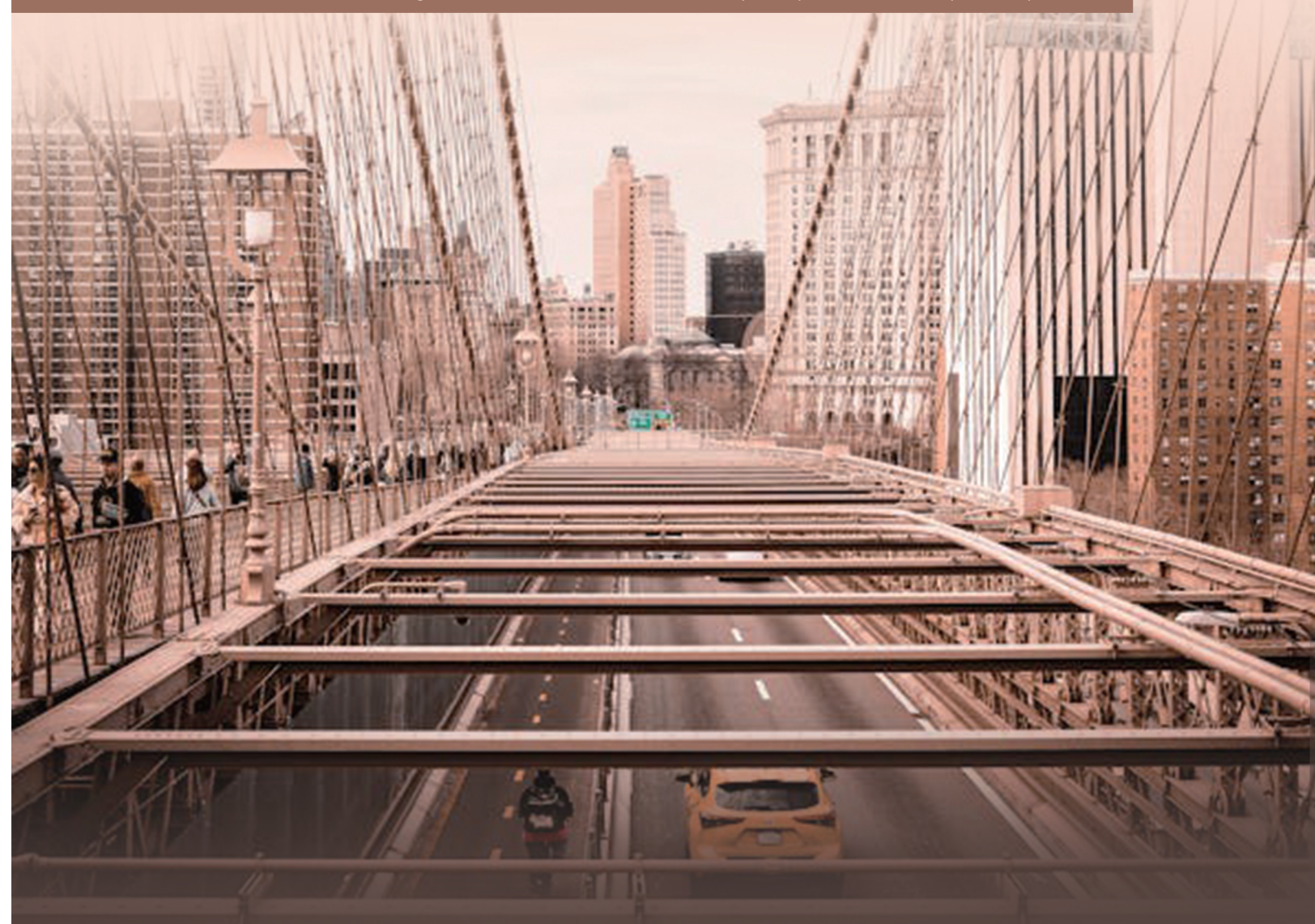


公共交通与建设

Volume 4 Issue 3 August 2025 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

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

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



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 4 Issue 3 August 2025
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	浅析钱塘江施工水域船舶通航环境安全管理与风险控制 / 吴建云	48	改扩建高速公路隧道围岩分级研究 / 林军 张天宝 刘骏
4	浅析铁路货运市场化进程中出现的相关问题及对策建议 / 管空军	51	铁路集成服务平台技术架构研究 / 任爽 王静 牛志敏 张斌
7	道路桥梁工程中无损检测技术的应用分析 / 朱俊	57	城市交通工程拥堵治理策略优化研究 / 宋栋
10	高速公路特殊路基处理与生态防护协同设计 / 胡斌	60	城市轨道交通地铁施工安全管理分析 / 熊飞
13	高速公路改扩建工程施工期间交通事故特征统计分析研究 / 刘强	63	基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究 / 程子芮 王伟 郭茹苾 张郁涵
17	路面基层材料抗冻融循环性能优化技术 / 吉梦丹	66	市郊公路养护管理问题及对策 / 朱春程
20	新型沥青混合料在重载交通路面的应用性能研究 / 李国彬	69	职工交通车安全管理探讨 / 孟军
23	装配式路面结构在应急交通工程中的应用探索 / 李鹏飞	72	加强铁路施工统计的思考 / 姚国栋
26	基于土工合成材料的砂砾石地基处理技术探究 / 杨森	75	高铁桥梁上部结构混凝土梁自动化生产装备的能耗优化与效率提升研究 / 林静峰 吴雷 赵云飞 陈铁
29	隧道施工大型设备自主化管理模式的深化探索 / 王传奇	78	中国西部物流发展之路思考 / 李治桦
32	基于心流理论的盲人智行车设计研究 / 罗瑶 娄园园 陶然	81	轨道交通隧道结构变形监测的多方法对比研究 / 马玉宝 王珽睿
35	基于服务设计方法的城市青年共享车设计 / 王珏 张云鹏 陶然	84	军用智能无人运输投送共性技术发展现状概述 / 杨鹏 陈俊良 李理 依玉昌 敖锐
38	铁路行车组织中多部门协作机制与信息共享平台构建 / 侯志杰 白旭 贺斌	87	关于提升万吨重载列车安全管理水平的研究及对策 / 周战武
41	基于地铁车辆工艺设备新线介入管理的研究 / 方飞	90	沥青路面裂缝灌缝材料在低温环境下密封性能保持研究 / 姜屹峰
45	工务线路维修作业验收标准对铁路运行安全的影响分析 / 王健	93	公路桥梁桥头跳车病害成因与新型处治技术的应用研究 / 雷子红

1	Analysis of safety management and risk prevention of ship navigation environment in Qiantang River construction waters / Jianyun Wu	45	Analysis of the Impact of Maintenance Operation Acceptance Standards on Railway Operation Safety / Jian Wang
4	Analysis of railway freight market service problems and countermeasures / Kongjun Guan	48	Study on Rock Grading of Tunnel Surrounding Rocks in the Expansion and Construction of Highway Tunnels / Jun Lin Tianbao Zhang Jun Liu
7	Analysis of the Application of Non-destructive Testing Technology in Road and Bridge Engineering / Jun Zhu	51	Research on technical architecture of railway integration service platform / Shuang Ren Jing Wang Zhimin Niu Bin Zhang
10	Collaborative Design of Special Subgrade Treatment and Ecological Protection for Expressways / Bin Hu	57	Research on Optimization of Congestion Control Strategies for Urban Traffic Engineering / Dong Song
13	Statistical Analysis and Research on the Characteristics of Traffic Accidents during the Construction Period of Expressway Reconstruction and Expansion Projects / Qiang Liu	60	Safety management analysis of urban rail transit subway construction / Fei Xiong
17	Optimization technology of frost and thaw cycle performance of pavement base material / Mengdan Ji	63	Research on real-time scheduling optimization of urban public transportation based on the integration of Internet of Things and big data / Zirui Cheng Wei Wang Rubi Guo Yuhan Zhang
20	Study on the application performance of new asphalt mixture in heavy traffic pavement / Guobin Li	66	Problems and Countermeasures of Suburban Road Maintenance and Management / Chuncheng Zhu
23	Exploration of the application of prefabricated pavement structure in emergency traffic engineering / Pengfei Li	69	Discussion on Safety Management of Employee Transportation Vehicles / Jun Meng
26	Study on sand and gravel foundation treatment technology based on geosynthetic materials / Sen Yang	72	Reflections on Strengthening Railway Construction Statistics / Guodong Yao
29	Further exploration of independent management mode of large equipment in tunnel construction / Chuanqi Wang	75	Study on energy consumption optimization and efficiency improvement of automatic production equipment for concrete beams in superstructure of high-speed railway Bridges / Jingfeng Lin Lei Wu Yunfei Zhao Tie Chen
32	Research on the Design of Intelligent Vehicles for the Blind Based on Flow Theory / Yao Luo Yuanyuan Lou Ran Tao	78	Reflections on the Development of Logistics in Western China / Zhihua Li
35	Design of Urban Youth Shared Car Based on Service Design Method / Jue Wang Yunpeng Zhang Ran Tao	81	Comparative study on multi-methods for structure deformation monitoring of rail transit tunnels / Yubao Ma Tingrui Wang
38	Construction of multi-department cooperation mechanism and information sharing platform in railway traffic organization / Zhijie Hou Xu Bai Bin He	84	Overview of the development status of generic technology for intelligent unmanned transportation and delivery in military / Peng Yang Junliang Chen Li Li Yuchang Nong
41	Research based on the intervention of the new line of subway vehicle process equipment		

	Rui Ao		/ Yifeng Jiang
87	Research and Countermeasures on improving the safety management level of ten-thousand-ton heavy-haul trains	93	Research on Causes and Application of New Treatment Technologies for Bridgehead Jumps in Highway Pavements
	/ Zhanwu Zhou		
90	Study on sealing performance of crack filling material in asphalt pavement under low temperature environment		/ Zhonghong Lei

Analysis of safety management and risk prevention of ship navigation environment in Qiantang River construction waters

Jianyun Wu

Hangzhou Transportation Administrative Law Enforcement Team, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

In recent years, with the increase in water projects on the Hangzhou section of the Qiantang River, the river, being a strong tidal current river, has relatively complex hydrological conditions in the construction area. The navigation environment for vessels is intricate and ever-changing, making it prone to waterborne traffic accidents. Therefore, this paper provides a preliminary analysis of navigation safety in the construction area from two aspects: ensuring the safe passage of passing vessels and ensuring the safe operation of construction vessels. First, it defines the scope of safe operations in the construction area. Second, it identifies risk factors for navigation safety and determines key factors affecting navigation safety. By identifying the safety risk factors in the construction area, effective preventive measures can be formulated to reduce the probability of traffic accidents.

Keywords

channel characteristics; construction operation; construction water area; navigation safety;

浅析钱塘江施工水域船舶通航环境安全管理与风险防控

吴建云

杭州市交通运输行政执法队, 中国 · 浙江 杭州 310000

摘 要

近年来随着钱塘江杭州市区航段水上工程的增多, 钱塘江作为强赶潮河流, 施工水域水文情况相对复杂, 船舶通航环境复杂多变, 容易发生水上交通安全事故。因此, 本文从保证过往船舶通航安全和保证施工船舶安全作业两方面对施工水域通航安全进行浅析。一是确定施工水域安全作业范围, 二是识别通航安全风险因素, 确定影响通航安全关键因素。识别出施工水域的安全风险因素, 制定有效预防措施, 以此来降低交通事故发生的概率。

关键词

航道特点; 施工作业; 施工水域; 通航安全;

1 引言

随着社会经济的发展, 近年来水上工程项目日渐增多, 由此引发的水上交通安全问题也逐渐凸显。水上工程施工期间安全事故不时发生, 危及人们的生命、财产安全。由于施工可能会侵占航道, 导致部分航道内船舶航行受限, 通航船舶被迫改变习惯航行线路, 施工船频繁进出施工水域, 与航道内船舶交会较多。同时附近捕鱼作业渔船的出现, 更进一步造成船舶通航风险增加。

本文以京杭运河浙江段三级航道整治工程(八堡船闸段)为例, 总结了施工水域航道特征。根据船舶原理、施工水域航道特点、水文条件及航行通告要求, 提出施工水域安

全作业范围。在确定主要风险因素的基础上从施工前期通航安全各方统筹协调、船舶管理、施工人员管理和自然灾害预防(钱塘江大潮汛、上游泄洪等)四方面提出整体性预防措施, 还提出了在施工水域上游设置警戒船、在施工水域外围设置警戒航标灯、在施工现场周边码头设置应急拖轮等针对性预防措施。

2 通航施工水域施工作业期航道风险分析

以京杭运河浙江段三级航道整治工程(八堡船闸段)为例, 分析施工水域航道特点。该项目地处京杭大运河杭州八堡船闸段, 是整个京杭大运河杭州段二通道的咽喉要道, 长期受潮汛影响明显, 泥沙淤积严重。

2.1 施工水域航道特征分析

1、通航水域受限。航道内施工占用部分通航水域, 对通航环境影响较为明显。施工船作业需要保有相应的安全距离, 其在作业时会正常航行的船舶产生一定的碍航性。

【作者简介】吴建云(1984-), 男, 中国山西朔州人, 本科, 工程师, 从事港航监督研究。

2、航道交通流复杂。航道施工作业一般需要疏浚航道,航道施工作业区内航宽有限,船舶航行环境相对复杂,安全隐患比较突出。

3、施工船舶风险高。航道施工项目主要分布在通航航道范围内或者航道的两侧,施工作业期间工程船舶进出航道频率较高。

4、施工范围广。作业水域跨度较大,建设周期较长,现场维护难度大。部分航道施工范围内有客运码头、取水口、渔区,涉及多家主管部门。

5、自然条件影响明显。水上作业受自然环境条件影响明显。该水上施工作业项目施工时间长,需经历不同季节气候和大潮汛、上游泄洪等。施工作业区江面宽阔,涨落潮明显,水流速度快,施工作业船舶受涨落潮等自然条件影响大,风险较大。

2.2 施工水域安全作业范围

为确保水上施工作业的有序开展和船舶通航安全,在水上作业之前常常需要由水上交通管理部门划定安全作业区。通航水域安全作业区的设置将挤占部分用于船舶通航的水域,影响附近水域的航行安全和航行效率,因此在实际划定水上安全作业区时需因地制宜,综合考虑划定水上安全作业区附近水域环境。

3 通航施工水域安全影响因素分析

3.1 施工水域航道通航环境

施工水域通航安全牵涉的因素很多,各个因素之间相互联系,下面选取工程船数量、能见度、风、流、碍航物、航道宽度、航道弯曲度、航道交叉状况、涌潮等9项指标作为通航环境的子因素。

1、工程船数量。通过施工水域航道特征可知,航道施工项目使用工程船舶数量较大。在一段时间内通航某水域的船舶数量越多,则该水域交通的拥挤程度越高,增加了碰撞事故发生的概率。

2、能见度。天气条件能够明显影响船舶驾驶者的可视范围。其中影响最大的当属雾天气。水上施工作业区内船舶和碍航物较多,若是再出现能见度低的情况,船舶驾驶员不能获得足够的信息,难以做出正确的操船决策,既影响水上交通效率,又容易发生碰撞、搁浅等事故。同时能见度的降低还会影响工程船舶的施工作业。

3、风。船舶受风力影响,操纵性能发生变化,一方面船舶航行的方向及速度将会改变,另一方面施工船舶受大风影响易发生漂移,施工船舶和通航船舶发生碰撞的概率增加。

4、水流。类似于风的影响,水流速度的快慢也会影响船舶操纵,船舶在通航施工水域时应低速航行,尤其顺流时舵效最差,航速难以把控,存在一定碰撞风险。

5、航道宽度。航道宽度决定了船舶通航可用航道的富

余量,对于本就狭窄的航道,控制施工范围并保证可用通航水域面积尤为重要。

6、碍航物。水上施工作业一般会设有锚桩、灯浮、水工建筑、施工平台等设施设备,航道碍航物过多、过近,船舶通航时易与其发生碰撞事故。

7、弯曲度。航道弯曲度一定程度上影响着船舶操纵性能,当施工区域位于航道弯曲处时,船舶操纵受到航道曲率的限制,航道水流的变化也将加大船舶的操纵难度。

8、航道交叉状况。交汇水域设有施工作业区时,区域内船舶密度增大,会形成交会紧迫局面,容易发生碰撞和搁浅等事故。

9、涌潮。涌潮作用于船舶时会使船舶摇晃加剧,削弱船舶的稳定性,不利于施工船舶安全作业,随着潮水的上涨与退去,船舶容易发生碰撞,造成事故损失。

3.2 施工作业船舶状况

船舶良好的操纵性能也有利于在复杂多变的施工水域中施工。船舶状况因素中的船舶大小、船龄、操纵系统等指标也会对安全产生一定的影响。

1、船舶大小和船龄。船舶长度越长其吨位越大,动量也相应较大,船舶转向时灵活程度就不足。船龄也是影响船舶安全的重要因素,特别是船龄达到15年的船舶,机械和系统发生故障的情况会逐渐变多。

2、导航系统、通信系统。良好的导航系统使船舶能够有效避开作业水域中的障碍物并确保船舶的安全。船舶通信系统同样起着信息桥梁连通的作用,不仅可以帮助船员与陆上人员进行良好的沟通,还可以获取水文气象信息及施工信息等,为船舶安全通航决策提供必要信息支持。

3.3 施工船舶船员素质

船舶安全事故与人的因素有关,且随着航行设备与航行技术的发展,人的因素在航行安全中的作用愈加显著,虽然船员素质因素指标难以做到量化,但是在研究船舶通航安全时非常重要。

1、心理因素和生理因素。船舶驾驶员在具备良好心理素质的前提下,才有可能规范自身的安全驾驶行为,尽可能避免人为失误。同时船员也要注意休息,避免在疲劳状态下工作。

2、驾驶技能。船员需要在船舶驾驶实操中有扎实的驾驶功底,施工水域出现安全风险时,能够凭借专业技能和业务操作能力,及时冷静采取正确策略规避事故发生或降低事故造成的损失。

3、安全意识和事故感知能力。施工水域情况本就复杂,潜在风险众多,船舶驾驶员理应具有强烈的安全意识,谨慎驾驶并规范自身的驾驶行为。能够提前觉察到施工水域中的危险信号,采取相应措施尽可能避免事故的发生。

3.4 助航标志和救助设备

1、导助航设施。在施工水域设置航标和警示设施,确

保视觉航标直观可靠,便于船舶驾驶者根据环境变化快速相应。

2、岸上救助设施。如果船舶在施工水域发生事故,确保附近的救助拖轮能够第一时间赶到事故现场。

4 施工水域通航安全风险防控措施

4.1 整体性措施

1、提前介入、统筹协调、顶层设计。

在施工作业之前,主管部门应联合施工工程项目部,协调沟通各相关单位船舶。工程项目部全程负责并事先制定施工规划,安排适度的作业强度,规划并掌控好各分项施工进度,确保工程按时完工。各个施工单位之间保持顺畅的沟通及信息交流,相互协助,同时严格管理各自所辖工程船舶,维护好分片施工区域的水上交通秩序。主管部门可根据施工区域的平面分布,按照一定标准将管理对象划分为多个单元网格,建立协调中心,通过巡查实时掌握信息,根据职责处理网格元素和事件,实现“网格”化和精细化管理。同时提醒来往船舶谨慎驾驶、加强瞭望,切实防止碰撞和搁浅等事故发生。

2、船舶管理

为确保项目的顺利实施及人身安全,需完善施工作业船舶的监督管理制度。工程施工期间可采取实行施工船舶准入制度,建立船舶准入程序,明确施工船舶管理措施,建立健全安全保障体系,同时要求各方要服从水上交通部门指挥,严格执行交通船管理,建立船舶应急预案。

3、施工人员管理

确保船员适任,施工前,船员必须集中进行安全技术培训,熟悉施工区域的工况环境和有关安全规章要求。建立施工区人员准入机制。施工作业人员应按要求正确穿戴安全防护具。同时针对施工作业人员制定专项应急预案。

4、自然灾害预防

施工期间随时注意船位变化及其他作业设施设备情况,配备紧急救援拖轮。自然条件恶劣到超过限制条件时,停止施工作业并进入锚地停泊。建立气象、水文预警机制,指挥中心应随时注意天气、水文变化,并及时将各种气象、水文变化信息通知施工船舶。出现紧急事件时,工程项目部配合水上交通主管部门行动,迅速启动应急救援预案。充分考虑自然条件对施工的影响,制定防潮、防汛、防台、防雾的应急预案,加强演练,同时选划合理的避风避潮区域。

4.2 针对性措施

1、设置警戒维护艇。

水上施工作业期间,针对航道内船舶流量大的情况,建议在施工区配置警戒艇,根据现场需要必要时进行交通维护。警戒维护艇的位置应设置于施工安全作业区上游附近水域。当施工船舶在下行航路施工时警戒维护船可在施工船舶

上游合适位置警戒维护,疏导交通,及时提醒通航船舶和施工船舶保持安全距离。

2、设置警戒标

为确保施工和附近通航船舶安全,应根据不同施工水域情况,在施工水域外侧设置显眼的施工警示标及导助航标识,引导船舶正确航行,规避通航船舶误入施工作业区的情况。

3、设置应急拖轮

工程施工期间应根据施工附近水域交通复杂情况适当设置应急拖轮,以应对突发事件,必要时要求过往船舶予以应急协助。

5 结论

针对船舶通航施工水域交通安全事故时有发生的情况,本文从保证施工船舶安全作业以及保证船舶安全通航两方面进行研究。通过对施工水域航道特征的分析,将其总结为可用通航水域受限、航道交通流复杂、施工船舶风险高、施工范围广和受自然条件影响明显等五点,发现施工水域具有两个显著特征:一是施工作业占用可用航道,船舶通航可用航道减少;二是作业水域工程船数量和过境货船多,航道中船舶密度增大。施工水域安全作业范围大多由实践经验来确定,缺乏相应依据。建议水上交通监管部门将施工船作业区范围下限值相应提高以保证水上施工作业安全。根据施工水域航道特点以及确定的施工水域通航安全风险因素,制定风险防控措施,先从顶层设计着手,构建施工管理部门,协调各单位间的沟通及工程作业的开展,然后再从船舶管理、施工人员管理和自然灾害预防等方面制定相应措施。此外,针对施工水域船舶流量大、碍航物多等特点,还提出在施工水域上游设置警戒艇、在施工水域外侧设置警戒标、在施工现场附近码头设置应急拖轮等针对性措施以预防水域交通事故的发生。

参考文献

- [1] 中交第二航务工程有限公司京杭运河浙江段三级航道整治工程杭州段(八堡船闸段) CZSG-2标段工程,水上水下活动方案, 2023.
- [2] 易义礼. 施工水域通航安全风险识别与防控研究. 硕士学位论文, 2019.
- [3] 小林弘明. 船舶操纵特性对航行环境安全评价的影响[C]. 日本航海学会论文集, 1992.
- [4] 吴兆麟. 海上避碰与交通安全研究[J]. 大连: 大连海事大学出版社, 2001.
- [5] 熊云峰, 毛筱菲, 蔡振雄. 风浪中船舶航行安全性研究[J]. 舰船科学技术, 2006(06): 57—60.
- [6] 刘方来. 浅谈疏浚施工船舶碰撞事故预防措施[C]. 中国航海学会内河船舶驾驶专业委员会 论文集, 2008: 3.

Analysis of railway freight market service problems and countermeasures

Kongjun Guan

Freight Department of Jinan Railway Bureau, Jinan, Shandong, 250001, China

Abstract

This paper focuses on the railway freight marketing and production services of the Jinan Railway Bureau's Freight Department, delving into issues such as weak service awareness, insufficient product flexibility, rigid pricing mechanisms, and lagging information technology levels. Through data analysis, it is found that in 2023, customer complaints due to untimely service responses reached 15%, the market share for small-batch cargo transportation accounted for only 8% of the industry, and price adjustment cycles exceeded six months. In response to these issues, strategies include reinforcing service concepts, optimizing product systems, improving pricing mechanisms, and advancing information technology construction. The research findings will assist the Jinan Railway Bureau's Freight Department in achieving market-oriented transformation, with pilot reforms in 2024 resulting in a 22% increase in customer satisfaction in pilot areas and a 35% growth in small-batch cargo transportation volumes. These findings are of significant reference value for enhancing the market adaptability of railway freight marketing and production.

Keywords

railway freight; market-oriented service; freight marketing; freight production; market competitiveness

浅析铁路货运市场化进程中出现的相关问题及对策建议

管空军

济南铁路局货运部, 中国 · 山东 济南 250001

摘 要

本文围绕济南铁路局货运部铁路货运营销与生产服务展开研究, 深入剖析当前存在的服务意识薄弱、产品灵活性不足、价格机制僵化、信息化水平滞后等问题。通过数据统计, 2023年铁路货运因服务响应不及时导致客户投诉率达15%, 小批量货物运输市场份额仅占行业的8%, 价格调整周期长达6个月以上。针对这些问题, 提出强化服务理念、优化产品体系、完善价格机制、推进信息化建设等对策。研究成果助力济南铁路局货运部实现市场化转型, 在2024年试点改革区域客户满意度提升22%, 小批量货物运输量增长35%, 对增强铁路货运营销与生产的市场适应性具有重要参考价值。

关键词

铁路货运; 市场化服务; 货运营销; 货运生产; 市场竞争力

1 引言

在我国交通运输体系深度变革、市场竞争白热化的背景下, 铁路货运作为国民经济的重要支撑, 面临着前所未有的机遇与挑战。随着公路、航空、水运等运输方式快速发展, 物流行业市场化程度不断加深, 客户对货运服务的需求呈现多样化、个性化及高效化特征。为在激烈的市场竞争中占据优势并实现可持续发展, 铁路货运亟需加速市场化改革, 全面提升服务质量。济南铁路局货运部作为铁路货运营销与生产的关键部门, 其市场化服务水平直接影响着货运业务的市场竞争力和经济效益。然而, 目前济南铁路局货运部在货运营销与生产服务方面仍存在诸多问题, 制约了其进一步发

展。本文旨在深入研究这些问题并提出切实可行的对策建议, 推动济南铁路局货运部铁路货运营销与生产的市场化转型, 提升整体服务水平。

2 铁路货运营销与生产市场化服务的重要性

2.1 满足客户多样化需求

随着经济发展与产业结构持续调整, 各行业、企业对货物运输的需求日益多元。据市场调研数据显示, 约 40% 的客户更注重运输速度, 希望货物能快速送达; 30% 的客户强调运输安全性; 25% 的客户则关注运输成本。铁路货运营销与生产的市场化服务能够根据客户的多样需求, 提供定制化运输方案, 满足客户个性化、多样化服务诉求, 提升客户满意度。

2.2 增强市场竞争力

在竞争激烈的运输市场环境下, 公路、航空等运输方

【作者简介】管空军(1984-), 男, 中国山东济南人, 本科, 工程师, 从事铁路货运研究。

式凭借灵活的服务和高效的运输效率不断抢占市场份额。铁路货运只有提升市场化服务水平,优化运输组织,提高运输效率,降低运输成本,才能在竞争中脱颖而出。例如,通过优化服务,某铁路局在2023年成功吸引了120家中小企业客户,市场份额提升了5个百分点。

2.3 促进铁路货运可持续发展

市场化服务推动铁路货运企业深入研究市场需求,及时调整经营策略与业务布局。通过持续优化服务内容和流程,提高资源利用效率,实现铁路货运的精细化管理,从而推动铁路货运向高质量、可持续方向发展,更好地适应经济社会发展需求。

3 济南铁路局货运部铁路货运营销与生产市场化服务存在的问题

3.1 服务意识相对薄弱

由于铁路货运曾占据相对垄断的市场地位,部分工作人员服务意识淡薄,缺乏主动服务客户的意识。在货物受理及运输规划等环节,存在服务态度冷淡、反馈不及时等问题。数据显示,2023年济南铁路局货运部因服务响应不及时导致客户投诉率高达15%,面对客户特殊需求和意见反馈,不能及时有效处理,难以满足客户对优质服务的期望,降低了客户对铁路货运的满意度和忠诚度。

3.2 货运产品灵活性不足

济南铁路局货运部提供的铁路货运产品类型较为单一,主要集中于大宗货物的长距离运输。小批量、高附加值货物运输服务供给不足,在运输时间和方式上缺乏灵活性,无法满足客户多元化运输需求。目前,快递物流市场蓬勃发展,但铁路货运在小件货物快速运输方面竞争力较弱,其小批量货物运输市场份额仅占行业的8%,难以快速响应市场对时效性的要求。

3.3 价格机制不够灵活

铁路货运价格体系僵化,价格制定主要依据运输成本和政府指导价,无法根据市场供求状况、运输季节变化、货物品类差异等因素及时调整。在市场竞争激烈的形势下,固定价格机制使铁路货运在与公路、航空等运输方式的价格竞争中处于劣势。价格调整周期长达6个月以上,难以采用灵活的价格策略吸引客户,尤其是对价格敏感的中小企业客户。

3.4 信息化水平有待提高

铁路货运信息化建设滞后,信息系统之间未能有效整合和共享。在货物运输过程中,客户难以实时获取货物运输位置及状态信息,降低了客户对货物运输的掌控感和信任度。同时,内部信息传递不畅,导致运输组织效率低下,货物装卸和中转环节容易出现延误。据统计,因信息传递问题导致的运输延误事件,每月平均发生20余起,难以满足客户对高效运输服务的要求。

3.5 市场营销能力不足

济南铁路局货运部在铁路货运营销过程中,缺乏有效的策略和手段。对市场需求的调研和分析不够深入,难以准确把握市场动态和客户需求变化。在市场推广方面,宣传力度不足,品牌影响力有限,客户对铁路货运新产品和新服务了解较少,导致部分潜在客户流失。

4 提升济南铁路局货运部铁路货运营销与生产市场化服务的对策建议

4.1 强化服务意识,树立以客户为中心的理念

4.1.1 系统化培训体系构建

建立分层分类的服务意识培训体系。针对新入职员工,开展为期1-2周的岗前服务意识专项培训,课程涵盖铁路货运服务规范、客户沟通技巧、职业道德等基础内容,并通过情景模拟演练,让员工熟悉客户咨询、投诉处理等场景,快速掌握服务要点。对于在职员工,每季度组织进阶培训,邀请行业专家和服务标兵分享先进服务案例和经验,分析服务过程中的典型错误,通过案例研讨,帮助员工深刻理解服务理念。

4.1.2 考核与激励机制创新

建立客户满意度与员工绩效紧密挂钩的考核体系,将客户满意度细分为服务态度、响应速度、问题解决率等维度,为每个维度设定具体评分标准和权重。每月通过电话回访、线上问卷等方式收集客户评价,并将评分结果纳入员工绩效考核,占比不低于30%。对客户满意度排名靠前的员工给予物质奖励;对连续两个月客户满意度不达标的员工,安排二次培训或岗位调动。设立“服务创新奖”,鼓励员工提出优化服务流程、提升客户体验的创新建议,对被采纳的建议给予相应奖励,激发员工主动服务的积极性。

4.2 优化货运产品体系,提高产品灵活性

4.2.1 多元化产品开发

针对小批量、高附加值货物,推出“铁路快运”系列产品,根据货物紧急程度和客户需求,设置“当日达”“次日达”“三日达”等不同时效等级的服务。对于电子产品、生鲜食品等时效性要求高的货物,开通专属快运列车线路,采用“门到门”直达运输模式。在发货地设立集货中心,在收货地附近设置配送站点,与专业物流企业合作,实现货物快速集货和精准配送。

4.2.2 差异化增值服务拓展

根据货物类别和客户需求,提供多样化增值服务。对于易碎物品、精密仪器等特殊货物,提供专业包装服务,采用防震、防潮、防静电的特殊包装材料和技术,确保货物运输安全。针对大型设备和超限货物,提供运输方案规划、线路勘查、护送等一站式服务,保障运输过程顺利。推出“货物保险”“代收货款”等金融服务,降低客户运输风险;提供仓储管理服务,解决客户货物存储问题,实现运输与仓储

的无缝衔接,提升客户整体物流体验。

4.3 完善价格机制,增强价格竞争力

4.3.1 动态价格调整模型构建

建立基于大数据分析的动态价格调整模型,整合市场供求信息、运输成本数据、竞争对手价格等多维度数据,运用机器学习算法分析价格与各影响因素的关系,预测价格波动趋势。根据不同季节和时间段的**市场需求变化,实时调整铁路货运价格。例如,在冬季取暖期煤炭运输旺季适当提高煤炭运输价格;在农产品收获季节,为保障农产品运输,给予相关货物一定价格优惠。

4.3.2 灵活价格策略制定

采用多种价格优惠措施。对于长期合作客户,签订年度运输合同,根据运输量实行阶梯式价格优惠,货运量越大,折扣越高。对于有一次性批量货运需求的客户,提供一次性优惠价格,鼓励客户集中发货。开展节假日促销活动,在春节、国庆等重要节日期间,实施限时价格优惠,吸引客户选择铁路货运。

4.4 加强信息化建设,提升服务效率

4.4.1 统一信息平台搭建

整合现有分散的货运信息系统,建设统一的铁路货运信息集成平台。该平台涵盖货物受理、运输调度、车辆管理、客户服务等功能模块,实现信息集中管理和共享。在货物受理模块,客户可进行订单提交、运费计算、运输方案选择等操作;运输调度模块通过智能算法自动生成最优运输计划,并实时监控列车运行状态;车辆管理模块实现对机车、车辆全生命周期管理,包括车辆检修、调度等;客户服务模块提供在线咨询、投诉处理、满意度调查等功能,搭建客户与铁路部门沟通的桥梁。

4.4.2 货物实时跟踪与可视化

利用物联网技术,为每节货车车厢和重要货物安装定位传感器和信息采集设备,实现对货物运输状态的实时跟踪和数据采集。客户通过手机APP或网页端输入货物订单号,即可实时查询货物位置、运行速度、预计到达时间等信息。在信息平台上通过地图可视化展示货物运输轨迹,让客户直观了解货物运输情况。对于运输过程中出现的偏离预定路线、设备故障等异常情况,系统自动发出预警通知,并及时推送至客户和相关工作人员,以便迅速采取应对措施。

4.5 加强市场营销,提升品牌影响力

4.5.1 精准市场调研与定位

组建专业市场调研团队,通过问卷调查、深度访谈、大数据分析等方式,全面了解市场需求和客户痛点。分析不同行业、不同规模企业的运输需求特点,明确铁路货运的目标客户群体和市场定位。针对制造业企业,重点推广稳定、大运量的原材料运输服务;针对电商企业,突出铁路货运在大件货物运输和成本方面的优势。

4.5.2 整合营销传播策略

制定全面的整合营销传播计划。在传统媒体方面,通过电视、报纸、杂志等渠道发布铁路货运品牌广告和产品信息,提高品牌知名度。在新媒体领域,运营官方微信公众号、微博、抖音等账号,定期发布货运产品介绍、运输案例、行业资讯等内容,与客户互动交流,增强客户黏性和归属感。参加物流行业展会、研讨会等活动,展示铁路货运新技术、新产品和服务优势,与潜在客户建立联系。

5 结语

在铁路货运市场化改革持续推进的背景下,济南铁路局货运部迫切需要提升货运营销与生产的市场化服务水平。通过分析当前存在的服务意识、产品体系、价格机制、信息化建设和市场营销等方面的问题,提出了针对性的改进措施。实践表明,在2024年试点改革区域,通过实施这些措施,客户满意度提升了22%,小批量货物运输量增长了35%。随着市场环境不断变化和技术持续升级,铁路货运营销与生产的市场化服务需要不断创新和完善,以适应新的发展要求,为经济社会发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 李心萍.铁路货运市场化改革加速推进[N].人民日报,2024-12-04(006).
- [2] 刘浩,申嘉琪,张戎.“公转铁”背景下铁路货运市场化定价策略[J].铁道货运,2022,40(10):54-60.
- [3] 吴蒙.新形势下提高铁路货运市场份额的对策研究[J].中国商论,2022,(13):66-69.
- [4] 何晓蕾.兰州局集团公司铁路保价运输市场化运营对策探讨[J].铁道货运,2022,40(02):35-39.
- [5] 马长青,林玉红,刘建华,等.关于铁路货场市场化经营管理的探讨[J].铁道货运,2021,39(09):12-16.

Analysis of the Application of Non-destructive Testing Technology in Road and Bridge Engineering

Jun Zhu

Nanjing Institute of Communications Technology, Nanjing, Jiangsu, 211188, China

Abstract

Non-destructive testing technology for road and bridge engineering is a key means to ensure structural safety and extend service life. This paper starts from the core principles and advantages of non-destructive testing technology, combined with the actual demand of large-scale construction and maintenance of roads and Bridges in China, and systematically analyzes the application scenarios and operational key points of technologies such as ultrasonic testing, electromagnetic induction method, impact-echo method and acoustic emission testing. The reasonable application of these technologies can effectively solve the limitations of traditional detection methods and significantly improve the detection efficiency and data reliability. This paper further explores the environmental adaptability, data processing methods and cross-validation strategies of different technologies, providing important references for the scientific detection and intelligent maintenance of road and bridge engineering.

Keywords

Road and Bridge Engineering Non-destructive testing technology Structural safety Ultrasonic testing Electromagnetic induction method

道路桥梁工程中无损检测技术的应用分析

朱俊

南京交通职业技术学院, 中国 · 江苏 南京 211188

摘 要

道路桥梁工程的无损检测技术是保障结构安全、延长使用寿命的关键手段。本文从无损检测技术的核心原理与优势出发, 结合我国道路桥梁大规模建设与养护并行的实际需求, 系统分析了超声波检测、电磁感应法、冲击回波法及声发射检测等技术的应用场景与操作要点。这些技术的合理应用可有效解决传统检测方法的局限性, 显著提升检测效率与数据可靠性。本文进一步探讨了不同技术的环境适应性、数据处理方法及交叉验证策略, 为道路桥梁工程的科学检测与智慧养护提供重要参考。

关键词

道路桥梁工程; 无损检测技术; 结构安全性; 超声波检测; 电磁感应法

1 引言

随着我国基础设施建设的快速推进和交通网络的持续完善, 道路桥梁工程作为交通系统的重要组成部分, 其安全性与耐久性备受关注。近年来, 既有桥梁的老化问题与新建桥梁的质量管控需求日益凸显, 传统的破坏性检测方法因效率低、干扰大等局限性已难以适应现代工程检测的高标准要求。在此背景下, 无损检测技术凭借其非破坏性、高效率和高精度等优势, 逐渐成为道路桥梁工程检测与维护的核心手段^[1]。本文结合当前道路桥梁工程的发展现状与实际需求, 系统梳理超声波检测、电磁感应法、冲击回波法及声发射检测等主流无损检测技术的原理、应用要点及技术价值, 以期

为提升工程检测效率、保障结构安全运行提供理论支撑与实践指导。

2 无损检测技术概述

无损检测(又称作非破坏性试验)是指借助相关设备通过声学、光学、电学及辐射学等物理原理, 在不损害测试物件本身的状态、功能及结构完整性的前提下, 以获取到被测对象存在的内部缺陷、力学性能、结构状态等为目的的一种检测技术。它相对于传统破损式检测技术的优势有: 检测速度快、易于操作和使用方便, 使用范围广泛, 比如既可用于承重主体的检查鉴定, 又能对在役结构进行长期监测或者协助制定养护策略。现阶段, 道路桥梁工程中常用无损检测主要有超声波检测、电磁感应法、冲击回波法以及声发射检测等多种技术, 它们因检测机制和适宜对象的不同而各具特点, 具体应用时均有各自的限定条件以及技术要点。因而针

【作者简介】朱俊(1978-), 男, 中国江苏泰兴人, 本科, 高校实验师, 从事道路桥梁工程施工检测研究。

对道路桥梁工程须结合具体检测对象采取相对应的无损检测技术,在达到最佳的检测效果的同时保障其整体安全和稳定。

3 道路桥梁工程中无损检测技术应用的现实意义

结合实践来看,我国道路桥梁工程现阶段处于大规模建设和全面养护并行时期,同时加之一方面大量的道路桥梁进入了使用后期安全隐患不断增大,并且伴随着我国的城市化进程加快和机动车数量的急剧增长,这也给道路桥梁安全运行带来了巨大的压力^[2]。正是在这一背景下,道路桥梁工程检测显得尤为关键。传统依靠目测或者破损取芯方式经实践表明无法满足新时期下对于道路桥梁日益复杂的结构高频率、高精度的检测要求。而利用无损检测技术进行道路桥梁检测时一方面无需破坏结构且干扰小,另一方面则能够从表面观察向内部评估延伸获取到真实准确的检测数据。简单而言,道路桥梁工程应用无损检测技术时能在不影响其使用情况下确认是否存在诸如混凝土缺陷、钢筋锈蚀、结构老化或者是空洞等安全隐患,随后在未出现损坏情况之前根据检测数据进行处理,既避免结构进一步破坏的风险,又确保道路桥梁安全运行。另外,随着交通强国理念进入了新的发展阶段,道路桥梁安全标准也随之进一步提升,在这种局面下无损检测逐渐在竣工验收、投入使用以及养护等环节中得到了广泛地应用。最后,由于我国幅员辽阔,不同的区域存在着地质、气候、车流量等较大差异,这意味着道路桥梁工程所遭受的环境腐蚀或荷载冲击也有所区别,在此种情况下无损检测就提供了一个区域性较强的、定量能力较强的技术途径。

4 道路桥梁工程中无损检测技术的应用要点

4.1 桥面混凝土缺陷超声检测技术应用

在道路桥梁工程桥面混凝土缺陷检测当中超声波检测技术正凭借着非破损、高效与精准等诸多优点得以广泛应用。比如在桥面板出现裂缝、孔洞或者脱空等问题时使用超声波检测技术来检测和评估都具有十分明显的优势。超声检测技术具体操作要点为:检测的时候要要对桥面混凝土表层做好清理工作,把浮动浆、油污、杂物清除掉,保证探头能够跟构件的表面结合在一起,同时还可以用一些性能稳定而且是中性的耦合剂进行涂抹,这样就能够在一定程度上减少超声波在介质界面上出现的反射损失问题。随后进行布点工作时,检测人员须严格按照操作规范。如为增强桥面混凝土缺陷识别的空间分辨率,可采取 $0.20\text{ m} \times 0.20\text{ m}$ 等距矩阵式布点方式做桥面板全面覆盖。同时当发现桥面某一个区域已经有表面裂缝的情况下,须按照裂缝的方向分别在其垂直与平行方向加密布设检测点,且各点的间距设置在 0.1 m 之内,随后借助二维的声速传播剖面模型进行反演计算出裂缝深度以及分析裂缝扩展趋势。此外,超声检测时发射与接收

探头使用脉冲回波的方式实现桥面目标区域的多角度扫描,以得到纵波在混凝土介质内传播时间、回波幅度、能量衰减等原始波形数据,同时该过程中出于增强准确性目的检测人员需要利用多道波形识别技术对信号作分离和去噪处理,以将混凝土自身质量、钢筋阻挡等因素引起的非结构化干扰信号剔除出去。另外,针对桥面中钢筋密集区域检测上,可采用低频、大孔径探头或者是避开车道主筋位置来提升声波穿透性,从而规避检测时钢筋处声波反射导致数据失真情况。对于多层结构桥面,应该根据不同面层和基层的厚度,选择合适频率的超声波和相应的采样间隔,保证声波能穿透至下一层而不会产生多次反射。数据后处理环节上,可以从波速变化率、衰减系数以及振幅响应等方面入手,通过建立模型的方式将这些参数用于判断桥梁结构的完好程度,随后再和历史实测数据相比较开展验证,最大限度保证桥面混凝土缺陷检测结果的真实准确性。

4.2 钢筋锈蚀检测中的电磁感应法应用

针对道路桥梁工程中钢筋锈蚀状况检测上,电磁感应法不仅因其无须剔凿保护层就可以借助涡流原理对钢筋电导率的变化作响应分析,同时也可高效获取准确结论。具体操作要点为:先使用高精度钢筋定位仪确定道路桥梁工程中钢筋的空间分布、埋设深度,随后进行感应检测的路径的选取以及确定扫描的方向。结合现行规范可知,道路桥梁混凝土保护层大多数为 $20\text{—}50\text{ mm}$,因此选用频率为 $1\text{—}10\text{ kHz}$ 之间的电磁感应探头可以保证对不同深度钢筋均可实现较强穿透感应能力及钢筋表面腐蚀精准识别。在探头上移动时要保证直线行进,在同一钢筋上平行扫描,且行进速度保持恒定(不高于 5 cm/s),以免因行进速度过快而导致信号失真、噪声干扰等。每根钢筋检测完成须分别编号存档,检测数据分开处理,依据感应信号中的相对电导率和相位角的变化来判别钢筋表面氧化膜的变化程度及腐蚀率的快慢^[3]。此外,在北方季节性冻融地区、南方高湿地区检测中要考虑湿度对电磁感应信号的影响,为此可使用含湿修正因子做后期数据回归计算或者选择干燥天气开展电磁感应法检测作业。除受环境因素影响会产误差漂移外,在检测前和检测后都应对其进行零点校准以及设置温度补偿参数,以规避设备温度梯度敏感造成误差出现。另外,电磁感应法检测时须在混凝土表面较为平整且没有比较明显的裂缝处进行作业,以减小因局部结构缺陷导致感应路径发生偏移现象,从而保证检测结果具有重复性与横向对比性。

4.3 桥梁承台内部缺陷的冲击回波法应用

对于道路桥梁工程的大体积结构承台的无损检测,冲击回波法地应用能够精准探查深部缺陷位置,以检测其中混凝土结构的质量。具体操作要点为:冲击回波应用中出于增强承台内部缺陷检测的精度和信噪比须选择频响带宽高、灵敏度大的压电传感器,同时再辅以如直径不得小于 12 mm 钢球或者弹簧锤地中心频率合适的锤击源,从而保证激振能

量能够穿透承台内部较深的混凝土区域。冲击点与接收点之间的距离保持在 20~30cm 左右范围之内,冲击信号的短波反射信息的采集较好,这样可以减少波形的衰减或者是干扰对于承台内部缺陷的识别精度的影响。承台表面要进行粗化处理,可采取 60 目以上的打磨片在承台表面纵横交错打磨清除浮浆与松散颗粒,随后以无水酒精将表面清洁,提高声波耦合效果。冲击回波探测路径宜以矩阵网格的方式覆盖承台上表面区域,格点间距宜设定为 20cm,根据检测部位的不同,可先将布点布置于受力集中处、施工冷缝等易出现缺陷的位置,并且再通过密度较高的布点收集三维反射波场数据用于后期承台内部缺陷空间分布图像的重建。选取冲击源时需要考虑到大体积混凝土本身耗能较大的特点,为此可以用重锤多点连续激振叠加的方法进行检测,每个点采样不低于 30-35 组波形之后取平均值来消除偶然性噪声的干扰,突显出缺陷的信号特征^[4]。数据处理阶段需要通过频域反演以及短时傅里叶变换,将反射波的时间信息转换成空间深度,结合频谱特征分析缺陷反射峰的主频变化,然后对比标准混凝土波速模型判定反射界面的属性和位置。

4.4 预应力锚固系统缺陷的声发射检测应用

在道路桥梁工程结构无损检测中,预应力锚固系统的缺陷识别是另外一项重要内容。声发射检测技术通过检测材料发生微裂纹初期、扩展时的状态变化来实现对应力过程下的锚具、锚垫板、锚垫板周围的混凝土部位损伤状态进行监测。具体操作要点为:实施检测之前需要根据道路桥梁工程预应力锚固体系的结构布置和受力特点进行布点,在每个锚垫板周围布置 46 个宽频带传感器,每个传感器尽量布置到可能发生裂缝发展的路径附近,相邻两个传感器之间的距离须满足同一波前可以传到要求,以提高三维定位的空间精度的要求。声发射装置调试要在静载下对其背景噪声基准值进行测试,在现场噪声水平的基础上,选取合适阈值进行触发设置,将阈值设置在 40 ~ 60dB 范围内。同时加载采用恒速张拉(张拉速度建议取值为 2 ~ 5MPa/min),保证受力过程平稳连续。声发射系统实时采集事件频数、振幅、能量、累计事件数量等参数,尤其须注意信号突增或者出现频谱异常部分,同时与荷载-时间曲线做对应分析以找出结构异常

点。声发射检测完后开展声源定位分析,用基于最小均方误差算法的三角定位法找到声源空间坐标位置,然后借助于结构布置图确定预应力锚固端区域出现异常能量集中的部位,为判定存在损伤点做好铺垫^[5]。对于存在连续高强度或高能量声发射特征的区域,可结合混凝土表层开槽检查,并应用超声回弹、冲击回波等其他无损检测技术交叉验证排除假象声源的干扰,保证结果判定的正确性及可重复性。最后,使用具有时标同步功能的数据采集系统,将信号记录与加载状态一一对应,以形成完整的损伤演化过程数据链,为后续预应力锚固系统缺陷评定及维修决策制定提供可靠支撑。

5 结语

随着交通强国战略的深入推进,道路桥梁工程的安全性及耐久性已成为社会关注的焦点。本文通过系统梳理无损检测技术在桥面混凝土缺陷、钢筋锈蚀、承台内部缺陷及预应力锚固系统损伤检测中的具体应用,验证了其在提升检测效率、保障结构安全方面的显著优势。研究表明,不同无损检测技术需结合工程实际需求与环境条件进行针对性选择与优化,同时需注重多技术协同验证以规避单一方法的局限性。未来,随着人工智能与物联网技术的融合,无损检测将进一步向智能化、实时化方向发展,为道路桥梁的全寿命周期管理提供更精准的技术支撑。然而,复杂环境下的检测精度提升、多源数据融合分析等仍待深入研究,以期推动无损检测技术在工程实践中的更广泛应用。

参考文献

- [1] 刘永伟.道路桥梁工程中无损检测技术应用研究[J].运输经理世界,2024(5).
- [2] 刘聪.无损检测技术应用于道桥工程中的方法探索[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2023(1):1904-1905.
- [3] 何德梅.桥梁工程中无损检测技术的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023.
- [4] 黎宗尚.基于无损检测的道路桥梁工程测量技术分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):4.
- [5] 谢书建,蒋纤纤.无损检测技术在桥梁道路工程中的应用[J].建材发展导向,2025(6).

Collaborative Design of Special Subgrade Treatment and Ecological Protection for Expressways

Bin Hu

Jiangxi Transportation Design Research Institute Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330002, China

Abstract

The Xiuping Expressway passes through the humid hilly area of southern Jiangnan, facing special geological challenges such as widespread soft soil and complex karst, where traditional treatment methods struggle to balance engineering and ecological needs. The research team deeply explores the collaborative mechanism between soft soil/karst subgrade treatment technologies and ecological protection, innovatively proposing a composite model of “engineering measures for foundation stabilization + plant community slope protection.” Engineering-wise, deep mixing piles and dynamic compaction replacement are used to reinforce soft soil, while grouting filling and beam-slab spanning address karst issues. For ecological protection, adaptive plant species are selected to build multi-layer vegetation communities. Practices show that this collaborative design reduces post-construction settlement of soft soil subgrades by 40% and increases slope vegetation coverage to over 90%, ensuring subgrade stability while reconstructing ecosystems. It provides theoretical and technical support for green construction of mountainous highways.

Keywords

mountainous highway; soft soil subgrade; karst treatment; ecological protection; collaborative design

高速公路特殊路基处理与生态防护协同设计

胡斌

江西省交通设计研究院有限责任公司，中国·江西 南昌 330002

摘 要

修平高速公路穿越江南丘陵过湿区，面临软土广布、岩溶复杂的特殊地质难题，传统处理方式难以兼顾工程与生态需求。研究团队深入探究软土、岩溶路基处理技术与生态防护的协同机制，创新提出“工程措施固基+植物群落护坡”复合模式。工程上，采用深层挤密桩、强夯置换等加固软土，运用注浆填充、梁板跨越应对岩溶；生态防护则筛选适生植物构建多层植被群落。实践表明，该协同设计使软土路基工后沉降减少40%，边坡植被覆盖率超90%，既保障路基稳定，又重建生态系统，为山区公路绿色建造提供理论与技术支持。

关键词

山区公路；软土路基；岩溶处治；生态防护；协同设计

1 引言

山区公路建设是促进区域经济发展、推动乡村振兴的重要基础 [1]。然而，山区特殊的地质条件，如软土、岩溶、高液限土等，极易引发路基沉降、边坡失稳等病害，严重威胁公路运营安全。与此同时，在生态文明建设的时代要求下，如何减少工程建设对生态环境的破坏，实现路基处理与生态防护的协同发展，成为山区公路建设领域的研究热点。

修平高速公路所处的江南丘陵过湿区，特殊路基病害频发，生态环境敏感脆弱。传统的路基处理与生态防护技术往往各自独立，缺乏系统性和协同性，难以达到理想的工程与生态效果。因此，深入研究山区高速公路特殊路基处理与

生态防护的协同设计方法，探寻两者的协同作用机制，对于提高特殊路基稳定性、增强生态系统修复能力、实现山区公路绿色可持续发展具有重要的理论价值和实践指导意义。

2 山区特殊路基病害特征与成因

2.1 软土路基变形机制

在山区高速公路建设中，软土路基的病害治理是关键技术难题之一 [2]。以修平高速为例，其软土主要分布于 K5+200 - K7+800、K44+600 - K46+900 等山间谷地。这些区域的软土呈现灰黑色，具有显著的“高压缩性、低强度”特性，其天然含水率高达 45% - 60%，孔隙比介于 1.2 - 1.8 之间。特殊的物理性质使得软土在承受路基荷载时，极易发生变形。

在实际工程中，软土路基病害特征明显。一方面，路基中心沉降速率可达 5 - 8mm/d，较大的沉降量不仅影响路

【作者简介】胡斌（1977-），男，中国江西兴国人，本科，高级工程师，从事公路勘察设计咨询研究。

面平整度,还会导致严重的差异沉降,进而引发路面开裂,降低道路使用寿命与行车舒适性。另一方面,由于软土抗剪强度低,边坡稳定性难以保障,稳定系数最低仅为1.05-1.10,远低于规范要求的1.25,存在较高的边坡滑移风险,威胁工程安全。

2.2 岩溶路基潜在风险

修平高速穿越的石灰岩区域占路线总长的8%,该路段广泛发育溶沟、石芽及小型溶洞等岩溶地貌,为路基稳定带来潜在风险。岩溶地区路基面临的首要威胁是地基不均匀沉降,当溶洞顶板厚度不足时,难以承受上部路基及车辆荷载,极易发生塌陷,导致路面沉陷、错台等病害[3]。此外,岩溶地区特殊的地质构造使得地下水渗透问题突出。在雨季,地表水通过岩溶裂隙快速渗入路基,致使地基土软化,降低土体承载能力,进一步加剧路基变形,同时增加了排水系统的负担,容易引发路基翻浆、冒泥等病害。

3 特殊路基处理技术体系

3.1 软土路基分级处治技术

3.1.1 浅层软土 ($H < 2\text{m}$)

针对浅层软土路基,研究团队提出“砂垫层+土工格栅”联合处理方案。施工时,先清除表层腐殖土,消除软弱夹层;接着回填50cm砂垫层,压实度 $\geq 93\%$,利用砂料透水性加速软土孔隙水排出。随后铺设幅宽4m、搭接0.3m的TGDG180土工格栅,形成三维约束体系抑制侧向位移;最后分层填筑(每层厚30cm)。该方案中,砂垫层为竖向排水通道,土工格栅通过摩擦扩散荷载,二者协同提升地基承载能力,适用于浅层软土厚度不足2m的路段。

3.1.2 中层软土 ($2\text{m} \leq H \leq 3\text{m}$)

中层软土路基(2-3m)采用“砂砾垫层+开山石渣+土工格栅包裹”复合处理技术。先铺设50cm含泥量 $< 3\%$ 的砂砾垫层,再分层填筑粒径 $\leq 10\text{cm}$ 、压实度 $\geq 94\%$ 的碎石土,每层铺设后加铺土工格栅形成刚性夹层。在K44+675-K46+980路段实践中,工后1年沉降量稳定在22mm,较传统换填法减少38%,兼具稳定性与经济性。

3.1.3 深层软土 ($H > 3\text{m}$)

深层软土路基($> 3\text{m}$)创新采用“碎石桩+碎石垫层”排水固结方案。碎石桩直径50cm,按1.5m间距梅花形布置,穿透软土层,顶部铺设100cm碎石垫层。该方案通过碎石桩将孔隙水引入垫层排出,实测显示地基固结度达85%的时间缩短60%,承载力提升至120kPa以上,有效解决深层软土沉降难题,保障高填方路段稳定。

3.2 岩溶路基综合处治技术

3.2.1 探测与评估

通过工程地质钻探及物探综合勘察方法,查明岩溶分布范围。本项目K21+500~K22+200段丘间谷盆地及B1标段东津水河谷盆地岩溶十分发育,且以浅层岩溶为主,

洞内多为软~流塑状土充填,局部无充填,灰岩顶板一般0.2~2.0米不等,路基填高不一。。

3.2.2 分类处治技术

1) 一般溶洞处治方法

①清除表面耕植土和软土。

②以 $(200 \times 20)\text{kN} \cdot \text{m}$ 单击夯击能夯击,若出现孔洞塌陷,则片石回填后夯实,再以 $(200 \times 6)\text{kN} \cdot \text{m}$ 单击夯击能夯击2遍,最后满夯1遍,满夯单击夯击能为 $(200 \times 4)\text{kN} \cdot \text{m}$ 。[1]

③强夯后增设三层双向土工格栅。

④路面基层设置双层配筋连续混凝土板补强。

2) 对于分布于东津水河谷盆地的特殊较大的浅层岩溶,当预先进行强夯存在困难时采用如下方法处治:

①先采用地下爆破将溶洞炸塌、炸开。

②用挖掘机、推土机平整。

③采用夯击能 $(200 \times 6)\text{kN} \cdot \text{m}$ 进行强夯,强夯工艺与石方路基强夯相同。

④利用标段内多余土石方进行正常填筑。

3.3 红砂岩路基填筑技术

在修平高速公路K25+000-K30+000路段,红砂岩因崩解率高达35%,遇水软化特性显著,给路基填筑带来巨大挑战。若直接使用原状红砂岩填筑,极易引发路基沉降、边坡失稳等问题[4]。为确保工程质量,项目团队从填料改良与边坡防护两方面制定解决方案。

填料改良上,将红砂岩破碎至粒径不大于15cm,并掺入5%生石灰进行改性处理。生石灰与红砂岩中的水分发生反应,通过离子交换和胶结作用,改善土体结构,提升其水稳定性与强度;同时,严格控制碾压时含水率在最佳含水率 $\pm 2\%$ 范围内,确保压实效果。

边坡防护采用“人字形骨架+喷播草灌”技术,3m间距的浆砌片石骨架可有效拦截坡面径流,内嵌三维植被网增强土体整体性,按3:1比例播种的狗牙根与木豆,前者快速固土,后者改善土壤,实现工程防护与生态修复的协同增效。

4 生态防护与工程措施协同设计

在山区高速公路建设中,边坡防护不仅关乎工程安全,更对生态环境有着深远影响[5]。修平高速公路将生态防护理念与工程措施深度融合,针对填方、挖方边坡及挡土墙等不同结构,构建协同防护体系。

4.1 填方边坡协同防护模式

4.1.1 低边坡 ($H \leq 4\text{m}$): 纯植物防护

对于高度不超过4米的填方低边坡,项目采用纯植物防护策略,充分发挥植被的生态与工程双重功能。植物配置上,采用喷播草灌混合种的方式,按每平方米4g狗牙根、6g百喜草、5g紫花苜蓿的比例进行播种,并以每100平方米点缀10株紫穗槐灌木。狗牙根根系发达,能够快速扎根固土;百喜草适应性强,耐干旱瘠薄;紫花苜蓿兼具固氮改

良土壤的作用，三者协同配合，实现边坡快速绿化与防护。实践表明，施工后 3 个月，边坡植被覆盖率可达 80%，6 个月后再进一步提升至 95%，抗冲刷能力相较于裸露边坡提升 4 倍，有效防止水土流失。

4.1.2 其他边坡（ $H > 4\text{m}$ ）：圬工 + 植物复合防护
针对 4 米以上的填方边坡，采用“圬工结构 + 植物防护”的复合模式。边坡下层采用厚度 0.3m 的浆砌片石“人字形骨架”，骨架不仅能够有效分散坡面水流，减少雨水冲刷，还为内部喷播的草灌植物提供稳固的生长空间；边坡上层则采用挂网喷播基材客土工艺，客土厚度达 8cm，并种植油麻藤等藤本植物（株距 1m）。这种设计中，圬工骨架提供结构支撑，保障边坡的初期稳定性；植物根系则随着生长不断深入土体，增强土体黏聚力，二者协同作用使边坡整体稳定系数提升至 1.40，远超规范要求。

4.2 挖方边坡生态修复技术

4.2.1 土质边坡：柔性防护 + 自然恢复
对于土质挖方边坡，采用“柔性防护 + 自然恢复”的生态修复技术。施工工艺包括清坡、挂设 50mm × 50mm 网孔的三维植被网、喷播特制基材（腐殖土 60%、河砂 30%、水泥 10%），并覆盖无纺布。基材中腐殖土提供养分，河砂保证透气性，水泥增强初期强度；草种按狗牙根、白三叶、木豆 5:3:2 的比例混合，兼顾快速固土与长期生态改善，实现边坡防护与生态恢复的平衡。

4.2.2 岩质边坡：锚杆挂网 + 植生混凝土
针对岩质挖方边坡，采用“锚杆挂网 + 植生混凝土”技术。通过设置长 2.5m、间距 2m × 2m 的锚杆，挂设 $\phi 4\text{mm}$ 镀锌铁丝网，为植生混凝土提供稳固的附着基础。10cm 厚的植生混凝土中掺入狗牙根草种（ $2\text{g}/\text{m}^3$ ）与保水剂（ $5\text{kg}/\text{m}^3$ ），确保植物在恶劣的岩面环境中能够扎根生长。在 K18+500 - K18+800 岩质边坡的应用中，1 年后植被覆盖率达 85%，岩体表面形成 0.5 - 1.0cm 厚的生物膜。

4.3 挡土墙生态化改造
在挡土墙顶部设置 20cm × 80cm 的混凝土种植池，填充腐殖土后种植常春藤（株距 0.5m），藤蔓沿墙面自然垂落，覆盖率可达 90% 以上，有效柔化硬质工程结构。同时，在墙身每隔 2m 设置 $\phi 10\text{cm}$ 通气孔，孔内填充“腐殖土 + 草种”混合物，实现工程与自然的和谐共生。

5 排水系统与生态保护耦合设计

在地表排水生态化改造方面，创新采用植草沟技术与阶梯式急流槽。于边沟外侧设置 50cm 宽的植草沟，种植芦苇、香蒲等耐湿水生植物，有效过滤地表径流中的悬浮物（SS）和化学需氧量（COD），去除率分别达到 70% 和 50%，既净化水质又减少水体污染。阶梯式急流槽采用“浆砌片石 + 植草台阶”结构，每级 30cm 高的台阶种植狗牙根，不仅使水流速度降低 30%，缓解冲刷压力，还为昆虫等小型生物

创造栖息地。
在地下水控制与利用层面，渗沟出口处设置生态湿地，利用芦苇床的天然净化能力处理地下水，同步布置人工鸟巢，吸引鸟类栖息，构建小型生态循环系统。针对挖方平台沟，在两侧种植宽 2m 的胡枝子等灌木带作为植物缓冲带，凭借灌木根系固土与枝叶拦截作用，使泥沙淤积量减少 60%，有效防止水土流失，促进区域生态环境的可持续发展。

6 协同设计效果评估

6.1 工程性能指标表格

项目	设计值	实测值	达标率
软土路基工后沉降	$\leq 30\text{mm}$	18~25mm	100%
边坡稳定系数	≥ 1.25	1.35~1.50	100%
路面破损率	$\leq 5\%$	2.3%	达标

6.2 生态效益指标
植被覆盖率：边坡植被覆盖率从施工前的 15% 提升至 92%，取弃土场生态恢复率 100%；
水土流失量：采用协同设计后，年水土流失量从 850t/km² 降至 130t/km²，减少 85%；
生物多样性：监测到新增植物物种 12 种，昆虫种类增加 30%，生态系统趋于稳定。

7 结论与展望
在山区高速公路建设面临地质复杂、生态保护要求高的双重挑战背景下，本研究针对修平高速公路工程实际开展技术攻关，取得显著成果。
一是协同设计优势：工程措施与生态防护的有机结合，可使特殊路基处理成本降低 15%~20%，生态恢复周期缩短 50% 以上；二是技术适用范围：适用于丘陵山区软土、岩溶等特殊路基处理，尤其适合生态敏感区公路建设；三是未来研究方向：建议引入智能监测技术（如 InSAR、北斗位移监测），实现特殊路基变形的实时预警，进一步提升协同设计的可靠性。

参考文献

[1] 袁腾方.岩溶区高速公路路基强夯处治技术及其稳定性分析[D].湖南大学,2018.

[2] 乔攀举,穆玲建,田磊.软土路基施工技术在高速公路施工中的研究[J].产业创新研究,2023,(24):129-131.

[3] 杨丽文,杨国兵.马鞍山隧道初支变形侵限及岩溶处治方法[C]//《施工技术》杂志社.2024年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册).云南建投第十建设有限公司,2024:348-351.

[4] 刘丽丽.岩溶地质条件下的高速公路桥梁桩基处治要点[J].交通世界,2023,(34):145-147.

[5] 吕江,赵晖,杨杓.强夯法处治岩溶地基设计参数研究[J].中外公路,2023,43(02):26-30.

Statistical Analysis and Research on the Characteristics of Traffic Accidents during the Construction Period of Expressway Reconstruction and Expansion Projects

Qiang Liu

Panjin Branch of Liaoning Provincial Expressway Operation and Management Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124000, China

Abstract

During the construction period of the expressway reconstruction and expansion project, the traffic safety situation is extremely severe. This paper conducts an in-depth statistical analysis of the characteristic patterns such as the types of accidents, the situation of accident personnel, the types of accident vehicles, the location of the accident lanes, the occurrence of accidents under different weather conditions, and the occurrence time of accidents during the construction period of the reconstruction and expansion project of a certain expressway. The research shows that accidents without personnel injuries and vehicle rear-end collisions are the main ones, and small cars are the main types of accidents. Around 10 a.m. during the day is a period with a high incidence of accidents. Rainy, snowy weather and important holidays are prone to cause a high incidence of accidents. During the renovation and expansion construction period, maintaining the emergency lane plays an important role. Through the research of this paper, it is expected to provide a basis and reference for the participating units of expressway reconstruction and expansion projects to formulate traffic organization and management measures.

Keywords

Expressway Expansion and renovation Characteristics of traffic accidents Rule analysis

高速公路改扩建工程施工期间交通事故特征统计分析研究

刘强

辽宁省高速公路运营管理有限责任公司盘锦分公司，中国·辽宁 盘锦 124000

摘 要

高速公路改扩建工程施工期间交通安全形势异常严峻。本文深入统计分析某高速公路改扩建工程施工期间事故类型、事故人员情况、事故车型、事故发生车道位置、不同天气事故发生情况、事故发生时间等特征规律，研究表明以无人员伤亡、车辆追尾等事故为主，小型汽车是事故发生的主要车型，日间10时左右是事故高发时段，雨雪天气和重要节假日期间易导致事故高发，改扩建施工期间保留应急车道具有重要的作用。通过本文的研究，以期高速公路改扩建工程参与单位制订交通组织管理措施提供依据和参考。

关键词

高速公路；改扩建；交通事故特征；规律分析

1 引言

高速公路改扩建工程施工通常采用“边通车边施工”的方式，施工作业与交通相互耦合严重，导致交通安全事故易发、频发、多发。有研究表明，施工作业区交通事故发生率比正常路段高 21.5%，其中伤害事故和非伤害事故比正常路段多 17.3% 和 23.8%^[1]。因此，研究和分析高速公路改扩建工程施工期间交通安全事故发生情况，对于指导改扩建高速公路运营管理具有重要的作用。然而，现有研究主要集中在

在正常运营的高速公路交通安全事故规律^[2, 3]、影响因素分析^[4]等方面，对于改扩建高速公路交通安全事故发生规律和特征的研究较少。因此，本文通过搜集和整理某高速公路改扩建工程实施期间交通安全事故数据，对事故发生情况进行统计分析，为改扩建高速公路运营安全管理提供指导。

2 数据来源

本文搜集了某高速公路在改扩建施工过程中的某年 1 月 1 日至 12 月 31 日全年发生的交通事故数据，数据中所包含的信息主要包括事故开始日期及时刻、事故结束日期及时刻、事故发生的地点（里程桩号及方向）、事故占道情况、事故发生时天气、事故发生类型、事故人员伤亡情况、事故车辆类型等，数据汇总情况如表 1 所示。

【作者简介】刘强(1981-)，男，中国辽宁盘锦人，本科，工程师，从事机电工程、路网运监测、指挥调度与应急处置研究。

表 1 数据汇总

统计里程	车道数量	交通组织形式	事故数量	上行事故数量	下行事故数量	受伤人数
102.7km	4 车道 + 应急车道	单幅双向保通	959	444	515	128

3 交通事故数据统计分析

3.1 事故人员情况分析

按照人员伤亡数量进行统计，共分为 8 个组别，详见图 1。其中，事故伤亡情况表现出极不均衡性，以发生无伤亡事故为主，占比达到了 89.98%；有人伤亡事故数量占比为 10.02%，以 1 人受伤事故为主，占比为 6.57%，4 人受伤、1 人死亡和 3 人受伤、1 人死亡和 4 人受伤各发生 1 起。同时，可以发现事故平均处置时长与人员伤亡严重程度成正比。但是由于 3 人受伤以上的事故数量较少，不具有统计特征，事故平均处置时长仅供参考。

图2为事故发生时段的频率统计情况。从图中可以发现，事故总体易发生在 8 时至 17 时，其中在 10 时左右达到事故顶峰，双向、上行和下行事故发生频率相较于平均值分别高出 4.3、3.3 和 5.4 倍标准差，原因之一为该时段道路上车流量较高，出现各类事故的发生几率也较大。只出现人员伤亡事故类型发生频率较为均衡，呈现出随着时间的推移，发生频率逐渐降低的趋势。出现人员死亡的事故时段的频率呈现

明显的“凸点”特征，事故在 0 时至 1 时、12 时至 13 时、19 时和 21 时，原因主要有 3 个方面，一是上述 3 个时段是驾驶人员易出现疲劳驾驶等，由于未能及时采取刹车等措施极易增加事故的严重程度，二是夜间视线较差车辆驾驶人员采取措施的有效时间降低，三是人员死亡事故数量相对较少造成数据的可解释性相对较差。从时间分布情况来看，日间应是防范各类事故发生的重要时刻，但是应注意在夜间尤其是 0 点附近应加强对车辆的提醒，减少疲劳驾驶、保持行车间距、按照规定限速行驶等。

3.2 事故类型分析

事故类型分为车辆追尾、车辆碰撞固定物、车辆故障、车辆刮蹭、车辆刮擦、车辆侧翻、车辆自燃和车辆散落物体等 8 种。其中，以追尾、碰撞事故为主，占比达到了 50% ~ 60%、11% ~ 21%，应是重点关注和防范的事故；车辆自燃与散落物体等事故占比较低。本文同时将上行、下行方向发生的各类型事故分别进行了统计，在 0.05 显著性水平检验下的 $F = 1.67 \times 10^{-15}$ ，远远小于 $F_{crit} = 3.47$ ，即表明事故类型与道路行驶方向没有明显差异。

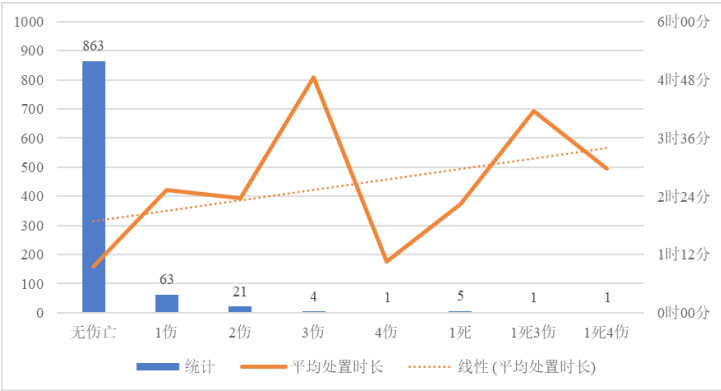


图 1 事故伤亡人数情况分析

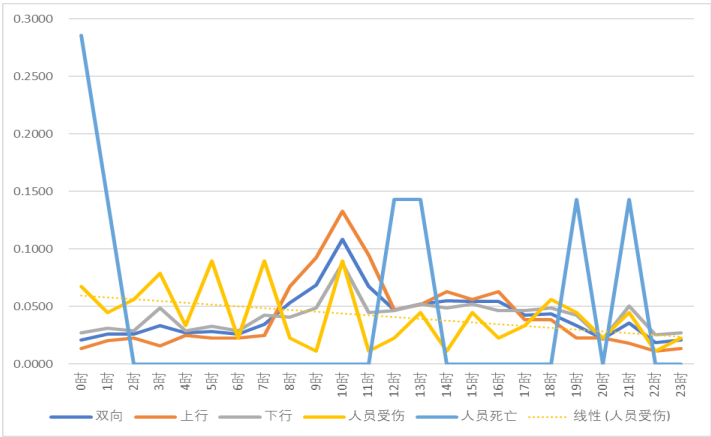


图 2 事故发生时段频率统计

3.3 事故车型分析

车型分为小汽车、大型货车、中小型火车、大型客车和中小型客车 5 种。在 5 种车型中,以小汽车和大型货车发生事故为主,占比分别为 67% ~ 74%、18% ~ 24%,大型客车和中小型客车占比均小于 1% 以下。上述结果表明,在交通安全管理中,应重点关注小汽车、大型货车,验证了部分高速公路改扩建工程项目开展限制货车通行的决策。同时将上行、下行方向发生的各类型车辆分别进行了统计,在 0.05 显著性水平检验下的 $F = 0$, 远远小于 $F_{\text{crit}} = 3.89$, 即表明事故车型与道路行驶方向没有明显差异。

对各事故类型中车辆类型进行统计,结果见图 3。在车辆追尾事故中以小汽车为主,可以解释为小汽车行驶不稳定、易进行超车等行为,造成追尾事故高发;相较于客车,小汽车、货车等车型应是高速公路改扩建交通组织过程中重点关注和管控的对象,采取措施提高群体车辆驾驶安全性。同时,应加强大货车货物装载的规范性,在散落物事故仅发生在大货车车型上。

3.4 事故发生车道位置分析

对事故发生时占用车道情况进行统计,结果见图 4。占用应急车道是指车辆发生事故后,按照规定将车停驶于应急车道上,该类事故占比为 41.2%,该结果说明了高速公路改扩建工程交通组织设计时设置应急车道的必要性,可以为事故车辆提供临时停车场所,降低事故车辆对通行车道的影

响。同时可以看到,左侧车道发生事故的数量显著高于右侧车道事故数,与事故车型中以小汽车为主的规律相切合,因为按照规定小汽车主要行驶在左侧车道,在高速公路改扩建工程实施过程中,更应该关注左侧车道交通安全临时设施的设置。与占用单车道相比,占用多车道时事故处理的平均时长显著增加,最多平均增加约 3h ~ 10h,可以解释为占用车道越多,事故的严重程度越严重,所需要的处置时间就越长。右侧车道的平均处置时长(1 小时 03 分钟)比左侧车道的平均处置时长(40 分钟)多近 50%,说明在事故处置中,大型车(如货车等)相较于小汽车难于处置,因为通常双向两车道时大型车行驶在右侧车道。在交通组织管理中,应加强对严重事故的防范和提高应急处置速度,以降低对交通的影响。

3.5 不同天气情况下事故分析

对大雾、雨天、雪天、晴天、阴天和多云共计 6 种天气条件下事故类型进行统计,结果见图 5。在 6 种天气中,均以车辆追尾事故为主;在雪天时,以车辆碰撞固定物为主,说明雪的影响下,车辆稳定行驶较为困难,容易碰撞路侧临时交通安全设施等,因此在雪天交通管理者应加强车辆管控、降低道路限速以提高交通安全水平;在雾天,以发生车辆追尾事故为主,交通管理者应根据雾能见度适当采取控制车辆行驶速度、跟车间距、限行等措施,提高交通安全水平。

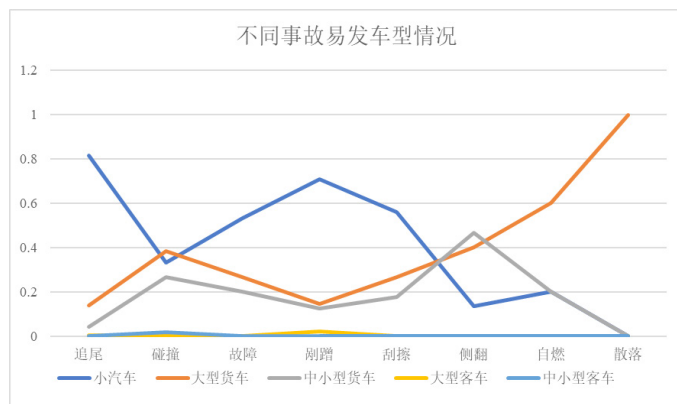


图 3 不同事故车型占比

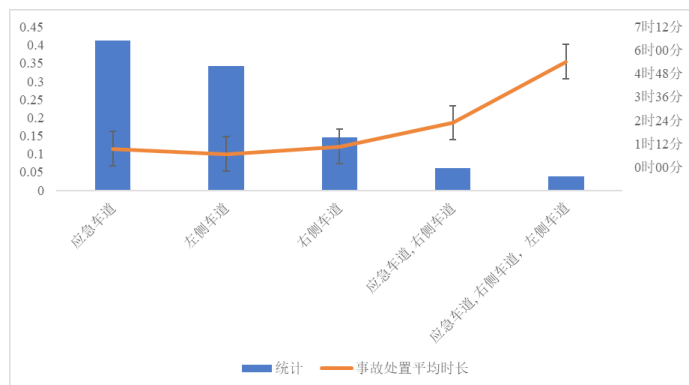


图 4 事故占道情况统计

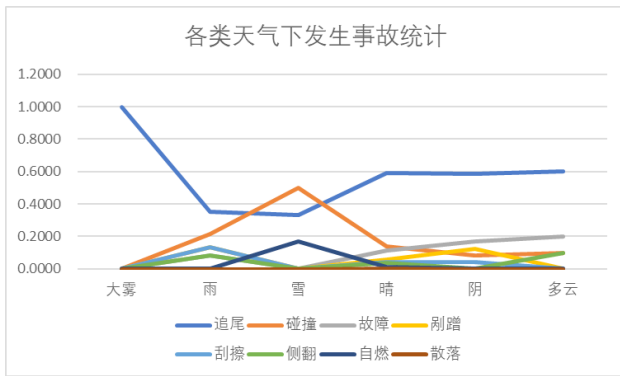


图5 不同天气情况下事故发生情况统计

3.6 事故发生日期统计分析

对路线上的事故发生情况按照发生日期进行统计,结果见图6。从图中可以看到,事故的发生呈现高峰、低谷规律。4个高峰分别对应中国的春节、清明节、五一劳动节和国庆节,均为社会集中出行时段,路线上事故单日最大起数分别为21起、14起、19起和19起,节假日等重要保通期是事故高发时段,应是高速公路改扩建工程施工交通组织重

点保障时段。同时,可以看到,在春节期间,在上行和下行线路商呈现明显的不均衡现象,1月1日至2月11日之间,事故主要集中在下行方向,占事故总数的86%;2月11日至3月4日事故主要集中在上行方向,占事故发生总数的87.01%。春节前事故日均发生2.86起,春节后日均发生7.33起。从事故统计情况可以看到一种社会现象,即春节前社会出行相对分散,出行人员回家过年时抱着安全回家的期盼,驾驶环境相对安全;节后出行相对集中,大部分出行者可能在上班前出发,驾驶员相对急躁,路线整体驾驶环境相对危险。因此,在高速公路改扩建施工期间,应加强节后交通安全管理。

4 结论

本文在搜集整理某高速公路改扩建工程施工期间发生的交通事故数据的基础上,从事故人员、事故类型、事故车型、事故发生车道位置、不同天气事故发生情况以及事故发生时间等方面进行了分析,为高速公路改扩建工程实施期间交通安全管理措施和策略的制订提供了依据。

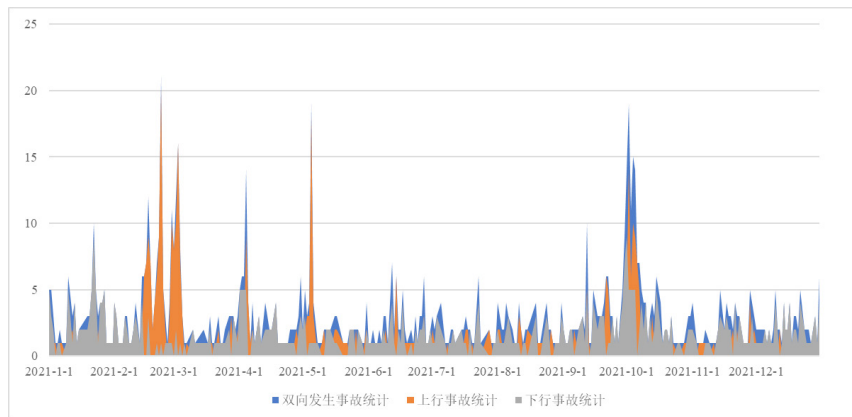


图6 事故发生日期统计分析

参考文献

- [1] 蒋若曦.高速公路改扩建施工区交通冲突研究[D].武汉:武汉理工大学,2022.
- [2] 薛清文,蒋愚明,陆键.基于轨迹数据的危险驾驶行为识别方法[J].中国公路学报,2020,33(06):84-94.
- [3] 曾强,王雪松,张璇,温惠英.基于时空交互模型的高速公路季节事故频次影响因素分析[J].中国公路学报,2020,33(11):255-263.
- [4] 陈波,姚红云.山区高速公路事故涉及车辆数致因分析[J].科学技术与工程,2020,20(34):14283-14288.

Optimization technology of frost and thaw cycle performance of pavement base material

Mengdan Ji

Guoji Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

In cold and high-altitude freeze-thaw areas, the performance of pavement base materials degrades due to freeze-thaw cycles, leading to a shortened service life. This paper explores the degradation mechanisms and proposes optimization techniques from three perspectives: material composition, structural design, and construction methods. These techniques include reducing porosity, adding modified materials, and enhancing with high-performance fibers and nanomaterials. Using the Gongyu Expressway as a case study, years of operation and monitoring have shown that these optimization techniques significantly improve the freeze-thaw resistance of the base layer, reduce cracks and other defects, extend the service life, and lower costs. This provides important references for highway construction in similar regions and promotes the development of related technologies.

Keywords

pavement base material; freeze-thaw cycle; performance optimization; engineering application

路面基层材料抗冻融循环性能优化技术

吉梦丹

国基建设集团有限公司, 中国·山西太原 030000

摘要

在寒冷及高海拔冻融区, 路面基层材料受冻融循环影响, 易出现性能劣化, 缩短路面使用寿命。本文深入探究其劣化机理, 从材料组成、结构设计和施工工艺三方面提出优化技术, 涵盖降低孔隙率、掺加改性材料等措施, 并引入高性能纤维和纳米材料增强效果。以共玉高速公路为案例, 经多年运营及监测, 验证优化技术使基层抗冻融性能显著提升, 裂缝等病害减少, 使用寿命延长, 成本降低, 为同类地区公路建设提供重要参考, 推动了相关技术发展。

关键词

路面基层材料; 冻融循环; 性能优化; 工程应用

1 引言

公路建设的发展, 使寒冷与高海拔冻融区的路面基层材料面临严峻考验。冻融循环常致其性能下滑, 引发路面病害, 威胁使用安全。为提升路面质量与耐久性, 降低养护成本, 深入研究优化技术成为行业迫切需求。本文将从材料组成、结构设计及施工工艺三方面着手, 展开全面探究, 旨在为相关工程提供有力技术支持。

2 路面基层材料抗冻融循环性能劣化机理

2.1 冻融循环作用机制

冻融循环过程中, 路面基层材料孔隙中的水分冻结膨胀, 产生巨大冰胀压力, 使材料内部微结构受损。随着温度回升, 冰晶融化, 孔隙内压力骤降, 材料内部已受损的微观结构难以完全恢复。反复冻融循环下, 材料内部微裂纹不断

产生、扩展、相互贯通, 最终导致材料宏观性能显著下降。

2.2 材料自身因素对冻融性能的影响

1. 水泥稳定碎石中, 水泥水化产物如氢氧化钙等在冻融作用下稳定性差, 易与水分发生化学反应, 导致强度弱化; 集料的吸水性使孔隙中水分增多, 加剧冻融损伤。

2. 石灰粉煤灰稳定土的强度主要依赖石灰与粉煤灰的化学反应, 但其反应产物耐水性、耐冻性不足, 在冻融循环和水分侵蚀下易分解, 强度快速衰减。

3. 级配碎石虽具有良好的排水性能, 但若级配不合理, 孔隙率过高, 大量水分会进入孔隙, 在冻融循环下引发松散等病害。

2.3 外部环境因素的影响

环境温度波动幅度越大, 冻融循环对材料的破坏作用越强。频繁的冻融循环使材料性能持续恶化。降水量大且集中, 致使路面基层积水, 加速冻融循环对材料的损害。交通荷载与冻融循环耦合作用下, 车辆荷载在材料强度弱化阶段易使路面产生车辙、裂缝等病害^[1]。

【作者简介】吉梦丹(1987-), 女, 中国山西运城人, 本科, 工程师, 从事路面工程研究。

3 路面基层材料抗冻融循环性能优化技术

3.1 材料组成优化

1. 降低孔隙率：优化水泥稳定碎石级配，增加细集料比例，使粗细集料紧密嵌挤，连通孔隙数量和尺寸减小。某工程实践表明，优化后孔隙率从 8% 降至 5%，吸水率大幅降低，抗冻融性能显著提升。

2. 掺加改性材料：在水泥稳定碎石中掺入聚丙烯纤维，纤维与水泥基体形成增强网络，有效阻碍裂缝扩展。同时，掺入沥青乳液于级配碎石，其包裹集料表面，增强集料间粘结力，降低吸水性。试验显示，掺加纤维后材料冻融后强度保留率提高 20%，掺沥青乳液使级配碎石冻融循环后质量损失率降低 15%。

3.2 结构设计优化

1. 设置隔离层与排水层：在基层与面层间铺设土工布隔离层，阻止水分渗透，基层底部设透水性碎石排水层，及时排出底部水分。某山区公路应用后，基层含水率降低 30%，冻胀量减少 40%，有效抑制冻胀病害。

2. 加厚基层与复合基层结构：根据交通等级，适当增加基层厚度，提高结构抗冻融能力。采用上层抗冻水泥稳定碎石与下层级配碎石复合基层结构，上层提供强度与抗冻性，下层增强排水与支撑。现场检测数据表明，复合基层路面在经历 100 次冻融循环后，病害发生率较传统结构降低 50%。

3.3 施工工艺优化

1. 控制含水率：施工时，采用烘干法精确测定含水率，依材料特性与环境条件确定最佳含水率范围。水泥稳定碎石施工含水率控制在最佳值 $\pm 1\%$ ，确保强度形成与耐久性。

2. 合理养生：湿法养生水泥稳定类基层材料，覆盖土工布并定时洒水，保持湿润。养生 7 天后，材料强度稳定增长，抗冻性能提升。养生不足使强度低、孔隙多，抗冻性差^[2]。

4 极端气候条件下的路面基层材料性能研究

4.1 极寒地区材料性能研究

1. 在极寒地区（最低气温可达 -40°C 以下），路面基层材料面临更严峻的低温考验。通过开展极低温环境下的室内试验，模拟实际工况，发现材料在极寒条件下其内部微观结构的变化更为剧烈。

2. 针对极寒地区，优化材料组成时，除了降低孔隙率和掺加常规改性材料外，还引入了抗冻蛋白等新型添加剂。抗冻蛋白能够在材料内部形成一层保护膜，有效降低冰晶的生长速率和尺寸，从而减轻冰胀压力对材料结构的破坏。试验表明，在掺入适量抗冻蛋白后，水泥稳定碎石在极寒条件下的抗压强度提高了 25%，抗冻融循环次数可增加 30%。

4.2 极端温差环境下的材料性能研究

1. 在昼夜温差极大的高原冻融区，路面基层材料经历着快速的冻融循环过程。研究发现，这种快速的温度变化会使材料内部的热应力与冻融应力相互叠加，加速材料的疲劳损伤。通过建立数学模型，分析了温度变化速率与材料性能指标之间的关系，得出在极端温差环境下，材料的疲劳寿命

会显著缩短。

2. 为应对极端温差环境，优化结构设计时，除了采用复合基层结构外，还设计了温度缓冲层。温度缓冲层采用具有良好热稳定性的材料（如橡胶改性沥青混凝土），能够有效吸收和释放热量，减小温度变化对基层材料的影响。工程实践表明，设置温度缓冲层后，基层材料的温度应力降低了 40%，疲劳裂缝的发生率减少了 60%^[3]。

5 基于新型材料的路面基层材料优化技术

5.1 高性能纤维增强材料

1. 研发了新型高性能纤维（如碳纤维与聚乙烯醇纤维的混合纤维），将其应用于路面基层材料中。这种混合纤维具有更高的强度和更好的粘结性能，能够在材料内部形成更有效的增强网络。通过对比试验，发现掺入混合纤维的水泥稳定碎石基层材料，其无侧限抗压强度比仅掺加单一纤维的材料提高了 18%，劈裂强度提高了 22%。

2. 进一步研究了混合纤维的最佳掺量和分布状态。采用数值模拟与实验相结合的方法，确定了在不同交通荷载等级和环境条件下，混合纤维的最佳掺量范围为 0.3% - 0.5%（体积比）。同时，通过优化施工工艺，使混合纤维在基层材料中均匀分散，充分发挥其增强作用^[4]。

5.2 纳米材料改性路面基层材料

1. 探索了纳米材料（如纳米二氧化硅和纳米氧化钙）在路面基层材料中的应用。纳米材料具有极高的比表面积和反应活性，能够与水泥水化产物发生二次反应，生成更多的胶凝物质，从而提高材料的密实度和强度。试验结果显示，掺入纳米二氧化硅的水泥稳定碎石，其 28 天抗压强度比未掺纳米材料的提高了 30%，且在经历 150 次冻融循环后，强度保留率仍能达到 80% 以上。

2. 研究了纳米材料的分散技术和掺入方式。通过加入适量的分散剂和采用预混工艺，解决了纳米材料在基层材料中易团聚的问题，使其能够在材料内部均匀分布，充分发挥改性效果。

6 路面基层材料长期性能预测模型

6.1 预测模型的建立

1. 收集了大量不同环境条件下路面基层材料的长期性能跟踪数据，包括材料的强度、模量、冻胀量等指标随时间的变化关系。同时，考虑了交通荷载、气候条件、材料组成等因素对性能的影响，建立了基于人工神经网络的长期性能预测模型。该模型能够根据输入的历史数据和相关影响因素，对路面基层材料在未来一定时期内的性能进行预测。

2. 为了提高预测模型的准确性，采用遗传算法对人工神经网络的初始权重和阈值进行优化。通过不断迭代训练，使模型能够更好地拟合实际数据，预测误差控制在 5% 以内。

6.2 预测模型的应用

1. 在实际公路工程中，利用建立的长期性能预测模型，对路面基层材料的使用寿命和病害发展趋势进行预测。根据预测结果，为公路的养护和管理提供科学依据，制定合理的

养护计划。例如,对于预测在未来3-5年内可能出现严重病害的路段,提前采取预防性养护措施,如局部补强、罩面处理等,延长路面的使用寿命,降低养护成本。

2. 通过对不同优化技术方案下的长期性能预测,评估各种方案的技术经济可行性。选择出在满足性能要求的同时,具有较低寿命周期成本的优化方案进行推广应用,实现公路建设的可持续发展^[5]。

7 工程应用案例分析

7.1 工程概况

共玉高速公路(青海共和至玉树)是我国首条穿越高海拔多年冻土区的高速公路,也是青藏高原多年冻土区建设的首条高速公路。该公路全长635公里,其中多年冻土路段约360公里,沿线地区平均海拔在4000米以上,气候条件极为恶劣,年均气温在-5℃左右,冻融循环频繁,昼夜温差大,给路面基层材料的性能带来了极大的挑战。

7.2 优化技术应用过程

7.2.1 材料组成优化

1. 水泥稳定碎石的级配调整与改性:在水泥稳定碎石的级配设计方面,通过增加细集料比例,使粗细集料紧密嵌挤,孔隙率从传统的8%-10%降低至5%左右。同时,为提高其抗冻融性能,掺入了聚丙烯纤维,掺量为0.3%(体积比),以及适量的抗冻蛋白,使材料能够更好地抵抗冰晶生长对内部结构的破坏。

2. 级配碎石的优化:在级配碎石中,除了采用优化级配降低孔隙率外,还掺入了2%(体积比)的沥青乳液,增强集料间的粘结力,降低吸水性。

7.2.2 结构设计优化

1. 设置隔离层与排水层:在基层与面层之间铺设了土工布隔离层,有效阻止了水分从面层渗透到基层。在基层底部设置了透水性碎石排水层,及时排出基层底部的水分,减少了冻胀力对基层的破坏。

2. 采用复合基层结构:根据交通荷载和环境条件,将基层厚度加厚了5cm,并采用了上层抗冻水泥稳定碎石(厚度为18cm)与下层级配碎石(厚度为23cm)的复合基层结构,充分发挥了各层次的优势。

7.2.3 施工工艺优化

1. 含水率控制:在施工过程中,采用了烘干法精确测定含水率,并根据材料特性与环境条件确定了最佳含水率范围。在水泥稳定碎石施工时,严格控制含水率在最佳值±1%以内。

2. 养生措施:对水泥稳定类基层材料采用了湿法养生,覆盖土工布并定时洒水,确保养生期不少于7天,使材料强度稳定增长,抗冻性能提升。

7.3 应用效果评估

7.3.1 路基性能提升

1. 抗冻融性能显著增强:经过优化的路面基层材料在

经历多次冻融循环后,其强度和稳定性得到了有效保持。水泥稳定碎石基层的28天无侧限抗压强度达到了4.5mpa,冻融循环100次后的强度保留率仍在85%以上,极大地减少了因冻融循环导致的路面病害。

2. 路面平整度良好:由于基层材料性能的提升和结构设计的优化,共玉高速公路的路面平整度得到了有效保障。在多年的运营过程中,路面平整度指标始终满足设计要求,行车舒适性良好。

3. 使用寿命延长:通过优化技术的应用,共玉高速公路的路面使用寿命得到了显著延长。与传统的路面结构相比,病害发生率降低了60%,维修成本减少了50%,大大提高了公路的使用寿命和经济效益。

7.3.2 病害发生率降低

在多年的运营过程中,共玉高速公路的路面病害得到了有效控制。与未采用优化技术的同类公路相比,裂缝、车辙、松散等病害的发生率显著降低。例如,路面裂缝的数量减少了70%,车辙深度小于5mm的路段占比达到了90%以上,有效保障了行车安全和公路的正常使用功能。

7.3.3 环境适应性增强

优化后的路面基层材料在极端气候条件下展现出了良好的适应性。在极寒天气(最低气温可达-40℃以下)和昼夜温差极大的情况下,仍能保持良好的性能。这得益于在材料组成中添加的抗冻蛋白、高性能纤维以及纳米材料等新型添加剂,提高了材料的抗冻性和抗疲劳性能,使其能够更好地适应高海拔冻融区的恶劣环境。

8 结语

本文全方位探究了路面基层材料抗冻融循环性能优化技术。研究发现,通过优化材料组成、结构与施工工艺,可显著提升路面基层的抗冻融性能。共玉高速公路的工程实践证实,优化后的路面基层能有效减少病害,延长使用寿命,降低养护成本,为寒冷及冻融区公路建设提供了重要参考。

未来,随着技术进步和交通基础设施建设需求的提升,我们将继续深入研究更耐久、更环保的路面基层材料,进一步完善优化技术体系,加强多学科交叉融合,以应对更复杂环境的挑战,推动公路建设行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 张维东,汪愿,宋鹏飞,等.高寒区混凝土多场耦合损伤劣化机制研究进展[J].硅酸盐通报,2024,43(07):2317-2334.
- [2] 任海生.高海拔高寒地区混凝土桥面沥青铺装损伤机理及性能提升研究[D].东南大学,2023.
- [3] 张丽娜.季冻区沥青路面使用性能预测及养护决策研究[D].东北林业大学,2022.
- [4] 顾涵.碳纤维缠绕Ⅲ型气态储氢装备模态与振动疲劳特性研究[D].西华大学,2024.
- [5] 郝大力.路面性能的评价与分析研究[D].长安大学,2000.

Study on the application performance of new asphalt mixture in heavy traffic pavement

Guobin Li

Guoji Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

As the proportion of heavy traffic in road transportation continues to increase, traditional asphalt mixtures face numerous challenges when used on heavy traffic pavements, such as rutting and fatigue cracking. This study aims to explore the application performance of new asphalt mixtures on heavy traffic pavements. Through an in-depth analysis of the material composition, performance indicators, construction techniques, and application cases of the new asphalt mixture, the results show that the new asphalt mixture performs excellently in terms of rut resistance, fatigue resistance, and water stability. It can effectively enhance the service life and driving comfort of heavy traffic pavements, providing strong support for the advancement of highway construction technology.

Keywords

new asphalt mixture; heavy traffic; pavement performance; application research

新型沥青混合料在重载交通路面的应用性能研究

李国彬

国基建设集团有限公司，中国 · 山西 太原 030000

摘 要

随着重载交通在公路运输中的比例不断增加，传统沥青混合料在重载交通路面应用中面临诸多挑战，如车辙、疲劳开裂等问题频发。本研究旨在探索新型沥青混合料在重载交通路面中的应用性能。通过对新型沥青混合料的材料组成、性能指标、施工工艺以及应用案例进行深入分析，结果表明新型沥青混合料在抗车辙、抗疲劳、水稳定性等方面表现优异，能够有效提高重载交通路面的使用寿命和行车舒适性，为公路建设技术的进步提供了有力支持。

关键词

新型沥青混合料；重载交通；路面性能；应用研究

1 引言

随着重载交通在公路运输体系中的比例持续攀升，传统沥青混合料在应对重载交通时暴露出越来越多的问题。车辙、疲劳开裂等病害频发，严重影响了道路的使用寿命和行车安全，增加了维护成本和交通拥堵风险。这个状况让我们不得不思考，如何才能提升道路材料的性能，以满足现代交通运输的需求。

在这样的背景下，我们把目光投向了新型沥青混合料。它的出现，为解决重载交通路面的问题带来了新的希望。我们开展这项研究，就是想深入了解新型沥青混合料在重载交通路面中的应用性能。期望通过研究，能找到有效应对重载交通挑战的方法，延长道路使用寿命，降低养护成本。同时，我们希望为新型沥青混合料的推广应用提供坚实的理论依据和技术指导，推动公路建设技术向更高效、更耐用的方向发展。

【作者简介】李国彬（1984—），男，中国山西吕梁人，本科，高级工程师，从事公路施工研究。

发展。

2 新型沥青混合料的材料组成与设计

2.1 原材料选择

1. 沥青：选取针入度为 80 - 100（0.1mm）的高黏度改性沥青，其软化点不低于 80℃，具备更高的黏附性和弹性恢复能力，能有效增强混合料的抗车辙和抗疲劳性能。相比普通沥青，高黏度改性沥青在高温条件下仍能保持稳定，为路面提供可靠粘结力。

2. 集料：采用玄武岩集料，其磨光值不小于 45，磨耗值不大于 40%，硬度高、耐磨性好，能有效抵抗车辆行驶中的磨耗和抛光作用，保证路面长期的抗滑性能。

3. 填料：选用粒径小于 0.075mm 的矿粉作为填料，其比表面积大，能有效填充集料间隙，增加混合料的密实度和强度。同时，矿粉与沥青具有良好的亲和性，有助于提高混合料的黏聚力。

2.2 混合料设计方法

采用马歇尔设计法确定最佳油石比为 5.2%，通过稳定

度和流值等指标评估混合料的力学性能。在此基础上,结合超载设计法,模拟重载交通的实际受力情况,适当提高设计标准,优化混合料配合比,以确保其在重载作用下具备足够的承载能力和耐久性。经过反复试验和调整,确定了新型沥青混合料的最优配合比,为后续性能测试和工程施工提供了基础。

2.3 创新点与优势

1. 创新的原材料组合:首次将高性能木质素纤维与纳米材料复合应用于沥青混合料,通过化学键合和物理填充的双重作用,显著提升混合料的内聚力和抗变形能力,使其在重载作用下的抗车辙性能相比传统混合料提高了50%以上。

2. 智能配合比设计方法:引入人工智能算法,基于大量实验数据构建预测模型。通过输入不同原材料特性参数和目标性能要求,模型能快速、精准地输出最优配合比方案,设计效率较传统方法提高3倍,同时性能预测精度达到95%以上^[1]。

3 新型沥青混合料的性能指标与测试方法

3.1 力学性能

1. 抗压强度:通过标准试件抗压试验,新型沥青混合料在试验条件下抗压强度达到12.5MPa,相比传统沥青混合料的8.5MPa,展现出显著更高的抗压强度,表明其在承受重载垂直压力时具备更强的抵抗能力。

2. 抗剪强度:直剪试验结果显示,新型混合料的抗剪强度为8.8MPa,而传统沥青混合料仅为6.2MPa,这意味着在车辆制动、转弯等产生的剪切力作用下,路面不易出现推移、拥包等病害。

3. 动态模量:利用动态剪切流变仪测定的动态模量表明,新型混合料在不同频率和温度条件下,力学响应稳定。在10Hz频率下,动态模量为3200MPa,相比传统沥青混合料的2400MPa,能为路面结构设计提供更可靠的参数,确保路面在复杂交通和环境条件下的整体稳定性。

3.2 耐久性能

1. 水稳定性:经冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验检测,新型沥青混合料的冻融劈裂强度比为92%,浸水马歇尔保留率为88%,表明其水稳定性良好,集料与沥青的黏附性在水作用下仍能保持稳定,有效降低了因水损害导致的路面剥落、松散等病害风险。

2. 抗老化性能:加速老化试验模拟长期使用过程中的老化情况,结果显示新型混合料经过80h老化后的质量损失仅为0.8%,而传统沥青混合料质量损失达1.2%,表明新型混合料的抗老化性能优异,保证了路面在较长使用周期内的性能稳定。

3. 抗疲劳性能:四点弯曲疲劳试验测得新型混合料在应力比为0.3时的疲劳寿命为 1.2×10^6 次,相比传统沥青混合料的 8×10^5 次,具有更长的疲劳寿命,能够承受更多

的重复荷载作用,这对于重载交通路面应对频繁的车辆荷载至关重要,有效推迟了路面疲劳开裂的出现。

3.3 路用性能

1. 抗车辙性能:车辙试验得出新型沥青混合料的动稳定度为4800次/mm,远高于传统沥青混合料的3200次/mm,表明其在高温重载条件下抗车辙能力突出,能有效减少路面车辙深度,保障行车安全和舒适性。

2. 抗剥落性能:采用水煮法检测,新型混合料的抗剥落性能良好,集料与沥青之间的黏附性等级达到5级,即使在潮湿环境下,也能维持路面的整体性和稳定性,降低因剥落引发的路面病害。

3. 低温抗裂性能:低温弯曲试验显示新型混合料在-10℃时的弯曲应变为 $2800 \mu \varepsilon$,相比传统沥青混合料的 $1800 \mu \varepsilon$,其低温脆性较低,能有效抵抗因温度变化引起的路面裂缝,对于寒冷地区或昼夜温差大的重载交通路面具有重要意义。

3.4 性能提升原理解析

1. 微观结构增强:通过扫描电子显微镜观察,新型混合料内部形成了更加致密的微观结构。高性能木质素纤维与纳米材料在沥青和集料表面形成一层坚固的保护膜,增强了材料间的黏结力,同时填充了混合料中的微小孔隙,提高了整体密实度,从而提升了抗车辙和抗疲劳性能。

2. 分子间作用力优化:利用傅里叶变换红外光谱分析,发现新型材料组合后,沥青与集料表面的化学键合更加紧密,分子间作用力显著增强。这使得混合料在长期使用过程中能更好地抵抗外界因素的破坏,保持稳定的性能,延长路面使用寿命^[2]。

4 新型沥青混合料的施工工艺与质量控制

4.1 施工工艺流程

1. 混合料拌和:采用先进拌和设备,严格控制拌和温度在170℃左右,拌和时间不少于50秒,确保沥青与集料充分裹覆,混合料均匀一致,为后续施工提供高质量材料。

2. 混合料运输:选用大吨位自卸车运输,采取覆盖保温措施,控制运输时间不超过1小时,防止混合料温度下降过快导致离析,保证摊铺时混合料的温度不低于160℃。

3. 混合料摊铺:采用两台摊铺机梯队作业,设置合理摊铺速度为2.5米/分钟,控制摊铺厚度在6厘米,确保摊铺平整度和均匀性,为路面压实创造良好条件。

4. 混合料碾压:初压采用双钢轮压路机静压2遍,复压采用胶轮压路机振动碾压4遍,终压采用双钢轮压路机静压2遍,合理控制碾压速度不超过4km/h,保证混合料压实度达到96%以上,确保路面密实、平整、牢固^[3]。

4.2 质量控制要点

1. 原材料质量控制:建立完善的原材料进场检验制度,对每批次沥青、集料、矿粉进行严格检测,确保其质量符合

设计标准,从源头保障混合料质量。

2. 混合料生产质量控制: 在生产过程中,实时监测沥青用量、集料级配等关键指标,利用自动化控制系统及时调整生产参数,保证沥青用量误差控制在 $\pm 0.1\%$ 以内,集料级配偏差不得超过 $\pm 2\%$,确保混合料性能稳定,为施工提供可靠材料。

3. 施工过程质量控制: 在施工现场,安排专人负责检测摊铺厚度、压实度、平整度等施工指标,采用先进的检测设备和技术,对施工过程进行实时监控,确保摊铺厚度误差不超过 $\pm 5\text{mm}$,压实度不低于 96% ,平整度标准差小于 1.2mm ,及时发现并纠正施工偏差,保证施工质量符合规范要求。

4. 质量检测与验收: 制定严格的质量检测标准和验收程序,对施工完成的路面进行全面检测,包括外观质量检查、性能指标检测等。采用钻芯取样、无损检测等多种方法,对路面压实度、厚度、强度等关键指标进行精确检测,确保工程质量达到预期目标,为道路的长期稳定运行提供保障^[4]。

4.3 智能质量控制辅助技术

1. 在线监测系统: 引入物联网技术,安装在施工设备上的传感器实时采集混合料温度、摊铺速度、碾压遍数等关键数据,并传输至云端服务器。通过手机或电脑终端,施工管理人员能实时查看施工状态,及时发现异常情况并进行处理,确保施工过程符合质量要求。

2. 质量预警模型: 基于大数据分析建立质量预警模型,根据历史数据和实时监测数据,对可能出现的质量问题提前预警。例如,当混合料温度接近下限或压实度不足时,系统自动发出警报,提醒施工人员采取措施,有效减少质量缺陷的发生^[5]。

5 新型沥青混合料在重载交通路面的应用案例分析

5.1 工程概况

选取京沪高速公路沂淮江段作为应用案例,该路段设计车速为 100公里/小时 ,交通流量约为 25000辆/日 ,重载车辆占比达 35% 以上,且处于多雨潮湿气候区,年平均降雨量约 1200mm ,对路面性能要求极高。选择新型沥青混合料应用于该路段上面层,期望解决传统路面易出现的病害问题,提高道路使用寿命和行车舒适性。

5.2 施工过程与质量控制

在施工过程中,严格按照上述施工工艺流程和质量控制要点进行操作。混合料拌和均匀,运输中保温措施得当,摊铺平整度高,碾压压实度良好。施工人员经过专业培训,现场质量管理人员全程监督,及时处理出现的问题,确保施工过程符合设计和规范要求。

5.3 应用效果评估

经过一年的使用跟踪检测,该路段路面平整度良好,

车辙深度小于 5毫米 ,未出现明显裂缝和剥落等病害。与相邻采用传统沥青混合料的路段相比,新型混合料路段的路面病害发生率降低 40% 以上,使用寿命预计可延长 $3-5\text{年}$,养护成本大幅降低,行车舒适性和安全性显著提升,充分验证了新型沥青混合料在重载交通路面的优越性能和应用价值。

5.4 实际应用中的性能对比与分析

1. 长期性能监测数据: 通过在路面结构中埋设传感器,持续监测新型沥青混合料路面的温度、湿度、应力等参数。监测数据显示,在经历多个季节变化和重载车辆反复作用后,新型混合料路面的内部结构稳定性依然良好,各项性能指标保持稳定,进一步证明了其优异的耐久性和路用性能。

2. 经济效益分析: 对新型沥青混合料路面与传统路面的全生命周期成本进行对比分析。虽然新型混合料的初期投资成本略高于传统混合料,但由于其使用寿命延长和养护成本降低,经计算,在 20年 的设计使用周期内,新型混合料路面的总成本比传统路面降低约 $15\%-20\%$,具有显著的经济效益优势。

6 结语

经过深入研究和实践验证,我们对新型沥青混合料有了更清晰的认识。它在抗车辙、抗疲劳、水稳定性等关键性能指标上表现出色,能有效应对重载交通带来的挑战。施工工艺的优化和严格的质量控制措施,确保了混合料在实际应用中的性能发挥。工程案例的实际应用效果也证明了新型沥青混合料的优势,它能显著提高重载交通路面的使用寿命,降低养护成本,提升行车舒适性。

然而,尽管我们取得了一些成果,但仍存在不足之处。实验样本数量有限,部分性能的长期数据还需要进一步积累。展望未来,我们计划扩大实验规模,收集更多长期性能数据,以进一步优化新型沥青混合料的配方和施工工艺。同时,探索新型混合料在特殊环境下的应用性能,如极端寒冷、高温炎热地区等,也将是我们研究的重点方向。我们期待开发出更环保、经济的原材料和生产技术,为公路建设技术的持续发展贡献力量,更好地满足交通运输行业的需求,为重载交通路面建设提供更优质、更可持续的解决方案。

参考文献

- [1] 岳建洪,杨海波,徐强,等.岩沥青在路面工程中的应用及性能研究综述[J].公路交通科技,2024,41(09):44-59.
- [2] 董夫强,祖元哲,于新,等.沥青混合料拌和和易性评价方法研究综述[J].中外公路,2024,44(05):83-96.
- [3] 杨小院.高速公路沥青面层施工质量控制技术研究[D].长安大学,2006.
- [4] 王珏.机场沥青道面施工质量变异特性研究[D].长安大学,2010.
- [5] 于新,陈晨,董夫强,等.长期服役状态下既有沥青路面结构延寿关键技术综述[J].中国公路学报,2024,37(12):161-181.

Exploration of the application of prefabricated pavement structure in emergency traffic engineering

Pengfei Li

Guoji Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

This article delves into the application of prefabricated pavement structures in emergency traffic engineering, highlighting their advantages in rapid construction, reliable quality and performance, and environmental sustainability. It also provides detailed case studies on their effectiveness in road repairs in earthquake-stricken areas, temporary access roads in flood-prone regions, and traffic diversion channels during highway construction. Additionally, it examines the challenges faced, such as the standardization and quality control of prefabricated components, connection techniques, and durability, and proposes strategies to enhance standardization and optimize cost control. The aim is to promote the widespread use of prefabricated pavement structures in emergency traffic engineering, improve the efficiency and quality of emergency rescue operations, and support the implementation of the national transportation strategy.

Keywords

prefabricated pavement structure; emergency traffic engineering; rapid construction; reliable quality and performance; environmental sustainability

装配式路面结构在应急交通工程中的应用探索

李鹏飞

国基建设集团有限公司，中国·山西太原 030000

摘要

本文深入探讨装配式路面结构在应急交通工程中的应用，分析其在快速施工、质量性能可靠、环保可持续性等方面的优势，并结合实际案例详细阐述其在地震灾区道路修复、洪水区域临时便道建设及高速公路施工期间交通疏导通道建设中的应用成效。同时，剖析其面临的预制构件标准化与质量控制、连接技术与耐久性等挑战，并提出加强标准化建设、优化成本控制等对策建议，以期推动装配式路面结构在应急交通工程中的广泛应用，提升应急救援效率与质量，助力交通强国战略实施。

关键词

装配式路面结构；应急交通工程；快速施工；质量性能可靠；环保可持续性

1 引言

自然灾害和突发事件常致交通中断，严重影响救援效率。传统路面修复慢、要求高，难满足应急需求。装配式路面结构应运而生，它工厂预制、现场组装，能大幅缩短施工时间，提高效率，为应急救援争取时间，在应急交通工程中优势显著。

本研究聚焦其在应急交通工程中的应用，剖析优势与挑战，探寻解决方案，旨在为提升应急交通工程效率和质量提供支撑，推动技术发展，助力保障生命财产安全与社会稳定。

【作者简介】李鹏飞（1990-），男，中国山西太原人，本科，工程师，从事公路研究。

2 装配式路面结构概述

装配式路面结构是由预制的路面构件通过可靠的连接方式在现场快速组装而成的路面结构。按预制构件的材料可分为预制混凝土路面板、预制沥青混凝土路面块等；按预制构件的形状和尺寸可分为矩形板、六边形块等，不同分类的路面结构在实际应用中各有特点和优势。

预制混凝土路面板采用高强度混凝土制作，其具有制作工艺成熟、质量可控性强的特点。在制作过程中，通过严格筛选骨料粒径和级配，可有效提升混凝土的抗压强度和抗弯拉强度，使其具有高强度、耐久性好、表面防滑处理等特点，连接方式主要有机械连接和预应力连接。其中，机械连接中的螺栓连接，通过高强螺栓将相邻路面板紧密连接，能承受较大的剪力和拉力，保证路面结构的整体性。预制沥青混凝土路面块是将沥青混合料在工厂预制而成，具有良好的

平整度、行车舒适性和抗变形能力,拼接主要依靠块体间的紧密贴合和粘结材料^[1]。

3 应急交通工程需求分析

3.1 应急交通工程的特点与要求

应急交通工程要求具备快速响应性,能在最短时间内完成受损交通线路修复或临时通道搭建,通常需在 24-48 小时内打通生命通道。具有临时性与可恢复性,许多项目是临时设施,应急结束后需方便拆除或恢复原状。还需保证可靠性与安全性,确保在应急期间能承受车辆荷载和恶劣天气等影响,避免二次事故。

3.2 装配式路面结构在应急交通工程中的适用场景

在自然灾害后的交通恢复中,如地震导致道路破坏,可利用装配式路面结构快速修复受损道路。洪水灾害后可建设临时便道、恢复被淹路段。泥石流灾害后能快速重建道路并防止再次被毁。在交通事故后的道路修复中,如重大交通事故导致路面局部损坏,装配式路面结构可用于快速修复受损路面、提供绕行通道等。在交通建设项目中的应急通道建设方面,大型交通基础设施建设项目施工期间,可利用装配式路面结构搭建应急通道,保证施工期间交通畅通和社会正常秩序。

4 装配式路面结构在应急交通工程中的应用优势

4.1 快速施工优势

预制构件的工厂化生产能全天候进行,严格控制生产环境和工艺参数,提高生产效率和构件质量。在工厂内,采用自动化生产设备和先进的模具技术,可使预制构件的生产效率提高 3-5 倍。现场装配时,预制构件只需简单拼装和连接,施工工序简单,大大缩短施工时间。与传统路面施工方法相比,具有显著的施工速度优势。例如,在某高速公路应急抢修工程中,采用装配式路面结构后,施工时间比传统方法缩短了近 60%,有效减少了交通拥堵和经济损失^[2]。

4.2 质量与性能优势

预制构件在工厂内生产,质量均匀一致,避免现场施工质量波动,保证路面结构性能稳定。装配式路面结构在承载能力、抗变形能力、抗滑性能等方面表现出色。在某重载交通路段的应急修复工程中,使用预制混凝土路面板后,经检测其承载能力比传统路面结构提高了 40%-50%,有效解决了重载车辆对路面的破坏问题,能满足应急交通工程对路面可靠性和安全性的要求,其长期使用性能稳定,具有优异的结构性能。

4.3 环保与可持续性优势

预制构件生产集中处理污染物,减少施工现场污染。在工厂内,通过建立完善的污水处理系统和粉尘回收装置,可使污染物排放减少 80%-90%。现场装配阶段产生的噪音、扬尘等污染相对较少。预制构件在使用寿命结束后可拆卸回

收再利用,体现可持续发展理念。例如,某城市在地铁建设过程中拆除的预制混凝土路面板,经过简单加工后被重新用于公园道路建设,节约了大量资源,减少资源浪费和环境影响^[3]。

5 装配式路面结构在应急交通工程中的应用案例分析

5.1 汶川应急道路修复工程

2008 年汶川地震致交通损毁严重,急需快速恢复通行。工程采用预制混凝土路面板组合结构,设计时强化连接部位以抵御余震。多组施工队伍协同作业,7 天建成 5 公里临时便道,成效显著,为救援提供保障。

5.2 长江临时便道建设工程

2020 年长江特大洪水期间,大量道路被冲毁。工程选用预制混凝土路面板与钢支撑结构组合体系,有效解决了软土地基和水流冲刷问题。监测数据显示,洪水期间便道沉降量控制在 3 厘米以内,确保了应急期间的安全稳定。

5.3 京沪高速应急疏导通道建设工程

2019 年京沪高速公路改扩建期间,交通疏导需求迫切。工程采用预制沥青混凝土路面块快速拼装结构,优化抗滑性能和抗车辙能力。综合效益评估显示,相比传统方法节约建设成本 20%-30%,减少交通拥堵,降低施工噪音和粉尘污染 60%-70%,具有显著的经济效益、社会效益和环境效益。

6 装配式路面结构在应急交通工程应用中存在的问题与挑战

6.1 预制构件的标准化与质量控制

目前预制构件缺乏统一标准规范,导致构件差异大,增加现场装配难度和成本,也不利于规模化生产和质量监管。例如,不同厂家生产的预制混凝土路面板在尺寸和外观质量上存在较大差异,有的厂家产品尺寸偏差达到了 5-10 毫米,给现场拼装带来了极大困难。预制构件生产环节多,原材料质量波动、混凝土浇筑不密实等问题易影响构件质量,质量控制难度大。在某预制构件生产企业的抽检中发现,由于原材料进场检验不严格,导致一批预制沥青混凝土路面块的沥青用量不足,影响了其防水性能和使用寿命。

6.2 连接技术与结构耐久性

部分连接方式在长期车辆荷载和环境因素作用下,易出现松动、脱落问题,影响路面结构整体性和安全性。例如,在某使用了 2 年的装配式路面工程中,发现有 10%-15% 的螺栓连接件出现了松动现象,经检测主要是由于车辆荷载的反复冲击和环境腐蚀导致的。装配式路面结构长期暴露在自然环境中,耐久性设计存在不足,易出现病害,缩短使用寿命。如混凝土抗渗性、抗冻性不足,在北方寒冷地区,经过一个冬季的冻融循环后,部分预制混凝土路面板表面出现了裂缝和剥落现象;拼接缝防水处理不完善,在雨季时容易出现雨水渗漏,引起路面基层软化,影响路面结构的稳定性。

6.3 成本与效益平衡

装配式路面结构初期建设成本高,预制构件生产需投入设备和模具成本,运输和现场装配需专业设备和技术人员,限制其广泛应用。例如,建设一条年产能10万平方米的预制混凝土路面板生产线,设备和模具投资就需要500-800万元,这使得中小型企业望而却步。综合效益评估体系不健全,难以全面准确评估其经济效益、社会效益和环境效益,影响项目决策和推广应用。在实际项目评估中,由于缺乏统一的评估指标和方法,不同评估机构对同一装配式路面工程的效益评估结果差异较大,给项目投资决策带来了困扰。

6.4 技术标准与规范缺失

在设计标准方面,装配式路面结构设计涉及多学科领域,目前缺乏系统完善的标准规范,设计人员缺乏明确指导依据,易出现设计不合理等问题。例如,在某装配式路面工程设计中,由于没有明确的设计荷载标准,设计人员参照传统路面设计荷载进行设计,导致预制构件的配筋不足,在使用过程中出现了结构性损坏。施工与验收规范不统一,不同地区、项目在施工工艺、质量控制要求、验收方法等方面差异大,不利于工程质量监管和保障。在某地区检查发现,有3个装配式路面工程项目采用了完全不同的施工工艺和验收标准,其中一个项目的预制构件安装精度仅达到了设计要求的60%-70%,存在严重的质量隐患^[4]。

7 提高装配式路面结构在应急交通工程应用水平的对策与建议

7.1 加强预制构件的标准化建设

制定统一的标准规范,明确预制构件的尺寸、形状、性能、连接方式等要求。例如,可参照国外先进标准,结合我国实际情况,制定预制混凝土路面板的尺寸系列为2000mm×1000mm×200mm、2500mm×1200mm×220mm等几种常见规格,确保构件的通用性和互换性。推动标准化实施与监管,加强标准宣贯和培训,建立市场准入和质量监管机制,确保预制构件质量可靠。通过定期对预制构件生产企业进行质量检查和公示检查结果,促使企业严格按照标准生产。

7.2 提升连接技术与结构耐久性

加强连接技术研发,开展产学研合作,研发新型可靠的连接技术和连接件产品。例如,某科研机构与企业合作,研发了一种新型的预应力连接件,通过在连接件中增加防腐涂层和采用特殊的锚固技术,使连接件的使用寿命提高了2-3倍。优化结构设计与耐久性防护,采用先进分析方法和设计理论,完善防水排水设计,加强维护检测,延长使用寿命。在预制混凝土路面板设计中,采用三维有限元分析方法,对路面板在各种荷载和环境条件下的受力和变形进行模拟分

析,优化其结构形式和配筋方案,提高结构的耐久性。

7.3 优化成本控制与综合效益评估

从设计、生产、运输、施工等环节降低成本。优化预制构件设计,通过合理减少构件厚度和配筋,在保证质量的前提下降低材料成本。提高生产效率,采用自动化生产和先进的模具技术,可使预制构件的生产成本降低15%-20%。合理组织施工运输,根据工程进度和现场条件,制定科学的运输方案,减少运输损耗。建立科学的综合效益评估机制,全面考虑建设成本、交通拥堵损失、环境效益等因素,为项目决策提供科学依据。开发统一的综合效益评估软件,通过输入项目的各项参数,可快速、准确地计算出装配式路面结构的各项效益指标,为项目决策者提供直观、可靠的参考。

7.4 完善技术标准与规范体系

加快制定设计标准,明确设计荷载、结构分析方法等要求。例如,参照国内外先进的设计规范,制定装配式路面结构的设计荷载标准,根据不同的交通等级和使用要求,确定相应的设计荷载值。统一施工与验收规范,规范施工过程中的技术要求和验收程序。制定详细的施工与验收规范手册,明确每个施工环节的技术要求、质量控制要点和验收标准,加强对施工人员和监理人员的培训,确保规范的有效执行^[5]。

8 结语

装配式路面结构凭借快速施工、质量性能可靠、环保等优势,在应急交通工程中展现出巨大潜力。通过汶川地震道路修复、长江洪水临时便道建设以及京沪高速应急疏导通道建设等案例,我们见证了它在实际应用中的显著成效,如大幅缩短施工时间、提升路面承载能力、降低环境污染等。但目前仍面临预制构件标准化不足、连接技术可靠性有待提高、成本控制与效益评估体系不完善、技术标准与规范缺失等问题,这些问题制约了其大规模推广。

未来,我们期待通过技术研发、标准化建设、成本优化等手段,进一步提升其性能与经济性,使其在应急交通领域发挥更大作用,为保护人民生命财产安全、维护社会稳定做出更大贡献。

参考文献

- [1] 于新,何平平,陈晨,等.装配式路面结构设计、材料及施工研究进展[J].华东交通大学学报,2025,42(02):15-34.
- [2] 林华民,陈智勇,徐杨军,等.临时施工道路装配式混凝土路面设计研究[J].上海节能,2024,(03):496-500.
- [3] 苏凯.装配式路面技术的研究现状[J].建筑施工,2021,43(05):905-907.
- [4] 于兵杰.装配式基层混凝土预制板受力分析[D].东北林业大学,2023.
- [5] 田志伟,贾立夫,于兵杰,等.装配式道路基层结构接缝传荷性能及影响参数分析[J].森林工程,2023,39(02):165-175.

Study on sand and gravel foundation treatment technology based on geosynthetic materials

Sen Yang

Guoji Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

This paper explores the technology of treating gravel foundations using geosynthetic materials, analyzing the characteristics and engineering challenges of gravel foundations. It introduces the classification and performance of geosynthetic materials and details their application in gravel foundation treatment. Through case studies, it demonstrates the effectiveness of geosynthetic materials in practical engineering applications and proposes optimization measures for material selection, construction techniques, and design parameters. The study shows that geosynthetic materials can significantly enhance the load-bearing capacity of gravel foundations, reduce settlement, and minimize the risk of uneven settlement, indicating a promising future. Future research should focus on developing high-performance materials, optimizing construction techniques, and expanding the application of this technology across more fields.

Keywords

gravel foundation; geosynthetic materials; foundation treatment; engineering application; optimization measures

基于土工合成材料的砂砾石地基处理技术探究

杨森

国基建设集团有限公司, 中国·山西 太原 030002

摘要

本文探讨了基于土工合成材料的砂砾石地基处理技术, 分析了砂砾石地基的特性及工程问题, 介绍了土工合成材料的分类与性能, 并详细阐述了其在砂砾石地基处理中的应用。通过工程案例展示了土工合成材料在实际工程中的应用效果, 并提出了材料选择、施工工艺及设计参数的优化措施。研究表明, 土工合成材料能够显著提高砂砾石地基的承载能力, 减少沉降, 降低不均匀沉降风险, 具有良好的应用前景。未来应进一步开发高性能材料, 优化施工工艺, 推动该技术在更多领域的应用。

关键词

砂砾石地基; 土工合成材料; 地基处理; 工程应用; 优化措施

1 引言

在基础设施建设中, 砂砾石地基因其透水性和承载能力被广泛应用于水利工程和道路工程, 但易出现不均匀沉降、渗透变形等问题, 威胁工程安全。土工合成材料凭借质量轻、强度高、耐腐蚀等特性, 在地基处理领域显示出巨大潜力。

本文聚焦于基于土工合成材料的砂砾石地基处理技术, 深入探讨其优势、适用范围及工程效果, 旨在为工程实践提供坚实的理论支撑与实用的技术指导。通过分析其在砂砾石地基处理中的作用机制, 结合工程案例展示其应用效果, 并提出优化措施, 助力提升地基处理的整体质量与效益。

2 砂砾石地基的特性及工程问题

2.1 砂砾石地基的定义与组成

砂砾石地基是由粒径大于 2 mm 的颗粒组成的土层, 其颗粒级配较粗, 粒径范围通常为几毫米到几十厘米。这种地基主要由河流冲积、洪积或冰川沉积形成, 广泛分布于河流冲积平原、山区洪积扇及冰川沉积区域。例如, 黄河中下游地区的河流冲积平原, 砂砾石地基厚度大, 承载能力高, 但也存在一些工程问题。

2.2 砂砾石地基的工程特性

砂砾石地基具有良好的透水性, 孔隙率大, 水流容易通过, 这在排水和降水工程中具有优势。然而, 其颗粒间的摩擦力和咬合作用较弱, 压缩性较大, 在长期荷载作用下容易产生较大沉降。此外, 砂砾石地基的颗粒大小不一, 力学性质存在差异, 导致地基的不均匀性较为明显, 可能引起建筑物基础的不均匀沉降, 进而影响建筑物的结构安全^[1]。

【作者简介】杨森(1989-), 男, 中国山西潞城人, 工程师, 从事新材料在河道污染治理中的效能提升机制研究。

2.3 砂砾石地基的工程问题

砂砾石地基常见的工程问题包括不均匀沉降、渗透变形和抗剪强度不足。不均匀沉降可能导致建筑物基础倾斜、墙体开裂,影响正常使用。在高水头作用下,砂砾石地基可能发生渗透变形,如流土、管涌等,导致堤坝渗漏、水库渗漏等问题,严重影响工程的安全性。在边坡工程中,砂砾石地基的抗剪强度不足可能导致边坡滑动,特别是在寒冷地区,季节性冻土对砂砾石地基的影响也不容忽视,冻胀与融陷会导致地基变形,影响工程的稳定性。

3 土工合成材料的分类与性能及在地基处理中的作用机制

3.1 土工合成材料的分类与性能

土工合成材料主要包括土工织物、土工膜、土工格栅和土工网。土工织物分为机织和非织造两种,具有良好的透水性和过滤性能,适用于排水和过滤工程。土工膜按材料分为 HDPE 和 PVC 两种,具有良好的防渗性能,适用于防渗工程。土工格栅通过限制土体颗粒位移,提高地基稳定性,适用于大面积地基加固。土工网则用于边坡防护和排水。这些材料在地基处理中发挥加固、排水、隔离和过滤等作用,能够有效改善砂砾石地基的工程性能。

3.2 在地基处理中的作用机制

土工合成材料在地基处理中的作用机制主要包括加固、排水、隔离和过滤。加固作用通过限制土体颗粒的位移,提高地基的整体稳定性;排水作用利用其良好的透水性,加速地基中孔隙水的排出,减少孔隙水压力;隔离作用防止不同性质的土体相互混杂,保持地基的层次结构;过滤作用阻止土体颗粒随水流流失,防止地基发生渗透破坏。这些作用机制能够有效改善砂砾石地基的承载能力和沉降性能,提高工程的安全性和稳定性。

3.3 实际应用中的注意事项

在实际应用中,应根据砂砾石地基的具体工程特性及工程要求,合理选择土工合成材料的类型、规格和性能指标。同时,施工过程中要严格控制材料的铺设质量,包括平整度、搭接长度和固定方式等,确保施工质量符合设计要求。此外,结合工程监测数据,对设计参数进行动态调整和优化,以进一步提高地基处理效果^[2]。

4 基于土工合成材料的砂砾石地基处理技术

4.1 土工织物在砂砾石地基处理中的应用

作为过滤层:在砂砾石地基与软土层之间铺设土工织物,能够有效防止软土颗粒进入砂砾石层,保持排水通道畅通。这种应用方式在水利工程中较为常见,例如在堤坝工程中,通过铺设土工织物防止软土颗粒流失,提高堤坝的稳定性。

作为隔离层:在不同粒径的砂砾石层之间铺设土工织物,能够有效防止颗粒混杂,提高地基的均匀性。在道路工

程中,通过铺设土工织物隔离不同粒径的砂砾石层,能够有效减少地基的不均匀沉降。

作为加筋层:在砂砾石地基中铺设土工织物,能够提高地基的抗剪强度和承载能力。通过土工织物与砂砾石颗粒之间的摩擦作用,限制颗粒的位移,提高地基的整体稳定性。

4.2 土工格栅在砂砾石地基处理中的应用

土工格栅的铺设方式:土工格栅的铺设方式包括水平铺设、垂直铺设和斜向铺设等。水平铺设适用于大面积地基加固,能够有效限制土体在水平方向上的变形;垂直铺设则适用于边坡加固,能够有效限制土体在垂直方向上的变形;斜向铺设则可以根据工程需要,灵活调整铺设角度,提高地基的稳定性。

土工格栅与砂砾石的相互作用:土工格栅的肋条与砂砾石颗粒之间的摩擦作用能够有效限制颗粒的位移,提高地基的整体稳定性。通过土工格栅的加固作用,能够显著提高砂砾石地基的抗剪强度和承载能力。

土工格栅的加固效果:室内模型试验表明,间距 0.5m 的土工格栅加固砂砾石地基,承载能力较未加固时提高 40%,沉降量减少 50%。某水利工程现场监测显示,加固后地基沉降速率降低,水平位移得到控制。如加固后 6 个月,沉降量仅为未加固时的 30%,水平位移减少 60%。这些数据证明合理铺设土工格栅能显著提高砂砾石地基的承载能力,减少沉降量,降低不均匀沉降风险,改善地基工程性能。这些结论为实际工程中土工格栅间距的合理确定提供了依据^[3]。

4.3 土工网在砂砾石地基处理中的应用

土工网的排水功能:在砂砾石地基中铺设土工网,能够加速地基中孔隙水的排出,减少孔隙水压力,提高地基的稳定性。土工网具有良好的透水性,能够有效防止土体颗粒随水流流失,保持排水通道畅通。例如,在港口工程中,通过铺设土工网,能够有效排除地基中的孔隙水,减少地基的沉降和变形。

土工网的防护功能:在边坡工程中,利用土工网防止砂砾石颗粒流失,保护边坡坡面。土工网的防护作用能够有效防止边坡受到雨水冲刷和风化作用,提高边坡的稳定性。例如,在山区公路边坡工程中,通过铺设土工网,能够有效防止边坡坍塌,保障道路的安全通行。

4.4 土工膜在砂砾石地基处理中的应用

土工膜的防渗功能:在需要防渗的砂砾石地基工程中,如水库、垃圾填埋场等,铺设土工膜能够有效防止地下水渗漏。土工膜具有良好的防渗性能,能够有效阻止水分的渗透,保护地基的稳定性。例如,在垃圾填埋场工程中,通过铺设 HDPE 土工膜,能够有效防止垃圾渗滤液渗漏,保护周边环境。

土工膜与土工织物的联合应用:在防渗工程中,土工膜与土工织物配合使用,既能满足防渗要求,又能保证排水

通畅,防止地基发生渗透破坏。土工织物能够有效防止土体颗粒进入土工膜,保护土工膜的防渗性能。例如,在水利工程中,通过土工膜与土工织物的联合应用,能够有效防止地基渗漏,同时保证排水通道畅通,提高地基的稳定性^[4]。

5 工程案例分析

5.1 黄河堤坝加固工程砂砾石地基处理

工程概况:该工程位于黄河中下游地区,地基主要由砂砾石组成,厚度约为10 m。工程的主要功能是防洪和灌溉,设计洪水位为50年一遇。砂砾石地基具有良好的透水性,但存在不均匀沉降和渗透变形的风险。

地基处理方案:采用双向土工格栅加固地基,抗拉强度为100 kN/m,铺设间距为0.5 m。施工工艺包括地基清理、土工格栅铺设、砂砾石填筑等。施工过程中严格控制土工格栅的铺设质量,确保其平整度和搭接长度符合设计要求。

工程效果:通过现场监测数据,分析地基的承载能力、沉降量、不均匀沉降等指标的变化情况。监测结果显示,加固后的地基承载能力提高了30%,沉降量减少了40%,不均匀沉降的风险显著降低。工程运行3年后,未发现明显的沉降和变形问题,表明土工格栅加固砂砾石地基的效果良好。

5.2 京藏高速公路改扩建工程砂砾石地基处理

工程概况:该道路工程为京藏高速公路改扩建项目,全长50 km,设计车速为100 km/h。地基主要由砂砾石组成,厚度约为3 m。由于交通荷载较大,砂砾石地基存在不均匀沉降和承载能力不足的问题。

地基处理方案:采用非织造土工织物作为隔离层和加筋层,抗拉强度为50 kN/m,铺设层数为2层。施工工艺包括地基清理、土工织物铺设、砂砾石填筑、压实等。施工过程中严格控制土工织物的铺设质量和压实度,确保施工质量符合设计要求。

工程效果:对比处理前后的道路路基性能,平整度提高了20%,承载能力提高了25%,沉降稳定性显著改善。工程运行2年后,未发现明显的路基沉降和变形问题,表明土工织物结合压实法处理砂砾石地基的效果良好。

6 基于土工合成材料的砂砾石地基处理技术的优化措施

6.1 材料选择优化

在选择土工合成材料时,应综合考虑砂砾石地基的工程特性、环境条件以及工程要求。例如,对于需要防渗的工程,应优先选择HDPE土工膜;对于需要加固的工程,高强度的土工格栅是更好的选择。同时,要评估材料的耐久性、环境适应性及成本效益,进行综合权衡。比如,在寒冷地区,应选择具有良好抗冻性能的材料;在经济条件有限的情况

下,性价比高的材料更为合适。此外,对比不同材料的综合效益,如土工格栅和土工织物的成本、施工难度、维护成本、使用寿命等,可以帮助工程技术人员在实际工程中做出更优的决策。

6.2 施工工艺优化

施工过程中,要严格把控土工合成材料的铺设质量,包括铺设的平整度、搭接长度、固定方式等细节。例如,土工格栅的搭接长度应不小于15 cm,并用U型钉固定,间距一般为1-1.5 m;土工织物采用缝接法连接时,缝接宽度应不小于10 cm,缝线间距一般为5-10 cm。合理安排土工合成材料的铺设与砂砾石填筑的配合,确保施工质量。在铺设土工织物后,应及时进行砂砾石填筑,避免材料长时间暴露老化。加强施工过程中的质量检测与控制,及时发现并处理施工中的问题,如压实度不足、材料损坏等,确保施工质量符合设计要求。

6.3 设计参数优化

基于土工合成材料与砂砾石地基的相互作用机理,合理确定设计参数。例如,通过室内试验和数值模拟确定土工格栅的最佳铺设间距为0.5 m,以达到最佳加固效果。结合工程监测数据,对设计参数进行动态调整和优化。在施工过程中,根据监测到的地基沉降和变形情况,及时调整土工格栅的间距和土工织物的层数,优化地基处理方案。在长期使用过程中,定期对地基进行监测,根据监测数据进一步调整设计参数,确保地基的长期稳定性,提高地基处理的整体效果。

7 结语

基于土工合成材料的砂砾石地基处理技术,正因其显著优势,在基础设施建设里不断拓宽应用场景。

从理论探讨到工程实践,我们发现,只要精准选材、优化工艺、科学设定参数,就能有效攻克砂砾石地基的沉降、变形等难题,显著拉升地基的承载力与稳定性。未来,还得立足具体工程条件,做出理性选择,同时借助监测数据动态调整策略。而且,行业得持续投入研发,打磨出更优质的材料,让技术体系更完善,为我国基建事业的高质量发展添砖加瓦,推动这项技术在更多地基处理场景里发光发热。

参考文献

- [1] 沈振中,邱莉婷,周华雷.深厚覆盖层上土石坝防渗技术研究进展[J].水利水电科技进展,2015,35(05):27-35.
- [2] 吴景海,陈环,王玲娟,等.土工合成材料与土界面作用特性的研究[J].岩土工程学报,2001,(01):89-93.
- [3] 刘文白,周健.土工格栅与土界面作用特性试验研究[J].岩土力学,2009,30(04):965-970.
- [4] 束一鸣,吴海民,姜晓桢.中国水库大坝土工膜防渗技术进展[J].岩土工程学报,2016,38(S1):1-9.

Further exploration of independent management mode of large equipment in tunnel construction

Chuanqi Wang

CCCC First Highway Engineering Co., Ltd., Beijing, 100024, China

Abstract

As the scale of tunnel projects in our country continues to expand, the ‘three self’ management model for equipment has become a key factor in the core competitiveness of current construction enterprises. Traditional collaborative teams often suffer from outdated equipment, coarse management, unclear responsibilities, and technical gaps, leading to high equipment failure rates, inefficient resource allocation, and cost overruns. However, with the implementation of the ‘three self’ management model, the reliability of equipment operation, resource utilization, and overall lifecycle benefits have significantly improved. This model also enhances the level of technical expertise and safety quality assurance. By establishing a comprehensive professional equipment asset management system, adopting a scientific talent selection, cultivation, utilization, and retention model, introducing standardized procedures, and integrating digital tools, we can effectively manage professional equipment and ensure the smooth operation of projects.

Keywords

Tunnel construction equipment management Equipment ownership three-self management mode.

隧道施工大型设备自主化管理模式的深化探索

王传奇

中交一公局集团有限公司, 中国 · 北京 100024

摘 要

伴随着我国隧道工程规模不断增大,“设备三自”管理模式已经成为当前工程施工企业的核心竞争力的关键所在,传统的协作队伍有着设备陈旧、粗放式管理、权责不清、技术断层等问题,极易出现设备故障率高、资源配置不合理以及成本失控等现象;而在实施“三自”管理模式以后,设备运行的可靠性、资源的利用率、全生命周期的效益性都有了较大的提高,且有效地提高了技术沉淀和安全质量的保障水平。建立完善的专业化的设备资产管理体系、采用科学的人才“选育用留”模式、引入标准化工序、综合运用数字手段将二者深度融合,把专业设备真正管好,让项目能顺利运转起来。

关键词

隧道施工设备管理 设备自有 三自管理模式

1 引言

国内的山岭隧道越修越长,其规模也越来越大,使用大型施工机械已成趋势。国内长大隧道建设热潮兴起,“设备自有、人员自管、管理自主”的“三自”管理模式已成为主流。这种模式以“设备自有”为核心,是施工企业适应技术更新换代、提升核心竞争力的必然选择,也是对设备高度依赖的隧道工程最合理的管理方式。

设备自有化直接关系到设备能否高效运转、工程进度是否稳定、资源利用是否充分,最终影响着工程安全、质量和进度目标的实现。

【作者简介】王传奇(1980—),男,中国江苏徐州人,本科,高级工程师,从事隧道施工技术及管理研究。

2 隧道大型设备管理的演进历程与当下困境

隧道工程是高度复杂的系统工程,涉及地质、机械、土木、管理等多项专业领域,各类大型设备成为当前修建长大隧道必不可少的装备,多臂凿岩台车、锚注一体机、拱架安装机、湿喷机和其他配套大型隧道工装等都属于现代化隧道施工的重点应用技术之一,其技术性能、可操作性以及管理水平等都会直接影响隧道工程建设的结果以及经济效益。

2.1 传统协作模式的内在缺陷

一直以来,项目为了减轻前期资金投入,会将隧道设备投入压力抛给协作队伍,表面上看,这样可以节省一部分资金投入,但却埋下了隐患,而后患无穷。

设备状态差、技术落后风险大。合作方设备多头来源,人力物力保障普遍老化、落后,缺备用件、保养不到位等问题突出。如某西南铁路隧道协作方台车供方机器设备核心部件严重老化无备品备件,设备出现发动机故障后导致长时

间停工,造成巨大经济损失。从行业统计数据看,协作设备的故障率远大于自有机设备的故障率,严重制约了项目工程进度。

管理困难,调度不灵。因设备产权及归属造成管理跨度,难以达成跨协作方设备统一管理调度的全局最优。各工点设备全局调动不畅,有的闲置,有的紧张,因生产组织问题,资源错配也时常发生,例如某大型铁路隧道工程高峰时期,各个作业面各自为战,其问题就是设备利用率比行业水平低得多。

责任不清,扯皮成本高。现场设备使用故障或误操作造成后果的判定责任往往较为困难,由此导致施工现场发生经常性扯皮,造成协作队伍积极性不高,项目管理人员也有苦难言,占用大量的管理资源。

技术断档,能力缺失。项目上过度依赖协作方,自己企业积累不起大型设备管理应用的核心技术能力,尤其在大型设备的应用和维护管理上跟不上,限制企业发展,容易使企业长期处于产业链低端。^[1]

2.2 自有模式的兴起与必然性

在这样的背景下,及激烈的市场竞争和追求高质量发展的双向驱使下,大型设备的自有管理式的设备运维出现并逐步兴盛起来,是必然趋势。这也正是这种模式存在的价值所在。

首先是掌控力提升,企业拥有产权,实现设备从选型采购、使用调度、维护保养直至报废处置全流程自主管控。其次是资源配置主动,从项目的战略和技术需求出发,做好规划和统一调度设备资源工作,提高设备资源整体利用率。三是运行可靠性增强,建设标准化维保体系和专业团队保障设备处在良好的状态,避免产生非计划性的停机。四是全生命周期成本,长远来看,用更高效率、更低故障率、更长寿命、规模采购备件、更少外购等方式来节约资金。五是核心能力沉淀,打造企业自用高端设备自控专业管理、运行、维护人员的摇篮,形成企业竞争核心力量。

3 多维效益与理论拓展

深入研究并推广隧道施工大型设备自主管理模式,具有重大的实践意义与理论价值。

3.1 驱动工程效能与企业核心竞争力升级

3.1.1 工程效能倍增

促进设备利用率最大化,克服协作队伍的壁垒,实现实时、动态、智能调配,大幅提高整体设备周转率和利用率。实际应用表明,推行关键设备自有化可以大幅度提高隧道月进尺及设备利用率。可以促进维保升级与故障下降,搭建预防性维护和预测性维护体系,并有专业的人员与充足的备件,把故障消灭在萌芽状态,最大程度地杜绝突发故障的发生,保持施工始终连续不间断的状态。且实现自有设备的精细化管理之后,主要设备的非计划停机时间得到了明显减少。

3.1.2 经济效益深化

虽然前期投资大,但后期由于提高利用率,使用年限增长,维护费用低等,收益较租赁或者合作方式更大;根据论文研究表明,在高使用率下,自主研发拥有相比自身周期更低周期成本的优势。使成本管控更主动,可以进行掌握油料、配件、维修等成本费用管控,方便精细管理和统一集中采购,把运营成本进一步压缩。

3.1.3 核心竞争力锻造

在重点隧道项目设置培训基地,培养稳定高技能设备操作、维保技术人才,打通人才通道,避免被协作队伍牵着鼻子走的局面。提升品牌价值,高效、安全、优质是企业的核心竞争力,自有设备管理水平高低,则直接决定了企业的核心竞争力高低。增强战略灵活性,自有设备资源池可提高公司承接大、难、急等项目的资源保障以及项目反应的速度。

3.2 丰富工程管理知识与引领创新

实施隧道高价值资产型设备“三自”管理。把超前水平钻机、多臂凿岩台车、拱架安装机、钻锚注一体机等高价值、长周期、技术复杂的隧道核心设备全部纳入“三自”管理,通过“三自”模式加强设备全寿命周期管理、提高设备运转效率、做好精准风险管控。

结合建立隧道设备“三自”管理协同体系,以“设备自有”为基础,“人员自管”为动能驱动,“管理自主”为机制保障,使之成为一个三位一体、互促共进的整体,急需建立健全一整套具有前瞻性的、精细化的项目动态管理机制,在组织架构上寻求突破,在分清权责的基础上深化分工,在再造流程的基础上重塑流程,在创新激励上突出优势,实现各类要素整合利用的最大效益。

推进智能运维与数字化建设。自有模式是将物联网、大数据、人工智能等运用到状态监测、故障预警、智能调度、远程诊断、数字孪生等为基础,来加速智能建造理论的实现过程,使智能建造能在设备管理方面得到应用和发展。

提供产业链整合微观案例:设备自有化是施工企业向设备资源上游延伸的纵向一体化方式,对其动因、边界、效益及风险等方面的研究,可以为工程产业链优化提供一定的经济学和管理学启示。^[2]

4 构建高效可持续的自有管理体系

将大型设备自有模式的理论优势转化为现实效益,需系统性战略规划与精细化落地。

4.1 建立专业化、市场化设备资产管理实体

大型设备进行集中采购配置,根据公司战略和业务发展需要,做好统一选型论证,规模化采购及更新工作。可以将内部租赁市场化,根据公允价格向集团项目提供设备租赁,签订标准合同明确各自的权利义务和违约赔偿,仿真市场压力,提高服务质量与效率,掌握项目成本。

采用全生命周期管理,负责设备档案、维保计划、备件集采管理、大修项修、技改升级、报废处置;应用先进的

资产管理系统实现精准化管理,推行专业服务输出,解决使用设备时的各种配套操作、保养、维修等方面的问题。其优势是可以完成集团公司级资源优化配置、提高专业化程度、降低总成本、厘清内部分工与协作、打牢拓展外部市场的基础。

4.2 构建“选育用留”全链条体系

大型设备操作手、维保工程师是自有模式成败的关键。当前“项目临时招聘、技能参差不齐、优秀人才稀缺”的局面必须打破。

4.2.1 战略定位与通道设计

将高水平设备操作和维保人员当作企业的技能人才进行配置,而不是临时用工。如:初级操作手—高级操作手—设备主管—设备经理;维保技工—维保工程师—技术专家/首席技师”这样的职业发展通道,并根据不同的岗位类别设置不同的职称序列;配备合理且具有激励性的薪酬等级及晋升标准,赋予专业技术人员更大的发展空间,打破职业天花板。

4.2.2 “选”的革新

联手一流职业院校,按照“隧道大机操作与维护”等岗位要求,共同制定培养方案,提前锁定生源、设置专项助学金,让“源头活水”不断。

进行社会化精准招聘,创建基于胜任力模型的科学招聘体系,加强对入职员工的理论知识与实操技能(模拟工况)考核,提高入职门槛。

也可以进行内部选拔转岗,鼓励那些有积极性、肯学习的一线人员(如普通机械操作手、维修工)参加培训并经考试合格后转到一些价值较高的大型设备上任职。

4.2.3 “育”的体系化:

设置企业培训中心,建设一批配建有先进模拟器和实操设备的培训基地,持续技术更新,定时对全院职工开展新技术、新设备、新工艺的学习,并聘请设备厂商专家授课,同时建立院内线上学习平台。设置导师带徒与认证,加强“导师带徒”管理,安排经验丰富的技师/工程师担任师傅带教新员工;建立企业内部技能等级认证体系,并将认证结果与薪酬挂钩、与职业发展挂钩。实战练兵与竞赛,组织各种形式的岗位练兵、技术比武,形成“比学赶超”局面,选出技术能手进行表彰。

4.2.4 “用”的科学化

进行人机匹配优化,建立操作手技能档案以及设备特性数据库,可以达到最优化人机匹配的效果,获得最大的效益。设置绩效导向,根据设备运转效能(台班产油量、能耗比)、故障率、安全纪录、保养水平,建立以任务指标为主导、绩效与创效挂钩的考核奖罚机制。

4.2.5 “留”的吸引力

制定有竞争力的薪酬福利,为使核心技能人才拥有行业竞争力的薪酬待遇,并享受完善的社保、带薪培训及健康

体检等福利待遇。推广公司技术序列的上升通道,使其能得到尊重与认可,并适当关注员工工作和生活之间的平衡,改善一线人员的生活和工作环境;提供一定的稳定性预期,尽量降低因项目结束而带来的优秀人才流失问题。

4.3 制度、标准与技术的融合

建立标准化管理体系,覆盖设备操作规程、保养规程、点检标准、维修技术规范、安全规程、备件管理等全流程的、详尽的标准化文件体系。确保管理动作有章可循、规范统一。

智能分析与决策,运用自研项目管理大数据来获取设备的运行情况,进行故障预警、预测性维护、工作效能评价、作业效率分析、油耗/电耗量控制,提供维修决策数据与调度优化数据。充分开发移动应用,引入精益生产思想,持续挖掘设备管理过程中存在的浪费,尽最大努力实现精细化管理。

4.4 深化研究与持续优化

长期跟踪自有设备全生命周期的成本及效益,通过模型化方法为其更新及管理工作提供量化的数据支持。

积极的对标管理与学习,向世界顶尖的隧道工程建设公司或相关企业、设备制造企业学习先进的管理理念、技术和管理经验,参照先进水平不断提升自身的管理水平。

推进产学研深度融合,与其与一些院校、科研院所及一流设备厂家建立长期的合作关系,在共同做设备性能优化、状态监测新技术、智能运维算法以及新型维修工艺的研发工作,在此基础上推动公司技术水平的进步和管理工作水平的提高。^[1]

5 拥抱变革,铸就隧道核心支撑力

隧道施工大型设备自主管理模式不是简单的所有制关系转化,而是工程管理模式的重大变革,是“设备自有”作为载体、“人员自管”作为驱动、“管理自主”作为保证的“三位一体”自我循环体系,具有超越单个工程项目为设备保驾护航的价值,其真正目的在于施工企业能否通过把控关键设备、核心技术和形成差异化的优势,实现在大争之年从单纯的“工程承包商”转变为“具有强大的装备和核心技术支撑的一体化建造服务商”。^[4]

参考文献

- [1] 邢小宇,颜琳.公路隧道大型机械化施工技术研究[J].汽车周刊,2025,(05):131-133.
- [2] 杨健.高速铁路隧道大型机械化配套快速施工技术研究[J].工程技术研究,2024,9(22):26-30.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2024.22.008.
- [3] 王伟.隧道机械化施工中的设备管理要点探讨[J].模具制造,2024,24(07):240-242.DOI:10.13596/j.cnki.44-1542/th.2024.07.078.
- [4] 王金龙,孙涛.公路隧道机械化施工设备配置与管理合理性研究[J].建筑机械,2021,(09):30-33.DOI:10.14189/j.cnki.cm1981.2021.09.019.

Research on the Design of Intelligent Vehicles for the Blind Based on Flow Theory

Yao Luo Yuanyuan Lou Ran Tao*

School of Art and Design, Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning, 116028, China

Abstract

This study proposes a design of intelligent vehicles for the blind based on the flow theory, aiming to solve the problems of insufficient autonomy and lack of emotional experience in the travel and shopping scenarios of the blind group. Taking the travel experience of the blind as the research object, this paper analyzes the core elements of the flow theory and explores the design of travel assistance devices for the blind. The innovative design based on the flow theory reveals the travel needs of the blind, realizes the mapping of psychological needs and technical functions, enhances their autonomous travel ability, and reflects the mutual combination of technological empowerment and humanistic care.

Keywords

Flow theory; Intelligent vehicle for the blind; Travel experience

基于心流理论的盲人智行车设计研究

罗瑶 娄园园 陶然*

大连交通大学艺术设计学院, 中国 · 辽宁 大连 116028

摘 要

目的 本研究提出一种基于心流理论的盲人智行车设计, 旨在解决盲人群体出行和购物场景中自主性不足、情感体验缺失的问题。**方法** 以盲人的出行体验为研究对象, 解析心流理论的核心要素, 通过调整与平衡、即时反馈机制、注意力集中、行动与意识融合四个方面, 从而对盲人出行辅助设备的设计探索。**结论** 基于心流理论的创新设计揭示了盲人的出行需求, 实现了心理需求和技术功能的映射, 提升其自主出行能力, 帮助盲人更好的参与到社会生活当中, 体现了技术赋能和人文关怀的相互结合。

关键词

心流理论; 盲人智行车; 出行体验

1 引言

在智慧交通背景下, 盲人的出行安全问题以及社会融入问题受到了广泛关注。根据世界卫生组织统计, 中国现有视力障碍人群已超 2000 万人, 其中完全失明的盲人约 830 万人, 占全球失明人口总数的 21%^[1]。传统的导盲工具, 如导盲犬、盲杖等, 存在信息反馈单一以及交互延迟的情况, 难以满足现代社会多样化的出行需求。随着多模态交互、

SLAM 导航等信息技术的快速发展, 为盲人的出行模式提供了新思路。但现有的盲人辅助出行设备多集中于功能实现层面, 对于盲人的情感体验方面关注不足, 尤其是对于积极心理机制的系统性设计。

作为积极心理学中的核心概念, 心流理论已被广泛应用于产品设计、交互设计等领域^[2]。其核心在于通过及时反馈和优化设计, 促使用户进入“知行合一”的体验状态, 进而降低用户出行的体验焦虑感并提升行动自主性。基于此, 本研究将心流理论应用在盲人智行车的设计中, 通过对盲人出行过程中生理和心理的分析, 探讨心流理论在盲人智行车中的设计应用, 改善其出行体验。

2 心流理论与盲人出行体验

2.1 心流理论概述

心流理论是由美国心理学家米哈里·契克斯杰海在 1975 年首次提出的一种心理学理论。他将心流定义为一种积极的情绪体验, 即当人们全身心地投入到某项活动时, 会

【基金项目】大学生创新创业训练计划项目(项目编号: 202410150027); 辽宁省经济社会发展研究课题项目(项目编号: 2025lslybwzzkt-051)。

【作者简介】罗瑶(2002-), 女, 中国重庆人, 本科, 从事工业设计研究。

【通讯作者】陶然(1978-), 女, 中国辽宁大连人, 硕士, 副教授, 从事交通工具造型设计、设计文化研究。

产生一种专注感^[3]。用户使用产品时要解决的挑战与其本身拥有的技能维持一定的平衡，才能进入稳定的心流状态^[4]。心流理论突破了传统心理学对于负面情绪的关注度，为研究用户行为以及情感体验带来了新的思路，强调个体在发挥自身潜能的同时提升幸福感。具体而言，心流体验的形成依赖以下核心要素：

挑战与技能的平衡：个体能力和任务难度需要处于最佳匹配区间当中，避免出现因为任务难度过低或过高引发的焦虑，形成持续性的心理动力。

即时反馈机制：个体行为能够获得实时的结果反馈，能够即使调整策略并且维持目标的导向性。

注意力聚焦：任务设置需要充足的吸引力，减少无关的干扰，将注意力集中在当前的活动中。

行动与意识融合：无需刻意控制行为，个体能够进行深入的自我探索，从而达到“知行合一”的高效状态。

2.2 用户分析

通过对盲人群体进行单人访谈，从生理与心理两个层面分析得出：盲人由于视觉缺失造成的其他感觉器官具有特殊灵敏性，主要表现在触觉和听觉感知能力，同时他们内心十分敏感，需要注重对盲人心理上的关怀。

因此，盲人产品应该以提升盲人生活质量和促进其自主生活为目标，充分发挥其听觉和触觉的优势，同时关注并满足其心理需求，让他们能够更好地融入社会并享受生活的趣。

2.3 盲人出行的心流体验需求分析

盲人的出行是通过听觉、触觉等非视觉通道来获取外界信息并作出行动决策的认知过程。在行动过程中，盲人自身信息的处理能力、外部环境的复杂程度以及交互反馈的即时性都直接影响其出行体验。基于心流理论的核心要素，对盲人出行的需求可从以下维度展开分析：

挑战与技能的平衡需求：盲人在不同的出行场景中面对的挑战具有差异性，心流体验要求设备具有动态的调整适配能力，动态调整输出信息的复杂程度，促使任务难度和用户能力在最佳匹配区间中。

即时反馈需求：需要构建多模态的信息交互系统。用户对于设备的控制需要获得及时反馈，强化从行为到结果的闭环，避免因信息延迟而导致的可控性丧失以及方向误判。

注意力聚焦需求：盲人在出行过程中需要接收大量的复杂信息，心流理论要求设计要遵循信息分层原则。通过对于信息的优先级排序，过滤掉非紧急的信息，保证用户对于核心安全信息的接收。

行动与意识融合需求：通过拟人化的自然语言交互，模拟人类的引导模式，降低技术带来的疏离感，增强情感信任并根据用户行动节奏调整反馈频率，在自主和辅助之间寻找平衡，使操作行为趋向流畅性，消解用户对于残障状态的

身份焦虑。

3 盲人智行车的设计框架

3.1 基于心流理论的设计原则

基于心流理论的设计需要构建“任务与环境-认知与心理-情感与体验”的逻辑闭环。通过实时算法动态匹配路况的复杂程度，结合用户的操作能力进行信息反馈，使其始终处于最佳匹配区间；结合多模态交互进行即时反馈，使用户对于外界环境具备基础的认知；将导航任务化解成不同的执行阶段，确保注意力聚焦；行动与意识融合通过拟人化的语音交互以及沉浸的场景融合，帮助用户维持专注的状态，减少技术带来的疏离感。

表 1 基于心流理论的设计原则表

心流核心要素	设计策略方向	技术实现示例
挑战与技能平衡	动态匹配路况复杂度与用户能力梯度	基于 IMU 的步态分析分级、激光雷达反馈调控
即时反馈	多模态信息同步构建环境认知	触觉振动反馈地图（方位+距离）
注意力聚焦	信息优先级排序、导航任务分级拆解	任务导向型交互（如直20米后右转）
行动与意识融合	手动-自动模式切换、自然语音交互	触觉反馈手柄、盲文按键自定义功能

3.2 系统架构设计

以盲人出行和购物需求为导向，构建安全出行+自主购物的双功能系统，将其划分为五个核心模块。四个核心功能模块不仅可以解决超市购物场景的问题，而且能数据互通形成协同效应，共同提升盲人的出行安全性和便捷性、购物的自主性以及心理的满足感，最终实现减少依赖、增强社会融入的设计目标。

表 2 核心功能架构表

核心模块	技术实现
智能导航系统	数字智轨技术：预设路线规划+实时路径指引 车跟随模式：群体出行时的队列协同
环境感知与安全	防碰撞系统：超声波+红外传感器+视觉摄像头 多模态警报：语音提示+扶手振动+座椅脉冲
购物辅助模块	商品识别：图像识别算法+语音播报 模块化购物篮：磁吸式货架感应装置
交互界面	语音控制：关键词指令（如“导航到生鲜区”） 盲文触控板：功能按键凸起纹理标识

4 盲人智行车的设计实践

4.1 出行流程

盲人智行车构建“预约-出行-购物”的全流程服务，从手机端预约开始，用户通过语音交互、盲文触碰等操作获取智行车；行驶过程中，通过数字技术实时检测路况，采用多模态交互进行分级路况提醒；抵达超市后，图像识别和语音播报商品信息，商品由模块化的购物车转送到智行车上。

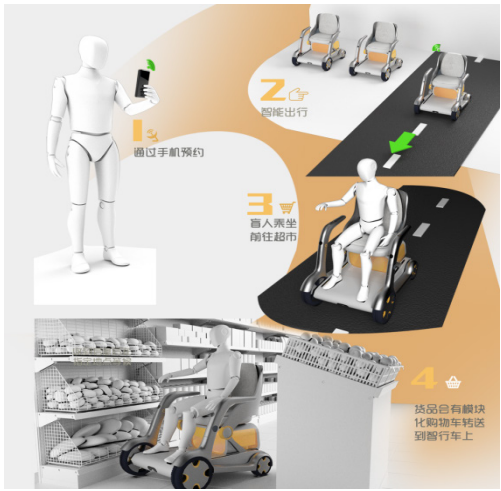


图1 出行流程图

4.2 盲人智行车形态转变

盲人智行车的座椅具备双模式的形态调节。在常规出行场景中，座椅可进行60°的调节，缓解盲人在长期乘坐的疲劳感；在超市购物等特殊场景中，座椅可以进行前移90°的转换，调整用户和货架间的空间距离，帮助用户独立自主的完成购物。



图2 形态转变图

4.3 盲人智行车功能介绍

盲人智行车从多个功能维度辅助盲人自主出行。轻量化车架降低设备重量，新能源电池确保续航稳定；形态转换链条根据场景调整座椅形态，辅助用户独立进行购物；传感器扶手和盲文按钮贴合用户的操作习惯，辅助用户进行精准的

功能操作。各个功能模块通过盲人的出行需求，结合数字技术和多模态交互，帮助其更好的融入到现代生活当中。



图3 功能展示图

5 结语

本研究以心流理论的核心要素为导向，针对盲人出行和购物中的需求，进行盲人智行车设计。通过数字智轨导航、路况信息的即时反馈以及座椅的双模式形态调节，帮助盲人在使用过程中保持专注度和，实现从被动协助到主动掌控的心理转变。本次研究尚处于心流理论在盲人出行设备应用的探索性阶段，未来可以进一步结合生物传感、人工智能等新兴技术，构建多维度的心流体验量化模型，深入对盲人用户交互行为和心理感知的关联性分析，满足特殊人群出行的情感需求和社会认同。

参考文献

[1] 段永健.基于FPGA的盲人出行视觉辅助算法的研究[D].哈尔滨理工大学,2024.

[2] 李畅.心流体验的研究综述[J].开封教育学院学报,2017,37(3):187-189.

[3] 余贝宁,莫若,李刚.基于心流理论的红色文化遗产沉浸式体验研究[J].西部旅游, 2023(7):1-6.

[4] 顾艺,许王旭宇.基于心流理论的海派绘画数字文创产品设计[J].包装工程,2022,43(04):383-391.

Design of Urban Youth Shared Car Based on Service Design Method

Jue Wang Yunpeng Zhang Ran Tao*

School of Art and Design, Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning, 116028, China

Abstract

In the context of building youth friendly cities, traditional shared cars are unable to meet the needs of contemporary youth for convenient, personalized, and social travel experiences. This study is based on service design methods, focusing on the travel pain points of urban youth groups. Combined with user research and user journey map analysis, it identifies the core needs of youth for personalized space, digital interaction, and integration of urban cultural symbols. Propose innovative solutions that support multi scenario and youthful appearance, as well as a new shared service design. Aim to create a flexible, technological, and social oriented urban youth shared car by integrating service processes and product design, providing reference for the transformation of smart city transportation and accelerating the construction of urban youth culture.

Keywords

urban youth; Shared car design; Service design methodology; Intelligent travel

基于服务设计方法的城市青年共享车设计

王珏 张云鹏 陶然*

大连交通大学艺术设计学院, 中国·辽宁 大连 116028

摘要

在青年友好型城市建设背景下, 传统共享车难以满足当代青年对便捷、个性化及社交出行体验的需求。基于服务设计方法, 聚焦城市青年群体的出行痛点, 结合用户调研和用户旅程图分析, 识别青年对个性化空间、数字交互、城市文化符号融合的核心需求。提出支持多场景和年轻化外观造型的创新方案, 以及全新的共享服务设计。旨在通过整合服务流程与产品设计, 打造兼具灵活性、科技感与社交属性的城市青年共享车, 为智慧城市交通转型提供参考, 加速城市青年文化建设。

关键词

城市青年; 共享车设计; 服务设计方法; 智能出行

1 绪论

1.1 研究背景

全球范围内, 城市化进程持续加速, 促使各国政府和城市规划者日益关注“智慧城市”和“青年友好型城市”的建设。《关于深化智慧城市发展推进城市全域数字化转型的指导意见(发改数据〔2024〕660号)》明确提出推进城市

数字化转型、智慧化发展, 在这一背景下, 城市交通系统被视为智慧城市建设的 key 组成部分, 其核心目标在于缓解交通拥堵、减少环境污染并提升出行效率。“十四五”乃至更长一段时期, 如何建设青年友好型城市、社会, 是未来城市高质量发展、优化人口结构必须面对的课题。当代青年的出行需求正在经历显著演变, 他们对出行的期望已超越简单的位移, 而更注重便捷、高效、个性化以及社交连接的体验, 这种需求的变化与共享出行模式的兴起不谋而合。共享出行作为一种颠覆性的城市交通转型, 正逐步改变传统的私人车辆使用模式, 转向更加灵活、多模态的出行选择。

1.2 研究目的及意义

在青年发展型城市背景下, 更加便捷、灵活的新型公共交通工具设计将会对城市发展、现有交通模式和青年出行满意度等多方面产生影响。它能够促进城市的可持续发展, 减少交通拥堵和环境污染, 提高城市居民的出行效率, 并降低交通事故的发生率, 新型公共交通工具设计还能够为城市增添更多的绿色出行选择, 有助于提升城市形象, 并且吸引

【基金项目】大学生创新创业训练计划项目(项目编号: 202410150096); 辽宁省经济社会发展研究课题(项目编号: 2025lslybwzzkt-051),

【作者简介】王珏, (2002-), 女, 满族, 中国辽宁鞍山人, 本科, 从事工业设计研究。

【通讯作者】陶然(1978-), 女, 汉族, 中国辽宁大连人, 硕士, 副教授, 从事交通工具造型设计、设计文化研究等研究。

年轻人扎根和定居。同时,会成为青年群体社交的延伸空间,促进城市中青年群体之间的交流和互动。

1.3 研究目标

构建适于青年聚集型城市的出行新生态模式,提供个性化的出行方式,车体内部布局可调整变化,增强用户体验,使车辆适用于个人、人人、人宠等不同的出行模式,通过年轻的、时尚的外观设计,打造新的城市标志,引领潮流。

2 城市青年共享车设计研究现状

我国现阶段有关共享车的研究主要针对汽车结构与服务平台进行设计,对于青年群体共享车的研究极少,多数是政策上的扶持,我国在本领域的研究正处于起步阶段。共享汽车作为共享经济的一个分支,发展较为缓慢,自2015年以后发展才较为迅速。梁维维总结出使用过共享汽车的无车群体年龄段在21-25岁占比最高,其次是26-30岁^[1]。张文兵以智能共享汽车外观造型为设计对象,通过结合智能共享汽车造型的发展现状,对共享汽车的外观造型进行改进和创新^[2]。2023年7月文远知行无人驾驶小巴在大连正式投入运营,文远小巴和环卫车通过激光雷达、高清摄像头、毫米波雷达等多模组融合、多重冗余的传感器套件,实现360度无盲区的感知能力。

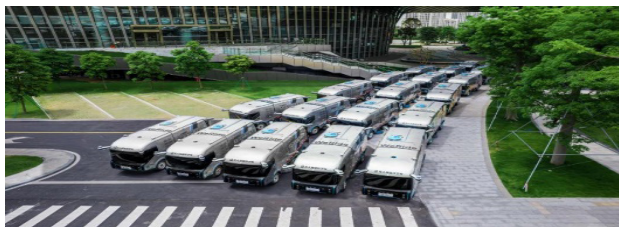


图1 文远知行无人驾驶小巴

国外的共享汽车行业发展态势良好。2015年,共享汽车进入规模化扩张阶段,戴姆勒旗下Car2Go首次进入亚洲,在重庆投放数百辆Smart汽车,成为首个落地中国的自由流动式共享汽车项目。2017德国出台《共享汽车优惠法》,允许共享汽车使用公交道并减免停车费,推动B2C模式规模化。2019年大众WeShare在柏林推出全电动共享车队,整合至公共交通App实现“地铁+共享车”无缝接驳。

2024年亚马逊旗下的自动驾驶公司Zoox推出双向行驶ROBOTAXI无人驾驶出租车,车体长11.9英尺(约3.6米),两侧搭配滑动式车门。车的两端各有一台马达,可以双向行驶,四个轮子均可以独立操控,使得车辆具有高度的机动性。

综上所述,共享车研究领域无论是在政策还是技术部分都取得了明显进步,但缺乏对城市青年群体的关注,仍面临着多方面的挑战,需要对共享车的造型、语义、人机、服务体验等进行综合设计,以数字出行为基础,设计一款城市共享车,让用户安心享受旅程,增强用户在出行过程中的体验感。

3 服务设计方法在城市青年共享车设计中的应用

3.1 服务设计理论研究

服务设计作为一种跨学科的设计方法,融合了服务学、设计学、管理学及软件工程等领域的思维与技术^[2],是一种以用户为中心,通过整合资源、优化流程和触点,提升用户体验与服务效率的系统性方法,注重将用户需求与商业目标结合,覆盖服务全流程的设计与优化。服务设计方法可以有效应用于城市青年共享车设计。通过运用服务设计的原则,共享车辆可以为城市青年提供一种可靠、安全、舒适的出行方式,使人们能够与他们的宠物一同出行,享受愉快的旅途时光。

3.2 双钻模型概述

双钻模型是由英国设计委员会提出的经典设计思维框架,用于系统化地解决复杂问题。它以钻石的形状隐喻设计过程中“发散”与“收敛”的循环逻辑,强调通过探索多种可能性和聚焦核心解决方案的交替过程,提升设计的有效性和创新性。该模型包括发现、定义、开发、交付4个主要阶段,广泛应用于服务设计、产品开发、战略规划等领域,尤其适合需要平衡用户需求、商业目标和技术可行性的场景。

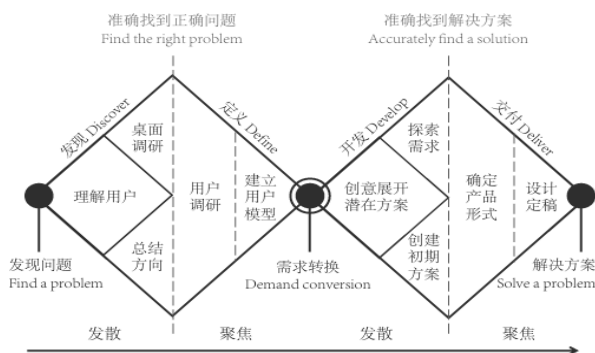


图1 双钻石模型

在探索城市青年共享车的创新解决方案时,采用双钻模型,通过聚焦青年用户,分析用户在各个场景中遇到的痛点,每个阶段采用特定的解决方法来解决问题。发现阶段通过调研、观察以及文献综述,全面理解用户、场景、约束条件及潜在需求,尽可能多地获取“是什么”和“为什么”。定义阶段应用用户旅程图是整合信息,识别关键问题,定义设计目标。开发阶段需要结合上述发现,探索多种解决方案,评估可行性与创新性。交付阶段通过制作高保真模型、渲染效果图及撰写设计报告书,完成方案验证。

4 用户旅程重构与服务触点创新

为深入理解城市青年的出行需求,本研究通过问卷调查与半结构化访谈相结合的方式,抽样调查50名年龄在18至35岁的城市青年用户,重点关注其出行频率、交通工具

选择偏好、共享车使用场景及痛点，以及对车辆内饰、服务模式的期望。通过调查问卷对青年人的出行交通工具、所认同的文化符号以及对共享交通的期望进行调研，整合数据得知，青年人的主要出行交通工具以公交地铁为主，其次是私家车，最后是出租车，青年人对车内空间结构变化、车内空气质量具有较高要求，他们更倾向于智能化、数字化的服务方式，希望采用预定制的方式进行共享车租赁，对定制化路线以及实现全程接送服务具有较大需求，所以我们采用 App 预定的租赁方式，用户线上支付后系统迅速配置距离最近的空车，同时注重车体内饰设计，提高舒适度。

本研究结合服务设计中的用户旅程图分析，聚焦青年人对“个性化空间”“数字交互”“城市文化符号融合”的核心需求，旨在通过可调节内饰设计、无人化共享服务及年轻化外观造型，解决现有共享车在灵活性、效率和情感共鸣方面的问题，提升青年出行体验与城市交通活力。



图 2 用户旅程地图

在前期用户调研基础上，细化目标用户的行为流程，分为需求发现、预约租聘、使用前、使用中、使用后四个阶段，用户的情绪随着实际体验产生波动，最终将用户的期望数据以可视化的方式绘制成用户旅程图（图 2）。

5 设计实践

根据结构的尺寸和布局计算出车辆的体量，综合考量结构和外观的合理性配置后，进行草图绘制，确定大致造型

后，通过使用 Rhinio 软件进行建模，使用 Keyshot 渲染软件进行材质和色彩的补充，得到最终效果图。主题色彩使用黄色、灰色和黑色的组合。黄色作为主色调可以增加车辆的亮度和醒目度，吸引年轻人使用，灰色和黑色作为辅助色可以使车辆外观更加和谐，突出车身线条和细节，还有助于隐藏车辆的污渍和磨损，保持外观的清洁和整洁，整体配色既能体现科技感又符合青年群体审美，又显得前卫，有利于建设城市青年文化，打造城市交通新风尚。共享车的车架设计是确保车辆结构稳固和安全的关键因素之一，车架的材料选择高强度钢、铝合金及碳纤维复合材料，确保车辆在碰撞和日常使用中具备足够的稳定性和安全性。这款共享车设计针对城市青年的出行问题进行设计，满足青年在出行过程中个人、人人、人宠等出行需求，车辆内饰可调整，满足用户的不同需求，其中一个座椅可折叠，最多可容纳两人，并在车辆前方设置宠物生活空间，用户可以安心享受出行过程。

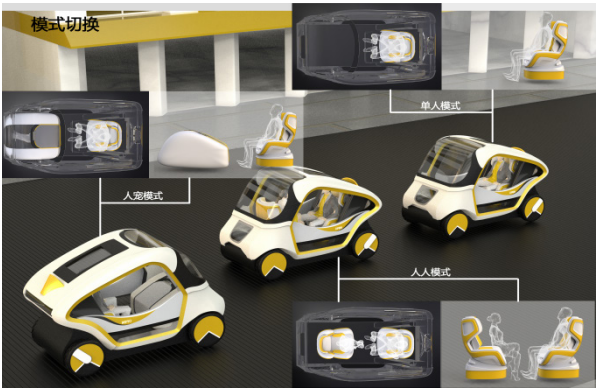


图 3 共享车效果图

本文通过以服务设计方法为参考，在总结国内外共享车的发展现状后，得出目前针对青年的共享车设计缺失。聚焦青年群体，针对该群体出行过程出现的问题进行共享车创新设计，增强青年群体的出行体验，建设城市青年文化。

参考文献

[1] 梁维维.共享汽车对年轻无车族购车决策影响研究[D].山东建筑大学,2020.

[2] 刘新,刘吉昆.机会与挑战—产品服务系统设计的概念与实践[J].创意与设计,2011（05）：15-17.

[3] 张文兵.智能共享汽车外观造型设计研究[D].长春工业大学,2019.

Construction of multi-department cooperation mechanism and information sharing platform in railway traffic organization

Zhijie Hou Xu Bai Bin He

Taiyuan Bureau Group Co., Ltd. Linfen Comprehensive Section, Taiyuan, Shanxi, 033000, China

Abstract

Railway traffic organization involves multiple departments, including dispatching, vehicle operations, locomotive operations, and signaling. Information barriers and collaboration obstacles can hinder transportation efficiency. By constructing an information sharing platform based on system architecture and interface standards, it is possible to restructure cross-departmental business processes and synchronize control logic, forming a dynamic collaborative model for high-frequency operational scenarios. The platform's structure design, boundary responsibility identification mechanism, and command flow form a closed loop within the organizational system. Through typical collaborative practices, the platform's ability to optimize the handling efficiency of key control nodes, task execution transparency, and response latency is verified.

Keywords

railway traffic organization; multi-department cooperation; information sharing platform; control mechanism

铁路行车组织中多部门协作机制与信息共享平台构建

侯志杰 白旭 贺斌

太原局集团有限公司临汾综合段, 中国 · 山西 太原 033000

摘 要

铁路行车组织涉及调度、车务与机务和电务等多个部门, 信息壁垒与协作障碍对运输效率构成制约。基于系统架构与接口标准等维度构建信息共享平台, 可实现跨部门业务流程的结构重构与控制逻辑联动, 形成高频作业场景下的动态协同模式。平台结构设计、边界责任识别机制与指令流在组织体系中的运行闭环。依托典型协同实践, 验证平台对关键控制节点处置效率、任务执行透明度与响应时延的优化能力。

关键词

铁路行车组织; 多部门协作; 信息共享平台; 控制机制

1 引言

铁路行车组织具有网络广且环节复杂的特征。调度、车务等职能系统在空间与逻辑上高度交错, 部门间信息独立且响应链条分散, 协作过程中易出现资源重复占用、时序冲突等问题。指令传达依赖人工确认, 状态反馈存在滞后, 系统间缺乏统一接口标准与实时信息通道, 导致组织效率难以保障。运输组织精细化要求与突发事件快速响应需求不断提升, 对行车系统的信息透明度与多部门联动提出更高要求。本文旨在研究多部门协作机制下的信息共享平台构建路径, 探讨其在优化铁路行车组织结构与提升运行效率中的应用价值。

2 多部门协作机制的结构与功能定位

2.1 各职能部门在行车组织中的核心职责

铁路行车组织涉及多部门分工协作, 每一环节的职能界定构成整体系统运行的基本单元。行车调度在整个组织中占据核心控制位置, 承担列车运行计划编制、运行过程监控、调度命令下达等核心控制任务^[1]。其指令调度频次日均超过 1800 次, 覆盖干线、支线等多级网络节点。车务段负责区间行车组织、道岔操控与闭塞系统操作等现场实施动作, 所控制的车站数目一般不低于 20 个, 操作行为具有高度密集性与顺序依赖性。机务段主要承担机车编组、乘务交接及机车故障处理, 日均出入库次数约为 220 次, 调机作业平均响应周期为 8 分钟以内。信号部门保障列车运行指挥信号系统的稳定性, 处理联锁控制系统中断、信号异常等问题, 系统日均处理信号状态变更超过 35000 次。电务部门维护接触网、轨道电路等电气设备运行, 设备运行电压波动应控制在 1.8V 以内, 保障能源持续输出的稳定性。工务段负责线路、桥涵、道床及道岔等基础设施的维护与状态巡检, 是保障线

【作者简介】侯志杰(1975-), 男, 中国山西朔州人, 本科, 助理工程师, 从事铁路交通运输组织研究。

路几何精度和设备稳定运行的基础部门。其日均巡视里程不少于120公里,重点设备如转辙机、道岔心轨等检修频次高,受天气、载重冲击和设备老化影响显著。工务部门需与车务协同配合,特别是在封锁施工、应急抢修与限速处置等关键节点中,实现信息联动与时序协调。

部门之间在业务逻辑上相互依赖,每一单位职能范围具有空间交集与功能耦合^[2]。调度命令依赖信号系统执行,车务操作依赖电务系统稳定供电,机务任务依赖调度规划顺序。这种依赖关系导致职责明确但执行动作需高度同步,任何环节时序延迟均可能导致系统整体脱节。因此,部门职责的功能边界应保持清晰,但操作行为必须实现精细化协同。

2.2 协作链条中的指令传达模式

铁路行车调度指令传递模式基于纵向传达与横向协调并存的结构体系^[3]。纵向传达以调度所为中心,由上至下依次经由调度值班员、车站值班员等执行链级传递,每一指令需经过不少于三级审核与复述确认,以控制口令执行精度。调度中心每次调度命令发出至执行反馈平均周期为42秒,超过60秒将视为超时风险指令,须立刻介入调度控制审核。横向协调则由调度指挥系统联合车务、机务与信号等部门设定操作窗口,借助预留施工封锁时段、计划牵引换向节点、信号联控窗口等方式实现多部门协同作业,通常窗口占比不

得高于列车运行图空隙量的12%,避免冲击正点率。调度信息传达依托图形化可视平台与语音通信系统双重通道运行。图形化平台中列车动态信息刷新频率不低于1Hz,轨道占用状态更新延迟不超过1.2秒,数据源采集来自信号系统状态实时回传。语音通道用于处理系统信息覆盖盲区或特殊工况调度,日均语音调度时长累计超过10小时,语音通道通话中断率应控制在0.01以下。

2.3 边界责任划分中的关键控制点

部门间操作边界主要集中于空间交界、功能重叠和资源调配三个层面。空间交界表现为交叉作业区,如车站信号区段、编组场接轨段与道岔疏解口。功能重叠主要集中在调度权限、信号操作权等权限划分上,资源调配矛盾体现在人员、时段的优先使用安排中。责任边界不清直接影响任务流转效率与风险防控能力如表1。

在各控制点上,操作时段重叠量与权限交叉操作频次存在正相关关系,边界模糊度高的点位中,设备资源共用程度增加。响应时间短的区域风险压缩空间小,责任归属认定难度上升。此外,工务段与车务段在封锁计划执行、临时限速发布及施工过轨组织等场景中亦存在频繁协作,其作业窗口需纳入车务调度计划统一编排,以防止作业冲突和信息滞后引发运行风险。

表1:典型控制点作业边界冲突参数统计

控制点名称	涉及部门	操作时段重叠量(小时)	信号操作冲突频次(次/日)	故障处置响应差值(秒)	并用设备数量(台)
北京南站到发场	车务/信号	6.4	112	38	4
郑州东折返线	调度/机务	3.1	86	45	2
武汉编组站南场	信号/电务	7.5	94	42	5
上海虹桥道岔区	车务/电务	4.9	76	41	3
广州北进站区段	调度/车务	5.7	108	36	4

3 信息共享平台的系统架构与关键模块

3.1 系统设计中的逻辑结构规划

逻辑结构中各类数据处理任务按照业务属性和处理方式静态基础单元、动态时序单元、调度控制单元与设备状态单元和故障应急单元。静态基础单元负责存储站场图结构、列车运行图模板、设备编号字典等不随时变动的参数数据,采用主从数据库双写机制,更新周期不短于4小时,索引字段自动重构周期为12小时。动态时序单元专门处理高频变化数据,涵盖列车实时位置信息与信号灯色变化等要素,使用分区消息队列进行时序归档,单队列写入速度可达3000条/秒,单条数据生命周期不低于96小时。

调度控制单元对各类调度命令、图定计划变更进行缓存控制,采用基于键值索引的高性能数据库进行读写操作,支持事务一致性保障机制。每类调度操作的写入响应周期需控制在650毫秒以内,写入失败重试次数上限为2次。设备状态单元对牵引供电、道岔控制器与轨道电路等关键设备的工作状态和报警日志进行实时采集,支持状态变化触发写入模式。数据通道采用双向差异增量更新机制,同一设备状态更新间隔不得超过1.5秒。应急响应单元主要对突发故障、

调度中断与通信异常等事件进行事件驱动处理,具备事件优先级动态调整能力。所有高优先级事件需在100毫秒内触发异步推送机制,事件消息按优先级分配至不同处理线程,线程最大并发数量不得低于64个。

五个功能单元在物理部署上采用分布式集群设计,逻辑互不依赖。节点间采用基于Raft协议的状态同步机制,每轮同步周期为5秒,同步过程中允许的最大偏差为300毫秒。一旦单节点状态漂移超过此偏差,立即触发节点隔离与副本切换操作,保证全局一致性不被破坏。高并发调度场景下,系统需对突发指令洪峰保持低失败率。冗余处理机制包含主备切换、负载均衡与自动重放三项措施,指令推送失败率控制在十万次中不得超过一次。主节点故障恢复时间不得超过2.3秒,备用节点最长延迟写入周期不超过900毫秒。系统需支持动态调度通道扩容机制,在负载接近阈值的情况下自动分配虚拟处理通道,并向上报告扩容日志。各单元在接口调用、数据共享的资源调度由统一服务编排中心完成。

3.2 数据接入过程中的技术要求

系统接入需采用双通道数据引擎机制,一条通道基于ETL引擎实现批量数据结构转换,另一条通道基于CDC机

制实现实时变更捕捉与同步写入。采集单元在数据写入前进行多维预处理操作，包括时间戳对齐、信号归一化与设备标识映射等处理步骤。系统需支持对 TCP/IP、RS-485、CAN 总线等多种通信方式的并发解析，数据入库过程需执行主键重构与索引一致性校验。

数据接入总线采用时序写入策略，所有设备状态变更信息需映射至统一时间线模型。若原始数据标记时间为 T_i ，服务器接收时间为 T_s ，系统采用如下校正算法对入库时间戳进行重写：

$$T_a = T_i + \frac{T_s - T_i}{K}$$

其中 K 为时延权重因子，取值范围在 10 至 40 之间，按设备信号更新频率动态调整。此算法控制不同源数据写入时间序列偏差在 0.3 秒内，提高平台时序融合能力。数据传输过程采用 TLS 协议加密处理，支持 256 位加密深度，数据包在中转节点的验证失败率不得高于 1/100000。

表 2：典型接口调用性能与权限响应控制参数

接口编号	接口类型	最大并发连接数	平均响应时间（毫秒）	权限等级范围（级）	日均调用次数（次）
IF-D01	调度指令下发	420	78	4	89000
IF-S02	信号状态获取	310	64	3	103000
IF-M03	机务作业回传	285	91	5	67000
IF-C04	车务作业交互	330	83	4	74000
IF-E05	设备状态订阅	370	69	2	96000

接口认证采用 OAuth 2.0 联合双令牌机制，访问令牌期一般设定为 7200 秒，系统级接口访问需附带动态校验令牌，避免中间人攻击风险。接入系统需定期执行接口负载测试，单接口最大并发连接需稳定支持 350 个连接以上，接口自动重连策略响应周期不高于 1.2 秒。

4 协作机制优化与平台集成应用实践

在铁路行车组织实际运行中，多部门协作效率直接决定运输计划执行的稳定性与突发事件处置的及时性。宁波舟山港的海铁联运实践反映出信息共享平台在多部门协同结构中的高适配性与系统效能。港区集装箱办理站与国铁调度系统间借助高频交互通道实现数据节点级联接，单日信息交互条数稳定在 8.4 万条以上，交互频率峰值达到每秒 39 条。铁路集装箱在途位置、装卸节点状态等关键要素实现双向同步，作业环节之间的数据处理链由原先多系统串联压缩为三段式流程链，状态信息同步时延稳定控制在 2.3 至 2.5 秒之间。平台支持基于状态机逻辑的中转箱流转识别机制，单箱路径判断逻辑计算耗时平均不超过 0.9 秒。

系统对调度计划、堆场资源与短驳路径等要素进行统一调度映射，任务生成至执行之间的平均响应时间缩短至 6.2 秒，跨系统调度计划成功落地比例稳定保持在 1000 次指令中误差不超 7 次的水平。驳运车队的任务匹配采用动态余量平衡算法，任务错误分配控制在每日作业总量中的不足 5 例。取消纸质交接凭证后，平均每票业务在口岸办理节点节省时

3.3 接口标准中的统一规则制定

接口标准的统一性直接决定系统内多部门信息能否实现高效共享。平台需制定涵盖数据定义、传输格式和身份鉴权等内容的全流程接口规范。传输格式采用 JSON 与二进制并存策略，结构化指令采用 JSON，设备数据采用压缩二进制，接口消息长度控制在 2KB 以内，接口响应时限不得超过 120 毫秒。

接口调用协议统一基于 REST 标准设计，支持 GET、POST、PUT 与 DELETE 操作，URI 路径命名需与调度命令类型、设备编号、业务节点时间戳保持一一对应。每类接口需附带六级权限标记，权限粒度覆盖个人、岗位、部门全平台等结构，不同权限维度下返回字段个数不超过定义上限的 2 倍，避免数据冗余泄漏。参数校验机制支持类型校验、范围限制、依赖字段绑定与正则约束等联合规则，接口访问请求失败反馈代码需符合统一规范标准，主要错误码控制在 60 类以内如表 2。

间为 9.4 分钟，人工操作接口减少 12 个，转运节点的操作确认频次下降 18 次，减少中间环节干预量的同时提升指令闭环执行速度。

该系统在权限控制结构上进行精细化调整。操作权限动态映射模型引入行为轨迹映射机制，记录单位用户操作路径与数据字段调用关系，生成的权限访问链最大深度可达 6 级结构。原权限结构中数据字段与岗位角色绑定关系为单一指令维度映射，扩展后权限区分粒度提升 2 层。异常操作识别与归因模块实现平均 3.2 秒内完成行为定位与责任人匹配，日志检索路径缩短至原路径长度的 0.27 倍，提升异常场景下的问题处置效率。

5 结语

铁路行车组织中多部门职能交叉、作业边界密集，协作机制与信息流动结构对系统稳定运行构成核心影响。基于统一逻辑架构、规范化数据接入策略与多级接口权限模型构建的信息共享平台，可实现关键节点数据同步、指令闭环控制并提升调度精度与作业响应速度。

参考文献

[1] 宋修桥.铁路车站标准化管理中的跨部门协作与资源调配机制研究[J].交通科技与管理, 2025, 6 (03): 174-176.
[2] 宋静静.交通信息共享平台的建设与优化[J].人民公交,2024, (08):31-33.
[3] 薛焕萍,杨海娟.大数据背景下我国交通运输信息化建设分析[J].时代汽车,2024,(01):189-191.

Research based on the intervention of the new line of subway vehicle process equipment

Fei Fang

Nanjing Metro Operation Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

There are many civil and safety risks related to the opening and taking over of the new metro line. Based on the metro design specifications and the metro operation safety management specifications, combined with the first-line operating experience, we propose a complete set of new line intervention manuals, which can avoid many safety risks in the pre-opening phase to achieve high-quality and high-quality opening of the metro; research analysis of the intervention content to prove the reliability of the proposed content; by optimizing the intervention steps and processes, to achieve the purpose of saving manpower and reducing risk.

Keywords

new line opening takeover; new line intervention; safety management specifications; high quality opening; reliability

基于地铁车辆工艺设备新线介入管理的研究

方飞

南京地铁运营有限责任公司, 中国 · 江苏 南京 210000

摘 要

在这个快节奏的时代,城市轨道交通作为现代城市公共交通的重要组成部分,对于城市发展和人民生活水平的提高起到至关重要的作用。针对地铁新线开通接管存在诸多土建、安全风险等问题,基于地铁设计规范及地铁运营安全管理规范细则,结合运营一线工作经验,提出一套完善的车辆工艺设备新线介入手册,可在开通前期规避诸多安全风险问题,实现地铁高品质高质量开通;对介入内容进行研究剖析,证明所提出内容可靠性;通过优化介入步骤及流程,达到节约人力降低风险的目的。

关键词

新线开通接管;新线介入;安全管理规范;高质量开通;可靠性

1 引言

地铁作为一种日常高效的现代化公共交通工具,在缓解地面交通压力、提高公共出行效率方面,受到各国各地区政府的热捧 [1]。

传统的地铁车辆工艺设备主要包括不落轮镟床、自动列车清洗机、固定架车机、移动架车机、移动空压机、恒温恒压自动充放电机、各类场地机动车、起重机及移动式空压机等。诸多工艺设备涉及到不同的库房,其中最主要的是镟轮库、洗车库及场地机动车库。在新线接管初期,非常容易发生土建遗漏、安全隐患等 [2-3]。

但新线介入仅仅是基于地铁运营规范来实施,缺乏完善的介入体系,所介入的程度也十分有限 [4],后期会出现多次返工及影响专家评审的情况,远不能满足地铁安全运行的运营要求。

本文基于地铁安全运营规范的前提,结合多年工作经

验及各类国标,将多个车辆工艺设备串联在一起,形成一套完整的新线前期介入体系;并对初期介入可能存在的问题进行统计分析,从而实现零工作经验者也能完美避坑;整合各类设备验收大纲,大大降低了初期介入的难度,节约了人力成本。

2 新线介入体系建立意义

车辆工艺设备新线介入体系建立可使设备专业人员从设备工艺的工可设计到库房接管、设备调试、设备最终验收全程参与,提前布局,将以往的工作经验教训及时落实整改,规避工程存在的大多问题,避免后续接管不满足运营而造成设计变更带来的极度浪费,同时也避免车辆工艺设备重复采购、无效采购的成本浪费,有效把控车辆工艺设备的采购造价。

基于地铁车辆工艺设备新线介入全过程,本文将从设计联络介入、库房施工图介入、库房工程施工介入、设备安装调试介入、设备移交验收五方面分别进行触类旁通,整合介入准则及流程。此五方面虽相辅相成缺一不可,但也独立

【作者简介】方飞(1990—),男,硕士,从事建设工程研究。

成章，均有自己的一套完善流程。

3 初步设计联络介入

车辆工艺设备的初步设计是地铁工程中不可或缺的一环，它基于既有线路车辆工艺设备的各项功能及优缺点，对工艺设备的可靠性进行评估分析，通过选择质量可靠的设备、优化其性能参数及结构组成，提高设备可使用寿命及有效功能 [5]。

3.1 确定工艺设备清单

国内地铁日常检修均为自主维修，而车辆工艺设备清单是决定后期运营期能实现的重要一环。本文结合线路经验提出最优化的车辆工艺设备清单，避免设备重复造成的国有资产浪费，如表 1 所示。

表 1. 车辆工艺设备清单

序号	设备名称	用途	数量
1	不落轮镟床	轮对日常镟修	1
2	公铁两用车	电客车牵引	1
3	列车清洗机	电客车清洗	1
4	固定式架车机	电客车架修	1
5	移动式架车机	工程车架修	1
6	吊钩桥式起重机	检修吊装	2
7	电动单梁起重机	吊装配件	6
8	悬臂起重机	电客车吊装配件	1
9	充放电机	蓄电池检修	3
10	空压机	吹扫、清洁、补气	4
11	内燃叉车	配合作业叉配件	1
12	蓄电池叉车	配合作业叉配件	2
13	前移式叉车	物资库调取备件	1
14	蓄电池搬运车	搬运零部件	2
15	手动液压搬运车	搬运零部件	6
16	移动式升降平台	高处检修	2
17	除尘式砂轮机	零部件打磨	1
18	西湖牌台式钻床	零部件检修	1
19	内燃机车	配合作业、应急	3
20	接触网检修车	配合接触网作业	1
21	接触网架线车	配合接触网作业	1
22	接触网放线车	配合接触网作业	1
23	轨道平板车	配合工务作业	2
24	轨道平板吊车	配合工务作业	2

表 1 为一般车辆基地工艺设备标配，能满足大多数地铁日常检修，若有额外要求，可另行增配。

3.2 确定库房功能及数量

在规划车辆基地所需库房都需要明确车辆基地的规模及用户所提出来的库房功能需求。基地规模取决于客流量、电客车配属数量，客流量越大所需电客车越多，基地规模越大，库房功能要求越多，所需配备的工艺设备也就越多 [6]。

一般来说，一个车辆基地实现常态化日常检修、一条线路实现安全有保障的运营均需要联合检修库、停车列检库、镟轮库、洗车库、叉车库及物资库，这些库房相互配合从而实现地铁运营期的日常自主检修。

联合检修库及停车列检库能担负起整条线路电客车摆放及检修的功能，同时处理电客车的各级修程，所用到的固

定架车机、单双梁起重机、升降平台、叉车、充放电机及空压机能很好的配合完成日常检修作业。

镟轮库及洗车库分别位于停车库的侧面，股道与试车线相邻，以单独设置为主，与出入库股道互不干扰，所配备的不落轮镟床、公铁两用车及列车清洗机主要负责电客车的轮径检测、轮对镟修及电客车的外部清洁，以保证地铁安全运营，增加乘客舒适度，提高城市形象的为目的而建。

4 库房施工图介入

库房施工图介入具有多方面的重要性，通过施工图的把控能有效精准利用库房空间，满足运营对库房的功能需求，使库房操作更加流程，确保库房设计符合相关国家标准、消防规范及安全规范。同时避免后期设计变更造成的工期延后及成本浪费。图 1 为不落轮库及洗车库的施工图。

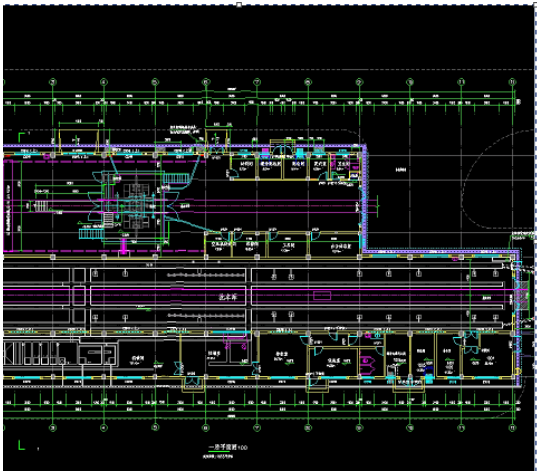


图 1 不落轮库及洗车库模型

由图 1 知，洗车库长 66 米，宽 14 米，分为洗车区及机械间，装有一套自动列车清洗机，能实现带电自动化洗车；端刷处设有一段无电区，其无电区由地铁两受电弓之间的距离而定；控制室正对端洗位，设有观察窗口，以便观察到端洗时发生的缠绕及其它故障时，第一时间拍下急停按钮，防止更大的损失；机械间内含有沉淀池、循环水池、清水池、提升水泵、过滤罐，实现水资源循环利用，减少水资源浪费。

图 1 中，镟轮库长 48 米，宽 12 米，装有一套数控不落轮镟床、一辆公铁两用车及一台 3 吨单梁起重机；不落轮镟床位于库房中间位，用于电客车轮对复测镟修，其自动排屑靠近库侧门，方便叉车及时清理废弃铁屑；空压机房位于镟床临近一侧，配备有 32A 五孔航空插头，便于镟床清洁；库内配备 16A 四孔插座，用于公铁两用车及时充电；配备的 3 吨单梁起重机有效行程至镟轮基坑底部，便于中大修时更换碎屑；镟床前方轨道配备有检修地坑，装有 5 吨承重盖板。

图 1 中，两个库房轨道交界处均应设有回流电缆，设备接地电阻不得超过 4Ω，库门处装有绝缘节，150 米处设有第二绝缘节。

5 库房施工期介入

施工期介入是保证库房建设顺利进行,确保工程质量和进度的关键,也是整个新线介入的重中之重,直接关系到后期安全运营。本文基于一线工作经验,着重对本节进行剖析,避坑新线介入时土建问题。

5.1 不落轮库

5.1.1 库门

检查所有库门铰链组数量、插销、钢套保护、防风链条,库门需为手动折叠门,如图2所示。



图2 不落轮库门

图2中,铰链间距太大,上端一旦脱落就会导致门体整体倾斜,严重时刮蹭电客车;缺少钢套保护,铰修时门体固定不牢靠,大风天气存在安全隐患;多次现场经验,电动门并不可靠,长时间使用会变形,开关不到位,耽误生产。

5.1.2 盖板

检查所有进出库端排水沟上盖板承重能力,检查平交道口处与轨道间隙是否有效填充,承载地基边缘处是否加固且有角铁保护,后期会有叉车及升降平台进出,要求承载必须在5吨以上,否则会压坏盖板,叉车及平台有深陷风险。

5.1.3 库内土建

检查库内墙体部分是否存在开裂、破损等问题,铰轮库顶部不宜设置排风扇,以防止雨水会从顶端吹进库内,影响库内不落轮铰床精度,造成不可逆的影响。

5.1.4 库内设备

库内设备:不落轮铰库内单梁起重机起重,应覆盖不落轮铰床基坑和物料存放区域,采用手操控制和遥控两种方式。吊钩有效行程需达到不落轮基坑底部。

5.1.5 铰床基坑

基坑楼梯踏板宜为混凝土整体浇筑,国内部分为钢结构式楼梯踏板,存在安全隐患且内部不易清理,容易藏污纳垢。

5.1.6 轨道绝缘

在铰轮线设置2处轨道绝缘,第1处设置在进库端基坑前部,第2处设置在距离第1处约1列电客车+工程车的长度的位置,如图3所示。

图3为铰轮库第二处绝缘节,设置绝缘节能有效防止电流对不落轮铰床电气系统的伤害,保护国有财产。

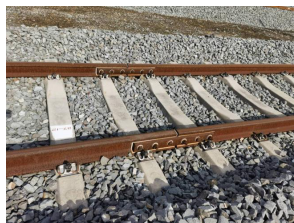


图3 第二处绝缘节

5.1.7 排屑侧门

铰轮库碎屑机处留有侧门,库门为卷帘门,宽度不得低于2米,高度不得低于2.5米,侧门处正前方留有足够的叉车转弯半径,方便叉车作业,如图4所示。



图4 不落轮侧门

图4为铰轮库排屑机处的侧门,后期铰修作业时产生大量的废铁屑,需要用叉车及时叉出处理,在排屑机处设置卷帘门,便于叉车进出,且需要满足转弯半径的要求。

5.1.8 排水

基地不落轮传送带检修地坑、墙壁、碎屑坑和进线电缆管口雨天渗水严重,传送带支架和电缆长期泡在水中渗漏水对设备的正常使用及维护造成较大影响,加装自动排水系统。建议对基坑、墙壁、穿线电缆管路做好防水处理,按照设计要求在地坑墙面和坑内地面均做好防水,施工质量符合《建筑室内防水工程技术规程》、《地下防水工程质量验收规范》等相关标准,监理加强验收,且加装自动排水系统。

5.2 洗车库

5.2.1 土建问题

洗车库清洗区步行道及侧墙不要铺设瓷砖,避免摔倒及后期瓷砖掉落造成的安全事故。步行道铺设瓷砖不仅不利于清洁,且雨雪天气不防滑;两侧墙壁贴有瓷釉,洗车库常年阴冷潮湿,空鼓的瓷砖会掉落造成安全隐患,高于2米以上(洗车库清洗区)不贴瓷砖,做好防水即可。洗车库两端门口处,应做整体地面(与轨道高面等高,库内有效延伸至至少3m纵深)。

5.2.2 库内设施

洗车库应设立独立接地网,接地电阻小于4欧。无电区对应走行轨道应接地(交叉接地,即单侧多根钢轨沟连并接地,两侧钢轨再作连接),洗车库控制室要求独立接地,如图5所示。



图5 无电区

由图5知,设置无电区可有效规避端洗时打火现象,且有效保护设备安全。

洗车库设2台2T手拉葫芦,用于检修两侧刷组;配置6台全向摄像监控装置,前后端洗各1台,两端库门里对库内方向各1台,两端库门外对库外方向各1台,并显示在操作控制台。

洗车库循环水需回收利用,应安装密度较高的过滤网。

5.2.3 控制台

洗车库控制室操作台观察窗口基本正对端洗工位,洗车库各水池内壁(含池底)贴瓷砖,如图11所示。

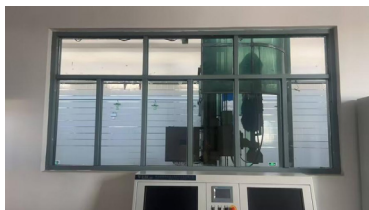


图6 控制台窗口

由图6知,控制台窗口正对端刷位置,当出现刷毛缠绕雨刮器及电机故障时第一时间观察到并及时处理。

5.3 叉车库

叉车库需要注意的是叉车检修地坑,不能大于车轮内距,且未留足够的转弯半径区域,同时地坑内部布设台阶供检修人员下坑。

5.4 联合检修库

联合检修库需注意,带司机室的桥式起重机需配套登高梯,登高梯需要满足国标:主梯面宽度不低于60CM,辅梯宽度(当栏杆)不得低于50CM,如图7所示。

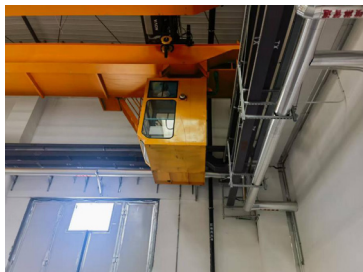


图7 双梁起重机

由图7知,桥架先安装后未预留足够位置来安装登高梯,

因此需要移桥架,造成作业重复。

6 设备调试及验收介入

设备调试是确保设备正常运行和实现功能的关键步骤^[7],设备进场安装时,运营公司应派驻专业人员及班组人员全程跟踪,协同配合。这不仅能规避部分因安装误差造成的功能缺陷,同时在安装调试中能间接达到培训的目的。全程参与并记录,以供将来运营时遇到故障时参考和改进。

6.1 查图核验

查图核验作为设备进场时,专业人员检验设备符合合同的重要一环,这不仅需要专业的知识,还需要足够的耐心,逐步分析每个设备机械图纸、电气图纸能符合图物一致,功能一致,甚至于线标号都一一对应,这对后期故障处理时提供极大的帮助。

6.2 功能验证

为确保设备在使用中的安全性、可靠性及有效性,需根据设备出厂说明及行业标准,基于用户需求书,制定对应的功能验证流程,从而实现其功能。以列车清洗机为例,需验证的功能包括:淋雨实验、侧洗、侧顶弧洗、端洗、自动洗车及手动洗车。

6.3 设备验收

设备验收主要目的有质量、安全性能验收、功能验收、机械强度测试、电气性能测试、厂家纸质及电子资料交接、备品备件清单、随车工具包清单;涉及到特种设备的还需提供特检院注册登记表、有效特种设备检验报告、使用证及场内机动车车牌等。

7 结论

本文提出的车辆工艺设备新线介入手册,从不同阶段进行剖析,展示各时间段工作重点,实现地铁高品质高质量开通,节约人力资源。

土建施工阶段,基于一线及往期线路工程,提出的施工优化及关注重点,能有效规避不安全因素,保证地铁顺利通过专家评审。

(3) 本文提出的车辆工艺设备清单符合大多数线路的生产使用需求。

参考文献

- [1] DB11/T1166-2024.城市轨道交通安全管理规范.
- [2] GB55033-2022.城市轨道交通工程项目规范.
- [3] 邹君,姜鹏. 地铁新线运营介入管理实践与策略研究. 沈阳地铁集团有限公司, 2024.
- [4] 刘强明. 浅谈地铁运营供电系统新线提前介入, 2018.
- [5] 刘宁. 地铁新线运营安全管理评价,首都经济贸易大学,2020.
- [6] 赵晓芳,郑忻,罗成. 地铁新线运营筹备期不同阶段的管理要点分析,城市轨道交通研究,2022.
- [7] 孙涛. 南京地铁新线建设运营需求标准化模式探讨,中国标准化,2018年24期.

Analysis of the Impact of Maintenance Operation Acceptance Standards on Railway Operation Safety

Jian Wang

Jilin Engineering Section, Jilin, Jilin, 132000, China

Abstract

This paper explores the mechanisms by which maintenance operation acceptance standards affect railway operation safety. Using a case study from the Jilin Engineering Section, it examines the consistency of quality and the implementation of responsibilities from the perspective of acceptance standards. By analyzing typical cases of non-compliant maintenance, the impact of deviations in acceptance standards on the structural safety of railway lines is illustrated. A 'standard-execution-feedback' influence chain model is constructed to analyze the critical points where operation acceptance plays a key role in preventing railway accidents and managing potential hazards. Based on practical work scenarios, the paper concludes that the adoption of a data-driven dynamic evaluation mechanism, differentiated standard refinement measures, and the implementation of intelligent acceptance methods can effectively reduce the risk of accidents such as structural deformation and operational interruptions, thereby providing technical support for optimizing China's railway maintenance standards and enhancing operational safety.

Keywords

Railway line maintenance; Operation acceptance standards; Operational safety; Intelligent acceptance

工务线路维修作业验收标准对铁路运行安全的影响分析

王健

吉林工务段, 中国·吉林 吉林 132000

摘要

为工务线路维修作业验收标准于铁路运行安全所具作用机理展开探究,以吉林工务段线路维修工作实例为依据,自验收标准这个角度针对质量一致性与责任落实状况进行深入剖析。基于典型的不合格维修案例之上,有关验收标准偏差对线路结构安全产生的影响得以阐述。借由构建起“标准—执行—反馈”这样一种影响链路模型,对作业验收在铁路事故预防,以及隐患治理当中所起到关键作用的节点加以分析,并且结合实际工作情形总结得出。数据驱动之下的动态评价机制采用、差异化的标准细化措施运用,还有智能验收方式的实施,能够对结构变形、运营中断等事故发生风险概率起到有效降低作用,从而为我国铁路维修标准优化连同运行安全提供一定技术支持。

关键词

铁路线路维修; 作业验收标准; 运行安全; 智能化验收

1 引言

铁路线路是保证列车行车安全的基础性设施,线路设备的结构稳定性和几何尺寸状态直接关系到运输效率和运行风险。受铁路运输需求不断增加的影响,工务维修作业频次大幅提高,工作质量和检修验收过程的质量是运行保障的重要组成部分。验收标准作为验证维修作业质量的技术判据,不仅决定了检修作业技术上的工作范围,而且对于明确责任归属,落实隐患排查制度都有着十分重要的意义。目前,许多验收标准无法实时获取或者更新,在执行过程中也有一

定的尺度差异等实际问题存在,影响了维修作业的安全效能。基于吉林工务段某典型线路维修实例展开工务线路维修作业验收标准对运行安全影响机理的研究,具有十分重要的现实意义和工程价值。

2 工务线路维修作业验收标准体系概述

2.1 铁路工务维修作业的基本内容与分类

铁路工务维修作业基本内容包括铁路线路、轨道、道床结构、桥涵、隧道、隧道构件和各种配套设施的运行巡检、状态维护、结构修理和功能更新等。维修作业按时间周期、故障类型和线路等级细化分类,形成以“预防为主、修复为辅、应急保障”的作业体系。目前,吉林工务段将线路维修分成四类,分别是:日常养护、计划维修、重点整治、应急抢修,主要为常态状态维持、周期性问题的治理、结构性隐患排解和突发性故障抢修。日常养护是对线路上所出现的问题

【作者简介】王健(1980-),男,中国吉林吉林人,本科,工程师,从事铁路工务线路维修、施工安全、作业防护、车间班组安全管理研究。

进行高频度巡视检查、小修轻修、临近指标调修等一系列不干扰正常运营业务的作业，即要达到的目的就是在高频度、少用工量、点多面广的前提下进行精准作业，从而使准确度和精准度得到保证。

2.2 当前线路维修作业验收标准结构与指标体系

铁路线路维修作业的验收标准体系是，确保施工作业结果质量可控性与运行状态安全性的制度依据，依据《普速铁路线路修理规则》及各集团公司工务系统各单位的技术补充文件形成标准化、数字化、流程化的复合框架体系。标准结构层面主要由“技术条款+参数限值+工序流程+质量记录”四类构成，形成从操作层到监督层再到管理层的多

维约束链。吉林工务段在执行过程中将验收项目分为：轨道几何尺寸、钢轨、轨枕、联结零件、轨道加强设备、护轨、道床、路基、道口、标志标记等；验收标准为轨道动、静态几何不平顺容许偏差管理值中，线路设备大修、计划维修和临时补修作业的质量检查标准临时补修管理值为应及时进行轨道整修的质量控制标准；限速管理值为保证列车运行平稳性和舒适性，需立即限速并进行整修的质量控制标准；封锁管理值为保证列车运行平稳性，需立即封锁并进行整修的质量控制标准。根据不同线路等级与运营场景，如重载干线、高寒地区、地质活跃区等，采用多级标准体系对控制值实施区段分级限定。如表 1 所示（其中一项）：

表 1 吉林工务段主要线路维修验收技术指标控制表

项目		160 km/h < v _{max} 正线				120 km/h < v _{max} ≤160 km/h 正线				80 km/h < v _{max} ≤120 km/h 正线				v _{max} ≤80 km/h 正线及到发线				其他站线			
		作业验收	计划维修	临时补修	限速（160 km/h）	作业验收	计划维修	临时补修	限速（120 km/h）	作业验收	计划维修	临时补修	限速（80 km/h）	作业验收	计划维修	临时补修	限速（45 km/h）	作业验收	计划维修	临时补修	封锁
轨距		+2 -2	+4 -3	+6 -4	+8 -6	+4 -2	+6 -4	+8 -6	+14 -7	+6 -2	+7 -4	+14 -7	+16 -8	+6 -2	+7 -4	+16 -8	+19 -9	+6 -2	+9 -4	+19 -9	+21 -10
水平		3	5	8	10	4	6	10	14	4	6	14	17	4	6	17	20	5	8	20	22
高低		3	5	8	11	4	6	11	15	4	6	15	19	4	6	19	22	5	8	22	24
轨向（直线）		3	4	7	9	4	6	9	12	4	6	12	15	4	6	15	18	5	8	18	20
三角坑	缓和曲线	3	4	5	6	4	5	6	7	4	5	7	8	4	6	8	9	5	7	9	10
	直线和圆曲线	3	4	6	8	4	6	8	11	4	6	11	13	4	6	13	15	5	8	15	16

2.3 标准执行对作业质量一致性与责任落实的影响

吉林工务段成立以“作业验收—计划维修—临时补修—限速管理”为主线的四级标准执行体系，保证了从各级维修标准控制全过程开展。验收之前，按各级验收标准进行交底，让作业人员熟知标准、认清界限；作业过程中设置质量督导岗全程盯控重点验收质量，并利用电子化记录系统采集参数实行动态化监控。验收作业完成后进行上报分析组，上传过程数据至平台端，生成数字化质量档案，并通过将标准量化指标与作业记录系统关联、质量责任体系与绩效评价模型挂钩，实现了将技术规范转化为实际的操作执行过程。从而形成了人机数标之间的联动闭环，实现了从验收作业人员到现场负责人到车间主管人员的全链条质量责任锁定。运用平台化验收管理系统对现场出现异常情况报警、对线路状态复测和相关问题复现分析，及对事故预警追责和故障定责提供了有力的技术支持和法律支撑。

3 作业验收标准对铁路运行安全的影响机制

3.1 不合格维修作业对线路结构稳定性的风险

不合格维修作业对线路结构稳定的风险铁路线路结构是，承重高速负荷的重要结构化系统，而它的稳定性完全依

靠于工务维修作业的质量来保证。若维修过程中存在技术规范有误、无作业过程或验收不合格等问题，则可能导致线路的轨距失稳、轨底松动、道床出浆等问题的发生，进而会导致线路的强度冗余、应力扩散能力的不足。

3.2 作业验收标准在预防安全事故中的预控作用

作业验收标准的预控作用是在对施工每个工艺或关键指标进行系统评价的基础上，识别出潜在偏差，并加以校正处理，构建起“指标控制—缺陷识别—响应干预”的闭环，同时吉林工务段实行“验收节点前移”，即在作业中加入过程验收、阶段复核的措施，能大幅度降低工后缺陷的补修量。在 2023 年春融期间线路维稳的关键区段通过提前设置验收关口、验收标准和验收时间，在随时对动态变化情况进行掌握的前提下，可以做到把管内路基基床轨枕间隙、枕木碾压稳定度、碎石回填厚度都纳入管控范畴之内，并及时校正管控。而预控是将作业验收由尾部倒追推向全过程，其优势就在于要赋予标准“验后纠偏”的效能变为“前控预防”的逻辑前提。

3.3 标准缺陷与实际执行偏差对安全控制的影响

在安全控制这一方面，由标准缺陷以及实际执行偏差所产生的那种影响，其验收标准是依靠科学性、具备可执行

性以及实施过程里的一致性,以此来决定究竟能否有效服务于运行安全之目标,倘若由于标准内容没有及时更新进而去匹配新型结构、材料又或者施工工艺,且在执行之时出现诸如人为简化、验收流程缩水之类的行为,在安全控制当中的实际作用便会被削弱。吉林工务段针对道岔验收标准中,未对道岔框架标准验收问题,这种情况使得部分道岔在作业后验收时难以做到准确判定,从而进而形成安全盲区。与此同时,在现场管理当中,部分作业组以“经验作业”替代“标准执行”这种做法,导致道岔转辙部件间隙调整未能做到位等一系列问题频繁地发生,最终致使隐患不断积累却难以做到及时干预。

4 提升验收标准执行效能的路径建议

4.1 基于数据驱动的动态验收评价机制构建

基于数据驱动的动态验收评价机制的构建采用数据驱动方式,全过程采集作业过程中的测量数据、轨道状态指标、人员操作行为等数据,并对其进行分析,使验收评价指标体系具有可量化、可回溯、可预测的特点。吉林工务段以“工务安全管理系统”为基础,融合轨检车、轨检仪、车载晃车、人体晃车等资源,结合吉林工务段各线路参数化标准建立动态验收标准,并将轨距波动率、道床沉降曲线、扣件紧固力矩等关键验收参数指标列入“作业质量评分考核标准”,同时设定验收预警阈值及指标偏离判别算时对动态验收情况进行预警,并进行多参数、多状态的交叉验证。研究结果表明,其可以将异常作业位置验收时间由原来的48小时缩减到6小时以内,大幅度提高了验收反馈响应速度和故障预防能力。

4.2 作业人员技能标准化培训与责任闭环管理

目前很多施工单位仍然存在技能培训只做表面文章、作业随意为之、责任未落实到位,以致于不能严格按照标准去实施。为此,吉林工务段通过“岗位模块化+作业标准化+实训场景化”的人岗匹配技能培训的方式,以对所有检查验收人员具体作业流程的关键操作技能点及判断准则进行季度考核。在职责上实行“作业包干制”及“验收签名制”,每一项作业都对应到了具体的个人身上,形成了“作业一验收一复核”的责任链条。通过验检、验修、验验等项目、验收记录及异常处置全流程记录,实现人员操作数据及责任路径的闭环追责。该种管控模式应用于2023年至2024

年秋季设备整修时,达到了有效的作业验收结果,预防作业组相互交叉作业产生错漏的目的,提高了设备一次验收合格率,极大提高了执行力的一致性和控制力。

4.3 区域线路差异化标准细化与智能验收技术应用

铁路线路的结构类型、地理环境与运行条件具有显著区域差异性,单一标准体系在实际应用中易出现匹配偏差与控制盲区,需推进标准差异化细化与技术手段融合。吉林工务段辖区内存在高寒隧道段、山地小曲线段与重载干线段等多类型线路结构,对轨道结构稳定性、扣件抗疲劳性能与道床排水能力提出差异化要求。在标准优化方面,制定多版本“区域维养验收补充细则”,依据线路等级、地质条件与历史缺陷类型动态调整验收控制参数,提升标准适配能力。在技术应用方面,引入轨检车、轨检仪、电子道尺、全站仪等等智能化手段实现对作业过程与作业后状态的动、静态采集与精准判定。通过构建多源数据联动的“工务安全管理系统”,实现对线路运行状态的实时映射与趋势预测。

5 结论

工务线路维修作业的验收标准不仅是铁路基础设施运行安全的技术底线,也是作业质量统一性的体现和责任性落实的依据。同时不合格维修作业形成的结构性安全隐患还会给后续维修带来持续性的风险,因此构建和完善系统科学的标准缺陷管理和验收体系至关重要。标准缺陷与执行偏差现象问题突出,需要建立基于数据驱动的动态化评价、人员技能标准化培养和智能技术创新相结合的方式,实现落实标准缺陷与验收偏差,检验业务执行的效果。以吉林工务段经验为例说明,差异化细化、闭环管理在强化验收刚性和运维绩效方面的现实效果以及典型性、普适性,为进一步规范铁路线路维修标准体系建设奠定了良好基础,并提出了相应的建议。

参考文献

- [1] 朱新伟.高速铁路线路维修关键技术指标优化[J].铁道建筑,2025,65(03):21-25.
- [2] 王康.面向铁路线路维修的数字化智能分析软件研发与应用[J].铁路技术创新,2025,(01):106-113.
- [3] 赵梦辉.山区铁路无缝线路小半径曲线养护维修探讨[J].铁道工务,2024,2(04):9-13.
- [4] 魏伟.专用线铁路线路病害整治及养护维修研究[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2024,23(01):7-9+15.

Study on Rock Grading of Tunnel Surrounding Rocks in the Expansion and Construction of Highway Tunnels

Jun Lin Tianbao Zhang Jun Liu

Zhejiang Institute of Communication, Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

By comparing and analyzing the differences and similarities between the classification of tunnel surrounding rock in “Code for Geological Investigation of Highway Engineering (JTJ064-98)” and “(JTG C20-2011)”, it is found that the classification of surrounding rock in the new and old specifications does not strictly correspond one-to-one. The new specification has higher requirements for the quality of surrounding rock at the same level, and a combination of qualitative judgment and quantitative calculation is used to determine the classification of surrounding rock, which is more reasonable. The collection and analysis of existing tunnel survey, design, construction, monitoring and other data reflect the changes in geological conditions. This has a guiding significance for the layout of survey work and rock classification in the construction and expansion of highway tunnels. Taking a certain expressway as an example, the classification of surrounding rock in tunnel expansion and reconstruction is compared with the actual category of surrounding rock in existing tunnels. Based on the analysis of existing tunnel data, the classification of surrounding rock divided by geological mapping, drilling, geophysical exploration and other mutually verified survey methods is more consistent with reality. This article summarizes the tunnel surveying technology and rock mass classification points for the reconstruction and expansion project, which can be used as a reference for similar projects.

Keywords

reconstruction and expansion; tunnel surrounding rock; survey specification; geophysical prospecting

改扩建高速公路隧道围岩分级研究

林军 张天宝 刘骏

浙江数智交院科技股份有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

通过对比分析《公路工程地质勘察规范》(JTJ064-98)版与(JTG C20-2011)版对隧道围岩分级划分的异同点,发现新老规范中围岩等级并非严格对应关系。新规范对同级别围岩质量要求更高,并且采用定性定量相结合的方法来确定围岩分级,使得新规范在围岩评价方面更加合理。收集分析既有隧道的勘察设计、施工、监测等资料,其反映的地质条件变化,对改扩建高速公路隧道勘察工作量布置与隧道围岩分级划分均有指导意义。以某高速公路为例,通过改扩建隧道围岩分级与既有隧道实际围岩类别对比。在分析既有隧道资料的基础上,采用地质调绘、钻探、物探等互相验证的勘察方法划分的围岩级别与实际更相符。本文总结了改扩建工程隧道勘察技术及围岩分级注意点可供类似项目参考。

关键词

改扩建; 隧道围岩; 勘察规范; 物探

1 引言

随着国民经济的快速发展,高速公路建设已进入高速发展期。由于沿海经济发展和建设新兴产业带的需要,对于早期建成的高速公路已很难满足交通量日益增长的需求,则近年来公路改扩建工程不断增多,隧道改扩建等关键词方兴未艾,但目前我国仍缺少隧道改扩建围岩的相关规范及行业标准^[1]。

隧道改扩建工程因既有勘察、施工资料丰富,对改扩

建隧道围岩分级具有重要的参考意义,但由于早期建成隧道的围岩划分标准及设计标准的不同,改扩建隧道围岩分级划分不能简单的工程类比既有隧道围岩类别比例,辩证分析围岩级别具有指导意义。

本文在对比分析新老勘察规范对隧道围岩分级要求的基础上,总结改扩建工程勘察思路及技术要点,并对改扩建隧道围岩级别进行划分比对,为类似工程提供参考。

2 隧道围岩划分方法

根据《公路工程地质勘察规范》(JTG C20-2011)、《公路隧道设计规范》(JTG3370.1-2018)等国标规定公路隧道围岩级别的综合评判宜采用初步分级及详细分级。

【作者简介】林军(1991-),男,中国安徽人,硕士,工程师,从事公路工程勘察研究。

(1) 根据岩石的坚硬程度和岩体的完整程度两个基本因素的定性特征和定量的岩体基本质量 BQ, 进行初步分级。

(2) 在岩体基本质量分级基础上, 考虑修正因素的影响, 修正岩体基本质量指标值, 得出基本质量指标修正值 [BQ], 再结合岩体的定性特征进行综合评判, 确定围岩的详细分级。

3 引用勘察规范的对比

既有隧道依据的勘察规范为《公路工程地质勘察规范》(JTJ064-98), 改扩建新建隧道依据的勘察规范为《公路工程地质勘察规范》(JTG C20-2011), 下文分别简称“98版、2011版”。将98版规范附表G隧道围岩分类表和2011版规范附表F公路隧道围岩分级表对比, 从岩石强度、岩体完整性、岩层厚度对应的异同点发现Ⅵ类与Ⅰ级、Ⅱ类与Ⅴ级、Ⅲ类与Ⅳ级围岩基本对应; Ⅰ类与Ⅵ级围岩等级完全对应。Ⅴ类与Ⅱ级围岩不对应, 2011版对岩石强度、岩体完整性、层状岩体层厚等均提高, 且要求地质构造及结构面的影响小, 并细分了岩体要求。则Ⅱ级围岩质量明显高于98版的Ⅴ类围岩。Ⅳ类与Ⅲ级围岩不对应, 2011版对岩石强度范围缩小, 完整性基本相同, 但构造影响小且层厚要求大于薄层。则Ⅲ级围岩质量要比98版的Ⅳ类围岩好^[2]。

假设围岩岩性相同, 给定岩石强度、岩体完整程度等参数, 采用98版和2011版规范对围岩进行判别, 如表1。

表1 规范对围岩类别定性定量判定对比表

岩石强度 Rc/MPa	岩体完整性 Kv	98版围岩类别	2011版定性级别	2011版定量计算 BQ	2011版围岩级别
20	0.6	Ⅳ	Ⅲ~Ⅳ	310	Ⅳ
35	0.6	Ⅴ	Ⅲ	355	Ⅲ
65	0.6	Ⅵ	Ⅱ	445	Ⅱ

对比分析发现98版、2011版勘察规范围岩分级最大变化点在于: ①老版围岩分为6个类别, 新版为6个围岩级别, 围岩等级由好至差, 数字编号顺序相反, 判别依据相同, 主要包括岩石强度、岩体完整程度、岩层厚度以及是否存在软弱结构面。②98版是定性分类, 2011版是定性、定量相结合的分级为主, 且围岩分级的差异主要集中在Ⅴ~Ⅳ类围岩与Ⅱ~Ⅲ级围岩不对应, 其中Ⅲ类和Ⅳ级、Ⅱ类和Ⅴ级围岩基本对应; Ⅵ类和Ⅰ级、Ⅰ类和Ⅵ级围岩是完全对应关系。③相同的围岩类别, 两本规范判定存在差异性, 同一级别围岩, 新规范判别的条件对围岩质量要求更高, 且需要定性判断与定量BQ计算均满足要求。

4 改扩建工程隧道勘察方法讨论

目前尚未见专门的改扩建高速公路勘察规范, 对于改扩建高速公路勘察, 仅《公路工程地质勘察规范》第9章规定查明以下内容: 原有隧道的水文地质和工程地质条件; 原

有隧道工程的运营状况及有无因地质问题造成变形破坏的现象, 并分析研究其原因, 提出工程地质建议[6]。结合浙江省内多条改扩建高速公路山岭隧道的勘察经验总结, 改扩建隧道勘察除满足规范的基本要求外, 可从以下方面进一步提高勘察成果质量。

4.1 原隧道资料的收集分析

在改扩建工程勘察设计前期, 应充分收集原隧道勘察、设计、竣工、检测养护等相关资料。尤其注意收集隧道地质预报、施工监测报告、施工竣工报告, 包括其施工过程中因岩性变化、构造破碎带影响、节理密集发育、涌水量等地质条件变化导致的围岩变更资料。改扩建隧道与既有隧道基本位于相同的山体内, 距离不远, 这些资料能够反应隧道山体围岩的真实地质情况, 尤其特殊的地质变化。分析这些资料能够掌握原有隧道的水文地质和工程地质条件, 同时可关注到地表调查无法看到的地质问题, 编制勘察事先指导书时能有有效的指导改扩建隧道工程的钻探、物探、水文地质试验等勘察工作量的布置, 利于选择针对性强且有效的勘察方法。

4.2 新建隧道勘察工作量布置要点

山岭隧道勘探点的数量及位置应根据具体的地质调查成果、地质条件及物探成果进行分析确定。沿洞身轴线布置物探纵向测线, 在隧道进出洞口或横洞位置布置物探横向测线, 钻孔布置在隧道洞壁外侧不小于5m, 物探异常区域宜布置钻孔验证。

结合既有隧道的勘察成果先分析, 对隧道不同埋深段可结合老路资料分析布置钻孔。

(1) 进出洞口段: 一般需布置钻孔查明洞口边仰坡覆盖层厚度。

(2) 洞身沟谷段: 既有隧道和新建隧道穿越相同沟谷时, 既有隧道位于沟谷内已施工的钻孔, 可投影至新建隧道利用。物探纵断面测试成果一般在沟谷内呈现低阻异常, 可布置钻孔验证, 查阅竣工资料对应路段是否存在地质变化。

(3) 洞身深埋段: 对位于山脊处物探显示低阻异常位置应加强地质调绘或采用综合物探测试方法, 提高解译的可靠性^[3], 必要时结合钻孔进行验证。

(4) 连续变更段: 既有隧道存在重大变更路段或连续变更路段时, 应重点分析施工变更地质原因, 结合物探测试分析低阻异常位置, 加强地质调绘, 必要时布置勘探孔, 多种勘察方法佐证判断。

5 工程案例

以某高速公路改扩建工程1座长隧道为例, 介绍改扩建隧道在收集分析原隧道勘察设计、竣工变更等资料基础上的围岩划分情况。

5.1 隧道简介

既有隧道为分离式单洞两车道隧道, 长约1831m, 洞身岩性为白垩系西山头组, 中风化凝灰岩, 青灰色, 块状构

造,岩质较坚硬,岩体较完整~完整;局部夹凝灰质粉砂岩,紫红色,岩质较软,呈中厚层状,设计围岩以V类围岩为主。改扩建隧道位于既有隧道两侧约30m新建分离式单洞三车道隧道,长约1871m,岩性与既有隧道相同。

5.2 改扩建隧道勘察分析

分析既有隧道竣工资料:地质变化情况主要如下:①凝灰岩夹泥质粉砂岩夹层,岩质较软,围岩变差;②受地质作用影响,岩石蚀变强烈,岩体破碎,拱部岩石破碎,易坍塌。③凝灰岩夹泥质粉砂岩,节理密集发育,岩体破碎,发育节理密集带,顶部有股状,片状地下水流出。④发育断层,呈构造角砾岩夹断层泥状,宽约5m,有股状流水。⑤原隧道施工过程中存在多处V类围岩变更为IV类或III类围岩,其中围岩连续最大变差变更长约300m,此段变更约占隧道全长的20%。

改扩建隧道资料分析:沿线布置大地电磁法物探测线纵断面1条,隧道进出洞口布置钻孔,隧道洞身结合物探异常点布置钻孔。此隧道洞身布置2个钻孔,最深孔深约126m,既验证物探的准确性,又查明了洞身岩性变化。物探异常点主要存在两处,电阻率低,横向不连续,梯度变化较大,低阻纵向向下延伸,推测为断层破碎带含水。

钻孔揭露岩性为青灰色凝灰岩夹紫红色凝灰质粉砂岩,揭露粉砂岩夹层有两层,且位于洞身。凝灰质粉砂岩为较软岩,相对凝灰岩为软夹层,较破碎,对围岩稳定性不利,易产生掉块。粉砂岩为层状构造,岩石单轴抗压强度随岩层角度变化明显^[4],影响围岩等级。

既有隧道竣工资料验证:改扩建隧道此段物探低阻异常处对应既有隧道施工时因开挖存在粉砂岩夹层,且受地质作用影响,岩石蚀变强烈,拱部岩石破碎,易坍塌,围岩级别连续降级变更达161m。

综上所述,此段钻孔与既有隧道竣工资料均能佐证物探测试成果的可靠性,大地电磁法测试成果能够定性反映此段岩体的变化,对隧道围岩分级具有重要指导作用。

5.3 围岩分级成果对比

通过上述围岩判别方法,充分收集分析既有隧道勘察资料情况,对既有隧道勘察围岩类别划分与竣工资料揭示实际围岩类别进行对比发现,此隧道设计围岩等级以V类围岩为主,施工过程中根据地质变化进行围岩等级变更,其中II类围岩相较设计减少8m,围岩等级变好;III类、IV类围岩的变更量较大,III类围岩变更量高达117%,则隧道围岩变好或变差的变更均存在;V类围岩减少275m,围岩质量变差,此类围岩变更量大占比23.5%。

结合原隧道勘察围岩分级资料,分级特点是以定性判断、连续大段、粗略的围岩类别划分,则导致施工阶段变更量较大。竣工资料显示实际围岩等级以IV类、V类围岩为主。

本改扩建隧道工程结合竣工围岩变更记录、全断面物探纵断面成果、钻孔、地质调绘成果等综合勘察方法,依据2011版规范进行定性、定量的围岩分析,改扩建隧道围岩等级划分以III级围岩为主,可达70%。

通过上述98版、2011版公路勘察规范对比,2011版规范对围岩质量要求更高,围岩质量要比老规范高一个等级,则既有隧道竣工显示以IV类、V类围岩为主,对应2011版规范对围岩质量要求则以III级、IV级围岩为主。改扩建隧道围岩等级划分主要为III级,与既有隧道竣工围岩比例基本相同,且定性判断与定量BQ计算均满足要求,则相较既有隧道围岩类别划分更合理。

6 结论

(1)通过98版、2011版公路勘察规范对隧道围岩等级的划分依据对比发现,围岩划分既有继承也有发展。围岩类别和围岩等级不是严格意义的一一对应关系,其中V~IV类围岩与II~III级围岩不对应;III类和IV级、II类和V级围岩基本对应;VI类和I级、I类和VI级围岩是完全对应关系,则改扩建隧道围岩级别不能简单套用既有隧道围岩类别。

(2)既有隧道围岩类别划分以定性为主,改扩建隧道围岩分级以定性判别,结合定量BQ值计算分析为主,隧道围岩等级划分更合理。

(3)项目前期收集分析既有隧道勘察设计报告、竣工变更资料具有重要价值。尤其是对隧道围岩不利的地质变化记录对改扩建隧道从前期地质调绘、勘探孔布置、围岩等级划分均有指导意义。

(4)勘察技术在不断提高,应采用钻探、物探、调绘、室内试验、原位测试等综合性的勘察方法,既能够验证物探成果的可靠性,又能动态的调整勘察方法,从而更加准确的查明隧道围岩情况。

参考文献

- [1] 宋战平,张泽坤,程昀,等.既有公路隧道改扩建技术研究动态及展望[J].地下空间与工程学报,2023.8(4):17-19.
- [2] 徐春明,汪春桃,吴家铭.高速公路改扩建工程勘察技术要点概述[J].中外公路,2020.10(40):1-4.
- [3] 黄小年,郭高峰,张本涛.综合物探技术在隧道勘察中的应用研究[J].公路,2022.10(5):22-25.
- [4] 沙鹏,赵逸文,高书宇,等.隧道层状岩体质量评价的BQ分级改进[J].工程地质学报,2020.28(5):942-950.

Research on technical architecture of railway integration service platform

Shuang Ren¹ Jing Wang¹ Zhimin Niu¹ Bin Zhang²

1. China Railway Information Technology Group Co., Ltd., Beijing, 100038, China

2. China Railway Information Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 100044, China

Abstract

In the wave of digital economy and intelligent transformation, the railway industry has an urgent need for diversified business collaboration. To implement the requirements of the Railway Integrated Service Platform (RISP) as outlined in the ‘14th Five-Year Plan for Railway Network Security and Informatization’ (Tieke Xin [2022] No.16), the RISP is designed to standardize interconnectivity between business systems, share technical capabilities, enhance the value of business resources, improve application development efficiency and management levels, and serve as the core platform for achieving horizontal integration and vertical connectivity within the State Railway Group’s business systems. This paper designs the RISP from the perspectives of communication infrastructure, data processing, system architecture integration, and business applications, systematically outlining the construction path of the RISP. It aims to provide theoretical and practical guidance for optimizing the RISP and the digital transformation of the railway industry, thereby supporting the industry’s sustainable development in the era of intelligence.

Keywords

Railway Integrated Service Platform; ESB; IPaaS; API interface

铁路集成服务平台技术架构研究

任爽¹ 王静¹ 牛志敏¹ 张斌²

1. 中国铁路信息科技集团有限公司, 中国·北京 100038

2. 中铁信息工程集团有限公司, 中国·北京 100044

摘要

在数字经济与智能化转型浪潮下, 铁路行业多元业务协同需求迫切, 为落实《“十四五”铁路网络安全和信息化规划》(铁科信〔2022〕16号)规划中铁路集成服务平台建设要求, 铁路集成服务平台定位于规范业务系统间互联互通, 共享技术能力、激发业务资源价值, 提升应用开发效率和管控水平, 是实现国铁集团业务系统“横向集成、纵向贯通”的核心载体。本文从通信基础设施层、数据处理层、系统架构集成层、业务应用层方面进行设计, 系统解构铁路集成服务平台建设路径, 为铁路集成服务平台优化建设、铁路行业数字化转型提供理论与实践指导, 助力铁路行业在智能化浪潮中实现可持续发展。

关键词

铁路集成服务平台; ESB; IPaaS; API接口

1 引言

在数字经济浪潮与智能化转型的双重驱动下, 铁路行业正经历前所未有的变革。作为国民经济的“大动脉”, 铁路系统涵盖“战略决策、经营开发、运输生产、资源管理、

建设管理、综合协同”六大业务领域等多元业务场景, 系统及部门间数据交互频繁、业务协同需求复杂且重复。然而, 信息孤岛、系统割裂等问题依然存在, 制约行业效能提升, 根据《“十四五”铁路网络安全和信息化规划》规划要求, 铁路业务系统间互联互通应规范使用集成服务平台实现, 与外部单位开展应用集成和数据交换统一通过国铁集团外部协作平台实现, 集成服务平台是实现“横向集成、纵向贯通”的核心载体, 而技术架构的科学性与先进性则是平台高效运行的核心支撑。铁路集成服务平台技术架构作为实现“横向集成、纵向贯通”的技术底座, 其设计需兼顾业务需求适配性、技术组件扩展性与安全合规性, 成为铁路行业数字化转型的关键突破点^{[1][2]}。

目前, 既有铁路集成服务平台已形成平台门户、企业

【论文项目】本文是中国铁路信息科技集团有限公司科技研究开发计划课题《铁路集成服务平台优化建设方案及关键技术研究》研究成果。课题合同编号: WJZG-CKY-2023010 (2023A04)。

【作者简介】任爽(1987-), 女, 中国北京人, 本科, 工程师, 从事信息技术与项目管理研究。

服务总线平台（ESB）、业务流程引擎平台（BPM）、业务中台、技术中台和外部协作平台等六大模块功能，具备提供共性业务及技术类服务的能力，但平台核心组件国产化技术架构先进性不足（如 ESB 依赖 2017 年版本国外产品）、传统架构与云原生技术协同效率低、接口标准与国际铁路联盟（UIC）兼容性不足，制约跨国业务协同与技术自主可控。

为此，本文将从铁路集成服务平台国内外研究现状切入，聚焦铁路集成服务平台的技术架构体系，系统解构铁路集成服务平台，重点研究架构分层设计，创新铁路集成服务平台的通信基础设施、数据处理与管理、系统架构集成等关键技术，以“分层解耦、协同赋能”为设计原则，通过通信基础设施层、数据处理层、系统架构集成层、业务应用层的纵向贯通，提供“技术自主、架构灵活、安全可控”的铁路集成服务平台技术架构解决方案，为国铁集团实现跨领域数据共享和业务集成提供强有力的技术支撑，助力铁路行业在智能化浪潮中构建具有国际竞争力的数字化基础设施。

2 国内外铁路集成服务平台研究现状

2.1 国外研究现状

国外在铁路集成服务平领域研究起步较早，经过长时间的验证和技术积累，在技术创新、应用实践等方面已取得了显著进展^[1]。通常具备先进的技术架构和丰富、稳定的功能模块，能够满足各种复杂的集成需求，能够针对不同行业和企业的特定需求，提供高度专业化和精细化的服务。并注重与各种技术提供商、服务提供商等深度合作，构建完善的生态系统，提高平台的整体竞争力和价值。

在技术架构层面，国外集成服务平台主流技术架构呈现多元化发展趋势：微服务架构通过将单体应用拆分为独立部署的细粒度服务，显著提升系统可伸缩性与可维护性；事件驱动架构（如 Amazon EventBridge）基于异步事件通信实现服务解耦，强化实时响应能力与系统弹性，适用于高并发场景；分布式架构（典型如 Google Cloud Platform）依托多节点部署实现负载均衡与高可用性，有效支撑海量数据处理；云原生架构则深度融合容器化、Kubernetes 编排及自动化运维能力，成为云计算时代快速弹性伸缩的核心范式。这四类架构常交叉应用，共同构成支撑现代集成平台高效运行的技术基石。

在应用实践方面，欧洲在铁路集成服务平台的研究方面处于领先地位，致力于推进跨国铁路集成服务平台建设，旨在打破各国铁路系统间的技术、管理壁垒，促进欧洲各国铁路系统互联互通，实现跨国铁路运输无缝衔接。欧洲的 TEN-T 项目致力于推动多式联运信息集成平台的建设，通过制定统一的数据交换标准，整合铁路、公路、水运等多式联运信息系统，实现跨区域运输资源的协同调度。德国铁路联合签署的“铁路数字化战略”以及法国国营铁路集团的“数字化法铁”项目，均将铁路集成服务平台作为重要组成部分，推动铁路系统向智能化运营转型，提升铁路系统的整

体效能。美国铁路集成服务平台研究则聚焦于运输资源的智能优化，通过大数据分析与强化学习算法实现运输路径动态规划，在降低运营成本的同时提升用户服务体验。

2.2 国内研究现状

相对于国外，国内开展铁路集成服务平台研究相对较晚。在国家政策导向与产业升级需求的双重驱动下，国内铁路领域正围绕技术创新、应用实践与标准体系展开系统性探索，逐步形成兼具本土化特征与行业适配性的集成服务体系架构^[4]。

铁路集成服务平台作为一体化信息集成平台的重要组成部分，其功能定位涵盖三大维度：一是实现应用系统间的应用集成，优化资源分配，提升应用开发效率和管控水平，支撑铁路信息系统高效建设和平稳运行；二是支撑跨专业、跨业务应用作业场景的高效协同、流程闭环管理，通过标准化接口与服务组件提升业务联动效率；三是搭建内外部系统的数据交换通道，满足内部与政务平台、行业其他运输方式等外部系统间对接融合，实现数据访问和接口的统一管理，确保数据传输高效、安全。

目前，平台已依托主数据一期工程及 2022 年度国铁统建信息化项目完成阶段性建设，形成“平台门户—业务中台—技术中台—企业服务总线—业务流程引擎—外部协作平台”的立体化架构体系。在技术架构方面，铁路集成服务平台采用微服务分层架构实现“内外协同、安全可控”的技术体系：存储层复用既有数据库资源；服务层依托 SpringCloud 生态（注册中心 / 配置中心 / API Gateway）保障核心服务高可用，集成 OracleESB 实现传统系统服务化集成，并通过独立部署的外部协作平台提供统一对外服务接口—其消息适配模块支持发送 / 抽取、同步 / 异步等灵活交换模式，安全管控模块融合铁路信息安全体系实施传输层 / 管理控制层 / 访问安全三重防护，流量管控模块基于互联网 / 专线 / VPN 多通道实现带宽智能调度与断点续传；业务逻辑层采用流程引擎驱动复杂业务编排；访问层通过负载均衡与 Vue/JS/H5 技术支撑多终端交互。该架构以 SpringCloud 云原生能力为底座，通过 OracleESB 的异构整合、外部协作平台的安全交换机制，实现共性业务服务的标准化封装、应用入口的统一管理及数据可视化分析，支撑敏捷开发与集约化管控。

尽管国内铁路集成服务平台已取得阶段性成果，但其发展仍面临三重挑战：其一，核心技术自主化程度不足，部分关键组件如企业服务总线仍依赖国外产品，技术先进性与安全性不足；其二，平台深度融合存在壁垒，传统架构与新兴技术模块的协同效率有待提升，跨系统业务治理体系尚未完全打通；其三，国际标准对接存在空白，在接口协议、数据格式等领域与国际铁路联盟（UIC, International Union of Railways）标准的兼容性不足，制约跨国业务协同能力。未来，需聚焦技术自主创新、平台生态整合与标准体系国际化，

以适配铁路行业高质量发展与全球竞争的战略需求。

3 铁路集成服务平台关键技术

3.1 技术架构

铁路集成服务平台的技术架构以战略决策、经营开发、

运输生产、资源管理、建设管理、综合协同六大领域需求为导向,以“分层解耦、协同赋能”为设计原则,如图1所示,通过通信基础设施层、数据处理层、系统架构集成层、业务应用层的纵向贯通与横向组合,实现为国铁集团实现跨领域数据共享和业务集成提供强有力的技术支撑。

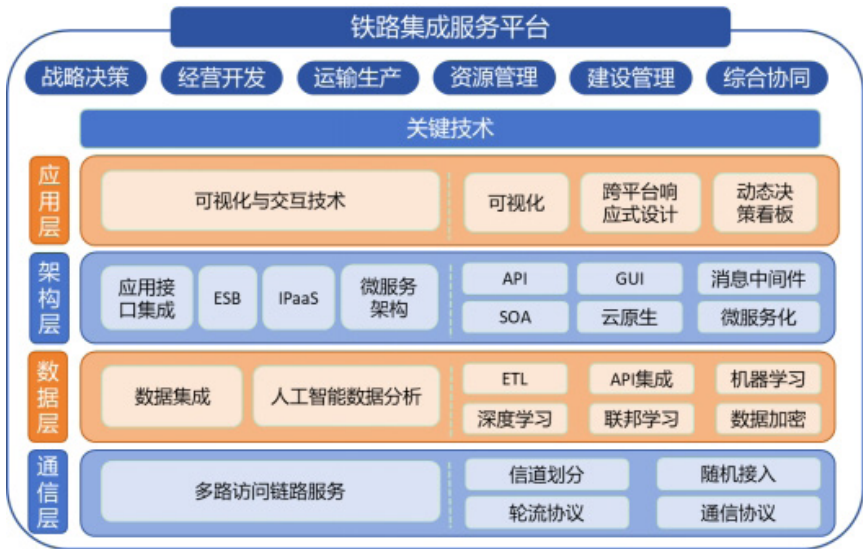


图1 铁路集成服务平台技术架构图

3.1.1 通信基础设施层

通信基础设施层的核心功能是构建高可靠、低时延的通信网络体系,保障多系统间信息实时交互与业务协同运行。铁路集成服务平台中采用多路访问链路服务技术^[5],解决多业务系统并发服务通信冲突问题,支撑运服务共享实时性需求。通过信道划分协议(如TDMA、FDMA、CDMA)和随机接入协议(如ALOHA、CSMA/CD)等技术,实现高效的数据传输和冲突避免。同时还支持多种通信协议(如TCP/IP、HTTP、FTP等),确保不同系统之间的无缝通信。

3.1.2 数据处理层

数据处理层的核心功能是全量数据的标准化治理、智能分析,为平台分析决策提供高质量信息资产。铁路集成服务平台通过数据集成技术打破信息孤岛,实现信息互通;基于人工智能数据分析技术通过模型与算法,优化资源调度,动态优化运力/计算/存储/网络资源的配置,提升用户体验、资源利用效率、服务可靠性和智能化水平。利用ETL工具整合全路用户和组织树数据,构建统一的数据分析模型,通过API接口封装,为业务系统提供服务,同时支持数据加密和访问控制,在提升铁路资源利用率的同时确保数据的安全性和隐私性。

3.1.3 系统架构集成层

系统架构集成层的核心功能在于打破异构系统壁垒,实现服务与流程的标准化集成,为跨领域业务协同运作提供基础支撑。铁路集成服务平台中通过应用接口集成技术^[6]实现六大业务领域系统的集成,提升跨专业、跨部门业务与流程的集成效率和管控水平,增强系统的模块化与灵活性;

利用企业服务总线(ESB^[7])作为核心消息中间件,高效路业务服务数据,规范接口开发标准,实现跨系统的资源共享和充分信息共享;基于集成平台即服务(IPaaS, Integration as a Service)^[8]的可视化编排能力,对资源管理流程进行建模与自动化执行,提升运维效率;采用微服务架构技术^[9]对关键服务进行解耦与重构,结合容器化部署与弹性伸缩机制,有效保障货运高峰等高并发场景下的服务调度稳定性和系统韧性。同时实现服务的动态注册、发现与智能编排,并支持多种通信协议和适配器,确保整个平台具备高可用性、可扩展性与松耦合特性。

3.1.4 业务应用层

业务应用层的核心功能在于依托底层技术能力,开发面向战略决策、经营开发、运输生产、资源管理、建设管理、综合协同等六大业务领域的场景化应用模块,实现业务价值的直接输出。铁路集成服务平台通过数据可视化与交互技术^[10]的前端框架构建铁路集成服务平台的可视化门户,结合响应式设计实现多终端自适应访问,显著降低业务系统使用复杂度;基于实时数据渲染技术与交互控制组件库,为用户提供图形化操作界面与动态决策看板,支持资源利用率分析、运输态势监控等关键功能,提升国铁集团资源优化配置能力与用户体验。同时,该层深度集成统一身份认证与细粒度权限控制机制,并采用服务端渲染优化门户性能,确保系统在复杂业务场景下的高响应性与访问安全性。

3.2 关键技术

3.2.1 基础通信层技术

多路访问链路服务技术通过构建高效的并发控制与负

载均衡策略,显著提升信道资源的利用效率;其核心机制(如轮询协议、令牌传递协议)实现了多个设备对同一物理信道的无冲突共享传输,有效避免数据帧传输过程中的冲突与干扰。在铁路集成服务平台中,该技术被应用于优化业务系统间的通信效能,保障关键数据的实时传输与处理。同时,该层支持包括 TCP/IP、HTTP、FTP 在内的多种通信协议,确保了异构系统间的无缝互联。其分类主要包括^[11]:

信道划分协议:通过将物理信道在时间、频率或编码维度进行预分割,为不同设备分配独立的传输资源,确保多设备数据在各自专属的信道上有序传输,典型技术包括时分多址(TDMA)、频分多址(FDMA)、码分多址(CDMA)。

随机接入协议:无需预分配信道资源,设备通过监听信道状态动态竞争传输权限,当检测到信道空闲时发起数据传输,冲突发生后通过退避机制重新尝试,具有灵活性高、部署简单的特点,典型技术包括 ALOHA、载波监听多路访问(CSMA)、带冲突检测的载波监听多路访问(CSMA/CD)。

轮流协议:通过节点间轮流获取传输权限的机制协调数据发送,避免冲突的同时保证每个节点均有机会使用信道,典型技术包括轮询协议、令牌传递协议。

3.2.2 数据处理层技术

1) 数据集成技术

数据集成技术通过逻辑或物理整合多源异构数据,构建标准化数据共享体系,旨在解决数据孤岛问题,提升数据一致性、完整性与可用性。其核心流程涵盖数据提取、数据转换、数据加载、数据仓库、数据清洗、数据匹配等技术实现高质量数据输出,为铁路集成服务平台分析决策提供支撑。在铁路集成服务平台中,该技术用于打破信息孤岛,实现不同业务系统间的数据共享和协同。通过从业务系统收集必要信息,包括统一身份认证平台集成用户、组织数据等信息,通过 ETL(Extract, Transform, Load)工具整合全路用户和组织树数据,通过 API 接口封装,为业务系统提供服务,提升铁路资源利用率。人工智能数据分析技术以机器学习、深度学习等算法为核心,构建智能化分析模型。在铁路集成服务平台中,通过人工智能数据分析技术,分析用户对集成服务平台的使用习惯,实现服务精准推送,优化资源调度,提升服务的智能化水平。此外,该层还支持数据加密和访问控制,确保数据的安全性和隐私性。

ETL 工具^[12]:自动化完成跨系统数据提取、转换和加载,提高数据处理的效率和准确性。铁路集成服务平台从业务系统收集必要信息,包括统一身份认证平台集成用户、组织数据信息;从网信系统集成系统台账数据信息等,通过自动化数据提取、转换和加载过程,提高平台自身数据处理的效率和准确性。

API(Application Programming Interface)集成^[13]:基于标准化接口实现不同软件系统间实时数据访问、共享,提

高了系统的模块化和灵活性。例如通过 RESTful API 连接战略决策领域的分线成本核算系统与综合协同领域的精密统计系统,数据同步时延缩短至秒级。

2) 人工智能数据分析技术

人工智能数据分析技术以机器学习、深度学习、联邦学习等算法为核心,针对铁路集成服务平台中多源异构数据,构建智能化分析模型,实现数据特征提取、规律挖掘与趋势预测,为铁路运营决策提供科学依据。

机器学习技术:基于历史数据构建分类、回归等模型,实现分析用户使用习惯,实现服务精准推送,需求预测,优化资源调度。

深度学习技术:通过卷积神经网络(CNN, Convolutional Neural Network)、预训练语言模型(如 BERT)等,业务系统通过调用铁路集成服务平台的服务对建设管理过程中铁路影像、文本等非结构化数据进行特征提取与分析,实现轨道裂纹检测、文本智能解析等功能,提升复杂数据处理精度。

联邦学习技术:针对跨局数据协同需求,在保障隐私安全的前提下,业务系统调用铁路集成服务平台的服务通过分布式数据联合建模与参数聚合,优化全局分析能力,满足铁路行业数据合规与跨域协同决策需求。

3.2.3 架构集成层技术

1) 应用接口集成技术

应用接口集成技术通过标准化接口实现不同系统之间数据互通与功能集成。通过 Restful 接口、SOAP 接口等,打破各业务系统间信息壁垒,实现业务高效协同,为铁路智能化运营提供底层支撑。在铁路集成服务平台中,通过构建统一通信框架实现各业务系统的无缝对接,提升平台整体协同效率。接口作为系统间通信的桥梁,主要分为以下三类:

API 接口:作为应用接口集成技术的核心,具有高度灵活性与扩展性,可进一步细分为 HTTP 接口、Restful 接口、SOAP 接口等,每种接口类型都有其特定的应用场景和优势。在铁路集成服务平台中实现 HTTP 接口简单高效,用于轻量级的数据交互;Restful 接口以资源为导向,符合 REST 架构风格,便于扩展和维护;SOAP 接口则基于 XML,提供严格的格式和类型检查,用于对数据完整性和安全性要求较高的场景。

GUI 接口:以按钮、菜单等可视化元素构建图形交互界面,将后台功能转化为直观操作,广泛应用于铁路票务终端、调度平台,降低操作门槛,提升人机交互效率。

公共 API 接口:遵循统一标准开放服务,第三方开发者可基于接口规范调用列车时刻表、余票数据等资源,助力旅游平台、出行应用开发,推动铁路服务生态创新拓展。

2) ESB

ESB 是一种分布式架构的集成技术,旨在实现企业内部异构系统间的数据互通、服务整合与业务协同。在铁路集

成服务平台中,ESB通过构建标准化通信总线,解决业务系统间的协议差异、数据孤岛问题,支撑跨部门、跨业务的流程自动化与智能化。集成服务平台基于消息中间件的ESB通过异步消息传递实现系统解耦,具备高并发场景下的流量削峰能力,实现不同业务系统间的通信和数据交换,确保系统的高效运行。依据技术架构,可分为以下三类^[14]:

基于消息中间件的ESB:以ApacheKafka、RabbitMQ等消息队列为核心技术,通过异步消息传递实现系统解耦,具备高并发场景下的流量削峰能力,适用于非实时性业务。在铁路集成服务平台中,可用于异步收集各车站客流量数据进行批量统计,以及将设备传感器数据通过消息队列实时推送至运维平台。

基于服务导向架构(SOA)的ESB:基于Web服务(SOAP/RESTful API),强调服务标准化封装与发布,提供严格接口契约(WSDL/Swagger),支持跨部门、跨企业系统集成及复杂业务流程编排。可应用于铁路集成服务平台与第三方旅游平台的公共API对接,如开放余票查询服务。

微服务化ESB(轻量级ESB):基于微服务架构(如Spring Cloud、Apache Service Comb),将ESB功能拆解为路由、转换、监控等独立微服务,支持容器化(Docker/Kubernetes)部署,适配云原生环境,具备轻量化、弹性扩展特性。在铁路集成服务平台中,可实现新兴移动应用与传统ERP系统的混合架构集成,以及高铁Wi-Fi服务与旅客行为分析系统的实时数据交互。

3)IPaaS

IPaaS是一种基于云计算的集成解决方案,通过云端平台提供标准化工具与服务,实现企业内部系统、云端应用、合作伙伴数据的无缝连接与协同。在铁路集成服务平台中,通过IPaaS轻量化、易扩展、低成本的特性,用于实现票务、调度、运维、货运等场景间的快速集成和协同,用户通过Web界面或API调用功能,无需介入底层基础设施管理,提升系统的灵活性和扩展性。依据部署模式可分为以下三类^[15]:

公有云IPaaS:其特点是IPaaS基于阿里云、AWS等第三方云平台提供服务,用户通过Web界面或API调用功能,无需介入底层基础设施管理,成本低、弹性扩展强,适合铁路非核心业务的快速集成。

私有云IPaaS:其特点是部署于铁路企业自建数据中心或私有云,数据完全自主可控,安全性高,适用于处理旅客身份证信息、列车调度指令等敏感场景。

混合云IPaaS:其特点是融合公有云与私有云特性,核心数据存储于私有云,非敏感业务通过公有云扩展,实现安全与灵活的平衡。在铁路应用中,客运票务系统核心数据留存私有云,支付接口与支付宝/微信支付等公有云服务对接,既保障交易安全又提升用户体验。

4)微服务架构技术

微服务架构是一种将复杂业务拆分为独立可部署的小

型服务单元的分布式设计模式,通过解耦传统单体系统,每个服务以轻量级协议(如HTTP/2、gRPC)实现通信,具备独立开发、独立部署、弹性扩展的特性,解决业务复杂度高、迭代缓慢、扩展困难等问题。通过Spring Cloud等技术,实现新兴移动应用与传统ERP系统的混合架构集成。在铁路集成服务平台中,微服务架构技术用于提升系统的可维护性和可扩展性,确保系统的高效运行,同时提供服务的动态注册、发现和编排,支撑铁路数字化转型对敏捷性与弹性的需求,确保系统的高可用性和可扩展性。

3.2.4 业务应用层技术

可视化与交互技术通过图形化手段呈现复杂数据、模拟业务流程,并支持用户通过手势、语音、界面控件等方式实时干预。通过深度融入票务、调度、运维、客货运等核心系统公共服务,实现“数据可见、操作可控、决策可溯”,提升应用开发效率和管控水平。在铁路集成服务平台中,该技术用于提升用户体验,降低业务系统的使用复杂度,提升系统的整体效率。此外,该层还支持多终端访问(如PC、移动设备等),确保用户随时随地访问平台。

4 总结

在数字经济与智能化转型的宏大背景下,铁路行业面临着业务协同需求激增的严峻挑战。铁路集成服务平台凭借其在整合资源、优化流程、赋能业务方面的核心价值,已成为突破铁路行业发展瓶颈、实现高质量发展的关键路径。本文系统性地探讨了该平台的技术架构与关键技术,构建了一套清晰的平台建设路径,为其实践优化奠定了坚实的理论基础。

在技术架构与关键技术方面,平台创新性地遵循“分层解耦、协同赋能”原则,构建了通信基础设施层、数据处理层、系统架构集成层、业务应用层的联动体系。通信基础设施层通过多路访问链路技术提升信道效率与异构互联能力,保障数据的实时传输与处理;数据处理层的ETL与API集成实现了多源异构数据的有效整合与共享;架构集成层综合运用应用接口集成、ESB、IPaaS和微服务架构技术,打破异构系统壁垒,实现服务与流程的高效、标准化集成,提升系统的可维护性与可扩展性;业务应用层借助可视化交互技术降低系统使用复杂度,强化用户友好性与系统安全性。

通过本文的研究,铁路集成服务平台在技术架构和关键技术方面的创新与优化,不仅为铁路集成服务平台优化建设提供了理论支撑与实践指南,更为铁路行业加速数字化转型、拥抱智能化未来贡献了重要的参考价值。

参考文献

- [1] 马建军,李平,马小宁,等.铁路一体化信息集成平台总体架构及关键技术研究[J].中国铁道科学,2020,41(05):153-161.
- [2] 史元超,陈诚.铁路多式联运一体化信息集成平台设计研究[J].铁道货运,2020,38(07):6-10.

- [3] Jayakrishnan M, Mohamad A K, Yusof M M. Journey of an Information System in Railway Industry development approach through an enterprise framework[J]. International Review of Applied Sciences and Engineering, 2023, 14(1): 35-44.
- [4] 刘俊,史天运,李平等.智能铁路大数据服务平台选型方法研究[J].铁路计算机应用,2016,25(09):67-71.
- [5] Jajodia S, Samarati P, Sapino M L, et al. Flexible support for multiple access control policies[J]. ACM Transactions on Database Systems (TODS), 2001, 26(2): 214-260.
- [6] Chanda A, Daly A M, Foley D A, et al. Industry perspectives on process analytical technology: tools and applications in API development[J]. Organic Process Research & Development, 2015, 19(1): 63-83.
- [7] Aziz O, Farooq M S, Abid A, et al. Research trends in enterprise service bus (ESB) applications: A systematic mapping study[J]. IEEE access, 2020, 8: 31180-31197.
- [8] Cestari R H, Ducos S, Exposito E. IPaaS in agriculture 4.0: an industrial case[C]//2020 IEEE 29th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE). IEEE, 2020: 48-53.
- [9] Blinowski G, Ojdowska A, Przybyłek A. Monolithic vs. microservice architecture: A performance and scalability evaluation[J]. IEEE access, 2022, 10: 20357-20374.
- [10] Battle L, Scheidegger C. A structured review of data management technology for interactive visualization and analysis[J]. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2020, 27(2): 1128-1138.
- [11] 崔佳琦.TDMA/CSMA混合网络的性能评估与调度优化[D].武汉大学,2018.
- [12] Mukherjee R, Kar P. A comparative review of data warehousing ETL tools with new trends and industry insight[C]//2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC). IEEE, 2017: 943-948.
- [13] Aué J, Aniche M, Lobbezoo M, et al. An exploratory study on faults in web API integration in a large-scale payment company[C]//Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice. 2018: 13-22.
- [14] 韩安.企业服务总线技术研究[J].工矿自动化,2013,39(11):50-53.
- [15] 徐涛.iPaaS营销自动化系统研发与应用[D].上海交通大学,2019.

Research on Optimization of Congestion Control Strategies for Urban Traffic Engineering

Dong Song

Heze Transportation Bureau, Heze, Shandong, 274000, China

Abstract

With the continuous acceleration of urbanization, the number of motor vehicles has shown a sharp increase. Urban traffic congestion has become a key issue restricting residents' quality of life and sustainable urban development. Traditional traffic management strategies are gradually showing obvious limitations under complex and changing traffic demands, and there is an urgent need for optimization and upgrading. This article analyzes the current situation and causes of urban traffic congestion, and proposes optimization paths for congestion management strategies from three dimensions: intelligent transportation system application, traffic structure adjustment, and traffic demand management. By combining case analysis and data modeling, the article explores the practical effects of new technologies and concepts in congestion management, with the aim of providing systematic solutions for urban traffic congestion management and helping to achieve an efficient, green, and intelligent urban transportation system.

Keywords

urban transportation; Congestion control; Intelligent transportation system; Traffic structure; Requirements Management

城市交通工程拥堵治理策略优化研究

宋栋

菏泽市交通运输局, 中国·山东 菏泽 274000

摘要

随着城市化进程不断加速发展, 机动车保有量呈现出激增态势, 城市交通拥堵已然成为制约居民生活质量以及城市可持续发展的关键问题, 传统交通治理策略在复杂多变的交通需求之下逐渐显露出明显局限性, 迫切需要进行优化升级。本文对城市交通拥堵现状和成因进行分析, 从智能交通系统应用、交通结构调整、交通需求管理这三个维度, 提出拥堵治理策略的优化路径, 采用案例分析和数据建模相结合的方法, 探讨新技术和新理念在拥堵治理当中的实践效果, 目的是为城市交通拥堵治理提供系统性解决方案, 帮助实现高效绿色智能的城市交通体系。

关键词

城市交通; 拥堵治理; 智能交通系统; 交通结构; 需求管理

1 引言

近年来, 中国城市规模迅速膨胀, 据公安部数据统计, 截至 2024 年底, 全国机动车保有量 4.8 万辆, 其中私家车占比超过 70%, 城市人口、交通规模的膨胀带来交通拥堵的急剧恶化, 北上等城市高峰时段均出现行车速度小于 20km / h 的情况, 拥堵所带来的时间、经济、环境成本也进一步攀升。传统的解决交通拥堵的方法路径主要集中在道路的建设, 执法交通, 无法从根本上解决交通拥堵问题, 面对此类现状, 如何优化交通拥堵科学、系统的路径是摆在城市管理者及交通领域专家面前所共同面临的问题。

2 城市交通拥堵现状与成因分析

2.1 交通拥堵现状特征

当前城市交通拥堵呈现出“日常化、区域性、时段化”的特征, 从时间上讲, 早晚高峰拥堵指数高, 部分城市拥堵延时系数在工作日一天中的高峰时段大于 2.0, 拥堵时间比畅通时间高出 1 倍以上; 从空间上讲, 拥堵热点城市中心、学校、医院等人口密集区域以及瓶颈点、上下快速路等交通节点, 同时, 随着城市规模的扩展, 潮流性交通流突出, 城市外围道路拥堵也在时段内发生^[1]。

2.2 拥堵成因多维剖析

从城市路网建设来看, 道路滞后于机动车增长, 路网的密度不饱和, 道路的等级结构不科学等, 部分城市次干路、支路比例偏低, 主干道负担过重, 交通信号灯设置不科学, 交通标志标线设置不科学, 交通法规执行不严, 交通秩序混乱, 居民不合理出行, 私家车过多过滥、公共汽车出行不愿

【作者简介】宋栋 (1988.01), 男, 汉族, 籍贯山东省菏泽市, 本科, 助理工程师, 研究方向: 交通工程

意等也是造成交通拥堵的原因。当前部分城市公共交通分担率不足 30%，国际大城市的公共交通分担率在 60%-80% 之间。

3 智能交通系统在拥堵治理中的创新应用

3.1 智慧交通感知体系构建

智慧交通感知系统是拥堵城市问题交通拥堵治理的根基，由各种设备组合构成全域交通数据感知网络。物联网传感器、高清摄像头、地磁检测器等设备较多地应用于拥堵城市道路、路口、节点等交通拥堵的地点，物联网传感器能检测车辆时速、车辆流、车辆比例等信息，高清摄像头借助计算机视觉技术能够检测车流、车牌、行人信息等，地磁检测器能够检测车辆通过过程中带来的磁场变化，从而检测到车流信息。不同感知设备的相互补充，弥补了单类监测设备监测空缺的问题，举例：部分城市在桥梁隧道等特殊路段，使用微波设备和视频监测设备，能够实现全天候不停歇的车辆检测；另外，5G 的大规模普及应用，传输实时可靠性进一步提高，以分钟级甚至秒数级进行车辆数据传输等，交通数据更加精准、实时，交通信息的实时性大大提高^[2]。

数据挖掘阶段，人工智能技术起到重要作用，机器学习的原理、深度学习的方法等将大量数据进行挖掘、分析，了解当下交通运行状况以及预测未来交通流量趋势。预测模型是在历史数据、实时数据的基础上，结合节假日、天气等要素提前数小时乃至几天预测交通拥堵状况，为交通部门提供应急处理、调整交通调度方案等。此外，将交通感知数据与互联网的大数据结合（地图数据、公交通券数据）丰富、分析其，对城市交通规律全方位认知。

3.2 动态交通信号优化与诱导

传统交通信号灯固定配时方案难以适应动态变化的交通需求，“绿灯空放”“有车不放”等交通拥堵现象层出不穷。动态交通信号优化技术以实时交通数据为基础，利用强化学习、遗传算法等智能算法不断优化交通信号灯配时方案，通过感知装置感知不同方向的车流、排队长度等信息，通过算法计算最佳配置参数，对信号灯位、信号序列、信号时长等进行实时优化调整，将交通资源分配到合理的方案之中。在多路口协同方面，通过建设区域交通信号控制网，打破单一人口瓶颈，使路口信号灯全局信号协调，如部分城市采用的“绿波带”控制，根据路段平均速度、车流量，协调相邻路口信号灯的相位差，使车辆连续通过多个绿灯路口，提升道路通行，更加高级的动态绿波诱导，可以根据动态交通量，调整绿波速度与配时，如通过自适应信号机动态绿波诱导，根据车辆流量的动态变化，进行交通控制子区动态划分与合并，调整信号周期、绿信比与相位差，使绿波带随着交通流量的变化而变化，减少车辆在路口处停留。

交通诱导系统作为缓解交通拥堵的一项有效手段，通过交通诱导屏、交通诱导软件等方式为出行者提供交通实时

的路况信息和最佳路线选择方案。前者是根据大数据和交通数据计算分析出绕行拥堵路线，并且通过语音播报提醒驾驶人员绕道；后者是将交通诱导大屏设置在交通要道、快速路等车流量较大的路段，简单明了地提示前方道路拥堵状况，使驾驶人员提前规划行程。还有，有些城市利用手机短信、广播等形式播报出行交通预警信息，提醒人们有计划地提早出行，均衡交通流时空分布，减轻局部路段拥堵的压力。

3.3 车路协同与自动驾驶技术赋能

车路协同技术通过构建“车-路-云”一体化智能网络，实现车辆与道路设施、其他车辆及行人之间的实时信息交互与协同控制，是未来交通发展的重要方向。车路协同技术利用车路云通信、边缘计算技术、车获取超远距离的信息，提前对道路信息做出反应，在拥堵时，可以车路协同技术，推送前方路况、道路施工、道路管制等信息，让司机合理调整车速、车距，减少由于急刹车、塞车带来的拥堵。另一方面，利用路侧设备与车协同感知，可以解决单车智能感知距离近、感知不准、感知不安全等问题，解决自动驾驶安全稳定问题^[3]。自动驾驶应用对道路通行能力具有提升潜力。有学者研究表明在自动驾驶控制车速和车距有序行驶，高密度排队行驶，道路行驶能力提升 30% 以上；自动驾驶车辆能够通过路旁单元和云系统进行车路协同，根据道路交通环境变化，进行行驶方向和方式的实时调整，提高交通流效率，高速公路车辆编组的自动驾驶跟驰通过车路协同系统的实现，提高车辆运行效率，降低油耗和碳排放，城市道路中自动驾驶车辆协同车辆交通信号灯“一路绿灯”，减少停车等待时间。

车路协同从理论研究到应用实践经历了不同的阶段。2011 年起，清华大学等科研院所陆续开始研究车路协同关键技术；2016 年起，陆续开始建设智能网联汽车示范区；2020 年，中国首条高速公路高级自动驾驶车路协同，车路协同迎来新进展；2024 起，中国开始建设车路云一体化应用试点，持续提升车端网联率，推进公共领域存量车车载 C-V2X 应用，推动智能网联汽车和智慧交通系统有机融合。目前，北京、广州、南京等地都相继开始启动车路协同、自动驾驶试点，在智慧高速、城市道路等多场景开展应用实践，为高速公路拥堵治理开辟新思路、积累新经验。

4 交通结构调整与需求管理策略优化

4.1 公共交通服务品质提升

公共交通服务水平的提高是缓解道路交通拥堵、优化城市交通结构的关键，交通设施建设上离不开大运量公共交通建设，地铁交通以其运量大、准时率高、能耗低等优势，是超大型城市道路网的重要干线，其加密对于疏散地面交通、引领城市空间布局、拉动“轨道+物业”、扩大对轨道交通出行意向供给等具有重要作用。快速公交系统（BRT）成本低，线路设置灵活，能满足中运量客流需求。

快速公交专用道、信号优先,是中小城市、大城市外围公交客流集散地。建设完善物理隔断的 BRT 系统公交专用道网络,与智能运输相结合实施信号灯联动控制,能够极大提升地面 BRT 的快速性和可靠性。公交车线网布局应遵守“有效衔接、均衡覆盖”的原则,通过大数据分析居民交通出行规律,减少低效重复、合并线路,增加与轨道接驳,增加定制公交、微循环车等特色服务,满足差异化出行需求,加强公共交通和自行车交通的无缝衔接,提供自行车停车点、步行道,倡导“P+R”出行,推广新能源公交车,营造更舒适的绿色出行环境,增强公共交通吸引力。

4.2 慢行交通系统完善

慢行交通系统作为城市绿色交通的重要组成部分,是提升城市品质与居民生活质量的内在需求,构建连续、适宜、安全的慢交通路网需要从道路建设、空间设计和政策引导等方面进行探索。道路设施建设上,注重自行车道、步行道空间,确保其宽度、平整、连续;自行车道标线、护栏,与机动车分割,确保出行安全;步行道注重道路材质的舒适、增加盲道等设施、街道家具、绿化景观,为行人提供舒适的环境氛围。空间规划上,将慢行区域设立在城市中心点、商业聚集点等交通活动活跃区域,将道路空间倾斜提供给行人、自行车、公共交通等人群,限制或者禁止通过街机动车辆使用,对机动车交通实行交通管制,将道路空间倾斜提供给行人、自行车、公共交通等人群,设立慢行街区、慢行自行车专用街区,减少机动车交通的干扰,提高自行车和步行舒适性。通过城市更新和街块更新,完善路网结构,增加支路,提高街块内交通的微循环。发展共享单车、共享电动车等,是解决“最后一公里”问题的一个好途径。通过合理选址和设置停放点、加强运营管理,杜绝乱停乱放;采取智能定位技术,精确计费,方便使用等。积极引导企业开展“共享单车+地铁”“共享电动车+公共汽车”的乘车优惠活动,引领市民绿色出行套餐,优化城市出行。

4.3 交通需求管理创新实践

交通需求管理从交通需求总量、时空需求分布、出行方式选择这三个方面入手,运用经济、政策和技术手段来限

制交通需求,从源头上治理交通拥堵问题。停车费差异化,非拥堵区和非高峰期降低停车收费标准,拥堵区和高峰期提高收费标准,分流非必要出行,提升停车率。停车收费标准要综合当地的交通状况、地段的土地价值和出行需求来制定,用价格引导群众绿色出行,采用智能停车系统,停车场实时监控,实时定价。通过错峰上下班、弹性的工作制来平衡交通流时空分布,政府鼓励企事业单位实行弹性工作制,错峰上班,避免出行高峰过于集中,同时实行学校错峰放学制,避免家长开车接送孩子上学、放学,这样通过多种错峰方式能够平衡交通流,削峰填谷。拥堵收费制度就是直接的需求管理手段,通过合理地制定收费路段、标准和时段,建设有效的管理系统,充分考虑社会公平性,给予特定人员减免政策性优惠,收取的费用用于公交公用和道路基础设施建设,形成“先收费,后治理”的良性循环,利用 ETC、车牌识别等技术实现收费管理智能化,提高效率、节约成本,最终通过各种手段,共同管理交通需求,解决城市拥堵。

5 结语

交通拥堵治理作为城市交通管理中的一项难题,必须借助一系列新技术、新结构、新政策进行综合治理。未来,各地在进行交通拥堵治理的过程中,应结合自身规模、交通结构、交通发展阶段特征,考虑三者之间的协调性,制定出适宜的交通拥堵治理策略。随着 5G、AI、大数据等的出现,以及绿色出行意识的逐渐提高,未来城市交通拥堵治理将朝着更加智能、绿色、人性化的交通发展,一步步朝着更好的方向发展,为城市交通拥堵治理提供一个宜居、舒适的环境。

参考文献

- [1] 彭凌枫,沈宙彪,曲文良.城市快速路拥堵节点交通综合治理探究[J].中国交通信息化,2025,(S1):263-265.
- [2] 张锋鑫,陈思曲,徐大林,等.基于深度学习的城市快速路交通拥堵点段车辆路径溯源[J].同济大学学报(自然科学版),2025,53(03):368-379.
- [3] 程耀林.一路一线全覆盖模式解决城市交通拥堵的研究[J].人民公交,2023,(04):76-82.

Safety management analysis of urban rail transit subway construction

Fei Xiong

Sichuan Tongfa Guangjin Human Resource Consulting Co., LTD., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

In recent years, China's urban rail transit construction has expanded significantly in scale, providing unprecedented convenience for economic development, public travel, and transportation. However, safety management loopholes have inevitably led to a series of accidents, including inadequate internal safety management, defects in construction power management, and fire control issues. These problems stem from insufficient safety awareness among construction personnel and imperfect supervision mechanisms. Systematically analyzing safety management challenges in urban rail transit subway construction and establishing scientific management systems have become critical pathways to ensure the steady progress of subway projects. This paper examines the current status of safety management in urban rail transit construction and proposes corresponding measures, aiming to provide guidance for improving technical standards and construction safety.

Keywords

Urban Rail Transit; Subway Engineering; Construction Safety Management; Strategy Analysis

城市轨道交通地铁施工安全管理分析

熊飞

四川通发广进人力资源咨询有限公司, 中国 · 四川 成都 610000

摘 要

近年来,我国城市轨道交通建设逐渐规模化,为经济发展、人们出行、运输提供前所未有便利。然而安全管理漏洞引发一系列事故不可避免,包括内部安全管理不到位、施工用电管理缺陷以及消防控制问题等。这些均是施工人员安全意识不强、监督机制不完善导致的。系统分析城市轨道交通地铁施工中的安全管理问题,构建科学有效的管理体系,已成为保障地铁工程稳步推进的关键路径。为此,本文探讨了城市轨道交通地铁施工安全管理现状并提出相应措施,以期完善技术要点、施工安全提供指导。

关键词

城市轨道交通; 地铁工程; 施工安全管理; 策略分析

1 引言

交通枢纽是拉动我国运力、经济增长的重要工具,其对城市化进程、经济建设意义非凡。特别是在人流量日益俱增当下,交通压力愈发明显,基于此,地下铁道得到广泛应用。这是因为其优势具备广泛应用前景。如容量大、运输快捷且土地利用率高等特点。在此背景下,城市轨道交通地铁建设成为许多城市规划的重要一环。就目前来看,管理水平与施工技术也进入成熟阶段。加上政府部门持续补充一系列安全条例与法律规定,使施工规范更标准化。但即使如此,在迅速推进地铁工程建设过程中安全事故仍时有发生。据调查,这是由于施工前准备不足、过程控制不严或响应不及时造成的,这些均属于管理疏忽,进而对地铁施工或后期使用

造成不可逆影响。因为地铁行动轨迹大部分位于人口密集、繁华中心区域,不管是施工或故障,都对施工条件、技术水平、勘察经验提出更高要求。为了最大程度降低技术、自然环境、内部管理带来的安全隐患,以下详细分析城市轨道交通地铁施工安全管理可能存在问题,以期为后期制定针对性、可行性施工安全管理方案提供参考。

2 城市轨道交通地铁施工安全管理中存在问题

2.1 内部安全管理缺失

从广义上来讲,内部安全管理缺失指的是制度、体系、机制建设不全面,导致施工要求、安全规范模糊,进而造成施工人员防范意识薄弱、关键节点控制不到位,这样不仅影响整体施工进度,对地铁工程的经济性、质量亦产生负面影响^[1]。举个例子,安全管理制度明确规定施工人员和安全员不得存在裙带关系,但仍然存在一人兼任多岗现象,由此隐藏安全监督不力问题。其次,信息不对等也是造成施工安

【作者简介】熊飞(1991-),女,中国四川彭州人,本科,助理工程师,从事市政建设或地铁研究。

全的重要因素。这是由于轨道地铁施工周期长且跨部门协作,基于统一调度机制、共享机制有待完善,导致安全员、分项团队以及总承包方形成信息壁垒,进而出现安全方案空档事件。特别是面向频繁交叉、重叠的作业环节,如果缺乏有效的联动程序与协同机制,在责任分工不明确、工序混乱场景下,极易产生追赶进度、罔顾准则等现象,进一步加剧了事故风险。

2.2 对于施工的用电管理问题

地铁建设项目是一个系统化工程,覆盖装饰、安装和土建等施工。在实践过程中,受现场条件制约,临时用电系统常常出现布局不规范问题。主要体现在计算电气负载不准确、线路部署杂乱无章、电源分配不清等,这些问题极易诱发电气设备短路或局部过载现象。另外,从以往案例可知,一些分包单位为图便利,未经申请违规建立临时电源,导致施工方案未曾报备,增加了安全作业风险。除此之外,火灾是电气事故常见形式,起源于电弧引起燃烧或电缆损伤所致,这些都是排查不到位造成的,应引起建设单位高度重视。

2.3 地铁施工的消防控制问题

众所周知,轨道地铁施工中会运用到可燃气体与易燃材料,如装饰材料、木制板材等,这在装修、安装阶段频繁出现,一旦加工区发生电气火灾、明火事故火势将快速蔓延,对人身财产安全造成不利影响。基于此,紧急响应、救援预案发挥重要作用。但就实践情况来看,普遍存在消防设施配备不足、逃生通道设计不合理、救援预案缺乏可行性现象。其次,消防控制包括归类管理施工材料,避免因管理漏洞造成风险识别滞后,如储存方式不当、物理隔离措施不到位引发火灾险情。由此可见,消防监督至关重要,但仍有施工单位不以为然,忽视监督机制、保障机制重要性。

3 城市轨道交通地铁施工安全管理措施

3.1 设立安全管理机构

针对内部管理问题,施工单位应构建健全的安全管理体系明确责任分工、施工程序与防护措施等,以期从根本上规避安全隐患。以下对制定针对性、可操作的管理机制进行详细说明:首先,为了防止职能混淆,应落实“专人专岗”原则,旨在防止一人多岗带来的职务便利与监督失效问题^[2]。与此同时,安全管理体系必须以安全控制网络呈现,通常由专职安全员牵头组织各分项单位、总承包方、监理单位、设计单位等负责人成立委员会,以实现分层管理、垂直指挥目的。在安全管理过程中,权限与职责边界应清晰明了,辐射施工人员继续教育、问题闭环处理、过程控制、技术交底以及风险识别评估等,只有将这些因素均纳入考量范畴,才能确保全作业流程在安全框架下完成。其次,面向轨道交通地铁施工周期长、不确定性问题,建设单位可以从安全防护着手,首要任务是建立阶段性动态监测机制与风险预警模型。举个例子,基坑稳定性是轨道地铁施工技术要点,为了提升

其安全性,可以引入专项评估机制对盾构掘进角度、深度基坑形变控制以及支护性能进行初步评估,并结合风险预判模型根据施工现场条件预测潜在隐患,以期作为训练安全预警系统案例。对于安全预案空档问题,可通过考评机制实现业务单位精细化管理。就拿逃生通道设计来说,可制定多级评价标准,包括风道截面优化、风机布置合理性等,这样不仅量化安全风险,对提升地铁整体质量亦产生积极作用。另外,城市轨道交通地铁作业涉及有限窗口施工,为此如何高效安排工序、资源配置至关重要。施工单位应严格落实《城市轨道交通工程施工规范》,根据规定设置物理隔离带与安全警示,同时配备专人负责引导交通与疏散人群,避免行人误入或作业外溢造成交通瘫痪。最后,联动响应机制是保障施工环节有序对接、紧急响应的必备手段。基于此,建设单位应推动数字手段与安全管理相结合,以实现应急资源调度和风险控制同步并举。在此过程中,涉及GIS(地理定位)与BIM(建模)系统应用,旨在动态监测安全敏感点与信息分享,确保轨道地铁施工趋于可控。

3.2 搞好施工用电管理

对于施工用电管理应严格按照《施工现场用电安全技术规范》进行,尤其是城市轨道交通工程的临时用电应制定严密的申办计划^[3]。从全局视角出发,以运维、设备配置、设计要求为导向规划用电方案,以保障每个用电环节在可控范围。以下对施工用电管理进行详细说明:首先,精细化管理用电组织设计,涵盖电压等级、电缆布设、配置变配电容量以及主供电源规划等,在统筹过程中需要专业人士或相关资质单位依托各业务单元作业需求、区域功能划分编制。这一步骤亦适用于临时用电审核,从安全层面出发,要求临时用电系统符合以下标准:其一,设置两级保护;其二,采用三级配电布设配电线路;其三、引入TN-S接零保护系统,当然,根据相关规定,敷设线路必须做到照明与动力分明,不得混合使用。接入设备时,除了落实配电箱、漏电装置、开关闸独立设置外,还应确保分支保护器件、剩余电流动作保护处于安全状态,保证突发情况下电气设备依然适应现场负荷波动。值得注意的是,电缆敷设尽量避让高温作业点、水源及材料加工区域,以防线路火灾,通常采用电缆沟或穿管架空方式避免地面和电缆直接接触。除此之外,使用封闭管理和防触电、防水措施将地铁施工安全做到极致^[4]。

关于临时用电管理,可以执行三方协同管理机制,涵盖总承包方、监理方与施工方。这一举措有利于追溯用电责任人,尤其是临时用电点设置,能够实现逐级验收管理,在此基础上嵌入追责机制还能够约束私拉乱接行为。另外,巡检是识别电气故障最直接方式。所以建设单位应规定施工单位填写用电巡视日志,主要对负载运行、保护装置运作、电缆和配电箱等损耗进行检查,旨在形成完整的档案记录,为后期零件更换、安全风险识别提供参考依据。最后,用电专项技术交底应引起广泛关注。基于用电操作涉及的线路复

杂、要求专业性较强,为了确保施工安全,前期阶段开展技术交底势在必行。同时还要做好线路编码与设备标识,并将漏电检测仪、红外测温安装至高频电缆交叉区域、材料加工区域等,以期通过自动检测功能实时把握异常情况,最大程度确保用电安全。敷设临时用电电缆时,提升布设方案透明度是关键。这一过程可以构建 BIM 模型明确遮挡物位置、协调其他作业避免冲突等,以保障高强度、密度施工压力下地铁工程仍具备较高安全用电水平。

3.3 抓好地铁施工现场的消防

综上所述,城市轨道交通地铁工程涉及到的易燃材料、电气较多,加剧火灾救援难度。为此,建设单位应做好消防安全管理部署,倡导“预防大于治理”理念。首先,科学配备消防资源是第一步,这一步骤需要将潜在隐患、施工条件等因素纳入考量范畴,以确保消防设备按比例全面覆盖现场。特别是材料堆积、电气设备集中等敏感区域,其布置必须与施工程序应急需求高度契合。一般情况下,消防器材包括自动报警器、消火栓和灭火器等^[5]。为了层层落实消防安全制度,在实践过程中,应确立相关保障规程,以期将责任明确至个人或岗位,赋予消防管理连续性与可溯性。例如,操作规程应明令禁止明火不能出现在施工现场,避免因管理不当引发火灾。其次,对于动火的管理,如切割、焊接作业,必须严格审核其安全措施、作业时长和范围,确保动火施工责任落实到位,通常由总承包方指派专项人员到场监督执行。包括预先制定疏散方案、清理易爆物品等,确保危情发生后及时响应,同时将损失降至最低。值得一提的是,安全验收动火作业至关重要,只有确认完全没有火灾隐患后监护才能解除。与此同时,施工现场不可避免采用明火时,施工材料堆放、易燃区域划分应远离火源并做好相应的物理隔离,如采用防火布覆盖、防火围挡隔离火源等。为了进一步提升消防管理力度,施工单位应组织开展消防知识教育,可以采用“理论+演练”模式提升人员消防意识^[6]。一方

面,通过理论知识深化,能够培养施工人员“防微杜渐”心理,强调预防大于治理。另一方面,实践演练不仅能够保障人员熟练操作,对提升应急处理能力、决策能力更是产生积极作用。

4 结语

在新时期背景下,城市轨道交通地铁施工安全管理面临诸多挑战,包括内部管理制度缺失、不规范用电以及消防管理滞后问题。基于此,我们提出开展消防培训、设立专项安全管理机构、严格遵守用电规范以及落实施工现场消防安全设施等,只有精细化管理轨道地铁施工流程,才能从根本上减少安全事件发生,保障施工作业有条不紊进行。伴随科学技术不断升级,建设单位除了逐步完善安全管理机制外,还应聚焦数字化手段普及,如引入大数据分析技术、构建信息共享平台等,旨在突破信息壁垒与强化责任落实,进一步提升施工安全监管水平,为城市轨道交通地铁领域的内部管理与施工安全奠定基础,实现城市建设与经济发展同步并举。

参考文献

- [1] 王庆伟.城市轨道交通地铁施工安全管理分析[C]//新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(一).2025.
- [2] 许立杨.智慧工地系统在地铁施工现场安全管理中的应用研究[J].现代城市轨道交通,2024(6).
- [3] 孙长军,张浩,蒋明伟,等.地铁施工安全状态智能分析与动态分级系统研究与设计[J].现代城市轨道交通,2024(5).
- [4] 代永双,张志伟.基于建筑信息模型技术与智慧工地理念的地铁施工人员安全管理系统[J].城市轨道交通研究,2024(001):027.
- [5] 陈志坚,王颖林,赖镭基.基于韧性理念下的地铁工程施工安全风险[J].施工技术(中英文),2023,52(5):103-109.
- [6] 邓榭璇,陆莹,迟泽勋,等.基于知识图谱的地铁施工安全事故原因及安全对策分析[J].项目管理技术,2025,23(2):97-104.

Research on real-time scheduling optimization of urban public transportation based on the integration of Internet of Things and big data

Zirui Cheng¹ Wei Wang^{2*} Rubi Guo¹ Yuhan Zhang¹

1. Chang'an Dublin International College of Transportation at Chang'an University, Xi'an, Shaanxi, 710018, China

2. School of Emergency Management, Shaanxi College of Finance and Economics, Xianyang, Shaanxi, 712099, China

Abstract

With the increasing complexity of urban transportation systems and growing passenger flow volatility, traditional bus dispatching mechanisms can no longer meet real-time and flexible requirements, making it imperative to introduce emerging technologies for optimization. IoT technology's high-frequency, multi-dimensional sensing capabilities, combined with big data's ability to efficiently integrate and deeply mine heterogeneous information sources, provide an intelligent solution for urban public transport scheduling. Taking Xi'an Bus Company 6's Route 18 dispatching as a case study, this paper constructs a real-time dispatch optimization model integrating IoT and big data. The research systematically analyzes current industry practices, demonstrates the practical value of dispatch optimization, and proposes machine learning-based model construction strategies and system implementation approaches through real-world scenarios. These contributions provide technical support and model paradigms for precise urban public transport scheduling and dynamic resource allocation.

Keywords

IoT; Big Data; Integration; Xi'an City; Urban Public Transport; Real-Time Dispatching; Optimization; Research

基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究

程子芮¹ 王伟^{2*} 郭茹苾¹ 张郁涵¹

1. 长安大学长安都柏林国际交通学院, 中国·陕西 西安 710018

2. 陕西财经职业技术学院应急管理学院, 中国·陕西 咸阳 712099

摘 要

随着城市交通系统日趋复杂与客流波动性增强,传统公交调度机制已难以满足实时性与灵活性要求,亟需引入新兴技术予以优化。物联网技术具备高频率、多维度感知能力,大数据技术则提供多源异构信息的高效整合与深度挖掘能力,两者融合为城市公交调度提供智能化解决路径。本文以西安市公交6公司18路汽车调度为案例,构建融合物联网与大数据的公交实时调度优化模型,系统分析当前研究现状,论证调度优化的现实价值,并结合实际调度场景,提出基于机器学习算法的调度模型构建路径与系统实现策略,为城市公交精准调度、资源动态配置提供技术支撑与模型范式。

关键词

物联网; 大数据; 融合; 西安市; 城市公交; 实时调度; 优化; 研究

1 引言

城市公交线路的运营管理一直是一个复杂而困难的问题。传统的公交调度方法往往依赖于静态的时间表和经验判断,无法准确地预测和应对交通拥堵、客流高峰等问题。而随着物联网、大数据等技术的发展,利用这些技术实现城市

公交线路的实时监控与优化调度成为可能。如物联网技术的支持下,城市公交车辆可以通过GPS等定位设备实时上传位置信息,乘客可以通过手机App或公交站台的显示屏实时获取公交车的到达时间和位置^[1]。而借助于大数据的集成处理能力,可实现多维动态信息实时采集与智能调度决策,为构建高效、智能、适应性强的公交调度体系提供技术支撑。

2 研究现状

在智能交通系统建设背景下,国内外针对公交调度优化的研究逐步从静态模型走向实时动态优化,物联网与大数据融合成为当前研究的热点方向。国外研究起步较早,主要集中在车载传感器数据采集、GPS定位与实时路径优化方面。

【课题项目】基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究(项目编号300102365821)。

【作者简介】程子芮(2006-),女,中国陕西商洛人,本科,从事交通运输研究。

如部分研究基于车载通信与深度学习优化调度策略,同时也有研究人员提出联合优化模型整合线路规划与实时调度;国内研究近年快速跟进,部分研究人员利用GPS与加速度传感器获取公交运行数据,而一些研究则从天气、节假日等多因子入手构建调度模型。但整体而言,多数研究仍存在以下不足:一是数据来源结构单一,缺乏融合社会活动、气象等外部变量;二是调度模型多依赖静态优化,难以应对实时客流与道路变化;三是系统开发层面尚缺面向实际应用的调度辅助系统。在西安市公交系统中,尤其是6公司18路线路,当前调度方式仍以静态排班为主,尚未实现感知-处理-反馈一体化的智能调度流程。为解决此类问题,亟需融合物联网高频采集机制与大数据集成分析能力,构建适配复杂城市交通环境的实时公交调度系统^[2]。

3 基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化价值

当前我国机动车保有量不断增加,城市交通拥堵和空气污染问题日趋严重,而提高公共交通的使用效率就是解决这些问题的一个有效方式。然而当前城市公交调度模式存在着响应慢、频率低以及不能准确应对客流突发性变化的特点。但随着科技迅猛发展,物联网加大数据的调度系统能够实现运行状态的实时感知和主动响应,从而促使城市公交系统实现快速反应。简单而言,一方面可以利用物联网车载终端和站点的设备获取高频度的数据信息,例如:车辆的速度、车上的乘客数量、到站停留的时间等重要数据;另一方面可以通过大数据平台调用不同的结构化数据源,如交通流、天气情况和历史客流量等异构数据,并且根据算法模型计算出适用于各种场景的调度策略。本文基于西安市公交公司6公司的数据接入及技术积累,随后结合实践在原系统的基础上从静态排班推动其实现实时动态调度,使系统的调度更加灵活。同时基于创新层面而言,基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化突破了以往系统封闭、决策滞后的问题,通过该调度算法、仿真模型以及决策系统等联合不仅实现了调度平台的智能化决策,同时解决了城市交通的“高频变化+多因素干扰”难题,从而有效提高了公交车辆的周转效率和准点率。

4 基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究

4.1 多维公交数据采集系统设计

在基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究中,面向多源异构数据的高频率感知与高可用性采集系统构建是核心技术环节。针对西安市公交运行环境与客流特征,需设计集成式多维公交数据采集系统,构建以车载边缘终端与站点智能节点协同运行的分层感知架构。在车载侧,选取18路公交线路作为试点,安装高精度GPS定位模块(误差<3m)、惯性导航系统(INS)与三轴加速度传感器,

用于实时采集车辆位置、运行速度、加减速行为等关键动态指标;同时部署基于毫米波雷达融合热成像技术的载客量识别模块,实现车内客流密度的动态检测与分布建模。站点侧建立人流量识别的边缘感知终端,集成红外人体感应计数器以及高帧率摄像头,利用YOLOv5深度学习模型实现候车人数识别和排队状态动态标定;另外一方面,在保证高峰期数据传输高稳定性和高吞吐量的前提下,使用5G SA组网并通过MQTT协议进行低时延、高可靠性的数据上传,同时部署边缘网关完成数据本地化预处理及异常数据的初期筛选工作,避免了核心网的数据压力^[3]。此外,站点与车上采用基于LoRa和Wi-Fi的混合组网方式构建微基站通信方式,进行区域协同信息交互,加强了感知节点间的时空一致性。最后,所有原始感知数据均采用JSON标准格式封装后传输到Kafka流式平台入库中心数据湖,进行结构化、半结构化的入库与标注,从而服务于公交调度优化模型的数据底座,为公交调度优化模型提供高质量且时空完整的数据源。

4.2 多源异构数据融合处理机制构建

为构建适应复杂城市环境下公交系统调度优化需求的多源异构数据融合处理机制,本文依托物联网技术与大数据平台,面向西安市公交运行实际,设计融合实时性、完整性与可比性的处理架构。首先,基于Apache Spark构建分布式数据预处理平台,对接车辆GPS数据、城市路况监测信息、气象灾害预警信号及历史客流轨迹数据,依托MLlib模块实现噪声剔除、空值填补(如使用K近邻或贝叶斯插值)、异常检测(采用孤立森林算法)、统一时空索引转换与数据格式标准化操作,提升数据处理吞吐能力与一致性。其次,在语义层级实现空间与时间维度的深度融合,通过构建基于地理编码的站点空间映射模型,完成不同来源数据的站点归属一致化处理,同时基于线网结构信息建立多层次线路匹配机制,并融合统一时间标注机制,通过采取分钟级时间片划分作为时序对齐基础实现异构数据同步融合。特征提取环节采用PCA和KPCA算法对高维特征空间进行压缩,保留道路密度、车速波动、客流集中度等重要的时空指标,继而组成多维冗余的特征矩阵。为描述交通状态及客流行为高度的非线性耦合作用,应用Apriori和DBSCAN算法完成关联模式挖掘以及聚类分析,提取出高频拥堵节点及突发客流峰值事件的共聚特性演化规律,并由此得到一种整体化的数据表征形式,然后将结构化后的信息带入基于图神经网络及Transformer的调度优化模型中进行多源异构数据的动态交通环境下的高效融合及调度模型的训练。

4.3 公交实时调度优化模型构建

调度优化模型的构建需在满足公交企业运营效益最大化与乘客服务体验最优化之间寻求平衡,需系统纳入运营成本、乘客等待时间、车辆调度均衡性、线路载荷分布等约束因子,建立多目标非线性优化框架。结合西安市公交6公司18路线路运营实际,构建模型时首先以“乘客候车时间最

小化”与“单位时间运营成本最小化”为双目标函数,辅以约束条件集合,包括车载容量限制、路段饱和度上限、调度频次阈值及高峰/非高峰时段差异性要素,形成基于现实规则的优化决策空间^[4]。在模型算法层面,引入融合梯度提升树与多层感知器的异构集成架构,前者用于挖掘非线性客流演变规律与节律性趋势,后者针对高维特征间的交互关系建立复杂函数映射模型,以增强对短时交通状态突变的预测能力。输入变量构建以实证数据驱动为基础,核心特征变量包括分钟级客流分布矩阵、历史调度序列、道路通行指数(通过高德地图API与交警平台数据融合生成)、天气等级分类(结合气象局预报模型分类预处理)及节假日标记二值变量等,所有变量通过归一化与时序对齐处理后构成多维时间序列特征张量。输出结果主要包括发车频率向量、分时段首末车间隔时间、车辆投放节奏图与停靠站策略集合。模型训练采用历史运行数据与物联网采集的实时动态数据相结合的双轨制训练机制,并引入滑动时间窗技术对模型权重参数进行增量式更新,以提升模型对突发性交通扰动与突变客流的自适应能力。根据SHAP算法构建特征重要性评价模块,实现模型结构的可解释和稳定,同时通过仿真验证模型行为逻辑,为工程应用作铺垫;基于AnyLogic构建西安市公交6公司18路典型调度断面并运行仿真实验,利用站点积累客流信息设置仿真场景(雨雪天、早晚高峰期、节日前期等),将该模型运用于具有多样性和不确定性因素的实际运行动态环境,在不干扰模型正常运行情况下,持续输出调度命令,并将其与现有调度规则进行对比分析(如发车间隔均值标准差、线路运行总成本、准点率波动幅度、乘客平均等候时间等),以检验其鲁棒性与可迁移性,为实际部署提供理论依据与技术参数参考。

4.4 调度辅助决策系统开发与集成

为实现基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化目标,本文构建了一套调度辅助决策系统,系统集成调度算法、可视化组件与反馈机制,构成“获取—分析—决策—反馈”闭环架构。在系统设计方面,前端基于Vue与Echarts框架构建信息动态可视化模块,通过WebSocket协议与后端建立低延迟通信链路,实现车辆GPS轨迹、站点乘客流量热力图、线路运行状态等调度关键数据的实时展示

与交互。后端采用Flask微服务架构,将调度模型、数据接口、用户指令处理解耦部署,支持模块化拓展与容器化编排。调度引擎核心依托Python构建调度模型接口与多方案生成器,系统接收用户自定义运行参数(如发车间隔、运力调度策略、优先级规则等),随后利用遗传算法、粒子群优化算法等算法生成多种调度方案,同时利用客流预测数据、线路运行约束开展动态仿真评估,以实现不同方案可视比分析^[5]。以IoT数据回传为基础构建了反馈模块,具体为:公交车载终端实时采集车辆运行轨迹、站点上客人数、到站时间偏差等运行实时数据,并将乘客通过APP上传的乘车拥堵体验反馈等感受信息一并收集起来组成调度执行效果数据库,为调度模型高频次在线提供训练样本以及支持模型参数更新和模型结构自适应演化。在系统运维层面集成Docker、Kubernetes实现跨平台部署及弹性伸缩,并建立分布式数据库备份机制以及高并发压力模拟模块,保证多终端并发情况下的高可用性与调度响应实时性。

5 结语

基于物联网和大数据融合的公交实时调度优化不仅是提高城市公共交通服务水平的主要路径,同时也是智慧交通的重要组成部分。本文从西安公交6公司18路调度的实际情况出发,提出构建多源数据采集、智能调度建模和系统集成为一体的公交车调度优化体系,研究发现采用融合式的架构可以做到对公交调度更加精准及时的部署和应对,避免过多的资源浪费,实现更好的调度效率以及乘客体验。

参考文献

- [1] 王增鑫,孙锐.利用物联网技术实现城市公交线路实时监控与优化调度[J].人民公交,2024(17):75-79.
- [2] 王增鑫,孙锐.城市公共交通智能调度系统设计与实现——基于物联网与大数据技术[J].人民公交,2024(13):89-93.
- [3] 王成杰,徐九韵,朱兰芳,等.物联网数据融合的动态队列感知CSMA调度方案[J].计算机与数字工程,2023,51(1):181-185.
- [4] 公维杰,黄钰婷.基于物联网的公共交通客流预测研究[J].人民公交,2024(11):77-82.
- [5] 张聪.智慧城市多维感知数据预测与公共资源调度技术研究[D].北京邮电大学,2022.

Problems and Countermeasures of Suburban Road Maintenance and Management

Chuncheng Zhu

Jinhua Xinchang Highway Maintenance Engineering Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

Abstract

This study focuses on suburban highway maintenance management, identifying critical issues including flawed planning frameworks, funding shortages, inadequate modern equipment adoption, non-standard project initiation and documentation processes, nascent smart management systems, and mismatched technical expertise. To address these challenges, the research proposes comprehensive solutions such as merging municipal and highway maintenance agencies, establishing dedicated fiscal allocations, implementing digital platforms, developing specialized maintenance blueprints, leveraging data-driven project management, formulating rational maintenance plans, and expanding professional workforce development. These measures aim to enhance maintenance standards, ensure optimal operational performance of suburban highways, and provide robust transportation infrastructure that supports regional economic growth and public mobility needs.

Keywords

Maintenance Management; Suburban Highways; Challenges; Solutions

市郊公路养护管理问题及对策

朱春程

金华市鑫畅公路养护工程有限公司, 中国 · 浙江 金华 321000

摘 要

本研究把市郊公路养护管理当作研究对象, 深入查找了当下存在的规划与计划体系有漏洞、资金不足状况、现代化设备应用水平低、工程立项及建档不规范、智慧化管理刚启动、专业化养护技术和力量不匹配等问题, 针对这些困扰, 提出了包含将市政与公路养护机构进行合并、开展财政专项投入安排、采用数字化平台应用、编写养护专项规划大纲、让养护项目管理依靠数字统计、合理地制定市郊公路养护计划以及加大专业化队伍建设规模等的一系列对策, 目的是增进市郊公路的养护管理水准, 维持市郊公路良好的营运状态, 为所在区域经济发展和居民的出行需求提供优质的交通基础保障。

关键词

养护管理; 市郊公路; 问题; 对策

1 引言

市郊公路充当连接城市与乡村的关键交通纽带, 对推动城乡经济互动、方便居民出行以及促进区域一体化发展等方面起到关键作用, 随着交通流量逐步加大、使用时间延长以及外界环境因素的牵扯, 市郊公路的养护管理面临大量棘手的挑战, 怎样实际处理好这些状况, 保证市郊公路性能不错、服务质量达到要求, 成为了当下交通领域急切要关注并处理的核心事项。

2 市郊公路养护管理存在的问题

2.1 规划与计划体系不够健全

市郊公路养护一般欠缺系统与前瞻的规划, 未能充分

考量区域发展的走向、土地利用的改变情况以及交通流量增长的预测等多方面内容, 尤其是当部分城市周边新开发区域不断拓展的情形下, 市郊公路规划未预先留出充足的容量及升级空间, 造成后续交通拥堵状况反复出现, 难以招架日益上涨的通行需求, 规划实施时对不同路段的功能定位不够清楚明晰, 欠缺跟各路段特征契合的差异化养护方式, 造成养护工作在针对性及有效性上缺失。

市郊公路养护屡屡出现养护计划精准性与灵活性不足的情况, 在制订养护计划的阶段, 多依靠惯用经验和粗略的核算, 缺乏对各路段真实的路况、病害程度以及交通流量实时变化状态的精准研判, 引起养护计划的资源分配不合理现象, 也许会产生对病害较轻的路段过度实施养护的现象, 而对急需治理的重点路段投入不足的情形, 计划缺少随机应变的灵活性, 难以依据极端天气导致的公路毁坏、重大活动临时增添的交通压力等突发情形及时做出改动, 影响到养护工

【作者简介】朱春程（1980-），女，中国浙江金华人，本科，工程师，从事公路养护工程研究。

作开展的及时性与总体实施效果。

2.2 经费得不到足额保障

市郊公路养护资金基本上是靠政府财政拨款,资金筹措渠道极为单一,并且存在没有进行科学预算管理和严格资金监管机制的情形,部分养护资金在运用时存在不合理情形,地方财政当分配资金的时候,一般由于要兼顾不少社会事务,难以给公路养护提供充裕的资金支撑,尤其是在部分经济发展滞后的地带,财政紧张的情形愈显突出,造成公路养护经费方面的缺口极大,难以满足日常巡查、病害整治、设施替换等全方位的养护期望,导致公路老化、损坏的状况无法迅速处理,不断积累且干扰到公路的正常工作。

2.3 现代化设备应用水平较低

众多市郊公路养护设备的更新换代进度滞后,部门还是借助老旧、落后的机械设备做事,新型现代化养护设备的配备未达到既定要求,就算已引进了部分现代化的器械,依旧面临设备配套不完整以及操作人员技能不足的状况,极有必要引进先进的激光雷达检测设备、探地雷达之类的设施,快速精准地探寻出路面内部结构病害及隐蔽损伤。部分设备要特定的辅助设施、耗材加上软件的支持才行,才能把最优性能发挥到位,但在现实的养护工作里面,这些配套条件往往不易达成满足,阻碍了设备功能的施展;养护人员欠缺针对新设备操作技能的系统培训课程,没办法对设备操作流程及维护要点熟练掌握,让设备在使用的时候容易出故障,或者无法充分发挥其本该有的功效,进而造成整体养护作业水平下滑。

2.4 工程立项和建档不够规范

市郊公路养护工程在立项阶段出现手续复杂、流程冗长的现象,关联着多个部门的审批与协调事宜,容易让项目推进的速率下降,立项阶段缺少充分的可行性研究以及科学的论证工作,对项目必要性、技术方案、经济效益等方面的分析缺乏深度与周全考量,造成部分立项的项目在实施之际才发觉与实际情形不相符,老是出现设计调整、预算超支的情形,甚至会影响到工程进度的整体推进,还可能引发资源的浪费以及质量隐患。

养护工程档案管理工作看上去比较薄弱,缺少统一又规范的档案管理的制度与标准,档案资料收集存在一定缺漏,显现出关键文件缺失、数据记录不精准等情形,这造成后续在对工程历史资料信息进行查询、对质量问题进行追溯、对实践经验进行总结以及为新养护项目提供参考依据时困难极大,对养护管理工作持续改进、科学决策造成不利局面。

2.5 智慧化管理尚处于起步阶段

市郊公路智慧管理的实施,基础是把数据做全面准确的采集,但市郊公路沿线一般来说都缺乏传感器等数据采集的仪器,没办法实时取得像路面状况、交通流量、气象环境这样的多维度数据,部分已采集的数据分散到多个不同的部

门或系统里面,欠缺恰当的整合手段,较难打造出统一的、可做分析利用的数据库,导致养护管理部门无法全面洞悉公路的实时运行态势,难以凭借数据对养护决策形成有力支持。由于没有专业的大数据分析人才以及配套的先进技术与平台,较难针对海量数据进行深度挖掘及有效分析,不易从数据当中萃取到有价值的信息片段,进而不容易达成依靠数据驱动的精准养护决策以及主动养护管理模式,养护工作多数依旧处于被动应对的情形,不易提早预防且高效处理公路出现的各类困扰。

2.6 专业化养护技术和力量需加强

市郊公路养护行业当下正碰到专业技术人才稀缺的形势,尤其是掌握先进养护技术、精通智能化设备使用以及具备信息化管理能力的复合型人才极为短缺,现有的养护人员队伍里面,多数人员专业知识结构单一的迹象明显,匮乏系统的专业教导,面对逐渐复杂的公路病害以及不断创新的养护技术要求时,经常觉得力有未逮,难以保证养护工作实现高质量开展。面向养护人员实施的培训工作有诸多毛病,培训体系在系统性及目标针对性方面不足,培训内容未跟上时代前进节奏,赶不上养护技术不断升级的节奏,培训方式大体单一,多数采用理论讲授的方式,缺少实践操作加上案例分析的环节,造成培训的效果不好,养护人员业务能力提升的进程十分缓慢,难以达成现代化公路养护管理对专业人才的要求。

3 市郊公路养护管理的对策

3.1 合并市政与公路养护机构

(1) 整合资源,优化配置

把市政跟公路养护机构组合到一起,可消除各部门之间的壁垒,做到人力、物力、财力等资源的深度聚合调配,实施各类养护机械设备的统一调配举措,杜绝重复采购引发的资源浪费;对技术人员进行统一管理与恰当的分工安排,按照各路段的养护需求组成专业化的养护团队,让各类人才的专业本领得以施展,增进人力资源的利用效率,采用整合资金渠道的做法,聚焦财政资金投放,可使有限资金发挥出更可观的效益,应对养护工作对资金的需求。

(2) 简化流程,提高效率

合并后的机构能对原有的复杂管理流程及协调机制进行简化工作,降低各部门间的沟通开销,降低互相推诿的情形,设立统一的指挥调度格局,明晰各部门跟岗位的职责边界,倘若遇到公路养护所关联的问题或突发事件,可以迅速做出反馈,赶紧调配资源实施处置,增强养护工作的执行成效与应急处置能力,保障市郊公路实现常态化运营。

3.2 建立资金保障机制

(1) 拓宽资金来源渠道

增加对市郊公路养护的财政扶持强度,开办专项的市郊养护资金,跟着将其列入财政预算范畴,维持资金供给的

稳定性,主动摸索多元化的资金筹集手段,引导社会资本投入到公路养护项目里,扩充资金来源的渠道范畴,缓解财政重压,为市郊公路养护给予充裕的资金支撑。

(2) 加强资金监管与绩效评估

构建健全严密的资金监管体系,采用信息化技术对资金从拨付到使用的全阶段进行实时管理,保证资金按既定指定用途使用,杜绝产生挪用、截留等违规举动,构建科学恰当的资金绩效评价体系,按周期对养护资金使用效果进行评估,按照评估所得结果调整资金分配与使用的相关策略,提高资金使用的成效及效益,让每一笔资金都能切实转变为公路养护质量上扬。

3.3 搭建数字化平台

创建针对市郊公路养护的数字化平台体系,汇聚地理信息系统、物联网、大数据等前沿手段,对公路的基础信息、实时路况数据、养护历史记录等开展统一汇总整合,构建一个全面且可视化呈现效果好的数字管理平台,依托这个平台,养护管理部门不管什么时候都能全面掌握公路运行情形,让养护工作借助信息化、智能化实施管理。采用数字化平台开展数据分析,对收集到的海量数据进行深度挖掘及分析,预估病害频发的路段及对应时段,提早拟定针对性的养护安排;参考实时路况的相关数据,恰当分配养护资源,实现对公路病害的精准定位并迅速修复,提高养护工作准确把握与及时处理本领,减少养护费用支出,增强公路的综合服务水平。

3.4 编制养护专项规划

攒聚专业的规划人才,统筹考虑区域发展规划、预估的交通流量、土地利用的改变以及市郊公路目前状况等多方面要素,拟订科学恰当的市郊公路专项养护规划,规划内容需包含短、中、长期的养护目标、重点养护路段、养护技术标准及相应的资源部署方案等,保障养护规划与区域发展及交通需求相符合,拥有系统性、前瞻考量与实际操作的可实施性。形成养护专项规划的动态调整体系,按设定周期对规划实施状况进行评估与反馈,参照公路实际的运营态势、周边环境的变迁以及新技术、新要求的显露,快速对规划作出调整与完备,依靠不断革新养护规划,让其可以更到位地指导市郊公路养护工作,保证公路始终维持良好的性能水平。

3.5 编制市郊公路养护计划

综合考量季节的变换更迭、交通流量的一般规律、公路病害的明显特征以及不同路段的重要意义等因素,制定完善的年度、季度跟月度养护计划,依据不同路段的交通重要度及路况等级,恰当配置养护资源,优先实现关键路段的养护期望,提升养护计划的针对性及可实施效果,构建养护计

划的动态优化体系,持续留意公路实际运营时所出现的突发状况以及路况的改变情形,迅速对养护计划做调整及优化。

3.6 加大专业化队伍培育

主动招纳公路养护相关专业的高水平人才,尤其是拥有多学科知识结构的综合型人才,就像那些懂得公路工程技术的,同时懂得信息化管理、可操控智能化设备的人才,采用提供吸引人的薪资福利、可观的职业进步空间等条件,拉拢杰出人才加入市郊公路养护队伍,从根本处提升队伍整体的专业水准与技术层级,为养护工作高质量实施搭建人才支撑。形成全面的培训体系架构,给处于不同岗位、不同层次的养护人员制订有针对性的培训规划,培训内容应当涉及公路养护专业知识、现代化设备操作技巧、信息化管理系统运用以及职业道德等多个范畴,采用多元化的培训途径,诸如理论讲授、实地实践、线上学习、案例阐释等方式配合,按时召集养护人员开展培训,一直拓展他们的知识边界,增进其业务操作本领和综合水平,造就一支专业化、高素质的市郊公路养护骨干力量。

4 结论

市郊公路养护管理工作质量的高低水平,直接涉及到公路的服务情形与有效使用时长,也会在一定程度上影响城乡经济交流以及居民出行的便捷程度,市郊公路养护管理存有规划计划体系不完整、资金不充裕、设备应用水平不高、工程管理不正规、智慧化管理滞后、专业化力量薄弱等问题,这些问题迫切需要用有效对策解决掉。

通过推进市政与公路养护机构合并工作进程、投入财政专项资金资源、启用数字化平台应用、制订养护专项规划细则、按照数据情况管理养护项目、科学合理安排市郊公路养护计划以及加强专业化队伍培养等一系列举措,有利于实现资源配置的优化合理、保障资金有效投入、提高养护工作信息化与智能化程度、规范工程管理以及强化人才队伍培育,进而全面提高市郊公路养护管理的整体水平,保证市郊公路呈现良好的运营情形,更贴合地满足区域经济进步和社会民生的要求,推动市郊公路养护管理向高质量迈进,为城乡发展架起更牢靠的交通桥梁。

参考文献

- [1] 胡远林.公路养护工程中的预防性维护与修复策略[J].运输经理世界,2024,(19):135-138.
- [2] 谷宁.企业人力资源管理中员工培训的优化[J].建设监理,2024,(S1):34-36.DOI:10.15968/j.cnki.jsjl.2024.s1.040.
- [3] 刘颖,张鹏,肖春阳.关于新时期强化公路养护资金保障的调查研究[J].交通运输部管理干部学院学报,2023,33(01):3-5+15.

Discussion on Safety Management of Employee Transportation Vehicles

Jun Meng

Sinopec Nanjing Chemical Industry Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

With the development of society and the acceleration of urbanization, employee transportation vehicles have become one of the essential means of transportation in cities. In the daily management process, due to the negligence and inadequate management of management personnel and vehicles, road traffic accidents have occurred, posing a serious threat and damage to the safety of people's lives and property. Therefore, employee transportation vehicles. Its safety management is directly related to the economic benefits of the enterprise and plays an important role in the entire operation process. In order to strengthen safety production work, clarify the scope and subject of responsibility, and improve the level of employee traffic safety management, it is very important. Based on this, this article explores and studies the safety management of employee traffic vehicles.

Keywords

employee transportation vehicles; Safety management; management methods

职工交通车安全管理探讨

孟军

中国石化集团南京化学工业有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘 要

随着社会的发展, 城市化进程的加快, 职工交通车已经成为了城市中必不可少的交通工具之一。在日常管理过程中, 由于管理人员及车辆的疏忽和管理不到位等原因, 导致了道路交通事故的发生, 对人民群众生命财产安全造成了严重威胁和破坏。因此, 职工交通车其安全管理直接关系到企业的经济效益, 在整个运营过程中起着重要的作用, 为了加强安全生产工作, 明确责任范围、责任主体, 提高职工交通车安全管理水平则显得十分重要, 基于此, 文章对职工交通车安全管理进行了探讨和研究。

关键词

职工交通车; 安全管理; 管理方法

1 职工交通车安全管理相关概述

职工交通车是指公司接送乘车人上下班、不以盈利为目的、有固定的时间和行驶路线的交通车, 一般以大客车为主。乘车人是指符合乘坐公司交通车条件并办理乘车卡的公司职工、改制单位职工、外协单位人员。职工交通车可以为企业职工上班、通行提供更多的便捷, 是提高企业凝聚力向心力的重要手段, 而在职工交通车运行的过程中加强安全管理是十分必要的。

职工交通车驾驶员要遵守交通法规, 文明行车; 严格按照规定使用和保养车辆, 严格遵守交通规则, 按交通标志通行; 还要认真执行安全操作规程, 不超载超员, 按规定使用安全装置的车辆; 不准疲劳驾驶, 坚持在规定路线上行驶,

不酒后驾车, 不开赌气车^[1]。

2 职工交通车责任主体

第一, 驾驶员: 负责本车职工上车检查、驾驶交接班, 并对乘客进行安全提醒。在车辆驾驶的过程中应遵循交通规则, 按照规范要求使用安全装置, 保障车辆运行的安全性。

第二, 安全员: 负责组织本单位职工交通车日常运营管理工作, 保证运行安全和服务质量, 督促驾驶员遵守《客运线路安全检查》和《客运线路运营管理办法》等规定。

第三, 调度员: 负责本单位所有职工交通车的日常运行调度工作, 做好发车准备工作及车辆出站时检查工作。

第四: 车长: 严格落实《安全生产法》要求, 确保所有职工交接班工作顺利进行, 杜绝安全事故发生。

第五, 车辆管理人员: 做好本单位乘车人员的乘车管理工作, 发现不符合规定的行为及时处理, 并向分管领导反映。

【作者简介】孟军(1980-), 男, 中国江苏南京人, 助理政工师, 从事行政后勤管理包含交通车、单身宿舍研究。

3 职工交通车安全管理内容

3.1 乘车人乘车

- (1) 乘车人必须持公司乘车卡依次刷卡乘车。
- (2) 遵章守纪, 遵守公共道德, 文明乘车, 讲究卫生, 不争抢座位, 不弄脏座椅, 服从驾驶员和车长管理。
- (3) 按规定线路和规定时间乘车, 不得随意串线, 不得催促驾驶员提早发车。
- (4) 上车前不饮酒, 车上禁止吸烟和吃带皮壳的食物。
- (5) 不得携带危险品、易燃易爆品和违禁品乘车, 不得向车外抛洒物品, 不得有影响驾驶员安全驾驶的行为。
- (6) 爱护公物, 不得破坏安全锤、安全带等车辆设施。
- (7) 不得与驾驶员发生冲突, 有矛盾可向车长或行政事务中心反映。
- (8) 车辆运行中发生线路超员需驳载时, 乘车人应给予理解与配合。

3.2 车长乘车

发挥好信息员、监督员和调解员的作用, 协助驾驶员做好车辆运行管理, 做好问题和矛盾的协调处理工作, 维护好交通车正常的运行秩序。

- (1) 主动管理、敢于管理, 维护好交通车运行秩序, 并起到表率作用。
- (2) 协助和督促驾驶人员做好乘车人刷卡乘车, 以及忘带卡、卡遗失与故障卡等乘车人身份确认登记工作, 做到人证相符, 不漏刷、不流于形式, 严禁出现无证人员或外单位人员乘车^[2]。
- (3) 管理乘车人按时按点, 文明乘车, 不得争抢座位。积极协调与化解驾驶人员和乘车人之间, 以及乘车人之间乘车时发生的各种矛盾。
- (4) 管理乘车人自觉养成良好的卫生习惯, 禁止吸烟、乱丢垃圾和吃带皮壳的食物。不得发生弄脏座椅枕套的行为。
- (5) 管理乘车人爱护车内设施, 不得发生损坏座椅, 安全带、安全锤、扶手等设施的行为。
- (6) 管理乘车人不得携带危险品、易燃易爆品和违禁品, 发现乘车人饮酒乘车的, 有权拒绝乘车人乘车。
- (7) 必须做好车辆出车、在运和入库等车况检查, 保持车辆完好, 整洁卫生, 不让病车运行。
- (8) 必须管理驾驶人员态度和蔼、服务周到, 不与乘车人发生冲突, 并填写好每天的车辆运行日志。

3.3 承运单位

公司委托永元公司组织职工交通车的承运工作, 永元公司在提供职工交通车服务过程中必须遵守以下管理规定:

- (1) 必须定期对驾驶人员进行体检, 定期组织驾驶人员安全学习与培训, 以及公布驾驶人员姓名、监督电话, 确保驾驶人员身体健康、持证上岗、遵守交规、接受监督。
- (2) 必须加强运行车辆 GPS 监控管理, 按照公司规

定的交通线路、车次、发车时间、停靠站点等接送职工上下班, 负责本单位职工交通车安全管理工作, 对本单位所有职工乘坐交通车的行为负责, 确保车辆运行安全。

4 职工交通车安全管理措施

4.1 积极落实监督检查制度

公司每月至少进行一次对职工交通车安全的监督检查, 内容包括: 安全管理制度是否落实, 工作现场、车辆及相关设备是否按要求设置安全警示标志; 应急救援预案是否制定; 人员、车辆、行车等有关内容; 以及车辆运行状况是否良好。另外, 检查要实事求是, 不走过场, 发现问题必须记录在案并及时处理^[3]。发现问题时, 检查人员要对有关责任人员进行批评教育, 对不听劝阻的要予以处罚。在检查过程中发现有违章违规行为应予以纠正处理。检查结束后要及时将有关情况记录在案并按规定进行整改, 完毕后方可进行下一次的检查。要保障每项措施的落实情况各项安全制度制定的完整, 并且由相应部门负责监督。

在监督检查上应建立完善的规章制度, 以确保监督检查的规范性和有效性。在规章制度建设的过程中除了需要明确监督检查的内容以外, 还需通过规章制度的完善和调整来明确监督检查的方式以及监督检查的频次。为了确保各项规章制度能够切实落实到位, 可以通过定期检查、不定期抽查、专项检查等多种方式来及时的发现制度在执行过程中遇到的问题和落实过程中存在的不足, 分析相应的解决对策和处理方法。若在监督检查过程中遇到无法有效解决的问题, 可通过召开大会, 由骨干人员进行沟通交流。讨论相应的解决对策, 群策群力解决安全隐患。此外在监督检查工作落实的过程中, 需要做好数据记录为后续的规章制度完善及监督检查重点调节提供更多的参考与借鉴。在此基础上可建立责任机制、奖惩机制与监督检查机制形成制度联动, 实现闭环管理。在监督检查中遇到的问题都需要通过责任机制追溯到相关负责人, 要求负责人做出整改, 若负责人不能在规定的周期内完成整改工作则需要根据奖惩机制追究责任, 这样相关工作人员在实践工作落实的过程中也会自觉遵守规章制度, 从被动转变为主动, 提高规章制度管理成效。

4.2 设置应急处置程序

接到企业发生事故报告后, 立即向上级主管部门报告, 并迅速通知企业有关人员。根据事故等级、级别及事故现场情况, 下达安全事故应急处理指令, 组织现场人员立即实施应急救援处置措施^[4]。一旦发生安全事故, 要立即启动本单位安全生产应急救援预案, 迅速、有效地组织开展救援工作。根据突发事件的性质、程度和可能造成的危害程度, 划分为一般、较大、重大和特别重大四级, 并迅速向上级主管部门报告, 组织抢险人员对事故车辆进行紧急救援(现场清理、技术检验)。

在应急处置程序确定的过程中需坚持动态完善原则,

即需要定期复盘,分析应急处置程序是否完整、有效,并通过实践演练等多种方式来及时的发现应急处置程序中存在的欠缺和不足,对其作出优化和调整。这就需要明确应急处置程序反思、调整的周期及规定要求,不断更新程序,完善程序。有条件的情况下可通过虚拟现实技术等相应现代化技术来对应急处置程序进行模拟分析,及时的发现其中存在的欠缺和不足,明确优化路径和改革方案。此外,在应急处置程序确定的过程中也需要紧跟时代和技术发展的步伐来不断的对其做出优化和调整,例如充分发挥互联网技术、视频监控技术、GPS技术等相应现代化技术的技术优势对应急处置流程作出进一步的精简化,提高其处置效率和处置能力。

4.3 加强对安全管理风险防控

随着职工交通运输的不断发展,职工客运业务规模不断扩大。如何将安全风险管控措施贯彻到业务工作中去,是对安全管理人员的一项严峻考验,也是实现职工交通安全的重要保障之一,因此必须加强对职工交通车的安管理工作,建立起科学、合理、规范的交通车管理制度和流程体系,制定完善的措施、作业标准流程、强化现场检查监督等一系列措施,有效地提升职工交通车安全管理水平和风险管控能力。

在安全风险防控方面需要抓住如下几个关键要件,提高风险防控能力和防控水平。首先,需要做好数据收集整合和分析,明确职工交通运输过程中存在的常见风险,了解不同风险的构成原因、解决对策,对风险进行分级分类处理,同时还需要根据不同风险所带来的损失对风险进行分级分类处理,可以建立三级风险预警体系,针对不同风险确定响应路径和解决对策。例如,风险相对较低、所造成的影响相对较小,则需上报处理由维修人员或相应的管理人员来分析接下来的制度更改方向以及维修处置工作的落实方向。风险相对较高则需要停止交通运输,让相关工作人员及乘客及时撤离至安全区域,对各类问题进行解决。若风险极高则需要通知相关部门第一时间启动应急预案和管控对策,做好人力资源和物质资源的调取,为风险处理提供更多帮助,直至风险消失以后才可以正常运输。其次,在风险体系构建完善以后还需要紧抓风险预警监测这一关键要件来展开分析。可通过物联网技术、传感器技术等相应现代化技术的有效应用实时监测车辆的运行状态,配合人工智能技术,当监测数值超出安全阈值范围以后系统则会出自动触发警报,并将报警信息发送给相关工作人员,由相关工作人员分析解决对策和处理方法。最后,在应急预案确立的过程中除了需要提前分析常见的风险及不同风险的应对策略以外,还可以借助专家系统和人工智能技术,在传感器及物联网识别监测到安全风险

隐患以后系统会自动触发警报并提取风险的关键词,对接数据库,启动相应的应急预案,同步给相关管理工作人员,这样风险管理能力会再上一个台阶,相关工作人员可以在出现安全风险时第一时间做出更准确、科学且有效的反应。

4.4 加强对安全带佩戴的管理

督促乘车人员要正确规范佩戴好安全带,安全带可以在汽车意外发生时对乘车人员起到固定在座位的作用,即使有安全气囊也是对系好安全带的人有保护作用,没有系安全带的人在汽车碰撞时由于惯性的力量会猛烈移动,安全气囊甚至会对没有系安全带的人造成严重伤害,因为安全气囊弹出速度非常快,力量也不是一般的大,会把没有系安全带的人弹向任何可能的方向造成伤害;在汽车发生事故时没有系安全的人大部分都没有后悔的机会,因为没有系安全带的人事故发生后大部分人都没了,所以要督促乘车人员,不管是司机还是乘车人员,包括坐在汽车后排的人员,乘车时一定要记得系好安全带。

针对于安全带佩戴问题可从如下几点着手加强管理,提高管理质量和管理效能。首先,需要通过加强培训引导的方式帮助乘客及相关工作人员明确安全带的重要性与影响,提高对行车安全的关注和重视,通过加强观念意识教育的方式让乘客及相关工作人员自觉佩戴安全带。其次,可通过视频监控、传感器响应等多种方式栏进行加强外力约束,例如在汽车行驶期间若乘客或司机并未佩戴安全带,汽车则会发动警告响声,这样无论是乘客还是司机都会自觉佩戴安全带。最后,可以通过规章制度建设来加强行为约束,例如若未按照规定要求佩戴安全带,被检查发现时则通过处罚、警告等多种方式进行处置,这样相关工作人员在乘车的过程中也会自觉佩戴安全带。

5 结语

综上所述,随着我国城市建设不断推进,道路交通工具也逐渐增多,为了有效减少道路交通事故的发生,就必须加强职工交通车安全管理。通过积极采取积极落实监督检查制度、设置应急处置程序、加强对安全管理风险防控等一些系列的管理措施,保障职工交通车行驶的安全性,减少道路安全事故风险的发生。

参考文献

- [1] 杨钧月,代富红,周捷.高校校内交通车路线及站点规划方法研究[J].山西建筑,2016(6):19-19,20.
- [2] 广西首个智慧交通车路项目开工[J].广西城镇建设,2019(7):81.
- [3] 颜庆华,陈钊正.智能交通车路协同信息采集方法研究[J].中国新通信,2017(23):53.
- [4] 王金夫.论礼仪教育在交通车管行业中的构建[J].成功:中下,2017(9):94.

Reflections on Strengthening Railway Construction Statistics

Guodong Yao

Shanghai Donghua Regional Railway Development Co., Ltd., Shanghai, 200040, China

Abstract

In recent years, Shanghai Donghua Regional Railway Development Co., Ltd has undertaken local railway projects in the Shanghai Bureau, exceeding 20 billion yuan. Faced with vast projects and frequent construction plans, the company is committed to strengthening construction safety, progress, and quality management. However, the persistent issue of frequent accidents remains, partly due to the relatively low utilization level of statistical data, hindering timely risk assessment. This paper analyzes the current problems in railway construction statistics, including independent system development, rigid statistical processes, the need for improvement in indicator systems, insufficient automation, and a low level of specialization in statistical teams. To address these issues, proposals are put forward, such as advancing the construction of smart construction sites, strengthening the statistics of large machinery, utilizing big data technology, applying artificial intelligence and image recognition technology, and optimizing statistical workflows. Through these measures, Shanghai Donghua Regional Railway Development Co., Ltd aims to enhance the quality and efficiency of statistical work, ensuring effective management of construction safety, progress, and quality.

Keywords

Railway Statistics; Big Data; Construction Plan; Statistical Model

加强铁路施工统计的思考

姚国栋

上海东华地方铁路开发有限公司，中国·上海 200040

摘 要

近年来，东华地铁公司承揽上海局地方涉铁工程超过200亿，面对庞大的项目和频繁的施工计划，公司致力于强化施工安全、进度、质量管理。然而，仍存在事故频发的问题，部分原因在于统计数据的利用水平较低，无法实现及时的风险研判。本文分析了铁路施工统计的现阶段存在问题，包括系统开发独立、统计流程固化、指标体系有待完善、信息自动化不足、统计队伍专业化程度低等。为应对这些问题，提出了推进智慧工地建设、加强大型机械统计、利用大数据技术、运用人工智能和图像识别技术、优化统计工作流程等对策建议。通过这些措施，东华地铁公司旨在提高统计工作的质量和效率，确保施工的安全、进度和质量得到有效管理。

关键词

铁路统计；大数据；施工计划；统计模式

1 引言

近年来，东华地铁公司年承揽上海局地方涉铁工程超200亿，年在建项目400个左右，年均计划施工12470余次。面对施工点多、线长、面广现状，东华地铁公司围绕“强基

达标、提质增效”的总体经营目标和“动态研判、严控风险”的安全生产目标，深入做好施工安全、进度、质量管理。然而在深入落实安全生产责任制度的同时，大大小小的事故还是屡见不鲜，究其原因，不止在于施工安全管理本身的难度上及安全生产管理制度上存在的些许问题，同时，统计数据的利用水平和开发程度相对较低，有价值的数据并未得到及时挖掘，导致大多为事后统计追查，作为查询统计、汇总和简单加工整理，在事中和事前环节上明显发挥作用不足也是间接原因之一。现就如何通过施工统计进行风险研判，重点加强风险工点和关键工序的监督检查，减少安全事故的发生，切实提高安全管理质量效率，结合铁路施工管理具体环节进行一些分析思考，并提出建议措施。

【基金项目】中国铁路上海局集团有限公司科研项目（项目编号：2024183）。

【作者简介】姚国栋（1990-），男，中国江苏南京人，本科，工程师，从事铁路施工计划管理、邻近营业线工程安全审批、智慧工地建设、安全双重预防机制管理和问题统计分析等研究。

2 铁路施工统计发展现状

上海局集团公司近年来组织研发了营业线施工管理系统、邻近营业线施工系统、天窗修系统等并进一步升级为施工平台、分析平台，从源头上规划了铁路施工管理的具体措施，并规范了计划上报的格式要求、审批及下达的细则和办法，创建和维护了如线名字典、站名字典、里程字典、工器具字典等施工相关的基础字典数据，为统计分析创造了一定积累。安监室组织研发了安全管理信息平台，从检查计划、写实、问题单整改闭环等方面落实干部履职督察，从风险库、隐患库、问题库、措施库等基础字典方面规范填报要求，量化履职考核，结合风险认领、隐患排查等方面落实双重预防机制，并通过统计报表对全局安全管理情况进行统筹量化管理。

3 铁路施工统计职责清晰

上海局集团公司调度所内设立了特设施工管理办公室，这有助于有效管理和协调施工计划、施工预案、安全控制以及其他与施工相关的任务。施工计划室负责制定和管理铁路施工计划；确保施工计划的准确性和及时性；协调不同计划台的施工计划，以满足高质量发展的需求。施工调度室负责协调施工项目的日常调度工作；确保施工进度符合计划并与其他运营活动协调一致；处理突发事件和调整计划。施工分析室负责分析施工数据，包括进展、资源分配和质量管理等；提供有关施工项目的详细报告和分析，以支持决策制定；协助改进施工安全、质量和进度。部门协同工作，以确保铁路施工计划的管理和统计工作得以清晰协调。施工分析室强化了数据的分析和应用，有助于支持高质量发展的目标，为决策制定提供更多数据支撑。这种结构有助于提高统计工作的效率和精确度，确保铁路施工的顺利推进和安全可控。

4 现阶段施工统计存在的问题

4.1 系统开发相对独立，资源共享存在瓶颈

铁路施工系统的开发相对独立，各类信息系统之间的连通性不高。不同系统的建设较为分散，缺乏统一管理，这导致大量信息难以有效挖掘和整合。系统之间缺乏共同的数据规范、接口标准和格式，通常依赖自身内部网络运行，数据没有实现共享。这使得不同系统之间难以协调和共享资源，数据汇总和整理变得繁琐。如邻近营业线、营业线、安全信息平台及东华公司自建信息系统各自需求和指标不尽相同，但由于系统之间独立，数据资源不兼容，限制了综合分析的能力。若想进行综合分析，必须花费大量时间在处理数据规范、数据格式的问题上，降低了工作效率。同时，在给出的部分接口上标准不规范，如施工内容、风险点和应对措施大多为纯文本内容，标准不一，不利于统计分析工作的展开。

4.2 统计流程相对固化，未摆脱传统报表体系束缚

目前，铁路施工统计工作仍采用传统的人工报表方式，

数据需经施工单位、监理单位、建设单位、设备管理单位等多层级逐级上报至集团公司。这种流程节点众多，导致数据汇总滞后，难以满足实时决策需求。同时，人工填报和跨部门传递易出现错漏，数据一致性难以保障，影响后续分析的可靠性。此外，纸质报表或简单电子表格的存储方式不利于长期追溯和大数据分析，进一步制约了管理效能的提升。建议推动数字化平台建设，实现数据自动采集、实时共享，减少人工干预，从而提升统计效率与数据质量。

4.3 指标体系有待完善，系统拓展功能和时效性受到局限

随着中国铁路现代化改革深入推进，铁路施工内容和工艺工法不断创新，如智能化建造、BIM技术应用等新兴领域不断涌现，而传统统计指标体系仍以常规施工数据为主，难以全面反映这些新业务的技术特点和管理需求。现有信息系统多局限于基础数据汇总，缺乏灵活的数据建模和智能分析功能，无法有效支撑施工优化、成本预测等深度应用。建议结合行业发展趋势，构建动态化、多维度的统计指标体系，增强对新技术、新模式的覆盖能力，并引入大数据分析技术，提升数据关联挖掘能力，从而为铁路高质量发展提供更精准的决策依据。

4.4 信息自动化尚未全面覆盖，影响统计的及时性和准确性

当前，统计信息的采集大多依赖人工逐级上报和汇总。这一方式相对复杂，且非常耗时，容易导致数据的失真。现代统计发展趋势是利用大数据技术自动采集和自动化处理数据，以减少人工干预，通过直接提取数据源点的信息，从而实现不同专业数据的资源共享，以满足多方面的服务需求。例如施工计划上报中施工内容、风险点和应对措施及关联的人、机械等并没有与现场实际相结合，经常导致计划和实际脱节；同时现场发现的问题要到内网中提报和整改反馈，导致这些环节无法得到及时有效的传递和整改闭环，影响统计及时性和有效性。

4.5 统计队伍专业化程度不高

铁路统计队伍中缺乏专业的分析人员，导致统计工作的质量和深度不足，难以挖掘数据潜在价值。这不仅影响决策支持的准确性和时效性，还可能延误项目进度、增加成本风险。高质量的数据分析是优化铁路建设效率、保障施工安全的关键，而当前统计队伍专业化不足，使得大量运营数据、设备监测信息等未被充分开发。建议通过定向招聘、技能培训及与高校合作等方式，快速提升团队分析能力，同时引入智能化分析工具，确保数据价值最大化，为铁路高质量发展提供坚实支撑。

5 施工统计工作的对策建议

5.1 深入推进智慧工地建设，夯实基础，数据互通

打通邻近营业线计划系统、营业线计划系统、安全信息平台，实现数据交换并进一步进行流程互通，减少中间环

节和沟通成本,提高信息长传下达效率,达到上行下效的目标。深入做好基础数据字典和数据关联,将三个平台的数据字典进行集中汇总管理,并结合智慧工地系统中人员档案库、机械设备库和监理审核的人员报验、机械报验,做到风险研判智能分析,落实一机一人防护,结合智慧工地智能设备,做到重点人员、机械设备的管控,并实时统计如监护人员未到场、机械未经报验、超计划无计划施工等情况,把施工管理落地到项目实地,打造综合平台、创新管控模式、实现动态盯控、建立监管体系,充分发挥技防和统计在铁路施工安全管理中的作用。

5.2 加强大型机械使用情况统计,强化机械施工安全管理

大型机械是涉铁施工最大的安全风险点,根据历来来通报情况统计,各路局发生重大施工安全事故最大的风险来源就是大型机械施工的倾覆和侵限问题。东华地铁公司目前在建的涉铁施工项目进场机械 1071 台,包含 161 种不同类型的机械,其中使用率较高的机械中汽车起重机 250 台、挖掘机 137 台、液压挖掘机 108 台、旋挖钻机 38 台,对于施工安全风险较高的汽车起重机应进一步强化安全监管措施,落实一机一人防护,建立设备台账,进行重点管理。

5.3 利用大数据技术,建立数据统计资源,提高施工统计工作质量效率

大数据技术是现代数据处理方法的汇总,包括数据仓库技术、商业智能分析技术、数据治理等,通过大数据技术,将大量的路内原始信息甚至路外信息进行整合与处理,进一步完善铁路施工数据资源,最终通过数据中心强大的数据处理功能,并按照不同的功能模块生成有价值的信息。根据铁路系统的数据信息量大、内容和结构复杂的特点,采用新型高性能数据仓库系统(基于 MPP 架构的数据仓库系统)与 Hadoop 系统相结合的模式,解决大量的结构化数据管理问题,提供 SQL 和商业智能支持,满足非结构化数据的存储和管理。

5.4 充分运用人工智能和图像识别技术,加强风险工点研判和禁止性行为分析

通过对检查问题、施工计划及风险点等项目部基础数据进行建模分析,强化风险工点的智能研判,对项目进行分级分类管理,对于重点项目、高风险项目和问题项目生成更多的检查计划任务,强化现场管理。同时利用图像识别技术,对大型机械进行建模识别,结合多数据信息融合,对大型机械的报验核验、机械侵限行为进行预警告警,对安全帽、反光衣、人员越界等场景进行训练和分析,做到实时布防,对发生的问题进行有效的统计分析,可以抓住问题重点分析研判,强化薄弱环节的安全管理。

5.5 完善并优化统计工作流程,依托信息技术辅助并提升统计人员专业化程度,解决统计低效能问题

针对目前统计工作流程复杂,基层统计信息化水平薄弱的问题,借鉴政府统计信息化模式,延伸统计信息采集通道,并依托信息技术辅助,对源点数据信息进行直接提取,形成集团公司一六位一体单位-项目部工作模式,减少中间流转环节,既减少基层工作负担,又提高统计工作效率和数据质量。并通过对各数据源点设置提取模块,从局域网接入上层数据库,实现对原始数据的提取汇总,最终实现集团公司领导即时掌握基层数据的目标,也为日常生产经营管理提供十分有效的监督手段。

6 结语

2022 年,东华地铁公司以铜陵北路现场会为契机开始了智慧工地建设,打破系统间的壁垒,实现数据互通,优化工作流程,提高了统计工作的效率和准确性。下一步,将加强大数据、人工智能的运用,通过对检查问题、施工计划及风险点等项目部基础数据进行大数据建模分析,强化风险工点的智能研判,对项目进行分级分类管理,同时利用图像识别技术,对大型机械进行建模识别。通过运用现代化技术,优化工作流程,充分利用数据资源,我们能够为铁路施工管理提供更为可靠、高效的支持,确保施工安全、进度和质量的有效管理。

参考文献

- [1] 华钦.加强施工企业统计工作的有效策略【J】.现代商业,2010,No.204(11):76.
- [2] 孔华.因素分析法在施工统计分析中的应用【J】.价值工程,2014,33(33):121-122.
- [3] 李鹏翱,赵留杰.地铁运营施工统计指标研究及应用【J】.郑州铁路职业技术学院学报,2023,35(03):8-12..
- [4] 姚春桥,王金峰,杨赛,吴贤国,陈虹宇.基于云模型和改进证据理论的盾构下穿铁路安全风险评价【J】.铁道建筑,2021,61(05):60-65.
- [5] 田蕊,黄健陵,陈辉华,杨丁颖.基于贝叶斯网络的邻近既有线施工风险分析【J】.铁道科学与工程学报,2018,15(08):2163-2171.
- [6] 李育家.既有石长铁路施工计划管理及优化研究【D】.西南交通大学,2019(03).
- [7] 李梦晨.基于模糊网络分析法的高速铁路施工质量风险评价研究【D】.西南交通大学,2014(09)..
- [8] 陈跃跃.基于蒙特卡洛模拟的风险指数及其在铁路施工中的应用【D】.兰州交通大学,2011(05).
- [9] 郑相波,姚国栋,史方圆,廖炜炼,马清志.大型施工机械监管系统智能视频分析模型研究【J】.铁路计算机应用,2024,(04):23-29.

Study on energy consumption optimization and efficiency improvement of automatic production equipment for concrete beams in superstructure of high-speed railway Bridges

Jingfeng Lin¹ Lei Wu^{2*} Yunfei Zhao¹ Tie Chen²

1. China Water Resources and Hydropower Fifth Engineering Bureau Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610225, China

2. Shijiazhuang Railway University, Shijiazhuang, Hebei, 054000, China

Abstract

In high-speed railway bridge construction, concrete beams in the superstructure are critical for ensuring load-bearing capacity and stability, which directly impacts the overall performance of bridges. With accelerated railway development, there has been a significant increase in demand for concrete beam production. Although automated production equipment can improve efficiency, reduce costs, and lower energy consumption, existing systems still have considerable room for optimization in energy efficiency. This study examines the current energy consumption patterns and optimization potential of automated production equipment for concrete beams in high-speed rail bridge superstructures based on practical applications. The research first analyzes energy consumption characteristics of automated production processes, proposes optimization strategies through energy management technologies, then investigates the impact of different production stages on energy consumption, and suggests improvement measures including intelligent control system implementation, process adjustments, and equipment optimization. Finally, case studies and experimental data validate the effectiveness of these optimization solutions. Results demonstrate that optimized equipment energy consumption can enhance efficiency, achieve energy conservation and emission reduction, meet environmental protection targets, and contribute to sustainable development in high-speed railway bridge construction.

Keywords

High-speed railway bridges; Concrete beams; Automated production; Energy consumption optimization; Efficiency enhancement

高铁桥梁上部结构混凝土梁自动化生产装备的能耗优化与效率提升研究

林静峰¹ 吴雷^{2*} 赵云飞¹ 陈铁²

1. 中国水利水电第五工程局有限公司, 中国·四川 成都 610225

2. 石家庄铁道大学, 中国·河北 石家庄 054000

摘 要

高铁桥梁中, 上部结构的混凝土梁是保障承载力与稳定性的关键, 关乎桥梁整体性能。伴随铁路建设提速, 混凝土梁生产需求大增。自动化生产装备虽能提升效率、降低成本与能耗, 但现有装备在能耗上仍有较大优化空间。本文基于高铁桥梁上部结构混凝土梁生产实际, 研究自动化生产装备能耗现状与优化潜力。先分析自动化生产能耗特点, 结合能源管理技术提出优化方案; 再研究各生产环节对能耗的影响, 给出智能控制系统应用、工艺调整及设备优化等改进措施; 最后以案例与实验数据验证优化方案效果。结果表明, 优化装备能耗可提高效率、节能降耗、达成环保目标, 助力高铁桥梁建设可持续发展。

关键词

高铁桥梁; 混凝土梁; 自动化生产; 能耗优化; 效率提升

1 引言

高铁桥梁作为现代铁路建设中的重要组成部分, 承载着巨大的交通运输压力, 要求其结构设计和施工工艺达到极

高的标准。随着铁路建设规模的扩大, 尤其是高速铁路的发展, 对桥梁施工的要求也愈加严苛。在这些要求中, 生产效率、成本控制和节能减排成为影响桥梁建设质量与进度的关键因素。在此背景下, 自动化生产技术的引入为混凝土梁的生产提供了新的解决方案。自动化生产不仅能够提高生产效率, 降低人工成本, 而且通过合理的设计和工艺优化, 可以显著降低能耗, 提高资源的利用率。然而, 现有的自动化生

【作者简介】林静峰(1967-), 男, 中国四川成都人, 硕士, 正高级工程师, 从事智能建造研究。

产装备普遍存在能耗过大、生产效率不足的问题,亟须进行优化以适应当前高铁桥梁建设的需求。

本文的研究目标是基于高铁桥梁上部结构混凝土梁的自动化生产装备,分析其在生产过程中存在的能耗问题,并提出优化策略。研究的意义在于通过对生产过程的能耗优化与效率提升,不仅能够实现节能减排,还能有效提高生产效率,降低生产成本,推动高铁桥梁建设的可持续发展。本文将围绕自动化生产装备的能耗优化展开研究,结合现代工程技术,提出具体的解决方案,并通过实验验证其效果。

2 混凝土梁生产装备的能耗分析

2.1 混凝土梁生产过程中的能耗特点

混凝土梁生产过程中,涉及多个环节,每个环节对能耗的影响不同。主要的能耗来源包括原材料的处理、混凝土的搅拌、运输和浇筑,以及后期的固化和养护等。对于自动化生产装备而言,能耗的分布具有一定的规律性。首先,混凝土的搅拌环节是生产过程中的高能耗部分,因为混凝土的搅拌需要大量的机械动力来实现均匀搅拌,而这一过程通常是全程不间断的,因此其能耗较高。其次,运输和浇筑环节也是能耗的重点,尤其是在大规模生产的情况下,运输混凝土和设备的能耗显著增加。最后,固化和养护过程中的能源消耗,尤其是在温控管理上,也占据了一部分能耗。因此,分析生产过程中的能耗分布,找出各环节的能耗瓶颈,成为优化生产过程、降低能耗的关键。

2.2 自动化生产装备的能耗问题

现有混凝土梁自动化生产装备虽有效提升了生产效率,但在能耗控制上却暴露出诸多问题。其一,部分自动化生产设备能效比偏低。在能量传递与转化环节,由于技术局限等因素,能源大量损失,未能实现高效利用。其二,部分设备自动化程度有待提高。像在混凝土搅拌和运输环节,因缺乏精准控制,设备运行出现不必要的能源消耗,造成资源浪费。其三,生产过程智能调控能力欠缺。生产高峰时,设备频繁运行,能耗急剧增加,缺乏智能的调节机制来平衡生产与能耗。鉴于此,自动化生产装备的能耗优化势在必行。可通过升级改造设备,提升其能源利用效率;优化工艺设计,使生产流程更加科学合理;引入智能控制系统,实现对设备运行的精准调控,根据生产需求合理分配能源。通过这些手段,有效降低设备能源消耗,实现混凝土梁自动化生产的节能降耗目标,推动行业可持续发展。

2.3 能耗优化的必要性和挑战

随着环保政策的严格落实和能源成本的上升,混凝土梁生产过程中的能耗问题日益受到关注。优化生产装备的能耗,不仅可以减少能源的浪费,还能降低生产成本,提高经济效益。尤其是在高铁桥梁建设中,规模化的混凝土梁生产对能耗的要求更高。如果能在这一过程中实现能耗优化,将对整个行业的可持续发展起到积极作用。然而,能耗优化

面临的挑战也不容忽视。首先,自动化生产设备的高成本和技术难度使得许多优化措施的实施成本较高。其次,现有的生产设备和技术水平与国际先进水平仍存在差距,需要大量的研发投入和技术改造。因此,如何在保证生产效率和质量的基础上,优化能耗,成为当前康复医学教育改革中的一大难题。

3 能耗优化与效率提升的策略

3.1 设备优化与能效提升

针对混凝土梁生产过程中的能耗问题,首先可以从设备的技术改造入手。对于现有设备而言,升级和优化其能效是提升生产效率、降低能耗的首要途径。通过采用更加高效的电机、驱动系统和能源回收技术,可以有效降低设备的能耗。例如,通过引入变频调速技术,可以实现设备在不同负荷下的最佳运行状态,避免了不必要的能源浪费。这种技术能够精确调节电机的运行速度,以适应不同工况下的负荷需求,从而避免了在低负荷时的过度消耗。此外,自动化生产设备的精密度也需要进一步提高,通过精确控制每个环节的能源使用,避免了过多的能源消耗。比如,在混凝土搅拌环节,通过优化搅拌时间和功率的匹配,能够最大限度地减少能源浪费,并提高生产效率。

3.2 智能控制系统的应用

引入智能控制系统是优化混凝土梁生产能耗的有效手段。智能控制系统可以根据生产需求和能耗情况,自动调节设备的工作状态,实时监测设备的运行效率,从而减少能耗。智能控制系统通过收集生产过程中的实时数据,如温度、湿度、搅拌时间和设备负荷等,能够动态地调整生产过程中各环节的参数,确保设备在最佳运行状态下运行。例如,在混凝土搅拌过程中,智能系统可以根据混凝土配比和生产进度,自动调节搅拌机的转速和搅拌时间,避免了因过长的搅拌时间或过高的转速所带来的能量浪费。此外,在生产过程中,智能控制系统可以通过数据分析,识别能耗异常并采取相应的纠正措施。例如,若系统检测到某一环节能耗异常增高,它能够立刻调整设备运行模式,降低能源消耗。

3.3 生产工艺的优化与节能设计

除了设备的优化和智能控制系统的应用外,优化生产工艺也是实现能耗降低的重要途径。通过调整生产工艺流程、减少冗余环节,能够最大化地提高能源利用效率。例如,改进混凝土搅拌的方式,使得每次搅拌能够更均匀、更加高效,减少能源的浪费。在运输和浇筑环节,可以采用更高效的物流系统,减少运输过程中的能耗。此外,在生产过程中引入废热回收系统,将生产过程中产生的废热进行回收利用,用于加热或温控,从而降低能源消耗。通过综合运用这些节能设计措施,可以有效提升生产效率,降低生产过程中的能源消耗。

4 实验验证与案例分析

4.1 案例背景与实验设计

为验证上述优化策略的效果,本研究通过对某高铁桥梁混凝土梁生产厂的实际生产数据进行分析,开展了能耗优化实验。实验目标是通过优化生产设备、引入智能控制系统和优化生产工艺,达到降低能耗、提高生产效率的目的。此次实验的实施过程中,选取了该厂生产的典型高铁桥梁混凝土梁生产线,作为研究对象。该生产线在实际生产中面临能耗过大、生产效率不高问题,针对这些问题,研究团队对现有的生产设备进行了技术改造,特别是在混凝土搅拌、运输和养护过程中的设备能效优化。同时,引入了基于智能控制系统的生产管理模式,使得生产过程更加精确和高效,减少了人工干预和不必要的能源浪费。在工艺优化方面,重点关注了搅拌、运输和固化等环节,通过调整工艺参数和生产节奏,使得每个环节的能耗达到最优化。实验设计还包括对比实验,即将优化后的生产线与原始生产线进行对比,采集各环节的能耗数据,评估优化措施的实际效果。所有数据通过实时监测系统采集,以确保实验的准确性和可操作性。通过对比分析实验前后不同优化措施的能耗差异,本研究评估了不同优化策略对能耗降低和生产效率提升的实际贡献。

4.2 实验结果分析

实验结果表明,通过对生产设备进行优化改造,并引入智能控制系统,生产过程中各环节的能耗得到了明显降低。具体而言,混凝土搅拌环节的能耗下降了15%,运输环节的能耗下降了10%,总体能耗比优化前降低了12%。优化后的生产过程相较于原始工艺,整体能效得到了显著提升,生产周期的缩短进一步表明了效率的提高。搅拌环节的能效提升,主要得益于优化后的电动驱动系统和变频技术的应用,这使得搅拌过程中的功率消耗更为精确,避免了过度运转带来的不必要浪费。运输环节的能效提升,则是通过引入智能调度系统,合理安排运输路线和运输工具的使用,减少了空载和重复运输的情况。生产效率的提升也体现了在每个环节的优化设计下,生产过程中的流程更加顺畅,从而节省了时间和能源。更重要的是,在固化和养护环节,通过使用废热回收技术,将生产过程中产生的热能用于加热和温控,大大降低了额外的能源消耗。这一策略不仅降低了能源消耗,还提升了生产过程的可持续性。此外,通过对实验数据的进一步分析,发现生产工艺的优化对能耗的降低具有显著影响,尤其是在优化混凝土搅拌和运输环节时,能效提升效果最为显著。这些结果表明,通过精细化的管理和技术改造,生产过程的各个环节能够在降低能耗的同时提高生产效率,为推动高铁桥梁生产的绿色发展提供了有力的支持。

4.3 案例总结与启示

通过此次实验,可以得出结论:在高铁桥梁混凝土梁的生产过程中,综合运用设备优化、智能控制和生产工艺优化等措施,能够显著提高生产效率,降低能耗。这些优化措施不仅具有较高的经济效益,而且有助于推动整个行业的可持续发展。在本次研究中,优化后的生产线大幅度提升了工作效率,缩短了生产周期,减少了资源的浪费,这对于其他桥梁生产厂来说,具有重要的借鉴意义。特别是对于设备的更新改造和生产工艺的调整,企业可以通过投入适当的资金进行技术升级,以实现节能减排和成本降低的双重目标。此外,智能控制系统的应用大大增强了生产管理的灵活性和智能化水平,未来随着技术的不断发展,更多先进的智能技术可以被引入到生产过程中,进一步推动生产线的自动化和智能化。相关企业在今后的生产过程中,应加大对这些技术的研发与应用,以实现更高效、更环保的生产目标。同时,政府和行业协会应进一步推动绿色制造技术的推广,鼓励行业内的创新和技术进步,推动整个高铁建设行业向低能耗、高效益和可持续发展的方向发展。

5 结语

高铁桥梁上部结构混凝土梁的生产过程在高效性和能源消耗方面面临着严峻的挑战。通过对自动化生产装备的能耗优化,不仅可以提升生产效率,还能有效降低生产过程中的能量消耗,推动高铁桥梁建设的可持续发展。本文基于目标导向的优化策略,从设备改造、智能控制系统应用及生产工艺优化等多个方面提出了解决方案,并通过实验验证其效果,取得了显著成果。优化后的生产过程在保证质量和效率的基础上,实现了能效的大幅提升,同时也为环保做出了积极贡献。未来,随着技术的不断进步,更多的节能技术将被应用到生产中,推动高铁桥梁混凝土梁生产的绿色转型,进一步助力高铁建设行业在实现高效、高质量、可持续发展的目标上迈出坚实的步伐。为了继续推动这一进程,相关企业应加强对新技术的研发和应用,同时,政府应加强对绿色制造技术的政策支持,为全行业的能源效率提升创造更加有利的条件。

参考文献

- [1] 孟凡超,金秀男.我国公路装配化组合结构桥梁技术[J].工程质量,2025,43(04):1-10.
- [2] 产业结构调整指导目录(2024年本)[J].中华人民共和国国务院公报,2024,(07):7-77.
- [3] 王东阳.展翼式高铁轨道板检测车的结构设计及驱动机构误差分析[D].中南大学,2023.
- [4] 梁双双.高速铁路无砟轨道结构设计检算软件设计与实现[D].西南交通大学,2020.

Reflections on the Development of Logistics in Western China

Zhihua Li

Transportation Bureau of Qingshen County, Sichuan Province, Qingshen, Sichuan, 620400, China

Abstract

As China enters the 15th Five-Year Plan period, this critical phase presents a pivotal opportunity for western logistics to achieve leapfrog development and catch up with eastern counterparts. However, compared to developed eastern regions, western logistics still faces significant gaps in infrastructure, organizational efficiency, information connectivity, and cross-regional collaboration. These challenges stem from geographical constraints, institutional barriers, and insufficient innovation momentum. To address these issues, western logistics must prioritize infrastructure upgrades (including transportation and warehousing), dismantle administrative and industry barriers, innovate multimodal transport systems and supply chain models, and comprehensively enhance operational efficiency and organizational capabilities. Simultaneously, digital transformation should drive traditional logistics through information empowerment. This initiative aims to garner broader attention and consensus, pooling collective wisdom to propose strategies for improving quality and efficiency in western logistics, ultimately propelling it into a new era of intensive, networked, and intelligent development.

Keywords

Western Logistics; Domestic and International Economy; Infrastructure Planning

中国西部物流发展之路思考

李治桦

四川省青神县交通运输局, 中国 · 四川 青神 620400

摘 要

当前即将步入“十五五”时期,这也是西部地区物流行业实现跨越式发展、迎头追赶的关键阶段。与东部发达地区相比,西部物流仍存在基础设施薄弱、组织化程度不高、信息联通不畅、跨区域协同不足等明显差距。造成这些差距的原因,既包括地理条件的制约,也涉及体制机制障碍和创新发展动能的不足。面对新形势,西部物流亟需通过加强交通、仓储等基础设施建设,打破行政与行业壁垒,创新多式联运和供应链组织模式,全面提升物流运行效率与组织化水平。同时,应积极推进数字化以信息赋能驱动传统物流转型升级。希望借此引发更多关注与共鸣,凝聚各方智慧,共同为西部物流提质增效建言献策,助力西部物流走向集约化、网络化、智慧化的高质量发展新阶段。

关键词

西部物流 国内国际经济 基础设施规划

1 引言

近年来,在国内国际经济双循环战略布局下,随着社会经济迅猛发展,我国物流业发展势头强劲,为促进形成国内强大市场,推动国家经济高质量、高速发展提供了重要支撑。

据国家邮政局统计数据:

2024 年,我国东、中、西部地区快递业务收入比重分别为 74.8%、14.9% 和 10.3%,快递业务量比重分别为 72.4%、18.7% 和 8.9%。东部地区完成快递业务收入

10502.9 亿元,同比增长 12.2%;完成快递业务量 1267.1 亿件,同比增长 18.1%。中部地区完成快递业务收 2092.8 亿元,同比增长 18.2%;完成快递业务量 328.0 亿件,同比增长 30.0%。西部地区完成快递业务收入 1437.9 亿元,同比增长 19.5%;完成快递业务量 155.8 亿件,同比增长 34.4%。

2025 年上半年,东、中、西部地区快递业务收入比重分别为 74.0%、15.5% 和 10.5%,快递业务量比重分别为 71.6%、19.3% 和 9.1%。

从以上数据可以看出,西部地区(重庆、四川、云南、贵州、广西、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏、内蒙古等 12 个省、自治区、直辖市)不管是业务总量、人均业务量和收入同东部和中部地区相比,均存在较大的差距。西部业务量最大的四川省 2025 年上半年完成 248371.3 万件,

【作者简介】李治桦(1973-),男,中国四川眉山人,本科,经济师,安全工程师,从事经济管理研究。

占东部浙江省 1614384.3 万件的 15.38%，业务量最小的西藏自治区完成 1732 万件，仅占浙江省的 0.1%。

究其原因，从现状来看，西部地区地广人稀经济相对不发达是一部分原因，物流基础设施薄弱，物流网络不够完善，尤其是在偏远地区和边远地区，快递服务覆盖率较低。其次，在运输效率方面，分拨配送环节存在“瓶颈”，导致资源浪费和成本上升。再次，信息化程度不足，物流数据互联互通机制不健全，难以实现精准管理和高效调度。此外，行业壁垒和利益协调问题使得统一管理推进缓慢，导致物流成本居高不下。部分西部地区省市也“荣登”物流“鄙视链榜”——很多购物平台因物流费用高打出了“新疆、西藏、内蒙、青海、甘肃、宁夏等地区不包邮”的口号，既降低了当地的购物需求，也变相制约了当地经济的流通发展。

2022 年 5 月 17 日，国务院办公厅以国办发〔2022〕17 号印发了《“十四五”现代物流发展规划》，这是指导我国物流业“十四五”期间发展的总纲。党的二十届三中全会围绕推进中国式现代化进一步深化对交通物流领域提出了推进结构性、系统性、制度性、技术性、经营性降本提质增效的要求。中办、国办于 2024 年 11 月 27 日印发了《有效降低全社会物流成本行动方案》，指导我国物流业进一步提质增效，支撑国家经济的高质量发展。这也是西部地区物流业发展的一次重要机遇，提质增效本质上是在物流行业高质量发展的基础实现的，应看到西部地区物流业发展水平同发达地区巨大差距的同时也是西部物流行业发展的巨大空间。当前也即将进入“十五五”规划发展时期，谋划西部物流行业的发展刻不容缓。

如何走出西部物流发展的困境，笔者从一名基层交通人的角度思考西部地区物流业的发展方向和路径，供大家参考，不足之处，请予指正。

2 着力加强西部物流基础设施规划建设，加快形成“通道+枢纽+网络”布局

物流基础设施是承载物流发展的基础，同东部、中部发达地区物流基础设施相比，西部地区基础设施相对薄弱，信息化、智能化、数字化、共享化、绿色化、程度不足，这也西部地区物流业重要短板。同时，西部地区地域辽阔，各省份之间因地理环境差异，民族生活习俗、理念不同，物流发展现状上也存在众多差异。应因地制宜，制定不同的发展战略。

首先，西部各省份应依托全国综合交通网络通道建设进一步规划建设和完善省级物流枢纽，以多中心、网络化为主形态提升枢纽辐射范围和服务能力，强化枢纽同市县物流中心和园区等节点的联系和联动。西部各地区应立足实情，突出西部特色，如地广人稀，水运不发达的西部省份，重点应打造依托铁路、航空等快速大容量运输方式形成的空港、

车站等货运集散地建设物流枢纽，大力发展空铁、公铁等多式联运；有周边国家接壤的西部省份，突出国际视野。依托国家“一带一路”战略，跨国铁路、公路、水运建设，大力开展国际物流运输枢纽建设，扩大对外贸易和影响力，辐射周边国家。形成一个区域不同货运结构的多物流枢纽并存的局面。

其次，在加强物流枢纽建设的同时，加强基层物流服务能力建设，丰富和畅通物流末梢毛细血管。2025 年，全国共设立村级寄递物流综合服务站（村邮站）42.7 万处，（2025 年国家统计局年报全国 63.7 万个行政村，自然村 329.7 万个），未设立村级寄递物流综合服务站的行政村和自然村仍绝大部分存在西部地区，打通物流通道“最后一公里”仍将是西部地区未来的一项重要任务。西部偏远地区乡镇应依托乡镇客运站、供销社等基层基础设施建设基层物流服务站，完善物流设施设备和信息化技术，实现共享共用，一站多能，深化物流基层服务能力和水平，推动农村资源、产业流通，带动乡村经济振兴和发展。

再是开展物流行业基础设施的补短板行动。信息化、智能化飞速发展下的物流行业，西部地区不能掉队。西部地区应瞄准新一代信息技术、人工智能、新能源新材料等科技前沿，对标东部发达省市，扎实推动大数据、互联网、人工智能等与物流行业深度融合，推进数据资源赋能物流行业发展。发展“互联网+”高效物流，推动具备条件的环境开展智能分拣、无人机（车）递送、智能收投等各类物流场景应用。

深化物流园区与当地产业布局同步规划建设，西部地区物流中心、物流园区一级的规划建设与当地产业链嵌入深度不足仍是主要问题，园区功能定位不足，大部分停留在传统意义上的物流运输服务上，为生产企业、农产品提供流通加工、包装、仓储、回收等物流服务未能绑定嵌入并上升为供应链服务管理上，导致园区服务功能不足、设施设备等资源浪费等问题。且园区之间在行政区划内相对各自运营，如省一级有物流枢纽，市一级有物流中心，区县一级有物流园区，但未形成层级，导致仓储、运输等各类信息共享不足，造成资源利用不足，无法形成合力，发挥大物流的效用。这也是目前“干支仓配一体化”施行不到位的重要原因。应深挖物流园区潜能，最大限度发挥园区在生产链、供应链中的服务能力和功能。

3 破除物流行业壁垒，构建统一开放的物流市场，真正实现降本增效

随着社会经济的发展，各类物流组织如雨后春笋般发展壮大，通过竞争、整合资源形成当前多家全国型（国际性）物流巨头企业占据绝对快递总量的局面。各企业有着各自的经营理念、业务规程和各自的利益诉求，在国家提出构建建立统一大市场的要求下，存在着明显的行业壁垒，这也是物流行业节约资源，提升效益的一大障碍。如，按中办、

国办印发的《有效降低全社会物流成本行动方案》，实行统仓统配，在现实中很难实现，笔者所在市的一个区县于2024年上半年用行政的手段在组织全县物流企业进驻物流园区试点实行统仓统配，结果因入驻物流企业经营管理、平台终端不兼容、服务水平、人员素质参差不齐，利益无法调和和分配等原因，仅半年左右时间就草草收场，回归到原来各自条状经营管理的模式。实行统仓统配、共建车（船）队是降低物流成本的有效措施，但前提是必须打破物流行业的壁垒，让各物流企业之间开放信息数据，物流平台之间能有效通用，这需要从国家层面进行整合，所有平台企业开展标准化、通用化建设和改造，为开展统仓统配，实现资源共享、物流降本增效打下基础。

4 创新物流组织模式，提高物流组织化程度和效率，促进物流与产业融合创新，协同衔接和要素保障

结合当地实情利用可用资源开展创新是物流行业发展的一条重要道路，只有不断创新，才能摸索出最适合当地物流发展的道路。如探索发展高铁物流，利用高铁快速的特点，加挂货物车厢。但需解决停车时短、快速装卸的问题，应建立货物上高铁的包装、装卸、接驳标准问题。

理顺物流枢纽、物流中心、物流园区层级关系，推动物流园区间形成物流通道，解决干支仓配运输智能一体化的问题。

解决分拨配送“僵化”的问题，如临近区县的快递，虽短短的几十公里，也都要先进入省一级物流中心分拨，造成了资源（成本、时间）的浪费。建议建立区域中心，“物流导航”选择最优路径，确保就近分拨。

发展乡村物流，让农产品走出去、让城市工业产品走进农村，打通国内循环。发展不同形式的农村物流：充分发挥农村客运网络覆盖广、通达深的优势推广农村客运车辆带运快递；发展货运班车，实现农产品外运和农资、工业品“下乡”双向奔赴。在偏远人口聚集山区试点无人机配送和收投，发展低空物流经济。

5 推进物流数据开放互联

信息时代下，信息就是效率，推进物流数据开放互联是提高物流效率的重要途径。以公路、铁路、水路、航空、海关等部门和单位公共数据资源共享和开发利用为核心，整合物流与信息流、资金流，建立部门物流数据资源动态互联机制，支持各类经营主体数据对接，形成可持续发展模式。建立物流公共数据资源开放互联机制，加强安全风险防范，

完善数据授权管理和运营机制。建立健全企业物流数据采集、提取、应用、保护等机制，促进企业物流数据要素市场化流通。

当前，中华民族伟大复兴战略全局与世界百年未有之大变局历史性交汇，新冠肺炎疫情、俄乌冲突影响广泛深远，全球产业链供应链加速重构，要求现代物流对内主动适应社会主要矛盾变化，更好发挥连接生产消费、畅通国内大循环的支撑作用；对外妥善应对错综复杂国际环境带来的新挑战，为推动国际经贸合作、培育国际竞争新优势提供有力保障。

新一轮科技革命要求加快现代物流技术创新与业态升级。现代信息技术、新型智慧装备广泛应用，既为物流创新发展注入新活力，也要求加快现代物流数字化、网络化、智慧化赋能，打造科技含量高、创新能力强的智慧物流新模式。

西部地区物流的发展，面临即将进入“十五五”期间，需要地方立足现状和地方特色前瞻规划，积极向交通运输部和中央献计献策。交通运输部和中央收集调研进行顶层统筹设计规划，从构建全国统一物流大市场的角度，开展制度建立完善、政策引导（如探索制定分类补贴政策，对西部偏远地区进行物流费用补贴；试点发展智能化配货，开展甩挂运输；对附带邮件的货运车辆减免过路费等形式，拉动盘活西部偏远地区物流运输市场），全国物流一盘棋，推动整个行业跨区域统筹布局，跨方式一体衔接，跨领域协同发展。

西部物流发展之路，是由传统物流向现代化物流迈进之路，更是打造区域经济增长点、推动国内循环与全球竞争的重要支撑。通过基础设施建设、信息化赋能、模式创新和政策协同等多维度努力，西部地区必将在国家物流体系中占据重要地位，为实现中华民族伟大复兴贡献力量。必将大有作为，大有可为，未来可期！

参考文献

- [1] 我国东、中、西部地区快递业务数据来源—交通运输部（官网）—数据—邮政—《国家邮政局公布2025年上半年邮政行业运行情况》、《2024年邮政行业发展统计公报》
- [2] 《“十四五”现代物流发展规划》（国办发〔2022〕17号）《有效降低全社会物流成本行动方案》
- [3] 李亚冰.构建现代物流体系畅通经济发展血脉[N].承德日报,2025-08-17(002).DOI:10.28058/n.cnki.ncdbr.2025.001388.
- [4] 曹敏,黄钰凌.苏仙区智慧物流推动内需扩容[N].郴州日报,2025-08-27(003).
- [5] 邵光强.数字孪生技术驱动下智慧物流与区域经济协同发展的研究[J].中国商论,2025,34(15):108-111.DOI:10.19699/j.cnki.issn2096-0298.2025.15.108.

Comparative study on multi-methods for structure deformation monitoring of rail transit tunnels

Yubao Ma Tingrui Wang

PowerChina Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

This paper focuses on deformation monitoring of rail transit tunnel structures. It provides a comprehensive comparison of various monitoring methods and explores their application strategies. After emphasizing the significance of tunnel structure deformation monitoring, the study details commonly used techniques including total station monitoring, GPS monitoring, automated monitoring systems, and radar monitoring. Comparative analyses are conducted across key dimensions such as operational principles, measurement accuracy, applicable scenarios, and cost-effectiveness. Based on these findings, targeted implementation strategies are proposed tailored to real-world engineering contexts. These strategies aim to enhance monitoring efficiency and precision, thereby ensuring safe and reliable operations for rail transit tunnels.

Keywords

rail transit; tunnel structure; deformation monitoring; method comparison; application

轨道交通隧道结构变形监测的多方法对比研究

马玉宝 王珽睿

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 中国·陕西 西安 710000

摘 要

本文主要聚焦于轨道交通隧道结构变形监测, 在文中对多种监测方法进行了全面的对比, 并探讨了其应用策略。在阐述隧道结构变形监测重要意义的基础上, 详细地介绍了常用的监测方法, 其中包括全站仪监测法、GPS监测法、自动化监测系统法、雷达监测法等, 再从原理、精度、适用场景、成本等几个方面进行了对比分析。在此基础上, 结合了不同工程的实际情况提出了具有针对性的应用策略, 有望助力监测效率和准确性的提升, 为轨道交通隧道的安全运营提供保障。

关键词

轨道交通; 隧道结构; 变形监测; 方法对比; 应用

1 引言

轨道交通是一种高效、便捷的公共交通方式, 目前随着城市化进程的不断加快, 它在城市交通体系中占据着越来越重要的地位。在轨道交通当中隧道是关键的重要组成部分, 其结构安全会直接关系到列车的正常运行和乘客的生命财产安全。可现阶段在隧道施工和运营的过程中, 由于受到地质条件、周边环境、列车荷载等多种因素的影响, 使得隧道结构不可避免地会发生变形。如果变形超过一定的限度, 就可能会导致隧道结构开裂、渗漏、轨道变形等问题, 甚至引发严重的安全事故。因此对轨道交通隧道结构进行有效的变形监测, 确保能够及时地掌握隧道结构的变形情况, 并预测变形发展的趋势, 为采取相应的加固措施提供依据, 具有至关重要的意义。

【作者简介】马玉宝(1983-), 男, 中国河南新乡人, 本科, 高级工程师, 从事工程项目管理研究。

2 轨道交通隧道结构变形监测的常用方法

2.1 全站仪监测法

全站仪监测法是一种传统的光学测量方法, 它集光、机、电于一体, 因此能够同时进行角度测量和距离测量。通常在隧道结构的变形监测当中, 需要在隧道内部布设一定数量的监测点, 再通过全站仪定期地对这些监测点进行观测, 进而获取监测点的三维坐标, 随后就能计算出隧道结构的变形量^[1]。该方法的优点是测量精度较高, 甚至能够达到毫米级、亚毫米级精度, 并且操作相对比较简单, 技术也比较成熟, 所以在工程实践之中得到了广泛的应用。可是它也存在一些不足之处, 比如受外界环境影响较大, 特别是在隧道内光线较暗、粉尘较多或有振动的情况下, 测量的精度会受到一定的影响。

2.2 GPS 监测法

GPS 监测法是一种利用全球定位系统(GPS)进行变形监测的方法。它通过在隧道结构上布设GPS接收机, 即

可接收卫星信号，然后就能计算出监测点的三维坐标，从而实现隧道结构变形的监测。GPS 监测法的优点是不受天气、时间等因素的限制，能够进行全天候、全天时地监测。它还可以实现远程监测，并不需要监测人员进入到隧道内部，有效地降低了监测的风险。同时该方法测量的范围也比较广，能够对隧道全线进行监测。然而其缺点也较为明显，就是测量精度相对较低，一般在厘米级，因此难以满足高精度监测的需求。

2.3 自动化监测系统法

当前有一种新型的监测方法——自动化监测系统法，它是一种基于传感器技术、数据传输技术和计算机技术的方法。该系统由传感器、数据采集模块、数据传输模块和数据处理与分析模块组成。其中传感器布设在隧道结构的关键部位，负责实时地采集隧道结构的变形数据，随后通过数据传输模块将数据传输到数据处理中心，再经过处理和分析之后生成变形监测报告。实践中自动化监测系统法的优点是能够实现实时地监测和自动化数据处理，它的监测效率高，能够帮助相关人员及时地发现隧道结构的变形异常，也可以实现对隧道结构的长期连续监测，助力相关人员获取完整的变形过程曲线。不过该方法的初期投资较大，因为需要布设大量的传感器和相关设备，且系统维护的成本较高。

2.4 雷达监测法

雷达监测法利用了电磁波的反射原理，即向隧道结构发射电磁波，再接收反射回来的电磁波信号，接着根据电磁波的传播时间和相位变化，就能计算出隧道结构的变形情况。该方法的优点是具有较强的穿透能力，能够对于隧道结构内部的变形进行监测，还不需要与隧道结构发生直接的接触，所以对隧道的正常运营影响较小。可是雷达监测法的测

量精度相对较低，它受电磁波传播路径上的介质影响较大，因此在复杂地质条件之下，该方法的监测效果可能会受到一定的影响。

2.5 惯性测量法

惯性测量法是基于惯性传感器（如加速度计和陀螺仪）来测量物体的运动状态和变形的一种方法。监测时首先要将惯性传感器安装在隧道结构上，经由测量隧道结构的加速度和角速度，积分得到位移和角度变化，从而实现对隧道结构变形的监测。其优点是不受外界环境的干扰，在隧道内部等复杂环境下依然能够进行监测，同时测量的频率也比较高，能够捕捉到隧道结构的动态变形。然而惯性测量法却存在着累积误差，甚至随着时间的推移，误差还会不断地增大，需要定期地进行校准。

3 多种监测方法的对比分析

3.1 精度对比

基于上述内容来看，不同的监测方法在测量精度上存在着较大的差异，具体阐述如下：全站仪监测法的精度最高，它能够达到毫米级甚至亚毫米级，比较适用于对精度要求较高的监测项目；自动化监测系统法的精度次之，一般在毫米级到厘米级之间，可以满足大多数隧道结构变形监测的需求；GPS 监测法的精度相对则较低，通常在厘米级；而雷达监测法和惯性测量法的精度最低，仅在厘米级及以上。在实际应用之中，监测人员应根据隧道结构的重要性、变形的允许范围等因素，选择出合适精度的监测方法。比如对于一些关键部位的监测，像隧道洞口、断层破碎带等，就需要采用全站仪监测法和自动化监测系统法这种高精度的监测方法，但对于一些对精度要求不高的区域，就可以采用 GPS 监测法、雷达监测法等方法。

监测方法的对比分析表

对比维度	全站仪监测法	GPS 监测法	自动化监测系统法	雷达监测法	惯性测量法
精度对比	精度最高，毫米级甚至亚毫米级	精度相对较低，通常在厘米级	精度次之，一般在毫米级到厘米级之间	精度较低，仅在厘米级及以上	精度较低，仅在厘米级及以上
适用场景对比	适用于隧道内部环境相对较好、监测点数量较少且需要高精度监测的场景	适用于隧道外部及隧道洞口附近等卫星信号接收良好的区域	适用于需要进行长期连续实时监测的场景	适用于对隧道结构内部缺陷和变形进行快速检测的场景	适用于隧道施工过程中的动态变形监测
成本对比	设备成本相对较低，但人工成本较高，长期监测总成本较高	设备成本适中，监测过程中不需要大量人工干预，长期监测成本相对较低	初期投资较大，包括传感器、数据采集设备、数据处理软件等，但长期运营成本较低	设备成本较高，且对操作人员技术要求高，总体监测成本较高	设备成本较高
效率对比	每次监测需花费大量时间，效率较低	监测效率较高	监测效率最高	监测速度快，效率较高	测量频率高

3.2 适用场景对比

全站仪监测法一般适用于隧道内部环境相对较好、监测点数量较少且需要高精度监测的场景,比如隧道施工阶段的断面监测、重要结构部位的监测等。结合GPS监测法的特点来看,它比较适用于隧道外部及隧道洞口附近等卫星信号接收良好的区域,也可以用于对隧道整体变形趋势的监测。自动化监测系统法则适用于需要进行长期连续实时监测的场景,像运营中的地铁隧道,该方法能够帮助相关人员及时地发现隧道结构的变形异常,可以为隧道的安全运营提供保障。而雷达监测法适用于对隧道结构内部缺陷和变形进行快速检测的场景,例如隧道衬砌厚度检测、空洞探测等。此外还有惯性测量法,它适用于隧道施工过程中的动态变形监测,像盾构机推进过程中的姿态监测等等。

3.3 成本对比

从成本的角度来看,全站仪监测法的设备成本相对较低,但该方法的人工成本却比较高,若进行长期监测的话总成本就会比较高。相比而言,GPS监测法的设备成本则比较适中,由于该方法在监测的过程中不需要大量的人工干预,因此长期监测的成本相对较低。虽然自动化监测系统法的初期投资较大,其中包括了传感器、数据采集设备、数据处理软件等,但长期运营的成本较低,较为适合进行大规模、长期的监测项目。而雷达监测法不仅设备的成本较高,并且对操作人员的技术要求也比较高,总体的监测成本都较高。然而成本最高的还属惯性测量法,因为该方法的设备成本较高,尤其是高精度的惯性传感器,成本异常昂贵,使得该方法仅适用于一些特殊的监测场景。

4 轨道交通隧道结构变形监测的应用策略

4.1 根据隧道所处阶段选择监测方法

隧道施工阶段的隧道结构尚未稳定,此时变形的速度较快,所以需要进行高频次的监测^[2]。据此,监测人员可以采用全站仪监测法对隧道断面进行定期地监测,即可及时地掌握隧道的开挖变形情况;同时结合自动化监测系统法,对于隧道施工过程中的关键部位进行实时地监测,如盾构机的姿态、管片的变形等,即可全面的确保施工安全^[3]。若在隧道运营阶段,尽管该阶段隧道的结构相对稳定,但仍然需要进行长期的变形监测,以保障列车的安全运行。此时应采用自动化监测系统法进行长期连续的实时监测,保障能够及时地发现隧道结构的变形异常,也可以辅以GPS监测法对隧道整体变形趋势进行监测,旨在为隧道的维护和管理提供依据。

4.2 根据监测精度要求选择监测方法

对于一些对监测精度要求较高的部位,像隧道与其他结构的连接部位、隧道穿越断层破碎带等区域,应该选择高精度的监测方法,如全站仪监测法和自动化监测系统法。而

对于一些对精度要求相对较低的区域,如隧道的一般地段,就可以采用GPS监测法、雷达监测法等。就实际监测来说,监测人员也可以采用多种监测方法相结合的方式,进而提高监测精度和可靠性^[4]。

4.3 考虑环境因素选择监测方法

因为在隧道内部光线较暗、粉尘较多或有振动的环境下,全站仪监测法的测量精度会受到较大的影响,所以此时需要优先选择自动化监测系统法或者惯性测量法。如果在隧道外部及洞口附近,由于卫星信号接收良好,因此可以采用GPS监测法进行监测。但面对一些复杂地质条件下的隧道,如富含地下水、岩层破碎等,雷达监测法则具有较强的适应性,它能够对隧道结构内部的变形进行有效的监测^[5]。

5 结语

一直以来,轨道交通隧道结构变形监测都是保障隧道安全运营的重要手段。本文当中对全站仪监测法、GPS监测法、自动化监测系统法、雷达监测法和惯性测量法等常用监测方法进行了对比分析,还从精度、适用场景、成本和效率等方面总结了各方法的特点。在此基础上还提出在实际监测工作当中,监测人员应根据隧道所处的阶段、监测精度要求、环境因素和经济成本等,来选择合适的监测方法,并配合综合监测体系,最终才能全面、准确地掌握隧道结构的变形情况。

未来随着科学技术的不断发展,轨道交通隧道结构变形监测技术也将得到不断地创新和完善。往后的监测方法将朝着更高精度、更高效率、更自动化、更智能化的方向发展。例如,基于物联网技术的智能监测系统将得到广泛地应用,实现对于隧道结构变形的实时感知、数据传输和智能分析;无人机监测技术在隧道外部变形监测中的应用也将变得更加成熟,可以提高监测的灵活性和效率;新型传感器的研发将进一步地提高监测精度和可靠性,有助于降低监测的成本。但是还需要加强对于监测数据的深度挖掘和分析,只有建立了更加精准的变形预测模型,才能为隧道结构的安全评估和维护决策提供更加科学的依据。

参考文献

- [1] 邱国庆.基于全站扫描仪的地铁隧道变形监测方法研究[D].湖北省:武汉大学,2017.
- [2] 王智辉.隧道施工过程围岩变形监测可视化与塌方风险评价方法研究[D].重庆市:重庆大学,2022.
- [3] 张轩.盾构隧道施工对地表及高层建筑物基础沉降与受力特性的影响研究[D].四川省:四川大学,2021.
- [4] 陈华.沈阳某公路隧道深基坑围护结构变形监测与受力性能研究[D].辽宁省:沈阳工业大学,2018.
- [5] 李燕隆.徐州轨道交通隧道施工现场监测及沉降智能预测方法研究[D].安徽省:安徽理工大学,2022.

Overview of the development status of generic technology for intelligent unmanned transportation and delivery in military

Peng Yang Junliang Chen Li Li Yuchang Nong Rui Ao

Land and Defense Military Representative Office in Guiyang, Guiyang, Guizhou, 550025, China

Abstract

As a vital component of modern warfare logistics, military unmanned transportation and deployment technology plays an indispensable role in contemporary conflicts. With the rapid advancement of artificial intelligence, this field is witnessing tremendous growth opportunities. The technology enables rapid material delivery through air, ground, or maritime routes, effectively enhancing logistical efficiency, reducing casualty risks, improving operational flexibility, and strengthening strategic-tactical coordination. As technological progress and warfare dynamics evolve, the future development of intelligent unmanned transportation systems will be closely tied to advancements in AI decision-making capabilities, widespread adoption of unmanned transport equipment, evolution of autonomous deployment modes, and seamless integration with IoT-enabled smart devices—all elements that will synergize and develop in coordinated progress.

Keywords

unmanned system | military logistics | path planning | artificial intelligence | robotics

军用智能无人运输投送共性技术发展现状概述

杨鹏 陈俊良 李理 依玉昌 敖锐

陆装驻贵阳地区军代室，中国·贵州 贵阳 550025

摘要

军用无人运输投送技术作为现代战争后勤保障的重要组成部分，在现代战争中扮演着不可或缺的角色，随着人工智能高速发展，无人运输投送领域正迎来巨大的发展机遇。无人运输投送技术能够从空中、地面或海上进行快速的物资投送，有效提升后勤效率、降低伤亡风险、提高作战灵活性、增强战略与战术协同性。随着科技的不断进步和战争形态的演变，智能无人运输投送技术未来发展势必与智能化决策能力的提升、无人化运输装备的广泛应用、自主化运输投送模式的发展、物联网与智能化装备融合等方面密切相关、高度融合、协调发展。

关键词

无人系统 | 军事物流 | 路径规划 | 人工智能 | 机器人技术

1 引言

后勤物流保障在古往今来的战争中都扮演着决定成败走向的重要角色，随着科学的发展和技术的更迭，现代战争对后勤物流保障工作提出了更高的新要求。现代战争的特点是快速、高强度和极度复杂，不仅是物资的需求量巨大，而且需要在短时间内准确投递到指定位置，这对传统的物流系统是极大的挑战，因此，发展先进的运输投送技术变得至关重要和关键，即智能无人运输投送技术。

智能无人运输投送技术可以有效提升后勤效率、降低伤亡风险、提高作战灵活性、增强战略与战术协同等方面。

【作者简介】杨鹏（1993–），男，中国贵州人，硕士，助理工程师，从事工程机械、热电池研究。

在战略层面，无人运输系统可以跨军种操作，实现联合作战力量的快速整合和优化配置。在战术层面，可以执行具体任务，如再补给、伤员撤退等，增强部队的整体作战能力。

2 军用智能无人运输投送系统

军用智能无人运输投送系统可以依据其功能、载具类型和作战应用等进行分类，按照载具类型可分为：无人运输机、无人运输车 and 无人船舶。无人运输机包括中小型无人运输机和大型无人运输机。中小型无人运输机适用于小范围、高频率的战术补给，而大型无人运输机则能进行中远程智能投送，满足更大规模的物资运输需求。无人运输车用于地面物资运输，能够适应多种地形和恶劣环境，实现精确保障。无人船舶主要用于海上物资运输，具备长时间、大范围的运输能力。而整个智能无人投送系统主要由无人载具、物资集

散分点、区域调度中心等组成。这些组成部分共同构成了一个高效、自动化的物流系统,通过高度智能化的工作流程实现快速、准确的物资配送。

3 智能无人运输投送共性技术

3.1 自主导航与定位技术

自主导航与定位技术是实现智能无人运输投放高效、精准和安全运作的核心。这些技术能够确保无人机在各种复杂环境中稳定飞行,有效避开障碍物,并准确到达预定目标。自主导航是指系统不依赖于外部控制,依靠内部机制和外部信息实现自我定位、路径规划和避障等功能的能力。自主导航技术的核心在于利用多种传感器和先进算法,使无人机具具备感知环境、自主决策和执行任务的能力。

目前,自主导航的关键技术主要包括惯性导航系统(INS)、全球定位系统(GPS)、视觉同步定位与建图(SLAM)以及多源信息融合等。INS是利用加速度计和陀螺仪测量载体的速度、姿态和位置,有自主性强,不受外界环境影响的优点,但缺点是有累积误差,长时间使用精度下降。GPS通过卫星信号进行定位,可以提供精确的全球位置信息,优点在于精度高、覆盖范围广,但在遮挡环境下可能失效。视觉SLAM通过摄像头采集环境图像,结合机器视觉和机器学习算法进行特征提取、位置计算和地图构建。有环境感知能力强、不需要额外传感器的优势;但计算量大,对动态环境适应性较差。可以将INS、GPS、视觉等多传感器数据融合,以提高整体导航精度和可靠性,利用卡尔曼滤波器、贝叶斯网络等算法优化数据融合效果。

3.2 投送任务规划与执行技术

智能无人运输投送的投送任务规划与执行技术包括需求快速提报、智能决策系统、交通运输物联网、智能监控系统等多个方面。这些技术相互配合,实现任务规划到执行的高效、自动化流程。

在现代战争中,运输投送需求的多样性和复杂性要求快速准确的需求提报。利用智能感知系统,任务部队可以一键提报运输需求至上级主管机构,快速响应并自动计算投送任务。通过多维感知与大数据分析,基于多维感知、大数据分析,智能决策系统自主选择最合适的运输投送模式。可以选择智能定制投送、一键呼叫投送、“蜂群”批量投送和越级直达投送,根据不同场景需求灵活运用。借助交通运输物联网,无人智能化运输投送装备能够自动组网和一体联动,自主执行多样化任务适用于航空、航海平台的无人运输装备,具备自动装载、管理和分发功能,实现远程高效自动投送,使用于多样化的应用场景。实时指挥控制,通过智能监控系统,对运输投送行动进行实时、精确的指挥控制。运用智能感知、大数据、物联网、区块链等技术,实现对运输投送全要素全流程的实时可知可视可控。通过自然人机交互技术,实现操作人员与无人系统的高效沟通和控制。

3.3 通信与控制技术

智能无人运输投送的通信技术主要包括:无线通信技术、网络协议、信息物理融合和“智慧云”平台。无线通信技术是智能无人运输投送系统中至关重要的部分,它保证了系统内部各单元之间以及系统与控制中心之间的信息实时交流。采用高频宽带通信技术可以大幅提升数据传输速率和减少延迟,保障了远程操控的同步性和可靠性。信息物理融合是通信技术发展的新趋势,它强调通信、计算与控制间的共生效应,使得智能无人运输投送系统更为一体化和智能化。“智慧云”平台的应用使得海量运输投送数据的智能分析决策成为可能,依托云计算和物联网技术提高通信效率和智能水平。

智能无人运输投送系统的控制技术主要包括:控制策略与算法、控制系统设计、智能感知系统和智能决策系统等方面。控制策略与算法是智能无人运输投送系统控制技术的核心,决定了系统是否能够准确响应命令,并完成投送任务。控制系统的设计需要考虑多种因素,包括系统稳定性、灵活性和适应性。智能感知系统是智能无人运输投送系统中的重要组成部分,它能够快速提报运输投送需求,并对环境进行实时感知,保障任务的顺利进行。智能决策系统通过多维感知和大数据分析,自主选择运输投送模式,以适应不同的战场需求和民用场景。

3.4 安全保障与防御技术

在复杂多变的战场环境中,安全保障与防御技术是确保运输任务顺利完成的关键。安全保障与防御技术主要包括:智能感知系统、数据安全与加密、物理防护与隐身技术、应急响应与故障处理和综合防御与协同作战。

通过智能感知系统进行需求快速提报,配置大量传感器自动收集运输投送需求,并向上级主管机构一键提报,快速响应,利用智能感知系统实时监控无人运输装备的状态,提高对环境的适应性和反应速度。采用先进的加密算法保护数据传输过程中的安全与加密,防止敏感信息泄露。部署防火墙和入侵检测系统,及时发现并阻止恶意攻击,保障系统安全。建立多层次的网络安全防护体系,包括物理隔离、网络访问控制和数据加密等措施,防止网络攻击和数据泄露。施以持续的网络安全监控,及时发现并修复系统漏洞,保持系统的高度安全性。物理防护与隐身技术,使用隐身涂层和材料减少无人运输装备的雷达反射面积,降低被敌方探测的概率。配备电磁干扰设备,对抗敌方的电子战手段,保障无人运输装备的通信和导航系统正常运作。应急响应与故障处理,自主故障诊断,无人运输装备具备自主故障诊断能力,能够实时检测并隔离故障,确保任务继续执行。在紧急情况下,可以实现远程控制或自动切换到备用控制系统,保证无人运输装备的安全返回或着陆。综合防御与协同作战,构建由电子对抗、物理防护、网络安全和隐身技术组成的综合防御体系,提升无人运输装备的整体生存能力;无人运输装备

能够与其他作战平台如战斗机、卫星等进行协同作战,提高任务执行的成功率和安全性。

3.5 能源管理与技术优化

建立能源管理系统进行能源监控与诊断以及能源数据分析。无人运输投送装备应配备实时能源监控系统,对能耗情况进行实时监测和诊断。通过传感器和数据采集设备,收集电池使用状况、燃料消耗量等关键信息,及时发现异常并报警。利用大数据分析技术,对历史和实时能源数据进行分析,找出能耗瓶颈,优化能源使用效率。通过数据挖掘和机器学习算法,预测能耗趋势,为能源管理提供决策支持。

通过节能控制策略、高效能源转换、探索新能源应用进行能源技术优化。根据运输任务需求,动态调整无人运输投送装备的运行模式,降低能耗。研究和应用高效能源转换技术,如无线充电、快速充电等,提高能源利用效率,减少能源浪费。在无人运输投送基地和中转站安装太阳能板、风力发电设备等,利用可再生能源为无人运输投送装备提供清洁能源。

4 技术挑战与对策

智能无人运输投送系统的技术挑战主要集中在环境感知与决策、通信与网络、续航能力、装备自主化程度等方面。无人运输投送装备需要具备高精度的环境感知能力和快速决策能力,以应对复杂多变的运输环境。目前,无人装备对环境的感知能力还不强,需发展高精度传感器、人工智能决策等,以提升环境感知和决策能力。在复杂环境中,无人运输投送系统的通信网络稳定性低和高延迟,为保证实时控制和监控,需提供稳定和低延迟的网络通信。无人运输投送装备的续航能力受限于能源技术,尤其是在长距离和复杂任务中,续航能力不足,成为制约无人运输投送的主要原因。无人运输投送装备的自主化和智能化程度不高,难以实现自动完成复杂的运输任务。面对这些挑战,需要加强大数据、人工智能、卫星通讯等技术研发、优化通信网络、开发能源技术以及灵活设计装备等措施。

5 结语

未来军用智能无人运输投送技术发展势必与智能化决策能力的提升、无人化运输装备的广泛应用、自主化运输投送模式的发展、物联网与智能化装备融合等方面密不可分。基于“智慧云”平台的高效决策,未来战争运输投送需求的多样性、空间的广阔性、资源的广延性以及活动的复杂性要求在极短时间内处理海量信息。借助“智慧云”平台,依靠信息流控制物资流,实现适时适地适量的智能化运输投送保障。智能感知系统快速提报需求,通过配置大量传感器自动收集运输投送需求,并通过智能感知系统向上级主管机构一键提报,快速响应。交通运输物联网一体联动,基于交通运输物联网的无人智能化运输投送装备可以实现自动组网、一体联动,自主执行多样化运输投送任务。后勤保障的智能化革命,无人化装备逐步解决关键技术问题,无人化装备将逐步解决“行动控制—态势感知—信息交互”等问题,最终达到高度的自主化,将形成由“智慧工厂—智慧仓库—无人运输—智能配送”组成的高度智能化后装保障链条。

参考文献

- [1] 王耀南,安果维,王传成,等.智能无人系统技术应用与发展趋势[J].中国舰船研究,2022,17(05):9-26.
- [2] 赵春晖,刘安萌,吕洋,等.无人机韧性自主定位技术综述[J].航空学报,2024,45(08):6-28.
- [3] 张孝宝,孙栋,曹海泉.无人智能化运输投送手段问题研究[J].军事交通学报,2022,1(01):64-68.
- [4] 宋占福,赵全习,胡文志,等.无人机支援地面防空作战研究[J].现代防御技术,2022,50(05):22-27.
- [5] 胡超,施彝,牛延坤,等.一线战救人员无人机急救物资保障的可行性分析[J].解放军医院管理杂志,2021,28(01):1-4.
- [6] 王辰.多旋翼无人机在军事后勤领域中的应用及发展趋势分析[J].飞航导弹,2021,(08):56-60.
- [7] 骆峰.第三代战争武器装备技术的特点[J].应用光学,2006,(03):176.
- [8] 王鑫,马云飞,陈文阁,等.无人机在军事物流领域的应用探析[J].包装工程,2023,44(09):320-327.

Research and Countermeasures on improving the safety management level of ten-thousand-ton heavy-haul trains

Zhanwu Zhou

Yan'an Locomotive Depot, Yan'an, Shaanxi, 716001, China

Abstract

Heavy-haul railways represent a crucial development direction for enhancing railway freight capacity, playing a vital role in reducing social logistics costs and mitigating carbon emissions. The Baoxi-Huaiji and Haoji Railway Lines, which carry the critical mission of transporting coal from the "Three Wests" coal-rich regions to energy-demanding areas like Central China and East China, have both implemented 10,000-ton heavy-haul train services. This paper examines the current safety management status of heavy-haul trains on these lines, identifies shortcomings in institutional frameworks, operational improvements, safety controls, training programs, and scientific research initiatives, and proposes targeted countermeasures to continuously enhance safety management standards.

Keywords

heavy-haul trains; safety management; countermeasures

关于提升万吨重载列车安全管理水平的研究及对策

周战武

延安机务段, 中国·陕西 延安 716001

摘要

重载铁路是提高铁路货运能力的重要发展方向, 对降低社会物流成本, 减少碳排放具有重要意义, 包西、浩吉线承担着“三西”煤炭富集区向华中、华东等能源需求区煤炭运输的重要任务, 均已开通万吨重载列车。论文立足包西、浩吉线重载列车安全管理现状, 从制度建设、操纵提升、安全管控、培训教育、科研攻关等方面剖析不足, 制定针对性对策, 不断提升重载列车安全管理水平。

关键词

重载列车; 安全管理; 对策措施

1 引言

我国重载铁路的高质量开行, 有效保障了国民经济的高速发展。特别是包西、浩吉线重载铁路的发展, 标志着我国国产化重载技术的创新发展已跨入世界重载铁路先进行列。延安机务段近年来运量连年再创新高, 离不开重载铁路运输的高速发展。随着管内重载列车的不断增开, 安全管理问题也逐步凸显, 国铁集团、集团公司明确要求统筹好高质量发展和高水平安全。

2 重载列车基本情况

西安局延安机务段自 2019 年在包西线开行万吨重载列车以来, 截止 2025 年 7 月底, 已安全开行万吨重载列车 9622 列, 其中包西线开行 7149 列, 日均开行 4 对; 浩吉线开行 2518 列, 日均开行 3 对。

2.1 包西线

包西铁路在 2019 年开通首趟万吨重载铁路, 截至目前安全开行 7194 趟万吨重载列车, 重载列车运行区段为神木西~古城湾, 重载列车到达古城湾后由呼局乘务员换挂运行至曹妃甸西港区。包西铁路重载列车主要使用 HXD1+HXD1 型重联组合机车牵引单元万吨重载列车, 实行标准配班值乘的乘务方式。其中神木西~古城湾间 228.88km。神木西~古城湾上行线路坡度最大 13‰, 下行最大坡道 -13‰, 机车交路由延安机务段 HXD1 型机车(装备 CCBII 制动机)担当。

2.2 浩吉线

浩吉铁路北起内蒙古鄂尔多斯市浩勒报吉南站, 途经陕西、山西、河南、湖北、湖南、南至江西省吉安站, 正线全长 1813.5km, 设计时速 120km, 为国家 I 级(重载)铁路, 规划年运输能力 2 亿 t 以上。浩吉线铁路重载列车自开行以来, 安全开行 2518 趟万吨重载列车, 运行区段为靖边东-襄州北区段。单元万吨列车在靖边东开行经灵宝东换乘, 到达襄州北站后分解为小列, 由武汉局襄阳机务段值乘。

【作者简介】周战武(1984-), 男, 中国陕西蒲城人, 本科, 高级工程师, 从事铁路机车运用研究。

至吉安站。全线海拔落差达 1400 多米，线路最高允许速度为 120km/h，采用重联组合机车牵引单元万吨重载列车，下行最大限制坡道为 6‰，上行最大限制坡道为 13‰，最小曲线半径为 800 米，靖边东-襄州北全长 761.6km，到发线有效长最小 1700m，最长区间为靖边东~建华间 64.48 公里。重车线最大下坡道为 13‰，其中麻洞川(5.3‰)、集义(5‰)、重阳西(6‰)、韩城北(站线 1050-1099m)和陕州(站线 1071-1334m)站均为不宜停车站。目前浩吉线正在试验牵引组合万吨重载列车试验，采用国产无线同步操控技术，计划采用 HXD1+ 车辆+HXD1+ 车辆形式，实行标准班值乘的乘务方式。

3 重载管理存在问题

3.1 规章制度体系需完善

一是基础规章不全面。目前重载安全和技术管理方面的综合性技术规章仍在修订中，仅包西及浩吉线万吨列车行车组织办法正式公布。二是管理制度不完善。目前段重载规章制度以浩吉线及包西线精准操纵办法及作业指导书为核心，缺少重载操纵作业标准、相关操纵禁忌制定及重载乘务员一次乘务作业标准。如《浩吉线作业指导书》中“长大下坡道区段，受制动周期限制充风时间不足时，允许停车再开”相关要求，未明确重载列车在区间停车具体时间。三是作业标准需修订。现行《包西线万吨重载列车操纵指导意见》修订不及时，部分内容与现场实际不符，如：重载列车追加减压一般不应超过一次，以及牵引机型、乘务员值乘和操纵方式等。

3.2 重载操纵管理需强化

一是添乘检查偏少。目前在段层面没有明确运用安全管理人员重载添乘量化指标，专业科室管理人员添乘频次偏低。二是重载检查通报较少。目前段层面重载列车日常分析较少，操纵分析项点不全面、检查手段单一，重载操纵分析以车间为主，段层面未建立重载安全定期专题分析机制，缺少专项通报。三是专业指导有疏漏。车间制定的作业指导书、操纵提示卡中存在部分数据错误，如：过分相操作要点与实际不符、部分车站侧线进站再生制动使用要求漏项。专业科室指导作用不明显，未及时通过日常检查修订意见并督促整改。如：浩吉线万吨作业指导书中要求侧向道岔不得超过 300kN，但未区分重载列车空、重车。

3.3 重载安全风险研判有差距

一是充风不足再制动的安全隐患措施制定不到位。如《浩吉线单元万吨重载列车操纵办法》中，要求“少量减压停车后应追加减压至 100kPa 及以上”，但万吨列车在长大下坡道停车后，遇前方限速 45Km/h 情况下，追加 100kPa 后再缓解时，万吨列车存在充风不足再制动的安全隐患。二是对重载列车与客车交会的安全风险研判不到位。包西线存在重载列车与客车交会的问题，虽然段对动客货混跑区段安全风险进行了提示，未针对重载列车与客车交会的安全风险

制定防控措施。三是集中修安全管控不到位。目前浩吉线已开始进行集中修，集中修期间限速对重载列车开行影响较大，但目前对重载列车在集中修期间涉及的关键区段区间限速运行、列车防溜、在站停车等安全措施未细化明确。

3.4 职工教育培训不规范

一是因段重载列车开行时间较短，重载事故教训资料不完善，导致重载培训质量不高，万吨队伍对重载事故防范能力还有差距，不能充分满足高质量安全保障要求。二是重载安全教育培训机制不健全，岗前培训重视不足。重载乘务员新职顶岗前的操纵及安全管理缺少重载针对性培训，日常培训依赖车间层级组织，导致担当重载的职工业务素质参差不齐，对后期重载运输组织和管理会造成一定影响。三是重载乘务人员储备不足。目前段担当重载乘务的乘务员共计 152 人，其中榆林运用车间 25 人、浩吉运用 127 人。考虑后期浩吉线试验开行组合万吨列车，分为主控列车与从控列车，势必增加重载乘务机班需求，对人员培养提出了新的需求。

3.5 技术攻关能力还不强

一是目前浩吉线准备实验的组合万吨列车，组合列车使用的机车无线重联设备国产无线重联系统，目前正在计划试验中，但是对相关重联系统设备使用的相关技术应用标准、故障处置办法等标准未进行制定。二是对担当重载列车的 HXD 型机车探索研究不够深入。重载列车机车科技研发、技术攻关能力缺乏，后期浩吉线对 HXD2 机车是否能担当组合万吨列车需技术研究论证。三是重载列车机车车钩受到的冲击力较普速列车较大，目前浩吉线机车质量较为稳定，但后期随包西、浩吉铁路重载运输任务逐步增大，机车日常保养维修周期受到影响，可能导致机车存在设备故障和安全隐患，影响重载运输的可靠性和安全性。

4 改进对策

4.1 完善重载管理标准体系

一是集团公司组织业务部门逐步系统化修订开行重载列车涉及的规章制度，如修订《重载运输行规》等，明确重载铁路各部门技术要求和安全技术条件，建立综合性的重载规章制度体系和专业技术规章。二是段专业科室结合实际，梳理现行重载规章制度，及时修订。结合现场实际，完善重载平稳操纵办法、安全措施、重载司机管理办法、作业指导书和应急处置等，健全重载标准化管理体系，为现场作业提供规章支持。三是借鉴大秦线重载模块化操纵经验，在段层面制定完善重载操纵作业操作标准，不断完善包西、浩吉线精准操纵办法，精细化重载操纵标准，修订相关操纵作业五色图，统一重载操纵要求。重点明确重载操纵禁止性规定、车追加减压要求、关键区段操纵等。

4.2 提升重载操纵达标能力

一是加强重载列车操纵管理，增加管理干部添乘频次，针对重载关键区段、长大坡道区段乘务员操纵重点分析，纠

正乘务员不良操纵习惯,防止人为操纵不当引发断钩等安全隐患。二是加大重载平稳操纵评价系统,确定重载分析顶点,在分析软件中加入重载顶点,加强重载列车制动减压时机、减压量、机车再生制动时机等顶点的分析,针对违反操纵禁忌的相关问题定期通报,不断提升重载科技保安全水平,增强抵御潜在重载安全风险能力。三是制定重载列车操纵管理办法,完善包西、浩吉线的重载操纵标准,同时结合五色图操纵评价系统分析问题,建立重载典型操纵问题库,建立“重点追踪、逐件考核、逐人帮教”的闭环管控机制,开展五色图每周一星活动,评选重载操纵岗位明星,建立奖励机制,督促万吨司机主动对标达标。

4.3 强化重载列车安全风险研判

一是全面研判重载列车安全风险,统一规范风险项目,分类、分级、分层修订完善风险管控措施,逐层级、逐岗位、逐环节明示风险管控责任。针对风险变化,实行动态研判、实时预警、专项督查。运用人防、物防、技防相结合的措施治理重载行车隐患。二是将重载列车开行可能发生的安全隐患及事故隐患纳入双重预防机制管控,制定相关问题分析及处置对策,如,提前根据浩吉线组合万吨列车试验,提前着手制定组合列车组合及分解作业办法、呼唤应答作业标准、操纵相关要求。三是针对集中修期间慢行区段等特殊情况,组织专业科室与万吨技师,专题研判,制定场景式“一处一案”,固化操纵模式,确保重载列车安全平稳通过慢性地段。

4.4 加强干部职工重载教育培训

一是整合国内外万吨重载列车事故案例,结合包西、浩吉万吨开行以来发现的安全、运用类典型问题,分层分类梳理完善重载培训资料,加强教育宣传、越级验证,不断提升重载队伍业务素养。二是推行重载司机“星级”评定制度,结合安全业绩、素质技能、年度运量完成等方面对重载司机进行画像,评定一星、二星、三星司机,以“星级”定收入,促进岗位竞争,推动“优胜劣汰”,确保重载队伍先进性。

三是加大重载司机储备力度,根据后期重载运输增量情况,制定科学的重载司机后备培养计划,大力培养万吨司机,逐年增加重载人才储备数量,确保满足万吨增开需求。

4.5 提升重载科研攻关水平

一是运用科、技术科相关专业工程师根据重载组合试验计划和实际开展情况,积极介入,提前着手制定相关技术设备的技术作业标准。二是各专业科室提前研判,对接机车厂家,加强HXD2型机车研究,开展HXD2型电力机车万吨牵引性能调研,做好技术论证准备。三是积极开展重载科研攻关工作,学习大秦线重载劳模工匠经验,打造西安局的重载明星团队,选拔一批现场经验丰富、责任心强、安全业绩好、政治素质高的代表,建强重载技术研究团队,锚定重载难题攻关,不断提升重载现代化水平。同时做好既有成果,陕西省质量管理一等奖《降低浩吉线重载列车应急处置问题率》、集团公司万吨科研课题等的应用推广,不断提高万吨管理品质。

5 结语

在重载安全管理标准化建设工作中,我们通过标准体系化完善,操纵模块化分解,安全精细化管控,培训差异化推进,应急指导精准化提升,健全机制、搭建平台,推动全员共同参与,集体成长,合力共为,变“要我安全”为“我要安全”,健全完善标准体系,调动干部职工主管能动性,促进段重载管理现代水平不断提升。

参考文献

- [1] 太原铁路局.太原铁路局重载运输技术管理规则[M].北京:中国铁道出版社,2014.
- [2] 李建东.电力机车牵引万吨列车的平稳操纵[J].内蒙古科技与经济,2016(10):71-72.
- [3] 张加奇.铁路安全评价方法的探讨与分析[J].科技资讯,2018,16(4):79-82.

Study on sealing performance of crack filling material in asphalt pavement under low temperature environment

Yifeng Jiang

Chengde Highway Maintenance Development Center, Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract

This study investigates the preservation of sealing performance of crack-filling materials in asphalt pavement under low-temperature conditions. Through experimental verification, factors affecting the sealing performance of crack-filling materials were identified, and effective improvement strategies were proposed. The orthogonal experimental design selected different modifier concentrations as variables to systematically analyze the impacts of material composition, construction techniques, environmental factors, material aging, and crack characteristics on low-temperature performance. Results demonstrate that optimizing material formulations, adopting advanced modification technologies, strictly controlling construction processes, selecting high-quality raw materials, and enhancing anti-aging properties are key to improving low-temperature sealing performance. Experimental data further confirm the superiority of optimized formulations in low-temperature tensile tests, cold tension-heat compression cycles, and low-temperature crack resistance tests, providing a scientific basis for selecting and applying crack-filling materials in road repair projects in cold regions.

Keywords

asphalt pavement; crack filling material; low temperature sealing performance; experimental verification; modification technology

沥青路面裂缝灌缝材料在低温环境下密封性能保持研究

姜屹峰

承德市公路养护事业发展中心, 中国·河北 承德 067000

摘要

本文研究了沥青路面裂缝灌缝材料在低温环境下的密封性能保持问题, 通过实验验证了影响灌缝材料密封性能的因素, 并提出了提升性能的有效路径。实验采用正交试验设计, 选取不同改性剂掺量作为变量, 系统分析了材料组成、施工工艺、环境因素、材料老化和裂缝特性对灌缝材料低温性能的影响。结果表明, 优化材料配方、采用先进改性技术、严格控制施工工艺、选用高质量原材料以及增强抗老化性能是提升灌缝材料低温密封性能的关键。实验数据进一步证实了优化配方在低温拉伸、冷拉热压循环和低温抗裂性试验中的优越性, 为寒冷地区道路裂缝修复材料的选择与应用提供了科学依据。

关键词

沥青路面; 裂缝灌缝材料; 低温密封性能; 实验验证; 改性技术

1 引言

在寒冷地区, 沥青路面裂缝的修复面临着低温环境的严峻挑战。低温条件下, 灌缝材料的柔韧性、粘结性和抗老化性能显著下降, 直接影响裂缝的修复效果和道路的使用寿命。因此, 深入研究灌缝材料在低温环境下的密封性能及其提升路径具有重要的现实意义。通过优化材料配方、改进施工工艺和增强材料性能, 可以有效改善灌缝材料在低温条件下的密封性能, 为寒冷地区道路的维护和修复提供科学指导。

2 低温环境下灌缝材料密封性能的影响因素

2.1 材料组成成分的影响

灌缝材料的组成成分是决定其在低温环境下密封性能的关键因素。传统的灌缝胶主要由基质沥青和聚合物弹性体组成, 聚合物弹性体赋予灌缝胶良好的变形能力, 使其能够适应因温差变化而产生的裂缝宽度变化。然而, 在低温环境下, 灌缝胶的柔韧性会显著降低, 导致其与裂缝壁的粘结强度减弱, 进而影响密封性能。为了改善这一问题, 研究人员通过添加特定的改性剂, 如 SBS、FEO、CR 和 OMMT 等, 来提高灌缝胶的低温柔韧性和抗裂性。这些改性剂能够显著提升灌缝胶在低温条件下的延度和拉伸性能, 从而增强其密封性能。

2.2 施工工艺的影响

施工工艺对灌缝材料的密封性能也有重要影响。灌缝胶的短期老化是指在施工过程中, 灌缝胶经历的短期高温热

【作者简介】姜屹峰(1982-), 男, 满族, 中国河北承德人, 本科, 工程师, 从事公路工程与养护研究。

氧老化,这一过程会影响其性能。研究表明,灌缝胶的综合性能并非随短期老化温度的上升而线性降低,而是受到黏结力、模量的综合作用。因此,在施工时,合理控制施工温度和时间至关重要。例如,160℃制样、老化的灌缝胶直到老化12小时其伸长率才出现一定的降低,而200℃、220℃下制样、老化的灌缝胶则在加热3小时后即出现了伸长率的显著降低。此外,采用加热设备或预热工艺,提高施工环境温度,可以辅助灌缝胶达到理想的施工状态,保证材料性能的发挥。

2.3 环境因素的影响

低温环境对灌缝材料的物理特性有着显著且多方面的影响。当温度降低时,灌缝胶内部的分子运动速度变慢,这使得材料整体的柔韧性和延展性大打折扣,变得更为刚硬和脆弱,极易出现开裂的情况。这种物理状态的改变直接导致灌缝胶在低温条件下难以适应裂缝的微小变形,无法有效填补裂缝,从而降低了其密封性能。此外,低温还会对灌缝胶的粘结性能产生负面影响,使其与裂缝边缘的附着力减弱,难以牢固地黏附在裂缝壁上,进而影响裂缝的修复效果和道路的整体性能。与此同时,温度的降低还会延长灌缝胶的固化时间,这不仅限制了施工的效率,还增加了施工的难度和成本,给道路维修工作带来了诸多不便。为了有效应对这些由低温环境引发的不利影响,研究人员致力于通过引入具有低温柔性的材料以及优化配方来提升灌缝胶的性能。通过添加特定的改性剂,如纳米材料、橡胶粉等,可以显著提高灌缝胶在低温条件下的柔韧性和延展性,使其能够更好地适应裂缝的变形。

2.4 材料老化的影响

灌缝材料的老化是影响其长期密封性能的重要因素。在低温环境下,灌缝胶的老化过程会加速,导致其性能逐渐下降。老化后的灌缝胶在低温拉伸性能上表现出复杂的变化规律,不同老化温度和时间下,灌缝胶的性能差异明显。例如,160℃制样、老化的灌缝胶直到老化12小时其伸长率才出现一定的降低,而200℃、220℃下制样、老化的灌缝胶则在加热3小时后即出现了伸长率的显著降低。因此,研究灌缝胶的老化规律,对于优化材料配方和施工工艺具有重要意义。

2.5 裂缝特性的影响

裂缝的特性,包括其宽度、深度、形状以及变形规律,对灌缝材料的密封性能有着重要的影响。在低温环境下,裂缝的变形规律对灌缝材料的性能提出了更高的要求。裂缝的宽度和深度决定了灌缝材料需要填充的体积和厚度,而裂缝的形状则影响材料在裂缝中的分布和附着效果。例如,裂缝如果较宽且较深,灌缝材料需要具备良好的流动性和填充性能,以确保能够完全填满裂缝;而裂缝如果较为细长或形状不规则,则对材料的柔韧性和附着力提出了更高的要求。在低温条件下,裂缝的变形规律尤为关键。低温环境下,沥青

路面的脆性增加,裂缝在温度变化和交通荷载的作用下更容易发生变形。吉林省裂缝的变形规律调查表明,低温破坏应变标准值取为150%,这意味着灌缝材料需要具备足够的弹性来适应裂缝的变形。因此,灌缝材料的低温破坏应变是衡量其低温性能的重要指标,对于确保裂缝修复效果具有重要意义。如果灌缝材料的低温破坏应变低于这一标准值,裂缝在低温条件下可能会再次开裂,导致修复失败。此外,裂缝的形状也会影响灌缝材料的密封性能。

3 提升灌缝材料低温密封性能的路径

3.1 优化材料配方

优化灌缝材料的配方是提升其低温密封性能的重要途径。通过调整材料的组成成分,可以显著改善灌缝材料在低温环境下的柔韧性、粘结性和抗老化性能。例如,采用SBS(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物)与废旧橡胶粉复合改性是加热型灌缝胶的主要研究方向。研究表明,通过添加适量的SBS、橡胶粉、增塑剂和矿粉等成分,可以制备出性能优良的灌缝材料。这种复合改性方法不仅提升了灌缝材料的低温性能,还有效降低了生产成本,同时实现了废旧资源的再利用,具有显著的经济和环境效益。此外,采用丙烯酸酯改性环氧树脂灌缝胶,能够显著提升灌缝胶的低温渗透性和快速固化性能。丙烯酸酯的引入改善了环氧树脂的柔韧性和低温延展性,使其在低温条件下仍能保持良好的密封和防水性能。这种改性方法特别适用于寒冷地区,能够有效防止水分和空气通过裂缝侵入路面结构,从而延长道路的使用寿命。

3.2 采用先进的改性技术

先进的改性技术能够有效提升灌缝材料的低温性能。通过增塑剂和增粘剂的协同作用,可以显著增强灌缝材料的低温性能和长期塑性。例如,研究发现,超耐低温增塑剂SDL-406与其他助剂,能够显著提高材料在极寒条件下的柔韧性和机械性能。这种协同效应不仅提升了材料的耐低温性能,还延长了其使用寿命。此外,采用高温熔融共混技术是确保灌缝材料性能均匀性和稳定性的关键。该技术通过在高温熔融状态下充分混合各种成分,形成稳定的胶体结构,从而提高灌缝胶的弹性和耐久性。这种技术能够有效避免材料在混合过程中出现的不均匀现象,确保各成分在微观层面充分融合,从而提升材料的整体性能。同时,利用纳米材料进行改性也是提升灌缝材料低温性能的重要手段。

3.3 严格控制施工工艺

施工工艺的精细控制对灌缝材料的低温密封性能至关重要。在施工过程中,严格控制灌缝材料的加热温度和时间是确保其性能的关键。过高的温度可能导致灌缝胶烧焦并降低其弹性,而过低的温度则可能影响其流动性和填充效果。此外,在灌缝前对裂缝壁及其两侧路面进行充分加热,能够提高灌缝材料与裂缝壁的粘结效果。同时,合理控制灌缝速度和压力,确保材料均匀、流畅地填充整个裂缝,避免出现空洞、气泡或材料溢出等情况。

3.4 选用高质量原材料

选用高质量的原材料是提升灌缝材料低温密封性能的基础。高质量的沥青基材是灌缝胶的核心成分，其性能直接影响灌缝材料的粘附性和耐久性。优质的沥青基材能够在低温环境下保持良好的柔韧性和粘结力，从而确保灌缝胶与裂缝壁的紧密结合，有效防止水分和空气的侵入。同时，选用环保型添加剂，如废轮胎橡胶粉等，不仅能显著提升灌缝材料的弹性恢复性能，还能在降低成本的同时减少对环境的影响。废轮胎橡胶粉作为一种可再生资源，具有良好的弹性和耐磨性，能够显著提高灌缝材料的低温性能和抗老化能力。

3.5 增强材料的抗老化性能

灌缝材料的老化是影响其长期密封性能的重要因素。老化过程会导致材料性能的显著下降，如柔韧性降低、粘结力减弱以及弹性恢复能力变差，从而缩短其使用寿命。为了有效提升灌缝材料的抗老化性能，研究人员采取了多种方法。通过添加抗老化剂和抗氧化剂，可以显著增强灌缝材料的抗老化能力。例如，采用液体丁腈橡胶、SBS 和胶粉复合改性沥青制备灌缝胶，能够显著提高其抗老化性能和低温性能。这种复合改性方法通过多种材料的协同作用，优化了灌缝胶的微观结构，使其在高温、紫外线和雨水等复杂环境条件下仍能保持良好的性能。

4 灌缝材料低温密封性能的实验验证

4.1 实验设计与方法

为了验证灌缝材料在低温环境下的密封性能，实验设计需综合考虑多种因素。实验采用正交试验设计，选取 FEO、CR 和 OMMT 掺量作为影响因素，设计三因素三水平的正交试验方案，研究各因素对灌缝胶性能的影响。通过这种设计，可以系统地分析不同配方对灌缝材料低温性能的影响，从而确定最佳配合比。同时，实验还参考了民用机场水泥混凝土道面接缝材料应用技术规范中的测试方法，确保实验结果的科学性和可靠性。

4.2 低温拉伸试验

低温拉伸试验是验证灌缝材料低温密封性能的关键环节。实验中，将试件在规定的低温条件下保温不少于 4 小时，然后在拉伸试验机上以 100mm/h 的速度拉伸试件，记录拉力及位移。通过计算破坏应变，可以评估灌缝材料在低温条件下的柔韧性和抗裂性。实验结果表明，不同配方的灌缝材料在低温下的拉伸性能存在显著差异，这为优化材料配方提供了重要依据。

4.3 冷拉热压循环试验

冷拉热压循环试验用于模拟灌缝材料在实际使用过程

中可能经历的温度变化。实验中，试件在低温装置内放置 3 小时后进行拉伸试验，随后在干燥箱内放置 3 小时进行压缩试验，重复多次循环。通过这种循环试验，可以评估灌缝材料在反复温度变化下的性能稳定性。实验结果表明，经过冷拉热压循环后，灌缝材料的拉伸强度损失率是衡量其性能的重要指标，而优化配方可以显著降低这一损失率。

4.4 低温抗裂性试验

低温抗裂性试验用于评估灌缝材料在极端低温条件下的抗裂性能。实验中，将试件在低温环境箱中存放一定时间后，绕圆棒弯曲，检查试件是否存在开裂、分层或粘附性失效等现象。实验结果表明，不同配方的灌缝材料在低温下的抗裂性能存在明显差异，通过添加特定的改性剂，如 OMMT，可以显著提高灌缝材料的低温抗裂性。

4.5 实验数据分析与结果

实验数据分析是验证灌缝材料低温密封性能的重要环节。通过对实验数据的统计分析，可以得出不同配方对灌缝材料低温性能的影响规律。例如，实验结果表明，CR 的加入可以提高灌缝胶的弹性恢复和黏度，显著改善其高温稳定性；而 FEO 的加入则直接影响了灌缝胶的低温延度和低温拉伸性能。此外，OMMT 的加入能够显著提高灌缝胶的抗老化性能。通过综合分析实验数据，可以确定灌缝材料的最佳配方，从而为实际工程应用提供科学依据。

5 结语

通过对灌缝材料在低温环境下的密封性能进行系统研究，明确了材料组成、施工工艺、环境因素、材料老化和裂缝特性对密封性能的影响规律，并提出了相应的优化路径。实验结果表明，通过合理调整材料配方、采用先进改性技术和严格控制施工工艺，可以显著提升灌缝材料的低温密封性能。这些研究成果不仅为寒冷地区沥青路面裂缝修复提供了科学依据，也为未来相关材料的研发和应用指明了方向。未来，应进一步探索新型改性剂和复合材料的应用，以满足更严苛的低温环境需求，推动道路工程材料技术。

参考文献

- [1] 王伟. 沥青路面裂缝灌缝材料低温性能研究[J]. 道路工程, 2022,45(3):45-50。
- [2] 李敏. 灌缝材料低温密封性能实验方法与分析[J]. 建筑材料学报, 2023,26(2): 110-116。
- [3] 韦慧, 张虎. 沥青路面低温型灌缝胶制备及性能研究[J]. 长沙理工大学学报自然科学版, 2022,19(4):152-160。
- [4] 王华, 李明. 沥青路面裂缝成因及预防措施[J]. 公路交通科技, 2023,40(6):87-94。

Research on Causes and Application of New Treatment Technologies for Bridgehead Jumps in Highway Pavements

Zhonghong Lei

Qingshen County Highway Maintenance Service Station, Meishan, Sichuan, 620460, China

Abstract

With the continuous improvement of China's highway network, bridgehead jumps have become increasingly prominent, severely affecting bridge service performance and traffic safety. This phenomenon intensifies vehicle impacts, damages road surfaces, and may lead to damage to bridge ancillary facilities. This paper examines the manifestations and hazards of bridgehead jumps, conducting an in-depth analysis of key causes including uneven foundation settlement, insufficient soil compaction, improper structural connection design, and vehicle load impacts. Addressing the limitations of traditional remediation methods, this study focuses on new treatment technologies such as foundation reinforcement, composite material filling, structural optimization, and intelligent monitoring. Case studies from engineering projects summarize the application outcomes. Finally, a systematic strategy combining "prevention-oriented engineering and intelligent governance" is proposed, providing theoretical and technical references for efficient management of bridgehead jump defects.

Keywords

Highway bridges; Bridgehead jumps; Causes of defects; New treatment technologies; Foundation reinforcement; Intelligent monitoring; Structural optimization

公路桥梁桥头跳车病害成因与新型处治技术的应用研究

雷子红

青神县公路养护服务站, 中国·四川眉山 620460

摘要

随着我国公路网络的不断完善, 桥头跳车病害日益突出, 严重影响桥梁服务性能和行车安全。跳车现象导致车辆冲击加剧、路面损坏, 并可能引发桥梁附属设施受损。本文梳理了桥头跳车的表现及危害, 深入分析地基不均匀沉降、填土压实度不足、结构连接设计不合理和车辆荷载冲击等主要成因。针对传统治理手段的不足, 重点探讨了地基加固、复合材料填充、结构优化与智能监测等新型处治技术, 并结合工程案例总结了应用成效。最后, 提出“工程预防为主、智能治理结合”的系统对策, 为桥头跳车病害的高效治理提供理论与技术参考。

关键词

公路桥梁; 桥头跳车; 病害成因; 新型处治技术; 地基加固; 智能监测; 结构优化

1 引言

桥头跳车是我国公路桥梁运营养护过程中普遍存在的一类典型病害。所谓跳车, 是指车辆通过桥头与路基衔接处时, 因结构不连续、沉降差异、连接失效等因素导致车辆产生明显上下跳动的现象。该病害不仅影响车辆的行驶平顺性和驾驶舒适性, 更加重了桥梁结构和路面附属设施的损坏速度, 成为制约公路桥梁服务质量和安全性能的重要因素。

跳车病害表现形式多样, 既有桥头路基突然下沉、台背路面出现凹陷的宏观现象, 也有台背填土空洞、伸缩缝错台、台背结构断裂等微观病变。其成因极为复杂, 既有地基

基础承载力不足、路基压实不良、桥台设计不当等工程内因, 也有车辆重载冲击、交通量增长、自然环境变化等外部因素的共同作用。长期以来, 传统处治措施多以填充抬高、沥青补强等“被动修补”为主, 难以根治病害。随着道路交通荷载和服务标准的提高, 亟须系统性的新型处治技术和综合治理方案。本文聚焦于桥头跳车的成因剖析与新型处治技术应用, 系统总结了国内外相关研究成果, 结合典型工程案例, 提出针对性的技术创新路径和管理对策, 为提升我国公路桥梁的结构耐久性和行车舒适性提供理论参考和实践支撑。

2 桥头跳车病害的表现与危害

2.1 桥头跳车病害的典型表现

桥头跳车病害的表现具有明显的阶段性和区域性特征。初期主要表现为桥台与路基连接处出现微小的低差, 随运营

【作者简介】雷子红(1969-), 男, 中国四川眉山人, 本科, 工程师, 从事公路桥梁研究。

时间增长,桥头部位会出现明显沉降凹陷,车辆驶过时产生“跳动”感,严重时伴随振动、撞击、噪声增大等现象。部分桥梁台背路面可见局部开裂、龟裂和坑槽,伸缩缝附近出现错台、松动等结构损伤。

在部分地区,桥头跳车还表现为桥台与接线段横向开裂、下沉,甚至导致桥台背墙开裂、路面层与桥台脱空。极端情况下,桥头跳车会引发桥台倾斜、桥梁伸缩缝变形失效,危及桥梁结构的整体稳定性与安全性。病害的发展具有阶段性,从初期轻微不适感到后期严重安全隐患,需引起道路管理部门与工程技术人员的高度重视^[1]。

2.2 桥头跳车对桥梁和道路安全的危害

桥头跳车直接影响行车安全与道路服务质量。车辆通过病害桥头时,车身剧烈跳动,驾驶员控制难度增加,易诱发交通事故。频繁的冲击作用下,桥梁结构的连接部位、伸缩缝、台背混凝土及填土层易出现早期疲劳破坏,延长维护周期和修复成本。同时,跳车引起的冲击力作用于桥台及路面结构,造成结构局部应力集中,加快材料老化与结构失稳过程。对于重载运输路段和高速公路,跳车病害尤为突出,影响范围广、危害程度高。长期未加治理,将极大缩短桥梁的服务寿命,增加交通安全隐患,影响道路运输系统的稳定运行。此外,桥头跳车带来的不舒适行驶体验,也影响了道路服务形象与公众满意度,成为道路交通现代化管理亟待解决的突出问题。

2.3 桥头跳车的形成机制分析

桥头跳车的形成机制极其复杂,是多种因素长期耦合作用的结果。地基基础的不均匀沉降、台背填土压实度不足、桥台结构刚度突变、路基与桥台连接不良等均是关键诱因。

在桥台与路基连接部位,由于结构性质和施工工艺的差异,沉降速率不同,导致连接处产生高差和错台现象。车辆频繁碾压进一步加剧了沉降和凹陷,形成恶性循环。桥台结构设计不合理、伸缩缝设置不当、台背回填材料选择不当,也易导致桥头部位的应力集中和材料松散。气候因素如季节性冻融、降雨冲刷等,对地基和台背土体的稳定性产生影响,加速病害发展。桥头跳车作为桥梁结构、地基路基、交通荷载和环境变化多因素作用的结果,治理难度大、技术复杂。

3 桥头跳车病害的主要成因分析

3.1 地基与基础沉降不均

桥头跳车的根本原因之一是地基和基础的沉降不均。桥台与路基部分的地基结构、承载力、压实标准及施工工艺往往存在差异,导致承载变形不一致。

实际工程中,桥台基础一般为桩基或扩大基础,承载能力强、变形小,而路基则为普通填土结构,受压后易产生下沉。随着车辆荷载作用的累积,路基沉降速度大于桥台,桥头部位逐步形成高差。此外,部分地基处于软土、湿陷性黄土等特殊地质环境,土体压缩变形大、固结时间长,加剧

了台背区域的不均匀沉降。地基处理不到位、基础形式选型不当、地质勘察不足等问题,均会增加沉降差异的风险,成为跳车病害的重要诱因^[2]。

3.2 台背填土压实度与材料特性

台背填土是桥头跳车的高发区域,填土压实度不足、回填材料选择不合理是导致台背沉降和病害扩展的直接因素。施工过程中,台背区域受桥台、基础和施工空间的限制,常导致压实机械无法充分作业,压实度远低于设计要求。

部分工程为节省成本,采用劣质土体、杂填土或未经过筛选的松散材料,导致填土区孔隙率大、渗水性强,易产生塌陷和空洞。台背土体吸水膨胀、失水收缩,以及交通荷载长期作用下的结构松散,均会导致台背沉降不断加剧,最终表现为桥头路面下沉、跳车现象明显。因此,台背填土的质量控制和材料选择是预防和治理桥头跳车的关键环节。

3.3 结构连接设计与伸缩缝施工问题

桥梁台背结构与路基、路面层的连接设计不合理,伸缩缝施工质量不过关,也是跳车病害的常见成因。在实际施工中,部分工程未能有效处理桥台、路基、路面三者之间的刚度过渡和变形协调,导致连接部位刚度突变,应力集中。伸缩缝设置不当或施工质量差,造成缝隙宽度、平整度和防水性能难以保证,长期车辆碾压易出现错台、开裂、渗水等问题,进一步损坏台背结构。部分桥梁未设置防沉降结构或减震过渡层,导致桥台后部变形集中、沉降迅速。桥台背墙与路面层结合部位的抗剪、抗拔性能不足,也会加快跳车病害的发展。结构连接与伸缩缝问题是影响桥头跳车病害长期演化与反复发生的重要技术瓶颈。

4 桥头跳车的新型处治技术研究

4.1 地基加固与改良技术

针对地基沉降和台背松散等问题,地基加固技术已成为桥头跳车治理的核心手段之一。常用加固方法包括强夯法、深层搅拌法、注浆加固、CFG桩复合地基、粉喷桩加固等。

强夯法通过高能量冲击提高地基密实度,适用于砂土、碎石土等类型;深层搅拌法和注浆加固主要针对软土、淤泥质地基,通过机械搅拌或注入水泥浆、化学浆液,提高土体强度和稳定性。CFG桩、粉喷桩等复合地基技术则通过设置桩体和加固层,协同承载上部结构荷载,减少沉降差异。近年来,生物固化、纳米材料固结等新型地基改良技术也在部分地区开展试点应用,展现出良好的发展前景。科学选用地基加固技术,是提高桥头结构整体稳定性和抑制跳车病害的基础保障^[3]。

4.2 复合材料填充与结构补强技术

在台背填土及路面结构治理中,复合材料的应用极大提升了处治效果。高性能聚合物注浆、泡沫混凝土、轻质土材料等复合填充材料,具有自流平、快速固结、高承载、耐久性好等优点,可有效填充台背空洞、加固松散土体,减少

后期沉降。针对结构连接部位的补强,碳纤维布、钢板加固、玻纤网格复合等新材料补强技术逐渐应用。聚合物砂浆灌浆修复可快速恢复路面平整度与强度,抑制裂缝扩展。

同时,采用“桥台—台背—路面”一体化加固和柔性连接技术,优化刚度过渡,减缓应力集中,提升结构协调变形能力。复合材料的创新应用为跳车病害治理提供了高效、安全的技术路径。

4.3 智能监测与自动化维护技术

信息化与智能监测技术的快速发展为桥头跳车病害的早期预警与精准处治提供了强大支撑。通过布设应变、位移、沉降等多种传感器,实时采集结构健康数据,实现桥台台背及路面状态的全过程动态监控。

结合大数据分析 with 人工智能算法,对桥头跳车发展趋势、影响因子及处治效果进行智能研判,提升运维决策科学性。部分新建桥梁已采用物联网+云平台一体化管理,建立了“数据—诊断—处治—评估”闭环机制。自动化注浆、填充机器人等装备的应用,实现了复杂部位的高效修复与维护。智能监测和自动化维护将成为未来桥头跳车治理的重要发展方向。

5 新型处治技术的工程应用与管理对策

5.1 典型工程案例分析

以某高速公路跨线桥为例,服役数年后桥头部位出现明显沉降和跳车现象。项目组对台背地基进行CFG桩加固,配合高性能聚合物注浆修复空洞,并同步实施台背柔性连接补强。治理过程中,采用多点沉降监测系统实时跟踪结构状态,动态调整注浆量与加固参数。

修复完成后,桥头高差显著降低,路面平顺性恢复,后期病害复发率大幅下降。该案例表明,复合地基+智能监测+新型材料联合应用,可有效解决传统处治手段难以根治的跳车难题。其他地区类似案例还包括高填方桥台深层搅拌桩联合灌浆加固、泡沫混凝土快速回填、碳纤维网格结构补强等多种组合技术的集成应用,取得了良好的实际效果。

5.2 维护管理与预防性措施

跳车病害治理不应局限于修复技术本身,更需完善的全寿命周期维护管理。运营单位应建立桥头结构健康监测与养护平台,定期开展巡检、沉降监测与路面平整度测试,实现病害的早期发现与动态干预。

在桥梁设计与施工阶段,要高度重视台背地基处理与填土压实,优化结构连接设计,科学设置伸缩缝与防沉降设

施,采用高性能材料和规范工艺。服役期内,根据地基环境、交通荷载等因素,制定有针对性地养护计划,合理安排检测频次和技术路线。通过信息化、智能化管理手段,提升桥梁病害治理的科学化与高效化水平,实现结构安全与服务品质的双重提升^[4]。

5.3 技术创新与未来发展方向

随着公路交通与工程科技的不断进步,桥头跳车治理技术正向多元集成、智能化和绿色低碳方向发展。新型复合材料、高性能固化剂、自愈合材料等将进一步提升病害处治的持久性和经济性。

基于大数据和物联网的桥头健康监测平台,可实现对病害发展趋势的实时预警与动态调控,为个性化治理方案提供数据支持。

在管理层面,行业标准和技术规范需不断完善,推广“工程预防为主、智能治理结合”的理念,加强专业人才培养与经验总结。通过产学研协同创新,推动技术升级与模式创新,为我国公路桥梁安全、绿色、可持续发展提供坚实保障^[5]。

6 结语

公路桥梁桥头跳车病害作为影响道路安全与结构耐久性的重点难题,具有成因复杂、危害广泛、治理难度大的特点。文章从病害表现与危害、成因剖析、新型处治技术到工程实践与管理对策,系统梳理并总结了跳车病害全链条治理思路。

治理跳车病害,既要依托高效可靠的地基加固与复合材料应用,也需智能监测和自动化维护等新兴技术手段的集成支持。各环节需强化工程标准、优化工艺流程、完善维护管理,实现从“被动修补”到“主动预防”的管理转型。面向未来,智能化、绿色化和多元集成将成为桥头跳车治理技术的发展方向。相关单位和技术人员应持续推进技术创新和管理升级,不断提升病害治理效率和道路服务质量,为我国交通基础设施的安全稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 张丽君.基于高聚物注浆法高速公路桥梁桥头跳车处治[J].山西交通科技,2022,(04):85-87.
- [2] 郭飞.公路桥头沉降控制技术研究与分析[J].居舍,2018,(22):52.
- [3] 丁志清.公路桥头及桥梁伸缩缝处跳车原因及防治措施[J].科技资讯,2010,(35):86.
- [4] 郭飞.公路桥头沉降控制技术研究与分析[J].居舍,2018,(22):52.
- [5] 梁广豪.高速公路桥头跳车及桥梁养护[J].山西建筑,2017,43(16):188-189.