺复杂程度的影响，也与人员技能水平、现场管理状态密切相关。风险往往在施工活动持续推进过程中逐步积聚，当外部条件发生变化或内部控制失效时，潜在风险便可能迅速转化为现实事故。在时间维度上，安全风险呈现阶段性特征，不同施工阶段风险类型和强度存在明显差异；在空间维度上，风险分布具有不均衡性，重点集中于高边坡、深基坑、桥梁高空作业等区域。该类风险具备动态演化特性，需在全过程中持续识别与分析。

2.3 高速公路施工安全风险识别的必要性与现实紧迫性

在高速公路建设规模持续扩大的背景下，施工环境日趋复杂，安全风险呈现隐蔽化与多样化趋势。若风险识别不充分，极易导致防控措施滞后，进而引发连锁性安全问题，对工程进度和施工人员安全造成不利影响。通过系统开展安全风险识别，可在事故发生前明确高风险环节和关键控制点，为后续管控措施提供科学依据。同时，现阶段部分工程项目在风险识别方面仍存在经验依赖明显、方法系统性不足等问题，加强风险识别研究具有现实迫切性，对提升施工安全管理水平具有重要意义^[2]。

3 高速公路施工阶段主要安全风险的系统识别

3.1 施工准备与组织阶段的安全风险识别

施工准备与组织阶段是高速公路建设安全风险孕育的重要时期，该阶段涉及施工方案编制、资源配置、人员组织及技术交底等关键内容。若前期调查不充分、方案论证深度不足，易在后续施工中形成隐性安全隐患。人员配置不合理、管理职责界定不清，也可能削弱现场安全管控能力。此外，施工设备进场检验、临时设施布设等环节若缺乏有效审查，往往会放大施工初期风险水平。因此，对该阶段安全风险进行系统识别，有助于从源头上降低事故发生概率。

3.2 关键施工工序与危险作业环节的安全风险识别

高速公路施工过程中，路基高填深挖、桥梁高空作业、隧道施工及大型机械集中作业等工序风险高度集聚。这些作业环节技术要求高、作业条件复杂，一旦操作不当或管理失控，极易引发严重安全事故。作业人员违章操作、设备性能异常、施工工序衔接不当等因素，均可能成为风险触发点。通过对关键工序和危险作业环节进行针对性识别，可明确风险集中区域和薄弱环节，为实施重点防控提供依据。

3.3 外部环境与不确定因素引发的施工安全风险识别

高速公路施工往往受自然环境和外部条件影响显著，气象变化、地质条件差异及周边交通环境复杂性，均可能对施工安全产生不利影响。强降雨、极端高温等气候条件易诱发边坡失稳、设备故障等问题，地质条件变化则可能增加突

发事故风险。同时，社会环境因素如交通干扰、周边施工交叉影响，也会加剧施工安全的不确定性。对外部环境与不确定因素进行系统识别，有助于增强施工安全管理的前瞻性与应变能力^[3]。

4 高速公路施工安全风险全过程管控的实施路径

4.1 风险预控导向下的施工安全前置管控措施

风险预控导向下的施工安全前置管控强调将安全管理关口前移至施工启动之前，通过系统分析降低风险初始值。在项目策划和准备阶段，对沿线地质条件、施工环境和工艺复杂程度进行综合研判，可提前识别出约60%以上的潜在高风险作业区域。通过对施工组织设计和专项施工方案进行安全适应性审查，将高填深挖、桥梁高空作业等风险等级较高的工序明确列入重点控制清单，并在技术交底中予以细化落实。结合人员配置和设备选型，对关键岗位实施准入管理，使安全培训覆盖率保持在95%以上，从源头减少人为因素引发的风险。同时，通过前期资源统筹和工序安排优化，避免多作业面同时展开造成风险叠加，使施工初期安全风险水平保持在可控区间，为后续阶段安全运行奠定基础。

4.2 责任落实驱动的施工安全分级管控机制

责任落实驱动的施工安全分级管控机制以明确责任边界和风险等级对应关系为核心，通过制度化安排提升安全管理执行力。在项目管理体系中，将安全责任细化到项目负责人、专业管理人员和作业班组，使责任覆盖率达到100%，形成纵向贯通的管理链条。结合风险识别结果，对施工现场风险进行分级管理，高风险作业环节由项目层级直接管控，中低风险作业由班组层级落实控制要求，使不同等级风险对应不同管理强度。通过将安全责任履行情况与日常检查、考核评价相结合，使违规行为发生率降低20%以上，促使安全管理由被动约束转向主动履责。该机制在实践中有助于压实各层级管理责任，避免责任空转和管理失效问题，提升施工安全管控的稳定性^[4]。

4.3 动态调适支撑的施工安全过程管控与优化措施

动态调适支撑的施工安全过程管控强调在施工实施阶段对风险变化进行持续跟踪和及时调整，以适应复杂多变的现场条件。在施工过程中，随着工序转换和作业环境变化，风险水平呈现阶段性波动，通过强化现场巡查和信息反馈，可在24小时内掌握主要风险变化情况。针对关键工序和重点部位，对安全措施执行效果进行动态评估，根据现场实际情况及时调整管理重点，使管控措施与施工状态保持同步。通过加强施工、监理等主体之间的信息沟通，减少风险处置延迟时间，使隐患整改完成率保持在90%以上。该路径通过持续调适和优化，实现安全管理措施的动态更新，保障施工过程始终处于受控状态，提升全过程安全管控的适应性和有效性。

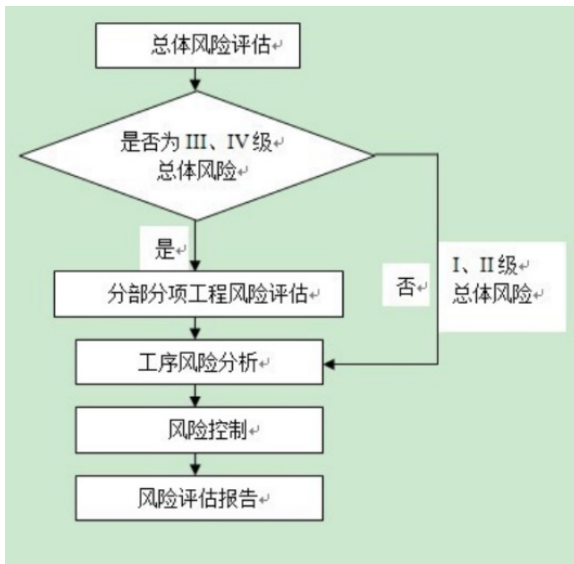


图 1 高速公路施工安全风险全过程管控流程图

5 高速公路施工安全风险全过程管控模式构建策略

5.1 施工前安全风险辨识与预防控制机制

施工前安全风险辨识与预防控制机制是全过程管控模式中最具基础性和前瞻性的环节，其核心在于通过系统研判将潜在安全隐患消解在施工活动启动之前。在项目筹备阶段，应围绕工程沿线地质条件、水文环境、施工工艺复杂程度以及周边社会环境开展全面分析，将安全风险识别深度嵌入施工组织设计和专项施工方案编制过程之中，使安全要求成为施工决策的重要约束条件。通过对施工方案的安全适应性进行反复论证，明确关键工序、重点部位和高风险作业的控制要求，促使技术措施与安全目标形成高度耦合。同时，加强施工管理人员和一线作业人员的安全教育与技术交底，使其在进入施工现场前对风险特征、控制要点和行为规范形成清晰认知。依托前期风险辨识成果，对人员配置、设备选型和施工时序进行合理调整，避免因准备不足引发风险集中释放，从源头层面构建结构清晰、逻辑严密的施工安全防控基础。

5.2 施工中安全风险动态监测与协同管控机制

施工中安全风险动态监测与协同管控机制强调在复杂多变的施工环境下实现风险状态的持续掌控，是全过程管控模式中承上启下的关键环节。随着施工进度不断推进，作业条件、施工工序和现场环境持续变化，安全风险呈现明显的动态特征，需通过常态化监测与及时反馈加以应对。在实际运行中，应强化现场安全巡查和过程记录，使风险变化能够被及时发现并有效传递至管理层面。通过构建多主体协同的管理机制，加强施工单位、监理单位及相关管理部门之间的信息沟通，确保风险管控措施在不同管理层级之间形成有效衔接。在关键施工阶段和高风险作业期间，通过加强现场协

调和管理调度，使安全措施与施工活动同步实施，避免管理滞后造成风险放大。通过动态监测与协同管控相结合，使施工安全管理始终保持对风险变化的敏感性和适应性，保障施工过程处于可控状态。

5.3 施工后安全风险评估与反馈改进机制

施工后安全风险评估与反馈改进机制是全过程管控模式实现闭环运行的重要保障，其重点在于通过系统总结推动安全管理水平持续提升。在施工阶段性完成或关键节点结束后，对施工期间风险识别的完整性、管控措施的有效性以及事故隐患处置情况进行全面评估，从管理、技术和执行层面分析风险控制效果。通过对施工过程资料、现场管理记录 and 实际运行状况进行综合研判，梳理风险演化规律和薄弱环节，为后续施工阶段提供针对性改进方向。评估结果应及时反馈至施工组织管理和技术措施调整之中，使安全管理要求在实践中不断完善和优化。通过将经验总结与问题整改有机结合，促使安全风险管控由阶段性应对转向持续改进，形成以评估促提升、以反馈促优化的长效运行机制，为高速公路施工安全管理能力的稳步提升提供有力支撑。同时，加强制度执行、技术支持与管理监督之间的协同配合，使风险管控要求能够稳定落实到施工现场^[5]。通过构建运行顺畅、反馈及时、责任清晰的综合保障机制，推动全过程管控模式在实践中形成常态化运行状态，为高速公路施工安全管理水平的整体提升提供有力支撑。

6 结语

高速公路施工安全风险贯穿工程建设全过程，具有隐蔽性强、变化频繁和影响范围广等特点。围绕风险识别与全过程管控展开系统研究，有助于从源头防控、过程控制和结果反馈等层面提升安全管理的整体效能。通过强化施工前风险预控、压实施工阶段责任管控并实施动态调适，可有效降低事故发生概率，改善施工现场安全运行状态。全过程管控模式的构建与实施，为实现高速公路施工安全管理的规范化、系统化和长效化提供了现实路径，对保障工程质量和施工安全具有积极意义。

参考文献

- [1] 赵记广.山区高速公路高墩大跨桥梁施工安全风险防控研究[J].价值工程,2026,45(03):52-54.
- [2] 陈磊.高速公路桥梁施工管理中的安全风险及控制[J].汽车周刊,2025,(10):162-163+166.
- [3] 李学银.高速公路机电工程施工安装中的风险管理与控制策略[A].工程技术与新能源经济学术研讨会论文集(三)[C].江西省汽车工程学会、江西省工程师联合会:2025:396-400.
- [4] 黄河河.高速公路桥梁施工中高空作业安全防护体系优化研究[J].交通科技与管理,2025,6(13):186-188.
- [5] 李焱坤,袁瑛.高速公路施工阶段安全风险评估与控制策略[J].运输经理世界,2025,(18):16-18.

Analysis and disposal of abnormal conditions at the end of wheel axle press fitting for HXD3 and HXD3C locomotives

Zhisheng Yang

Tianjin Electric Locomotive Co., Ltd., Tianjin, 300210, China

Abstract

This article conducts a systematic study on the abnormal phenomena occurring at the end of the press fitting process for HXD3 and HXD3C electric locomotive axles. Firstly, an in-depth analysis is conducted on the various abnormal manifestations that occur at the end of the press fitting process, focusing on multiple dimensions such as the accuracy of tooling equipment, process parameter settings, and material characteristics of axle components. Secondly, considering the actual operating conditions of the locomotive, a comprehensive risk assessment is carried out on potential safety hazards such as axle loosening and increased operational vibration that may be triggered by these abnormal phenomena. Based on this, improvement measures are proposed, covering aspects such as process optimization, tooling upgrades, and the improvement of quality inspection standards. At the same time, directions for further research and verification are clarified. Through continuous experimental demonstration and data accumulation, a complete solution is formed, aiming to fundamentally and thoroughly solve the abnormal problems occurring at the end of the axle press fitting process and ensure the safety and stability of locomotive operation.

Keywords

Wheel axle; Abnormality at the end of press fitting; Cause analysis; Risk items; Disposal measures

HXD3、HXD3C 型机车轮轴压装末端异常的分析及处置

杨志生

天津电力机车有限公司，中国·天津 300210

摘要

本文主要针对HXD3、HXD3C型电力机车轮轴压装末端异常现象展开系统性研究。首先针对压装末端出现的各类异常表现，从工装设备精度、工艺参数设置、轮轴部件材质特性等多个维度展开深度原因分析；其次结合机车运行的实际工况，对该异常现象可能引发的轮轴松动、运行振动加剧等安全隐患进行全面风险评估；在此基础上，提出涵盖工艺优化、工装升级、质量检测标准完善等方面的改进措施；同时明确后续需进一步开展的研究与验证方向，通过持续的试验论证与数据积累，形成一套完整的解决方案，以期从根本上彻底解决轮轴压装末端异常问题，保障机车运行的安全性与稳定性。

关键词

轮轴；压装末端异常；原因分析；风险项点；处置措施

1 故障案例

近期，公司生产过程频繁出现HXD3、HXD3C型机车非齿侧车轮压装时末端滑入的异常情况，HXD3C某机车共发生4根，引起了轮对内侧距低于1352mm的问题，最终通过轮对内侧距调整达到了标准要求。此现象引起了公司高度重视，进行了专题分析和研究，以期找出具体原因，评估安全风险，以保证机车质量安全运用。

2 情况调查

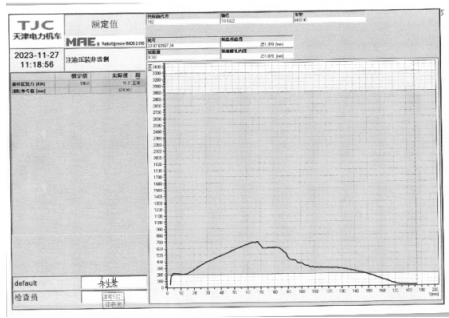
HXD3、HXD3C型机车轮轴压装是注油压装方式，正

常轮对压装过程，停止注油后轴向压装力停止车轮随即停止与车轴间的相对运动。以HXD3C某机车5轴、6轴为例，非齿侧车轮在注油停止后，轴向推力停止后车轮依然出现了向齿轮箱方向相对车轴的位移，导致最终检测轮对内侧距不符合mm的技术标准。具体调查情况如下：

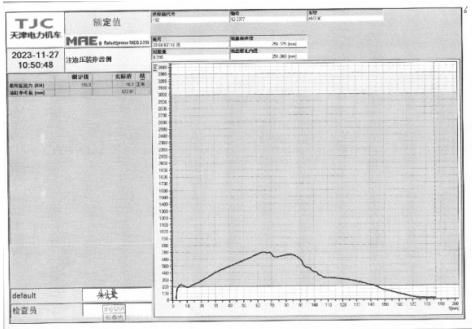
轮轴过盈量方面：该型机车轮轴配合属于过盈配合，轮对压装过程中必须获得一定的压装力才能保证轮轴压装到位并在后续运行过程传递足够的扭矩。而决定轮轴压装力的直接因素为车轮内孔与车轴轮座间的过盈量大小。该机车5轴、6轴非齿侧车轮内孔与车轴轮座间的过盈量分别为0.3mm，0.295mm，处于要求过盈量（0.26mm～0.33mm）的中间水平，因此压装力方面满足相关要求^[1]。

压力曲线方面：压力曲线直接反应了压装质量，机车5轴、6轴非齿侧压装曲线如下：

【作者简介】杨志生（1972—），男，中国天津人，本科，高级工程师，从事机车检修研究。



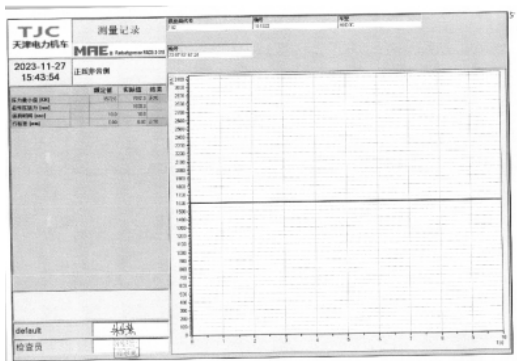
5 轴非齿侧压装曲线



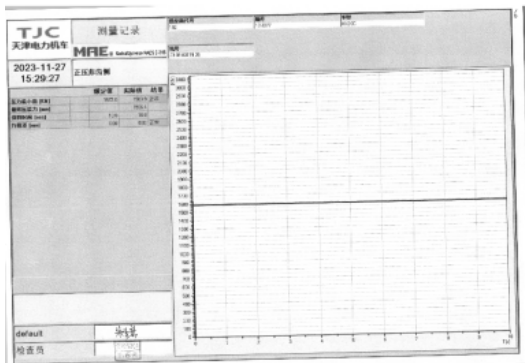
6 轴非齿侧压装曲线

经检查，5轴、6轴的压装曲线均符合TBT1463的正常曲线要求。

压力检验方面：为了进一步验证其压装力，对5轴、6轴非齿侧进行了正压检验，检验结果如下：



5 轴非齿侧正压曲线



6 轴非齿侧正压曲线

经检查压力试验曲线，正压检验过程未出现轮轴间相对位移变化，压装力满足要求。

3 原因分析

轮轴压装是电力机车组装的核心关键工序，压装质量直接决定机车运行安全性与稳定性。针对HXD3、HXD3C型电力机车轮轴压装末端滑入异常问题，本文从轮轴材质、形位公差、设备压入速度、压装工艺四大核心维度，开展系统性排查与原因剖析，结合实际检测数据与工艺参数，明确各因素对异常现象的影响程度。

3.1 轮轴材质因素分析

轮轴材质的稳定性与适配性是保障压装质量的基础，材质成分、力学性能波动均可能导致压装过程中出现异常受力或接触不良。经全面查阅HXD3、HXD3C型机车轮轴设计图纸、材质证明及采购台账，明确车轴统一采用JZ50钢，该材质具有高强度、高韧性及优良的耐磨性能，符合铁路机车车轴的严苛使用要求；车轮则选用J11车轮钢，其硬度、冲击韧性与车轴材质形成良好适配，可满足压装后的紧固贴合需求。针对出现压装末端滑入异常的轮轴，逐一核对材质检测报告，确认其材质型号、成分指标与合格轮轴完全一致，无材质更换、混装或性能不达标情况。结合以往压装数据，同批次材质轮轴在长期压装作业中未出现批量异常，因此可排除轮轴材质本身及材质变化对末端滑入异常的直接影响^[2]。

3.2 设备压装速度因素分析

压装速度是影响轮轴压装贴合度的关键设备参数，速度过快易导致局部受力不均、产生冲击载荷，速度过慢则可能引发接触面氧化、压装阻力异常，二者均可能诱发末端滑入问题。公司现有轮轴压装作业统一采用MAE轮轴压装设备，该设备为进口高精度专用设备，具备稳定的压力控制与速度调节能力，可满足HXD3、HXD3C型机车轮轴的压装工艺要求。经核查设备运行日志、参数记录及维护台账，现阶段MAE压装设备的压装速度始终稳定保持在2mm/s，与工艺文件规定的标准速度一致，无参数调整、波动情况。同时，设备定期维护保养工作按周期落实，速度传感器、动力系统关键部件性能检测合格，无故障隐患。结合历史压装数据，该速度参数在长期作业中验证可靠，因此设备压装速度并非本次末端滑入异常的单一诱发因素。

3.3 轮轴形位公差因素分析

轮轴形位公差，尤其是锥度精度，直接影响压装过程中接触面积的逐步变化与压力传导均匀性，锥度超差易导致压装后期受力突变，引发末端滑入异常。为精准排查该因素影响，选取出现异常的HXD3C型机车5、6轴轮对作为检测对象，采用行业标准的两截面四点法开展锥度检测，该方法通过在轮轴关键接触截面选取四个对称检测点，可有效规避单点检测误差，确保数据准确性。检测结果显示，5轴车轴锥度为0.01mm，呈正向锥度，车轮锥度为0mm；6轴车

轴锥度与车轮锥度均为 0.01mm，同样为正向锥度。对比设计图纸要求，轮轴锥度允许偏差范围为 $\pm 0.02\text{mm}$ ，上述检测数据均处于合格区间，无超差情况。同时，对检测工具进行校准验证，确认检测仪器精度达标，检测流程规范，数据可信度高，因此轮轴形位公差符合工艺要求，可排除其单方面导致异常的可能。

3.4 轮轴压装工艺因素分析

压装工艺的规范性与一致性是保障压装质量的核心，工艺流程、操作规范、预处理措施等任何环节的变动，都可能影响压装效果。针对出现末端异常滑入的轮对，全面梳理其压装全过程记录，包括轮轴预处理、清洁流程、定位方式、压力参数控制等关键环节，与以往合格轮对的压装工艺进行逐一比对。核查结果表明，异常轮对的压装工艺与历史合格轮对完全一致，无流程调整、操作简化或参数变更情况。压装前轮轴接触表面清洁、去毛刺等预处理工作按标准落实，定位基准准确，压力曲线符合工艺规范，无异常波动。结合现场作业监控记录，操作人员严格遵循作业指导书开展工作，无违规操作行为，因此压装工艺本身的一致性可得到保障，并非异常现象的单一诱因^[9]。

3.5 综合分析结论

通过对轮轴材质、设备压装速度、形位公差、压装工艺四大核心因素的全面排查与验证，各影响因素均保持稳定，无参数变动、性能异常或操作不规范情况，且所有检测数据均满足设计图纸与工艺文件要求。由此可判断，本次HXD3、HXD3C型电力机车轮轴压装末端滑入异常，并非由单一因素单方面导致。轮轴压装是一个多因素相互作用的复杂过程，推测该异常现象为多重细微因素累加所致，可能包括环境温湿度变化对接触面摩擦系数的轻微影响、轮轴表面微观形貌的细微差异、压装过程中瞬时压力的微小波动等潜在因素。后续需针对这些潜在因素开展进一步试验分析，结合多维度数据积累，精准定位累加影响的核心环节，为制定针对性改进措施提供支撑。

4 处置措施

针对出现异常滑入问题的HXD3C某机车4根轴检查轮轴过盈量在合格范围的基础上，全部进行压力检验，压力检验不合格需要退卸车轮重新压装。

对涉及装用该轮对的进车进行监控，通过落车后、机车正线试运后分别检测该轮对内侧距是否符合技术要求。经后续监控并检测轮对内侧距数据，机车落车以及机车试运前后轮对内侧距未发生变化。

5 风险分析及结论

从产品质量和安全风险角度，此种现象压入的车轮存在再次产生滑动和异常滑入时对其内侧的齿轮箱迷宫环产生撞击两方面风险。

对于车轮是否会再次滑动情况，经聘请主机厂、兄弟工厂及公司相关驱动技术专家分析，在轮轴过盈量满足要求、压装曲线合格、异常滑入后压力检验合格的前提下，车轮不会再次发生滑动情况。分析认为出现的轮轴压装过程出现的末端异常问题带来的风险可控，通过正压试验未发生变化的结果可以认为未对轮轴压装质量造成影响，轮轴驱动装置可以正常使用；对于撞击迷宫环带来的风险，分析认为迷宫环与车轴过盈量较大(0.458-0.501)mm，车轮惯性作用下异常滑入时带来的撞击不会对其产生影响(后续可进行验证)。

6 后续改进措施及建议

严格监测压装时轮轴配合数据，包含轮轴直径、过盈量、轮轴锥度及方向、表面粗糙度等，不满足要求的禁止压装；

轮轴过盈量选取设计值中间偏上的区段执行；

遇有压装过程末端车轮异常滑入的情况一律进行压力检验，检验合格的继续下工序操作，否则重新压装；

继续验证车轮滑入对迷宫环的撞击是否会造迷宫环轴向移动。采购压力贴片进行撞击力采集分析，将压力贴片贴在迷宫环端面，在后续车轮滑入时检测撞击力情况，同时对接主机厂查询迷宫环设计时界定的轴向力，与采集到的撞击力进行对比，确认车轮惯性滑入产生的撞击是否会影响迷宫环安装质量。

建议车轮压装速度在冬季适当降低，可以考虑按照1.5mm/s速度执行。

综上，轮轴压装过程出现的末端异常滑入现象，经过分析及试验验证，不存在安全风险，压装质量未出现异常，但此现象亦不属于压装过程正常现象，在生产作业过程中应进行严密监控，并在上游作业过程严控车轴、车轮加工质量，一旦出现异常现象，应逐一进行检查和验证，避免产生质量风险影响机车运用。

参考文献

- [1] 陈曦.HXD3C型机车走行部顶轮轴承检测技术研究与应用[D].:中国铁道科学研究院,2019.DOI:10.7666/d.Y3623612.
- [2] 张鹏.基于立体仓库的轮轴装配选配优化研究[D].:大连交通大学,2014.
- [3] 郝亮,张心悦.HXD3C机车主断路器异常断开故障分析与处理方法[J].机车电传动,2020,(2):153-156.DOI:10.13890/j.issn.1000-128x.2020.02.033.

Research on Identification and Response Strategies for International Logistics Supply Chain Interruption Risks

Bo Yang

Chengdu Baiyu Sitong Trading Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610305, China

Abstract

In the context of globalization, international logistics supply chains are frequently impacted by multiple risks such as geopolitical conflicts, natural disasters, cybersecurity incidents, and collaborative failures. This study identifies risk sources through literature analysis, case studies, and expert interviews, and combines modeling, simulation, and empirical evaluation to reveal their diversity, complexity, and uncertainty; Theoretical construction of a four-dimensional risk identification and response system covering policy geopolitics, climate disasters, technological networks, and operational synergy; Practice proposes three major strategies: resilient network reconstruction, diversified redundant inventory design, and digital collaborative response, to support enterprise risk assessment and plan optimization, and assist government regulation and infrastructure decision-making. The limitation lies in the existence of data errors in the model, insufficient coverage of risks in emerging technologies such as AI and blockchain, and the implementation of strategies being constrained by the company's funding, technology, and management capabilities.

Keywords

International logistics; Supply chain; Interruption risk; Strategy

国际物流供应链中断风险的识别与应对策略研究

杨波

成都佰誉四通商贸有限公司，中国·四川成都 610305

摘要

在全球化背景下，国际物流供应链频遭地缘冲突、自然灾害、网络安全事件及协同失灵等多重风险冲击。本研究通过文献分析、案例研究与专家访谈识别风险源，结合建模、仿真与实证评估，揭示其多样性、复杂性与不确定性；理论构建涵盖政策地缘、气候灾害、技术网络与运营协同四维的风险识别与应对体系；实践提出韧性网络重构、多元冗余库存设计及数字化协同响应三大策略，支撑企业风险评估与预案优化，助力政府监管与基建决策。局限在于模型存在数据误差，对AI、区块链等新兴技术风险覆盖不足，且策略落地受制于企业资金、技术与管理能力。

关键词

国际物流；供应链；中断风险；策略

1 引言

全球供应链正加速向数字化、智能化、柔性化与可持续化演进，由早期的成本导向集中生产，转向依托物联网、大数据提升透明度与效率，并响应个性化需求与ESG要求。与此同时，中断事件频发且呈现新特征：影响范围更广、复杂性更高、不确定性更强，以及网络安全等新型风险凸显。理论研究亦从早期关注稳定性与可靠性，逐步深化至韧性构建与智能预警，但对气候变化、网络攻击等新兴风险的系统研究仍显不足，理论与企业实践的衔接亟待加强。

2 风险识别理论基础

2.1 中断风险定义与维度

国际物流供应链中断风险是指因内外部因素导致物流活动突发、意外中止，进而损害供应链正常运行与绩效的可

能性。其具有多维特征：时间上，既可能为数小时至数天的短期扰动，也可能持续数月乃至数年；空间上，既可局限于局部环节，亦可波及全球；影响程度上，轻则仅致货物延迟交付，重则引发停产、客户流失甚至企业生存危机，如芯片短缺致全球汽车业减产数百万辆，造成巨额损失。

2.2 多层级风险传导机制

国际物流供应链的多层级风险传导机制复杂而紧密：供应商层原材料中断，将风险向上游传导至制造商，引发减产或停产；制造商层生产故障或质量问题则向下传导，打乱物流服务商运输计划，造成运力空置与成本上升；物流服务商层风险进一步延滞运输，冲击经销商库存与销售；最终，经销商交付延迟导致客户流失、市场份额下降，典型如电商旺季物流延误引发消费者转向竞品。各环节环环相扣，任一层级风险均可能沿链条逐级放大并波及终端。

2.3 关键节点脆弱性原理

国际物流供应链中，港口、枢纽及生产基地等关键节点因功能核心、高度集中或唯一而尤为脆弱：全球 80% 贸易依赖海运，港口中断即致积压与巨损；新加坡、迪拜等枢纽受限将推高成本与时耗；中国等制造集群受洪灾、缺电等冲击亦引发全球断供。节点间关联紧密，单点失效易诱发连锁反应。故精准识别、评估并提升其韧性，是保障供应链稳定的关键。

3 中断风险来源分类

3.1 地缘政治与政策风险

地缘政治冲突与政策变动是国际物流供应链中断的重要诱因。俄乌冲突导致欧俄贸易制裁升级，大量经俄、乌的运输路线中断，货物被迫绕行，物流成本平均上涨 30%–50%，运输时间延长数天至数周。中美贸易摩擦中，美方加征高额关税迫使企业重构供应链，部分产能向东南亚转移，但基建、人力等配套滞后，加剧了过渡期的不稳定性。此外，政治动荡常引发港口罢工、边境封锁等运营异常，如南美洲多国因政经危机频发港口罢工，造成货物积压、供应链紊乱。

3.2 自然灾害与气候风险

自然灾害与气候风险严重冲击国际物流供应链：地震、海啸、飓风等可直接损毁港口、铁路等基础设施，如 2011 年日本大地震及海啸致其电子与汽车零部件生产中中断，引发全球供应链数以百亿美元损失；暴雨、暴雪、高温等极端天气亦造成显著干扰——暴雨引发洪水阻断陆路运输，暴雪导致欧洲高速封闭，高温则威胁食品、药品等温敏货物安全；此外，海平面上升正日益威胁低洼沿海港口，如地势偏低的荷兰鹿特丹港，一旦受损，将波及欧洲乃至全球物流网络。

3.3 技术故障与网络安全风险

信息技术在物流供应链中的广泛应用，既提升了效率，也带来了技术故障、网络安全与更新滞后三重风险。系统故障易致库存失准、出入库延误，甚至引发全球货物滞留与重大经济损失；网络攻击可窃取商业机密、篡改运输信息、瘫痪支付系统，严重扰乱供应链与资金流；而物联网、大数据、人工智能等技术迭代加速，若企业未能及时应用，将导致运营低效、客户响应迟缓，进而丧失市场竞争力。

3.4 运营失效与协同失灵风险

运营失效与协同失灵是物流供应链中断的两大常见风险。内部管理不善，如车辆调度不合理导致空载率高、仓储混乱引发货损丢失，尤以缺乏科学管理体系的小型企业为甚；外部协同失灵则表现为供应商、制造商、物流商与客户间信息不畅、响应滞后，例如汽车供应链中零部件交付或运输延误可能直接引发停产。此外，全球化加剧了供应链复杂性，跨国企业间文化、管理模式及节假日差异等进一步抬升协同难度，造成交付偏差，削弱整体稳定性^[1]。

4 典型中断案例剖析

4.1 苏伊士运河堵塞事件

苏伊士运河承担全球约 12% 贸易运输，是欧亚最短海运通道。2021 年 3 月 23 日，“长赐号”（长 400 米、排水量 22 万吨）在新航道搁浅，致运河双向中断，累计超 400 艘船舶滞留，波及原油、天然气及工业制成品运输，引发欧洲炼油减产、亚洲出口延迟、欧方库存紧张与物价上涨，日均损失 60 亿至 100 亿美元。经多船联合施救，3 月 29 日脱浅复航。事件凸显关键航道脆弱性，警示须优化路径布局并强化应急机制。

4.2 新冠疫情全球物流瘫痪

2020 年初新冠疫情全球暴发，封锁措施重创物流供应链：中国沿海港口一季度吞吐量同比降 6.4%，船舶在港时间延长、多航线集装箱船空载；全球航空货运量下降约 10%，电子产品与生鲜运输受阻、价格飙升；中国制造业停工致全球供应链中断，汽车产量上半年同比下降 30%；运费与仓储成本攀升，加剧企业盈利压力，拖累经济复苏。

5 风险识别技术路径

5.1 多源数据融合监测框架

国际物流供应链风险复杂多元，单一数据源难以精准识别，故需构建多源数据融合监测框架。该框架整合物流运营、市场、气象及政治经济等异构数据，实现风险实时全面监测。如运输延迟预警港口拥堵，油价上涨预示成本上升，极端天气或致交通中断，政策变动影响跨境流通。通过数据清洗、转换、集成及物联网实时采集，统一标准、保障时效与准确，提升预警与响应能力。

5.2 基于图神经网络的风险溯源

在国际物流供应链中，图神经网络（GNN）将供应商、制造商、物流商、经销商等实体建模为节点，将节点间的合作关系、业务往来建模为边，构建动态图结构，学习风险在供应链网络中的传播规律，实现精准溯源与实时预警。例如，某电子零部件供应商质量异常时，GNN 可快速定位根源并评估全链影响，溯源准确率超 80%；当物流节点积压量异常上升，即识别为运输风险并触发预警，支持企业前置干预。

5.3 动态情景推演与压力测试

动态情景推演与压力测试是识别国际物流供应链风险的关键手段：前者模拟自然灾害、政治事件等多元情景以识别薄弱环节；后者通过极端条件检验韧性阈值。二者协同已验证有效，如某企业据此发现运输方式单一，转而推行多式联运。结合实时多源数据监测与图神经网络风险溯源技术，可动态优化参数、精准定位传播路径，构建闭环式风险识别体系。

6 应对策略体系构建

6.1 韧性导向的网络重构

在国际物流供应链中断风险加剧背景下，韧性导向的

网络重构成为提升抗风险能力的关键,即通过优化网络结构、节点布局与连接方式,增强其恢复力与适应力。区别于易受单点故障冲击的线性或树状结构,韧性网络强调网状化、多元化布局,如苹果依托全球多源供应商实现快速替代;节点选择需综合考量地理、政治与基础设施等因素,避免单一依赖,汽车企业常在亚、欧、美多地分散设厂与采购,相较于单一区域生产采购模式,可使重大中断后的供应链恢复时间缩短30%–50%;连接优化则体现为强化信息共享与协同,推广多式联运,并融合物联网、大数据、区块链等技术实现全链路实时监控与敏捷响应^[2]。

6.2 多元冗余与弹性库存设计

多元冗余与弹性库存设计是应对国际物流供应链中断风险的关键策略。多元冗余通过在供应商、生产设施和运输路线等环节设置多重备份,提升抗风险能力:电子制造企业若拥有三家以上芯片供应商,短缺期间产能损失平均降低40%;跨国食品企业布局多地加工厂,可在局部停产时快速调产,保障供应连续性与区域适配性。弹性库存则突破传统固定模式,依据市场需求波动、供应链实时状态及成本约束,动态优化库存水平;快时尚品牌依托销售与供应数据实时调整,既保障交付及时性,又避免积压,可降低库存成本15%–25%,并显著提升客户满意度。二者协同,兼顾韧性与效率,增强供应链整体稳健性。

6.3 数字化协同响应机制

数字化协同响应机制是提升国际物流供应链抗中断能力的关键手段。其核心在于依托统一信息平台,实现供应商、生产商、物流商与零售商间的信息实时共享与协同,如沃尔玛通过协同系统与供应商共享实时库存、销售数据及需求预测信息,显著增强供应链透明度、有效缓解牛鞭效应、降低全链条库存成本。同时,融合人工智能、机器学习与大数据分析,对运输时效、库存水平、供应商绩效等多源数据深度挖掘,构建风险预警模型,实现对中断事件的智能预测与阈值自动报警。此外,配套建立快速决策流程与应急指挥机制,辅以模拟演练,全面提升各方协同响应能力。实践表明,健全该机制的企业,应对中断事件的响应时间可缩短50%以上,损失降低20%–30%。

7 政策与治理协同

7.1 跨国监管标准衔接

国际物流中,跨国监管标准不衔接严重阻碍货物流通,尤以检验检疫、技术法规及卫生措施差异为甚,如欧盟严控农残兽残,而部分发展中国家标准较松,常致货物扣留或退运,年损数十亿美元。WTO《TBT协定》《SPS协定》及欧日EPA等推动国际标准采用与互认,提升便利化。但各

国政治、经济、文化背景不同,发达国家重环保与消费者保护,发展中国家重增长与就业,需兼顾实际,通过协商寻求共识。

7.2 公私部门应急协作机制

公私部门应急协作机制对应对国际物流供应链中断风险至关重要。疫情中,政府及时出台财政补贴、通关便利等政策,企业灵活调整产运计划,如客机改货机保障物资运输。健全机制需明确职责:政府主导预案与支持,企业主动响应、共享信息、共商对策,并建立常态化沟通渠道与信息平台。但实践中仍存利益分歧、决策错位及数据安全隐患,亟需完善法规制度保障其高效可持续运行^[3]。

7.3 区域供应链安全倡议

区域供应链安全倡议是保障国际物流稳定的关键举措。APEC等机制推动提升供应链韧性与效率,核心涵盖三大方向:一是物流基建升级,加快港口、机场、铁路等交通枢纽现代化建设;二是贸易便利化,简化通关流程、降低关税壁垒、推动监管标准互认;三是数字经济赋能,构建区域信息共享平台实现风险预警与数据协同,并配套开展应急演练与能力建设。但成员国发展水平与利益诉求差异大,部分国家因产业保护对开放持审慎态度。需通过持续协商与务实谈判寻求平衡,方能切实提升区域供应链安全与稳定。

8 结语

本研究系统识别了地缘政治、自然灾害、网络技术及运营协同等国际物流供应链中断风险源,构建了多源数据融合监测、图神经网络溯源与动态情景推演等识别路径;提出韧性网络重构、多元冗余库存与数字化协同响应等应对策略,并强调政策协同的关键作用,包括跨国监管衔接、公私应急协作与区域安全倡议。未来需深化新型风险识别技术研究,优化韧性与成本平衡机制,融入绿色低碳目标;加强全球治理协调与新兴经济体政策适配性研究。对实践而言,物流企业应建设智能风险监测系统并参与应急协作;制造企业需推进多源供应与数字化协同;政府须强化政策激励、标准对接等国际合作及应急储备体系建设。

参考文献

- [1] 刘佳惠.国际物流对供应链韧性的影响研究[D].新疆农业大学,2024.DOI:10.27431/d.cnki.gxnyu.2024.001349.
- [2] 璟旖.国际贸易供应链韧性评估与风险传导研究[D].天津商业大学,2024.DOI:10.27362/d.cnki.gtsxy.2024.000342.
- [3] 全国智能运输系统标准化技术委员会(SAC/TC 268),全国物流信息管理标准化技术委员会(SAC/TC 267).国际物流供应链系统调度信息交换要求:GB/T 46529-2025[S].中国标准出版社,2025.

Real Mountains and Waters, Geomorphology and Infrastructure Integration and Improvement of Space Environment Practice

Huifen Zeng Jian Wang Ruoyu Ge

Sidi (Suzhou) Survey and Design Consulting Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

Abstract

In the context of the new era, the concept of urban infrastructure development must evolve from a focus on functional needs to an integration of functional requirements with spatial environment enhancement. Drawing on the He Shan Road West Extension Tunnel project as a case study, this paper analyzes and summarizes strategies for infrastructure integration, its adaptability to urban design, and construction techniques for spatial shaping. A comprehensive set of infrastructure integration technologies is proposed. Given the increasing complexity and comprehensiveness of modern infrastructure, the paper offers actionable recommendations to explore more effective innovative models for future urban development.

Keywords

Infrastructure; Urban design; Integration concept

真山真水 地貌赋形 基础设施融合提升空间环境实践

曾惠芬 王健 戈若愚

悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司, 中国·江苏苏州 215000

摘要

新时代背景下,城市基础设施建设理念需要已从功能需求为主发展为功能需求与空间环境提升相融合。结合实际案例何山路西延工程隧道,从城市基础设施融合策略、与城市设计适应性以及在空间塑造方面的建造物化技术等方面进行分析与总结,提出了一套基础设施融合技术。针对基础设施越来越趋向于综合性、复杂性,提出了对策与建议,为未来城市建设发展探索更有成效的创新模式。

关键词

基础设施; 城市设计; 融合理念

1 引言

城市基础设施承载着城市多样化的功能,在城市功能构造与空间、防火避灾、景观环境美化、绿化系统构成等方面具有重要作用^[1]。新时代背景下基础设施建设理念已从功能需求为主,发展为功能需求与环境提升相融合,需要从拓展参与城市建设边界构成、升级开放空间景观品质、重构城市生态安全资源网络的角度,探求新的范式可能^[2]。本文以何山路西延工程隧道为例,探索城市基础设施功能与空间环境提升的融合。

2 城市基础设施融合策略

城市基础设施融合包括规划设计、建造物化和运行维护3个阶段。在规划设计阶段融合策略以规划融合理念引领基础设施建设可持续发展,工程专项规划提前到控规阶段开

展,控制性详细规划与工程专项规划之间形成动态反馈,以城市设计手法,采用多专业协同规划方法,为城镇各类基础设施有序建设建立关联,科学指导城市基础设施建设^[3]。建造物化阶段注重在空间塑造方面的物化技术融合,运行维护阶段采用集约化策略。

早在2010年苏州高新区白马涧周边地区控制性详细规划编制阶段,道路交通专项研究已将何山路西延纳入片区城市设计、控规成果。项目位于苏州市高新区中部白马涧片区,规划功能定位为片区对外重要联系通道,沟通高新区东西部、分流太湖大道的第二通道,完善区域组团道路网络、提升交通联系便捷性。

线主位所经处的山体最大高程为117.3米,跨越高亢平原及丘陵两个地貌单元,路线采用隧道方式穿越贺九岭及支硎山白马涧生态区等,选线原则有:布线尽量避开不可移动文物;越岭隧道从山体比较狭窄的鞍部通过,使隧道净长最短;隧道洞口及隧道内线形符合安全视距要求;隧道进出洞口尽量与地形等高线正交,保证洞口衬砌条件较好。

【作者简介】曾惠芬(1996—),女,中国江苏太仓人,本科,正高级工程师,从事设计研究。

3 城市基础设施与城市设计适应性分析

项目南侧白马涧龙池景区是国家AAAA级旅游景区，占地1.5平方公里，集休闲度假、观光旅游、户外拓展、生态探险、科普教育、田园人文等主题于一体的大型综合体验型生态景区。在工程方案研究时，政府在白马涧周边地区控制性详细规划的基础上开展了白马涧片区城市设计，规划建设生命健康小镇。该片区城市道路网已基本建成，规划何山路隧道东西向穿越片区，隧道出入口的布设兼顾龙池景区和生命健康小镇的交通需求，与道路系统互连互通，对道路交通专项规划进行了微调，隧道建设与片区城市开发相融合，助力片区规划落地。隧道规划建设前后的紧凑空间保持一致，白马涧龙池景区在环境、风貌等实现近零影响，实施了基础设施与城市空间的有机融合。

4 城市基础设施在空间塑造方面的建造物化技术探索

2017年何山路西延工程进入实施阶段，秉持“交通引领城市发展，交通组织城市生活”理念，在项目可行性研究阶段，项目团队积极探索源于可持续发展理念的“可持续设计”DFS (Design For Sustainability)，深刻思考人类发展与环境问题之间关系，研究基础设施参与城市空间塑造的模式，基础设施具有城市物质系统的复杂空间特征，消除其巨构机理与形态割裂特征，实现城市功能与基础设施虚实空间的紧密融合。基于制约项目的规划、建设条件，提出四项设计原则，具体为：1、遵循安全、适用、美观、耐久和环保的原则，合理选择隧道工法，2、因地制宜、合理布局，重视方案的功能、经济、可实施、可持续发展，3、重视环境和风险控制，贯彻以人为本的设计思想，4、敢于创新，运用四新技术等。建设方案强化了城市基础设施与控制性详细规划协调性，建立持久性生态生产系统，助力社会、生态环境的长期安全发展，合理使用土地资源；交通功能合理，优化出行方式和均衡路网交通；优选隧道工法和结构型式并采用信息化的设计方法；着重处理好隧道通风、降噪和景观的设计，与工程周边环境和谐；重视工程施工与运营阶段的风险控制，建立可靠的综合防灾救援体系。

4.1 项目建设条件

沿线地貌单元以基岩山体为基础的构造-剥蚀低山丘陵地貌，据地貌成因和形态类型的差异性，分为构造-剥蚀低山丘陵(I)和堆积平原(II)二大区。据近年地形形变测量平原区20年间垂直形变速率不到-0.1mm/a，属地壳活动稳定区。拟建场地山体表层以残坡积物为主，层厚2~3m不等，离山体较近地段往下即可见基岩，地质构造稍复杂，未见断裂构造。场区节理、裂隙多呈直立状微张，宽度0.5~3mm，裂隙面附氧化铁薄膜及石英脉。

4.2 空间塑造方面的物化技术融合

在建造物化阶段，物化技术融合策略聚焦建造技术的

创新、绿色和效益性。何山路西延工程最大的“亮点”在高度重视生态环境和保护与利用历史文化遗产。面对全线地形起伏较大、地质条件变化快、环保景观要求高等难点，创新性采取多种结构形式、多种工法组合，项目在观音山路~龙池西路段采用隧道形式，其中穿越支硎山段为山岭隧道，采用钻爆法施工，支硎山以西为白马涧景区范围，采用明挖隧道形式，消除城市道路对景区环境、生态的影响。项目位置毗邻白马涧、花山等4A级景区，隧道穿越山体的段落采用低进洞的暗挖隧道方式保留山体原貌，利用开放空间网络保存了城市的文化历史价值。

预留远期穿越鹿山的主线隧道接口，近期设置与路网相匹配的隧道出入口系统，设匝道接龙池西路，设2对匝道衔接观音山路和龙池东路，完善的地下立交既保护了自然山水环境又四通八达服务于周边路网。

4.3 设计、施工技术的创新性

何山路西延工程为苏州第一座多工法转换、多断面变化的城市隧道，多工法为明挖法、堰筑法、钻爆法、盖挖法，多种结构形式为折板、平板、拱形、单箱结构、双箱结构、四箱结构，不同工法之间采用科学合理的技术措施进行结构受力的转换与过渡。

支硎山隧道围岩大部为质地坚硬的金山石，金山石作为江苏省非物质文化遗产的“金山石雕”的原材料，价值极高。创新实现了在暗挖隧道洞内狭小空间进行台阶切割“金山石”，在隧道施工的同时合理布置洞内空间，专题研究切割、运输等工序，得到相对完整的石料，最大限度保留了“金山石雕”稀缺资源。

隧址区经过市级文保单位魏了翁墓，为避免基坑对墓体影响，经多方案论证采用扰动程度最低的上部吊脚桩+下部放坡开挖并喷锚防护方案。

白马涧龙池素以“水中大熊猫”桃花水母闻名，其依赖于极高的水质标准。为保障景区水系的安全，下穿河塘段隧道采用非常规的分段围堰施工，施工未对景区水系造成影响。

4.4 浅埋小净距隧道施工的突破

受地形地质条件限制，龙池东路山岭隧道左右线净距仅为6m，最大埋深仅16m，为典型的大断面偏压浅埋小净距隧道，若根据规范设计采用常规的中隔壁法会面临洞内施工空间狭小、进度缓慢、中隔壁拆除费时费力等问题。

项目优化隧道工法，创新采用微桩进行联合支护，实现在浅埋偏压等不利围岩条件下台阶法机械化施工，取消了临时支撑的施作和拆除，减少了对围岩的多次扰动，比常规侧壁导坑工法具有施工更安全、工序衔接更紧密、造价更经济的优势。复杂建设条件下软弱围岩隧道台阶法并微桩(锁脚锚管)开挖支护施工方法2024年获评省级工法。

4.5 注重动态设计的信息技术应用

隧道设计、施工全过程应用BIM+GIS数智融合技术对

隧道结构、机电、装修等专业进行建模深化设计,采用协同方式进行碰撞检查、净空分析、成果复核等。采用 BIM 三维技术施工模拟,指导现场施工,协调各专业工序,减少施工干扰、设计变更、人机待料等问题,积极尝试智能建造,提高建造效率和管理水平。

4.6 公共空间绿色基础设施实践探索

绿色基础设施侧重于解决城市化过程中的生态保护、气候变化等问题,着重于关注城市内外绿色空间的质量、生物多样性等多重联系,以及绿色基础设施在维护城市景观、提升公众健康等方面的作用。

何山路隧道保障地面自然环境和开放空间相互连接形成的网络,保护城市生态系统的完整性;项目采用海绵城市设计手法,利用雨水湿地、生态滞留池等设施提高水体的自净能力,设计人工土壤渗滤等辅助设施对水体进行循环净化,海绵设施结合雨水管道系统共同作用,实现雨水安全排放,海绵设施指标透水铺装率 12.2%,综合径流系数 0.418,下沉式绿地率 42.3%,年径流总量控制率为 80%,实现交通基础设施与绿色基础设施融合,使城市水文生态系统形成良性循环。

响应低碳环保理念,项目采用新技术降低隧道能耗,隧道全线采用模块化 LED 光源,将隧道照明系统分为多级控制模式,按晴天、多云、阴天、重阴、夜间和下半夜等不同时段不同场景采用不同的隧道照明亮度,相比传统模式每年可以节约 40% 的用电量。

5 基础设施运行维护集约化策略

隧道在建设阶段全要素全过程统筹管养需求,系统设计隧道运营期间的监控、消防、防灾、智能化控制、应急救援等,设置监控中心,独立设备区等,保障隧道运营安全。何山隧道监控中心设计按照覆盖高新区范围内的各类隧道运行维护要求,实现区域隧道运行维护集约化。

6 项目效益

作为重大基础设施,何山路西延工程在实现交通功能的同时,提升空间环境品质,实现了土地资源集约化利用和改善区域投资环境等效益。

项目占地面积约 282 亩,其中地上面积约 143 亩,用于隧道出入口、地面道路网完善及景观建设,地下面积约 139 亩,用于隧道建设,实现用地、交通与景观等多要素土地资源集约化利用。项目建成后提升片区空间环境品质,改善区域投资环境,助力属地一些招商引资项目落地,生命健康小镇已顺利落成。

7 对策与建议

近年来,基础设施越来越趋向于综合性、复杂性,悉地(苏州)在设计中坚守“让城乡更美好”的企业使命,践行“生态环保、可持续发展”理念,注重技术的更迭升级,致力于打造绿色基础设施,为未来城市建设发展探索更有成效的创新模式。

城市基础设施融合化面临技术挑战、管理挑战、人才挑战,技术挑战融合化涉及大土木行业,单专业的技术规范体系、单行业的政策法规不适应基础设施融合化规划建设,管理挑战涉及到跨部门协调、政策制定、法规遵守等方面,人才挑战涉及融合理念的大土木行业复合型创新人才,注重培养具有规划建设、岩土地质、工程建设、城市管理、城市安全等多学科知识的人才。在摸清城市基础设施融合化家底的基础上,建议

7.1 完善城市基础设施融合化发展顶层设计

在规划阶段,针对不同城市的特点,制定适宜的基础设施未来发展规划,将其纳入城市设计与城市更新规划中。在设计阶段,加强基础设施之间的联系,统筹基础设施本身的功能可移植性和可发展性,避免资源浪费。在建设阶段,坚持先规划、后建设,先地下、后地上的原则,更新现行的基础设施建设标准规范,鼓励相关部门、企业等参与技术标准编制,开展先行先试工作。

7.2 加强城市基础设施融合化发展的技术研发

针对各部门的需求,持续推进研发城市基础设施融合化建造技术,推进城市基础设施信息化、智能化、低碳化运行体系,利用大数据、人工智能、数字孪生等现代信息技术,构建基础设施智能管理平台,推广城市基础设施融合化建造技术,探索中国式现代化的城市基础设施融合系统研究。

7.3 加强城市基础设施融合化发展的政策倾斜

制定城市基础设施融合化政策,推动城市基础设施融合化发展。对城市基础设施融合化项目建立评价参考依据,基本建设程序的融合审批,并给予相关示范工程、用地审批政策倾斜和资金补贴,以利城市基础设施支撑城市空间环境提升。

参考文献

- [1] 中国交通工程学科建构与探索-徐吉谦教授学术思想文集 徐吉谦等著,东南大学出版社
- [2] 从邻避到迎臂-城市基础设施建设融入城市生活.何镜堂;陈思翰;苏朝浩.中国园林,2023,39(4):40-46
- [3] 多规融合、精细设计——新时期工程专项规划设计研究[J].林渊.福建建筑,2020,(04):20-26.

Research on the Construction of Credit System in Road Transport Industry-Taking the Management of Freight Vehicles in Lingshou County as an Example

Zengzhang Li

Lingshou County Transportation Comprehensive Law Enforcement Brigade, Shijiazhuang, Hebei, 050899, China

Abstract

The development of a credit system serves as a pivotal mechanism for standardizing the road transport market and enhancing industry governance efficiency. This study addresses the pain points in freight vehicle management within Lingshou County by optimizing the credit system, improving regulatory precision, standardizing market practices, and reducing safety risks. These measures aim to drive the freight industry toward standardized, intensive, and high-quality development, thereby supporting the sustainable growth of regional economy and society. Targeting current challenges such as incomplete institutional frameworks, insufficient information sharing, inadequate evaluation applications, and suboptimal regulatory capabilities, the research proposes optimization strategies across four dimensions: institutional refinement, data governance, scenario expansion, and capacity building. The findings provide actionable pathways for establishing a credit system in county-level road transport operations, offering significant reference value for standardizing freight market order, mitigating safety risks, and advancing high-quality industry development.

Keywords

Road transport; Credit system; Freight vehicle management; County-level practice; Lingshou County

道路运输行业信用体系建设实践研究——以灵寿县货运车辆管理为例

李增章

灵寿县交通运输综合执法大队，中国·河北 石家庄 050899

摘要

信用体系建设是规范道路运输市场秩序、提升行业治理效能的关键抓手。本文聚焦灵寿县货运车辆管理痛点，通过优化信用体系建设，提升执法监管精准度，规范市场秩序，降低安全风险，推动货运行业向规范化、集约化、高质量发展转型，助力区域经济社会持续健康发展，针对当前制度体系不完善、信息共享不足、评价应用不深入、执法监管能力有待提升等问题，从制度完善、数据治理、场景拓展、能力建设四个维度提出优化策略。研究成果为县域道路运输行业信用体系建设提供了可操作的实践路径，对规范货运市场秩序、降低安全风险、推动行业高质量发展具有重要参考价值。

关键词

道路运输；信用体系；货运车辆管理；县域实践；灵寿县

1 引言

随着行业规模扩大，货运车辆超限超载、非法营运、违规改装等失信行为时有发生，不仅扰乱了公平竞争的市场秩序，更带来了严重的交通安全隐患。在此背景下，构建科学完善的信用体系，将信用管理贯穿于货运车辆准入、运营、退出全生命周期，成为提升行业治理效能的必然选择。交通运输主管部门明确提出，要建立健全道路运输市场诚信法规体系、信息征集披露体系、评价体系与失信惩戒体系，为县

域信用体系建设提供了政策遵循。

2 灵寿县货运车辆管理与信用体系建设现状

2.1 货运车辆管理基本情况

2.1.1 管理主体与职责分工

灵寿县交通运输综合执法大队作为核心管理机构，承担着县域道路运输行业管理、路政执法、超限超载查处等职责，编制125名，下设执法中队覆盖全县主要交通干线与货运集中区域。协同灵寿县公路管理站、道路运输服务中心，形成“执法监管—养护保障—服务支撑”的协同管理格局，负责货运车辆准入审批、年度审验、动态监控、违法查处等全流程管理。

【作者简介】李增章（1991—），男，中国河北石家庄人，本科，助理工程师，从事道路运输组织管理研究。

2.1.2 货运行业发展特征

灵寿县货运车辆以中型、重型载货汽车为主，主要承担建材、煤炭、农产品等物资运输，运输线路集中于234国道、201省道及县乡公路，部分车辆涉及跨区域运输。受产业结构影响，货运需求呈现“旺季集中、淡季分散”的特点，给日常监管带来较大压力^[1]。

2.2 信用体系建设基础与初步实践

依据交通运输部《关于进一步加强道路运输市场诚信体系建设的意见》等政策要求，灵寿县结合实际制定了《道路运输企业质量信誉考核实施细则》《货运车辆驾驶员诚信考核办法》等制度文件，明确了信用考核的主体、内容、标准与程序，将诚信考核与市场准入、年度审验、评优评先等挂钩。

初步建立货运行业信用信息档案，归集企业与从业人员的基本信息、违法违规记录、事故责任信息、质量信誉考核结果等静态数据。通过与公安交管、应急管理、市场监管等部门的初步协作，实现部分信用信息的共享互认，为信用评价提供数据支撑。

3 灵寿县货运车辆信用体系建设的实践探索

3.1 搭建多部门协同信用监管机制

3.1.1 建立联席会议制度

成立由交通运输、公安、应急、市场监管、税务等部门组成的信用体系建设领导小组，定期召开联席会议，协调解决信用信息共享、联合执法、奖惩联动等问题，形成“各司其职、密切配合、齐抓共管”的工作格局。

3.1.2 推进信用信息共享

依托灵寿县政务服务数据平台，搭建道路运输信用信息共享子平台，整合各部门掌握的货运企业与车辆相关信用信息数据，包括交通违法记录、事故处理信息、工商登记信息、纳税信用等级、安全生产标准化等级等。制定统一的数据标准与接口规范，实现信用信息的实时归集、更新与查询，打破“数据孤岛”^[2]。

3.2 完善信用激励与失信惩戒机制

3.2.1 激励措施

政策扶持：对A级货运企业，在政府物流项目招投标、财政补贴申领、信贷支持等方面给予优先考虑，支持企业扩大经营规模、升级运输装备。

市场激励：引导物流园区、货主单位等在选择合作伙伴时，优先选择信用等级高的企业与车辆，通过市场机制推动诚信经营。

荣誉表彰：对诚信经营表现突出的企业与个人，授予“诚信示范企业”“诚信驾驶员”等荣誉称号，在行业内进行宣传推广。

3.2.2 惩戒措施

行政惩戒：对失信主体，采取限制经营范围、暂停营运资格、吊销经营许可等措施；将严重失信主体列入“黑名单”，在政府采购、招投标等活动中予以限制。

市场约束：向社会公开失信主体信息，包括企业名称、

车辆牌号、驾驶员姓名、失信行为、处罚结果等，接受社会监督，提高失信成本。

跨域联动：与周边地区建立失信联合惩戒机制，实现“一处失信，处处受限”，遏制跨区域失信行为。

3.2.3 强化技术赋能信用体系建设

运用动态监控技术：依托北斗定位系统、智能视频监控终端等设备，对货运车辆的行驶轨迹、行驶速度、驾驶行为等进行实时监控，自动识别超速、疲劳驾驶、偏离路线等违规行为，将相关信息实时推送至信用信息平台，作为信用评价的重要依据。

推广电子证照与电子运单：全面推行货运经营许可证、车辆营运证等电子证照，实现证照信息的电子化存储与查询；推广电子运单制度，将运单信息与信用信息关联，实现运输全过程可追溯，为信用评价提供精准数据支撑。

4 灵寿县货运车辆信用体系建设存在的问题

4.1 制度体系不够完善

4.1.1 信用评价指标有待优化

部分评价指标不够细化、量化，如“服务质量”“社会责任”等指标缺乏具体的考核标准与数据支撑，导致评价结果的客观性、准确性不足；指标设置未能充分体现灵寿县货运行业的特点，针对性不强。

4.1.2 配套制度不健全

缺乏信用修复机制，失信主体在整改后难以通过合法途径恢复信用等级，不利于引导失信主体主动纠错；信用信息安全管理制度不完善，存在信息泄露风险；部门协同监管的具体操作规程不明确，影响协同监管效率。

4.1.3 制度执行不够严格

部分制度条款在实际执行过程中存在打折扣、搞变通的情况，如信用评价结果与市场准入、政策扶持等挂钩不够紧密，激励与惩戒措施未能完全落实到位，影响了制度的权威性与实效性。

4.2 信息共享与数据质量存在短板

4.2.1 部门协同不畅

虽然建立了联席会议制度，但部分部门对信用信息共享的重视程度不够，存在数据壁垒，如公安交管的部分违法记录、市场监管的企业经营异常信息等未能及时、全面归集到信用信息平台，导致信用画像不够完整。

4.2.2 数据质量不高

信用信息存在更新不及时、数据不准确、维度不全面等问题。部分企业与从业人员的基本信息发生变更后未及时上报，违法违规记录未能实时录入系统；缺乏动态运营数据，如车辆装载情况、运输时效等数据，影响信用评价的科学性。

4.3 信用评价与结果应用不够深入

4.3.1 评价方法较为单一

目前主要采用人工审核与静态数据统计相结合的评价方法，缺乏大数据、人工智能等技术的应用，评价过程效率不高，容易出现主观偏差；动态评价机制不够健全，难以实

时反映主体的信用状况变化。

4.3.2 结果应用范围较窄

信用评价结果主要应用于行政监管与部分政策扶持,在市场交易、金融信贷、保险费率等领域的应用不足,未能充分发挥信用信息的市场价值;激励措施的吸引力不够,惩戒措施的威慑力不足,对企业与从业人员的引导作用有限^[3]。

4.3.3 社会认知度不高

部分货运企业与从业人员对信用体系建设的重要性认识不足,诚信意识淡薄,存在侥幸心理,对信用评价结果不够重视;社会公众对信用信息的查询使用率不高,社会监督作用未能充分发挥。

5 灵寿县货运车辆信用体系建设的优化对策

5.1 完善制度体系,筑牢信用建设根基

5.1.1 优化信用评价指标体系

结合灵寿县货运行业特点,细化量化评价指标,增强指标的针对性与可操作性。增加动态运营数据指标,如运输时效达标率、货损货差率、装载合规率等;引入第三方评价机构参与指标设计与评价工作,提高评价结果的客观性与公正性。参考海南的信用评分标准,合理调整指标权重,突出安全管理、合规经营等核心指标的重要性。

5.1.2 健全配套制度

制定信用修复管理办法,明确信用修复的条件、程序、方式等,建立“整改—培训—验证—修复”的闭环机制,鼓励失信主体主动整改、修复信用;完善信用信息安全管理度,明确信息采集、存储、使用、共享等各环节的安全责任,加强信息安全技术防护,防范信息泄露风险;制定部门协同监管操作规程,明确各部门的职责分工、数据共享时限、联合执法流程等,保障协同监管有序高效开展。

5.2 强化数据治理,提升信息共享水平

5.2.1 深化部门协同

进一步完善联席会议制度,加强与公安、应急、市场监管、税务等部门的沟通协调,建立常态化的数据共享机制,明确数据共享的范围、内容、方式与责任,打破数据壁垒;推动信用信息平台与政务服务数据平台、公安交通管理平台、应急管理平台等系统的互联互通,实现信用信息的实时归集与共享。

5.2.2 提升数据质量

建立信用信息归集审核机制,明确数据采集责任主体,规范数据采集流程,确保数据的准确性、完整性与及时性;加强对数据的清洗、整理与校验,定期开展数据质量检查,及时纠正错误数据;拓宽数据采集渠道,整合动态监控数据、电子运单数据、第三方评价数据等,丰富信用信息维度,为信用评价提供全面支撑。

5.2.3 升级技术平台

加大信用信息平台的技术投入,升级平台功能,增加

数据挖掘、智能分析、风险预警、信用画像等模块,运用大数据、人工智能等技术对信用数据进行深度分析,识别潜在的失信风险,为监管决策提供科学依据;优化平台用户界面,提升操作便捷性,方便执法人员与社会公众使用。

5.3 拓展应用场景,增强信用激励约束效应

5.3.1 创新评价方法

引入大数据、人工智能等技术,构建智能化信用评价模型,实现信用评价的自动化、精准化与动态化;结合年度评价与实时评价,建立“日常积分+年度总评”的评价模式,实时反映主体的信用状况变化;鼓励第三方机构参与信用评价,形成政府评价与第三方评价相结合的多元化评价格局。

5.3.2 拓宽应用范围

推动信用评价结果在市场交易、金融信贷、保险费率、评优评先等领域的广泛应用。联合金融机构推出“信用贷”产品,对信用等级高的企业给予优惠贷款利率与便捷贷款服务;引导保险公司根据信用等级制定差异化保险费率,激励企业和个人诚信经营;将信用等级作为评优评先的重要依据,增强激励措施的吸引力^[4]。

5.3.3 强化奖惩力度

加大对诚信主体的政策扶持力度,在政府购买服务、项目招投标、财政补贴等方面给予更多倾斜;完善失信惩戒措施,扩大惩戒范围,提高惩戒力度,对严重失信主体依法采取市场禁入、联合惩戒等措施,形成强大威慑力;建立失信行为曝光机制,定期向社会公开严重失信主体名单与典型案例,强化社会监督。

6 结语

未来,灵寿县应立足货运行业发展实际,以制度完善为基础,以技术赋能为支撑,以协同治理为保障,以意识培育为引领,持续推进货运车辆信用体系建设。通过优化评价指标体系、深化部门信息共享、拓展信用应用场景、加强执法能力建设等措施,不断提升信用体系的科学性、针对性与可操作性,充分发挥信用在行业治理中的基础性作用,规范货运市场秩序,降低安全风险,促进货运行业高质量发展,为区域经济社会发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 侯浩楠,李正中,楚常青,等.科技创新驱动下道路运输安全防控路径研究[J].综合运输,2025,47(12):49-54
- [2] 郑娟.行政记录转化成统计报表数据的实现路径——以道路运输行业公路货物营运车辆拥有情况统计为例[J].中国储运,2025,(10):135
- [3] 贾玉振,齐德玉,祁雄贵,等.论道路运输行业“两个安全责任”落实对策与建议[J].汽车维护与修理,2025,(15):11-13
- [4] 靳亮.道路运输档案安全管理机制创新研究[J].办公室业务,2025,(13):105-107.

Research on Quality Evaluation and Control of Road Engineering Based on Nondestructive Testing Technology

Zhaofu Wu

Transportation Bureau of Hui Ren Manchu Autonomous County, Benxi, Liaoning, 117200, China

Abstract

Road engineering quality directly impacts traffic safety, operational efficiency, and infrastructure longevity. With increasing traffic volumes and complex service environments, traditional quality assessment methods relying on manual inspections and damage detection have become inadequate for modern road engineering's demands for precision and scientific management. Non-destructive testing (NDT) technology, characterized by its non-destructive nature, high efficiency, and comprehensive data acquisition, has emerged as a critical tool for road quality evaluation and control. Rapid detection of subgrade, pavement, and material conditions provides reliable data support for construction quality monitoring, structural defect identification, and maintenance decision-making. This paper analyzes the development status, typical methods, and applicability of NDT technology, explores its pivotal role in road engineering quality evaluation systems, intelligent monitoring platform construction, and lifecycle management, aiming to provide theoretical references and practical guidance for establishing a more scientific and efficient road engineering quality control system.

Keywords

Non-destructive testing; Road engineering; Quality evaluation; Structural monitoring; Life cycle control

基于无损检测技术的道路工程质量评价与控制研究

吴兆富

桓仁满族自治县交通运输局, 中国·辽宁 本溪 117200

摘要

道路工程质量关乎交通安全、运行效率及基础设施寿命。随着交通量增长与服役环境复杂化,传统依赖人工巡查与破损检测的质量评价方式已难以满足现代道路工程对精准化、科学化、科学化管理的需求。无损检测技术因其不破坏结构、检测效率高、信息获取全面等优势,正在成为道路质量评价与控制的重要手段。通过对路基、路面及材料状态进行快速检测,可为施工质量监控、结构病害识别与养护决策提供可靠数据支撑。本文围绕无损检测技术的发展状况、典型方法及其适用性进行分析,探讨其在道路工程质量评价体系、智能监测平台建设及全寿命周期管理中的关键作用,旨在为构建更加科学、高效的道路工程质量控制体系提供理论参考与实践依据。

关键词

无损检测; 道路工程; 质量评价; 结构监测; 全寿命周期控制

1 引言

在我国交通基础设施建设持续推进的背景下,道路工程规模不断扩大,使用环境呈现高荷载、高频次、多应力耦合等特点,道路结构在服役周期中容易出现车辙、裂缝、脱空及沉陷等病害,给安全运行带来隐患。传统质量评价方式多依赖人工巡查与局部破损检测,存在检测范围有限、效率过低及缺乏连续性问题,难以满足道路工程对实时性与科学化质量控制的要求。无损检测技术的兴起为道路工程质量提供了新的技术路径。通过利用超声波、雷达、红外成像、压实度检测仪等手段,可在不破坏结构的前提下实现

对内部缺陷、结构性能及材料状态的准确识别,为工程质量控制提供可靠依据。无损检测与数字化平台结合,还能实现道路结构的动态监测与趋势预测,有助于构建全周期质量保障体系。本文围绕无损检测技术在道路工程中的应用展开研究,从技术特点、评价方法与控制策略三个方面构建系统性分析框架,旨在推动道路工程质量管理向高精度、智能化方向发展。

2 无损检测技术在道路工程中的应用基础

2.1 无损检测在道路工程质量管理中的作用定位

无损检测技术的核心优势在于无需破坏路面或路基即可获取内部结构信息,使检测过程高效、安全且可持续,为道路工程质量管理提供数据基础。在施工阶段,无损检测可以用于压实质量、材料均匀性与层厚控制的及时评价,使工

【作者简介】吴兆富(1980—),男,中国辽宁本溪人,本科,工程师,从事交通运输工程规划管理及质量控制研究。

程偏差得以及时修正。在运营阶段,通过对裂缝发展、脱空、分层及结构老化的监测,可提前识别潜在病害,降低道路结构失效风险。在养护决策中,无损检测提供的连续性数据可作为制定维修策略、分析劣化机理的重要依据,使管理部门能够以科学方式确定养护优先级。无损检测的作用不仅停留在“发现问题”,更重要的是为工程质量的动态调控、寿命预测与风险管理提供依据,使道路工程管理实现从经验主导向数据驱动的转变。

2.2 道路结构复杂性对无损检测提出的要求

道路结构由路基、基层、面层等多层材料构成,其力学响应受材料性能、荷载作用、环境条件交互影响,呈现明显的非线性与时变性特点。道路内部缺陷往往隐蔽且分布随机,使检测过程需要具备高分辨能力与多维度信息采集能力。无损检测技术必须适应不同材料的介电特性、波速差异及荷载条件变化,以实现准确反映道路真实状态。此外,道路工程对检测效率要求较高,不影响交通通行是其关键约束之一,促使检测设备需具备移动化、自动化和大范围快速扫描能力。复杂结构条件推动无损检测技术不断发展,使其从简单单点检测走向多源融合检测、智能分析与数据可视化。

2.3 无损检测数据在道路质量评价体系中的核心价值

无损检测技术的应用核心在于数据价值的体现。道路工程质量评价需要基于材料强度、密实度、结构层厚、缺陷深度及连续性等多项指标,无损检测能够提供丰富的数据源,通过对路面雷达图像、超声波反射信号、压实度曲线等信息的分析,可形成道路结构状态评价模型。在现代工程管理模式中,无损检测数据常被用于建立健康监测系统,使道路结构状态得以长期追踪。此外,数据的历史累积可揭示结构劣化趋势,为寿命预测与养护策略制定提供依据。无损检测数据的可视化和数字化处理,使道路工程从“静态验收”转向“全过程质量控制”,显著提升管理科学性。

3 典型无损检测技术及其适用性分析

3.1 地质雷达检测技术(GPR)

地质雷达通过电磁波在道路结构中的传播反射规律识别内部层状结构与缺陷,是道路工程应用最广的无损检测手段之一。GPR具有检测速度快、适用范围广与数据丰富等特点,对路面层厚测量、脱空探测和分层识别具有良好效果。在沥青路面中,GPR能够识别不同材料界面的反射差异,为结构均匀性评估提供依据。其适用性受介电常数变化影响较大,在含水量高或金属干扰环境中,信号噪声会增加,需要采用滤波与信号增强算法提高分析精度。GPR适用于大范围道路巡检,尤其在高速公路养护管理中具有重要价值。

3.2 超声与声波检测技术

超声波检测利用声波在材料内部传播速度与衰减特性识别结构缺陷,适用于混凝土基层、衬砌结构及早期损伤检测。超声检测能够评估道路结构的密实度、裂缝发展与材料

均匀性,为结构性能判断提供精确依据。声波法如冲击回波技术在识别脱空、空鼓和分层方面效果突出,特别适用于混凝土路面与桥面铺装检测。声波类技术精度较高,但对现场环境要求较高,噪声与材料粗糙度会影响数据稳定性。在精细化检测与结构性能评价中,超声技术仍是最可靠的手段之一。

3.3 红外热成像检测技术

红外热成像通过材料吸收与散热差异识别道路结构内部缺陷,在车辙、脱空与早期裂缝监测中具有显著优势。当路面结构存在空鼓、脱空或密度异常时,其温度分布会出现差异,从而在红外图像中形成特征信号。该技术具有非接触、高效率等特点,特别适用于沥青路面快速巡查。其受环境温度、太阳辐射和风速影响较大,需要通过图像处理与场景校准提升检测精度。作为快速筛查手段,红外技术可在短时间内识别潜在病害,为进一步精细检测提供定位依据。

4 无损检测技术在道路工程质量评价中的应用路径

4.1 基于多技术融合的病害识别体系构建

道路病害的类型复杂、空间分布差异明显,单一无损检测方法往往受限于探测深度、分辨率或环境干扰等因素,难以对结构状况进行精准判断。基于多技术融合的病害识别体系能够整合不同检测手段的优势,实现更全面的结构评价。例如,地质雷达可提供深层结构反射特征,而红外热成像能够捕捉表层温度异常,将二者联合分析可实现对脱层、空鼓、裂缝早期扩展的同步识别。超声波检测在材料密实度与内部裂纹识别方面具有高精度优势,与弯沉测试的整体结构刚度评价结果结合,可构建层次化病害识别模型。多技术数据融合不仅提高识别可靠性,还可通过机器学习算法建立病害分类模型,对病害位置、严重程度及未来演化趋势进行预测。融合体系的构建使道路病害检测从单点判断走向多维数据支持下的科学识别,为质量评价提供了更稳定的技术基础。

4.2 无损检测在施工质量控制中的应用

施工阶段是道路工程质量形成的关键时期,无损检测技术在此阶段的应用能够有效防止结构性缺陷的产生并提升施工管控能力。压实质量检测是保障路基稳定的重要环节,通过便携式压实度检测设备,可实时获取压实参数,减少人为经验判断导致的偏差。GPR面层厚度监测可在铺筑过程中连续扫描,确保结构层厚度满足设计要求,并及时发现局部施工异常,降低后期病害风险。红外热成像技术在沥青路面施工中的应用尤为关键,可监测铺筑温度分布情况,迅速识别低温接缝、温度离析等质量隐患,使施工单位能够及时调整工艺参数。通过无损检测构建动态施工质量控制体系,使施工质量管理由事后验收转向过程监管,显著提高工程整体质量和耐久性,为道路投入使用后的结构稳定奠定

基础。

4.3 无损检测在道路运营与养护中的数据价值

道路在长期运行中受到交通荷载、环境因素及材料老化的影响,结构性能不断衰减,病害监测与养护管理成为保证道路安全的重要任务。无损检测技术能够对路面结构进行周期性、非破坏性的监测,为运营管理提供连续数据支持。例如地质雷达可用于脱空、分层的长期跟踪监测,声波检测则在裂缝深度变化识别方面具有重要作用,红外热成像可对车辙区域温度异常进行快速筛查,从而识别表征材料变形的潜在风险。通过累积多期检测数据,管理部门可建立结构劣化模型,掌握病害的发展趋势,实现养护策略的科学制定。在建立优先级排序与预算优化方面,无损检测数据亦能够提供可靠依据,使养护资源分配更加合理。随着智能化平台的发展,检测数据可输入道路健康评价系统,实现自动化判断与动态预警,使道路全寿命周期管理更具精准性与前瞻性。

5 基于无损检测的道路工程质量控制策略

5.1 构建全过程质量监控体系

全过程质量监控体系强调在道路工程设计、施工、验收与运营的各阶段形成动态、连续、可回溯的质量管理链条。将无损检测技术融入设计阶段,可利用既有工程检测数据库分析不同路面结构组合、材料性能与环境条件之间的对应关系,为结构设计优化提供科学支撑。在施工阶段布设移动式或在线监测设备,使路基压实度、层厚控制、材料均匀性等关键指标实现实时监测,避免因施工偏差导致质量隐患。在工程验收环节,将无损检测结果作为核心评价依据,通过量化数据增强验收结果的客观性与一致性。道路进入运营期后,通过建立结构健康档案并实施周期性监测,可及时捕捉病害萌生和劣化趋势,为风险预警与养护计划制定提供依据。全过程质量监控体系的构建,使道路工程质量控制由阶段性管控转向持续性管理,有助于提升道路全寿命周期性能水平。

5.2 推进无损检测与信息化平台的深度融合

无损检测技术产生的数据量大、维度多,将检测结果接入信息化平台能够显著提升道路工程管理效率。通过构建道路工程信息管理系统,实现数据的集中存储、智能分析与可视化展示,从而形成动态监测网络。三维道路病害模型可将雷达数据、声波信号及热成像信息整合为可视化结构图,便于管理人员快速定位病害深度与范围。结构健康指数的构建则可利用检测数据评估路面整体状况,为维护优先级排序提供依据。风险评价矩阵可结合历史数据与环境因素,对特

定路段的劣化风险进行概率分析,实现预防性养护。云平台的应用使跨区域数据共享成为可能,多个管理单位可同时调取检测信息,实现互联互通的协同管理。信息化平台与无损检测的融合,使道路工程管理向智能化、精细化方向发展,提高决策准确性与资源利用效率。

5.3 提升检测技术标准化与人员专业化水平

无损检测技术在道路工程中的广泛应用离不开标准体系的建立与专业人才的支撑。检测技术涉及设备选型、数据采集、信号处理与结果判读等多个环节,若缺乏统一规范,可能导致检测结果差异明显,影响工程质量评价的准确性。因此制定覆盖设备校准、操作流程、数据格式、评价指标等方面的标准体系十分必要。技术标准化不仅提高检测工作的可重复性,也为行业监督提供依据。此外,检测人员的专业素养直接关系到检测质量,需要通过系统培训提升其设备操作能力、数据处理水平与病害判读能力。建立资格认证制度,推动检测团队不断更新技术知识,可增强行业整体实力。通过技术标准化与人才专业化的共同推进,无损检测行业能够形成规范化发展路径,为道路工程质量控制提供长期可靠的技术保障。

6 结语

无损检测技术作为现代道路工程质量管理的的重要组成部分,在工程施工、结构评价与养护决策等方面发挥着不可替代的作用。其高效、准确、非破坏性的特点使道路工程管理从传统经验式向数据驱动式转变,为提高基础设施安全性和使用寿命提供了新的技术路径。随着检测技术与信息化、智能化手段的结合,无损检测将在道路工程全寿命周期中发挥更关键的作用。未来,应进一步加强技术融合研究、完善标准体系、推动管理模式创新,使无损检测成为道路工程质量控制体系的核心力量,为交通基础设施的高质量发展提供可靠保障。

参考文献

- [1] 杨梦果,饶龙.无损检测技术在公路水运工程质量评价中的应用研究[J].运输经理世界,2025,(20):16-18.
- [2] 杨梦果,饶龙.无损检测技术在公路水运工程质量评价中的应用研究[J].运输经理世界,2025,(18):139-141.
- [3] 周巧灵.公路工程质量监督中无损检测技术的应用研究[J].产品可靠性报告,2025,(12):121-122.
- [4] 贺慧涛.道路工程无损检测技术应用[J].交通建设与管理,2025,(06):185-187.
- [5] 王康.无损检测技术在农村公路工程质量监督中的应用[J].汽车画刊,2025,(11):115-117.

Discussion on the Optimization Path of Daily Management of Station Liaison Officers in High-speed Railways

Junqiang Li

Taiyuan Bureau Group Company Dispatching Office, Taiyuan, Shanxi, 030013, China

Abstract

In recent years, China's high-speed railways have achieved leapfrog development, with the "eight vertical and eight horizontal" high-speed rail network gradually taking shape. The large-scale application of the centralized dispatch control system (CTC) has driven profound changes in the organizational forms, structures, and content of daily railway operations. Against this backdrop, station liaison officers have emerged as a critical hub connecting dispatching offices with equipment management units such as engineering, signaling, power supply, and communications. Their responsibilities, including instruction transmission, information exchange, and emergency response, directly impact the safety of high-speed rail operations and transportation efficiency. Based on management practices of lines such as the Wuhan-Dalian High-Speed Railway, Datong-Xi'an High-Speed Railway, Zhangjiakou-Dalian Passenger Dedicated Line, and Zhengzhou-Taiyuan Passenger Dedicated Line under the Taiyuan Railway Bureau Group, this paper systematically reviews the current status and prominent issues in the daily management of station liaison officers, proposes targeted optimization paths, and provides practical references for improving industry management levels.

Keywords

High-speed railway; Station liaison; Daily management

高速铁路驻所联络员日常管理优化路径探讨

李俊强

太原局集团公司调度所, 中国·山西太原 030013

摘要

近年来, 中国高速铁路实现跨越式发展, “八纵八横”高铁网络逐步成型, 调度集中控制系统(CTC)的大面积推广应用, 推动铁路日常作业组织形式、架构与内容发生深刻变革。在此背景下, 驻所联络员作为连接调度所与工务、电务、供电、通信等设备管理单位的关键枢纽应运而生, 其承担的指令传达、信息交互、应急处置等工作, 直接关系到高铁行车安全与运输效率。基于太原局集团公司乌大高铁、大西高铁、张大客专、郑太客专等线路的管理实践, 本文系统梳理驻所联络员日常管理的现状与突出问题, 提出针对性优化路径, 为提升行业管理水平提供实践参考。

关键词

高速铁路; 驻所联络员; 日常管理

1 引言

作为连接调度所与工务、电务、供电、通信等设备管理单位的“桥梁纽带”, 驻所联络员长期在调度所现场办公, 承担着指令传达、信息交互、施工登记、应急处置等关键任务, 是保障高铁运营链条顺畅运转的重要环节。尽管驻所联络员隶属于各设备管理单位, 但其工作直接嵌入高铁行车组织核心流程, 其业务能力、责任意识和行为规范程度, 直接影响调度指令执行效率、设备维修作业安全及应急处置时效性。

【作者简介】李俊强(1980—), 男, 中国山西忻州人, 本科, 工程师, 从事铁路运输组织研究。

2 高速铁路驻所联络员管理现状与突出问题

2.1 人员结构现状

截至2025年12月1日, 某区域高铁相关作业点涉及多个岗位, 各设备管理单位共配备驻所联络员共计28名, 其中供电专业11名、工务专业4名、电务专业10名、通信专业3名。

从人员结构来看, 存在一定的不均衡问题: 年龄结构: 28名驻所联络员中, 20-30岁共3名, 占比约10.7%; 30-40岁共10名, 占比约35.7%; 40-50岁共10名, 占比约35.7%; 50岁以上共5名, 占比约17.9%。整体呈现“中年群体占比集中、青年人员数量偏少”的特点, 50岁以上人员需关注其对业务更新内容的适应情况。学历结构: 中专及以下共3名, 占比约10.7%; 专科学历共15名, 占比约53.6%; 本科及以上学历共10名, 占比约35.7%。其中本科及以

上人员主要集中在电务、供电专业，工务专业暂未配备本科及以上学历人员，低学历人员在专业规章理解等方面可能存在短板，需加强针对性技能培训。

此外，人员专业背景不均衡，70%以上人员仅熟悉本专业设备知识，跨专业认知严重不足，影响跨部门协同作业效率。部分单位将驻所联络员岗位作为“安置岗”，准入门槛低，缺乏有效退出机制，进一步拉低了队伍整体素质。

2.2 突出管理问题

2.2.1 规章与设备知识掌握不扎实

驻所联络员对核心规章制度的理解和执行存在严重偏差。以《中国铁路太原局集团有限公司高速铁路行车组织细则》中人员上线规定为例，要求上线作业前需在《行车设备检查登记簿》登记，并申请“本线封锁（横越线路时需横越的线路应封锁）、邻线列车限速80km/h及以下”，但部分驻所联络员未严格执行该规定，横越线路时未按要求封锁相关线路，仅靠列车调度员“侥幸发现”规避事故风险，给运营安全埋下重大隐患。

在设备知识方面，部分人员对本单位设备构造、技术参数掌握不熟练，跨专业设备知识更是一知半解。在故障应急处置中，无法准确传递设备故障信息，仅起到“传声筒”作用，难以辅助调度员快速制定处置方案。

2.2.2 运统-46登销记操作不规范

《太原铁路局高速铁路<行车设备检查（施工）登记簿>》（太铁运[2014]688号）明确了运统-46登销记的填记模板和要求，但部分驻所联络员未能熟练掌握，登记过程中频繁出错。有的多次使用作废戳，有的关键数据填写错误，如限速里程、通道位置偏差；更有甚者在非正常应急处置时，空手上台作业，未携带必要的笔和作业资料，严重影响作业效率和准确性。

2.2.3 基础文字表达能力薄弱

驻所联络员的文字表达能力直接影响信息传递的准确性。实际工作中，部分人员登销记内容频繁出现多字、少字、错别字现象，如将“封锁”误写为“封所”；文句语义不清、模棱两可，存在歧义，导致调度员与设备单位之间产生理解偏差，影响作业协同。

2.2.4 日常行为规范缺失

由于驻所联络员作业地点远离所属单位，长期离家且缺乏有效监管，部分人员自我约束能力差。工作期间饮酒、从事与工作无关事务等行为时有发生，更有甚者因个人不当行为引发安全事故。2024年就发生过由于某驻所联络员乱扔烟头，导致卫生间垃圾桶起火的事件，险些酿成重大火灾，暴露出安全意识和行为规范的严重缺失。

2.2.5 考勤与监管机制松散

当前考勤管理主要依赖手工签到，存在代签、提前签到、迟到早退等问题，部分人员无故脱岗、擅离职守，导致调度所与设备单位沟通中断。同时，“双重管理”模式导致责任

划分模糊：设备管理单位因距离较远难以实施日常监管，调度所缺乏人事管理权，对违规行为处置力度有限，形成“管理真空”，难以实现对作业全过程的有效管控^[1]。

3 驻所联络员日常管理优化路径

3.1 优化人员配置，筑牢队伍基础

3.1.1 建立严格准入机制

明确驻所联络员的准入标准：年龄控制在25-45岁之间，本科及以上学历优先（工务、供电专业可放宽至专科），需具备相关专业知识和2年以上铁路现场工作经验。通过规章考试、实操考核、综合素质测评等多层筛选，确保上岗人员具备基本履职能力。

3.1.2 优化队伍结构

实施“年轻化、高学历、专业化”建设计划：通过校园招聘、内部选拔等方式，引进铁路相关专业全日制本科毕业生；鼓励设备单位优秀青年员工转岗至驻所联络员岗位；对年龄偏大、业务能力不足的人员，进行转岗安置或集中培训提升，逐步将50岁以上人员占比降至5%以下，本科及以上学历占比提升至40%以上。

3.1.3 建立动态退出机制

制定明确的退出标准：连续两次业务考核不合格、年度累计三次违规违纪、发生安全责任事故的，予以清退。每年开展一次综合考评，根据考勤、业务能力、作业表现等进行优胜劣汰，保持队伍活力。

3.2 强化业务培训，提升履职能力

3.2.1 构建系统化培训体系

针对驻所联络员的岗位需求，建立“岗前培训+在岗培训”的全周期培训机制。岗前培训为期2个月，重点学习高铁基础知识、核心规章制度、运统-46登销记操作、应急处置流程和文字表达规范，培训结束后需通过理论考试、实操考核和应急演练方可上岗。

在岗培训实行“月度集中学习+季度专项训练”模式：每月组织一次集中培训，学习最新规章文件、设备更新信息和典型案例；每季度开展专项训练，针对登销记规范、应急处置、文字表达等薄弱环节进行强化。同时，根据年龄、学历、专业差异制定差异化培训方案，对年龄偏大、学习能力较弱的人员采取“师带徒”一对一帮扶，对低学历人员增设文字表达、计算机操作等基础课程。

3.2.2 创新培训方式方法

结合驻所联络员工作时间不规律的特点，搭建线上线下融合培训平台。线上平台上传规章文件、教学视频、作业案例等学习资源，供人员利用碎片化时间学习；线下每月组织一次集中授课，邀请调度专家、设备技术骨干进行现场指导和实操演示。同时，定期模拟现场设备故障工作场景，配备运统-46模拟登销记，演练设备故障处置过程；收集整理典型案例，包括正确操作案例和违规事故案例，通过案例分

析加深理解；每季度组织一次应急演练，模拟设备故障、人员上线作业违规等场景，提升应急处置能力。

3.2.3 强化培训考核与应用

每月或隔月组织业务知识考试，考试结果与绩效工资、评优评先直接挂钩。建立培训档案，记录人员培训情况和考核成绩，作为晋升、转岗的重要依据。通过以考促学、以训提能，推动驻所联络员熟练掌握规章要求、设备知识和作业技能，提升业务履职水平^[2]。

3.3 健全监管机制，规范作业行为

3.3.1 优化考勤管理方式

采用“面部识别+现场抽查”的考勤模式，依托集团公司门岗已有的面部识别系统，记录驻所联络员上下班打卡情况，所属部门逐月调取数据作为考勤依据；调度所每日开展两次现场抽查，核实在岗状态，杜绝代签、脱岗等问题。考勤结果与个人收入直接挂钩，迟到早退、无故缺勤者按规定扣减绩效工资。

实施考勤管理“三原则”：一是一视同仁，不论所属单位和部门，均由指定部门统一记录考勤，不搞特殊化；二是严格落实，将考勤制度细化到每月、每人、每个岗位，避免制度“挂在墙上、流于形式”；三是赏罚分明，在考勤管理基础上建立配套奖惩机制，强化制度约束力。

3.3.2 加强作业过程监管

建立运统-46登销记复核机制，驻所联络员完成登记后，由调度员进行初步复核，重点检查内容完整性、准确性和规范性，发现错误及时要求更正；每日作业结束后，调度所指定专人进行二次复核，确保台账记录无遗漏、无错误。

在驻所联络员固定工作区域安装监控摄像头，实时监控工作状态，重点防范工作期间饮酒等与工作无关的行为，监控数据保存3个月，便于后续检查和责任追溯。定期开展专项检查和不定期暗访，及时发现和纠正违规作业行为。

3.3.3 明确管理责任主体

成立由调度所牵头，各设备管理单位、安全监察部门参与的联合管理小组，明确各方职责：调度所负责日常作业指导、现场监督和业务考核；设备管理单位负责人员招聘、薪酬发放和职称晋升；安全监察部门负责安全监督和违规查处。定期召开联合管理会议，通报管理情况，解决突出问题，形成管理合力。

3.4 完善奖惩制度，强化激励约束

3.4.1 建立多元化激励机制

设立“优秀驻所联络员”“业务标兵”“应急处置先进个人”等荣誉称号，对获奖人员给予奖金奖励，并在薪酬调整、晋升中予以倾斜；将业务考核结果与绩效工资直接挂钩，考核优秀者绩效工资上浮20%-30%。

加强精神激励和人文关怀，对表现突出的人员在集团公司内部通报表扬，颁发荣誉证书；建立谈心谈话制度，定期了解人员工作困难和思想动态，帮助解决实际问题；改善工作和生活条件，配备必要的休息设施和办公用品，每年

组织一次健康体检和团建活动，增强职业认同感和队伍凝聚力。

3.4.2 强化违规约束与处罚

加大对违规违纪行为的处罚力度：对考勤违规、登销记错误等一般违规行为，予以通报批评、扣减绩效工资，并强制参加专项培训；对工作期间饮酒、擅离职守等严重违规行为，予以记过处分、绩效降级；对引发安全责任事故的，依法依规追究相关责任，直至取消驻所联络员资格、解除劳动合同。

调度所会同相关业务部门，按月、按工种统计驻所联络员的作业情况和考勤情况，对存在明显错误和不良影响的，签发安全问题责任通知书，明确奖惩措施，由所在单位严格执行，确保制度落地见效^[3]。

3.5 推进信息化建设，提升管理效能

3.5.1 升级电子登销记系统

不断升级电子登销记系统，全面替代传统手工登记，不断推进使用语音转化文字登销记方式，使登销记过程更加迅速、便捷、准确，系统内置运统-46填记模板和规范用语，自动提示必填项，对错误信息实时预警；支持数据自动校验和作业过程追溯，保存登记记录和修改痕迹，便于后续检查和责任认定，减少填写错误，提升作业效率。

3.5.2 搭建信息化管理平台

开发集考勤管理、培训学习、作业登记、考核奖惩等功能于一体的管理平台，实现信息共享和实时监控。考勤管理模块对接面部识别系统，自动生成考勤报表；培训学习模块提供线上课程和考试题库，支持在线学习和考核；考核奖惩模块记录人员作业表现和奖惩情况，生成个人考核档案，为管理决策提供数据支撑。

4 结语

高速铁路驻所联络员是保障高铁安全高效运营的重要力量，其日常管理水平直接关系到铁路运输安全和效率。当前驻所联络员管理存在人员结构失衡、业务能力不足、监管机制松散、奖惩制度不完善等突出问题，需通过系统性优化加以解决。随着高速铁路的持续发展和技术装备的不断升级，驻所联络员的工作内容和要求将不断变化，管理工作也需动态调整和持续优化。未来，应建立管理效果评估机制，定期总结经验、发现问题，不断完善管理制度和措施，持续提升驻所联络员管理水平，为我国高速铁路高质量发展筑牢安全防线。

参考文献

- [1] 张贵忠,施威. 面向全生命周期的高速铁路桥梁精细化建造技术[J].中国铁路,2025,(11):28-36.
- [2] 张彦景,邢建华. 铁路机务运用中的人员培训与安全意识提升[J].运输经理世界,2024,(08):160-162.
- [3] 江家梁.铁路工作人员上道安全管理系统研究[D].北京交通大学,2023.

Influence of Process Parameters on Welding Quality of Rail Flash Welding and Its Optimization

Dong Huang

Datong Track Maintenance Section, Datong Railway Co., Ltd., Datong, Shanxi, 037005, China

Abstract

As the preferred method for seamless track connections, rail flash butt welding is governed by the coordinated effects of multiple process parameters. This study synthesizes relevant field operation guidelines, domestic and international research findings, and industry standards to systematically analyze critical parameters influencing the mechanical properties and microstructure of welded joints. The paper further elucidates the mechanisms by which rail flash butt welding parameters affect welding quality, and proposes actionable optimization strategies for practical implementation.

Keywords

Rail; Flash welding; Process parameters; Welding quality; Influence; Optimization

铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量的影响及其优化

黄栋

大秦铁路股份有限公司大同工务段, 中国·山西 大同 037005

摘要

钢轨闪光对接焊作为无缝线路现场连接的首选方法, 其焊接质量受多类工艺参数协同作用制约。本文在吸纳相关现场作业指导细则的基础上, 结合国内外研究与行业标准, 对影响焊接接头力学性能与金相组织的关键参数进行归纳与分析, 现就铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量影响的作用机理展开剖析, 随后提出可落地实施的参数优化方案, 以供参考。

关键词

铁路钢轨; 闪光焊; 工艺参数; 焊接质量; 影响; 优化

1 引言

闪光对接焊为一种以电阻—挤压结合形式实现长输铁路焊接的现场对接技术, 其工艺核心为在控制间隙与夹持条件下以交替放电与轴向挤压力促使轨端金属熔融并形成冶金结合。该法在轨道施工中具有自动化高、焊口冶金结合好、生产节拍短等工程优势, 因此被广泛用于无缝线路的在线焊接与长期维护^[1]。中国轨道施工依托移动箱式焊装置, 实施对轨定位、端面平整、除锈与搭接量预置、空载参数确认、放电期与顶锻期节律控制以及焊后感应正火和精磨等工序链, 形成一套现场可执行的作业流程。

2 铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量的影响

2.1 电能输入节律与放电—顶锻时序对熔敛与组织的影响

闪光焊过程中电能输入以放电(闪光)阶段与顶锻阶

段交替实现, 放电阶段以瞬时电流使接触界面产生局部熔敛, 顶锻阶段以轴向挤压力破除氧化物与夹渣并完成金属冶金结合。这一节律决定了熔池形成速率、熔敛深度与熔合区温度场演化, 从而直接影响焊缝冶金连续性与焊缝中心线的组织演变。过度或不足的放电能量会导致两类典型缺陷: 能量过大时, 熔敛过深与局部过热引起热影响区晶粒长大、奥氏体化区宽化及潜在回火脆化; 能量不足时, 未能有效形成连续熔敛面, 易致未焊透、夹渣残留或沿熔合线分布的氧化物夹杂。顶锻动作的力学幅度与频率则影响熔渣挤出效率及界面间金属流动形态, 不当的顶锻节律会导致剩余熔渣滞留、局部密实度不足或焊缝断面不规则。电能节律与顶锻配合还决定热影响区(HAZ)的最大温度与冷却梯度, 从而影响焊缝与母材的显微硬度分布与力学性能一致性。因此, 放电电流曲线、放电时长、顶锻起始时机与挤压力幅度构成了决定焊接金相与力学指标的首要工艺变量。

2.2 焊接热输入与顶锻量对接头金相场与硬度梯度的影响

焊接热输入决定焊态区及热影响区的能量累积程度, 热输入过高会显著拓展热影响区宽度并因冷却速率变化造

【作者简介】黄栋(1981—), 男, 中国天津人, 本科, 助理工程师, 从事钢轨焊接研究。

成回火带与淬火带的不均匀分布,从而在纵断面上形成宽而缓的硬度曲线,可能降低接头韧性并增大裂纹敏感性;相反,热输入过低会使焊缝熔化不足或内部未焊透,导致夹杂、气孔及结合面缺陷。顶锻量作为固态成形与金属流动的直接驱动,既可消除部分熔渣与夹杂物并细化晶粒,又可能在顶锻过猛时引入过度塑性流动使焊缝组织粗化或产生局部冷裂纹^[2]。实验与工程观测表明,随着顶锻量的增加,硬度差异先增大后趋于平缓,而热影响区宽度总体呈减小趋势,这提示在保证熔敷与致密化的前提下,需要对热输入与顶锻量实现协同匹配以获得均匀硬度场与满足力学性能的接头。

2.3 感应正火温度与喷风冷却曲线对显微组织与表层硬度的影响

感应正火的加热峰值温度与喷风触发时机、喷风强度及终止温度共同决定焊缝与热影响区相变路径。若峰值加热至 880~920°C 但喷风冷却过猛或终冷温度控制不当,局部冷速可能超过贝氏体/马氏体转变临界值,形成高硬马氏体层,从而导致表层硬度异常升高并降低接头冲击韧性;反之,喷风不足或正火温度过低会使回火不充分,维持过软的珠光体股。现场箱式焊工序中,要求轨头加热最高温度控制与喷风前踏面最低温度的配合以避免过烧或欠回火,实际作业中通过手持红外测温与定时喷风工艺来控制温度曲线,从而控制显微组织相成分与纵向硬度剖面。工艺稳定性直接影响后续探伤判定与服役性能。

2.4 端面几何、搭接量与拨弯控制对焊后变形与残余应力的影响

接头端面斜度、端面平整度与尖点尺寸决定初始熔敷与成形的接触一致性,若端面斜度超标或搭接量(ΔLd)计算不当,会导致顶锻后表面偏置、轨头工作侧错边或轨顶中段上拱,从而形成不利的局部应力集中与外形缺陷。拨弯与搭接量还直接关系到焊接前后的锁定轨温拉伸量与起拱引起的长度增量,不当的拨弯控制在顶锻与冷却过程中易产生回弹与残余应力梯度,进而影响探伤结果与长期疲劳裂纹增长。现场通过严格测量端面斜度($\leq 0.6\text{mm}$)和按公式计算拨弯量,并配合轨距杆与垫块布置来控制焊前几何状态,这些做法对降低焊后修磨量与探伤不合格率具有直接作用^[3]。

3 铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量影响的优化

3.1 电能节律与顶锻时序的程序化控制与闭环校正

为确保放电—顶锻节律对熔敛形貌与热影响区组织的可重复性,应在箱式焊作业中建立细化的工艺档案与核查流程,依据不同牌号钢轨及环境温度条件,制定放电电流、放电时长与放电次数的标定表,要求现场焊工在焊前逐项核对并记录,以减少凭经验调整的随意性。其次,对顶锻工序实施力—位移同步监测,现场在顶锻机构上布置荷重传感器与位移测杆以获得挤压力波形与轴向位移曲线,操作人员据

此判定顶锻起始、峰值与回程是否满足工艺窗,若出现峰值偏移或行程不足应暂停并按规程复位后重焊,同时对传感器每班校验并保留校验记录,且应规定顶锻峰值与行程的容许上下限以便快速判定。第三,在放电与顶锻之间采用温度与接触电阻的直接量测作为闭环依据,建议在轨端侧布置热电偶并采集接触电阻读数,由现场读值指导后续顶锻时机及第二阶段能量投放的人工微调,以把握熔敛深度与熔渣挤出效率,设备热偶位置与电阻取样点应在作业指导书中列明并定期复核,读数若连续偏离设定窗应按程序回溯原因并停工检修。第四,施工现场必须建立详尽的焊口工艺档案制度,按焊口记录放电参数、顶锻力位、热电偶温度曲线与探伤结果,并通过班组交接与周期性统计将探伤缺陷类型与过程参数关联,以实现参数修正并建立定期回顾机制,由工程师与班组每月汇总解析参数与探伤不合格案例,形成改进措施并更新作业指导书,此外应保存代表性焊口的金相与硬度试样以便开展实验室对比分析。整个过程要求将箱式焊现场操作要点写入交接清单并作为日常培训内容,确保焊工熟悉放电—顶锻节律判定方法与异常处理流程。

3.2 针对热输入与顶锻量的优化

为确保焊缝致密与热影响区可控,铁路钢轨闪光焊工艺参数中须针对热输入与顶锻量予以优化,具体为:首先需建立以钢轨材质与环境温度分级的能量区间并将其转化为可执行的作业参数库,参数项包括能量积分、放电持续时长与顶锻位移三项,所有参数应以表格形式固化并在班前交底。第一,正交试验设计与参数标定。选取代表性轨材与三档环境温度作为试验因子,采用正交布置并以超声探伤缺陷率、纵向硬度剖面与金相晶粒尺寸为响应指标,逐步缩减因子空间直至找到能量—顶锻配对的稳态窗,该窗即用于现场初始投用,试验过程须记录焊接曲线与顶锻触发时刻以便回溯验证。第二,现场 A/B 对照验证。在同一轨段内并行施焊两套参数方案,分别统计当天探伤合格率、返工次数与精磨量,比较结果应用非参数检验以确认统计学显著性,若优化组显示持续优势则逐步放大应用范围并修正参数库。第三,关键判定指标与停焊规则。将峰值电流、能量积分与顶锻前后能量变化率定义为三项关键判定指标,并为每项设定上下限阈值;当任一指标超限应立即停止后续焊接并进行端面复核与局部重焊,判定流程以书面记录为准并纳入焊缝档案^[4]。第四,迭代更新与物证留存。建立参数—质量数据库,按季度汇总试验与现场数据,采用回归分析修正参数窗;所有焊缝应留存焊接曲线、温度记录与探伤报告,必要时进行硬度剖面与断口力学试验以补充数据库,逐步将优化成果固化为班组操作规程。

3.3 针对感应正火温度与喷风曲线的工艺闭环控制

为在箱式焊现场实现感应正火与喷风的可复现控制,提出四项工程化细则以供班组执行与管理。第一,温度曲线模板与测点布设:依据钢轨牌号与环境温度编制三段式曲

线,分别明确预热、正火峰值与终冷控制节点,测点固定于轨头中心、轨底角与踏面近端三处,采用便携式红外仪逐点采样并记录峰值及平均升温斜率,若任一点偏离曲线超出容差则按工艺单调整加热功率或延长持温时间并记录处置措施。第二,喷风触发与流量规范:喷风系统采用定压定流喷嘴并设置喷风启动阈值,以踏面温度为主触发信号,喷风持续时间按终冷温度区间确定且以温降率为监控指标,喷风前需校验喷嘴流量与喷射角度以保证冷却均匀并将喷风参数写入焊缝档案。第三,分段加热与功率分配策略:实行低频预热消除温场非均匀后以高频快速正火完成峰值加热,预热时段用于降低热裂敏感性且缩短高频段时间以减小过烧风险,分段功率比与各段持续时长通过受控试验标定并形成参数表供现场调用,试验记录包括各段能量积分与对应金相硬度剖面。第四,放行温度与目测核验流程:明确放行前焊缝最低温度阈值并要求放行前由两人完成踏面色泽、焊筋形态与表面裂纹的目测核验,所有温度曲线、喷风记录及核验照片需装订进焊缝质量档案以供探伤前审查并作为后续质量追溯依据。

3.4 针对端面几何与搭接拨弯的实操规范与质量控制

为将端面几何与搭接拨弯管控落到现场,提出四项细化措施供施工执行。第一,预制环节采用经校准的切割与倒角工艺,并在切割后立即用宽座角尺、千分尺与数字读数尺对端面斜度、平整度、尖点高度与工作侧偏差逐项量测,量测超差的端面在数控打磨机上按工艺余量分步精整至 ≤ 0.6 毫米,量具每日检定记录与设备月检报告一并归入焊接质量档案并由班组长确认。第二,核验环节依据 $\Delta L_d = \Delta L_w + \Delta L_g + \Delta L_f - \Delta L$ 精算所需搭接量,核算时必须将轨区环境温度与轨材静态热膨胀系数、道床约束系数及预期放行温度纳入修正因子并计算最小与最大搭接容差,核算结果由两名工程技师独立复核并在搭接单与施工日志上签字盖章以备追溯^[5]。第三,执行环节实施分段垫块与轨距杆组合支撑并规定撬棍手与支垫布置间距与序列,采取力矩扳手统一紧固并在顶锻前30秒按程序撤除临时固定以避免回

弹影响成形,顶锻后立即用塞尺、1米直尺与数字投影仪对轨顶高差、轨头错边与局部上拱进行测量并将结果录入检测表。第四,质量闭环要求对拨弯后与顶锻后轨位开展沿线线形测量与弧垂检测,抽检比例与判定标准按工务演算法执行并对超差接头按返工或精磨流程处置,所有量测数据、影像记录、复核签字与探伤报告一并装订入焊缝档案并建立季度质量分析表以支持工艺修订与人员培训。此外,应将关键量测项纳入班前培训与半年度工艺评审,确保操作人员掌握判定标准并按流程执行。

4 结语

综上所述,铁路钢轨闪光焊质量的提升并非单一参数调整可致,而需在电能输入节律、热输入与顶锻量的优化、感应正火温度与喷风曲线控制、端面几何与搭接拨弯规范四大维度同步实施工程化控制。将关键参数程序化、实时化与存档化,并以探伤结果为反馈驱动改进,可在工程现场实现缺陷率的显著下降与焊缝性能的一致性提升。基于作业指导书的具体条目与中国研究成果的整合性实践表明,制度化的工序检查与闭环数据管理是把控闪光焊质量的实务路径。未来工作可在该框架下开展针对不同钢轨牌号的参数细化试验与统计学验证,以进一步完善标准化参数库与智能监控手段。

参考文献

- [1] 张猛.重载铁路钢轨移动闪光焊焊接工艺的优化[J].太原铁道科技, 2023(4):4-6.
- [2] 高松福,宋宏图,郭林泉,等.既有线采用闪光焊插入短轨施工技术[J].工程建设(维泽科技), 2023, 6(4):120-122.
- [3] 邓佳荣,李晓雅,王晓,等.喷风冷却工艺对U75V钢轨闪光焊接头硬度及残余应力的影响[J].热加工工艺, 2023(5).
- [4] 王朋.浅析铝热焊,闪光焊两种钢轨接头焊接方法及应用[J].现代交通与路桥建设, 2025(11).
- [5] 贾志光.营业线钢轨移动闪光焊接的优缺点分析[J].太原铁道科技, 2023(1):35-37.

Design Safety Performance Analysis of Interchange of Urban Expressway

Liang Zhao

Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd. Sichuan Branch, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

With the acceleration of urbanization, the design and construction of urban expressway interchanges have received increasing attention. As an important component of urban road traffic networks, interchanges play a crucial role in traffic flow, while also facing complex issues such as traffic volume and section safety. Based on the safety performance analysis of urban expressway interchanges, this paper explores key design points and safety evaluation methods. By analyzing factors affecting the safety of interchanges, such as traffic volume, road design, and environmental conditions, the paper proposes safety improvement strategies, including design optimization, the application of intelligent traffic systems, and enhanced traffic management.

Keywords

urban expressway; interchange; safety performance; design optimization; traffic management

城市快速路互通立交设计安全性能分析

赵亮

武汉市政工程设计研究院有限责任公司四川分公司, 中国·四川成都 610000

摘要

随着城市化进程的加快,城市快速路互通立交的设计与建设愈加受到重视。互通立交作为城市道路交通网络的重要组成部分,承担着重要的交通流动功能,同时也面临着复杂的交通流量、路段安全等问题。本文基于城市快速路互通立交的安全性能分析,探讨了其设计要点与安全性评估方法。通过分析影响互通立交安全性的因素,如交通流量、道路设计和环境条件,提出了优化设计、智能交通系统应用及加强交通管理的安全性改进策略。

关键词

城市快速路; 互通立交; 安全性能; 设计优化; 交通管理

1 引言

随着城市人口的不断增长和交通需求的增加,城市快速路成为了缓解城市交通拥堵、提高交通效率的重要手段。互通立交作为城市快速路系统中的关键节点,不仅承担着交通流量分流、通行能力提升的功能,还对交通安全、通行效率以及环境影响等方面具有重要意义。然而,由于其设计复杂性和建设难度,互通立交在实际运行过程中常常面临着交通事故多发、流量过载等安全隐患。因此,如何提高互通立交的安全性,成为了城市快速路设计中的一个重要课题,深入探讨提升其安全性能的有效途径,能够为未来的城市交通系统设计提供参考和指导。

2 城市快速路互通立交设计概述

2.1 城市快速路互通立交的定义与功能

城市快速路互通立交是指通过立交桥、匝道等结构形式,实现在城市交通网络中不同道路之间的平面或立体交叉转换。其功能是分流过境交通和城市内部交通,缓解交通拥堵,提升道路通行能力。通过合理设计,互通立交可以有效提高交通流动性,减少交通瓶颈,并为各类交通方式提供便捷的转接通道。此外,立交的设计也考虑到了对环境的影响,合理的排水、照明、标识等设施设置,可以进一步提升立交的综合功能和安全性^[1]。

2.2 城市快速路互通立交的设计要求与标准

城市快速路互通立交的设计要求必须遵循国家及地方交通规划与建设标准,综合考虑交通流量、交通密度、车速及地形等多方面因素。在设计时,需严格按设计规范要求选择适合的立交形式与结构类型,确保能够满足不同道路交汇处的流量需求。车道宽度、车道数、匝道角度等设计参数要

作者简介: 赵亮(1982-),男,中国四川乐山人,硕士,高级工程师,从事市政工程道路、交通设计研究。

根据道路的通行能力和交通需求来合理安排。除了交通流量的计算外,设计者还应关注各类交通标识、信号设置、桥梁承载能力等方面,以确保交通安全。

2.3 城市快速路互通立交的安全性能指标

城市快速路互通立交的安全性能指标是衡量其设计效果与运行安全性的重要依据,通常包括交通事故率、通行能力、设计合理性、设施完备性等多个维度。交通事故率是最直观的安全性指标,较低的事故率说明立交设计具有较好的安全性。通行能力则通过衡量交通流量、平均车速、车道数量等数据来评估,合理的通行能力能够有效分流交通,缓解拥堵问题。设计合理性包括立交桥梁的结构安全性、各匝道的布局是否合理、交通标识的清晰度等,决定了驾驶员在行驶过程中的便捷性与安全性。

3 城市快速路互通立交的安全性分析方法

3.1 安全性能评估方法概述

城市快速路互通立交的安全性评估方法主要分为定性评估和定量评估两大类。定性评估方法通常基于专家经验,通过对立交设计方案的评审,识别出潜在的安全隐患和改进空间。定性分析往往关注设计过程中的主观因素,例如交通标识是否清晰、匝道设计是否合理等。定量评估则主要依靠交通流量、事故数据等客观数据,通过构建模型进行分析。常用的评估工具包括交通流模型、事故率统计分析、风险分析模型等。交通流模型通过模拟不同交通条件下立交的车速、排队长度、延误时间等数据,为安全性分析提供依据。事故数据分析通过回顾历史事故的发生规律,评估设计方案中可能的事故隐患。

3.2 安全风险识别与分析

安全风险识别与分析是评估城市快速路互通立交安全性能的关键环节,涉及到对可能影响安全的所有因素进行系统识别和深入分析。设计方面的风险主要包括匝道设计不合理、车道宽度不足、标识标线设置不清晰等,这些问题会增加交通事故的发生概率。交通流量方面的风险主要体现在高峰时段流量过大,导致车辆拥堵、交通事故频发。环境因素则包括天气、光照、道路状况等,特别是在雨雪天气情况下,道路的抓地力和驾驶员的判断能力都会受到影响,增加事故风险。通过对历史事故数据的统计分析,可以识别出常见的事故类型与发生地点,为改进设计方案提供指导。

3.3 安全性评估模型的应用

安全性评估模型是城市快速路互通立交设计中不可或缺的分析工具。常见的安全性评估模型包括交通流量模型、事故风险模型和综合安全评估模型。交通流量模型通过模拟不同流量下的交通情况,能够评估立交的通行能力、排队时间、车速变化等指标,进而衡量设计的安全性和流畅度。事故风险模型则通过结合历史事故数据与交通流量数据,计算不同设计方案下的事故发生概率,为设计者提供风险预测和

优化建议。综合安全评估模型通常结合多种评估方法,从多个维度对互通立交的安全性进行综合分析。

4 城市快速路互通立交的安全性改进策略

4.1 优化设计方案以提升安全性

优化城市快速路互通立交的设计方案是提升其安全性的基础。设计方案的优化应基于详细的交通流量分析和事故数据统计,通过对现有立交的弱点进行针对性改进。首先,匝道的的设计角度与宽度必须根据交通流量和道路功能进行调整,避免急弯和狭窄的车道,减少转弯过程中可能发生的碰撞事故。其次,交叉口的流线设计应与交通流向和车速相匹配,保证各条道路的衔接顺畅,避免因交通瓶颈而引发的交通事故。在优化设计中,应充分考虑交通标志的清晰度和道路设施的完备性,采用高亮度、耐用的标线、标识,确保驾驶员在各种条件下能够及时获取道路信息。设计过程中还应关注车道数的合理配置,依据流量数据优化车道数量,确保车辆在高流量时段的通行效率^[2]。此外,使用仿真技术模拟不同设计方案下的交通流,并根据模拟结果调整设计,能够大幅提升设计的安全性。

4.2 智能交通系统在安全性提升中的作用

智能交通系统(ITS)在提升城市快速路互通立交安全性方面发挥着重要作用。通过集成先进的传感器、摄像头、交通信号控制系统以及交通管理平台,ITS能够实时监控交通流、识别交通事故并进行动态调度,及时缓解拥堵和提高通行效率。在城市快速路互通立交中,ITS能够自动调整信号灯的配时,根据实时交通流量进行动态调整,避免出现高峰时段的交通堵塞。同时,ITS还可以对交通异常情况进行监测,并通过车载导航系统向驾驶员发出提示,提前预警可能的危险路段或事故区域,减少因突发事件引发的交通事故。进一步地,ITS系统可以收集交通流量数据,并对道路设计进行反馈,提供科学依据供后续设计优化使用。这些智能技术的应用不仅提升了道路的通行能力,还能大大减少由人为判断失误或交通不畅造成的安全隐患^[3]。

4.3 加强交通管理与维护措施

加强交通管理与维护是提高城市快速路互通立交安全性的另一重要策略。通过合理的交通管理措施,能够有效引导和规范驾驶员的行为,降低事故发生率。交通管控措施应包括对车速的控制、交通标志的清晰设置和交通行为的监督。例如,安装车速监控系统,对超速行为进行实时检测并采取警示或处罚措施,能够有效降低高速行驶引发的交通事故风险。此外,维护工作必须确保道路设施的完好,包括定期检查道路标线、标识、信号灯等设施,确保其有效性和可视性,防止因设施老化或损坏导致的交通安全问题^[4]。特别是在恶劣天气或突发事件发生时,应通过应急预案迅速疏导交通,及时清理事故现场,确保道路畅通无阻。通过加强日常的交通管理和设施维护,结合动态调整交通策略,可以显

著提升立交的安全性,避免因管理不到位而增加事故风险^[5]。

5 案例分析与应用实践

5.1 典型城市快速路互通立交设计案例

以四川省成都市成名高速公路新增凤凰互通立交为分析对象,该项目位于成都市温江区成名高速 K3+915 处,采用对称象限双环型全互通方案,设有 8 条匝道,全长约 6.9 公里,桥梁总长约 4508 米,共 9 座,匝道设计速度为主交通流 50 公里/小时、次交通流 40 公里/小时,单向单车道路基宽度为 9 米,单向双车道为 10.5 米,路面采用沥青混凝土设计标准,投资估算约 14.35 亿元人民币,旨在提升区域路网转换效率并改善温江区出行条件。凤凰互通立交作为城市快速路与高速公路网络的关键节点,与成名高速、成都五环路温江段等骨干路网有效连接,承担着成都市快速路网与区域高速路网的交通转换任务在设计阶段,该互通立交兼顾交通量变化预测、匝道流线合理性及交通安全性需求,通过采用对称象限双环设计减少冲突点,提高车辆在高峰时段的行驶效率和安全性。设计依据《公路工程技术标准》(JTGB012014)进行,结合区域交通流量数据和未来交通增长预测对匝道路幅宽、视距长度和合流间距进行优化,以保证各方向通行的流畅性和安全性。

5.2 案例中安全性能问题的识别与改进

在凤凰互通立交的设计和初步交通组织方案中,通过交通流量预测与仿真模拟分析发现若干安全性能问题。基于区域交通调查数据,预计日均交通量在项目完工初期可达到 4 万至 6 万辆次/日,高峰小时交通流量可能超过 8000 辆次/小时,这对匝道合流和主线分流提出了较高要求。在传统互通形式下,匝道与主线合流段交通冲突点较多,合流冲突指数较高,存在因车辆减速或变道引发的事故隐患。针对这一问题,设计团队引入交通仿真技术,对比不同匝道长度、合流角度和视距设计带来的交通冲突变化,通过微观交通仿真软件评估结果显示,将主匝道提前延长至 300 米并优化合流角度,可使车辆减速冲突点的数量减少约 22%,平均延误时间缩短约 15%。该改进同时优化了视距要求,使得驾驶员在进入主线前有足够的反应时间,从而降低因可视范围不足引起的事故概率。针对高峰时段交通瓶颈问题,设计中还采纳了辅助车道贯通策略,将过渡段长度增加至 150 米,以分担合流压力,使主线流量分布更均匀。上述设计改进是基于对交通流带来的潜在风险识别和定量分析得出的技术性调整,实现了立交设计方案在安全性能方面的提升。

5.3 实践中改进方案的效果与评估

在实施阶段,凤凰互通立交的安全性能改进方案通过实际运行数据验证了其有效性。在项目开工后的阶段性交通组织调整中,对比改进前后的实时交通数据分析可见,完成匝道延长和视距优化后,主线与匝道交织区的车辆冲突频次明显降低,日均事故发生率较传统设计方案减少约 18%。交通监控系统数据显示,高峰期主线段平均行驶速度由原方案的约 35 公里/小时提高到了约 42 公里/小时,同时事故率在 24 小时内监测统计中由原预估的 5.6 起/百万车公里下降至约 4.1 起/百万车公里,显示出显著的安全改进效果。进一步地,在交通组织优化后,交通仿真模型与实际监测数据的误差控制在 10% 以内,表明设计改进策略在现实交通条件下具有良好的适应性。评估结果还显示,通过对匝道流线优化和辅助车道设置,主线运行的平均排队长度减少了近 12%,拥堵持续时间缩短约 9%。基于这些数据,实践评估表明改进方案能够有效缓解高峰期交通压力,提升道路交通安全性能,为类似城市快速路互通立交的设计提供量化参考依据。

6 结语

通过对四川省成都市凤凰互通立交的案例分析,本文展示了城市快速路互通立交在设计过程中如何通过优化匝道设计、应用智能交通系统以及加强交通管理来提升安全性。通过交通流量预测、仿真模拟及实际运行数据的反馈,改进方案有效降低了交通冲突点,提升了道路通行效率,并显著减少了事故发生率。这一案例证明了在快速路互通立交设计中,科学的规划与现代技术的应用能够有效解决安全性能问题,提升整体交通系统的运行效果。未来,在城市交通日益繁忙的背景下,这些改进策略将为其他类似项目提供宝贵的经验与参考,为城市交通安全和高效运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 赵群,罗建晖,秦方方.浅谈我国城市地下快速路地下互通立交研究及发展[J].城市道桥与防洪,2025,(05):15-20.
- [2] 薄延震.城市快速路中互通立交改造利用研究[J].人民公交,2024,(20):38-40.
- [3] 赵皖晓.城市快速路互通立交选型要点分析[J].安徽建筑,2024,31(03):170-172.
- [4] 沙贞豹.城市快速路与高速公路互通立交方案选型与设计——以胶州西互通立交为例[J].北方交通,2024,(03):22-25+29.
- [5] 张航,段和柱,储泽宇.城市快速路互通立交交织区长度可靠性设计[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2023,42(03):98-104.

Research on the Key Risk Factors of Shield Machine Crossing the Subway Tunnel

Wenxuan Hong

Shanghai Sankai Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract

With the rapid development of urban rail transit construction, shield tunneling operations through existing metro tunnels have become increasingly common, presenting complex and interconnected risk factors. Taking the Shanghai Metro Line 13 East Extension Project's underpassing of Line 2 as a case study, this paper employs the DEMATEL-ISM integrated model to systematically analyze key risk factors and their interrelationships in shield tunneling operations. Based on engineering practices and expert surveys, risk factors were categorized into four types: geological environment, construction technology, equipment management, and monitoring and early warning. The DEMATEL method was applied to examine causal relationships and impact levels among these factors, revealing that soil pressure control deviations, improper advance speed, and shield mechanical failures constitute causal factors, while existing structure impacts and monitoring data deviations represent outcome factors.

Keywords

shield tunneling; operation of metro tunnel; risk factors; DEMATEL-ISM model

盾构机穿越运营地铁隧道的关键风险因素研究

洪文轩

上海三凯工程咨询有限公司, 中国·上海 200000

摘要

随着城市轨道交通建设的快速发展,盾构穿越运营地铁隧道工程日益增多,其风险因素复杂且相互关联。本文以上海轨道交通13号线东延工程下穿2号线为例,运用DEMATEL-ISM集成模型对盾构穿越运营地铁隧道的关键风险因素及相互关系进行系统分析。根据工程实际情况以及专家调研得出风险因素并将其分为地质环境、施工技术、设备管理、监测预警四类。本文运用DEMATEL方法分析风险因素之间的因果关系及影响程度,发现土压力控制偏差、推进速度不当、盾构机械故障是原因型因素,既有结构影响、监测数据偏差是结果型因素。

关键词

盾构穿越;运营地铁隧道;风险因素;DEMATEL-ISM模型

1 引言

随着我国城市轨道交通建设的快速发展,新建地铁线路与既有运营线路的交叉穿越工程越来越多,盾构法隧道穿越运营地铁隧道是城市地下空间开发的重大技术难题。盾构穿越施工时,由于开挖扰动、地层变形、施工参数控制等众多因素的复杂耦合效应,很容易给已有的运营隧道结构造成不良影响,严重时会造成隧道变形超出允许范围,轨道几何状态发生变化,进而影响地铁正常运营的安全。传统的风险分析方法大多是定性描述或者简单的定量评价,不能准确地揭示出复杂的风险因素之间的内在联系和层次结构关系^[1]。DEMATEL (Decision Making Trial and

Evaluation Laboratory)方法可以有效地对系统要素之间的因果关系以及影响程度进行分析,ISM (Interpretive Structural Modeling)方法可以建立要素之间多层次递阶结构模型。本文以上海地铁13号线东延伸工程丹桂路站至高科中路站区间下穿2号线工程为例,用DEMATEL-ISM集成模型分析盾构穿越运营地铁隧道的关键风险因素及相互关系,为工程风险控制提供指导。

2 工程概况与风险因素识别

2.1 工程概况

上海轨道交通13号线东延伸工程高科中路站至丹桂路站区间位于浦东新区,线路沿中科路、张东路敷设,全长约4.52公里。该区间采用盾构法施工,隧道外径6600mm,内径5900mm,壁厚350mm,管片环宽1.2-1.5米。工程重点为13号线隧道上跨既有2号线隧道,穿越段位于张东路下

【作者简介】洪文轩(1994-),中国湖北天门人,本科,工程师,从事土木工程研究。

方,集电路以北、祖冲之路以南。两线隧道以 87° 角相交,竖向净距仅 2.2 米,水平投影长度约 120 米,中心线间距 13 米。13 号线埋深 26.1 米,2 号线埋深 15.8 米。施工过程中土压力控制在 0.343MPa,推进速度为 1-2 厘米/分钟,确保对既有线路的安全保护。

2.2 关键风险因素识别

盾构穿越运营地铁隧道的风险因素识别属于风险管控的基础部分,要从地质状况,施工工艺,设备情况,环境要素等各方面展开^[2]。根据工程地质勘察资料分析,穿越段主要处于⑤1层黏土和⑦1-2层砂质粉土中,土层性质差异大,黏土层具有高压缩性、流塑的特征,砂质粉土层渗透性较强且容易发生流砂现象;地下水位较高,约为地面下 2.2m,为承压水,增加盾构施工难度。从施工技术角度分析,盾构推进参数控制、同步注浆质量、盾尾密封效果等属于穿越安全的技术要素;按照工程设计的要求,土压力的设定值是 0.343MPa,推进速度保持在 1—2cm/min,同步注浆量大概为 4.0m³/环。根据文献调研、专家访谈及工程实践经验,得到案例项目盾构穿越安全影响因素共 12 个,包括地质环境类、施工技术类、设备管理类、监测预警类等。

3 基于 DEMATEL-ISM 的风险因素关联分析

3.1 DEMATEL 分析过程

根据 13 号线下穿 2 号线工程的实际情况,邀请 7 位有丰富盾构穿越经验的专家(设计专家 3 人、施工专家 2 人、监理专家 2 人)对 12 个风险因素进行两两影响关系判断。专家评判运用 0 到 4 分制的评分标准,0 分代表无影响,1 分代表弱影响,2 分代表一般影响,3 分代表强影响,4 分代表极强影响。用专家评判矩阵算术平均法得到初步的直接关系矩阵 A。根据 DEMATEL 分析结果可知各个风险因素的影响度 D 和被影响度 C 存在明显差别,土压力控制偏差

(T1)影响度最高(D=8.42),说明它对其他风险因素的驱动作用最强;既有结构影响(G3)被影响度最高(C=7.89),说明 2 号线隧道作为保护对象的地位最重要。原因度(D-C)分析结果表明,土压力控制偏差(T1)、推进速度不当(T2)、盾构机械故障(E1)等原因度为正,属于原因型因素,是风险传导的源头;既有结构影响(G3)、监测数据偏差(M1)、预警响应滞后(M2)等原因度为负,属于结果型因素。中心度(D+C)代表因素在整体风险系统中的作用大小,土压力控制偏差(T1)的中心度最高为 15.67。在竖向净距仅有 2.2m 的极限情况下,土压力的丝毫偏差都会导致 2 号线隧道出现超标变形,因此土压力控制成为整个风险控制体系的核心。

根据 DEMATEL 分析结果可知,12 个风险因素在原因度—中心度坐标系中有着明显的分层现象。关键原因因素区域集中土压力控制偏差(T1)、推进速度不当(T2)和同步注浆质量(T3),这三项因素中心度大于 13.73 且为正原因度,是整个风险系统的核心驱动源。

表 1 风险因素分类

风险类别	风险因素代码	风险因素名称
地质环境风险(G)	G1	土层性质变化
	G2	地下水位波动
	G3	既有结构影响
施工技术风险(T)	T1	土压力控制偏差
	T2	推进速度不当
	T3	同步注浆质量
	T4	盾尾密封失效
设备管理风险(E)	E1	盾构机械故障
	E2	注浆设备异常
	E3	监测设备失效
监测预警风险(M)	M1	监测数据偏差
	M2	预警响应滞后

表 2 DEMATEL 分析结果

风险因素	影响度(D)	被影响度(C)	原因度(D-C)	中心度(D+C)	因素属性
G1 土层性质变化	6.23	7.45	-1.22	13.68	结果型
G2 地下水位波动	5.87	6.92	-1.05	12.79	结果型
G3 既有结构影响	7.34	7.89	-0.55	15.23	结果型
T1 土压力控制偏差	8.42	7.25	1.17	15.67	原因型
T2 推进速度不当	7.89	6.43	1.46	14.32	原因型
T3 同步注浆质量	7.56	7.29	0.27	14.85	原因型
T4 盾尾密封失效	6.78	6.95	-0.17	13.73	结果型
E1 盾构机械故障	7.12	5.89	1.23	13.01	原因型
E2 注浆设备异常	6.45	6.78	-0.33	13.23	结果型
E3 监测设备失效	5.98	6.34	-0.36	12.32	结果型
M1 监测数据偏差	5.67	7.12	-1.45	12.79	结果型
M2 预警响应滞后	6.23	6.89	-0.66	13.12	结果型

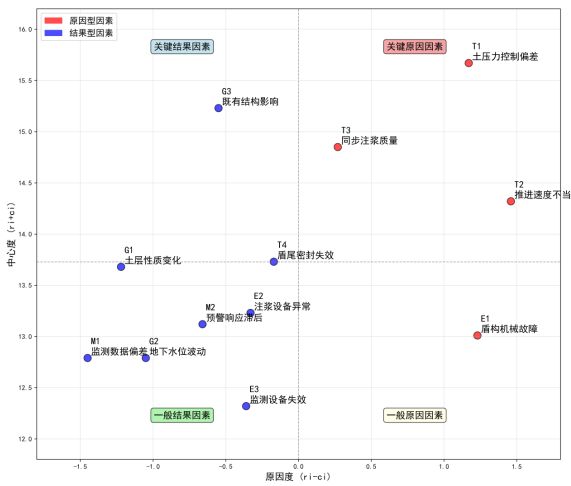


图 1 原因度 - 中心度分析

3.2 ISM 结构模型构建

根据 DEMATEL 分析得到的综合影响关系矩阵 T，设阈

值 $\lambda=0.65$ （取矩阵 T 中所有元素的平均值），大于阈值的元素设为 1，小于等于阈值的元素设为 0，得到可达矩阵 R。通过可达矩阵的布尔运算，得到各个风险因素的可达集、先行集、交集，从而确定层级结构，其中施工技术参数控制与设备可靠性属于根本原因，它们通过影响地质环境稳定性和施工质量，进而对既有结构安全及监测系统有效性产生影响^[3]。

DEMATEL-ISM 集成分析得到 13 号线穿过 2 号线工程关键风险因素有明显的层次性、因果关联性的特征。根本原因层的土压力控制偏差（T1）、推进速度不当（T2）、盾构机械故障（E1）为整个风险系统的驱动源^[4]，土压力控制偏差的影响度最大；中间传导层的同步注浆质量（T3）起到承上启下的作用，地下水位波动（G2）在承压水环境下对施工安全构成持续威胁；结果影响层的既有结构影响（G3）、监测数据偏差（M1）为风险控制的最终目标和重要保障，既有结构影响的被影响度最高（7.89）。

表 3 ISM 层级划分结果

层级	层级名称	风险因素代码	层级特征	控制策略
L1	结果层	G3	风险承受体，保护目标	严格监测，沉降 $\leq 10\text{mm}$
		M1	信息反馈，决策依据	确保数据准确性
L2	中间层 1	G1	直接影响结果层	地质条件适应性控制
		T4	技术风险传导	加强密封检查维护
		E2	设备质量保障	设备状态实时监控
L3	中间层 2	G2	环境风险传导	承压水控制措施
		T3	关键工艺控制	注浆量 $4.0\text{m}^3/\text{环}$ 控制
		E3	监测系统保障	设备冗余配置
L4	根本原因层	M2	应急管理环节	快速响应机制
		T1	核心驱动因素	精确控制 0.343MPa
		T2	施工参数控制	严控 $1-2\text{cm}/\text{min}$
		E1	设备可靠性基础	预防性维护保养

4 结论

本研究运用 DEMATEL-ISM 集成模型对盾构穿越运营地铁隧道的关键风险因素进行系统分析^[5]，得出以下主要结论：（1）风险因素呈现明显的层次化特征。ISM 分析构建的四层递阶结构模型揭示从根本原因层（土压力控制偏差、推进速度不当、盾构机械故障）到结果影响层（既有结构影响、监测数据偏差）的风险传导机制；（2）技术风险因素是系统核心驱动源。土压力控制偏差的中心度最高（15.67），在竖向净距仅 2.2m 的极限条件下，0.343MPa 土压力精确控制对整个风险系统具有决定性作用；（3）既有结构影响是风险控制的核心目标，其被影响度最高（7.89），沉降 $\leq 10\text{mm}$ 、收敛 $\leq 5\text{mm}$ 的控制标准体现了运营安全的重要性。本研究结果为制定“技术控制为核心、设备保障为基础、监

测预警为手段”的综合风险控制策略提供科学依据，有助于实现盾构穿越运营地铁隧道的安全可控。

参考文献

- [1] 赵腾跃,陈希林,李飞. 软土-软岩复合地层工况下盾构机掘进风险分析与对策研究[J].市政技术,2025,43(07):170-178.
- [2] 丁海玲. 土压盾构近接超深基坑风险监管与实测分析[J].山西建筑,2025,51(15):80-83.
- [3] 苏宇. 软土富水地层深埋盾构隧道施工安全质量监督管理[J].山西建筑,2025,51(15):138-142.
- [4] 陆飞. 盾构机穿越重大危险源施工研究与分析——以成都轨道交通27号线一期工程为例[J].广东建材,2025,41(02):156-158.
- [5] 李军. 盾构机下穿结构物等风险源的施工控制技术[J].山西建筑,2022,48(03):151-154.

Analysis of Optimization Strategy of Highway Maintenance Technology

Jian Li

Yunnan Anjin Expressway Development Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650106, China

Abstract

With the rapid expansion of expressway networks, the significance of expressway maintenance has become increasingly prominent. This paper first reviews the current status of expressway maintenance technologies, examining key areas such as pavement, subgrade, bridges and culverts, and tunnels. Building on this foundation, it explores optimization strategies for expressway maintenance technology from four dimensions: technological innovation, management systems, scientific decision-making, and operational safety. The aim is to enhance the efficiency, quality, and safety of expressway maintenance, providing valuable references for achieving sustainable expressway operations.

Keywords

expressway; maintenance management; technical points; optimization strategy

高速公路养护技术的优化策略分析

李建

云南安晋高速公路开发有限公司, 中国·云南昆明 650106

摘要

随着高速公路网络的快速发展,高速公路养护工作的重要性日益凸显。本文首先梳理了当前高速公路养护技术的基本现状,探讨了路面、路基、桥涵、隧道等关键领域的养护技术。在此基础上,从技术创新、管理体系、科学决策和作业安全四个维度,深入探讨了高速公路养护技术的优化策略,希望有助于提升高速公路养护的效率、质量与安全性,为实现高速公路的可持续运营提供借鉴与参考。

关键词

高速公路; 养护管理; 技术要点; 优化策略

1 引言

高速公路作为现代交通运输体系的重要组成部分,其运营状态直接关系到行车安全、通行效率和社会经济发展。随着使用年限的增长和交通负荷的加剧,高速公路各类设施逐渐出现老化与损坏现象,科学高效的养护管理成为保障路网安全畅通的关键环节。当前,高速公路的养护技术虽已取得一定进展,但仍面临养护成本高、作业效率低、安全风险突出等问题。因此,系统分析现有养护技术的特点与不足,探索科学合理的优化策略,具有重要现实意义。

2 高速公路养护技术现状分析

截至2025年,全国高速公路总里程已突破19万公里,其中云南省接近1.1万公里,路网覆盖广度与密度持续提升^[1]。伴随运营年限的延长、交通量的激增以及极端天气的

频繁影响,高速公路养护工作开始向主动预防转型,相应的养护技术呈现出多维度特征。一方面,早期建设的高速公路逐步进入养护高峰期,部分路段路面出现裂缝、车辙、坑槽等结构性病害,桥梁、隧道等构造物也面临支座老化、钢筋锈蚀、渗漏水等问题;另一方面,随着智慧交通的发展,公众对高速公路通行效率、行车安全性的需求显著提高,养护作业充分确保了道路结构安全,更减少了对交通的干扰。在技术应用方面,新型技术开始逐步推广,尤其是在精细养护领域,激光检测车、无人机巡检等设备在重点路段或主干线得以广泛应用,取得了理想效果。不仅如此,在桥梁养护中,超声波检测和雷达检测等无损检测技术在钢筋锈蚀、混凝土内部缺陷排查中的价值凸显,在极大程度上破除了传统养护技术模式的局限性。尽管如此,受限于诸多主客观条件,当前高速公路养护技术水平尚有较大提升空间,信息化与智能化技术工具的应用尚且存在短板,有必要立足工程需求,创新方式方法,全面提升高速公路养护质效。

【作者简介】李建(1988-),男,彝族,中国云南新平人,本科,工程师,从事高速公路养护管理研究。

3 当前高速公路养护技术及应用要点

3.1 路面养护技术

3.1.1 预防养护

对于高速公路路面的轻微裂缝、抗滑性能不足等问题，可采用微表处技术进行预防养护，即采用改性乳化沥青、级配碎石、填料等材料混合摊铺，厚度控制在 5-10mm 为宜。在施工中，需严格控制材料配比，尤其是乳化沥青的破乳时间，需根据施工温度予以及时调整，避免低温施工导致粘结力不足，或高温施工出现泛油，并确保原路面清洁干燥，无松散杂物，否则易出现层间剥离。对于路面轻度磨损、裂缝封闭的情况，可采用稀浆封层技术，通常需在通车前确保封层完全固化，一般养护时间不少于 4 小时，防止车辆碾压造成表面破损^[2]。

3.1.2 修复养护

当路面出现坑槽、车辙、龟裂等结构性病害时，需采用修复性技术恢复路面结构强度。在热再生技术应用中，可灵活采取厂拌热再生与就地热再生等方法，前者将旧沥青混合料运回拌合站加热、筛分后重新配比使用，适用于大面积路面老化；后者直接在现场加热旧路面、翻松后掺入新料再生，适用于局部车辙、裂缝。对于冷再生技术，则直接将旧路面材料破碎后掺入水泥、乳化沥青等稳定剂，就地拌合、摊铺，适用于基层损坏或低温、缺水地区。针对局部坑槽，可将坑槽边缘切割整齐，形成矩形或正方形，深度需达到基层，避免浅补导致病害复发，并采用切割、清理、喷洒粘层油、填充新料、碾压的流程修复。路面修复养护技术关键指标如表 1 所示。

表 1 路面修复性养护技术关键指标对照表

技术类型	主要方法	关键控制参数	适用场景
热再生技术	厂拌热再生	旧料掺配比例：20%-30%；加热温度：140-160℃	大面积路面老化、结构性损坏、车辙修复
	就地热再生	加热深度：4-6cm；再生剂掺量：0.3%-0.5%	局部车辙、裂缝、表层老化修复
冷再生技术	就地冷再生	稳定剂掺量：3%-5%；含水量控制误差：±1%	基层损坏、低温或缺水地区、环保要求高路段
	厂拌冷再生	旧料破碎粒径：≤30mm；拌合均匀性要求高	中轻度路面损坏、资源循环利用项目
坑槽修复技术	传统坑槽修补	切割形状：矩形/正方形；修补深度应达基层	局部坑槽、小面积路面破损
	喷射式坑槽修补	喷射压力：0.4-0.6MPa；材料输出量可调	应急修补、冬季施工、交通干扰要求高

3.2 路基养护技术

3.2.1 路基变形修复

路基沉降、变形等病害的修复可采用注浆加固技术，通过向路基土体中注入水泥浆、水泥砂浆等浆液，填充孔隙、胶结土体，以提升路基承载力。在施工中，需根据路基土质确定浆液浓度、注浆压力，避免压力过大导致路基隆起，并采用分段注浆方式，间隔 2-3m 设置注浆孔，确保浆液均匀扩散。针对路基局部软弱土层，可采用换填处理技术，挖除软弱土后换填碎石、砂砾等透水性材料，换填深度需超过软弱土层厚度，宽度需超出路基坡脚 0.5-1m，防止换填区边缘土体侧向挤出^[3]。再次，对于砂性土、碎石土路基的加固，则可采用强夯加固技术，通过重型夯锤自由下落产生的冲击力，压实路基土体。

3.2.2 路基排水养护

一方面，边沟、截水沟是路基排水的关键设施，需定期清淤，防止泥沙淤积导致排水不畅。对于破损的边沟，采用浆砌片石或混凝土修复，应确保修复后的边沟纵坡不小于 0.3%，确保水流顺畅，且沟壁应平整、无裂缝，避免雨水渗漏渗入路基。另一方面，盲沟、渗沟用于排除路基内部积水，需定期检查其透水性，若出现泥沙、杂草堵塞透水孔等状况，需采用高压水流冲洗或开挖清理，其碎石或砾石等填充材料需级配良好、无杂质，透水性系数应满足技术要求，同时渗沟出口需低于路基最低水位，防止积水倒灌。

3.3 桥涵养护技术

桥涵作为高速公路的关键节点，养护技术需兼顾结构安全与功能完好，重点关注桥梁上部结构、下部结构和涵洞的病害防治，包括预防养护和修复养护。其中，梁体病害通常包括裂缝、剥落、钢筋锈蚀等，应针对病害实际，采取具有技术性的方法措施进行处理，对于宽度大于 0.15mm 的受力裂缝，可在精准检测裂缝的基础上，采用压力注浆方法予以处理，确保梁体表面平整、清洁；对于桥面连续铺装修复，应事前检查防水层完整性，若防水层破损需先修复，再进行铺装层施工，铺装层与梁体间需设置粘层油，防止层间剥离，对于铺装层开裂问题，应凿除铺装层混凝土，放置钢板并补强钢筋网后重新浇筑铺装层；支座的养护分为日常维护和病害处理，日常维护包括杂物清理、防腐处理，病害处理包括采用注浆填充或加垫钢板对支座脱空进行处理，以及老化、开裂和剪切变形超限的支座实施桥梁顶升和更换新支座；伸缩缝的养护主要是日常清理、橡胶条更换，以及型钢破损更换和锚固区混凝土修复等；桥墩和桥台的养护主要是混凝土破损采用聚合物砂浆等进行修补，对混凝土裂缝可采取注胶、碳纤维布、粘贴钢板等进行处治，同时涂刷防护涂层和防腐处理；在基础养护中，基础露筋、腐蚀等病害可用环氧砂浆封闭，防冲刷防护可采用抛石防护、钢筋石笼防护，并确保防护层稳定，而对于基础沉降，除加强变形监测外，可采用注浆加固方式，避免基础不均匀受力导致墩柱倾斜，

另外还可以通过增加桩基或扩大基础等对桥墩和基础进行加固。

3.4 隧道养护技术

对于隧道裂缝修复,需结合隧道地质条件,采用地质雷达检测衬砌背后空洞,若存在空洞需先填充再修复裂缝,修复后需进行抗渗试验,确保衬砌无渗漏。隧道漏水治理需首先明确渗漏水来源,通过水位监测确定是否为地下水渗透,再针对性处理;衬砌剥落修复应先清除松动混凝土,露出新鲜混凝土面,再采用喷射混凝土修复,喷射厚度根据剥落深度确定,确保钢筋与混凝土粘结良好。对于隧道路面养护,由于其具有抗滑、耐磨、抗渗等特性,需注意隧道内通风条件差、湿度大的差异,在加强通风,避免挥发性材料在隧道内积聚,影响作业人员健康。若路面抗滑性能不足,则应进行刻槽或实施预防养护,刻槽深度为3-5mm,间距为15-20mm,确保抗滑系数(BPN)不小于60^[4],预防养护措施可采用超薄磨耗层、微表处等稀浆封层技术。

4 高速公路养护技术优化策略探讨

4.1 养护技术创新优化

针对传统热再生技术能耗高、污染大的问题,可积极推广温拌沥青再生技术,通过添加温拌剂将沥青加热温度降低30-50℃,减少碳排放与能源消耗。此外,可研发全深式冷再生技术,突破传统冷再生仅适用于基层的限制,实现路面面层与基层同步再生,将旧料利用率提升至95%以上,减少资源浪费。引入多源融合检测技术,整合激光检测车、无人机、地面三维激光扫描仪等设备,对路面平整度、裂缝、车辙,以及桥梁墩柱垂直度、隧道衬砌厚度等进行自动化检测,提升检测效率,控制检测数据精度误差。配置无人铣刨机等无人化养护作业设备,通过北斗定位、毫米波雷达进行自主路径规划与障碍物避让,减少人工安全风险。

4.2 养护管理体系优化

针对路面、路基、桥涵、隧道不同构造物,编制养护作业全流程标准手册,明确病害检测、方案设计、施工全过程管理、质量验收各环节的技术指标与操作规范,同步建立养护质量分级评价体系,从结构安全、功能、外观质量三个维度设置评价指标。按照工种固定、技能专业、设备配套原则,组建路基路面、桥涵、隧道、交安设施等专业化作业班组,每个班组配备1名技术负责人、3-5名技术工人、1套专用设备,确保班组人员熟练掌握标准化流程。建立养护设备共享平台,整合不同地区的铣刨机、摊铺机、检测车等大型设备,通过平台对设备进行预约、调度和租赁,以提升设备利用率,降低设备采购与维护成本。

4.3 养护科学决策优化

通过传感器、检测设备、人工录入等方式实时采集日

均交通量、货车比例、降雨量、气温、土壤含水率等多源数据,并采用大数据算法自动识别异常数据,由专业人员配合进行人工校验。实时更新交通荷载数据与环境数据,病害检测数据每季度更新一次,同时逐年补充养护历史数据,确保数据时效性与准确性。基于大数据中心的交通荷载、环境、病害数据,采用机器学习算法构建“养护需求预测模型,预测未来一段时期各路段的病害发展趋势,为养护计划制定提供依据,避免过度养护或养护滞后^[5]。在该基础上,针对同一病害,输入不同养护方案的技术参数、成本数据、效果数据,由模型自动推荐最优方案,真正做到科学决策、科学养护。

4.4 养护作业安全优化

明确不同养护场景的安全防护要求,设置预警区、过渡区、作业区和终止区等四级防护区域,并设置相应的安全警示装置和标识,避免因防护缺失导致交通事故。推广智能安全预警系统,在养护作业车、锥形桶上安装毫米波雷达与无线通讯模块,当过往车辆偏离车道、逼近作业区时,系统自动发出声光预警,降低碰撞风险。强化现场安全监管,每个养护作业现场配备一名专职安全员,负责检查和维护安全防护设施,监督作业人员和机械车辆安全操作,随时开展安全巡查,发现隐患立即整改。加强养护人员安全培训,开展实战化应急演练,提高养护作业人员的安全意识。根据养护作业突发事件的严重程度,制定分级应急预案,将安全事件造成的损失控制在最小范围内。

5 结语

综上所述,高速公路养护技术涉及技术更新、管理创新、科学决策和安全保障等多个层面。本文通过对当前养护技术现状的分析,从技术创新、管理体系、科学决策与作业安全等方面提出了相应的优化策略。随着技术的不断进步更新和管理体系的持续完善,高速公路养护将朝着更加精细化、智能化、绿色化的方向发展,这要求专业技术人员需进一步加强跨领域技术融合,推动养护科学化,构建全生命周期的养护管理体系,从而实现高速公路的高质量、可持续运营发展。

参考文献

- [1] 陈艳.高速公路养护作业安全风险分析及防控体系构建研究[J].微型计算机,2025,(14):178-180.
- [2] 利勇稷.聚酯纤维环氧沥青混合料在高速公路养护中的应用研究[J].西部交通科技,2024,(9):38-40.
- [3] 咎亨.超薄磨耗层施工技术分析——以侯禹高速公路养护为例[J].交通世界,2024,(4):92-94.
- [4] 姚智强.就地热再生技术在高速公路养护施工中的应用[J].交通世界,2024,(28):87-89.
- [5] 周志峰,郑园园.桥梁预防性养护在高速公路养护中的应用[J].运输经理世界,2023,(28):124-126.