

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

铁路通信信号工程技术

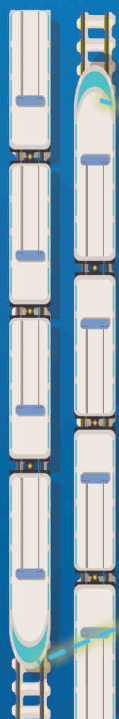
Railway Signalling & Communication Engineering

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 2023. **11** 第20卷 总第155期

CRSC

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司



ATP
列车防护系统



GSM-R
无线通信网络

IRD-TH型
无线闭塞中心接口监测设备

行车许可

紧急停车



RBC
无线闭塞中心

运行计划

运行计划



TSRS
临时限速服务器



CTC
调度集中系统

CTCS-3级
高速铁路列控系统

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:

王锦 Wang Jin

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:

010-51865951; 010-51865957 010-51865951; 010-51865957

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 Jinrzhongtie 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20卷第11期总第155期 Vol.20 No.11 S.No.155

出版: 2023年11月25日 Published on: 11/25/2023

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

一种列控车载系统的优化与实现	卢瑞冰	1-6
多因素条件下高速轮轨关系对轨道电路性能影响	张超凡, 刘俊, 罗汉冬, 蒋晓鸽	7-13
高精度轨道电子地图生成系统设计与应用	孙哲, 王嵩, 赵佳	14-19
铁路信号智能模拟盘研制与应用	王定明	20-25
变温环境下超声导波钢轨结构健康监测技术研究	王鹏跃, 朱良, 谭树林, 姜增刚, 康剑	26-33
站内长短进路的列控系统处理方案研究	杨韬, 黄佳	34-38
应答器传输模块发射功率控制分析	王莉, 余园园	39-43

通信及信息技术

重载铁路运输大数据分析平台架构设计研究	宋宗莹, 王文斌, 刘子扬, 周瑾, 刘永壮	44-49
铁路5G-R基站绿色化运行分析	张羽白, 孙启民, 张驰	50-53
智慧综合调度信息系统的三级部署研究	王玉龙	54-59
叙毕铁路GSM-R系统干扰排查案例分析	卫磊	60-65

城轨交通

基于运行状态评价的城市轨道交通安检配置优化	曹凯, 张宁	66-73
城市轨道交通车站客服新模式探讨	李健, 毛新德, 刘英杰, 黄健	74-78
基于接触网扩展监测的区间综合智能检测研究	于秋波, 韩朝建, 张晓飞, 王宝顺, 陈振, 倪国政	79-84
城市轨道交通Y形线路信号系统拆分改造方案	裴立原	85-91
成都地铁1号线信号系统车地无线改造工程方案	张世铭, 张建明, 许瑜	92-96
基于地铁CBTC信号系统的延伸预留设计方案	刘冬冬, 唐陶	97-101

技术交流

关于CR300BF动车组BTM天线周围谐波干扰问题的研究	刘骄, 夏朋亮	102-105
ZD-6型电动转辙机“接点反弹”的故障分析及预防	胡婕, 徐锦材, 郭予广	106-111
铁路信号设备辐射发射超标分析及对策	柳晓鹏	112-116

国外信息

UIC 创新研讨会“数字时代的铁路产品和乘客体验设计”(6) 交通指令批准, 将获得更明智的出行规划, 更好的紧急服务, 以及更可持续的交通(38) 银行为意大利企业的数字铁路研发工作提供支持(91) 福斯罗公司发布一款创新型数字平台(116)

广告索引

CONTENTS

Technological Innovation

Signalling Technology

Optimization and Implementation of Train Control On-board System	Lu Ruibing	1-6
Influence of High-speed Wheel-rail Relations on Track Circuit Performance Under Multi-factor Conditions	Zhang Chaofan, Liu Jun, Luo Handong, Jiang Xiaoge	7-13
Design and Implementation of High Precision Track Electronic Map Generation System	Sun Zhe, Wang Song, Zhao Jia	14-19
Development and Application of Intelligent Simulation Panel for Railway Signal	Wang Dingming	20-25
Research on Rail Structure Health Monitoring Technology Based on Ultrasonic Guided Wave in Variable Temperature Environment.....	Wang Pengyue, Zhu Liang, Tan Shulin, Jiang Zenggang, Kang Jian	26-33
Research on Train Control System Processing Scheme of Long-short Route in Station	Yang Tao, Huang Jia	34-38
Analysis of Transmit Power Control of Balise Transmission Module	Wang Li, Yu Yuanyuan	39-43

Communication & Information Technologies

Design and Research on Architecture of Big Data Analytics Platform in Heavy-haul Railway Transportation	Song Zongying, Wang Wenbin, Liu Ziyang, Zhou Jin, Liu Yongzhuang	44-49
Analysis of Green Operation of Railway 5G-R Base Station	Zhang Yubai, Sun Qimin, Zhang Chi	50-53
Research on Three-level Deployment of Intelligent Integrated Dispatching Information System	Wang Yulong	54-59
Case Analysis of Interference Investigation of GSM-R System in Xuyong-Bijie Railway	Wei Lei	60-65

Urban Rail Transit

Optimization of Security Check Configuration for Urban Rail Transit Based on Operational Status Evaluation	Cao Kai, Zhang Ning	66-73
Discussion on New Mode of Passenger Service of Urban Rail Transit Stations	Li Jian, Mao Xinde, Liu Yingjie, Huang Jian	74-78
Research on Section Comprehensive Intelligent Detection Based on Extended Monitoring System of OCS	Yu Qiubo, Han Chaojian, Zhang Xiaofei, Wang Baoshun, Chen Zhen, Ni Guozheng	79-84
Splitting and Transformation Scheme of Signaling System for Y-shaped Line in Urban Rail Transit	Pei Liyuan	85-91
Vehicle-ground Wireless Renovation Project of Signaling System for Chengdu Metro Line 1	Zhang Shiming, Zhang Jianming, Xu Yu	92-96
Research on Reservation Design Scheme for Extension Based on Urban Rail Transit CBTC Signaling System	Liu Dongdong, Tang Tao	97-101

Technological Exchange

Research on Harmonic Interference Around BTM Antenna of CR300BF EMU	Liu Jiao, Xia Pengliang	102-105
Fault Analysis and Prevention of "Contact Rebound" of ZD-6 Electric Switch Machine	Hu Jie, Xu Jincai, Guo Yuguang	106-111
Analysis and Countermeasure of Excessive Radiated Emission of Railway Signaling Equipment	Liu Xiaopeng	112-116

Advertiser Index

.....		73
-------	--	----

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.11.001

一种列控车载系统的优化与实现

卢瑞冰

(中国铁路南宁局集团有限公司, 南宁 530029)

摘要: CTCS3-300T 列控车载系统核心控制模块采用双套冗余方式, 但在列车接口环节, 系统使用单套 DX/DI 接口单元, 形成单一失效节点, 容易导致黏著性故障。为解决单套 DX/DI 对 CTCS3-300T 系统可用性的影响, 提出使用冗余列车接口的优化设计方案, 使用双套冗余 DX-TH 替代单套 DX/DI 模块。该方案不占用额外安装空间, 不破坏既有 CTCS3-300T 其他子模块的安装空间完整性。可靠性模型分析表明, 使用冗余 DX-TH 模块可有效提升 CTCS3-300T 系统的可靠性。

关键词: CTCS3-300T; 列车接口; 冗余; 单点失效

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0001-06

Optimization and Implementation of Train Control On-board System

Lu Ruibing

(China Railway Nanning Group Co., Ltd, Nanning 530029, China)

Abstract: The core control module of CTCS3-300T train control on-board system adopts double sets of redundancy. However, in the train interface link, the system uses a single set of DX/DI interface unit, forms a single failure point, which is easy to cause adhesive failure. In order to solve the impact of a single set of DX/DI on the availability of the CTCS3-300T system, an optimized design scheme using redundant train interfaces is proposed, double redundant DX-TH modules are used instead of single DX/DI modules. This solution does not take up additional installation space and does not jeopardize the integrity of the installation space of other sub-modules of the existing CTCS3-300T. Reliability model analysis shows that the use of redundant DX-TH modules can effectively improve the reliability of the CTCS3-300T system.

Keywords: CTCS3-300T; train interfaces; redundancy; single point of failure

1 概述

CTCS-3 级列控系统是中国列车运行控制系统的重要组成部分^[1], 它根据列车的实际运行情况, 对列车运行速度、制动方式等进行监督和控制, 以保证行车安全和提高行车效率, 列控系统的可靠性

收稿日期: 2023-07-17; 修回日期: 2023-11-07

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2022YFB4300500)

作者简介: 卢瑞冰(1978—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 列控车载安全控制设备, 邮箱: Luruibing@sina.com。

是列车运行安全的重要保证。为提高列控系统可靠性和可用性，冗余技术（主动冗余和备份冗余）广泛应用于系统设计^[2]，众多文献也对此进行了建模和分析。文献[3]针对列控车载子系统利用贝叶斯网络建立了考虑共因失效的可靠性分析模型，实现对列控车载子系统的可靠性评估。文献[4]采用Markov模型分别对列控系统和列控中心进行可靠性分析。贝叶斯网络从概率推理的角度出发表达随机变量之间的关系，易于表达和推理复杂多态系统，目前该方法已被广泛应用于各个领域，文献[5-8]使用该方法对铁路信号领域的相关问题进行了研究。文献[9]则使用动态故障树的方法在设计阶段对CTCS-3车载系统进行可靠性评估。文献[10]阐述了利用机器学习对铁路信号设备进行故障检测与预测的相关技术。上述文献对于如何定量评估和提高列控车载系统的可靠性具有很大的参考价值，但均偏重于理论分析计算，对工程实践涉及较少。

CTCS3-300T列控车载系统核心控制模块采用双套冗余方式，在列车接口环节，系统使用单套DX/DI

接口单元，形成单一失效节点，会直接导致黏著性故障。为解决单套DX/DI对CTCS3-300T系统可用性的影响，提出了使用冗余列车接口的CTCS3-300T系统优化设计方案，并据此实现DX-TH模块。使用双套冗余DX-TH替代单套DX/DI模块，不占用额外安装空间，不破坏既有CTCS3-300T其他子模块的安装空间完整性。可靠性模型分析表明，CTCS3-300T系统使用冗余DX-TH模块后可有效降低故障率。

2 CTCS3-300T系统可靠性分析

2.1 CTCS3-300T系统结构

CTCS3-300T列控车载系统与列车接口分为总线接口和继电器接口两种，后者主要应用于CRH2、CRH380A、CR400AF、CR400BF等列车型号，采用继电器接口方式的系统框如图1所示。系统核心部件均采用冗余冷备结构，单套设备/单元故障后不影响系统运用，列车接口通过DX/DI单元共同实现。DX单元为高可靠输入/输出单元，DI单元为高可靠输入单元。当前CTCS3-300T系统中DX/

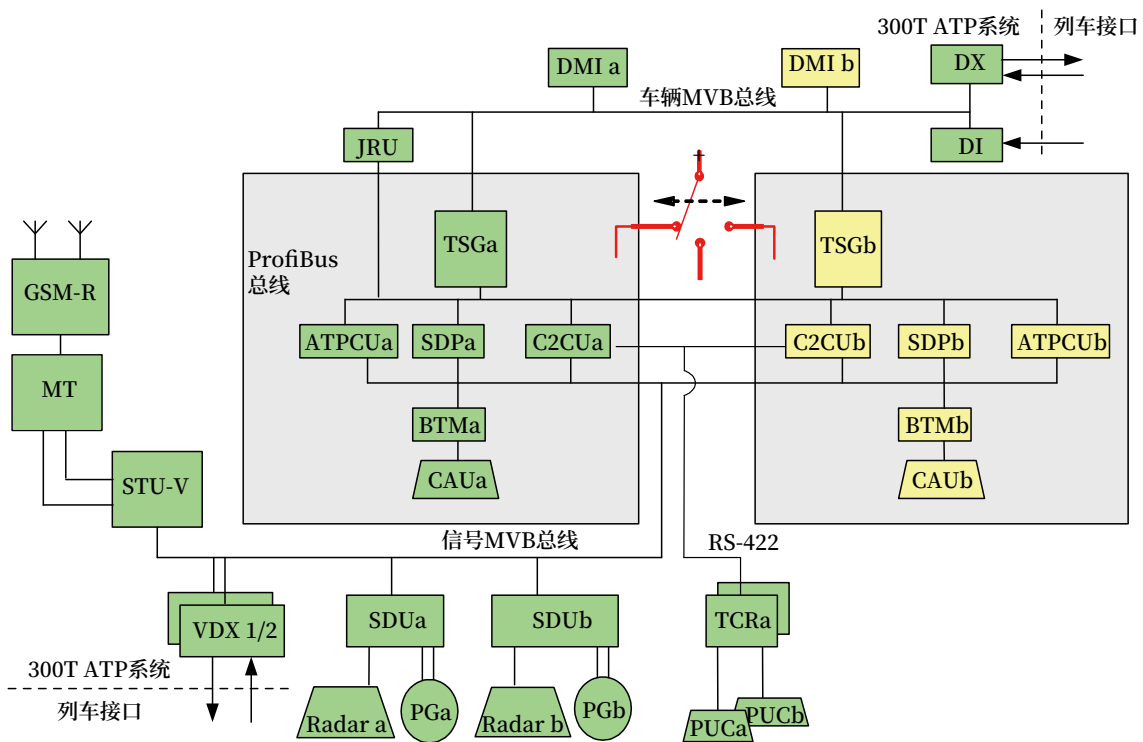


图1 CTCS3-300T系统
Fig.1 CTCS3-300T system

DI 单元为单套配置, DX/DI 单元中任意一个故障都将导致系统不可用。

2.2 可靠性计算方法

可靠性模型是用以预计或估计产品可靠性的一种模型。通过建立产品系统级、分系统级或设备级的可靠性模型,可便于定量分配、估计和评价产品的可靠性。参考 GJB/Z 299C-2006 标准,典型的可靠性模型有串联模型和并联模型两种。其中,串联模型是指组成产品的所有单元中任一单元发生故障都会导致整个产品故障的模型;并联模型是指组成产品所有单元同时工作时,只要还有一个单元不发生故障,产品就不会发生故障,也称工作贮备模型(冗余模式)。串联模型的数学模型如下。

1) 产品可靠度是产品各单元可靠度的积,如公式(1)所示:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (1)$$

式中, $R_s(t)$ 表示整个产品的可靠度; $R_i(t)$ 表示产品各个单元的可靠度。

2) 产品故障率是产品各单元故障率的和,如公式(2)所示:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \quad (2)$$

式中, $\lambda_s(t)$ 表示整个产品的故障率; $\lambda_i(t)$ 表示产品各个单元的故障率。

产品可靠度与产品故障率之间的计算公式如公式(3)所示:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} = e^{-\lambda_s t} \quad (3)$$

并联模型考虑的是冗余系统,因此考察的是所有单元都发生故障的概率,即总的不可靠度。在考虑各单元相互独立情况下,并联模型的数学模型如公式(4)所示:

$$R_s(t) = 1 - F_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (4)$$

式中, $F_s(t)$ 表示整个并联系统的失效概率; $F_i(t)$ 表示各个单元的失效概率; $R_i(t)$ 表示各个单元的可靠度。

2.3 可靠性建模与计算

按照结构框图和功能模块,CTCS3-300T 列控系统的可靠性模型如图 2 所示。该可靠性模型由 Part1-Part3 组成,Part1 和 Part3 为冗余并联结构,Part2 为串联结构。

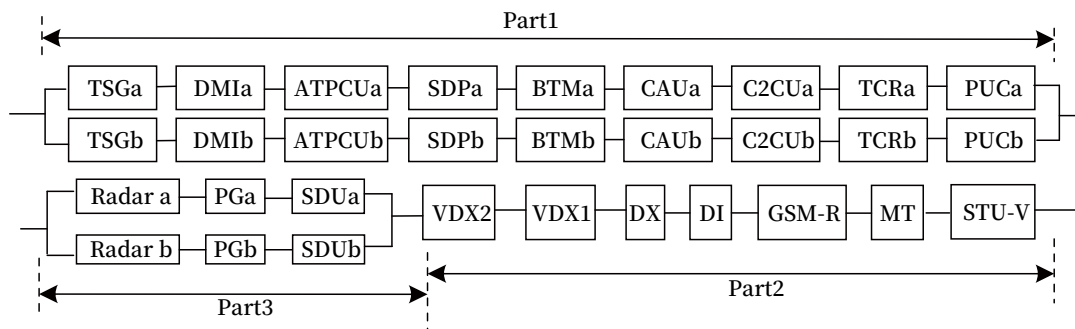


图2 CTCS3-300T可靠性模型
Fig.2 CTCS3-300T reliability model

根据可靠性计算方法,对于串联模块,直接计算其失效率 λ_{sp} ,然后相加即可。对于两个相同模块所组成的并联冗余模块,则需要考虑其共模失效因子,其计算如公式(5)所示:

$$\frac{MDT}{MTBF} = \left(\frac{MDT_s}{MTBF_s} \right)^2 \quad (5)$$

式中, MDT_s 为单个模块的平均停机时间; $MTBF_s$ 为单个模块的平均故障间隔时间; MDT 为并

联系统的平均停机时间; $MTBF$ 为并联系统的平均故障间隔时间。

假设备故障率不变,单个模块故障发生时间为平均分布,两个模块发生故障的概率重叠为 50%,可得 $MDT = MDT_s/2$,将其代入式(5)如公式(6)、(7)所示:

$$MTBF = \frac{(MTBF_s)^2}{2 \cdot MDT_s} \quad (6)$$

$$\lambda_p = 1/MTBF = 2 \cdot MDT_s / (MTBF_s)^2 = 2 \cdot MDT_s \cdot \lambda_{sp}^2 \quad (7)$$

公式中， λ_p 表示并联系统的失效率； λ_{sp} 表示单个模块的失效率。

根据公式 (7)，并联结构的失效率 λ_p 正比于单个模块失效率 λ_{sp} 的平方，单个模块失效率一般为 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 量级，因此 λ_p 一般为 $10^{-12} \sim 10^{-10}$ 量级。根据公式 (2)，串联结构的失效率为单个模块失效率的累加，其失效率为 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 量级。据此可知，Part1 和 Part3 是并联结构，其失效率高，可靠性指标高。Part2 是串联结构，其故障率较高。为降低 Part2 的故障率，需将其组件由单点串联改为冗余并联模式。综合考虑工程实现难度以及可行性，选择将列车接口部件由单套转换为多套冗余方式。

3 DX-TH模块设计与实现

为提升系统的可靠性，选择将列车接口部件由单套转换为多套冗余的方式。CTCS3-300T 的主控单元采用双套冗余架构，因此列车接口部件也可采用双套冗余方式。

DX/DI 作为两个单独的模块，共同组成了列车的接口部件。如果使用双套 DX/DI 设备，存在如下弊端。

1) 占用原本拥挤的 ATP 设备安装空间。使用双套 DX/DI 会由原先的 2 个箱体模块，增加为 4 个箱体模块，占用原本就拥挤的机柜安装空间。

2) 破坏既有其他模块的安装空间完整性。CTCS3-300T 设备各个模块的安装位置是按照功能进行空间划分，各自占据最为合理的安装位置。若将增加的 DX/DI 两个模块随意安装，则破坏了原机柜的空间完整性。若为了保持这种空间完整性，则需要对既有其他模块的位置进行调整，工作量较大不便于工程实施。

3) 使用双套 DX/DI 会增加 MVB 总线的负载。增加的 DX/DI 单元需接入到 CTCS3-300T 系统内部 MVB 总线，增加了总线的电气负载，可能会降低总线的通信质量。

基于上述分析，确定设计新的列车接口模块 DX-TH，用于代替 DX/DI 的功能，即使用单套 DX-TH 模块实现 DX/DI 两个模块的全部功能。DX-TH 的设计考虑了如下几点。

1) DX-TH 模块与单个 DX 或 DI 模块的尺寸和安装方式完全兼容，可在既有 DX 和 DI 模块的位置分别安装 1 套 DX-TH 模块，构成双 DX-TH 冗余系统，无需占用既有 CTCS3-300T 的额外安装空间。

2) DX-TH 模块占用既有 DX 和 DI 的安装位置，无需改变其他既有模块的安装位置，也没有破坏 CTCS3-300T 各模块的安装空间完整性。

3) 新增的双套 DX-TH 挂载在 CTCS3-300T 内部 MVB 总线上，取代了既有 DX 和 DI 模块的位置，内部 MVB 总线上挂载的设备数保持一致，没有增加电气负载。

4) DX-TH 替代既有 DX 和 DI 的功能，与外部继电器连接。模块与外部继电器的连接电路充分借鉴既有 DX 和 DI 的设计，充分利用已有成熟设计方案经验，确保硬件接口电气性能一致性。

DX-TH 模块的硬件架构如图 3 所示，整个硬件分为 4 大部分。主 CPU 与 DDR 主存储器模块、FPGA 构成核心控制单元，执行模块的软件代码。MVB 接口电路和接口芯片用于实现 MVB 总线通信。DI 功能接口电路参考既有 DI 模块的硬件设计，通过列车继电器接口读取获得输入 I/O 信号。DX 功能接口电路参考既有 DX 模块的硬件设计，用于向外输出 I/O 信号控制外部继电器动作，也通过继电器接口读取外部输入信号。电源转换模块用于给各硬件电路提供所需的各种二次电源。

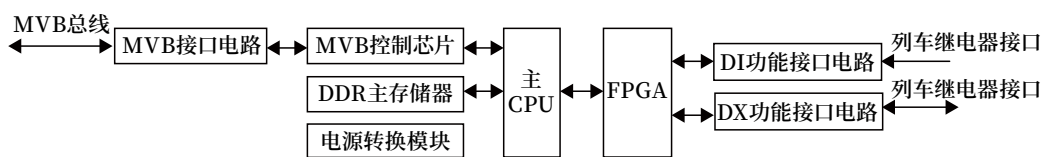


图3 DX-TH模块硬件架构
Fig.3 Block diagram of DX-TH module hardware architecture

4 优化效果分析与验证

使用冗余DX-TH替代既有单套DI/DX后, CTCS3-300T系统的可靠性框如图4所示。对比图2可知,新框图的Part1增加了DX-TH部件,该部

分是并联结构,因此对整体故障率的影响较小。串联结构的Part2减少了DI、DX部件,预计可大幅降低该部分的故障率,进而提高整个CTCS3-300T系统的可靠性。

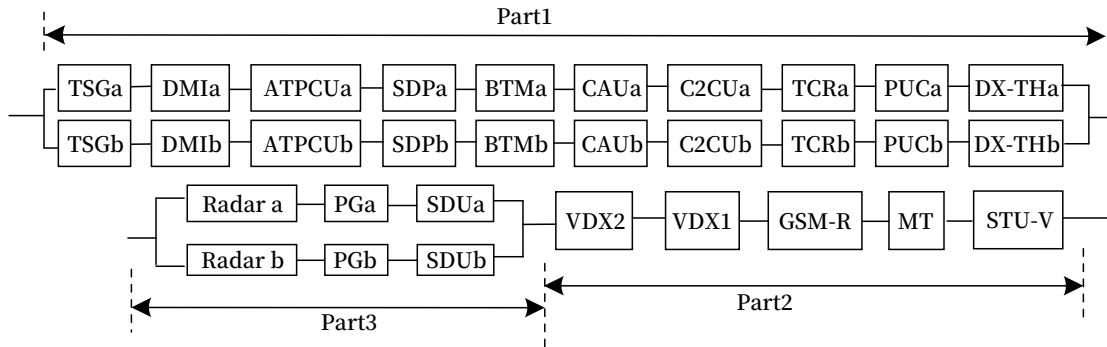


图4 使用冗余DX-TH的CTCS3-300T可靠性模型
Fig.4 CTCS3-300T reliability model using redundant DX-THs

5 总结和展望

为降低失效率提高可用性, CTCS3-300T列控车载系统核心部件采用双套冗余方式,但在与列车接口环节仍采用单套DX/DI单元,对系统可用性造成负面影响。新研制的DX-TH模块可替代DX/DI单元,CTCS3-300T系统可在不破坏既有模块安装空间完整性的情况下安装双套DX-TH,构成冗余列车接口。可靠性模型分析表明,使用双套冗余DX-TH,CTCS3-300T系统的故障率可明显降低。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. CTCS-3级列车运行控制系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013: 19-47.
- [2] 王涛. 轨道交通信号系统中冗余技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(1): 12-15. Wang Tao. Research on Redundancy Technology of Signaling System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 12-15.
- [3] 张振海, 王悦榕, 党建武. 考虑共因失效的列控车载子系统可靠性分析[J]. 铁道学报, 2021, 43(9): 63-70.

- Zhang Zhenhai, Wang Yuerong, Dang Jianwu. Reliability Analysis of Onboard Subsystem of Train Control System Considering Common Cause Failure[J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(9): 63-70.
- [4] 邱丽清, 袁湘鄂, 王永年. CTCS-3级列控系统RAM指标评价方法研究[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(6): 92-97.
- [5] 张友鹏, 杨金凤. 基于动态贝叶斯网络的CTCS-3级ATP系统可靠性分析[J]. 铁道学报, 2017, 39(7): 79-86. Zhang Youpeng, Yang Jinfeng. Reliability Analysis on ATP System of CTCS-3 Based on Dynamic Bayesian Network[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(7): 79-86.
- [6] 江磊, 王小敏, 刘一骝, 等. 基于动态贝叶斯网络的CTCS3-300T列控车载系统运行可靠性及可用性评估[J]. 铁道学报, 2020, 42(3): 85-92. Jiang Lei, Wang Xiaomin, Liu Yiliu, et al. DBN-Based Operational Reliability and Availability Evaluation of CTCS3-300T Onboard System[J]. Journal of the China Railway Society, 2020, 42(3): 85-92.
- [7] 苏宏升, 车玉龙, 张友鹏. 基于贝叶斯网络的

- CTCS-3 级列控系统车载子系统可靠性评估 [J]. 中国铁道科学, 2014, 35 (5): 96-104.
- Su Hongsheng, Che Yulong, Zhang Youpeng. Dependability Assessment of CTCS-3 On-Board Subsystem Based on Bayesian Network[J]. China Railway Science, 2014, 35(5): 96-104.
- [8] 江磊, 王小敏, 蔺伟. 基于动态贝叶斯网络的列控中心可靠性及可用性评估 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18 (3): 182-188, 217.
- Jiang Lei, Wang Xiaomin, Lin Wei. Reliability and Availability Evaluation of Train Control Center Based on Dynamic Bayesian Network[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(3): 182-188, 217.
- [9] 张文韬, 张友鹏, 苏宏升, 等. 基于动态故障树的 CTCS-3 级 ATP 系统可靠性分析 [J]. 工程设计学报, 2014, 21 (1): 18-26.
- Zhang Wentao, Zhang Youpeng, Su Hongsheng, et al. Reliability Analysis on ATP System of CTCS-3 Based on Dynamic Fault Tree[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2014, 21(1): 18-26.
- [10] 谢博才, 宫殿君. 基于机器学习的道岔故障诊断与预测研究综述 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (8): 93-99.
- Xie Bocai, Gong Dianjun. Overview of Turnout Fault Diagnosis and Prognostic Based on Machine Learning[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 93-99.

国外信息

UIC创新研讨会 “数字时代的铁路产品和乘客体验设计”

由 UIC 客运服务组安排的创新研讨会, 内容涵盖科技趋势及其对铁路行业的影响。每场研讨会都包括行业专家的推介演讲、互动会议和通过数字协作工具实现的共同创造活动。

10 月 25 日, 最近一次创新研讨会在 UIC 巴黎总部举行。研讨会主题为“数字时代的铁路产品和乘客体验设计”, 会上研究了旅客不断变化的需求和习惯, 也探讨了可以应用于客运铁路的产品和服务设计的最佳实践。此外, 在设计或改善数字客户服务和面对面客户服务时, 数据驱动技术和以人为本设计的应用也是本次研讨会考虑的内容。

研讨会旨在支持人们讨论铁路行业可以如何应对关键挑战、利用机遇, 例如, 可采用的方法包括环保的客户体验设计、使旅行计划和购物更加简便, 以及在行程中断期间为乘客提供支持。本次研讨会通过线上线下混合形式举行。

研讨会目标为: 学习如何应用产品和服务设计的最佳实践, 并带来变化; 参加分组讨论会; 与您的同事一起设想如何对客运铁路产生影响。

详细内容包括: 发现影响旅客行为和态度的关键趋势; 了解由数据驱动的实验文化如何协助改善数字体验; 了解用于识别和解决用户问题的以人为中心的技术概况; 了解铁路行业领导者如何应用最佳实践; 与技术专家和业内同行讨论机遇和挑战; 为构思快速见效的方法和战略方向做出贡献, 助力在铁路行业中的应用; 就铁路行业应该实施的国际倡议提出思路。

上一次研讨会于 9 月 14 日在罗马举行, 讨论的主题是“元宇宙: 旅游供应商的威胁还是机遇”, 其中包括可以亲身实践的演示活动, 旨在展示扩展现实 (XR) 技术在列车车厢样件制造、测试和评估方面的潜在应用。会上讨论了来自元宇宙技术的潜在威胁和诸多机会, 其中包括增强现实 (AR) 和虚拟现实 (VR) 技术在维护、培训和销售领域的应用, 也包括和非同质化通证 (NFT) 有关的用例, 以及数字孪生技术在施工和资产管理中的新兴作用。瑞士联邦铁路公司 (SBB) 的扩展现实负责人乔·夏迪格 (Joe Scheidegger) 展示了扩展现实技术在该公司的前沿应用, 包括采用虚拟现实技术体验瑞士伯尔尼火车站 (Bern station) 的未来景象、客户信息增强现实技术、优化维护流程的扩展现实和数字孪生技术以及基于虚拟现实的培训。他还介绍了“铁路元宇宙” (RAILverse) 概念, 这是一个支持虚拟现实培训和其他应用的创新平台。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王冲翻译自: <https://uic.org/com> 2023-10-25)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.11.002

多因素条件下高速轮轨关系对 轨道电路性能影响

张超凡, 刘俊, 罗汉冬, 蒋晓鸽

(中国铁路南宁局集团有限公司, 南宁 530003)

摘要: 轨道电路是实现轨道车辆占用监测及通信的铁路信号重要组成部分, 对行车安全具有十分重要的意义, 其中轮轨电阻对轨道电路性能的影响是一个重要的方向。设计一系列基于滚动试验台的轮轨电阻测量实验, 通过对行车中多种常见干扰因素如测量参数、轮重、走行速度和轨道状态等进行对比测试, 研究其对轮轨电阻的影响。当电压增大、轴重增大、锈蚀越少、车轮踏面粗糙度越高、轮轨间油污减少时, 轮轨电阻随之降低, 分路效果变好。

关键词: 轨道电路; 轮轨电阻; 等效模拟装置; 影响分析

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0007-07

Influence of High-speed Wheel-rail Relations on Track Circuit Performance Under Multi-factor Conditions

Zhang Chaofan, Liu Jun, Luo Handong, Jiang Xiaoge

(China Railway Nanning Group Co., Ltd, Nanning 530003, China)

Abstract: Track circuit is an important part of railway signal used for monitoring of railway vehicle occupancy and communication, which is of great significance to traffic safety. The influence of wheel-rail resistance on the performance of track circuits is an important direction. In this paper, a series of wheel-rail resistance measurement experiments based on rolling test bench are designed to study the influence of various common interference factors such as measurement parameters, wheel weight, running speed and track state on wheel-rail resistance. When the voltage increases, the axle load increases, the rust is less, the wheel tread roughness is higher, and the oil pollution between the wheel and rail is reduced, the wheel-rail resistance decreases and the shunting effect becomes better.

Keywords: track circuit; wheel-rail resistance; equivalent simulation device; effect analysis

铁路运输系统中, 铁路信号是确保行车安全、完善运行管理水平以及提升线路效率的重要基础设施

。其中用于实现轨道车辆占用监测及通信的轨道电路则更是重中之重^[1-2]。轨道电路是由钢轨线路和钢轨绝缘构成的电路, 用于自动、连续检测这段线路是否被机车车辆占用, 也用于控制信号装置或转辙装置, 以保证轨道车辆的行车安全。同时, 轨

收稿日期: 2023-07-17; 修回日期: 2023-11-13

第一作者: 张超凡 (1990—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁道通信信号, 邮箱: cfzhang118@163.com。

道电路另一个重要作用是能够检测钢轨是否发生断裂，在充当导线的钢轨安全无事时，轨道电流通畅无阻，继电器工作也正常。一旦前方钢轨发生断裂，切断了轨道电流，就会使继电器因供电不足而释放衔铁接通红色信号电路。此时，线路虽然空闲，信号机仍然显示红灯，从而防止列车颠覆事故。由此可见轨道电路系统对行车安全的重要性。目前，世界范围内各方学者都在对轨道电路的性能展开研究，其中对轮轨电阻的研究是一个重要的方向。

针对轨道电路的研究目前主要集中于对轨道电路空间域建模及传输特性、轨道电路暂态建模以及对轨道电路基础参数的获取。对于轨道电路的空间域建模及传输特性研究，意大利学者 Mariscotti^[3-4]研究了轨道电路中轮轨电阻的模型验证和电容补偿问题。赵林海等使用仿真方法研究补偿电容对于车辆信号幅值的影响，并提出对于 ZPW-2000 的电容补偿计算方法^[5]，还分析了 TCR 中车辆走行速度与信号频率偏差间的关系^[6]。在轨道电路暂态建模方面，赵斌等采用拉式反变换法^[7]以及同伦分析法^[8]对于轨道电路端面电流进行了求解，还建议利用车辆出/入区段时的信号突变特性对轨道电路的状态进行监测^[9]。针对轨道电路基础参数的获取，Mariscotti^[10-11]提出轨道一次参数的测量模式，并多次试验从而对直流、音频、工频工况中的一次参数进行了参数对比分析。而 Lucca^[12]则在边界元计算方法的帮助下对单位长度的轨道电导进行了计算。

在上述研究的基础上设计一种基于滚动台的轮轨电阻测量试验，通过对轨道车辆运行过程中常见的多种干扰因素进行测试，研究各种干扰因素对于轮轨电阻的影响。文章第一部分提出基于滚动台的轮轨电阻测量试验原理及装置；第二部分针对测量电路参数对轨道电路的影响进行试验研究，分别测试了电压值、频率值对其的影响；第三部分对轮重、走行速度等轨道车辆运行状态对轮轨电阻的影响进行试验；第四部分则着重研究了轨道状态对轮轨电阻的影响。

1 轮轨电阻测量试验

针对分路不良问题，对轮轨接触关系的电气特性进行研究，同时开发的试验装置具备模拟静态、动态工况中不同外界因素对接触电阻与分路效果的影响，通过对不同测量电路参数车型、牵引工况、车速等因素对轨道电路影响测试工作，完成数据的分析和规律统计；研究高速条件下，轨道电路轮轨电阻计算方法，完成轮轨接触关系等效模型建立，具备评估轨道电路分路性能的能力。等效电路如图 1 所示，图中两轴转向架各轮对形状相同，有相同电阻 w 、与台车绝缘，且该转向架位于图示试验用轨道电路内。

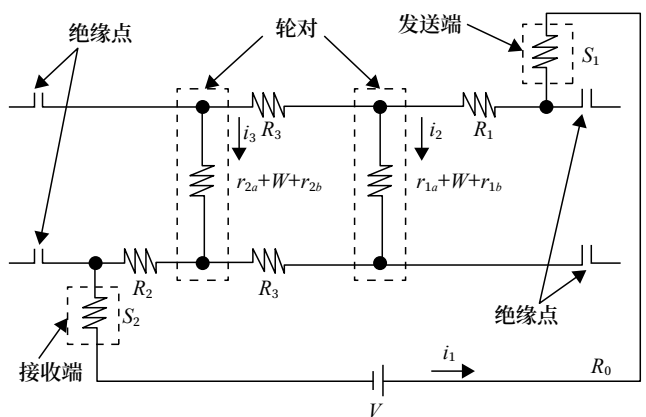


图1 轮轨电阻测量试验等效电路
Fig.1 Wheel-rail resistance measurement test equivalent circuit

在图 1 中， R_0 为引线电阻， R_1 、 R_2 、 R_3 为钢轨部位的电阻， S_1 、 S_2 为引线与钢轨连接处的电阻， r_{1a} 、 r_{1b} 、 r_{2a} 、 r_{2b} 为轮轨间的接触电阻。规定电源电压为 V 、各部电流为 i_1 、 i_2 、 i_3 ，根据基尔霍夫定律，该并联电路如公式 (1)、(2) 所示。

$$(r_{1a} + r_{1b} + W + R_3) i_2 = V - (R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2) i_1 \quad (1)$$

$$(r_{2a} + r_{2b} + W + R_3) i_3 = V - (R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2) i_1 \quad (2)$$

规定各轮对轮轨电阻为 r_1 、 r_2 ，包含轮对自身电阻，如公式 (3)、(4) 所示。

$$r_1 + r_{1a} + r_{1b} + W = \frac{V - (R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2) i_1}{i_2} - R_3 \quad (3)$$

$$\frac{r_2 + r_{2a} + r_{2b} + W}{V - (R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2)i_1} - R_3 = \frac{i_2}{i_3} \quad (4)$$

因此, 根据电路总电流 i_1 , 及任一轮对内电流 i_2 或 i_3 之测量值, 可连续进行走行中的轮轨电阻 r_1 、 r_2 的理论求算。

如图 2 所示, 根据上述轮轨电阻测定试验原理可以对试验所需的装置进行制备。轮-轮动态滚动试验台由转向架与嵌入轨道中的车轮组成, 其中转向架上的车轮踏面与嵌入轨道中的车轮踏面紧密接触, 且保证接触面光滑无锈蚀情况。在进行试验时, 使用两个碳刷通过工装分别固定于轨道上端面与侧面, 碳刷与工装进行了高阻抗等级的绝缘处理, 其中固定于轨道上端面的碳刷前端与转向架车轮踏面贴紧, 而固定于轨道侧面的碳刷前端与嵌入轨道中的车轮踏面贴紧, 以此形成回路, 一方面为两车轮间提供激励, 另一方面能够测量两车轮间的接触电阻。

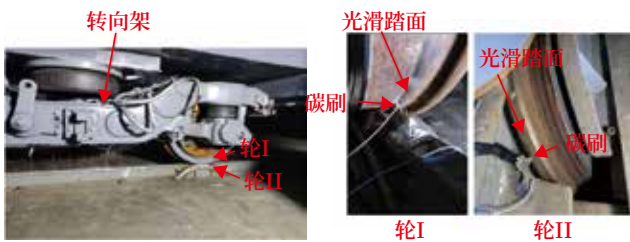


图2 轮轨电阻测量试验装置

Fig.2 Test device of wheel-rail resistance measurement

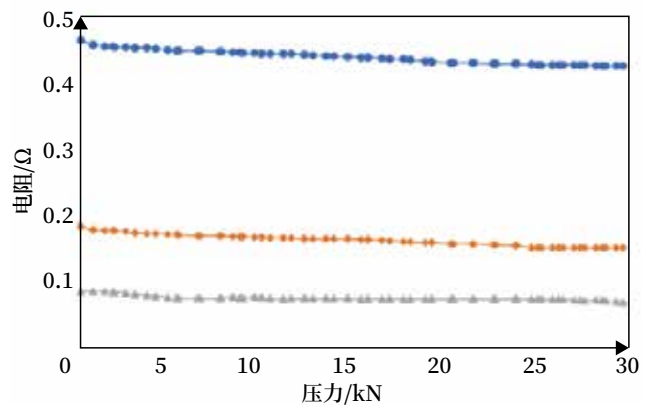
由于轮轨间电阻值小, 因此对测量精度要求较高。轮-轮动态滚动试验台搭建完成后, 对试验测试设备进行标定, 在轮轨间施加大小为 3 V, 频率为 50 Hz 的激励电压, 通过测量相邻 5 个点的电阻, 得到轮轨电阻大小均为 0.24 Ω , 测量设备具有良好的精度。

2 测量电路参数对轮轨电阻的影响

为保证对轮轨电阻测量试验研究的可靠性, 首先需要对试验所采用的测量电路参数的影响进行研究。在本文中, 关于测量电路的关键参数主要选取其电压值与频率值。

2.1 电压值对于轮轨电阻的影响

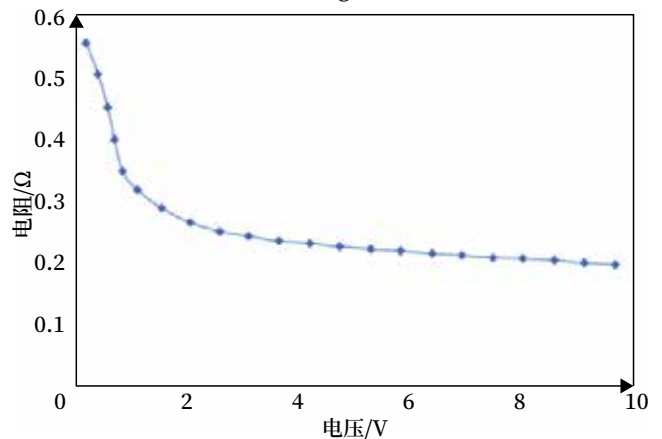
如图 3 (a) 所示, 当改变轮轨之间的激励电压时, 接触电阻值产生明显的变化。当激励电压越高, 接触电阻越小。由于加在轮轨两端的电压越大, 越容易击穿轮轨之间保护膜, 导致轮轨之间接触电阻值会更小。但是电压在增大到一定程度后, 电阻值下降的幅度变小。



图例: ● 0.8 V ■ 3 V ▲ 10 V

(a) 静态电压工况

(a) Static voltage condition



(b) 动态电压工况

(b) Dynamic voltage condition

图3 电压值对轮轨电阻的影响

Fig.3 Influence of voltage on wheel-rail resistance

为研究轮轨电路的谐振电压对电阻影响, 可以选取多种不同电压幅值对电阻进行监测, 结合前期研究得出轨道电路电压主要分为 200 mV、500 mV、800 mV、3 V 以及 10 V。通过更改信号发生器输出电压幅值, 可以实现不同电压的输出。如图 3 (b) 所示, 随着轮轨间分电路电压的增大,

接触电阻随之减小。当分路电压为 100 mV 时，接触电阻最大，为 0.56 Ω，且当电压从 100 mV 变化到 3 V 时，电阻迅速下降到 0.24 Ω，而当电压继续增大时，电阻下降速度逐渐变缓，这是由于分路电压已增大到能够击穿接触膜的临界电压值，此时接触电阻基本为最小轮轨电阻。若继续增大电压，分路效果不会再发生大变化。

2.2 频率值对于轮轨电阻的影响

交流电频率即电流大小和方向在一定的时间内所变化的次数。为研究轮轨电路的谐振电流频率对电阻影响，可以选取多种不同谐振电流频率的谐振电流对电阻进行监测。通过前期研究，可以得出轨道电路频率主要分为 25 Hz、50 Hz、550 Hz 以及 1 700 Hz。通过更改信号发生器输出电压频率，以实现不同频率电流的输出。如图 4 (a) 所示，接触电阻随压力增大而减小，但频率改变对电阻的大小没有明显改变，可以判定信号频率对接触电阻几乎没有影响。

如图 4 (b) 所示，随着轮轨间分电路频率的变化，接触电阻并不随之变化。当分路电压为 500 mV 时，电阻稳定在约 0.45 Ω。当电压增大到 3 V 时，电阻变小至 0.25 Ω。在这种情况下，接触电阻不随电路频率的变化而变化，充分说明接触电阻并不随频率值的变化而变化。

3 车辆运行状态对轮轨电阻的影响

3.1 轴重对于轮轨电阻的影响

通过调整加压阀可对轮轨接触点加压，从而对不同轴重下的轮轨电阻进行测量。根据前文所述方法记录不同压力下的电压电流关系，即可得出接触电阻随轮轨压力变化的关系如图 5 (a) 所示。从图 5 (a) 可以看出，当轮轨间压力增大时，接触电阻随压力增大而减小。可以看出压力从 0 刚增大时电阻值下降较快，当到达 15 kN 左右下降速度放缓。

接触面清洁和有锈迹的不同轴重时的轮轨电阻变化如图 5 (b) 所示。当接触面为光滑接触面时，接触电阻从 0.7 Ω 下降到 0.18 Ω，变化较小，但也

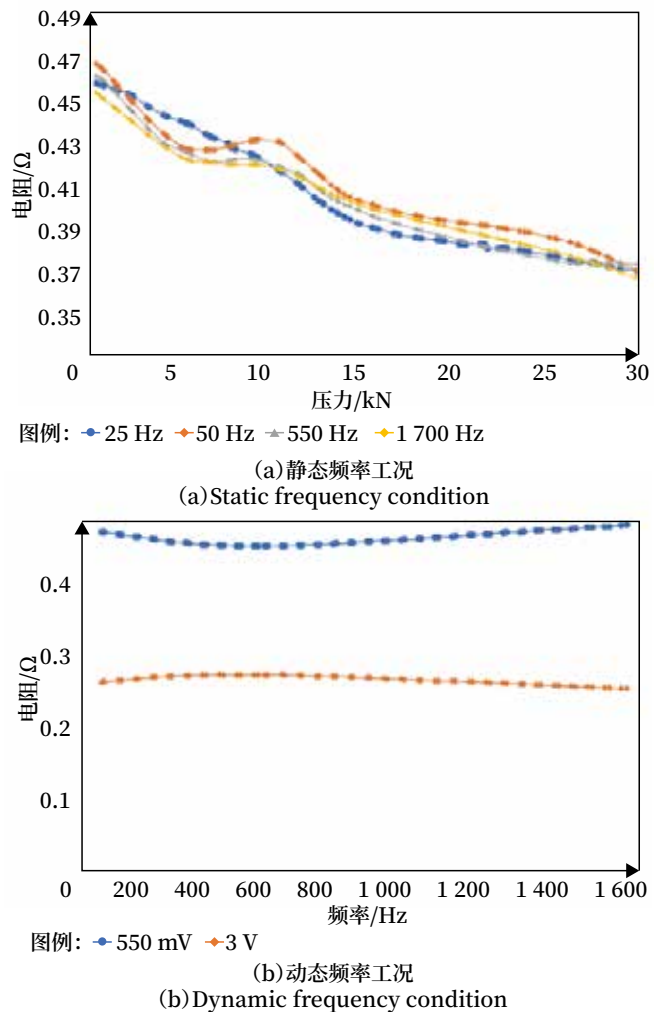


图4 频率值对轮轨电阻的影响
Fig.4 Influence of frequency on wheel-rail resistance

符合轴重压力增大轮轨电阻减小的变化趋势。当接触面为锈迹接触面时，增加轴重，则相应轮轨电阻按等比级数骤减。轴重轻，轮轨电阻也低，随轴重增加，轮轨电阻也进一步下降，轮轨电阻从 7 Ω 下降到 2.5 Ω。在这种情况下，电阻随着轴重压力的增大而减小且趋势明显。

3.2 走行速度对于轮轨电阻的影响

轮-轮动态滚动试验台通过将车轮嵌入混凝土地面来实现主动轮的固定，当车轮转动时，仅存在车轮沿轴向的转动，剩余方向自由度被完全约束。如图 6 所示，列车走行速度对轮轨间接触电阻影响相对较小。当轮轨间静止时，接触电阻大小为 0.18 Ω；随着走行速度逐渐提升到 9 km/h，轮轨

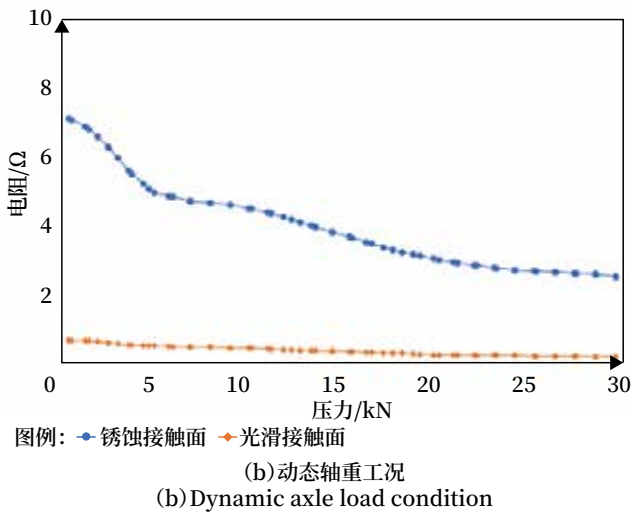
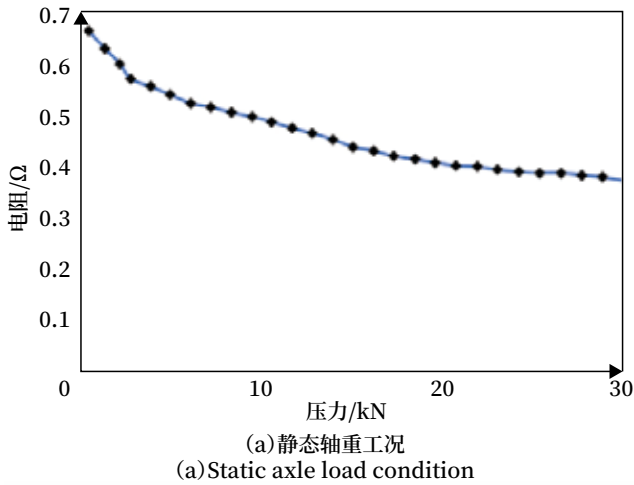


图5 轴重对轮轨电阻的影响
Fig.5 Influence of axle load on wheel-rail resistance

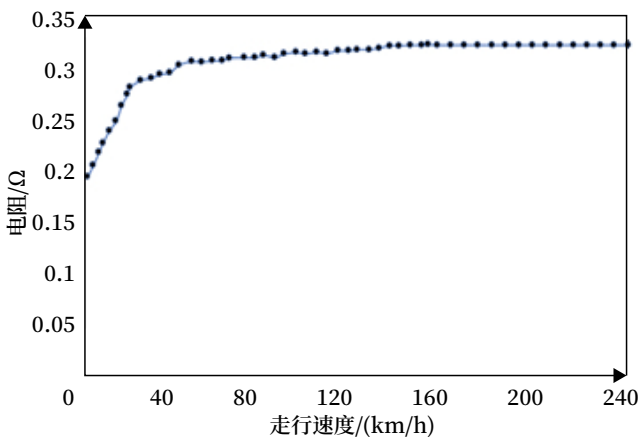


图6 走行速度对轮轨电阻的影响
Fig.6 Influence of running speed on wheel-rail resistance

接触电阻迅速增大到 0.27Ω ；此后再增大走行速度时，接触电阻增加速度逐渐变缓。当走行速度从

10 km/h 增大到 50 km/h 的过程中，接触电阻仅从 0.275Ω 上升到 0.32Ω ，当走行速度继续增大至 100 km/h 时，接触电阻基本稳定在 0.33Ω 左右，不再发生明显增加。这是因为当车轮静止时，轮轨之间形成面积更大的接触斑点，这时拥有较好的分路效果，若车轮开始走行，随着轮轨间的蠕滑运动，接触斑点面积开始减小，且随着走行速度增加，分路效果逐渐变差。但当速度增大到一定数值后，接触斑点面积不再发生改变，分路效果达到阈值，接触电阻不再发生明显变化。

4 轨道状态对轮轨电阻的影响

4.1 踏面粗糙程度对于轮轨电阻的影响

通过不同砂纸对车轮进行打磨，以实现不同粗糙度变化。其中对于砂纸型号的区分：砂号数值越大，表示砂纸的粗细度越细；砂号数值越小，则表示砂纸的粗细度越粗。场发射扫描电子显微镜显示的不同粗糙程度下的表面特征如图 7 所示。可以看出，随着粗糙程度的增加，金属表面的纹路明显加重，起伏状态也愈加明显。

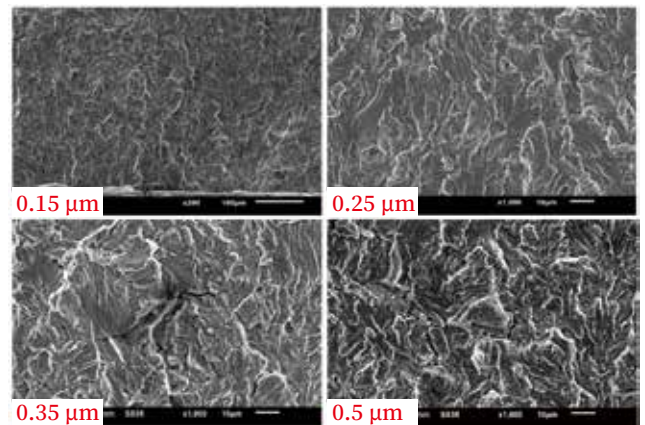
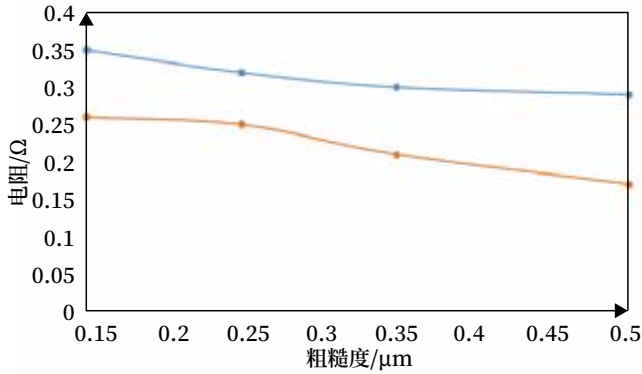


图7 不同粗糙程度下的表面特征
Fig.7 Surface characteristics under different roughness

如图 8 所示，在同一轴重下，踏面粗糙度越高，轮轨接触电阻越小。在 500 N 轴重条件下，当粗糙度为 $0.15 \mu\text{m}$ 时，轮轨接触电阻为 0.35Ω ，而当粗糙度达到 $0.5 \mu\text{m}$ 时，轮轨接触电阻下降到 0.3Ω 。这是因为任何经过精细加工的名义平面都是

粗糙不平的，因此两接触元件发生接触时，视在接触斑中只有一部分凸出表面发生了实际机械接触。



图例: ● 500 N ● 1 000 N

图8 踏面粗糙程度对轮轨电阻的影响

Fig.8 Influence of tread roughness on wheel-rail resistance

4.2 轮轨间油污对于轮轨电阻的影响

在轮轨接触摩擦学研究中，轮轨间的污染膜层通常也被称作“第三介质”，它是由多种污染物的混合物，在行车过程中经由轮轨碾压作用而形成的。通常第三介质由多个膜层叠加构成，致密而坚实，不同应用环境下污染膜层的构成和特性会有所差异。油膜厚度属于微观研究领域，因此需要借助现为设备观察轮轨表面油污形貌。

放大后的实际钢轨表面的污染膜层如图9所示，可以看出，油膜层将整个踏面金属表面包裹。在研究油污对轮轨间电阻影响时，油污通过油刷均匀涂刷在转向架车轮踏面无锈蚀处，选取走行速度5 km/h 匀速运行，分析车轮在走行过程中车轮踏面由于摩擦使油污厚度不断减少时，接触电阻的变化情况。

如图10所示，通过观察轮轨的接触电阻随走行时间变化曲线能够看出，随着走行时间的增加，轮轨间的接触电阻逐渐减小，在走行的初始时刻，接触电阻高达10 Ω，且在起始一段时间内下降迅速，而在15 s时已经下降到1.2 Ω，随后明显能够看出接触电阻减小的速度逐渐降低，最终趋于稳定。这是因为在车轮运动的0~15 s时间内，油膜厚度在踏面摩擦的作用下迅速减小，而当油膜厚度下降到

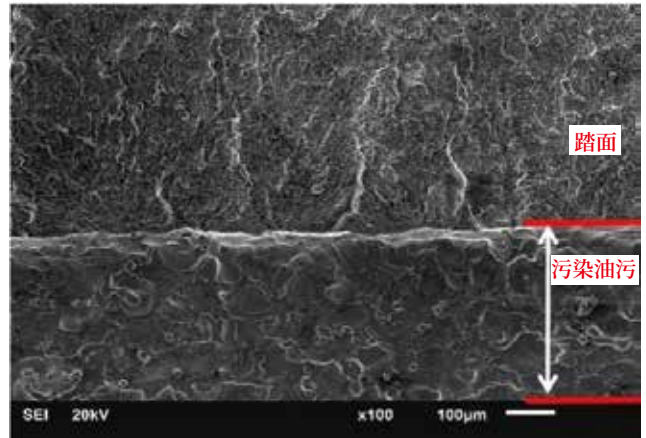


图9 钢轨表面污染膜层

Fig.9 Contaminated film on rail surface

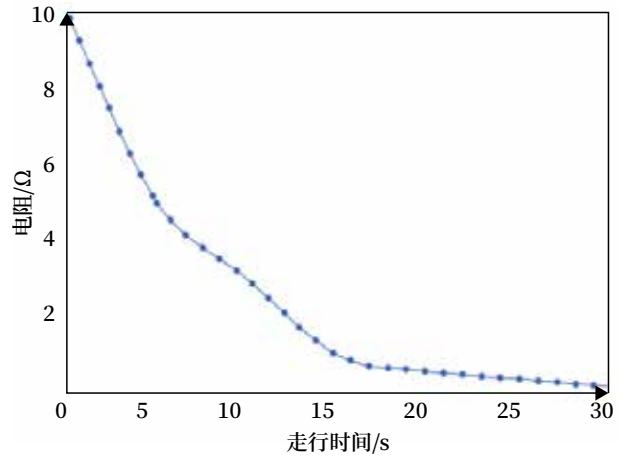


图10 轮轨间油污对轮轨电阻的影响

Fig.10 Influence of oil pollution between wheel and rail on wheel-rail resistance

一定数值后，踏面摩擦不再能够消耗油膜层的厚度，此时接触电阻不再变化，分路效果达到最优值。这说明污染膜层虽然坚实，但在轮轨间切向摩擦力和法向载荷等因素的共同作用下，会随着列车运行次数等因素的增加而逐渐变薄，直至破裂。

5 结论

本文基于多因素干扰下滚动台试验对轨道车辆轮轨电阻的特性及影响程度展开了研究，得到下列结论。

1) 对于测量电路参数的改变，电压值对轮轨间接触电阻大小有着一定的影响，当电压增大时，轮轨间接触电阻将随之减小，更大的电压将有效改

善分路效果；而频率大小对接触电阻并没有明显影响，在改变频率值时，可以观察到接触电阻并未随之发生明显改变。

2) 对于轨道车辆运行状态的改变，更大的轴重能够使轮轨间形成更加有效的接触斑点，从而降低轮轨接触电阻，改善分路效果。此外，锈蚀情况对轮轨间接触电阻大小起着支配性作用，当轮轨接触面间存在锈蚀情况时，接触电阻明显增大。但随着轴重增大，接触电阻同样会随之减小。而车轮走行速度对轮轨间接触电阻的影响则较小，且当走行速度提升时，分路效果存在阈值，当走行速度达到某一特定数值后，轮轨间接触电阻将保持稳定，不再发生明显变化。

3) 对于轨道状态的改变，光滑的车轮踏面一般具有相对更大的接触电阻，而提高车轮踏面的粗糙度会减小轮轨间的接触电阻。这是因为粗糙的车轮踏面在走行的过程中更易形成有效的、面积更大的接触斑点，从而改善分路效果。而油污则对轮轨间接触电阻有较大影响，当轮轨间存在油污时，分路效果急剧恶化，轮轨接触电阻明显增大，此时会产生分路不良，但随着走行时间增加，油膜厚度在踏面摩擦的作用下变薄，轮轨接触电阻会随之降低。

参考文献

- [1] 赵洋洋. 智能牵引变电所五防系统设计 [D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [2] 宁滨, 刘朝英. 中国轨道交通列车运行控制技术及应用 [J]. 铁道学报, 2017, 39(2): 1-9.
Ning Bin, Liu Chaoying. Technology and Application of Train Operation Control System for China Rail Transit System[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(2): 1-9.
- [3] Mariscotti A, Ruscelli M, Vanti M. Modeling of Audiofrequency Track Circuits for Validation, Tuning, and Conducted Interference Prediction[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(1): 52-60.
- [4] Ciurlo S, Mariscotti A. Track Compensation with Audiofrequency Track Circuits[C]//Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion. October 19-21, 2010, Bologna, Italy. IEEE, 2010: 1-6.
- [5] Zhao Linhai, Maggie Guo Y, Klein B D. Analysis of Structure Importance of Compensation Capacitor in Jointless Track Circuit[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2017, 231(3): 329-344.
- [6] Zhao Linhai, Cai Baigen, Xu Junjie, et al. Study of the Track-Train Continuous Information Transmission Process in a High-Speed Railway[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(1): 112-121.
- [7] 赵斌, 张友鹏. 基于傅里叶变换结合 Q-D 算法的轨道电路暂态分析 [J]. 铁道学报, 2016, 38(3): 78-83.
Zhao Bin, Zhang Youpeng. Transient Analysis of Track Circuits Based on FFT & Q-D Algorithm[J]. Journal of the China Railway Society, 2016, 38(3): 78-83.
- [8] 赵斌, 张友鹏, 石磊. 基于同伦分析法的轨道电路暂态仿真分析 [J]. 控制工程, 2016, 23(9): 1432-1435.
Zhao Bin, Zhang Youpeng, Shi Lei. Track Circuit Transient Simulation by Homotopy Analysis Method[J]. Control Engineering of China, 2016, 23(9): 1432-1435.
- [9] 张友鹏, 祁欢, 赵斌. 轨道电路分路态检测方法研究 [J]. 铁道学报, 2017, 39(1): 70-75.
Zhang Youpeng, Qi Huan, Zhao Bin. Research on Method for Detection of Shunt State of Track Circuits[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(1): 70-75.
- [10] Mariscotti A, Pozzobon P. Measurement of the Internal Impedance of Traction Rails at 50 Hz [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2000, 49(2): 294-299.

(下转 43页)

高精度轨道电子地图生成系统设计与应用

孙哲¹, 王嵩², 赵佳¹

(1. 中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055;

2. 中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 针对轨道电子地图数据类型多、人工编制工作量大且准确性不高的问题, 提出一种高精度轨道电子图源数据描述方式和数据结构, 设计并实现一种适用于中低运量轨道交通的高精度轨道电子地图生成系统, 该系统可自动完成对仿真标注数据和现场采集数据的处理和校验, 最终生成电子地图数据文件。通过搭建移动式定位数据采集平台, 系统在芜湖轨道交通 1、2 号线得到了实际应用, 应用结果表明, 系统生成的高精度轨道电子地图能准确、有效地实现车辆位置匹配和图形化显示功能。

关键词: 高精度; 轨道电子地图; 中低运量; 数据生成; 系统设计

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0014-06

Design and Implementation of High Precision Track Electronic Map Generation System

Sun Zhe¹, Wang Song², Zhao Jia¹

(1. China Railway Engineering Design & Consultant Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

(2. China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: Aiming at the problems of large amount of track electronic map data, heavy workload of manual compilation and low accuracy, this paper proposes a high-precision track electronic map source data description method and data structure. A high-precision track electronic map generation system suitable for medium and low traffic volume rail transit is designed and implemented. The system can automatically complete data processing and data verification in simulation and actual scenarios, and finally generate electronic map data file. Through the establishment of mobile positioning data acquisition platform, the system has been applied in Wuhu rail transit line 1 and 2. The application results show that the high-precision track electronic map generated by the system can accurately and effectively realize the functions of vehicle position matching and graphical display.

Keywords: high precision; track electronic map; medium and low traffic volume; data generation; system design

收稿日期: 2023-06-01; 修回日期: 2023-11-01

基金项目: 中铁工程设计咨询集团有限公司科技开发项目(软 2022-4)

第一作者: 孙哲(1992-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通信号智能运维技术, 邮箱: 852117650@qq.com.

1 概述

高精度轨道电子地图主要用于描述轨道交通线路结构和轨旁信号设备的地理信息，是基于卫星定位的列控系统的基础性数据文件^[1]。其主要有两方面作用：一是通过将轨道车辆实时卫星定位数据与高精度轨道电子地图匹配，获取车辆实时地理位置以及车辆在线路上的精确里程^[2]，可以避免车轮空转打滑造成的定位误差；二是高精度轨道电子地图能更加直观、准确地反映轨道线路、车辆和轨旁设备的真实地理空间位置，可用于人机交互界面的GIS图形化显示^[3]。在定位的准确性和界面显示效果方面，高精度电子地图优于采用公里标里程体系和站场平面图显示方式的常规电子地图。

对于以单轨为代表的中低运量交通系统，其线路主要以高架形式铺设在城市主干路上方^[4]，具有地面交通资源占用少、造价低、景观效果好等特点^[5]。车辆具备良好的卫星观测条件，适合采用卫星定位的方式作为辅助测速定位手段，但该方面的研究尚处于系统架构的研究阶段^[6]。现阶段，国内大量学者以青藏铁路为研究对象，对基于卫星的轨道电子地图数据模型和处理方法技术进行了研究^[7-9]，算法准确率和在国铁领域的适用性较高，但部分站内数据采集依赖于人工且数据编制量大，对于已开通的高架线路，夜晚人工上线采集数据尤为不便，无法直接适用于中低运量轨道交通领域。

为此，本文提出一种适用于单轨等中低运量交通的高精度轨道电子地图生成系统，数据采集和处理均自动完成，无需人工定点采集，用于解决单轨线路轨道电子地图数据人工采集危险性大、数据处理困难、人工编制准确率不高的问题。

2 高精度轨道电子地图源数据

2.1 源数据类型及描述方式

高精度轨道电子地图生成系统的最终目标是生成各种源数据。涉及到的源数据类型包括无岔轨道、道岔、信号机、信标和站台，其数据结构满足一定

层次关系，如图1所示。每种设备记录其地理空间位置 and 对应公里标，同时以车站为单位对其归属进行划分，提升车辆和设备位置的匹配计算效率。

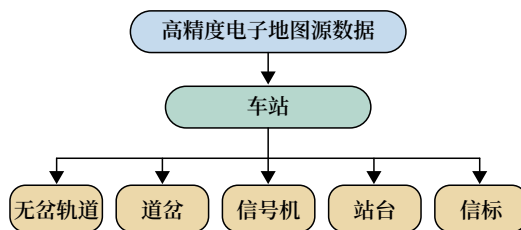


图1 高精度轨道电子地图源数据层次结构
Fig.1 High-precision track electronic map source data hierarchy

其中，信号机、信标为轨旁定点设备，其地理空间位置信息可采用单个兴趣点（Point of Interesting, POI）的经纬度值描述；无岔轨道的线路区域满足曲线结构，地理空间信息可采用线路起止点及线路中各插值 POI 的经纬度描述；道岔可近似为一条岔前曲线、若干条岔后曲线汇聚至岔心的树形分叉结构（但岔后最多为 4 个分叉），岔前、岔后曲线同样可以采用起止点及线路中各插值 POI 的经纬度描述；站台由 4 个边界点 POI 构成的矩形来描述。

2.2 源数据结构

电子地图源数据存储于数据库或专用数据格式文件中，描述各源数据信息的表结构如下。

1) 车站：由车站基本信息表描述，用于记录车站信息的表字段包括：车站 ID (station_id)、车站名称 (station_name)、车站代码 (station_code) 以及该车站所属设备 ID 集合 (station_device_ids)。

2) 无岔轨道：按类型分为站内股道、站内无岔轨道、区间无岔轨道 3 种。无岔轨道的 ID、名称、归属车站等信息记录于无岔轨道基本信息表，无岔轨道线路中各 POI 的地理信息记录于无岔轨道地理信息表。两表通过归属无岔轨道 ID (track_id) 进行关联映射，字段定义如表 1、2 所示。

3) 道岔：道岔由岔前线路和各岔后分支线路构成。道岔的 ID、名称、归属车站、岔前岔后长度、分支个数等信息记录于道岔基本信息表，道岔岔前和各岔后分支线路上的 POI 地理信息记录于道岔地理信息表，两表通过归属道岔 ID 和分岔类型进行

表1 无岔轨道基本信息

Tab.1 Basic information of switchless track

字段名	字段含义	字段类型
track_id	无岔轨道 ID	数值型
station_id	归属车站 ID	数值型
track_name	无岔轨道名称	字符型
track_type	无岔轨道类型	字符型
track_length	无岔轨道长度	浮点型
track_poi_num	无岔轨道 POI 个数	数值型

表2 无岔轨道地理信息

Tab.2 Geographic information of switchless track

字段名	字段含义	字段类型
track_gis_id	无岔轨道地理信息 ID	数值型
track_id	归属无岔轨道 ID	数值型
kilometer_type	公里标类型	字符型
poi_longitude	POI 经度	浮点型
poi_latitude	POI 纬度	浮点型
poi_kilometer	POI 里程值	浮点型
point_slope	POI 坡度	浮点型

关联映射，字段定义如表 3、4 所示。

表3 道岔基本信息结构

Tab.3 Switch basic information structure

字段名	字段含义	字段类型
switch_id	道岔 ID	数值型
station_id	归属车站 ID	数值型
switch_name	道岔名称	字符型
switch_branch_num	岔后分支数	字符型
switch_front_length	岔前长度	浮点型
switch_front_poi_num	岔前 POI 个数	数值型
switch_back1_length	岔后分支 1 长度	浮点型
switch_back1_poi_num	岔后分支 1POI 个数	数值型
switch_back2_length	岔后分支 2 长度	浮点型
switch_back2_poi_num	岔后分支 2POI 个数	数值型
...

4) 信号机：由信号机信息表来描述，用于记录信号机信息的字段包括信号机 ID (signal_id)、归属车站 ID (station_id)、名称 (signal_name)、类型 (signal_type)、朝向 (signal_orient)、经度 (signal_longitude)、纬度 (signal_latitude) 以及里程值 (signal_kilometer)。

5) 站台：由站台信息表来描述，用于记录站

表4 道岔地理信息结构

Tab.4 Switch geographic information structure

字段名	字段含义	字段类型
switch_gis_id	道岔地理信息 ID	数值型
switch_id	归属道岔 ID	数值型
kilometer_type	公里标类型	字符型
switch_branch_type	分岔类型	数值型
poi_longitude	POI 经度	浮点型
poi_latitude	POI 纬度	浮点型
poi_kilometer	POI 里程值	浮点型
poi_slope	POI 坡度	浮点型

台信息的字段包括站台 ID (platform_id)、归属车站 ID (station_id)、名称 (platform_name)、中心里程值 (platform_kilometer) 以及用于表示站台位置的矩形各顶点的经纬度 (point1_longitude、point1_latitude、point2_longitude、point2_latitude.....)。

6) 信标：仅用于定位修正，不用于可视化显示，由信标信息表来描述，用于记录信标信息的字段包括信标 ID (tag_id)、归属车站 (station_id)、名称 (tag_name)、该位置对应无岔轨道或道岔名称 (tag_device_name)、经度 (tag_longitude)、纬度 (tag_latitude) 以及里程值 (tag_kilometer)。

3 高精度轨道电子地图生成系统设计

按数据的采集处理过程，高精度轨道电子地图生成系统由数据采集层、数据处理层、数据校验层、数据存储层 4 部分构成，系统总体架构如图 2 所示。

3.1 数据采集层

数据采集层包括仿真数据采集和实际数据采集。

1) 仿真数据采集

当不具备现场采集数据条件时，可通过在无偏高清影像地图软件中人工标注的方式获得仿真标注数据，从而生成用于仿真测试的轨道电子地图数据。

为便于人工标记，可将清除掉无关信息后的线路平面 CAD 图导入地图软件作为标注参照。通过设置该条线路实际的“投影分带”“中央经线”以

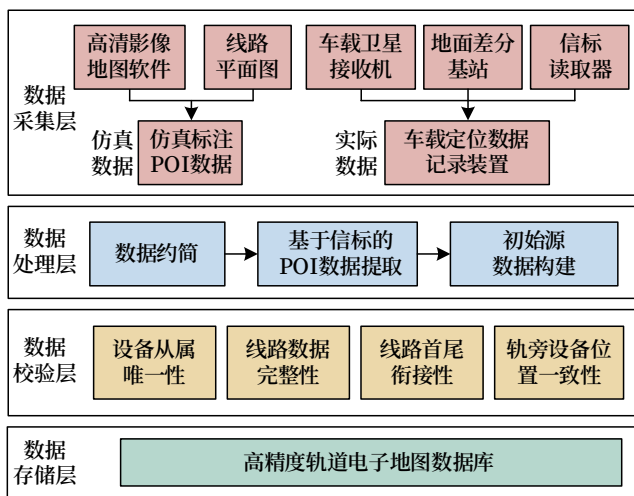


图2 高精度轨道电子地图生成系统总体架构
Fig.2 Overall architecture of high-precision track electronic map generation system

及“平移 x ”“平移 y ”“平移 z ”“旋转 α ”“旋转 β ”“旋转 γ ”“尺度 K ”7个参数^[10],可将处理后的线路平面CAD图精确导入至地图软件中的实际位置处;之后,按照设计里程位置将车站、无岔轨道、道岔、信号机、站台、信标的POI在地图软件中依次标出;最后,按照源数据类型将标记的POI分类导出,即可获得仿真标记POI数据。

2) 实际数据采集

实际数据采集由安装于车辆的车载卫星接收机、车载定位数据记录装置、信标读取器,以及地面差分基站协同完成,通过地面差分基站对卫星数据的实时动态差分(Real-Time Kinematic, RTK)解算,可以实现亚米级的定位精度。

车辆在移动过程中,车载卫星接收机实时接收卫星信号,经完好度检测、滤波、RTK解算后,车载定位数据记录装置记录车辆的实时轨迹数据,该轨迹数据即轨道线路的地理位置数据,从而实现线路实际数据的自动化采集;同时,本系统与车辆信标读取器相连,当车辆经过信标时,车载定位数据记录装置同时记录信标的ID和当前的卫星数据,从而实现信标实际数据的自动化采集。

3.2 数据处理层

数据处理层只针对实际采集数据,包括数据约简、基于信标的POI数据提取、初始源数据构建3

个过程。对于仿真标记POI数据,由于从地图软件导出时已按源数据类型进行分类,因此可直接将其构建为初始源数据。

1) 数据约简

实际数据在采集过程中,由于采样间隔过小,当车辆运行速度较慢时,在直线和曲线平缓的轨道区域会采集大量冗余数据^[11],因此,需要在满足一定条件的前提下将冗余采样点剔除。剔除条件为:被剔除采样点距前后最近两个POI点所在直线的垂直距离不超过一定阈值。

2) 基于信标的POI数据提取

在测量线路实际轨迹数据时,同步记录信标的ID和实际经、纬度数据。因此,信标采样点为起始点,结合信标复测里程,从而推算出该条实测轨迹数据中其余采样点的里程;再结合无岔轨道的首、尾端点,道岔岔前、岔心、岔后以及信号机的复测里程,将各源数据的POI经、纬度提取出来。

3.3 数据校验层

为保证最终生成的高精度轨道电子地图准确无误,数据处理层输出的初始源数据需通过数据校验才可存入轨道电子地图数据库中。系统从“设备从属唯一性”“线路数据完整性”“线路首尾衔接性”以及“轨旁设备位置一致性”4个方面对初始源数据进行校验。

1) 设备从属唯一性

设备从属唯一性是检测单个设备在本线路以及本车站从属范围内是否唯一,同时检验设备地理坐标是否均在车站范围内。

2) 线路数据完整性

线路数据完整性的检测对象为无岔轨道和道岔。首先,系统判断地理信息表中数据条数与基础信息表中POI个数是否一致;其次,系统按公里标和地理坐标分别计算无岔轨道或道岔各分岔方向上所有POI的相距总长度,若公里标长度与地理坐标长度相差较大,则认为数据异常。

3) 线路首尾衔接性

线路首尾衔接性检测无岔轨道或道岔线路首尾

之间的位置衔接关系。系统首先根据各设备端点之间的地理坐标接近程度，判断设备间的衔接关系。根据线路中无岔轨道、道岔首尾一一衔接的特点，若某端点非线路末端且存在无衔接关系的端点，则判别为断点异常；若某端点存在两个及以上的衔接设备，则判别为多交点异常；若衔接端点的公里标数值不一致，则判别为公里标接续异常。

4) 轨旁设备位置一致性

轨旁设备位置一致性主要体现在检测信号机与两侧设备、信标与关联设备的位置一致性。一方面，系统根据轨旁设备的公里标推算出地理坐标，通过与实际地理坐标比较，校验轨旁设备的位置一致性；另一方面，根据轨旁设备及周围 POI 点的地理坐

标，判断信号机与两侧设备的位置衔接关系以及信标与关联设备的关联关系是否一致。

4 系统测试应用

依托芜湖轨道交通 1、2 号线既有工程车辆和相关设备，搭建移动式实际定位数据采集平台，用于测试本系统生成电子地图数据的有效性和准确性。

该平台主要由车载定位天线、车载卫星接收机、定位数据记录装置、车载信标读取器、地面卫星差分基准站构成，车载设备安装于工程车，地面卫星差分基准站安装于控制中心楼顶，可提供周围 60 km 范围内的差分定位服务，车地间的通信由既有 LTE 通信系统提供，部分设备实物如图 3 所示。



(a) 车载定位天线
(a) Vehicle positioning antenna



(b) 车载卫星接收机及定位数据记录装置
(b) Vehicle satellite receiver and positioning data recording device



(c) 车载信标读取器
(c) Vehicle beacon reader

图3 移动式定位数据采集平台部分实物
Fig.3 Part of the mobile positioning data acquisition platform

测试共采集芜湖轨道交通 1、2 号线上、下行线路近百公里，生成了全线的高精度轨道电子地图数据。经现场测试应用，本系统生成的高精度轨道电子地图数据可以满足车辆位置匹配和图形界面可视化服务，生成的部分区域电子地图界面如图 4 所示。

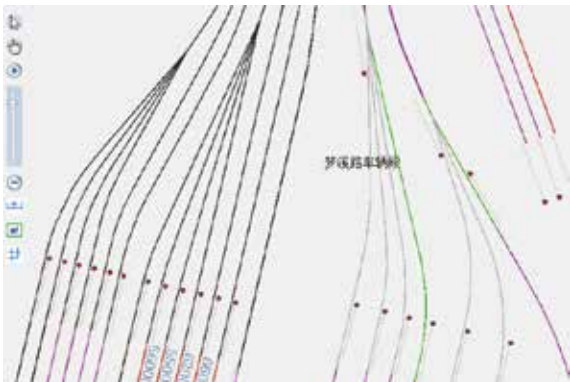


图4 生成的高精度轨道电子地图区域界面
Fig.4 Generated high-precision track electronic map area interface

5 结论

本文设计并实现了适用于单轨等中小运量轨道交通的高精度轨道电子地图自动化生成系统，并在芜湖轨道交通 1、2 号线取得了良好的现场应用效果。系统以生成电子地图源数据文件为主要目标，可分别对仿真标记数据和现场采集数据进行处理，数据处理和验证过程均自动完成，极大提高了电子地图制作的准确性和效率。

参考文献

- [1] 陈德旺, 高倩, 裴丽君. 基于图论和面向对象的列控数字轨道地图研究 [J]. 铁道学报, 2012, 34 (6): 64-68.

Chen Dewang, Gao Qian, Pei Lijun. Study on

- Digital Track Map Based on Graph Theory and Oriented Object[J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(6): 64-68.
- [2] 刘江, 蔡伯根, 王云鹏. 基于GNSS/DSRC融合的协同车辆定位方法[J]. 交通运输工程学报, 2014, 14(4): 116-126.
Liu Jiang, Cai Baigen, Wang Yunpeng. Cooperative Vehicle Positioning Method Based on GNSS/DSRC Fusion[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(4): 116-126.
- [3] 陈志强, 鲍鹏宇. 电子地图轨道地理坐标描述方法研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(2): 22-26.
Chen Zhiqiang, Bao Pengyu. Research on Method of Describing Track with Geographical Coordinates on Electronic Map[J]. Railway Signalling Communication Engineering, 2021, 18(2): 22-26.
- [4] 杨阳, 徐银光, 曾永平, 等. 低运量跨座式交通系统需求及技术方方案研究[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(1): 54-59.
Yang Yang, Xu Yinguang, Zeng Yongping, et al. Research on the Demand and Technical Scheme of Low-Volume Straddle Transportation System[J]. Railway Standard Design, 2022, 66(1): 54-59.
- [5] 武农, 雷慧锋, 郭锴. 跨座式单轨作为中等规模城市轨道交通模式的适应性分析[J]. 隧道建设, 2015, 35(7): 623-628.
Wu Nong, Lei Huifeng, Guo Kai. Analysis on Adaptability of Straddle Monorail System to Medium Scale Cities in China[J]. Tunnel Construction, 2015, 35(7): 623-628.
- [6] 易立富, 王梓丞, 王坚强. 基于北斗卫星导航的悬挂式单轨列车定位技术研究[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(10): 80-84.
Yi Lifu, Wang Zicheng, Wang Jianqiang. Study of Location Technique for Suspended Monorail Trains Based on Beidou Satellite Navigation System[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(10): 80-84.
- [7] 陈德旺, 蔡伯根, 王剑, 等. 轨道交通GPS数据约简的数学模型与算法研究[J]. 铁道学报, 2008, 30(4): 116-119.
Chen Dewang, Cai Baigen, Wang Jian, et al. Mathematical Model and Algorithm of Data Reduction for Railway GPS Data[J]. Journal of the China Railway Society, 2008, 30(4): 116-119.
- [8] 左自辉, 王开锋, 许聪, 等. 生成高精度轨道电子地图的数据处理方法[J]. 中国铁道科学, 2016, 37(4): 134-138.
Zuo Zihui, Wang Kaifeng, Xu Cong, et al. Data Processing Method for Generating High-Precision Electronic Track Map[J]. China Railway Science, 2016, 37(4): 134-138.
- [9] 陶维杰, 蔡伯根, 王剑, 等. 数字轨道地图平面线形特征提取方法研究[J]. 铁道学报, 2019, 41(9): 81-87.
Tao Weijie, Cai Baigen, Wang Jian, et al. Research on Geometry Extraction of Railway Horizontal Curves for Digital Track Map[J]. Journal of the China Railway Society, 2019, 41(9): 81-87.
- [10] 曹健, 王晏彬, 卢云辉. 基于七参数的AutoCAD数据坐标系统转换方案研究[J]. 城市勘测, 2012(5): 109-111.
Cao Jian, Wang Yanbin, Lu Yunhui. The Research of the Conversion Program of AutoCAD's Data Coordinate System Based on 7 Parameters[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2012(5): 109-111.
- [11] 刘江, 蔡伯根, 王剑, 等. 列车定位轨道电子地图数据约简算法研究[J]. 铁道学报, 2011, 33(8): 73-79.
Liu Jiang, Cai Baigen, Wang Jian, et al. Research on Algorithm of Electronic Track Map Data Reduction for Train Locating[J]. Journal of the China Railway Society, 2011, 33(8): 73-79.

铁路信号智能模拟盘研制与应用

王定明

(中国铁路昆明局集团有限公司普洱职工培训基地, 昆明 650208)

摘要: 在深入调研现场信号施工中信号模拟盘存在问题的基础上, 结合培训基地信号模拟盘在使用中遇到的典型问题进行分析, 从解决现有信号模拟盘通用性差、功能简单、不能重复使用等共性问题出发, 提出铁路信号智能模拟盘“软件+硬件”的解决方法。开发软件, 实现站场平面图自由修改、绘制及配置功能; 研制模拟室外信号设备硬件并预留扩展槽, 提高设备通用性。通过应用验证, 能满足现场信号工程施工模拟试验或培训基地替代室外站场信号设备开展室内联锁实训教学需求, 具有一定推广价值。

关键词: 铁路信号; 智能模拟盘; 站场修改; 模块功能设计

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0020-06

Development and Application of Intelligent Simulation Panel for Railway Signal

Wang Dingming

(Pu'er Staff Training Base, China Railway Kunming Group Co., Ltd., Kunming 650208, China)

Abstract: On the basis of in-depth investigation of the problems existing in the signal simulation panel in the field signal construction, this paper analyzes the typical problems encountered in the use of the signal simulation panel in the training base, and puts forward the solution of "software + hardware" intelligent simulation panel for railway signal to solve the common problems such as poor versatility, simple function and cannot be reused. The software is developed to realize free modification, drawing and configuration of station and yard plan; the hardware of simulation outdoor signal equipment is developed and expansion slots are reserved to improve the versatility of the equipment. Through application verification, it can meet the needs of the field signal construction simulation test or training base to replace outdoor station and yard signal equipment to carry out indoor interlocking practical training teaching, and has certain promotion value.

Keywords: railway signal, intelligent simulation panel; modification of station and yard plan; module function design

收稿日期: 2023-06-16; 修回日期: 2023-10-29

基金项目: 中国铁路昆明局集团有限公司科技研究可持续发展支撑技术开发计划课题项目(K22D35)

作者简介: 王定明(1970—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 职教管理及铁路通信信号, 邮箱: 2095591181@qq.com.

在铁路新线、既有运营线信号工程施工中, 存在室内、室外施工进度不同步的情况, 为确保信号联锁设备在规定时间内顺利开通使用, 通常在开通、新旧设备倒接前, 分室内、室外对新建信号联

锁设备进行开通前调试。室内联锁设备存在配线较多、逻辑检查复杂的现状，当室内联锁设备安装完成后，通常采取制作模拟室外站场信号设备的信号模拟盘配合室内联锁设备开展模拟联锁试验工作，完成室内联锁设备故障查找处理，待和室外站场信号设备连接时，信号模拟盘就失去存在的价值而废弃。

在培训基地建设中，为最大限度满足信号专业开展不同联锁制式实训需要，通常建设多套不同制式的室内联锁设备，在综合考虑站场占地面积、资金投入和建设必要性等基础上，采取多套室内联锁设备切换控制同一室外站场信号设备的方案进行设计建设。当室内某一联锁设备控制室外站场信号设备时，其余联锁设备采用信号模拟盘替代室外站场信号设备配套室内联锁设备使用。若室内某一联锁设备联锁范围与室外站场信号设备数量不一致，除了连接室外站场信号设备外，还需制作与室内联锁范围模拟设备一致的信号模拟盘，存在室外站场信号设备和信号模拟盘同时配套室内联锁设备使用的情况。为确保每套室内联锁设备均能同时独立工作，需对应每一套室内联锁设备制作与之联锁范围一致的信号模拟盘，不同室内联锁设备配套的信号模拟盘不通用。

1 传统信号模拟盘共性问题

信号模拟盘是现场信号施工中模拟室外站场信号设备而制作的一种简易盘面，完全依据室外站场信号设备的设计进行制作，模拟实现信号机点灯、轨道电路空闲或占用、道岔位置表示等状态功能，安装在室内设备和室外设备配线连接的分线盘（柜）处，在不连接室外站场信号设备的情况下，模拟室外设备配合完成室内联锁设备的故障查找处理，为顺利完成信号设备施工任务发挥重要作用。

传统信号模拟盘存在一些共性问题：一是可靠性差、简单粗糙、工效低，很难达到充分、全面完成联锁试验工作；二是制作时需要焊接大量配线，占用室内有限空间，影响施工人员处理故障或者施工中的人行通道；三是不同的站场施工，需要制作不同的信号模拟盘，且信号模拟盘基本上是一次性安装，不能重复使用、通用性差；四是制作信号模

拟盘没有统一的工艺标准，使用中故障频发。

基于此，设计一款实现站场平面图任意修改、设备数量可扩展的铁路信号智能模拟盘（以下简称智能模拟盘），不仅能够满足现场信号设备施工中配合处理室内联锁设备故障的需要，还能满足培训基地多套室内联锁设备切换控制室外同一设备的需要，对解决传统模拟盘存在的共性问题、确保信号设备施工在规定时间内顺利完成和培训基地建设节约投资具有重要意义。

2 系统总体方案设计

智能模拟盘系统是室内联锁设备所控制的道岔、轨道电路、信号机及区间设备状态的电子显示。设计两个子系统，一个根据实际建设的室外站场信号设备生成对应的站场图，把采集信息显示在模拟盘站场平面图上。另一个兼顾室外站场信号设备和室外没有的模拟设备生成对应的站场图，把采集信息显示在模拟盘站场平面图上，反映室内联锁设备控制范围。智能模拟盘最终的界面，是根据采集板采集信息在模拟盘站场平面图上显示对应的状态，如图1所示。

智能模拟盘引入线连接在分线盘（柜）对应配线端子上，完成信号设备状态信息的采集，经处理后传送至PC机，在模拟盘站场平面图上给出所采集信息状态，替代室外站场信号设备或模拟设备配合室内联锁设备独立工作，智能模拟盘设备原理如图2所示。

3 主要功能设计

智能模拟盘研制实现可重复使用、通用性好、性能稳定等功能，主要用于现场信号工程施工模拟试验或培训基地替代室外站场信号设备开展室内联锁实训教学。

采用工业PC机（触摸一体机），开发专用程序，实现站场平面图可在软件上自由修改、绘制，软件可多次重复使用。

采用计算机软件+采集/驱动板新技术，其电源、采集/驱动单元可重复使用，同时预留扩展槽，

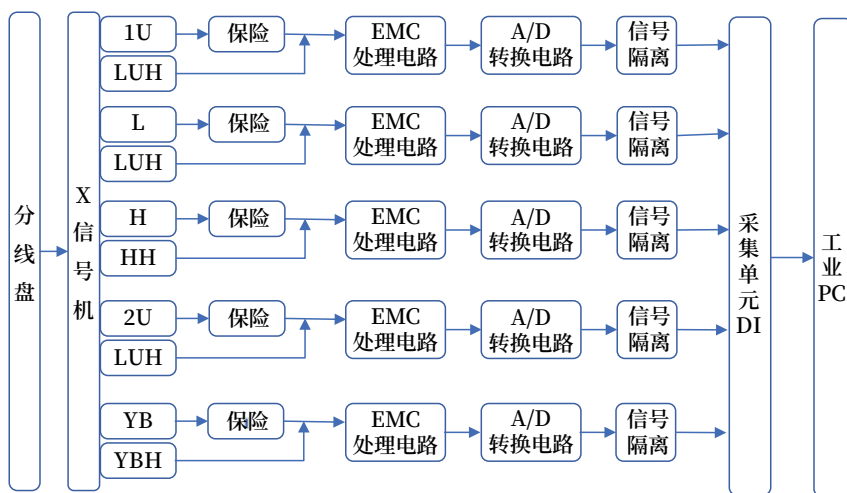


图3 信号机模块功能原理

Fig.3 Functional schematic diagram of signal module

把采集信息经处理后传送至PC机，在智能模拟盘站场平面图上反映出道岔位置状态。道岔状态数量的采集可以根据室内联锁设备所设计安装的道岔数量灵活选用，既可以选择采集形成站场平面图的所有实际道岔，还可以选择模拟道岔，实现与室内联锁设备联锁范围设计一致的模拟站场平面图。电路原理如图4所示。

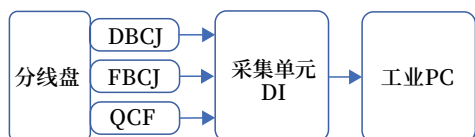


图4 道岔模块功能原理

Fig.4 Functional schematic diagram of turnout module

4.3 轨道电路模块功能设计

轨道电路模块主要完成两个功能：一是完成轨道电路状态信息采集，并把信息经处理后传送至PC机，在智能模拟盘站场平面图上反映出轨道电路状态。轨道电路数量的采集可以根据室内联锁设备所设计安装的轨道电路区段灵活选用，既可以选择采集形成站场平面图的站内所有轨道电路区段，还可以选择区间轨道电路及模拟轨道电路，如：X1JG、X2JG、X3JG、S1LQG、S2LQG、S3LQG等；二是控制串接在轨道回路中的开关，实现模拟占用、出清功能。电路原理如图5所示。

5 软件设计方案

5.1 软件功能

智能模拟盘开发了便于现场二次开发的站场图编辑软件，用户可以根据实际需要编辑及配置，以模拟不同的站场，实现模拟盘智能化、重复性使用。软件由站场图设计程序和显示程序组成，主要实现站场图的修改和信号机、道岔、轨道电路的复示，完成硬件模块功能配置，以实现显示界面设备状态与室外真实信号设备一致。软件功能模块和层次划分如图6所示。

站场图设计程序(MoNiPanDesign)用于设备现场开发和维护，采用组态软件控件形式进行站场图的快速编辑和接口信息配置。显示程序(DisplayMnp)自动加载模拟盘站场图和采集驱动信息，用于智能模拟盘的操作及显示。

5.2 软件设计流程

采集板从分线盘(柜)连接线配线端子上采集室内联锁设备信息，主要采集信息有信号机点灯状态、轨道电路调整和分路状态、道岔位置表示状态等，显示程序把对应的信息显示在智能模拟盘盘面上，给出信号机点灯、轨道电路占用/空闲、道岔定/反位等状态信息显示。软件模块程序逻辑如图7所示。

5.3 显示界面功能

站场界面设置由菜单栏、快捷菜单、站场主区

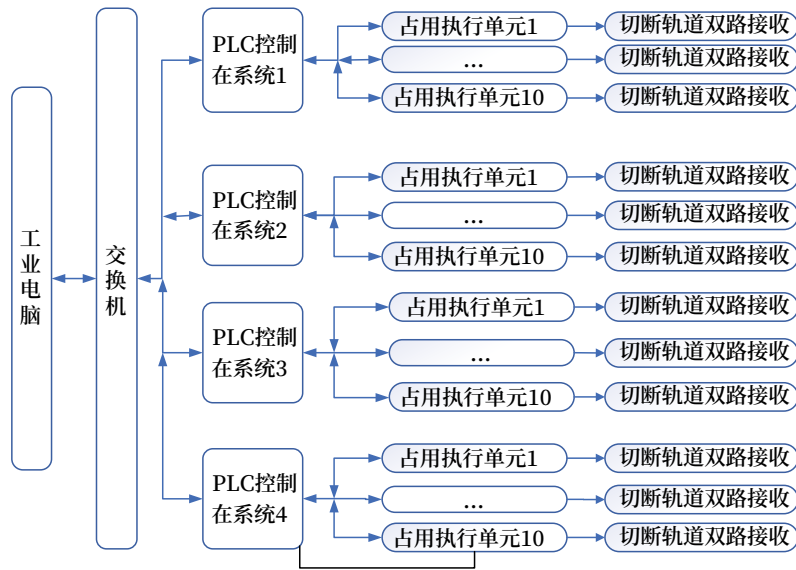


图5 轨道电路模块功能原理
Fig.5 Functional schematic diagram of track circuit module

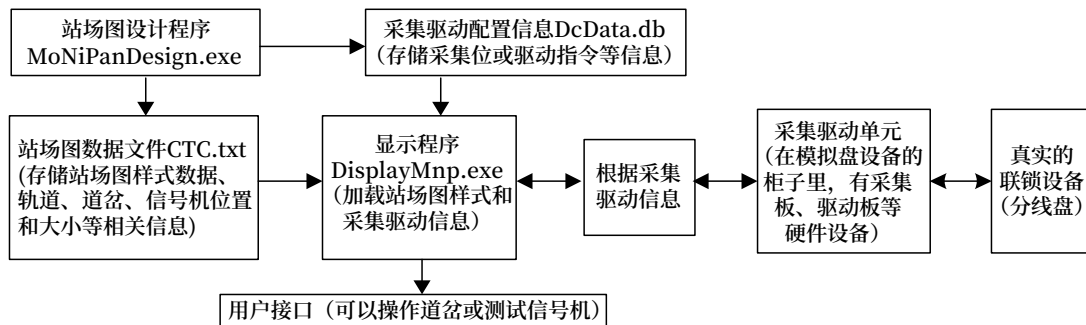


图6 智能模拟盘软件结构
Fig.6 Intelligent simulation panel software structure

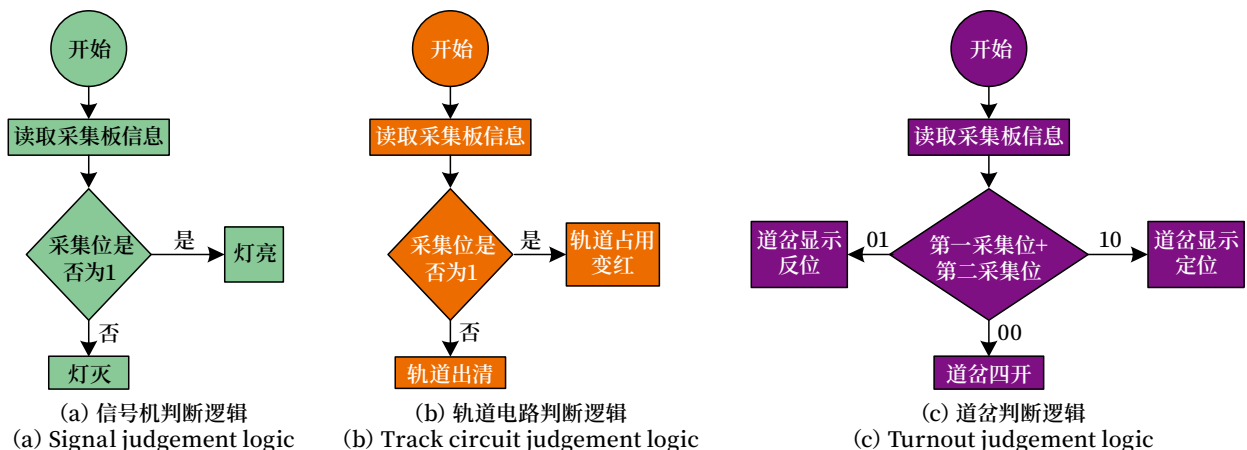


图7 软件模块程序逻辑
Fig.7 Software module program logic

域和状态栏组成。

菜单栏功能：文件菜单栏设有新建、保存、清空画布等功能。绘图菜单栏设有显示属性、原件对

齐、删除元件等功能。数据库信息菜单栏设有预设值的采集和驱动信息。

智能模拟盘软件系统提供拼接站场图的元件库，

所有元件都可以通过快捷菜单进行选用。元件库中主要有各类型信号机、道岔、水平轨道、斜轨道、箭头、绿方块、白圆圈、绝缘节、标签、按钮及信号灯等元件。站场主区域显示站场平面图界面。

6 成果应用及改进

该成果已在黄龙山培训部 TYJL-ADX 和 iLOCK 计算机联锁设备中投入使用。截至目前,在信号工轮训、岗位技能达标培训、新入职人员实训、岗位练兵、技术比赛等培训中发挥了重要作用,通过培训过程中所设置的各类故障试验,该设备工作性能稳定。但与传统模拟盘相比,因机柜体积较小,在连接联锁设备配线过程中,不能多人同时作业,且显示器与机柜固定安装,不便于携带,影响工作效率。针对样机存在的不足,在黄龙山培训部采用笔记本电脑替代显示界面,安装软件并连接机柜网线后同样实现模拟显示功能,解决现场使用携带不便问题。若站场规模较大、信号设备数量较多,配置的采集、驱动模块不能满足时,在扩展槽增设相应的采集、驱动模块,通过软件修改配置后即可解决,但需分类采用万科端子完成机柜内大量配线,实现易扩展和通用性功能。固定设置的智能模拟盘如图 8 所示。



图8 智能模拟盘设备
Fig.8 Intelligent simulation panel equipment

7 结束语

通过“硬件+软件”研制的智能模拟盘,在培训基地配套室内联锁设备使用,满足独立开展不同制式室内联锁设备实训需要;通过任意修改站场图并进行配置,有效解决现场信号设备施工中传统模拟盘

不能重复使用和无通用性问题;具备有效节约投资,避免废弃物污染环境等优点。该系统经过半年多的使用验证,可靠性高、稳定性好,具有实用推广价值。

参考文献

- [1] 尤俊虎. 信号联锁试验模拟盘制作研究 [J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2018, 31(S1): 164-167.
You Junhu. Research on the Manufacture of Simulation Disk for Signal Interlocking Test[J]. Journal of Shijiazhuang Tiedao University (Natural Science Edition), 2018, 31(S1): 164-167.
- [2] 刘金山. 联锁实验智能模拟盘 [J]. 铁道通信信号, 2002, 38(10): 13-14.
Liu Jinshan. Intelligent Simulation Disk for Interlocking Experiment[J]. Railway Signalling & Communication, 2002, 38(10): 13-14.
- [3] 杨斐, 苏琛. 计算机联锁试验记录分析系统设计与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(9): 21-25.
Yang Fei, Su Chen. Design and Implementation of Interlocking Test Record Analysis System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 21-25.
- [4] 安伟光, 阚焕章, 窦振荣. 车站信号工程施工 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [5] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [6] 林瑜筠, 吕永昌. 计算机联锁 [M]. 4 版. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [7] 阮振铎. 铁路信号设计与施工 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [8] 袁成华. 铁路信号设备故障分析与处理 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [9] 曹旭辉. 铁路信号室外通用模拟盘下位机装置的研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2021.

变温环境下超声导波钢轨结构健康监测 技术研究

王鹏跃¹, 朱良², 谭树林³, 姜增刚⁴, 康剑⁴

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京铁路信号有限公司, 北京 102613;

3. 西安全路通号器材研究有限公司, 西安 710100;

4. 陕西红柠铁路有限责任公司, 陕西榆林 719300)

摘要: 在应用超声导波进行钢轨结构健康监测时, 温度变化会导致钢轨的导波特性发生改变, 从而影响监测结果的准确性。主要分析温度对钢轨导波波速的影响, 提出采用3次样条插值在时域拉伸信号, 实现导波波速的补偿, 将归一化能量均方差作为选择最佳拉伸因子的准则及钢轨伤损判断的标准, 避免导波信号幅值变化对监测结果的影响, 通过对实验数据的处理验证算法的有效性, 并在呼和南站重载线路进行锯轨演示试验, 为变温环境下的钢轨结构健康监测提供了技术基础。

关键词: 超声导波; 钢轨结构健康监测; 温度补偿; 时域拉伸

中图分类号: U216.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0026-08

Research on Rail Structure Health Monitoring Technology Based on Ultrasonic Guided Wave in Variable Temperature Environment

Wang Pengyue¹, Zhu Liang², Tan Shulin³, Jiang Zenggang⁴, Kang Jian⁴

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

(2. Beijing Railway Signal Co., Ltd., Beijing 102613, China)

(3. Xi'an Railway Signal Research Co., Ltd., Xi'an 710100, China)

(4. Shaanxi Hongning Railway Co., Ltd., Yulin 719300, China)

Abstract: When using ultrasonic guided waves to monitor the health of rail structure, the temperature change will lead to the change of the guided wave characteristics of the rail, which will affect the accuracy of the monitoring results. This paper mainly analyzes the influence of temperature on guided

收稿日期: 2022-04-14; 修回日期: 2023-10-15

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目(2300-K1190013.01)

第一作者: 王鹏跃(1996—), 男, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向: 超声无损检测, 邮箱: wangpengyue@crscd.com.cn。

wave velocity of rail, and proposes to use the cubic spline interpolation to stretch the signal in time domain to realize the compensation of the guided wave velocity. The normalized energy mean square error is used as the criterion for selecting the best tensile factor and the criterion for judging the damage of the rail, which avoids the influence of the amplitude change of the guided wave signal on the monitoring results, and the effectiveness of the algorithm is verified by processing the experimental data. In addition, a rail sawing demonstration test was carried out on the heavy-haul line of Hohhot South Station. It provides a technical basis for the health monitoring of rail structure in variable temperature environment.

Keywords: ultrasonic guided wave; rail structure health monitoring; temperature compensation; time-domain stretching

1 概述

随着铁路向客运高速化和货运重载化发展,对运输安全的要求越来越高,钢轨的结构健康监测成为铁路安全运营的重要基础。超声导波结构健康监测技术是一种新型的监测方法,可实现在线实时监测和钢轨全端面的裂缝检测,受到了广泛关注。

在导波监测技术的实际应用中,常使用基线相减法,即用测量信号减去基准信号,根据残差的大小来判断被测钢轨有无伤损,这对导波接收信号的稳定性提出了很高要求。但导波易受环境条件变化的影响,而研究表明,温度变化会导致导波信号幅值和波速的变化,是导致信号波动的主要因素。因此,导波信号的温度补偿是近年来备受关注的研究方向。Lu Y 文献 [1] 提出了最优基线选择法 (Optimal Baseline Selection, OBS), 该方法需要构建结构在不同温度下的基线数据库,但在工程应用中,在数据库建立的较长时间范围内无法判断钢轨是否存在伤损 [2]。Croxford 等人 [3] 提出了基线信号拉伸法 (Baseline Signal Stretch, BSS), 引入信号拉伸因子,以此来校正波速。然而,该算法采用最小残差作为判断依据,尽管实现了波速校正,但在基线减法后进行伤损判断时,忽略了温度或监测系统电压波动带来的信号幅值波动,同时,该算法在频域实现信号的拉伸,增加了算法的复杂度 [4-6]。

本文引入了归一化能量均方差作为选择最佳拉伸因子的准则及钢轨伤损判断的标准,在实现温度

补偿的同时,排除温度或系统电压波动导致的信号幅值变化带来的干扰。同时,提出在时域上通过 3 次样条插值对数字信号进行处理,实现信号的拉伸,降低了算法的复杂度,为变温环境下的钢轨结构健康监测提供了技术基础。

2 温度影响分析及补偿算法

2.1 温度对钢轨导波的影响

在应用超声导波技术监测钢轨结构健康时,温度变化对导波信号的影响十分明显 [7]。钢轨在服役过程中,轨温的温差最大可到达上百摄氏度,使钢轨的导波特性发生变化,从而影响导波的波速和幅值等特征参数 [8-9]。通过理论分析,可以直观地体现出温度对钢轨导波的影响。

在进行钢轨结构健康监测时,由换能器发送经汉宁窗调制的正弦信号 $s(t)$, 该信号可以表示为如公式 (1) 所示:

$$s(t) = A_0 w(t) \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

其中, $w(t)$ 为汉宁窗函数,如公式 (2) 所示:

$$w(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi ft}{n}\right) \right] & 0 \leq t \leq \frac{n}{f} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

公式 (1) ~ (2) 中, A_0 是激励信号的幅值, f 是激励信号的频率, n 是调制信号中的正弦信号周期数。假设当前时刻为 t_0 , 传感器接收到钢轨特征结构的回波为 $s_0(t_0)$, 当钢轨温度发生了 δT 的变化时, 特征结构回波变为 $s_1(t_0)$, 如公式 (3) ~ (4) 所示:

$$s_0(t_0) = \lambda s(t - t_0) \quad (3)$$

$$s_1(t_0) = \lambda s(t - [t_0 + \delta t]) \quad (4)$$

公式(3)~(4)中, λ 表示该钢轨结构的反射系数, δt 为回波信号的时移, 由温度的变化引起, 因此, 对于钢轨上某个回波信号, 温度的变化会导致其在时域上产生时移。

为了定量研究温度变化量 δT 与回波时移量 δt 之间的关系, 将时间 t 、波速 v 和距离 d 设为温度变化量 δT 的因变量, 求式 $t = d/v$ 对 δT 的偏微分, 如公式(5)所示:

$$\frac{\delta t}{\delta T} = \frac{1}{v} \frac{\delta d}{\delta T} - \frac{d}{v^2} \frac{\delta v}{\delta T} \quad (5)$$

公式(5)中, 令 $\delta d/\delta T = \alpha d$, 其中 α 为钢轨的热膨胀系数。令 $\delta v/\delta T = k$, k 可以理解为钢轨中波速变化与温度变化之比。则公式(5)可以表示为公式(6)所示:

$$\delta t = \frac{d}{v} \left(\alpha - \frac{k}{v} \right) \delta T \quad (6)$$

对于钢轨, k/v 要远大于 α 。因此, 钢轨特征回波在温度变化时产生的时移量主要由波速变化引起。

除了波速以外, 温度变化同样会影响换能器与钢轨的耦合效果及声波在钢轨中衰减系数, 从而导致接收信号的幅值产生变化。

2.2 基于时域拉伸的温度补偿算法

基线相减法是导波无损检测的一种常用方法, 2.1 小节中介绍了温度变化会对钢轨导波的波速及幅值带来影响, 这就会导致在钢轨未发生伤损时, 当前信号与基准信号差异增大, 无法判断该差异是由于温度变化产生还是结构伤损产生。因此, 需要对信号进行温度补偿, 从而减小温度造成的信号变化。

在 2.1 小节中, 换能器激励信号可以如公式(1)表示为 $s(t)$, 那么在温度 T_0 时的导波信号, 可以表示为多个不同幅值、不同到达时间的特征回波, 如公式(7)所示:

$$u_0(t) = \sum s_i(t) = \sum \lambda_i s(t - t_i) \quad (7)$$

公式(7)中, λ_i 表示第 i 个钢轨特征结构回波的反射系数, $s_i(t)$ 表示第 i 个回波, t_i 为第 i 个特征回波的到达时间。由公式(6), 钢轨特征回波在温

度变化时产生的时移量主要由波速变化引起。因此, 温度变化 δT 时, 传感器接收到的回波信号可以表示为公式(8)所示:

$$u_1(t) = \sum \lambda_i s(t - t_i) = \sum \lambda_i s(t - t_i \beta) \quad (8)$$

公式(8)中, 定义 β 为拉伸因子, 为了对导波信号进行补偿, 需要对时域信号进行拉伸, 从而减小或消除波速变化导致的信号差异。假设 $u_0(t)$ 为基准信号, $u_1(t)$ 为当前信号, 在时域上拉伸 $u_1(t)$ 可以表示为公式(9)所示:

$$u_1'(t) = u_1(\beta t) = \sum \lambda_i s(\beta t - t_i) \quad (9)$$

为了确定最佳拉伸因子, 采用归一化能量均方差 \hat{E} 作为判断标准, 当测量信号与基准信号之间的归一化能量均方差最小时, 对应的 β 值即为最佳拉伸因子。

在实际计算时, 信号为采集得到的长度为 N 的数字信号, 首先对基准信号 $u_0(n)$ 和变换后测量信号 $u_1'(n)$ 做去均值处理, 排除直流分量的干扰, 如公式(10)所示:

$$\begin{cases} u_{0m}(n) = u_0(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u_0(n) \\ u_{1m}'(n) = u_1'(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u_1'(n) \end{cases} \quad (10)$$

之后对公式(10)中 $u_{0m}(n)$ 和 $u_{1m}'(n)$ 进行能量归一化处理, 得到归一化结果 u_{0mn} 和 $u_{1mn}'(n)$, 如公式(11)~(12)所示:

$$u_{0mn} = \frac{u_{0m}(n)}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} u_{0m}^2(n)}} \quad (11)$$

$$u_{1mn}'(n) = A \cdot u_{1m}'(n) \quad (12)$$

公式(12)中, A 可表示如公式(13)所示:

$$A = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} u_{1m}'(n) u_{0mn}}{\sum_{n=0}^{N-1} u_{1m}'^2(n)} \quad (13)$$

归一化能量均方差 \hat{E} 即可表示为公式(14)所示:

$$\hat{E} = \sum_{n=0}^{N-1} [u_{1mn}'(n) - u_{0mn}]^2 \quad (14)$$

归一化能量均方差将信号能量进行了归一化处理, 因此可以排除掉信号幅值随温度整体线性变化带来的干扰。同时它反映了能量归一化后基准信号和测量信号的差异, 既可以作为最佳拉伸因子的判断标准, 也可以作为无损检测中判断伤损是否存在

的特征参数。

因此,在计算时,在一定范围 $[\beta_{\min}, \beta_{\max}]$ 内,以步长 μ 遍历拉伸因子 β 的值,计算拉伸后信号及基准信号的归一化能量均方差 \hat{E} ,即可得到补偿后测量

信号及基准信号间的 \hat{E} 及其对应的拉伸因子 β 值。

对于数字信号,需要对基准信号或测量信号进行3次样条插值,以实现信号的时域拉伸。算法流程如图1所示。

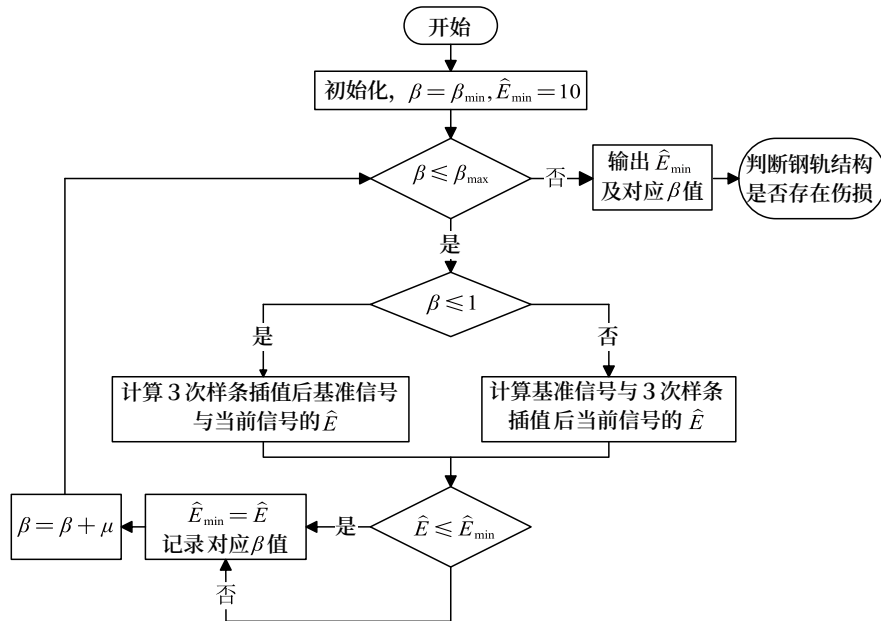


图1 时域拉伸算法流程

Fig.1 Flowchart of time-domain stretching algorithm

在计算过程中,可以得到每组测量信号的最佳拉伸因子,设基准信号波速为 V_0 ,则测量信号 $u_1(t)$ 的波速可以表示为公式(15)所示:

$$V_1 = \beta \cdot V_0 \quad (15)$$

算法通过计算得到最佳拉伸因子,实现了对信号波速的补偿,同时,利用归一化能量均方差作为钢轨结构是否存在伤损的依据,排除了信号幅值变化的影响。

3 实验信号分析

为了测试不同温度下钢轨的导波信号,在钢轨上布置换能器和传感器后,采用30 kHz汉宁窗调制信号作为激励,采集了4天的导波数据,共346组,在第4天测试前(采集第213组信号前),在钢轨轨底制造了约2.8 cm的裂缝。同时,通过温度传感器采集钢轨的温度信息,其中第一天温度较低且波动较小,而后3天温度较高且波动较大,总的温度波动

范围为 $11.5^{\circ}\text{C} \sim 38.6^{\circ}\text{C}$ 。

第1组和第212组数据的局部导波信号如图2(a)所示,可以看到,由于温度的变化,钢轨中导波的波速发生改变,且导波信号的幅值也发生了一定变化。

为了体现温度变化对导波检测的影响,采用采集得到的第1个信号作为基准信号,计算其他信号与其的归一化能量均方差,计算结果及对应的温度数据如图2(b)所示。

可以看到,在第2天测试时,由于温度升高,归一化能量均方差明显增大,由温度带来的数值变化与轨底裂缝带来的数值变化难以区分,无法检测出轨底裂缝的存在。

为了减小温度对伤损检测的影响,对数据进行时域拉伸温度补偿,在 $0.99 \sim 1.01$ 范围内以步长0.001遍历拉伸因子 β ,得到每组数据拉伸后与基准信号间的最小归一化能量均方差,作为判断有无伤

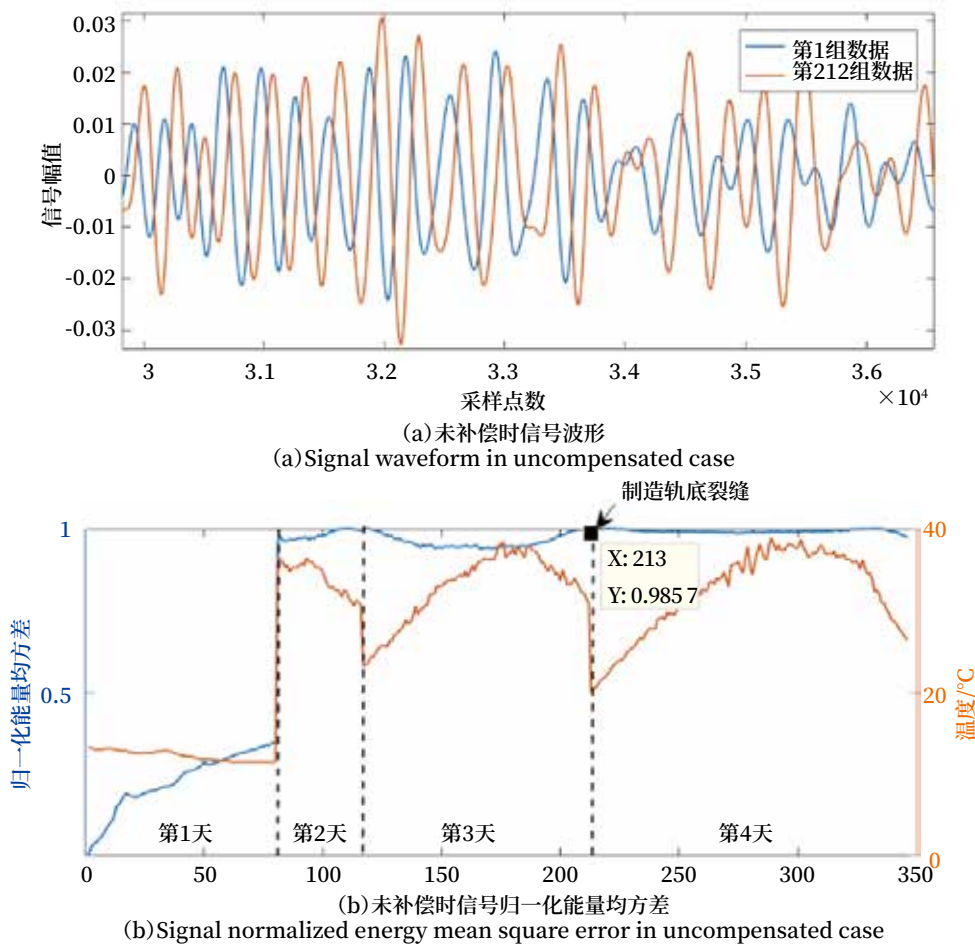


图2 未补偿时信号波形及归一化能量均方差

Fig.2 Signal waveform and normalized energy mean square error in uncompensated case

损的参数。补偿后信号波形及每组数据与基准信号间最小归一化能量均方差如图 3 所示。

可以看到，经过算法处理，在第 2 天温度升高后，能量均方差有所增大，但仍在 0.5 以下，在制造轨底缺陷后，能量均方差高于 0.75，与温度导致的数值变化区分明显，可以实现伤损的检测。

由公式 (15)，根据计算过程中得到的每组数据的最佳拉伸因子及基准信号波速，可以得到在实验的 4 天中导波信号的波速数据。根据特征结构回波及特征结构与传感器，换能器的相对位置，计算得到参考信号波速约为 3 118 m/s，实验信号的波速及对应时间点温度如图 4 所示。

可以看到，波速与温度变化的趋势相反，温度越高，波速越慢。在 11.5 至 38.6℃ 温度波动范围内，波速存在约 10 m/s 的波动，从而导致测量信号与基

准信号存在明显的差异，而通过时域拉伸算法可以实现波速的校正，减小温度变化对导波检测的影响。

4 上道试验应用

基于时域拉伸的温度补偿算法的研究依托于北京全路通信信号设计院集团有限公司的科研项目，并在公司产品岔区软件监测系统中得到应用。该系统包括轨上换能器、传感器及轨旁设备、轨旁设备可经传感器采集钢轨中的导波信号，进行算法解算，上报钢轨健康状态至远程平台，在钢轨出现伤损时通过手机短信等方式向相关人员报警。轨旁设备如图 5 所示。

2021 年 5 月，呼和南站重载线路 13[#] 道岔尖轨由于表面鱼鳞纹较多，需要换轨。在换轨前，应呼局工务处要求，岔区软件监测系统安装在该尖轨上，并进行断轨演示试验，由于天窗点时间有限，

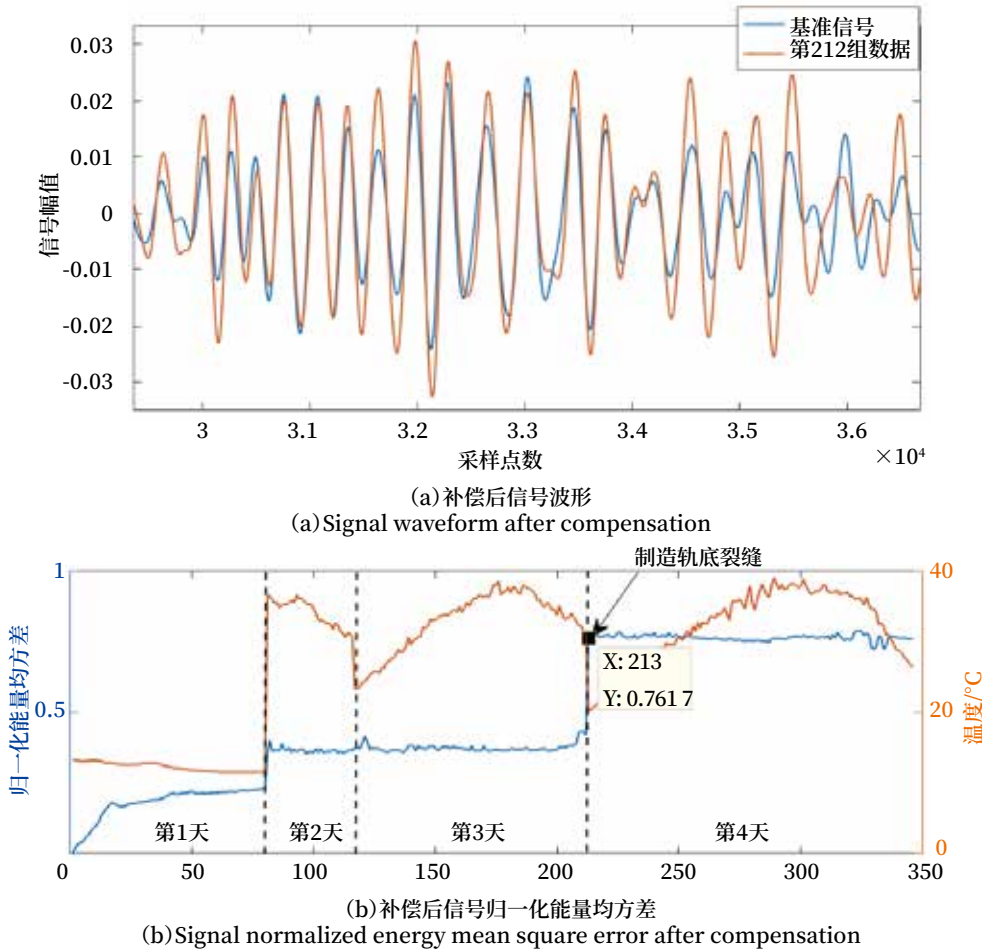


图3 补偿后信号波形及归一化能量均方差
Fig.3 Signal waveform and normalized energy mean square error after compensation

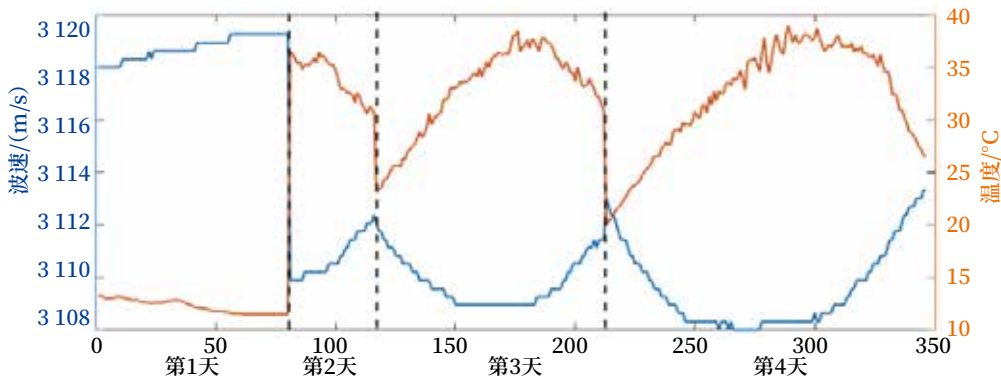


图4 导波信号波速变化
Fig.4 Velocity variation of guided wave signal

锯轨分两次进行，第一次从轨头锯至轨腰中段，第二次将钢轨几乎锯断。

试验过程中远程平台显示数据如图 6 所示。锯轨开始前，系统持续工作约 0.5 h，上报状态均为“正常”，钢轨特征值即归一化能量均方差均在 0.25

附近波动，将钢轨缺陷阈值设为 0.5，折断阈值为 0.85。开始锯轨后，由于锯轨噪声较大，系统将钢轨状态识别为“过车”，锯至轨腰后，暂停锯轨，系统识别出钢轨缺陷，通过短信向呼局工务处报警，继续锯轨至钢轨几乎折断后，系统识别出钢轨折断。



图5 岔区轨件监测系统轨旁设备

Fig.5 Trackside equipment of turnout rail monitoring system

锯轨演示试验中系统准确识别出钢轨的健康状态，但由于本次试验天窗点时间有限，温度波动较小，只采集了约 30 min 的钢轨导波数据，无法体现出算法在进行温度补偿时的显著效果。但结合第 3 节中采集得到的较大温度波动下的数据分析结果，可以证明基于时域拉伸的温度补偿算法在实际产品应用时的有效性。

设备名称	设备mac	上报时间	当前通道编码	当前钢轨状态	钢轨特征值	过车能量
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:07:44	3	折断	0.9640	131
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:07:33	3	折断	0.9481	137
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:07:22	3	折断	0.9427	134
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:07:13	3	过车	-	4852
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:07:03	3	过车	-	3517
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:06:53	3	过车	-	4520
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:06:42	3	过车	-	4562
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:06:34	3	过车	-	3928
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:06:23	3	缺陷	0.7022	148
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:06:13	3	缺陷	0.7175	151
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:06:02	3	缺陷	0.7263	157
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:05:53	3	过车	-	4374
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:05:42	3	过车	-	3980
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:05:33	3	过车	-	4726
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:05:24	3	过车	-	3961
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:05:13	3	正常	0.2462	137
呼南13#	86985903431686C	2021-5-21 02:05:03	3	正常	0.2513	142

图6 远程平台显示数据

Fig.6 Data displayed by the remote platform

5 结论

本文研究了温度对钢轨导波信号的影响，重点关注了温度变化带来的导波波速的变化，提出采用归一化能量均方差作为信号时域最佳拉伸因子的选择依据，并将其作为导波检测中判断伤损是否存在的特征参数以排除幅值变化带来的干扰。同时，针对采集得到的数字信号，提出分别对基准信号和测量信号进行 3 次样条插值实现信号的拉伸。在 11.5℃~ 38.6℃温度波动范围内，采集了 4 天的钢轨导波数据，并在轨底制造 2.8 cm 伤损，通过基于时域拉伸的温度补偿算法，实现了伤损的可靠检测，并在呼南南站重载线路进行了锯轨演示试验，为变温

环境下的钢轨结构健康监测提供了技术基础。

参考文献

- [1] Lu Yinghui, Michaels J E. A Methodology for Structural Health Monitoring with Diffuse Ultrasonic Waves in the Presence of Temperature Variations[J]. Ultrasonics, 2005, 43(9): 717-731.
- [2] Konstantinidis G, Drinkwater B W, Wilcox P D. The Temperature Stability of Guided Wave Structural Health Monitoring Systems[J]. Smart Materials and Structures, 2006, 15(4): 967-976.
- [3] Croxford A J, Moll J, Wilcox P D, et al. Efficient Temperature Compensation Strategies for Guided

- Wave Structural Health Monitoring[J]. Ultrasonics, 2010, 50(4/5): 517-528.
- [4] Clarke T, Simonetti F, Cawley P. Guided Wave Health Monitoring of Complex Structures by Sparse Array Systems: Influence of Temperature Changes on Performance[J]. Journal of Sound and Vibration, 2010, 329(12): 2306-2322.
- [5] 胡剑虹, 唐志峰, 蒋金洲, 等. 道岔钢轨轨底缺陷的导波检测技术研究 [J]. 中国铁道科学, 2014, 35 (3): 34-40.
Hu Jianhong, Tang Zhifeng, Jiang Jinzhou, et al. Research on Guided Wave Inspection Technology for Rail Base Defect of Turnout[J]. China Railway Science, 2014, 35(3): 34-40.
- [6] 邓菲, 刘洋, 诸葛霞, 等. 变化环境下的超声导波结构健康监测研究进展 [J]. 机械工程学报, 2016, 52 (18): 1-7.
Deng Fei, Liu Yang, Zhuge Xia, et al. Progress on the Research of Ultrasonic Guided Wave Structural Health Monitoring in the Changing Ambient[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(18): 1-7.
- [7] 李薛, 齐光锋, 孙振华, 等. 温度对管道超声导波检测定位的影响规律研究 [J]. 内蒙古石油化工, 2020, 46 (4): 3-6.
Li Xue, Qi Guangfeng, Sun Zhenhua, et al. Study on the Influence Rule of Temperature on Pipeline Ultrasonic Detection and Positioning[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2020, 46(4): 3-6.
- [8] 顾建祖, 陈榕, Rahim Gorgin. 变化温度下的超声导波板状结构健康监测 [J]. 河南科技大学学报 (自然科学版), 2019, 40 (2): 57-63, 7.
Gu Jianzu, Chen Rong, Gorgin R. Ultrasonic Guided Wave Plate-Like Structural Health Monitoring under Varying Temperature[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science), 2019, 40(2): 57-63, 7.
- [9] 王宇航. 基于基准匹配的超声导波信号环境补偿技术研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2018.

《铁路通信信号工程技术》期刊简介

《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行人。国内统一连续出版物号: CN11-5423/U。国际标准连续出版物号: ISSN1673-4440。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。



扫描打开期刊官网
阅读、下载本刊内容

主要内容是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。设有: 学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

站内长短进路的列控系统处理方案研究

杨 韬^{1, 2}, 黄 佳^{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: 以高速铁路既有站改造和海外工程建设为出发点, 介绍长短进路的定义及应用原则, 分析基于站内长短进路的双车停靠和多股道发车/接车安全运营场景, 从站内长短进路的配置、长短进路状态以及长短进路处理 3 个方面提出列控系统的长短进路处理方案。根据站内长短进路处理方案对安全运营场景进行效果分析, 有效证明该方案具有重要的应用价值。

关键词: 长短进路; 列控系统; 安全运营场景

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0034-05

Research on Train Control System Processing Scheme of Long-short Route in Station

Yang Tao^{1, 2}, Huang Jia^{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: Taking the reconstruction of existing high-speed railway stations and overseas engineering construction as the starting point, this paper introduces the definition and application principles of long-short route, analyzes the safe operation scenarios of double parking and multi-track departure and reception based on the long-short route in the station, and puts forward the long-short route processing scheme of the train control system from three aspects: the configuration of long-short route in the station, the status of long-short route and the processing of long-short route. The effect analysis of the safe operation scenario according to the long-short route processing scheme in the station effectively proves that the scheme has important application value.

Keywords: long-short route; train control system; safe operation scenario

1 研究背景及意义

1.1 国内现状

截止 2023 年初, 国内高铁里程已经突破 4.2 万 km, 构建的“八纵八横”高速铁路干线几乎涵盖了全国所有大中型城市且基本为新建线路、

收稿日期: 2022-10-31; 修回日期: 2023-08-13

基金项目: 中国铁路通信信号股份有限公司重大课题项目 (2017J06)

第一作者: 杨韬 (1983—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 列控系统, 邮箱: yt@crscd.com.cn.

车站。“十四五”规划提出在 2035 年实现更加完善铁路交通运输、建设交通强国的要求。因此，从客流量、成本、运营等多方位角度考量，以高速铁路列控技术为基础，既有普速线路进行现代化升级改造实现增速、增效，是非常有研究必要的一个课题^[1]。

1.2 国外现状

随着全球政治、经济格局深刻变化以及“一带一路”倡议的深化落实，中国高铁列控技术正在广泛运用于构建欧亚、中亚、泛亚铁路以及落地中老、中泰、匈塞、雅万等海外工程。海外工程大多基于既有线路，在既有普速站的基础上升级信号系统，土建改造成本有限、站型相对复杂、本地化需求繁多、运营场景特殊等对高铁列控技术有着更高的要求^[2]。

1.3 研究意义

国内新建高速铁路干线基本为客运专线，客货混运线路较少。客运专线车站按照标准规范设计，在设计之初就按照规划的运营需求制定列车编组长度以及设计对应的车站股道，因此站型相对标准化、统一化，有利于高铁列控系统的通用设计和统一部署。然而，大量存在的既有线路均属于客货混运的情况，特别是在海外，客货混运是铁路运营的主流形态。在既有线路上，运营列车的型号、编组、长度、运营需求存在极大的差异化需求，因此也导致既有站设计相比新建标准站更为复杂，对列控系统的设计和技术要求更高，潜在的安全风险也更大^[3]。站型差异对比如图 1 所示，其中很大一部分差异体现在既有站大量存在长短进路情况，主要原因为基于土建成本考虑一个站台需要停靠多列车，因此长短进路对运营效率和安全具有极大影响。

站内长短进路是国内外既有线路普遍存在的运输需求。无论是国内高速铁路既有线改造或是海外工程建设，站内长短进路的列控系统处理方案都是一个必须攻克的难题。在高速铁路列控系统框架下，研究针对长短进路的处理方案，既满足站内运营效率提高要求，又满足接发车作业安全要求，具有重

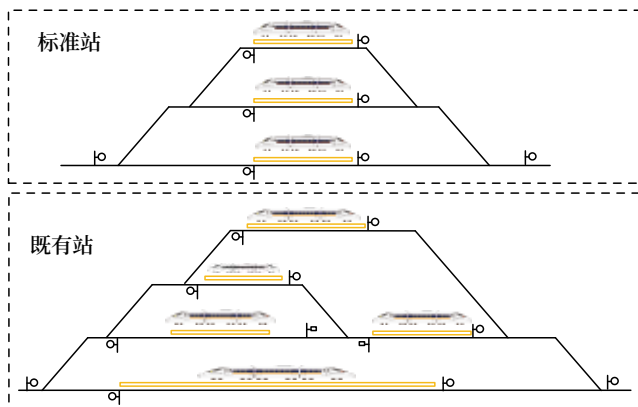


图1 标准站和既有站

Fig.1 Standard station and existing station

要的经济和社会价值。

2 长短进路的定义及应用

基于国内外的研究背景，以下从长短进路的定义和应用两方面进行介绍。

2.1 长短进路的定义

既有站的常见信号设计如图 2 所示，车站股道上存在道岔，并在该道岔前后设置轨道边界信号机防护该组道岔。该轨道边界信号机可作为列车、调车进路的终端，以及调车进路的始端。根据该轨道边界信号机属性，站内列车进路中可划分为长进路 1 和短进路 2。

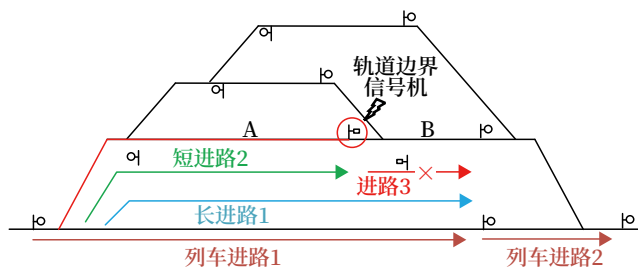


图2 既有站信号设计

Fig.2 Signal design for existing station

相较于站内普通列车进路的列车进路 1 和列车进路 2，长进路 1 中完全包含短进路 2，由于股道边界信号机不能作为列车进路的始端，因此以轨道边界信号机为起点形成的列车进路 3 在信号设计中不存在。因此将该轨道边界信号机视为“可穿越”的信号机，仅有阻拦作用（只有红灯或禁止信

号), 没有通过作用(没有列车信号的绿灯或者通过信号), 在不激活阻拦作用的情况下, 默认允许列车“穿越”。

2.2 长短进路的应用

基于长短进路的信号设计和安全性原则, 站内长短进路有以下原则。

1) 办理长进路1, 只有列车完全进入B股后, 长进路1方可解锁。若列车完全进入A股, 需保持股道道岔区段和B股为锁闭状态。

2) 办理短进路2, 只有列车完全进入A股后, 短进路2方可解锁。由于站内长短进路的信号设计, 不存在以短进路终点信号机为起点的列车进路, 此后, 列车需通过调车方式进行后续运营。

3 长短进路安全运营场景分析

根据站内长短进路的定义及应用, 长短进路在列控系统的安全高效应用至关重要。列控系统由车载设备、无线闭塞中心(Radio Block Center, RBC)、临时限速服务器(Temporary Speed Restriction Server, TSRS)等组成^[4]。RBC根据计算机联锁(Computer Based Interlocking, CBI)、TSRS等设备发送的进路状态、灾害区状态、临时限速等各种地面线路状态, 生成行车许可(Movement Authority, MA), 通过无线网络与车载设备相连接, 控制列车安全运行。

下面基于列控系统选取典型站内长短进路安全运营场景进行分析讨论。

3.1 双车停靠作业

基于长短进路的信号设计和运营需求, 将存在基于长短进路的双车同时停靠在同一直股的运营场景。如图3所示, 列车1和列车2需分别停靠在A股和B股。在该运营场景下, 由于短进路1和长进路2存在重叠, 若CBI在长进路2未解锁时, 又办理短进路1, 会造成列车1和列车2实际的MA重叠, 为行车安全带来风险隐患。

3.2 多股道发车/接车

站内存在多辆列车接/发时, 如图4所示, 列车

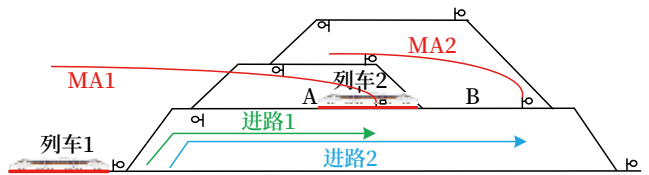


图3 双车停靠作业
Fig.3 Double parking operation

1需接车至B股, 列车2从C股发车。在该运营场景下, 发车进路3和接车长进路2存在重叠, 若列车1先接车, 列车2再发车, 会存在冲撞; 若列车2先发车, 待进路3出清后, 再办理长进路2接车, 会影响站内运营效率。

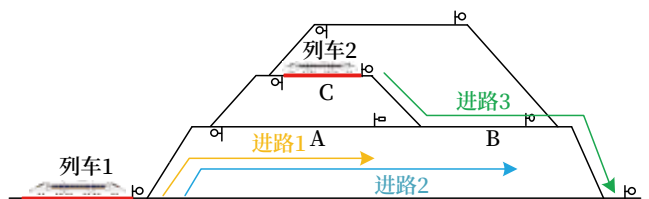


图4 多股道发车接车
Fig.4 Multi-track departure and reception

4 列控系统的长短进路处理方案

通过对列控系统中站内长短进路的双车停靠、多股道发车接车运营场景的分析, 站内长短进路的处理对列控系统的安全性及运营效率具有至关重要的影响。从站内长短进路的配置、站内长短进路状态、站内长短进路处理3个方面研究列控系统的长短进路处理方案。

4.1 站内长短进路配置

RBC作为列控系统地面核心设备, 需将管辖范围内的列控数据信息以配置数据的形式存储, 并输出RBC和CBI接口信息表。CBI根据接口信息表配置进路信息, 并实时动态给RBC发送站内进路状态。

列控数据作为RBC功能实现的底层支撑数据, 主要包含线路描述信息、进路信息、临时限速信息、灾害信息、接口描述信息以及设备信息等^[5]。RBC根据线路拓扑结构, 将线路基础设施应答器、信号机、计轴和道岔等, 划分为单个对象, 通过“点、线、面”的方式将线路信息存储在配置数据中。其

中RBC在描述站内进路时,通过进路始终端信号机及其属性将进路描述为不同类型供RBC核心逻辑运算。

RBC在存储长短进路相关信息时,根据轨道边界信号机“可穿越”属性,在生成列车进路时,只将具有该属性的信号机作为终端信号机,不可作为其他列车进路的始端信号机。

4.2 站内长短进路状态

在办理站内长短进路运营场景中,CBI是保证长短进路处理正确的重要环节^[6],RBC主要根据CBI发送的长短进路的进路状态计算MA,进而保证列车实际运行的MA不重叠。CBI发送的站内进路状态主要包含未激活、不可用、正常、正在使用和引导5种状态^[7]。

因此,CBI在办理长短进路时,应满足“长短进路状态互斥”的基本原则,确保长短进路不会同时办理,即CBI办理站内长进路后,不能再办理站内短进路,办理站内短进路后,不能再办理站内长进路。

4.3 站内长短进路处理

RBC根据列车位置结合CBI实时动态发送的进路编号和进路状态,将进路信息映射到RBC配置数据中,根据进路状态和进路静态信息将列车前方空闲进路信息以MA的形式发送给列车,控制列车在站内安全运营^[8]。

针对站内长短进路,RBC收到CBI发送的长短进路信息,向不同列车发送相应长短进路的行车许可。其中,在多车运营场景中,RBC在给列车分配MA时,需保证同一条进路不能同时分配给多辆列车使用。

5 长短进路处理方案效果分析

基于上述列控系统的长短进路处理方案,对双车停靠、多股道发车/接车运营场景进行效果分析。

5.1 双车停靠作业

在双车停靠作业运营场景下,如图5所示,CBI办理进路2接车进路(正常),RBC给列车2

分配MA至进路2终点,列车2进入B股道停稳后,CBI将进路2解锁。CBI可办理进路1的列车进路(正常)、引导进路(引导),RBC给列车1分配至进路1终点的列车许可、引导许可,控制列车1进入股道。在该运营场景中,有效地保证列车1和列车2的MA不重叠,保证系统的安全性。

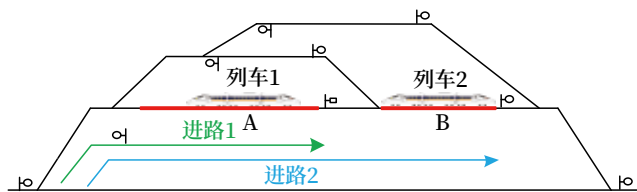


图5 长短进路处理方案后的双车停靠作业
Fig.5 Double parking operation based on the long-short route processing scheme

5.2 多股道发车/接车

在多股道发车/接车运营场景下,如图6所示,CBI办理发车进路3(正常),同时办理正常接车进路1(正常),RBC为列车2分配发车范围内的MA,同时为列车1分配至进路3终点的MA。待列车2运行出站后,CBI出清进路3,人工将列车1模式转为调车模式,继而由A股调车至B股。此后通过司机手动呼叫RBC或采用进站外方等级转换点进行等级转换的方式,实现RBC为列车提供MA,使列车在RBC的管辖范围内安全运行。在该运营场景中,通过短进路接车的方式有效避免了列车1和列车2冲撞的可能性,同时提高了系统的运营效率。

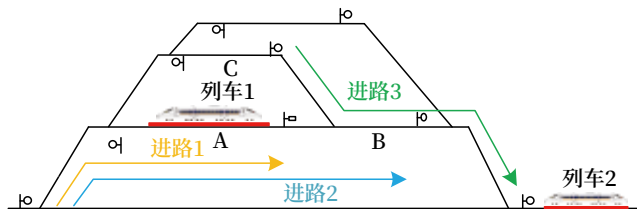


图6 长短进路处理方案后的多股道发车接车
Fig.6 Multi-track departure and reception based on the long-short route processing scheme

6 总结

站内长短进路的列控系统处理方案有效解决了既有站场大量存在的长短进路运营安全及效率问题,能够广泛应用于全球既有线的升级改造。该方案目

前已应用于“一带一路”跨境重点基础设施建设工程——匈塞铁路，有力保障了匈塞铁路长短进路作业场景的安全运营。同时，为国内高铁设备“走出去”和国内线路升级改造提供有效的解决方案，具有较高的应用价值。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家铁路局. “十四五”铁路科技创新规划 [J]. 铁道技术监督, 2022, 50(1): 9-15, 20.
National Railway Administration of the People's Republic of China. Railway Science and Technology Innovation Plan in the 14th Five-Year Plan[J]. Railway Quality Control, 2022, 50(1): 9-15, 20.

[2] 明先俊, 柏赞, 许奇. 中国高速铁路出口市场分析和建议 [C]. // 第十届中国交通高层论坛论文集. 2019: 82-87.

[3] 黄冰. 铁路既有站场改造施工技术 [J]. 科技创新导报, 2018, 15(6): 38-39.
Huang Bing. Reconstruction Construction Technology of Existing Railway Stations and Yards[J]. Science and Technology Innovation

Herald, 2018, 15(6): 38-39.

[4] 刘剑. 简述 CTCS-3 级列控系统及其工作原理 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2015 (3): 4561-4562.

[5] 莫志松, 郑升. 高速铁路列车运行控制技术: CTCS-3 级列车运行控制系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

[6] 麻江帆, 杨韬. RBC-CBI 接口优化研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(3): 10-14.
Ma Jiangfan, Yang Tao. Study on RBC-CBI Interface Optimization[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(3): 10-14.

[7] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-3 级列控系统无线闭塞中心 (RBC) 接口规范第 1 部分: RBC-CBI 接口: Q/CR 621.1-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

[8] 张晏辅. CTCS-3 级列控系统 RBC-CBI 交互信息研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2017.

[9] 宿秀元. 联挂解编进路处理逻辑研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 87-92.
Su Xiuyuan. Research on Processing Logic of Marshalling and Unmarshalling Routes[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 87-92.

国外信息

交通指令批准，将获得更明智的出行规划， 更好的紧急服务，以及更可持续的交通

欧盟委员会欢迎今天对修订后的智能交通系统指令 (ITS) 的最终批准。它将为多式联运旅行规划、导航平台和应急服务等服务提供高质量和及时的数据。

获得更好的数据将使跨运输模式的交通得到更有效的管理，使用户能够更好地结合最可持续的运输模式。它也是可持续和智能交通战略所针对的联网和自动化交通的必要推动者。

该法案由委员会于 2021 年 12 月提交，作为一项旨在提高运输效率和可持续性的欧洲绿色协议的一部分。

现在，该法案已得到欧洲议会和理事会的正式批准，新法案将在欧盟官方刊物公布 20 天后生效。然后，成员国将有 24 个月的时间将其纳入国家法律。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王锦编译自: <https://transport> 2023-10-24)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.11.007

应答器传输模块发射功率控制分析

王 莉, 余园园

(上海铁路通信有限公司, 上海 200436)

摘要: 车载应答器传输模块产生 27.095 MHz 的射频信号, 通过 CAU 传输能量以激活地面应答器。研究和分析应答器传输模块发射功率的开关、大小及模式控制实现电路, 可加深对 BTM 发送单元设计原理的理解, 并有利于定位单元测试时输出功率不足的故障点, 同时促进应答器传输模块的质量改进和性能优化。

关键词: 应答器传输模块; 功率控制; 列车自动防护; 发射功率

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0039-05

Analysis of Transmit Power Control of Balise Transmission Module

Wang Li, Yu Yuanyuan

(Shanghai Railway Communication Co., Ltd., Shanghai 200436, China)

Abstract: The onboard balise transmission module generates a 27.095 MHz RF carrier wave and transmits it through CAU to the trackside balise. The study and analysis of the control implementation circuit of RF power switch, value and mode of the balise transmission module can deepen the understanding of the design principle of BTM transmission unit and help locate the fault point of insufficient output power, and promote the quality improvement and performance optimization of the balise transmission module.

Keywords: BTM; power control; ATP; transmitting power

1 概述

车载应答器传输模块 (Balise Transmission Module, BTM) 是车载列车自动防护 (Automatic Train Protection, ATP) 系统的关键设备之一, 与应答器传输天线 (Compact Antenna Unit, CAU)、地面应答器组成一个传输系统, 实现地面设备与车载

设备之间的安全信息传输。列车运行过程中, 应答器传输模块产生 27.095 MHz 射频信号, 通过 CAU 发射, 用于激活列车经过的地面应答器。当应答器被激活后, 存储在内部的报文信息被调制生成幅移键控 (Amplitude Shift Keying, ASK) 或频移键控 (Frequency Shift Keying, FSK) 信号, 并通过自身的天线发射。CAU 接收应答器报文信号, 并将其传递给 BTM, BTM 将报文和定位信息通过多功能车辆总线 (Multifunctional Vehicle Bus, MVB) 上传至车载 ATP 主机进行列车自动控制保护。应答器传输系统如图 1 所示。整个应答器传输

收稿日期: 2022-08-09; 修回日期: 2023-08-30

基金项目: 上海铁路通信有限公司科研项目 (2900-K1220015)

第一作者: 王莉 (1987—), 女, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号与控制, 邮箱: wangli9@crsc.cn。

可以输出 2 路监测信号。低通滤波器对 27.095 MHz 的 2 次谐波和 3 次谐波进行大幅度衰减。

CAU 端通过天线监测板监测发送的实际功率值，并通过 D 电缆将其返回至发送单元的输出功率大小控制电路。

3 发射功率开关控制

发送单元功率输出由 CPU 控制信号、温度检测信号和参考功率组合控制。温度检测信号 $TEMP_SD$ 来自发送板上温度传感器，参考功率 $PREF_OUT$ 来自发送单元模式选择输出。功率开关控制电路如图 3 所示。

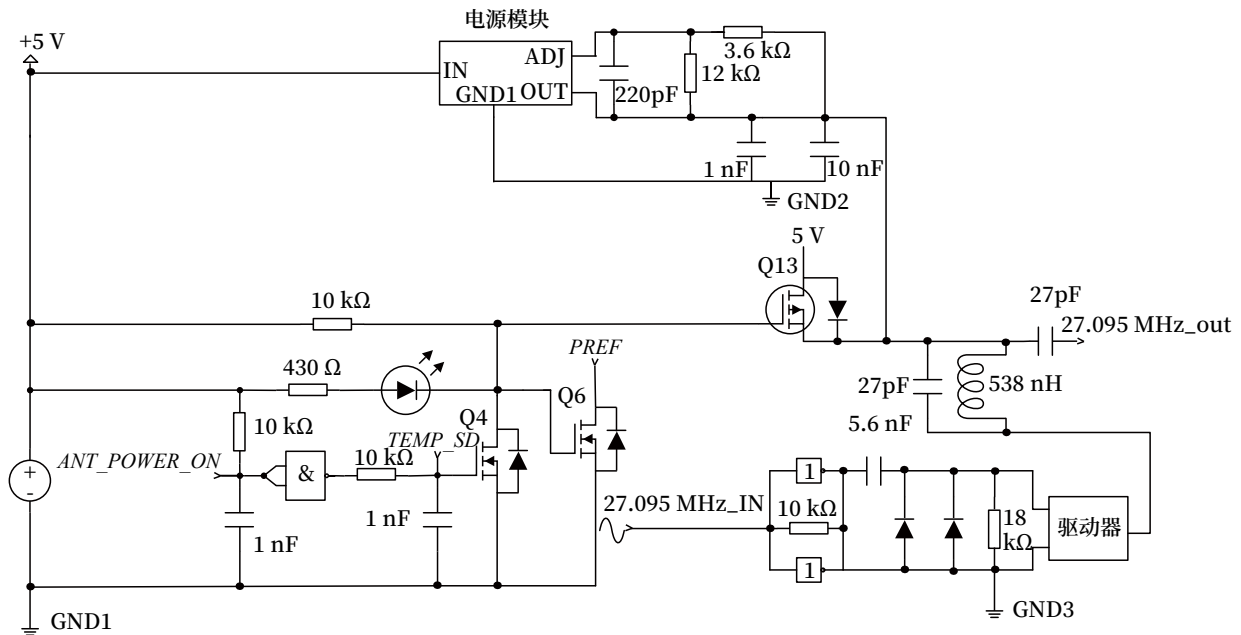


图3 功率开关控制电路
Fig.3 Power switch control circuit diagram

下时，解除 OS 报警输出高电平 ($TEMP_SD = 1$)，Q4 栅极电位约为 5 V，Q4 导通，漏极电位被拉低。Q6 栅极电位为低，Q6 不导通，不影响 $PREF$ 值正常输出，27.095 MHz_out 信号输入至后级放大电路、监测电路（环行器、耦合器），经低通滤波输出至 CAU。

3.2 CPU控制

CPU 将 ANT_POWER_ON 信号置高时，信号通过与非门变为低电平，Q4 栅极电位被拉低，控制方式与 $TEMP_SD = 0$ 时一致，无功率输出。

3.1 温度检测

发送单元上温度传感器 LM75 输出信号 $TEMP_SD$ 控制驱动电路的开关。

CPU 通过 I²C 总线给温度传感器 LM75 写入温度门限值 T_{OS} 、 T_{HYST} 。当发送单元温度上升超出门限 T_{OS} 时，触发 OS 报警后输出低电平 ($TEMP_SD = 0$)。Q4 栅极电位被拉低，Q4 不导通。Q4 的漏极经上拉电阻与 5 V 电源连接，并与 Q13、Q6 的栅极连接。因为 NMOS 管 Q6 源极接地，Q6 导通，漏极 $PREF$ 电位被拉低，所以 27.095 MHz_out 后级功率放大器 BLF177 的栅极电位被拉低，无功率输出。当发送单元温度下降到门限值 T_{HYST} 以

CPU 将 ANT_POWER_ON 信号置低时，信号通过与非门变为高电平，Q4 栅极电位约为 5 V，控制方式与 $TEMP_SD = 1$ 时一致，27.095 MHz_out 信号输入至后级放大电路、环行器、耦合器，并经过通滤波输出至 CAU。

3.3 参考功率

当 ANT_POWER_ON 、 $TEMP_SD$ 控制参考功率 $PREF$ 有输出时， $PREF$ 控制射频功率输出；当信号 ANT_POWER_ON 、信号 $TEMP_SD$ 控制参考功率 $PREF$ 无输出时， $PREF$ 将功放管栅极拉低，切断驱

动电路功率开关，防止前级电路振荡谐波经功放管放大后输出。

3.4 发射功率大小控制

由 BTM CPU 单元通过 I²C 总线设定输出功率量 *PSET*、输出功率限值 *P_LIMIT*，主要通过对比

自 CAU 端的感应功率 *POWER_SENSE* 与 *PSET*、*P_LIMIT* 与耦合器测量的正向功率 *PFWD_DIR* 两组值的比较来实现输出功率大小控制。输出功率调整和控制电路如图 4 所示。

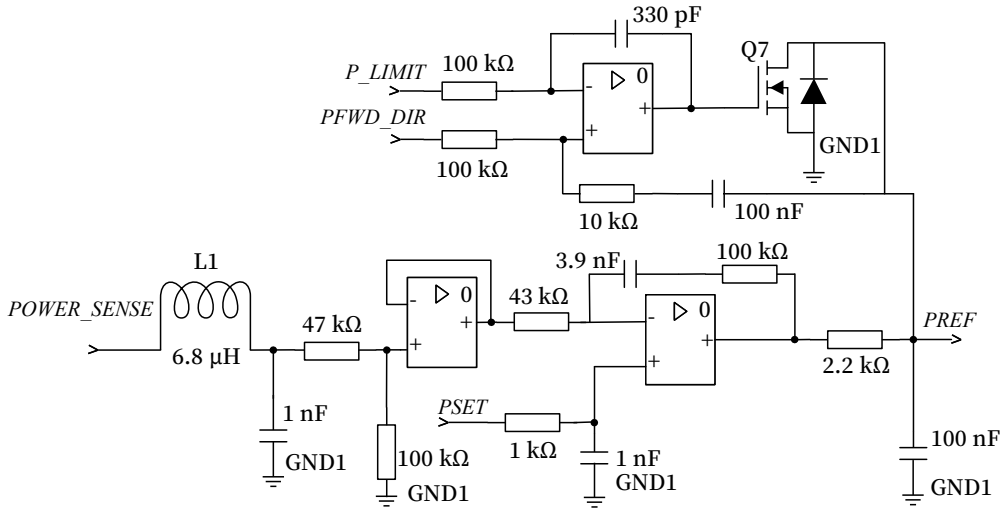


图4 输出功率调整和控制电路
Fig.4 Output power adjustment and control circuit

POWER_SENSE 与 PSET 比较：*POWER_SENSE* 是从 CAU 端采集的 27.095 MHz 能量载波的信号的强度。若 *POWER_SENSE* 值（经过衰减后的）比 *PSET* 值小，会通过运放的输出来调整 *PREF* 值以调节功率放大器 BLF177 栅源极电压，控制输出功率，从而保证功率输出达到 CPU 的设定值。

P_LIMIT 与 PFWD_DIR 比较：*PFWD_DIR* 是定向耦合器采集到的发送单元正向功率值，若 *PFWD_DIR* 大于 *P_LIMIT*，即发送单元输出功率超过功率输出上限值，则通过 Q7 将强制置 *PREF* 值为 *P_LIMIT* 的值。从而保证功率输出不超出 CPU 所设定的输出功率上限值。

通过以上两组值的比较，既可保证功率输出的准确性，又可保证功率输出在可控范围内。

在 *P_LIMIT* 值固定的情况下，通过增大 CPU 设定的 *PSET* 值，能够增大发送单元的功率输出，直到输出功率达到 *P_LIMIT* 值，并将其一直保持在限定的功率范围内。反之，通过 CPU 减小 *PSET* 值、*P_LIMIT* 值，可以降低发送器的输出功率。

4 功率模式控制

发送单元通过 CPU 控制信号 *MODSELECT0* 和 *MODSELECT1*，可选择 4 种功率输出模式。

- 1) 连续输出 27.095 MHz 信号器，即连续波 (Continuous Wave, CW) 模式，是国内常用模式；
- 2) 50 kHz (固定占空比) 脉冲信号振幅调制 27.095 MHz 的载波模式，即 50 kHz 模式，为使应答器的上行数据与应答器激活信号同步；
- 3) 50 kHz (两种占空比) 脉冲信号振幅调制 27.095 MHz 的载波模式，即切换模式；
- 4) 下行模式。

在调制模式选择电路中，通过模拟开关来选择 (*PREF* 或 *Modeset0* 或 *Modeset1*) 控制 BLF177 栅极电压幅值，从而控制输出能量载波的调制模式和大小。其中 *Modset0* 和 *Modset1* 是由 CPU 单元直接设定的调制深度，*PREF* 由图 4 输出。调制模式和对应的 BLF177 栅极输入电压幅值如表 1 所示。

表1 调制模式和PREF输出电压值

Tab.1 Modulation mode and PREF output voltage value

MODSELECT1	MODSELECT0	调制模式	波谷幅值	波峰幅值	备注
1	0	50 kHz	Modset1	PREF	占空比为 87.5% 的 50 kHz 方波调制 27.095 MHz 射频信号 (只在测试时使用)
1	0	CW	PREF	PREF	27.095 MHz 连续波信号
0	1	切换	Modset1	PREF	同时存在两种占空比的 50 kHz 方波调制 27.095 MHz 射频信号 (占空比由接收单元设定, 只在测试时使用)
1	1	下行	Modset0	PREF	以 DOWNLINK DATA 频率和占空比有关的交流信号 (只在测试时使用)

5 总结

BTM 发送单元测试通过率低, 且不通过的种类和原因复杂, 往往会影响产品的交付率, 通过对 BTM 发送单元发射功率控制进行分析, 对 BTM 发送故障分析具有重要的指导意义, 同时可促进 BTM 2000 的质量改进和性能优化。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家铁路局. 应答器传输系统技术条件: TB/T 3485-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[2] 中国国家铁路集团有限公司. 应答器传输系统技术规范: Q/CR 716-2019[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

[3] UNISIG. 2.4.1 ERTMS/ETCS-Class 1 FFFIS for Eurobalise: SUBSET-036[S]. UNISIG, 2007.

[4] 度兴兵. CTCS3-300T 列控车载 BTM 故障分析[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(11): 26-29.

Tuo Xingbing. Fault Analysis of On-Board Balise

Transmission Module in CTCS3-300T[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(11): 26-29.

[5] 刘迪. BTM 智能检测系统设计思路 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(2): 11-14.

Liu Di. Design Concept of BTM Intelligent Detection System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 11-14.

[6] 吕岩琪. CTCS3-300T 列控车载应答器传输系统故障分析及处理建议 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 99-103.

Lü Yanqi. Fault Analysis and Suggestions on Fault Handling of Onboard Balise Transmission System of CTCS3-300T Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 99-103.

[7] 铃木雅臣, 周南生. 晶体管电路设计 (上) [M]. 周南生, 译. 北京: 科学出版社, 2004.

[8] 铃木雅臣, 周南生. 晶体管电路设计 (下) [M]. 彭军, 译. 北京: 科学出版社, 2004.

(上接 13页)

[11] Mariscotti A, Pozzobon P. Resistance and Internal Inductance of Traction Rails at Power Frequency: a Survey[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004, 53(4): 1069-1075.

[12] Lucca G. Railway Track Transmission Line Model: Calculation of Rail Conductance by Means of Boundary Element Method[J]. IET Science, Measurement & Technology, 2017, 11(8): 976-982.

重载铁路运输大数据分析平台架构设计研究

宋宗莹¹, 王文斌¹, 刘子扬², 周 瑾², 刘永壮²

(1. 中国神华能源股份有限公司, 北京 100011;

2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 为解决重载铁路运输组织中积累的大量业务数据在分析能力、应用深度和数据创新方面不足的问题, 推进大数据技术在重载铁路运输领域的应用, 提出重载铁路运输大数据分析平台设计方案。在分析重载铁路特点的基础上, 提出基于 Hadoop 和 MPP 混合架构的重载铁路运输大数据分析平台框架结构, 设计大数据平台的应用架构与技术架构, 并介绍平台的关键技术与业务应用。目前已经开展了基于该设计方案的重载铁路大数据分析平台的搭建和运行。

关键词: 重载铁路; 大数据; 混合架构; 领域建模

中图分类号: U283

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0044-06

Design and Research on Architecture of Big Data Analytics Platform in Heavy-haul Railway Transportation

Song Zongying¹, Wang Wenbin¹, Liu Ziyang², Zhou Jin², Liu Yongzhuang²

(1. China Shenhua Energy Co., Ltd., Beijing 100011, China)

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

Abstract: In order to solve the problem of insufficient analytical capabilities, application depth, and data innovation arising from the large amount of business data accumulated in the organization of heavy-haul railway transportation, and promote the application of big data technology in the field of heavy haul railway transportation, this paper proposes a design solution for a big data analytics platform in the field of heavy-haul railway transportation. Based on an analysis of the characteristics of heavy-haul railways, a framework for the platform is presented, which utilizes a hybrid architecture combining Hadoop and MPP (Massively Parallel Processing). The study also designs the application and technical architecture of the big data platform, and discusses the key technologies and business applications of the platform. Currently, the construction and operation of the heavy-haul railway big data analytics platform based on this design solution have been implemented

Keywords: heavy-haul railway; big data; hybrid architecture; domain modeling

收稿日期: 2023-06-26; 修回日期: 2023-11-09

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: 宋宗莹 (1982—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要研究方向: 铁路运输管理, 邮箱: 10000372@chnenergy.com.cn.

1 概述

重载铁路运输在铁路运输中拥有独有的技术和经济优势，因此在货运发达国家和地区的货物运输中占据重要地位，节能、高效成为其主要发展方向^[1]。参考发达国家重载铁路相关技术发展情况，这些国家通过研制大轴重和轻量化的车辆技术、大功率交流传动机车技术、长大编组重载列车及其配套技术、多联车组技术等来提高重载列车的运输效率，保障列车运行安全。

调度信息系统在重载铁路运输生产组织工作中积累了大量一线生产数据和各类统计信息，随着调度信息系统日益深入调度指挥各个环节，用户对海量数据综合分析、深度挖掘和提炼加工的需求越来越迫切，通过数据驱动业务、挖掘知识和辅助决策已经成为调度系统演进的必由之路。大数据技术可以帮助企业或组织快速获取、整合和分析海量数据，从而更好地洞察市场变化、消费需求、行业趋势等信息，支持企业制定决策，促进精细化管理^[2-3]。为一线运输生产服务的调度信息系统所积累的数据除了具备传统大数据的特征外，还具有业务覆盖全、时空分布广、更新速度快、数据关联强、业务价值高等自身行业特点，具备进一步开展大数据研究的基础。

2 重载铁路特点

重载铁路不同于普通铁路，在承载能力、结构设计、装卸设备、线路规划及安全性等方面存在巨大区别，体现在运输组织上，重载铁路运输业务具有如下特点^[4]。

1) 运输方式：重载铁路主要用于运输重量大、体积大的货物，通常采用整列货运的方式。普通铁路则更多用于人员和小批量货物的运输，可以采用零散货物运输的方式。

2) 运输时间：重载铁路的货物运输时间较长，一般需要较长的交通时间和物流时间。而普通铁路则通常用于货物和人员的短途运输，可以快速到达

目的地。

3) 运输场站和设备：重载铁路需要建设更多的运输场站和装卸设备，以应对大规模货物的装卸需求。普通铁路则更多用于城市内部的通勤和短途运输，需要建设的设施和装备相对较少。

4) 运输成本：由于重载铁路使用的是整列货运的方式，需要更多的人力和运输设备，因此其运输成本更高。而普通铁路则因为交通时间较短、运输规模较小，其运输成本相对较低。

3 重载铁路运输大数据平台设计

调度信息系统自正式上线以来，已经累积产生约 900 GB 的数据，并以每月平均 80 GB 的数据量继续快速增长。由于重载铁路与普通铁路存在差异，导致其数据具有体量巨大、分布广泛、结构复杂、数据处理和分析需求多样化以及对数据分析和预测精度要求高的特点^[5]，针对上述特点，需要在设计和规划重载铁路运输大数据平台（以下简称平台）过程中进行有针对性的优化和改进。

3.1 总体架构

本文设计的重载铁路运输大数据分析平台是在既有铁路调度信息系统基础上专门针对数据分布式存储、计算、分析与可视化的需求进行功能的提升和扩展，属于铁路调度系统功能增强的一部分，其业务服务前后台软件基于既有调度信息系统的基础设施和体系架构进行开发，前端页面通过端口调用方式集成在调度信息系统的主页面框架中。平台总体系统架构如图 1 所示。

平台沿用既有调度信息系统的整体服务架构，采用基于前后分离技术的 B/S 架构进行开发，在调度信息系统的应用服务域内部署大数据服务程序，并通过嵌入方式将大数据可视化平台的页面集成到调度信息系统前端大数据业务页面中。平台服务程序沿用既有调度信息系统的基础组件，采用与调度信息系统相同的认证授权、用户操作记录、工具类等跨服务应用公共组件，保证跨服务接口调用的一致性，实现与调度信息系统服务的融合。

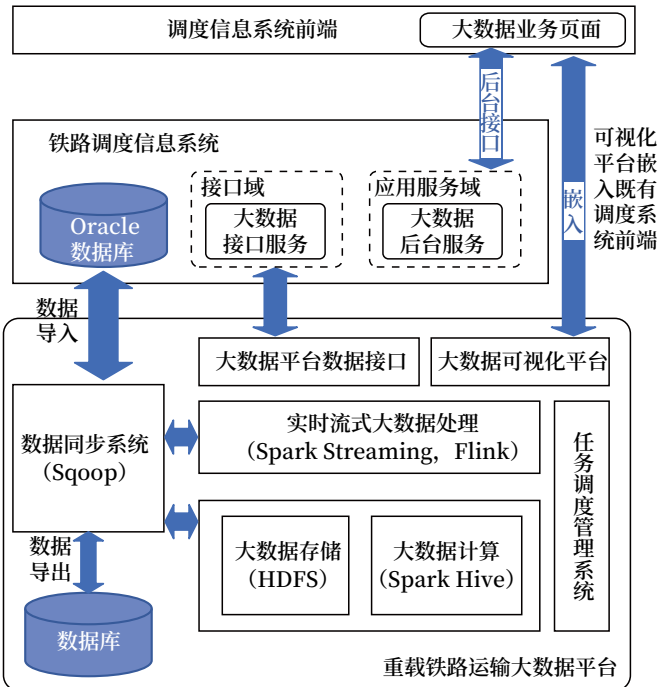


图1 重载铁路运输大数据分析平台总体系统架构示意图
Fig.1 Schematic diagram of the overall system architecture of the heavy-haul railway big data analytics platform

为了承载平台并提高平台资源的配置灵活性，平台引入硬件虚拟化层并采用分层设计，从底层硬件向上分为3层设计，如图2所示。

1) 硬件层：主要包括服务器设备和网络基础设施，需要在信息机房进行安装和调试，为虚拟化层

提供基础硬件。

2) 虚拟化层：主要包括虚拟化集群，为大数据集群层提供虚拟机节点和虚拟化网络能力。

3) 大数据集群：根据规划建立管理节点和工作节点虚拟机，并在虚拟机上配置大数据软件栈，为数据应用层提供大数据处理能力。

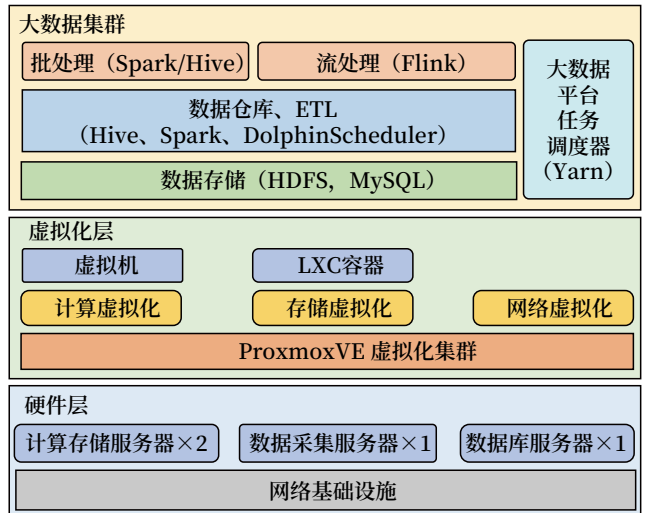


图2 重载铁路运输大数据平台3层架构示意图
Fig.2 Schematic diagram of the three-layer architecture of the heavy-haul railway big data analytics platform

3.2 应用架构

平台应用架构如图3所示。

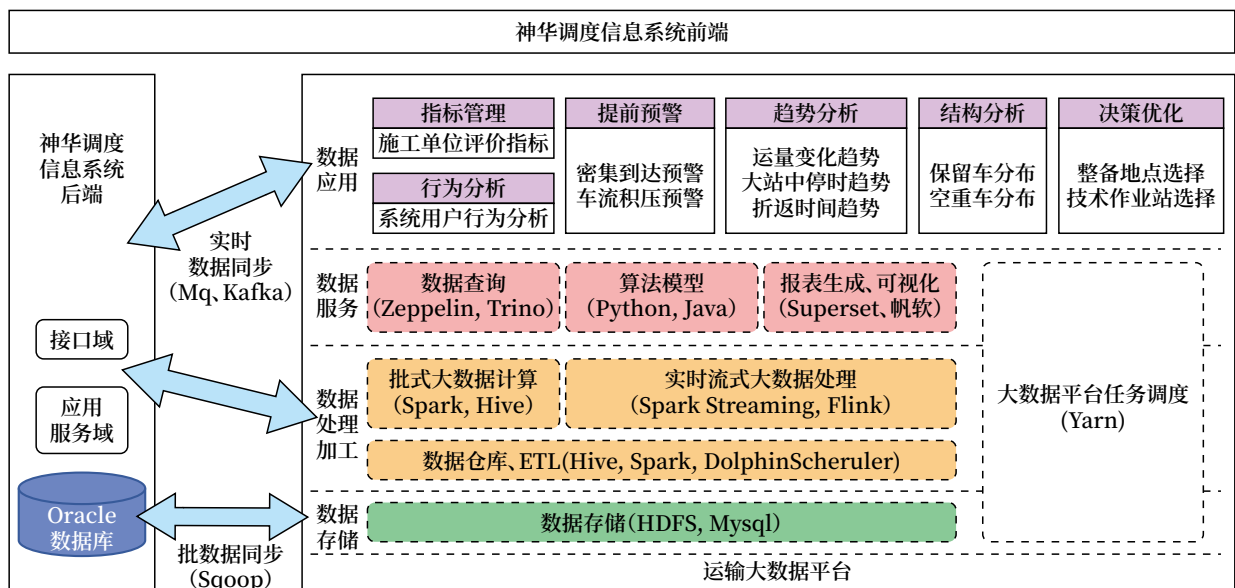


图3 重载铁路运输大数据平台应用架构
Fig.3 Application architecture diagram of the heavy-haul railway big data analytics platform

1) 数据源

调度信息系统生产与日志数据作为大数据处理和分析的主要数据来源, 根据实际功能需求以批式或流式同步到大数据平台的存储层。

2) 数据存储层

从数据源可使用 Sqoop 批式地将关系型数据库存储的数据抽取并落入 HDFS 集群中, 部分数据需要一次性全量抽取 (如字典表), 部分数据需要周期性地增量抽取 (业务数据表)。实时数据同步主要通过 mq 消息和 kafka 任务将生产系统中的实时数据流落入 HDFS 集群中。大数据平台存储层主要通过分布式技术实现大数据的存储和多副本备份, 以支持后续进行大数据分析和建模。

3) 数据处理加工层

基于数仓工具 Hive、大数据计算框架 Spark 完成各模块各类信息的筛选、分类、去重、过滤、格式转换、数据解析等处理和计算过程。源数据通过处理加工, 形成规范的数据仓库, 保障各模块数据一致性, 同时提高数据分析和建模任务的效率。因为铁路运输运营流程多、逻辑复杂, 数据的加工和处理结合了分布式任务调度系统工具 Dolphin Scheduler, 用于解决数据处理流程中错综复杂的依赖关系, 可以管理任务处理流中各环节数据处理任务的完成情况, 触发下游子任务开始执行, 并负责当某个任务执行失败后进行重新执行。

4) 数据服务层

平台集成了基于网页的交互式数据分析工具 Zeppelin、可进行高速和实时数据查询的工具 Trino、可视化工具 Superset 和帆软, 同时安装了 Python 与 Java 的开发环境。通过 Zeppelin 的 web 界面可使用 SQL、Python、Scala 等多种语言对数据进行实时查询、联机分析处理、可视化了解数据趋势。

5) 数据应用层

基于大数据平台架构和基础能力, 实现各模块的数据分析与应用功能。本系统主要包含 5 类数据

功能应用: 指标管理、行为分析、提前预警、趋势分析、结构分析和决策优化。基于多个业务主题的数据, 通过分析、挖掘、可视化和算法应用, 深入了解重点业务环节关键指标随时间的变化规律和随空间区域的分布特点, 实现针对不同业务领域的数据建模。数据应用层的结果借助 Superset 和帆软形成的统计报表、数据分析看板和可视化大屏, 集成在调度信息系统的前端, 与调度信息系统作为一个产品展示给用户。

3.3 技术架构

随着信息基础设施完善和互联网服务跨越式发展, 信息系统数据经历了爆发式增长, 传统数据库技术已经无法满足海量数据处理需求, 大数据技术开辟出新的技术路径, 逐步形成两个主要的技术架构流派。

1) 基于 Hadoop 并行计算框架的分布式架构^[6]

Hadoop 是一个开源的分布式计算平台, 可以处理大规模数据集。由于其高效、可扩展、容错性强等特点, Hadoop 已成为大数据处理的重要工具之一。

2) 由数仓技术发展而来的大规模并行处理 (Massively Parallel Processing, MPP) 架构^[7]

MPP 采用分布式架构, 将数据或任务均匀分配到计算集群的多个节点上进行处理, 最终将结果合并返回。

基于 Hadoop 和 MPP 的特性, 二者是互为补充的关系^[8], 重载铁路运输大数据分析平台可以采用 MPP 和 Hadoop 混合架构来实现更高效的数据处理和分析。通过对平台异构数据源深入分析, 可以充分利用 Hadoop 和 MPP 框架二者优势, 通过利用 MapReduce 从 Hadoop 平台处理大量原始数据, 并将加工后的数据直接存储入数据仓库中, 避免重复进行复杂缓慢的 ETL 过程, 数据分析和建模可以直接加载数据仓库数据, 提高数据处理和分析的速度和效率。基于 Hadoop 和 MPP 混合架构的重载铁路运输大数据分析平台技术架构如图 4 所示。

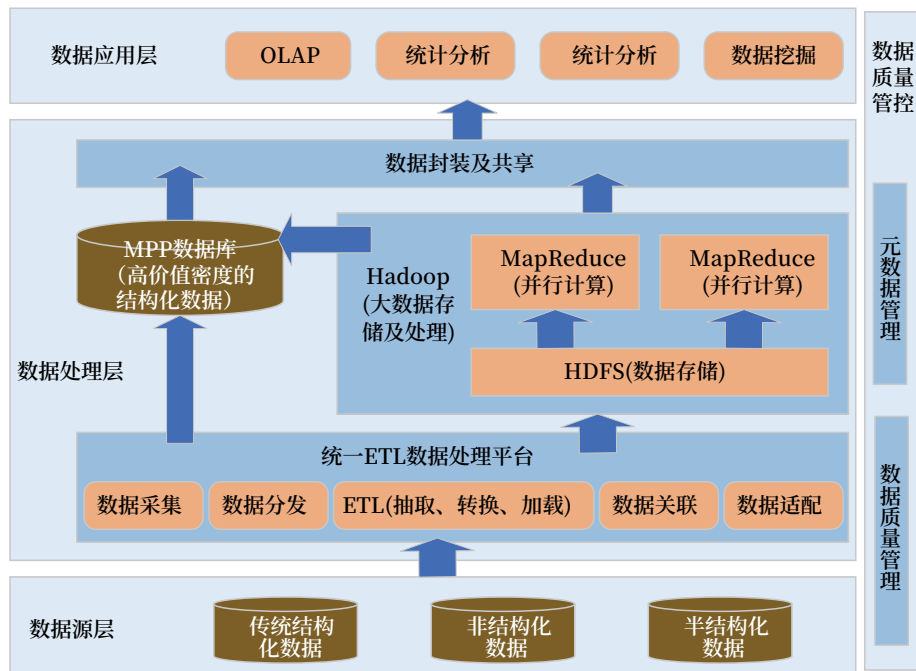


图4 基于Hadoop和MPP混合架构的重载铁路运输大数据平台技术架构

Fig.4 Technical architecture diagram of the heavy-haul railway big data analytics platform based on Hadoop and MPP hybrid architecture

4 平台关键技术

为了提高大数据处理速度，解决大数据平台数据不均衡的问题以及更好地展示加工处理后的结果，重载铁路运输大数据分析平台关键技术包括以下几个方面。

1) 基于混合架构的分布式大数据分析平台设计

在这种混合架构中，数据可以基于 MPP 技术存储和处理，同时还可以使用 Hadoop 基于 MapReduce 的计算模型进行数据分析。MPP 用于快速响应与数据仓库的查询请求，而 Hadoop 则用于离线批量处理和高级分析。平台选用的 MPP 组件 Trino 是一个基于内存的 MPP 计算引擎，通过并行计算结合内存计算的方式，可以大大提高计算速度，并通过剪枝、谓词下推等优化，达到大数据量计算任务的秒级响应。同时通过利用 Trino 就地分析技术，可以不需要复制数据直接在 Hadoop、Hive、MySql 等异构数据源上进行分析 and 联合查询，大大提升了平台的多数据场景下混合处理能力。

2) 高性能数据查询技术

在重载铁路大数据分析的场景中，多维分析一

般都会带有过滤条件。对于这种类型的查询，尤其是在高基数字段上的过滤查询，可以在读取数据的时候跳过所有不相关的数据，只读取极少部分需要的数据，通过查询引擎和存储紧密结合，把过滤条件下推至存储访问层。为了有效提升数据查询性能，平台主要从两个方面进行优化：一是通过数据组织分布、索引等技术支持更高效的 data skipping，避免访问不必要的数据；另一方面，通过物化视图 / Cube 等与计算技术，提前计算好结果，直接相应查询。

3) 数据稀疏情况下的分析与建模技术

大数据平台在分析重载铁路指标的部分场景下会面临数据不均衡、数据稀疏的问题，对此在算法开发过程中，通过数据增强、使用弱标记或无标记样本、生成模型来增多训练样本，或者使用多任务学习、嵌入学习等方式借用其他相似任务中的知识来缩小模型的搜索空间，解决低频业务造成的数据稀疏问题。

4) 业务数据可视化技术

基于大数据平台，融合数据 BI 技术与铁路货运业务逻辑，将数据进行有效提取、智能分析并进行

可视化呈现,起到切实反应业务运营情况、支持业务决策和改进的作用。通过提供常用模板并支持各种自定义主题、样式和页面布局,基于前端组件化封装的设计思路,支持用户个性化调整页面布局并切换数据可视化样式。

5 结束语

基于本文提出的重载铁路运输大数据分析平台设计方案,已经在国家能源投资集团有限责任公司开展了大数据分析平台软硬件搭建,经过联调和配置,已打通和调度信息系统的数据通道并在Superset平台上发布了机车模块业务看板、货运模块业务看板和车站业务模块看板功能,后续将进一步实现列车模块业务看板、施工模块业务看板等更多功能。随着更多功能的完善,会开放给更多部门和岗位的用户进行试用,推进大数据技术在重载铁路货运领域的深入应用。

参考文献

- [1] 朱雨,石利刚,王健慧.面向智慧化的重载铁路发展研究[J].交通科技与经济,2021,23(4):59-64.
Zhu Yu, Shi Ligang, Wang Jianhui. Research on the Development of Intelligent Heavy-Haul Railway[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2021, 23(4): 59-64.
- [2] 宋大治,王健,徐钟全,等.城市轨道交通大数据技术应用研究[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(2):70-75.
Song Dazhi, Wang Jian, Xu Zhongquan, et al. Application of Big Data Technology in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 1-6.
- [3] 邹丹,马小宁,王喆.铁路大数据平台架构研究[J].铁路计算机应用,2019,28(8):1-4.
Zou Dan, Ma Xiaoning, Wang Zhe. Research and Design of Railway Big Data Platform Architecture[J]. Railway Computer Application, 2019, 28(8): 1-4.
- [4] 王宏嘉,王晶,李瑞辰,等.重载铁路港口站大数据应用研究[J].能源科技,2023,21(1):76-80.
Wang Hongjia, Wang Jing, Li Ruichen, et al. Research on Big Data Application in Heavy-Haul Railway Port Stations[J]. Energy Science and Technology, 2023, 21(1): 76-80.
- [5] 喻冰春.铁路货车大数据平台总体设计研究[J].铁路计算机应用,2019,28(9):45-48.
Yu Bingchun. Overall Design of Big Data Platform for Railway Freight Cars[J]. Railway Computer Application, 2019, 28(9): 45-48.
- [6] 朱嘉斌.基于Hadoop+MPP架构的城市轨道交通大数据中心建设方案[J].城市轨道交通研究,2022,25(5):54-57.
Zhu Jiabin. Construction Scheme of Urban Rail Transit Big Data Center Based on Hadoop+MPP Architecture[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(5): 54-57.
- [7] 巫东来,汤仕磊.大数据及海量数据处理架构:Hadoop vs MPP[J].软件导刊,2020,19(10):218-222.
Wu Donglai, Tang Shilei. Big Data and Massive Data Processing Architecture:Hadoop Vs MPP[J]. Software Guide, 2020, 19(10): 218-222.
- [8] 吴丽杰,窦维江,李瑾,等.大数据平台安全组件构建研究[J].电脑知识与技术,2023,19(9):72-75.
Wu Lijie, Dou Weijiang, Li Jin, et al. Research on Security Component Construction of Big Data Platform[J]. Computer Knowledge and Technology, 2023, 19(9): 72-75.

铁路5G-R基站绿色化运行分析

张羽白^{1, 2}, 孙启民^{1, 2}, 张 驰^{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: 为积极响应国家双碳政策, 促进铁路无线通信系统可持续发展, 结合公网 5G 基站绿色发展概况和铁路无线通信业务应用特点, 针对铁路 5G-R 绿色化运行策略进行分析。从基站节能控制、基站新能源技术, 以及基站机房空调智能管控技术、新风节能技术融合应用 3 个方面对铁路 5G-R 绿色化运行进行分析, 提出铁路 5G-R 基站绿色化运行在上述 3 方面的主要研究内容, 对铁路 5G-R 基站的绿色化运行研究有一定借鉴和指导意义。

关键词: 5G-R; 绿色运行; 新能源; 智能管控

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0050-04

Analysis of Green Operation of Railway 5G-R Base Station

Zhang Yubai^{1, 2}, Sun Qimin^{1, 2}, Zhang Chi^{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: In order to actively respond to the national dual carbon policy and promote the sustainable development of railway wireless communication system, this paper analyzes the green operation strategy of railway 5G-R based on the green development of 5G base stations in the public network and the application characteristics of railway wireless communication services. The green operation of railway 5G-R is analyzed mainly from three aspects: base station energy-saving control, base station new energy technology, and integrated application of intelligent air conditioning control technology and fresh air energy saving technology in base station machine room, and the main research contents are proposed. It is hoped that it will have certain reference and guiding significance for the research on green operation of railway 5G-R base stations.

Keywords: 5G-R; green operation; new energy; intelligent control

1 公网5G绿色发展概况

随着全球 5G 通信系统的快速发展, 如何保证 5G 网络能耗适时可控是 5G 可持续发展的关键。3GPP R18 希望通过标准定义的节能模式, 帮助运

收稿日期: 2023-02-17; 修回日期: 2023-10-30

第一作者: 张羽白 (1988—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路无线通信, 邮箱: Zyubai@crscd.com.cn.

营商实现全网统一的节能策略部署。下一代移动网络联盟也表示 2022 年制定全球绿色网络行业标准，利用标准化的 5G 优势推动全球绿色 5G 可持续发展。

2019 年中国联通发布《5G 智能节能技术白皮书》、2020 年中国移动发布《5G 基站节能技术白皮书》，均以 5G 基站节能需求为目标，从设备级、站点级、网络级 3 个层面进行节能分析研究，提出相应的技术需求和应用场景建议。公网运营商 5G 基站节能技术的总体目标为降低基站功耗，通过基站与配套设备的降耗、绿色新能源的试点推广应用及机房的整体温控策略，实现更加绿色、高效、可持续发展的 5G 网络，满足 5G 发展及网络运营要求。

国内通信设备厂家也针对 5G 节能措施及可持续发展进行了相关研究。2020 年中兴通讯股份有限公司发布《Power Pilot 4G/5G 网络节能降耗技术白皮书》，着重分析在 5G 网络与存量的 2G/3G/4G 网络并存的情况下 5G 网络节能措施，重点研究了话务负荷和网络容量之间的匹配方案，提出网络能耗和网络性能之间的匹配措施。2021 年华为发布《绿色 5G 白皮书》，提出建立绿色能效评估体系推动绿色 5G 网络发展的策略，分析影响网络能效的关键因素，从天线、设备以及分析硬件功耗与负载之间的曲线关系等措施实现绿色 5G 的可持续发展。

2 铁路专用移动通信系统绿色化运行发展分析

目前铁路专用移动通信主要为 GSM-R 系统，已广泛覆盖全国高速铁路、重载铁路、高原铁路、其他新建铁路及部分普速铁路，GSM-R 基站机房内主要耗电设备及碳排放因素包括以下几方面。

1) 基站设备自身耗电。

2) 机房配套设施耗电，包括空调、开关电源及其他配套设备，其中以空调的耗电量最大。由于传统机房内的温控措施主要依赖空调，没有新风系统以及其他制冷措施，且空调没有智能管控手段，导致空调一直处于满负荷工作状态。

3) 外部供电主要依赖传统方式，新能源供电占

比低。

中国国家铁路集团有限公司当前正在开展 5G 专用移动通信系统 (5G-R) 的技术研究工作。未来将逐步开展铁路 5G-R 的规模建设，由于无线频率等因素，铁路 5G-R 系统相比于 GSM-R，将出现更小基站间距、更大基站数量、更高站点能耗以及更高的运营维护成本，研究切实可行的铁路 5G-R 基站绿色化运行方案既是国家双碳政策的需要，也是推进铁路通信系统绿色可持续发展的需要。

推进铁路 5G-R 基站绿色化运行应秉承保证铁路通信业务不受影响的情况下同时符合产业政策、可持续发展的原则。铁路通信业务为铁路行车指挥提供通信保障，具有同一线路不同小区话务量差异大，不同线路不同覆盖区域话务量差异大，室内场景话务量闲时长于室外场景，大型车站、办公楼话务量潮汐效应明显等特征。考虑到铁路线路的特殊性、业务多样性以及运行维护特点，推进铁路 5G-R 基站绿色化运行可在借鉴公网绿色化发展策略的基础上结合铁路业务特性进行分析，重点从基站节能控制、新能源技术在基站领域应用以及基站机房空调智能管控、新风节能技术融合应用等方面进行研究。

2.1 基站节能控制技术

针对基站节能控制策略应在满足铁路应用业务服务质量指标要求的前提下，分析 5G-R 基站业务量与功耗之间的关系，梳理 5G-R 业务需求建立 5G-R 基站业务负荷预测模型，从设备级、站点级和网络级 3 个层面进行基站节能策略研究。

2.1.1 设备级节能控制

5G-R 基站设备能耗中占比较大的器件主要有功率放大器、数字中频模块、小信号模块和基带板，在满载情况下，这部分器件的功耗可以占到基站设备整体功耗的 90% 左右，设备级节能技术的研究主要聚焦于对以上部件的改进，如更高制程的芯片工艺，采用高集成度 ASIC 芯片代替 FPGA 芯片，用小型化氮化镓 (GaN) 功率放大器代替 LDMOS 功率放大器等。

2.1.2 站点级节能控制

通过基站能耗分析并结合业务负荷预测模型进行软件节能控制，从而实现站点级的节能目标。主要措施包括符号关断、通道关断、载波关断、功放调压和深度休眠等。依据《铁路 5G 专网业务和功能需求暂行规范》和《铁路 5G 专用移动通信（5G-R）系统总体技术暂行要求》，梳理 5G-R 基站部署的典型场景，包括铁路区间场景、大型车站场景、大型货场场景等，分别分析这些典型场景的 5G-R 部署特征、业务特征及业务服务质量需求等特征，分析节能技术对铁路不同应用场景的适应性。

2.1.3 网络级节能控制

网络级节能控制可通过采取相应技术手段降低站点密度，加大站距并提高系统覆盖效率，从而实现网络级能耗的降低。例如针对 5G-R 基站密度大等问题，可通过采用智能超表面（RIS）技术针对特定弱场进行补强，从深度上拓宽覆盖区域；或采用透镜天线、钉状定向天线等技术提高天线的发射

效率，从广度上拓宽覆盖区域。

2.2 基站新能源技术

在确保铁路安全运营的前提下，根据各类绿色能源的特性，结合铁路沿线基站机房的环境条件，研究新能源技术在基站领域的应用方案，通过新能源的利用减少传统用电，从而减少因 5G-R 基站机房用电引起的碳排放。

基站新能源技术研究应重点结合基站所在区域的新能源如太阳能、风能等的分布特点进行分析，针对 5G-R 基站建设地点的地理位置及气候条件，分析太阳能、风能、风光互补等绿色能源为 5G-R 基站机房供电的可行性，对区域内绿色能源进行统计分析，掌握其资源稳定度及强度等数据，如对太阳能资源进行辐射量等级及稳定度等级分析，对风能资源进行风向、风速、功率密度等分析。依据分析结果，在确保基站稳定供电的前提下对基站新能源技术提出相应的研究方案。铁路基站新能源技术研究主要包括如图 1 所示相关内容。

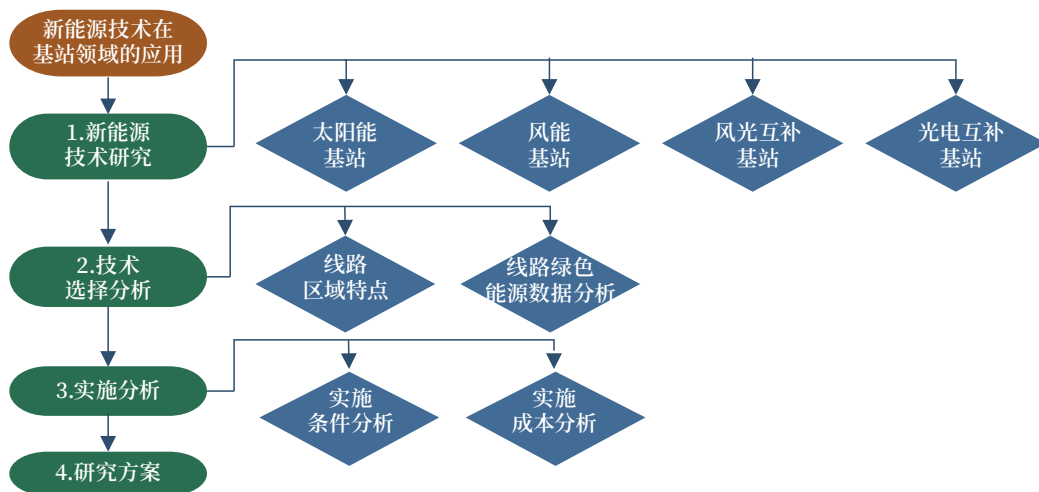


图1 基站新能源技术研究主要内容
Fig.1 Main contents of base station new energy technology research

2.3 基站机房空调智能管控技术、新风节能技术融合应用

根据 GSM-R 网络基站机房的建设经验，针对 5G-R 基站机房的建设要求进行研究，重点评估 5G-R 基站机房的资源配置、设备能耗、机房布局及热力分布、站点气候条件等关键因素，并重点研

究基站机房内智能空调、自清洁新风系统部署方案、节能管控策略以及智能化节能管控技术、高热区域的温控措施，同时结合新能源技术进行基站机房新能源技术、空调智能管控与新风节能技术的融合应用研究。

针对上述研究，可建设基于融合应用方案及节

能管控技术研究的基站机房能耗一体化智能管控平台。基站机房能耗一体化智能管控平台应具备能耗监测、热力分布监测、节能策略管控等功能。基于该平台可实现机房内的资源台账可视化管理、设备能耗监测及趋势分析、热力分布监测及趋势分析,实现节能管控策略的自动学习及人工辅助设定,实现空调与新风系统的智能管控,同时可支持5G-R基站的设备级、站点级及网络级能效评估,验证融合应用方案及管控技术的节能降耗效果,为基站节能技术研究及基站节能控制策略的制定提供数据支撑,从而进一步实现绿色基站机房的节能目标。空调智能管控及新风节能技术融合应用研究主要内容如图2所示。

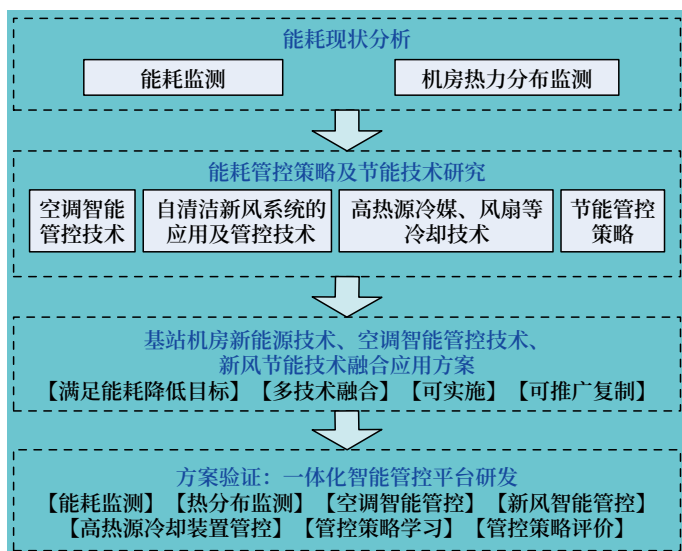


图2 空调智能管控及新风节能技术融合应用研究
Fig.2 Research on integrated application of intelligent control of air conditioning and fresh air energy saving technologies

3 结束语

铁路5G-R作为铁路下一代通信技术,容量更大、灵活性与兼容性更强等特性,未来将被大规模部署,逐步替代GSM-R系统。当前针对铁路5G-R基站绿色化运行进行分析研究,未来将绿色化运行策略纳入基站设备要求,既有利于铁路通信系统的可持续发展,又便于在铁路5G-R建设初期形成绿色节能的基站设备供应产业链,为构建铁路5G-R

绿色基站标准体系打下基础。在铁路5G-R基站绿色化运行过程中,通过不断改进升级逐步形成铁路5G-R绿色基站标准化体系,一方面可使得标准化助力行业发展,另一方面也将有利于中国铁路绿色移动通信建设标准的推广和发展。分析研究铁路5G-R基站绿色化运行既是国家双碳战略目标所需,也是中国铁路可持续绿色发展奏响交通运输行业行稳致远的“主旋律”。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 关于印发《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》的通知: 中城轨[2022]56号[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2022.
- [2] 牛志升, 周盛, 孙宇璇. 面向“双碳”战略的绿色通信与网络: 挑战与对策[J]. 通信学报, 2022, 43(2): 1-14.
Niu Zhisheng, Zhou Sheng, Sun Yuxuan. Green Communication and Networking for Carbon-Peaking and Carbon-Neutrality: Challenges and Solutions[J]. Journal on Communications, 2022, 43(2): 1-14.
- [3] 肖坤平, 马卫兵. 基于热管空调的通信基站节能降耗研究[J]. 通信电源技术, 2021, 38(14): 112-114.
Xiao Kunping, Ma Weibing. Research on Energy Saving and Consumption Reduction of Communication Base Station Based on Heat Pipe Air Conditioning[J]. Telecom Power Technologies, 2021, 38(14): 112-114.
- [4] 尹鹏. 5G-R网络EIR设备研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(12): 51-55.
Peng Yin. Research on EIR in 5G-R Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 51-55.
- [5] 侯建斌. 物联网通信基站节能降耗技术研究[J]. 通信电源技术, 2022, 39(7): 163-165.

(下转 59页)

智慧综合调度信息系统的三级部署研究

王玉龙

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 先进的智慧综合调度信息系统可实现对列车、机车、车辆、货物、施工、检修等各运输相关资源的统一调度管理, 帮助铁路运输企业做出综合运输决策。针对智慧综合调度信息系统的应用需求, 研究其三级部署架构, 从实际部署中网络难题分析其所需网络技术, 提出智慧综合调度信息系统的高可靠组网方案, 满足智慧综合调度信息系统在多业务类型场景下都能够稳定运行的要求。

关键词: 综合调度信息系统; 三级部署应用; 开放式最短路径优先; 虚拟路由冗余协议; 跨设备链路聚合

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0054-06

Research on Three-level Deployment of Intelligent Integrated Dispatching Information System

Wang Yulong

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

Abstract: The intelligent integrated dispatching information system realize the unified management of various transportation-related resources such as trains, locomotives, vehicles, cargo, construction, and maintenance, and help railway transportation enterprises make comprehensive transportation decisions. Aiming at the application requirements of the intelligent integrated dispatching information system, this paper studies its three-level deployment structure, analyzes the required network technologies from difficulties in actual deployment, and proposes a reliable networking scheme to meet the requirements for operating stably in all types of scenarios.

Keywords: integrated dispatching information system; three-level deployment application; open shortest path first; virtual router redundancy protocol; multi-chassis link aggregation group

收稿日期: 2022-08-16; 修回日期: 2023-09-15

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目(K1170025.01)

作者简介: 王玉龙(1987—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 轨道交通自动控制、通信及信息技术, 邮箱: wangyulong@crscd.com.cn。

1 概述

智慧综合调度信息系统通过对不同性质、规模的铁路运输需求进行总结、提炼、抽象, 建立统一的调度指挥信息平台, 进而从机制上确保铁路运输信息的完整性与一致性, 最大限度地帮助生产运输

企业实现降本增效。

智慧综合调度信息系统的应用遵从“一个平台、两层系统、三级部署”原则，消除不同模块间壁垒，构建由中心系统和车站系统组成的统一信息管控平台，从而向集团总部、分公司、车站三级不同的调度组织提供服务，帮助生产运输企业对其运力资源实行精准调度。结合实际需求部署后，智慧综合调度信息系统可通过对机车、车辆等运输资源的全生命周期精细化管理，实现运输资源的高效利用和适时检修，从而减少损耗、降低成本。

本文针对智慧综合调度信息系统的三级部署应用，及其在实际应用组网中所需的关键网络技术研究，并提出符合三级部署架构的组网方案，解决智慧综合调度信息系统在网络可靠性、可用性、安全性、可维护性等方面面临的难题，确保网络在各类故障情景下，仍能支持系统稳定可靠运行。

2 智慧综合调度信息系统的三级部署应用

智慧综合调度信息系统由中心系统和车站系统组成，以满足各级铁路调度指挥的实际业务需求为导向，进而实现以计划为主导、以行车指挥为核心的一体化调度信息系统功能。在实际应用中，需要部署的调度组织架构由集团总部、分公司、车站3级组成，如图1所示。

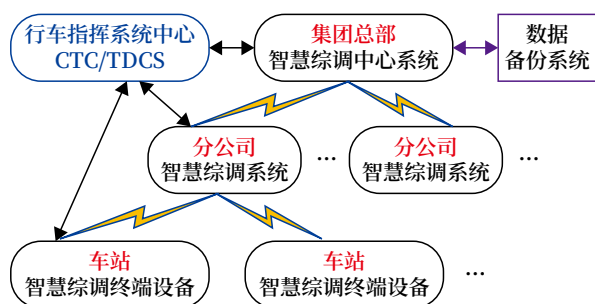


图1 智慧综合调度信息系统的三级部署应用
Fig.1 Three-level deployment application of intelligent integrated dispatching information system

2.1 集团总部

生产运输企业的集团总部数据中心设智慧综合调度信息系统的总部级调度中心系统，实现对全路的

计划调度、货运调度、车辆调度、施工调度、统计分析等功能，同时满足既有或潜在的集中调度指挥功能需求。智慧综合调度信息系统的中心与集团总部行车指挥 TDCS/CTC 中心无论物理上是否分离，但在逻辑上应保持统一，确立逻辑上的“一个中心”。

2.2 分公司

生产运输企业的分公司设置分公司级调度信息系统，实现分公司各岗位管辖范围内运输调度指挥工作的功能。分公司所设调度终端设备上联至行车指挥 TDCS/CTC 中心系统及集团总部的智慧综合调度信息系统中心系统。

2.3 车站

生产运输企业下辖的车站设置智慧综合调度信息系统的客户终端，车站按照集团总部及运输分公司调度指挥中心的指挥完成列车接、发等车站管理及货物受理、承运，以及货物到达、交付等货运管理工作。

3 智慧综合调度信息系统的组网难点

智慧综合调度信息系统的部署采用集团总部至下属分公司、各下属分公司至车站的三级两段式结构组网。在此专用网络上，建设基于数据统一集成共享平台的一体化调度信息系统平台，提供信息和共享服务。由于生产运输相关调度信息的准确性、时效性与保密性直接关系到企业生产效益，智慧综合调度信息系统对其各层级间的信息交互“桥梁”的可用性要求也变得更为严苛。同时在其网络的实际部署中也存在着一些待解决的网络难题，主要可概括为下列3个方面。

3.1 网络稳定性

智慧综合调度信息系统的可用性直接关系到生产运输企业的效益。常规硬件设备及链路所构成的网络不能满足智慧综合调度信息系统全天候可信息上传共享的需求。在其三层架构应用的网络部署中应采取可靠的网络技术实现对硬件设备及网络链路的冗余保护，以确保调度信息传输的稳定可靠。网络中部署用于访问中心网络的硬件设备皆应采取主/备模式，当

主要工作设备发生故障时，备用设备可满足业务要求。同时，设备间链路同样应采用冗余连接方式，当主要传输链路故障时，备用链路同样可担负信息通道职能。

然而大量冗余部署的设备及链路常会带来一定的网络风暴隐患，为解决此问题，智慧综合调度信息系统所采网络中部署相应网络协议、策略，避免网络风暴影响上层业务信息交互的情况。

此外，网络中设备应具有可靠的后备运行模式，以降低故障发生率、减少网络事故。

3.2 网络安全性

相较于小规模的网络部署，汇聚了集团总部至车站三层架构的共享信息的智慧综合调度信息系统面临着更严苛的信息安全考验。其系统网络应满足相应场景的信息安全等级，且具有一定的风险过滤能力。为满足网络安全性要求且最大限度保证专用网络的独立可靠性，实际部署方案中应在网络内核心交换机上应部署安全网关，同时在系统核心交换机与应用区域、数据区域、接口交换区域、终端服务区域等之间部署防火墙，进行安全加固，确保网络信息安全性，同时采用旁路部署的接入方式以满足网络安全设备的不同应用场景。

3.3 网络易维护性

一般网络方案中较为常见采用的横向虚拟化技术往往存在着控制面单一、控制面能力差、业务升级复杂等问题。这些问题极大降低了网络整体的可维护性和扩展能力。智慧综合调度信息系统的网络要能适应日益变化的需求，可实现灵活调整网络结构，满足生产运输企业在调度信息的使用及共享方面的新需求。其专用网络需要采用创新性的横向虚拟化技术，在达成设备冗余满足系统稳定性的同时，获得更高的可管理性和扩展能力。

4 智慧综合调度信息系统的相关网络技术

为解决上述智慧综合调度信息系统的网络难点，在实际应用组网中将会采用下列网络技术，以构建稳定可用的专用网络。在智慧综合调

度信息系统网络的三层架构组网部署中所采用的能提高网络效率、网络可靠性的技术包括开放式最短路径优先（OSPF）、虚拟路由冗余协议（VRRP）、跨设备链路聚合（M-LAG）等。这些网络技术主要可实现消除网络风暴及预留冗余设备、链路。

4.1 开放式最短路径优先

在运行传统的距离矢量路由协议时，路由器彼此间交互路由表，而无法获取整个网络拓扑结构。OSPF 作为一种链路状态路由协议，可以使设备间建立“邻居关系”，以交互链路状态通告（LSA）取替交互传统路由信息。LSA 包含设备的直连接口信息、对端设备信息、通道成本信息等拓扑结构类信息，在被路由器接收后会被存放入链路状态数据库（LSDB），使其掌握全网络的拓扑结构。

在此基础上，路由器运行最短路径算法，得到一个以自己为核心的无环路径。路由器根据计算结果，将这些计算出的最优路径加载进路由表形成路由条目，作为数据转发的依据。由于 OSPF 的算法本身可以从天然上防止形成环路，消除大规模、多层级网络部署中潜在的网络风暴隐患，其也逐渐发展为应用最广泛的内部网关协议之一。

4.2 虚拟路由冗余协议

VRRP 可将几台路由器组成一台虚拟的路由设备，这一组路由器（同一个局域网中的接口）将实现协同工作。一个 VRRP 组内只有一台设备处于“Master”状态，并同时承担实际的数据流量转发工作，而其他设备处于备份状态。在一个 VRRP 组内的多个路由设备接口将共用一个虚拟 IP 地址，该地址作为局域网内所有接入设备的缺省网关地址与外部网络通信，如图 2 所示。

此协议可确立一台负责向用户网关转发数据包的主路由器，并使其响应接入服务器对该网关的地址解析请求。同组内的备份路由器侦听主路由器的工作状态，并随时准备接替主路由器的工作，从而实现网关和链路的冗余功能，满足高可靠网络的全天候可用要求。

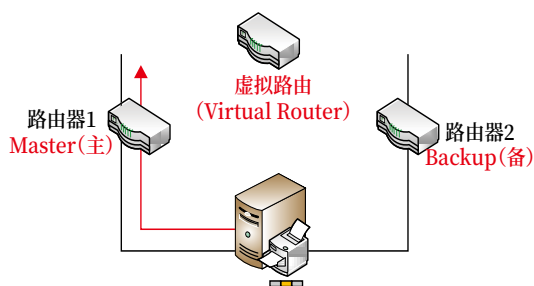


图2 VRRP的路径选择
Fig.2 VRRP path selection

同时，作为一个接口级别的协议，一台运行着 VRRP 的路由器（接口）可参与到不同的 VRRP 组中，并充当不同的主 / 备角色，以满足大规模网络内不同应用场景下的多种需求。

4.3 跨设备链路聚合

横向虚拟化技术的运用，使相互冗余的物理设备可虚拟为一台在网络中呈现单节点的逻辑设备，从而简化网络的管理。而堆叠作为此前运用最广泛的横向虚拟化技术，存在着主 / 备交换机需同步全部表项导致的严苛同步机制、主 / 备交换机需同时升级带来的繁琐流程、控制平面单一等缺陷。

为实现更高效、更稳定的链路聚合，M-LAG 技术仅要求交换设备在链路聚合协商的过程中对外表现出同样的状态，而不再同步全部表项。运行 M-LAG 的聚合设备只需要同步接口和部分表项内容（如 ARP、MAC、IP 路由等表项报文）。一旦聚合设备分裂，两台设备都可以独立运行，相互独立的控制面设计也一定程度上提高了网络的可靠性。需要升级时，组成 M-LAG 系统的主 / 备交换机也无需同步升级，以保障升级过程中业务流量的转发。

M-LAG 与堆叠的对比如表 1 所示。

两台运行 M-LAG 的设备在配对后将首先交互 MAC 地址等信息并协商出主从关系，随后在正常工作模式中双方会继续通过 Peer-Link 链路实时同步对端信息。而 M-LAG 的故障检测则主要依赖于两台设备在网络侧的互通链路定期互发心跳报文，如图 3 所示。

表 1 M-LAG 相较堆叠技术的优势

Tab.1 M-LAG advantages over stack technology

对比维度	堆叠	M-LAG
性能	主设备控制所有成员的转发，CPU 负载高	组内成员独立转发负载更为均衡
可靠性	统一控制面 故障有扩散可能	独立控制面 可实现故障隔离
可扩展性	控制面能力有限 多台扩容时需改变现有架构、影响业务	扩展不受主设备限制 扩容不改变网络架构、不影响业务
设备升级	组内设备同步升级 业务中断时间长	单设备独立升级 保障业务流程，风险低

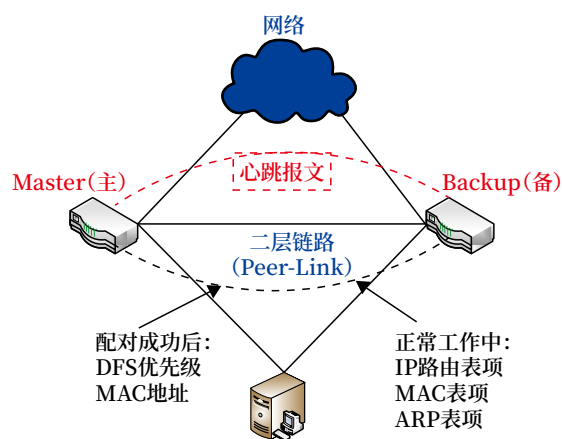


图3 M-LAG主/备设备间信息交互
Fig.3 M-LAG Information exchange between the active and standby devices

在实际部署场景中，对于已知的单播流量，主 / 备交换机形成逐流负载分担，共同进行流量的转发；而对于广播、组播、未知的单播，交换机将以泛洪的形式进行扩散。M-LAG 可隔绝经 Peer-Link 发往接入设备的流量，在实现设备冗余的同时，防止形成网络风暴。

5 三级部署中的组网方案

考虑到智慧综合调度信息系统的三级部署应用架构及其对网络可靠性的要求，整体系统的组网设计方案如图 4 所示。部署于集团总部机房的智慧综合调度信息系统核心交换机除完成集团内部调度信息的交换任务外，还应保留与外部系统接口，以满足多类别系统间信息互通、统一管控的需求。

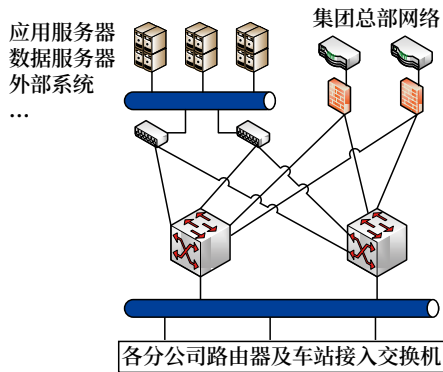


图4 智慧综合调度信息系统中心网络
Fig.4 Intelligent integrated dispatching information system central network

在分公司及车站的网络方案中，选择以 OSPF 为基础进行规划。然而，实际场景下当一组大规模网络中设备都运行 OSPF 协议时，庞大的 LSDB 会占用大量储存空间，使 SPF 算法的复杂程度倍增，CPU 负担加重，网络效率降低。因此，面对大规模的智慧综合调度信息系统部署时，选择将不同线路对应的链路划分到不同的 OSPF 区域中。在区域的边界配置区域边界路由器与骨干网路由相连，同区域的不同站也采用三层互联方式。基于 OSPF 的组网方案可有效地提高网络效率，并给全集团公司的大规模三层架构信息共享部署创造可能。此外，实际组网中的网络设备和链路采用基于 VRRP 及 M-LAG 的冗余设计以解决系统网络可靠性难题。智慧综合调度信息系统的分公司及车站网络方案如图 5 所示。

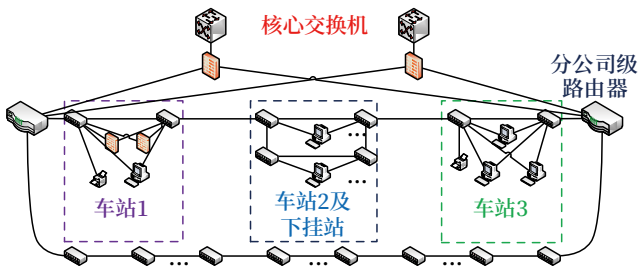


图5 分公司及车站组网方案
Fig.5 Branch and station networking scheme

6 总结

本文研究了智慧综合调度信息系统在部署应用

中的三级架构，以及此三级架构在实际应用场景下面临的网络稳定性、安全性、易维护性等方面的难点。针对智慧综合调度信息系统网络部署待解决难题，分析了 3 种技术方案，同时给出了系统高可靠组网方案。

参考文献

- [1] 蒋磊. 论 OSPF 协议的基本原理与实现 [J]. 电子制作, 2018 (22): 50-52.
Jiang Lei. On the Basic Principle and Implementation of OSPF Protocol[J]. Practical Electronics, 2018(22): 50-52.
- [2] 苏东梅. 基于华三 HCL 下的 VRRP 的设计与实现 [J]. 信息通信, 2020, 33 (9): 88-90.
Su Dongmei. Design and Implementation of VRRP Based on H3C HCL[J]. Information & Communications, 2020, 33(9): 88-90.
- [3] 甘卫民, 李检辉. 基于华为 VRP 下的 VRRP 仿真实验分析 [J]. 网络安全技术与应用, 2020 (5): 31-33.
Gan Weimin, Li Jianhui. Simulation Experiment Analysis of VRRP Based on Huawei VRP[J]. Network Security Technology & Application, 2020(5): 31-33.
- [4] 刘俊, 丁治敏, 乌峥, 等. 高铁调度车务一体化仿真实训平台设计应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, (11): 1-8.
Liu Jun, Ding Zhimin, Wu Zheng, et al. Design and Application of High-speed Railway Simulation Training Platform of Operation-dispatching Integration[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, (11): 1-8.
- [5] 杨姝. 神华调度信息系统的车站级网络通信研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, (7): 58-62.
Yang Shu. Research on Station-level Network Communication of Shenhua Dispatching Information System[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, (7): 58-62.

- 2022, (7): 58-62.
- [6] 程奕, 徐家品. 基于 OSPF 协议的多路径路由研究 [J]. 信息与电子工程, 2007, 5 (4): 301-303.
Cheng Yi, Xu Jiapin. Multipath Routing Research Based on OSPF[J]. Information and Electronic Engineering, 2007, 5(4): 301-303.
- [7] 刘亮, 周勤, 袁俊. 网络技术 M-LAG 在数据中心网络中的应用 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2019 (10): 184-185.
Liu Liang, Zhou Qin, Yuan Jun. Application of Network Technology M-LAG in Data Center Network[J]. China Computer & Communication, 2019(10): 184-185.
- [8] 云峰. 大准铁路综合调度信息系统的应用 [J]. 科技传播, 2012, 4 (2): 132-134.
Yun Feng. Application of Comprehensive Dispatching Information System for Dazhun Railway[J]. Public Communication of Science & Technology, 2012, 4(2): 132-134.
- [9] 江永超. 基于复杂网络理论的铁路网可靠性研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
Jiang Yongchao. Study on reliability of railway network based on complex network theory[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.
- [10] 周学兵, 王坚, 陈小柱, 等. 网络虚拟化在智能铁路调度中心的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (9): 43-48.
Zhou Xuebing, Wang Jian, Chen Xiaozhu, et al. Application of Network Virtualization in Intelligent Railway Dispatching Center[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 43-48.

(上接 53页)

- Hou Jianbin. Research on Energy Saving and Consumption Reduction Technology of Internet of Things Communication Base Station[J]. Telecom Power Technologies, 2022, 39(7): 163-165.
- [6] 周普成, 张毅阳. 基于 AI 算法的 5G 无线网基站智慧节能分析与研究 [J]. 通信电源技术, 2022, 39 (1): 37-39.
Zhou Pucheng, Zhang Yiyang. Analysis and Research on Intelligent Energy Saving of 5G Wireless Network Base Station Based on AI Algorithm[J]. Telecom Power Technologies, 2022, 39(1): 37-39.
- [7] 肖坤平, 马卫兵. 基于热管空调的通信基站节能降耗研究 [J]. 通信电源技术, 2021, 38 (14): 112-114.
Xiao Kunping, Ma Weibing. Research on Energy Saving and Consumption Reduction of Communication Base Station Based on Heat Pipe Air Conditioning[J]. Telecom Power Technologies, 2021, 38(14): 112-114.
- [8] 余斌, 于海滨. 5G 基站供电与制冷节能技术探讨 [J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47 (6): 85-90.
Yu Bin, Yu Haibin. Discussion on 5G Base Station Power Supply and Refrigeration Energy-Saving Technology[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2021, 47(6): 85-90.

叙毕铁路GSM-R系统干扰排查案例分析

卫 磊

(中铁十二局集团电气化工程有限公司, 天津 300308)

摘要: 通过分析叙毕铁路 GSM-R 系统建设过程中出现的中国电信 CDMA 系统对 GSM-R 网络造成的上行干扰、中国移动 GSM 系统对 GSM-R 网络造成的下行干扰等典型案例, 讨论 GSM-R 网络建设维护工作中的外网干扰排查、原因分析及现场试验、整改措施等关键问题, 并对 GSM-R 区段铁路线路重点区域开展常态化干扰监控有关技术要求提出了建议, 为工程实践提供参考。

关键词: GSM-R; 互调干扰; 阻塞干扰; 网络优化

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0060-06

Case Analysis of Interference Investigation of GSM-R System in Xuyong-Bijie Railway

Wei Lei

(China Railway 12th Bureau Group Electrification Engineering Co., Ltd., TianJin 300308, China)

Abstract: By analyzing uplink interference caused by China Telecom's CDMA system to the GSM-R network, downlink interference caused by China Mobile's GSM system to the GSM-R network and other typical cases in the construction process of GSM-R system of Xuyong-Bijie Railway, this paper discusses the key problems of external network interference detection, cause analysis, field test and rectification measures in the construction and maintenance of GSM-R network, and puts forward suggestions on the technical requirements of normalized interference monitoring in key areas of GSM-R section, which provides reference for engineering practice.

Keywords: GSM for railway (GSM-R); intermodulation interference; blocking interference; network optimization

1 概述

中国铁路客运专线、城际铁路、长大干线的无线通信系统采用 GSM-R 技术体制, GSM-R 网络主要提供列调、货调、电调等调度通信服务, 并提

供列车控制和运营维护相关的车-地信息传送业务。根据中国无线电管理委员会的规定, 国内 900 MHz 频段中运行的通信系统有中国移动 (GSM905 ~ 910/950 ~ 955 MHz)、中国联通 (GSM910 ~ 915/955 ~ 960 MHz)、中国电信 (CDMA825 ~ 840/870 ~ 885 MHz) 和铁路 GSM-R 系统 (885 ~ 889/930 ~ 934 MHz)。网络规划参数设置不当时, 极易产生外网干扰影响 GSM-R 系统的运用。因此,

收稿日期: 2022-11-03; 修回日期: 2023-09-30

作者简介: 卫磊 (1988—), 男, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: 计算机科学与技术, 邮箱: 757790612@qq.com。

如何有效快速地解决多无线通信系统间的电磁兼容问题，是保障 GSM-R 可用性和可靠性的重要因素。下面将对叙毕铁路 GSM-R 系统建设过程中出现的干扰典型案例进行讨论分析，提出 GSM-R 区段铁路线路重点区域开展常态化干扰监控的技术建议，为工程实践提供参考。

2 GSM-R 外网上行、下行干扰概况

GSM-R 系统的工作频段分为上行和下行频段，其中上行频段指的是 GSM-R 移动终端使用该频段发射信号、GSM-R 基站 (BTS) 在该频段接收信号；下行频段指的是 GSM-R 基站 (BTS) 发射信号、GSM-R 移动终端在该频段接收信号。GSM-R 系统的上行频段为 885 ~ 889 MHz、下行频段为 930 ~ 934 MHz，划分为 20 个频点，频点号为 1 000 ~ 1 019，每个频点号代表一个带宽为 200 kHz、上、下行间隔 45 MHz 的无线信道资源。

上行干扰指的是在某个区域，GSM-R 系统收到来自其他无线电系统发射的无线电波信号，对 GSM-R 基站接收到的上行信号质量造成了干扰。通常 GSM-R 系统受到的上行干扰包括来自干扰器、微波设备、雷达等非常发干扰。

下行干扰指的是在某个区域，GSM-R 系统收到来自其他无线电系统发射的无线电波信号，对 GSM-R 移动终端接收的 GSM-R 基站发射的下行信号质量造成了干扰。通常 GSM-R 外部下行干扰来自干扰器、微波设备、雷达等非常发干扰；以及来自中国移动 900 MHz 频段 GSM 系统的杂散、三阶互调常发干扰，并且后者更常见。

三阶互调是指当 2 个信号在一个线性系统中，一个信号的二次谐波与另一个信号的基波混频后所产生的寄生信号。例如： f_1 的二次谐波是 $2f_1$ ，它与 f_2 产生了寄生信号 $2f_1-f_2$ 。当一个信号是二次谐波（二阶信号），另一个信号是基波信号（一阶信号），它们合成为三阶信号，其中 $2f_1-f_2$ 被称为三阶互调信号，它是在调制过程中产生的，因此被称为三阶互调信号。

中国铁路 GSM-R 系统与中国移动 900 MHz 频段的 GSM 系统之间的频谱间隔为 400 kHz，因此，中国移动的频率规划不合理，就容易对 GSM-R 系统构成三阶互调干扰。由于中国移动 GSM 系统的上行频段范围为 880 ~ 915 MHz，将该频段代入三阶互调信号公式中进行简单计算，得到三阶互调信号范围为 845 ~ 950 MHz（105 MHz 带宽），如强度达到一定程度，就会对 GSM-R 系统构成干扰。

3 GSM-R 上行干扰处置措施

通常，GSM-R 系统受到的上行干扰，主要来自于中国电信 CDMA 系统的干扰。由于中国电信 CDMA 系统采用 800 MHz 的下行频段与 GSM-R 上行频段的间隔只有 5 MHz，如图 1 所示，如果在滤波器性能方面存在问题，站址临近 GSM-R 基站，天线方位角指向 GSM-R 接收天线，则很容易造成 GSM-R 上行信号质量恶化，或者性能下降。

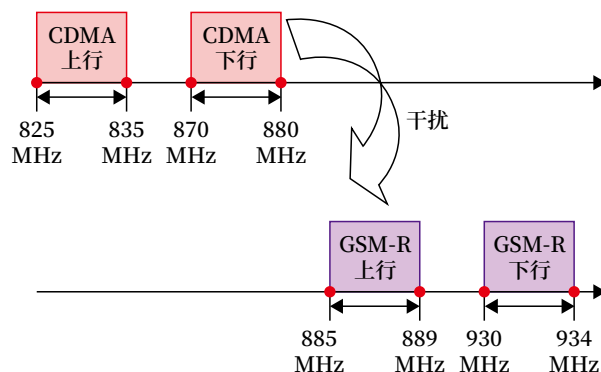


图1 中国电信CDMA对GSM-R构成上行干扰示意
Fig.1 Schematic diagram of uplink interference caused by China Telecom's CDMA system to the GSM-R network

3.1 CDMA系统对GSM-R系统的干扰分析

中国电信 CDMA 系统对 GSM-R 系统构成干扰的主要有 3 种类型：边带杂散信号落入 GSM-R 基站接收机带内构成杂散干扰、CDMA 交调信号落入 GSM-R 基站接收带内构成交调干扰、CDMA 发射信号造成 GSM-R 基站接收机灵敏度下降形成阻塞干扰。

杂散干扰是指由于发射滤波器的滚降特性导致系统外存在一定的带外辐射。带外辐射的主要能量

来源是宽带噪音、谐波与互调产物、寄生辐射及杂散辐射，统称为杂散辐射。现场测试结果表明，CDMA 系统在 885 MHz 附近的发射杂散正好落入 GSM-R 系统的接收频段范围内，当干扰信号的电平足够大时，会导致 GSM-R 系统基站的接收灵敏度下降、接入困难等现象。

阻塞干扰是指当较强功率加于接收机端时可能导致接收机过载，使它的增益下降或者被抑制。产生这种现象的原因是接收放大器有一定的线性动态范围，在此范围内放大器的输出功率随输入功率线

性放大。如果接收滤波器对外部干扰信号的抑制能力不够，即使干扰系统不产生任何带外杂散，也将因接收到强干扰信号导致接收机饱和，从而引发阻塞干扰。

3.2 CDMA系统干扰GSM-R系统案例分析

3.2.1 干扰现象

叙毕铁路威信站附近，联调联试期间，动态测试发现该处出现多次 GSM-R 移动终端瞬时掉话现象，信令分析结果如图 2 所示，信令分析掉话的直接原因为无线链路失败（radio link failure）。



图2 威信站GSM-R移动终端掉话信令分析

Fig.2 Dropped call signaling analysis of GSM-R mobile terminal of Weixin Station

3.2.2 问题分析及处置

现场排查发现，该处存在 1 处中国电信 CDMA 基站，如图 3 所示。经现场扫频测试发现该处中国电信 CDMA 基站启用 879.7 MHz 频点（窄带物联网载波）时，其杂散信号和互调信号会对 GSM-R 网上行频段 885 ~ 889 MHz 形成干扰。初步判定原因可能是该处 CDMA 基站与 GSM-R 基站信号水平隔离度不够，对该区域 GSM-R 系统造成干扰。

为了进一步确定问题原因，进行下述试验工作：

1) 在 CDMA 基站发射端口增加带外杂散抑制滤波器，然后观察 GSM-R 网络信号接收。通过现场观察发现，问题依然存在。因此判断此处问题并非 CDMA 基站杂散信号过强导致，故拆除 CDMA 滤



图3 威信站通信设备布局

Fig.3 Communication equipment layout of Weixin Station

波器，恢复原状；2) 在 GSM-R 基站天馈处增加抗 CDMA 阻塞干扰滤波器，然后观察 GSM-R 网络信号接收。通过信令分析，发现 MS 接收信号质量达到 1-2 级，干扰问题解决。因此，最终确定问题原

因为，该处中国电信 CDMA 基站对该区域 GSM-R 系统造成了阻塞干扰，采取了在 GSM-R 基站天馈处增加抗 CDMA 阻塞干扰滤波器的方式，解决了该问题。

3.2.3 上行干扰的处置流程

综上所述，外部上行干扰的判断可采用以下步骤。

1) 查看 GSM-R 基站网管 (OMC-R) 的话务统计中表征上行干扰的信号服务质量 (QoS) 的 Band 值，如果出现大量质差分布，基本可以判断存在上行干扰；

2) 在受干扰 GSM-R 基站附近进行现场检查，勘查是否存在中国电信 CDMA 基站在 GSM-R 基站 150 m 范围内，且天线主瓣指向 GSM-R 基站；

3) 如发现存在中国电信 CDMA 基站，首先在中国电信 CDMA 基站发射路插入带外杂散抑制滤波器，查看 GSM-R 网管侧的上行干扰服务质量 QoS 是否恢复正常，如故障现象消除，则判定为该处 CDMA 基站设备带外杂散发射异常，对该区域 GSM-R 系统造成了杂散干扰；

4) 如果不是杂散干扰，则通过在受干扰的 GSM-R 基站天馈处增加抗 CDMA 阻塞干扰滤波器的方式，通过拨打测试，判断干扰现象是否消除。如果消除，则判定为该区域受到了该中国电信 CDMA 基站的阻塞干扰，可以通过降低 CDMA 基站发射功率、调整中国电信 CDMA 基站天线方向、修改中国电信 CDMA 基站频点配置或改用低频点等方式减少该处 CDMA 基站对 GSM-R 系统的干扰强度。除了降低外部干扰外，推荐在该区域 GSM-R 基站天馈处增加抗 CDMA 阻塞干扰滤波器的方式解决该问题。

4 GSM-R下行干扰处置措施

下行干扰是干扰源对 GSM-R 移动终端造成干扰，因此，较上行干扰而言，由于网管 OMC-R 中没有下行干扰的统计，现实工作中的只能通过其他关联指标推测，排查整治难度更大。通常，主要采用到受干扰区域进行路测、利用三接口监测系统、

基站空口监测系统、固定干扰监测系统等抓取的数据进行分析，综合确定原因。通常，采取 3 种措施消除下行干扰：1) 如果干扰源来自于公共移动网络的基站，可以通过降低该处移动基站发射功率的方式解决；2) GSM-R 移动终端加装带通滤波器、滤除 GSM-R 基站工作频段外的干扰信号的方式提高抗干扰能力；3) 通过优化公网 GSM 基站的频率规划，如 GSM 基站避免使用 0 ~ 50 号小频点，避免对 GSM-R 系统构成阻塞干扰或互调干扰。

叙毕铁路联调联试期间，电务检测车检测结果显示，毕节站附近 GSM-R 网络服务质量出现 5-6 级，现场排查发现，毕节站附近存在一处中国移动 GSM 基站，使用了 33 号 (941.6 MHz) 和 53 号 (945.6 MHz) 频点，对毕节站 GSM-R 基站造成三阶互调干扰，毕节站 GSM-R 基站使用的是 1 007 号 (931.6 MHz) 频点；关闭毕节站 GSM-R 基站后进行的扫频测试结果显示，931.6 MHz 处的底噪已经高达 -73.69 dBm，如图 4 所示。为进一步确定问题原因，在路测用 GSM-R 移动终端天馈处增加了滤波器，滤除非 GSM-R 频段的信号后，干扰现象消除、该区域服务质量 0-3 级；通过协调中国移动，将该处中国移动 GSM 基站所使用的频点调整为频点号大于 70 的频点，消除该处三阶互调干扰，解决该问题。

5 强化对重点区域进行干扰实时监测的建议

铁路 GSM-R 网络运用过程中，网内干扰和网外干扰时有发生，通过技术手段实时监测干扰问题，主动发现网络运用问题，对于提升铁路运营管理水平具有重要意义。目前，CTCS-3 (简称 C3) 线路可以通过三接口监测系统、基站空口监测系统获取的数据，对本线 GSM-R 系统运用服务质量进行监测，通过数据分析，可以实施判断是否收到外部干扰。但是，对于 CTCS-2 (简称 C2) 及以下等级的铁路线路，由于通常不装备三接口监测系统或基站空口监测系统，对 GSM-R 系统运用质量缺少实时监测的数据获取手段，特别是由于 C2 线路缺

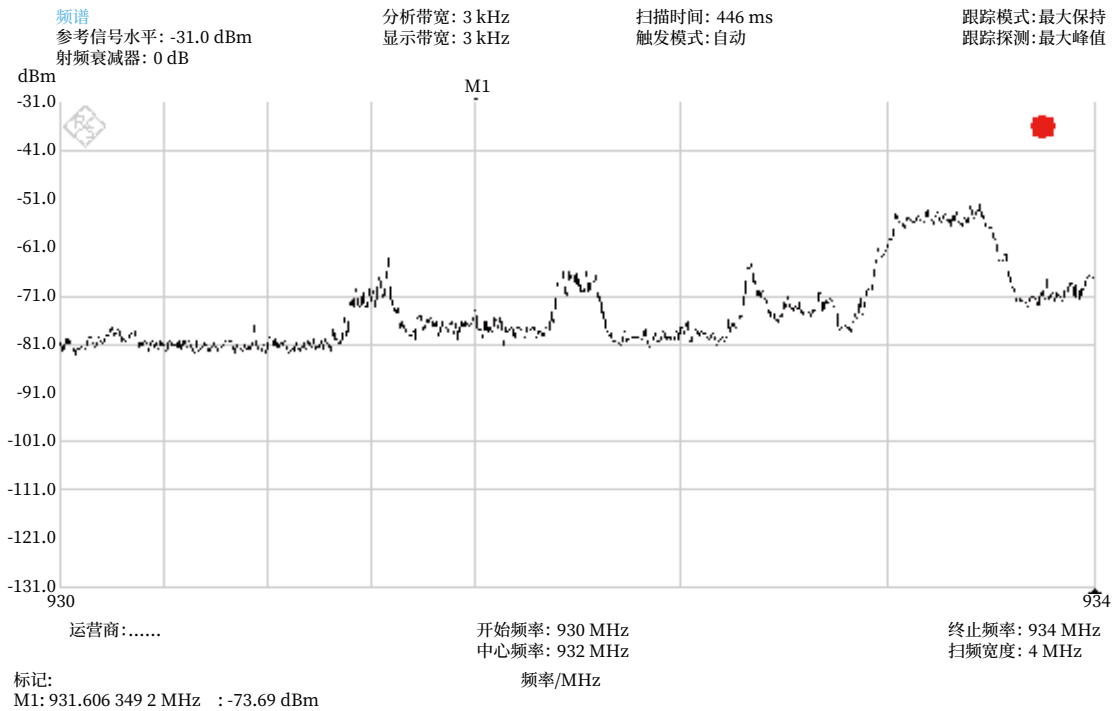


图4 毕节站GSM-R系统受到的三阶互调干扰扫频
Fig.4 Chart for sweep frequency of third-order intermodulation interference of GSM-R of Bijie Station

少像 C3 线路那样的 CSD 长呼业务，主要承载 3 ~ 5 min 的车机联控等短时间呼叫业务，因此，实际维护工作中，往往只能被动地在出现干扰影响车机联控的时候，用户及维护单位才有所感知，或者需要月度电务测试车的动态工作才能发现问题，排障的时效性很低。

因此，为了提高 C2 级线路的干扰排查处置效率，在车机联控区段、车站等公网信号密集的站点装配 GSM-R 干扰监测设备，实时监控相关区域的无线电磁环境，发现干扰信号（特别是 GSM-R 频段内出现了异常的非 GSM-R 干扰信号），及时组织干扰清除工作，是提高 GSM-R 网络可用性和可靠性的重要技术手段。

由于叙毕铁路是非 C3 线路，并没有配置接口监控系统，电磁环境和干扰监测手段不完备，因此，对毕节站等重点区段配置了同频干扰监测设备，对无线环境进行实时监控。同频干扰监测设备具备了基本功能：1) 具有多信道测量功能，可实时测量 GSM-R 上/下行所有通道的信号功率；2) 具有频谱测量分

析功能；3) 具备移动运营商身份识别功能；4) 具备场强覆盖测量功能，实时记录和显示测试区段信号覆盖情况；5) 具备数据存储、查询、回放功能；6) 功耗低，适用于长时间独立工作或无人值守的应用环境。装备投入使用后，在联调联试阶段，主动发现多次公共运用商设备对 GSM-R 系统构成的干扰，为干扰清除工作提供了有力的数据支撑。

6 小结

长期以来，GSM-R 系统与公共移动运营商的电磁兼容问题是铁路通信部门日常运营维护管理的难点问题，干扰类型多样、现象复杂多变，干扰排查难度较大；既有偶发瞬间干扰，也有常态化干扰存在；既与铁路自身 GSM-R 系统的无线网络规划设计相关，也与公共移动运营商的无线网络设计规划等相关联。GSM-R 系统内部的网内干扰可以通过优化网络覆盖、频率资源调整等方式解决；外网干扰，需要不断地总结经验，在强化网管话务统计分析、路测等工作的条件下，合理配置信令监测、

业务监测、干扰监测等技术装备,是提高干扰排查效率,保障铁路 GSM-R 系统运用维护质量的必要手段。

参考文献

- [1] 李坚, 陈晓辉, 陈建平. 基于铁路运用场景的 GSM-R 系统无线信道资源估算方法研究 [J]. 铁道学报, 2021, 43 (8): 81-87.
Li Jian, Chen Xiaohui, Chen Jianping. Research on Method of Estimation of Wireless Channel Resources of GSM-R System Based on Railway Application Scenarios[J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(8): 81-87.
- [2] 邵翔. GSM 系统对 GSM-R 系统的互调干扰分析 [J]. 铁道工程学报, 2012, 29 (6): 83-87.
Shao Xiang. Analysis of Intermodulation Interferences of GSM System on GSM-R System[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012, 29(6): 83-87.
- [3] 蔡玮, 林竹轩. GSM 公众移动通信网对 GSM-R 的干扰分析 [J]. 中国无线电, 2012 (11): 31-32.
Cai Wei, Lin Zhuxuan. Interference Analysis of GSM Public Mobile Communication Network to GSM-R[J]. China Radio, 2012(11): 31-32.
- [4] 尹朕华, 翁路华, 马骏. 公众移动通信网 GSM、CDMA 与铁路专用通信网 GSM-R 共存时可能存在的干扰种类分析 [J]. 中国无线电, 2012 (11): 27-28.
Yin Zhenhua, Weng Luhua, Ma Jun. Analysis of Possible Interference Types when Public Mobile Communication Network GSM, CDMA and Railway Special Communication Network GSM-R Coexist[J]. China Radio, 2012(11): 27-28.
- [5] 葛伟涛. 南通枢纽 GSM-R 覆盖方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 54-58.
Ge Weitao. Research on GSM-R Coverage Scheme of Nantong Hub[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 54-58.
- [6] 陈苏, 赵晟. 新一代铁路通信系统演进探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 45-50.
Chen Su, Zhao Sheng. Evolution of New Generation Railway Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 45-50.
- [7] 李坚, 张弘毅. 京津城际与津秦高铁交越区段 GSM-R 系统网络覆盖方案介绍 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (8): 79-81.
Li Jian, Zhang Hongyi. Introduction of GSM-R Network Coverage Scheme of Cross-over Zone in Beijing-Tianjin Intercity Railway and Tianjin-Qinhuangdao High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(8): 79-81.
- [8] 李坚, 刘奎江, 丁浩. GSM-R 系统间邻频干扰案例的分析与处理 [J]. 铁道通信信号, 2013, 49 (2): 74-77.
Li Jian, Liu Kuijiang, Ding Hao. Analysis and Handling of Adjacent Channel Interference between GSM-R System[J]. Railway Signalling & Communication, 2013, 49(2): 74-77.
- [9] 沈俊毅. GSM-R 系统电磁辐射分析及防护建议 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (5): 47-49.
Shen Junyi. Analysis of Electromagnetic Radiation and Suggestions of Protective Measures for GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(5): 47-49.

基于运行状态评价的 城市轨道交通安检配置优化

曹 凯, 张 宁

(东南大学智能运输系统研究中心, 南京 211189)

摘要: 高峰时段城市轨道交通车站服务能力面临极大挑战, 安检作为乘客进站重要环节, 已然成为制约进站效率的痛点。基于此, 构建安检运行状态评价体系, 利用进站客流仿真模型, 结合差异化安检模式对车站安检进行配置优化, 为运营方安检优化方案的制定提供参考。结果表明: 车站现有安检运行状态较差, 很难满足高峰时段乘客进站需求; 基于差异化安检模式的优化方案能够使高峰时段乘客进站效率至少提升 14.0%, 并且反映安检运行状态的关键指标参数如最大排队长度、设施能力匹配度和进站密集度指数等有很大改善。

关键词: 城市轨道交通; 运行状态评价; 差异化安检; 配置优化

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0066-08

Optimization of Security Check Configuration for Urban Rail Transit Based on Operational Status Evaluation

Cao Kai, Zhang Ning

(Intelligent Transportation System Research Center, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: The service capacity of urban rail transit stations during peak hours is facing great challenges, and security checks, as an important link for inbound passengers, have become a pain point that restricts the inbound efficiency. Based on this, this paper constructs an evaluation system for the operational status of security checks, utilizes a simulation model of inbound passenger flow, and optimizes the configuration of station security checks in combination with differentiated security check modes, providing reference for the formulation of security check optimization plans for operators. The results indicate that the current operational status of security check of the station is poor, making it difficult to meet the inbound demand of passengers during peak hours. The optimization scheme based on differentiated security check mode can improve the inbound efficiency of passengers during peak hours by at least 14.0%, and significant improvements have been made in key indicator parameters that reflect the operational status of security check, such as maximum queue length, facility capacity

收稿日期: 2023-06-16; 修回日期: 2023-06-23

基金项目: 国家重点研发计划课题项目(2020YFB1600701); 苏州市轨道交通集团科研项目(SZZG06YJ1050012)

第一作者: 曹凯(1991—), 男, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通运营管理, 邮箱: 358092765@qq.com.

matching degree, and inbound density index.

Keywords: urban rail transit; operational status evaluation; differentiated security check; configuration optimization

1 概述

国内城市轨道交通客运量保持持续增长趋势,致使车站服务压力越来越大,乘客进站的主要矛盾已经从售检票排队转移到安检排队。《智慧城轨发展纲要》提出,研究与城轨交通客流相适应的智慧安检,探索票检、安检合一的新模式^[1]。近年,国内一线城市如北京、上海、广州等已经开展了新安检模式的试点研究^[2-4],在此背景下,应当顺应局势,结合新安检模式对现有安检进行配置优化。

新安检模式在轨道交通领域的应用处于起步阶段,武汉地铁^[5]推出了“三位一体”智慧出行方案,使乘客无需刷卡就能快速通过安检进站;文献[6]提出了差异化安检的实施方案;文献[7]设计了地铁安检智能引导分流系统,有效提升了安检排队进站效率。本文以现有车站安检运行状态评价结果为依据,构建进站客流仿真模型,提出基于乘客分类的差异化安检模式,对现有安检进行配置优化,以期达到提升乘客进站效率的目的。

2 安检运行状态评价

轨道交通安检运行状态,本质上是指安检通道的运行状态,安检运行状态是指在乘客进站流线上,包含安检区域和与之密切关联的、共同服务于乘客进站的设施运行状态,通常包括走廊通道、安检机、检票闸机、楼扶梯等设施。

2.1 安检运行状态评价指标体系

本文认为,轨道交通车站安检运行状态主要体现在进站设施通畅性、能力协调性、安全性和服务水平等4个方面,针对早高峰进站乘客对车站的冲击,本文构建了如图1所示的安检运行状态评价指标体系。

2.1.1 设施通畅性指标

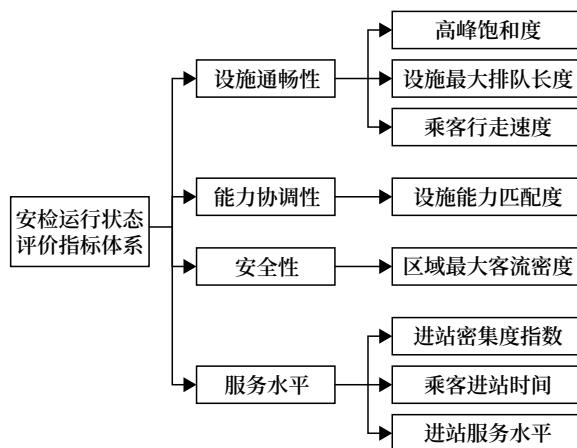


图1 安检运行状态评价指标体系

Fig.1 Evaluation indicator system for security check operational status

1) 高峰饱和度

高峰饱和度能够反映高峰期站内安检、票检等设施通行能力与客流量的匹配程度,可采用高峰时段设施客流量与设施通过能力的比值表示。计算方法如公式(1)所示。

$$\delta = \frac{Q_h}{C} \quad (1)$$

公式(1)中: δ 为高峰饱和度; Q_h 为高峰小时设施通过客流量; C 为设施实际通过能力。

2) 设施最大排队长度

安检、票检等通过型设施的最大排队长度,能够反映设施在面对大客流冲击时的通畅程度。乘客进入站厅后,安检区域最先受到冲击,如果安检通过能力有限,很容易产生拥堵,此外,检票闸机处、出站楼扶梯处同样容易产生排队。其计算方法如公式(2)所示。

$$q_m = \max_{t \in T} \{q_m^t\} \quad (2)$$

公式(2)中: q_m 为设施最大排队长度; t 为排队数据采集时刻; T 为仿真时段。

3) 乘客行走速度

用于描述乘客从进站到乘车行走速度的平均值,是反映乘客进站便捷性和流畅性的直观指标,其指

标值可通过仿真软件输出, 并根据指标评价阈值进行评价。

2.1.2 能力协调性指标

协调性指标可用设施能力匹配度表示, 具体来说, 设施能力匹配度是指同一进站(或出站)流线上相邻设施通行能力的匹配程度, 可用来衡量高峰期流线上各设施之间的匹配度, 如安检与闸机, 闸机与楼扶梯, 通道与楼梯等。计算方法如公式(3)所示。

$$\varphi = \frac{Q_i^a}{Q_i^b} \quad (3)$$

公式(3)中, φ 为不同设施能力匹配度; Q_i^a 、 Q_i^b 为设施 a 、 b 高峰小时客流量, $Q_i^a \geq Q_i^b$ 。

2.1.3 安全性指标

车站站厅属于公共区域, 必须把安全放在重要位置考虑。本文用区域客流密度来衡量安全性, 区域最大密度反映了设施区域内应对客流的短时冲击能力。最大客流密度计算方法如公式(4)所示。

$$\rho_m = \max_{t \in T} \{\rho_m^t\} \quad (4)$$

公式(4)中, ρ_m 为客流密度最大值; t 为密度数据时刻; ρ_m^t 为 t 时刻最大客流密度; 满足 $\rho_m^t = P^t / S_p$; T 为仿真时段; P^t 为 t 时刻区域内乘客数量; S_p 为区域有效面积。

2.1.4 服务水平指标

1) 进站密集度指数

密集度指数通过对车站客流强度、拥堵范围、拥堵持续时间进行综合评估, 能够直观反映进站客流分布状态和拥堵程度。该指标选择仿真时段进站核心区域(如安检、楼扶梯、站台)的客流密度, 并进行加权求和, 用来衡量进站流线整体拥堵程度。该指标以各关键区域平均密度加权得出整个进站流线的平均密度, 再除以密度阈值归一化得到进站密集度指数。具体计算如公式(5)所示。

$$P = 10 \times \frac{\sum_{j=1}^m t_j \times \alpha_j \rho_j}{\sum_{j=1}^n T \times \alpha_j \rho_j} \quad (5)$$

公式(5)中: P 为进站密集度指数; i 、 j 为各区域编号; n 为区域总数; m 为区域密度大于阈值的数

量; ρ_j 为区域 j 的平均密度, 满足 $\rho_j > \rho_0$, ρ_0 为密度阈值; t_j 为区域 j 在统计时间段内平均密度大于阈值的持续时间 (min); T 为仿真统计时段; α_i 、 α_j 为区域 i 、 j 权重系数, 可根据统计时段各区域客流量计算如公式(6)所示。

$$\alpha_i = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (6)$$

公式(6)中, Q_i 为仿真时段区域 i 客流量, $\sum_{i=1}^n Q_i$ 为所有区域客流量。

密度阈值 ρ_0 取值可参考 Fruin 服务水平标准^[8], 并结合国内实际选择 C 级服务水平上限值作为关键区域密度阈值, 即通道 0.72 人/平方米, 排队设施 1.538 人/平方米, 楼梯 1.08 人/平方米。

2) 乘客进站时间

乘客进站时间是指高峰小时乘客进站花费的总时间, 具体为乘客从进入车站系统经过一系列交通行为后到达站台花费的时间, 包括行走、安检、票检、等候、乘车等行为。乘客进站花费时间的长短能够一定程度上反映车站的服务水平。

3) 服务水平分级

设施服务水平是对乘客舒适度的综合评价, 一般可用行人占有空间表示。在国内国情下, 行人的交通流特性、出行习惯和心理生理因素同西方有着较大差别, 结合国外研究成果, 根据国内乘客特点和调研分析, 已有学者制订了适合国内国情的服务水平分级标准^[9], 如表 1 所示。

表1 国内行人服务水平分级标准建议值

Tab.1 Recommended values for pedestrian service level classification standards

服务水平	密度 / (人/m ²)	空间占据 / (m ² /人)	流量 / [人 / (min · m)]	速度 / (m/s)
A	< 0.2	> 5	25	1.1 ~ 1.5
B	0.2 ~ 0.28	3.5 ~ 5	32	0.9 ~ 1.1
C	0.28 ~ 0.5	2 ~ 3.5	45	0.8 ~ 0.9
D	0.5 ~ 0.83	1.2 ~ 2	62	0.7 ~ 0.8
E	0.83 ~ 2.5	0.4 ~ 1.2	90	0.5 ~ 0.7
F	> 2.5	< 0.4	波动	< 0.5

2.2 指标评价建议阈值

通过对比安检实际运行状态下不同指标的数值, 并参考相关规范, 本文将各指标分为良好、一般、

较差 3 级, 如表 2 所示。

表2 安检运行状态评价指标建议阈值

Tab.2 Recommended threshold for evaluation indicators of security check operational status

指标	良好	一般	较差
高峰饱和度	< 0.4	0.4 ~ 0.7	0.7 ~ 1.0
设施最大排队长度	< 50	50 ~ 100	> 100
乘客走行速度	0.9 ~ 1.5	0.7~0.9	< 0.7
设施能力匹配度	1.0 ~ 1.2	1.2 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0
区域客流密度	< 1.0	1.0 ~ 1.2	> 1.2
密集度指数	1 ~ 3	3 ~ 6	6 ~ 10
乘客进站时间 /s	< 300	300 ~ 500	> 500
服务水平	A 或 B 级	C 或 D 级	E 或 F 级

3 城市轨道交通差异化安检模式

差异化安检模式是实现智慧安检的必经之路。其主要思路是将进站乘客分类, 不同类型的乘客前往对应通道进行安检。因此, 乘客分类是差异化安检的前提, 本文将乘客属性分为 A、B、C、D 共 4 类, 具体如表 3 所示。

表3 乘客属性分类

Tab.3 Passenger attribute classification

乘客分类	行李数量	行李分类
A	无包	小型包: 包括手包、手提袋、雨伞、单肩包等单手携带的行李
B	小型包	小型包: 包括手包、手提袋、雨伞、单肩包等单手携带的行李
C	单个中、大型包 / 多个小型包	中型包: 双肩包、电脑包、旅行包、行李箱等单手携带的行李
D	大型包 / 多个中型包	大型包: 大型行李箱、编织袋等双手携带的行李

3.1 差异化安检通行模式

差异化安检采用快速通道和常规通道结合的方式, 该方法能够在保证安检质量的同时大幅提升乘客进站效率。但是, 差异化安检的实现需要具备若干前提。

1) 进站乘客分类: 通过实地调研, 统计不同类型乘客比例和通过安检时间。

2) 安检运行状态评价: 掌握目标车站的安检运行状态, 并针对评价结果进行针对性优化。

3) 乘客实名制系统: 运营方可在 APP 设置实

名认证模块, 乘客通过实名认证和生物信息录入, 同时关联地铁信用积分和支付方式, 系统将乘客信息写入业务数据库, 并按权限获取乘客数据。但是, 考虑到实名制普及的进程, 初期可增配一名安检员, 采用手持探测仪负责人身检查, 为乘客实名制系统实现提供过渡解决方案。

高峰时段进站客流主要为本地常客流, 出行时间和起讫点相对固定, 且多数携带小包或者无包, 因此常客流进站效率的提升是差异化安检模式实现的关键。不同类型进站乘客通行模式如下。

1) A 类乘客: 由于该类乘客无携带行李, 无论是否进行过实名认证, 可选择快速通道或常规通道直接通过安检。

2) B 类乘客: 已通过认证的 B 类乘客直接通过快速通道进站, 未认证的 B 类乘客则需要通过常规通道进站, 特殊地, 当验证失败或 C、D 类乘客错误进站时, 由安检人员引导进入常规通道。

3) C 类乘客: 该类乘客经过常规通道安检进站。

4) D 类乘客: 该类乘客数量较少, 需通过常规通道安检进站。

差异化安检模式乘客进站流程如图 2 所示。首先, 乘客需进行实名认证, 该环节可考虑接入第三方平台或者在地铁 APP 中设置实名认证模块; 其次, 乘客进站时, A、B 类乘客直接通过快速安检通道进站, 系统会同时比对乘客信息, 确保安检质量, 其他乘客需通过常规通道进行安检; 最后, 若判图机位提示或安检门报警, 乘客需前往人工台复核, 确认无误后刷卡进站乘车。

3.2 差异化安检布局方法

差异化安检的核心思路是通过乘客分流和安检机布局两个方面进行优化。乘客分流时, 采取铁马护栏将安检通道分为快速通道和常规通道, 如图 3 所示, 具体方案如下。

1) 安检通道分离

根据安检通道区域将其分为快速通道和常规通道两部分, 中间采用铁马护栏隔断, 可在通道入口

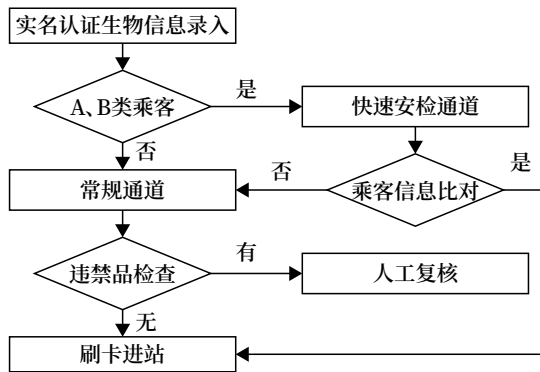


图2 差异化安检乘客进站流程

Fig.2 Passenger inbound process for differentiated security check



图3 差异化安检布局

Fig.3 Differentiated security check layout

处设置明显标志标牌。

2) 常规安检通道改进

现有安检队列采用单侧方案，乘客到达时间是泊松过程，服务时间服从指数分布，若想降低乘客安检排队长度、缩短排队总时间，可采用降低乘客达到率或增加设备平均服务率的方法实现。

通过移动安检机，将常规安检通道分为两路，判图机位移至安检机末端横向布置，使得乘客到达率减半，且安检服务率不变，显著提升通行效率。

3) 快速安检通道布局

快速通道入口需设置显著提醒标识，通道内部

设置安检门，门侧加装识别设备，并配置一名安检员随机服务。快速通道需与常规通道错位布置并设置单向门，若乘客识别失败则引导进入常规通道安检。

4) 安检人员配备

在差异化安检模式中，每个安检机至少配置3名安检员，与现有配置保持一致。其中，一名负责判图，一名负责行李复核，一名负责快速通道指引。

在实际应用过程中，并不是所有站点都适合采用差异化安检模式，针对空间受限或者高峰客流远超出通行能力的站点，则需要优先采用限流等措施避免系统瘫痪。

4 实例分析

本文以南京地铁天润城站为例，对比优化前后安检运行状态和安检通过效率提升情况，验证差异化安检模式的有效性。

4.1 车站概况及模型建立

天润城站为典型的居住型车站，工作日客流量巨大，早高峰排队情况严重，故选取该时段为优化对象。站厅层平面布局如图4所示，站厅整体呈对称式布局，进站闸机组、出站闸机组和安检区域均为2组。根据实地调研统计，工作日早高峰平均进站客流超过7000人次，最大客流量超过8000人次，模型采用进站客流量为8000人次/小时；进站乘客方面，根据统计的736个有效样本，A类乘客占比23%，B类乘客占比42%，C类乘客占比32%，D类乘客占比3%；安检通过时间方面，A类乘客为3.29s，B类乘客为8.8s，C类乘客为10.59s，D类乘客为15.86s，以此数据作为仿真建模的依据。

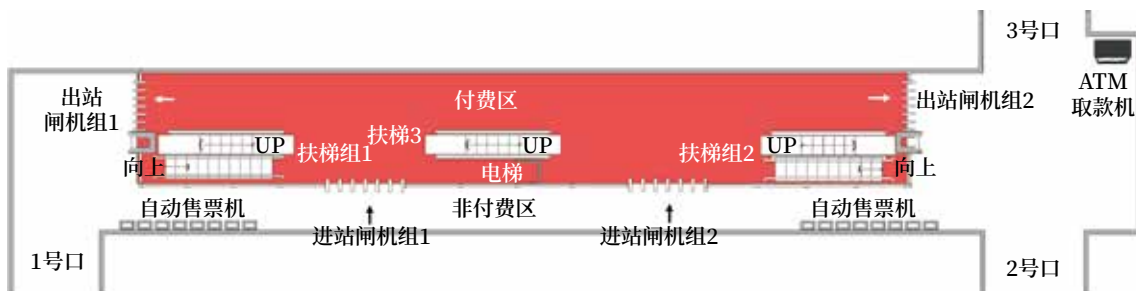


图4 站厅平面布局

Fig.4 Station hall layout

仿真建模采用 Anylogic 软件, 根据车站实景建立仿真物理环境, 模型效果如图 4 所示。乘客进站流程需要分别建立现有安检模式和差异化安检模式两种, 乘客进站逻辑可通过适配不同类型乘客的通道选择来实现。安检通过效率可以根据优化前后乘客通过数量对比来衡量。

4.2 安检运行状态对比分析

利用进站客流仿真模型, 根据安检运行状态评价指标体系, 对比优化前后指标评价结果, 获取进站效率提升情况。在运行模型后, 站厅客流密度保持持续高位, 但是采用差异化安检模式后, 安检通道队列变得井然有序, 客流密度如图 5 所示。

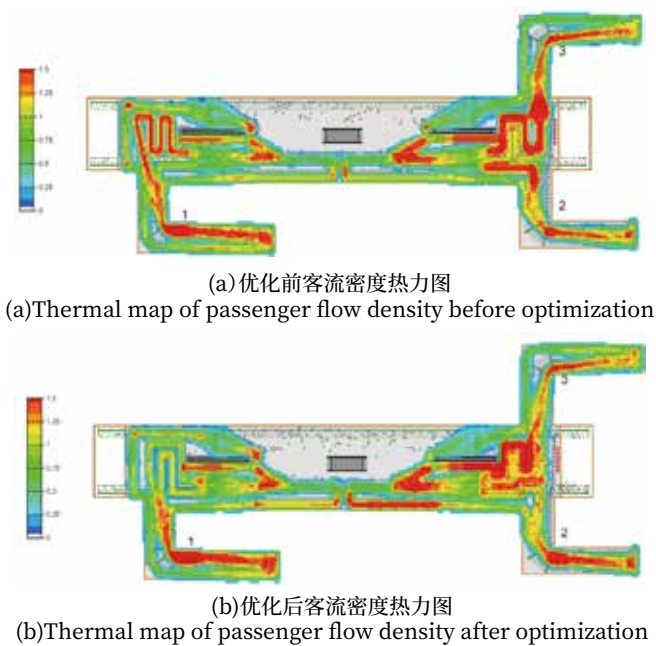


图5 优化前后客流密度热力图对比
Fig.5 Comparison of thermal maps of passenger flow density before and after optimization

4.2.1 通畅度指标对比分析

1) 高峰饱和度

按照仿真数据分别计算安检和闸机处优化前后高峰饱和度, 现有安检配置两侧安检处饱和度相对较高, 采用差异化安检模式后, 西侧安检高峰饱和度从 0.62 提升为 0.66, 中间安检提升为 0.54, 东侧安检从 0.81 提升为 0.97, 更加接近其理论通过能力。

2) 设施最大排队长度

如图 6 所示, 在采用差异化安检模式后, 两侧排队长度明显缩短, 西侧最大排队长度由 77 人缩短为 45 人, 评价结果为良好, 东侧由 170 人缩短为 87 人, 评价结果提升为一般。

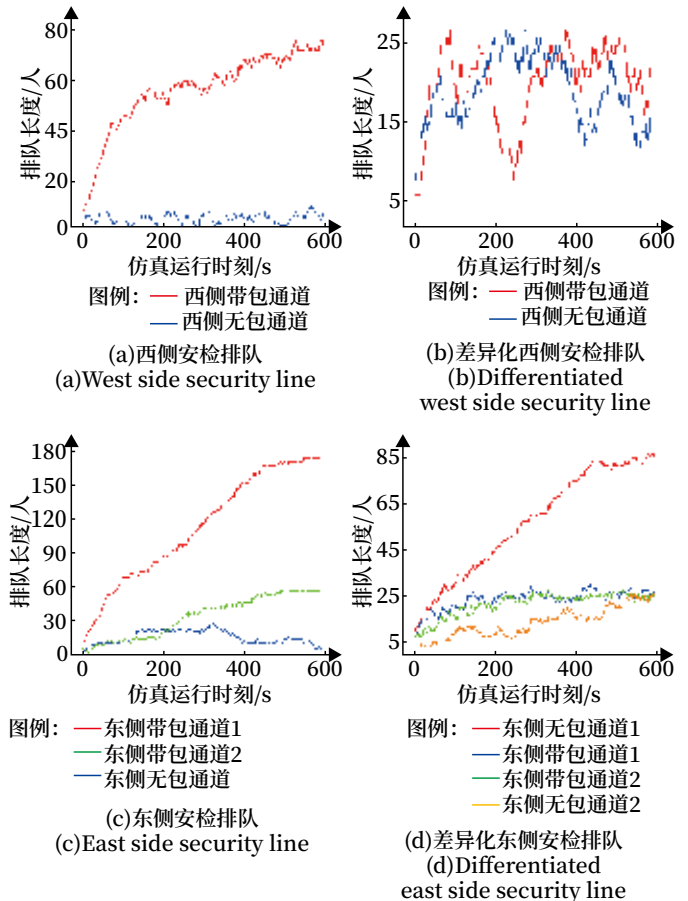


图6 优化前后安检排队长度对比
Fig.6 Comparison of queue lengths for security checks before and after optimization

3) 乘客行走速度

优化后乘客行走速度由 0.75 m/s, 降低为 0.61 m/s, 评价结果由一般降低为较差。

4.2.2 协调性指标对比分析

现有安检配置中, 安检与闸机、闸机与楼梯间通过人数接近, 协调性指标在 1.0 ~ 1.2 范围内, 指标评价等级为良好; 而两侧进站通道与安检通过人数相差较大, 协调性指标分别为 1.22 和 1.29, 评价结果分别均为一般。不难发现, 很可能是由于

安检的通过能力限制了乘客进站，导致乘客在安检区域大量堆积。在采用差异化安检配置后，两侧进站通道和安检协调性指标由一般提升为良好，证明优化措施奏效。

4.2.3 安全性指标对比分析

在采用差异化模式后，西侧安检密度由 2.10 降低为 1.72，东侧安检区域密度由 3.50 降为 2.70，虽然评价结果不变，但从整体来看，区域内乘客走行顺畅，有效缓解了乘客进站拥堵，图 5 的密度图也佐证了这一点。

4.2.4 服务水平指标对比分析

1) 进站密集度指数

密集度指数用于衡量进站客流拥挤程度，现有进站密集度指数 $P=6.033$ ，评价结果为较差；在采用差异化安检模式后，再次计算权重系数、区域客流密度等参数，进一步计算密集度指数，得到优化后进站密集度指数由 6.03 降低为 5.16，相应的评价结果由较差提升为一般。

2) 乘客进站时间

从进站时间来看，优化前后 3 个进站口整体时间接近，均在 500 s 以内，评价结果为一般。但是优化后的进站人数明显增加，说明优化后乘客进站效率明显提升，达到了预期的目标。

3) 进站服务水平评价

根据乘客在车站中的平均速度作为车站进站服务水平的评价依据。对比表 1 中分级标准，其服务水平为 D 级，而优化后服务水平仍维持在 D 级，评价结果为一般。

4.2.5 综合评价结果对比分析

通过汇总安检运行状态评价结果，能够得到制约乘客进站效率的关键区域，4 种评价指标结果如表 4 所示。

现有安检模式在高峰期的安检运行状态评价结果保持在一般水平以下，指标结果较差的设施位置均为东西两侧安检部位。在采用差异化安检模式后，其中关键指标如最大排队长度、设施能力匹配度、最大客流密度和进站密集度指数均有了明显改善。

表4 差异化安检模式优化前后评价指标结果

Tab.4 Evaluation indicator results of differentiated security check mode before and after optimization

评价指标	指标内容	设施位置	优化前指标值	优化后指标值	优化前评价	优化后评价
通畅度指标	高峰饱和度	西侧安检	0.62	0.66	一般	一般
		中间安检	0.47	0.54	一般	一般
		东侧安检	0.81	0.97	较差	较差
	最大排队长度	西侧安检	77 人	45 人	一般	良好
		东侧安检	170 人	87 人	较差	一般
	乘客行走速度	—	0.75 m/s	0.61 m/s	一般	较差
协调性指标	设施能力匹配度	西侧进站通道与安检	1.22	1.17	一般	良好
		东侧进站通道与安检	1.29	1.18	一般	良好
安全性指标	最大客流密度	西侧安检	2.10 人/m ²	1.72 人/m ²	较差	较差
		东侧安检	3.50 人/m ²	2.70 人/m ²	较差	较差
服务水平指标	密集度指数	进站流线	6.03	5.16	较差	一般
	乘客进站时间	进站流线	487 s	476 s	一般	一般
	进站服务水平	进站流线	D 级	D 级	一般	一般

4.3 安检通过能力比较

安检通过能力以两侧通过安检的客流量统计结果为准，优化前安检通过能力为 1 085 人，优化后通过能力为 1 237 人，乘客整体进站效率提升了 14.0%，达到了优化的目的。同时，西侧安检和中间安检高峰饱和度分别为 0.66 和 0.54，二者通行能力有待挖掘，运营方可以通过将进站乘客引导至 1 号口进站，进一步提升进站效率。

5 结束语

本文主要针对高峰时段进站客流拥堵现状，构建了安检运行状态评价指标体系，提出差异化安检模式，并结合实例进行仿真优化研究。结果表明：

第一, 现有安检配置方案很难满足高峰时段乘客进站需求; 第二, 基于差异化安检模式的优化方案能够使高峰时段乘客进站效率至少提升 14.0%, 并且反映安检运行状态的关键指标参数, 如最大排队长度、设施能力匹配度和进站密集度指数等有了很大改善。本文研究有助于差异化安检模式的普及, 为运营方安检优化方案的制定提供参考。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要 [J]. 城市轨道交通, 2020 (4): 8-23.
- [2] 孙宏阳. 提高通行能力 北京地铁将试点实名常乘客快速进站服务 [EB/OL]. (2022-04-06) [2023-06-16]. <https://capital.huanqiu.com/article/47UeHS3ekDv>.
- [3] 林凡雨. 轨道交通智慧安检实现路径研究: 基于“滤波”安检的探讨 [J]. 铁道警察学院学报, 2020, 30 (2): 17-22.
Lin Fanyu. Approach to Realizing the Smart Security Inspection in Rail Transit System-Case Study of the Filter-Based Security Check[J]. Journal of Railway Police College, 2020, 30(2): 17-22.
- [4] 张森, 朱志伟, 湛维昭, 等. 广州市“智慧地铁”研究与实践 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (11): 19-26.
Zhang Sen, Zhu Zhiwei, Zhan Weizhao, et al. Research and Practice of Guangzhou Rail Transit “Smart Metro”[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 19-26.
- [5] 华为技术有限公司. 构建智慧轨道交通, 华为携手武汉地铁打造“无感出行” [J]. 城市轨道交通, 2021 (9): 54-55.
- [6] 宋晓, 张宁, 马卫东, 等. 城市轨道交通差异化安检实施方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 57-61.
Song Xiao, Zhang Ning, Ma Weidong, et al. Implementation Scheme of Differentiated Security Check for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 57-61.
- [7] 丁小兵, 史淦, 洪晨, 等. 地铁安检客流智能引导及组织优化方法研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2023, 23 (1): 123-130, 164.
Ding Xiaobing, Shi Gan, Hong Chen, et al. Intelligent Guidance and Organization Optimization of Subway Security Inspection Passenger Flow[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2023, 23(1): 123-130, 164.
- [8] Fruin J J. Designing for Pedestrians: A Level-of-Service Concept[J]. Highway Research Record, 1971, 355(12): 1-15.
- [9] 田龙. 基于 Anylogic 仿真的地铁三线换乘站客流组织服务水平分析评价 [D]. 西安: 长安大学, 2022.

广告索引

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司
上海锦申铁道科技有限公司

封面
封三

城市轨道交通车站客服新模式探讨

李 健, 毛新德, 刘英杰, 黄 健

(山东交控科技有限公司, 济南 250000)

摘要: 以城市轨道交通车站客服为对象, 总结车站客服发展 3 阶段的特征, 基于新时代背景下品质出行的服务主旨, 分析既有车站客服体系在服务最后一米执行中的不足, 以保障乘客在服务节点上的质量为目标, 充分利用智能系统、智能装备, 提出线上线下一体、站厅站台协同的车站客服解决方案及其系统构成, 并对新模式下客服系统带来的业务逻辑变更及应用效益做简要分析。

关键词: 城轨交通; 车站客服; 新模式; 品质出行

中图分类号: U293

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0074-05

Discussion on New Mode of Passenger Service of Urban Rail Transit Stations

Li Jian, Mao Xinde, Liu Yingjie, Huang Jian

(Shandong Traffic Control Technology Co., Ltd., Jinan 250000, China)

Abstract: Based on the service subject of quality travel in the new era, this paper summarizes the characteristics of three stages of station passenger service development, analyzes the short comings of the existing station passenger service system in the last meter of service execution. Aiming at ensuring the quality of passengers in the service execution, it makes full use of intelligent systems and intelligent equipment, and proposes a station passenger service solution and the system composition, which integrates online and offline and coordinates station hall and platform. And the business logic changes and application benefits brought by the passenger service system under the new model are briefly analyzed.

Keywords: urban rail transit; station passenger service; new mode; quality travel

中国城市轨道交通的发展经历了起步探索、缓慢发展、快速发展、高质量发展的阶段, 不同阶段运营的指导思想、工作重心以及管控模式都存在差异, 当前的运营核心正在由以运行为主转向以服务为主^[1-2], 车站客服在此过程中也经历了从服务乘

客乘车、服务乘客便捷乘车到服务乘客品质舒适乘车的过渡, 车站客服随着运营阶段化发展的阶段如表 1 所示。

不同发展阶段下形成的服务模式决定了车站服务人员的岗位任务构成, 同时也对车站的服务能力提出了不同的要求, 车站客服的需求已逐步从单一的运营端、乘客端交互服务转向两端结合, 新时代背景下为满足乘客品质出行, 学者们也在不同维度上进行积极探索与实践。

收稿日期: 2023-07-05; 修回日期: 2023-10-30

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2020YFB1600703)

第一作者: 李健(1994—), 男, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通服务智慧化, 邮箱: 13919102597@163.com。

表 1 车站客服发展阶段

Tab.1 Station passenger service development stages

特征	第一阶段	第二阶段	第三阶段
服务主旨	乘车出行	便捷出行	品质出行
服务需求	有人服务—运营侧	自助智能服务—乘客侧	精准智慧服务—乘客+运营侧
服务模式	人工服务	人机协同	机器执行, 人工监管
服务任务	主要以票务如售票、补票、兼照顾问	TVM 实现票务自助, 人工处理票卡异常、自助机使用引导、问询	线上+自助设备实现服务自助化精准化, 人工监视补充优化服务
服务要求	人员: 单一技能 设备: 单一功能	人员: 技能一主多辅 设备: 智能化、自助化	人员: 多维度服务技能 设备: 多元集成、智慧化

1 车站客服智能化现状

随着国内城市轨道交通线网规模的持续扩大和人民出行品质要求的逐步提升, 以满足乘客新时代需求的服务成为轨道交通车站运营工作的中心。张森等以城市轨道交通运营中人工服务任务为对象, 提出新时代背景下充分利用互联网+技术实现线上/线下一体化的城轨智能服务模式^[3]; 瞿锡成等以车站票务中心为对象, 利用语音识别、图像识别等 AI 技术赋能票务、问询等设备以实现车站智能客服的目标^[4]; 陈光华结合上海地铁车站服务中服务提供渠道单一、自助式服务手段少、服务人群覆盖面不足的主要问题, 开展了服务中心智慧化升级改造^[5]; 付宝明等以客服智慧化为基础, 提出了与智慧乘客服务相匹配的乘客服务体系, 对智能客服体系下的运营人员岗位职责做了相应的说明^[6]; 董明明等通过对智能客服中心的服务应用研究提出了扩展失物招领、意见收集的业务^[7]。

针对既有车站客服存在人工服务效率低、服务质量不高、服务能力受限等问题, 学者们从不同维度上提出了多种解决方案, 这些方案在一定程度上满足了乘客的部分需求。但这些解决方案大多以既有票务服务中心任务为对象, 以与乘客直接交互的服务为主体进行智能化、智慧化建设^[8], 而较少考虑间接的服务——运营支撑服务的智能化建设, 单

从乘客交互侧或运营服务侧提供智能化、自助化服务方案, 割裂了服务的整体性、连贯性。从乘客与运营两侧梳理服务需求, 进而构建协同一体的车站客服模式是当前亟需解决的问题。

2 车站客服需求分析

新时代下乘客不仅要“走得了”, 还要“走得好”, 尤其针对当前部分车站已配置了智能化装置, 服务能力已经具备, 但服务的精细度、服务的主动性仍有待提高, 服务人员的利用及服务效率有待提高。

2.1 乘客端需求

在乘客出行链的基础上, 以乘客为对象, 基于乘客对车站出行信息认知的深度将其划分为常乘客和临时乘客两类, 其中常乘客主要指通勤乘客, 临时乘客主要包括游客、商务乘客等。基于出行的时空过程, 划分为出行前、地铁出行中、出站后 3 大阶段, 不同阶段分别对应到车站的不同区域。以区域上的功能部署分析不同乘客在不同阶段的需求, 如图 1 所示。

在分析乘客全时程需求的基础上, 实现乘客服务质量的提升还需解决服务的“最后一米”问题, 即对每个垂直方向上服务质量的保障, 主要表现在服务的及时性(不同区域的服务快速感知及时服务)、主动性(针对特殊人群、异常行为的乘客主动出击)、便捷性(服务获取的流程少、服务操作方便、服务过程效率高)、精准性(服务内容、服务信息的准确)4 个方面。

2.2 运营端需求

当前车站运营服务人员包括站厅与站台的站务员, 工作内容主要包括乘客服务和运营组织, 其中乘客服务是直接服务, 运营组织服务属于间接乘客服务。本文充分考虑服务的整体性与协同性, 以运营端的乘客服务和运营组织为对象, 分析车站运营人员在服务过程中的直接与间接需求。

在乘客服务方面, 其工作内容包括: 人工及辅助自动售补票等票务工作、乘客问询帮助等服务工作。随着智慧车站、智慧服务的建设, 自动化、智能化设备及系统在车站客服中得到了广泛应用, 乘客服

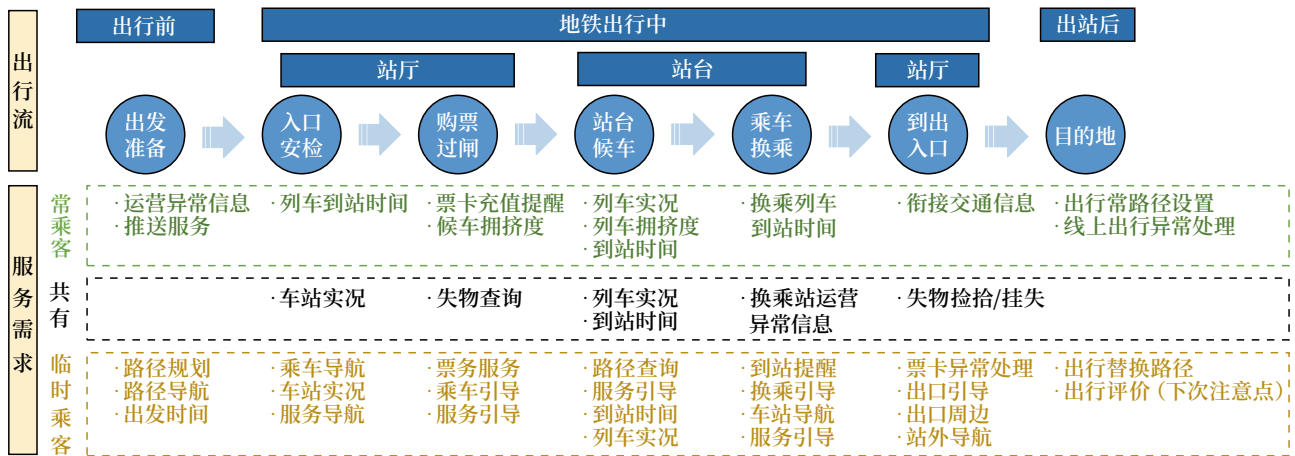


图1 乘客全时程出行链
Fig.1 Passenger full-time travel chain

务工作也由以票务为主转变为以咨询为主，工作内容简单重复，服务人员负荷呈现潮汐失衡状态，如何提高服务效率、均衡服务人员负荷、提升服务质量是新时代服务模式在乘客服务方面需要解决的问题。

在运营组织方面，其工作内容包括：服务设备异常处置、服务设备开关控制，服务设备状态查看等工作以及在应急状态下的乘客问询疏导、设备操控等工作。运营服务人员作为现场的执行人员，需要及时发现并确认设备的现场情况，因此设备的故障信息获取对于故障处置效率来说尤为重要，而当前信息主要以被动获取为主，主动获取渠道范围有限。随着服务设备的数量增多和功能增强，运营人员需要处理的问题也在逐步上升，如何提高运营人员对服务设备的主动性（包括主动监视、主动发现、主动维护等），是新时代服务模式在运营组织方面需要解决的问题。

3 车站智能客服新模式

针对当前车站乘客服务智能化程度不高、服务自助化不足、运营服务单人单项任务、特定服务指定办理、乘客服务与间接服务分离的服务模式所带来的大量重复性高的人工操作、人员服务效能低、服务不主动、不及时等问题，充分利用人工智能、大数据等技术部署无人化、一体化、智能化装备，通过横向的服务提供与纵向的服务执行相结合，共

同构建主动高效的智能客服新模式。

3.1 解决方案

从横向服务提供层面，主要解决乘客便捷自助服务，由线上的小程序或 APP 以及线下的智能化自助设备设施构成。其中线上服务范围贯穿乘客出行链，提供各类线网级实时信息的查询，与纵向服务点互为补充，其功能针对乘客在出行前、出行中、出行后的需求分别给予对应，如表 2 所示。线下服务主要由车站区域特征构成，包括票务自助设备、客服机器人、召援自助设备，其中票务自助设备主要解决乘客购补票、票卡异常、票卡查询等问题；客服机器人主要解决乘客多维度信息查询与咨询问题；召援自助设备主要解决乘客在智能设备无法解决需求以及紧急情况下的快速求助；通过提供线上线下的票务、信息查询、召援的协同应用保证乘客能从多个渠道获取服务。

从纵向服务执行层面，通过在车站的站厅站台设置智能服务中心并为其配置相应的智能设备与智能系统扩展运营服务人员的感知与服务执行能力。

在乘客服务主动性、及时性方面，智能服务中心给出的解决方案包括：1) 从监视层面即信息获取阶段，提供重点区域的 CCTV 监控，以及针对车站异常行为（大件行李、打架斗殴等）的感知，做到主动辨识风险因素提前做好准备，将之前的被动服务转换为主动服务，此外还包括对车站实时客流信

表2 小程序功能

Tab.2 Function of mini-apps

阶段	出行前	出行中	出行后
功能	1. 爱心预约 2. 团体出行 3. 电子发票 4. 线网公告	1. 路径规划 2. 设备设施查询 3. 出入口及周边信息 4. 一体化导航	1. 失物招领 2. 物品寄存 3. 电子延误证明 4. AED应急联动
		1. 我的预约 2. 个性化推荐 3. 改进建议 4. 实名注册	

息的监控；2) 从操作层面即执行阶段，结合 CCTV 的监视情况，为实现更好、更大范围上的服务，站务员可在平峰期巡视阶段关注非 CCTV 监视区域，做到监控和服务的全面覆盖。

在间接服务高效协同运营组织方面，智能服务中心给出的解决方案包括：从监视层面即信息获取层面，提供重点设备的状态监控，做到设备状态实时感知，发生异常情况能够主动出击前往确认。从站务员角度来说该配置能够为其提供更加直接的信息输入；同时从综控员角度来说，站务员取代了其站厅/站台层设备监视的任务，综控员因此能够更加集中于全站的统筹监视，两岗之间的协同处置大大提升了运营效率，具体的配置情况如表 3 所示。

表3 智能客服中心配置

Tab.3 Intelligent passenger service center configuration

区域	站厅智能客服中心	站台智能监察服务中心
服务特征	票务 + 问询 + 设备监视	问询 + 设备监视 + 行车监视
乘客服务	智能自助票务服务；智能自助问询服务；半自动 BOM 服务；失物招领服务；人工综合信息查询服务；乘客召援响应	智能自助问询查询；失物招领服务；人工综合信息查询服务；乘客召援响应
客运组织	站厅 CCTV 智能监视；站厅服务设备状态监视；站厅广播控制	站台 CCTV 智能监视；站台服务设备状态监视；站台广播控制；列车运行状态监视

3.2 业务关系

新模式下综控室与智能客服中心的业务关系如图 2 所示。为了提高运营服务人员的主动性、服务效率和能力，智能客服中心配置了 CCTV、设备状态、客流状态监视等功能，新模式下站务员新增了部分工作，而该部分工作内容与综控室职责存在交叉，因此随着客服新模式的设置，车站运营岗位职责也需要发生相应的变动。智能客服中心为综控室分担了部分工作，鉴于综控室 24 h 双人值岗、空间独立安静的特征，综控室在日常状态下应更多的提供后台人工服务，以减少现场级的在线人工服务。

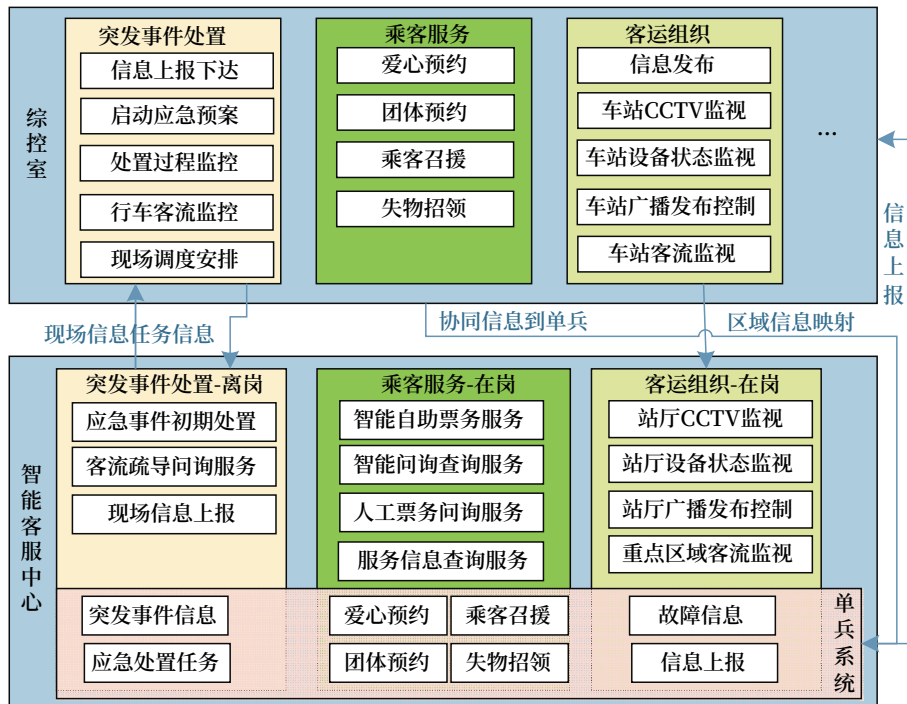


图2 综控室与智能客服中心的业务关系

Fig.2 Relationship of station control room and intelligent passenger service center

3.3 效益浅析

在车站智能客服新模式下，通过票务与查询装备的自助化，降低了运营服务人员日常单一重复性的工作量，增加了人员自主可控的时间。结合运营组织监视系统，合理利用乘客服务与运营服务的衔接关系，均衡了运营服务人员的工作负荷，提高运营服务人员的服务效率，降低了突发事件的处置时间，对车站的乘客服务和运营服务有了更高的主动性。在乘客端，通过更加全面、及时、主动的服务，提高了乘客出行的便捷性，舒适度和出行品质，降低了乘客投诉的概率。

4 总结

人民生活水平的不断提高，对地铁出行质量也提出更多的要求。本文从乘客出行链梳理乘客全时程出行需求，以车站站厅/站台为纵向服务执行节点，以直接与间接服务为切入点，以服务的及时性、便捷性、精准性、主动性为目标，在满足乘客全时程服务应用提供的基础上，提出了车站客服中心业务新模式，在提出解决方案的同时也梳理了新模式下的业务变更关系，为后续的应用落地提供借鉴。以乘客为中心的运营模式是国内轨道交通发展的必然趋势，是城市轨道交通高质量发展的必经之路。

参考文献

- [1] 谢正光, 魏运. 新时代我国城市轨道交通运营新模式探讨 [J]. 都市快轨交通, 2022, 35(1): 54-59.
Xie Zhengguang, Wei Yun. New Modes of Urban Rail Operations in the New Era of China[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(1): 54-59.
- [2] 北京市地铁运营有限公司. 首都智慧地铁发展白皮书(2020版) [R]. 北京: 北京市地铁运营有限公司, 2020: 11-35.
- [3] 张森, 于敏. 基于“互联网+”的城市轨道交通乘客智能服务模式探讨 [J]. 都市快轨交通, 2021, 34(3): 146-152.
Zhang Sen, Yu Min. Passenger Service Mode of City Rail Transit Based on Internet Plus[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(3): 146-152.
- [4] 瞿锡成, 王二中, 陆培庆. 苏州轨道交通车站智能客服系统研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(5): 84-87.
Qu Xicheng, Wang Erzhong, Lu Peiqing. Research on Station Smart Customer Service System of Suzhou Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(5): 84-87.
- [5] 陈光华. 互联网时代地铁车站客服中心智慧服务对策 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(8): 6-10.
Chen Guanghua. Smart Service Strategy for Metro Station Service Center in the Internet Era[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(8): 6-10.
- [6] 付保明, 梁君, 张宁, 等. 基于智慧客服的城市轨道交通乘客服务体系 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11): 76-81.
Fu Baoming, Liang Jun, Zhang Ning, et al. Passenger Service System Based on Intelligent Customer Service for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 76-81.
- [7] 董明明, 王中堂. 城市轨道交通智能客服中心多服务应用与拓展研究 [J]. 现代信息技术, 2020, 4(19): 112-115.
Dong Mingming, Wang Zhongtang. Research on Multi-Service Application and Expansion of Urban Rail Transit Intelligent Customer Service Center[J]. Modern Information Technology, 2020, 4(19): 112-115.
- [8] 陈华龙, 廉文彬, 贺晓聪. 面向京张高铁智能客服创新研究与实践 [J]. 铁路计算机应用, 2021, 30(9): 55-59.
Chen Hualong, Lian Wenbin, He Xiacong. Research and Practice of Intelligent Customer Service Innovation for Beijing-Zhangjiakou High-Speed Railway[J]. Railway Computer Application, 2021, 30(9): 55-59.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.11.014

基于接触网扩展监测的 区间综合智能检测研究

于秋波, 韩朝建, 张晓飞, 王宝顺, 陈 振, 倪国政

(天津津铁供电有限公司, 天津 300000)

摘要: 针对当前轨道交通对智能检测的需求, 强化科技创新对轨道交通的支撑作用, 要将新技术前瞻性地应用到地铁建设及运营领域, 提高运维能力。鉴于当前区间设备状态监控的方法有限, 传统的人工测量方法效率低, 准确性差, 详细阐述采用不同智能化检测手段, 解决环网电缆隐性缺陷难发现、区间无线通信系统场强不能连续测量、异物侵限影响大的问题。该研究提高测量精度与效率, 提前发现并组织解决异常问题, 提升区间设备的安全性。

关键词: 智能检测; 轨道交通; 精度与效率; 安全性

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0079-06

Research on Section Comprehensive Intelligent Detection Based on Extended Monitoring System of OCS

Yu Qiubo, Han Chaojian, Zhang Xiaofei, Wang Baoshun, Chen Zhen, Ni Guozheng

(Tianjin Jintie Power Supply Co., Ltd., Tianjin 300000, China)

Abstract: In response to the current demand for intelligent detection in rail transit, we need to strengthen the support role of technological innovation in rail transit, and apply new technologies to the field of subway construction and operation in a forward-looking manner to improve operation and maintenance capabilities. In view of the limited methods of current section condition monitoring and the low efficiency and poor accuracy of traditional manual measurement methods, this paper elaborates in detail on the use of different intelligent detection methods to solve the following problems: the hidden defects of ring network cables are difficult to detect; the field strength of the wireless communication system in subway tunnels cannot be continuously measured; the impact of foreign object intrusion in subway tunnels is significant. This study can improve measurement accuracy and efficiency, detect and solve abnormal problems in advance, and improve the safety of section equipment.

Keywords: intelligent detection; rail transit; accuracy and efficiency; safety

收稿日期: 2023-07-11; 修回日期: 2023-11-09

第一作者: 于秋波 (1985—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通供电系统, 邮箱: yuqiubo2004@163.com.

本文以天津地铁6号线为例,详细介绍地铁区间综合智能检测系统。该系统在既有接触网检测车上实施功能扩展改造,增加供电电缆红外温度检测、无线场强检测、限界检测等功能,实现基于接触网检测车为主体的6号线区间综合智能检测功能。

1 系统构成

基于接触网检测车平台搭建一套综合检测系统,包括人机交互设备、检测服务器、环网电缆红外测温系统、区间设备限界检测系统、无线专网场强检测系统,离线数据管理系统等组成部分。系统结构如图1所示。

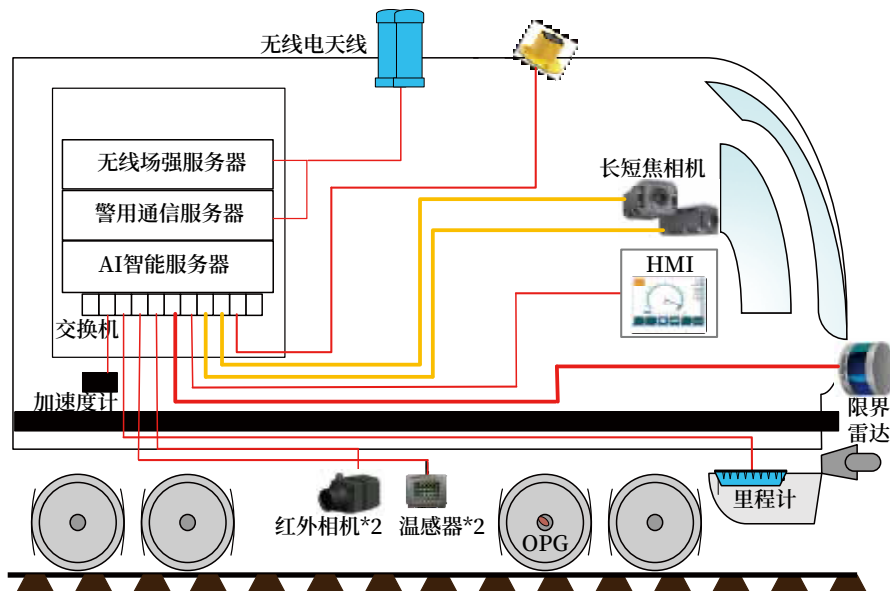


图1 基于接触网检测车的综合检测系统

Fig.1 Comprehensive detection system based on catenary inspection vehicle

2) 检测方法

红外相机自动对焦,对沿线路敷设于疏散平台下方的供电环网电缆进行红外成像。

分析软件能够读取红外相机拍摄的红外图像并进行形态分析。通过算法处理,分割出图像中供电电缆成像区域;同时通过采集轨旁设备的感温元件的温度,对电缆接头处的温度进行精确采集。

检测系统对供电电缆成像区域进行深度分析处理,形成温度梯度分布信息,进一步确定电缆温度并生成曲线图。

依据系统设定的阈值(可修改)做出判断,超

2 检测方案

2.1 环网电缆红外温度及传感器检测

1) 设备构成

供电电缆温度检测系统由两组红外相机配合定点温度传感器无线采集的方案构成:在检测机车两侧各安装一组红外相机及配套的检测装置;红外相机及检测装置安装在车头两侧距离轨面70 cm高度的侧方位置,相机角度朝向侧面;红外相机像场及焦距经过校准,完全覆盖隧道侧壁供电电缆的安装区域;设备安装确保不侵入设备限界。

标点位输出报警信息在人机界面上显示,同时显示测量值、里程位置以及实时图像等信息。

系统通过对比历史测量数据,将相同位置两次检测的数据信息做对比,发现温度变化超出设定值的点,能产生报警。

系统能够实时存储检测的各项数据,便于查询分析时使用。

2.2 限界检测

1) 设备构成

限界检测系统由激光雷达、相机组合、水平测

量装置以及其他配套的机械、电气装置构成。激光雷达用于对隧道进行扫描,生成雷达点云数据;相机组合可观察激光雷达的视野盲区,同时用于识别限界内是否有人闯入,保证人身安全;水平测量装置用于确定车辆的水平姿态,形成准确的限界检测区域,限界检测效果如图2所示。

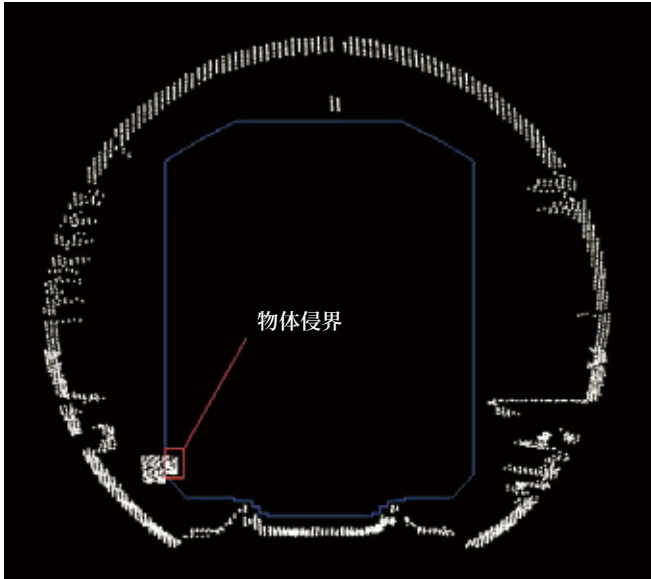


图2 限界检测效果示意
Fig.2 Schematic diagram of clearance detection effect

雷达和相机组合安装在检测车车头位置,且不影响机车连挂作业。

水平测量装置安置在检测机车内部,且不影响既有设备正常工作。

设备安装确保不侵入设备限界。

2) 检测方法

激光雷达能够实现360°限界检测。

能够对限界检测参数进行设定,确定雷达侵限检测的区域。

在检测工作前,需向系统输入基础数据库。基础数据库需结合6号线线路实际情况建立,应适应隧道曲线、坡度等变化情况下的精确检测,基础数据库需预留扩充空间,以备线路延长后能够实现全线的检测。

检测系统对雷达检测的数据以及水平检测装置的数据进行判断处理,确定侵限检测区域内是否存在障碍物。

当检测到障碍物时能够产生报警,同时在人机界面上显示障碍物侵限的数量、尺寸,空间分布、里程位置及实时图像等详细信息。

系统能够对比历史测量数据,将相同位置两次检测的数据信息做对比,发现侵入量发生变化的点,并能产生报警。

系统实时存储侵限检测的各项数据,便于查询分析时使用。

经典的点云降噪技术是采用kd-tree配合K-means聚类算法,但当前技术的点云和噪声行为仍然混有物体点云数据中的小噪声点和噪声,无法删除。相比之下,常用的基于云数据与欧氏距离相对密度的方法将其剔除,影响了后续3D模型坡度重新搭建的精度,必须直接解决。点云数据集是一组没有拓扑连接的坐标位置。通过多边形滤波能够求出点云法向量以及折射率,但点云模型尖锐区域差异并不突出,这也导致了过桥问题。本文的主要参数是采样点的折射率 ω_i ,增加多边形滤波器的系数以提高特征保留,并用于非离群噪声点的平滑。

表面法线是几何表面的一个重要属性。通过拟合点云的局部表面,能够很好地估算法向量。本文通过主成分分析来估算法向量。首先,对采样点进行近邻搜索,得到 k 个邻近点来代替点 p_i 的局部表面 S ,即 $p_i \in S$,由相邻点形成的协方差矩阵 C 如公式(1)所示。

$$C = \frac{1}{k} \sum_{p_i \in N(p_i)} (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T \quad (1)$$

公式(1)中: $\bar{p} = \frac{1}{k} \sum_{p_i \in N(p_i)} p_i$,协方差矩阵 p_i 的3个特征值分别为 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$,点云局部表面的法向量 n_i 就是最小的特征值所对应的特征向量 p_i ,然后将法向量的方向统一按照直线,以保证法向量方向的一致性。

点云中任意采样点的曲率可以通过拟合该点及其邻域的局部曲面的曲率来表示,并通过主成分分析法估算,该点曲率如公式(2)所示。

$$w = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2} \quad (2)$$

双向过滤因子取决于邻域信息。如果点云模型的局部区域很尖锐，就会很难区分采样点的法线方向，而无法准确发现噪声。为优化采样点的邻域，提

高噪声点搜索的精度，本文采用采样点的曲率作为参数来优化双边滤波因子，如公式(3)所示。

$$\alpha_i = \frac{\sum_{p_j \in N(p_i)} W_{\sigma_c}(\|p_i - p_j\|) W_{\sigma_s}[\|1 - (n_i - n_j)\| + w_i(n_i, p_i - p_j)]}{\sum_{p_j \in N(p_i)} W_{\sigma_c}(p_i - p_j) W_{\sigma_s}(\|1 - (n_i - n_j)\| + w_i)} \quad (3)$$

点 p_i 到邻近点距离的平滑权重 W_{σ_c} (空间权重) 和特征域权重 W_{σ_s} (影响权重) 如公式(4)所示。

$$W_{\sigma_c}(x) = e^{-2x^2/\sigma_c^2},$$

$$W_{\sigma_s}(y) = e^{-\frac{-2y^2}{2\sigma_s^2}} \quad (4)$$

公式(4)中 W_{σ_c} 、 W_{σ_s} 均为高斯核函数，表示相邻点对该点的影响权重； σ_c 表示点 p_i 到各邻域点距离的影响因子，通常取邻域半径； σ_s 表示每个邻近点在 p_i 点的法向量上的投影距离的影响因子，通常取邻近点的标准差；当 σ_c 确定之后，点云法线方向上的平滑距离和 σ_s 成正比。将优化后的双边滤波因子 α_i 代入下式，即可算出 p_i 的几何位置。

基于优化双边滤波的非离群点去噪算法的具体步骤如下。

1) 初始化 k 值，创建 kd 树，计算 p_i 点云数据点的 k 个邻近点，如公式(5)所示。

$$p_i' = p_i + \alpha_i \cdot n_i \quad (5)$$

2) 利用 PCA 估计点云的法向量 n_i 和曲率值 w_i 。

3) 计算各采样点的 p_i 平滑权重 W_{σ_c} 参数 x 与特征域权重 W_{σ_s} 参数 y ，如公式(6)所示。

$$x = \|p_i - p_j\|$$

$$y = \|1 - (n_i - n_j)\| + w_i \quad (6)$$

4) 计算特征域权重 W_{σ_s} 和平滑权重 W_{σ_c} 。

5) 将 W_{σ_s} 与 W_{σ_c} 代入到式(3)中计算双边滤波因子 α_i 。

6) 计算 p_i 点的几何位置，得到去噪后的点云数据模型。

当 σ_c 一定时，随着 σ_s 的增大，点云的局部几何特征保持较好，但在较平坦的区域，平滑度较差；当 σ_s 一定时，随着 σ_c 增大，点云模型的平滑性较好，但局部几何特征的保留较差。

改进前双边滤波处理的点云效果如图3所示，包含(a)~(d)4种场景：隧道区间内；进入站台附近，遇到扶手；站台范围内；距离站台较远位置。改进后的双边滤波处理的点云如图4所示，也包含(a)~(d)4种场景：隧道区间内；进入站台附近，遇到扶手；站台范围内；距离站台较远位置。该方法经过据实际的隧道点云数据测算，成功过滤了90%的噪声点云，显著减少了外界的因素以及雷达本身的原因造成的噪声带来的影响，进而实现了对铁轨的精准识别，达到限界效果。

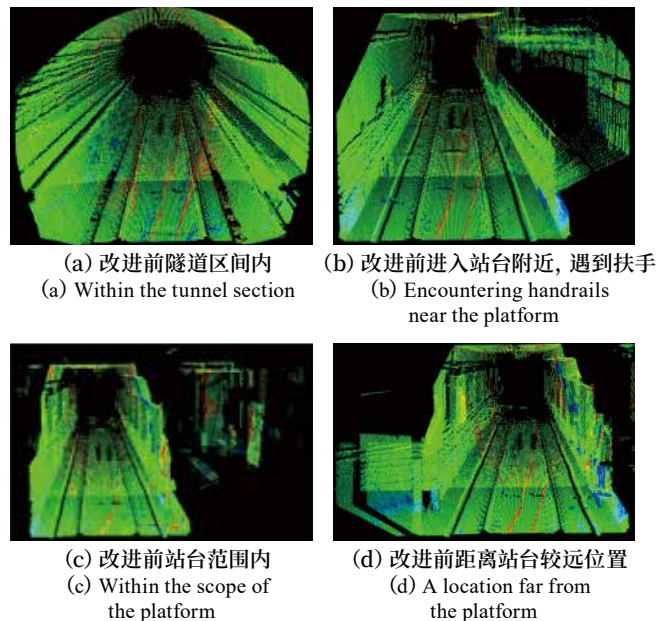


图3 改进前双边滤波处理的点云效果
Fig.3 Point cloud rendering of bilateral filtering processing before Improvement

2.3 无线场强检测

1) 设备构成

无线场强检测系统由检测天线、检测主机以及人机交互界面构成。检测天线用于接收需要测试的通信漏缆、安防漏缆以及 WLAN 无线信号；主机

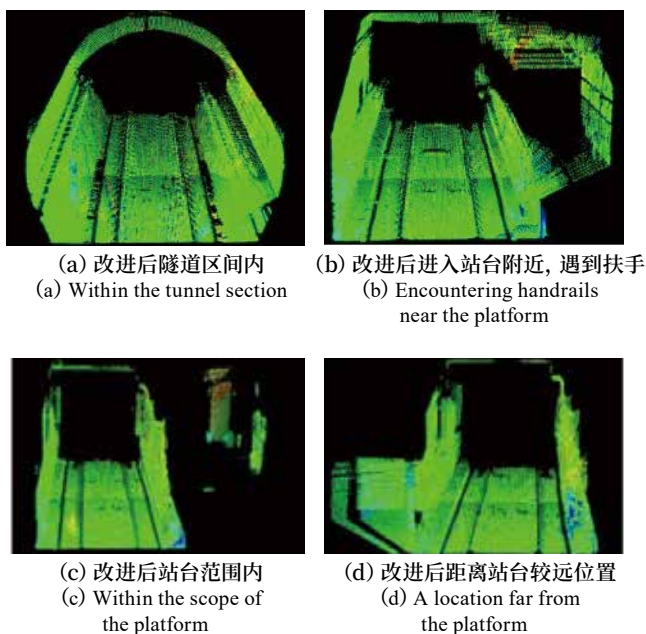


图4 改进后的双边滤波的点云效果

Fig.4 Point cloud rendering of improved bilateral filtering processing

用于对天线接收到的无线信号进行测试与分析；人机交互界面用于测试人员操作测试软件，读取信息。

检测天线安装于检测车车顶。

检测主机安装于车内设备机柜。

人机交互 HMI，位于驾驶室操作台（与其他检测模块共用一台设备）。

设备安装满足设备限界安装要求。

2) 检测方法

车顶天线接收无线信号，将信号传送给检测主机做数据分析，在人机交互界面上能够实时显示各频段无线信号场强数值。

检测前在交互界面上设定并调节各频段无线信号的检测报警阈值，当检测到无线信号场强低于阈值时，在显示界面上输出报警信息，包括实测场强值、里程信息等。

检测主机在记录数据提供报警的同时，记录并生成各频段无线信号场强值关于里程信息的二维曲线，该曲线具备与历史曲线对比的功能。

系统实时存储场强检测的各项数据，便于查询分析时使用。

2.4 离线数据管理系统

1) 设备构成

离线数据管理系统由离线管理服务器、HMI、A4 彩色打印机及键盘鼠标构成。

2) 功能

离线数据管理系统可按线缆温度检测、限界检测、无线场强检测等不同检测系统分类查询报警信息；并可依据筛选条件自动形成报警信息统计报表。

对于每条报警信息，能够查询报警时间、报警位置、报警图像等。系统可结合历史数据，生成对比曲线图，以及变化趋势。

系统具备开放式数据分析的功能，可依据固定模板的数据表格进行数据统计与分析处理工作，输出所需的统计报表。

3 结语

本文结合天津地铁 6 号线，对地铁区间综合智能检测方法做出详细说明，实施后具有智能监控区间设备状态的功能，提升设备检测效率及准确度，提高地铁区间设备安全性。电缆红外检测系统能够通过红外成像的方式，对电缆局部缺陷诱发的温升做出判断，发现电缆隐性缺陷，通过智能化监测手段实现环网电缆的预防性维修。激光雷达实现每月 1 次的限界检测，能够提前发现侵入设定限界范围的物体，及时处理潜在侵限隐患，能降低侵限事件发生的概率。加装无线场强测量系统后，可以对区间内通信漏缆、安防漏缆、WLAN 等不同频段通信系统的信号场强做测试，提前发现信号不稳定的点位，及时保障行车运营安全。离线数据分析系统围绕上述各监测功能做检测数据的统计分析，既提高数据分析的效率，又能从多方位增强设备状态的评价与管理，提高设备运维的智能化水平。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. 地铁运营安全评价标准: GB/T 50438-2007 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [2] 王宝顺, 陆军, 陈振, 等. 城市轨道交通接触网智能运维模式探讨 [J]. 智慧轨道交通,

- 2023, 60 (3): 1-6.
- Wang Baoshun, Lu Jun, Chen Zhen, et al. Exploration of Intelligent Operation and Maintenance Mode of Urban Rail Transit Catenary[J]. Smart Rail Transit, 2023, 60(3): 1-6.
- [3] 盛良, 杨志鹏, 孙刚, 等. 提升弓网综合检测装置(1C)检测服务维修能力探讨[J]. 中国铁路, 2023(5): 98-103.
- Sheng Liang, Yang Zhipeng, Sun Gang, et al. Discussion on the Ability to Improve the Testing Service and Maintenance of Integrated Pantograph-Catenary Test Device(1C)[J]. China Railway, 2023(5): 98-103.
- [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. 城市轨道交通接触网检测车通用技术条件: GB/T 20908-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁限界标准: CJJ/T 96-2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 标准轨距铁路机车车辆限界检查第1部分: 检查方法: GB/T 16904.1-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [7] 王步文. 简谈城市轨道交通As车型限界检测[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(5): 62-64.
- Wang Buwen. Discussion on as Vehicle Clearance Inspection for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(5): 62-64.
- [8] 吕白, 王丽娟. 基于视频相机的接触网动态几何参数检测技术研究[J]. 中国设备工程, 2023(10): 183-185.
- Lv Bai, Wang Lijuan. Research on Dynamic Geometric Parameters Detection Technology of Catenary Based on Video Camera[J]. China Plant Engineering, 2023(10): 183-185.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 无线通信设备电磁兼容性通用要求: GB/T 22451-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 铁路应用 机车车辆电气设备第5部分: 电工器件 高压熔断器规则: GB/T 21413.5-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [11] 肖威. 地铁控制中心调度大厅专用无线通信系统信号覆盖优化[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(5): 95-99.
- Xiao Wei. Optimization of Signal Coverage of Special Wireless Communication System in Dispatching Hall of Metro Control Center[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 95-99.

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

无线闭塞中心设备接口信息安全传输监测系统 (IRD-TH 型)

实现了RBC侧通信接口的全方位深度监测, 解决RBC-MSCT通道干扰、V.110失步等行业痛点问题, 同时为电务侧提供实时数据, 提高运维时效性; 实现了中心机房通用服务器硬件健康监测, 达到提前预知硬件故障的能力, “故障修”到“状态修”的转变; 实现了列控系统地面网络状态监测, 统计地面网络运行状态, 提高列控设备可用性。

地址: 北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号大厦, 100070 E-mail:wangdong@crscd.com.cn

(详见封面)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.11.015

城市轨道交通Y形线路信号系统 拆分改造方案

裴立原

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 杭州地铁1号线作为Y形线路, 计划将1号线临平支线拆分划归到9号线控制。为安全、高效地保障临平支线信号系统拆分改造, 从拆分改造目标、倒切方案、关键技术等方面进行研究分析。创新地提出倒切柜搭配接续分线柜的新旧系统倒切方案, 为后续有计划开展拆分改造的轨道交通线路提供思路, 具有一定的参考价值。

关键词: 城市轨道交通; 信号系统; 拆分改造; Y形线路

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0085-07

Splitting and Transformation Scheme of Signaling System for Y-shaped Line in Urban Rail Transit

Pei Liyuan

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: Hangzhou Metro Line 1 is a Y-shaped line, its Linping branch line is planned to be splitted off and placed under the control of metro line 9. In order to ensure the splitting and transformation of Linping branch line signaling system safely and efficiently, this paper studies and analyzes the splitting and transformation objectives, switching schemes and key technologies, and creatively puts forward the old and new systems switching scheme with the switching cabinet and the junction box, which provides ideas for the subsequent planned splitting and transformation of rail transit lines, and has certain reference value.

Keywords: urban rail transit; signaling system; splitting and transformation; Y-shaped line

据初步统计, 截至2023年9月, 中国内地累计有55个城市开通了轨道交通运营线路, 运营里程约为9 860 km。城市轨道交通项目对国民经济发

展的作用日益显著, 其安全可靠运营是关键。信号系统作为行车指挥的重要设备, 面临更新改造的各地运营公司都在思考如何安全、稳妥、经济地对既有项目进行升级改造, 部分项目已经完成改造并取得了很好的经济和社会效益。

目前, 国内较早开通轨道交通项目的城市, 为便于城市居民的出行便利, 在建设初期时常有Y

收稿日期: 2022-09-28; 修回日期: 2023-09-19

基金项目: 中国铁路设计集团有限公司重点课题项目(2021B340809)

作者简介: 裴立原(1990—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通信号, 邮箱: 442741162@qq.com。

形线路出现，如杭州地铁 1/3/6 号线、上海地铁 5/10/11 号线、广州地铁 3/14 号线、成都地铁 1 号线等。随着城市的不断发展，由于客流不断增加、运营需求更新、技术升级换代等原因，需要将既有支线线路向两端延伸并划分为一条全新的地铁线路，因此需要对主 / 支线换乘站进行信号系统拆分改造。

基于上述情况，本文结合杭州地铁 9 号线设计实践，以杭州地铁 1 号线（简称“1 号线”）临平支线拆分改造划归到杭州地铁 9 号线（简称“9 号线”）为案例，提出临平支线信号系统拆分改造倒切方案，对后续同类工程具有重要借鉴意义和参考价值。



图1 1号线线路示意
Fig.1 Schematic diagram of Line 1

1 号线采用提供的 ASTS CBTC 信号系统，降级具备点式及联锁控制模式运行。1 号线临平支线共有 7 个车站，设置 3 个联锁区（客运中心站联锁区、翁梅站联锁区、临平站联锁区），1 号线临平支线联锁区控制范围如表 1 所示。

表1 1号线临平支线联锁区控制范围

Tab.1 Interlocking area control scope of Line 1 Linping branch

编号	ZC 集中站	联锁集中站	管辖非集中站
1	客运中心	客运中心站	乔司南站
2		翁梅站	乔司站、余杭高铁站
3	临平站	临平站	南苑站

2 拆分改造目标

1) 1/9 号线的拆分改造涉及客运中心站拆分改造和 OCC ATS 系统拆分改造。在 9 号线南北延伸段接入之前先完成上述拆分改造工作。拆分改造后，1 号线和 9 号线分别独立运营。在七堡新设 9 号线

1 工程概况

1 号线于 2012 年建成通车，主线为湘湖路站至下沙江滨站，临平支线为客运中心站至临平站，在客运中心站与主线接轨，全线采用“Y”形运营。9 号线利用 1 号线临平支线作为线路中段分别向南北两端延伸，划分为一条全新的地铁线路，因此需要对客运中心站进行拆分改造。拆分改造后，临平支线作为 9 号线中段，与 9 号线南段和北段贯通运营。1 号线线路如图 1 所示。

控制中心。

2) 拆分改造至 9 号线的设备在客运中心站新设 9 号线信号设备室进行安装，划分到 9 号线客运中心联锁集中站使用；在 1 号线既有信号设备室中，需要拆除已划分至 9 号线客运中心联锁集中站的设备，拆除后既有信号设备室剩余室内信号设备作为 1 号线客运中心联锁集中站使用；在 1/9 号线联络线上新设联络线信号机、计轴。

3) 9 号线无线通信新设 LTE 单独承载信号系统，并对既有 1 号线临平支线 WLAN 数据通信系统进行改造。

4) 拆分改造后划分到 9 号线客运中心联锁集中站的室外信号机、转辙机、计轴、信标、站台按钮及配套室外电缆均利用。

5) 客运中心信号系统拆分改造、调试及倒接工作均不影响既有 1 号线正常运营。

3 拆分改造风险分析

为保证行车安全，提高行车效率，改善运营服务质量的核心子系统，在不停运的前提下对其进行升级改造的难度更大，对风险的管理要求更加严格。临平支线拆分改造对既有运营的1/9号线存在较大的风险，因此在拆分改造前进行系统的风险分析，制定更加安全可靠的倒切方案，确保临平支线拆分改造工作的安全顺利地进行。

1) 既有电缆余量较少

拆分改造后划分到9号线客运中心联锁集中站的室外电缆在1号线既有信号设备室内余量较少，且电缆在静电地板下难以抽出，贸然施工容易刮伤既有电缆，影响行车安全。

2) 1/9号线信号设备室间距较大，室外电缆均利旧

国内目前已完成或正在实施中的改造项目，新系统设备大多数情况以插架施工的方式布置在既有信号设备室中，并通过倒切柜与新、旧系统防雷分线柜连接。9号线信号设备室距离1号线既有信号设备室超过150m，且室外电缆均利旧，倒切难度较大。

3) 既有1号线信号设备室面积紧张，新、旧系统倒切过渡期间，新、旧系统和设备并存，白天既有系统和设备维持正常运营，夜间新系统和设备

进行调试。频繁的新、旧系统切换操作，容易发生由于操作错误影响运营的事故。

4 新、旧系统倒切方案

9号线采用与1号线相同的ASTS CBTC信号系统，拆分改造后9号线临平支线联锁区控制范围如表2所示。

表2 9号线临平支线联锁区控制范围

Tab.2 Interlocking area control scope of Line 9 Linping branch

编号	ZC 集中站	联锁集中站	管辖非集中站
1	临平站	客运中心站	乔司南站
2		翁梅站	乔司站、余杭高铁站
3		临平站	南苑站

4.1 倒切方案

根据客运中心站线路配线情况及两线运营需求，蓝色线路为1号线运营线路，绿色线路为9号线运营线路。客运中心联锁区拆分改造为两个联锁区，拆分改造至9号线的室外设备通过倒切装置在过渡期间进行倒切，进行系统调试及9号线运营。待1/9号线运营稳定后，拆除倒切装置。客运中心站拆分改造界面如图2所示。

1) 客运中心站

涉及拆分改造的室外设备如表3所示。

1号线为既有运营线路，设备拆分改造不能在一天完成，过渡期间拆分改造划分到9号线客运中

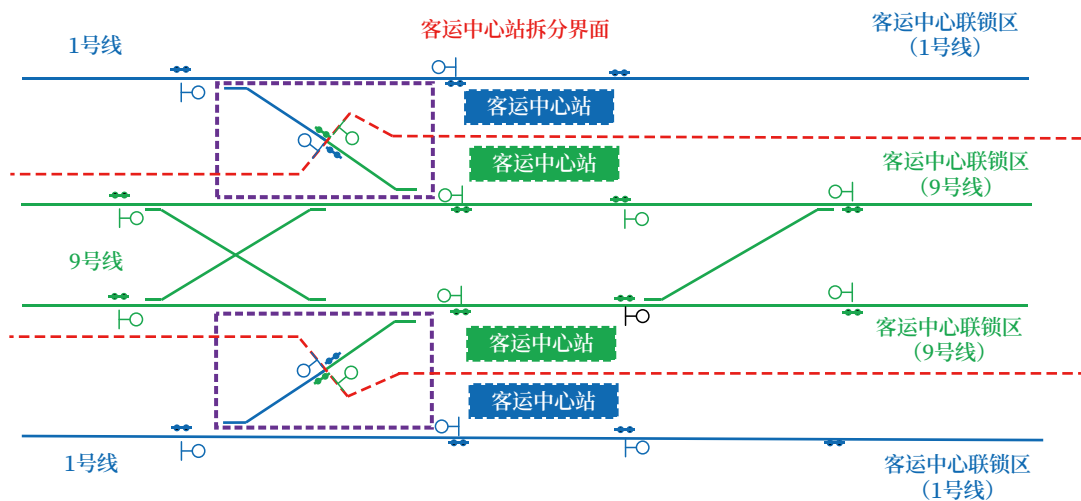


图2 拆分改造界面

Fig.2 Splitting and transformation interface diagram

表3 室外设备拆分改造

Tab.3 Splitting and transformation of the outdoor equipment

拆分改造设备内容	数量 / (个 / 台)
信号机	15
计轴	24
转辙机	16
动态信标	19
站台门接口	2
无人自动折返按钮	1
发车计时器	4
电缆芯线	447

心联锁集中站的室外设备非运营时间由9号线控制，进行9号线调试，运营时间恢复为1号线控制。拆分调试工作均在每天非运营时间完成。

由于拆分到9号线控制的室外设备电缆均利旧，且1/9号线信号设备室间距较大，因此采用倒切柜搭配接续分线柜实现新旧系统的倒切：倒切柜用于

实现室外设备在运营时间由1号线系统控制，非运营时间由9号线系统控制；接续分线柜用于集中连接1号线拆分改造划分到9号线客运中心联锁集中站的室外配线。临平支线拆分改造完成，待1/9号线系统运行稳定后，拆除倒切柜及配线，并保留接续分线柜。

倒切柜、接续分线柜设置在1号线信号设备室。具体操作步骤如下：

将划分至9号线客运中心联锁集中站信号设备的室外“既有电缆”从既有1号线分线柜中部分抽出，接到接续分线柜上；

在接续分线柜与倒切柜间、既有1号线分线柜与倒切柜间新设“调试电缆”，用于1/9号线设备倒切调试；

在倒切柜9号线分线柜之间新设“接续电缆”。倒切安装配线示意如图3所示。

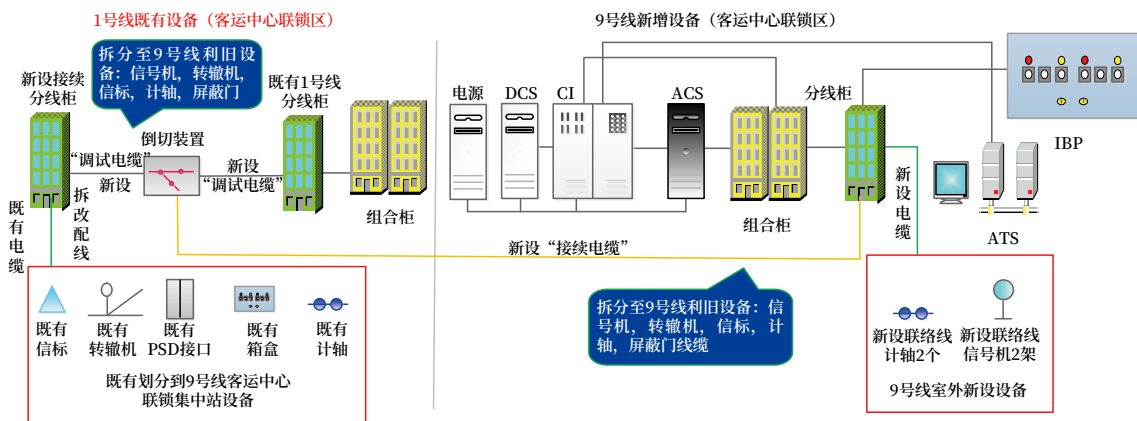


图3 倒切安装配线示意

Fig.3 Switching and installation wiring diagram

拆分改造完成后，待1/9号线系统运行稳定后将接到倒切柜上的“接续电缆”拆改至接续分线柜上，并拆除“调试电缆”，拆除倒切柜及配线，保留接续分线柜，使1号线与9号线的管理界面明确化、简洁化。拆分如图4所示。

2) 临平、翁梅站

临平站、翁梅站信号机、计轴、转辙机等室外设备不做改造，所有室外设备及其线缆均利旧，可以直接纳入9号线信号系统。

4.2 倒切调试

1) 设备安装

完成1号线信号设备室内新设倒切柜、接续分线柜安装；完成1/9号线信号设备室间接续电缆敷设；完成9号线新设室外设备安装及电缆敷设。

2) 配线

完成9号线分线柜至倒切柜间配线。每根线缆做设备标识，便于后续拆除倒切柜。（9号线分线柜至倒切柜间线缆路径需经过接续分线柜且电缆长度需预留余量，待临平支线由9号线独立控制时拆除倒切柜，此线缆需连接至接续分线柜上）；完成新设接续分线柜至倒切柜间配线，每根线缆做设备标识；完成倒切柜至1号线既有分线柜的放线工作，每根

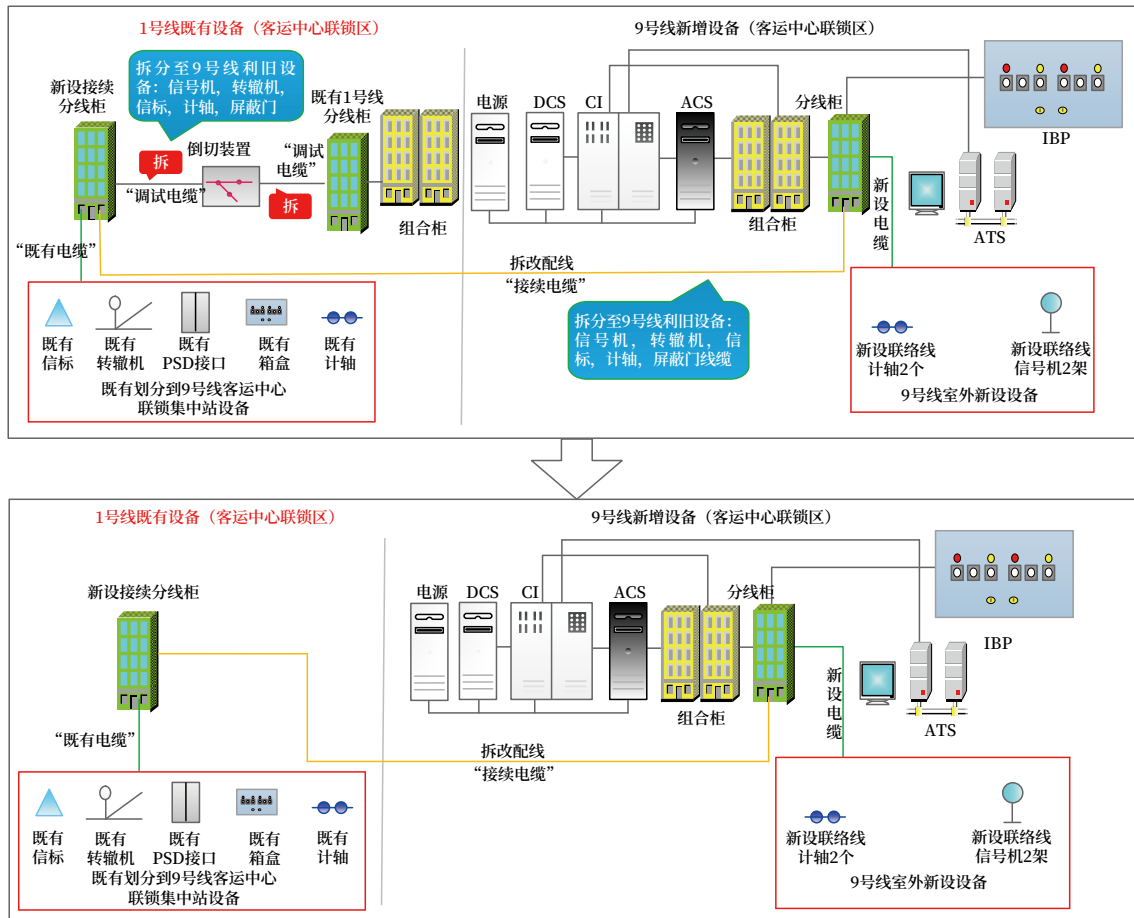


图4 拆除完成示意

Fig.4 Splitting completion diagram

线缆做设备标识。

3) 倒切调试

完成所有室内外的设备安装和配线作业后，方可进行倒切调试，实现白天运营由1号线系统控制，夜间调试由9号线系统控制。新旧系统倒切方案如下。

现场调试人员在指定地点请点；

运营人员允许开始测试后将设备断电；

更换1号线联锁、ATS软件；

运营人员使用钥匙打开倒切柜；

将倒切开关切换至“调试”位，确认“调试”指示灯点亮；

9号线设备上电；

由于倒切过程中计轴设备断电会引起计轴区段红光带和计轴主机报警，人工确认区段内无车后，进行直接复位操作，消除红光带及报警；

进行1/9号线信号系统调试；

调试完成后，将设备断电；

更换1号线联锁、ATS软件；

将倒切开关切换至“运营”位，确认“运营”指示灯点亮；

运营人员锁闭倒切柜；

1号线设备上电；

由于倒切过程中计轴设备断电会引起计轴区段红光带和计轴主机报警，人工确认区段内无车后，进行直接复位操作，消除计轴区段红光带及报警；

进行既有1号线联锁、ATS基本回归测试，确认不影响第二天的正常运营；

测试完成后调试人员进行销点。

5 关键技术研究

5.1 新、旧系统倒切

面对当前工业制造能力提升和轨道交通技术发

展的良好态势, 信号系统的升级改造已经进入了崭新的历史阶段。但是, 信号系统的改造将对既有线路的运营安全造成影响。本次临平支线拆分改造创新性引入新旧系统倒切技术, 反复比对改造的风险分析、必要性、关键点、时机、安全相关应对策略, 以及安全接口等, 采用倒切柜搭配接续分线柜的倒切设计, 避免关键部位的危险因素造成整个系统的故障或事故, 保障改造期间运营安全。

5.2 时间的突破技术

1 号线运营时间一般为 06:00 ~ 23:00, 白天正常运营前, 需要列车轧道, 一般 05:00 左右就开始从段场向正线发车; 夜间结束运营后, 全线列车需要收车至段场, 因此留给拆分改造施工作业的时间相当有限, 考虑到运营请点请票、销点销票流程, 一天的有效施工及调试时间约为 3 h。此外, 运营需要对既有线路进行维护和保养, 每周可以进场施工的时间也十分有限, 施工及调试时间受限。临平支线拆分改造期间, 设计方研究了详尽的设计方案, 在建设、运营、施工、监理及设计各方的紧密配合下, 制定详细的倒切调试方案, 做好了详尽的施工作业准备, 提高了拆分改造期间的施工及调试效率, 有效地突破了时间壁垒, 避免拆分改造对 1/9 号线正常运营的影响, 为后续拆分改造项目起到良好的示范效果。

6 总结

杭州地铁 1 号线临平支线拆分改造划归到 9 号线控制, 于 2021 年 7 月 10 日拆分并独立成线开通运营, 且与 9 号线南、北段贯通, 已正式投入运营。杭州地铁 9 号线作为市中心核心区域与临平区的轨道干线, 在建设时期存在很多技术难题, 其中临平支线拆分改造是其中最突出的一个。本文提出了新旧系统倒切方案, 实现室内外信号设备利旧前提下的拆分改造, 实现了 1 号线不停运条件下的改造, 为后续改造项目提供借鉴, 具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 王喜军, 杨立新, 武少峰. 城市轨道交通信号系统升级改造项目方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (11): 77-81.
Wang Xijun, Yang Lixin, Wu Shaofeng. Study on Upgrading and Transformation Scheme of Signal System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(11): 77-81.
- [2] 白艳琴. 八通线信号系统改造工程设计关键点分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (9): 89-93.
Bai Yanqin. Analysis on Design Scheme of Transformation of Signal System for Batong Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 89-93.
- [3] 葛兰新. 深圳地铁 3 号线信号系统改造方案选择 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (10): 73-78.
Ge Lanxin. Selection of Schemes for Transformation of Signal System for Shenzhen Metro Line 3[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 73-78.
- [4] 曹然. 地铁信号系统设计验证的研究和应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (9): 86-89.
Cao Ran. Application of Design Verification of Signal System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 86-89.
- [5] 王俊锋. 浅谈城轨交通列车运行控制系统大修改造 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (12): 86-89, 93.
Wang Junfeng. Discussion on Overhaul and Reconstruction of Train Control System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(12): 86-89, 93.
- [6] 毛茜. 广州地铁 1 号线信号系统改造中站台门联动控制的技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (9): 88-92.

- Mao Qian. Research on Linkage Control Technology of Platform Screen Door under Reconstruction in Signalling System of Guangzhou Metro's Line NO.1[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(9): 88-92.
- [7] 张文洲. 广州地铁1号线信号系统更新改造方案研究[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(8): 82-85, 90.
- Zhang Wenzhou. Research on Transformation Scheme of Signaling System in Guangzhou Metro No.1 Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(8): 82-85, 90.
- [8] 张楚潘, 郜洪民. 轨道交通既有线路拆分工程信号系统改造方案实例探讨[J]. 铁道通信信号, 2008, 44(8): 17-19.
- Zhang Chupan, Gao Hongmin. Signal System Renovation Plan in the Disassembly Engineering of Urban Transit Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2008, 44(8): 17-19.
- [9] 李驰宇, 张莉. 杭州地铁1号线Y形线路运营相关问题研究[J]. 铁路技术创新, 2019(5): 45-48, 60.
- Li Chiyu, Zhang Li. Operation of Y-Shaped Hangzhou Metro Line 1[J]. Railway Technical Innovation, 2019(5): 45-48, 60.
- [10] 郭建, 陈佳维. 轨道交通交路拆分后车站运能提升改造分析[J]. 隧道与轨道交通, 2020(4): 14-17.
- Guo Jian, Chen Jiawei. Analysis on Transport Capacity Improvement and Reconstruction of Station after Splitting of Rail Transit Operation Routing[J]. Tunnel and Rail Transit, 2020(4): 14-17.
- [11] 白艳琴. 城市轨道交通信号系统改造工程解决方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2013, 10(S1): 343-346.
- Bai Yanqin. Solution of Urban Rail Transit Signal System Reconstruction Project[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2013, 10(S1): 343-346.
- [12] 马龙. 城市轨道交通信号系统DCS有线网络过渡方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(8): 62-64, 89.
- Ma Long. DCS Wired Network Transition Plan of Urban Rail Transit Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 62-64, 89.

国外信息

银行为意大利企业的数字铁路研发工作提供支持

欧洲投资银行(EIB)向摩尔迈科集团(MerMec)提供3 000万欧元贷款,用于资助数字铁路技术研发工作,包括无人驾驶列车的信号系统,以及机车车辆和基础设施资产的诊断和管理技术。

第一笔贷款价值2 000万欧元,有关协议由欧洲投资银行副行长赫尔索米纳·维格利奥蒂(Gelsomina Vigliotti)和摩尔迈科集团首席财务官米歇尔·科斯塔(Michele Costa)签署。研发工作将于2023~2025年在意大利开展,并将采用先进的互联技术、云计算和人工智能。

9月22日,科斯塔表示,该项目“证明摩尔迈科集团致力于在广泛领域对研发工作做出投资,促进铁路部门的可持续发展和创新,并且创造经济、社会和环境价值”。

科斯塔还说,“这份协议不仅增强了我们实现这一愿景的能力,也证明了国际金融机构在加速积极变革方面的关键作用。”

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 冷宁翻译自:www.railwaygazette.com 2023-10-02)

成都地铁1号线信号系统 车地无线改造工程方案

张世铭¹, 张建明², 许 瑜³

- (1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610000;
2. 成都地铁运营有限公司, 成都 610000;
3. 浙江众合科技股份有限公司, 杭州 310000)

摘要: 基于 1.8 GHz 专用频段的 LTE-M 车地无线系统, 在安全性、时延、通信质量、覆盖范围、对更高速度的适应性和互联互通方面均优于 WLAN 制式, 已成为承载信号系统 CBTC 业务的标准配置。以不影响既有线运营为切入点, 分析 LTE-M 制式替换 WLAN 制式不同阶段的关键要素, 提出城市轨道交通信号系统车地无线改造方案, 为同类工程提供参考。

关键词: 城市轨道交通; LTE-M; 改造

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0092-05

Vehicle-ground Wireless Renovation Project of Signaling System for Chengdu Metro Line 1

Zhang Shiming¹, Zhang Jianming², Xu Yu³

- (1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610000, China)
- (2. Chengdu Metro Operation Co., Ltd., Chengdu 610000, China)
- (3. UniTTEC Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: LTE-M vehicle-ground wireless system based on 1.8 GHz dedicated frequency band is superior to WLAN in terms of security, delay, communication quality, coverage, adaptability to higher speed and interconnection. It has become the standard configuration for carrying CBTC service of signaling system. This paper analyzes the key elements in different stages of LTE-M replacing WLAN without affecting the operation of existing lines, and puts forward the vehicle-ground wireless system renovation scheme of urban rail transit signaling system, which provides reference for similar projects.

Keywords: urban rail transit; LTE-M; renovation

1 概述

成都地铁1号线是2010年建成运营的地铁线路,线路全长41 km,均为地下线。全线共设35座车站,1座车辆段(含试车线)、1座停车场和1个控制中心,配置73列6B编组电客车。信号系统原车地无线系统采用2.4 GHz开放频段无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN),A网和B网分别采用频点1和6,采用思科设备组网。在线运营超过10年,存在设备老化严重、备品/备件停产、在线监测不完善、公众通信技术快速从3G到5G的演进,地下有限空间内同时存在3G、4G、5G等3家运营商的10余个频段。1号线工作日客流超百万,乘客车上4G通信需求大,手机热点多,导致2.4 GHz频段带内、带外受干扰严重。WLAN产品本身抗带内干扰、抑制带外干扰能力有限,导致信号车-地数据传输经常中断,进而导致列车紧急制动(最高峰超过20次/天),带来严重的行车安全隐患和乘车体验,亟需通过改造来保证运营安全和服务质效。

2 网络架构

基于1.8 GHz专用频段的城市轨道交通车-地

综合通信系统(Long Term Evolution for Metro, LTE-M)采用A/B双网架构,每张网络均由有线环网、核心网、基站、车载终端及天馈系统组成,均承载信号系统基于通信的列车控制系统(Communications Based Train Control, CBTC)业务。核心网(Evolved Packet Core network, EPC)集中部署在控制中心,基带处理单元(Base Band Unit, BBU)分散设置在设备集中站、车辆段及停车场,射频拉远单元(Radio Remote Unit, RRU)设置在轨旁所有需要CBTC业务覆盖的区域。A/B双网的RRU同站址部署,通过不同的光电缆连接至A/B双网的BBU。A/B双网无线射频信号通过合路器合路后馈入漏缆或定向天线。车载接入单元(Train Access Unit, TAU)分别设置在列车前后司机室,两端TAU分属于A/B网。试车线与正线共用核心网。网络架构如图1所示。

3 改造工程方案

3.1 设计原则与思路

在已开通运营线路上将车-地无线系统从WLAN制式改造为LTE-M制式,务必保证行车安全,降低改造风险,主要设计原则如下。

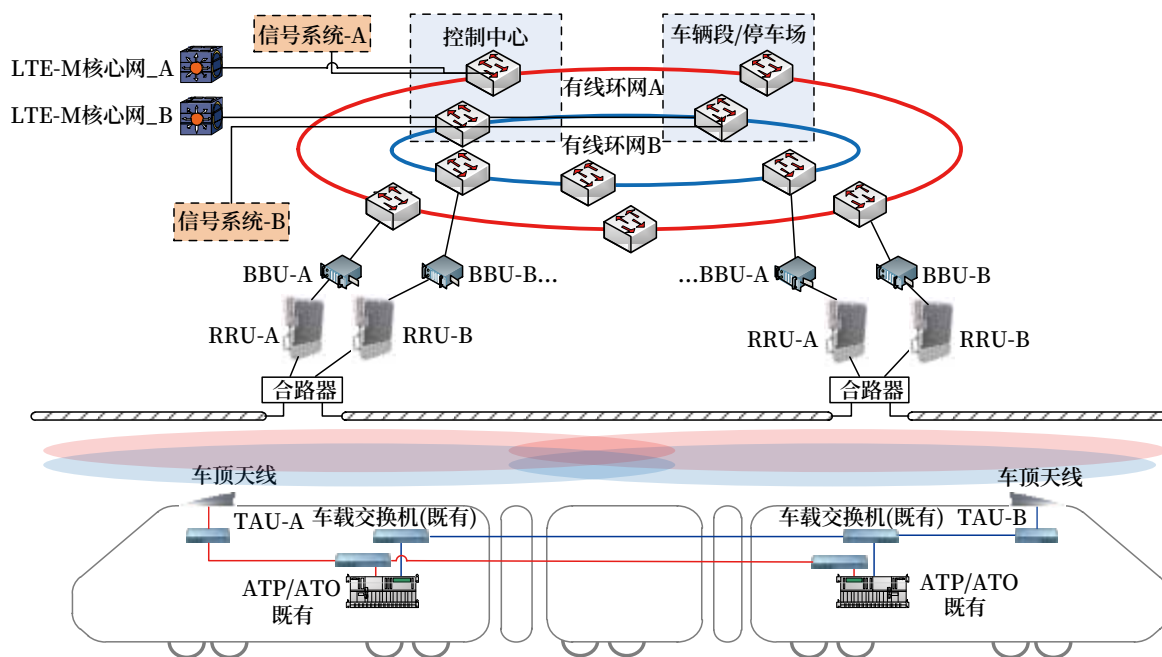


图1 LTE-M车地无线网络架构
Fig.1 LTE-M vehicle-ground wireless network architecture

1) 改造方案的安全性、性能指标、可靠性和可用性，应不低于既有系统；

2) 改造方案应在保证线路不停运、不降低运输能力和安全等级的条件下进行。在实施过程中，新旧轨旁设备、车载设备应能相对独立运行，以确保改造全过程中的统一行车指挥；

3) 改造方案应紧密结合现场条件，减少土建、车辆、动照、装修等专业的连带改造；

4) 改造方案应具有工程实施的可操作性，能有效缩短工期。

改造方案思路如下。

- 1) 异地技术验证；
- 2) 正线、场段轨旁（室内）网络建设；
- 3) 同步软件、接口实验室开发调试；
- 4) 单车载 TAU 的更换与夜间试跑；
- 5) 小批量双网双车载数传设备的线路混跑；
- 6) 批量更换车载 TAU；
- 7) 拆除既有网络设备。

3.2 改造设计方案

3.2.1 频率规划

LTE-M 网络使用轨道交通专用 1.8 G 频段 (1 790 ~ 1 800 MHz)，每个网络各使用不同的 5 MHz 频宽。

3.2.2 时钟同步

LTE-M 网络使用室外卫星同步天线作为主用时钟，当出现故障时，基站的晶振可保持 24 h。同时，在中心设置 1 588 V2 时钟服务器作为备用时钟。

3.2.3 无线覆盖

以不侵入设备限界、满足系统可用性及作业点内施工可实施性为原则，对全线进行轨旁设备及漏缆的安装条件踏勘。正线全程使用漏缆覆盖，按照常规区间、岛式站台、侧式站台、联络线、渡线、单洞多轨岔区、出 / 入段线及其他安装空间受限现场的分类，采用原厂与定制安装件结合使用的安装方案。场段使用定向天线覆盖。

3.2.4 室内设备改造

室内设备改造对象为 EPC、BBU、以太网交换机、电源屏等。LTE-M 网络设备均为新增，电源屏

改造首选利旧原则，条件不具备时新设电源设备。

3.2.5 车载设备改造

车载设备改造分为 3 个阶段：第一阶段完成车载天线及馈线的安装并敷设配线至车载 CC 机柜；第二阶段过渡期，在每个夜间作业点内进行拆除车载移动无线单元 (Mobile Radio, MR)，安装车载 TAU 并验证，而后复原车载 MR；第三阶段是永久性拆除车载 MR 并安装车载 TAU。

3.3 实施步骤

车地无线改造方案以不影响既有线运营为前提，在整个改造过程中，LTE-M 网络与 WLAN 网络长期并存，给运营管理和工程实施带来相应风险，按照以下关键节点开展工作，如图 2 所示。

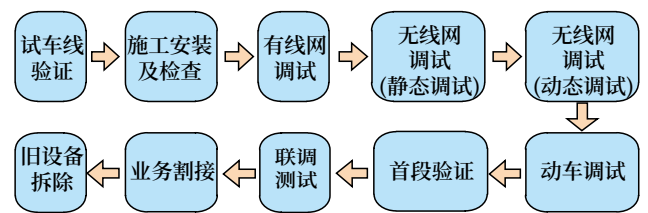


图2 车地无线改造工程关键节点
Fig.2 Key nodes of vehicle-ground wireless system renovation project

3.3.1 试车线验证

在试车线新建 LTE-M 网络 (A/B 双网)，调配两列电客车 (其中一列临时改造为 LTE-M 通信车)，同时开启 LTE-M 及 WLAN 网络，测试两种网络并行下信号系统的兼容性。

3.3.2 施工安装及检查

通过逐站逐区间的现场踏勘形成报告，明确安装要求，完成风险评估 (含与相关专业的连带调整) 后进行施工安装。在施工安装完成后，基于 LTE-M 标准对室内设备、轨旁设备及线缆进行检查，内容包括对漏缆及天线安装、光电缆敷设、设备安装、防雷保护、接地保护的测试及验证。

3.3.3 有线网调试

安装检查阶段完成后进入有线网调试，调试内容包括加电测试、交换机连通性测试、环网冗余切换测试、CBTC 子系统之间通讯测试和路由测试等。

3.3.4 无线网调试 (静态调试)

无线网调试采用循环测试法，利用路测工具测试无线场强覆盖标准、网络服务质量标准、网络切换质量标准等指标。路测人员输出问题调整方案，交与施工方整改，保证轨旁覆盖完整无盲区，直至网络指标达到 LTE-M 规范要求。

3.3.5 无线网调试（动态调试）

静态调试合格后，按联锁区在夜间作业点内利用少量临时改造的 LTE-M 通信车，动车模拟真实运营环境，测试列车在正常动车环境下的无线覆盖质量测试，采集网络性能参数，对存在问题的区域再次优化。在动态调试期间 LTE-M 网络独立存在，并不与既有信号系统连接，因此不会影响到线路列车的正常运营。

3.3.6 动车调试

在动态调试合格的联锁区内，在夜间作业点内利用少量临时改造的 LTE-M 通信车，进行车载控制模式（Carborne Controller, CC）转换测试、列车自动驾驶（Automatic Train Operation, ATO）站间运行、完整性报警确认测试、列车自动监督（Automatic Train Supervision, ATS）临时限速、扣除、紧停、跳停、站台紧停、扣车、屏蔽门报警测试以及双网冗余测试。

3.3.7 首段验证

动车调试合格后，在正线选取连续的联锁区进行首段验证。在夜间作业点内开展批量车测试，利用既有 WLAN 通信车和少量临时改造的 LTE-M 通信车进行混跑及追踪测试，用以验证两种制式网络共存时对信号系统业务无影响。

3.3.8 联调测试

通过联调测试验证 LTE-M 网络与信号各子系统匹配关系，验证 LTE-M 通信车按规定速度运行条件下的场强覆盖、网络服务质量、应用业务。依据测试结果，对系统进行调试和优化。在信号各子系统试验完成后，还要对包括联锁、CC、ATS、数据通信系统（Data Communication System, DCS）各子系统在内的信号系统进行联调，以验证新系统达到设计要求，且未改变既有的技术要求。

3.3.9 业务割接

1) 在联调测试通过后，LTE-M 网络正式接入

既有信号系统，制定 CBTC 业务应用验证方案，从网络层面和应用层面对割接结果进行测试验证。验证不通过时，采用预设回退方案。

2) 逐列将 WLAN 通信车永久改造为 LTE-M 通信车投入运营。

3.3.10 旧设备拆除

在所有列车均永久改造为 LTE-M 通信车并稳定运行后，按先轨旁后室内的顺序，逐步拆除室内及轨旁的 WLAN 设备，旧设备部件经验证后可调配至其他线路使用。

4 主要风险点及应对措施

4.1 施工方案

改造工程施工存在作业时间短、高空作业多、现场实际条件复杂、对既有及新设设备与线缆保护要求高等风险，需要运营、施工、设计、监理、厂商共同踏勘，充分论证施工方案可行性，预判可能出现的问题，对施工实施的过程、进度、质量进行监督。

4.2 软硬件兼容性

新建 LTE-M 网络接入既有信号系统，存在软硬件不兼容的风险。应对措施为信号系统的联锁、ATS、CC、区域控制器（Zone Controller, ZC）、前置维护机（Froant and Maintenance, FTM）子系统软硬件不作升级和更改，在试车线调试阶段充分验证其兼容性。在整个改造期间，LTE-M 网络使用新规划的 IP 表规避网络冲突风险。

4.3 业务割接

业务割接的关键点是替换 MR 的 TAU 需保证车载 CC 与 ZC 之间的正常通信。由于本工程改造对象不包含车载 CC 机柜，且原机柜已无剩余空间，导致无法加装新旧车载设备的倒接装置。解决方案为定制与 MR 外形尺寸及安装孔位完全相同的 TAU（通过硬件优化，将车载合路器整合到 TAU 内），并在每次调试前进行 MR 与 TAU 的两次替换工作，作业过程为拆除 MR 原位安装 TAU → 重启 CC → 验证通过后开展测试 → 拆除 TAU → 原位安装 MR → 重启 CC → 验证回退。若在此期间，车载 CC

或 MR 出现问题均会影响次日运营, 相应风险通过登车调试小组加强卡控措施予以降低。

4.4 独立第三方安全评估

独立第三方安全评估机构全过程参与改造项目, 历经系统设计、产品制造、施工安装、现场调试等阶段, 开展安全文档评估、安全审计、现场测试见证、抽样检查测试工作。每项工作结束, 安全评估机构均提供相应文档, 在各项条件均满足要求后, 提供结论性、负责任的安全评估报告和安全授权书。

5 结论

成都地铁 1 号线信号系统车地无线改造工程采用 WLAN 与 LTE-M 网络兼容并行方案, 摸索出基于优化结构的局部改造和管理模式, 最大限度地消除了既有有线改造工程中的技术风险和管理风险, 达到无感改造的效果。1 号线改造列车自 2021 年 11 月 26 日首列车上线以来, 车地通信状态稳定, 列车运行状态良好, 未出现车地通信故障, 实现不中断运营的既定目标, 可供同类项目的更新改造方案参考。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 葛兰新. 深圳地铁 3 号线信号系统改造方案选择[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(10): 73-78.
Ge Lanxin. Selection of Schemes for Transformation of Signal System for Shenzhen Metro Line 3[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 73-78.
- [3] 张文洲. 广州地铁 1 号线信号系统更新改造倒接方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(7): 216-219.
Zhang Wenzhou. Research on Signaling System Updating and Reverse Connecting Scheme of Guangzhou Metro Line 1[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(7): 216-219.
- [4] 赵文天. 地铁信号智能运维管理子系统设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(10): 62-67.
Zhao Wentian. Engineering Design of Intelligent Operation and Maintenance Management Subsystems of Metro Signal System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 62-67.
- [5] 韩奕玮. 城市轨道交通信号系统改造中的兼容性车载信号系统方案[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 75-78.
Han Yiwei. Compatible On-Board Signaling System Solutions in Urban Rail Transit Signaling System Upgrading[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 75-78.
- [6] 朱莉. 城市轨道交通信号系统改造方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 118-121.
Zhu Li. Retrofit Solution Research of Urban Rail Transit Signaling System[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 118-121.
- [7] 白艳琴. 八通线信号系统改造工程设计关键点分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(9): 89-93.
Bai Yanqin. Analysis on Design Scheme of Transformation of Signal System for Batong Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 89-93.
- [8] 张耀. 城市轨道交通既有线路信号系统更新改造方案研究[J]. 科技传播, 2021, 13(8): 144-146.
Zhang Yao. Study on Renovation Scheme of Existing Line Signal System in Urban Rail Transit[J]. Public Communication of Science & Technology, 2021, 13(8): 144-146.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.11.017

基于地铁CBTC信号系统的延伸预留设计方案

刘冬冬, 唐 陶

(卡斯柯信号有限公司, 上海 200436)

摘要: 分析城市轨道交通建设中延伸预留的必要性, 基于地铁信号系统延伸预留的关键因素, 从轨旁设备、机柜板卡、系统设计、数据制作、骨干网络、临时控制中心等角度阐述城市轨道交通信号系统延伸预留的设计方案, 以便提升延伸线路信号系统与首期信号系统贯通的便利性和安全性。

关键词: 信号系统; 延伸; 轨旁设备; 临时控制中心

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0097-05

Research on Reservation Design Scheme for Extension Based on Urban Rail Transit CBTC Signaling System

Liu Dongdong, Tang Tao

(CASCO Signal Ltd., Shanghai 200436, China)

Abstract: In this paper, the necessity of reservation for extension in urban rail transit construction is analyzed. Based on the key factors of reservation design for extension in urban rail transit signaling system, the reservation design scheme for extension in urban rail transit signaling system is elaborated from the points of trackside equipment, cabinet board, system design, data production, backbone network, temporary operational control center, etc. to improve the convenience and safety in connecting the extended line signaling system with the first phase signaling system.

Keywords: signaling system; extension; trackside equipment; temporary operational control center

近年来, 中国城市轨道交通发展迅猛, 极大地满足了人们的出行需求, 同时在优化城市结构布局、缓解城市交通拥堵及促进经济社会发展等方面的作用日益突出。随着国家经济发展和城镇化建设的不断推进, 城市人口规模不断扩张、城市用地不断向

郊区扩展, 城市轨道交通的建设也随之向郊区和城市副中心延伸。由于城市轨道交通的建设规划会考虑未来城市周边的发展需要, 初期建设均会考虑中远期的线路延伸和运能增加的需求, 所以地铁建设必须要为后续延伸和增能预留条件, 从而减小中远期线路延伸建设对既有线路的影响。

基于通信的列车运行控制系统 (Communication-Based Train Control, CBTC), 是采用移动闭塞原

收稿日期: 2022-07-07; 修回日期: 2023-09-14

第一作者: 刘冬冬 (1986—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 地铁信号控制系统, 邮箱: liudongdong@casco.com.cn.

则，由 ATP/ATO 子系统、联锁子系统、ATS 子系统、DCS 子系统和信号维护监测子系统等构成，并以计轴设备作为列车次级检测设备实现系统的降级及后备功能，用以控制列车的安全运行。

CBTC 信号系统的延伸预留设计以满足线路的中远期规划及未来线路运营的能力需求为前提，充分考虑延伸线路贯通施工及调试的便利性和经济性。本文以国内某信号系统为例，分别从系统层及子系统层探讨 CBTC 系统的延伸预留设计。

1 轨旁设备的预留设计

轨旁设备的预留主要涉及计轴、信号机、信标的设计预留。

由于首期时受轨道条件限制无法确定延伸线路的信号机、计轴、信标的设计位置且无法在轨旁布

置相应设备，设计时须在室内考虑延伸段室外信号机、计轴磁头、有源信标的预留条件。

如图 1 所示，一期线路的设计终点为车挡位置。延伸后会设置道岔防护信号机，故一期设计时预先布置两架信号机 S0101 和 S0102。室内联锁机柜预留 S0101 和 S0102 的码位板卡槽道位置，待延伸段实施时插入相应采集和驱动板卡。组合柜上预留 S0101 和 S0102 的组合底座位置，但不插继电器和断路器，待二期开通时插上。室内设计配置联锁机柜至继电器组合柜及防雷分线柜之间的配线。当二期实施时室内无需修改任何配线，仅在联锁机柜和继电器组合柜插上相应采集驱动板卡和继电器即可，防雷分线柜至设备终端盒的室外电缆可根据实际情况决定是否预先敷设，如若敷设，则需在防雷分线柜端子处断开室内外连接。

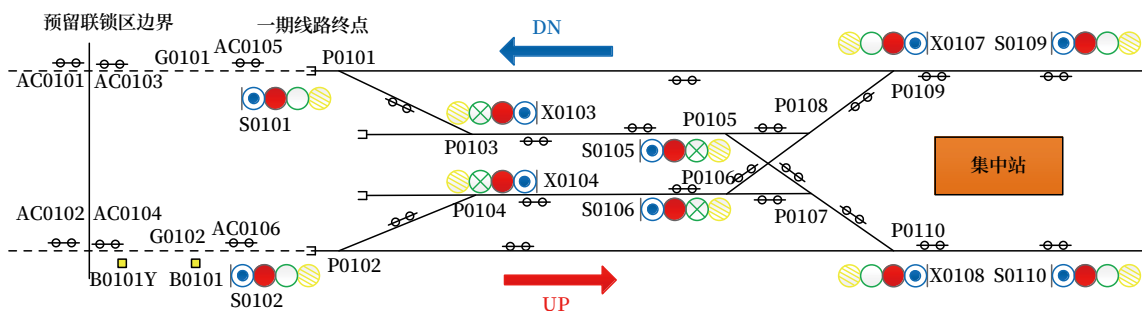


图1 衔接段信号设备平面布置
Fig.1 Signaling equipment layout in connecting section

在设计时考虑与二期联锁边界处的计轴磁头设置，以某计轴系统为例，由于联锁边界处两个相邻区段的室内计轴设备位于不同设备集中站，其分界点计轴磁头不能复用，应交叉布置两套计轴磁头，分属不同设备集中站。图 1 中 AC0101 和 AC0102 为首期预留计轴磁头，AC0103 和 AC0104 为二期预留计轴磁头。首期预留计轴磁头需在首期计轴机柜配置相应主板插槽，同时继电器组合柜预留轨道区段 G0101 和 G0102 的轨道继电器底座位置。计轴机柜机箱至计轴复位盘、组合继电器柜、防雷分线柜的配线首期进行配置。防雷分线柜至设备终端盒的室外电缆可根据实际情况决定是否预先敷设，如若敷设则需在防雷分线柜端子处断开室内外连接。

布置道岔防护信号机，需配置相应的有源主体信标和预告信标。如图 1 所示，B0101 为信号机 S0102 的主体信标，由于 S0102 为道岔防护信号机且位于区间，列车需要提前读取 S0102 信号机的状态和道岔 P0102/P0104、P0106/P0108 的状态，故需要设置 S0102 信号机的预告信标 B0101Y。一期设计时需考虑线路电子单元（Line Encoder Unit, LEU）的接口位置并配置好相应码位条件，二期时接通 LEU 和室外信标连接即可。因首期时无法确定 B0101 和 B0101Y 的具体位置，因此信标至防雷分线柜的配线可根据实际情况决定是否预先敷设。

预留的信号机 S0101 和 S0102 需要在室内配置灯丝报警仪采集电路设计。如有项目配置维护监测

系统，则需根据功能需求预留信号机绝缘漏流采集和灯丝电流采集。

2 系统层设计预留

2.1 线路末端进路的预留

如图 1 所示，由于首期开通时 X0107 和 X0108 信号机无开通直向进路的显示需求，故 X0107 和 X0108 信号机可按照不点亮绿灯进行设计，对于不点亮绿灯有两种设计思路。

1) 室外封绿灯显示机构

对于采用室外封绿灯显示机构的方案，则室内继电器组合设计可按照封绿灯信号机进行控制电路设计，联锁逻辑也按照封锁绿灯进行数据配置。首期设计时不配置 X0107 和 X0108 为始端信号机的经道岔定位的进路，同时由于首期开通时 X0103 和 X0104 信号机无开通侧向进路的显示需求，故不配

置 X0103 和 X0104 信号机经道岔反位的进路。

2) 室外正常绿灯显示机构

为减小延伸线实施时对信号机改造，可将 X0107 和 X0108 信号机按照正常灯位配置，室内继电器组合也可以按照有绿灯进行控制电路设计。联锁逻辑也按照有绿灯进行数据配置，但不能配置道岔直向进路的信号机显示逻辑，即无论如何均不会点亮绿灯显示，因此首期设计时数据不配置 X0107 和 X0108 为始端信号机的经道岔定位的进路。

2.2 正线有存车需求的方案设计

对于在终端折返站有正线区域存车需求的线路，设计预留时需要考虑在正线设置存车线。

如图 2 所示，以上行方向正线有存车需求为例。考虑到需要在正线临时存放备用列车或故障列车，并且正线存车线的备用列车或故障列车不能影响其他折返列车的正常运营，因此有如下设置。

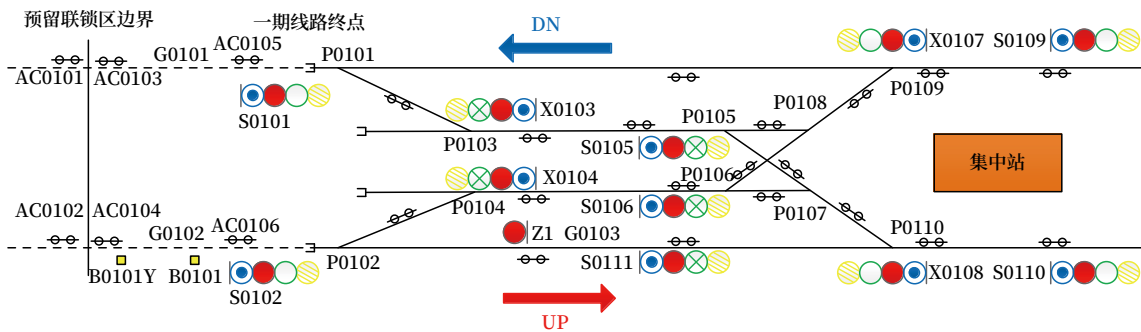


图2 正线存车的信号设备平面布置

Fig.2 Signaling equipment layout on the mainline with stabling demand

1) 设置 S0111 和 Z1 信号机，其中 Z1 信号机可以设置为单红信号机或四显示机构信号机；

2) 计轴系统在 S0111 和 Z1 信号机处配置相应计轴磁头和轨道区段；

3) G0103 轨道区段须定义为存车区域；

4) 同时需要考虑 G0103 区段存放非通信车时对其他折返列车的影响，需要考虑在 G0103 处设置自动防护栏 (Automatic Protection Fence, APF) 以及 P0110 道岔反位方向的侧冲防护。

由于延伸时，G0103 区域的存车区域需要取消，所以首期时需要统筹考虑二期开通是否保留 S0111 和 Z1 信号机以及对应的计轴区段和计轴磁

头，要为二期延伸做好贯通改造条件，尽量减少对二期的影响和改造复杂程度。

2.3 保护区段的设置

对于该信号系统，保护区段的类型分为两大类：

1) Interlock：关键定位 / 反位、优先定位 / 反位、冲突；

2) Not interlock：非联锁保护区段。

如图 2 所示，由于 X0107 信号机前方有道岔 P0109，以 X0107 信号机为末端进路的保护区段建立需要锁闭 P0109 道岔，对于站后折返进路需要建立道岔反位进路。为了避免后备模式时保护区段锁闭在道岔定位方向，解锁时间过长导致对折返效率

的影响,以 X0107 信号机为末端进路的保护区段可定义为优先反位。如果处于其他考虑,将 X0107 信号机为末端进路的保护区段定义为优先定位,则需要考虑优化保护区段建立的触发时机和以 X0107 为始端反位进路触发时机的顺序。

2.4 电源系统的预留

1) 电源系统配置时需要考虑为二期预留的本联锁区信号机、计轴、LEU 等设备的用电量。

2) 预留延伸段的车地无线通信基站电源,以区间冗余射频拉远单元(Remote Radio Unit, RRU)由相邻车站交叉供电为例,需要在首期预留足够的区间 RRU 供电电源。

3 轨旁骨干网络预留配置方案

骨干网预留的关键在于二期贯通倒接调试的便利性,由于贯通调试时每个调试点时间有限,如何确保最短的时间内接通一期和二期的骨干网络是关键。

以某线路为例,首期骨干网络组网结构如图 3 所示。

二期延伸后的骨干网络组网结构如图 4 所示。

如图 5 所示,一期和二期贯通时,玉洞站至建

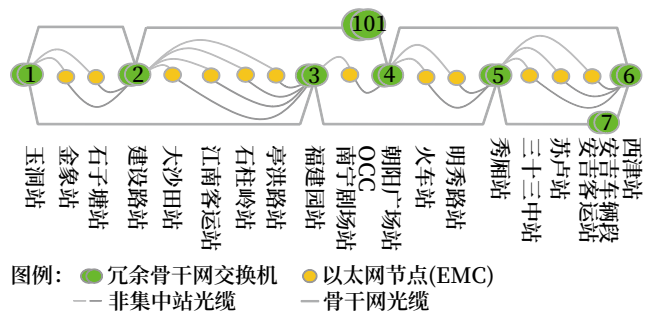


图3 首期骨干网络组网结构
Fig.3 Networking structure of the first phase backbone

设路站的骨干网光缆需要断开并接通玉岭路站与建设路站的骨干网光缆连接。为避免光缆浪费,无需重新敷设玉岭路站至建设路站的骨干网光缆,可在一期建设时在玉洞站预留熔纤盘端子,二期建设时敷设从玉岭路站至玉洞站的骨干网光缆,在玉洞站的熔纤盘上采用尾纤跳接的方式接通玉岭路站至玉洞站和建设路站至玉洞站的骨干网光缆。贯通调试时仅需在玉洞站接通或断开跳接尾纤,极大地减少了网络倒接的时间。

4 临时控制中心方案

延伸项目调试时为确保延伸段运营期间测试不

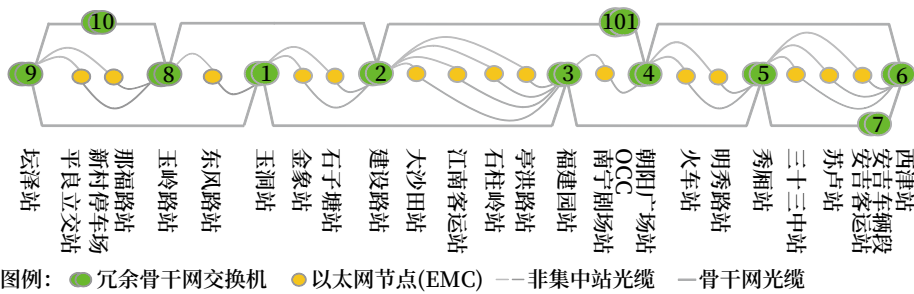


图4 贯通骨干网络组网结构
Fig.4 Networking structure of the final backbone

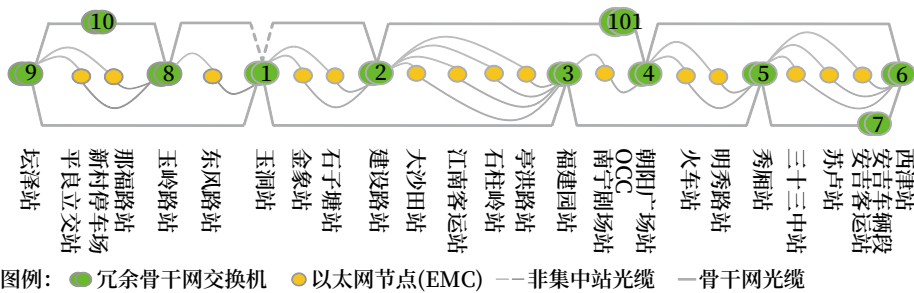


图5 骨干网光缆贯通图示
Fig.5 Optical cable connection diagram of backbone network

影响首期运营, 并且全线贯通调试时为降低调试期间控制中心软件和硬件的倒换风险, 可在延伸项目设备集中站搭建临时控制中心, 设备配置须满足基本控制中心功能。临时控制中心就近接入设备集中站骨干网络, 这需要在延伸项目实施时充分考虑临时控制中心设备用电量和摆放空间。为节省项目成本, 也可利用培训中心设备进行临时控制中心的搭建。以某延伸工程为例, 临时控制中心的基本硬件配置如表 1 所示。

表1 临时OCC设备配置
Tab.1 Temporary OCC Equipment configuration

子系统	名称	单位	数量
DCS	二层交换机	个	4
	三层交换机	个	3
ATS	网关服务器	个	2
	应用服务器	个	1
	数据库服务器	个	1
	ATS 维护工作站	个	1
	ATS 调度工作站	个	1
ATC	LC	个	1
MSS	数据库服务器	个	1

当进行贯通测试时断开既有控制中心设备与骨干网络的连接, 利用临时控制中心设备进行调试, 既有线运营前恢复既有控制中心的连接, 避免调试期间控制中心软件 and 数据的频繁升级和回退。

5 结语

贯通测试方案须基于延伸预留设计方案进行制定, 本文不再对贯通测试方案进行复述。延伸预留设计的充分性和可操作性对后续延伸贯通的实施起到至关重要的作用, 如果考虑不周将会使贯通测试的复杂性和调试风险增加, 同时也会增加项目人力成本和设备成本。

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] 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.
- [3] 中华人民共和国建设部, 国家发展改革委员会. 城市轨道交通工程项目建设标准: 建标 104-2008[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [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. 城市轨道交通信号系统通用技术条件: GB/T 12758-2004[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [5] 孟军, 尹逊政, 李亮. CBTC 系统中保护区段的计算与优化[J]. 铁路计算机应用, 2015, 24(3): 50-53.
Meng Jun, Yin Xunzheng, Li Liang. Computing and Optimization of Protection Section in CBTC System[J]. Railway Computer Application, 2015, 24(3): 50-53.
- [6] 程浩. 昆明轨道交通首期工程信号拆分过渡方案探讨[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(S2): 72-75.
- [7] 张楚潘, 郜洪民. 轨道交通既有线路拆分工程信号系统改造方案实例探讨[J]. 铁道通信信号, 2008, 44(8): 17-19.
Zhang Chupan, Gao Hongmin. Signal System Renovation Plan in the Disassembly Engineering of Urban Transit Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2008, 44(8): 17-19.
- [8] 白艳琴. 八通线信号系统改造工程设计关键点分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(9): 89-93.
Bai Yanqin. Analysis on Design Scheme of Transformation of Signal System for Batong Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 89-93.
- [9] 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.

关于CR300BF动车组BTM天线周围 谐波干扰问题的研究

刘 骄, 夏朋亮

(中国铁路西安局集团有限公司西安高铁基础设施段, 西安 710000)

摘要: BTM系统干扰问题的原因是发生故障过程中BTM系统受到外界环境、车体工况影响大,故障发生后查找困难,手段有限,无法制定有效整改措施。通过分析新造CR300BF动车组BTM系统故障现象,从排查方案、确定、处理、再总结,经过多次处理和研究,最终查明其故障原因,并制定有效应对措施,为今后同类车型列控车载设备的验收、维护、故障处理提供思路和方法。

关键词: 动车组; 应答器传输模块; 干扰; 整改措施

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0102-04

Research on Harmonic Interference Around BTM Antenna of CR300BF EMU

Liu Jiao, Xia Pengliang

(Xi'an High-speed Railway Infrastructure Depot, China Railway Xi'an Group Co., Ltd., Xi'an 710000, China)

Abstract: The reason of the interference problem of BTM system is that it is greatly affected by the external environment and car body working conditions in the process of failure, and it is difficult to find after the fault occurs, and the means are limited, so it is impossible to formulate effective rectification measures. Through analyzing the new CR300BF EMU BTM system fault phenomenon, this paper mainly studies the fault investigation, determination, treatment and summary, finally finds out the cause of the fault after many processing and research, and formulates effective measures, which provides ideas and methods for the acceptance, maintenance and fault treatment of the onboard train control equipment of similar models in the future.

Keywords: EMU; BTM; interference; rectification measures

1 运用现状及原理

车载BTM系统的电磁干扰问题一直困扰着列控车载设备维护人员。随着不同类型新造复兴号等动车组不断上线运行,出现的疑难故障也越来越复

收稿日期: 2022-07-11; 修回日期: 2023-08-09

第一作者: 刘骄(1978—),男,高级工程师,硕士,主要研究方向: 高铁信号地面、列控车载设备维护、联锁数据等管理,邮箱: jiaoliu5298@sina.com。

通过更换 BTM 主机、天线单元, 车载设备上电后使用应答器测试天线表面至应答器上表面垂直作用范围的应答器接收灵敏度(仅 400 mm)均不满足标准(正常标准 500 ~ 900 mm), 故障现象仍然存在, 故排除 BTM 主机及天线单元。测试 4 M、27 M 电缆芯线阻值、绝缘均符合标准。一方面将 4 M、27 M 电缆两端接头进行分解、检查无异常, 重新做头处理, 测试其芯线阻值、绝缘数值与之前一致, 测试应答器接收灵敏度仍无变化, 不符合标准。将换下 BTM 主机及天线单元在工装测试台进行灵敏度测试, 数值符合标准(大于 700 mm)。另一方面升高既有 BTM 天线单元安装高度(升高 120 mm), 使用车体正式电缆或临时电缆连接既有位置天线单元, 测试应答器接收灵敏度仅有 300 mm, 接收灵敏度进一步降低。用工装测试台应答器连接线缆临时替换故障端电缆, 并连接 BTM 主机、备用天线单元(不在既有位置), 测试应答器接收灵敏度符合标准(大于 700 mm)。拆除临时线缆、天线, 恢复在用设备, BTM 天线接收灵敏度仍不符合标准。最后使用网络测试仪对 BTM 天线及线缆进行阻抗性能测试, 测试值为 $Z = 52.3 \Omega + j5.0 \Omega$, 符合标准(标准: 实部 40 ~ 70 Ω , 虚部 -10 ~ 28 Ω)。

此外, 对车底槽钢与车体吊装骨架形成回路进行低频感应电流测试, 无低频感应电流。断开车体一根槽钢单端, 对 BTM 天线应答器接收灵敏度进行多次测试, 测试值均大于 700 mm, 符合标准。恢复该槽钢连接后, 多次测试值仍大于 700 mm。对该槽钢进行多次拆装试验, 测试值仍大于 700 mm。对 BTM 天线左、右边沿与槽钢间距离进行测量, 距离为 250 mm, BTM 天线前沿与前方吊装龙骨距离为 480 mm, BTM 天线后沿与后方吊装龙骨距离为 650 mm。对槽钢与车体吊装骨架形成回路进行测试确认, 回路电阻为 0 Ω 。如图 3 所示, 恢复车载既有设备, 静态试验良好, BTM 天线接收灵敏度指标正常。结合车辆部门进行动态试验, 分析数据良好。

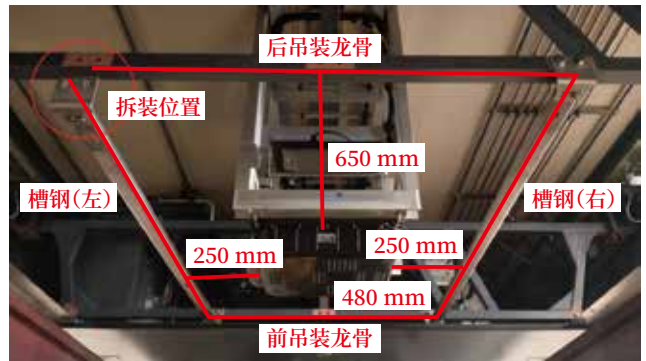


图3 BTM天线安装环境
Fig.3 BTM antenna installation environment

3 实验室仿真及测试

结合谐振原理, 电路中既有感性原件又有容性原件, 感性原件是通直流阻交流, 容性原件是通交流阻直流。物理上用相位来描述: 感性原件和容性原件的相位正好相反, 而感性原件和容性原件在电路中呈现的阻性在某个频率下会相等, 这样的电路称之为谐振电路, 该频率为谐振频率。

首先使用 HFSS (High Frequency Structure Simulator) 三维电磁仿真软件进行仿真建模, 模拟现场情况。BTM 天线仿真环境如图 4 所示, 其中金属环路模拟车辆周边金属环路。

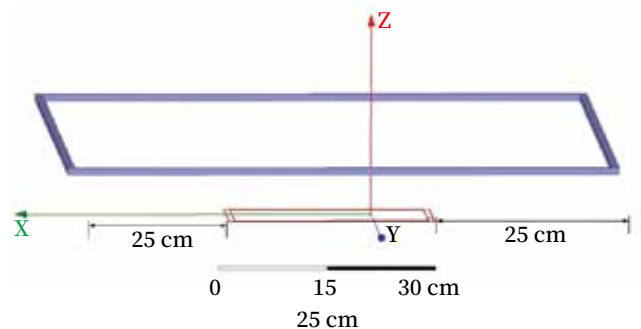


图4 BTM天线仿真环境
Fig.4 BTM antenna simulation environment

仿真时, X 轴为垂直与列车行进方向, Y 轴为列车行进方向, Z 轴为 BTM 天线对地方向。BTM 天线处于原点, 按现场环境参数加入金属环, 通过改变金属环的谐振条件, 经过仿真来验证天线周围电磁场分布的变化规律。在天线周围有金属环, 会导致电磁场分布产生变化: 在金属环不满足谐振条件时,

X轴方向两侧有所加强，而Z轴方向略有减弱；在金属环满足谐振条件时，3个方向都有明显的减弱。同时天线上方有金属环会改变天线的电磁场的分布，即改变天线的方向图，在金属环满足谐振条件时会极大地改变天线的方向图，缩小天线的有效工作范围。

根据现场 BTM 天线安装环境，在实验室使用环状金属板搭建测试环境，如图 5 所示。当环状金属板达到谐振条件时，BTM 天线的垂直作用范围约为 450 mm，但稍微动一下环状金属板，破坏谐振条件，BTM 天线的垂直作用范围可达到 750 mm。

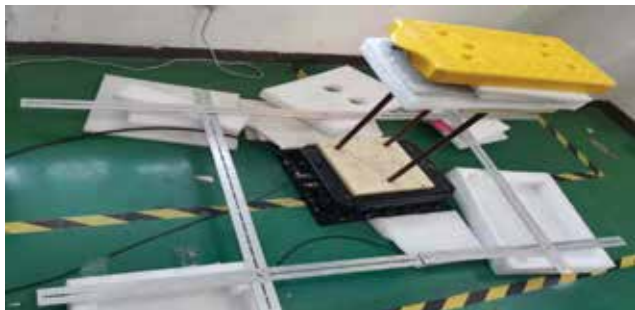


图5 实验室测试环境
Fig.5 Laboratory testing environment

4 原因分析及处置措施

通过仿真及测试可知，因该槽钢与车体吊装龙骨在 BTM 天线周围，形成闭合金属回路，其谐振频点与 BTM 天线辐射的 27.095 MHz 相同。当天线向外辐射 27.095 MHz 信号时，该回路会发生谐振现象，在其内部产生感应电流并对外辐射，这改变了 BTM 天线原本的辐射图，使天线有效作用范围降低。当对该回路进行断开后，其谐振频率变化或感应电流减小，当天线向外辐射 27.095 MHz 信号时，便不会产生谐振现象或谐振影响下降，不影响天线作用范围。

应答器丢失原因为 BTM 天线周围车体金属骨架形成的闭合回路其周长恰好达到了 27.095 MHz 信号半波长的整数倍，且回路的阻抗参数与 BTM 天线相近，发生频率谐振现象，影响 BTM 系统正常的能量辐射。

新造 CR300BF 动车组若发生同类型故障返回

西安后，车载设备车间应第一时间下载车载设备相关数据。车入库后由车载设备车间组织对设备进行全面检查、试验，确认故障是否复现。根据数据分析结果进行故障处理，更换相关器材后进行相关试验。车载设备车间形成故障报告，经电务维修技术中心主管工程师、主管副主任、安全科科长及主管副段长逐级审核后，由段生产监控中心上报局集团公司安监局、电务部。最后，为防止 BTM 天线周围的金属环路对 BTM 天线辐射的信号产生谐振，建议对 CR300BF-5025 车及同批次动车组的 BTM 天线 350 mm 范围内金属环路连接点处进行绝缘防护处理，使其无法形成闭合回路，确保 BTM 天线安全稳定工作。

5 结束语

BTM 系统干扰问题往往比较复杂，涉及到诸多方面的原因。通过对 BTM 天线周围的金属环路绝缘的改造，后续再无应答器接收灵敏度不符合标准问题发生，防止同类型故障的发生。同时在改造前建议定期测试应答器接收灵敏度，并将加装绝缘检查测试纳入日常维护管理。根据 CTCS2-200C BTM 安装手册相关要求，当 BTM 天线附近的金属物未形成闭环时，无金属区域为 100 mm，当形成闭环时，无金属区域为 350 mm。结合现场实际情况，建议后续能进一步修改无金属区域的标准范围。

参考文献

- [1] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-3 级列控车载设备技术规范: Q/CR 744-2020[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-3 级列控系统总体技术要求: TB/T 3581-2022[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2022.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 应答器传输系统技术条件: TB/T 3485-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

(下转 111页)

ZD-6型电动转辙机“接点反弹”的故障分析及预防

胡 婕, 徐锦材, 郭予广

(广州地铁集团有限公司, 广州 510330)

摘要: 地铁线网的不断拓展, 正线及车辆段对 ZD-6 型电动转辙机使用要求越来越高。针对 ZD-6 型电动转辙机摩擦联结器的结构特点, 分析现场转辙机运作时出现“接点反弹”现象及摩擦电流不达标的问题原因, 提出一些日常维护处理方法。

关键词: 电动转辙机; 摩擦联结器; 接点反弹; 摩擦电流

中图分类号: U284.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0106-06

Fault Analysis and Prevention of "Contact Rebound" of ZD-6 Electric Switch Machine

Hu Jie, Xu Jincai, Guo Yuguang

(Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou 510330, China)

Abstract: With the continuous expansion of the subway network, the main line and depot have higher and higher requirements for the use of ZD-6 electric switch machine. In view of the structural characteristics of the friction coupling of ZD-6 electric switch machine, this paper analyzes the causes of the "contact rebound" phenomenon and the problem that the friction current does not up to standard during the operation of the on-site switch machine, and puts forward some daily maintenance methods.

Keywords: electric switch machine; friction coupling; contact rebound; frictional current

ZD-6 型电动转辙机在铁路局运用十分普遍, 但在地铁占比不到 5%, 尤其是南方地区仅有广州与福州地铁有广泛运用。考虑到南方地区环境不同, 炎热地区, 减速器内齿轮润滑脂在夏季极易出现熔滴现象; 结合 2022 年 2 月地铁道岔故障处理时发现 ZD-6 型电动转辙机转动到位后出现“接点反弹”, 测

量减速器摩擦电流最高为 5 A 且不稳定的现象。为预防此类故障问题, 在理论分析和基地试验的基础上, 通过数据分析, 发现 ZD-6 型电动转辙机出现“接点反弹”的原因并提出可操作性较强的预防措施。

1 原因分析

现有 ZD-6 转辙机的摩擦联接器是利用轂式摩擦带与内齿轮伸出端之间的摩擦来实现, 其主要用于过载保护, 当转辙机转换受阻时, 内齿轮克服摩

收稿日期: 2022-08-10; 修回日期: 2023-08-18

第一作者: 胡婕 (1997—), 女, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: 地铁信号, 邮箱: hujie1@gzmt.com.

擦力开始在摩擦带内转动，通过相互摩擦消耗电机输出的能量，达到保护电机及相关零件的作用。另外在转辙机正常转换到位后，剩余惯性也需要通过摩擦联接器的相对滑动来吸收。

摩擦联接器是固定在减速器内齿轮延伸部分的小外圆上，与可调摩擦板共同构成减速器部件，如图1所示。由于ZD-6采用直流电机，摩擦连接器与内齿轮产生的摩擦力与工作（摩擦）电流近似成正比。

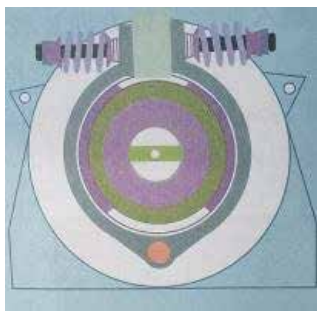


图1 摩擦连接器结构
Fig.1 Friction coupling structure diagram

摩擦连接器正常使用时需满足如下技术要求。

1) 道岔正常转换时，摩擦连接器不空转；道岔转换完毕时，摩擦连接器应稍有空转；道岔尖轨因故不能转换到位时，摩擦连接器应空转。

2) 在规定摩擦电流条件下，摩擦连接器弹簧有效圈的相邻圈最小间隙不小于 1.5 mm；弹簧不得与夹板圆弧部分触碰。

3) 摩擦带与内齿轮伸出部分，应经常保持清洁，不得锈蚀或沾油。

4) 摩擦带与内齿轮伸出端的接触面积不小于摩擦带面积的 4/5。

接点反弹状态（异常状态）是指道岔到位后，由于减速器中摩擦连接器与内齿轮之间的摩擦力大于电机旋转惯性产生的力，此时摩擦连接器仍将减速器的内齿轮固定在“静止”位置，而电动机的旋转惯性由于没有缓冲，导致产生大小相等的反弹力，迫使外齿轮反转继而带动输出轴反转导致接点断开。即不满足技术要求的第一点。

根据摩擦连接器的技术要求，分析其在生产、

使用过程中因为一些外界因素造成摩擦电流变化的原因，主要有以下几点。

1) 外界影响。

a. 湿度：由于电动转辙机机内进水，使摩擦带与内齿轮接触面浸水或使主轴生锈，进而影响摩擦电流的大小。

b. 温度：摩擦带、主轴膨胀系数不同，受温度影响变化不同等，进而影响摩擦电流的大小。

2) 加工、装配不当。两片摩擦带薄厚不一致；摩擦带与减速器内齿轮接触面积不同；内齿轮和夹板不同心等，均会造成摩擦带正反阻力大小不一致、扭矩传递不平稳，进而影响摩擦电流的大小。

3) 摩擦连接器自身结构影响。两个调整螺母无法保证调整出的摩擦带预压力大小相等；摩擦连接器密封效果不理想，致使摩擦带性能参数受湿度影响而上下起伏。

4) 熔滴的润滑脂落到摩擦连接器夹板轴上，随着内齿轮的转动，沾入到摩擦带面上，使摩擦力减小，工作电流自动下降，并且再调紧螺母也无法提高摩擦电流。

2 检修基地理论试验

通过摩擦连接器技术要求及出现摩擦电流变化的原因分析可大致判断本次故障的原因为摩擦连接器与内齿轮之间的摩擦力大于电机转动惯量的力，最终导致“接点反弹”。而摩擦连接器与内齿轮之间的摩擦力可通过摩擦电流反映，即摩擦力越大摩擦电流越大，因此出现摩擦电流 5 A 且不稳定的情况。

根据该特点，检修基地从摩擦带使用介质、减速器齿轮油脂涂抹情况、油脂化验分析及摩擦电流与接点反弹关系等方面开展相关试验。具体内容如下。

2.1 减速器摩擦带在不同介质下（油脂、油泥混合物、水）摩擦电流的变化研究

通过对碳基半金属摩擦夹按 5%、10%、20%、30%、50%、100% 比例涂抹长城牌 3 号锂基润滑脂以及对摩擦带喷水等方式，将不同状态下的摩擦带安装至减速器上并连接智能测试负载台，观察摩

擦电流变化情况，判断在不同介质下的摩擦电流变化趋势。如图2所示，详细测试步骤如下。

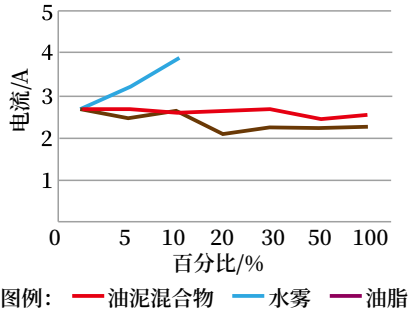


图2 摩擦带在不同介质下，摩擦电流的变化情况

Fig.2 Friction current Change of friction belt in different mediums

1) 将正常摩擦带(0% 涂抹物)固定至摩擦夹板，并调整减速器左右两边摩擦电流至2.7 A。

2) 用游标卡尺测量在摩擦电流2.7 A下摩擦联结器的调整弹簧顶部距离底部的净深，并明确调整弹簧在调整至该净深条件时，摩擦电流是一致的。以此作为摩擦带在涂抹各类试验物后的安装调整基准。

3) 摩擦带拆卸并按5%、10%、20%、30%、50%、100%比例涂抹油脂、油泥混合物后安装至摩擦夹中，并将调整弹簧调整至基准净深值。减速器正常转动三圈后，测量摩擦电流。

4) 正常摩擦带安装至摩擦夹，并将调整弹簧调整至基准净深值。在内齿轮与摩擦带裸露部位用喷壶喷洒少部分净水，测量摩擦电流。

通过分析摩擦电流的变化情况，最终得出以下研究结论。

1) 摩擦夹内渗入油脂或油泥混合物时，其渗入量与摩擦电流基本呈负相关，即油脂渗入越多，摩擦力越小，其摩擦电流越低。

2) 摩擦夹内渗入水时，其渗入量与摩擦电流基本呈正相关，即渗入水汽越多、湿度越大，其摩擦电流越大。

2.2 油脂注入量与渗油关联性的对比

通过对减速器内齿轮按“标准涂油”及“过多涂油”两种方式进行涂抹对比。随后将两种状态的内齿轮安装至减速器上并连接转辙机智能测试台，

模拟现场道岔单日转动次数(500个来回)，总计模拟两周的转动量(7000个来回)，测试以下内容：动态监测减速器温度变化情况；7000个来回后检查两台减速器的油脂外溢情况，特别是减速器壳夹板轴的油脂外溢情况；7000个来回后检查摩擦带的使用情况。详细测试步骤及情况如下。

1) 对减速器(编号001，简称一号减速器)的壳内腔及内齿轮内部进行标准涂油；对减速器(编号002，简称二号减速器)的壳内腔及内齿轮内部进行明显的过量油脂涂抹。

2) 分别组装至两台转辙机，并连至不同的ZD-6转辙机智能测试台，上、下午各模拟W1601道岔的一日转动量(500次)，连续测试7天，共计模拟14天的转动量。

3) 转动期间，每日模拟转动时，第250及500次转动完毕后，利用体温枪测量减速器盖、减速器壳、内齿轮的温度，并记录；在转辙机连续转动的情况下，减速器盖、减速器壳及内齿轮温度基本在35~40℃之间。且同一条件下，减速器盖温度最高，减速器壳次之，内齿轮温度最低。

4) 完成W1601的14天转动量后，对减速器进行拆解，查看减速器油脂外溢情况。“标准注油”的一号减速器：中间板安装紧固部位和减速器壳与内齿轮摩擦夹小圆接触面未发现油脂外溢现象，减速器壳下方的夹板轴部位有油脂/油泥混合物黏糊现象，但未渗入摩擦带。“过多注油”的二号减速器：在减速器转换到第5个来回时，明显发现油脂从减速器壳内外溢出到内齿轮面上，显黏糊状态，随着转换次数增加，减速器壳内的油脂外溢油量越多。减速器转换到第50个来回后，基本未发现有油脂再外溢现象。同时，后续7000个来回动作结束后未见中间板和夹板轴部位有油脂外溢现象，如表1所示。

综上可以得出，在转辙机连续转动的情况下，减速器外部温度基本在35~40℃之间，而现场道岔高峰期时为2 min转动一个来回，频次远低于试验条件，预计减速器温度将更低，且远低于3号锂

表1 减速器各部位温度的变化情况
Tab.1 Temperature change of parts of the retarder

转换次数 (来回)	测量部位温度 /°C		
	减速器盖	减速器壳	内齿轮
第 0 转	38.6	35.6	35.5
第 250 转	38.7	35.8	35.5
第 500 转	39.9	38.3	36.4
第 750 转	38.9	37.1	36.1
第 1 000 转	40.4	39.5	37.3
第 1 250 转	38.2	36.0	35.4
第 1 500 转	39.8	38.3	36.1
第 1 750 转	38.7	36.6	36.2
第 2 000 转	39.9	38.9	37.1
第 2 250 转	38.6	36.5	36.0
第 2 500 转	39.9	39.1	37.2
第 2 750 转	38.7	36.9	35.8
第 3 000 转	40.1	39.1	36.9
第 3 250 转	38.5	36.2	35.8
第 3 500 转	39.7	38.8	36.6

基脂“滴点”。因此可以判断，转辙机转动时产生的温度不是导致油脂液化的主要原因。

但减速器过多注油会导致油脂从减速器壳与内齿轮缝之间明显溢出。而正常情况下随着转动次数的增多，夹板轴易出现油脂与摩擦带粉尘产生的油泥混合物，从而影响摩擦电流。

2.3 油脂对比研究

转辙机润滑脂主要起降低机械摩擦，防止机械磨损的作用，同时还兼起防止金属腐蚀的保护作用，及密封防尘作用。通过选取 TR-1 铁路专用转辙机润滑脂及 3[#] 润滑锂基脂涂抹在 ZD-6 转辙机减速器上，在其他条件相同的情况下，使用转辙机智能测试台对涂有两种油脂的 ZD-6 转辙机进行操岔试验 7 000 次。

测试试验结果显示，减速器壳内齿轮大圆面涂抹的 TR-1 铁路专用转辙机润滑脂呈现均匀饱满，无明显的转动磨损发黑现象；减速器内齿轮大圆面上涂抹的 3[#] 润滑锂基脂呈现不均匀饱满，有明显的转动磨损发黑现象。

通过与 3[#] 润滑锂基脂进行参数对比，结合 TR-1 铁路专用转辙机润滑脂的研究报告，TR-1 铁路专用

转辙机润滑脂在适用场景、抗磨极压性能、高/低温性能方面相比 3[#] 润滑锂基脂表现更好，如表 2 所示。从同行业选型方面分析，TR-1 铁路专用转辙机润滑脂为中国石化石油化工科学研究院应西安铁路信号厂要求所研制的一种适合全国各地、冬夏通用的铁路转辙机润滑脂。

表2 油脂相关参数对比
Tab.2 Comparison of grease related parameters

名称	TR-1 铁路专用转辙机润滑脂	3 [#] 润滑锂基脂
类型	极压型	普通型
外观	黄色均匀油膏	浅黄至褐色光滑油膏
使用温度范围 /°C	- 60 ~ + 120	- 20 ~ + 120
滴点 /°C	不低于 170	不低于 180
锥入度 /0.1 mm	265 ~ 310	220 ~ 250
钢网分油量 /%	≤ 5	≤ 5
适用场景	应用于铁路路轨制动机械和通用机械的润滑	适用于一般机械设备的轴承及其他摩擦部位的润滑。具有优秀的抗流失能力及使用寿命长
性能对比	相比同类型产品，具有优良的机械安定性、低温性能	无
数据来源	中国石化石油化工科学研究院官网、TR-1 铁路专用转辙机润滑脂检测报告 - 石化院	产品说明、3 [#] 润滑锂基脂检测报告 - 广州澳凯油品检测技术有限公司

2.4 摩擦电流与接点回弹关系研究

接点回弹是在转到道岔到位后，由于摩擦连接器的静摩擦力大于电机旋转惯性产生的力，此时摩擦连接器仍将减速器的内齿轮固定在“静止”位置，而电动机的旋转惯性由于没有缓冲，导致产生大小相等的反弹力，迫使外齿轮反转继而带动输出轴反转导致接点断开。

通过在转辙机测试台上对 ZD-6 型电动转辙机摩擦电流进行调整，观察接点回弹情况，明确现场摩擦电流范围。通过测试，得出单机的 ZD-6 型电动转辙机摩擦电流在 2.0 ~ 3.0 A 之间不会出现接点回弹的情况，如表 3 所示。

3 改善措施

试验新型减速器：由于现有 ZD-6 转辙机减速

表3 摩擦电流与接点回弹相关参数及情况对比

Tab.3 Comparison of friction current and contact rebound related parameters and conditions

调整摩擦电流测试数据									
序号	负载力 / N	摩擦电流调整值 /A	到位后减速器消耗电机惯量转动周长/mm		到位后自动开闭器接点接触深度回弹距离/mm				变化说明
			定位	反位	一排	二排	三排	四排	
1	500	2.0	23.19	23.36	6.4	6.4	6.8	6.9	未发现动接点有回弹现象，表示正常
2	500	2.2	19.88	21.09	6.4	6.4	6.8	6.9	
3	500	2.4	17.3	18.4	6.4	6.4	6.8	6.9	
4	500	2.6	14.6	14.7	6.4	6.4	6.8	6.9	
5	500	2.8	13.5	13.11	6.4	6.4	6.8	6.9	
6	500	3	11.67	12.34	6.4	6.4	6.8	6.9	
7	500	3.2	9	8.5	6.4	6.4	6.52	6.9	胶木座有抖动，无接点回弹现象
8	500	3.4	8.2	8.4	6.4	8.9	7	6.9	动接点回弹，未失去表示
9	500	3.6	7.8	7.7	6.4	10.44	7.22	6.9	
10	500	3.8	7.3	7.5	6.4	10.45	8.87	6.9	
11	500	4	7.1	7.2	6.4	13.3	10.81	6.9	
12	500	4.2	6.5	6.7	6.4	14.55	11.92	6.9	动接点回弹，失去表示
13	500	4.4	6.4	6.4	6.4	20.13	13.03	6.9	
14	500	4.6	5.7	5.7	6.4	19.52	17.58	6.9	

注：1) 减速器左右位两侧电流调整至 2.7 A，负载力调整为 500 N

2) 自动开闭器接点深度初始值调整为：第一排 6.4 mm、第二排 6.4 mm、第三排 6.8 mm、第四排 6.9 mm

器摩擦连接器在使用过程中摩擦电流受环境温度及空气湿度影响较大，而摩擦电流的变大会引起接点反弹等现象。同时现有的榫式摩擦带在使用过程中维护量较大，例如需要定期清理摩擦产生的粉末、定期更换摩擦带。为了克服目前减速器摩擦带的缺点，通号（西安）轨道交通工业集团有限公司研发了一种新的盘式摩擦减速器，其减速器部分保持不变，将摩擦连接器部分由开放式的榫式摩擦副改进为内置的盘式摩擦副，盘式摩擦连接器部分与减速器部分集成在一起，密封性提升、摩擦性能稳定。目前已在地铁部分线路进行试验，使用反馈较好。

4 预防措施

1) 日常维护时，严格按照要求调整摩擦电流，不得超出规程要求（车辆段 2.3 ~ 2.6 A，正线 2.6 ~ 2.9 A）。当检修时发现摩擦电流变化超过 0.1 A 或发现减速器壳渗油或摩擦电流超标或不稳定时，应拆解摩擦片对其进行检查并清洁处理。

2) 认真监测转辙机摩擦电流的变化状态，及时调整，留有余地。加强季节防范，要根据季节性气温变化，跟踪标调道岔故障电流。当出现连续潮湿天气时，应加密检修周期，并重点检查摩擦电流状态及清洁摩擦带。

3) 使用 TR-1 铁路专用转辙机润滑脂，提高转辙机部件耐用性。

4) 为避免油泥混合物日积月累进入摩擦带，造成摩擦电流变动，夹板轴处的油泥混合物清理建议列为日常维护时的重点工序。

5 结束语

本文旨在研究 ZD-6 型电动转辙机的减速器中油脂对摩擦电流造成的影响以及摩擦电流变化对转辙机动作的影响。为地铁 ZD-6 型电动转辙机日常维护提出一些建设性意见。经过一段时间的验证，现场已未发现此类问题，保证了转辙机的出所质量和行车安全。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程-普速铁路部分[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [2] 姜宇. ZD6 电动转辙机入所修质量控制措施[J]. 中国新通信, 2020, 22(4): 239.
Jiang Yu. Quality Control Measures of ZD6 Electric Switch Machine in Repair[J]. China New Telecommunications, 2020, 22(4): 239.
- [3] 张愿宁. ZD6 电动转辙机的维修和故障处理[J]. 消费导刊, 2018(41): 164.
Zhang Yuanning. Maintenance and Troubleshooting of ZD6 Electric Switch Machine[J]. Consume Guide, 2018(41): 164.
- [4] 王永清. 简谈降低转辙机内部接点故障率的技术改造措施[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 73-76.
Wang Yongqing. Technical Transformation Measures to Reduce Failure Rates of Internal Contacts of Switch Machine[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 73-76.
- [5] 史维利, 万书成, 孟凡硕. ZD6 转辙机“吐接点”故障的分析与整治[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(5): 21-22.
Shi Weili, Wan Shucheng, Meng Fanshuo. Analysis and Solution of Output and Connect Error in Switch Machine[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(5): 21-22.
- [6] 韩艳哲. ZD6 电动转辙机动接点反弹的原因分析及改进[J]. 黑龙江科技信息, 2017(2): 39.
Han Yanzhe. Cause Analysis and Improvement of Rebound of ZD6 Electric Switch Motor Contact[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2017(2): 39.
- [7] 王红彬. ZD6 转辙机接点反弹问题的分析与处理研究[J]. 机电一体化, 2014, 20(3): 121.
- [8] 铁广磊. 一起电路问题引起转辙机动接点回退分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(3): 109-112.
Tie Guanglei. Analysis of Drawing back of Moving Contacts of Switch Machine Caused by Circuit Errors[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(3): 109-112.
- *****
- (上接 105页)
- [4] 刘广信. BTM 测试系统 LTMS 软件的设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [5] 吕岩琪. CTCS3-300T 列控车载应答器传输系统故障分析及处理建议[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 99-103.
Lü Yanqi. Fault Analysis and Suggestions on Fault Handling of Onboard Balise Transmission System of CTCS3-300T Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 99-103.
- [6] 虞兴兵. CTCS3-300T 列控车载 BTM 故障分析[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(11): 26-29.
Tuo Xingbing. Fault Analysis of On-Board Balise Transmission Module in CTCS3-300T[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(11): 26-29.
- [7] 廖声磊. 基于两副 BTM 车载天线抑制电磁干扰应用研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [8] 吴凤飞. BTM 电磁干扰记录仪硬件平台及对时技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [9] 康伟. 300T 型 ATP 设备应答器信息传输系统故障处置方法探讨[J]. 铁道技术监督, 2019, 47(5): 35-38.
Kang Wei. Discussion on Troubleshooting Balise Information Transmission System for 300T ATP Devices[J]. Railway Quality Control, 2019, 47(5): 35-38.

铁路信号设备辐射发射超标分析及对策

柳晓鹏

(北京铁路信号有限公司, 北京 102613)

摘要: 通过对某型号铁路信号设备电磁辐射发射超标整改分析, 根据电磁干扰三要素, 阐述辐射发射超标后对电源单元和通信单元辐射源进行定位, 并从辐射源、传播路径等方面进行分析, 提出改进措施, 从而为铁路信号设备电磁兼容整改提供帮助。

关键词: 铁路信号; 电磁兼容; 辐射发射; 电磁屏蔽

中图分类号: U284.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)11-0112-05

Analysis and Countermeasure of Excessive Radiated Emission of Railway Signaling Equipment

Liu Xiaopeng

(Beijing Railway Signal Co., Ltd., Beijing 102613, China)

Abstract: Through the rectification analysis of the excessive electromagnetic radiation emission of a certain type railway signaling equipment, according to the three elements of electromagnetic interference, this paper expounds the radiation emission standard after fixing the source of the power unit and communication unit, and analyzes them from the aspects of radiation source, propagation path and so on, puts forward the improvement measures, thus for railway signal equipment electromagnetic compatibility improvement to offer help.

Keywords: railway signal; electromagnetic compatibility; radiated emission; electromagnetic shielding

1 概述

近年来随着中国铁路行业飞速发展, 高铁技术遥遥领先。高铁作为一种交通工具, 运送旅客数量多。然而, 随着新技术的发展, 电磁兼容 (EMC) 问题不断出现, 针对铁路信号设备而言, 符合电磁兼容测试要求是产品市场化的关键因素。20 世纪 80 年代, 国内开始对铁路信号设备开展深入技术研

究, 其产生的电磁干扰问题越来越受到重视, 若设备的电磁干扰 (EMI) 通过空间耦合作用到其他线缆上, 进而影响其他设备的工作。

2 问题描述

某型号铁路信号设备产品包括电源端口、通信端口、输入与输出端口等, 测试过程中电源端口、输入/输出端口及其外界互联, 通信端口与辅助设备进行通信, 设备在正常工作状态下, 将依据国家标准《轨道交通 电磁兼容 第 4 部分: 信号和通信设备的发射与抗扰度》(GB/T 24338.5-2018) 的标准

收稿日期: 2022-06-28; 修回日期: 2023-09-01

作者简介: 柳晓鹏 (1996—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 电磁兼容, 邮箱: 2076084733@qq.com。

限值要求进行辐射发射试验。通过试验发现,该信号设备在水平极化方向多个频点严重超标,测试结果如图1所示,正常工作状态下频段34~70 MHz测试波形表现为带宽辐射发射超标,最大超限幅值达到6 dB左右;同时,频率在100 MHz以上,自120 MHz开始,其每隔40 MHz均出现辐射发射尖峰,并通过单点测试结果显示120 MHz、160 MHz测试幅值超限,最大超限幅值达到7 dB左右。

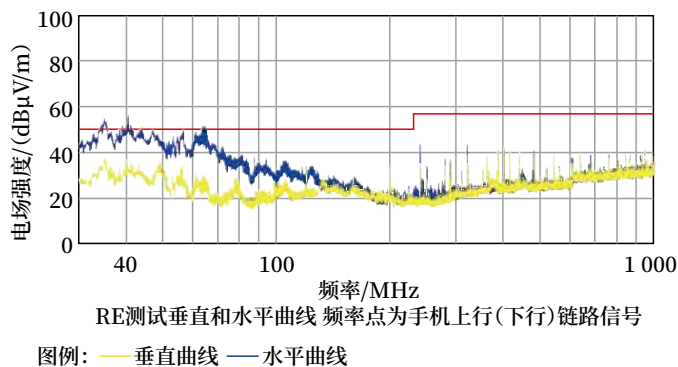


图1 某型号通信设备的辐射发射测试数据
Fig.1 Radiated emission test data of a certain type of communication equipment

3 问题定位及分析

某型号铁路信号设备试验环境如图2所示。作为客运专线列控系统地面设备中的核心部分,其主要功能为根据其管辖范围内各列车位置(轨道占用状况)、联锁进路以及线路临时限速状态等信息,对轨道电路发送编码信息,对车站有源应答器发送进路参数信息,向列车提供其所需的运行许可。该铁路信号设备由主机柜、综合柜以及辅助设备组成。整个测试过程中设备处于正常工作状态,设备可靠接地。



图2 测试环境
Fig.2 Test process

辐射发射超限故障一般由于结构屏蔽缺陷或线缆形成天线导致,所以一般由这两点进行问题分析。因为被测设备结构复杂,组成设备较多,首先需要缩小范围,对故障进行定位。

利用排除法:逐步移除受测设备或线缆进行测试,直到故障消失,最后移除的设备或线缆即为怀疑设备,比较怀疑设备开关状态下的测试结果,即可确定怀疑部件是否为故障源头。

3.1 电磁干扰的形成

如图3所示,作为一种噪声的电磁能源,EMI的3个基本要素是:1)电磁干扰源;2)能够使EMI发生耦合的途径——电磁传播路径;3)易受电磁干扰的敏感设备。

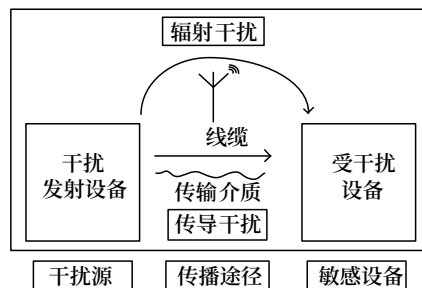


图3 电磁干扰三要素
Fig.3 Three elements of EMI

电磁干扰源包括可以产生电磁干扰的元器件、发射设备、控制系统等。本文主要研究铁路信号设备中的干扰源即电源单元和通信单元模块。耦合途径是指电磁干扰从电磁干扰源传输到敏感的受扰设备的各种途径。敏感设备是指受到电磁干扰的设备,或者说对电磁干扰发生影响的易受电磁噪声影响的设备,不仅包括单个设备、模块,而且包括很大的电气设备。

因此,对于铁路信号设备来说,电磁干扰的抑制主要考虑几个方面:第一,考虑电磁干扰发生设备。一般来说,出现电磁干扰,减少干扰源发射和辐射的噪声信号是最好的办法。第二,考虑耦合途径。通过切断噪声的传输路径来减少噪声,通过线缆的屏蔽、接地等措施抑制。第三,受干扰设备。可以提高敏感设备对电磁噪声的抗干扰能力。一般在实际应用中,结合具体的问题具体分析。

下面分别从34~70 MHz频段和10 MHz~

1 GHz 频段进行干扰源定位, 并从干扰源、传播路径等方面进行分析。

3.2 34~70 MHz频段

在排查故障时, 首先去掉待测设备与外联设备间的输入输出线连接, 然后测试显示干扰频谱曲线基本没有变化。由此可知, 排除从输入输出端口传播辐射干扰信号的可能, 所以辐射干扰信号可能来自于机柜的外壳或电源线束。

当使用铜箔对机柜门的缝隙进行遮挡, 然后测试显示干扰频谱曲线仍未变化, 所以干扰信号是沿着机柜的电源线向外传播干扰信号。

在关闭电源单元后测试波形如图 4 所示, 频段 34 ~ 70 MHz 辐射发射超标现象消失, 所以此频段超限问题由电源单元导致。当对电源单元进行检查后, 外观完整, 运行正常。对线缆进行检查, 发现电源单元外接线缆柜内走线混乱, 将线缆分开捆扎进行测试, 频段 34 ~ 70 MHz 测试波形整体降低, 因此超限现象主要由电源单元线缆排布混乱导致。

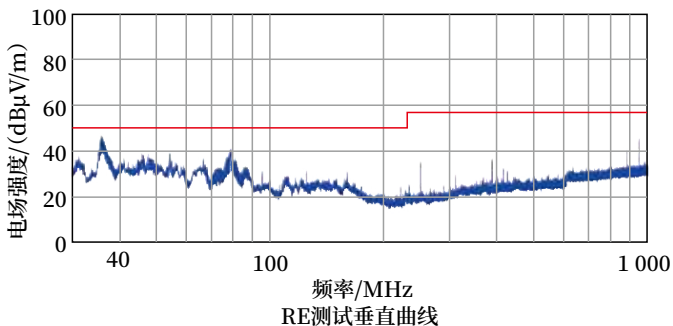


图4 关闭电源单元测试波形
Fig.4 Test waveform of power off unit

3.3 100 MHz~1 GHz频段

在关闭通信单元后测试波形如图 5 所示, 频点 120 MHz、160 MHz 的辐射发射尖峰幅值不足 30 dB, 所以此频段超限问题由通信单元导致。通过检查通信单元外观, 装配紧固、外观完好, 但背板线缆接口处开孔较大, 影响屏蔽效果。

通过检查通信单元对外接口线缆, 通信单元通过 3 根信号线与辅助设备连接, 摘除通信单元侧线缆进行测试, 结果显示辐射发射超限消失。恢复初始状态, 拔掉辅助设备侧线缆进行测试, 结果显示辐射发射超限现象复现, 因此确定干扰由通信单元

某一电路发出, 经由 3 根信号线向外辐射。

通过查询通信单元元器件参数, 发现设备晶振频率为 40 MHz, 当晶振模块工作时会产生时钟信号, 根据信号频谱特性, 上升沿会产生较强的高频发射, 所以超限频点 120 MHz、160 MHz 都是 40 MHz 的倍频, 且 100 MHz 以上辐射发射尖峰间隔也是 40 MHz, 可确定超限频点发射源为晶振。

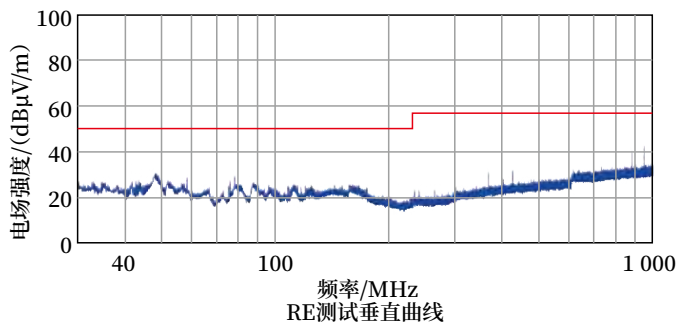


图5 关闭通信单元测试波形
Fig.5 Test waveform of communication shutdown unit

4 改进措施

在解决电磁兼容问题时, 由于造成设备辐射发射超限的原因往往不止一个, 从多方面进行整改才能解决问题。所以当一项整改措施无效后, 应当在此基础上继续整改, 直到问题解决后, 再逐步去除不影响测试结果的整改项, 最终确定有效整改方案。因此在上述分析中, 电源单元设备和通信单元导致不同频段的辐射发射超限, 需分别采取措施进行整改。

4.1 电源单元

根据上述分析可知, 频段 34 ~ 70 MHz 辐射发射超标现象主要由电源单元线缆造成。如图 6 所示, 重新排布电源单元的外接线缆, 将线缆分开捆扎, 线缆连接端子排分开, 保证线缆不会互相干扰。

通过整改后测试结果如图 7 所示, 频段 34 ~ 70 MHz 测试波形整体有较明显的下降, 可说明起到较好的抑制干扰作用。

4.2 通信单元

根据上述分析可知, 频段 100 MHz ~ 1 GHz 辐射发射超标现象主要由通信单元晶振造成; 同时, 箱体屏蔽有缺陷, 驱动线、采集线和采集正电电缆为骚扰主要传播路径, 针对上述情况进行整改。



图6 线缆分开绑扎示意
Fig.6 Separate cable bundling

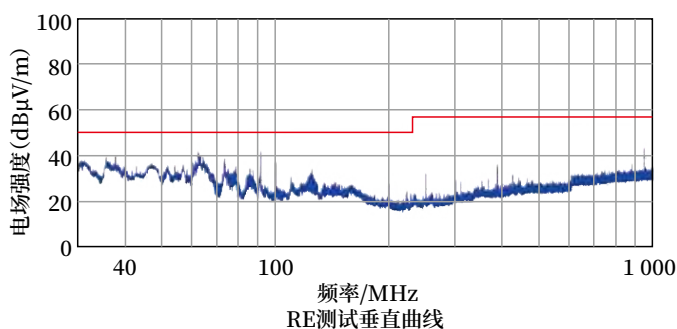


图7 测试波形
Fig.7 Test waveform

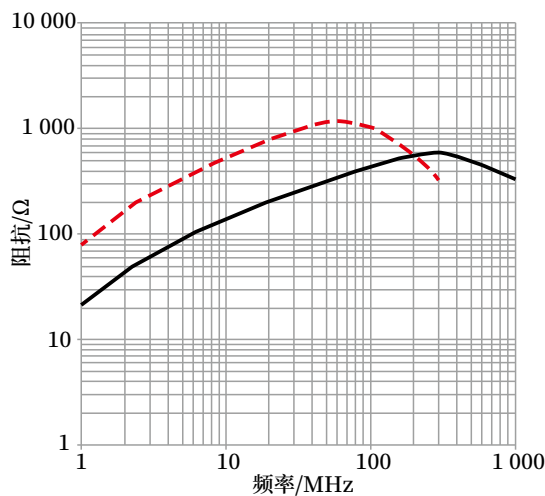
1) 箱体

通过更换晶振模块,选择长度更短、表面积更大的接地线来改善接地状况;同时,使用铜箔胶带对孔洞进行遮挡,将铜箔金属表面与背板充分接触以保证箱体连接的整体性。

2) 线缆

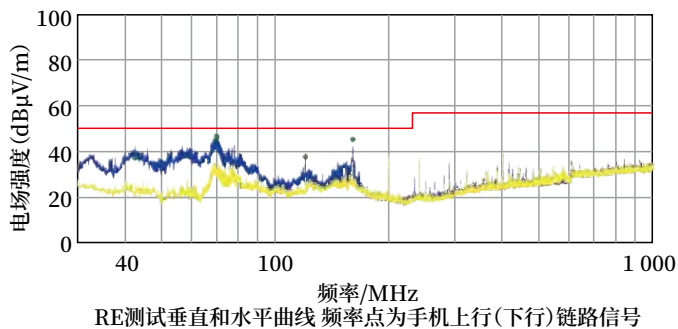
通过增加线缆屏蔽网接地面积,同时在线缆通信单元侧接口处增加铁氧体磁环,利用铁氧体磁环的阻抗特性,增大电磁波能量的损耗和削弱电磁波的传播,减小共模电流干扰。根据超限频率,选择铁氧体磁环为 WE 品牌的 74271211 型,阻抗特性曲线如图 8 所示。

通过整改后最终测试结果如图 9 所示。频段 34 ~ 70 MHz 测试波形整体有较明显的下降,频点 120 MHz、160 MHz 辐射发射尖峰明显降低,单点测量结果符合要求。去除通信单元箱体整改措施进行对比测试,测试结果无明显变化,可知对线缆的整改措施为有效整改。



图例: — 曲线1 - - 曲线2
图8 阻抗特性曲线

Fig.8 Impedance characteristic curve



图例: — 垂直曲线 — 水平曲线

图9 最终测试结果曲线

Fig.9 Final test result curve

5 结语

随着中国铁路飞速发展以及对铁路信号设备 EMI 的高度关注,对某型号铁路信号设备辐射发射超限进行分析。按照电磁干扰 3 要素,对干扰源和耦合路径任选其一即可解决电磁干扰问题,本文在电磁兼容的整改上只针对干扰路径进行整改,在实际应用中,可结合成本、工程技术等因素,选择更加灵活的整改方案,从而为工程应用提供更好的价值。

参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 轨道交通电磁兼容第 4 部分: 信号和通信设备的发射与抗扰度: GB/T 24338.5-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

- [2] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法: GB/T 9254-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [3] 高攸纲. 电磁兼容总论 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [4] 白同云, 吕晓德. 电磁兼容设计 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [5] 李智宇. 分相区应答器传输系统电磁干扰分析及防护技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 1-6.
Li Zhiyu. Research on Electromagnetic Interference and Protection Technology of Balise Transmission System in Neutral Section[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7):1-6.
- [6] 郑军奇. EMC 电磁兼容设计与测试案例分析 [M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [7] 张亮. 电磁兼容 (EMC) 技术及应用实例详解 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [8] 熊蕊. 电磁兼容原理及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [9] 侯宇, 刘蒙, 张成刚. 电子设备抑制电场辐射发射工程设计及改进 [J]. 光电技术应用, 2014, 29(3): 48-51.
- [10] 刘尚峰. 电磁兼容设计在铁路信号设备中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 105-110.
Liu Shangfeng. Application of EMC Design in Railway Signal Equipments[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 105-110.

国外信息

福斯罗公司发布一款创新型数字平台

福斯罗公司发布一款云平台, 这款用户友好型平台名为“福斯罗互联 (Vossloh connect)”, 可以提供用于铁路基础设施的定制化数据驱动型解决方案。应用这款平台将会促进铁路行业实现数字化并且产生变革。这款平台提供一系列尖端解决方案, 旨在优化铁路基础设施管理和维护工作, 并且有助提高安全性、降低成本、提高整体性能。

福斯罗公司为铁路网络所有客户开发出来一个一站式平台。这个平台提供一套完整的数字解决方案, 各个解决方案被无缝集成到单一一套用户友好型系统中。这个平台可以很容易地全景展示铁路基础设施和运营情况。

通过“福斯罗互联”, 客户不仅可以获得福斯罗公司针对各个领域的铁路基础设施的自研解决方案, 而且可以获得选定第三方合作伙伴提供的配套产品和解决方案。

这些工具可以提供实时监测能力, 以便随时了解铁路网络性能以及资产健康状况, 并且获得预测预防性维护相关信息。此外, 这个平台包含一些先进的分析和预警系统, 以便大幅降低事故和服务中断风险。这样不仅可以确保抓好铁路行业的重中之重 (确保安全), 并且有助降低紧急维修成本、延长铁路资产使用寿命, 因此可以提高可持续性。“福斯罗互联”核心之处在于, 采用一些先进的预防性维护算法, 这些算法不仅帮助运营单位更加高效计划维护任务、减少停机时间并且降低成本, 还可更好满足客户核心需求 (提高线路可用性)。客户可以通过“福斯罗互联”访问状态数据。通过在各种应用软件中将数据可视化, 福斯罗公司使得数据变得直观可用, 并且将数据转换为定制化行动建议。

在这款新型平台上, 福斯罗公司提供一些针对道岔的解决方案, 因为从技术角度上来看, 道岔属于铁路线路上面非常复杂、容易故障的设备。“智能道岔”解决方案拥有先进的道岔监测功能, 提供垂直位移、列车位置和列车识别等信息, “智能转辙机”解决方案支持快速进行资产评估、发出可配置型警报, 而且可以适配任何特殊客户需求。通过使用先进的监测功能, 可以预防转辙机故障, 通过采用特定的算法, 支持进行故障预测以及预报。通过采用一套激光传感器, “SMW”解决方案测量位移和振动参数, 以便了解道岔区域有砟道床捣固需求, 并且评估维护工作有效性。

“mapl-e”概念提供整合测量、分析以及维护工作的全面解决方案, 以便通过整合钢轨打磨和车上测量工作, 降低并且控制成本。这个概念支持持续进行数据采集, 无论是否处于高峰时段, 都可快速获得宝贵信息、提高运营效率。

此外, 福斯罗公司的数据库可谓真正的全能型统计工具, 提供用于了解信息的铁路基础设施可视化数据, 用于进行监测的 KPI 数据和报警, 以及用于资产管理的可配置面板。这款平台还可作为选定第三方供应商或者合作伙伴及其解决方案的营销平台。

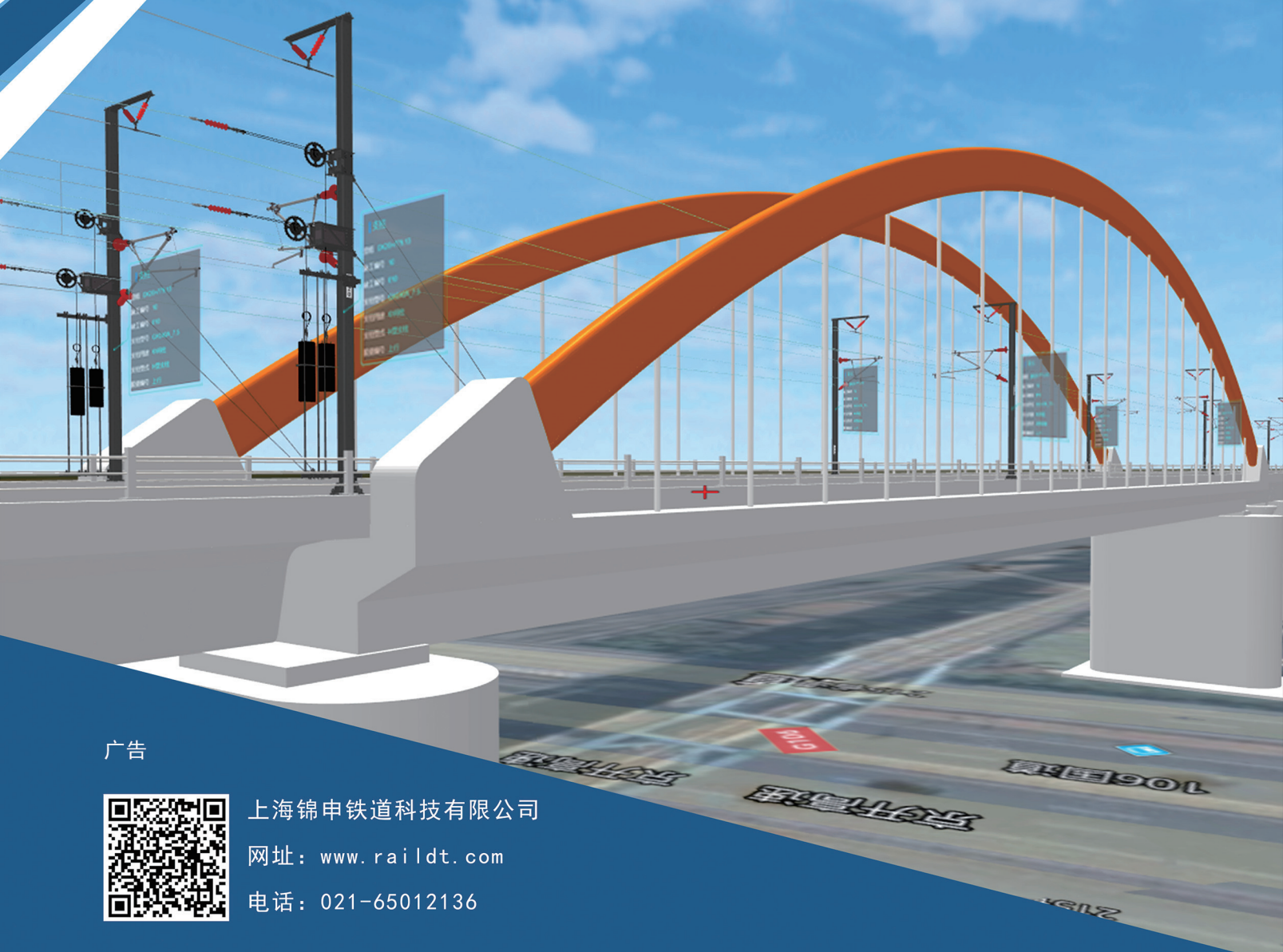
(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘旻翻译自: www.railwaypro.com 2023-09-22)



锦申科技

JINSH TECH

铁路数字孪生



广告



上海锦申铁道科技有限公司

网址: www.raildt.com

电话: 021-65012136

《铁路通信信号工程技术》

Railway Signalling & Communication Engineering

月刊



《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。国内统一连续出版物号：CN11-5423/U。国际标准连续出版物号：ISSN1673-4440。本刊是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；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。

主要内容是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。设有：学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

投稿方式：

期刊官网投稿：<https://rsce.crsd.com.cn>

邮箱投稿：rsce@crscd.com.cn

知网投稿：<http://www.tltx.cbpt.cnki.net/WKD>

地址：北京市丰台区科技园汽车博物馆南路1号院中国通号B座

邮编：100070

电话：010-51865951

传真：010-51841598

网址：www.crsd.com.cn

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

订 价：每期10元，全年（12期）120元



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

扫码打开期刊官网，
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

邮发代号：80-532 国内定价：10元/期