

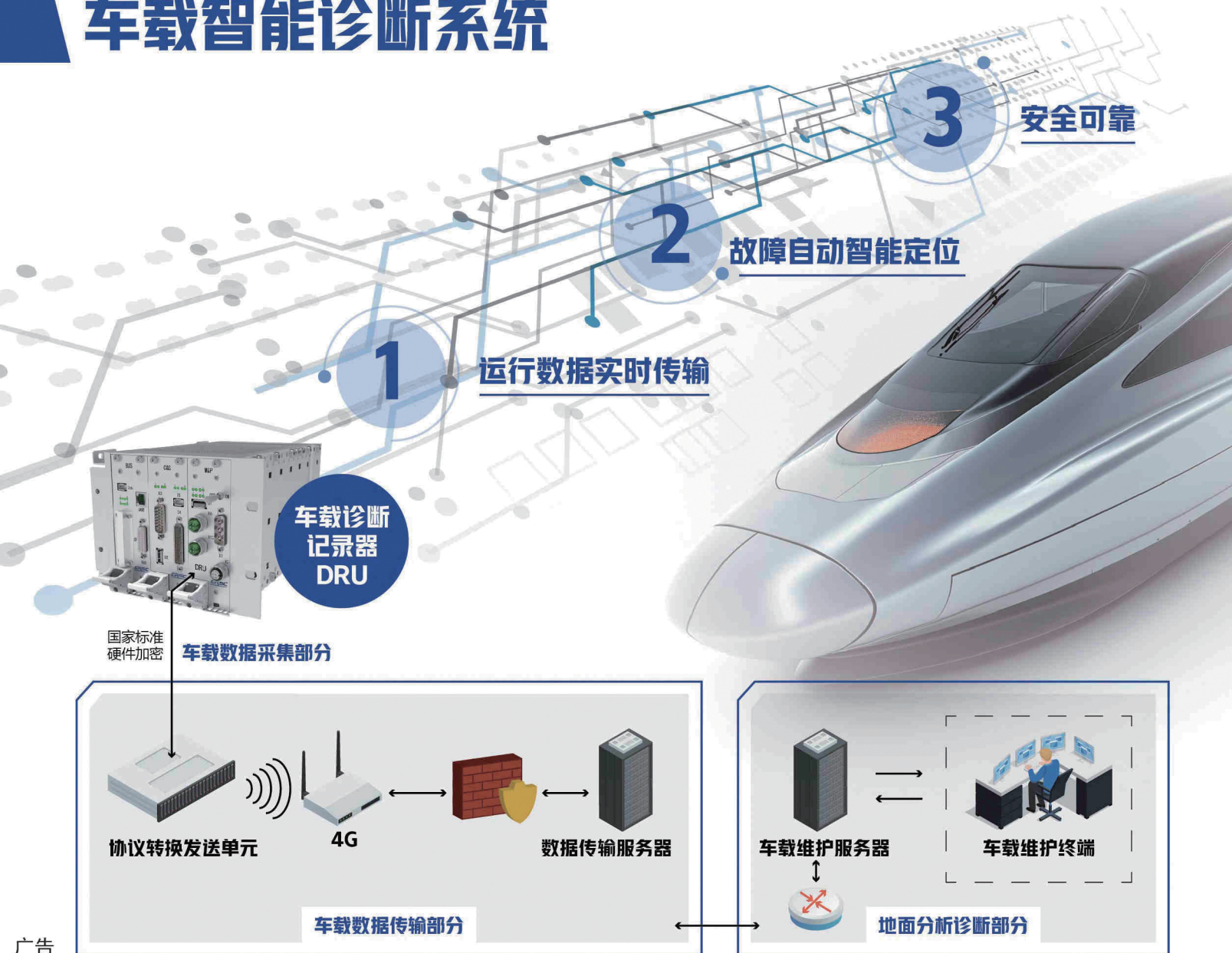
铁路通信信号工程技术

Railway Signalling & Communication Engineering

中国铁道学会通信信号分会指定期刊

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 2024. **3** 第21卷 总第159期

CTCS3-300T 车载智能诊断系统



广告

铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

主管单位 Administrated by:

中国铁路通信信号集团有限公司 China Railway Signal & Communication Group Co., Ltd.

主办单位 Sponsored by:

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd.

主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

责任编辑 Editor in Charge:

王丹丹, 陈超, 贯一琦 Wang Dandan, Chen Chao, Guan Yiqi

网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

英文编辑 English Editor:

刘旸 Liu Yang

编辑出版 Edited and Published by:

《铁路通信信号工程技术》编辑部 Editorial Office of *Railway Signalling & Communication Engineering*

地址 Address

北京市丰台科技园汽车博物馆南路1号院 Block No.1, Qichebowuguan Nanlu, Fengtai Science Park, Fengtai District, Beijing, China

邮编: 100070 Postcode: 100070

邮箱: rsce@crscd.com.cn E-mail: rsce@crscd.com.cn

网址: <https://rsce.crscd.com.cn> URL: <https://rsce.crscd.com.cn>

编辑电话 Edition Tel:

50805951; 50805957 50805951; 50805957

广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

邮发代号: 80-532 Distribution Code: 80-532

中国标准连续出版物号 China Standard Serial Number:

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U CN 11-5423/U

国际标准连续出版物号 International Standard Serial Number:

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

广告代理 Advertising Agency:

北京今日中铁广告有限责任公司 Beijing Jinrizhongtie Advertising Co., Ltd.

印刷 Printed by:

北京联合互通彩色印刷有限公司 Beijing Lianhehutong Print Co., Ltd.

广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

定价: 10.00 元/期 Price: ¥10 Yuan Per Copy



月刊 Monthly

第21卷第3期总第159期 Vol.21 No.3 S.No.159

出版: 2024年3月25日 Published on: 3/25/2024

创刊: 2004年 First Issue: 2004

高级顾问: 倪光南院士

刘尚合院士

陈维江院士

Senior Consultants:

Ni Guangnan: Member, Chinese Academy of Engineering

Liu Shanghe: Member, Chinese Academy of Engineering

Chen Weijiang: Member, Chinese Academy of Sciences

主任委员: 张啸林

委员: (按姓氏笔画排序)

马丽兰 王兴中 尹福康 石先明 邢毅
刘岭 刘朝英 江明 杨岗 肖培龙
何涛 张苑 张志辉 张晓莉 罗松
周宪宝 赵晓东 钟章队 姜永富 徐中伟
徐宗奇 郭进 唐涛 曹玉 覃燕

本刊入选数据库:

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊;

RCCSE 中国准核心学术期刊;

日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊;

EBSCO 学术数据库收录期刊;

中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊;

中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊;

中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊;

中国学术期刊影响因子年报统计源期刊;

超星期刊域出版平台全文收录



<https://rsce.crscd.com.cn>

扫码打开期刊官网,
阅读、下载本刊内容

声明: 1. 本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权, 并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。若作者不同意自己的稿件以上述或其他形式被引用, 请事先声明, 否则视为同意。

2. 本刊文章版权所有, 未经书面许可, 不得以任何形式转载。

铁路通信信号工程技术 目次

技术创新

信号技术

- 四网融合的信号系统方案研究
..... 刘名元, 戴 宏 1-6
- 基于邻接表和改进深度搜索的进路搜索研究
..... 刘儒琛, 孙众人, 张尚崇 7-11
- 临时限速辅助决策系统的设计与实现
..... 佟 彤, 许 巍, 晋良波 12-17
- 关于驼峰尾部停车器实时在线监测系统的研究
..... 吴 磊, 张 峰, 朱 文 18-23

通信及信息技术

- 基于SDN的应急融合通信网络设计与实现
..... 双家赞, 罗 涛 24-28
- 基于公网的重载铁路列控系统车-地通信技术研究
..... 谢和欢 29-35
- 基于Xgboost的铁路货运装卸作业时间预测
..... 周 瑾, 王文斌, 刘子扬, 刘永壮 36-41
- 铁路通信综合网络管理系统网络安全建设的研究
..... 魏 旻 42-46
- 铁路施工防护系统中多重冗余预警技术的研究
..... 唐文国 47-53
- 工程设计企业信息化指挥中心研究与设计
..... 李 瑞 54-58
- 调度集中系统发送无线进路预告的改进方案
..... 陈 梵, 汤宝伟 59-63

城轨交通

- 车-车通信与车-地通信信号系统方案可靠性分析对比
..... 李 梅 64-68
- 复杂条件下地铁CBTC信号系统接入既有线的解决方案
..... 陈 通 69-72
- 一体化票务服务研究
..... 李达明, 黄志伟, 陈柯行 73-76
- 车载测速电机检测方法研究
..... 李小朋, 汪 或, 薛 超, 刘 明 77-82
- 轨道交通无障碍快速检票系统解决方案
..... 甘 露, 张 征 83-88

技术交流

- 信号机房施工工厂化预制技术要点探究
..... 刘佳欣 89-94
- 牵引供电馈线继电保护问题分析及应对措施
..... 张翼翔, 武 骥 95-100
- 25 Hz相敏轨道电路与ZPW-2000A结合处的逻辑检查故障分析
..... 贾 鸿, 马 樱, 张 祺 101-105
- 铁路平交道口智能集控预警系统
..... 周 帅, 周 培, 武恒颀, 周灵钰 106-112

行业信息

- 美国企业与日本企业合作使用人工智能技术进行轨道检查(94) 以色列 Rail Vision 公司在印度获得一项轨道异物入侵检测系统专利(100)

Railway Signalling & Communication Engineering

CONTENTS

Technological Innovation

Signalling Technology

Research on Signal System Scheme for Integration of Four Networks	Liu Mingyuan, Dai Hong	1-6
Research on Route Search Based on Adjacency List and Improved Depth First Search	Liu Ruchen, Sun Zhongren, Zhang Shangchong	7-11
Design and Implementation of Temporary Speed Restriction Decision Support System for Train Control	Tong Tong, Xu Wei, Jin Liangbo	12-17
Research on Real-time Online Monitoring System for Hump Tail Stopping Devices	Wu lei, Zhang Feng, Zhu Wen	18-23

Communication & Information Technologies

Design and Implementation of Integrated Emergency Communication Network Based on Software Defined Networking(SDN).....	Shuang Jiayun, Luo Tao	24-28
Research on Vehicle-Ground Communication Technology Based on Public Network for Train Control System of Heavy Haul Railways	Xie Hehuan	29-35
Loading and Unloading Time Estimation Based on Xgboost for Railway Freight Transport	Zhou Jin, Wang Wenbin, Liu Ziyang, Liu Yongzhuang	36-41
Research on Cyber-security of Integrated Network Management System for Railway Communication	Wei Min	42-46
Research on Multiple-redundancy Early Warning Technology in Railway Construction Protection System	Tang Wenguo	47-53
Research and Design of Information Command Center in Engineering Design Enterprises	Li Rui	54-58
Solution to Improve Wireless Route Notice Transmission by CTC System	Chen Fan, Tang Baowei	59-63

Urban Rail Transit

Reliability Analysis and Comparison of Signaling System Schemes of Train Autonomous Circumambulate System and Communications Based Train Control System	Li Mei	64-68
Solution for Connecting CBTC System to Existing Line Under Complex Conditions	Chen Tong	69-72
Research on Integrated Ticketing Service	Li Daming, Huang Zhiwei, Chen Kehang	73-76
Research on Measurement Method of Odometer	Li Xiaopeng, Wang Yu, Xue Chao, Liu Ming	77-82
Solution for Barrier-free Fast Ticket Checking System for Rail Transit	Gan Lu, Zhang Zheng	83-88

Technological Exchange

Discussion of Key Aspects of Factory Prefabrication Technology in Signal Equipment Room Construction	Liu Jiaxin	89-94
Analysis and Countermeasures of Relay Protection Problems of Traction Power Supply Feeder	Zhang Yixiang, Wu Ji	95-100
Fault Analysis of Logic Check at Junction of 25 Hz Phase Sensitive Track Circuit and ZPW-2000A Track Circuit	Jia Hong, Ma Ying, Zhang Qi	101-105
Intelligent Centralized Control System for Early Warning of Railway Level Crossings	Zhou Shuai, Zhou Pei, Wu Hengjie, Zhou Lingyu	106-112

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.001

四网融合的信号系统方案研究

刘名元, 戴 宏

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 城市轨道交通、市域(郊)铁路和城际铁路建设均在向网络化运营推进, 各种轨道交通之间的互联互通已经是工程建设必须面临的问题, 而信号系统的兼容性则是实现各种轨道交通互联互通的一个基础条件。目前, CBTC系统和CTCS列控系统在各自轨道交通领域均处于统治性的市场地位, 两种列控系统对土建条件的需求截然不同, 由此导致工程规模、功能定位等方面的重大差异。重点论述两种列控系统在运营能力、公文化运营等方面的差异, 针对目前互联互通所面临的技术难点, 提出解决方案, 为后续工程设计提供一个可行的思路。

关键词: 融合信号系统; 公文化; 互联互通

中图分类号: U283

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0001-06

Research on Signal System Scheme for Integration of Four Networks

Liu Mingyuan, Dai Hong

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The construction of urban rail transit lines, suburban railways, as well as intercity railways is advancing towards networked operation. The interoperability of various rail transport systems has become an unavoidable issue in engineering construction, and the compatibility of signal systems is a basic condition for the interoperability of various rail transport systems. At present, both the CBTC system and the CTCS system occupy a dominant market position in their respective rail transport fields. However, these two train control systems have completely different requirements for civil engineering conditions, resulting in significant differences in such aspects as project scale and functional positioning. This paper discusses the differences between these two train control systems in terms of operational capacity and public transport operation. It also provides a solution in response to the current technical difficulties related to interoperability, which provides a feasible approach for engineering design in the future.

Keywords: integrated signal system; public transport operation; interoperability

收稿日期: 2023-11-01; 修回日期: 2024-01-19

第一作者: 刘名元(1981-), 男, 正高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 地铁、城际信号系统, 邮箱: lallumnay@139.com。

从2020年12月国务院办公厅转发《关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见》到2022年, 国家铁路局在铁路行业《“十四五”现代综合交通体系发展规划》中均从不同角度提出, “推进‘四

网融合’发展，构建层次清晰、绿色安全、融合一体、快捷顺畅、经济高效的铁路客运服务网络。”在上述国家政策的指引之下，“四网融合”已经成为国铁、城际、市域（郊）、城市轨道交通发展的方向。

对于信号系统而言，目前国铁和部分城际、市域（郊）铁路均采用 CTCS-2 列控系统，城市轨道交通多采用 CBTC 列控系统，因此信号系统的“四网融合”主要指 CTCS-2 和 CBTC 两种制式的兼容与融合。本文将针对信号系统在“四网融合”过程中存在的问题和解决思路进行深入的探讨。

1 各轨道交通线路的运营特点

国铁、城际、市域（郊）铁路主要用于城市与城市之间或城市与其郊区的旅客出行，其特点是“快速直达”“服务频次低”“各线互联互通”。城市轨道交通线路主要用于市区内不同区域之间的乘客服务，其特点是“公交化运营”“服务频率高”“各线独自运营”。对于乘客而言，国铁、城际、市域（郊）铁路和城市轨道交通线路的最大区别在于“互联互通”和“公交化运营”。城际铁路的优势在快速直达，地铁的优势在公交化运营，服务质量高。

2 信号系统与轨道交通线路运营特点的匹配性

2.1 “互联互通”的匹配性

为实现不同运营线路之间的互联互通，信号系统的互相兼容是重要基础条件。CBTC 系统最早由贝尔-阿尔卡特应用于加拿大天车线，后续逐步有诸多厂家参与，并在国内轨道交通市场得到了广泛应用，但由于参与厂家众多，各地建设单位需求不一致，导致 CBTC 系统没有统一的国家或者行业标准，系统的准入门槛较低。国内目前只有重庆地铁初步实现了不同厂家/制式 CBTC 系统之间的互联互通，并且方案还在进一步完善过程中。因此，CBTC 系统在互联互通这一特点的匹配性上还有一系列的工作需要开展。

CTCS 系列列控系统由于在研制初期，就由铁道部统一了相应的规范和标准，并且在工程应用中逐步得到了完善和发展，目前已经是国铁统一的系统制式，不同厂家的设备均遵循同样的标准，其互联互通特性已经在国铁得到了广泛的验证。

2.2 “公交化运营”的匹配性

公交化运营体现在较短的追踪间隔和折返间隔。城市轨道交通工程所用的信号系统制式一般均为 CBTC 系统，在历经了各地工程的验证之后，正线追踪能力和折返能力均可满足线路公交化运营需求，系统实现 2 min 的折返和追踪间隔已无争议。

根据《城际铁路设计规范》(TB 10623-2014)要求，CTCS-2 列控系统最小行车间隔应按照运输需求研究确定，宜采用 3 min，其系统能力主要体现在正线的追踪间隔上，但是折返间隔一般在 15 ~ 20 min，无法满足公交化运营需求。

2.3 典型都市圈城际线网运营需求

CTCS-2 列控系统可以实现互联互通，但实现不了公交化运营；CBTC 列控系统可以实现公交化运营，但城市轨道交通一般为各线独自运营，在互联互通方面又稍显不足。

在粤港澳大湾区、长三角等都市圈城际运营需求中，“互联互通”“公交化”已经越来越成为提升服务水平的切入点。由于城际铁路、国铁干线等主要实现的是长距离、高速度的客运目标，与城市轨道交通的公交化运营目的并不一致，因此单独从折返能力上来对比 CTCS-2 和 CBTC 两种列控系统并不合适。但是，如果要在现有都市圈城际铁路实现公交化运营，那么 CTCS-2 列控系统的部分短板就会被放大，由此给工程设计目标的实现带来巨大风险。CBTC 系统和 CTCS-2 系统的特点明显，目前又暂不具备融合条件，如何兼顾“公交化运营”和“互联互通”，就成为系统亟需解决的问题。

3 信号系统融合思路

CBTC 列控系统和 CTCS-2 列控系统在车载 ATP/ATO 具体功能实现方式有所不同，但硬件架构

基本类似，都是由外围接口单元、核心处理单元、电源单元、通信单元和无线单元等组成。在具体功能实现方式中，CBTC 列控系统的通信单元新增了双端列车通信单元，CTCS-2 列控系统通信单元新增了轨道电路接收单元。在无线单元的功能中，CBTC 列控系统主要实现与 WLAN 网络或者 LTE 网络的接口，

CTCS-2 列控单元主要实现与 GSM-R 的接口。

如图 1 所示，在原有 CBTC 系统的硬件架构基础上，通过新增司法记录单元、轨道电路读取器、GSM-R 电台等无线通信设备，即可为实现兼容 CBTC 和 CTCS-2 系统功能的车载设备提供必备的外部条件。

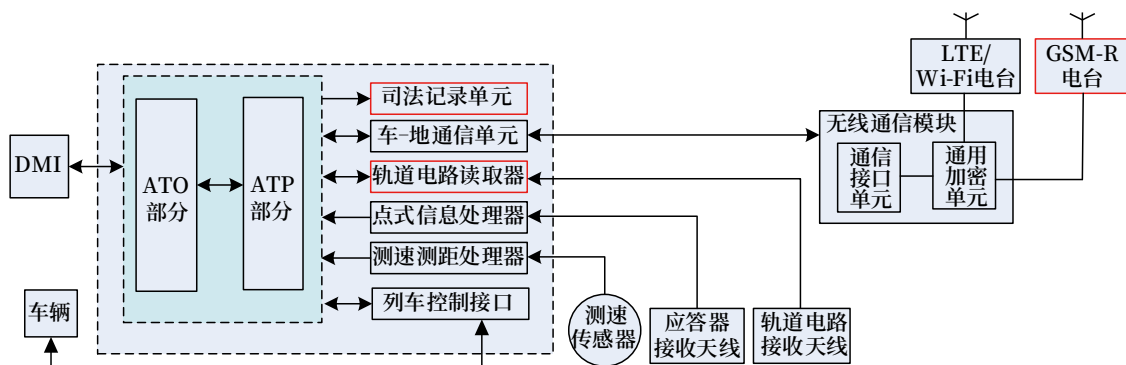


图1 融合车载构成

Fig.1 Composition of integrated onboard equipment

为同时兼容 CTCS-2 系统和 CBTC 系统，减少科研开发的难度，尽可能利用既有 CTCS-2 系统和 CBTC 系统的成熟经验，兼容性信号系统方案要尽可能复用既有信号系统设备，例如 CTCS-2 系统配置的列控中心、临时限速服务器、ZPW-2000 设备等，CBTC 系统配置的区域控制器等；联锁、CTC 设备、车载设备则属于通用产品，在 CTCS-2 系统和 CBTC 系统中均有采用，可以考虑在既有产品上升级改造。

3.1 车载设备升级改造

在原有 CBTC 车载设备的基础上，将点式 ATO/ATP 软件模块替换为 CTCS-2 软件模块，同时，增加轨道电路接收天线和 GSM-R 车载电台。该方案中，通过对车载设备的软件、硬件升级改造，控制了系统升级改造影响范围，具有较大的工程可实施性。

3.1.1 软件功能升级

点式 ATO 软件模块升级为 CTCS-2 模块过程中，应制定完整的版本升级、回退机制。确定版本回退的范围和方式，确保新旧模块之间的数据和配置信息能够顺利转换。同时监控系统运行状况，及时解决因模块功能升级引起的各种问题。

CTCS-2 模块与现有系统的硬件环境相匹配，包括与既有车底通信服务单元、各种外设传感器、人机界面等接口的适配。

模块安装之后，需进行详细的配置工作。这包括设置参数、调试功能以及与系统其他部分的接口对接等。

在配置过程中，应保证原有系统的稳定性和性能，确保引入的新模块不会给系统带来新的隐患或负面影响。

3.1.2 硬件升级工作

在既有系统上新增轨道电路接收天线和 GSM-R 车载天线时，需要考虑一系列因素。首先，要明确系统的需求，选择适合的设备，并制定详细的安装计划。在安装过程中，要确保天线的兼容性和稳定性，并进行全面的测试。这包括功能测试、性能测试以及安全性测试。确保天线与系统完美协同工作，并满足各项指标要求。同时根据测试结果，对天线和系统进行必要的优化和调整。这可能包括调整天线的参数、增强信号稳定性等。优化后，再次进行测试以确保系统的稳定性和可靠性。

通过全面规划、合理实施和管理维护，能够成

功地在既有系统上新增轨道电路天线和 GSM-R 天线并提高系统的整体性能。

3.2 地面设备升级改造

在 CTCS2+ATO 既有地面设备的基础上, 新增区域控制器 (ZC), 以及 LTE 无线通信设备。增加 ZC 与列控中心 (TCC)、联锁 (CI) 及临时限速服务器 (TSRS) 设备的接口。本文以 ZC 和 TCC、CI 之间接口为例进行说明。

3.2.1 ZC和TCC接口

ZC 和 TCC 均为列控系统核心设备, 分别为 CBTC 模式列车和 CTCS-2 模式列车提供 ATP 计算和防护。在融合信号系统中, 两种轨旁 ATP 设备应解决的主要问题是在分界面的交接权问题。

为了保证列车在不同轨旁 ATP 控制下的安全交接, ZC 和 TCC 在分界点两侧应实现冗余覆盖。当列车尚未驶过边界时, 仅接受 ZC 的移动授权信息。当列车进入重叠区后, 也就是从 A 区向 B 区运行时, 同时接收 ZC 和 TCC 的列控信息, 由车载信号系统根据需求自动选用。具体交接示意如图 2 所示, 交互信息如下。

步骤 1: 当列车刚刚进入管辖重叠区时, 此时移动授权尚未越过边界, 列车同时与 ZC 和 TCC 建立通信关系, ZC 和 TCC 均独立计算列车移动授权, 列车根据所处位置, 自动选用所在管辖区的移动授权信息。

步骤 2: 当列车在重叠区继续运行, 移动授权需要越过边界时, 由 ZC 根据和 TCC 完成的信息交互, 在 TCC 控制范围内, 继续计算移动授权, 并将相关信息发送至列车。

步骤 3: 当列车运行至控制边界时, 列车根据自身定位, 当在 ZC 控制范围时候, 接收 ZC 移动授权; 当在 TCC 控制范围时, 接收 TCC 移动授权; 当列车在边界点时候, 由于 ZC 和 TCC 均在持续计算移动授权, 并且列车在持续接收, 此时由列车判断选用。

步骤 4: 当列车已经完全进入 ZC 管辖重叠区,

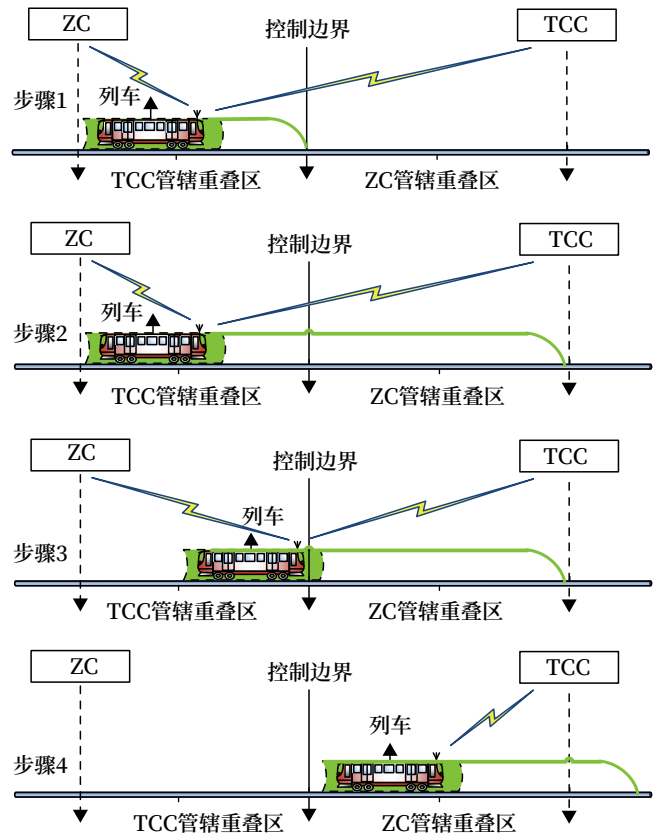


图2 ATP控制权移交示意
Fig.2 Schematic diagram of ATP control handover

也就是进入了 TCC 管辖范围后, 列车只需保留与 TCC 的通信链路, 纳入 TCC 管辖范围, 此时完成边界范围的移动授权交接。

上文简要论述了 ZC 和 TCC 在分界区交接列车控制权的信息交互流程。在实际工程应用中, 降级模式列车和常规列车之间的混跑, 也涉及大量的列车信息交互, 其基本原理与上图类似, 应结合具体的场景需求, 开展进一步细化工作。

3.2.2 ZC和CI接口

ZC 和 CI 接口是信号系统的关键组成部分, 系统之间的信息传递对于列车的安全、稳定和高效运行至关重要。CBTC 系统和 CTCS 系统内部, ZC 和 CI 接口成熟, 但是目前 CBTC 系统中 ZC 和 CTCS 列控系统中 CI 接口之间需要传递哪些信息的研究尚不充分。下文将详细介绍这些信息的内容以及它们的传输方式。

1) 信息内容

列车位置信息：包括列车当前所在的位置、前方轨道的状态（如是否可通行）等。这些信息由 CI 提供给 ZC，用于配合 ZC 判断列车是否按预定进路行驶以及何时减速或停车等。

列车速度信息：包括列车当前的实际速度以及设定的速度限制等。这些信息由 ZC 提供给 CI，用于控制信号机的显示以及道岔的开关状态等。

线路状态信息：包括线路占用状态、道岔状态等。这些信息由 CI 提供给 ZC，用于配合 ZC 判断前方是否有障碍物或者是否有其他列车占用同一段线路等。

2) 信息传输方式

轨旁 ZC 与 CI 之间的信息传输通常采用专用的数据链路进行传输。这些数据链路一般包括以太网或光纤环网等技术手段。

3) 安全传输措施

为了保证信息传输的安全可靠，轨旁 ZC 与 CI 之间通常采用加密算法对传输的信息进行加密处理，并使用数字签名等技术来验证信息的真实性，防止非法篡改和伪造信息。

4) 故障处理

如果发生信息传输中断或错误等问题，轨旁 ZC 与 CI 都有自身的故障检测和恢复机制。例如，在 ZC 中，一旦检测到信息传输错误或缺失，就会立即启动紧急制动程序，避免事故的发生；而在 CI 中，则会在接收到错误信息时停止发送命令，等待正确的信息到达后再继续发送指令。

轨旁 ZC 与 CI 之间的信息传输是铁路运输安全的关键环节之一，因此需要严格按照相关规定和技术要求进行设计、实施和维护，以确保信息传输的质量和安全性。

综上所述，方案理论上可以满足本工程公交化、互联互通的需求。在实际工程开展过程中，车载设备升级改造方案面对的问题相对较小，技术难度相对较低，工程可实施性较高。目前，粤港澳大湾区深大城际、深惠城际大鹏支线等工程均采用该设计方案。

4 运营维护管理

“四网融合”的信号系统其系统架构与原有 CBTC 或者 CTCS-2 系统不同，由此会带来维护成本、难度和维护资源需求的增加。为保障列车的安全运营，可以采取以下的相关解决方案。

制定合理的维护计划：根据设备的特点和使用情况，制定合理的维护计划，包括定期检查、保养、维修等，以确保设备始终处于良好状态。

加强维护人员培训：针对新增设备的维护要求，加强对维护人员的培训，提高技能水平，以确保他们能够正确地维护所有设备。

建立故障报告和响应机制：建立完善的故障报告和响应机制，及时响应和处理故障，以缩短故障时间和减少对系统的影响。

合理分配维护资源：根据设备的重要性的使用情况，合理分配维护资源，包括人力、物资和时间等，以确保所有设备得到及时维护。

实施预防性维护策略：通过实施预防性维护策略，提前发现和解决潜在问题，以减少故障率和维修时间。

5 行政许可相关问题

根据中国铁路总公司（简称总公司）《铁路信号产品运用管理办法》（铁总运 [2015]105 号）要求，“铁路信号产品实行资质准入管理。例如国家铁路局行政许可目录和列入产品认证目录的铁路信号产品必须分别取得相应的证书后方可上道使用”。因此，信号系统上道使用需取得如下两个证书：第一是中铁检验认证中心颁发的铁路产品认证证书（CRCC 证书）；第二是国家铁路局颁发的《铁路运输基础设施生产企业许可证》。

通过上述分析可知，若在国家铁路局行政许可范围内，采用“四网融合”列控系统，则需要满足制订相关技术标准及技术条件，并在此基础上重新取得 CRCC 认证。

若在地方主导建设、运营的工程中，依据城市

轨道交通相关标准和既有工程应用案例,取得中国城市轨道交通协会 CURC 认证,并通过独立第三方完成的安全评估,即可投入工程应用。

6 结论

通过上文对比分析,对 CTCS-2 列控系统进行优化,从技术角度分析具备较大的工程可实施性,但在行政许可等方面,仍然存在一定的不确定性。综合分析考虑,可以有如下结论。

1) 面对“四网融合”需求,在信号系统方案中,推荐采用车载设备升级改造方案为首选方案,地面设备升级改造方案作为备选方案。

2) 在由地方主导的城际/市域铁路建设过程中,“四网融合”信号系统从技术方案角度、安全评估角度是可行的。

3) 随着信号系统技术的不断发展,结合国家铁路和城市轨道交通不断融合发展的趋势,在未来实现国铁和城市轨道交通的融合是一定可以实现的。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范:GB 50157-2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 国家铁路局. 城际铁路设计规范:TB 10623-2014[S]. 北京:中国铁道出版社, 2015.
- [3] 国家铁路局. 市域(郊)铁路设计规范:TB 10624-2020[S]. 北京:中国铁道出版社, 2020.
- [4] 国家铁路局. CTCS-2 级列控车载设备技术条件:TB/T 3529-2018[S]. 北京:中国铁道出版社, 2018.
- [5] 王力. 城际客运专线 AT0 车-地通信应用方式探讨[J]. 铁道通信信号, 2011, 47(7): 55-59.
Wang Li. Discussion of Application Modes of the Train-Ground Communication of Intercity Passenger Dedicated Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(7): 55-59.
- [6] 张伟. CBTC 与 CTCS-2 兼容互通方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 93-97.
Zhang Wei. CBTC and CTCS-2 Compatible and Interoperable Scheme[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6):93-97.
- [7] 邓志翔. 市域轨道交通信号系统方案选择刍议[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(5): 7-10, 24.
Deng Zhixiang. Research on Signal System Selection for Suburban Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(5): 7-10, 24.
- [8] 徐洋. 市域铁路信号系统互联互通方案研究[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(6): 69-71.
Xu Yang. Research on Interoperability Solution of Signal System for Suburban Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(6): 69-71.
- [9] 刘魁. 市域铁路多网融合解决方案[J]. 都市轨道交通, 2017, 30(5): 103-108, 117.
Liu Kui. The Solution of Multi-Network Integration in Suburban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(5): 103-108, 117.
- [10] 潘亮. 市域铁路信号系统制式的选择[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(B08): 69-70, 73.
Pan Liang. Selection of Railway Signal System Mode for Urban Regional Railway[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(B08): 69-70, 73.
- [11] 曹启滨. 城市轨道交通信号系统互联互通技术应用探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11): 59-64, 88.
Cao Qibin. Application of Signaling System Interoperability Technology for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 59-64, 88.
- [12] 张甬涛, 周欣, 金捷, 等. 市域铁路中 CBTC 与 CTCS 互联互通设计分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(12): 72-77, 92.
Zhang Yongtao, Zhou Xin, Jin Jie, et al. Design Analysis of Interoperability between CBTC and CTCS in Suburban Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 72-77, 92.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.002

基于邻接表和改进深度搜索的进路搜索研究

刘儒琛, 孙众人, 张尚崇

(兰州交通大学, 兰州 730070)

摘要: 为解决传统联锁表结构的站场数据修改繁琐, 利用联锁表搜索进路效率低的问题, 提高联锁系统数据存储便利性和车站进路搜索效率, 设计一种采用邻接表结构的站场图模型, 并在此基础上利用改进的深度优先搜索算法建立新的进路搜索模型。基于邻接表的站场图模型可以降低站场数据维护难度, 配合改进的深度优先搜索算法可以提高进路搜索效率。

关键词: 站场图模型; 邻接表; 进路搜索; 深度优先搜索

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0007-05

Research on Route Search Based on Adjacency List and Improved Depth First Search

Liu Ruchen, Sun Zhongren, Zhang Shangchong

(Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This paper intends to solve the problems of cumbersome modification of station data in the traditional interlocking table structure and low efficiency in route search based on interlocking table, and to improve the convenience of data storage in the interlocking system and the efficiency of station route search. It presents a station model using an adjacency list structure, and on this basis, a new route search model using an improved depth first search algorithm. The proposed station model based on adjacency list can reduce the difficulty of station data maintenance, and improve the efficiency of route search when used together with an improved depth first search algorithm.

Keywords: station model; adjacency list; route search; depth first search

计算机联锁系统中存储的车站数据包含动态数据和静态数据, 其中静态数据主要采用联锁表的结构存储。随着社会的发展, 当既有车站需要改造升级时, 需要将新增或变更的信号设备数据写入车站静态数据中。传统联锁表结构在插入或删除数据时操作繁琐, 可能导致数据一致性问题, 且联锁表结构

占用空间较多, 当车站规模增大时会造成不利影响。此外, 传统进路搜索算法是对联锁表中存储的全部进路进行筛选, 导致搜索效率低。

针对以上问题, 本文在传统邻接表的基础上提出了一种基于无向图的站场图存储模型, 并基于该模型重新设计了利用改进的深度优先搜索算法的进路搜索模型。该站场图模型用于存储站场内的信号设备数据和设备间的连接关系, 具有存储空间小、数据修改快捷的优点; 进路搜索模型具有简单可靠、

收稿日期: 2023-09-11; 修回日期: 2024-03-02

第一作者: 刘儒琛(1999—), 男, 硕士, 主要研究方向: 交通运输系统管理与优化, 邮箱: 448087909@qq.com。

算法时间复杂度低的优点。

1 站场图模型

1.1 模型选择

站场图模型采用图的方式描述车站内信号设备间的关系。将站场内的信号设备定义为图的节点，将站场内的股道定义为图的边，通常表示为 $G(V, E)$ ，其中， G 表示一个站场图， V 是图 G 中节点的集合，即信号设备； E 是图 G 中边的集合，即股道。

目前，站场图模型按选取节点不同可分为功能点模型和承载点模型等，根据拓扑图属性可分为无向图和有向图模型。功能点模型是将站场内的信号机、绝缘节、道岔中心点等具有特定功能的点定义为节点，将连接节点的股道定义为边。承载点模型是将绝缘节、道岔、渡线交点等线路交叉点和连接点定义为衔接点，衔接点间的线路定义为承接点。为了对站场中的信号设备进行详细分析，本文采用无向图功能点模型，将信号机、道岔中心点、绝缘节等作为图的节点，将连接两个节点之间的股道作为节点之间的边。

本文示例部分如图 1 所示，站场由信号机、道岔、绝缘节和轨道区段组成。其中道岔中心点用对应道岔编号的数字表示，信号机和绝缘节一同布置，图中不再画出绝缘节，通过信号机标识表示信号机和绝缘节。

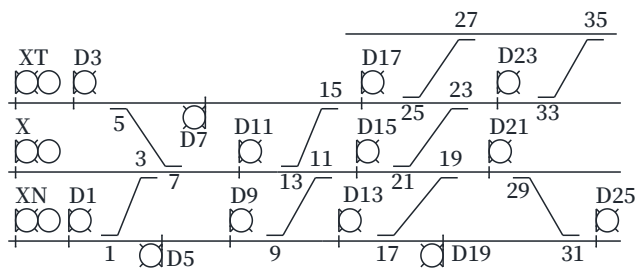


图1 车站平面布置
Fig.1 Station layout

将图 1 所示站场图按功能点模型进行重构，不考虑信号设备的形状与大小，根据信号设备及区段关系构建模型，如图 2 所示。信号机和道岔作为图

的节点，轨道区段作为图的边。当信号机作为节点时该点连接 2 个节点，有 2 条边；当道岔作为节点时，连接 3 个节点，有 3 条边。

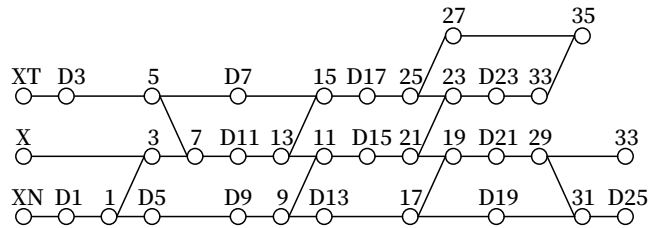


图2 站场模型
Fig.2 Station model

1.2 模型的数据结构

站场图模型为无向图的结构，且具有节点多、边相对较少的特点，是一种边稀疏的图。为优化存储结构，减少存储浪费，故此采用邻接表的结构储存站场图模型数据。

邻接表由节点数组和线性表组成，其中节点数组为一维数组，用来存储图的节点，同时每个数组元素还需存储指向第一个邻接点的指针；线性表采用单链表，用于存储每个节点的邻接点。每个节点数组分为数据域和链域，数据域用于存储节点的信息，链域存储该节点直向第一个邻接点的指针。线性表分为邻接点域、数据域和链域，邻接点域存储该节点的邻接点在图中的位置，数据域存储边的相关信息，链域存储该节点的下一条边。

将站场中的设备信息存储入邻接表中，将信号机、道岔、绝缘节等信号设备的信息存入节点数组的数据域，由链域指向与节点相连的边。利用邻接表存储数据简洁明了，当需要更改信号设备时，只需要对数组和线性表进行操作，改变数据间的连接方式，增加或删除节点即可，操作简易。

为实现站场图模型的功能，如搜索列车进路、更改信号设备信息等，邻接表中的数据域需要包含多项内容。不同信号设备节点所包含数据不同，信号机节点中应包含：信号机名称、信号机类型（接车、调车、发车）、信号机方向（正向、反向）和距信号楼中心距离；道岔节点中应包含：道岔名称、

道岔号数、道岔限速、渡线类型（撇型、捺型）和距信号楼中心距离；堵头绝缘节节点中应包含：绝缘节名称、设备类型和距信号楼中心距离。邻接点中应包含：区段编号、区段长度和道岔方向（岔前、岔后定位、岔后反位）等。

2 进路搜索模型

2.1 数学模型构建

进路搜索是从进路起点，按联锁关系逐步搜索后续节点。站场图模型采用邻接表结构，在进路搜索时由进路起点开始，依次访问节点的邻接点中的数据并存入进路搜索模型中，最终搜索到进路终点。现定义进路搜索模型中节点 V 和边 E 的属性如下。

1) V 是站场图 G 中信号设备的集合，如公式 (1)、(2) 所示。

$$V = \{v_1, v_2 \cdots v_n\} \quad (1)$$

$$v_i = \{x_i, m_i | i = 0, 1 \cdots n\} \quad (2)$$

公式中：

x_i 为节点 v_i 距信号楼中心距离。以车站信号楼中心为 0 坐标处， $|x_i|$ 随站场内信号设备距信号楼中心距离增大而增大，信号楼左侧节点的 x_i 为该节点距信号楼中心距离的负值，信号楼右侧节点的 x_i 为该节点距信号楼中心距离的正值，车站各信号设备从左向右 x_i 值依次增大。

m_i 表示节点 v_i 的类型，如公式 (3) 所示。

$$m_i = \begin{cases} 0 & \text{该节点为信号机} \\ 1 & \text{该节点为道岔} \\ 2 & \text{该节点为堵头绝缘节} \end{cases} \quad (3)$$

搜索进路时不同类型的节点有不同的进路搜索行为，即根据搜索到的节点的 m_i 值不同需要采取不同应对措施。当 m_i 为 0 时，终止搜索或经由该节点继续搜索；当 m_i 为 1 时分两个方向进行搜索；当 m_i 为 2 时终止搜索。

2) E 是站场图 G 中股道的集合，如公式 (4)、(5) 所示。

$$E = \{e_1, e_2 \cdots e_n\} \quad (4)$$

$$e_i = \{(v_i^a, v_i^b), t_i, l_i, u_i | v_i^a \in V, v_i^b \in V, i = 0, 1 \cdots n\} \quad (5)$$

公式中：

v_i^a 为边 e_i 的起点， v_i^b 为边 e_i 的终点。

t_i 为边 e_i 的股道类型，定义如公式 (6) 所示。

$$t_i = \begin{cases} 0 & \text{该边是普通股道} \\ 1 & \text{该边是撇型渡线} \\ 2 & \text{该边是捺型渡线} \end{cases} \quad (6)$$

l_i 为边 e_i 的长度，根据 t_i 进行判定。当 $t_i = 0$ 时， $l_i = x_b - x_a$ ；当 $t_i = 1$ 或 2 时， l_i 根据渡线长度公式进行计算。

u_i 为边 e_i 的占用标识符，当 $u_i = 0$ 时表示边 e_i 未被占用，当 $u_i = 1$ 时表示边 e_i 已被占用。

2.2 数学模型建立

为提高车站作业效率，尽量减少列车走行时间，应使搜索出来的进路最短，同时减少进路对车站的切割，减小对其他作业的影响。用 f 表示进路长度， F 表示进路，如公式 (7) 所示。

$$F = \min f \quad (7)$$

进路搜索模型的目标函数如公式 (8) 所示。

$$\min f = \sum_{i=0}^n l_i \quad (8)$$

在搜索进路时应满足以下约束条件：

1) 股道占用检测

搜索出来的进路需要保证未被占用，进路中的所有股道都应处于空闲状态，如公式 (9) 所示。

$$\sum_{i=0}^n u_i = 0 \quad (9)$$

2) 迂回进路限制

为减少列车走行时间，搜索进路可产生平行进路，但不考虑变更进路。搜索进路时应避免产生“八字”迂回进路，即进路中只能存在一种渡线类型，一条进路不能同时经过撇型渡线和捺型渡线。设进路搜索中第一个 $t_i \neq 0$ 的边 e_i ，取该边的 t_i 为 t_a ，如公式 (10) 所示。

$$\forall t_i \neq (3 - t_a), i = 0, 1, 2 \cdots n \quad (10)$$

在搜索进路时，若当前渡线与进路第一条渡线类型不同，应终止搜索。

由此，进路搜索模型如公式 (11) 所示。

$$\min f = \sum_{i=0}^n l_i \quad (11)$$

约束条件如公式 (12)、(13) 所示。

$$\sum_{i=0}^n u_i = 0 \quad (12)$$

$$\forall t_i \neq (3 - t_a), i = 0, 1, 2 \cdots n \quad (13)$$

3 进路搜索算法

3.1 改进的深度优先搜索算法

车站站场图模型的进路搜索问题实际上属于无向图的遍历问题, 传统遍历算法很多, 如广度优先搜索算法 (BFS)、深度优先搜索算法 (DFS)、Dijkstra 算法、启发式算法等, 但各算法都有各自的优缺点。对 BFS, 其内存消耗较大; 对 DFS, 若站场较长会导致进路搜索时间较长; 对 Dijkstra 算法, 若站场模型节点较多会导致算法空间复杂度高; 对启发式算法, 容易造成收敛过慢或过早收敛。因此, 考虑到大部分铁路站场长度有限且分支较少, 采用邻接表结构构建的站场图模型, 每个节点有 2~3 个邻接点, 与二叉树结构有一定的相似性。且进路搜索模型应简单可靠, 搜索时间短。本文采用一种改进的 DFS 搜索进路, 改进如下。

虽然站场图模型是无向的, 但通过信号设备距信号楼中心距离可以实现进路的单向搜索, 只能从进路起点向进路终点搜索, 杜绝传统 DFS 会全图搜索的问题, 提高了进路搜索的速度。

3.2 搜索方法

1) 确定起讫点和搜索方向

根据进路起点和终点的 x_i 确定进路搜索方向。若终点的 $x_i >$ 起点的 x_i , 则向 x_i 增大的方向搜索; 若终点的 $x_i <$ 起点的 x_i , 则向 x_i 减小的方向搜索。

2) 进路连续原则

在搜索进路时应保证整条进路的连续性。基于邻接表结构和 DFS 算法, 进路搜索只能从当前节点的邻接点中选择进路的下一节点, 进而保证进路的连续性。

3) 直股优先原则

本文设计的站场图模型中节点仅有一个坐标, 不能判断进路起点和终点是否在同一条水平线上,

因此在搜索到道岔时需要对后续搜索方向进行判定。为满足后续分析需要, 当搜索到道岔且进路前方有两个方向时, 优先选择直股方向。

4) 搜索行为判断条件

当搜索到一个节点时, 依次从邻接表中读取数据域和链域中的数据并存入 v_i 和 e_i 中, 并依次作出判定。

a. 检索节点的设备类型, 根据设备类型决定操作类型。当该节点为信号机时, 终止搜索或跳转至邻接点; 当该节点为道岔设备时, 先校验区段信息 (保持当前进路搜索方向) 后跳转至对应邻接点, 当直股方向搜索完毕后, 依次返回上一个道岔节点搜索弯股方向; 当检索到堵头绝缘节时终止搜索, 返回上一个道岔节点重新搜索。

b. 检索设备编号, 对比当前节点与进路终点的设备编号, 搜索到进路终点时, 终止搜索并依次返回上一个道岔节点搜索弯股方向。

c. 检索节点距信号楼中心距离, 判断进路搜索方向是否正确。考虑到铁路信号设备布置原则, 若当前节点的 $x_i >$ 进路终点的 x_i , 可以认为进路搜索过远, 进路终点已被跳过或进路终点并不在当前股道上, 终止搜索并依次返回上一个道岔节点重新搜索。

5) 搜索结束条件

考虑到进路搜索时直股优先, 进路搜索完后从进路终点依次返回上一道岔节点重新搜索, 因此当进路中的第一个道岔节点的弯股方向全部搜索完毕后, 可视为进路起讫点间所有进路搜索完毕, 对比所有进路长度并选出最短进路后进路搜索结束。

4 结束语

本文通过对车站结构分析, 将车站站场图转化为一个无向图并使用邻接表结构存储站场数据, 利用邻接表结构站场图模型和改进的深度优先搜索算法建立以最短路径为目标的进路搜索模型。该算法和模型结合可以提高进路搜索速度, 提高了搜索效率, 方便适配移植到其他车站。

参考文献

- [1] 王文波, 马学霞. 铁路车站计算机联锁软件进路搜索算法研究 [J]. 铁路计算机应用, 2016, 25 (4): 63-66.
Wang Wenbo, Ma Xuexia. Route Search Algorithm for Computer Interlocking System of Railway Station[J]. Railway Computer Application, 2016, 25(4): 63-66.
- [2] 文武臣, 王晓明. 计算机联锁的数据结构及进路搜索算法 [J]. 重庆工学院学报 (自然科学版), 2008, 22 (6): 51-53.
Wen Wuchen, Wang Xiaoming. Analysis of Date Structure and Route Search in Computer Interlocking System[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology (Natural Science), 2008, 22(6): 51-53.
- [3] 杨韬, 黄佳. 站内长短进路的列控系统处理方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (11): 34-38.
Yang Tao, Huang Jia. Research on Train Control System Processing Scheme of Long-short Route in Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11):34-38.
- [4] 方文雄, 侯宇婷, 蔡焯. 基于粒子群算法的车站列车进路搜索方法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (12): 6-11.
Fang Wenxiong, Hou Yuting, Cai Xuan. Research on Method of Station Train Route Search Based on Particle Swarm Algorithm[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 6-11.
- [5] 贾积禹, 崔佳诺. 一种基于图和邻接表的站场图模型设计方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (11): 13-18.
Jia Jiuyu, Cui Jianuo. Design Method of Station/Yard Diagram Model Based on Diagram and Adjacency List[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 13-18.
- [6] 彭丽维, 宋鹏飞, 江雪莹, 等. 基于模型的联锁软件测试用例生成方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (11): 32-36.
Peng Liwei, Song Pengfei, Jiang Xueying, et al. Model-Based Test Case Generating Method of Interlocking Software[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 32-36.
- [7] 龙建成, 高自友, 马建军, 等. 铁路车站进路选择优化模型及求解算法的研究 [J]. 铁道学报, 2007, 29 (5): 7-14.
Long Jiancheng, Gao Ziyou, Ma Jianjun, et al. Research on Model and Algorithm of Routing Schedules for Railway Stations[J]. Journal of the China Railway Society, 2007, 29(5): 7-14.
- [8] 何胜学, 范炳全. 动态交通路网中有效路径的确定方法 [J]. 上海理工大学学报, 2006, 28 (6): 599-604.
He Shengxue, Fan Bingquan. Searching the Effective Paths in Dynamic Transportation Network[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2006, 28(6): 599-604.
- [9] 龙建成, 高自友, 马建军, 等. 铁路车站进路选择优化模型及求解算法的研究 [J]. 铁道学报, 2007, 29 (5): 7-14.
Long Jiancheng, Gao Ziyou, Ma Jianjun, et al. Research on Model and Algorithm of Routing Schedules for Railway Stations[J]. Journal of the China Railway Society, 2007, 29(5): 7-14.
- [10] 史峰, 陈彦, 秦进, 等. 铁路客运站到发线运用和接发车进路排列方案综合优化 [J]. 中国铁道科学, 2009, 30 (6): 108-113.
Shi Feng, Chen Yan, Qin Jin, et al. Comprehensive Optimization of Arrival-Departure Track Utilization and Inbound-Outbound Route Assignment in Railway Passenger Station[J]. China Railway Science, 2009, 30(6): 108-113.

临时限速辅助决策系统的设计与实现

佟彤¹, 许巍¹, 晋良波^{2, 3}

(1. 中国铁路武汉局集团有限公司电务部, 武汉 430071;

2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

3. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: 临时限速是高铁列控系统的核心功能之一, 临时限速的漏下、错下都可能带来极大的安全隐患, 特别在复杂线路情况下因相关人员不熟悉工务、电务线路信息导致临时限速命令无法正确下达, 且限速预演依赖真实运营环境, 影响运营效率及安全。针对以上问题, 研究基于工务限速参数的临时限速参数自动生成方法, 并研究集成化列控设备仿真技术, 设计并实现临时限速辅助决策系统。该系统可自动生成电务临时限速参数, 并提供独立的仿真预演环境。系统部署试用结果表明该系统可有效辅助相关人员高效、准确地完成临时限速相关操作。

关键词: 临时限速; 限速参数生成; 仿真

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0012-06

Design and Implementation of Temporary Speed Restriction Decision Support System for Train Control

Tong Tong¹, Xu Wei¹, Jin Liangbo^{2, 3}

(1. Signal & Communication Division, China Railway Wuhan Group Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

(2. CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

(3. Beijing Engineering Technology Research Center of Operation Control Systems for High Speed Railways, Beijing 100070, China)

Abstract: Temporary speed restriction is a core function of the train control system for high speed railways. The missing or wrong issuance of Temporary Speed Restriction (TSR) commands may cause great safety hazards. This is especially true for complex lines, where TSR commands may not be issued correctly because the relevant personnel are not familiar with the line information of civil works and signal systems, and the speed restriction rehearsal is dependent on the real operating environment, which affects both operational efficiency and safety. To solve these problems, this paper studies the automatic generation method of TSR parameters based on the speed restriction parameters of the civil works as well

收稿日期: 2023-05-04; 修回日期: 2024-01-17

基金项目: 中国铁路武汉局集团有限公司重点课题项目 (22D03)

第一作者: 佟彤 (1989—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: 244922692@qq.com。

as the integrated simulation technology of train control equipment. On this basis, it describes the design and implementation of a TSR decision support system. The proposed system can automatically generate the TSR parameters of the signal system, and provide an independent simulated rehearsal environment. The trial operation results of system deployment show that the proposed system can effectively assist the relevant personnel in efficiently and accurately completing the TSR related operations.

Keywords: TSR; TSR parameter generation; simulation

临时限速 (Temporary Speed Restriction, TSR) 是保证列车安全运行的重要手段, 也是高铁列控系统的核心功能之一。随着线路规模的日益扩大、复杂程度的日益提升, 临时限速的漏下、错下都可能带来极大的安全隐患。当前临时限速命令操作过程存在以下问题: 临时限速命令的拟定, 需要人工查阅列控工程数据, 将工务线路、里程转换为对应的电务线路号、起止里程标系及公里标, 因人工转换失误导致限速命令无法下达。此外, 复杂的临时限速命令正式下达前往往需要在真实运营环境中进行预演, 预演依赖现场运营设备, 预演效率低且影响真实列控系统。为解决以上问题, 本文研究基于工务限速需求的临时限速参数自动生成方法, 并结合集成化列控设备仿真技术, 设计并实现临时限速辅助决策系统。此系统可根据施工计划中限速需求自动生成电务临时限速命令所需的参数, 支持限速正式下达前的预演, 使限速预演具备独立于现场运营的仿真环境, 辅助临时限速操作人员进行限速规划。

1 系统功能

临时限速辅助决策系统包括限速命令生成功能和仿真预演功能, 如图 1 所示。其中限速命令生成功能根据相关人员输入的工务线路名称与起止里程自动推算临时限速所需的线路号、起止里程系及具体里程值等参数, 运算结果可辅助相关人员进行限速预演。仿真预演功能通过对调度集中控制系统 (Centralized Traffic Control, CTC) 临时限速相关功能及其管辖范围的临时限速服务器 (Temporary Speed Restriction Server, TSRS)、

列控中心 (Train Control Center, TCC)、无线闭塞中心 (Radio Block Center, RBC) 进行仿真, 构建与真实运营场景相同的临时限速操作环境, 支持在限速命令正式下达前进行预演。

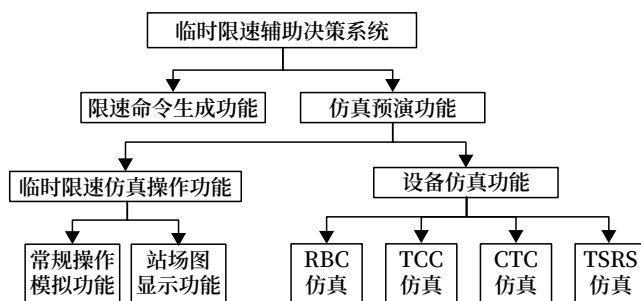


图1 系统功能树
Fig.1 System function tree

2 系统设计

2.1 系统总体结构

系统由限速命令生成子系统和仿真预演子系统组成, 各子系统形成独立的微服务。限速命令生成子系统根据用户输入的工务参数生成临时限速参数, 并对已生成的限速命令进行管理, 子系统表示层包含限速命令生成界面及命令管理界面, 业务逻辑层包含限速参数推算模块及命令管理模块, 数据接口层包含数据库接口模块; 仿真预演子系统为相关人员提供虚拟限速预演环境, 子系统表示层包含站场图界面及限速预演操作界面, 业务逻辑层包含 CTC 模拟及列控设备模拟, 数据接口层包含数据库接口模块、以太网接口模块和文件接口模块。系统结构如图 2 所示。

2.2 限速参数生成方法

限速相关操作人员从施工调度系统获取限速及

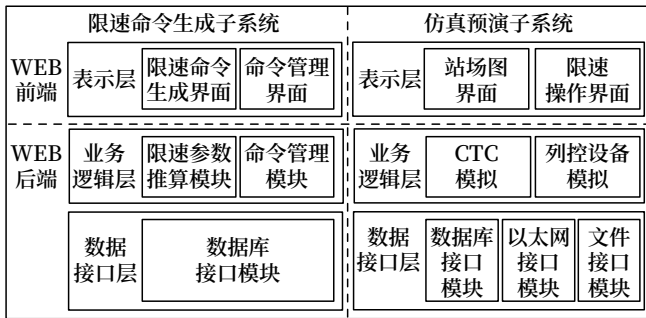


图2 系统结构
Fig.2 System structure

行车方式信息，从中提取工务线路名称、起始里程、终止里程和限速值等限速需求关键信息。系统根据此信息自动生成临时限速命令下达所需的电务线路名称、起始公里标、终止公里标和起止里程标系等信息。

系统对工务线路与电务线路的映射关系建模，形成工务-电务线路映射表。将某条工务线路拆分为多个子线路，每一个子线路对应不同类型的电务线路，工务线路与电务线路映射关系可分为3种：非列控管辖，正线和侧线。非列控管辖表示该工务线路子线路不属于列控 TSRS 管辖范围，正线表示该工务线路子线路对应电务正线线路，侧线表示该工务线路子线路对应电务车站内的侧线线路。在映射表中对于正线映射类型需明确该工务子线路对应的电务线路里程标系、起始/终止里程、线路号。对于侧线映射类型需明确该工务子线路对应的电务侧线线路号、车站。以汉口枢纽调度台管辖范围内的滬武线上行为例说明工务-电务映射关系，工务-电务线路示意如图3所示。工务线路滬

武线上起讫里程为 24+290 km 至 0+000 km，从 24+290 km 至 22+075 km 为非列控管辖范围、里程 22+075 km 至 20+640 km 为电务线路 46 号线、里程 20+640 km 至 20+458 km 为肖马阳线路所站 4 号侧线、里程 20+458 km 至 0+114 km 为电务线路 34 号线、里程 0+114 km 至 0+000 km 为非列控管辖范围。

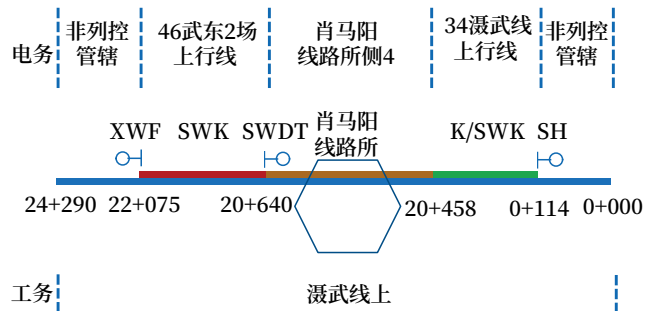


图3 滬武线上工务-电务线路示意
Fig.3 Schematic diagram for civil works and signal system of up track of Shekou-Wuchang line

按照上述滬武线上工务里程及对应的电务线路里程可建立如表1所示的工务-电务线路映射。

限速命令生成主要流程如图4所示。系统根据用户输入的起始线路名称、起始工务里程值、终止线路名称和终止工务里程值，查找映射表获取起点所在的工务子线路及对应电务线路、终点所在的工务子线路及对应电务线路。如果起始工务线路名称和终止工务线路名称相同，则根据映射表搜索出起点和终点之间该工务线路包含的工务子线路及其对应的电务线路集合。如果起始工务线路名称和终止工务线路名称不同，则需跨工务线路进行搜索，具

表1 滬武线上工务-电务线路映射

Tab.1 Line mapping between civil works and signal system of up track of Shekou-Wuchang line

工务子线路ID	起始里程 / km	终止里程 / km	映射类型	电务线路名称	电务线路号	电务起始里程	电务终止里程	里程标系	车站
1	24.29	22.075	非列控管辖						
2	22.075	20.64	正线	武东2场上行线	46	SWK22.075	SWK20.64	SWK	
3	20.64	20.458	侧线						肖马杨线路所
4	20.458	0.114	正线	滬武线上行线	34	SWK20.458	SWK0.114	SWK	
5	0.114	0	非列控管辖						

体逻辑为：首先在起点所在的工务线路中搜索出起点所在的工务子线路至该工务线路内最后一个工务子线路的集合 A，在终点所在的工务线路中搜索出该工务线路内第一个工务子线路至终点所在的工务子线路集合 B。遍历集合 A 和集合 B，如果集合 A 中某个子线路 a 的终点里程连接了集合 B 中的某个子线路 b，而集合 B 中的子线路 b 的起点连接了集合 A 中子线路 a，则找到两条工务线路的连接关系，进而根据线路映射表搜索到起点和终点之间包含的电务线路集合。搜索到起点和终点之间包含的电务线路集合后，根据电务线路的线路号、里程标系、里程值等字段确定限速命令参数。

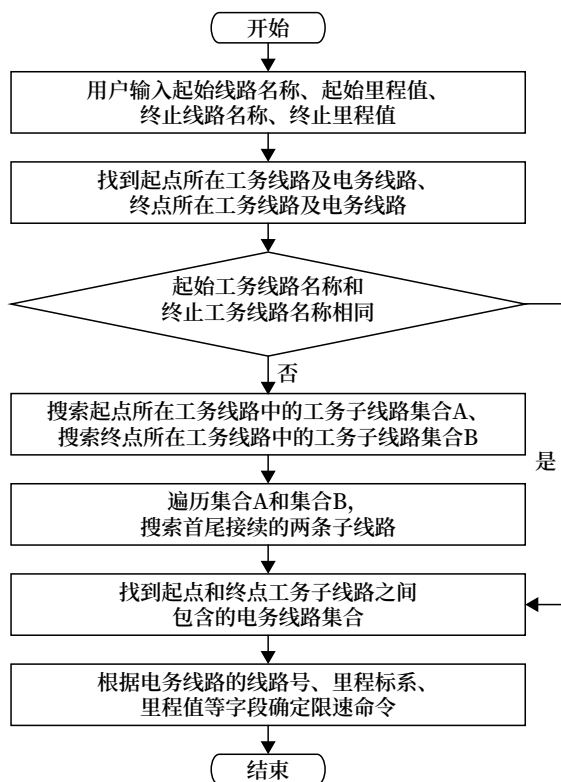


图4 限速参数生成流程
Fig.4 Flow chart of TSR parameters generation

在搜索到起点和终点之间包含的电务线路集合后，需对集合中的电务线路进行分解，生成所需的限速命令参数。

以枢纽调度台正线、侧线接续的复杂场景为例，选取溇武线上行工务里程范围 21+100 km 至 20+800 km 进行限速参数生成。里程范围内对应的

电务线路集合：46 号线。系统遍历电务线路集合获取首段线路即 46 号线，将 21+100 km 作为限速命令起始里程，并获取该电务线路里程标系 SWK 作为限速命令起始里程标系，同时检查 20+800 km 是否在电务 46 号线覆盖范围内。20+800 km 在该电务线路覆盖范围内则以 20+800 km 作为终止里程，将 SWK 作为终止里程标系并结束遍历，系统生成一条限速命令，如表 2 中序号 1 对应的结果。

如果选取溇武线上行工务里程范围 21+100 km 至 20+500 km 进行限速参数生成。里程范围内对应的电务线路集合：46 号线、站内侧 4 线。系统仍按上述逻辑判断 20+500 km 不在 46 号线覆盖范围内，则首先将 46 号线终止里程 20+640 km 作为限速命令 1 终止里程，SWK 作为终止里程标系。系统继续遍历至电务线路集合中第二段线路即站内侧 4 线，判断集合中第二段电务线路与第一段线路线路号及里程标系不同且为侧线线路，则对限速命令进行分解并创建限速命令 2，由于限速命令 2 为侧线线路，无需关注里程及里程标系参数。至此，系统生成限速命令 1 与限速命令 2 两条限速命令，如表 2 中序号 2 对应的结果。

表2 限速参数生成结果
Tab.2 Generation results of TSR parameters

序号	起始里程/km	终止里程/km	生成的限速命令参数			
			电务线路名称	电务线路号	电务起始里程	电务终止里程
1	21+100	20+800	武东 2 场上行线	46	SWK21+100	SWK20+800
	21+100	20+500	武东 2 场上行线	46	SWK21+100	SWK20+640
2	20.64	20.458	肖马杨线路所侧 4	4	—	—

2.3 列控集成化仿真

仿真预演子系统需提供与真实运营列控系统一致的仿真环境，因而涉及列控设备较多。若每个设备仿真作为独立的进程运行会耗费较多硬件资源。本文采用集成化仿真技术，将各个列控设备应用层主机逻辑封装为动态链接库，由仿真调度模块统一调用，将众多列控仿真集成为一个独立的进程，降低系统部署成本。

仿真预演子系统包含列控设备模拟与 CTC 模拟。列控设备模拟包含若干 TSRS 模拟、TCC 模拟和 RBC 模拟。所有列控设备模拟可集中部署于一台服务器，CTC 模拟以 Web 微服务形式独立部署于一台服务器。列控设备模拟包含配置文件接口模块、以太网接口模块、仿真调度模块和若干设备模拟模块。仿真预演子系统结构如图 5 所示。

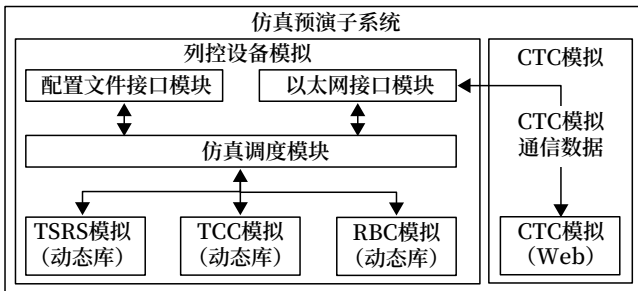


图5 仿真预演子系统结构
Fig.5 Structure of simulated rehearsal subsystem

为最大程度上保证仿真逻辑的真实性，设备模拟将真实设备主机应用层逻辑从主机软件剥离并将其封装为动态链接库。通常主机程序运行于安全平台，调用安全平台提供的 API 接口完成数据收发及逻辑运算，在封装过程中以静态库形式提供安全平台 API 接口的 PC 版模拟，使主机应用层代码能够以动态库形式被普通 PC 程序调用。此外，以动态链接库导出函数的形式提供应用数据接口，使仿真调度模块通过应用数据接口实现与设备模拟模块的数据交互并驱动其周期运行。将包含平台 API 仿真接口的静态 lib 库与应用数据接口以及主机应用层代码共同编译，生成设备模拟动态链接库，如图 6 所示。

仿真调度模块周期依次调用各个设备模拟动态库的导出接口函数，驱动各设备模拟模块运行并实现各设备模拟模块间数据交互。以设备 TSRS 和 RBC 为例说明仿真调度模块工作过程。仿真调度模块为实现数据转发，为 TSRS 与 RBC 维护两个消息队列，分别存储 TSRS 发送至 RBC 的数据以及 RBC 发送至 TSRS 的数据。当仿真调度模块当前遍历至 TSRS 设备模拟时，首先从 RBC 至 TSRS 数据队列中获取发送至 TSRS 的数据，通过 TSRS 设备模拟的应用数据接口将数据传递至 TSRS 内部接

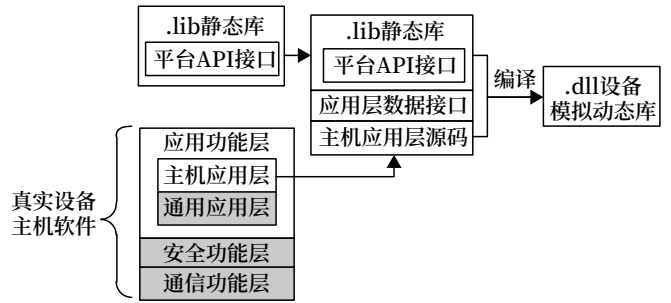


图6 设备模拟模块动态库生成原理
Fig.6 Principles of dynamic library generation for equipment simulation module

收队列，之后调用 TSRS 设备模拟的应用接口驱动 TSRS 进行本周期逻辑运算，最后通过 TSRS 设备模拟的应用数据接口获取 TSRS 发送至 RBC 的数据并存储到 TSRS 至 RBC 队列。当仿真调度模块遍历至 RBC 设备模拟时，首先从 TSRS 至 RBC 队列获取发送至 RBC 的数据。重复上述流程，实现各设备模拟模块间数据交互以及逻辑运算。

3 应用与展望

临时限速辅助决策系统对武汉枢纽调度台管辖范围内线路数据进行建模，可提供覆盖枢纽 TSRS 临时限速管辖范围的仿真预演环境。系统已在武汉枢纽调度台部署试用，系统提供便捷的限速命令生成界面，以及便捷化限速仿真预演环境，辅助调度员准确、高效地进行限速规划。

目前系统运行独立于真实列控系统，需要通过人工录入方式使系统内临时限速与现场保持一致。未来可通过抓取 TSRS 发送至 CTC 的限速命令数据，实现与真实环境临时限速命令的自动同步，进而可实现对现场临时限速状态的监控和管理。

4 总结

本文针对目前临时限速拟定过程中限速参数规划困难，限速预演依赖真实运营环境，预演效率低且影响真实列控系统等问题，研究基于工务限速需求参数自动生成临时限速参数相关方法，并研究集成化列控设备仿真技术，在此基础上设计并实现临时限速辅助决策系统。系统可快捷、准确地生成临时限速命令参数，并提供低成本、集成化的限速仿真预演环境。该

系统经过部署试用,可有效解决相关临时限速操作人员限速命令规划困难,预演效率低下的问题。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 列控系统临时限速技术规范: Q/CR 662-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.
- [2] 国家铁路局. 临时限速服务器技术条件: TB/T 3531-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.
- [3] 国家铁路局. 列控中心接口规范: TB/T 3510-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [4] 郝建. 列控系统仿真集成测试结果自动分析方法研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2020.
- [5] 陈文伟. 数据仓库与数据挖掘教程 [M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2011: 60-63.
- [6] William E. Perry. 软件测试的有效方法 [M]. 高猛, 冯飞, 徐璐, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008: 5-6.
- [7] 陈滨, 周小辉. 列控中心临时限速信息包 [CTCS-2] 编码方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(12): 7-13.
Chen Bin, Zhou Xiaohui. Research on Encoding Scheme of Balise Telegram [CTCS-2] for Temporary Speed Restriction of Train Control Center[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12):7-13.
- [8] 岑博文, 陈邦兴, 万勇兵, 等. 列控系统临时限速服务器仿真测试平台研究 [J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(1): 372-376.
Cen Bowen, Chen Bangxing, Wan Yongbing, et al. Research on Simulation and Test Platform of Train Control System Temporary Speed Restriction Server[J]. Computer Engineering and Design, 2012, 33(1): 372-376.
- [9] 张伟. 高铁短联络线列控系统方案举例研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 19-23.
Zhang Wei. Case Study on High-Speed Railway Train Control System Scheme for Liaison Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 19-23.
- [10] 曾庆文, 王建学, 杨厅. 列控中心临时限速检查范围的工程运用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(9): 11-15.
Zeng Qingwen, Wang Jianxue, Yang Ting. Engineering Application of Temporary Speed Restriction Inspection Range of Train Control Center[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 11-15.
- [11] 秦小波. 设计模式之禅 [M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2014: 25-35.

本期广告企业简介

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

CTCS3-300T车载设备智能诊断系统产品

1. 解决 300T 车载记录不全、记录数据下载不及时问题,实现对故障准确定位,尤其可对线上运行车辆发生的故障及时制定有效应急预案,减小故障对经济和社会效益的影响。
2. 根据大量运营数据的分析积累,通过大数据挖掘技术,预测模块劣化趋势,实现故障预警,提前预防处理,有效降低故障率。
3. 降低维护人员的工作强度,节约人工成本。
4. 安全性强,对 300T 设备正常控车无任何潜在风险。该产品由通号院 300T 车载开发团队结合 300T 车载设备系统原理定制开发,可有效保障 300T 车载设备信息安全与运行安全。

地址:北京市丰台科技园汽车博物馆南路 1 号院中国通号大厦 邮编:100070

E-mail: jiangguohua@crscd.com.cn

(详见封面)

关于驼峰尾部停车器实时在线监测系统的研究

吴磊¹, 张峰², 朱文³

(1. 中国铁路上海局集团有限公司电务部, 上海 200071;

2. 上海特力安电气有限公司, 上海 200040;

3. 中国铁路上海局集团有限公司杭州电务段, 杭州 310000)

摘要: 介绍一种用于远程监测驼峰尾部停车器状态的系统, 该系统是为提高现有停车器数字化装备水平, 提升检修效率、降低检修工作强度而研制。除对日常设备参数信息进行采集、分析、预警, 还创新性的采用停车器“型廓”检测法, 能够更全面准确反映出停车器的质量状态。并巧妙运用制动轨弹性特征提取“车辆入口速度”“存车表示”等关键信息, 为驼峰调速系统尾部信息反馈, 进一步提升编组站编解作业综合效率提供有效手段。

关键词: 停车器; 状态监测; 预警; 尾部信息

中图分类号: U284.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0018-06

Research on Real-time Online Monitoring System for Hump Tail Stopping Devices

Wu lei¹, Zhang Feng², Zhu Wen³

(1. Signal & Communication Department, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

(2. Shanghai Telian Electric Co., Ltd., Shanghai 200040, China)

(3. Hangzhou Signalling & Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: This paper introduces a system for remotely monitoring the status of hump tail stopping devices, which is developed to implement digital upgrades to the existing stopping devices, improve maintenance efficiency and reduce maintenance intensity. In addition to collecting, analyzing and warning about the daily equipment parameter information, it also innovatively adopts the "profile" detection method, which can more fully and accurately reflect the quality state of the stopping devices. In addition, the elastic features of the brake rail have been cleverly utilized to extract the key

收稿日期: 2023-11-12; 修回日期: 2024-02-02

基金项目: 中国铁路上海局集团有限公司研发计划资助项目(2021132)

第一作者: 吴磊(1990—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路驼峰信号系统发展及停车器、减速器信号设备维护管理, 邮箱: 791618994@qq.com。

information, such as the vehicle entrance speed and vehicle storage representation, which provides an effective means for the tail information feedback of the hump speed regulation system and further improves the comprehensive efficiency of make-up and break-up operations in marshalling stations.

Keywords: stopping device ; status monitoring; early warning; tail information

1 概述

驼峰尾部停车控制器（简称停车器）是驼峰编组场重要的调速设备，是驼峰自动化调速体系的重要组成部分，是整个防溜系统最后的“守门员”，它的工作性能及质量状态直接影响着编组站自动化安全及整个编解作业综合效率。目前在日常运用和维护实践中普遍存在以下问题。

1.1 维护力量普遍存在不足

编组场的特点是地域广、设备分散、车组解编作业量大。目前电务停车器设备检养修均以人力徒步巡查完成，且均安排在编组站区域局部天窗，停车器设备维护存在人力成本高、上道安全风险大等突出问题。

1.2 检测手段落后，难以满足设备精度要求

既有停车器检测的方法主要靠目测、丈量，而停车器设备的特点是结构粗犷、动作细微，其动作精度都是毫米级，靠目测检查难以发现问题，而尺量的标准也缺乏相应的操作规范，特别是涉及不同工况时检测过程较繁杂，日常巡检难以贯彻。

1.3 设备质量无法量化考量

停车器都是现场安装，在设备安装前进行出厂设计标准校核；如何保证安装后的质量符合出厂设计标准，设备运用后的“制动能高”等参数能否满足站场调速的设计要求，以现有技术手段都无法具体评估。

基于目前日常运用和维护实践存在的问题，探索设计出“驼峰尾部停车器实时在线监测系统”（简称系统），实现对电务停车器进行智能化设备维护管理。

2 系统介绍

该系统由现场设备、室内设备和网络传输设备组成。系统结构及拓扑如图 1 所示。

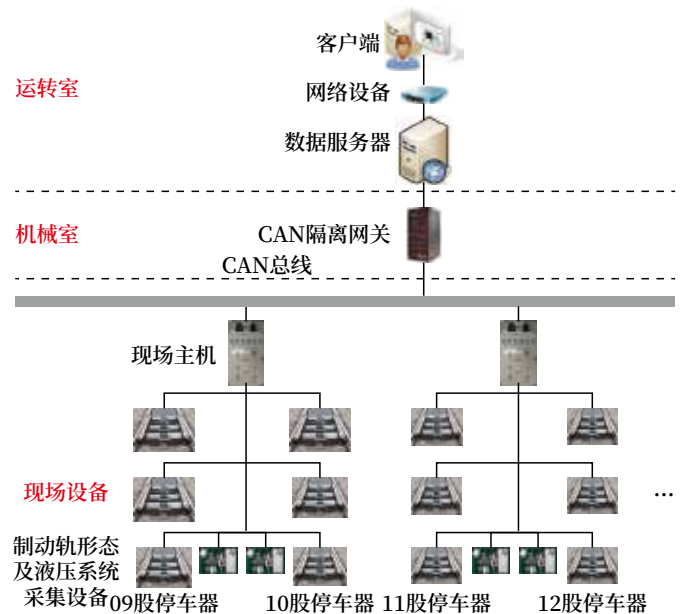


图1 系统结构及拓扑

Fig.1 System structure and topological graph

2.1 系统组成

系统由制动轨轨距、间隙检测装置、油压采集装置、油位采集装置、现场主机和数据分析终端等组成。

2.1.1 制动轨轨距、间隙检测装置

制动轨轨距、间隙检测装置通过“基础尺寸+位移检测方式”实现对制动轨轨距和间隙的实时在线监测，制动轨的磨损等其他形变因素引起的轨距、间隙误差可通过对基础尺寸的定期校验来消除。该装置由位移传感器、横梁支架、轨底卡和绝缘卡等组成，如图 2 所示。

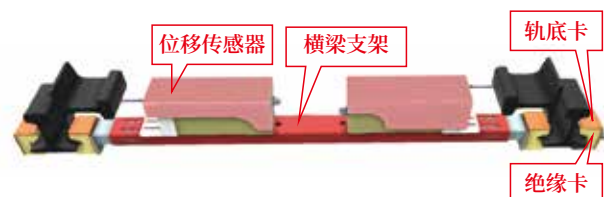


图2 制动轨轨距、间隙检测装置

Fig.2 Brake rail gauge and gap detection device

其特点如下。

1) 该装置内置高精度回弹式位移传感器，更适应现场环境要求。能采集停车器制动轨发生的毫米级变化量，满足对停车器制动轨两摩擦面距离至整机检验参数的误差要求。

2) 每台停车器在其两端及中部各配置一套该装置，每股道形成3组制动轨轨距、间隙检测数据，这些数据形象勾勒出了制动轨的平直程度及与基础轨之间的相对关系，称为形廓分析，如图3所示。

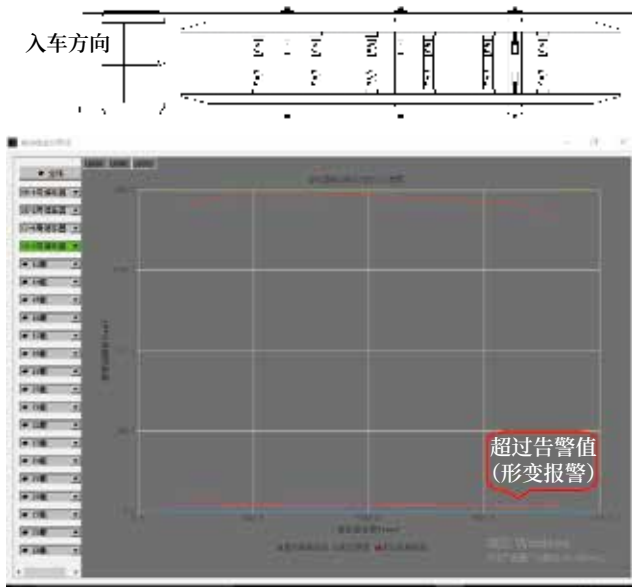


图3 制动轨轨距、间隙检测装置部署及形廓分析
Fig.3 Deployment and "profile" analysis of brake rail gauge and gap detection device

2.1.2 油压/油位采集装置

油压采集选用 MIK-P300 型压力变送器，油位采集选用 HK-DR04 型电容液位传感器，如图4所示。

2.1.3 现场主机

现场主机由表示信号检测电路、ARM 处理器和指示灯显示等组成，其中表示信号检测电路检测停车器的制动/缓解信号、电磁阀信号，通过采集这几种信号，判断停车器控制系统对停车器发出的指令信号；ARM 处理器通过 RS-485 接口读取位移、油压和油位传感器数值；通过指示灯显示各传感器的工作状态，供系统检修使用。一台现场主机

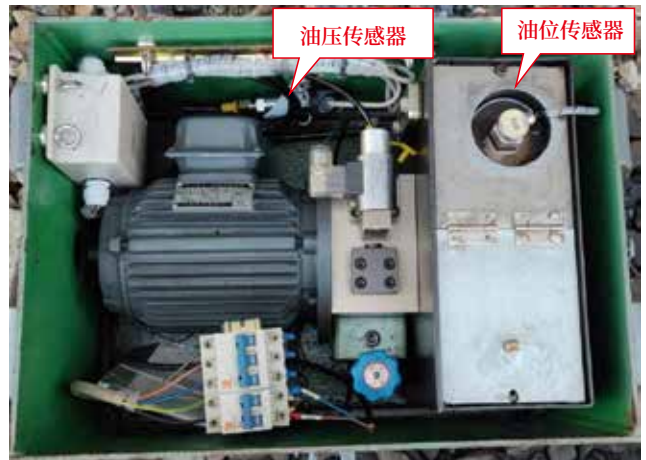


图4 油压/油位采集装置
Fig.4 Oil pressure/oil level collection device

连接2股道位移传感器、压力传感器和油位传感器，实现2股道停车器的同步自动测试。现场主机接收表示开关信号、位移、油压、油位并进行初步的数据计算及定时，对缓解时间、制动时间、入车速度等停车器基础数据做初始计算，并将数据以规定的传输方式及数据帧格式发送给数据服务器。

2.1.4 数据分析终端

数据分析终端由数据服务器及客户端组成，数据服务器以规定的传输方式连接多个现场主机，客户端通过以太网连接数据服务器进行访问。分析计算停车器的以下功能。

1) 停车器工作参数采集

对停车器的工作过程中的动作数据进行记录统计，归纳计算出以下参数：

- a. 缓解动作时间（从制动位转换至缓解位所需要的时间）；
- b. 缓解轨距（达到缓解位时制动轨两作用面距离）；
- c. 缓解打压油压（进行缓解时油泵打压的最大值）；
- d. 缓解保持油压（缓解到位时保持的油压值）；
- e. 缓解保持油位（缓解到位时的油位值）；
- f. 制动保持油位（制动到位时的油位值）；
- g. 制动动作时间（从缓解位转换至制动位所需要的时间）；

- h. 制动轨距（达到制动位时制动轨两作用面距离）；
- i. 制动位端口间隙（达到制动位时端口位基础轨—制动轨摩擦面间隙）。

2) 阈值报警

对工作参数进行变化范围设置，若超出范围则实行报警提示：

- a. 表示开关故障报警；
- b. 制动位形变报警；
- c. 制动位油位报警；
- d. 泄压报警。

3) 算法侦测

- a. 车辆入口速度侦测；
- b. 制动位停车器上有无存车表示侦测。

2.2 软件设计

2.2.1 现场主机软件设计

现场主机安装实时操作系统（Linux），软件采用 C 语言编写，启用多线程任务管理，分别读取各类传感器采集获取的位移、油压、油位及表示信号，利用 ARM 处理器精确的定时功能，对缓解时间、制动时间、入车速度等停车器基础数据做初始计算，并将数据以规定的帧格式发送给数据服务器。软件流程如图 5 所示。

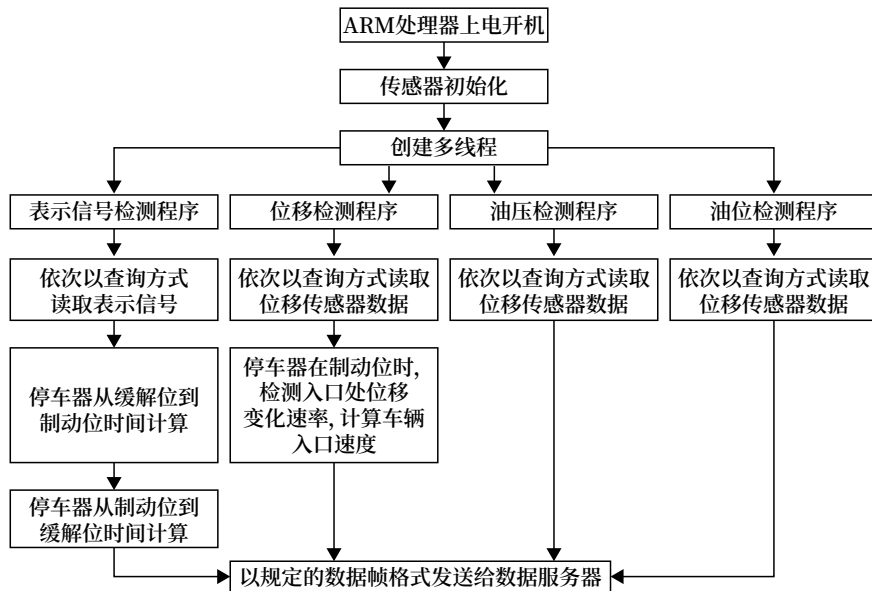


图5 现场主机程序软件流程
Fig.5 Flowchart of the software of the field host program

2.2.2 数据服务器软件设计

数据服务器安装 Linux 系统，并部署 MYSQL 数据库，软件流程如图 6 所示。

2.2.3 客户端软件设计

客户端主要通过连接数据服务器端显示停车器的工作状态及报警信息，软件流程如图 7 所示。

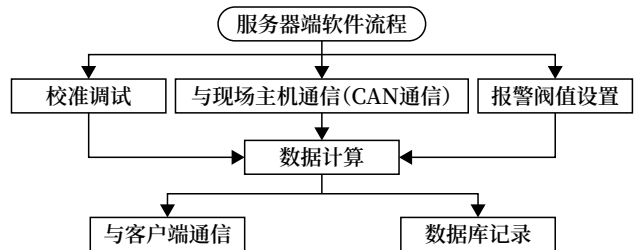


图6 数据服务器程序软件流程
Fig.6 Flowchart of the software of the data server program

3 运用实践

该系统于 2020 年在中国铁路上海局集团有限

公司南京东驼峰编组站投入研发，并于 2021 年通过了上海铁路局组织的评审鉴定，鉴定证书号：上

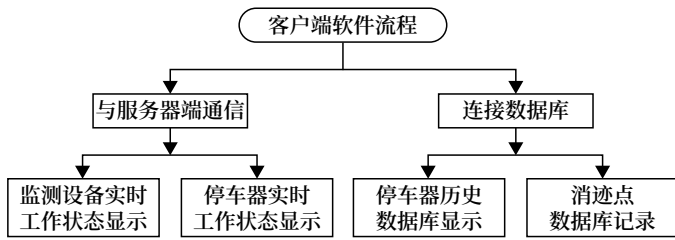


图7 客户端程序软件流程
Fig.7 Flowchart of the software of the client program

铁技验字 [2021] 第 126 号, 自 2022 年开始在上海局管内多个驼峰编组站投入运用, 运转稳定。上道后报检出停车器泄漏故障、超限故障多起, 提前发现了设备隐患及风险, 检测测试效率也得到较大提升, 可借鉴方面如下。

3.1 统一停车器质量判定标准

既有停车器相关的技术标准及检修规程和厂家的维护手册中, 只规定了一些对停车器静态下的参数值要求, 没有对测量器具、测量方法等做出明确规定, 这就造成了现场测试的测量偏差, 在以毫米级、万分位计量的精度要求下, 这样的偏差极大, 造成各制造厂家间以及不同型号产品间的质量差异无从判定。该系统的应用有效统一了停车器的计量标准, 测量精度符合 TB/T 3162.1 的计量要求, 并为此开发了专用的基础尺寸测量工具, 为不同厂家、不同型号产品的质量判定提供了依据。

3.2 丰富停车器运用的关键参数

该系统创造性地引入制动轨“形廓”这一概念作为停车器形变判断依据, 为停车器运用、检修指明了方向。以往的停车器检修只能盯着螺丝松动、漏油等表象进行, 对于对停车器制动能力起着决定作用的制动轨“形廓”(由制动臂所带动的制动轨是否与基础轨平行形成矩形轮廓)缺乏认识, 因停车器形廓直接影响着车轮与制动轨的摩擦力分布, 形变大的话可能引起部分摩擦力消失和“跳车”事故的发生。而其他机械部件的变形和失能最终也都会反映在这一“形廓”上, 因此对停车器的形廓分析可能是后期停车器设备维护的重点。

3.3 开发了数据应用的新领域

以往对于停车器的各种技术参数、标准等都是建立在制动轨刚性这一前提设定下制定的, 在该系统的研发过程中, 特别是通过对现场数据的分析发现, 在制动过程中由于轮轨的强力作用, 制动轨会呈现出一定的弹性特征, 其弹性特征表现为车辆轮对进入“制动轨轨距、间隙检测装置”的行进速度与制动轨轨距由大变小的形变速度呈正比关系, 正是利用该弹性特征数据, 系统创新性地发掘出了“入口速度”“存车表示”等侦测算法, 解决了现场运用维护中责任界定的扯皮问题。且不仅入口处, 在每组“制动轨轨距、间隙检测装置”处都可利用此原理检测出车辆在停车器上的运行速度信息, 这些信息如果结合驼峰编组站头部“车重”等信息, 便可对停车器本身的“制动能高”等关键质量参数做出评估, 做为尾部信息反馈, 对整场驼峰调速系统来说也尤为重要, 有助于其进一步提升驼峰编解作业综合效率。

3.4 为实现“状态修”提供了技术保障

该系统实现了对停车器质量及运用状态的全面监测, 并可通过数据分析预判故障点和超限时机, 如补油周期、轨距调整周期等。可使得电务部门能合理规划设备维修、测试周期, 进一步提升现场作业劳效。

3.5 对惯性、疑难故障的诊断更加及时准确

该系统采用独立的三段式“制动轨轨距、间隙检测装置”监测轨距, 可靠性、准确性大幅提高, 对停车器表示错误、管路渗漏等惯性故障能够在第一时间给出报警提示, 停车器的故障处置效率得到部分提升。

4 结论

对既有驼峰尾部停车控制器加装实时在线监测系统, 能有效提高电务停车器设备的检修养护能力, 减轻现场劳动强度, 做实精准维修, 提高综合经济

效益。同时也大大提升了驼峰尾部数字化水平,为进一步提升编解作业综合效率、确保驼峰车辆溜放安全打下了基础。

参考文献

- [1] 王哲尧. 编组站调车场尾部停车防溜设备布置与防溜效果仿真研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2019.
- [2] 袁敦磊, 保鲁昆, 陈福恩. 驼峰调车场尾部停车器布置方案仿真研究 [J]. 铁道货运, 2018, 36(2): 51-56.
Yuan Dunlei, Bao Lukun, Chen Fuen. Simulation Study of Stop Device Layout Scheme at Tail of Hump Shunting Yard[J]. Railway Freight Transport, 2018, 36(2): 51-56.
- [3] 保鲁昆, 邹正丰, 解立群, 等. 编组站调车场尾部防溜效果评估仿真研究 [J]. 铁道货运, 2017, 35(10): 40-45.
Bao Lukun, Zou Zhengfeng, Xie Liqun, et al. Simulation Study of Anti-Slip Performance of the Tail of Marshalling Station[J]. Railway Freight Transport, 2017, 35(10): 40-45.
- [4] 黄晓冬, 秦勇. 面向“一带一路”的昆明东编组站作业措施优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(2): 85-88.
Huang Xiaodong, Qin Yong. Optimizing Operational Measures of Kunming East Marshalling Yard for “Belt and Road Initiative”[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 85-88.
- [5] 张峻赫. MSTP+VRRP 在编组站中的设计与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(10): 43-47.
Zhang Junhe. Design and Implementation of
- MSTP+VRRP Technology in Marshaling Yard[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 43-47.
- [6] 刘振勇. 一种检测铁路站场防溜停车器车辆入口速度的方法: CN113184022A [P]. 2021-07-30.
- [7] 李伟, 阳彬. 简谈 CIPS 系统控制下 WKT-1 型可控停车器维护和故障处理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12(3): 56-57, 73.
Li Wei, Yang Bin. Maintenance and Troubleshooting of WKT-1 Controllable Stopping Device under CIPS System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2015, 12(3): 56-57, 73.
- [8] 中华人民共和国铁道部. 铁道车辆停车防溜装置第 1 部分: 内撑式停车防溜器: TB/T 3162.1-2007 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [9] 李兹生, 胡卫东. TW-2 型驼峰自动控制系统升级研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 18-22, 45.
Li Zisheng, Hu Weidong. Research on Upgrading of TW-2 Hump Automatic Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 18-22, 45.
- [10] 徐德龙, 程远, 刘鹏. 面向控制对象的计算机联锁系统停车器控制软件研究 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50(4): 14-18.
Xu Delong, Cheng Yuan, Liu Peng. Study on Software Design of the Parking Module of Controlling-Object-Oriented Computer Interlocking System[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(4): 14-18.
- [11] 刘振勇. 一种在线检测铁路站场防溜停车器制动轨形态轮廓的方法: CN114001695B [P]. 2023-10-03.

基于SDN的应急融合通信网络设计与实现

双家赞, 罗 涛

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200434)

摘要: 铁路应急通信网络由于涉及业务多、技术种类多, 在实现快速搭建的问题上面临比较大的挑战。如何实现应急通信网络的快速搭建, 同时满足多种业务、多场景下的不同需求, 保证通信网络的稳定性与有效性成为一个值得关注的研究话题。软件定义网络 (Software Defined Networking, SDN) 提出的控制层与数据层分离的新思想为研究提供新的方向。提出在应急通信中引入 SDN 技术, 构建基于 SDN 的融合应急通信网络, 实现网络的集中控制、状态感知、按需路由等相关功能, 提高网络的稳定性与效率。

关键词: SDN; 应急通信; 按需路由

中图分类号: U285.21

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0024-05

Design and Implementation of Integrated Emergency Communication Network Based on Software Defined Networking (SDN)

Shuang Jiayun, Luo Tao

(Shanghai Communication Division, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200434, China)

Abstract: The integrated emergency communication network for railways faces big challenges in achieving rapid construction due to its involvement of many services and technologies. One research topic worthy of attention is how to achieve the rapid construction of integrated emergency communication networks, while meeting the different needs of various services and multiple scenarios and ensuring the stability and effectiveness of communication networks. This paper draws the inspiration from the new concept of separation between control layer and data layer in software defined network (SDN), and makes the proposal the SDN technology should be introduced to emergency communication. Thus, SDN-based integrated emergency communication networks can be established to achieve such related functions as centralized network control, state perception and on-demand routing, and improve network stability and efficiency.

Keywords: SDN; emergency communication; on demand routing

收稿日期: 2023-11-01; 修回日期: 2024-03-06

第一作者: 双家赞 (1982-), 女, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路应急通信、铁路数据通信网等, 邮箱: 67998784@qq.com.

1 概述

近年来, 自然灾害与突发事件在世界范围内频繁发生^[1], 使应急通信受到社会各界的广泛关注。

由于自然灾害、战争等突发事件本身的随机性，应急通信与常规通信不同，应用场景众多、环境复杂多变。因此为了快速恢复网络通信，应急通信对网络以及设备提出了一些更严格的要求，例如组网灵活、快速部署以及设备小型化等。

由于应急通信网络应用场景多^[2]，所以从业务类型角度分析，包括语音、短消息、数据、图像等多种业务在应急通信网络中都有涉及。从技术角度分析，应急通信网络是对多种通信技术的综合应用，包括但不限于光纤、Wi-Fi、卫星和短波技术等。在灾后救援中，应急通信网络可以通过救援人员随身携带或者背负的应急通信装备（应急通信动静图专用设备、便携式卫星站和无人机等）组建自组织网络^[3]（Mpbile Ad-hoc NETworks, MANET）来实现应急通信功能。不同的业务对于带宽、时延等要求各不相同，想要同时满足多种业务的不同需求，需要将多种技术手段加以组合和应用。而且由于设备小型化、能量受限、传输距离有限和设备移动性等特点，使整个通信网络的集中化管理变得复杂，在面对不同业务时，需要频繁的进行配置。而且由于通信设备的不稳定，容易导致网络性能的不稳定，进而影响网络的通信服务质量。

软件定义网络（Software Defined Networking, SDN）技术的出现为解决现有网络体系存在的管理复杂、灵活性低和可扩展性能差等问题提供了新的思路^[4]。集中控制是SDN的核心理念之一，其对于掌握整个网络资源、改善网络资源分配都起到了十分重要的作用。利用SDN技术将数据转发层与控制层解耦，网络节点的控制平面被单独抽离出来，取而代之的是集中化的SDN控制器。通过这种结构，不仅可以提高网络结合的可扩展性能、提高网络的容灾能力，还可以实现网络的集中控制与灵活配置，在了解掌握网络状态的同时实现相关业务的按需路由，提高整个网络服务的稳定性与效率。

2 基于SDN的网络架构和功能设计

SDN是一种不允许网络设备设置其路由表的技

术^[5]，是一种有前途的新技术，更具灵活性、交互性、可控和可扩展性^[6]，是一种开放的网络架构，旨在彻底改变通信网络的构建和运行方式^[7]。自诞生以来，得到了广泛的关注，不断得到发展与完善。SDN起源于斯坦福大学的Clean Slate项目，该项目的目标是想要改变现有的网络架构，让网络结构变得更加简单。目前，比较流行通用的SDN架构是开放网络基金会（ONF）提供的一个分层次结构，如图1所示。

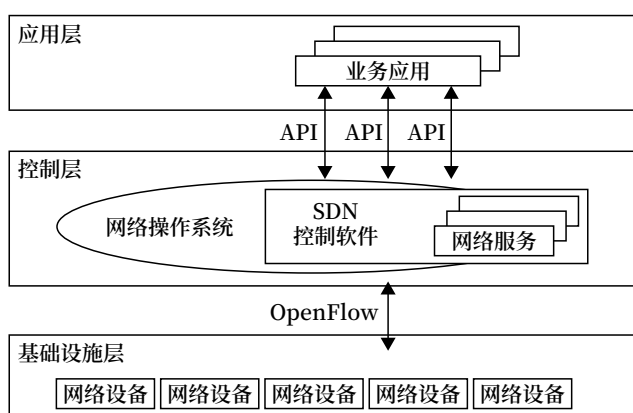


图1 SDN参考架构模型

Fig.1 SDN reference architecture model

基于SDN架构，在MANET中引入SDN多控制器的架构，如图2所示，整个应急通信网络同样被分为3个层次：数据转发层、控制层以及应用层。转发层由多种便携式通信设备组成，根据控制层下发的转发策略完成数据传输与转发。控制层由通信指挥车和便携式基站中的SDN控制器组成，控制层实现对整个网络的逻辑控制，包含对底层设备的感知、工作状态的监听、网络数据的收集以及对下层设备下发数据的转发规则。应用层定义规则并提供不同的服务，如带宽需求任务、流量工程等。

根据应急通信网络应用场景的特点和SDN多控制器系统的设计目标，本文对SDN多控制器系统功能需求进行设计，主要是对中间控制层进行相关功能设计，分为拓扑信息管理模块、按需路由决策模块和控制器容灾模块。

2.1 拓扑信息管理模块

1) 域内网络状态感知

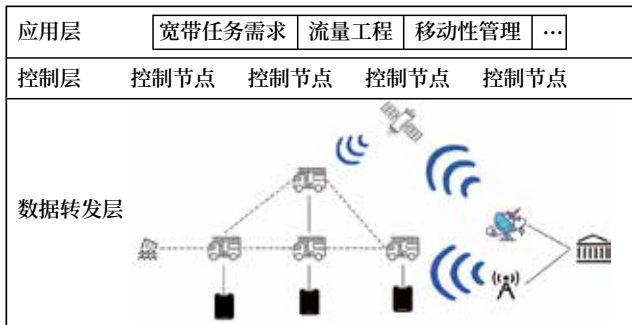


图2 应急通信网络中的SDN多控制器系统

Fig.2 SDN multi-controller system in emergency communication network

作为整个网络系统的基础部分，网络状态感知模块用于收集整个网络系统中的全部基本信息，包括利用控制器链路发现协议（Link Layer Discovery Protocol, LLDP）实现网络链路，通过 OpenFlow^[8] 协议所携带的数据信息计算得出网络的链路时延以及链路剩余带宽。这些信息能够为智能路由算法的加载运行提供必要的的数据支撑，也能进一步地提高智能路由算法的有效性。

2) 跨域链路发现与维护

由于不同控制器管理的网络区域之间也存在网络连接，但是这些并不属于内部链路，利用 LLDP 协议无法直接获取跨域链路，需要利用控制器所具有的其他功能设计方法来获取。跨域链路对于构成整个网络的全域网络拓扑结构十分重要。

2.2 按需路由决策模块

在拓扑信息管理模块的辅助下，控制器构建了整个网络的动态拓扑图，并且实时更新网络中所有链路的时延以及带宽等相关信息，实现网络状态的动态控制。在此基础上，系统中可以搭载多种智能路由算法，根据不同业务流的相关需求，合理有效地计算出数据包所需的转发路径，并且对转发规则进行及时下发，提高路由决策的有效性与合理性。

2.3 控制器容灾模块

由于 SDN 单控制器架构容易出现单点故障，为提高整个系统的稳定性，避免因某个节点故障而造成网络的整体瘫痪，在系统中引入多控制器结果，并且设计了相应的监听与选举机制。网络中允许一台数据转发设备同时连接多台 SDN 控制器，OpenFlow 协议在 1.3 版本中明确定义了专门

用来设置控制器角色的协议，通过这个协议，可以实现控制器的角色转换。在 SDN 网络中，Ryu 控制器存在 3 种角色，分别为 Equal, Master 以及 Slave。在整个网络中，Master 身份的控制器有且仅存在一台，其余均为 Slave 状态。在网络结构中，Master 与 Slave 之间会持续进行心跳检测，当身份为 Master 的主控制器因故障出现宕机时，其余 Slave 控制器可以快速感知并且进行新的选举，重新选出 Master 接管网络，避免因控制器故障而导致网络瘫痪。

3 实验结果

3.1 实验环境

实验通过 Mininet 搭建网络实验拓扑，Mininet^[9] 是一款轻量级虚拟化仿真工具。在网络中利用 Ryu^[10] 控制器实现对网络的整体控制。在实验验证时，整个实验网络结构由 10 台 SDN 交换机、2 台 SDN 控制器组成，在 Ubuntu18.04 操作系统下，使用 Mininet 进行搭建，并且为简化实验，在对网络系统智能路由决策功能进行验证时，提前为网络链路设定了时延与带宽指标，具体实验网络拓扑如图 3 所示。

3.2 实验结果分析

3.2.1 网络状态感知

在网络拓扑与 Ryu 控制器启动后，OVS 交换机会主动与对应的 Ryu 控制器进行链接，并且根据控制器的固定或者自定义事件进行相关信息交互。控制器根据 OVS 交换机上传的相关信息可以获取网络中所有交换机的端口以及链路信息。

3.2.2 按需路由决策

按需路由决策模块是整个网络系统最为重要的功能模块。它决定了系统是否可以满足网络路由的差异化需求，提高网络服务的质量。SDN 控制器可以收集整理整个网络中的拓扑信息，包括网络链路的剩余带宽以及时延信息。这些信息可以为网络运行智能路由算法提高可靠的数据支撑，从而提高路由决策有效性。在实验中采用基于时延约束的最短

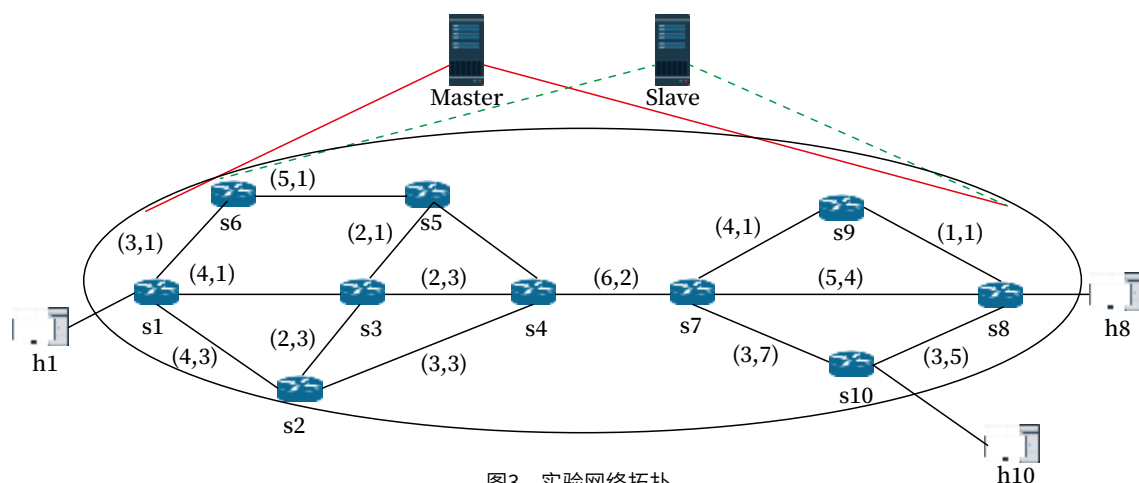


图3 实验网络拓扑
Fig.3 Experimental network topology

路径算法以及基于带宽约束的最优路径算法对整个网络系统的路由决策的功能性进行验证。

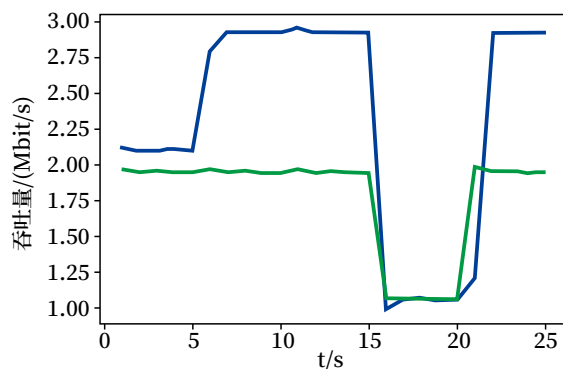
1) 基于时延约束的路由算法

在设置好相关链路时延的网络拓扑中，忽略链路带宽的利用发包工具在h1与h8之间随机生成100条数据流量，所有数据流量的时延要求在0~20s范围内均匀分布。通过对路由决策结果的统计分析，对于100条随机生成的数据流，利用OSPF算法计算出的路径总时延能够满足其中50%的数据流量，而利用本文所提供算法计算出的路径总体时延可以满足全部数据流量的65%，在时延满足指标上要高于OSPF算法。

2) 基于带宽约束的路由算法

在实验拓扑利用iperf工具在h1与h8之间产生多条数据流，在选出最佳路由路径的基础上测量网络的吞吐量，并与采用OSPF算法的结果进行比对。在两种算法下网络吞吐量的变化情况如图4所示。初始阶段，由于发送速率介于二者的最小带宽之间，因此吞吐量基本一致。当速率均大于最小带宽值时，吞吐量表现为最小带宽值，这也是在5~15s这一时间段内吞吐量发生变化的原因。在15~20s内，由于发送速率小于二者带宽值，因此吞吐量随着发送速率的降低而减少。从实验结果可知，通过基于带宽约束的最优路径算法所得出的网络吞吐量要明显高于OSPF的吞吐量。

3.2.3 控制器容灾



图例：— 带宽 (bandwidth) — 路由协议 (OSPF)

图4 基于带宽约束与OSPF算法的网络吞吐量对比
Fig.4 Comparison of network throughput based on bandwidth constrained algorithm and OSPF algorithm

在整个网络拓扑启动以后，根据选举规则（通过控制器所处IP进行选择）会在所有控制器中选择符合条件的控制器成为主控制器，Ryu控制器在与OVS交换机实现连接后，成为Master/Slave的控制器会分别向所管理的交换机下发控制器角色设定指令，交换机会根据指令进行相关操作。在原主控制器因故障宕机时，网络系统会重新选举新的主控制器，同时新的主控制器也会下发相关指令指导交换机完成控制器身份的转换，实验中进行了多次控制器转换。系统中进行的第一次转换所需的时间如图5所示。通过数据了解到，该网络系统因控制器故障发生交换机迁移时，所需时间为毫秒级。这也体现出整个网络具有一个良好的稳定性能，即使控制器出现故障，也能在极短的时间内完成网络重新恢复，对网络的运行状态不会产生影响。

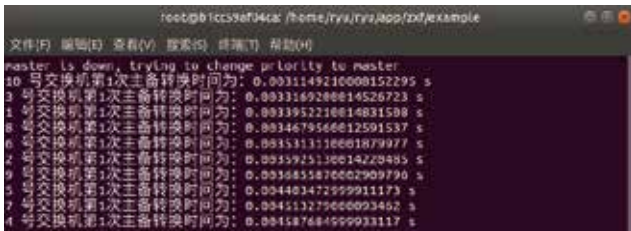


图5 控制器状态转换耗时
Fig.5 Controller state transition time

4 结束语

本文利用 SDN 解耦控制平面与数据转发平面的技术,设计基于 SDN 的应急融合通信网络原型系统,实现了网络感知、智能路由以及控制器容灾等相关功能。SDN 加密的安全隧道、传输路径 TCP 优化、秒级热切换和应用识别 QoS 保障等相关技术可利用灵活接入应急平台。在系统中设计并实现了基于时延约束和基于带宽约束的路由算法,满足按需路由的需求,并且与 OSPF 算法相比,具有明显的优势。在今后的工作中,笔者将在该网络中运行更为复杂的路由算法,检验其网络整体的稳定性与有效性。

参考文献

[1] Xu Wenhao, Zhang Zhi, Wang Wen, et al. Design and Application of Emergency Rescue Command Communication Platform[C]//2021 International Conference on Networking, Communications and Information Technology (NetCIT). Manchester, United Kingdom. IEEE, 2021: 27-31.

[2] 李雷, 余超. 复杂艰险山区铁路应急通信系统探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(2): 37-41.

Li Lei, Yu Chao. Discussion on Emergency Communication System of Railway in Complicated and Dangerous Mountainous Area[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 37-41

[3] 信晟, 杨超, 张悦, 等. 地球观测卫星发展现状分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11): 54-58.

Xin Sheng, Yang Chao, Zhang Yue, et al. Analysis of Development Status of Earth Observation Satellites[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 54-58.

[4] 何丽. SDN 与云计算在系统仿真平台中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(12): 38-41.

He Li. Application of SDN and Cloud Computing for System Simulation Platform[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 38-41

[5] Prabha C, Goel A, Singh J. A Survey on SDN Controller Evolution:A Brief Review[C]//2022 7th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). Coimbatore, India. IEEE, 2022: 569-575.

[6] Zhang Yinjun, Chen Mengji. Performance Evaluation of Software-Defined Network (SDN) Controllers Using Dijkstra's Algorithm[J]. Wireless Networks, 2022, 28(8): 3787-3800.

[7] Liu Wen, Hu Xiaodong, Yan Xin. Controller Deployments Based on QoS Guarantees in SDN-Enabled Tactical Ad Hoc Networks[C]//2020 12th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN). Chongqing, China. IEEE, 2020: 73-78.

[8] McKeown N, Anderson T, Balakrishnan H, et al. OpenFlow[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(2): 69-74.

[9] Erel M, Teoman E, Ozcevik Y, et al. Scalability Analysis and Flow Admission Control in Mininet-Based SDN Environment[C]//2015 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Network (NFV-SDN). San Francisco, CA, USA. IEEE, 2015: 18-19.

[10] Askar S, Ketfi F. Performance Evaluation of Different SDN Controllers: a Review[J]. International Journal of Science and Business, 2021, 5(6): 67-80.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.006

基于公网的重载铁路列控系统车-地 通信技术研究

谢和欢^{1, 2}

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: 采用何种车-地通信技术是重载铁路列控系统要解决的关键问题之一。对此问题进行深入全面分析, 提出一个基于公网的可满足重载铁路列控系统需求的车-地通信技术方案。该方案采用虚拟专用网络技术结合网络安全技术实现, 具有成本低、效率高, 易于实施且能充分保证车地间安全可靠通信的特点。是当前重载铁路列控系统车-地通信的优选方案, 并可为重载铁路列控系统深度智能化奠定通信基础。

关键词: 重载铁路; 列控系统; 车-地通信系统; 公网; 虚拟专用网络

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0029-07

Research on Vehicle-Ground Communication Technology Based on Public Network for Train Control System of Heavy Haul Railways

Xie Hehuan^{1, 2}

(1. CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

(2. Beijing Engineering Technology Research Center of Operation Control Systems for High Speed Railways, Beijing 100070, China)

Abstract: The selection of Vehicle-Ground Communication (VGC) technology is a key issue to be addressed for the train control system of heavy haul railways. This paper provides a comprehensive and in-depth analysis of this issue, and proposes a solution featuring public-network-based VGC technology, which can meet the requirements of the train control system for heavy haul railways. The proposed solution combines the virtual private network technology with the network security technology, and has the characteristics of low cost, high efficiency, easy implementation and full assurance of safe and reliable VGC. It has become the preferred solution for VGC of the train control system for heavy haul railways, and can lay a foundation for the deep intelligence of the train control system for heavy haul railways.

Keywords: heavy haul railway; train control system; vehicle-ground communication system; public network; VPN

收稿日期: 2023-08-31; 修回日期: 2024-02-26

作者简介: 谢和欢(1973—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 列控系统车-地安全通信技术, 邮箱: xhh@crscd.com.cn.

中国从 20 世纪 80 年代开始发展重载铁路运输，和西方发达国家相比，虽起步较晚，但发展快速。目前，国内铁路重载技术已经走在世界前列。随着国家“八纵八横”高速铁路网的逐步建成，客运需求得到很好的满足。与此同时，伴随国家经济的发展，社会对货运尤其是重载的运力需求显著增长。为满足国内日益增长的运力提升需求，“货运重载”将成为铁路建设的新重点：一方面是新建专用的货运重载铁路；另一方面是将既有客货混运铁路逐步改造为重载铁路。时代为重载铁路技术提供新的发展机遇，同时也带来新的挑战。

1 重载铁路列控技术及无线通信技术简述

早期国内大部分重载铁路的列车上通常仅安装通用式机车信号和列车运行监控装置（简称 LKJ），运输效率较低，只能满足万吨级列车的运行需求。后来重载铁路机车开始安装同步操控系统，数据传输一般采用 800 MHz 数传电台和 GSM-R 系统。例如朔黄铁路开通后，采用基于 800 MHz+400 kHz 的无线通信网络（后升级为 TD-LTE）的机车同步操控系统，可满足万吨组合列车运行需求：大秦铁路则采用 LOCOTROL 列控技术与 GSM-R 通讯技术有机结合的方式，通过多机重联实现单列 2 万吨的运行目标。但对于更高吨位的重载列车，同步操控系统技术还是显得不足，需要更先进的重载铁路列控系统才能更好地满足行车需求。

无论是 800 MHz 无线通信网络还是 GSM-R 网络都属于窄带通信，存在无线网络带宽不足以及信号场强覆盖受限等问题，只能满足 2 万吨以下组合列车运行控制的需求。要想进一步提升牵引能力、满足 3 万吨重载列车开行要求，则需要更高带宽、更高速率的无线通信网络来为重载铁路列控系统提供全 IP 化的车-地信息传输通道。

但由于 LTE 或 5G 网络建设成本高昂，网络维护成本也很高，因此为重载铁路列控系统建设 LTE 或 5G 专网并不是一个经济的方案。更为关键的是目前并没有专供重载铁路使用的无线频段，使得建

设专网的方案根本不可行。考虑到电信运营商已经铺设覆盖广阔的 LTE 和 5G 公用网络，为各终端设备随时随地接入 IP 网络提供可能。这样利用公网来传递车-地通信数据就显得顺理成章。因此研究基于公网的重载铁路列控系统车-地通信技术就具有很强的现实意义，它具有高速率、高带宽、高效率、低成本、无需分配专用频谱资源等显著优势，是目前满足重载铁路列控系统无线通信需求的一个很好的技术方案。

2 基于公网的重载铁路列控系统无线通信基本原理和关键技术

公网是由网络服务提供商建设，供公共用户使用的采用公有 IP 地址通信的网络。而专网是为专业用户提供网络通信服务的专用网络，是使用私有 IP 地址空间的网络。在重载铁路列控系统中，车载设备和地面设备有各自的私网 IP 地址，而私有 IP 是无法直接通过互联网通信的，需要由公网进行 IP 包的转发。

要在公网上实现重载铁路列控系统车-地无线通信，可以采用在公用网络上建立专用网络进行加密通信的方法，即所谓的虚拟专用网络（Virtual Private Network, VPN）技术。VPN 可以在 Internet 上为两个节点建立一条物理上虚拟的而逻辑上专有的通信链路。VPN 主要采用隧道技术、加解密技术、密钥技术和设备身份认证技术来保证通信的便捷性、安全性和可靠性。而要用 VPN 技术实现重载铁路列控系统车-地无线通信，面临的主要问题有几个：一是无论是车载系统还是地面控制设备本身都不具备 VPN 功能，故而无法让它们以直接建立 VPN 隧道的方式来通信，这有别于 VPN 技术的常规应用。二是随着列车的运行，车载系统总是处在移动过程中，其要通信的目标地面控制设备也在不断变化，因此，车地之间的隧道也需要随时跟随列车的运行而不断重建。这也和 VPN 技术的常规应用差别较大。三是重载铁路列控系统车-

地通信业务数据关系列车行车安全，数据的私密性和安全性至关重要，需要有强大的防范来自互联网的进攻的能力，保证列控业务数据不被攻击者窥视、篡改和伪造。四是车-地业务数据传输具有很高的质量保障要求，因此，对隧道的传输质量要求也远高于常规的VPN应用。下面将详细分析这几个关键问题，并寻求合适的解决方案。

2.1 隧道建立

要实现VPN，最为关键的是利用隧道技术在公网上建立起连接远端用户和内网的虚拟信道。隧道可以建在链路层或网络层。

链路层隧道采用二层隧道协议，主要是面向点对点连接。常规技术主要有PPTP、L2TP技术等，其特点是协议简单，建立隧道灵活直接，非常适合远程移动用户。PPTP和L2TP都使用PPP协议将数据封装成帧，以便数据能在公共网络上的传输。但L2TP支持建立多条隧道并支持隧道验证，同时还继承了PPP的所有安全特性，具有多种身份验证机制（如CHAP、口令验证、PAP等），可以解决车载设备的身份认证问题。另外通过L2TP所传输的数据更加安全保密，可靠性和容错性更高。因此，相比PPTP而言，L2TP更适合用于为重载铁路列控系统车-地无线通信快速建立二层隧道。

用于传输三层网络协议的隧道协议被称为三层隧道协议，也就是网络层隧道。目前，常用的三层隧道协议主要有IP层加密标准协议（Internet Protocol Security, IPSec）和通用路由封装协议（Generic Routing Encapsulation, GRE）。其中，IPSec是一个通过对IP协议的分组进行加密和认证来保护IP协议的网络传输协议族，它保护的是点对点之间的通信，数据在IPSec隧道中都是加密传输的。而GRE则允许在不同网络协议之间进行封装，从而实现多种网络层协议之间的互通，与需求没有什么关系。

就重载铁路列控系统车-地无线通信而言，既有车载设备灵活接入隧道的要求又有数据传输保密和安全的要求，也有通信质量保障的要求。因此

最为理想的实现VPN的方式是综合应用二层隧道协议和三层隧道协议。其中，二层隧道协议采用L2TP协议实现，用于建立车-地通信的IP传输隧道。三层隧道协议采用IPSec协议实现，在IP层对数据包进行加密和验证，可为IP数据包提供高质量的、基于密码学的安全传输特性；从而实现在公网上为车-地通信建立安全可靠的数据传输通道的目标。

车载设备和地面控制设备由于系统受限自身均不具备VPN功能，故无法直接在这两者间建立VPN隧道，需要将VPN功能转移至车-地通信系统上实现。

2.2 网络安全

对于基于公网的重载铁路列控系统无线通信系统而言，网络安全至关重要。网络安全一方面包括通信系统免受来自互联网的进攻，保障只有合法的车-地通信数据流量可以通过系统，这可以在车地两端增加防火墙来实现。另一方面包括车地业务数据在公网上传输的私密性和安全性，这就需要用到IPSec隧道提供的安全机制。IPSec隧道可以通过加密与数据源认证等方式实现来提供主动的保护，以防止来自公网的进攻，保证车-地通信IP数据包在公网上传输的私有性、完整性并防重放。这样可以利用IPSec的工作机制来保护车地业务数据在公网上传输的私密性和安全性，有效防止车-地通信的IP数据包被截获、被篡改或被伪造，充分保证列控系统的通信安全。

车载端和地面端被设计成IPSec的两端，并同时使用AH和ESP协议，其中，AH协议用来对IP报文进行数据源认证和完整性校验，但它并不提供加密功能。而ESP协议除了对IP报文进行数据源认证和完整性校验以外，还能对数据进行加密，弥补AH协议的不足。ESP协议中使用的数据加解密算法包括数据加密标准（DES）、高级加密标准（AES）、国密算法（SM4）等。由于DES算法安全性相对较低，存在安全风险，故基于公网的重载铁路列控系统无线通信系统宜选择安全等级更高的

AES 或 SM4 算法。

2.3 传输服务质量

VPN 的质量依赖于其下层的物理网络的质量。接入到不同运营商的 Internet, 存在各接入质量不一、链路利用效率低、QoS 无法保证等问题。

为尽可能减少 VPN 质量对基于公网的重载铁路列控系统无线通信的影响, 保障车地数据传输的可靠性, 应从几方面来采取措施: 一是车载设备和地面控制设备之间在传输层应采用面向连接的、可靠的 TCP 通信, 对收到的数据包及时确认, 对丢失的数据包进行重传, 从而实现高可靠性的数据包交换。二是车载应用设计时应充分考虑通信不畅带来的问题, 做到一定的容忍度。三是在车地间建立 TCP 冗余链路, 两条链路同时传输应用数据, 这样, 即使一条链路上出现数据延迟甚至丢失的现象, 也不会造成车地数据传输中断。四是底层选用高质量链路建立 VPN 隧道组, 并实时监控隧道质量, 当其中一条隧道的质量下降或中断, 将这条隧道承载的业务自切换到优质隧道上, 从而最大限度确保传输的可靠性。

3 基于公网的重载铁路列控无线通信系统设计

根据上文介绍的基于公网的车-地通信原理, 在设计上, 重载铁路列控无线通信系统应包括车载防火墙、车载电台、接入路由器和地面防火墙等关键设备。其中, 车载电台用于车载设备接入公网无线接入网, 路由器用作接入公网有线核心网, 同时车载电台和接入路由器还用作 L2TP 隧道的两端。车载防火墙和地面防火墙则用作车-地通信系统的安全防护设备, 通过配置安全策略, 可以有效防止非法数据侵入通信系统, 使车载设备和地面控制设备免受来自公网的网络攻击。同时它们还被用作 IPSec 隧道的两端, 一举两得。这种设计不但解决了车载设备和地面设备自身不具备 VPN 能力的问题, 还加强了通信系统自身的安全性。此外, 为了加强对本无线通信系统终端用户的认证管理, 在路由器上还引入用户认证和授权管理机制, 只有合法的经过验证的车载设备才可以接入路由器, 非法用户的连接请求将被拒绝。设计完成的重载铁路列控无线通信系统结构示意图如图 1 所示。

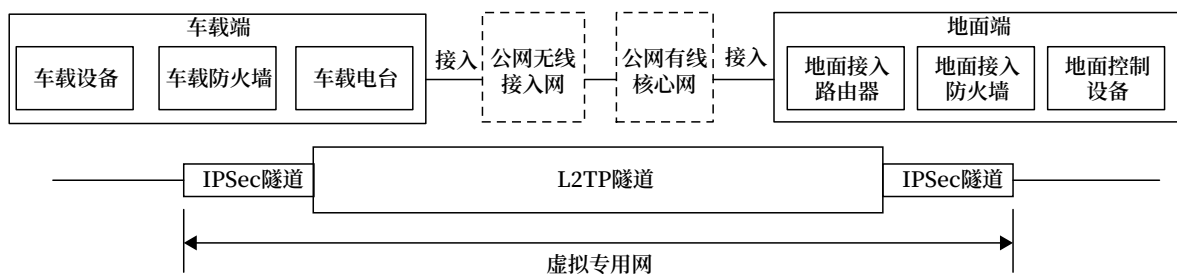


图1 基于公网的重载铁路列控无线通信系统结构示意图

Fig.1 Schematic structure diagram of public-network-based wireless communication system for train control of heavy haul railways

车载电台在 LTE 或 5G 接入网驻网后, 直接尝试和地面接入路由器建立 L2TP 隧道, 在完成隧道 ID、UDP 端口、主机名称和 L2TP 版本等基本信息的协商后建立起 L2TP 隧道, 随后再协商出一个 L2TP 会话。接着开始建立 PPP 连接, 经过 LCP 协商、PPP 验证和 IPCP 协商后完成 PPP 连接的建立, 这时电台获得了路由器分配给它的私网 IP 地址, 可以访问路由器后的内网, 也就是地面控制设备所在的

局域网。随后, 车载防火墙首先通过 IKE 协议和地面防火墙建立起安全联盟, 然后进行密钥交换、身份认证、参数协商几个过程后, 最终完成 IPSec 隧道的建立。至此, 车载和地面设备之间的在公网上的安全通信通道就建立起来了。然后车载和地面控制设备开始尝试建立 TCP 连接, 连接建立后就开始应用数据传输, 传输过程中携带应用数据的 IP 包会被加密和验证。车地间完整通信的建立过程如图 2 所示。

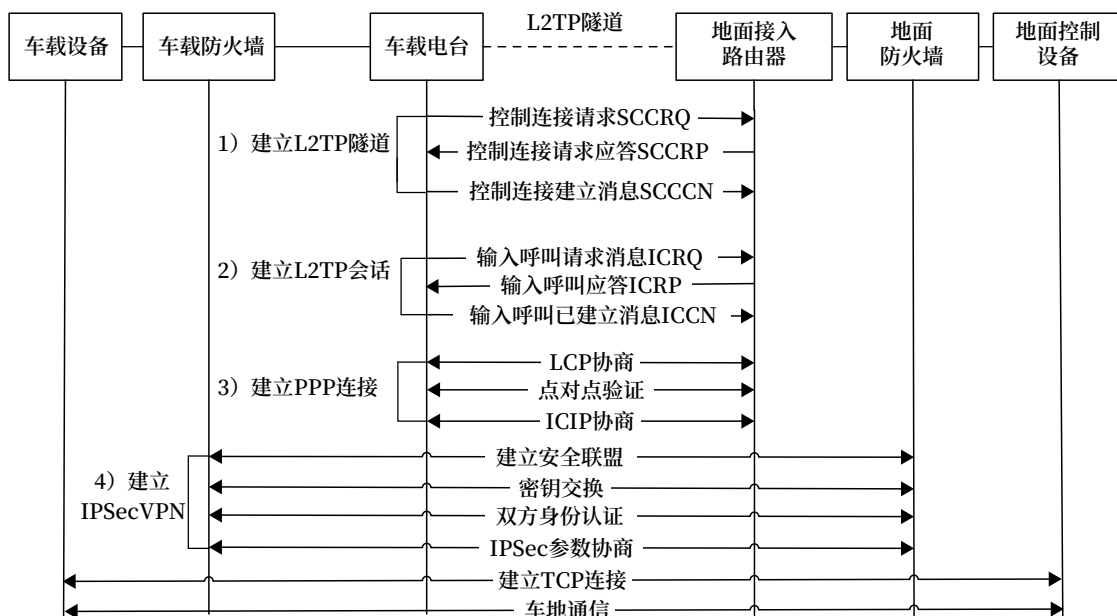


图2 基于公网的重载铁路列控无线通信系统通信建立示意
Fig.2 Schematic communication establishment diagram of public-network-based wireless communication system for train control of heavy haul railways

在实际应用中，为了进一步增强列控数据在公网传输的安全性，系统还在车载端和地面端分别添加了国密处理程序，负责对列控业务数据进行加解密操作。这样，业务数据既有自身的加密机制，也有携带该业务数据的IP包被IPSec隧道加密和保护机制，两种安全机制相结合，大大增强了列控业务数据在公网传输的安全性。

4 基于公网的重载铁路列控车-地通信系统验证

为验证基于公网的重载铁路列控车地通信系统

119	2023-09-20 07:54:34.592418	172.16.11.211	192.168.200.127	TCP	66 50872 → 4082 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0
120	2023-09-20 07:54:34.611490	192.168.200.127	172.16.11.211	TCP	66 4082 → 50872 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=
121	2023-09-20 07:54:34.611579	172.16.11.211	192.168.200.127	TCP	→ 50872 → 4082 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=1318

图3 重载列控通信系统通信建立时延测试
Fig.3 Communication establishment delay test of communication system for train control of heavy haul railways

通过从车载端向地面控制设备发PING包来测试数据传输时延，测试结果如图4所示。传输时延为15ms，完全可以满足《铁路5G专网业务和功能需求暂行规范》中规定的列控信息传输时延150ms的要求。

在车载端和地面控制设备分别运行网络调试工

具按照1000Byte/s数据流量互发数据包，检查发送端发出的数据包数目和字节数目，对比接收端收到的数据包数目和字节数目，从而计算丢包率。如图5所示，可以看到收发的数据包数目和字节数目完全一致，可见在实验室稳定的测试环境下通信系统没有产生丢包。

在实际应用中，为了进一步增强列控数据在公网传输的安全性，系统还在车载端和地面端分别添加了国密处理程序，负责对列控业务数据进行加解密操作。这样，业务数据既有自身的加密机制，也有携带该业务数据的IP包被IPSec隧道加密和保护机制，两种安全机制相结合，大大增强了列控业务数据在公网传输的安全性。

通过从车载端使用Wireshark软件抓包来判定TCP连接建立时延（从ATP发出SYN报文开始，到ATP收到地面控制设备回复的SYN+ACK报文后再发送ACK报文完成TCP连接建立），测试结果如图3所示。根据对应信息包时间差可以计算得出TCP连接建立时延为19ms，高于系统要求指标。

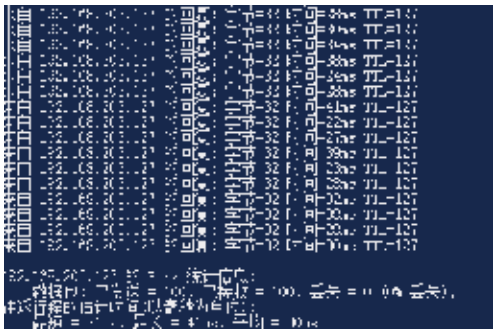


图4 重载列控通信系统数据传输时延测试
Fig.4 Data transmission delay test of communication system for train control of heavy haul railways

关于系统安全性验证，可以模拟非法用户以错误的用户名或密码来接入车-地通信系统，从认证服务器的记录来看，非法用户的接入请求均被拒绝。只有合法的用户接入请求才能被接受，如图6所示。

从捕获流经路由器的数据帧来分析数据安全性。如图7所示，可以看到所有的应用数据均被加密后封装在了ESP包中，与原始数据无论是在长度上还是内容上已经大相径庭，从而充分保证了应用数据的安全性。

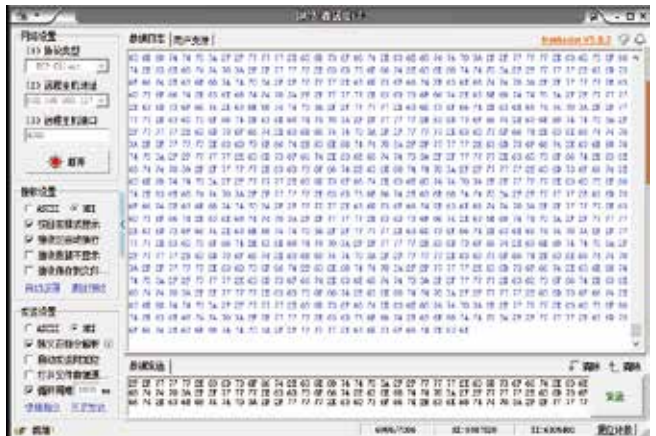


图5 重载列控通信系统数据传输丢包率测试
Fig.5 Packet loss rate test for data transmission of communication system for train control of heavy haul railways

Radius 操作管理终端					
操作	用户名	密码	认证时间	认证结果	认证类型
1	testRadius	testRadius	2023-10-07 10:42:19.249	Access-Accept	认证成功
2	testRadius	testRadius	2023-10-07 10:42:19.249	Access-Accept	认证成功
3	testRadius	testRadius	2023-10-07 10:42:19.249	Access-Accept	认证成功
4	testRadius	testRadius	2023-10-07 10:42:19.249	Access-Accept	认证成功
5	testRadius	testRadius	2023-10-07 10:42:19.249	Access-Accept	认证成功
6	testRadius	testRadius	2023-10-07 10:42:19.249	Access-Accept	认证成功

图6 重载列控通信系统安全性验证
Fig.6 Safety verification of communication system for train control of heavy haul railways

5 结束语

车-地通信是重载铁路列控系统的关键技术之一，为车载ATP设备和地面控制设备提供了通过无线通信网络进行双向通信手段。本文探讨了通过建立虚拟专用网的方式来实现车-地通信，创新地采用了L2TP和IPSec VPN技术相结合的方式，通过电信运营商提供的4G或5G公网来安全可靠地传输列控数据。车-地通信系统采用冗余通道来增强

数据传输的可靠性，通过网络安全技术来保证数据的保密性和完整性。按照本文方法完成的车-地通信系统已成功运用在准池重载铁路，实现车-地设备无感通信。系统运行稳定可靠，能安全快速地传输重载铁路列控系统的车地通信数据。基于公网的重载铁路列控系统车-地通信技术是一种经济实用的车-地通信技术，它既省去了建设专网的巨额费用和浩大工程，也节省了后期专网的维护成本。更为重要的是这种车-地无线通信技术不需要专属无

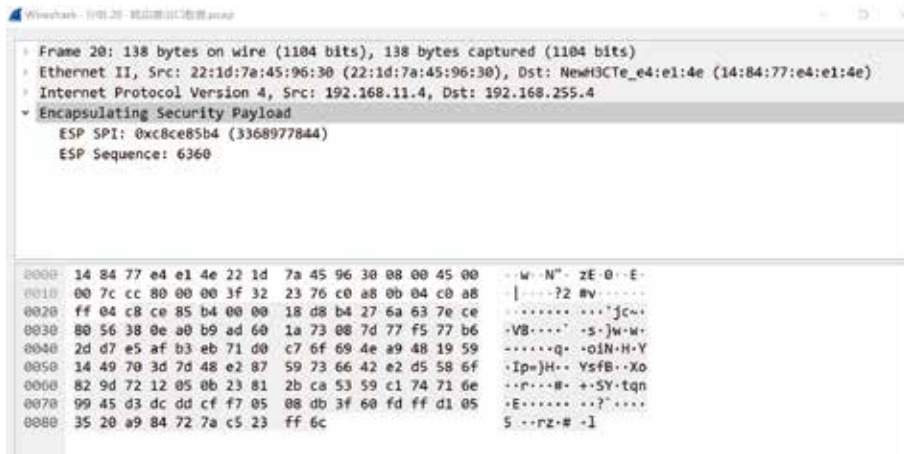


图7 重载列控通信系统数据传输安全性验证

Fig.7 Safety verification for data transmission of communication system for train control of heavy haul railways

线频段，是实现重载铁路列控系统车-地通信的一种切实可行的技术方案。且由于其具有传输速率快、带宽高的优点，可承载较大数据流，这样亦可满足未来重载铁路列控系统深度智能化更高的通信需求。

参考文献

- [1] 国家铁路局. 重载铁路设计规范: TB 10625-2017[S]. 北京: 中国铁路出版社, 2017.
 - [2] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路5G专网业务和功能需求暂行规范: 铁科信[2021]63号[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.
 - [3] 李学昭. 防火墙和VPN技术与实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2022.
 - [4] 李宗标. 深入浅出TCP/IP和VPN[M]. 北京: 北京大学出版社, 2021.
 - [5] 杨东晓, 王剑利, 张锋. VPN技术与应用实验指导[M]. 北京: 清华大学出版社, 2021.
 - [6] Wan Lei, Anthony C.K. Soong, Liu Jianghua. 5G系统设计——端到端标准详解[M]. 刘江华, 张雷鸣, 郭志恒, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2021.
 - [7] 埃里克·达尔曼, 斯特凡·巴克浮, 约翰·舍尔德. 5G NR标准: 下一代无线通信技术[M]. 朱怀松, 王剑, 刘阳, 译. 北京: 机械工业出版社, 2019.
 - [8] 谢联莲, 虞凯, 刘孜学, 等. 长大干线高速磁浮无线通信系统工程方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 20-25.
 - [9] 谢和欢. 支持电路域与分组域的车载通信技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(2): 49-57.
 - [10] 熊栋宇. 市域铁路5G无线通信应用方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 65-70.
 - [11] 高义标. 5G承载城轨车-地综合通信的方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(9): 69-72.
- Xie Lianlian, Yukai, Liu Zixue, et al. Research on Engineering Scheme of Radio Communication System for Long Main Line With High Speed Maglev[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 20-25.
- Xie Hehuan. Research on Onboard Communication Technology Supporting both Circuit Switching Domain and Packet Switching Domain[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 49-57.
- Xiong Dongyu. Research on 5G Wireless Communication Application Scheme for Suburban Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 65-70.
- Gao Yibiao. Research on Scheme of 5G Carrying Integrated Vehicle-Ground Communication for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 69-72.

基于Xgboost的铁路货运装卸作业时间预测

周 瑾¹, 王文斌², 刘子扬¹, 刘永壮¹

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 中国神华能源股份有限公司, 北京 100040)

摘要: 传统方法推算货运装卸作业时间直接使用站细里的标准时间, 难以刻画复杂因素影响下作业时间的变化情况, 准确率较低。通过数据挖掘的方法, 收集铁路综调信息系统记录的货运装卸作业相关数据, 利用增强决策树模型 Xgboost 学习装卸作业相关影响因素对其作业时间的影响, 实现货运装卸作业时间预测, 对比基线模型准确率提升明显, 能更有效辅助车流推算与运行图自动编制。

关键词: 重载铁路; 货运作业; 装卸作业时间; 决策树; Xgboost

中图分类号: U294.27

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0036-06

Loading and Unloading Time Estimation Based on Xgboost for Railway Freight Transport

Zhou Jin¹, Wang Wenbin², Liu Ziyang¹, Liu Yongzhuang¹

(1. CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China;

2. China Shenhua Energy Co., Ltd., Beijing 100040, China)

Abstract: The traditional method of loading and unloading time prediction of freight transport, which directly utilizes the standard time specified in the Detailed Instructions Governing Train Operation at Station, cannot properly characterize the time change under the impacts of complex factors, and achieves low prediction accuracy. This paper utilizes the data mining method to gather the relevant data on the loading and unloading time of freight transport from the railway integrated dispatching information system. It also utilizes the boosted decision tree model Xgboost to predict the loading and unloading time of freight transport. Compared with the reference model, the proposed model can achieve substantial improvement in prediction accuracy, and provide more effective support for traffic flow prediction and automatic drawing of train operation charts.

Keywords: heavy haul railway; freight transport; loading and unloading time; decision tree; Xgboost

收稿日期: 2023-05-29; 修回日期: 2024-03-06

基金项目: 中国神华重载铁路运输大数据分析平台研究项目 (SHGF-22-02)

第一作者: 周瑾 (1994—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 数据挖掘, 邮箱: zhoujin@crscd.com.cn。

1 概述

铁路运输是煤炭等大宗能源产业链生产、运输和销售的重要环节, 其沟通上游矿场与中下游的港

口、电厂，不仅服务能源公司内部的大宗商品运输，也为地方货运客户带来便捷。近两年，大型能源企业纷纷结合自身业务特点，统建内部铁路运输综合调度信息系统，实现了各板块、各公司、各部门之间信息的有效同步，极大地提高了铁路管理水平、决策能力与运输效率。

综合调度信息系统的货运调度模块以货运工作计划为主线，一方面对接客户、确定运输需求，编制货运工作计划；另一方面对接上/下游公司、部门，监控现场作业进度，保障货运作业兑现和完成。货运调度员审批客户提报日计划，在货运调度系统中填写并保存运单，货运调度系统再根据运单自动生成货运作业单。货运作业单记录车站完成货运作业的计划与实际数据，包括车站值班员填报的车辆信息和实时作业信息。综合调度信息系统在各地方铁路公司开通运行之后，积累了大量的货运作业实际数据，可用作评估各车站、客户货运作业效率、车流推算、自动运行图铺画等数据挖掘和智能决策需求的基础输入。

列车运行图自动铺画是铁路运输调度信息系统智能化过程的关键。铺画运行图首先需要考虑列车运行过程可能影响列车正常运行的环节和因素，确定编制列车运行图的要素。虽然不同的运行图铺画方式不同，但基本具备以下6大要素：列车区间运行时分、中间站停留时分、机车在基本段和折返段停留时分、列车在站作业时分、车站间隔时间和追踪列车间隔时间。其中列车在站作业时间常采用车站站细中的作业时间标准，或直接使用某一固定值。但在重载铁路货运场景下，站细中的标准时间与实际装卸作业耗时差距较大，装卸时间受车站、货物、货主和车辆等多重因素影响，仅使用标准时间作为参考铺画运行图，会导致后续运行线推算与现实差距扩大的问题。货车装载状态检测方面已有研究利用智能集成技术实现自动识别与报警。基于这类状态检测算法采集的时间，还需利用数据挖掘和机器学习的方法，从历史货运作业数据中分析规律，实现比标准时间更精准的装卸车作业时间预测，作为

车流推算和列车运行图自动铺画的重要输入。

决策树模型通过不断搜索使熵增最大的特征进行节点的分裂，进而从无序的数据特征中构建决策树，其在包含多类型且非线性数据的回归问题上表现较好。本文基于某能源集团内部铁路在货运调度中产生的实际货运作业数据，对比多种基于决策树的boosting改进算法，最终采用效果较优的Xgboost算法来预估装卸作业时间。与标准作业时间相比，对实际装卸作业时间预估的准确度提升明显。该预测结果返回给计划调度模块，用于车流推算、运行图自动铺画算法的开发和人工绘制运行线合法性的校验。

2 货运装卸时间预测模型

2.1 问题描述

货运的装车和卸车作业使车辆状态由空车变重车或者重车变空车。计划调度在推算车流分布时，需要根据现车分布和货运作业计划，预测装卸作业的时间，进而推算出未来多个时间点的车辆状态变化情况。比如，当前时刻车站里的10辆空车经过装车作业，在2h之后就变成了重车车流。

货运装卸时间预测可以建模成一个回归问题。在当前时刻 t ，根据各车站各列车的空、重状态和相关货运日计划、配空结果中安排的作业车数、作业地点、客户、货物品类、车型和载重等数据特征，来预估未来一段时间内将进行的装车或卸车作业的实际时间。

2.2 模型介绍

决策树是一种树形结构的决策分析模型，从根节点到叶子结点，决策者不断利用分而治之的思想，将原问题拆解，在子问题上做决策。所以决策树的构建需要解决两个问题：分裂的规则，以及子问题如何决策。决策树算法是一套从数据特征中学习决策规则进而构建决策树的算法，经典算法包括：ID3，C4.5和CART等。其中CART由Breiman、Friedman等人提出，其引入了Gini不纯度作为分裂指标。算法思路为循环的确定最佳分裂特征和

该特征的最佳分裂值，直到达到停止条件或者没有理想的分裂点。它的优势在于既可以解决回归问题，也可以解决分类问题。

单棵决策树对数据空间的刻画能力有限，精度不够，后续研究分别从 Bagging 和 Boosting 两种方法对决策树进行了增强和拓展。基于 Bagging 思路的有随机森林算法，它利用 bootstrap 重抽样方法从原始样本中抽取多个样本，对每个样本进行决策树建模，最后组合多棵决策树的预测，通过投票获得最终结果。基于 Boosting 思路的有 AdaBoost 和梯度提升 (Gradient Boosting)。更常用的梯度提升算法先构建基树，然后通过梯度下降的方式不断构建最小化损失函数的后续决策树，累加到之前的决策树上以提升预测结果，直到收敛。梯度提升算法中表现优异的模型实现有 Xgboost 和 LightGBM。

Xgboost 由陈天奇等人于 2015 年提出，是应用广泛的开源平行梯度提升框架，可用于主流操作系统 Linux, Windows 和 macOS，支持多个主流开发语言，在众多机器学习任务比赛中都取得好成绩。相比于其他梯度提升算法实现，Xgboost 有几个突出特点。首先是对目标函数的正则化：对于一个有 n 个样本和 m 个特征的数据集， $D = (X, y) = \{(\mathbf{x}_i, y_i), i=1, 2, \dots, n\}$, ($|D| = n, \mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^m, y_i \in \mathbb{R}$), \mathbb{R} 是实数集， X 是所有样本输入， \mathbf{x}_i 是第 i 个样本的输入向量， y 是所有样本输出， y_i 是第 i 个样本输出。树集成模型 $\phi(\mathbf{x}_i)$ 用 K 个累加函数 f_k 来预测输出：

$$\hat{y}_i = \phi(\mathbf{x}_i) = \sum_{k=1}^K f_k(\mathbf{x}_i), \quad f_k \in \mathcal{F} \quad (1)$$

其中， $\mathcal{F} = \{f(\mathbf{x}) = w_{q(\mathbf{x})}\} (q: \mathbb{R}^m \rightarrow T, w \in \mathbb{R}^T)$ 是回归树空间，将一个样本映射到对应的叶子节点； q 是每个树的结构， w 是树的权重； T 是树的叶子数，每个 f_k 对应一个独立的树结构 q 和叶子权重 w ； w_i 是第 i 个叶子上的得分。为了学习模型中的函数，需最小化正则化的目标函数 $\mathcal{L}(\phi)$ ：

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\phi) &= \sum_i l(\hat{y}_i, y_i) + \sum_k \Omega(f_k), \\ \Omega(f) &= \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \|w\|^2 \end{aligned} \quad (2)$$

其中， l 是衡量预测值 \hat{y}_i 与目标值 y_i 差异的可微分凸损失函数。 Ω 是正则项，通过惩罚模型的复杂度、平滑叶子节点得分以避免过拟合， γ 是叶子数， λ 是叶子权重的惩罚系数。其次是用二阶梯度近似实现树的梯度提升：假设 $\hat{y}_i^{(t-1)}$ 是第 i 个样本在第 $t-1$ 轮的预测值，通过贪心的方法添加新树 f_t 来最小化目标函数，目标函数 $\mathcal{L}(\cdot)$ 可改写成：

$$\tilde{\mathcal{L}}^{(t)} = \sum_{i=1}^n l(\hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(\mathbf{x}_i), y_i) + \Omega(f_t) \quad (3)$$

做泰勒展开得到目标函数 $\mathcal{L}(\cdot)$ 的二阶近似，如公式 (4) 所示：

$$\tilde{\mathcal{L}}^{(t)} \simeq \sum_{i=1}^n [l(\hat{y}_i^{(t-1)}, y_i) + g_i f_t(\mathbf{x}_i) + \frac{1}{2} h_i f_t^2(\mathbf{x}_i)] + \Omega(f_t) \quad (4)$$

其中 $g_i = \partial_{\hat{y}_i^{(t-1)}} l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)})$ 是目标函数的一阶导数， $h_i = \partial_{\hat{y}_i^{(t-1)}}^2 l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)})$ 是目标函数的二阶导数。通过去除常数项和展开 Ω ，并引入 $I_j = \{i | q(\mathbf{x}_i) = j\}$ 代表属于叶子节点 j 的样本集合，泰勒展开结果可重写成：

$$\tilde{\mathcal{L}}^{(t)} = \sum_{j=1}^T \left[(\sum_{i \in I_j} g_i) w_j + \frac{1}{2} (\sum_{i \in I_j} h_i + \lambda) w_j^2 \right] + \gamma T \quad (5)$$

所以对固定的树结构 $q(\mathbf{x})$ ，可计算得到叶子节点 j 最优的权重 w_j^* ：

$$w_j^* = - \frac{\sum_{i \in I_j} g_i}{\sum_{i \in I_j} h_i + \lambda} \quad (6)$$

进而得到目标 $\mathcal{L}(\cdot)$ 的最优值为：

$$\tilde{\mathcal{L}}^{(t)}(q) = - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^T \frac{(\sum_{i \in I_j} g_i)^2}{\sum_{i \in I_j} h_i + \lambda} + \gamma T \quad (7)$$

使用二阶梯度近似使 Xgboost 收敛速度更快，预测准确度更高。除此之外，Xgboost 还使用收缩 (Shrinkage) 和列二次采样 (Column Subsampling) 的方式防止过拟合。

3 案例分析

3.1 实验数据

本文采用某能源公司综合调度信息系统内记录的 2022 年 1 月~2023 年 3 月装卸作业数据，共计 22.46 万条记录 (去除异常记录后)，通过随机采样

将数据按照 75% 和 25% 比例划分成训练集与测试集。通过分析货运装卸作业与计划调度的业务流程,结合信息系统生产数据记录完备情况,共梳理与装卸作业时间强相关的特征 19 维,主要包括作业车辆数、作业车场、作业车站、车辆载重、超重重量、货物类型、车辆归属人、车辆类型、承运人、收货人、计费里程和终到站等。而站细中标准作业时间的划分只考虑 8 个特征:集装箱作业类型、车辆类型、货物种类、是否集装箱、作业车场、作业车站和列车类型。

数据集中包含装车作业记录 12.67 万条和卸车作业记录 9.79 万条,其中装车和卸车作业时间的分布情况如图 1 所示。装车作业时间的中位数为 110 min、均值为 163 min (约 3 h),卸车作业时间的中位数为 118 min、均值为 254 min (约 5 h),装卸车时间长尾效应较明显,比如卸车时间在 600~700 min 间的记录数量略有提升。数据集中不同车辆类型装车和卸车作业时间的均值如表 1 所示,历史装卸作业数据显示棚车的平均装车和卸车时间高达 1 290 min 和 1 739 min,而棚车装的多是化工品;矿车的平均装车和卸车时间相对较短,分别为 69 min 和 120 min。数据集中不同货物类型的平均装车时间和卸车时间如表 2 所示,不同货物类型的平均装卸时间差异非常明显,如化工品和兰炭平均装卸时间较长,而焦炭、钢铁及有色金属、煤水泥的平均装卸时间较短。

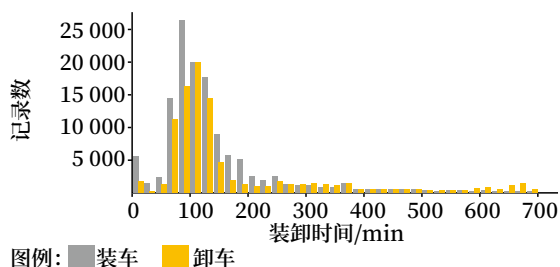


图1 装卸作业时间分布直方

Fig.1 Histogram of loading and unloading time distribution

经过特征筛选得到的 19 维特征中,货物类型、车辆类型、装车地点等类别较多的特征,需在模型

表 1 不同车辆类型装车和卸车时间均值

Tab.1 Average loading and unloading time by car type

车辆类型代码	车辆类型	装车时间 / min	卸车时间 / min
C	敞车	110	116
G	罐车	330	460
K	矿车	69	120
N	平车	60	240
NX	两用平车	180	380
P	棚车	1 290	1 739
STX	多功能运输车	171	640
X	集装箱车	490	580
其他	其他	300	150

表 2 不同货物类型装车和卸车时间均值

Tab.2 Average loading and unload time by goods type

货物种类	装车时间 /min	卸车时间 /min
非金属矿石	310	419
矿物性建筑材料	1 100	396
水泥	240	316
粮食	660	677
化工品	1 675	600
鲜活货物	118	238
煤	109	114
兰炭	1 130	200
焦炭	40	35
金属矿石	558	690
钢铁及有色金属	40	35
石油	360	555

训练前重新进行编号。还有同时可取多个类型值的类别特征,如车型数据:一次货运作业的列车中可能包含多种车型,则需要根据所有主流车型创建伪变量,并处理成多热(Multi-hot)变量的形式,再送入模型。除此之外,取值范围差异较大的数值特征,如车辆载重、超重重量和车辆数等需要进行归一化处理,以加快模型收敛。对存在缺失值的记录,其缺失特征统一填充-1。

3.2 实验评价指标

本文解决的问题是根据运单、配空、货运作业单等相关信息,在货运作业开始前对货运作业时间进行预测,其本质是一个作业时间的回归问题。为了对比不同模型的预测效果,引入回归问题常用

的评价指标：均方根方误差（Root Mean Square Error, RMSE） E_{RMSE} 和相关系数 R^2 ，其表达式如公式（8）、（9）所示。

$$E_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (8)$$

$$R^2 = 1 - \frac{MSE}{Var} = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

其中， n 是样本数量； y_i 是样本 i 的真实装卸时间， \hat{y}_i 是模型预估装卸时间， \bar{y} 是装卸时间均值，MSE 是均方误差，Var 是因变量的方差。

3.3 实验结果

本文基于 Python 进行数据的处理和模型训练，在 Xgboost 的训练过程中，通过调参，确定目标函数采用平方误差，决策树 (gbtree) 作为提升器 (booster)，提升器数量为 500，最大深度为 4，最小叶子节点权重为 1，学习率为 0.06，子采样率 0.8，子树列采样率为 0.8，早停止步数为 5。Xgboost 的训练过程如图 2 所示，模型在训练过程收敛。根据每个特征在决策树节点分裂时对损失函数的改进贡献大小可以衡量不同特征的重要性，在 Xgboost 模型和该数据集中，重要度最高的 10 个特征依次为：装卸地点、创建时间、创建用户、载重、车辆数、出发车站、计费历程、货物品类，承运人和终到车站。

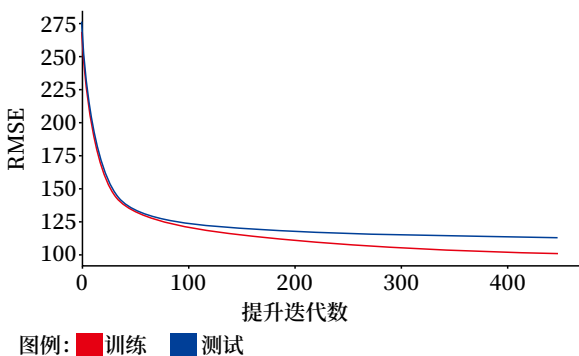


图2 训练过程中损失函数变化
Fig.2 Change of loss function in training process

实验采用站细中的货运作业标准时间作为基准，对比其与 Xgboost 模型在该数据集的表现，结果如表 3 所示。通过 Xgboost 模型学习装卸作业

时间历史数据规律后，装车作业预测在训练集上 $E_{RMSE} = 105.14$ ，测试集上 $E_{RMSE} = 111.52$ ，卸车作业预测在训练集上 $E_{RMSE} = 145.64$ ，测试集上 $E_{RMSE} = 158.94$ 。而使用站细标准时间与实际装车作业时间对比，在训练集上 $E_{RMSE} = 238.60$ ，测试集上 $E_{RMSE} = 210.62$ ，与实际卸车作业时间对比，在训练集上 $E_{RMSE} = 348.18$ ，测试集上 $E_{RMSE} = 369.27$ 。在测试集上，预测值的 RMSE 对比站细标准时间的 RMSE 在装车作业时间和卸车作业时间上分别下降了 47% 和 57%。且 Xgboost 模型对装卸车作业时间的方差波动解释性较强，装车作业回归和卸车作业回归的 R^2 分别为 0.77 和 0.82，而站细标准时间的 R^2 仅有 0.11 和 0.04，说明实际装卸作业时间与站细中的标准时间出入很大，有诸多波动是标准时间没有考虑的。

表 3 Xgboost模型实验结果

Tab.3 Test results of Xgboost model

模型名称	装车作业		卸车作业	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2
站细标准时间	210.62	0.11	369.27	0.04
Xgboost	111.52	0.77	158.94	0.82

4 结束语

本文针对重载铁路运输组织中车流推算、运行图铺画的关键输入：货运装卸作业时间，预估不准确的问题，调研了计划调度和货运调度的相关业务流程，处理和分析了货运作业完成前、后综调信息系统记录的历史数据，将货运装卸时间预估建模成回归问题，利用梯度提升树模型 Xgboost 对历史数据进行学习。该模型相比于常用的站细标准作业时间，表现优异，能够提升车流推算的准确度，更好地服务于运输调度人员，帮助其掌握车流分布情况，加快运输资源流转。

参考文献

- [1] 刘结平. 神华铁路调度信息系统建设方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (10): 25-31.

- Liu Jieping. Construction Scheme of Train Dispatching Information System of Shenhua Company[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(10): 25-31.
- [2] 宋宗莹, 王文斌, 刘子扬, 等. 重载铁路运输大数据分析平台架构设计研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (11): 44-49.
- Song Zongying, Wang Wenbin, Liu Ziyang, et al. Design and Research on Architecture of Big Data Analytics Platform in Heavy-haul Railway Transportation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 44-49
- [3] 李静, 康巍. 基于微服务架构的国家能源集团铁路货运营销与调度系统研究 [J]. 铁道运输与经济, 2022, 44 (Z1): 176-182.
- Li Jing, Kang Wei. Research on Railway Freight Marketing and Dispatching System of National Energy Group Based on Micro-Service Architecture[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(Z1): 176-182.
- [4] 李志兵, 王文泓, 许扬. 铁路货运枢纽综合自动化系统设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (1): 7-11.
- Li Zhibing, Wang Wenhong, Xu Yang. Design of Integrated Automation System of Railway Freight Hub[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 7-11.
- [5] 付立斌. 多维空间下的列车运行图仿真与分析 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.
- [6] 顾闻. 列车运行及货车装载状态智能化检测技术优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (5): 48-52, 56.
- Gu Wen. Optimization of Intelligent Detection Technology for Train Operation and Freight Train Loading States[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 48-52, 56.
- [7] Breiman L, Friedman J, et al. Classification and Regression Trees[M]. Monterey, CA: Wadsworth and Brooks, 1984.
- [8] 方匡南, 吴见彬, 朱建平, 等. 随机森林方法研究综述 [J]. 统计与信息论坛, 2011, 26 (3): 32-38.
- Fang Kuangnan, Wu Jianbin, Zhu Jianping, et al. A Review of Technologies on Random Forests[J]. Statistics & Information Forum, 2011, 26(3): 32-38.
- [9] Friedman J H. Greedy Function Approximation: a Gradient Boosting Machine[J]. The Annals of Statistics, 2001, 29(5): 1189-1232.
- [10] Chen Tianqi, Guestrin C. XGBoost: a Scalable Tree Boosting System[C]//Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. San Francisco California USA. ACM, 2016: 785-794.
- [11] Ke Guolin, Meng Qi, Finley T, et al. LightGBM: a Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree[C]//Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems. December 4-9, 2017, Long Beach, California, USA. ACM, 2017: 3149-3157.
- [12] 韩宗垒, 徐斌, 陈佳. 基于神经网络的集装箱船港口作业时间预测模型 [J]. 计算机应用与软件, 2021, 38 (2): 78-84.
- Han Zonglei, Xu Bin, Chen Jia. Container Ship Port Operation Time Prediction Model Based on Neural Network[J]. Computer Applications and Software, 2021, 38(2): 78-84.
- [13] 赵国强, 刘亦伟, 孙博伦. 重载铁路 MESH 自组网一跳节点空口碰撞算法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (2): 51-54.
- Zhao Guoqiang, Liu Yiwei, Sun Bolun. Air Interface Time Slot Collision Probability Algorithm of MESH ad Hoc One-hop Nodes on Heavy-haul Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 51-54.

铁路通信综合网络管理系统 网络安全建设的研究

魏 旻

(中国铁路上海局集团有限公司南京铁路枢纽工程建设指挥部, 南京 210000)

摘要: 介绍铁路通信综合网管系统的建设背景、网络安全现状, 并结合标准《铁路网络安全等级保护基本要求 安全通用要求》(Q/CR 772-2020)、《铁路通信网络安全技术要求第1部分 总体技术要求》(Q/CR 783.1-2021)对综合网管系统的网络安全内容进行研究和分析, 同时给出综合网管系统的网络安全建设模型建议。通过对综合网管系统网络安全建设的研究, 为今后综合网管系统网络安全的有效防护工作提供参考。

关键词: 网络安全; 综合网管; 建设模型

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0042-05

Research on Cyber-security of Integrated Network Management System for Railway Communication

Wei Min

(Construction Command Headquarters of Nanjing Railway Hub Project, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: This paper introduces the construction background and cyber-security status of the integrated network management system for railway communication. It also studies and analyzes the cyber-security related provisions on the integrated network management system included in the standards Q/CR 772-2020 *Basic Requirements for Classified Protection of Cybersecurity of Railway-General Security Requirements* and Q/CR 783.1-2021 *Technical Requirements for Cybersecurity of Railway Communication--Part 1: General Technical Specification*. Moreover, it provides suggestions on the construction model for the cyber-security of the integrated network management system. Through research on the network security of integrated network management systems, this paper provides reference for effective cyber-security protection of integrated network management systems in the future.

Keywords: cyber-security; integrated network management system; construction model

收稿日期: 2023-12-21; 修回日期: 2024-03-09

第一作者: 魏旻(1986—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 通信与信息技术, 邮箱: 87354009@qq.com。

随着《中华人民共和国网络安全法》《信息安全技术网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239-2019)的颁布实施, 网络安全已经提升到国家战略层面的高度, 网络安全建设工作也成为各行各业信

息系统建设中的核心和落脚点。铁路通信系统是铁路的关键基础设施，是保障铁路运输安全、提高运营效率的重要工具。铁路通信综合网络管理系统作为通信系统运维的主要手段之一，其安全防护建设也面临着巨大的威胁和挑战，其安全防护体系的研究也亟需加强和规范。中国国家铁路集团有限公司（简称国铁集团）作为国民经济建设中的先行企业，从铁路实际情况出发，先后制定了一系列企业安全标准，其中《铁路通信网络安全技术要求第1部分 总体技术要求》（Q/CR 783.1-2021）（简称标准 Q/CR 783.1）《铁路网络安全等级保护基本要求 安全通用要求》（Q/CR 772-2020）（简称标准 Q/CR 722）为铁路通信综合网管系统（简称综合网管）的网络安全建设提供了标准和指导规范。本文将结合以上两个标准要求，着重研究如何建设综合网管的网络安全。

1 概述

铁路通信网涵盖承载网、业务网、支撑网3个部分。综合网管作为支撑网的一个关键系统，对保障承载网、业务网和支撑网的正常运行、监控网络运行和服务质量发挥着重要作用。随着铁路通信网络和设备的数量增多、分布更加广泛，铁路通信网络内部有许多相互独立的大型异构系统，存在着传输系统、数据通信系统、调度通信系统、移动通信系统、电源及机房环境监控系统、综合视频监控等多个专业网管子系统。综合网管依据《铁路通信综合网络管理系统技术条件》（Q/CR 852-2021）（简称标准 Q/CR 852）完成各专业系统的资源、性能和告警数据采集，实现了运维统一门户、运维数据资源共享、业务状态感知、设备和工作质量评价、告警故障工单 workflow 卡控和辅助决策等功能。通过规范中系统架构的描述，不难发现综合网管具有各专业网管系统的最顶层设计和高度模块集成化的特点，这也决定了综合网管的网络安全建设具有超融合模式的特性，也决定了在做安全设计时，要采用集中式的防护，而不是分散式的防护方式。

2 现状及不足

综合网管及各个专业网管系统在早期建设过程中，在安全技术层面仅要求在网络边界安装防火墙进行安全防护。在标准 Q/CR 852 发布后，根据新标准一方面加强了对区域边界中防火墙层面的安全项要求，同时新增了安全计算环境、安全通信网络、安全管理中心和安全物理环境等安全类要求，形成了以安全管理中心为核心，以安全通信网络、安全区域边界和安全计算环境为框架的铁路网络安全技术防护体系。

结合综合网管的特点和新标准规范的实施情况，目前综合网管主要存在以下几个方面的安全风险。

1) 安全控制点验证对象的归属问题

身份鉴别、访问控制防护、安全传输、数据完整性等功能到底是在综合网管系统自身实现，还是由安全产品实现，或由网络产品实现，或是需要综合网管系统自身、安全产品和网络产品都要实现。安全审计、入侵防范、数据备份与恢复都存在以上问题。只有以上安全控制点的验证对象能够正确的进行实现归属，才能在综合网管的网络安全建设、等级测评上有的放矢。

2) 系统本身风险

弱口令风险：一条线路或多个线路设置同一个口令的现象普遍存在；账号乱用风险：多个不同用户使用同一个账号的现象普遍存在；角色混用风险：未进行管理员、安全员、审计员的角色划分，不同角色人员使用同一个账号登录；鉴别信息被窃听风险：鉴别信息未采用安全技术进行加密处理；未采用最小权限策略风险：一个角色统管管理、操作、安全和审计业务；漏洞风险：操作系统、应用软件、中间件未进行最新升级或实时补丁升级，存在很多安全漏洞。

3) 专业网管系统风险

数据完整性风险，直接采用 http 非安全协议访问；如弱口令风险，口令非复杂化、未定期进行口令更改。

4) 安全管理中心风险

未能实现安全产品防护功能的统一管控风险,存在系统查杀、漏洞扫描、补丁更新、病毒库不能更新或未能进行统一操控的现象。

3 安全建设内容探讨

通过对标准 Q/CR 722 和标准 Q/CR 783.1 的研读,结合标准 Q/CR 852 的系统架构要求,综合网管的网络安全建设包括两大方面:一个是安全计算环境、安全通信网络层面的安全防护功能。另一个是通过防火墙、入侵检测、日志审计、病毒预防与查杀等安全产品实现的安全防护功能。安全计算环境防护建设是通过综合网管自身实现即可,还是需借助安全产品和网络产品组合实现;安全通信网络防护建设是通过网络产品自身实现即可,还是需借助安全产品组合实现;安全区域边界防护建设是通过防火墙自身实现即可,还是需借助网络产品和其他安全产品组合实现;安全管理中心防护建设是通过安全产品自身实现即可,还是需借助综合网管、网络产品和其他安全产品组合实现的,能正确区分这些防护功能的归属才是综合网管系统网络安全建设的关键。

3.1 综合网管网络安全架构

结合标准 Q/CR 772 和标准 Q/CR 852,综合网管的网络安全架构如图 1 所示。

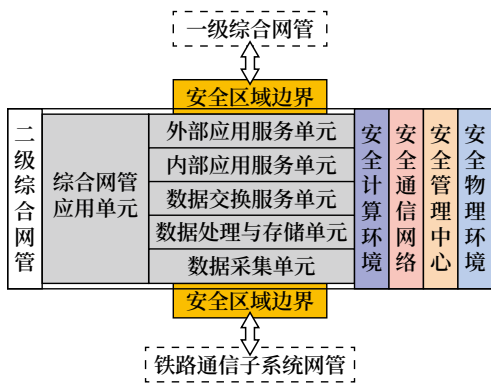


图1 综合网管网络安全域划分示意

Fig.1 Schematic division diagram of cyber-security zones of integrated network management system

结合综合网管系统构成及安全产品防护的目标,

将综合网管系统网络安全域划分为内部安全计算环境、安全通信网络、安全管理中心、安全物理环境和外部安全区域边界。内部安全区域中的安全计算环境主要对整个系统内部的设备级、操作系统级、应用软件级进行安全防护,通过安全设备、网络设备、网管应用软件、中间件等进行实现;安全通信网络主要对系统内网络架构及安全通信进行安全防护,通过网络设备(如交换机)进行实现;安全管理中心主要对系统的整体安全设备及策略进行安全防护,通过安全设备(堡垒机、杀毒软件等)和网管应用软件结合实现;安全物理环境不在本文进行阐述。外部安全区域边界主要实现系统内外间通信的安全隔离及安全策略防护,主要通过安全设备(如防火墙)实现。

3.2 安全计算环境防护

在整个综合网管的网络安全架构中,安全计算环境并不只是针对综合网管应用单元,而是对应整个综合网管系统中所有具备计算、身份鉴别和控制的设备和应用,是通过整个综合网管系统整体来实现的,只是在安全控制项上各有侧重或要求的符合程度不同。

在安全计算环境中有些安全控制点是通用的,需安全产品、网络产品、综合网管进行实现。这些通用控制点包括身份鉴别、访问控制、入侵防范、数据完整性、数据备份恢复和安全审计保护。如身份鉴别中的用户身份登录是任何一个系统或单元安全的必备条件,访问控制中用户角色权限的配置管理是身份鉴别的前提条件;入侵防范中的最小安装、关闭非必要服务和端口等也要求所有的设备或应用必须遵循方能起到防护作用;数据完整性要求需要各个系统采用安全传输及数据加密(如采用 https、ftps 访问,SSH 远程控制)技术来实现;数据备份恢复是防止数据丢失、应对灾难恢复、系统可靠性的基本要求,需要支持重要数据的本地和异地备份,并支持数据恢复功能;安全审计则要求各个系统具有用户级及系统级日志的记录功能,为安全管理中

心提供数据基础。

恶意代码防范功能，则需要综合网管系统配备入侵、防病毒、杀毒软件等实现；对于个人信息保护方面，则根据系统是否具有个人信息收集、存储、分发功能来判断是否实现。

在现实实践中，访问控制点中的最小权限原则是用户使用过程中最常见和普遍存在的安全问题之一。按照标准 Q/CR 722 的要求，需要对权限进行管理员、操作员、审计员和安全员管理划分，而在现实中为了简单操作，不进行最小权限划分，如果一旦忘记或修改管理员密码，则需要修改系统数据库方可恢复。一旦对系统基础数据进行误操作，则会导致一系列访问控制问题。所以，建议在日常使用中要遵循最小化权限原则，不同角色的人员使用不同的身份登录系统。

3.3 安全通信网络

在综合网管的网络安全架构中安全通信网络是整个系统的网络架构基础，主要通过路由器、交换机、无线接入设备等提供网络通信功能的设备或相关组件实现。同时要求这些设备支持校验技术或密码技术进行传输，如采用 SSL 证书、数据 MD5 加密等。

在安全通信网络中的安全控制点网络架构主要通过交换机来实现管理层面、业务层面、维护层面的 VLAN 划分，也可以根据需要采用 VPN 进行远程访问，同时在设计之初，要考虑到端口、设备性能的冗余。安全控制点通信传输主要通过交换机实现采用 SSL、MD5 技术进行实现。

3.4 安全区域边界

在综合网管的网络安全架构中安全区域边界主要完成与各个专业网管子系统、上级综合网管及其他第三方系统的隔离防护，通过防火墙、入侵检测、病毒防控等安全设备实现。

在安全区域边界中的安全控制点边界防护主要通过部署防火墙隔离设备，实现跨越边界受控访问、控制粒度为端口级、状态检测功能；访问控制安全控制点主要通过配置防火墙的 ACL 安全策略控制

(允许、拒绝、监视、记录) 进出网络的访问行为、基于五元组的访问控制(进行端口的策略配置)、ACL 无冗余且最小功能；入侵防范安全控制点主要通过入侵设备或单元来实现监视网络攻击行为、违规连接非授权功能；恶意代码防范主要通过病毒防控设备或单元实现防病毒、杀毒功能。

3.5 安全管理中心

在综合网管的网络安全架构中安全管理中心主要通过安全设备和综合网管应用单元组合来实现，完成安全设备的统一管控、统一查杀、病毒库更新、日志审计等集中管理功能。目前安全设备只能做到同一厂家平台下的安全设备的统一管控和集中管理。但考虑到用户在使用过程中对综合网管安全防护的需求，这项功能需要在安全平台上来实现。也就是说无论是哪个厂家第一个完成安全平台建设，都应该在平台上能够集中展示本厂家安全设备以及后续扩容新增厂家的安全设备的相关内容。同时综合网管应用单元实现应用部分基础配置、重要数据的备份和恢复、日志审计等功能。

4 安全建设模型探讨

综合上述研究和分析，综合网管的网络安全建设模型如图 2 所示。

通过在网络边界与核心交换机互联处设置防火墙，对外部接入各专业网管系统、网管终端及一级综合网管来进行逻辑隔离。防火墙可配置 IDS、IPS、反病毒等模块功能，实现入侵监测防护、防病毒、安全策略和业务行为监视及告警功能。

通过与核心交换机互联处设置日志审计、堡垒机、防杀病毒、漏洞扫描设备或模块，对网络设备、边界防火墙、综合网管应用单元、网管终端进行安全审计、远程安全登录、防毒及杀毒和漏洞扫描。日志审计对重要的用户行为和重要安全事件进行审计；堡垒机设备或单元实现对远程登录用户的统一管控；杀毒设备或单元实现病毒预防、防御、检测、响应一体化的威胁防御能力，有效预防、抵御各类流行病毒以及勒索软件对终端的入侵，洞察威胁本

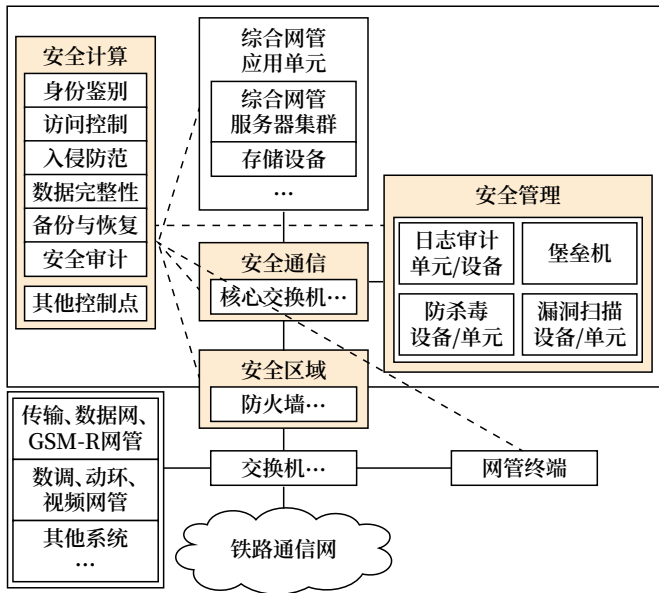


图2 综合网管安全建设模型示意
Fig.2 Schematic construction model diagram for cyber-security of integrated network management system

质，帮助客户快速检测和响应安全问题，全面提升终端安全防护能力；漏洞扫描设备进行主机或系统漏洞扫描、Web 漏洞扫描和弱密码扫描等。

通过对网络设备、安全设备、综合网管应用单元的身份鉴别、访问控制、入侵防范、数据完整性、备份与恢复和安全审计通用功能的自身实现，来保证以上设备或单元的安全计算中主要的控制点要求。对于其他安全控制点则需要根据不同的应用需要在不同的单元实现。

以上建设模型是基于标准 Q/CR 783.1、标准 Q/CR 722、标准 Q/CR 852 中的相关要求设计的。图 2 中安全设备或单元代表设备种类，各类设备设置的具体数量根据工程情况进行配置。图 2 中未配置的安全设备，根据业主要求和工程需求也可补充设置，对综合网管系统的安全进一步进行完善和补充。

5 结束语

由于综合网管是一个高度集成的统一业务管理系统，所以在安全建设时，要充分认识到安全产品的定位点，不能按照采取完全隔离式的安全区域划分来进行安全设备的设置，要从整体性和系统性上

来进行安全产品的设置：一方面要考虑到通用安全控制点的建设要求。另一方面也要考虑到安全产品的固有特性和优势的应用建设要求。

希望本文中对综合网管的网络安全研究分析及建设模型的建议，可对后续的工程建设起到借鉴作用。使综合网管在更加安全的环境中应用，在保障铁路通信安全及服务质量方面发挥更加稳定的作用。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 铁路网络安全等级保护基本要求安全通用要求: Q/CR 772-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
- [2] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信网络安全技术要求第 1 部分: 总体技术要求: Q/CR 783.1-2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [3] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求: GB/T 22239-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [4] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信综合网络管理系统技术条件: Q/CR 852-2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [5] 张卫军, 郭桂芳, 刘清涛. 铁路通信网网络安全体系架构研究[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(9): 37-42.
Zhang Weijun, Guo Guifang, Liu Qingtao. Research of Safety Architecture of Railway Communication Network[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(9): 37-42.
- [6] 李继元. 铁路通信网络安全防护研究[J]. 中国铁路, 2022(6): 94-98.
Li Jiyuan. Research on Protection of Railway Communication Network Security[J]. China Railway, 2022(6): 94-98.
- [7] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信综合网络管理系统技术条件: Q/CR 852-2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.

(下转 88页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.009

铁路施工防护系统中 多重冗余预警技术的研究

唐文国

(中国铁路兰州局集团有限公司, 兰州 730030)

摘要: 铁路施工作业过程中列车定位的手段单一, 缺少信息的互联互通多方联控, 人身安全防护的保障效果差。针对以上问题, 铁路施工防护系统基于北斗高精度定位, 利用 4G 通信、二次雷达通信等技术, 进行列车位置跟踪、列车接近预警。对于列车接近预警的方式, 系统采用基于二次雷达推算预警和基于北斗定位推算预警的多重冗余预警技术, 该技术可保证由于隧道等原因造成只有一种预警机制起作用时, 仍可检测出列车接近施工区从而产生预警信息, 保证系统功能的可靠性。

关键词: 铁路施工防护系统; 多重冗余预警技术; 基于二次雷达推算预警; 基于北斗定位推算预警

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0047-07

Research on Multiple-redundancy Early Warning Technology in Railway Construction Protection System

Tang Wenguo

(China Railway Lanzhou Group Co., Ltd., Lanzhou 730030, China)

Abstract: In the railway construction process, there are such problems as limited means of train positioning, lack of information exchange and multi-party joint control, and poor effect of personal safety protection. To solve these problems, this paper proposes a railway construction protection system, which builds on high-precision positioning using the Beidou system, and utilizes such technologies as 4G communication and secondary radar communication, to achieve train location tracking and train approach early warning. In terms of train approach early warning, the proposed system utilizes the multiple-redundancy early warning technology, which combines secondary radar projection with Beidou system projection for early warning. The multiple-redundancy early warning technology enables the detection of train approach in the construction area and the subsequent generation of early warning information even when only one early warning mechanism is effective due

收稿日期: 2023-12-06; 修回日期: 2024-03-10

作者简介: 唐文国 (1969—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路工程管理、铁路施工安全等, 邮箱: 727849732@qq.com。

to such reason as the presence of tunnels, which ensures the reliability of system functions.

Keywords: railway construction protection system; multiple-redundancy early warning technology; early warning based on secondary radar projection; early warning based Beidou system projection

目前铁路施工作业过程中，人身安全防护相关的工作角色包括司机乘务员、驻站联络员、现场防护员和现场作业员等。当有机车接近时，驻站联络员通过对讲机和现场防护员进行语音通讯来实现安全防护信息传递，对列车定位的手段比较单一，缺少信息的互联互通多方联控，对人身安全防护的保障效果较差。为有效遏制机车车辆撞轧事件发生，确保线上施工、运维人员人身安全，铁路施工防护系统利用公网和二次雷达通信技术，综合北斗定位等技术，进行一体化的施工流程管理、机车接近预警和人员超范围施工报警。实现车站、机车和施工现场的信息互联互通，是司机、驻站联络员、现场防护员和现场作业员的协同安全管理模式，全面提升施工区作业人员的安全水平。

对于列车与施工区接近防护，铁路施工防护系统采用多重冗余预警技术，即基于二次雷达推算预警和基于北斗定位推算预警。多重冗余预警技术可应对桥隧、雨雪等多种地理、气候环境，可以保证列车接近检测的可靠性，保障施工区作业人员安全。

1 铁路施工防护系统

铁路施工防护系统由列车接近报警子系统（预

警子系统）、铁路施工区子系统（施工区子系统）、施工作业管理子系统（管理子系统）组成，如图 1 所示。列车接近报警子系统包括车载设备与地面装置，该系统通过二次雷达测距技术实现列车接近预警。铁路施工区子系统包括防护预警终端和作业预警终端。防护预警终端装备于现场防护员，能够展示站场图、施工区位置信息以及施工区相关报警信息，为现场防护员提供安全防护管理功能。作业预警终端装备于现场施工作业员，向现场施工人员提示报警。施工作业管理子系统实现管辖范围内的施工作业标准化、智能化卡控，实现对施工区信息初始化、人员上道、人员避车、人员恢复上道作业和结束施工的标准化，可对列车位置以及施工区位置进行监控。施工作业管理子系统可分层级部署相应终端，在监控中心操作终端可监督系统管辖范围内各条线路的施工情况，施工线路监控站操作终端可监督本站管辖范围内的施工区情况。

2 列车接近预警方式

对于列车与施工区接近防护，铁路施工防护系统采用多重冗余预警技术，即基于二次雷达推算预警和基于北斗定位推算预警。

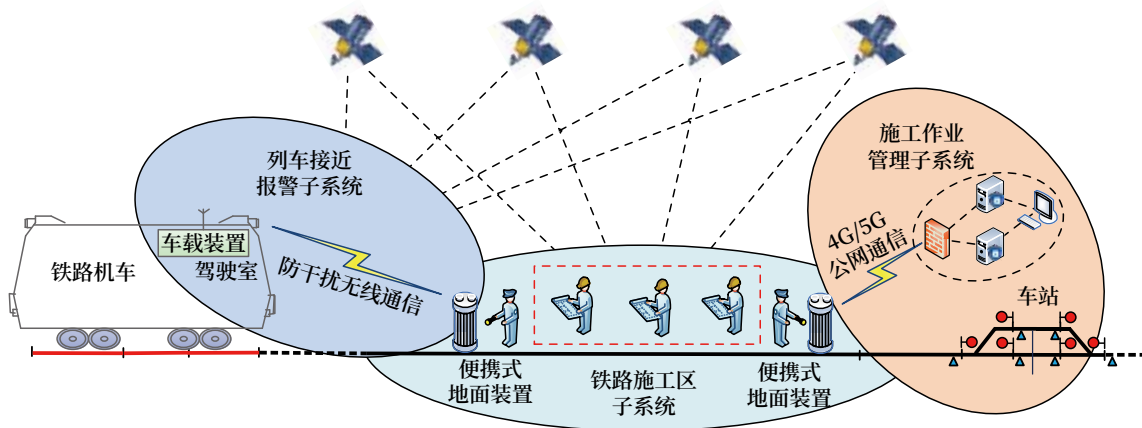


图1 系统架构
Fig.1 System architecture

基于二次雷达推算预警：车载装置实时从 ATP 获取车次号、公里标和运行方向信息，将此信息及二次雷达的距离测算信息发送至地面装置。地面装置结合自身配置的公里标、防护方向信息，判断列车与施工区距离，向管理子系统预警。地面装置将自身公里标、防护方向发送至车载装置，车载装置结合自身从 ATP 获取的车次号、公里标和运行方向等信息判断与施工区距离，向管理子系统发送基于二次雷达测算的预警。

基于北斗定位推算预警：车载装置实时向管理子系统报告北斗定位信息，地面装置实时向管理子系统报告北斗定位信息，管理子系统将两者定位信息转发至相应施工区防护预警终端。由防护预警终端测算列车位置与施工区距离，向管理子系统发送基于北斗定位测算的预警，管理子系统再将预警信息转发至车载装置和地面装置。

预警机制根据车载装置和地面装置之间的距离进行预警的判定。在地面装置初始化时可设置车载装置和地面装置之间的预警距离，同时设置地面装置在本端或者对端。例如设置一级预警距离为 1 500 m，二级预警距离为 2 000 m，三级预警距离为 3 000 m，地面装置在本端。车载装置从本端逐渐接近地面装置，当车载装置和地面装置之间的距离 $\leq 3\ 000\text{ m}$ 且 $> 2\ 000\text{ m}$ 时，预警机制可判断为三级预警；当车载装置和地面装置之间的距离 $\leq 2\ 000\text{ m}$ 且 $> 1\ 500\text{ m}$ 时，预警机制可判断为二级预警；当车载装置和地面装置之间的距离 $\leq 1\ 500\text{ m}$ 时，预警机制可判断为一级预警，直至列车通过施工区接近侧，预警机制可判断为无预警。

2.1 基于二次雷达推算预警

二次雷达技术采用问答形式获取信息，询问机

发射询问信号，应答机接收到询问信号后反馈应答信号，询问机接收到应答信号后根据发射询问信号和接收应答信号的时间间隔计算前后间距。二次雷达在军事、航空航天、交通运输等领域有着广泛的应用前景，二次雷达技术具备传递信息的功能，可将二次雷达技术用于列车接近预警判定。二次雷达测距由车载装置和地面装置完成。车载装置和地面装置均包含雷达通信模块，雷达通信模块集成在车载装置中的发射机和地面装置中的接收机。车载装置安装在机车驾驶室，地面装置分别置于施工防护区两端，在不依赖任何固定基础设施的情况下建立列车接近预警屏障。车载装置与地面装置通过二次雷达可传递公里标等信息，进而对列车接近施工区进行预警。

如图 2 所示，存在两个施工区，每个施工区存在两个地面装置。地面装置 2 本端公里标为 K11+700，对端公里标为 K11+300，地面装置 3 本端公里标为 K12+600，对端公里标为 K13+000。车载装置 1 从公里标 K12+300 处逐渐接近地面装置 3，逐渐远离地面装置 2，车载装置 2 从公里标 K12+000 处逐渐接近地面装置 2，逐渐远离地面装置 3。车载装置 1 对于逐渐接近的地面装置 3 进行接近预警判定，对于逐渐远离的地面装置 2 不进行接近预警判定。地面装置 2 对于逐渐接近的车载装置 2 进行接近预警判定，对于逐渐远离的车载装置 1 不进行接近预警判定。

如图 3 所示，车载装置 1 从公里标 K10+300 处逐渐接近施工区 1 和施工区 2，车载装置 2 从公里标 K14+000 处逐渐接近施工区 2，车载装置通过广播可与 4 个地面装置通信。车载装置 1 根据各个地面装置公里标识别出施工区 1 距离自身最近的地

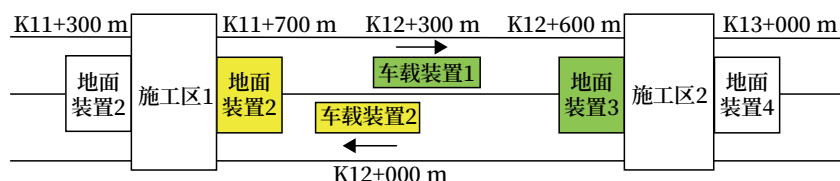


图2 基于公里标-车载装置接近或远离地面装置

Fig.2 Onboard equipment approaches or moves away from wayside equipment based on kilometer post

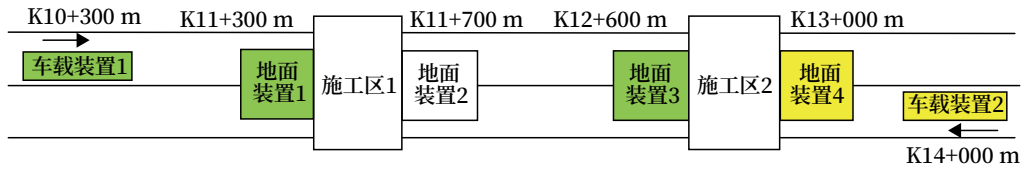


图3 基于公里标-车载装置(地面装置)识别最近地面装置(接近侧车载装置)
Fig.3 Onboard equipment/wayside equipment identifies the nearest wayside equipment/
onboard equipment in approach side based on kilometer post

面装置 1、施工区 2 距离自身最近的地面装置 3 进行接近预警判定。地面装置 4 对于从本端接近的车载装置 2 进行接近预警判定。

2.2 基于北斗定位推算预警

北斗差分定位是一种高精度定位技术，通过差分处理可将定位精度提升到亚米级甚至更高。北斗差分定位具有高精度、实时性和可靠性的特点，广泛应用于航海、航空、地震监测和工程测量等领域。

车载装置和地面装置实时向管理子系统报告北斗定位信息。管理子系统将车载装置的北斗定位信息和地面装置的北斗定位信息转发至相应施工区的防护预警终端，由防护预警终端测算列车位置与施工区距离。然后防护预警终端向管理子系统发送基于北斗定位推算的预警信息，管理子系统再将预警信息转发至车载装置和地面装置。数据流转发如图 4 所示。

如图 5 所示，施工区 1 所在的经纬度约为 112.34、39.92，施工区 2 所在的经纬度约为 113.54、38.72，车载装置 1 和车载装置 2 按图 5 所示方向前进。防护预警终端 1 根据车载装置和地

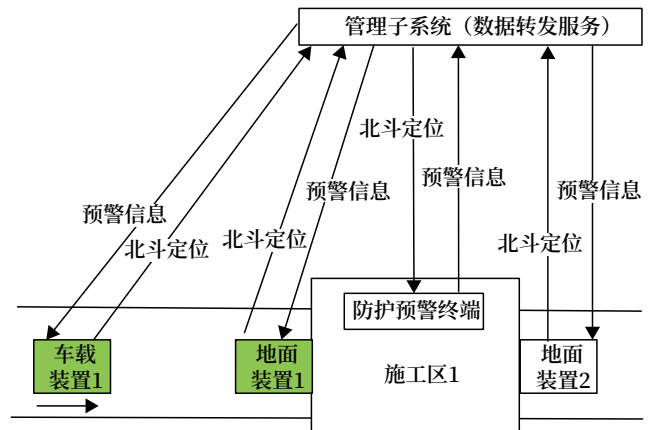


图4 基于北斗定位-数据流转发过程
Fig.4 Data flow and transmission process based on
Beidou system positioning

面装置的北斗定位信息判断出车载装置 1 逐渐远离地面装置 2，车载装置 2 逐渐接近地面装置 2。同理，防护预警终端 2 根据车载装置和地面装置的北斗定位信息判断出车载装置 1 逐渐接近地面装置 3，车载装置 2 逐渐远离地面装置 3。所以，车载装置 1 对于逐渐接近的地面装置 3 进行接近预警判定，对于逐渐远离的地面装置 2 不进行接近预警判定。地面装置 2 对于逐渐接近的车载装置 2 进行接近预

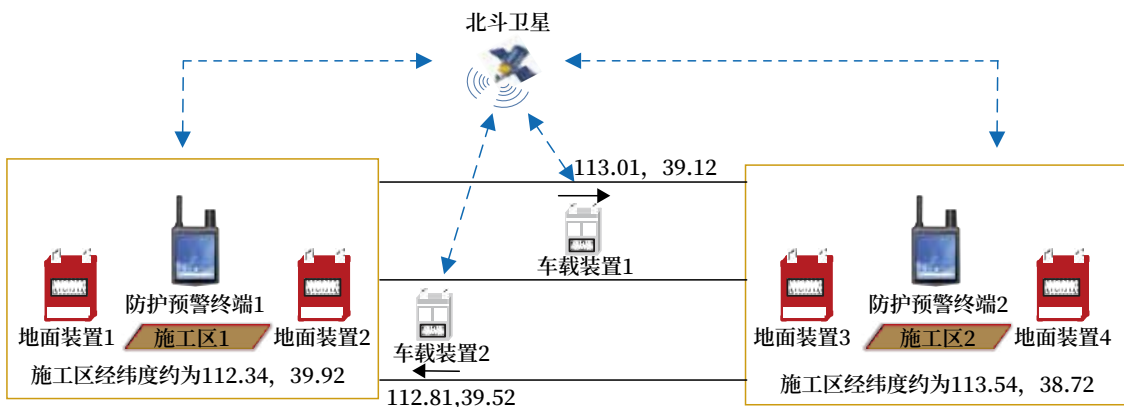


图5 基于北斗定位-车载装置接近或远离地面装置
Fig.5 Onboard equipment approaches or moves away from wayside equipment based on Beidou system positioning

警判定,对于逐渐远离的车载装置1不进行接近预警判定。

如图6所示,车载装置1和车载装置2按如图方向前进,防护预警终端1根据车载装置和地面装置的北斗定位信息判断出施工区1距离车载装置1最近的地面装置为地面装置1,防护预警终端2根据车载装置和地面装置的北斗定位信息判断出施工

区2距离车载装置1最近的地面装置为地面装置3以及车载装置2从本端接近地面装置4。所以,车载装置1对于施工区1距离自身最近的地面装置1、施工区2距离自身最近的地面装置3进行接近预警判定,地面装置4对于从本端接近的车载装置2进行接近预警判定。

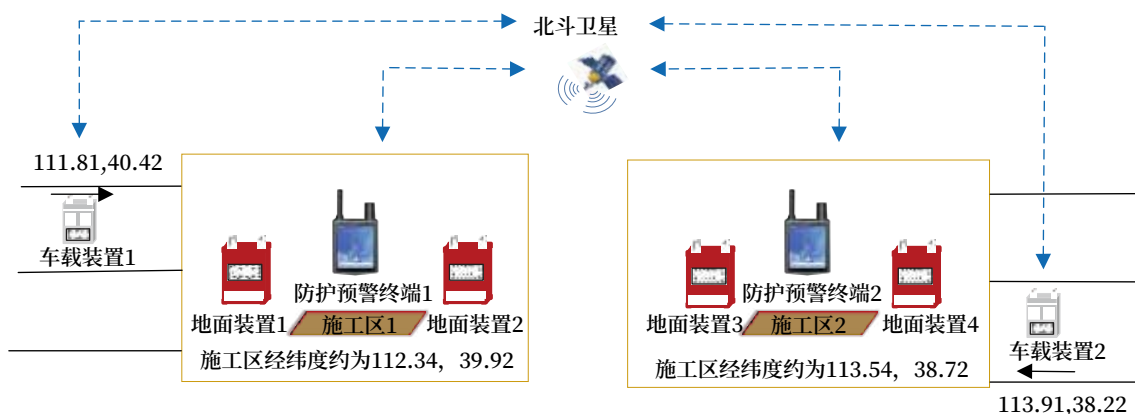


图6 基于北斗定位-车载装置(地面装置)识别最近地面装置(接近侧车载装置)

Fig.6 Onboard equipment/wayside equipment identifies the nearest onboard equipment/wayside equipment in the approach side based on Beidou system positioning

2.3 多重冗余预警融合

对于列车与施工区接近防护,系统采用基于二次雷达和基于北斗定位推算预警的多重冗余计算方案,可靠保证列车接近检测。系统将基于二次雷达测算的距离和基于北斗定位测算的距离进行比较,选取最小值作为列车距施工区距离。

由于桥隧、雨雪等多种地理、气候环境,基于二次雷达推算预警机制或者基于北斗定位推算预警机制可能会失效,即只有一种预警机制起作用时,管理子系统中的数据转发服务可将任一预警机制触发的预警信息转发至车载装置、地面装置和防护预警终端,车载装置、地面装置和防护预警终端均可正常预警。除此之外,在车载装置逐渐接近地面装置的过程中,如果基于二次雷达测算的车载装置和地面装置之间的距离大于三级预警距离,即无预警信息,而车载装置和地面装置接收到管理子系统转发的基于北斗定位的三级预警信息,则车载装置和地面装置显示三级预警信息。多重冗余预警机制保

障了施工区作业人员的安全,保证了系统功能的可靠性。

如图7所示,车载装置1接近施工区1,施工区1存在地面装置1,系统对车载装置1和地面装置1进行接近预警判定。系统采用多重冗余预警机制时,将基于二次雷达测算的距离和基于北斗定位测算的距离进行比较,选取最小值作为列车距施工区距离。例如在车载装置逐渐接近地面装置的过程中,基于二次雷达测算的距离为2100m,基于北斗定位测算的距离为1900m,则车载装置和地面装置之间的距离取二者的最小值,车载装置和地面装置之间的距离为1900m,预警等级为二级预警。

在车载装置逐渐接近地面装置的过程中,预警等级只能升级,不能降级,即上一时刻判定出二级预警后,下一时刻不可判定为三级预警,上一时刻判定出一级预警后,下一时刻不可判定为二级预警或三级预警。基于二次雷达测算的距离和基于北斗定位测算的距离可能存在误差,如图8所示,在车

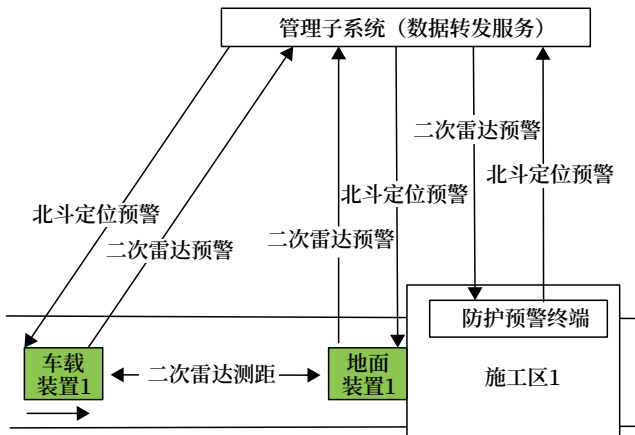


图7 基于二次雷达和基于北斗定位测距
Fig.7 Distance measurement based on secondary radar positioning and Beidou system positioning

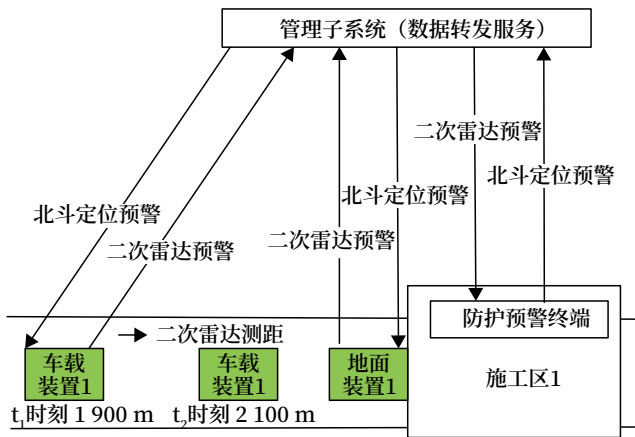


图8 基于二次雷达和基于北斗定位测距时序
Fig.8 Sequence of distance measurement based on secondary radar positioning and Beidou system positioning

载装置1逐渐接近地面装置1的过程中， t_1 时刻基于二次雷达测算的距离和基于北斗定位测算的距离最小值为1900m，预警等级为二级预警。 t_2 时刻基于二次雷达测算的距离和基于北斗定位测算的距离最小值为2100m，此时预警等级不可判定为三级预警，仍维持二级预警。

3 试验与应用

对于列车与施工区接近防护，铁路施工防护系统采用多重冗余计算方案，即基于二次雷达推算预警和基于北斗定位推算预警，可靠保证列车接近检测，可应对桥隧、雨雪等多种地理、气候环境，提高了铁路施工作业的规范性和信息化程度，保障了施工区作

业人员安全。该系统在某铁路局进行现场试验，现场试验包括试验设备安装、人工走行施划电子围栏、人员越界侵限报警、基于北斗定位的列车接近预警功能及其准确性和基于二次雷达的列车接近预警功能及其准确性等，试验结果正确且符合预期。系统成功在某铁路局应用部署，应用情况良好。

由于铁路施工防护系统采用多重冗余预警机制，该系统可在直线线路、曲线线路和桥隧等地理环境下应用。当列车运行轨迹为直线线路或者曲线线路时，基于二次雷达推算预警机制和基于北斗定位推算预警机制均起作用，系统选取二者最小值作为列车距施工区距离。当列车运行在桥隧时，由于桥隧中北斗定位不准或者失效，系统可采用基于二次雷达的推算预警机制计算列车距施工区距离，保障施工区作业人员安全。

4 总结

本文详细介绍了基于二次雷达推算预警和基于北斗定位推算预警的多重冗余预警技术。多重冗余预警技术可以有效保证列车接近施工区检测，及时生成预警信息，从而保证施工区作业人员的安全。

该技术虽然取得了一定成果，但还有一些不足之处：在隧道内无法获取列车及作业区人员的北斗定位信息，需要依靠既有手段人工防护。除此之外，基于二次雷达测算的距离和基于北斗定位测算的距离存在误差，需要在以后的研究工作中提高测距精准度。

参考文献

- [1] 王剑, 苏昱, 蔡伯根, 等. 高速列车追踪接近预警系统[J]. 铁道学报, 2014, 36(12): 56-61.
Wang Jian, Su Yu, Cai Baigen, et al. Collision Avoidance System for High-Speed Railway in China[J]. Journal of the China Railway Society, 2014, 36(12): 56-61.
- [2] 刘敏. 基于ATP列车辅助追踪预警系统研究[J]. 科技风, 2017(11): 69.

- Liu Min. Research on ATP-Based Train Auxiliary Tracking and Early Warning System[J]. Technology Wind, 2017(11): 69.
- [3] 高岸梅. 提高二次雷达系统识别概率和作用范围的设想 [J]. 信息技术与信息化, 2014 (4): 186-187.
- Gao Anmei. Assumption of Improving the Identification Probability and Action Range of Secondary Radar System[J]. Information Technology and Informatization, 2014(4): 186-187.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 轨道交通机车车辆电子装置: GB/T 25119-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通技术规范: GB 50490-2009[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [6] 李家春, 宋宗昌, 侯少梁, 等. 北斗高精度定位技术在边坡变形监测中的应用 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31 (1): 70-74, 78.
- Li Jiachun, Song Zongchang, Hou Shaoliang, et al. Application of Beidou High-Precision Positioning Technology in Slope Deformation Monitoring[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(1): 70-74, 78.
- [7] 江明, 张万强, 张嘉扬. 列车追踪间隔时间的分解及影响分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (7): 1-9.
- Jiang Ming, Zhang Wanqiang, Zhang Jiayang. Decomposition of Train Tracking Interval and Its Impact Analysis[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7):1-9.
- [8] 范楷, 张淼, 滕达, 等. 基于北斗卫星的列车完整性检查技术方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 23-27.
- Fan Kai, Zhang Miao, Teng Da, et al. Research on Technical Scheme of Train Integrity Inspection Based on Beidou Satellite[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 23-27.
- [9] 李莹莹, 张浩. 基于电子地图和卫星定位的列控技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (12): 23-27.
- Li Yingying, Zhang Hao. Research on Train Control Technology Based on Electronic Map and Satellite Positioning[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 23-27.
- [10] 于天泽. 北斗卫星导航定位技术在我国铁路应用探讨 [J]. 中国铁路, 2013 (4): 4-7.
- Yu Tianze. Discussion on the Application of Beidou Satellite Navigation and Positioning Technology in China's Railways[J]. Chinese Railways, 2013(4): 4-7.
- [11] 刘基余. 北斗卫星导航系统的现况与发展 [J]. 遥测遥控, 2013, 34 (3): 1-8.
- Liu Jiyu. Status and Development of the Beidou Navigation Satellite System[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2013, 34(3): 1-8.
- [12] 罗清明. 基于北斗/UWB的高精度室内外定位系统及其定位方法 [J]. 电子世界, 2019 (7): 184-185.
- Luo Qingming. High-Precision Indoor and Outdoor Positioning System Based on Beidou/UWB and Positioning Method Thereof[J]. Electronics World, 2019(7): 184-185.
- [13] 王健伟, 王磊. 北斗卫星定位技术在边坡位移监测中的应用 [J]. 铁道建筑, 2020, 60 (1): 85-88.
- Wang Jianwei, Wang Lei. Application of Beidou Satellite Positioning Technology in Slope Displacement Monitoring[J]. Railway Engineering, 2020, 60(1): 85-88.

工程设计企业信息化指挥中心研究与设计

李 瑞

(中铁大桥勘测设计院集团有限公司武汉分公司, 武汉 430064)

摘要: 采用企业微服务云架构的思路, 构建基于“大数据、云计算、微应用、移动互联”的指挥中心系统, 以微服务和云计算为基础, 按照中台化建设思路构建业务中台、数据中台、技术中台和前台各板块应用。实现企业经营、生产、管理统筹调配企业人、财、物, 实现集约化管理和精细化管理的和谐统一。让数据资产最大化的挖掘, 用数据分析问题, 用数据辅助决策、预知风险, 以数据为依据, 最大程度的发挥企业优势, 引领企业创新发展和管理。

关键词: 信息化指挥中心; 数据资产; 集约化管理; 精细化管理

中图分类号: U285.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0054-05

Research and Design of Information Command Center in Engineering Design Enterprises

Li Rui

(Wuhan Branch, China Railway Major Bridge Reconnaissance & Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430064, China)

Abstract: This paper utilizes the idea of cloud-based microservice architecture for enterprises to build a command center system based on "big data, cloud computing, micro-applications and mobile Internet". It also utilizes the idea of middle-office construction to build a business middle office, a data middle office and a technology middle office, as well as various front-end applications based on microservice and cloud computing. Thus, the enterprises' employees, properties and materials are allocated coordinately during their operation, production and management, and intensive management and refined management are combined harmoniously. The data assets are mined to the maximum, and the data is taken as the basis to analysis problems, support decision-making and predict risks. Thus, the data-based approach is taken to maximize the enterprises' advantages and guide their innovation-driven development and management.

Keywords: information command center; data assets; intensive management; refined management

1 概述

在大数据时代, 如何利用数据帮助企业做好经

营、生产和管理, 统筹调配企业“人”“财”“物”, 用数据分析业务问题、辅助管理决策、预知经营风险, 成为企业目前信息化工作的重中之重。

传统的工程设计企业, 在运营和生产管理活动中产生了大量的数据。通过梳理和分析, 主要存在

收稿日期: 2022-08-29; 修回日期: 2024-01-31

作者简介: 李瑞(1981—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信及信息工程设计, 邮箱: 35029146@qq.com。

以下问题。

1) 已完成的各项明细统计报表可利用性不足,能用于管理层决策的数据有限,无法直观展示业务情况给各层级人员查看。

2) 数据统计分析计划采用从总体到局部的信息呈现方式,但是实施路径缺乏整体的规划,数据指标不完善、缺乏统一的设计。

3) 不同业务部门统计数据口径不一致,跨部门数据梳理较为困难,很难抓住重点进行管理评价。

4) 系统中缺乏明晰直观的各类可视化图表,缺少支撑数据管控体系落地的有效工具。

5) 缺乏支持后续数据挖掘和分析的业务模型,如合同回款预警、人员产能分析等,对各层级管理人员不能起到辅助决策的作用。

企业各业务系统经过多年的数据积累,有大量的业务数据沉淀在系统当中,也无形打下数据资产的基础。但若不对其加以利用,数据发挥不出价值,也无法将如此多的数据作为企业的数据资产。所以,应用数据既是业务管理的要求,也是信息化发展的关键。

为落实数据管理与分析应用,实现大数据、移动应用和数据分析等技术与管理运营及业务发展的深度融合,搭建信息化指挥中心系统。利用系统数据决策分析手段引领企业创新管理,避免人为带来的主观性、片面性和局限性,减少因缺少数据支撑而带来的偏差,降低决策风险。以数据为依据,最大程度发挥企业品牌、资金、技术和资源整合优势,提高整体决策效力。

2 研究目的

建立信息化指挥中心,实现集约化管理和精细化管理的和谐统一。进一步规范并优化项目管理流程,实现“有计划可依,有过程可控,有痕迹可循,有整改可鉴,有改进可用”,以达到数据集中、及时研判、快速响应、统一指挥和协同工作的目标。

2.1 信息整合

通过对企业各相关系统运行管理中产生的业务

数据优化整合,建立企业数据库,集中管理企业数据资产。

2.2 报表中心

通过报表平台从不同的主题、视角与维度,进行信息数据的分析与挖掘,统一展现企业运营管理的现实状况和问题。

2.3 价值链管理

通过对业务实时数据整合与提炼,对企业各个业务活动环节进行深层次数据分析与图表展现,及时反应业务活动的状态与活动趋势,并对风险提示预警。

通过建立企业价值链指标体系,能够整体体现业务闭环的运营状况与趋势,支撑企业 KPI 体系的建设与运行,管理业务活动的状况与风险,并对风险提示预警。

通过对企业价值链数据及其 KPI 数据的整合管理,展开更深层次的数据分析与挖掘,进一步分析展现业务活动的价值趋势与隐性的问题以及风险所在,提示风险与解决方案。

2.4 决策支持

搭建领导管理中心,从运营、回款、利润、合同、人事等不同的视角和维度,以简单、直观的分析图形,集中展现 KPI 指标与价值链指标,体现企业整体运营状况、价值趋势和问题情况,为企业领导层提供管理决策支持。

2.5 战略规划

通过战略管理、体系建设与流程优化、IT 综合治理工具,实施企业价值链具体管理规划,管控与优化企业运营,提升核心竞争力。

2.6 综合管控

通过为企业定制的管控系统,对企业的科研生产、项目管理、人力资源、外业勘察、外部资源及财务管理等全部生产经营活动与各环节实施监督、分析及管控,以此形成数据化的综合管控系统。给企业的生产、决策及组织运营提供指导及依据,形成科学化与精细化管理模式,提升企业生产经营效率。

3 设计思路

信息化指挥中心，通过对 MIX（包含 Mobile、Cloud、SaaS 服务）、人工智能（AI）、大数据技术、数据处理技术（DT）等新技术的应用，构建以管理目标、数据应用、业务领域和技术支撑为一体的指挥体系，如图 1 所示。

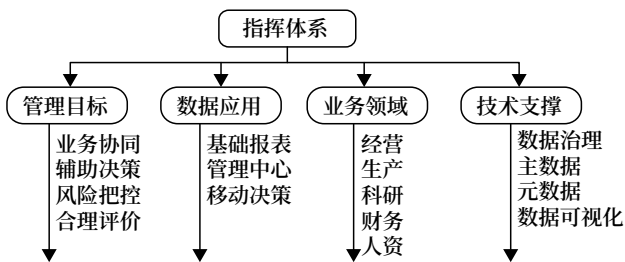


图1 体系结构
Fig.1 System structure

3.1 总体思路

信息化指挥中心通过构建一套综合管理体系，建立的多层级数据应用平台如图 2 所示。通过 AI 算力实现不同业务的分层运算，实现高效智能处理、

智能预警和快速响应。

整体架构分为如下 3 层。

1) 数据源：企业各信息平台中提供数据分析的最原始数据，包括各业务系统数据和手工数据。

2) 数据处理及存储层：将数据源提供的数据，通过数据处理层清洗、转换后，正确的数据抽取到数据存储层中。在数据存储层中建立适用于分析的数据模型，形成数据仓库供给企业的数据分析应用。

3) 数据应用层：对数据进行提炼，形成相应业务主题指标体系，搭建主题集中的管理体系。将数据通过可视化地图或仪表盘的形式进行整合展示给企业决策层，将数据通过各报表形式供给企业业务人员，可快速查询结果。

3.2 应用设计

信息化指挥中心的设计重点是建立企业数据资产以及管控出口。在设计过程中，需要对企业已有数据进行梳理，提炼有价值的指标，为建立企业数据资产做铺垫，帮助管理层进行决策。

1) 形成报表管理系统：规范各级报表系统开发

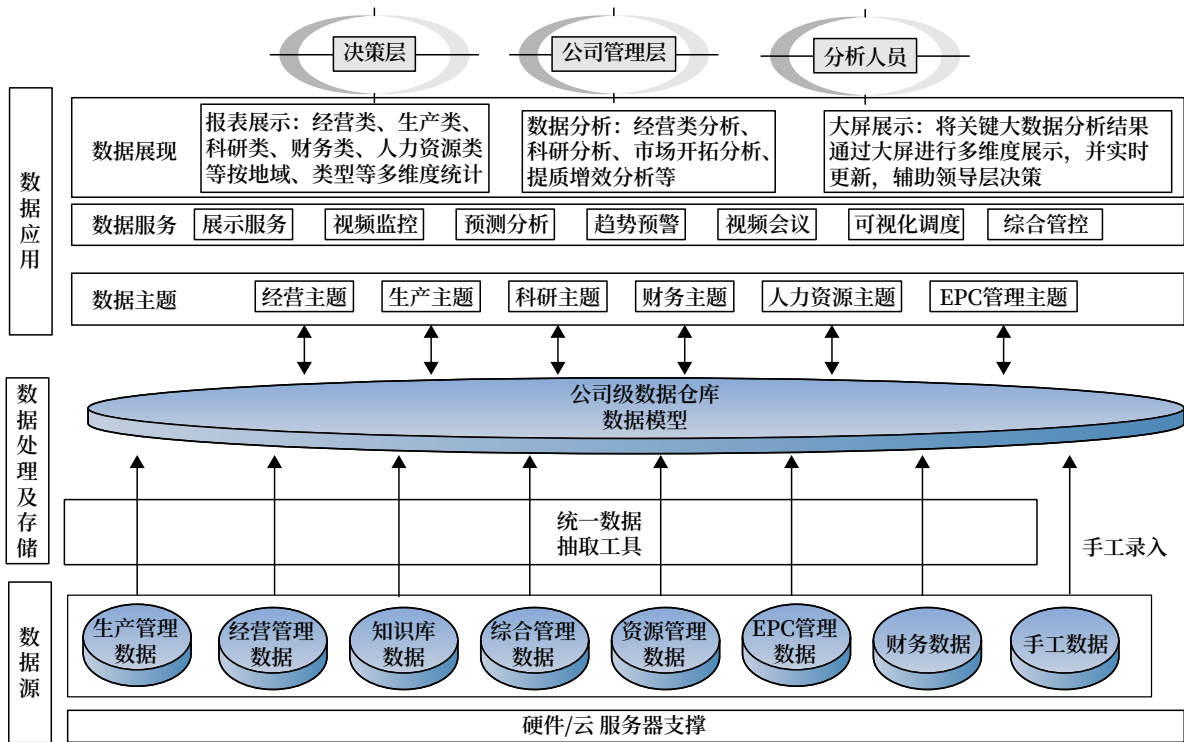


图2 总体框架
Fig.2 Overall framework

的系统建设方法、管理流程、人才队伍、标准模板和实施经验等。

2) 梳理现有数据资源：整合平台系统数据资源，构建数据模型，发掘数据质量问题，实现数据标准化、规范化，搭建统一的数据仓库。

3) 搭建数据分析平台框架：为领导、职能部门和下属部门的报表系统建设提供基础开发平台。

4) 收集数据分析需求：汇总数据分析主题、指标，形成指标资源池，按业务主题梳理指标体系，分类建立数据分析平台。

5) 设计可视化调度系统：在指挥中心可以单呼、组呼、紧急呼叫员工，支持语音通话和视频通话功能。平台部署智能调度指挥单元，支持相关人员对事件进行上报，指挥中心可以通过一体化可视调度终端对相关人员进行一键呼叫，完成对事件的通知。可远程视频调度与视频会议，与现场人员进行音视频通话，并且进行处置命令的下达。系统部署 GIS 业务服务单元，在 GIS 地图上能够直观显示外业作业人员的位置，EPC 项目部位置等，可通过 GIS 地图对用户进行一键呼叫。

6) 设计视频监控平台：引入 AR 技术，实现从平面监控到立体实景监控的转变。可以基于 GIS 地图，实现与施工现场视频监控系统的视频联动，方便管理人员实时查看项目现场情况，直观掌握现场项目进度。通过单兵作业系统，与项目现场实时通讯对话，实现远程管理指挥。

7) 设计管理中心系统：面向决策层领导的数据分析应用系统，并进行数据大屏展示，可视化、图表化辅助领导管理决策。

8) 设计综合门户网站：作为指挥中心系统各子项信息和查看视频数据的统一入口，可通过个人账号、密码等进行登陆。系统采用基于角色的权限分配机制，建立权限矩阵，不同用户角色具备不同系统功能权限。同时，综合门户网站还提供新闻公告、规章制度及学习交流等功能模块。

9) 设计 APP 应用：指挥中心系统支持 APP 应用展示，APP 应用与综合门户网站、管理中心系

统、综合大屏展示等数据保持同步，支持移动端数据分析查看。通过单兵作业系统，可以与现场人员进行实时通讯，方便远程指挥。

3.3 架构设计

根据对指挥中心系统建设目标的需求分析，建立先进、安全、开放、可扩展的平台是核心，采用企业微服务云架构的思路，构建基于“大数据、云计算、微应用、移动互联”的指挥中心系统。平台以微服务+云计算为基础，按照中台化建设思路构建业务中台、数据中台和技术中台，以及前台各板块应用，打造先进、安全、开放的指挥中心系统平台。

平台架构如图 3 所示。

平台通过基础设施层以云服务模式提供系统所需要的资源服务(如计算、数据库、存储等)。技术中台提供微服务架构体系支撑、大数据技术体系支撑及各种应用所需要的 PaaS 能力(分布式缓存、容器服务、消息队列、任务调度等)的支撑。数据中台提供数据仓库(抽取、清洗)、数据建模、数据转换和算法库等能力。业务中台提供各种微服务应用，提供给顶层各个应用系统使用，各系统通过调用微服务应用完成共享服务。前台应用层是多个业务系统应用开发层，是应用系统开发与运行的集合。

平台基于强大的大数据分析算法及相关技术，依靠企业海量数据的优势，可以充分挖掘出企业更多有价值的信息。帮助企业做出更优决策、更好的发展规划。并以图形报表的方式，清晰直观地从不同纬度管理企业的方方面面。

3.4 网络安全设计

信息化指挥中心系统，须有效抵御来自外部网络的主动和被动攻击、网络病毒、蠕虫、木马等威胁，同时提升对内部安全威胁的防御性，需要进行基础网络安全防护系统的建设。从边界安全、端点安全、安全感知、联动响应等方面着手形成防御、检测和响应闭环体系，通过实现更深层次的安全可视、全局安全可视应用效果和基于 AI、大数据提升安全能力等方面全面提升安全可视与治理能力。本研究按国家信息系统安全等级保护基本要求中第二

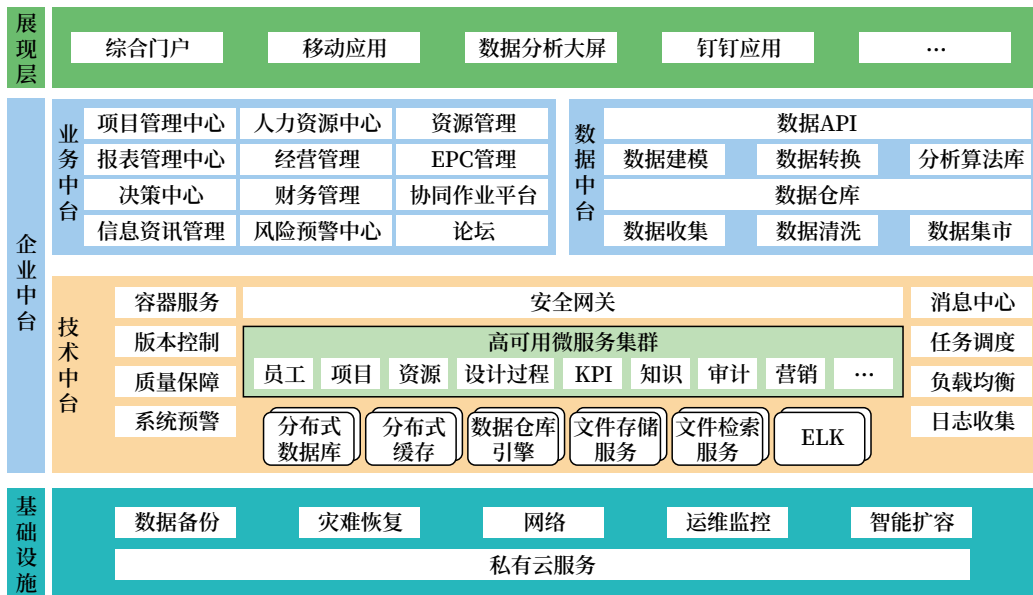


图3 系统架构
Fig.3 System architecture

级安全保护能力的标准要求搭建网络安全防护体系。

4 结论

工程设计企业信息化指挥中心建立是满足管理目标，围绕各个关键的业务领域，通过大数据、云计算、AI技术和AR技术等，充分贴合需求，提升数据价值。可有效实现经营、生产和管理，统筹调配企业人、财和物，实现集约化管理和精细化管理的和谐统一。让数据资产最大化地挖掘，用数据分析问题，用数据辅助决策、预知风险，以数据为依据，最大程度地发挥企业优势，引领企业创新发展和管理。

参考文献

[1] 陈敏雪, 李娜, 胡敏. 技术机构数据分析决策平台的建设方案 [J]. 中国计量, 2021 (10): 59-61.
Chen Minxue, Li Na, Hu Min. Construction Scheme of Data Analysis and Decision-Making Platform for Technical Institutions[J]. China Metrology, 2021(10): 59-61.

[2] 黄一新. 钢铁行业数字化转型战略思考 [J]. 现

代交通与冶金材料, 2021, 1 (4): 64-69.

Huang Yixin. The Strategic Thinking on Digital Transformation in the Steel Industry[J]. Modern Transportation and Metallurgical Materials, 2021, 1(4): 64-69.

[3] 孙魁. 中建某局工程项目成本管理的信息化研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2014.

[4] 洪颖. 浅谈勘察设计企业的数字化转型工作开展思路 [J]. 中国建设信息化, 2021 (23): 72-73.
Hong Ying. Discussion on the Development of Digital Transformation in Survey and Design Enterprises[J]. Informatization of China Construction, 2021(23): 72-73.

[5] 郭刚. 数字化, 是机遇更是挑战 [J]. 中国勘察设计, 2019 (2): 46-49.
Guo Gang. Digitalization is both an Opportunity and a Challenge[J]. China Engineering & Consulting, 2019(2): 46-49.

[6] 周明月. 地铁工程项目管理信息化系统建设与管理探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (1): 82-86.
Zhou Mingyue. Construction and Management of

(下转 82页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.011

调度集中系统发送无线进路预告的改进方案

陈梵^{1, 2}, 汤宝伟^{1, 2}

(1. 卡斯柯信号有限公司, 上海 200071;

2. 上海市铁路智能调度指挥系统工程研究中心, 上海 200071)

摘要: 调度集中系统中存在重复车次时, 无线进路预告可能被发送到错误车次, 对司机造成困扰。为此提出一种在 GSM-R 网络覆盖区段对调度集中系统发送无线进路预告的改进方案。该方案通过调度集中系统从机调(动车调)获取机车(或动车组)的运用计划, 经与实际收到的无线车次号信息匹配后, 确定列车本务机机车号(或动车组车组号), 从而确保调度集中系统向正确列车发送无线进路预告。该方案在不改变调度集中系统无线进路预告发送逻辑的情况下, 可有效防止调度集中系统错误发送无线进路预告。

关键词: 调度集中系统; 无线车次号; 进路预告; 机车运用计划; 机车号(动车组号)

中图分类号: U284.59

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0059-05

Solution to Improve Wireless Route Notice Transmission by CTC System

Chen Fan^{1, 2}, Tang Baowei^{1, 2}

(1. CASCO Signal Ltd., Shanghai 200071, China)

(2. Shanghai Engineering Research Center of Railway Intelligent Dispatching Command System, Shanghai 200071, China)

Abstract: If there are trains with the same train number in the CTC system, the wireless route notice may be sent to a wrong train, which will cause confusion to the driver. To solve this problem, this paper proposes a solution to improve the wireless route notice transmission by the CTC system in GSM-R network covered sections. The proposed solution obtains the locomotive or EMU operation plan from the locomotive or EMU dispatching system through the CTC system. Then, it determines the leading locomotive's locomotive number or the EMU's train set number after matching with the actually received wireless train number information, to ensure that the CTC system sends the wireless route notice

收稿日期: 2022-09-26; 修回日期: 2024-01-31

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司系统性重大课题项目(P2022X013)

发明专利: 2022 年国家发明专利(ZL202011571529.0)

第一作者: 陈梵(1979—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号(调度集中), 邮箱: chenfan@casco.com.cn.

to the correct train. Thus, it can effectively prevent the incorrect transmission of wireless route notice by the CTC system without changing the wireless route notice transmission logic in the CTC system.

Keywords: CTC system; wireless train number; route notice; locomotive operation plan; locomotive number (EMU train set number)

随着国内铁路高速发展,调度集中系统(CTC)在高速铁路和普速铁路有着十分广泛的应用。根据《调度集中系统技术条件》(Q/CR 518-2016)相关内容,无线进路预告功能是调度集中系统的功能之一。现阶段考虑通信可靠性等因素,调度集中系统的无线进路预告功能主要应用于 GSM-R 网络覆盖的区段。调度集中系统在分散自律模式下通过 GSM-R 网络以文本方式向司机提供进路预告信息,以使司机提前获知前方即将到达车站的进路准备情况。该功能通过“调度集中系统自动发送-司机人工签收-车站系统反馈-调度集中系统接收”机制进行闭环,完成以往需要人工进行的车机联控作业,一定程度上提高了接/发列车作业的效率 and 安全性^[1]。通过长期以来的现场使用,目前调度集中系统无线进路预告功能还存在问题,存在进一步改进的空间。

1 无线进路预告的发送条件及发送过程

根据《调度集中系统技术条件》(Q/CR 518-2016),无线接车进路预告的发送应满足以下条件^[2-3]。

- 1) 调度集中系统检查进路序列中的进路状态,进路办理成功;
- 2) 当列车运行于接车方向的区间,列车运行前方无其他车次且闭塞分区空闲;
- 3) 收到正确的无线车次校核信息。

无线进路预告的发送过程:调度集中系统在车站设备完成相关车次列车的进路触发后,将进路信息发送至中心。中心设备将进路信息中所带车次号与通过 GSM-R 接口所获取的无线车次校核信息中的车次号进行匹配^[4]。匹配成功后,筛选出相应的机车号(动车组号),并以此为目标将进路信息经 GSM-R 网络发往所对应的机车(或动车组)。车载设备收到进路信息后,将“设备已接收”和“司机

人工签收”两个回执经 GSM-R 网络发回调度集中系统,调度集中系统将这两个回执作为无线进路预告发送成功与否的依据。若调度集中系统未收到回执信息,将每隔 15 s 重发无线进路预告信息,直到列车压过进站/出站信号机(即占用该进路),此时调度集中系统将产生“发送无线进路失败”告警^[5-6]。

2 无线进路预告发送存在的问题

通过分析以上逻辑并结合实际应用,发现在实际使用过程中当调度集中系统存在重复车次时无线进路预告可能被错误发送。系统发送无线进路预告的前提之一是进行无线车次号校核,以获取正确的机车号(动车组号)作为发送的目标。而在存在重复车次的情况下,系统可能获取到错误的机车号(动车组号),从而导致无线进路预告被错误发送^[7-9]。发生重复车次主要有以下两种原因。

- 1) 列车发生长时间晚点时,前一天开行的列车还未终到,而后一天开行的列车已经进入本局管内,由此导致系统中存在重复车次。
- 2) 在机车换挂作业车站,被换下的机车在入库之前车载设备未进行注销操作,仍旧发布无线车次号及机车号信息;而新担当的本务机车已注册了相同的车次号信息,也在发布无线车次号及机车号信息,由此导致车次号重复^[10-11]。

3 无线进路预告发送改进的思路

3.1 改进车次号与牵引机车号(动车组号)绑定和校核逻辑

由上文可知,错误发送无线进路预告是因为调度集中系统中存在重复车次,而系统又无法对进路信息中的车次与无线车次信息进行准确匹配,从而导致不能正确选择发送的目标机车(动车组号)。由

于重复车次在实际的运输组织中是无法避免,因此解决问题的关键在于如何使系统将进路信息中的车次与无线车次信息进行准确匹配,从而获取正确的机车号(动车组号)^[12]。通过调研可以知道,在普速线路上,牵引机车计划是由机调负责确定;高速线路上担当动车组则由动车调度负责确定。为方便阐述,以下以普速线路为例进行说明。高铁线路流程与之类似,但高铁线路可不考虑机车换挂情况。

在普速线路中的始发车站或机车摘挂车站,后续区段的牵引机车计划是由机调负责提前确定的。因此调度集中系统可按以下逻辑进行车次与牵引机车匹配。

1) 调度集中系统从机调系统获取列车牵引机车计划,并在调度集中系统中将牵引机车计划与列车车次进行绑定,从而在调度集中系统中形成列车牵引担当计划信息。

2) 当列车从始发站(或换挂车站)发车后,调度集中系统将牵引担当计划信息与实际收到无线车

次信息进行校核,由此确定列车真实牵引机车号。列车真实牵引机车号在调度集中系统中与列车车次进行实际绑定,并跟随列车运行。

3) 当列车运行至下一个机车换挂车站,调度集中系统根据以上逻辑在该站重新根据新的牵引担当计划与列车车次进行绑定和校核,从而确保列车在各运行区间的机车号均准确。

4) 若牵引机车计划与无线车次信息校核失败,及时通过调度终端及车务终端进行报警提示。在人工确认机车号之前,调度集中系统将不对该次列车进行无线进路预告发送。

调度集中系统在始发站(或机车换挂站)进行绑定和校核的具体流程如图1所示。

3.2 调度集中系统改进的方案

根据以上逻辑,在计划来源和处理逻辑上需对现有调度集中系统进行适应性修改,在调度集中系统上实现相关功能,主要涉及以下7个方面。

1) 为了能够获取牵引担当计划,对现有TD结

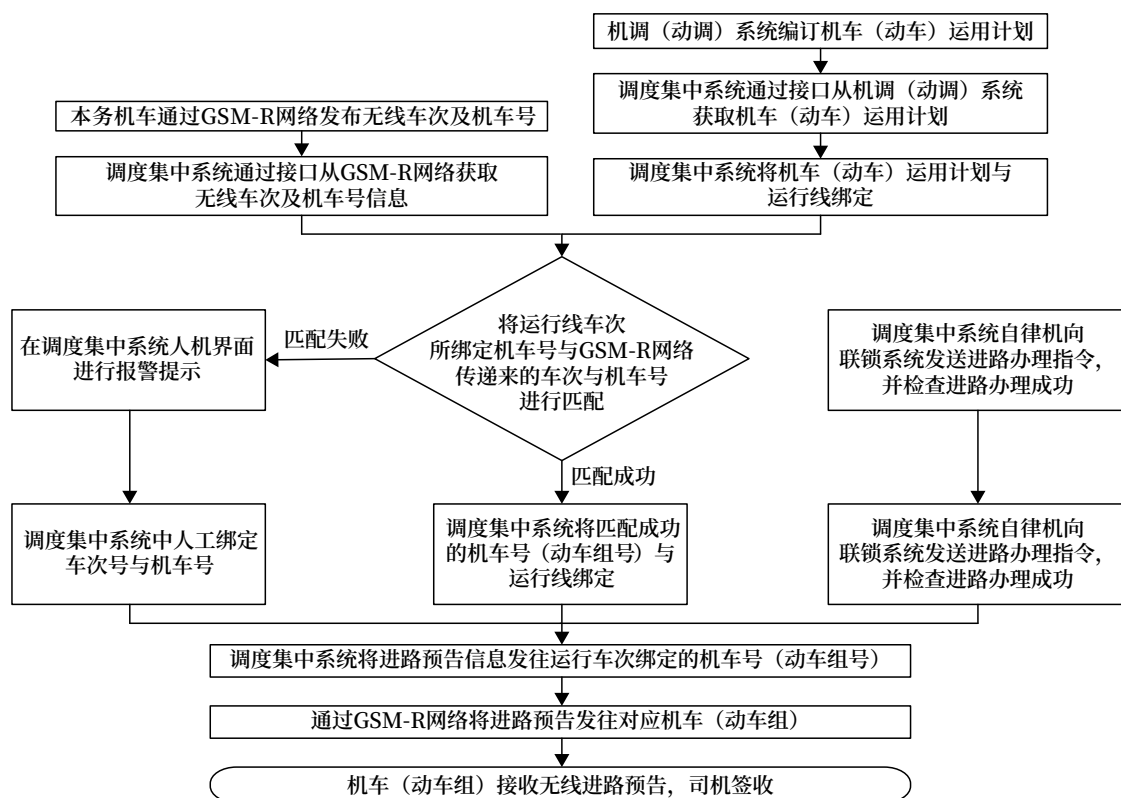


图1 调度集中系统无线进路预告改进流程

Fig.1 Flowchart of wireless route notice improvement for CTC system

合接口进行扩充（或新增调度集中与机调或动车调接口），在接口协议中增加相关机车（动车）担当计划相关内容。计划内容应包含列车车次、换挂车站1（始发站）、机车（动车）1类型、机车1机车号（动车1组号）、换挂车站2、机车（动车）2类型、机车2机车号（动车2组号）……

2) 调度集中系统增加运行线牵引机车号属性，并将收到的机车（动车）牵引担当计划中车次、换挂车站及机车号信息，绑定至该车次运行线机车号属性中，并标记为“计划（Plan）”类型。

3) 当列车从始发站（换挂站）开出后将发送无线车次校核信息。调度集中系统将此无线车次校核信息中的无线车次号及机车号（动车组号）信息，与绑定在相同车次运行线中的牵引机车号（动车组号）属性进行匹配，若匹配成功，则将该运行线中牵引机车号（动车组号）属性标记为“机车（Loco）”类型；若匹配不成功，则系统提示机车号（动车组号）匹配失败，并提供人工确认手段。同时该车次运行机车号（动车组号）属性仍旧维持“计划（Plan）”类型。当人工确认机车号（动车组号）后，属性标记为“机车（Loco）”。若人工未进行确认时，由于“机车（Loco）”无法确定，系统将不发送无线进路预告，并进行告警提示。

4) 当列车运行至下一机车换挂车站时，调度集中系统将重复以上步骤，以获取下一区段准确的机车号信息“机车（Loco）”。

5) 调度集中系统通过牵引担当计划和无线车次号的匹配校核后，可确定当前车次准确的牵引机车号，并在运行图中可实现查询，运行示意如图2所示。

6) 通过以上处理，调度集中系统发送无线进路预告时，将从运行线中获取已经绑定的实际机车号（动车组号）作为发送目标，而不再从无线车次号信息中实时匹配，由此避免因匹配牵引机车号错误而引发的错误发送无线进路预告的情况。

7) 对于跨局运行的列车，调度集中系统需扩充分界口协议，对于本局开往邻局的列车，将实际机

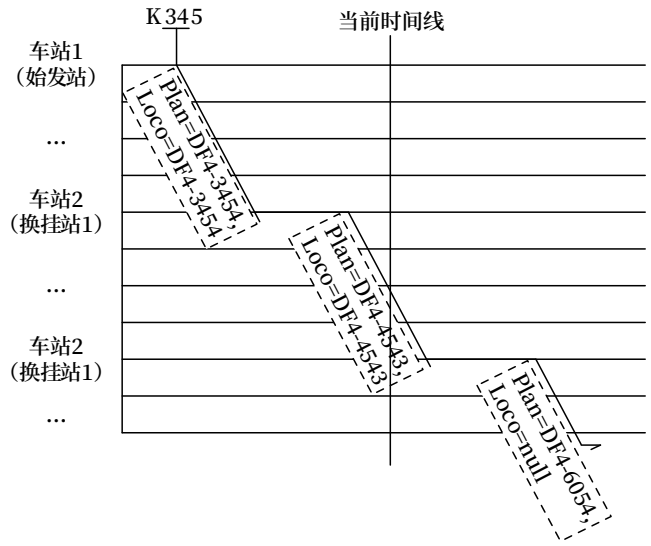


图2 调度集中系统运行图牵引担当信息示意
Fig.2 Schematic diagram of traction responsibility information on train operation chart in CTC system

车号（动车组号）通过分界口传递到邻局调度集中系统；对于邻局开往本局的列车，从邻局分界口获取实际机车号（动车组号）。

4 结束语

调度集中系统无线进路预告发送改进方案通过调度集中系统与机调（动车调）系统的接口，获取机车（动车组）运用计划，经与列车运行线绑定，并与列车无线车次号相关信息进行匹配后，可有效确定列车运行过程中的实际的牵引机车（动车组）。当调度集中系统内发生重复车次时，系统能够准确判断列车的牵引机车（动车组），确保无线进路预告能够准确发送到车载设备。方案对于调度集中系统架构改变较小，仅需扩展现有TD结合接口（或新增与机调接口）。在软件逻辑方面，无线进路预告的基础逻辑未发生变化，符合调度集中系统技术条件要求，通过增加系统对重复车次号时无线车次号的匹配，从而可以有效避免发生进路预告错误发送的情况，提升了系统的整体可用性。从成本、效率和安全等综合因素考虑，改进方案具备现场试点和推广的条件。该方案可以进一步优化调度集中系统发送无线进路预告功能，目前已与多个路局的电务及运输部门进行了讨论，正在着手推进现场试点的工作。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 调度集中技术条件: Q/CR 518-2016. [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.
- [2] 李晓莉. 调度集中系统无线进路预告功能实现逻辑的研究 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51(3): 11-12, 15.
Li Xiaoli. Research on Implementation Logic of CTC Wireless Route Advance Notice Function[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(3): 11-12, 15.
- [3] 王文芳. 无线进路预告信息传递及故障分析 [J]. 铁道运营技术, 2019, 25(2): 14-16.
Wang Wenfang. Analysis of Wireless Premonitory Route Signal Transmission and Failures[J]. Railway Operation Technology, 2019, 25(2): 14-16.
- [4] 魏小丰. 调度集中系统车次号技术的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(6): 44-49, 63.
Wei Xiaofeng. Research on Train Number Technique for Centralized Traffic Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 44-49, 63.
- [5] 沈洪波, 陈洪雨. 武广高铁列车进路预告信息存在问题及改进措施 [J]. 铁道通信信号, 2012, 48(5): 20-22, 25.
Shen Hongbo, Chen Hongyu. Question and Improvement Measure of Train Route Prediction Information in Wuhan-Guangzhou HSR[J]. Railway Signalling & Communication, 2012, 48(5): 20-22, 25.
- [6] 程淼. 调度集中系统无线进路预告软件处理逻辑及故障应对 [J]. 铁道运营技术, 2017, 23(2): 56-57.
Cheng Miao. Processing Logic and Fault Handling of Wireless Route Prediction Software in Centralized Dispatching System[J]. Railway Operation Technology, 2017, 23(2): 56-57.
- [7] 严频, 焦啸宇, 周子皓, 等. 一起列车错误接收进路预告问题的分析 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56(12): 43-46.
Yan Pin, Jiao Xiaoyu, Zhou Zihao, et al. Problem Analysis of one Case of Train's Wrong Receiving Route Advance Notice[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(12): 43-46.
- [8] 陈畅. 进路预告业务失败的分析与研究 [J]. 信息通信, 2017, 30(12): 149-151.
Chen Chang. Analysis and Research on the Failure of Route Forecast Service[J]. Information & Communications, 2017, 30(12): 149-151.
- [9] 冯广伟. 京广高铁列车进路预告信息问题分析处理 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51(2): 79-80, 84.
Feng Guangwei. Analysis and Handling of Admission Passage Notification Information in Beijing-Guangzhou High-Speed Railroad[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(2): 79-80, 84.
- [10] 陈希. 关于进路预告的问题探讨 [J]. 铁道通信信号, 2011, 47(2): 41-42.
Chen Xi. Discussion on the Problem of Route Forecast[J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(2): 41-42.
- [11] 康斌. 分散自律调度集中系统 (FZK-CTC) 在郑西客专的应用 [J]. 科技资讯, 2013, 11(3): 17.
Kang Bin. Application of Decentralized and Self-Disciplined Dispatching Centralized System (FZK-CTC) in Zhengxi Passenger Dedicated Line[J]. Science & Technology Information, 2013, 11(3): 17.
- [12] 刘开扩, 冯振国, 马福龙. 普速铁路 CTC 车站无线发车进路预告的研究与设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 4-7.
Liu Kaikuo, Feng Zhenguo, Ma Fulong. Design of Wireless Advance Notice of Departure Route in CTC System for Conventional Railway Stations. [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 4-7.

车-车通信与车-地通信信号系统方案 可靠性分析对比

李梅

(卡斯柯信号有限公司, 上海 200435)

摘要: 目前轨道交通信号系统主要基于车-地通信的信号系统, 而基于车-车通信的信号系统也已经在国内开始逐步投入运营。为比较两种信号系统的可靠性水平, 从故障导致运行延误的角度开展车-车通信与车-地通信信号系统方案的可靠性分析, 结合车-车通信与车-地通信信号系统的设计架构与线路配置分别绘制故障导致 2 min 以上延误、故障导致 5 min 以上延误的系统可靠性框图, 评价与比较两种系统架构下的可靠性水平, 并提出改善措施, 为轨道交通信号系统的发展与应用提供参考。

关键词: 可靠性; 车-车通信; 车-地通信; 可靠性框图

中图分类号: U283.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0064-05

Reliability Analysis and Comparison of Signaling System Schemes of Train Autonomous Circumambulate System and Communications Based Train Control System

Li Mei

(CASCO Signal Ltd., Shanghai 200435, China)

Abstract: At present, the communication based train control system (CBTC) has been used as the mainstream signaling system for rail transit, while the train autonomous circumambulate system (TACS) has also been gradually put into operation in China. To compare the reliability level of these two signaling systems, this paper performs a reliability analysis for both the TACS system and the CBTC system from the perspective of fault-caused operation delay. It presents the reliability block diagrams of both the TACS and the CBTC system in which faults lead to delays of more than 2 minutes and more than 5 minutes, which are drawn in view of the design architecture of these two signaling systems and the line configuration. Then, it provides an evaluation and comparison of the reliability level under the two system architectures under discussion. Moreover, it proposes improvement measures, which are intended to provide reference for the development and application of the signaling systems for

收稿日期: 2023-03-14; 修回日期: 2024-01-31

基金项目: 上海市自然科学基金项目 (22ZR1422200)

作者简介: 李梅 (1989—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 产品可靠性与系统工程, 邮箱: limei@casco.com.cn.

urban rail transit.

Keywords: reliability; train autonomous circumambulate system; communication based train control system; reliability block diagram

1 概述

为减少信号系统的子系统或者设备的潜在失效,提高信号系统的运行服务能力,对信号系统的可靠性水平开展评估。对早期发现系统架构设计和设备选型中可能存在的薄弱环节,采取有效的预防措施,减少系统故障对运行服务的影响。可靠性框图建模作为一种可靠性分析模型,形式简单且直观,被其他行业广泛使用,如文献[1-4]中使用的可靠性框图开展的可靠性分析。故本文以某一线路的配置分别对车-车通信信号系统与车-地通信信号系统开展可靠性评估。

2 可靠性框图概念

可靠性框图是从系统故障规律认知的角度,对系统及其组成部件进行建模,反应系统主要故障特征^[5],用来描述系统与其组成单元之间的可靠性逻辑关系,用于预计或估算系统的可靠性与可用性。可靠性模型是开展可靠性设计分析的基础,也是进行系统维修性和可用性设计分析的前提。在绘制可靠性框图时本文有以下假设条件。

1) 假设系统或系统单元是两态的,即假设系统的组成单元或者可靠性框图代表的单元只存在两个状态:工作和不工作两个状态。

2) 可靠性框图绘制时暂不考虑维修问题;为简化问题,通常假设,修复后的系统其可靠性水平与首次故障前相同。

3) 本文的可靠性框图不包含软件,假设软件完全可靠。

4) 假设所有单元的寿命均服从指数分布,单元内的所有故障都能导致本单元功能故障。

根据工作经验总结,梳理了可靠性框图的绘制流程,如图1所示。

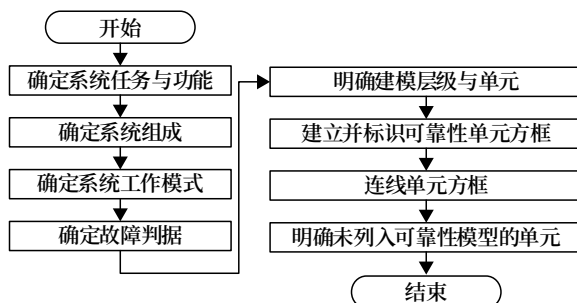


图1 可靠性框图绘制流程
Fig.1 Flowchart of reliability block diagram drawing

1) 确定系统任务与功能:系统的不同功能可能完成不同的任务,对不同的任务其可靠性框图可能是不同的,故应通过确定系统任务和功能分析,建立一个能包括所有功能的系统可靠性框图。

2) 确定系统组成:根据系统架构描述可以简单绘制出系统的“组成方框图”,图中的每一个方框代表一个独立的功能单元,还应明确本系统的对外接口关系。

3) 确定系统工作模式:确定系统中的单元是否存在可替换的工作模式。

4) 确定故障判据:确定任务失败的条件,对于能够导致任务失败的性能参数,必须对其做出全面的描述,并明确这些性能参数允许的上下限。

5) 明确建模层级与单元:根据1)和2)确定系统的单元组成及功能,并结合系统的维修级别确定可靠性框图绘制的深度,一般是从系统级开始,自上而下逐层展开,分解到电路板卡级即可,因为电路板的下一级组成单元时元器件,不适合也不能再分。

6) 建立并标识可靠性单元方框:可以借助工具绘制代表功能单元的可靠性单方框,并将功能单元名称直接标在对应的方框中。

7) 连线单元方框:在可靠性框图中,方框之间的连线无可靠性值,但系统中的导线、电缆具有可靠性值,可将其合并在一个单独的方框中,或者并

入所在的单元方框。

8) 明确未列入可靠性模型的单元：为简化系统可靠性模型，对于功能次要的单元，即使失效，也不会危及任务成功的单元可以不反映在可靠性框图中，也可以用“未列入模型单元清单”的形式附在可靠性框图下面，给出未绘制进去的理由即可。

3 车-地通信信号系统与车-车通信信号系统的架构差异分析

车-地通信信号系统主要由列车自动监控子系统、车载子系统、联锁子系统、数据通信、线路控制器、区域控制器、轨旁电子单元、有源信标、无源信标、计轴和信号机等其他轨旁设备组成。

车-车通信信号系统主要有列车自动监控子系统、车载子系统、目标控制器、轨旁资源管理器、无源信标、以及数据通信系统。

车-车通信信号系统相比于传统的车-地通信信号系统首先在架构上缩减了轨旁设备。如有源信标、轨旁电子单元等不再设置，信号机的应用数量大幅缩减，计轴目前已发布的方案也只在边界处设置，线路内部不再设置计轴，未来方案不再设置计轴；其次，目前应用的目标控制器替代联锁子系统，可根据线路灵活配置板卡，缩减了应用机柜与继电器的数量。

4 车-地通信信号系统可靠性分析

车-地通信信号系统需要地面设备通过车-地通信交互来告知车载设备其他列车的信息，其主要设备有列车自动保护子系统、列车自动驾驶子系统、列车自动监控子系统、联锁子系统、数据通信、线路控制器与区域控制器及其他轨旁设备等。本文通过对某一线路的车-地通信信号系统的架构、功能故障分析及设备数量配置情况绘制其可靠性模型。单元故障会导致 2 min 以上晚点的系统可靠性模型如图 2 所示，单元故障会导致运行晚点 5 min 以上的系统可靠性模型如图 3 所示。

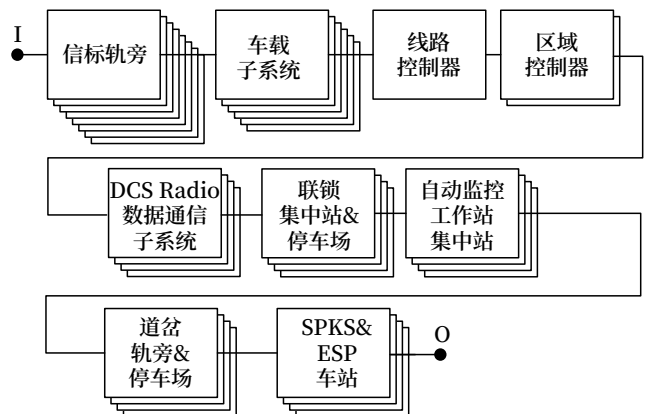


图2 基于车-地通信导致2 min以上晚点的信号系统可靠性模型
Fig.2 CBTC system reliability model in which faults cause delays of more than 2 minutes

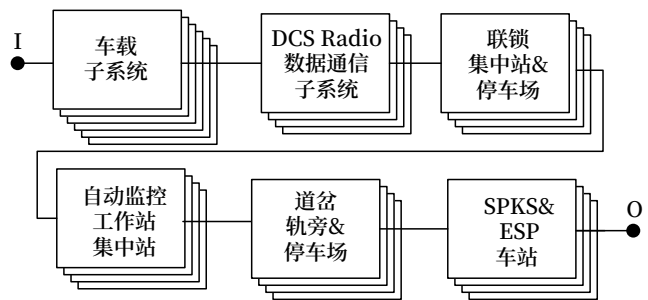


图3 基于车-地通信导致5 min以上晚点的信号系统可靠性模型
Fig.3 CBTC system reliability model in which faults cause delays of more than 5 minutes

5 车-车通信信号系统可靠性分析

基于车-车通信技术的信号系统在轨道交通已先行开展研究多年。车-车通信系统的特征为车载设备自行计算本车辆的行车授权信息，通过车与车之间直接通信和协同控制，实现以车辆为中心的双向无线通信。轨旁设备数量减少，使得系统接口简约化，数据信息传输路径减少，操作方式更灵活，提高了系统运行效率，大幅降低信号系统投入成本和方便后期维护^[6]。

由文献[6-7]可知，车-车通信信号系统主要包含列车自动监控系统、目标控制器、车载子系统、轨旁资源管理器、应答器以及数据通信系统。列车自动监控系统与车载子系统连接，相邻列车的车载子系统相互通信连接。此外在列车发生故障时，由轨旁资源管理器负责故障列车的接管，继续维护故障列车的位置信息及对外接口，不会造成通信列车降级运

行,减少故障对运营的影响。本文通过对某一线路的车-车通信信号系统的架构、功能故障分析及设备数量配置情况绘制其可靠性模型。单元故障导致2 min以上晚点的系统可靠性模型如图4所示,单元故障导致运行晚点5 min以上的系统可靠性模型如图5所示。

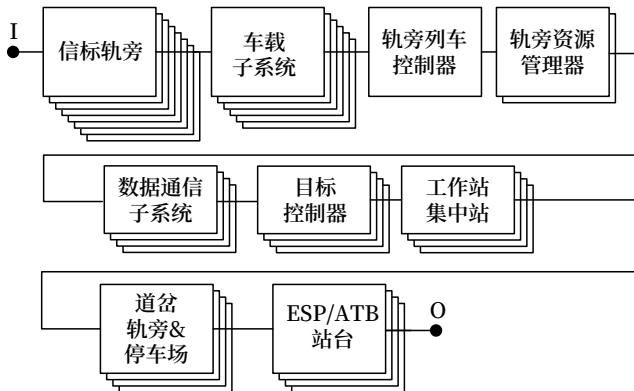


图4 基于车-车通信导致2 min以上晚点的信号系统可靠性模型
Fig.4 TACS system reliability model in which faults cause delays of more than 2 minutes

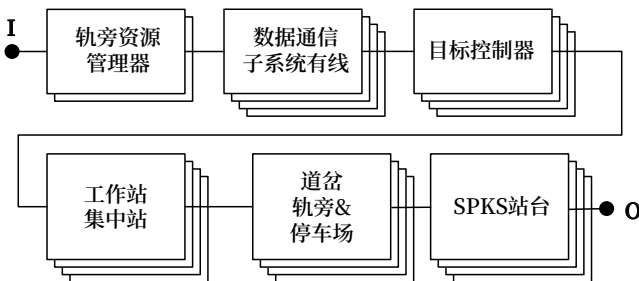


图5 基于车-车通信导致5 min以上晚点的信号系统可靠性模型
Fig.5 TACS system reliability model in which faults cause delays of more than 5 minutes

6 两种信号系统的可靠性分析与比较

根据第4、5章节的可靠性模型,结合某具体项目的线路配置、子系统的故障率及可靠性计算公式^[8],可得某特定应用项目延迟2 min以上的车-地通信信号系统的各子系统故障率结果如表1所示,车-车通信信号系统的各子系统故障率结果如表2所示。某特定应用项目的车-车通信信号系统与车-地通信信号系统的可靠性比较结果如表3所示。

表1~3中的数据是考虑线路上子系统设备数量的,非单套子系统数据,且只考虑硬件故障率。

表1 某特定应用项目的车-地通信信号系统的各子系统故障率

Tab.1 Failure rate of subsystems of CBTC system for a specific application project

子系统名称	延迟2 min以上故障率	延迟5 min以上故障率
信标	6.56×10^{-10}	—
车载子系统	2.97×10^{-6}	2.97×10^{-6}
线路控制子系统	3.36×10^{-7}	—
区域控制子系统	3.36×10^{-7}	—
数据通信子系统	7.98×10^{-7}	7.98×10^{-7}
联锁子系统	3.54×10^{-5}	8.85×10^{-6}
自动监控工作站设备(集中站)	2.20×10^{-7}	2.20×10^{-7}
道岔轨旁设备	6.67×10^{-8}	6.67×10^{-8}
SPKS&ESP&对应继电器	5.30×10^{-7}	4.16×10^{-7}

表2 某特定应用项目的车-车通信信号系统的各子系统故障率

Tab.2 Failure rate of subsystems of TACS system for a specific application project

子系统名称	延迟2 min以上故障率	延迟5 min以上故障率
信标	6.56×10^{-10}	—
车载子系统	2.97×10^{-6}	—
轨旁列车控制器	3.36×10^{-7}	—
轨旁资源管理器	3.36×10^{-7}	3.36×10^{-7}
数据通信子系统	1.35×10^{-7}	1.35×10^{-7}
目标控制器	7.6662×10^{-6}	7.6662×10^{-6}
自动监控工作站设备(集中站)	1.16×10^{-7}	—
道岔轨旁设备	6.67×10^{-8}	6.67×10^{-8}
SPKS&ESP	2.89×10^{-8}	1.44×10^{-8}

表3 配置近似情况下车-车通信信号系统与车-地通信信号系统可靠性对比结果

Tab.3 Results of reliability comparison between TACS system and CBTC system with similar configurations

评估参数	车-车通信信号系统	车-地通信信号系统	故障率对比/%
延误2 min以上故障率(1/h)	1.17×10^{-5}	4.19×10^{-5}	-71.33
延误5 min以上故障率(1/h)	8.22×10^{-6}	1.46×10^{-5}	-38.30

从表3可知,线路配置近似情况下,车-车通信信号系统导致延误2 min以上的故障率与车-地通信信号系统相比降低了71.33%,导致延误5 min以

上的故障率降低了 38.30%。

7 结论及建议

本文通过绘制车-车通信信号系统与车-地通信信号系统的可靠性框图与模型,评价与比较了两种系统架构下的可靠性水平。通过对某一特定应用项目的分析可知,在线路配置近似的情况下,车-车通信信号系统的故障率略低于车-地通信信号系统的故障率,进而说明车-车通信信号系统的可靠性水平相较于车-地通信信号系统有提升。

车-车通信技术用于信号系统,其可靠性水平仍是未来系统设计和实现关注的重点。不管是车-车通信信号系统还是车-地通信信号系统中涉及到的设备:目标控制器、冗余骨干网的设备、轨旁资源管理器、车载子系统及联锁子系统等故障会导致运行晚点 5 min 以上,故在设计时应着重考虑其可靠性设计;且外购的设备应在选型时,选择可靠性水平高的设备;应对故障会导致 5 min 以上的子系统或设备加强故障可检测性设计与故障隔离设计,提高在线故障隔离率与故障检测覆盖率,避免线网级运行服务能力下降发生。

参考文献

- [1] 吴迪,黄敬.基于可靠性框图的舰船电力系统可靠性建模[J].船电技术,2019,39(Z1):28-31.
Wu Di, Huang Jing. Reliability Modeling of Ship Power System Based on Reliability Block Diagram[J]. Marine Electric & Electronic Engineering, 2019, 39(Z1): 28-31.
- [2] 张邦成,隋元昆,步倩影,等.基于可靠性框图的轨道客车司机操作台可靠性分析[J].长春工业大学学报,2018,39(6):521-527,633.
Zhang Bangcheng, Sui Yuankun, Bu Qianying, et al. Reliability Analysis for Driver Console of Railway Vehicles Based on Reliability Block Diagram[J]. Journal of Changchun University of Technology, 2018, 39(6): 521-527, 633.
- [3] 卢彦玲,李新娥,王亚军.可靠性框图在电子测压器可靠性分析中的应用[J].探测与控制学报,2013,35(4):44-48.
Lu Yanling, Li Xine, Wang Yajun. Reliability Block Diagram Applied in Electronic Pressure Gauge Reliability Analysis[J]. Journal of Detection & Control, 2013, 35(4): 44-48.
- [4] 宗树枫,胡立生,韩寅驰,等.基于可靠性框图模型的核电站非安全级控制系统可靠性分析[J].工业控制计算机,2017,30(4):48-49,52.
Zong Shufeng, Hu Lisheng, Han Yinchu, et al. Nuclear Power Plant Non-Safety Control System Reliability Analysis Based on RBD[J]. Industrial Control Computer, 2017, 30(4): 48-49, 52.
- [5] International Electrotechnical Commission. Analysis Techniques for Dependability-Reliability block Diagram and Boolean Methods: IEC 61078[S]. IEC, 2006.
- [6] 李梅,孔维杰,南楠,等.基于车车通信的信号系统运行服务可用性分析[J].铁道通信信号,2021,57(10):92-97.
Li Mei, Kong Weijie, Nan Nan, et al. Availability Analysis of Signaling System Based on Train-Train Communication in Operation Services[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(10): 92-97.
- [7] 徐海贵,汪小勇,陆怡然.一种基于车车通信的列车自主控制系统及方法:CN111776013A[P].2020-10-16.
- [8] CENELEC. Railway Applications-The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS): EN 50126 [S]. CENELEC, 2017.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.013

复杂条件下地铁CBTC信号系统接入既有线的解决方案

陈 通

(大连公共交通建设发展有限公司, 辽宁大连 116000)

摘要: 地铁线网规模的逐步扩大, 受限于规划、审批、需求变化等因素, 分期建设、分期开通的地铁建设工程越来越多。如何在不影响既有线正常运营条件下完成信号系统的全功能接入是线路开通的关键。结合大连地铁2号线二期北段信号系统工程项目实施经验, 提出复杂条件下CBTC信号系统的接入方案, 该方案降低安全风险并减少调试时间, 可以提供类似项目借鉴和实施经验。

关键词: 信号系统; 系统接入; 动车调试

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0069-04

Solution for Connecting CBTC System to Existing Line Under Complex Conditions

Chen Tong

(Dalian Public Transport Construction Development Co., Ltd., Dalian 116000, China)

Abstract: With the gradual expansion of subway networks, more and more subway lines are constructed and opened in stages due to such constraining factors as planning, approval and requirement change. How to achieve the full-functional access of the signal system without affecting the normal operation of an existing line is the key issue for the opening of the subway line. Based on the implementation experience accumulated in the signal system engineering project for the northern section of Phase II of Dalian Metro Line 2, this paper proposes a system access plan for the CBTC system under complex conditions. The proposed plan can reduce both the safety risks and the commissioning time, and provide reference and practical experience for similar projects.

Keywords: signal system; system access; train commissioning

近年来, 地铁项目中分段建设及延伸线工程越来越多, 极大地提高了信号系统的建设难度。以大

连地铁2号线二期北段工程为例, 由于2号线一期、二期东段工程于2015年先期开通试运营, 在2号线二期北段工程信号系统建设中, 需要克服作业天窗期短、动车调试难度高、协调配合范围大及既有线实施限制条件多等不利因素, 复杂条件下CBTC

收稿日期: 2023-09-22; 修回日期: 2024-01-26

作者简介: 陈通(1984—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号系统, 邮箱: 269502015@qq.com。

信号系统的接入工作是线路开通的关键。

1 信号系统接入既有线的特点分析

1.1 全线设备布局统一设计

分段及延伸线地铁项目信号系统在设计之初要规划全线设备位置的布局 and 余量, 包括 ZC、有线网

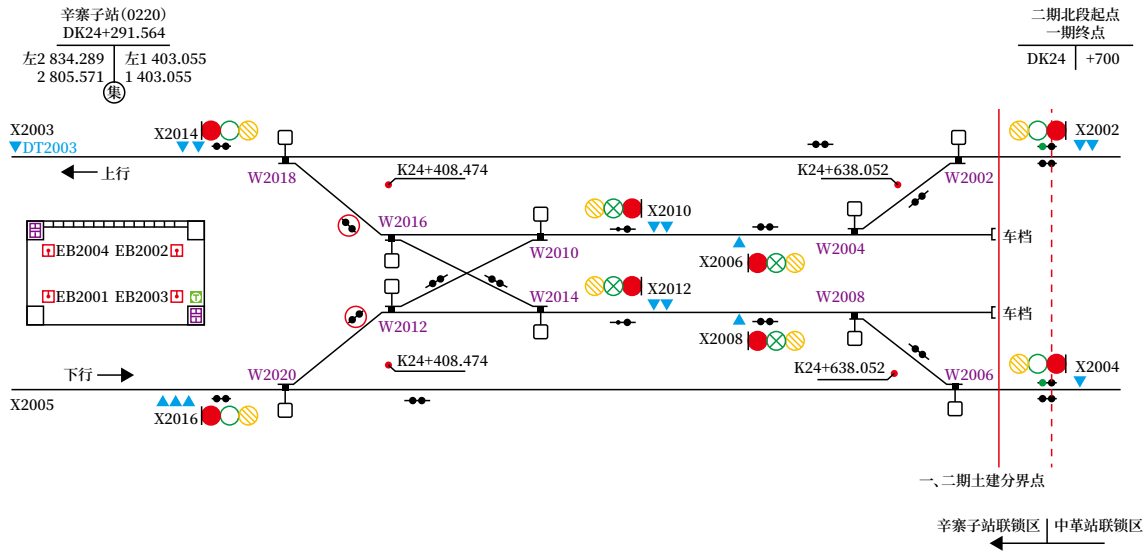


图1 分界点平面布置

Fig.1 Layout at boundary points

1.2 可有效利用工期短

涉及既有线的信号系统调试工作是工程实施的重点, 但是调试总工期非常紧张。在 2 号线二期北段项目的分界点联锁调试、全线贯通调试和系统接入期间, 每日作业天窗期仅有 3 h 左右。除去调试前后刷写软件、拆配线、恢复及验证时间, 实际可有效利用的天窗期约为 2 h。并且全线动车调试时不能影响既有线正常运营和夜间天窗期线路、接触网等专业的必要检修工作, 每周可作业点最多 3 日。受此限制极大地增加了工期压力。

1.3 接入调试复杂

全线贯通动车调试前, 需要完成既有线相邻联锁集中站辛寨子的调试。由于土建分界点与信号联锁区分界点不同, 联锁调试前首先需在非运营时段完成辛寨子站后未装计轴、信号机和 AP 设备的安装和调试。同时注意运用管理手段禁止在运营时段闯入信号分界面计轴, 避免影响运营车辆进入停车线的事件发

生。延伸线接入还需要考虑 DCS、ATS、车载 ATP 和 ZC 的全线贯通调试, 接入调试技术复杂。

1.4 制约因素多、协调难度大

各子系统调试尤其是相邻联锁区和全线贯通动车调试受制约因素多, 包括前序专业轨道、供电和通信的完成时间、既有线运营组织、分界面安全管理 (车挡、道岔钩锁器、防护安全带和警示灯等) 和夜间天窗时间等。由于延伸线无车辆段 / 停车场, 动车调试电客车存放于既有线车辆段。全线贯通动车调试协调工作量非常大, 安全风险高。

2 大连地铁2号线二期北段接入方案

2.1 大连地铁2号线二期北段工程介绍

2 号线信号系统全线核心设备供应商为安萨尔多, 2 号线二期北段共 7 座车站 (前革至大连北站), 中革站、卫生中心站、大连北站为设备集中站, 其中大连北站设置 1 套 ZC, 平面布置如图 2 所示。

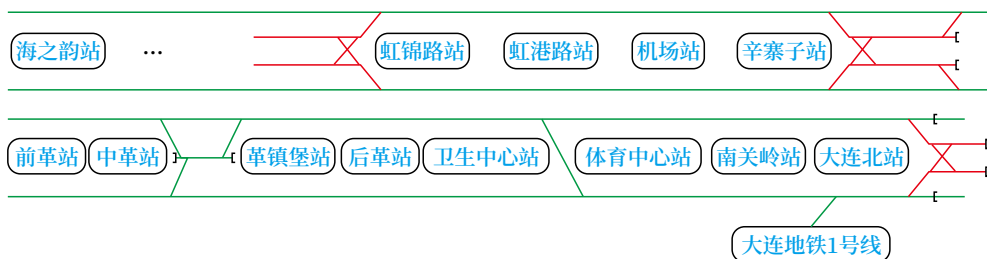


图2 平面布置
Fig.2 Layout

为了便于动车调试，减少设备软件刷写工作，在大连北站设置临时 ATS 服务器作为临时控制中心，避免全线贯通调试前每日在已开通控制中心倒切；设置临时 ZC 设备模拟一期线路 ZC 设备；设备临时 FRONTAM 设备作为全线数据库服务器。

2.2 总体技术方案

2.2.1 既有线分界处联锁区调试

1) 调试前准备工作

分界点处辛寨子联锁区室外设备全部安装完成，辛寨子联锁区平面布置如图 3 所示。

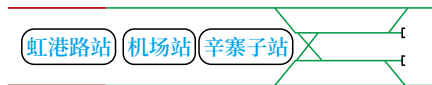


图3 辛寨子联锁区
Fig.3 Interlocking area of Xinzhaizi station

准备 4 块联锁 CPU 板，软件刷写为调试版本，调试完成后更换回运营版本 CPU 板卡，减少板卡刷写时间。调试期间辛寨子联锁区轨行区封锁，ATS 控制权下放至站控。

2) 调试工作内容

更换 CPU 板卡。临时拆除及恢复辛寨子联锁区信号设备室部分既有配线。临时拆除及恢复辛寨子联锁区信号设备室计轴电阻。临时闭合及断开部分道岔动作电源及表示电源断路器。使用辛寨子站 LCW 工作站排列进路进行联锁调试。调试完成后更新安全认证相关限制条件。

2.2.2 系统调试

1) 调试前准备工作

系统调试期间辛寨子站联锁软件升级为调试版本。

调试期间 ATS 控制中心及车站 ATS 升级为调试版本软件，通过切换账号方式进行软件倒切。既

有线 ZC 更换调试版本软件板卡。调试电客车的车载软件版本更换。调试期间 2 号线二期 DCS 网络在控制中心临时接入一期。

2) 调试工作内容

接口部分回归测试；点式系统集成测试；CBTC 系统集成测试。

2.3 系统接入方案

2.3.1 系统接入步骤

大连地铁 2 号线二期北段分两步接入一期工程。

1) DCS 接入一期工程。完成与一期工程的接口测试和集成测试，DCS 正式接入一期测试，满足一期载客运营条件。

2) CBTC 接入一期工程全线贯通运营。进行一、二期接口位置 CBTC 动车测试，IATP 和 CBTC 级的集成测试，取得 CBTC 贯通运营的证书，完成 CBTC 级接入工作，满足全线 CBTC 贯通运营条件。

2.3.2 系统接入策略

1) 第 1 日夜间升级辛寨子站的联锁，既有线 ATS、联锁、ZC、FTM，电客车车载 ATP（升级数量为除去第 2 日运营及预备外全部列车）。DCS 正式割接至一期大环网中，测试完成后联锁、ATS、ZC、FTM 回退至运营版本，DCS 和车载 ATP 不回退软件。

2) 第 2 日夜间升级既有线 ATS、联锁、ZC、FTM、剩余未升级电客车车载 ATP，测试完成后所有子系统软件均不回退，正式完成 CBTC 接入。规定好升级成功的时间点，研判结果为失败时，需按照流程回退各子系统软件。

3 工程实施经验和结论

延伸线的系统接入涉及建设公司、运营公司、

集成商、施工单位和其他专业施工单位等,协调工作多、安全风险大,在较短的时间需要完成测试和验证工作,因此在技术上和管理上必须采取多种方式便于项目实施。技术上可以采取以模拟设备代替既有设备、更换板卡减少设备软件刷写操作等措施降低安全风险和减少调试时间,也降低了对既有运营线路的影响。管理上提前与运营公司协调电客车、司机和作业点,了解分界面车挡、道岔钩锁器、防护安全带和警示灯等设施,与前序施工专业多方配合,保证工作效率。

参考文献

- [1] 罗建强. 地铁延伸线信号 CBTC 系统无缝接入运营线路解决方案 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51(3): 82-85.
Luo Jianqiang. Solution of Seamless Migration of CBTC Signal System of Subway Extension Line to Operating Lines[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(3): 82-85.
- [2] 徐义彤. 城市轨道交通延伸线信号系统贯通方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 64-66.
Xu Yitong. Signal Systems Connection Plan for Extension Lines of Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 64-66.
- [3] 陈尔超. 一种不同制式信号系统的贯通运行方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(4): 66-70.
Chen Erchao. Through Operation Scheme for Different Modes of Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(4): 66-70.
- [4] 薛超. 简谈北京 1 号线与八通线信号系统的贯通运营 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(11): 69-73.
Xue Chao. Trough Operation of Signal Systems for Beijing Metro Line 1 and Batong Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(11): 69-73.
- [5] 邹强. 城市轨道交通延伸线工程信号系统过渡改造方案分析 [J]. 现代城市轨道交通, 2019(9): 53-56.
Zou Qiang. Analysis of Transitional Rehabilitation Scheme for Signaling System of Urban Rail Transit Extension Line Project[J]. Modern Urban Transit, 2019(9): 53-56.
- [6] 王成, 赵波波. 北京地铁 4 号线延伸信号系统方案分析 [J]. 都市快轨交通, 2009, 22(3): 36-38.
Wang Cheng, Zhao Bobo. Options of Signaling System for the Extension Project of Beijing Subway Line 4[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2009, 22(3): 36-38.
- [7] 金世杰, 郜春海. 城轨交通信号系统资源共享与互联互通 [J]. 都市快轨交通, 2007, 20(2): 92-95.
Jin Shijie, Gao Chunhai. Resource Sharing and Interoperability of Signaling System in Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2007, 20(2): 92-95.
- [8] 朱军, 宋健. 城市轨道交通资源共享探讨 [J]. 城市轨道交通研究, 2003, 6(2): 5-8.
Zhu Jun, Song Jian. How to Share the Resources of Urban Mass Transit[J]. Urban Mass Transit, 2003, 6(2): 5-8.
- [9] 张甬涛, 周欣, 金捷, 等. 市域铁路中 CBTC 与 CTCS 互联互通设计分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(12): 72-77.
Zhang Yongtao, Zhou Xin, Jin Jie, et al. Design Analysis of Interoperability Between CBTC and CTCS in Suburban Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 72-77.
- [10] 张伟. CBTC 与 CTCS-2 兼容互通方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 93-97.
Zhang Wei. CBTC and CTCS-2 Compatible and Interoperable Scheme[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 93-97.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.014

一体化票务服务研究

李达明, 黄志伟, 陈柯行

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 先分析建设一体化票务系统以实现新型轨道交通和沿线旅游景区票务系统互联互通的必要性, 再分别对新型轨道交通和旅游景区票务系统进行简要介绍, 最后从系统架构、系统功能、一体化出行流程三方面介绍一体化票务出行方案。

关键词: 新型轨道交通; 互联互通; 一体化票务

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0073-04

Research on Integrated Ticketing Service

Li Daming, Huang Zhiwei, Chen Kehang

(CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: This paper first analyzes the necessity of building an integrated ticketing system for achieving the interoperability between the ticketing systems of new-type rail transit line and surrounding tourist attractions. It then briefly introduces the ticketing systems of new-type rail transit line and tourist attractions. It finally introduces a travel scheme featuring integrated ticketing from three aspects, i.e. system architecture, system functions and integrated travel process.

Keywords: new-type rail transit; interoperability; integrated ticketing

随着轨道交通的不断发展和深化交通运输与旅游业融合发展^[1]的政策导向, 国内各地开始新建具有旅游属性的新型轨道交通, 如山地轨道交通^[2]、中低速磁浮^[3-5]等, 加速推动轨道交通和当地沿线旅游业的协同发展, 充分展示数字交通建设赋能文旅产业高质量发展成果。

新型轨道交通和旅游业的融合发展既能充分展示轨道交通旅游出行的安全性和舒适性, 又能有效

解决旅客出行需求, 推动旅游业高质量发展。如何有效地构建新型轨道交通和旅游协调发展机制, 更好地塑造新型轨道交通和旅游融合的新产业还存在系列问题需要解决, 如产业发展模式、制式选择、资源配置、系统互联互通等。智能票务系统作为轨道交通和旅游行业运营管理的核心系统, 有效地提高了运营管理效率, 为旅客的便捷出行提供了有力的支撑。如何实现新型轨道交通票务系统^[6-7]和旅游产业票务系统的信息互通, 为旅客提供一站式票务服务是新制式轨道交通和沿线旅游业融合发展需解决的问题之一。

目前, 新制式轨道交通和沿线旅游业融合背景下票务出行服务一般是旅客使用交通或旅游各

收稿日期: 2023-06-14; 修回日期: 2024-01-31

基金项目: 国家重点研发计划课题项目(2022YFB4300503); 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目(2300-K1200045.10)

第一作者: 李达明(1986—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通通信信息系统, 邮箱: ldm@crscd.com.cn.

自的票务凭证，通过各自的系统进行核销，存在以下不足。

1) 票务衔接性不强。旅客需根据自身的出行需求在不同票务系统购买不同的票务凭证，无法真正意义上实现一站式购票，一证通行，一体化^[8]体现不足。

2) 出行便捷性不高。旅客出行前需完成多次在线选购与支付，出行过程中需展示不同的票务凭证以完成票务核销，无法满足旅客便捷化的出行需求。

针对上述问题，本文对新型轨道交通和旅游融合下的一体化票务方案进行研究。先对融合发展理念和旅客的出行需求进行简要阐述，再分别对新型轨道交通和旅游业票务系统一般的系统设计方案进行分析描述，最后给出一体化票务平台整体实现方案，为新制式轨道交通和沿线旅游业票务融合提供实现参考和技术支撑。

1 系统需求

1.1 数据共享需求

目前，新型轨道交通和旅游业（景区接驳车、旅游景区）的票务系统建设一般相对独立，票务系统的建设标准和数据格式不统一，导致系统间的数据无法互通和兼容。要实现轨道交通和旅游景区的一体化票务，就需打破数据孤岛，解决系统间数据兼容和共享问题。

1.2 一体化出行需求

仅依赖于新型轨道交通或者旅游业的票务系统无法满足旅客一体化出行需求。因此，对新制式轨道交通和旅游业票务系统进行分析，结合各自的票务特点和技术体系，建设一体化票务出行服务平台，以满足票务互联互通，达到一体化票务出行的建设需求。

1.3 清分结算需求

清分结算体系的建立是新型轨道交通和旅游景区一体化票务的关键。合理的清分结算机制有利于保证票务收益在新型轨道交通运营方和各沿线旅游景区管理方之间进行合理分配。

2 票务系统概况

2.1 新型轨道交通票务系统

城市轨道交通具有客流大，以满足人们日常出

行为主等特点，其票务系统的建设传统上一般采用标准的5层架构，即清分中心、线路中央计算机系统、车站计算机系统、车站终端和车票，如图1所示。车票凭证主要采用人脸识别、非接触式IC卡、电子二维码等，计费规则一般会同时考虑旅客的乘坐里程数和乘坐时间。

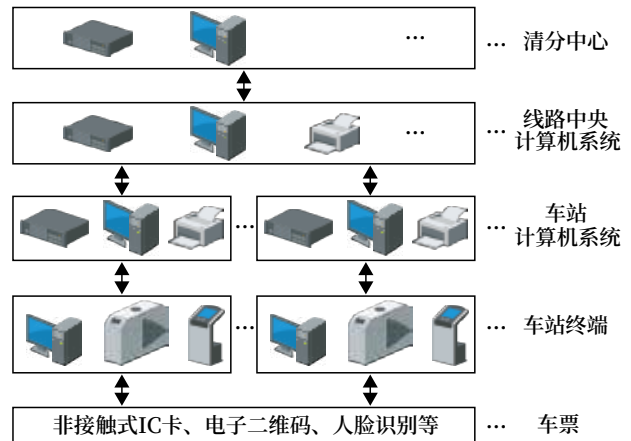


图1 票务系统5层架构

Fig.1 Five-layer architecture for AFC system of new-type rail transit

具有旅游属性的新型轨道交通客流与城市轨道交通通勤客流具有明显差异性，一般具有波动性、随机性和中低客流量等特点。同时随着云技术的快速发展，其票务系统的建设可以选择采用3层结构，即云中心票务平台-车站终端设备-票务凭证，如图2所示。云中心对传统AFC 5层架构中的清分中心、线路中央计算机系统和车站计算机系统进行整合，精简了系统架构，降低了建设成本，有效提升资源利用率。车票凭证的选择上与城市轨道交通基本保持一致。计费规则一般采用单一票价制或按里程收费。

2.2 旅游景区票务系统

随着互联网、物联网、大数据等新技术在旅游业的应用和旅游景区多元化售检票和实现统一高效票务管理的迫切需求，几乎所有旅游景区都新建了智能票务系统，代替传统的人工售检票，提升了管理效率，满足了旅客便捷化游玩需求。旅游景区票务系统一般采用独立部署或云服务部署，常用的系统架构如图3所示。门票凭证通常采用纸质票、电

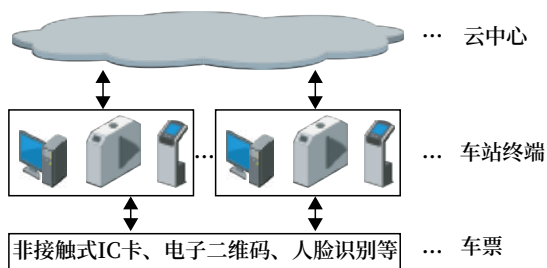


图2 票务系统3层架构

Fig.2 Three-tier architecture for AFC system of new-type rail transit

子二维码和身份证等，门票收费制度一般采用一票制游玩。

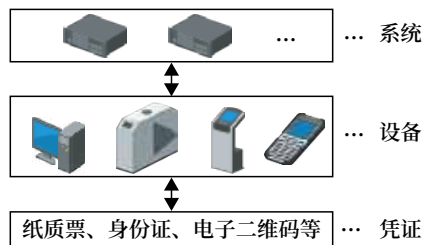


图3 景区票务系统架构

Fig.3 Architecture for AFC system of tourist attractions

3 一体化整体解决方案

新型轨道交通的运营模式一般分为“先付费，后乘车”和“先乘车，后付费”两种模式。旅游景区的票务管理模式一般是先预约购票，后游玩体验。新型轨道交通和旅游景区的票务凭证设计也存在一定差异。这要求一体化票务出行方案所采用的运营模式、票务凭证，既能同时满足两者运营管理的相关要求，又能为旅客提供一体化票务出行服务。

综合考虑具有旅游属性的新型轨道交通的旅客出行频次、接受程度和使用习惯等，本文的一体化方案是基于新型轨道交通采用“先付费，后乘车”的运营模式进行开展。这也符合旅客先预约购票，再出游的旅行游玩习惯。

本文充分结合现行的票制模式和技术体系，分别从系统架构、系统功能和一体化出行流程3方面探讨一体化票务出行方案。

3.1 系统架构

为了使接口界面清晰和保证各系统之间的独立性，又兼顾平台的可扩展性，一体化票务出行平台

的架构如图4所示。系统开发基于微服务思想，由数据资源层、应用服务层、网关接入层和展示层组成。其中网关是接口访问的统一入口，所有的用户请求都会统一通过网关进入。应用服务层根据一体化票务平台实际业务需求拆分为不同的业务模块，如账户服务、清结算服务和报表服务等。数据资源层负责数据存储和数据管理等功能。

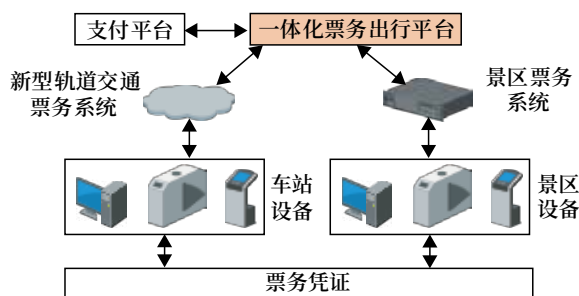


图4 一体化票务架构

Fig.4 Architecture for integrated ticketing

3.2 系统功能

一体化票务出行服务平台对外提供统一的安全接口，可以接入新型轨道交通票务系统、第三方支付平台和沿线各景区票务系统等，其主要功能如下。

1) 账户管理。对平台账户进行统一化管理，分为运营管理端和旅客个人端。运营管理端账户管理主要包括账号登录管理、角色管理和信息维护等。旅客个人端账户管理主要包括账户的注册认证、登录认证、信息维护和账户绑定等。

2) 密钥管理。对平台业务所需的各类认证和交易的密钥进行管理。

3) 票务管理。平台提供一体化票务管理功能，支持基于已接入的基础票务数据的多票种定义、票务发售和票务核销等。

4) 支付管理。平台支持接入多种第三方支付渠道，如银联、支付宝和微信等，较好地适应旅客多样化的支付需求。

5) 清结算管理。与第三方支付平台、新型轨道交通票务系统和各景区票务系统之间的对账与结算。平台根据产生的交易记录和清分规则对票务收益进行清分结算，并生成相应的报表。

3.3 一体化出行流程

新型轨道交通和旅游景区统一为先付后乘（游）的管理模式，一体化出行过程包含以下几部分。

1) 旅客通过一体化票务出行服务平台进行账号开通与认证。

2) 选择一体化票务并完成支付购票，获取平台生成的出行票务凭证。

3) 持票务凭证完成乘车与入园游玩，平台对票务凭证进行核销，并记录相关行程。

4 结束语

在新型轨道交通和旅游景区融合发展的背景下，本文阐述了一体化票务建设的必要性，并从多方面详细介绍了一体化票务出行方案，以期为类似项目建设提供参考。

构建一体化出行服务生态是融合发展的最终目标。本文仅对一体化票务进行了研究分析，其他出行服务场景下数据的互联互通也是应重点关注的问题。

参考文献

- [1] 赵丽丽, 张金山. 交旅融合发展的机理、领域及未来趋势 [J]. 中国公路, 2021 (5): 54-56.
Zhao Lili, Zhang Jinshan. Mechanism, Field and Future Trend of the Integration of Transportation and Tourism[J]. China Highway, 2021(5): 54-56.
- [2] 章玉伟, 唐勇. 都四山地轨道交通关键技术创新研究 [J]. 中国铁路, 2021 (3): 101-105.
Zhang Yuwei, Tang Yong. Research on Innovations in Key Technology of Dujiangyan-Mt. Siguniang Mountain Rail Transit[J]. China Railway, 2021(3): 101-105.
- [3] 赵丰年, 邱冰, 彭立, 等. 中低速磁浮在旅游交通领域适应性研究 [J]. 铁道勘察, 2021, 47 (1): 59-63.
Zhao Fengnian, Qiu Bing, Peng Li, et al. Study on the Adaptability of Medium-Low Speed Maglev in Tourism Transportation[J]. Railway Investigation and Surveying, 2021, 47(1): 59-63.
- [4] 崔学斌, 熊健, 李相君. 磁浮交通与清远全域旅游发展关系探讨 [J]. 铁道建筑技术, 2019 (5): 45-47, 83.
Cui Xuebin, Xiong Jian, Li Xiangjun. A Preliminary Study on Tourism Development of Qingyuan City Related to Maglev Transportation[J]. Railway Construction Technology, 2019(5): 45-47, 83.
- [5] 孙伟. 山区中低速小型磁浮旅游线发展探讨 [J]. 山西建筑, 2021, 47 (3): 109-110, 195.
Sun Wei. Discussion on the Development of Medium-Low Speed Magnetic Levitation Tourism Lines in Mountainous Areas[J]. Shanxi Architecture, 2021, 47(3): 109-110, 195.
- [6] 何跃齐, 刘洋, 张宁. 中小规模城市轨道交通线网 AFC 系统整体解决方案 [J]. 都市快轨交通, 2016, 29 (6): 110-113, 134.
He Yueqi, Liu Yang, Zhang Ning. The Overall Solution of Networked AFC System of Urban Rail Transit for Small and Medium-Sized Cities[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016, 29(6): 110-113, 134.
- [7] 王瑞宗, 陆鑫, 林忠山. 中小规模城市轨道交通线网三层架构自动售检票系统设计方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25 (3): 196-198, 203.
Wang Ruizong, Lu Xin, Lin Zhongshan. AFC System Design Scheme for Small-and Medium-Sized Urban Rail Transit Line Net-Work with Three-Tier Architecture[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(3): 196-198, 203.
- [8] 马兰, 燕翔, 王鹏, 等. 一体化出行服务平台架构及实现分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 33-38.
Ma Lan, Yan Xiang, Wang Peng, et al. Analysis of Architecture and Implementation of Integrated Travel Service Platform[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 33-38.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.015

车载测速电机检测方法研究

李小朋¹, 汪 彧¹, 薛 超², 刘 明³

(1. 北京市地铁运营有限公司通信信号分公司, 北京 100082;

2. 北京市地铁运营有限公司技术创新研究院分公司, 北京 100082;

3. 北京和安易诚通讯技术有限公司, 北京 100020)

摘要: 为满足轨道交通中对测速电机设备维护的自动化测试需求, 经过对车载测速电机不同检测方法的深入研究与对比, 提出一种适用于现场维护的测速电机快速检测方法。为提高测试结果的准确性, 强调对其动态性能指标进行统计分析的重要性, 而非仅依赖于对静态指标的测试分析。所述测速电机快速检测方法已经通过样机验证并已投入实际应用, 取得良好的使用效果。

关键词: 测速电机; 检测; 统计

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0077-06

Research on Measurement Method of Odometer

Li Xiaopeng¹, Wang Yu¹, Xue Chao², Liu Ming³

(1. Signal and Communication Branch, Beijing Mass Transit Railway Operation Corporation Ltd., Beijing 100082, China)

(2. Technology Innovation Research Institute Branch, Beijing Mass Transit Railway Operation Co., Ltd., Beijing 100082, China)

(3. Beijing Hean Yicheng Communication Technology Co., Ltd., Beijing 100020, China)

Abstract: To meet the requirements for automated testing during equipment maintenance for odometers in urban rail transit, this paper first compares different measurement methods of odometers, and then proposes a quick measurement method of odometers that is suitable for field maintenance. It also makes the proposal that, to improve the accuracy of the test results of odometers, statistical analysis of their dynamic performance indicators should be performed, rather than testing and analysis of their static performance indicators. The proposed quick measurement method of odometers has been verified through prototype testing and put into practical application, and has produced good application results.

Keywords: odometer; measurement; statistics

收稿日期: 2022-12-07; 修回日期: 2024-01-25

发明专利: 2022 年国家实用新型专利 (ZL202220846621.1)

基金项目: 北京市地铁运营有限公司通信信号分公司科研项目 (2021000505002001)

第一作者: 李小朋 (1978—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 轨道交通信号, 邮箱: lixiaopeng8576@bjsubway.com.

1 概述

随着城镇化进程以及城市的不断扩大, 城市的交通拥堵不断加剧。城市轨道交通的高运力以及快捷在疏解城市交通拥堵、提高交通运行效率方面起

着非常重要的作用。随着城市轨道交通总里程的不断增加和车辆运行密度的不断提升，车辆的数量也在不断增加，如何提高车辆的维护效率是一个重要问题。

车辆的信号系统是车辆安全运行的基础。例如，在目前北京地铁车辆的信号系统中，设备所用的板卡均可装车前在 BTE 等离线设备上对其进行离线测试，待测试通过后再行装车。离线测试设备的使用避免了故障板卡被误装上车的可能，提高了设备维护的效率。

车载测速电机作为为车辆信号系统提供车辆运行方向、速度以及精确定位等车辆运行状态的重要传感器^[1]，由于其在使用中直接与车辆的轴颈做固定连接，从而导致车载测速电机长期工作在震动、高低温以及潮湿的环境中。目前在北京地铁中被广泛使用的哈斯勒车载测速电机，在实际运行中由于潮湿以及高低温的影响，导致了故障时有发生。目前还没有一个可以为车载测速电机提供离线测试的检测设备。由于测速电机的故障只有在车辆的行驶过程中才能被发现，而调度车辆对测速电机进行测试需要使用较多的资源，因此迫切需要一个可以对车载测速电机进行离线测试的设备，从而避免误将故障的测速电机被安装，确保安装上车的测速电机的性能指标符合要求。

为此，首先对北京地铁目前使用较多的哈斯勒车载测速电机进行分析和研究，并完成了样机的设计。通过现场的实际使用，取得了较好的效果。

2 车载测速电机的结构

哈斯勒车载测速电机是在北京地铁中使用较多的测速电机。本文将通过研究哈斯勒车载测速电机的结构特点以及对其性能测试的不同方法，并结合在设备现场维护中的需求，找到一种适合现场维护使用的对测速电机进行快速检测的方法。

哈斯勒车载测速电机是一种光电速度传感器。它是由驱动轴带动与之固定连接的编码盘转动，由一个或多个远红外光电传感器将编码盘上的信息转

化为脉冲信号提供给车辆的信号系统。远红外光电传感器被固定在编码盘周边法兰盘上，可以通过调整法兰盘的位置调整远红外光电传感器的之间的相对位置，如图 1 所示。



图1 哈斯勒车载测速电机的结构
Fig.1 Structure of Hasler odometer

远红外光电传感器可以提供与车速成正比的脉冲输出。

编码盘与光电传感器安装在铝合金防水外壳中，测速电机的驱动有驱动销与驱动叉两种方式。驱动销（驱动叉）安装在测速电机的外侧，通过驱动轴带动内测固定在驱动轴上的编码盘转动。驱动轴由固定在测速电机外壳上的轴承提供支撑。

哈斯勒车载测速电机提供了 IP68 的防护等级。

3 哈斯勒车载测速电机输出信号

如图 2 所示，哈斯勒车载测速电机由编码盘、远红外发射器和接收器组成。当光线透过编码盘的孔照射到传感器的接收端时，测速电机输出低电平，反之则输出高电平。北京地铁目前所使用的哈斯勒车载测速电机，依据不同的信号系统，其内部有 2 个或 3 个远红外光电传感器^[2]。

由于本文主要研究关于哈斯勒车载测速电机的检测方法，故其工作原理在这里不做赘述。

哈斯勒车载测速电机输出信号的主要技术指标如下。

3.1 脉冲占空比

光电探头的占空比的静态指标（6 kHz 时）为 $53\% \pm 1\%$ 。

对于有 3 个远红外探头检测编码盘时钟孔的情形，脉冲占空比允许的最大极限值为 $\pm 18^\circ$ ；对于

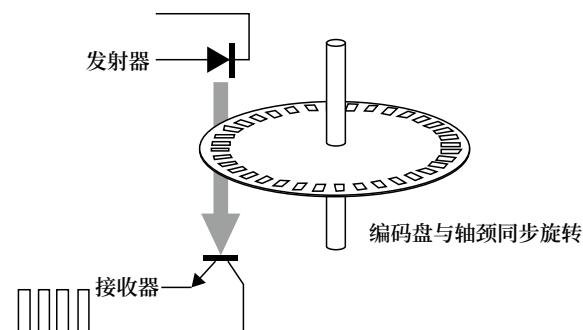


图2 光电传感器原理
Fig.2 Principles of optical pulse generator

有2个远红外探头检测编码盘时钟孔的情形，脉冲占空比允许的最大极限值为 $\pm 36^\circ$ 。

3.2 脉冲相位差

如图3所示，对于有3个远红外探头检测编码盘时钟孔的情形：当采用的是每圈100个时钟孔的编码盘时，每100个脉冲周期（即测速电机旋转一周），3个时钟脉冲之间的相位差互为 120° ，且重叠裕量应不小于 24° 。

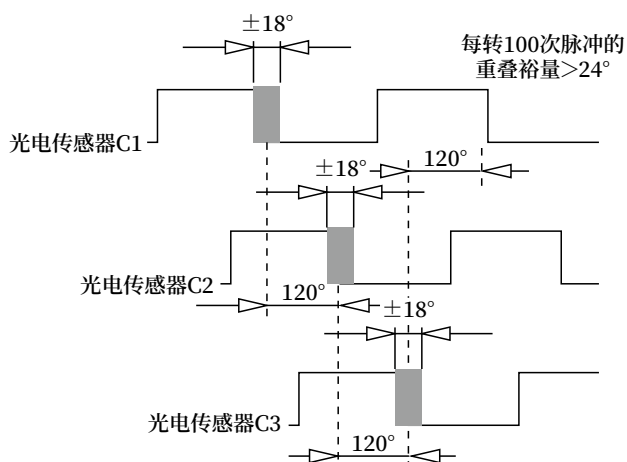


图3 3脉冲输出相位差
Fig.3 Phase setting for three-pulse outputs

对于有2个远红外探头检测编码盘时钟孔的情形：2个时钟脉冲之间的相位差互为 90° ，且重叠裕量应不小于 18° ，如图4所示。

4 分析及检测测速电机的性能指标

静态元器件的检测，如蓄电池内阻的检测，继电器励磁线圈内阻以及继电器触点接触电阻的检测等静态指标的测量，在整个检测过程中其状态是相

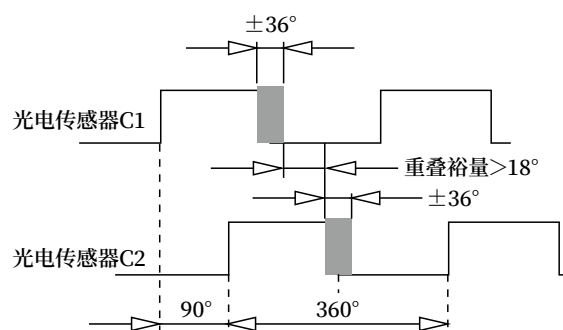


图4 2脉冲输出相位差
Fig.4 Phase setting for two-pulse outputs

对稳定、固定不变的。

车载测速电机的检测是动态检测，是在车载测速电机转动的状态下进行。所有的指标参数因测速电机的转动以及内部结构中元器件的不一致性，其输出的电气特性指标处于不断变化之中。

针对车载测速电机指标参数动态变化的特点，如果仍然采用固定的指标进行检测，显然不符合电机在实际工况下的工作状态。因此，采用统计的方法，在一定时间内，例如在电机转动一定圈数内，判断各项性能指标是否满足测速电机的性能指标要求，能够更准确地反映电机在实际工况下的工作状态。

因此，笔者认为，对于车载测速电机这类性能指标动态变化的设备，应该采用统计分析的方法对其性能指标进行评估及分析。收集在测试期间测速电机输出的全部信号，并与标准参数的阈值进行逐一分析对比，从而判断所测试测速电机的性能指标是否符合规范要求。只有这样才能充分体现出被测试的测速电机的实际工况。

5 测速电机输出信号不同检测方法的对比

5.1 示波器

使用多宗示波器对哈斯勒车载测速电机的输出信号进行分析和研究，从而判断其输出信号是否符合技术规范的要求。但是使用示波器需要人工干预，并且由于示波器的采样同步对于伪随机码的采样同步比较困难，特别是当车载测速电机驱动转速不稳定的情况下，对伪随机码的采样触发就变得更加困难。这对车载测速电机输出信号的电气性能进行精

确的分析和研究十分不利，并且过多的人工干预不能满足便捷化检测的要求。

5.2 逻辑分析仪

采用逻辑分析仪可以很好地解决使用多宗示波器带来的过多人工干预以及人工分析的问题。由于逻辑分析仪可以针对其输入的信号进行长时间的采样并通过软件对采样的结果进行逻辑分析。这就首先解决人工使用示波器需要人工干预的问题，同时由于使用了逻辑分析仪对车载测速电机的输出信号进行采样与记录，就可以对车载测速电机在不同转速（模拟不同车速）下的性能进行分析。可以使用软件对逻辑分析仪的采样结果进行分析。

5.3 信号采集卡 (DAQ)

使用逻辑分析仪只能对采集的输入信号的高低电平的阈值进行设定，不能对其采集信号的波形（如信号的上升沿、下降沿、高电平幅度和抖动

等性能指标）进行精确的分析。在之前对哈斯勒车载测速电机的维修实践中发现，在很多情况下，由于哈斯勒车载测速电机内部的光电探头长期工作在恶劣环境中，经常会出现光电探头的性能指标不符合要求而导致测速电机故障。而这类故障通常是随机发生，这也是有些车载测速电机上车后不定期报错的原因之一。

信号采集卡的使用可以很好地解决上述问题，由于信号采集卡^[3]可以通过软件对采集到的信号进行统计与分析^[4]，从而实现对测速电机测试的自动化。因此，信号采集卡在测速电机测试设备中使用不但可以简化测试过程，避免人工分析，同时还可以降低对使用人员技术水平要求，规避可能发生的错误。

为满足现场维护工作的需要，采用 DAQ 加软件的哈斯勒车载测速电机检测平台，如图 5 所示。

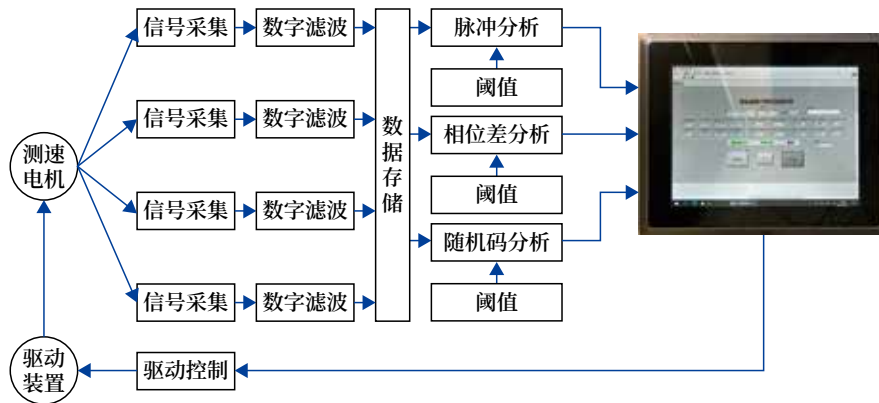


图5 采用信号采集卡分析
Fig.5 Odometery analysis system using DAQ

驱动装置由驱动电机、齿轮减速机以及驱动控制器组成。驱动装置驱动车载测速电机转动，模拟车辆行驶。驱动装置可以在软件的控制下模拟车辆不同的行驶速度，且可以模拟车辆不同的行驶方向。车载测速电机在驱动装置的控制下输出信号至信号采集设备。

为保证检测平台测试结果的准确性，检测平台与测速电机的电气接口^[5]能够完全兼容不同型号的哈斯勒测速电机，同时符合车载信号系统的技术规范要求。

信号采集设备将实时采集^[6]车载测速电机的输出信号，经过数字滤波器^[7]滤除干扰信号以及抖动后，将采集到的信息传输到数据处理单元。

数据存储单元对采集到的信息以及相应的脉冲时间戳进行存储，在后续的分析软件模块中，分别对采集到的测速电机输出信号的脉冲波形、占空比以及脉冲的相位差进行计算，并与软件中预置的阈值进行分析比较。当分析结果在阈值范围之内，则在用户 UI 中提示测试结果正常。反之则提示故障。

为使对车载测速电机的测量结果更加准确，输

出的测试结果数据是基于整个测试过程统计出的数据的最大值与最小值如图 6 所示, 并且在用户 UI

中提示了对应的测试结果的正常值范围, 从而使用户能够对被测的车载测速电机有更准确的了解。



图6 基于统计分析的测试结果
Fig.6 Test results based on statistical analysis

通过软件开关实现控制驱动装置启停、转动方向以及调速功能, 可以实现从控制到测试结果输出的一体化 UI 设计。

6 采用信号采集卡的优点以及软件的可移植性

通过采用硬件电路对测速电机的性能进行分析, 需要针对不同的测速电机进行相应的硬件设计, 开发周期长、成本高、灵活性差。且设计定型后无法在后续根据需求增加新的功能。

使用信号采集卡以及通过软件对测速电机的性能进行分析, 可以避免上述的弊端。信号采集卡的引入, 避免了与不同种类测速电机输出信号之间接口的硬件电路设计。由于在分析软件中采用了模块化的设计, 如针对占空比测试、相位差测试以及统计分析等均是不同的软件模块配以相应的参数实现的。因此, 在针对不同类型的测速电机以及性能指标参数, 通过调用相应的软件模块即可实现针对该种类测速电机的性能分析。同时, 还可以针对不同的用户需求有针对性的为用户提供新的功能。

7 实际成果

一个测速电机快速检测样机已经完成从设计到实验验证的过程。该样机能够在 70 s 左右完成对哈

斯勒车载测速电机的自动化测试。在测速电机快速检测样机中, 通过采用信号采集卡对测速电机的输出信号进行采集, 并且由于在设计中设置了较大的系统缓冲存储器, 可以对测速电机转动 N 圈输出信号的数据进行存储; 数据分析软件通过对系统缓存中的数据进行分析, 从而可以得到测速电机在转动 N 圈内的全部输出信号的性能指标, 在通过统计分析后输出测速电机的每项测试指标在整个测试过程中的最大值和最小值, 以及指标测试结果是否超出测速电机指标的阈值。

由于测试过程是基于对测速电机转动多圈输出信号的统计分析结果, 从而避免了之前通过示波器对测速电机进行故障测试中出现的测试准确性问题。同时, 通过对在用的测速电机的测试, 发现有些测速电机虽然在信号系统中可以正常使用, 但是其某些输出信号的状态已经处于临界或超过测速电机性能指标的范围。如在对某报告不正常的测速电机测试中发现, 测速电机转动 50 圈的测量结果中, 其 A、B、C 输出脉冲占空比超过标准最大值的次数分别达到 1 123、97 和 128 次, 如表 1 所示。经过与相关专业人员的共同分析, 认为对于此类测速电机虽然目前在设备中可以正常使用, 但在设备维护中应该被列为故障隐患。

表1 占空比统计结果

Tab.1 Statistics of test results for duty ratio

占空比测量	A 脉冲	B 脉冲	C 脉冲
状态	错误	错误	错误
占空比测量最大值 /%	55.98	55.38	55.42
超标计数	1 123	97	128
占空比测量最小值 /%	54.5	54.01	54.08
超标计数	0	0	0

目前,样机已经在北京地铁设备维护中投入使用,并取得了良好的效果。

8 总结

车载测速电机的检测是一个动态性能指标的检测。通过使用数据采集设备并通过软件分析采集到的测速电机输出信息,可以极大地提高测试的准确性,并避免通过人工分析有可能产生的错误。数据采集设备在测速电机检测中的应用,为针对不同厂家型号的测速电机的检测提供了方便、可移植的平台。同时,灵活的 UI 可以为用户提供方便快捷的用户体验。

参考文献

[1] 黄新义. L Z B 7 0 0 M 型城市轨道交通信号系统列车定位技术浅析 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (5): 6-9.
Huang Xinyi. Train Positioning Techniques of

L Z B 7 0 0 M Type Urban Rail Signal System [J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(5): 6-9.
[2] 杨丹枫, 殷君. 广州地铁 4、5 号线速度传感器的分析与应用 [J]. 机电工程技术, 2016, 45 (3): 114-118.
Yang Danfeng, Yin Jun. Analysis and Application of Speed Sensor in Guangzhou Metro Line 4 and 5 [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2016, 45(3): 114-118.
[3] 龙华伟, 顾永刚. LabVIEW 8.2.1 与 DAQ 数据采集 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
[4] 张峤. LabVIEW 虚拟仪器程序设计教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2021.
[5] 刘路刚. 测速电机安全接口模块分析 [J]. 铁道通信信号, 2011, 47 (5): 37-38.
Liu Lugang. Analysis of Tacho-Generator Safety Interface Module [J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(5): 37-38.
[6] 余成波, 陶红艳, 杨菁, 等. 数字信号处理及 MATLAB 实现 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
[7] 张旭东, 崔晓伟, 王希勤. 数字信号分析和处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.

(上接 58 页)

Metro Project Management Information System [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 82-86.
[7] 危泽长. 勘察设计企业数字化知识管理的探析 [J]. 福建建筑, 2021 (8): 132-136.
Wei Zechang. Exploration and Analysis of Digital Knowledge Management in Survey and Design Enterprises [J]. Fujian Architecture & Construction, 2021(8): 132-136.
[8] 王睿, 石佳杭, 薛钰霖. 勘察设计行业企业分支机构综合管理系统建设方法研究与实践 [J]. 工

程建设与设计, 2021 (21): 9-12.
Wang Rui, Shi Jiahang, Xue Yubin. Research and Practice on the Construction Method of Integrated Management System for Enterprise Branches in Survey and Design Industry [J]. Construction & Design for Engineering, 2021(21): 9-12.
[9] 祝波善. 疫情之下对勘察设计企业未来的思考 [J]. 中国勘察设计, 2020 (3): 82-85.
Zhu Boshan. Thoughts on the Future of Survey and Design Enterprises under the Epidemic Situation [J]. China Engineering & Consulting, 2020(3): 82-85.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.016

轨道交通无障碍快速检票系统解决方案

甘露¹, 张征²

(1. 中国信息通信研究院, 北京 100083;

2. 北京轨道交通路网管理有限公司, 北京 100101)

摘要: 轨道交通因为其快速、准点、运量大等特点, 正在成为乘客出行的首要选择。乘客的不断增多, 需要更多的检票机来实现乘客的进/出站服务。但受限于车站的土建条件, 不具备大范围增加检票机的条件。通过研究射频识别(RFID)技术特点, 并结合轨道交通自动售检票系统的建设情况, 提出一种基于射频识别技术及人脸识别技术的车站无障碍快速检票系统解决方案, 实现地铁乘客“无感”进/出站即无需进行刷卡动作便可进/出车站乘车的服务, 提升乘客服务质量。

关键词: RFID; 人脸识别; 检票系统

中图分类号: U293.2+2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0083-06

Solution for Barrier-free Fast Ticket Checking System for Rail Transit

Gan Lu¹, Zhang Zheng²

(1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100083, China)

(2. Beijing Metro Network Administration Co., Ltd., Beijing 100101, China)

Abstract: Rail transit is becoming the first choice for passengers thanks to its features of fast speed, punctuality and large capacity. With the continuous increase of passengers, more ticket gates are needed for their entry and exit at the station. However, due to the restraint of the civil construction conditions at the station, it is not possible to add ticket gates on a large scale. This paper studies the technical characteristics of Radio Frequency Identification(RFID), and considers the construction situation of automatic fare collection systems in rail transit. On this basis, it proposes a solution for barrier-free fast ticket checking system in stations based on the RFID and face recognition technologies. The proposed solution can achieve "senseless" entry and exit of subway passengers at the station, by allowing them to enter and leave the station without using the travel card, which improves the quality of passenger service.

Keywords: RFID; face recognition; ticket checking system

1 概述

收稿日期: 2022-08-10; 修回日期: 2024-01-31

第一作者: 甘露(1990—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 通信信息系统, 邮箱: 513148543@qq.com.cn.

本文基于 RFID 及人脸识别技术, 提出一种地铁车站乘客无障碍快速通行的检票方案, 实现地铁

乘客“无感”进/出车站乘车的服务。

乘客在进/出站乘坐地铁时，需通行无障碍检票通道，检票通道通过RFID技术快速识别出通行乘客所携带的车票信息，并依据相应票务规则，实现乘客的进/出站服务。同时为提高乘客的通行效率，解决乘客未携带车票或者未识别车票乘客的进/出站，本方案利用人脸识别技术作为乘客检票的辅助手段，利用RFID+人脸识别技术两种检票方式，满足乘客顺利进/出车站的需求。

采用无障碍进站乘车方式，乘车行为的监控管理十分的重要。为规范乘客的乘车行为，本方案在检票通道区域设置的人脸识别摄像头不仅可以完成人脸识别进/出站功能，还可监控乘客的进/出站情况，对乘客乘车行为进行监控管理，引导乘客诚信乘车。

2 RFID技术分析

2.1 技术介绍

RFID是一种利用无线电射频信号耦合传输的特性，在读写器和标签之间进行非接触双向数据传输以达到目标识别和数据交换目的的技术。基本工作原理：在标签进入磁场后，接收解读器发出的射频信号，凭借感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的产品信息，或者主动发送某一频率的信号，解读器读取信息并解码后，发送至中央信息系统进行有关数据处理。

如表1所示，从分类上看，RFID技术根据

电子标签工作频率的不同，通常分为低频系统（125 kHz、134.2 kHz）、高频系统（13.56 MHz）、超高频（860 ~ 960 MHz）和微波系统（2.45 GHz、5.8 GHz）。低频和高频系统的特点是阅读距离短、阅读天线方向性不强等，其中，高频系统的通讯速度也较慢。两种不同频率的系统均采用电感耦合原理实现能量传递和数据交换，主要用于短距离、低成本的应用。超高频、微波系统的标签采用电磁后向散射耦合原理进行数据交换，阅读距离较远（可达十几米），适应物体高速运动，性能好；阅读天线及电子标签天线均有较强的方向性，但系统标签和读写器成本都比较高。

根据电子标签供电方式的不同，电子标签又可分为无源标签（Passive Tag）、半有源标签（Semi-Passive Tag）和有源标签（Active Tag）3种。无源电子标签不含电池，它接收到读写器发出的微波信号后，利用读写器发射的电磁波提供能量，无源标签一般免维护，重量轻、体积小、寿命长、较便宜，但其阅读距离受到读写器发射能量和标签芯片功能等因素限制；半有源标签内带有电池，但电池仅为标签内需维持数据的电路或远距离工作时供电，电池能量消耗很少；有源标签工作所需的能量全部由标签内部电池供应，且它可用自身的射频能量主动发送数据给读写器，阅读距离很远（可达30 m），但寿命有限，价格昂贵。

2.2 技术发展情况

1) 政策支持

表1 RFID技术指标

Tab.1 Technical indicators of RFID

对比项	低频 (30 ~ 300 kHz)	高频 (13.56 MHz)	超高频 (900 MHz)	微波 (2.45 GHz)
通信方式	电感耦合方式		电磁发射方式	
读取距离 /m	< 0.1	< 1	10	2
卡片类型	无源卡、半有源卡、有源卡			
工作能力	主动、被动发射			
防冲突能力	> 20 张 /3 s			
存储区大小 /B	> 128			
使用环境	高，粉尘、金属无法穿透			
防伪性	高，不可复制			

国家颁布的《2006-2020 年国家信息化发展战略》和《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020)》都阐述了发展 RFID 产业重要性,指出推动 RFID 技术发展可增强国内信息产业的国际竞争力、推动建设创新型国家;科技部发表了《中国射频识别技术政策白皮书》,国家还设立了专项基金支持 RFID 产业发展,为 RFID 产业发展奠定了良好的政策、经济环境。

2) 应用现状

RFID 技术的应用领域广泛,从物流管理到资产跟踪、防伪识别、公共安全管理、车辆管理到人员管理等都充满了巨大商机。目前 RFID 技术在国内交通管理、物流、食品安全、重要资产的跟踪、防伪等领域开始应用。在交通领域,目前主要应用于车辆自动识别、车辆管理和车辆定位等方面。

2.3 技术工程应用分析

通信技术没有优劣之分,它们各自有其优缺点并适合用在不同的生活场景当中。在地铁车站这种空间较小、人员较密集的场所,需要天线及电子标签天线均有较强的方向性,同时读取距离不宜过长,因此宜采用微波频率搭建 RFID 系统。同时地铁作为一种日常出勤方式,车票使用频率高,需要随身携带,因此车票(电子标签)宜采用无源或者半有源卡片进行设计。

同时 RFID 技术应考虑地铁系统的建设情况,乘客进站通过的 RFID 设备可与地铁安检设备一体化设计,实现 AFC 与安检系统的融合。人脸识别摄像机可由地铁视频监控系统提供。

3 无检票机进/出站方案设计

为满足乘客无感进/出车站,本方案在车站站厅层不再设置传统的检票机形式引导乘客进/出车站,而是依托于 RFID 技术设置无障碍检票通道,辅助人脸识别技术,完成乘客的进/出站动作。同时对乘客进/出站乘车行为进行监控管理。

无障碍检票通道主要由发射天线、读卡器、人脸识别摄像头和声光电提示设备等构成,如图 1 所示。

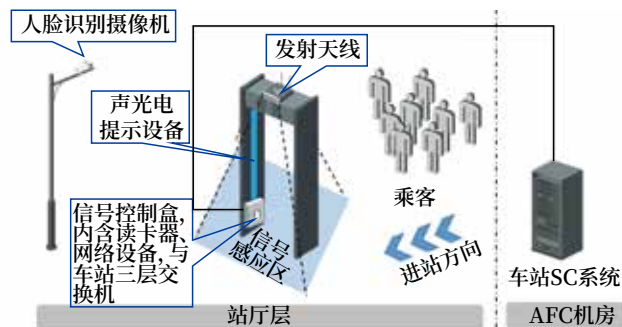


图1 无障碍通道示意

Fig.1 Schematic diagram of barrier-free access

3.1 发射天线

发射天线发射电磁波,为无源票卡提供能量,为实现读写票卡信息提供基础条件。同时在乘客进/出站方向形成一个立体检票区域。在这个区域之内,乘客进/出站过程中,系统快速识别出乘客携带的车票信息,并对相应车票进行读写操作,记录乘客的进/出站信息。将车站的进/出站信息上传至车站控制中心系统进行相应操作。

感应区的大小与天线面积大小及电磁波发射功率有关;一般来说,天线发射面积越大,功率越高,则感应区域越大,读写距离越远。

在保证电磁波辐射对人体无害的前提下,根据天线覆盖面积需求,确定天线的尺寸及额定功率。

3.2 读卡器

读卡器的主要功能是对乘客携带的车票信息进行读写操作。

乘客在进站通过感应区时,读写器会对乘客携带的车票信息进行读取,当乘客所携带的车票满足乘车条件时,读写器会对该车票进行进站记录,并将进站信息上传至车站控制中心系统。如乘客未携带车票或车票信息无法读取,则生成相应指令启动人脸识别进/出站服务。

乘客在出站通过感应区时,读写器会对于乘客所携带的车票进行进站信息读取,如果车票具备进站信息,则将该车票进/出站信息上传至车站控制中心,车站控制中心进行乘车结算,并将相应信息上传至线路控制中心。如果车票没有进站信息,则将该车票视为无效车票,生成相应指令启动人脸识别

别进 / 出站服务。

3.3 人脸识别摄像机

人脸识别摄像头主要完成进 / 出站服务和乘车行为监控两部分工作。当乘客正常进 / 出车站时，系统通过 RFID 技术识别乘客的车票信息，并依据票务规则进行进 / 出站服务。此时人脸识别摄像机主要完成乘车行为监控工作。但当乘客未携带车票或车票未识别，人脸识别技术将作为辅助进 / 出站乘车手段，完成进 / 出站服务。

1) 乘车行为监控功能

考虑到乘客是无障碍进站乘车，乘客乘坐地铁时，可能存在未携带车票直接进站乘车的情况。因此本方案推荐采用人脸识别技术作为乘客逃票监控管理措施。

乘客在进站时，如无携带车票，首先读写器会将无效车票信息上传至线路控制中心，无障碍通道声光电设备通知运营人员。同时该乘客在通行时，无障碍通道的人脸识别摄像机将对该乘客的面部信息进行拍摄，同时将该乘客的面部信息上传至系统的逃票乘客信息库。为保证逃票乘客的面部信息可以拍摄完成，在无障碍通道上设置多个摄像头、多角度地拍摄乘客面部信息，以保证获取逃票乘客面部信息。

2) 进 / 出站服务功能

为实现人脸识别进 / 出站服务，系统应先采集乘客的人脸信息，建立人脸信息库。并在线路控制中心和车站控制中心服务器内存储人脸信息库。

人脸信息采集方式可采用车站现场指定设备（如人脸信息采集器）采取或者通过地铁官方 APP，乘客自主上传方式。

当乘客未携带车票或者车票未被识别情况下，无障碍检票通道的读写器未读取到车票信息，将生成相应指令，系统将启动人脸识别进 / 出站服务。通过多个、多角度人脸识别摄像头的拍摄，提取当前乘客的面部信息数据，将乘客的面部信息数据与车站控制中心的人脸信息库进行比对。如该乘客在人脸信息库已经注册，满足乘车条件，则提示该乘

客可进行进 / 出站。反之，提示该乘客不可进 / 出站，等待工作人员处理。

3.4 声光电提示设备

声光电提示设备主要由灯光带和蜂鸣器组成。

读卡器针对类型匹配的有效票卡，读取票卡行为，形成读取信号，并让灯光带根据不同信号在灯光带上进行显示，如通过显示持续绿色、未通过显示持续红色、可以通过显示蓝色跳闪动态箭头、禁止通过显示跳闪红色等。在乘客非法通过无障碍通道时，蜂鸣器会播出相应信息。

4 业务流程设计

4.1 进站流程设计

1) 进站开始判断条件：（乘客走向安检门，途中经过至少 2 ~ 3 个感应器，感应器发生信号的时间连贯性用于判断乘客行走方向，方向判别成功则进站流程开始）在乘客进入安检门进行安检时，同时踏入识别卡感应天线扫描范围。

2) 在安检门顶部适当位置，放置识别卡感应天线：在乘客接受安检（一般耗时 2 ~ 3 s）的同时，扫描乘客身上的识别卡，并把相应信息传递到指示板；提前缓存该卡信息并进行各种判断处理，在乘客进入通道后增加新的进站记录；进站流程结束。

3) 如果没有感应到正确的识别卡，或者金额不足，无障碍通道读写器生成相应指令启动人脸识别进 / 出站服务，如在人脸信息库中查询到该乘客信息且该乘客满足乘车条件，则提示乘客进站乘车。反之，则应有告警显示乘客需等待工作人员进行处理。

在乘客进站读取识别卡的当前卡号、余额等信息时，读取该卡最后一条消费记录，判断是否为地铁出站记录，用于判断该卡的上次交易是否完整；上次交易记录完整情况下，才能增加一条新的地铁进站记录；否则要进行异常处理，具体措施需按照运营组织规定执行。

4.2 出站流程设计

出站开始判断条件：无（即无障碍通道内侧的识别卡感应天线随时准备读卡，流程始终处于自动

开始状态)。

乘客通过出站无障碍通道时,由无障碍通道顶部的识别卡感应天线,扫描乘客身上携带的识别卡,并在乘客走出无障碍通道之前,读进站记录、读票价表、读折扣率、计算消费额、扣除余额、写新出站记录,出站记录写完后提示正常通行;未写完则有告警显示,无障碍通道读写器生成相应指令启动人脸识别进/出站服务,如在人脸信息库中查询到该乘客信息且该乘客满足乘车条件,则提示乘客可出站。反之则应有告警显示乘客需等待工作人员进行处理,如乘客继续出站,系统会将乘客的面部信息上传至逃票乘客信息库;流程自动结束。

在乘客出站读取识别卡的当前卡号、余额等信息时,读取该卡最后一条消费记录,判断是否为当天地铁进站记录;如果是当天地铁进站记录,才能进行计算、扣款、写新出站记录等;否则要进行异常处理,具体措施需按照运营组织规定执行。

5 工作模式

工作模式是指检票系统可以在不同任务需求情况下进行检票的逻辑方法。在具体设计时,需要同时考虑车站一级、设备一级的工作模式是否符合车站的运输组织需要。在不同的运输组织需要情况下,车站可以采用不同的工作模式进行检票。

工作模式可以区分为站级、设备级:一般包括正常工作模式、紧急模式、故障模式、降级模式、暂停运营模式和其他模式6种。具体工作模式可根据地铁运营实际需求确定。

6 结束语

随着乘客对于美好出行的愿望越来越强烈,快速、便捷、智慧化的乘客服务是未来地铁运营企业的追求目标。本文提出的RFID+人脸识别的技术方案,最大限度实现了乘客无感进/出站的服务,为未来自动售检票系统的建设提供了一种解决方案。

参考文献

- [1] 黄玉兰. 物联网射频识别(RFID)核心技术详解[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.
- [2] 王成,史天运,蒋秋华,等. 基于移频识别技术的铁路长期票和储值卡应用[J]. 铁路计算机应用,2008,17(5):35-38.
Wang Cheng, Shi Tianyun, Jiang Qiuhua, et al. Application of Perennial Ticket and Storage Card to China Railway Passenger Transport System Based on RFID[J]. Railway Computer Application, 2008, 17(5): 35-38.
- [3] 王志华,史天运. 射频识别技术(RFID)在交通领域的应用现状[J]. 交通运输系统工程与信息,2005,5(6):96-99.
Wang Zhihua, Shi Tianyun. The Current Application Situation of Radio Frequency Identification(RFID) in Transportation[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2005, 5(6): 96-99.
- [4] 李道全. 城市轨道交通AFC系统支付方式现状及发展[J]. 都市快轨交通,2016,29(1):59-62.
Li Daoquan. Situation and Development of AFC System Payment Methods in Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016, 29(1): 59-62.
- [5] 郭君霞,韩雪松,崔秀琦. 地铁AFC支付方式现状及移动支付安全性探讨[J]. 科技创新与应用,2017(31):10-11,13.
Guo Junxia, Han Xuesong, Cui Xiuqi. Discussion on the Current Situation of AFC Payment Method in Subway and the Security of Mobile Payment[J]. Technology Innovation and Application, 2017(31): 10-11, 13.
- [6] 涂晓燕. 城市轨道交通自动售检票系统的演进探析[J]. 铁道运营技术,2020,26(4):61-63.
Tu Xiaoyan. Analysis of Evolution of Urban Rail Transit Automatic Ticket Sale and Check System[J]. Railway Operation Technology, 2020, 26(4): 61-63.

[7] 李郁, 张东辉. 城市轨道交通 AFC 监视中心系统方案的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (7): 55-59.
Li Yu, Zhang Donghui. Research on Scheme of AFC Monitoring Center System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(7): 55-59.

[8] 王照华, 张莉, 周麟真, 等. 城市轨道交通 AFC 终端设备智能化管控 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (11): 82-88.
Wang Zhaohua, Zhang Li, Zhou Linzhen, et al. Research on Intelligent Control Model of AFC Terminal Equipment for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 82-88.

[9] 何泉勃. 市域铁路公文化运营客票系统设计

方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (6): 77-82.
He Quanbo. Discussion on Design Scheme of Passenger Ticket System of Public Transport Operation for Suburban Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6):77-82.

[10] 孟凡琛, 翟熙. 大兴机场线草桥站快速换乘检票方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (4): 77-81.
Meng Fanchen, Zhai Xi. Discussion on Scheme of Fast-Transfer Ticket Check for Caoqiao Station of Beijing Daxing International Airport Express[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(4): 77-81.

(上接 46 页)

[8] 刘刚, 杨轶杰. 基于等级保护 2.0 的铁路网络安全技术防护体系研究 [J]. 铁路计算机应用, 2020, 29 (8): 19-23, 27.
Liu Gang, Yang Yijie. Research on Technical Systems of Railway Network Security Based on Classified Protection 2.0 of Cybersecurity[J]. Railway Computer Application, 2020, 29(8): 19-23, 27.

[9] 李想, 赵京京. 铁路信号安全数据网网络管理系统优化方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (12): 26-30.
Li Xiang, Zhao Jingjing. Research on Optimization Scheme of Network Management System for Railway Vital Signaling Data Networks[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 26-30.

[10] 许文渊. 基于 SSL VPN 协议的客户端安全接入

应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (2): 35-37.
Xu Wenyuan. Application of Security Access of Service Terminals Based on SSL VPN Protocol[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 35-37.

[11] 董玉圻. 基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 33-39.
Dong Yuqi. Transmission Delay Control Method of Railway Communication Networks Based on Neural Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 33-39.

[12] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 信息安全技术网络安全等级保护测评要求: GB/T 28448-2019 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.017

信号机房施工工厂化预制技术要点探究

刘佳欣

(通号工程局集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 信号机房施工包括大量线缆布放和焊线工艺, 在既有线改造工程、海外工程、恶劣环境工程施工往往面临工期紧、用工难、物资匮乏、施工环境差等施工难题。对信号机房施工制约因素进行分析, 通过传统施工模式与工厂化施工模式进行对比, 直观介绍信号机房施工工厂化预制技术的主要技术要点。信号机房施工工厂化预制技术可在不改变既有联锁关系和控制电路的基础上, 通过调整组合排布和配线节点, 改装机柜设备布线方式, 以机柜为单元进行定型生产, 在施工现场进行柜间集束化和插接化施工。通过这种模块化、统一化、插接化、集束化的装配式施工, 可极大简化施工现场配线、调试工作, 有效缩短现场施工工期, 从而在低施工成本的同时保障施工安全。

关键词: 信号机房; 工厂化预制; 模块化; 插接化; BIM技术; 集束

中图分类号: U282+.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0089-06

Discussion of Key Aspects of Factory Prefabrication Technology in Signal Equipment Room Construction

Liu Jiaxin

(China Railway Signal & Communication Engineering Bureau Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: Signal equipment room construction involves a significant amount of cable laying and welding, and often faces such challenges as tight timeline, labor shortage, limited resources and poor construction environment in the case of retrofitting projects of existing lines, and projects in overseas markets and harsh environments. This paper analyzes the constraining factors in signal equipment room construction, and provides a visual comparison between the traditional construction method and the factory fabrication method to introduce the key technical aspects of the factory prefabrication technology in signal equipment room construction. The factory prefabrication technology for signal equipment room construction adjusts the equipment layout and wiring nodes, modifies the wiring method of cabinet equipment without changing the existing interlocking relationships and control circuits. Thus, it allows standardized production at the factory with cabinet as the basic unit, as well as inter-cabinet construction at the construction site featuring bundling and plug-and-play. The proposed

收稿日期: 2023-09-08; 修回日期: 2024-02-06

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司重大课题项目(K2023G05)

作者简介: 刘佳欣(1982—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: liujiaxin@crsc.cn。

factory fabrication method, which features modularization, standardization, plug-and-play and bundling, can greatly simplify the on-site wiring and debugging work, and effectively reduce the on-site construction time, to ensure construction safety at low construction costs.

Keywords: signal equipment room; factory prefabrication; modularization; plug-and-play; BIM technology; bundling

1 概述

铁路信号机房集中布设大量设备, 资产价值高, 对列车运行控制和行车指挥影响大。铁路信号机房施工工点位置相对较少, 主要分布在车站、中继站、线路所、基站、所亭等, 然而信号机房施工占弱电工程总体施工量约 35%, 传统施工模式下, 信号设备房屋具备安装条件后, 安装机柜、配线、导通、安装设备、单机调试、室内模拟试验等, 一般需 45 ~ 60 天。主要原因是机房施工中包括大量线缆布放和焊线工艺, 机房施工对整体工程质量控制要求高、份量重、现场用工量大、施工人员密集、安全风险高及技术难度大。尤其在既有线改造工程、海外工程、恶劣环境工程施工中存在工期紧、用工难、物资匮乏、施工环境差等施工难题。

2 信号机房施工制约因素分析

信号机房施工包含机柜组立、走线架安装、线缆布放和机柜配线, 施工完成后进行导通测试和联锁试验。在工程建设中, 往往存在以下几个问题。

1) 现场布线配线工作量繁重。信号机房现场布线配线需耗费大量的技术人工, 尤其组合柜配线采用焊线工艺, 技术难度高、用工量大、施工周期较长。

2) 施工工期易受机房条件制约。新建铁路面临交房滞后的风险, 既有线改造受天窗点制约, 外界因素严重影响工期节点。

3) 施工质量对现场环境和技能水平依赖高。组合柜焊线操作技能门槛高, 虽然可以通过加大力度培养高技能人员, 但施工现场条件较差, 手工焊线质量难以保证, 可能存在一定的质量隐患。

4) 施工安全存在风险隐患。新建机房室内施工

中, 焊线工艺需要连接临时电源或使用发电机, 存在火灾隐患, 作业人员使用烙铁存在烫伤风险。

5) 设备调试验证受制约。设备调试和联锁试验现场工作量大, 验证时间长, 设备加电调试必须使用正式电源, 受新建铁路送电时间影响, 可能会影响设备调试和联锁试验的正常进行。

3 信号机房施工工厂化技术应用目标

适当改变现有工程设计思路, 以工厂化预装预配、装配式现场施工为目标, 在不改变既有联锁关系和控制电路的基础上, 通过调整组合排布和配线节点, 改装机柜设备布线方式。以机柜为单元进行定型生产, 施工现场进行柜间集束化和插接化施工, 最终建立一套涵盖设备选型、工程设计、施工安装、设备调试和运营维护等完整流程的信号机房施工工厂化预制新模式。极大简化施工现场配线、调试工作量, 提高信号机房施工安装和运营维护质量和效率, 为中国铁路高质量发展和高铁“走出去”倡议提供技术支撑。

4 信号机房施工工厂化技术要点

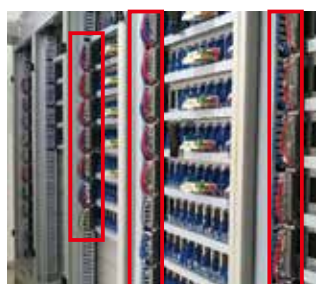
信号机房施工工厂化技术要点主要包括组合柜模块化、移频柜接口插接化、综合柜接口插接化、取消接口柜、电源屏输出分路设置、布线工艺与 BIM 应用等。

4.1 组合柜“模块化”

组合柜是信号机房内设备最多、配线最多、施工工艺最难、工程量最大的设备。一般分为站内组合柜、区间组合柜、监测组合柜、接口柜 4 种组合柜, 分别应用于联锁、自闭、监测和连接功能。

4.1.1 组合柜布局优化

组合柜可视为组合的“容器”，通常以组合为单位对其进行填充，根据填充后的主要功能综合使用。传统施工根据组合需求数量尽可能利用充足组合柜空间，多种不同组合在一个组合柜，继电器、变压器等设备非常集中。工厂化施工形成定型组合柜，不同组合柜有着定型的组合，设备分类清晰。研究设置定型组合柜，配套零散组合柜用以满足零散电路多变的需求。



(a) 传统组合柜配线及架间配线
(a) Traditional wiring of combination cabinet and between racks



(b) 工厂化组合柜配线及架间配线
(b) Factory fabricated wiring of combination cabinet and between racks

图1 组合柜配线及架间配线对比

Fig.1 Comparison of wiring of combination cabinet and between racks

4.1.3 组合柜架间配线插接化

组合柜架间配线主要为电源配线、电路条件传输配线，其配线工作量最大、施工工艺质量最难控制。传统施工中电源线配线组合柜端采用冷压线环、缠绕线环、万可端子插接方式连接。工厂化施工中新设接口层，取消侧面端子，如图1所示。依据配线技术要求和数量，选取合适的插接装置和集束线缆。

4.1.4 改扩建预留

信号工程改扩建时，室内设备增减引起相应电路修改。传统施工改扩建时按需增减组合或组合柜，增减柜内、架间相关配线。工厂化施工中增加轨道、道岔、信号机时适当利用预留空位，当插接装置满配时，可通过电缆空余芯线满足架间通道需求。如图2所示。组合柜预留适当插接空位，当插接装置预留芯不满足时，可增加柜间电缆实现改扩建电路需求。

4.1.5 屏蔽线接地设置

ZPW-2000A 传输通道采用双芯扭绞屏蔽线缆，其屏蔽层应进行单端接地连接。屏蔽线连接为“综

4.1.2 取消组合侧面端子

传统施工由组合内部配线通过继电器接点引至本层组合侧面端子背部，施工单位从侧面端子的正面进行配线连接；电路图、配线图均有侧面端子号标识。工厂化施工中不再需要组合侧面端子，通过组合内部配线由继电器接点引至另一处继电器接点。组合柜内部配线图、电路图直接显示配线继电器接点号。需测量或导通时，可直接测试继电器接点，如图1所示。

合柜→组合柜→移频柜”，因此一般在组合柜端进行



图2 插接装置预留示意

Fig.2 Schematic diagram of reservation of plug device

屏蔽层接地连接。传统施工中组合柜侧屏蔽线内屏蔽网开剥后，留2~3 cm内屏蔽网使用绿黄地线环连后接至组合柜柜体。工厂化施工中集束屏蔽线电缆制作成端，留2~3 cm内屏蔽网使用绿黄地线引出，所有集束屏蔽线环连后接至组合柜柜体。

4.2 移频柜接口插接化

区间、站内移频柜主要应用于ZPW-2000A轨道电路，并监测轨道电路数据。移频柜架间配线有组合柜配线、电源配线、熔丝报警配线、列控数据

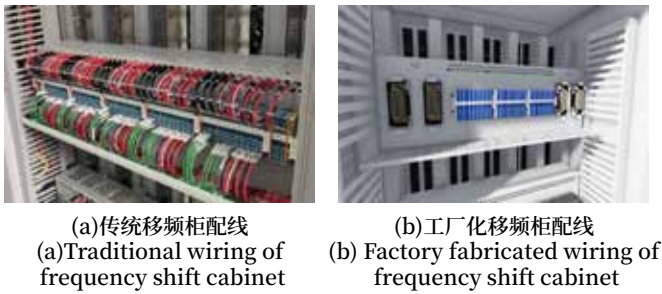


图3 移频柜对比示意

Fig.3 Schematic diagram of comparison of frequency shift cabinets

CAN 线、接地连接等。

4.2.1 移频柜至组合柜配线

传统施工中移频柜至组合柜配线主要有两种配线。一种是用于轨道电路传输通道的屏蔽线，使用双芯扭绞屏蔽线，移频柜侧为万可配线端子。另一种是用于 GJ、FQJ、熔丝报警的配线，移频柜侧为万可端子。工厂化施工中采用集束双芯扭绞屏蔽线电缆并新增插接件，采取插接式连接方式，屏蔽线内屏蔽网接地在组合柜配线侧接地，如图 3 所示。

4.2.2 移频柜至列控机柜配线

传统施工中移频柜至列控机柜 CAN 线，列控机柜端采用两芯圆型插接件，移频柜侧采用万可端子配线方式。工厂化施工中双端均采用圆型插接件连接，如图 4 所示。

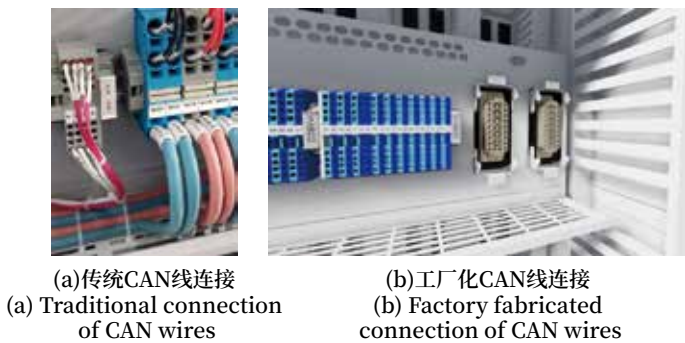


图4 CAN线连接对比

Fig.4 Comparison of connection of CAN wires

4.3 综合柜接口插接化

区间、站内综合柜主要应用于 ZPW-2000A 轨道电路传输，并监测轨道电路数据。综合柜相关连接配线有室外电缆、组合柜配线、信号集中监测配线、熔丝报警配线、数据监测 CAN 线、数据监测

电源配线和接地连接等。

4.3.1 综合柜设备布局

传统施工综合柜设模拟网络 9 层，每层安装 3 个区段的设备，整柜体设置 1 个零层。工厂化施工综合柜设模拟网络 8 层，每层结构不变，整柜体设置 1 个零层和 1 个接口层。

4.3.2 综合柜至组合柜配线

传统施工采用双芯扭绞屏蔽线，JS 与 FS 分色分把布放，综合柜侧零层配线端子为 18 孔万可配线端子。工厂化施工采用集束双芯扭绞屏蔽线电缆，在新增接口层 (J) 设置插接件，采取插接式连接方式。屏蔽线内屏蔽网接地在组合柜配线侧接地，如图 5 所示。

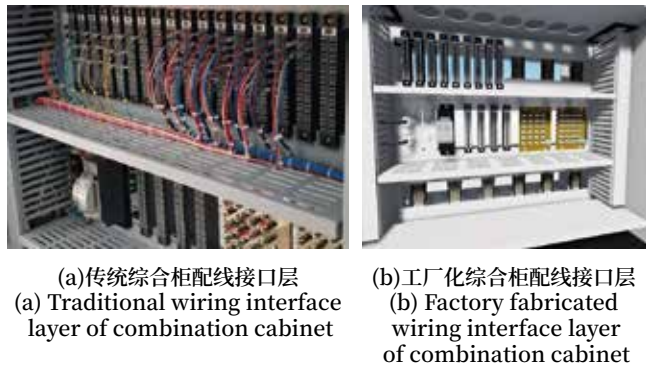


图5 综合柜配线接口层对比

Fig.5 Comparison of wiring interface layer of combination cabinet

4.3.3 综合柜至排架灯和列控机柜配线

传统施工采用冷压插针或缠绕线环，配线至断路器底座背部和综合柜零层万可端子板。工厂化施工分别设置排架报警和 CAN 线插接接口，采用插接连接器进行连接，如图 6 所示。

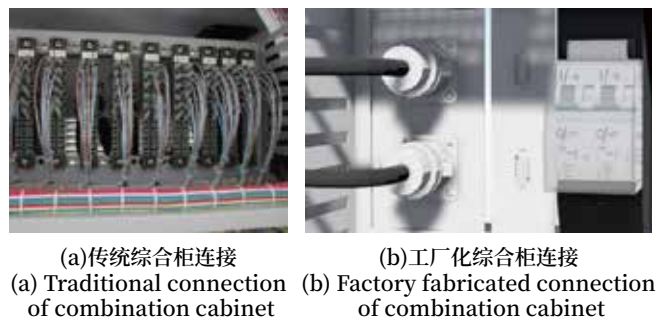


图6 综合柜连接对比

Fig.6 Comparison of connection of combination cabinets

4.4 节省接口柜

接口柜主要有联锁接口层、列控接口层，一般合并设置在一个接口柜，用于联锁列控驱动和采集。传统施工中联锁、列控驱采机柜机笼处通过驱采缆插接方式连接至接口柜，接口柜正面采用航空插头插接方式连接联锁列控驱采机柜。工厂化施工重新排列驱采表，使联锁列控机柜每块驱采板对应的组合柜相对集中，节省接口柜，如图7所示。



(a)传统接口柜 (b)工厂化接口柜
(a) Traditional interface cabinet (b) Factory fabricated interface cabinet

图7 接口柜对比
Fig.7 Comparison of interface cabinets

4.5 机柜内置接地端子

室内设备接地主要分为电缆金属护套接地、电源防雷接地、传输通道防雷接地、安全保护接地4种。传统施工中各机柜根据不同用途，设置不同样式、不同规格的接地排或接地螺栓。工厂化施工根据接地分类及机柜需求，增设统一规格、材质接地端子。柜内接地统一设置对外接口，实现柜内、柜外接地线区分。

4.6 BIM应用于线缆预制和布线规划

信号机房配线径路错综复杂，线缆规格型号繁多。传统施工利用CAD图规划机柜摆放位置，绘制走线示意图。工厂化施工利用BIM技术建造真实、准确机房环境模型，机房内所有专业设备统筹建模规划，通过BIM进行技术交底，明确关键施工控制点。

4.7 集束电缆和插接件的应用

各类机柜工厂化后，柜间配线相对较为稳定，

针对柜间配线少的情况，设置小芯数集束电缆和插接件。根据柜间配线技术要求，设置不同芯数集束电缆。依据配线用途，对线缆外护套区分不同颜色。根据柜间配线数量、配线的线径、去向不同，设置一对一、一对多形式分歧线缆插接件。

5 结束语

新时代铁路建设逐步从规模速度向质量效益转变，对铁路信号机房施工开展工厂化预制技术研究。以工厂化预装预配、装配式现场施工为目标，不改变原有电路原理及设备性能，通过模块化、统一化、插接化、集束化、装配式等工程设计创新、工程施工工序创新、工艺创新，研究将传统施工现场作业中劳动密集度高、风险隐患高的作业（如焊线、线缆布放、成端等）取消、优化或尽量多地前置到工厂化预制阶段固化工艺，通过机柜改装，柜内配线优化设计，BIM指导下精准机房布局、线缆预制和工艺规划，采用设备机柜与应用系统分离布局的模式等一系列技术革新。能够显著化解当前机房施工中的质量安全风险，通过技术革新，大幅缩短现场工期，提高工程施工效率，稳定固化施工工艺，保障工程安全质量，同时，改善后的预配施工作业环境，为进一步推行建筑工业化和智能建造奠定基础。

参考文献

- [1] 高建峰. 铁路既有线信号工程施工技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
- [2] 陈宝军. 图解铁路通信与信号工程施工安全 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [3] 王春. 高速铁路信号工程施工阶段接口管理与分析 [J]. 科技展望, 2015, 25 (24): 19-20.
Wang Chun. Interface Management and Analysis of High-Speed Railway Signal Engineering in Construction Stage [J]. Science and Technology, 2015, 25(24): 19-20.
- [4] 李嘉懿. 《高速铁路信号工程施工介入管理手

- 册》正式出版 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (3): 58.
- [5] 李忠科. 高速铁路信号施工技术管理探讨 [J]. 通讯世界, 2018 (7): 19-20.
Li Zhongke. Discussion on Technical Management of High-Speed Railway Signal Construction[J]. Telecom World, 2018(7): 19-20.
- [6] 姚最胜. BIM技术在高速铁路信号施工中的应用分析 [J]. 通讯世界, 2022, 29 (6): 187-189.
Yao Zuisheng. Application Analysis of BIM Technology in High-Speed Railway Signal Construction[J]. Telecom World, 2022, 29(6): 187-189.
- [7] 梁朝辉, 马章. 关于铁路信号施工图设计与审核的思考 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (10): 109-114.
Liang Zhaohui, Ma Zhang. Thoughts on Construction Detail Design and Review of Railway Signal Engineering[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 109-114.
- [8] 申慧军. 铁路信号施工技术应用及施工要点探讨 [J]. 工程建设与设计, 2019 (20): 163-164.
Shen Huijun. Discussion on the Application of Railway Signal Construction Technology and Key Points of Construction[J]. Construction & Design for Engineering, 2019(20): 163-164.
- [9] 高建. 高速铁路信号施工技术管理要点探究 [J]. 企业导报, 2016 (14): 42.
Gao Jian. Discussion on Key Points of Technical Management of High-Speed Railway Signal Construction[J]. Guide to Business, 2016(14): 42.

行业信息

美国企业与日本企业合作使用人工智能技术进行轨道检查

美国企业与日本企业开展铁路领域的合作, 使用人工智能技术进行轨道检查, 这项合作涉及加利福尼亚州的一家企业和日本旅客铁道株式会社的一家子公司。

先进微型设备有限公司 (Advanced Micro Devices Inc.) 宣布, 与日本旅客铁道株式会社下属企业九州旅客铁道株式会社开展合作, 使用 AMD Kria K26 系统改进铁路轨道检查流程。这种解决方案基于人工智能技术, 旨在帮助这家日本高速铁路运营单位在巨大的铁路网络上提升安全检查的效率和精度。

九州旅客铁道株式会社管理全长超过 1 455 英里 (折合 2 340 km) 的网络, 此前采用人工方式检查钢轨。为了提升安全性, 现在使用安装在钢轨旁的计算机。这种计算机使用 AMD Kria K26 系统级模块, 具有快速图像处理以及先进人工智能功能, 可以识别螺栓松动等轨道异常。

日本和美国企业开展铁路领域的合作, 促进技术进步。AMD Kria K26 系统级模块使用综合平台, 其中包括定制的 AMD Zynq UltraScale+ MPSoC 系统级芯片、DDR 内存和专门为了经久耐用并且适应九州旅客铁道株式会社的各种轨道系统条件设计的其他部件。应用这项技术标志着从使用过多依赖人工“巡检”的方法, 改为使用更加经济、高效的方法。

先进微型设备有限公司负责工业、医疗和科学市场的主管凯坦·科纳 (Chetan Khona) 指出, 九州旅客铁道株式会社应用 Kria 系统级模块说明人工智能技术具有将各种应用自动化并且优化的潜力。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘旻翻译自: www.railwaypro.com 2024-02-14)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.018

牵引供电馈线继电保护问题分析及应对措施

张翼翔, 武 骥

(国能朔黄铁路发展有限责任公司, 河北肃宁 062300)

摘要: 针对一起故障情况下牵引供电计算机保护拒动的案例, 通过全系统多角度对机车和计算机保护进行分析, 深究拒动产生的原因。通过计算、逻辑推演、模拟试验等多种方法对车辆机构、接触网、牵引保护定值、定值搭配的逻辑、一二次设备的运行情况进行分析, 经过分析找出拒动原因, 并对运行中存在的问题进行更正, 同时也为后续运维提供理论支撑。

关键词: 牵引供电微机保护; 拒动; 定值

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0095-06

Analysis and Countermeasures of Relay Protection Problems of Traction Power Supply Feeder

Zhang Yixiang, Wu Ji

(Guoneng Shuohuang Railway Development Co., Ltd., Suning 062300, China)

Abstract: This paper focuses on a case of missed action of microcomputer protection for traction power supply under fault conditions. It conducts an in-depth study on the causes of missed action through analysis of locomotive protection and microcomputer protection from multiple angles and for the whole system. It analyzes the vehicle mechanism, the catenary, the fixed values of traction protection, the matching logic of fixed values, and the operation situation of primary and secondary equipment, through such methods as calculation, logical deduction and simulation testing. On this basis, it identifies the causes of missed action through analysis, and corrects the existing problems in operation. Moreover, it provides theoretical support for operation and maintenance in the future.

Keywords: microcomputer protection for traction power supply; missed action; fixed value

牵引供电综合自动化系统对于保障铁路行车安全具有重要意义。馈线继电保护的灵敏性、可靠性、快速性、正确性如不能满足设备故障判断的要求, 极有可能引起接触网设备误动、拒动, 甚至对铁路现场工作人员的人身安全构成极大威胁。本文主要

针对一起接触网故障发生后, 牵引供电馈线保护装置拒动的案例进行原因分析, 并针对暴露出的问题, 提出有关措施和建议。

1 故障概况

1.1 故障经过

2018年3月21日, 某分区所某区间上、下行接触网并联断路器阻抗I段保护动作出口, 断路

收稿日期: 2023-08-11; 修回日期: 2024-03-04

第一作者: 张翼翔 (1968—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 牵引供电, 邮箱: shzyx88@163.com。

器跳闸将区间上、下行接触网解除并列运行，但对应变电所接触网馈线断路器保护未动作跳闸。54 s后，某次机车运行到下行 K126+500 处，B 节受电弓撞击悬吊于承力索上的压管和斜腕臂钢管，导致受电弓弓头、上框架断裂飞出，列车紧急制动后惰行 395 m 停车。供电调度通知司机临时处理 B 节受电弓，司机将 B 节受电弓下臂杆用铁丝固定于 B 节车顶上。供电专业人员经现场确认接触网可以送电后，机车升 A 节受电弓，机车头处接触网接地，并伴有严重拉弧和巨大声响。此时该馈线电流 1 000 余 A，馈线保护装置未动作，供电调度员通过远动系统紧急将变电所馈线断路器远动分闸。

1.2 设备基本参数

某牵引变电所主变压器为 V/V 接线，容量 16 000+25 000 kVA，一次侧额定电流 145.45/325.37/227.27 A，二次侧额定电流 581.82/1 301.48/909.09 A。主变压器低压侧和 214 馈线 CT 变比均为 1 250/5；27.5 kV 母线 PT 变比为 27 500/100。

某区间供电方式为复线直供，上/下行通过分区所并联运行，上、下行馈线不包含供电线全长均为 26.1 km，正线承力索型号为 LBGLJ-185，接触线型号为 GLCN-250。

2 故障原因分析

2.1 受电弓撞击接触悬挂原因分析

通过视频分析发现，故障发生前一只黄鼬攀爬至某区间下行 K126+500 处 328# 接触网下锚支柱斜腕臂的棒式绝缘子上，形成接触网→腕臂钢管→黄鼬→斜腕臂棒式绝缘子接地跳线→接触网回流线的接地短路回路。短路电流致使斜腕臂棒式绝缘子炸裂、接地跳线烧断。在接触网张力和弧光短路电流的共同作用下，压管棒式绝缘子随即断裂，压管和斜腕臂钢管脱离接地悬吊于承力索上。因变电所馈线断路器未跳闸，某区间下行接触网仍然有电，导致机车运行到此处时，B 节受电弓撞击悬吊于承力索上的压管和斜腕臂钢管。

2.2 接触网二次接地原因分析

司机处理 B 节受电弓后未将 B 节切除，当机车

升起 A 节受电弓后，致使接触网通过机车接地。接地回路为：接触线→A 节受电弓→车顶导电杆→B 节受电弓下臂杆→B 节车外壳→钢轨。

2.3 第一次接地馈线断路器拒动原因分析

1) 距离保护未动作原因分析

某区间馈线设两段距离保护，其中 I 段距离保护中的电抗定值按照不超过分区所断路器范围整定，如公式 (1) 所示。

$$X_{DZ1} = K_K(L_0 X_0 + L_1 X_1) n_{CT} / n_{PT} \quad (1)$$

公式中： K_K 为可靠系数，取 1.2； L_0 为供电线长度； X_0 为供电线单位电抗； L_1 为接触网长度； X_1 为接触网单位电抗； n_{CT} 为电流互感器变比； n_{PT} 为电压互感器变比。

电阻定值按照躲过最小负荷阻抗整定，如公式 (2) 所示。

$$R_{DZ1} = U_{\min} / K_K \times I_{f\max} \times (\cos\theta_f - \sin\theta_f / \tan\theta_L) n_{CT} / n_{PT} \quad (2)$$

式中： U_{\min} 为母线最低工作电压； K_K 为可靠系数，取 1.2； $I_{f\max}$ 为最大负荷电流； θ_f 为负荷阻抗角； θ_L 为线路阻抗角； n_{CT} 为电流互感器变比； n_{PT} 为电压互感器变比。

II 段距离保护中的电抗定值按照保护上、下行全长整定，如公式 (3) 所示。

$$X_{DZ2} = 2K_K (L_0 X_0 + L_1 X_1) n_{CT} / n_{PT} \quad (3)$$

电阻定值与 I 段相同。实际 I 段距离保护定值为电阻 7.08 Ω 、电抗 6.13 Ω ，II 段距离保护定值为电阻 7.08 Ω 、电抗 17.09 Ω 。

根据巡视反馈接触网第一次接地位置故标为 25.99 km，为下行馈线末端，按照保护原理，II 段距离保护应启动并按时限要求切除故障点。但由于短路电流通过黄鼬造成弧光接地，接地电阻较大，保护装置测量的电阻值为 15.24 Ω 、电抗值为 7.39 Ω ，短路阻抗角为 25.8°。虽然电抗值小于 II 段距离保护动作电抗整定值，但电阻值大于 II 段距离保护动作电阻整定值，短路阻抗值落在了保护装置动作区外，故 II 段距离保护不能启动。

2) 低电压启动过电流保护未动作原因分析

馈线设低电压启动过电流保护, 保护范围为馈线全长。过电流二次动作整定值为 7.2 A (折算至一次侧电流为 1 800 A), 低电压二次动作整定值为 65 V (折算至一次侧电压为 17.9 kV)。

接触网第一次接地位置故标为 25.99 km, 为馈线末端, 按照保护原理, 低电压启动过电流保护应启动并按时限要求切除故障点。但根据保护装置后台数据显示二次侧短路电流为 5.25 A (折算至一次侧电流为 1 312 A)、二次侧母线残压为 89 V (折算到一次侧残压为 24.475 kV), 保护装置的电流值小于保护动作整定值, 电压值大于保护动作整定值, 两个条件都不满足, 故低电压启动过电流保护不能动作。

3) 电流增量未动作原因分析

电流增量保护通过比较正常状态下的负荷电流 (电感电流) 和高电阻故障电流随时间变化的分量 ΔI 的不同来检出故障, 可有效弥补因接触网高阻接地时距离保护可靠性降低的问题。但该变电所馈线未投入电流增量保护, 而未投入的原因为和谐号等交—直—交机车的功率因数接近于 1 且启动电流较大, 保护装置无法进行正常负载电流与故障电流的有效识别而造成电流增量保护误动, 故将增量保护退出。

2.4 第二次接地馈线断路器拒动原因分析

接触网第二次接地点至某牵引变电所的距离, 比接触网第一次接地点至某牵引变电所的距离要缩短 395 m 且为金属性接地。按照原理, 短路点距离电源越近, 短路电流越大, 且保护装置测量到的母线残压和电抗、电阻值越小, 低电压启动过电流保护和 II 段距离保护更应启动并按时限要求出口切除故障点。但不同于接触网第一次接地后保护装置后台还有相关数据, 接触网第二次接地后除无保护启动信息外, 也未能查询到故障电流、电压、电抗和电阻等有关参数。

1) 馈线及主变压器低压侧过电流启动低电压拒动原因分析

该馈线过电流保护二次定值 $I_{DZ}=7.94$ A, 低

电压定值 65 V; 主变压器低压侧过电流整定值 $I_{DZ}=5.09$ A, 低电压整定值 65 V。根据馈线过电流保护整定计算如公式 (4) 所示。

$$I_{DZ} = K_K \times I_{thmax} / n_{CT} \quad (4)$$

公式中: K_K 为可靠系数, 取 1.2; I_{thmax} 为馈线最大负荷; n_{CT} 为 CT 变比。

则可得出: 计算过电流定值时, 所取的馈线最大负荷电流值 I_{thmax} 达到 1 654 A (折算到一次侧), 而设计院所给出的馈线最大负荷电流为 1 489 A, 按照此电流计算出的馈线过电流定值应为: $I_{DZ} = 1.2 \times 1 489 / 250 = 7.15$ A。

灵敏度方面: 按照《铁路牵引供电设计规范》(TB 10009-2005) (旧版, 保护装置投入时的有效版本)、《铁路牵引供电设计规范》(TB 10009-2016) (现行有效版本) 中, 对近后备保护中电流元件的灵敏系数 K_m 均为 1.3 ~ 1.5 的规定, 按照前述二次定值 $I_{DZ} = 7.94$ A, 根据过电流保护灵敏系数校核计算如公式 (5) 所示。

$$K_m = I_{Dmin} / I_{dz} \quad (5)$$

公式中: I_{Dmin} 为最小短路电流; I_{dz} 为保护装置一次动作电流。

反向推算得知, 如果要满足保护装置灵敏性的要求 (即被保护线路范围内故障时, 保护装置应具有必要的灵敏系数), 接触网全长 26.1 km 的某间下行馈线, 在末端金属性短路时, 保护装置安装处测得的一次最小短路电流可达到 2 581 ~ 2 978 A。根据变电所主变压器容量、供电臂长度计算, 在继电保护整定中, 所取的馈线最大负荷电流 I_{thmax} , 以及末端金属性最小短路电流 I_{Dmin} 值, 虽然使过电流保护定值满足了行车要求, 但未满足过电流保护动作电流按躲过馈线最大负荷电流、尤其是未满足末端故障时有足够灵敏度进行整定的要求, 背离了继电保护灵敏度优先的原则。

2) 距离保护拒动原因分析

按照 I、II 段距离保护中的电阻整定计算公式 (6) 所示。

$$R = U_{\min} / (K_K \times I_{\text{fhmax}}) \times (\cos\theta_{\text{fh}} - \sin\theta_{\text{fh}} / \tan\theta_{\text{XL}}) \quad (6)$$

公式中： U_{\min} 为牵引变电所母线最低工作电压； K_K 为可靠系数取 1.2； θ_{fh} 为负荷阻抗角，一般取 $40^\circ \sim 80^\circ$ ； θ_{XL} 为线路阻抗角，一般取 $70^\circ \sim 85^\circ$ 。需要对牵引变电所母线最低工作电压 U_{\min} 、负荷阻抗角 θ_{fh} 、线路阻抗角 θ_{XL} ，在继电保护整定中取值的合理性，做进一步论证。

3) 后台数据丢失原因分析

该变电所馈线保护装置的运行期限已达 9 年零 10 个月，接近原铁道部规定的电子产品 10 年的运行年限。装置后台数据存储不稳定，可能是导致第二次接地参数数据丢失的重要原因。

3 应对措施及建议

3.1 建议对保护定值进行优化和调整

1) 建议对低电压启动过电流保护、距离保护定值重新进行核算和调整

a. 根据牵引供电设备和机车设备实际参数的理论计算，以及运行数据的统计分析，必要时进行列车运行取流以及短路试验等实际测试，合理确定馈线最大负荷电流 I_{fhmax} 、牵引变电所母线最低工作电压 U_{\min} 、馈线末端金属性最小短路电流 I_{Dmin} 、馈线末端金属性短路时牵引变电所母线最大残压 U_{Dmax} 、负荷阻抗角 θ_{f} 和线路阻抗角 θ_{L} ，并实测 PT 断线后保护装置测量电压等数值。

b. 根据上述确定数值，对距离保护、低电压过电流保护的有关整定值进行重新计算，并校核灵敏系数；同时，做好牵引变电所继电保护装置之间，以及接触网馈线保护与电力机车保护之间的保护范围和时限的配合，并满足对继电保护装置的灵敏性、可靠性、选择性要求。

2) 建议对 PT 断线闭锁保护的电压整定值进行调整

为防止接触网短路后，牵引变电所母线二次侧电压降至 60 V 以下时，导致 PT 断线闭锁保护误动闭锁距离保护，进而引发距离保护拒动致使保护装

置可靠性下降的问题，根据相关试验数据，建议将 PT 断线闭锁保护的二次电压整定值从现在的 60 V 调整为 40 V，从而在保持对 PT 断线发生后的灵敏反应的同时，防止装置在接触网故障发生后保护无法出口。

3) 综合考虑机车对于定值设置的影响

a. 对 SS4G 电力机车无欠压保护的问题加以综合考虑，如果因此造成供电系统自动保护装置可靠性下降的影响，无法通过其他方法予以弥补，就要考虑对 SS4G 机车加装欠压保护，以避免在正常运行状态下，牵引变电所主变二次侧母线电压在低电压启动过电流保护误动之前，无限制下降。

b. SS4B、SS4G 等交-直型机车运行对投入电流增量保护较为有利，但需要对和谐号交-直-交型机车运行对电流增量保护可靠性影响的程度，以及单跑、混跑模式分别对保护整定值的影响，做进一步的论证。

4) 优化保护定值的灵敏性、正确性

a. 牵引供电的继电保护的配置以及整定计算，应同时满足可靠性、速动性、选择性和灵敏性的要求。当因实际条件限制确实难以兼顾时，必须优先保证灵敏性，尤其不能为满足实际运输需求而将定值进行简单调整，以防止保护拒动对设备或人员造成永久性损害。

b. 牵引供电的继电保护的整定计算，应针对牵引供电以及机车的具体参数和系统运行方式，加以综合考虑确定。当不能满足可靠性、速动性、选择性和灵敏性的要求时，应考虑进行牵引供电系统的改造，从根本上化解实际运输需求和牵引供电保护之间的矛盾，从而在安全的基础上保障铁路运输生产效率的可持续维系与提高。

3.2 建议加快临期、超期服役计算机保护的更换进度

1) 为防止计算机保护装置因老化带来的可靠性下降的影响，充分利用大、中修从根本上解决设备运行质量下降的问题，加快推进变配电所中临期、

超期继电保护装置的更换进度。

2) 针对短期无法进行更换的计算机保护, 需加强日常巡视和定期维护, 同时针对板件、内部排线、通讯线等薄弱环节需加强备品、备件管理, 做到有备无患。

3.3 建议增加牵引变电所, 缩短供电臂长度

鉴于某区间为直供加回流的供电方式, 供电臂长达 26.1 km, 建议考虑增加牵引变电所, 化解实际运输过程中供电臂列车容纳和牵引供电继电保护之间的矛盾。

3.4 建议明确应急处置流程, 提升应急能力

要进一步明确在各种异常和紧急状态下的处置流程、细化应急处置措施, 提高应急处置方案的针对性和有效性, 并做好有针对性的培训教育工作, 提高重点和关键岗位的应急处置水平。

按照关于应急演练的有关规定, 对现场处置方案逐一进行实景模拟演练。演练时要全面考虑防止次生灾害的安全措施, 提高关键和重点岗位的应急处置实操能力与安全意识。

4 结束语

针对一起机车和接触网故障而导致计算机保护拒动的特殊情况进行分析, 从车辆、受电弓、变电所内一次设备、各种保护的设置等进行逐一分析, 并指出其中不合理的处所, 及时提出整改建议和未来的提升方向。为后期出现类似故障提供参考, 也为发生故障时能快速启动应急响应机制, 并能够科学合理分析产生故障的真实原因, 减少故障处理时间, 提升处理效率, 保障铁路的正常供电。

参考文献

[1] 武素芳. 牵引变电所主变压器低压启动过电流保护误动分析[J]. 电气化铁道, 2021, 32(Z1): 128-132.
Wu Sufang. Analysis of Maloperation of Low-Voltage Start-up Overcurrent Protection for Main Transformer in Traction Substation[J]. Electric

Railway, 2021, 32(Z1): 128-132.

- [2] 潘延安. 机车带电闯电分相馈线保护拒动原因分析[J]. 电气化铁道, 2008, 19(4): 20-21.
Pan Yan'an. Analysis of Miss Operation of Feeder Protection during Charged Locomotive's Passage of Neutral Section[J]. Electric Railway, 2008, 19(4): 20-21.
- [3] 曹建猷. 电气化铁道供电系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.
- [4] 黄新. 电力系统继电保护与自动化装置的可靠性分析[J]. 文摘版: 工程技术, 2016, (3): 131.
- [5] 张青青. 电气继电保护的常见故障及维修技术探讨[J]. 才智, 2011(25): 82.
Zhang Qingqing. Discussion on Common Faults and Maintenance Technology of Electrical Relay Protection[J]. Intelligence, 2011(25): 82.
- [6] 何文广, 潘瓯瑜. 接触网小单元供电在市域铁路的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(1): 87-91.
He Wenguang, Pan Ouyu. Application of Catenaries Small Unit Power Supply in Suburban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 87-91.
- [7] 于秋波, 韩朝建, 张晓飞, 等. 基于接触网扩展监测的区间综合智能检测研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(11): 79-84.
Yu Qiubo, Han Chaojian, Zhang Xiaofei, et al. Research on Section Comprehensive Intelligent Detection Based on Extended Monitoring System of OCS[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 79-84.
- [8] 李春锋. 综自变电站微机继电保护事故分析及对策[J]. 装备制造技术, 2010(2): 181-183.
Li Chunfeng. Since the Transformer Microcomputer Relay Protection in Accident Analysis and Countermeasures[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2010(2): 181-183.
- [9] 滕广琴. 继电保护及整定计算方法[J]. 科技风, 2019(33): 155.

- [10] 熊列彬, 陈小川, 陈德明, 等. 秦沈线变压器差动保护误动作原因分析 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (8): 104-107.
Xiong Liebin, Chen Xiaochuan, Chen Deming, et al. Cause Analysis of Misoperation of Transformer Differential Protection in Qinhuangdao-Shenyang Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(8): 104-107.
- [11] 国家铁路局. 铁路电力牵引供电设计规范: TB 10009-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社. 2016.
- [12] 赵灵龙, 杨春祥. 牵引变电所馈线保护问题及其解决措施 [J]. 电气化铁道, 2013, 24 (5): 31-34.
Zhao Linglong, Yang Chunxiang. Issues of Protection of Feeders at Traction Substation and Their Resolution Measures[J]. Electric Railway, 2013, 24(5): 31-34.

行业信息

以色列Rail Vision公司在印度获得一项轨道异物入侵检测系统专利

以色列 Rail Vision 有限公司在印度获得一项轨道异物入侵检测技术专利，这种技术可以避免相撞事故。

Rail Vision 有限公司属于铁路安全和数据技术领域的创新企业。除了此次从印度专利局获得专利以外，这种技术已经获得美国和日本的专利，正在申请欧盟和中国的专利。

这种技术涉及一套由朝向列车运行方向的摄像头以及光电传感器组成的系统，可以实时监测铁路基础设施。这种系统用于干线铁路，使用先进技术，可以在仅仅开通铁路的区域中处理天气状况等数据。

印度平均每天开行 22 593 列列车、运输 2 400 万名乘客，是以色列铁路技术的重要市场。印度铁路网络在世界排名第四，在客运量和货运量上实现大幅增长，2022 到 2023 财年收入估计达到 289.3 亿美元，相比此前一个报告期间增长 19%。

Rail Vision 公司董事长兼首席执行官沙哈尔·哈尼亚 (Shahar Hania) 指出，Rail Vision 公司致力于在全球范围内提升轨道交通的安全性和运营有效性。哈尼亚表示，“我们已经在美国和日本获得专利，并且正在欧洲和中国申请专利，这次专利获批可以助力我们在世界范围内提升铁路的安全性和运营有效性。”

这家以色列企业是美国纳斯达克上市企业，市值达到 5 720 万美元。在资产负债表上，现金大于负债，表明这家企业实现财务稳健。经济分析师预计，这家企业的销售额今年将会在过去几年出现下滑后实现增长。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘昶翻译自: www.railwapro.com 2024-02-06)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.03.019

25 Hz相敏轨道电路与ZPW-2000A结合处的逻辑检查故障分析

贾 鸿, 马 樱, 张 祺

(卡斯柯信号有限公司, 北京 100070)

摘要: 25 Hz 相敏轨道电路与 ZPW-2000A 轨道电路特性不同, 但在自动闭塞及站内电码化改造过程中两种制式轨道电路常结合应用。不同的特性会导致结合处的逻辑检查失效。针对场联进路无法正常解锁、三接近闭塞分区遗留失去分路故障进行分析, 介绍故障发生的场景及原因, 并讨论计算机联锁、列控中心、区间综合监控系统以及继电逻辑检查电路对于此类故障的解决方案, 为后续工程设计及故障处理提供参考。

关键词: 25 Hz 相敏轨道电路; ZPW-2000A; 结合应用; 逻辑检查; 故障分析

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0101-05

Fault Analysis of Logic Check at Junction of 25 Hz Phase Sensitive Track Circuit and ZPW-2000A Track Circuit

Jia Hong, Ma Ying, Zhang Qi

(CASCO Signal Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: The 25 Hz phase sensitive track circuit has different characteristics from ZPW-2000A track circuit. However, during the retrofitting of automatic block and station coding systems, these two track circuits are often used together. The different characteristics of these two track circuits may lead to the failure of logic check at their junction. This paper analyzes the failure of normal release of the yard connection route and the loss of shunting kept in the third approach block section, and introduces the scenario and causes of these faults. It also discusses the solutions of the interlocking system, train control center system, integrated section monitoring system and relay logic check circuit for these failures, which provides reference for engineering design and fault handling in the future.

Keywords: 25 Hz phase sensitive track circuit; ZPW-2000A track circuit; combined application; logic check; fault analysis

收稿日期: 2022-10-09; 修回日期: 2024-01-31

基金项目: 卡斯柯信号有限公司科研项目 (RB_23121022)

第一作者: 贾鸿 (1990-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: jiahong@casco.com.cn.

轨道电路设备实现列车占用检查功能, 是国内列车运行控制系统的基础。从 25 Hz 相敏轨道电路到 ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路, 轨道电路设备有了巨大的技术进步。当前, 国内区间普遍采用

ZPW-2000A 无绝缘轨道电路，既有线站内普遍采用 25 Hz 相敏轨道电路，高速铁路站内主要采用一体化 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统。但在自动闭塞及站内电码化改造过程中，由于成本、改造难度等原因，普遍采用 25 Hz 相敏轨道电路与 ZPW-2000A 轨道电路相结合的方案。轨道电路占用检查结合行车过程实现的逻辑检查功能在国内广泛应用，来防护轨道电路分路不良等原因造成的占用丢失。

ZPW-2000A 轨道电路由于接收器特性，轨道继电器吸起有 2.3 ~ 2.8 s 延时。而 25 Hz 相敏轨道电路轨道继电器吸起仅有 0.3 ~ 0.5 s 延时（在本文分析中忽略不计）。这意味着利用两种制式轨道电路进行占用检查时，出清时间有 2 ~ 3 s 的误差。同时，较短的吸起时间导致 25 Hz 相敏轨道电路对于干扰更加敏感，尤其对于不频繁走车的站内区段，钢轨形成的铁锈使轮轨接触电阻增大，容易发生失去分路故障。两种轨道电路的上述差异，在结合应用时对逻辑检查条件判断造成干扰。

1 结合处在站内

在改造工程中，新旧两个停车场可能会部署不同制式轨道电路。联锁设备进行进路区段顺序占用 / 出清的走车逻辑检查，对于场间联系进路，会存在进路无法正常解锁的可能。

1.1 场联进路无法正常解锁

如图 1 所示，II 场使用 ZPW-2000A 轨道电路，I 场使用 25 Hz 相敏轨道电路。8/202G 长度较短仅有 50 m。

当列车经由 II 场 8DG、I 场 8/202G 接至 I 场 7G 过程中，由于 8DG 使用的 ZPW-2000A 轨道电路的缓吸特性，列车驶离 8DG 约 3 s 后，联锁才采集到 8DG 轨道继电器的吸起。以 80 km/h 车速行驶，列车完全进入到出清 8/202G 仅需 2.25 s。列车驶离 8/202G 后联锁采集到相应轨道继电器先于 8DG 轨道继电器吸起，进而判断 8/202G 先于 8DG 出清，不满足进路正常解锁条件，II 场进路无法正常解锁。

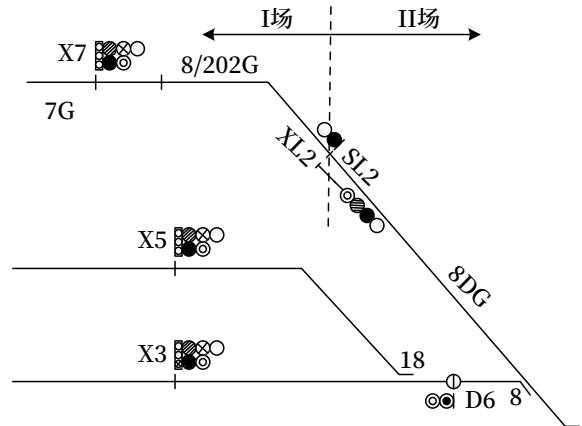


图1 结合处在站内
Fig.1 Junction inside station

1.2 解决方案讨论

对于上述场联进路无法正常解锁的故障，可考虑改变 8/202G 轨道继电器的吸起时机。使用 JSBXC-850 型时间继电器，延时 3 s 吸起。当列车经由 II 场 8DG、I 场 8/202G 接至 I 场 7G 过程中，进路区段会按正常顺序出清，进路正常解锁。

当使用此方案时，需充分考虑 8/202G 前方区段长度。当前方区段同样长度较短，则应同步更改其吸起延时。

2 结合处在进站口

对于进站过程的占用逻辑检查，通常应检查两个条件，区段的占用 / 出清顺序，以及进站信号机的开放关闭时机。

站内部署 25 Hz 相敏轨道电路，区间部署 ZPW-2000A 轨道电路是常见的工程设计方案。对于自动闭塞线路的区间占用逻辑检查功能，两种轨道电路的特性差异可能造成在 3JG 处的逻辑检查失败，在 3JG 遗留失去分路。

2.1 3JG及站内首区段占用/出清顺序异常

逻辑检查功能在两种制式轨道电路结合部的处理逻辑如下所示。

区间 2700G、2714G 为 ZPW-2000A 轨道电路，IIBG 为 25 Hz 相敏轨道电路。IIBG 长度为 100 m，如图 2 所示。

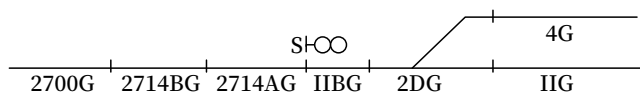


图2 结合处在进站口
Fig.2 Junction at station entry

高速铁路通常利用列控中心实现区间占用逻辑检查。如图3所示，T3-T2为列车出清2714G后IIBG出清且IIBG-QGJ吸起的时间，时速200 km的高速列车正线通过，仅需约2 s。T4-T3为列车出清2714G后2714G-QGJ吸起时间，至少2.3 s。对于列控中心系统，会采集到IIBG先于2714G出清，不满足逻辑检查的顺序占用/出清检查条件。

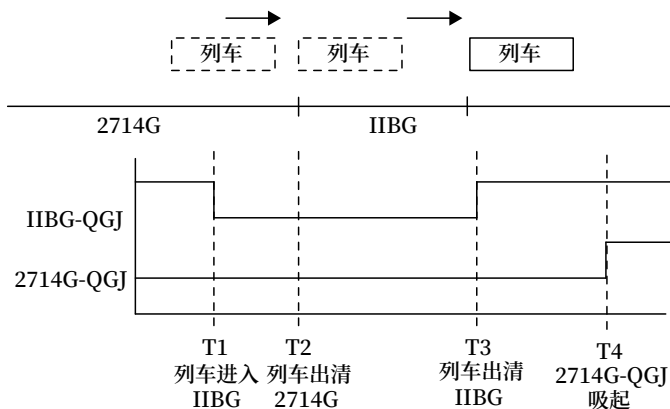


图3 进站过程
Fig.3 Station entry process

对于普速自动闭塞线路，利用继电器或区间综合监控系统实现区间占用逻辑检查。以80 km速度列车正线通过，T3-T2约为4.5 s。但2714G有A/B轨多区段分割，对于2714G轨道继电器电路，普速铁路与高速铁路有较大差异。

如图4所示，当列车出清2714BG完全进入2714AG后，因2714BG的发送器电路中检查2714AG的GJ状态，此时2714BG-QGJ无法吸起。而2714AG的GJ因为RC电路，在QGJ吸起约3 s后才会吸起。

当列车完全进入站内出清2714AG后，2714AG-QGJ因其轨道电路特性延时2.3~2.8 s吸起；2714AG-QGJ吸起后，2714AG-GJ因RC电路缓吸特性延时2.3~2.8 s后吸起；当2714AG-GJ吸

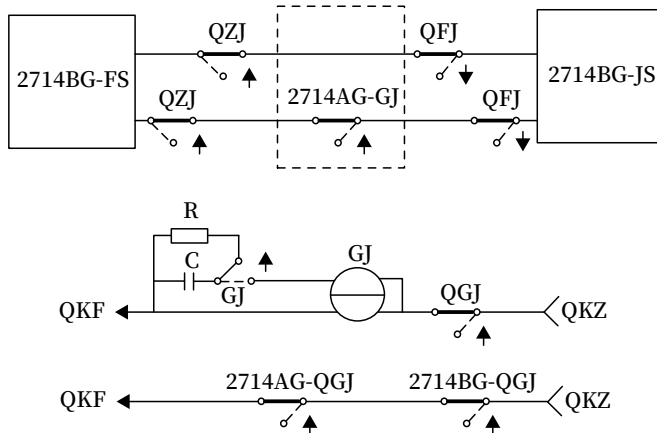


图4 区间轨道电路原理
Fig.4 Principles of section track circuit

起后，2714BG接收器收到低频信息，延时2.3~2.8 s后，2714BG-QGJ吸起。综上所述，当列车完全进入站内出清2714AG延时6.9~8.4 s后，2714BG-QGJ才能吸起。

逻辑检查串采2714AG和2714BG的QGJ，作为2714G闭塞分区的QGJ状态，故列车完全出清2714G延时6.9~8.4 s后，才能判定2714G-QGJ吸起。对于普速自动闭塞线路，同样会采集到IIBG先于2714G出清，不满足逻辑检查的顺序占用/出清检查条件。

2.2 进站信号开放关闭时机异常

25 Hz相敏轨道电路轨道继电器吸起延时很短，对于干扰较为敏感，可能在列车途经进站信号机内方首区段过程中，轨道继电器一直抖动。

计算机联锁为防止故障导致的错误关闭信号，信号的关闭会有1~2 s的延时，即IIBG轨道继电器落下持续1~2 s后，进站信号才会关闭。

当列车跨入IIBG时，由于轨道电路分路不良，轨道继电器抖动，无法保持落下状态。故进站信号无法正常关闭。当列车进入2DG后，2DG稳定占用，进站信号关闭。

若IIBG轨道继电器落下过并被采集到，判断列车驶入站内，但并没有获取到进站信号正常关闭的信息，不满足逻辑检查对于列车正常进站的检查条件。当2714G设备状态从占用变为空闲时，将其

判断为失去分路。

2.3 解决方案讨论

依据《列控中心区间占用逻辑检查暂行技术条件》(TJ/DW 176-2015)规定,逻辑状态为正常占用的进站信号机外方第一个闭塞分区,设备状态由占用变为空闲时,且同时满足如下条件则判断为空闲。否则判定为失去分路。

- 1) 条件 1: 列车进入站内, 进站信号机正常关闭。
- 2) 条件 2: 进站信号机内方第一区段保持占用或占用变为空闲。

如图 3 所示, T3-T1 过程中列控中心采集到 2714G、IIBG 均占用。在 T4, 采集到 2714G 出清时, 也采集到 IIBG 为空闲。满足条件 2。

对于条件 2, 不严格要求进站信号机外方、内方闭塞分区的轨道继电器吸起顺序, 只要采集到跨压占用, 很大程度上避免了两种制式轨道电路轨道继电器吸起延时差异造成的 3JG 遗留失去分路故障。

《列控中心技术条件》(Q/CR 817-2021)规定: 逻辑状态为正常占用的进站信号机外方第一个闭塞分区, 设备状态由占用变为空闲时, 且同时满足如

下条件则判断为空闲。否则判定为失去分路。

- 1) 条件 1: 列车驶入站内, 跨压进站。
- 2) 条件 2: 进站信号机内方第一区段保持占用或占用变为空闲。

很大程度上避免了进站信号机关闭的时机异常造成的进站过程逻辑检查失效。

《铁路信号区间综合监控系统暂行技术条件》(TJ/DW 210-2018)规定: 进站信号机外方第一个闭塞分区的逻辑状态为正常占用, 列车正常进站(进站信号机开放后, 内方第一区段占用, 进站信号机关闭), 设备状态由占用变为空闲, 逻辑状态判定为空闲。否则判定为占用丢失。

3JG 的逻辑检查条件为列车正常进站, 但并未对区段的占用 / 出清顺序, 以及进站信号机的开放关闭时机做明确规定。区间综合监控系统应充分考虑此场景。

用继电器电路实现区间占用逻辑检查功能时, 对于 3JG 正常出清逻辑判断也只检查跨压进站且进站信号机内方第一区段保持占用或占用变为空闲, 如图 5 所示。

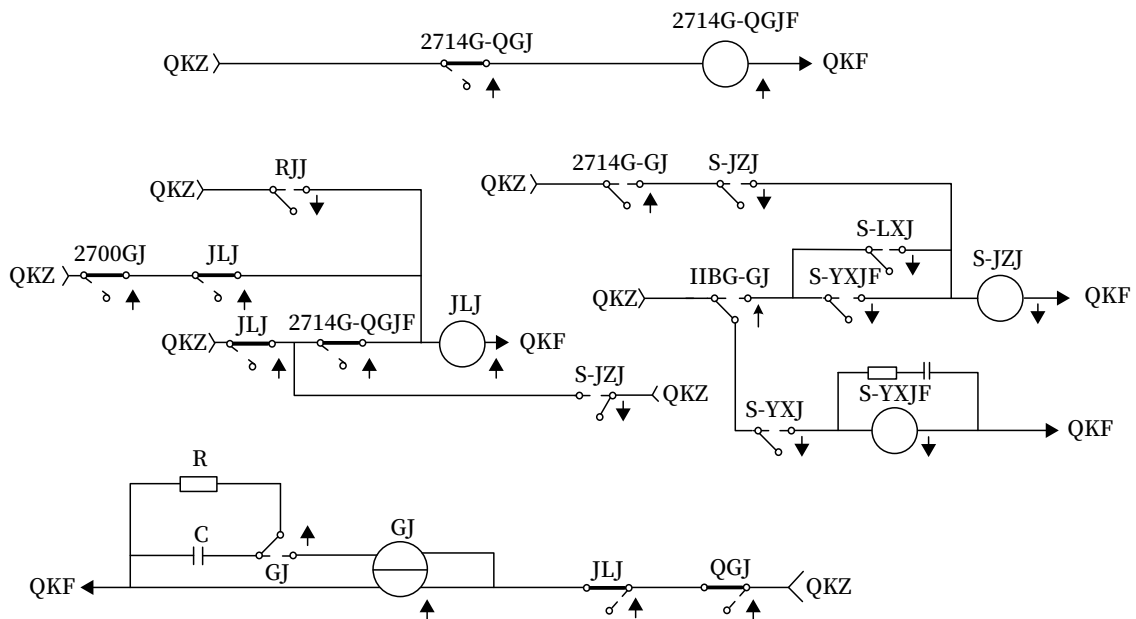


图5 继电逻辑检查3JG原理
Fig.5 Principle diagram of 3JG for relay logic check

- 1) 列车压入 2714G 后, 2714G-QGJF 落下, JLJ 继电器落下。
- 2) 进站信号开放, LXJ/YXJF 吸起。
- 3) 列车压入 IIBG 后约 1 s 内, IIBG 落下,

但 LXJ/YXJ 仍吸起。S-JZJ 励磁。

4) 列车此时跨压 2714G、IIBG, S-JZJ 自保。

5) 待列车驶离 2714G 后, 2714G-QGJF 吸起, JLJ 吸起。

6) 2714G-JLJ、2714G-QGJ 吸起后, GJ 延时吸起, 2714G 正常出清。

综上所述, 无论靠列控中心系统、区间综合监控系统还是继电电路实现逻辑检查, 对于进站过程中 3JG 正常出清的判断均可以统一方法, 避免 ZPW-2000A 与 25 Hz 相敏轨道电路特性不同造成的 3JG 遗留失去分路故障。

3 总结

25 Hz 相敏轨道电路和 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路的出清判断时间存在差异, 应用场景不同、结合系统不同, 故障表现也不尽相同。在工程设计及应用设计时, 应充分考虑其特性差异的影响, 避免当两种制式轨道电路结合应用时发生逻辑检查失效故障。

结合处在站内时, 可选用时间继电器延迟 25 Hz 轨道电路继电器吸起时间, 以满足联锁进路解锁的逻辑检查要求。

当结合处在进站口时, 存在逻辑检查设备多样、接近闭塞分区存在分割等客观条件, 进站过程中区段占用时序、信号机关闭时序复杂。无论靠列控中心系统、区间综合监控系统还是继电电路实现逻辑检查, 应明确系统边界。在判定 3JG 正常出清时, 检查条件应在保证安全前提下合理放宽, 避免不同制式轨道电路特性造成的干扰。

参考文献

[1] 李文涛. 高速铁路列车运行控制技术-ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统 [M]. 北京: 中国铁道

出版社, 2017: 45-120.

[2] 中国铁路总公司. 列控中心区间占用逻辑检查暂行技术条件: TJ/DW 176-2015 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2015.

[3] 国家铁路局. 列控中心技术条件: TB/T 3439-2016 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

[4] 中国铁路总公司. 铁路信号区间综合监控系统暂行技术条件: TJ/DW 210-2018 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2018.

[5] 中国国家铁路集团有限公司. 自动闭塞区间电式逻辑检查技术条件: Q/CR 603-2017 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2017.

[6] 中国铁路总公司. 区间逻辑检查功能运用暂行办法: TG/CW 301-2016 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.

[7] 赖锦增. 接近区段失去分路故障分析与解决 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 (8): 45-47.

Lai Jinzeng. Analysis and Solution of Losing Shunting Fault in Approach Section [J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(8): 45-47.

[8] 周明君. 电化区段特殊位置 25 Hz 相敏轨道电路的分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (4): 77-80.

Zhou Mingjun. Analysis of 25 Hz Phase-sensitive Track Circuits in Special Positions in Electrification Sections [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 77-80.

[9] 陈波. 区间逻辑检查进站外方区段延迟解锁原因分析及对策 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (9): 87-91.

Chen Bo. Cause Analysis and Countermeasures of Delay Unlocking of Section in Rear of Home Signal in Section Logic Check [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(9): 87-91.

铁路平交道口智能集控预警系统

周 帅, 周 培, 武恒颖, 周灵钰

(南京铁道职业技术学院, 南京 210056)

摘要: 传统铁路道口的安全防护措施因其低效性和高昂的成本, 以及潜在的安全隐患, 已经无法满足当前的发展需求。为应对这一挑战, 提出一种创新性的铁路道口无线通信智能集控预警系统, 旨在确保铁路道口工作人员和交通参与者的生命财产安全。结合远距离 LoRa 无线射频通信技术、基于 OpenMV 的车辆与行人目标识别技术, 计算机联锁技术等设计一款低功耗、易部署的无人值守的铁路道口远程集中管理系统, 从而提升铁路运营效率, 并增强铁路运输的安全保障水平。

关键词: 铁路道口; 无线通信; OpenMV; 计算机联锁

中图分类号: U284.15+1

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)03-0106-07

Intelligent Centralized Control System for Early Warning of Railway Level Crossings

Zhou Shuai, Zhou Pei, Wu Hengjie, Zhou Lingyu

(Nanjing Vocational Institute of Railway Technology, Nanjing 210056, China)

Abstract: The traditional safety protection measures for railway crossings can no longer meet the current development needs due to their low efficiency, high cost and potential safety hazards. To meet this challenge, this paper proposes an innovative intelligent centralized control system based on wireless communication for early warning of railway crossings, which aims to guarantee the life and property safety of the staff and traffic participants at railway crossings. The LoRa long-range radio-frequency communication technology, OpenMV-based vehicle and pedestrian target recognition technology and computer based interlocking technology are combined to design a low-power, easy-to-deploy remote centralized management system for unattended railway crossings, which can improve the efficiency of railway operation, and enhance the safety of railway transport.

Keywords: railway crossing; wireless communication; OpenMV; computer based interlocking

收稿日期: 2023-10-07; 修回日期: 2024-02-19

基金项目: 南京铁道职业技术学院大学生创新训练项目
(yxkc2022026)

发明专利: 2023 实用新型专利 (ZL202320583648.0)

第一作者: 周帅 (2003—), 男, 主要研究方向: 城市轨道交通车辆应用技术, 邮箱: 3187700851@qq.com。

1 概述

铁路道口是铁路和公路的一个交汇处, 其中道口栏木起降时间不合理、行人盲目强行侵入道口等是造成各类事故的主要原因。如今尚不能把所有平

交道口立交化。而传统的铁路管理模式，即由班组负责值守的方式，主要用于处理人流和车流量密集的关键路口，这种方式不仅效率较低，且成本高昂，同时还存在潜在的安全风险。虽然近年来，针对专用铁路线的安全工作已经取得显著进步，安全状况也在不断改善。但是铁路安全工作仍然面临着巨大挑战。

相较于传统道口预警实现方案，本系统在道口拦截部分设计上选择使用无线射频通信技术，当列车触发来车传感器时，由预警分机向道口预警主机发出预到达信号，主机迅速算出关闭道口的恰当时间，实现预警；列车通过离去传感器后，预警主机马上解除报警，并打开道口让道路车辆通行。在道口监控部分设计上选择使用车辆与行人目标识别技术，并依靠车地的相互通信，将道口视频传输至列车驾驶室，使列车司机能实时掌

握即将通过道口的情况。铁路道口的集中控制将传统的道口现场人工管理转变为全自动的远程管理，这可以大大减少道口值班人员的数量，从而带来显著的经济效益。另外，远程集中控制在铁路道口的应用也带来了新的管理形态，通过对铁路道口的运输作业流程改革，进一步提高其管理效率，将传统的人工观察和操作方式转变为“远程可观测和操控的无人监控”模式。

2 预警系统设计

如图1所示，该系统结合多传感器技术、现代化的通信手段以及视频监控技术，目的是为全方位地自动化管理并实时监控铁路无人道口。该系统主要包括4个核心组成部分：分别是列车上/下行传感器、无线预警分机、道口预警主机以及车地联动视频监控。

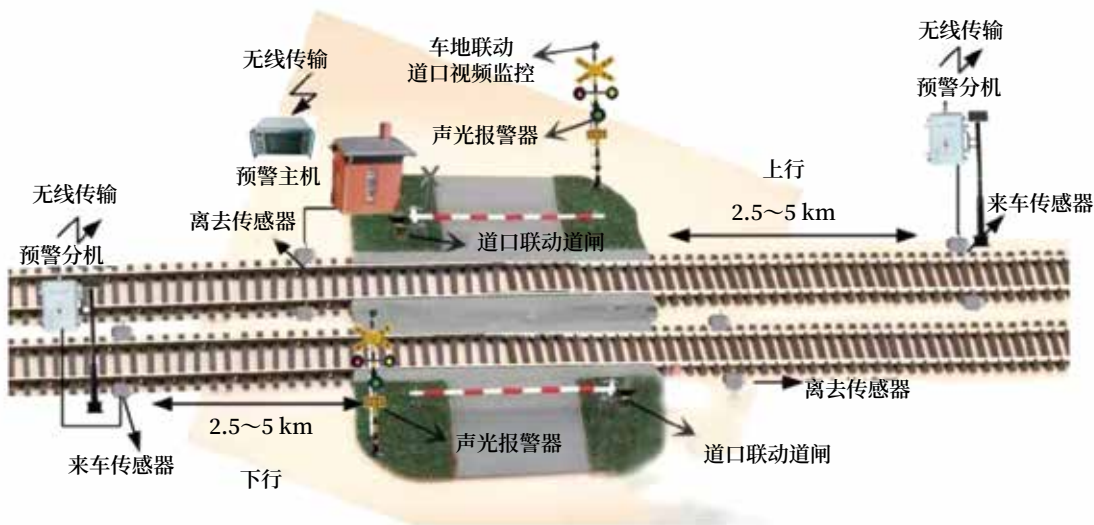


图1 道口预警系统原理示意
Fig.1 Schematic diagram of principles of crossing early warning system

列车上/下行传感器的主要功能是捕捉列车距离铁路道口的数据，其设计包括在距离道口大约3 km的列车上行方向分别设置两个来车传感器，在道口旁列车下行方向分别设置两个离去传感器，这些传感器呈十字形布局在规定的铁路安全距离内。这种配置不仅可以获取列车的行进方向和通过速度等关键信息，还可以识别潜在的干扰因素。

预警分机的主要功能是将传感器捕捉到的列车经过信息，通过无线信号处理器处理后，发送至道口预警主机，从而实现是否存在列车靠近的信息传递。

预警主机的主要功能是在收到来自预警分机的列车接近通知后，自动降低道口联动道闸，以防止行人与车辆通行。同时，它还会启动道口声光报警器来提醒行人及车辆注意安全。一旦接收到列车离

去的信息，道闸就会重新升起，信号灯变为绿色，向行人及车辆传达出道口已经安全的信息，允许继续通行。

车地联动道口视频监控的主要功能是对道口通行车辆和行人信息进行识别，并实时的将道口交通状态传输至列车驾驶室和铁路交通管控部门，以实现车-地的相互通信，使列车司机能实时掌握即将通过道口的情况。当系统设备故障时，铁路交通管控部门可立即派设备维护人员赶往现场进行维修，并且对于闯卡、违规调头、超速等危险行为进行自动抓拍、记录，由铁路交通管控部门审核之后交由交通管理部门依法进行处罚。

无人化道口预警集控系统流程如图 2 所示。

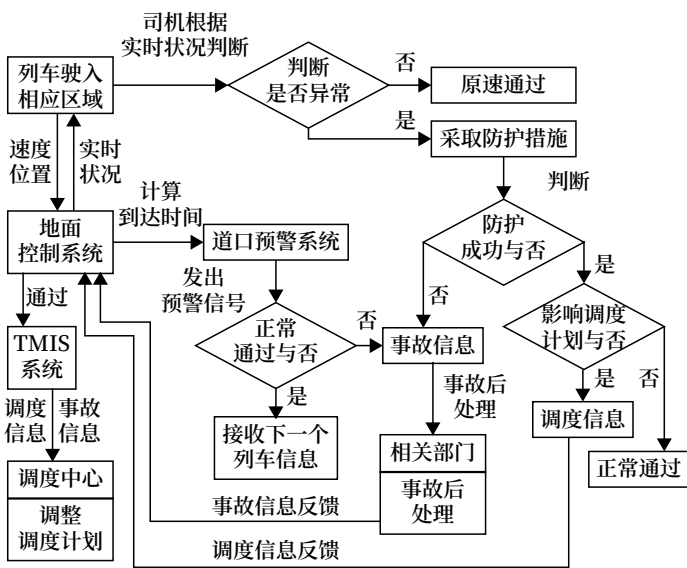


图2 无人化道口预警集控系统流程
Fig.2 Flowchart of centralized control system for early warning of unmanned level crossing

3 预警系统设备设计

本文中设计的道口预警系统中最重要的设备是预警分机、预警主机及视频监控。在设计中，预警分机、预警主机与视频监控通过配置进行区分，故在介绍其设计时统称为道口预警设备。道口预警设备分为主控板和功率板两部分，整体设计框如图 3 所示。

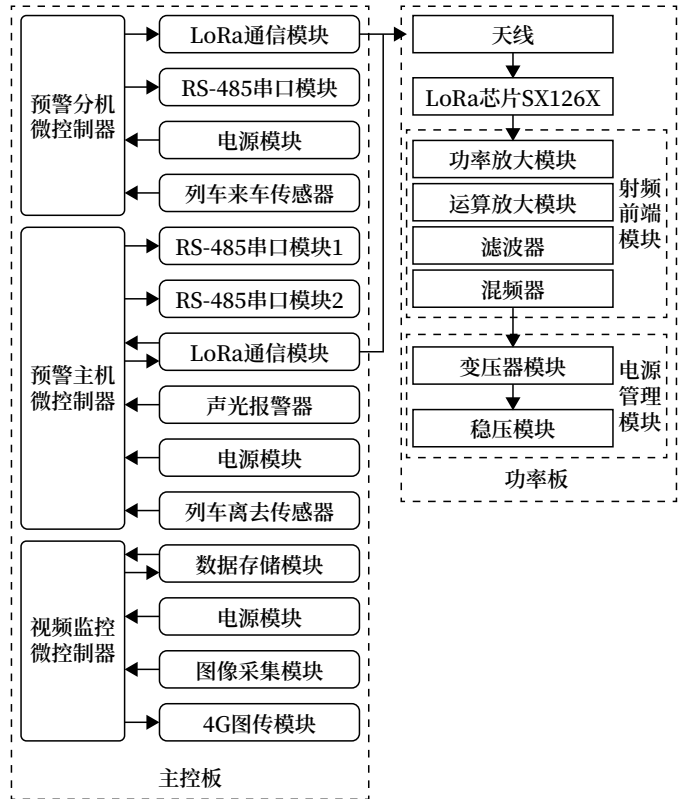


图3 道口预警设备设计框
Fig.3 Block diagram of equipment design of crossing early warning

3.1 道口预警设备主控板设计

道口预警设备主控板主要包括微控制器模块、LoRa 通信模块、列车传感器、RS-485 串口模块、数据存储模块、图像采集模块、4G 图传模块和电源模块等。

微控制器模块主要采用通用型 STM32F103ZET6，每台设备各一片，分管数据采集和数据通信功能，兼具低成本和低功耗两个优势。

列车来车传感器和列车离去传感器，主要是采用激光对射传感器，将列车行车信息转化为电平信号传入微控制器。微控制器根据不同的电平信号运行对应的指令，而其中的通用定时器则可以对捕获到的两次电平信号的时间进行比较，从而计算出列车经过道口时的区间速度。

RS-485 串口模块作为常用的制式工业通用接口，为预警主机和预警分机保留额外功能扩展或数据交互的可能，并且可以通过外部的烧录装置重新为其下载新的程序，保留其本地更新功能。

数据存储模块选用一款可通过 USB-SPI 访问的存储芯片，用于存储道口视频和下载供 OpenMV 使用的车辆或行人识别卷积神经网络模型。

图像采集模块主要是采用 OpenMV，其搭载了 MicroPython 解释器，使其可以在嵌入式端进行本地 python 开发，并且将 OpenCV 训练后的卷积神经网络模型通过数据存储模块存入本地数据集中，在图像识别中便于进行本地模型的调用。OpenMV 进行图像识别的原理大致如下：首先利用 OpenCV 对含有车辆或行人的正负样本数据集进行训练，生成只可供 OpenCV 调用的 cascade.xml 分类器，再将 xml 格式的文件通过 python 转换成 cascade 格式的可供 OpenMV 识别的文件，后将生成的可识别格式文件导入 OpenMV 即可进行图像识别。

图像识别流程如图 4 所示。其对于列车道口行车风险等级判断的原理是：首先根据道口的警示位置将图像的像素坐标划分低风险区和高风险区，由 OpenMV 将采集到的图像中的车辆或行人图像进行预处理，经过灰度处理后，形成大小统一的图像。按照行人或车辆边界拟出相对贴合的线性矩形，并由微处理器计算线性矩形的中心坐标。当中心坐标位于低风险区或高风险区时，即视为闯卡、翻越、调头等交通违规行为。

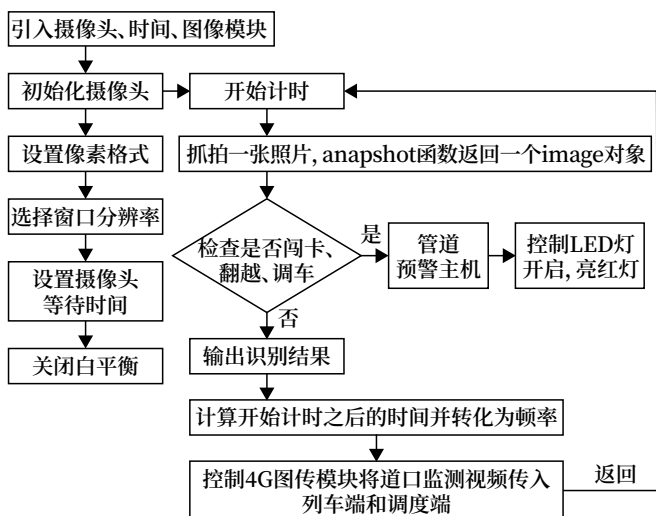


图4 道口预警图像识别流程
Fig.4 Image recognition process of crossing early warning

4G 图传模块主要是用于将 OpenMV 处理后的已标注图像数据，传输至列车驾驶室和铁路交通管控部门。此视频信息采集系统为管理者提供详细且全面的记录，不仅可以追踪运动目标，获取经过道口的车辆的速度、车牌、状态，还增加区域监测和划定的区域框，可以对铁路道口的车辆超速、违规掉头、闯卡等行为进行智能视觉识别，将违规车辆的信息上传到交通控制平台。此外，它还可以通过管理服务器实现出道口的联合管理，为多道口联动道口预警控制提供可靠的技术保障，构建无人值守的铁路道口远程集控管理系统。

电源模块主要包括主控板电源产生和自检以及外置蓄电池信息的采集。主控板电源主要依靠线性减压芯片产生，满足板上各芯片的各级电压需求，同时运用分压原理实现自检。外置蓄电池配有专用电源管理模块，其信息可通过 RS-485 通信读取。

3.2 道口预警设备功率板设计

功率板主要包括天线、LoRa 芯片、射频前端模块和电源管理模块等。

天线选择科信无线的 433 MHz 吸盘天线，主要参数如表 1 所示。在通信系统中，增益的强弱将影响到天线的辐射能力或接收无线信号的能力。一般情况下，增益越高，无线信号的传播距离越远。因此，为了提升预警无线模块的通信距离，选择使用外置全向高增益高增益的吸盘天线，此类型的天线具有较高的增益，能够增强无线信号的传输和接收能力，从而提升预警系统通信距离。

表1 科信无线433 MHz吸盘天线参数

Tab.1 Parameters of Kexin 433 MHz wireless suction cup antenna

天线型号	天线增益/dBi	天线频段/ MHz	功率/ W	驻波比	极化方式
RG174	3 ~ 12	433	40	≤ 1.5	垂直极化

LoRa 通信芯片选用美国 SEMTECH 的 SX126X 芯片，主要参数如表 2 所示。LoRa 通信模块用于传输列车传感器收集到的信息。许多传统的无线通信系统使用频移键控 (FSK) 调制作为物理层，因为它是一种实现低功耗的非常有效的调制。但是在

铁路系统中，雷达设备与电台通信设备均会对物理层 FSK 产生巨大的干扰，而 LoRa 是一种基于线性调频扩频调制的通信技术，它具有类似 FSK 调制的低功耗特性，但在通信距离上具有显著的提升。线性扩频技术已在军事领域和空间通信领域使用了数十年，由于其可以实现长通信距离和抗干扰的鲁棒性。而 LoRa 则是第一个将这种技术用于商业用途的低成本实现方式，可以极大地减弱铁路设备对于道口预警系统的信号干扰。

表2 SX126X芯片参数

Tab.2 Parameters of SX126X chip

芯片型号	频率范围 / MHz	扩展因子	带宽 / kHz	有效比特率 / (kbit/s)	敏感性测试 / dBm
SX1276	137 ~ 1 020	6 ~ 12	7.8 ~ 500	0.018 ~ 37.5	-148 ~ -111

射频前端模块是指连接 LoRa 通信芯片和天线之间的电路和模块。它负责将数字信号转换为适合传输的无线信号，提供必要的放大、滤波和调制等

功能，并直接影响着预警系统的整体信号质量、传输速率和功耗等性能指标。运算放大器和混频器是射频前端的核心组件，主要功能是将数字信号转换为无线信号，并将接收到的无线信号转换为数字信号。滤波器在射频前端中起到关键作用，用于去除不需要的频率分量，保留所需的信号。功率放大器是射频前端中的重要组成部分，用于增强发送信号的功率，以便在预警信息传输过程中能够达到 2.5 ~ 5 km 距离的覆盖。

电源管理模块选用德国西门子的 6EP1332-2BA20 开关电源，主要参数如表 3 所示。由于预警系统对于无线通信的实时性与稳定性要求较高，因而需要经常使用开关电源来进行电压的变压处理。开关电源主要通过 AC/DC 变压稳压器，对获得的电压进行降压、稳压，以保持电压的稳定性，进而有效控制电压振动波形，确保无线通信设备的有效运行和功能的正常发挥。

表3 西门子6EP1332-2BA20开关电源参数

Tab.3 Parameters of Siemens 6EP1332-2BA20 switching power supply

额定输入电压	输出电压 / 电流	额定线路频率	冲击电流 (25° C)	无线发射干扰 (EN 55022)	额定效率	线路谐波抑制
AC120/230 V	24 V/2.5 A	50 Hz	< 33 A	B 级	85%	EN 61000-3-2

4 实验验证

为验证道口预警系统功能正确性及完整性，对该系统的控制响应时间、状态反馈时间、断网重连时效、识别准确率、运行功率以及通信稳定性等主要性能进行试验，测试结果如表 4、5 所示。并在南京浦镇中车试车线上进行封闭区段的样机测试，并接入道口交通信号灯、道口拦木机、道口压道铃、车地联动道口视频监控等设备，如图 5 所示。

通信稳定性测试的关键是预警分机微处理器、预警主机微处理器和 OpenMV 微处理器的外部输入和内部输出监测。其主要通过 PC 对串口的数据模拟，包括对 OpenMV 的识别输出点位 AI、列车上 / 下行传感器对预警分机微处理器的输入点位 DI 和预警主机微控制器输出至外接设备的输出点位 DO。

表4 性能可靠性测试结果

Tab.4 Results of performance reliability test

测试项目	道口信号灯	道口拦木机	道口压道铃	视频监控	4G 图传
控制响应时间 /s	0.5	0.4	0.4	0.2	0.3
反馈时间 /s	3.5	3	2	2	2
断网重连时效 /s	—	—	—	2.5	3
识别准确率	99.94%	99.94%	99.94%	96%	96%
运行功率	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求

表5 通信稳定性测试结果

Tab.5 Results of communication stability test

时间	DI (PC 写入) / 次	DO (PC 读取) / 次	AI (PC 读取) / 次
2023-07-06	5 000	5 000	4 999
2023-07-07	5 000	5 000	4 999
2023-07-08	5 000	4 999	5 000
2023-07-09	5 000	4 999	4 999
2023-07-10	5 000	5 000	4 999
通信成功率	99.992%	99.996%	99.98%

- Lin Weiyong, Jin Yun, Yang Jianhua, et al. Scheme of Comprehensive Safety Supervision System for Railway Crossing in Factories and Mines[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 24-27.
- [6] 闫冬青. 开关电源在无线通信设备中的应用[J]. 通信电源技术, 2019, 36(8): 169-170.
- Yan Dongqing. Application of Switching Power Supply in Wireless Communication Equipment[J]. Telecom Power Technology, 2019, 36(8): 169-170.
- [7] 万树德, 徐儒. 基于 LoRa 的中小企业工厂安防监测系统设计与实现 [J]. 物联网技术, 2021, 11(4): 5-7.
- Wan Shude, Xu Ru. Design and Implementation of Factory Security Monitoring System for Small and Medium-Sized Enterprises Based on LoRa[J]. Internet of Things Technologies, 2021, 11(4): 5-7.
- [8] 韦界华. 高速公路隧道无线物联网测控系统的设计与应用 [J]. 西部交通科技, 2023(7): 200-203.
- Wei Jiehua. Design and Application of Wireless Internet of Things Measurement and Control System for Expressway Tunnel[J]. Western China Communications Science & Technology, 2023(7): 200-203.

本期广告企业简介

焦作铁路电缆有限责任公司

企业简介

国内轨道交通电线电缆核心供应商之一。五十多年生产经历。主要成品：信号电缆、贯通地线、漏泄同轴电缆、射频电缆、长途对称通信电缆、27.5 kV电气化铁路电缆、35 kV高压电缆、直流电缆、低压电力电缆、控制电缆、电线。

领先技术

国家高新技术企业，河南省轨道信息传输电缆工程技术研究中心，河南省射频及微波通信漏泄传输工程研究中心，河南省企业技术中心，焦作市工程技术研究中心。河南省“专精特新”企业、“瞪羚企业”，多次荣获河南省科技进步奖。相关产品有60余项发明和实用新型专利。主导或参与制定国际标准2项、国家标准6项、行业标准13项、国铁集团企业标准1项。

焦作铁路电缆有限责任公司

地址：中国河南省焦作市站前路8号

电话：0391-2632323

网址：<http://thjl.crsc.cn>

Jiaozuo Railway Cable Co.,Ltd

Address:No.8 Zhanqian Road,Jiaozuo,Henan Province,P.R.China

Phone:+86-391-2632323

Website:<http://thjl.crsc.cn>

(详见封三)

《铁路通信信号工程技术》期刊征文通知

为促进轨道交通列车控制技术的创新与发展，提升我国轨道交通列控系统关键技术和装备的自主创新水平，《铁路通信信号工程技术》期刊现对能反映轨道交通科技创新水平的文章进行征文，征文内容如下：

◆ 征文内容

1. 国内外轨道交通通信信号技术发展综述；
2. 轨道交通安全控制基础理论研究；
3. 智能铁路和智慧铁路关键技术研究；
4. 轨道交通行业人工智能技术研究与应用；
5. 基于国产芯片的列车运行控制系统；
6. 区域协同、四网融合、磁浮铁路技术；
7. 高效智能货运列控系统；
8. 高速重载铁路技术升级与创新发展；
9. 更高速度等级列控系统技术方案研究；
10. 轨道交通装备数字化转型研究；
11. 可持续智能铁路发展趋势研究；
12. 国外轨道交通智能化发展方向；
13. “一带一路”形势下多式联运关键技术研究；
14. 强电磁环境对高速铁路车地设备影响关键技术研究；
15. 铁路行业实施脱碳战略研究；
16. 5G-R、北斗卫星安全定位、铁路网络安全技术等。

◆ 征稿说明

来稿请注明“编辑部征稿”字样，来稿以企业、项目组或个人形式投稿均可。以企业或项目组投稿时，可以“专题专栏”形式优先发表；以个人形式投稿时，省部级以上基金论文或审稿专家评价为优秀的论文优先发表。

◆ 其他事项

1. 请作者登陆《铁路通信信号工程技术》期刊网站 (<https://rsce.crsce.com.cn>)，在“作者中心”查看投稿指南和论文模板。
 2. 编辑部收到稿件后会回复作者，稿件发出一周后仍未收到回复时，请电话联系确认。
 3. 论文投稿请发送电子邮件，投稿邮箱：rsce@crsce.com.cn
- 联系人：陈超，电话：010-50805951



期刊官网



期刊公众号

《铁路通信信号工程技术》期刊

青年编委招募启事



2024年，习近平总书记创造性地提出新质生产力，并深刻阐明了发展新质生产力同科技创新和产业创新的关系。为了吸引更多高科技优秀人才和科研创新领军人才，推动轨道交通新质生产力的快速发展，我们诚挚邀请有志于轨道交通科技事业的青年才俊加入《铁路通信信号工程技术》期刊首届青年编委团队。如果您渴望与期刊共同成长，相互成就，快速获得本专业知识及在行业内的影响力和认可度，欢迎自荐或推荐他人加入！我们期待与您携手，共同书写更多精彩篇章！

作为中国铁路通信信号集团有限公司主管、北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办的权威学术期刊，我们一直致力于为轨道交通通信信号领域的科研工作者提供高质量的学术交流平台。《铁路通信信号工程技术》期刊是国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊，是中国铁道学会通信信号分会指定期刊。本刊被“中国知网”“万方数据”“维普数据”“日本JST”“美国EBSCO”等国内外重要数据库收录，在轨道交通通信信号领域拥有极高的学术影响力。

一、申请条件

1. 年龄原则上不超过45周岁，具有副高及以上职称或硕士以上学位。
2. 精通铁路和城市轨道交通通信信号专业知识，负责或主持相关的科研课题或工程项目，具有较高的理论和学术水平。
3. 洞悉此领域的发展前沿和整体水平，具有优秀的稿件组织和策划能力。
4. 作为第一作者/通信作者在国内权威期刊上发表过高影响力论文。
5. 热心期刊工作，愿意为期刊的审稿、投（荐）稿、宣传推广等工作出谋划策。
6. 良好的学术沟通能力，审稿认真负责，具有相关权威期刊审稿经验者优先。

二、青年编委的权利

1. 获得青年编委聘书，贡献突出者将授予“优秀青年编委”荣誉，入选期刊编委会。
2. 享受更优质的学术出版服务，撰写或推荐的文章通过同行评审后优先发表，版面费享受优惠政策。
3. 在期刊网站、微信公众号等平台展示青年编委个人及其团队的优秀学术成果。
4. 担任专题主编，组织学术专题/专刊、会议特刊等，提升个人学术影响力。
5. 参与期刊举办的学术会议和研讨会，受邀参加相关项目研究与合作，与同行们交流最新研究成果。
6. 进入期刊专家库，推荐入选其他相关机构组织的专家库。

三、青年编委的义务

1. 积极参与学术交流活动，通过各种渠道，宣传和推介本刊，提高期刊影响力。
2. 每年为本刊撰写1~2篇高质量稿件。
3. 协助编辑部开展约稿、组稿、专题/专刊策划等工作，提升期刊学术质量。
4. 参与期刊审稿工作，并推荐领域内的优秀审稿专家。

四、青年编委申请方式

如果您愿意成为我们青年编委团队的一员，请填写《青年编委申请表》（附件1），并通过电子邮件发送至 rsce@crscd.com.cn。

邮件主题请注明“申请青年编委+姓名”。

联系方式：010-50805951/010-50805954。期刊网址：<https://rsce.crscd.com.cn/>

期待您的加入，让我们携手共创轨道交通科技事业的美好未来！



扫码下载申请表

轨道交通电线电缆

国内轨道交通电线电缆核心供应商之一。五十多年生产经历。主要成品：信号电缆、贯通地线、漏泄同轴电缆、射频电缆、长途对称通信电缆、27.5 kV 电气化铁路电缆、35 kV 高压电缆、直流电缆、低压电力电缆、控制电缆、电线。

产品

覆盖领域

- **高速铁路：**秦沈客专、武广客专、京沪客专、广深港客专、哈大客专、京沈客专、东南沿海客专、青太客专、徐兰客专、沪汉蓉客专、京福高铁、沪昆客专、西成客专、云桂客专、贵广客专、京津城际、川藏铁路、兰新铁路、沪宁城际、沪杭城际、渝昆高铁、杭温高铁、宣绩高铁……
- **地铁轻轨：**北京地铁、上海地铁、广州地铁、天津地铁、深圳地铁、武汉地铁、西安地铁、重庆地铁、成都地铁、合肥地铁、郑州地铁、长春地铁……
- **国家基础建设：**长沙机场、沈阳机场、新郑机场、国家电网。
- **电信运营商：**中国移动，中国电信，中国联通，铁塔公司。
- **海外市场：**英国、挪威、加拿大、澳大利亚、以色列、土耳其、韩国、泰国、柬埔寨、印度、尼日利亚、肯尼亚……

技术

领先

国家高新技术企业，河南省轨道信息传输电缆工程技术研究中心，河南省射频及微波通信漏泄传输工程研究中心，河南省企业技术中心，焦作市工程技术研究中心。河南省“专精特新”企业、“瞪羚企业”，多次荣获河南省科技进步奖。相关产品有 60 余项发明和实用新型专利。主导或参与制定国际标准 2 项、国家标准 6 项、行业标准 13 项、国铁集团企业标准 1 项。



焦作铁路电缆有限责任公司

地址：中国河南省焦作市站前路 8 号

电话：0391-2632323

网址：<http://thjl.crsc.cn>

Jiaozuo Railway Cable Co., Ltd.

Address: No. 8 Zhanqian Road, Jiaozuo, Henan Province, P.R. China

Phone: +86-391-2632323

Website: <http://thjl.crsc.cn>

广告

国家级期刊

《铁路通信信号工程技术》

《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管
北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办

在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响，深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准，自2005年12月起面向国内外公开发刊。

本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计刊源期刊；RCCSE中国准核心学术期刊；日本科学技术振兴机构数据库（JST）收录期刊；EBSCO学术数据库收录期刊；中国核心期刊（遴选）数据库收录期刊；中国学术期刊（光盘版）全文收录期刊；中文科技期刊数据库（全文版）收录期刊；中国学术期刊影响因子年报统计源期刊；超星期刊域出版平台全文收录；中国铁道学会通信信号分会指定期刊；国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊。

办刊宗旨：

为推动行业科技创新，促进研发与生产融合，带动产业协同发展，为从事轨道交通通信、信号和信息技术的广大科技人员搭建充分交流的平台，提供学习参考和论文发表的园地，充分展示国内外铁路和城市轨道交通领域的通信、信号和信息化技术的近期成果和发展动态，为推动中国轨道交通技术的创新和发展，促进中国轨道交通装备现代化而服务。

主要内容：

围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导；对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员，在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流；及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。

每期 **10** 元
全年（12期）120元

订阅方式：

邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，
邮发代号 80-532
编辑部订阅：e-mail
或电话至编辑部



联系方式：

电话：010-50805951；
010-50805954

期刊官网投稿：

<https://rsce.crscd.com.cn>

邮箱投稿：rsce@crscd.com.cn

地址：北京市丰台科技园区汽车博物馆
南路1号院中国通号B座 100070

ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U



期刊官网 期刊公众号

ISSN 1673-4440



邮发代号：80-532 国内定价：10元/期