

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U

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. **5** 第20卷 总第149期

CRSC

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司



DLC100-TH型分散式道口系统

广告

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: 325nzg@crscd.com.cn

# 铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

## 主管单位 Administrated by:

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

## 主办单位 Sponsored by:

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

## 主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

## 执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

## 编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

## 责任编辑 Editor in Charge:

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

## 网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

## 英文编辑 English Editor:

刘旸 Liu Yang

## 编辑出版 Edited and Published by:

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

## 地址 Address

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

邮编: 100070 Postcode: 100070

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

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

## 编辑电话 Edition Tel:

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 Jinrizhongtie Advertising Co., Ltd.

## 印刷 Printed by:

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

## 广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第20卷第5期总第149期 Vol.20 No.5 S.No.149

出版: 2023年5月25日 Published on: 5/25/2023

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

车站站名与电务设备相关数据的关联性研究 ..... 刘 磊, 徐效宁, 李 辉, 易海旺, 孙 帝	1-5
铁路道岔转换阻力分析与监测技术研究 ..... 刘振华	6-9
智能黄闪黄点灯装置分析研究 ..... 陈新梅	10-15
教培基地联锁模拟与现场控制结合设计 ..... 梁晓波	16-20
新型列控系统中列车完整性功能测试方法探讨 ..... 魏 博	21-26

### 通信及信息技术

CTCS-3级列控系统无线超时分析关键技术探索 ..... 李宝军	27-31
基于天空地一体化监测的周界防范系统设计及应用示范 ..... 王 梁, 谭金林, 孙晨红, 吴 意, 王伟明, 杨笑天, 刘 焱	32-38
铁路综合视频监控系统网络安全建设的研究 ..... 许 辉	39-43
铁路客运站调车计划编制系统研究 ..... 陈 怡	44-47
列车运行及货车装载状态智能化检测技术优化 ..... 顾 闻	48-52
铁水联运车船直取信息多重匹配技术研究 ..... 龚 雪	53-56

## 城轨交通

城市轨道交通列车节能度量探讨 ..... 肖 孟, 郭 佳	57-61
FA0下信号系统与站台门一体化方案 ..... 崔惠珊, 盖克荣, 李雪枝, 刘伊敏	62-66
加强型接点继电器贮存失效机理分析 ..... 孙志法, 程世杰	67-70
城市轨道交通票务管理系统设计与实现 ..... 陈 莹, 付保明, 张 宁, 张鲁栋, 陆海亭	71-75
道岔安装绝缘烧损分析及解决方案 ..... 魏文涛, 魏 倩	76-80
上海地铁13号线信号与屏蔽门系统接口分析 ..... 于秦龙	81-85

## 技术交流

轨道电路“死区段”成因分析及对策 ..... 陈 波	86-91
补偿电容故障对ZPW-2000A轨道电路影响分析 ..... 罗 颖	92-96
新型铁路信号继电器重锤片的研制 ..... 李学强	97-100

## 国外信息

UIC 和联合国亚洲及太平洋经济社会委员会联合举办铁路数字化会议(38) 波罗的海铁路公司信号系统 招标项目收到五投标文件(96)	
--	--

## 广告索引

.....	56
-------	----

## CONTENTS

### Technological Innovation

#### Signalling Technology

Study on Association between Railway Station Name and Signaling Equipment Data ..... Liu Lei, Xu Xiaoning, Li Hui, Yi Haiwang, Sun Di	1-5
Study on Monitoring Technology for Switching Resistance of Railway Turnout ..... Liu Zhenhua	6-9
Analysis and Study on Intelligent "Yellow Flashing Yellow" Lighting Device ..... Chen Xinmei	10-15
Integrated Design of Interlocking Simulation and Field Control in Teaching and Training Base ..... Liang Xiaobo	16-20
Discussion on Test Scheme for Train Integrity Functions in New Train Control System ..... Wei Bo	21-26

#### Communication & Information Technologies

Exploration on Key Technologies of Wireless Timeout Analysis of CTCS-3 Train Control System ..... Li Baojun	27-31
Design and Application Demonstration of Perimeter Protection System Based on Space-Air-Ground Integrated Monitoring ..... Wang Liang, Tan Jinlin, Sun Chenhong, Wu Yi, Wang Weiming, Yang Xiaotian, Liu Yan	32-38
Research on Cyber-security of Railway Integrated Video Monitoring System ..... Xu Hui	39-43
Research on Shunting Planning System for Railway Passenger Station ..... Chen Yi	44-47
Optimization of Intelligent Detection Technology for Train Operation and Freight Train Loading States ..... Gu Wen	48-52
Research on Multiple Matching Technology for Train-ship Cross Docking Information in Railway-water Intermodal Transport..... Gong Xue	53-56

### Urban Rail Transit

Discussion on Energy Saving Measurement of Urban Rail Transit Trains ..... Xiao Meng, Guo Jia	57-61
Integrated Design Scheme of Signaling System and Platform Screen Door under FAO ..... Cui Huishan, Gai Kerong, Li Xuezhi, Liu Yimin	62-66
Analysis of Storage Failure Mechanism of Enhanced Contact Relay ..... Sun Zhifa, Cheng Shijie	67-70
Design and Implementation of Ticket Management System for Urban Rail Transit ..... Chen Ying, Fu Baoming, Zhang Ning, Zhang Ludong, Lu Haiting	71-75
Analysis and Solution for Insulation Burning of Switch Machine ..... Wei Wentao, Wei Qian	76-80
Interface Analysis of Signaling System and PSD System for Shanghai Metro Line 13 ..... Yu Qinlong	81-85

### Technological Exchange

Cause Analysis and Countermeasures of "Dead Zone" in Track Circuit ..... Chen Bo	86-91
Analysis of Impacts of Compensation Capacitor Failure on ZPW-2000A Track Circuit ..... Luo Ying	92-96
Development of New Heavy Hammer Piece for Railway Signal Relay ..... Li Xueqiang	97-100

### Advertiser Index

.....	56
-------	----

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.001

# 车站站名与电务设备相关数据的关联性研究

刘磊, 徐效宁, 李辉, 易海旺, 孙帝

(中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100081)

**摘要:** 车站站名与电务设备数据、软件直接关联, 为减小车站站名变更对电务设备数据、软件造成的影响, 分析车站站名在列车运行监控装置、调度集中系统、列车运行控制系统、计算机联锁等各电务设备中的应用情况, 研究车站站名变更导致的电务设备数据、软件技术变更内容和变更流程, 并结合各电务设备技术特点, 提出优化完善建议, 为后续电务设备数据、软件与车站站名脱离关联改进提供参考。

**关键词:** 车站站名; 电务设备; 站名变更

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0001-05

## Study on Association between Railway Station Name and Signaling Equipment Data

Liu Lei, Xu Xiaoning, Li Hui, Yi Haiwang, Sun Di

(China Academy of Railway Sciences Co., Ltd., Beijing 100081, China)

**Abstract:** The railway station name is directly associated with the data and software of the signaling equipment. To reduce the impacts of station name change on the data and software of signaling equipment, this paper analyzes the use of station names in the LKJ, centralized traffic control, Chinese Train Control System, computer based interlocking and other railway signaling equipment. It focuses on data and software changes of the above railway signaling equipment caused by the station name changes and the change processes, and puts forward optimization suggestions based on the technical characteristics of various signaling equipment, which can provide reference for subsequent improvements through the disassociation of data and software of signaling equipment with station name.

**Keywords:** station name; signaling equipment; station name change

随着铁路高质量发展和铁路网布局的持续完善, 部分繁忙干线通道已形成高普并线或多线平

行格局<sup>[1]</sup>, 部分城市也形成多座车站密集布局, 车站站名会重新进行规划布局, 如2022年4月1日起, 湖北的宜万铁路巴东站更名为野三关站, 而在建设中的郑万高铁巴东北站使用巴东站的名称。同时为使铁路命名既体现社会基本公共信息, 也能成为重要文化形态和载体, 更好地服务地方经济发展, 实现地理品牌溢出效应<sup>[2]</sup>, 车站站名也紧随时代发生变化, 如2022年5月31日起, 郑州南站更

收稿日期: 2022-09-30; 修回日期: 2023-03-14

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目(J2021G005); 国家铁路智能运输系统工程技术研究中心重点课题项目(2019YJ062); 北京华铁信息技术有限公司科研项目(2019HT22)

第一作者: 刘磊(1984—), 男, 副研究员, 硕士, 主要研究方向: 高速铁路列车运行控制系统, 邮箱: leiliu@rails.cn。

名为郑州航空港站。为贯彻落实新发展理念，更好服务国家和区域经济社会发展，方便民众出行，适应铁路运营管理需要，中国国家铁路集团有限公司制定发布了《铁路线路、车站、桥渡隧名称管理办法》（铁发改[2020]196号），规定了铁路线路、车站、桥渡隧命名和更名管理工作，可以预见数量最多、最受人民关注铁路车站更名会越来越普遍。

铁路是涉及多个专业的系统工程，车站站名在铁路各专业中都起到了非常重要的作用，特别是作为保障列车安全，提高运输效率的电务设备。车站站名广泛应用于电务设备，供机务、车务与电务等相关人员参与铁路运营控制。车站站名与电务设备的相关数据、软件直接关联，车站站名变更意味着数据、软件的变更和现场换装。新建线路工程建设后期如变更站名，涉及电务设备种类多，牵扯范围大，不仅会带来较大的经济成本，而且各电务设备相关数据、软件调试和换装耗费的时间较长，对整个工程的工期势必带来较大影响。已开通线路如变更站名，各电务设备进行数据和软件变更，不仅造成较大的经济、时间成本，甚至对运输秩序带来影响。

本文对车站站名与各电务设备关联性进行研究，梳理了车站站名在各电务设备的应用情况，对车站站名变更各种电务设备技术变更内容、流程进行分析和总结，可为后续因车站站名变更导致各电务设备数据、软件变更提供参考。

## 1 车站站名与LKJ的关联性

### 1.1 车站站名在LKJ中的应用情况

列车运行监控装置（LKJ）在车载显示器上显示车站站名及站中心，用于辅助提示司机控车。LKJ显示器以坐标（垂直线）的方式显示前方

4 km 以内全部车站的站中心位置，并显示对应车站的站名。LKJ 车站站名显示如图 1 所示。



图1 LKJ车站站名显示  
Fig.1 Display of LKJ railway station name

LKJ 采用数据预先存储的方式。LKJ 数据主要由 LKJ 基础数据、LKJ 临时数据、LKJ 固定控制参数、LKJ 临时控制参数和 LKJ 运行记录数据构成，如图 2 所示。车站站名属于 LKJ 基础线路数据，LKJ 基础数据通过专用软件编制形成 LKJ 基础数据源文件，最后编译生成 LKJ 车载基础数据文件，供 LKJ 车载设备调用。

在 LKJ 基础数据源文件中，为方便管理，划分出了 32 条数据交路（0-31 号数据交路），定义了主要干线的的数据交路号和分配规则，如 0 号数据交路为京哈线，如表 1 所示。

### 1.2 与LKJ设备相关的车站站名变更

当车站站名发生变更，需要提前编制新的车载数据文件，通过数据换装的方式更新 LKJ 车载数据。LKJ 基础数据变更到数据上车，总体应经过“10-7-5-3-1”的周期变更流程，具体如下<sup>[3]</sup>。

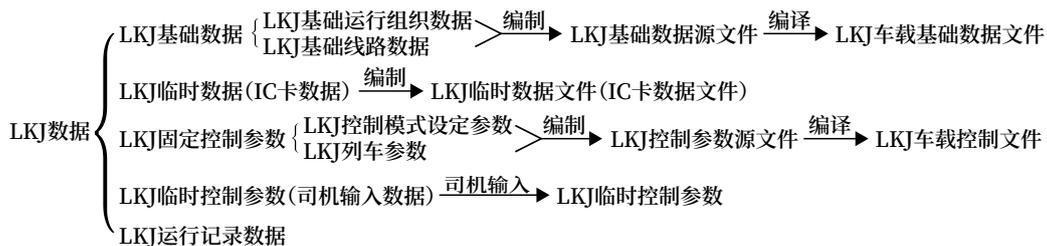


图2 LKJ数据及数据文件结构示意图  
Fig.2 Schematic diagram of LKJ data and data file structure

表1 0号数据交路示意

Tab.1 Schematic table of No.0 data routing

站线名	站名	站号
京哈	北京	1
	北京总出	2
	北京东	4
	沈北京哈下	44
	长春	71
京哈高速、沈大高速	哈尔滨	92
	大连	974
	沈阳高速场	996
	长春西	1004
	哈西东场	1011

注：主线站号：1～100，941～1023

剩余站号分配：北京局 101～400、沈阳局 401～800、哈尔滨局 801～940

1) 在既有列车运行图执行过程中，因运输基础设备、设施技术数据变化或行车组织方式变化，需对LKJ基础数据进行调整，铁路局总工程师室提前10天将相关资料向相关部门公布。

2) 铁路局电务处组织LKJ专业机构进行LKJ基础数据源文件和LKJ车载基础数据文件编制工作，并于LKJ数据变更计划生效的7天前完成LKJ基础数据源文件的编制和审查工作，并发至相关铁路局电务处。

3) 铁路局电务处会同机务处审查确认LKJ车载基础数据文件和LKJ车载控制文件换装准备就绪后，须于LKJ数据变更计划生效的5天前完成换装准备工作。

4) 所属铁路局运输处须在LKJ数据变更生效前3天向所有LKJ运行相关局的总工程师室、运输处、电务处、机务处、供电处、车辆处、工务处、建管处、调度所和有关电务段、机务段、动车（客车）段或动车所发布LKJ数据换装电报。

5) 在LKJ数据变更计划生效前1天，变化的线路所属铁路局调度所须发布相应的数据换装运行揭示调度命令。

### 1.3 小结

如果车站站名发生变更，按照上述流程，LKJ换装数据耗费时间会比较长。由于在LKJ数据中，车站站名属于非控制类数据，建议可以优化LKJ基础数据结构，将此类数据从既有基础数据结构中分离。

当车站站名发生变化时，通过优化既有数据换装流程，可以进行单独换装作业，从而缩短换装时间。

## 2 车站站名与CTC关联性

### 2.1 车站站名在CTC中的应用情况

调度集中控制系统(CTC)为分布式网络控制系统，由铁路总公司、铁路局、车站三级组成，采用三层结构<sup>[4]</sup>。CTC中车站站名主要应用于站场图显示、运行图显示、调度命令、行车日志、占线板、报警信息显示等<sup>[5]</sup>。

一般车站站名在CTC中存在的形式有以下几类。

1) 静态图形数据：如站场图上显示的站名，由专用绘图软件提前根据平面图制作完成，在对其进行修改时需要重新修改图层并重新灌装到软件中，重启软件后完成更新。

2) 配置文件或数据库数据：如运行图、调度命令、报警信息、无线进路预告中的站名等，一般均是以相应软件的配置数据或数据库存储的数据为信息来源，在对其进行修改时需要更改配置文件或数据库数据，重新启动软件后完成更新。

3) 从其他接口获取：从运输调度管理系统(TDMS)等其他系统获取，此类数据一般采用与对方约定的协议方式进行交互，获取后与本地数据字典进行校核，在对其进行修改时需要更改数据字典。

### 2.2 与CTC相关的车站站名变更

CTC涉及人机交互，且是分布式的网络化系统，涉及车站站名应用范围非常广。调度中心涉及的前台界面有运行图、站场图、调度命令、临时限速命令管理、CTCS-3级列控系统列车运行状态显示等界面，车站涉及的前台界面有站场图、行车日志、占线板等界面，后台软件包括应用服务器、数据库服务器、接口服务器等，功能涉及到CTC系统的全部核心功能。

CTC系统修改车站站名工作牵扯面比较大，需要修改调度台程序（含运行图、站场图、调度命令、临时限速管理、CTCS-3列车监控等）、后台应用服务器、TDCS/OPMS结合服务器，以及车务终端、

自律机、车站服务器设备等相关数据。

设备供应商收到变更文件通知后，识别变更设备、变更界面和影响功能。根据车站站名变更内容进行集成测试，对测试大纲进行适应性裁剪。此类修改一般都属于数据配置类修改，不涉及软件代码变化，属于《铁路信号产品运用管理办法》(TG/XH 203-2022) 软件四类变更（即数据变更）。

### 2.3 小结

由于 CTC 应用车站站名的范围非常广，如果车站站名变更，在现场数据升级过程中容易产生疏漏的风险。因此，为能便捷地修改车站站名，需要考虑目前系统业务应用中的数据形式。

**静态图形数据：**此类数据由于与站场整体布局和设计有关，建议维持既有的管理模式，即采用专用绘图软件修改后再更新应用的方式。

**配置文件或数据库数据：**此类数据可考虑采用以路局中心为单位统一维护，在 CTC 中心设置“数据平台”，相关软件统一从数据平台获取软件需要的站名配置。当进行数据修改时，CTC 中心提供“一键分发”功能，将站名配置分发至相关的软件模块，并提供“一键重启”功能，以便于现场施工。这种变更方式的优点是施工维护简便，缺点是对既有软件的修改量非常巨大，同时需要考虑到兼容性施工问题，对于 CTC 这种全局性的大系统来说，软件修改和施工都将是非常巨大的工作量。

**从其他接口获取的数据：**需要进一步完善协议制定，同时尽可能采用与配置文件或数据库数据相同的方式进行改进。

## 3 车站站名与列控系统的关联性

### 3.1 车站站名在列控系统中的应用情况

以 CTCS-3 级列控系统为例，车站站名在列控中心 (TCC)、无线闭塞中心 (RBC)、临时限速服务器 (TSRS)、列控车载设备 (ATP) 等设备中均有应用。

TCC、RBC、TSRS 各自的维护终端显示界面应包含站场信息，车站站名在上述维护终端显示界

面中站场图的正上方<sup>[6-8]</sup>，用于为电务维护人员提供参考。

ATP 人机界面 (DMI) 中显示车站站名<sup>[9]</sup>，用于预告前方车站，供司机参考。ATP 通过解析地面应答器组报文中的 [ETCS-72] 包来获取车站站名。[ETCS-72] 文本信息包一般设置在进站外方 3 个闭塞分区外方的应答器组中<sup>[10]</sup>。

### 3.2 与列控系统相关的车站站名变更

TCC、RBC、TSRS 维护终端车站站名不涉及控制功能，仅用于给电务维护人员提供参考，一般通过修改静态图形（底图）或者配置文件实现。

因 ATP 车站站名信息来自应答器报文，所以站名信息发生变更时，需要重新编制相关应答器中的报文 ATP 车站站名文本信息为辅助信息，不涉及控制功能。但现场出现车站站名中含有生僻字导致 DMI 显示出错，因 DMI 设备所调用的汉字编码数据库有所不同，数据库未及时更新，导致 DMI 站名显示出现错误字，出现问题需要及时更新 DMI 字库。

TCC、RBC、TSRS、应答器中车站站名变更均属于软件四类变更（即数据变更）。

### 3.3 小结

列控系统中 TCC、RBC、TSRS 维护终端上显示的车站站名仅作为辅助显示，需要变更站名时，通过修改图形文件或者配置文件实现；ATP 显示的车站站名通过现场维护人员使用专用读写工具修改应答器报文实现，均不涉及控制功能，影响范围可控，现行方式能够满足需求。

## 4 车站站名与联锁设备关联性

### 4.1 车站站名在联锁设备中的应用情况

车站站名主要应用于计算机联锁设备操作显示机和电务维护终端。操作显示机操作显示界面用于显示车站（场）信号设备布置的拓扑图及状态信息，站（场）名和相关提示与报警信息等<sup>[11]</sup>。电务维护终端具备实施站场显示功能，车站名称在站场图正上方<sup>[12]</sup>。

#### 4.2 与联锁设备相关的车站站名变更

联锁设备车站站名变更一般通过修改静态图形(底图)来实现,同时要注意联锁设备在存在多方向发车的车站,操作显示机会提供包含车站名称的语音提示,如“北京方向发车”,当提示语音涉及所变更的车站站名时,应同时修改相关配置文件。联锁设备车站站名变更属于软件四类变更(数据变更)。

#### 4.3 小结

联锁设备车站站名显示仅是辅助显示,且影响范围可控,通过修改图形文件或者配置文件进行,不涉及控制功能,现行方式能够满足需求。

### 5 车站站名与其他电务设备的关联性

铁路信号集中监测系统(CSM)、编组站综合自动化系统(SAM)属于地面设备,车站站名主要用于表示站场信息,不涉及控制功能,仅用于为电务维护人员提供信息,通过修改配置文件变更。

机车综合无线通信设备(CIR)属于车载设备,车站站名用于司机呼叫车站值班台,不涉及控制功能,CIR修改车站站名需要升级对应车载设备配置文件。轨道车运行控制系统(GYK)属于车载设备,与LKJ类似也采用预存数据方式,且GYK数据都是由路局提供的LKJ数据转换而成,LKJ数据修改后,GYK数据重新生成即可。

无线调车机车信号和监控系统(STP)包含车载设备和地面设备、车站站名发生变化,需要修改LKJ显示器站场显示图形文件和车站地面电务维护终端和车务终端站场显示图,仅涉及车站专用调车和车站STP地面电务、车务维护终端,车站名称修改不涉及控制功能,对控车无任何影响。

上述电务设备车站站名变更均属于四类软件变更(数据变更)。其中,与CSM、SAM、STP设备相关的车站站名变更的影响范围可控,现行方式能够满足运行需求,GYK设备采用LKJ数据,改进方式同LKJ。CIR设备属于车载设备,影响范围较大,现行方式是通过人工逐个升级,建议通过无线方式修改配置文件,提高升级维护效率。

### 6 总结

本文对各电务设备对于车站站名信息的使用进行了梳理,对车站站名变更涉及的数据、软件变更内容和变更流程进行了研究,同时对于部分电务设备车站站名变更提出优化建议方案,可为后续电务设备数据、软件与车站站名脱离强关联改进和制订设备数据、软件变更流程提供参考,有利于风险控制和质量管埋,提高变更维护效率。

#### 参考文献

- [1] 宋锴. 加强铁路线路、车站、桥渡隧命名管理的对策研究[J]. 铁道经济研究, 2021(4): 36-39.  
Song Kai. Countermeasures for Strengthening the Naming Management of Railway Lines, Stations, Bridges, Ferries, and Tunnels[J]. Railway Economics Research, 2021(4): 36-39.
- [2] 李春雨. 关于铁路线路、车站、桥渡隧名称管理工作的研究[J]. 铁路工程技术与经济, 2022, 37(2): 1-4.  
Li Chunyu. Study on Name Management in Railway Lines, Stations, Bridges, Ferries, and Tunnels[J]. Railway Engineering Technology and Economy, 2022, 37(2): 1-4.
- [3] 中国铁路总公司. 列车运行监控装置(LKJ)运用维护规则: TG/XH 208-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [4] 靳俊. 高速铁路列车运行控制技术-调度集中系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [5] 中国铁路总公司. 调度集中操作显示规范: TJ/DW 207-2018[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2018.
- [6] 中国铁路总公司. 列控中心维护终端显示暂行技术规范: TJ/DW 226-2019[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2019.
- [7] 中国铁路总公司. 临时限速服务器维护终端显示暂行技术规范: TJ/DW 227-2019[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2019.

(下转 20页)

# 铁路道岔转换阻力分析与监测技术研究

刘振华<sup>1, 2</sup>

(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:** 道岔转换阻力是道岔工作状态最直接的反映, 是铁路联调联试的重要测试项点, 是道岔转换设备现场运维关键项。道岔转换阻力应符合指标要求, 转换阻力变大会加重转辙机负载, 严重时会导致电机空转, 造成道岔转换故障。介绍道岔转换阻力含义和组成, 对道岔转换阻力在线监测技术进行探讨, 针对现实问题提出解决方案, 对道岔转换系统运维向智能化方向发展具有积极意义。

**关键词:** 铁路道岔; 转换阻力; 在线监测技术

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0006-04

## Study on Monitoring Technology for Switching Resistance of Railway Turnout

Liu Zhenhua<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** The turnout switching resistance is the most direct indicator of the turnout working state. It is also an important test item for railway integrated commissioning and testing, and an important item for the on-site operation and maintenance of turnout switching equipment. The turnout switching resistance shall meet the indicator requirements, and an increase in the turnout switching resistance will increase the load of the switch machine and lead to motor idling and turnout switching failure in serious cases. This paper introduces the meaning and composition of the turnout switching resistance, discusses the online monitoring technology for the turnout switching resistance, and proposes solutions to practical problems, which has positive significance for the development of intelligent operation and maintenance of the turnout switching system.

**Keywords:** railway turnout; switching resistance; online monitoring technology

收稿日期: 2022-10-31; 修回日期: 2023-03-14

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科研开发计划项目 (P2021G014)

发明专利: 2021 年国家实用新型专利 (CN214189650U)

作者简介: 刘振华 (1983—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路道岔转换技术, 邮箱: liuzhenhua@crscd.com.cn.

道岔转换设备是铁路系统重要的信号基础设备, 道岔转换阻力是反映道岔转换工作状态的关键参数, 由于道岔工电结构复杂、环境恶劣, 转换阻力的大小和变化是道岔状态好坏的重要参数, 也是影响道岔转换故障率的重要原因。目前道岔转换阻力主要

通过定期申请天窗使用专用设备进行测试，效率较低。新技术、新器材的积极使用，实现切实可行的道岔转换阻力的在线监测，成为提升信号设备智能化维护的必然选择。

## 1 道岔转换阻力分析

### 1.1 道岔转换阻力的定义

通常，在铁路工电结合部维护中关注两种力：道岔的转换阻力和转辙机的输出力。

《道岔转换阻力 密贴力》(TB/T 2895-1997)将道岔转换阻力定义为：道岔可动部件（尖轨、可动心轨等）从定位转换到反位或从反位转换到定位的过程中，所要克服的反映于道岔牵引点的一切阻力。尽管该标准受限于国内当时铁路道岔技术发展水平，仅适用于5种普通单开道岔，但提出了道岔转换阻力的3项主要影响因素：

- 1) 道岔可动部件滑动摩擦引起的阻力；
- 2) 道岔可动部件引起的反弹力；
- 3) 其他因素引起的阻力。

随着研究不断深入，发现密贴力也是影响转换阻力大小的重要因素。它指道岔可动部件转换到与基本轨（翼轨）密贴后，可动部件在道岔牵引点中心处施加于基本轨（翼轨）的压力。对于外锁闭道岔，密贴力大小还受到外锁闭装置调整状态影响。

在道岔转换不同阶段，道岔转换阻力变化趋势具有一定差异性。以配套国产外锁闭道岔为例，道岔转换阻力曲线如图1所示。

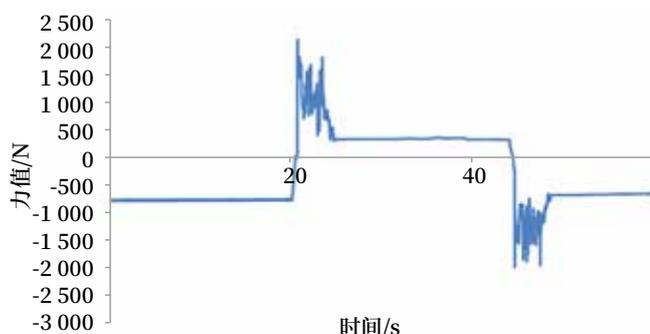


图1 国产外锁闭道岔转换阻力测试曲线  
Fig.1 Test curve of switching resistance of Chinese-made external locking turnout

### 1.2 道岔转换阻力与转辙机输出力的关系

转辙机额定转换力的定义，《铁路道岔转辙机 第1部分：通用技术条件》(GB-T 25338.1-2019)中定义额定转换力为：转辙机动作杆或活塞杆伸出或拉入运动时规定的输出力。该标准对于转辙机输出力相关要求是：转辙机结构上应设有吸收转动惯量和保护电动机的装置，该装置应具有大于额定转换力1.5倍的能力。

相关行业标准进一步对道岔转换阻力与转辙机输出力关系规范如下。

1) 《铁路道岔转换设备安装技术条件》(TB/T 3508 2018)和《铁路道岔转换设备安装技术条件》(Q/CR 848-2021)中描述：应根据道岔类型（钢轨种类、尖轨和心轨动程、转换阻力及牵引点数）、锁闭方式合理选择转辙机型号（额定转换力及动程）。

2) 《高速铁路道岔制造技术条件 第1部分：制造与组装》(TB/T 3307.1-2020)中有明确要求：各牵引点转换力测试值不应大于转辙机额定转换力。

3) 《标准轨距铁路道岔技术条件》(TB/T 412-2020)中，各牵引点转换阻力测试值应小于或等于道岔设计图纸规定的转换阻力实测值。

转辙机的输出力并非越大越好。道岔转换设备作为较复杂的机电控制执行系统，转换作用力的传递经过多个金属或非金属零部件环节，其机械刚度参数不一。正常情况下，能够满足道岔转换到位及锁闭要求，且当出现存在标准规定的夹异物情况时，能够满足道岔不锁闭要求。如果转辙机的输出力过高，在调整道岔密贴满足4 mm的夹异物检查要求时，过大的输出力可能使道岔密贴更紧，影响锁闭或解锁，造成道岔故障，并且会造成设备使用寿命的降低，也会导致尖轨夹异物检查的失效，存在安全隐患。

### 1.3 道岔转换阻力的测试方法

道岔转换阻力的定期测试是道岔转换设备日常养护的重要内容，目前主要通过转换阻力测试仪器实现，如图2所示，在测试过程中，用传感器替换连接螺栓销，实现道岔转换阻力的测试。该方法也

应用于全路线开通前道岔联调联试、新型道岔研制定型时关键点测试，也是国内外普遍采用的道岔转换阻力测试方式。

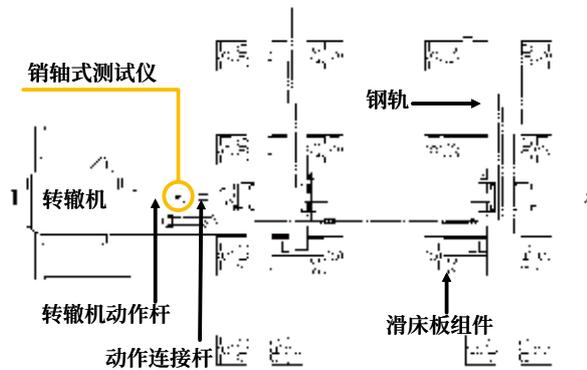


图2 测试传感器安装示意  
Fig.2 Schematic diagram of installation of test sensor

## 2 道岔转换阻力的在线监测方式

目前，周期性测试仍为道岔转换阻力主要的检查手段，这种方式需提前进行天窗申请，利用列车运行间隙，测试间隔时间长，操作较为复杂。道岔转换阻力实时在线监测，成为促进铁路基础装备智能化维护和提升铁路运能运效的一种迫切需求。现阶段，道岔转换阻力的直接感知主要通过销轴式测力传感器和连接杆式测力传感器实现，油压监测和功率监测也被用于间接反映道岔转换阻力状态的变化。

### 1) 销轴式测力传感器

销轴式测力传感器在道岔转换阻力测试中技术成熟、应用也较为广泛。通过强度设计，集成力敏感元件，与监测平台通信，可实现转换阻力实时在线长期监测。

### 2) 连接杆式测力传感器

动作连接杆结构形式传感器将力学敏感元件、信号放大器与道岔安装装置动作连接杆融合，通过与车站机械室内人机交互设备连接，实现道岔转换阻力的在线监测。该方式避免了销轴的更换，在道岔转换阻力监测方面也可作为选择方案。

### 3) 其他间接方式反映道岔转换阻力

液压转辙机的油压监测可作为电液转辙机道岔

转换阻力监测的一种间接方式，转辙机油压曲线如图3所示。油压的变化在一定程度上能够反映道岔转换阻力的变化。但是，作为电液转辙机油路系统内部状态参数，油压监测在区分道岔故障和电液转辙机设备故障方面具有一定的局限性。

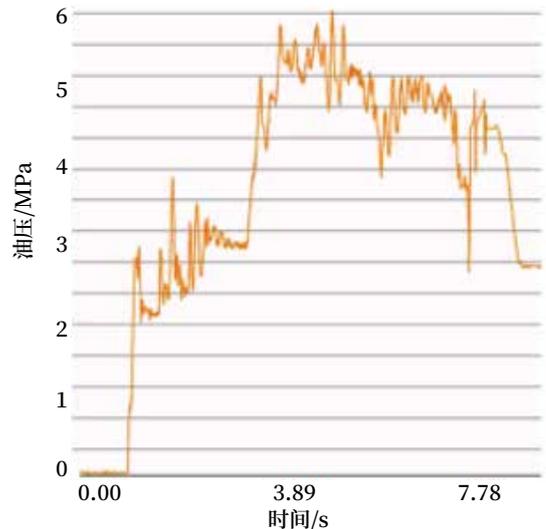


图3 转辙机油压曲线示意  
Fig.3 Schematic diagram of oil pressure curve of switch machine

信号集中监测系统的功率曲线是间接反馈道岔转换阻力监测的另一种方式，现场维护或故障处理时，因没有道岔转换阻力数据，以功率曲线表征转辙机输出状态。交流转辙机的输出力与电机有功功率、效率以及转速具备一定的比例关系。因此，处于稳定状态时，通过参数修正，理论上可以得到转辙机输出功率与工作电流的对应关系，但与道岔实际转换阻力相差较大。道岔转换功率曲线如图4所示，可以发现功率曲线与实际道岔转换阻力曲线偏差较大，不能够真实反映道岔转换阻力情况，单一数据点无法精准评价道岔转换工作状态和趋势。

总结上述感知方式的特点，当前道岔转换阻力在线监测仍面临以下问题：

1) 直接监测道岔转换阻力一般需替换现有道岔转换设备零件，引发维护人员担忧；

2) 道岔转换阻力监测数据的使用需深入挖掘。

目前在道岔转换状态评价方面多依靠阈值判断，信息量少，对人员经验水平要求高。因此，亟需更

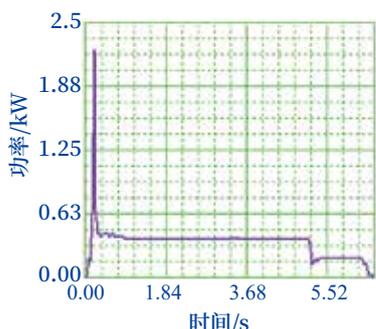


图4 道岔转换功率曲线示意

Fig.4 Schematic diagram of power curve of turnout switching

加科学、先进的数据分析方法,挖掘道岔转换阻力数据信息,为道岔转换智能诊断提供支撑。

### 3 道岔转换阻力监测技术研究

针对前文所述问题,以销轴式测力传感器为例,提出了道岔转换阻力监测的安全设计方法。基于机器学习等手段开展智能数据分析算法研究。

#### 3.1 道岔转换阻力监测的安全设计方法

在进行道岔转换阻力在线监测时,一般需使用传感器更换原道岔转换设备结构件,如销轴、动作连接杆等。这些零部件在道岔转换时传递道岔转换阻力,在列车经过时,承受轮对与钢轨相互作用产生的冲击和振动。因此,需对传感器的强度特性、疲劳特性以及振动特性等典型机械特性进行科学完备的验证,以满足现场道岔使用的需求。传感器典型机械特性验证方法示意如图5所示。

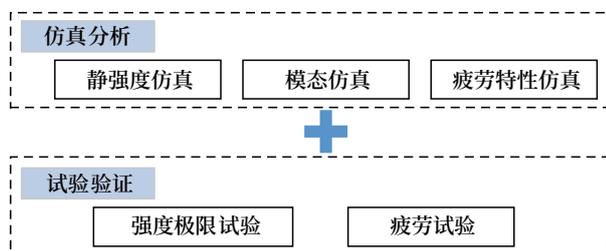


图5 传感器典型机械特性验证项目示意

Fig.5 Schematic diagram of typical verification items of sensor mechanical characteristics

#### 1) 仿真分析

通过搭建道岔转换设备数字孪生平台,建立仿真模型,如图6所示,开展传感器强度、疲劳以及振动特性仿真分析,保证设计强度不降低。

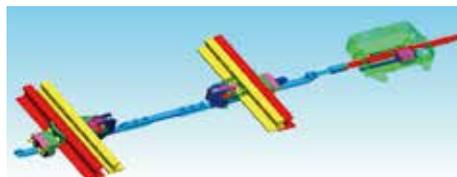


图6 仿真模型示意

Fig.6 Schematic diagram of simulation model

#### 2) 试验研究

开展传感器强度和疲劳特性的试验研究。以销轴式测力传感器为例,通过特定的工装设计实现传感器模拟现场工况载荷动、静态加载,验证传感器结构合理,满足现场工况载荷环境使用的需求。

#### 3.2 道岔转换阻力监测数据的智能化分析算法

智能化数据分析应建立在深入研究道岔转换设备工作机理,理解道岔转换过程特征和影响因素基础上。智能化分析不宜局限于道岔转换阻力单一项点参数,结合道岔转换电流、转换阻力等多维度项点感知,进行融合分析和综合评价。根据数据曲线特点,进行时域、值域和时频域特征提取与降维,结合机器学习算法挖掘特征参数信息,感知数据变化,实现故障类型的判断与识别。

### 4 结束语

本文简要介绍道岔转换阻力的定义和影响因素,分析道岔转换阻力现场测试技术特点,分析多种道岔转换阻力直接监测方式的技术特点及存在的问题,通过深度挖掘道岔转换阻力数据信息,推动道岔转换故障诊断、状态预测以及健康评估技术发展,运用道岔转换智能诊断系统,将铁路道岔转换故障预防与整修相结合,提升道岔转换设备运维效率。

#### 参考文献

- [1] 吕永昌. 有关道岔转换阻力的测试[J]. 铁道通信信号, 2006, 42(12): 21-22.  
Lv Yongchang. Test on Switch Resistance of Turnouts[J]. Railway Signalling & Communication, 2006, 42(12): 21-22.

(下转 15页)

# 智能黄闪黄点灯装置分析研究

陈新梅

(中国铁路上海局集团有限公司合肥电务段, 合肥 230011)

**摘要:** 介绍“黄闪黄”电路(以下简称 USU)的工作原理,通过实际运用情况,以及电路参数计算,对电路本身存在的问题进行分析。针对目前 USU 电路存在的问题,通过设计一套带冗余的智能黄闪黄点灯装置,用来提高电路的可靠性和现场维护便捷性。

**关键词:** 智能;黄闪黄电路;点灯装置

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0010-06

## Analysis and Study on Intelligent "Yellow Flashing Yellow" Lighting Device

Chen Xinmei

(Hefei Signaling & Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Hefei 230011, China)

**Abstract:** This paper introduces the working principle of the "yellow flashing yellow" (USU) circuit, and analyzes the inherent problems of the circuit based on practical application situation and circuit parameter calculation. In view of the inherent problems of the current USU circuit, an intelligent yellow flashing yellow lighting device with redundancy is designed to improve the reliability of the circuit and the convenience of on-site maintenance.

**Keywords:** intelligence; yellow flashing yellow circuit; lighting device

为了提高运输组织效率,在高铁站场以及部分普速线路车站大量应用 18 号及以上大号码道岔,部分信号机增加黄闪黄(USU)显示,用于提高列车过岔速度。其技术条件是:在高铁线路上,准许列车经 18 号及以上道岔侧向位置进入站内准备停车,且进路允许速度不低于 80 km/h;在普速线路上,准许列车经 18 号及以上道岔侧向位置,进入站内越过次一架已经开放的信号机,且该信号机防护的进路经道岔直向位置或 18 号及以上道岔侧向

位置。

### 1 问题提出

在现场实际运用中发现某站在点灯模式下,进站信号机由 USU 灯变为 UU 灯时,运输及电务部门未能及时发现,在列车运行至进站信号机外方反馈机车信号异常,经分析原因为 USU 组合工作异常,造成进站信号机降级显示,对应的机车信号降级。在处置过程中,因现场人员对 USU 组合原理不清楚,更换备用阻容盒后因调整不当,造成 USU 电路不能工作,造成故障处理延时较长,对运输干扰较大。通过对既有 USU 电路存在的原理及相关

收稿日期: 2023-02-14; 修回日期: 2023-05-10

作者简介: 陈新梅(1969—),女,高级工程师,本科,主要研究方向:铁路信号,邮箱: 13811669193@139.com。

参数分析，提出修改方案并在现场运用。

## 2 问题分析

### 2.1 既有黄闪黄电路原理分析

当对应的信号机具备显示 USU 灯光条件时，对应点灯组合中列车信号继电器 (LXJ)、信号闪光继电器 (XSJ) 励磁吸起，绿黄信号继电器 (LUXJ)、正线信号继电器 (ZXJ)、通过信号继电器 (TXJ)。USU 控制电路由 3 个部分构成，分别是：闪光控制继电器 (SNJ) 电路；闪光检查继电器 (SNJJ) 电路；闪光点灯回路，如图 1 所示。

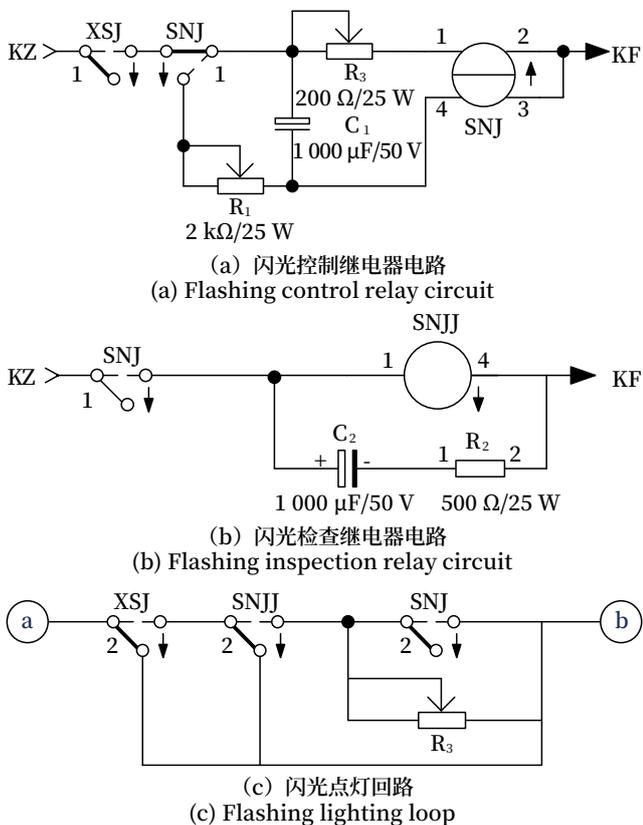


图1 USU电路中3个单元电路  
Fig.1 Circuit of 3 units in USU circuit

在具备开放 USU 显示条件时，XSJ 被驱动吸起，接通瞬间 SNJ 的磁场方向如图 2 所示。SNJ 的 1-2 线圈和 3-4 线圈的磁场方向是相反的，控制好占空比（即亮暗比），先要控制好缓吸时间，控制好缓吸就是利用 1-2 线圈来励磁、用 3-4 来抵消 1-2 的正向磁场使其缓吸。

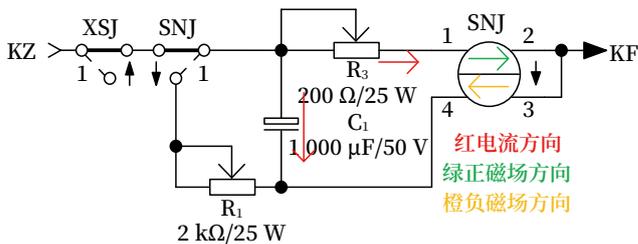


图2 XSJ接通瞬间  
Fig.2 Instant when XSJ relay contacts are closed

按照信号维规要求，闪光频率要控制在 30 ~ 40 次/min，在达到较好的占空比（50%）的情况下，即闪光频率是 35 次/min 时， $T = 1.714$  s，继电器的缓吸时间需要控制在 0.857 s 左右。由于 USU 闪光频率控制在 USU 电路中起着核心控制作用，所以需要进一步分析 USU 闪光频率控制相关因素。

电路中继电器均采用 JWXC-1700 继电器，继电器吸起值不大于 16.8 V，释放值不小于 3.4 V，按照吸起值 17 V，释放值 4 V 计算。单线圈工作时若不考虑外部情况，吸起值仍然保持不变（电流增加一倍，抵消了线圈匝数，降低一半）。JWXC-1700 继电器两个线圈电阻分别为 850 Ω，1-2 线圈分得的电压为  $24 \text{ V} \times 850 \text{ } \Omega / (R_3 + 850 \text{ } \Omega)$ ， $R_3$  按 100 Ω 计算，即 21.47 V。

通过继电器原理分析，让继电器吸起就必须保证线圈磁场强度要达到吸起值要求。SNJ 励磁接通原理如图 3 所示，因 4-3 线圈回路充电瞬间是满电 24 V 电压，与 1-2 线圈加电形成的磁场抵消，继电器不吸起。只有当 4-3 回路的电压下降到一定程度，也就是 1-2 的正向磁场减去 4-3 的反向磁场达到吸起值后，继电器方可吸起，即 4-3 的电压要小于  $21.47 - 17 = 4.47$  V。

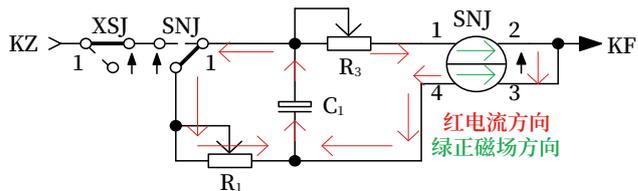


图3 SNJ励磁接通  
Fig.3 Closure of SNJ relay contacts after energization

为方便理解，按照线性关系计算电容充电时间

(通过现场实际测试, SNJ 电压波形也接近线性), 4-3 线圈充电时间从 24 V 下降至 4.47 V 的充电时长  $RC = 850 \Omega \times 1\,000 \mu\text{F} = 0.85 \text{ s}$ , 电压从 24 V 下降至 4.47 V 所需的时间是,  $0.85 \text{ s} \times (24 \text{ V} - 4.47 \text{ V})/24 \text{ V} = 0.69 \text{ s}$ , 也就是首次吸起时间为 0.85 s, 随之连续工作时缓吸时间为 0.69 s。

吸起时间按线性计算, 电阻  $R_1$  在回路里面主要是起调节励磁时间作用,  $R_1$  越大, 励磁时间越长;  $R_1$  越小, 励磁时间越短。在不考虑  $R_1$  的情况下, 缓放时间  $R_3$  按  $100 \Omega$  计算,  $C_1$  因充电到  $24 \text{ V} - 4.43 \text{ V} = 19.57 \text{ V}$  时已经励磁, 故放电要按该电源电压计算, 即: 线圈 1-2 放电回路是串联的, 电容电压从 19.53 V 放电直至线圈电压到 4 V 时落下所需的时间。线圈电压到 4 V, 那么  $C_1$  放电终止电压即为  $4 \text{ V} \times (R_3 + 1\,700 \Omega) / 1\,700 \Omega = 4.24 \text{ V}$ 。

综上所述, 可以得出如下分析结论: 闪光组合中电阻  $R_3$  是控制缓吸时间的, 对缓放作用较小,  $R_1$  是控制缓放时间的, 与缓吸无关, 单独调整缓吸或缓放两个时间之和就是闪光周期, 即  $R_1$  控制灯光亮的时长,  $R_1$  越大, SNJ 缓放时间就越长, 灯光亮的时间越长,  $R_3$  控制灯光灭的时长,  $R_3$  越大, SNJ 缓吸时间就越长, 灯光灭的时间就越长。

## 2.2 既有黄闪黄电路存在的缺陷

从上述工作原理电路分析可知, 目前黄闪黄电路存在以下几个缺陷。

1) SNJ 接点动作频繁, 接通点均为非线性器件, 且易损坏。如电路中 SNJ 第 1 组接点不停的对  $C_1$  进行充放电, SNJ 第 2 组接点在 USU 点灯回路中不停短路 R, 也易造成继电器接点损坏。典型的 SNJ 第 2 组接点接触不良案例如图 4 所示。

2) 从图 4 中可以看出, 中间一段时间 1U 已经不亮了(也就是灯光很暗), 但 SNJ 仍保持励磁, XSJ 始终在驱动, 此时看室外信号机显示的是一个 2U 的单黄信号显示。

3) 针对 SNJ 继电器接点不良问题, 根据相关站场设备使用频率, 调整了 SNJ 轮修周期。这样,

虽然降低了故障频次, 但又新增一个风险, 那就

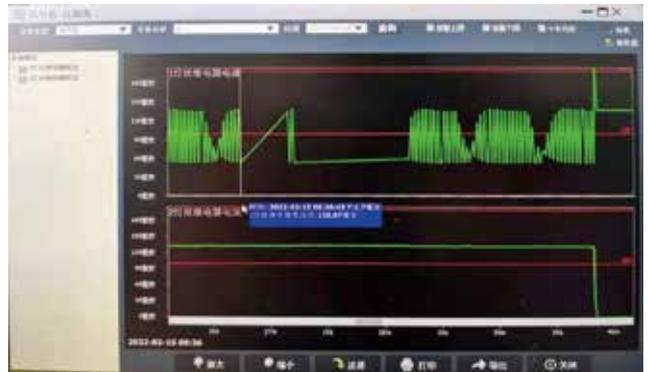


图4 典型的SNJ第2组接点不良DJ电流曲线

Fig.4 Typical current curve of

DJ relay when No.2 contact group of SNJ relay is in poor contact

是 SNJ 的吸起值与释放值是与闪光频率密切相关的, 每次轮修该继电器需要对  $R_1$ 、 $R_3$  进行微调, 因  $R_1$ 、 $R_3$  是线绕电阻, 极易造成电阻断线故障。

针对上述存在问题及 USU 电路存在的不足, 提出通过研发智能黄闪黄点灯装置, 以有效解决上述存在的问题。

## 3 改进方案

铁路运输的快速发展, 现场 USU 信号显示运用场景不断增加, 以上分析可能出现的问题将会逐渐增多。借助于高质量的电子器件组合, 对该电路进行改进——使用电子电路控制方式, 即智能黄闪黄点灯装置替代原有的 USU 阻容电路, 进一步提升 USU 信号显示的运用质量和可靠性。

### 3.1 智能黄闪黄点灯装置设计遵循的基本原则

- 1) 安全可靠要高, 故障后导向安全侧。
- 2) 电路设计冗余, 含有过流保护, 主板故障后自动可以导向备板。
- 3) 对原电路修改较少, 且体积小, 可安装于一个继电器盒内, 现场易安装。
- 4) 原控制电路中的闪光部分阻容器件全部由电子器件替代。

5) 实现 USU 点灯回路实时检查, 闪光电路出现问题时, SNJ 可靠落下, 避免出现错误显示。

依据上述原则, 设计出如图 5 所示电路, 电

路中“AC IN”对应接入原SNJ的21接点，“AC OUT”对应接入原SNJ的22接点，并取消了调整暗时灯丝电流的电阻 $R_{30}$ 。

### 3.2 智能黄闪黄点灯装置改进措施

智能黄闪黄点灯装置电源部分采用控制24V供电，内部使用DC/DC隔离模块，使其与控制电路隔离。频率控制由PWM控制器件UC3844来控制，该PWM输出最大占空比50%，电路中使用24V电源供电，没有电压反馈网络，故PWM输出为最大占空比。输出控制管采用高压大电流MOS

管或IGBT管，主要是考虑到参数余量，确保该电路在极端情况下尽量少出现故障。

智能黄闪黄点灯装置关断时为不完全关断，不同的DJ需要调整不同的电流，不同的色灯信号机也是不同的DJ电流，故此处设为可调整，通过调整 $R_{10}$ 来控制DJ电流。频率为 $R_9$ 、 $C_6$ 控制，通过改变 $R_9$ 、 $C_6$ 的值来改变闪光频率，此处固定设置为35次/min，一经设定将不再调整，也就不会随外部环境变化而变化。

智能黄闪黄点灯装置采用动态检测电路来检测

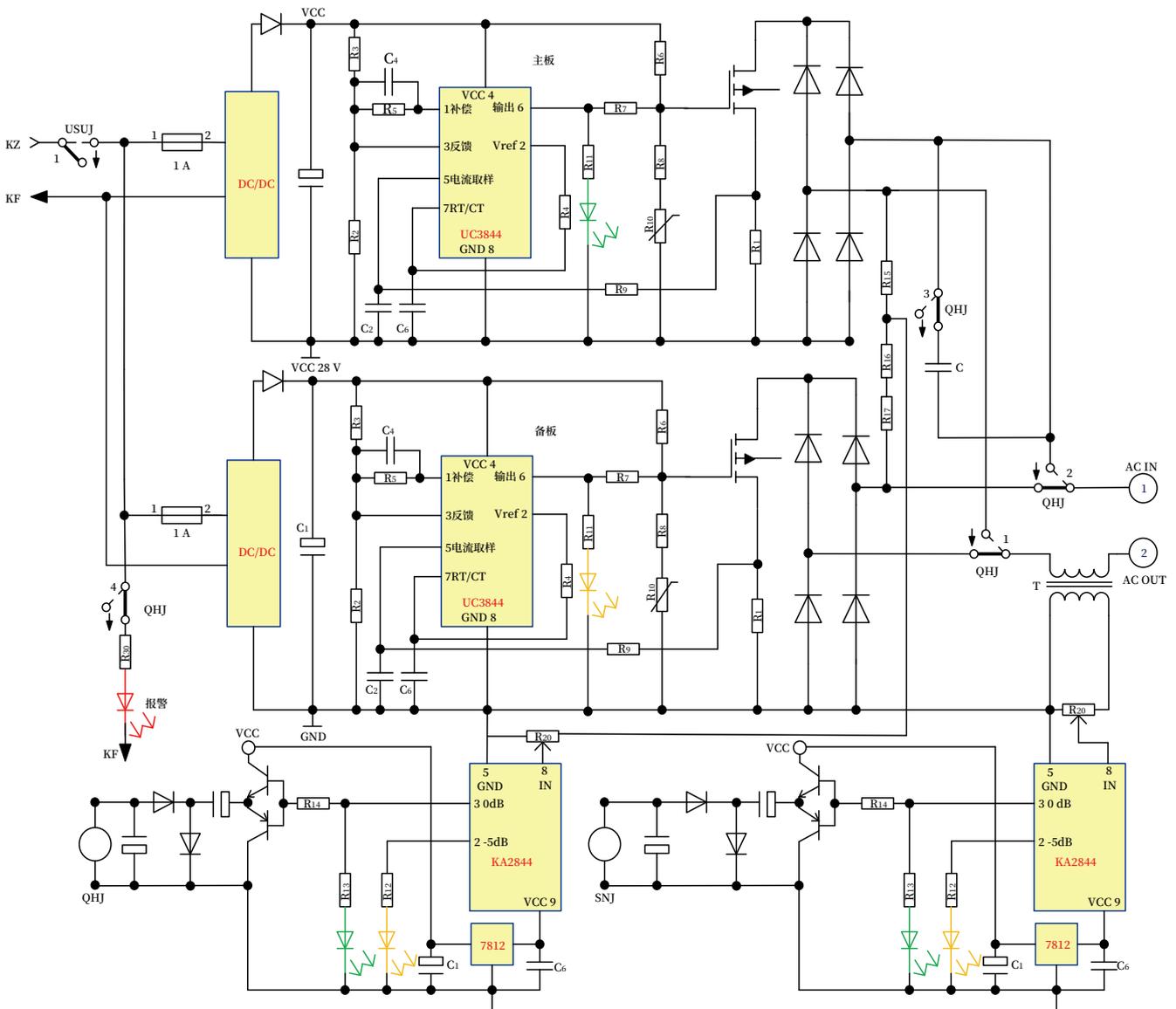


图5 电子控制闪光电路原理  
Fig.5 Principle diagram of electronically controlled flashing circuit

闪光状态是否正常。图5中切换继电器(QHJ)为主板检测电路,上电时,QHJ为落下状态,备板先行启动工作。当主板检测输出电压为正常的脉动状态后,QHJ励磁,自动切换至主板工作。SNJ是通过回路电流的脉动来驱动,回路电流若无脉动电流,则SNJ落下,使SNJJ落下,不会出现如图4中的异常灯丝电流曲线。KA2844为电平检测电路,电平的高低对应输出指示,通过调整第8脚输入侧电平值来使得3脚0dB输出侧随输出脉动,从而驱动QHJ、SNJ。

智能黄闪黄点灯装置设计有过流保护,图5中 $R_1$ 为过流采样点,若电阻为 $1\ \Omega$ ,则过流保护则设置为 $1\ \text{A}$ 。

为使电路正常启动,SNJJ电路需按图6所示的

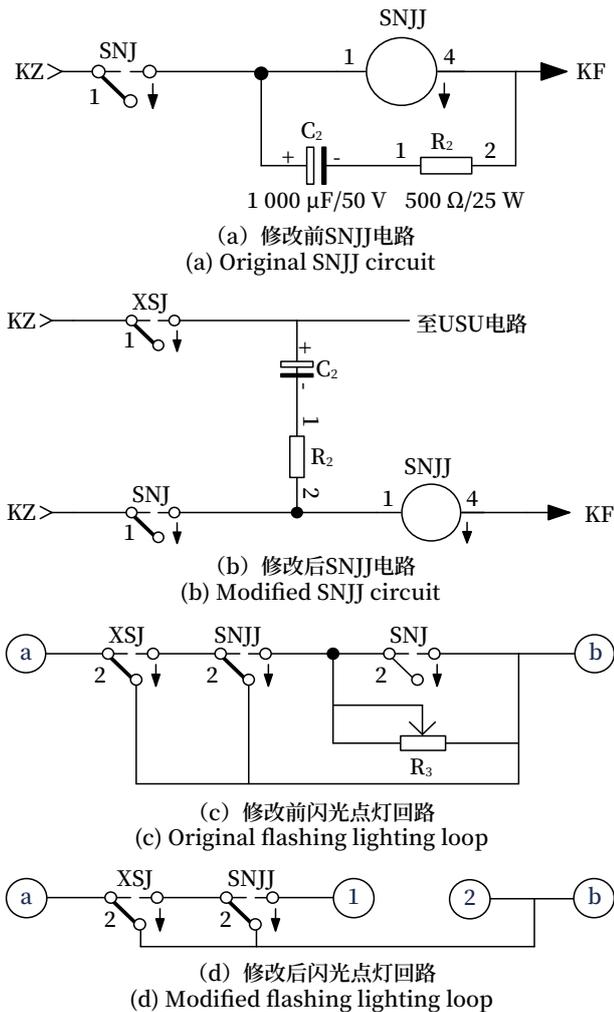


图6 信号控制电路修改  
Fig.6 Modification of signaling control circuit

电路进行布局修改,上电瞬间使SNJJ励磁,确保信号点灯电路沟通,在检测正常的情况下SNJ励磁后,使得SNJJ保持励磁;若灯丝电流无脉动,则SNJ落下,SNJJ落下。

根据电特性调整要求,现场DJ电流均不小于 $140\ \text{mA}$ ,释放值不小于 $40\ \text{mA}$ 。结合本电路各部位参数可以固定,出厂时调整到位,现场更换无需再调整,大大减少现场的调整工作,有效提升了设备质量。该智能组合装置在实训基地运用良好。

#### 4 结束语

列车密度的不断增加,黄闪黄组合电路使用的场景逐渐增多,信号机开放黄闪黄的次数也越来越频繁,既有的黄闪黄组合电路存在的弊端也被暴露出来,而且更换完器材后,相应的闪光频率将会发生变化,需要进一步调整、且现场调试技术含量及精度要求较高,增加了现场工作量,应急处置时,也增加了时长。

因此,根据现场维修实际需要,从安全性、适用性角度来分析,并拓宽既有USU电路改进思路,提供电子电路控制的参考方式,既方便现场维护,又降低安全风险。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 刘占强. 进站信号机黄闪黄阻容电路参数的分析和探讨[J]. 铁道通信信号,2017,53(10):25-27.  
Liu Zhanqiang. Analysis and Discussion of Parameters of Yellow-Flash-Yellow Resistance-Capacitance Circuit in Home Signal[J]. Railway Signalling & Communication,2017,53(10):25-27.
- [3] 负慧敏,梁晓波. 铁路枢纽站场信号黄闪黄电路设计优化[J]. 铁路通信信号工程技术,2022,19(7):116-120.

Yun Huimin, Liang Xiaobo. Design Optimization

- of Yellow-Flash-Yellow Circuits of Railway Hub Station Signal[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 116-120.
- [4] 程梁. 城际铁路信号机设置及其显示问题的分析 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (8): 5-9.  
Cheng Liang. Setting and Indication Aspect of Signal in Inter-City Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(8): 5-9.
- [5] 罗培军. ZPW-2000A 区间信号机灯光转移试验的分析和改进 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (10): 31-32.  
Luo Peijun. Analysis and Improvement of Light Transfer Test for ZPW-2000A Section Signal[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(10): 31-32.
- [6] 张建平, 田光超, 宋景德. 铁路信号机一体化的双灯设计 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (5): 43-45.  
Zhang Jianping, Tian Guangchao, Song Jingde. Integrated Design of Railway Signal with Dual Lamps[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(5): 43-45.
- \*\*\*\*\*
- (上接9页)
- [2] 陈嵘, 方嘉晟, 王平, 等. 考虑外锁闭装置影响的高速道岔尖轨转换力仿真研究 [J]. 铁道学报, 2021, 43 (11): 122-128.  
Chen Rong, Fang Jiasheng, Wang Ping, et al. Simulation Analysis of Switching Force of Point Rail of Turnouts of High-Speed Railway Considering Influence of External Locking Device[J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(11): 122-128.
- [3] 李智宇. 基于改进的DPC算法的ZDJ9转辙机异常数据挖掘 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (5): 1-6.  
Li Zhiyu. Outlier Data Mining of ZDJ9 Switch Machine Based on Improved DPC Algorithm[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 1-6.
- [4] 杨伟伟, 王安. 基于电参数的道岔转换阻力测量方案研究 [J]. 机械与电子, 2014, 32 (5): 65-68.  
Yang Weiwei, Wang An. Research of Metering Switch Resistance Based on Electrical Parameters[J]. Machinery & Electronics, 2014, 32(5): 65-68.
- [5] 杨小锐, 王安, 安邦军. 基于转辙机牵引力和PS0-SVM的道岔故障诊断研究 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (7): 55-58.  
Yang Xiaorui, Wang An, An Bangjun. Research on Turnout Fault Diagnosis Algorithm Based on SVM[J]. Computer Measurement & Control, 2017, 25(7): 55-58.
- [6] 孙晓勇, 谢博才, 杨硕. 基于PHM技术的道岔转换智能诊断系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (10) 1-5.  
Sun Xiaoyong, Xie Bocai, Yang Shuo. Research on Turnout Switching Intelligent Diagnosis System Based on PHM[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 1-5.

# 教培基地联锁模拟与现场控制结合设计

梁晓波

(中铁电气化局集团有限公司设计研究院, 北京 100166)

**摘要:** 通过对某院校教培基地联锁系统建设需求分析, 针对其日常教学、实作培训、铁路机车驾驶员资格考试、信号专业职业技能鉴定等场景运用特点, 采用计算机联锁系统驱动切换继电器接口, 并对联锁操作表示和控制电路进行结合设计, 实现联锁系统“模拟控制与现场控制”两种操控模式以及两种操控模式之间的一键切换。

**关键词:** 教培基地联锁; 模拟控制; 现场控制; 结合设计

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0016-05

## Integrated Design of Interlocking Simulation and Field Control in Teaching and Training Base

Liang Xiaobo

(Design & Research Institute, China Railway Electrification Bureau (Group) Co., Ltd., Beijing 100166, China)

**Abstract:** This paper carries out requirements analysis of the interlocking system in the teaching and training base of a university, and focuses on the application characteristics of such scenarios as its daily teaching and practical training, qualification examination for railway locomotive driver and occupational skill appraisal for signaling professional. The computer based interlocking system is used to drive the switching relay interface, and the integrated design of the interlocking operation indication and control circuit is adopted to implement the two control modes of the interlocking system, i.e., "simulated control and field control", and achieve the one-key switching between the two control modes.

**Keywords:** interlocking system in teaching and training base; simulated control; field control; integrated design

### 1 教培基地联锁系统建设需求

院校教培基地联锁系统与铁路运营线路车站联锁系统相比, 在设计上具有“一同两异”的特点。“一同”是教培基地联锁要具备与运营线联锁系统相

同的技术标准、相同的联锁功能、相同的软硬件系统架构; “两异”首先是规模不同, 教培基地往往受限于场地空间, 规模上不具备标准站场的建设条件, 联锁室外设备布置与运营线路不同, 具有因地制宜的特殊性; 其次是需求不同, 教培基地的建设旨在满足日常教学、实作培训、铁路机车驾驶员资格考试、信号专业职业技能鉴定等需要, 不直接指挥运营列车运行和实现运输价值。

收稿日期: 2022-06-23; 修回日期: 2023-03-20

作者简介: 梁晓波(1979—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号设计, 邮箱: liangxiaobo@cebdr.com。

某校教培基地在室外铺设7组道岔2股道1.5 km 线路构成教培站场，对联锁系统设计提出的具体需求如下：

室内设置一套主流制式的计算机联锁系统及智能电源屏等配套设备，呈现运营现场实际联锁设备全貌。

室外布置进站、调车、出站色灯信号机、25 Hz 相敏轨道电路、道岔配置 ZD6-D 或 ZD6-E/J 型转辙机，与运营线路对应信号设备标准一致。

联锁系统除具备正常的联锁功能外，要实现模拟控制与现场控制两种操控模式，模拟控制即断开

室内联锁设备与室外信号设备的电气连接，在室内通过模拟室外设备工作状态，实现联锁的操控及表示；现场控制即接通室内联锁设备与室外信号设备的电气连接，对室外信号设备进行联锁控制。并且实现两者之间安全、平滑的切换，满足院校在教学、实训、铁路机车驾驶员资格考试、信号专业职业技能鉴定等场景下的不同需要。

实现区间半自动闭塞办理功能，操作、表示与运营线路技术要求一致。

针对建设需求，按照普速铁路有关技术标准，设计教培基地信号设备平面布置示意图 1 所示。

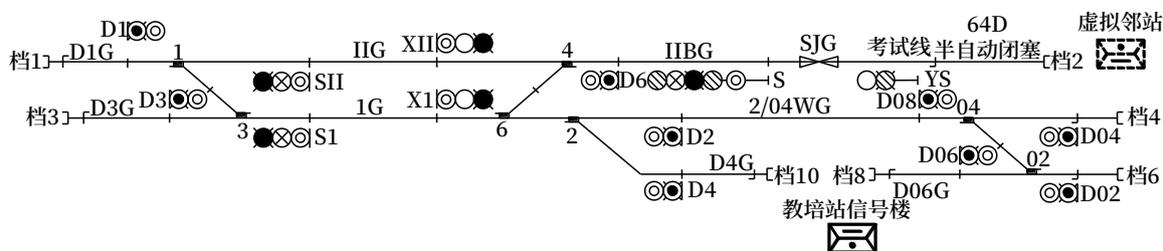


图1 教培站信号设备平面布置示意

Fig.1 Schematic diagram of signaling equipment layout of teaching and training station

## 2 设计实现的关键点

分析上述需求，“联锁系统要实现模拟控制与现场控制两种操控模式，并实现两者之间安全、平滑的切换”是特殊需求，没有标准规定，两种操控模式的结合设计是关键所在。其他需求与运营线路信号系统设计技术标准一致，可采用相关技术标准进行设计。

## 3 设计方案的确定

以教培即现场为原则，采用运营线路应用成熟的技术和设备。联锁设备采用 DS6-K5B 安全冗余型计算机联锁设备，增设 1 个非自复式带铅封的控制模式切换按钮，对应设置切换继电器（QHJ）并由联锁按需驱动。在联锁设备与室外设备之间增加切换电路，由 QHJ 状态区分联锁执行对象指向“模拟”或是“现场”。采用拼装式模拟盘实现对室外道岔、轨道电路、信号机等设备的工作状态模拟。联锁设计架构如图 2 所示。

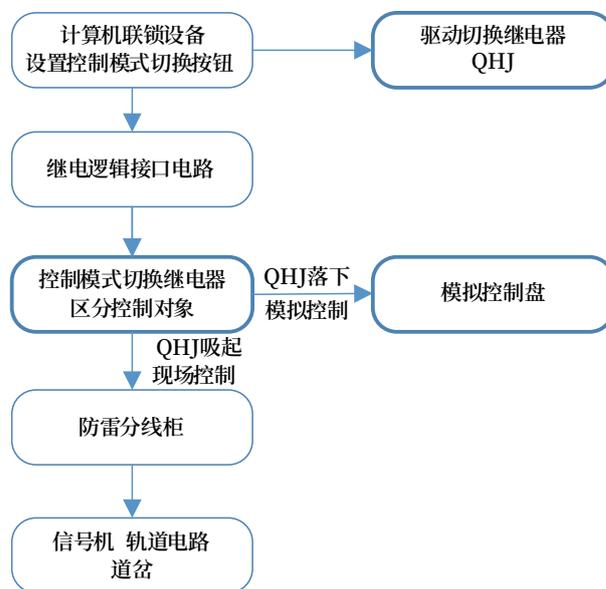


图2 联锁设计架构示意

Fig.2 Schematic diagram of interlocking design architecture

## 4 结合电路设计

### 4.1 切换继电器接口电路

联锁设备设置控制模式切换按钮（QHA）以教

培场景模拟控制为常态，常态下不需操作。当需要接通室外设备进行现场控制时，操作人员输入 QHA 解封密码后按下 QHA，联锁驱动 QHJ 吸起，动作相关电路，完成操作意图。计算机联锁 QHJ 接口电路如图 3 所示。

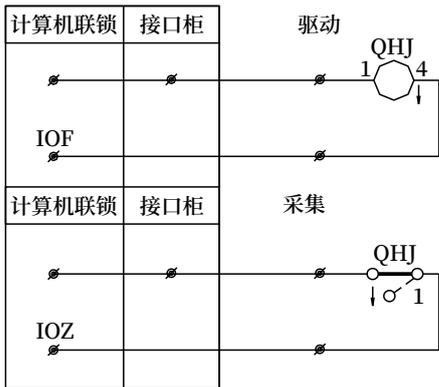


图3 切换继电器QHJ接口电路  
Fig.3 Interface circuit of switching relay QHJ

#### 4.2 信号机点灯电路结合设计

在原地灯电路中增加 QHJ 条件，常态 QHJ 落下，电路接通模拟盘，二极管模拟信号机显示，常态实现“模拟控制”，用于教学、操作培训等场景。当联锁驱动 QHJ 吸起时，其断开模拟盘，接通室外信号机点灯电路，实现“现场控制”，用于实训、鉴定考试等场景。以出站信号机为例，其结合电路如图 4 所示。其他信号机点灯结合电路同理。

#### 4.3 道岔控制电路结合设计

在道岔控制电路各条控制线上增加 QHJ 条件，常态 QHJ 落下，电路接通模拟盘，表示回路经表示二极管接通，DBJ 或 FBJ 励磁给出道岔位置表示，实现“模拟控制”。当联锁驱动 QHJ 吸起时，其断开模拟盘，接通室外道岔转辙机电路，动作道岔，构通表示，实现“现场控制”。以 ZD6-D 道岔控制电路为例，其结合电路如图 5 所示。

#### 4.4 25 Hz相敏轨道电路结合设计

在轨道电路送电端和受电端均增加 QHJ 条件，常态 QHJ 落下，轨道电路经轨道变压器、模拟盘控制开关 K 连通工作回路，通过操作开关 K 来模拟列车占用或出清状态，实现“模拟状态”。当联锁驱动

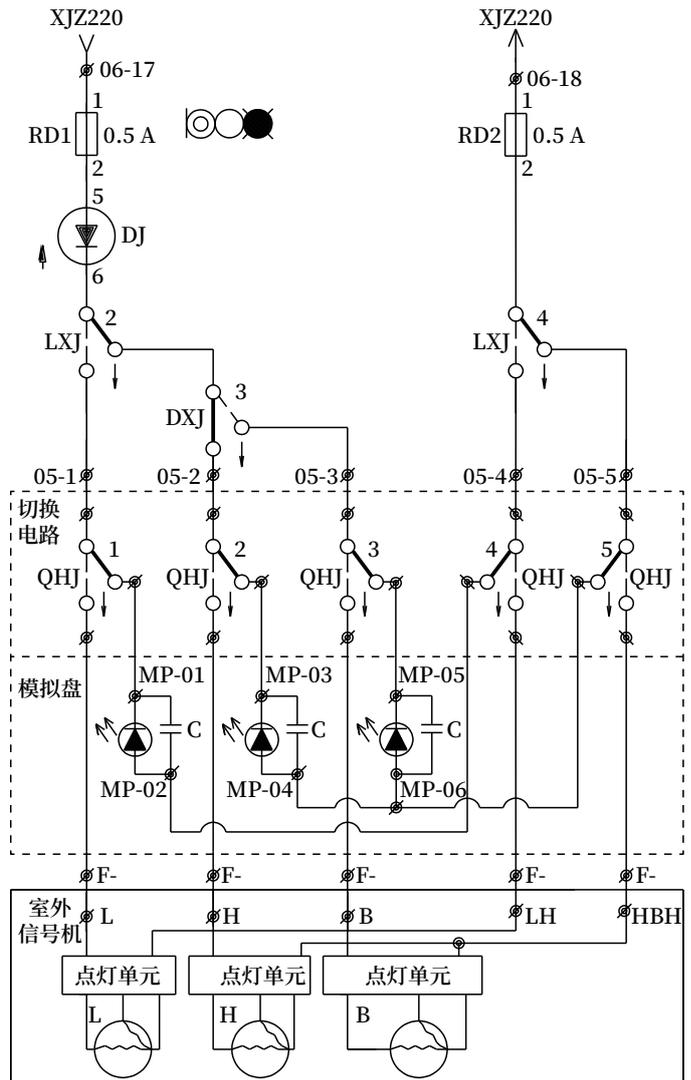


图4 出站信号机点灯电路结合设计  
Fig.4 Integrated design of lighting circuit of starting signal

QHJ 吸起时，轨道电路则由 QHJ 断开轨道变压器、模拟盘，连通室外轨道电路设备，接通实际轨道电路状态，实现“现场状态”。以 25 Hz 相敏轨道电路为例，其结合电路如图 6 所示。

#### 4.5 区间半自动闭塞功能的实现

设置虚拟邻站，与教培站一样设置 64D 接口继电器电路与模拟盘接口，在模拟盘上设置虚拟邻站的闭塞、复原、事故操作按钮及其接发车表示灯，同时设置 LXJ、DGJ 等虚拟站相关继电器模拟操作控制开关。通过模拟操作，与本站计算机联锁接口实现 64D 闭塞办理。电路原理与运营线路标准一致。区间 64D 半自动闭塞接口设计示意如图 7 所示。

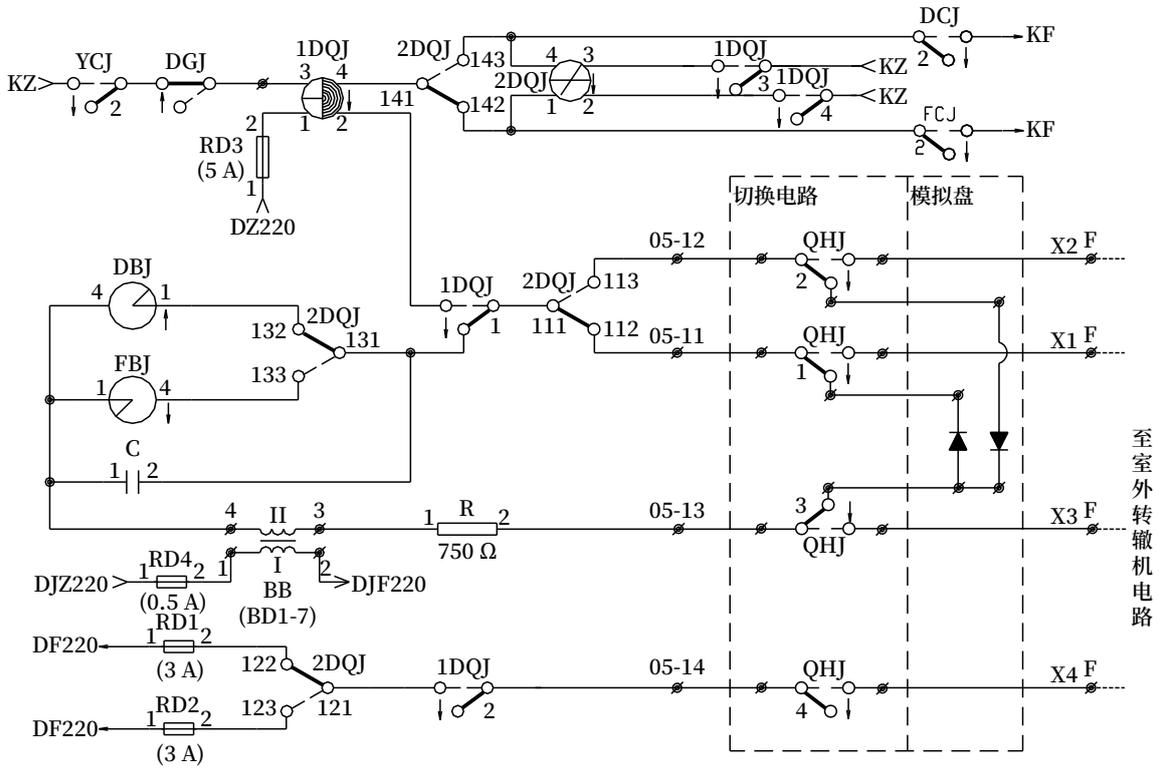


图5 道岔控制电路结合设计  
Fig.5 Integrated design of turnout control circuit

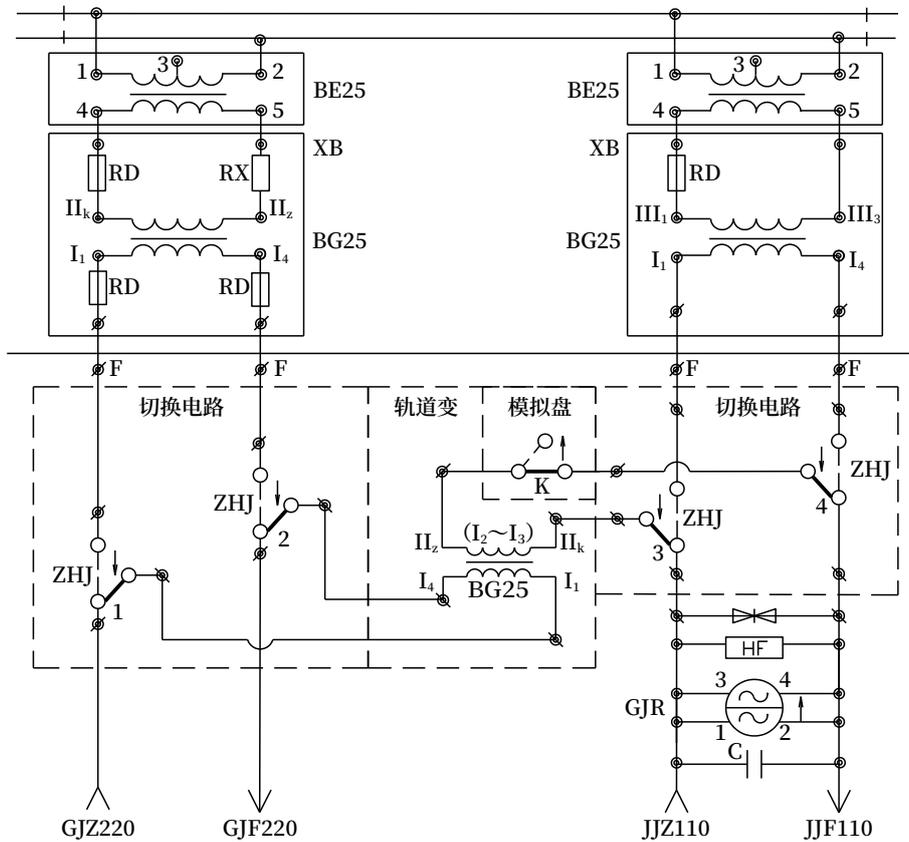


图6 25 Hz相敏轨道电路结合设计  
Fig.6 Integrated design of 25 Hz phase-sensitive track circuit

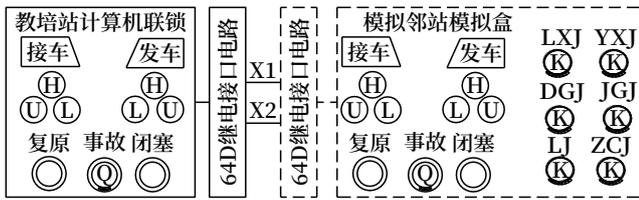


图7 区间64D半自动闭塞接口设计示意  
Fig.7 Schematic diagram of interface design of 64D semi-automatic block equipment for sections

## 5 结束语

此设计方案采用运营线路应用成熟的技术和设备，解决了教培基地联锁系统具备两种控制模式及其一键切换的特殊需求问题。联锁系统开通后工作稳定，运用效果良好，满足了教学、培训、驾考、技能鉴定等各种教培场景需要。在其他类似院校教培基地联锁设计中，该方案可供借鉴，并根据需求不断深化和丰富，为教培基地建设的标准化积累设计经验。

### 参考文献

[1] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程: TG/01-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.  
[2] 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.  
[3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路车站计算机联锁技术条件: TB/T 3027-2015[S]. 北京: 中

国铁道出版社, 2016.  
[4] 中国铁路总公司. 铁总运 [2016]147 号关于印发《车站计算机联锁操作显示技术规范》的通知[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.  
[5] 中华人民共和国国家铁路局. 集中联锁结合电路一般原则: TB/T 2307-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.  
[6] 中华人民共和国铁道部. 铁路信号站内联锁设计规范: TB 10071-2000[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.  
[7] 何文卿. 6502 电气集中电路 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.  
[8] 张家铭, 代守双. 城市轨道交通全电子计算机联锁改造工程设计方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 58-63.  
Zhang Jiaming, Dai Shoushuang. Design Scheme of All-Electronic Computer Interlocking Reconstruction Projects of Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 58-63.  
[9] 杨美君. 联锁驱动继电器动作时序对低频码的影响及优化分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 13-18.  
Yang Meijun. Influence of Interlocking Drive Relay Actions on Low-Frequency Codes and Its Optimization Analysis[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 13-18.

\*\*\*\*\*

(上接 5 页)

[8] 中国铁路总公司. 无线闭塞中心维护终端显示暂行技术规范: TJ/DW 228-2019[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2019.  
[9] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-2/3 级列控车载设备人机界面 (DMI) 显示规范: Q/CR 844-2021[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.  
[10] 中华人民共和国国家铁路局. 列控系统应答器

应用原则: TB/T 3484-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.  
[11] 中国铁路总公司. 车站计算机联锁操作显示技术规范: TJ/DW 188-2016[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.  
[12] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路车站计算机联锁设备维护终端显示规范 (暂行): TJ/DW 242-2021[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.005

# 新型列控系统中列车完整性功能 测试方法探讨

魏 博

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 由系统级层面分析完整性相关功能的运营场景, 采用时序图及流程图对车载设备-列尾设备-地面设备间的信息交互及处理逻辑进行建模, 并据此设计正常场景、故障场景(单车运行)、故障场景(双车追踪)下的测试案例。通过在实验室搭建半实物仿真测试平台, 验证系统的完整性相关功能以及测试案例的可行性。该案例设计方法对新型列控系统完整性相关功能的测试方案制定具有重要参考意义。

**关键词:** 新型列控系统; 列车完整性; 故障场景; 测试案例

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0021-06

## Discussion on Test Scheme for Train Integrity Functions in New Train Control System

Wei Bo

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

**Abstract:** This paper analyzes the operation scenarios of train integrity related functions at the system level, utilizes the sequence diagram and flow chart to model the information interaction and processing logic among onboard equipment, EOT equipment and wayside equipment, and designs the test cases for the normal scenario, the fault scenario with a single vehicle in operation and the fault scenario with two trains in tracking state. The functions related to train integrity and the feasibility of test cases are verified through a laboratory half-physical simulation test platform. The proposed design method for test cases has important reference significance for the formulation of the test scheme for the train integrity related functions in the new train control system.

**Keywords:** new train control system; train integrity; fault scenario; test case

### 1 项目背景

根据中国国家铁路集团有限公司 2022 年统计公报, 截至 2022 年, 全国铁路营业里程 15.5 万 km, 其中高铁 4.2 万 km。伴随着高速铁路运营里程的快速增长, 各地区间路网发展的不平衡也逐渐凸显。既

收稿日期: 2022-04-20; 修回日期: 2023-03-23

基金项目: 中国铁路通信信号股份有限公司重点科研项目 (2300-K1170038)

作者简介: 魏博 (1987-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号系统测试, 邮箱: weibo@crscd.com.cn.

有 CTCS-2/CTCS-3 列控系统需要在铁路沿线铺设大量的轨道电路、应答器，并且设置中继站列控中心<sup>[1-2]</sup>，并不适合中西部地区海拔高、温差大、人烟稀少、作业条件艰苦的应用场景。新型列控系统的研制有效解决了上述问题，满足系统高可靠、高可用及少维护等需求，适合应用于国内中西部铁路建设中。

相较于既有 CTCS-2/CTCS-3 列控系统，新型列控系统引入了列车多源融合定位、电子地图、列车完整性检测<sup>[3-4]</sup>、虚拟区段、虚拟应答器等多项技术，在实现移动闭塞的同时避免了中继站的设置，并且有效减少了轨旁设备的铺设，便于系统的实施、应用及维护。

新型列控系统按照移动闭塞控制列车运行，针对每列车的完整性监控都直接关系着系统的安全运行，需要考虑各种情况下列车解体后的防护措施是否满足安全需求。本文从系统集成的角度，结合实际运营场景及故障场景，探讨新型列控系统中完整性相关功能的测试方法。

## 2 列车完整性相关功能介绍

新型列控系统中，存在机车牵引的货运列车、机车牵引的客运列车、单机车、单机重联车等多种列车编组模式，需在运行过程中实时监控每列车的完整性状态<sup>[5]</sup>。在实际运行过程中，由车载设备、列尾设备及 IP 查询服务器共同完成列车的完整性检查及监控，并将列车的完整性状态实时显示在车

载设备的人机界面（Driver Machine Interface, DMI）中，如图 1 所示，便于驾驶人员知晓当前的列车完整性状态；同时，车载设备也会将列车的完整性状态随位置报告信息一并发送给无线闭塞中心（Radio Block Center, RBC），由 RBC 进行地面视角的列车完整性监控，为后续列车实时计算行车许可。新型列控系统的完整性功能架构如图 2 所示。



图1 DMI界面完整性状态显示  
Fig.1 Display of integrity state on DMI interface

针对完整性相关功能，系统中各设备的工作内容简述如下。

1) 车载设备：与列尾设备实时信息交互，结合自身的风压、卫星等信息判断列车的完整性状态。

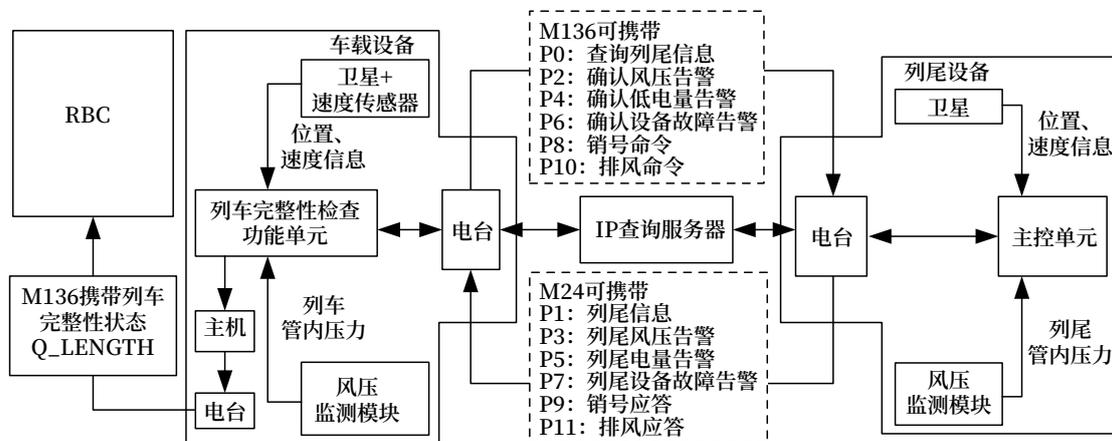


图2 完整性功能架构  
Fig.2 Structure of integrity related functions

2) 列尾设备：实时采集自身风压、卫星、电量等信息并发送给车载设备。

3) IP 查询服务器：提供车载设备与列尾设备的配对服务。

4) RBC：与车载设备实时交互，通过车载设备发送的完整性状态结合自身判断逻辑进行地面侧完整性相关防护。

### 3 场景分析

#### 3.1 正常运营场景

列车的完整性检查做为安全功能，直接关系到系统的安全运行。明确清晰的运营场景是设计测试案例的基础，在新型列控系统中，完整性功能的正常运营场景<sup>[6]</sup>如图3所示，可划分为如下子场景。

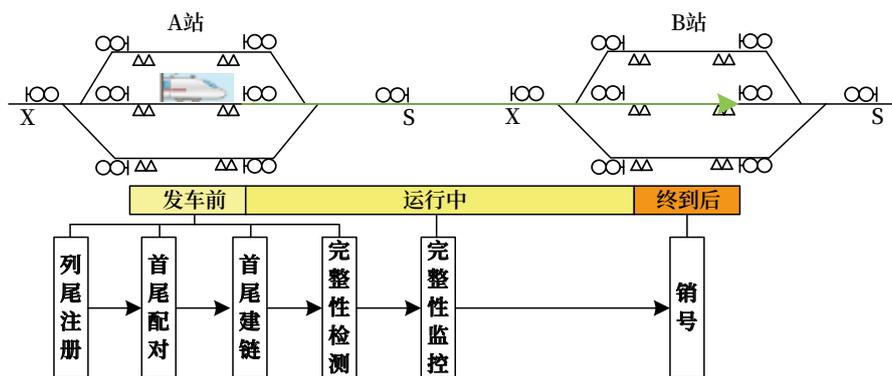


图3 完整性功能基础运营场景

Fig.3 Basic operation scenarios of integrity related functions

#### 1) 列尾注册

由维护人员或车站值班员为列尾设备上电。列尾与IP查询服务器建立连接，并周期性（6 s）上报列尾设备身份信息。

#### 2) 首尾配对

司机给车载设备上电，并在DMI上选择进行完整性测试，输入列尾ID后，车载设备在IP查询服务器中查询列尾信息，IP查询服务器将配对的列尾信息发送给车载设备。

#### 3) 首尾建链

列首根据IP查询服务器提供的列尾信息发起呼叫，与列尾设备建立通信会话，核对系统版本。

#### 4) 完整性检测

首尾建立通信后，车载设备周期查询列尾相关数据，通过首尾风压状态，判断列车的初始完整性状态，判断流程包含以下3个步骤<sup>[7]</sup>：

a. 列首风压大于阈值（高压）时，列尾风压在规定时间内超过阈值（高压）；

b. 施加紧急制动后，列首风压小于阈值（低压）时，列尾在规定时间内风压降低至小于阈值

（低压）；

c. 紧急制动缓解后，列首风压恢复至大于阈值（高压）时，列尾在规定时间内风压超过阈值（高压）。

检测通过后，列车完整性状态由未知转为完整。

#### 5) 完整性监控

具备完整性的列车运行过程中，车载设备周期查询列尾的风压及卫星数据，通过首尾风压、首尾速度、实时安全车长，监控列车的完整性状态等条件，当判断列车不满足上述条件时，进行相应的防护处理。

#### 6) 销号

列车运行至终到站，司机在DMI上选择销号操作后，列车自动防护系统（Automatic Train Protection, ATP）向列尾发送销号命令，列尾向ATP回复销号应答，并清除存储的车载设备ID及IP，重新注册激活，ATP收到销号应答后结束通信会话，清除存储的列尾设备ID及IP。

系统完整性功能运营场景可建模为如图4所示的时序。



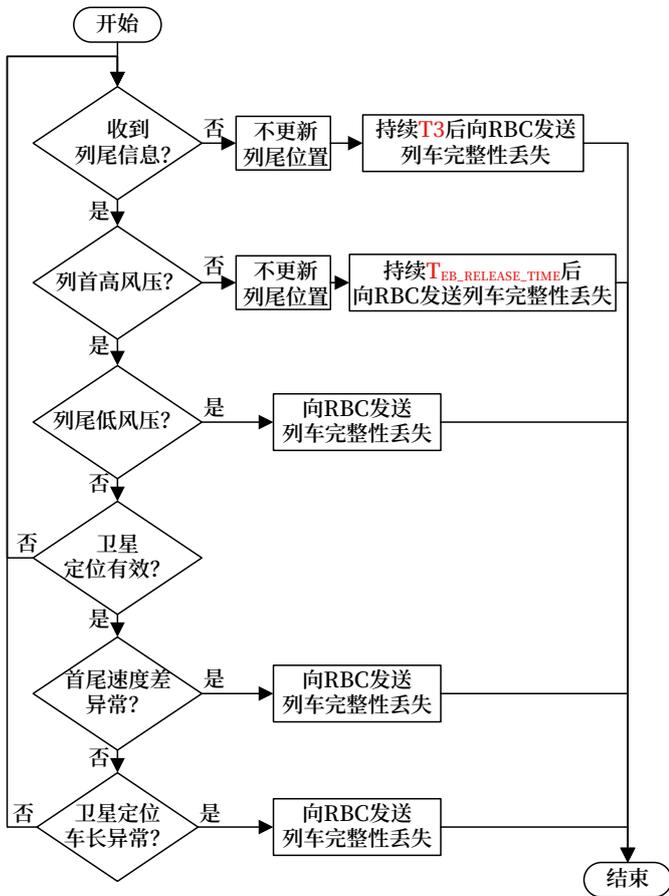


图5 车载侧完整性监控流程

Fig.5 Process of integrity monitoring at the onboard equipment side

3) 当收到列车的位置报告, 列车的完整性由完整变为丢失或未知时, 更新 RBC 中列车完整性状态, 设置尾部防护区域。

RBC 侧的完整性监控流程如图 6 所示。

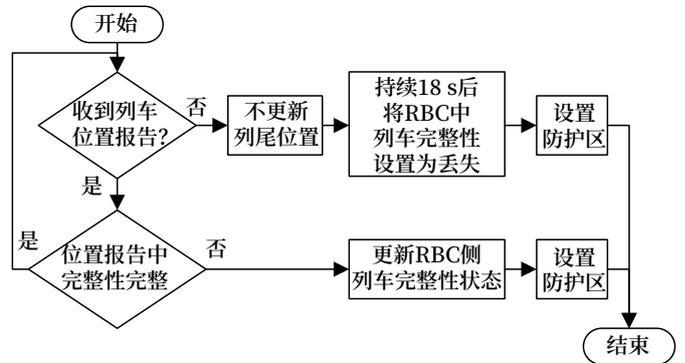


图6 RBC侧完整性监控流程

Fig.6 Process of integrity monitoring at the RBC side

## 4 系统测试

### 4.1 测试环境

通过在实验室搭建仿真环境对上述完整性场景进行测试验证, 仿真环境结构如图 7 所示, 包括以下 3 部分。

- 1) 地面设备: 实物 RBC、TSRS、IP 查询服务器、实物或仿真 TIS。
- 2) 车载设备: 实物 ATP、实物或仿真 EOT。
- 3) 仿真测试平台
  - a. 用户操作界面、仿真运行界面: 向用户显示列车当前的运行位置及轨旁设备布置; 用户可以通过仿真驾驶界面操控列车运行。

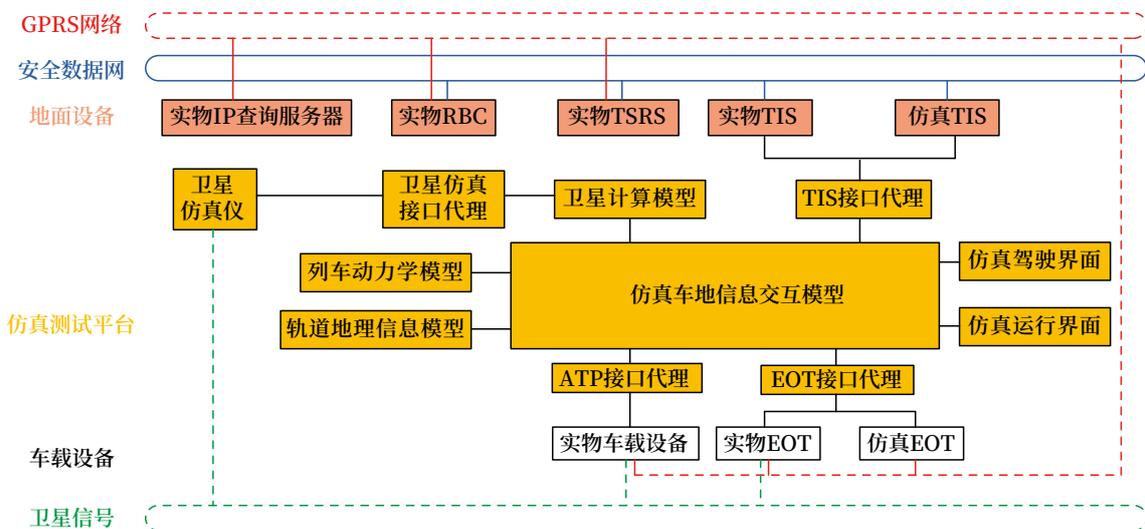


图7 系统仿真测试环境结构

Fig.7 Structure of system simulation test environment

b. 接口代理：与外部设备连接，传递接口信息，如向 TIS 传递区段、计轴占用状态，向 ATP、EOT 传递风压，向卫星仿真仪发送卫星定位信息等。

c. 内部计算模型：将内部模型信息及外部接口信息统一，保证列车运行的真实性，如根据用户的列车操作动作，实时计算列首、列尾的经纬度及速

度，再将其发送给卫星仿真仪，模拟列首、列尾的卫星定位信息。

#### 4.2 测试结果

环境搭建完成后，分别针对正常场景及故障场景设计测试案例，验证系统的完整性检测、完整性监控及故障防护功能，测试案例及结果如表 1 所示。

表1 测试案例一览  
Tab.1 Overview of test cases

场景	案例概述	测试结果	案例可行性
正常场景	完整性测试通过，列车完整性由未知转为完整	通过	可执行
	列车保持完整性为完整状态由 A 站运行至 B 站	通过	可执行
	司机选择销号，列车完整性由完整转为未知	通过	可执行
故障场景 (单车运行)	列尾与车载设备版本不兼容，完整性测试失败	通过	可执行
	列尾风压异常，完整性测试失败	通过	可执行
	列尾通信故障超时超过规定时间 (T3)，列车完整性丢失	通过	可执行
	列首保持低风压超过规定时间 (T <sub>EB_RELEASE_TIME</sub> )，列车完整性丢失	通过	可执行
	列尾风压异常，列车完整性丢失	通过	可执行
	列尾卫星定位异常 (定位速度)，列车完整性丢失	通过	可执行
	列尾卫星定位异常 (定位位置)，列车完整性丢失	通过	可执行
故障场景 (双车追踪)	前车列尾通信故障，后车 MA 不延长	通过	可执行
	前车列首低风压，后车 MA 不延长	通过	可执行
	前车完整性丢失，后车 MA 缩短至防护区起点	通过	可执行
	前车无线超时在规定时间内 (T <sub>Shadow-B</sub> ) 内，后车 MA 不延长	通过	可执行
	前车无线超时超过规定时间 (T <sub>Shadow-B</sub> ) 后，后车 MA 缩短至防护区起点	通过	可执行

## 5 结束语

本文详细介绍了新型列控系统中完整性相关功能，从系统运营角度进行场景及流程分析，提出了正常运行、单车运行故障、多车追踪故障等多种完整性相关功能的测试场景，并设计对应测试案例，最终通过在实验室搭建测试环境对系统的完整性相关功能及测试案例的可行性进行了验证。本文提出的测试场景及测试案例对新型列控系统的测试方案制定具有重要参考意义。

### 参考文献

[1] 江明. CTCS-3 级列控系统发展历程及技术创新 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (1): 2-7.  
Jiang Ming. Development History and

Technological Innovation of CTCS-3 Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(1): 2-7.

[2] 禹志阳, 陈璞, 杨宏图. 自主化 CTCS-3 级列控系统关键技术研究及试验 [J]. 中国铁路, 2021 (6): 21-27.

Yu Zhiyang, Chen Pu, Yang Hongtu. Research and Test on Key Technologies of Independently Developed CTCS-3 Train Control System[J]. China Railway, 2021(6): 21-27.

[3] 郭军强. 列车完整性检查技术综述与应用展望 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (7): 84-87.

Guo Junqiang. Overview and Application Prospect of Train Integrity Inspection Technology[J]. Railway (下转 31页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.006

# CTCS-3级列控系统无线超时分析 关键技术探索

李宝军

(中国铁路哈尔滨局集团有限公司, 哈尔滨 150006)

**摘要:** 阐述 CTCS-3 级列控系统无线超时分析应具备的核心功能以及相应的实现技术。对如何降低无线超时分析中的人工分析的重复工作量、提升自动分析的准确率进行研究; 同时, 通过对 GSM-R 网络以及 CTCS-3 级列控设备的运用质量趋势分析, 帮助维护人员及早发现故障隐患。

**关键词:** CTCS-3 级列控系统; 无线超时分析; 技术研究探索

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0027-05

## Exploration on Key Technologies of Wireless Timeout Analysis of CTCS-3 Train Control System

Li Baojun

(China Railway Harbin Group Co., Ltd., Harbin 150006, China)

**Abstract:** This paper describes the core functions of CTCS-3 train control system in terms of wireless timeout analysis and the corresponding implementation technologies. It studies the method to reduce the repetitive work in manual analysis and improve the accuracy of automatic analysis in wireless timeout analysis. Moreover, it analyzes the quality trend of GSM-R network and CTCS-3 train control equipment to help maintenance personnel in the early identification of hidden troubles.

**Keywords:** CTCS-3 train control system; wireless timeout analysis; technical research and exploration

### 1 CTCS-3级列控系统无线超时分析概述

CTCS-3 级列控系统在运行过程中无线超时降级<sup>[1]</sup>导致列车降速运行会影响运输效率。经过中国国家铁路集团有限公司、路局、CTCS-3 级列控设备厂商以及 GSM-R 通信设备厂商等各方多年针对无线超时事件的整治工作<sup>[2]</sup>, 无线超时态势已得到

有效控制。对于常见无线超时类型、原因以及处理办法, 各方已基本形成统一的认识。目前, 对于无线超时事件的分析主要以人工分析为主, 基于故障树分析<sup>[3]</sup>、案例推理<sup>[4]</sup>以及机器学习<sup>[5]</sup>等分析技术的自动分析方法已被提出。

人工分析属于常见无线超时类型的无线超时事件是重复性工作, 而现有的可用于降低人工重复工作量的自动分析方法仍有完善的空间。现有自动分析方法能力受限的原因主要有两点: 一是用于分析的数据源有限, 仅基于常规 Abis、A 和 PRI 三接

收稿日期: 2023-03-16; 修回日期: 2023-05-13

作者简介: 李宝军 (1971—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道通信、信号, 邮箱: dwcsys1@163.com。

口监测<sup>[6]</sup>数据以及 Um 和 IgsM-r 空口监测<sup>[7]</sup>数据,无法对所有无线超时类型的原因进行精确定位。二是用于分析的技术有优势亦有不足,无法在不同程度的数据缺失的情况下得到准确的分析结论,具体地,基于故障树分析需要建立正确的故障树,故障树建立不全面会导致该技术分析能力有限;基于案例推理存在由于不能覆盖所有解空间而无法得到最优解的问题;基于机器学习需要大量符合要求的无线超时事件数据对模型进行训练<sup>[8]</sup>。

针对现有自动分析方法的不足,探索以 GSM-R 网络各接口监测数据、车载通信信号一体化监测数据以及地面信号监测数据作为无线超时事件分析数据源、采用基于规则的专家系统和机器学习相配合的分析技术,进一步提升 CTCS-3 级无线超时分析能力,在无线超时事件不同程度的数据缺失的情况下均能得出准确的分析结论。此外,为尽可能将无线超时事件的处理从事后分析转变为事前预防,对 GSM-R 网络以及 CTCS-3 级列控车载设备、地面设备的运用质量进行统计分析,帮助维护人员及早发现设备的故障隐患,保证运输效率。

## 2 CTCS-3级列控系统无线超时分析发展趋势

### 2.1 应用范围

下一代 CTCS-3 级列控系统无线超时分析应具备自动完成对无线超时事件的分析并生成分析报告,同时能够对 GSM-R 网络以及 CTCS-3 级列控车载设备、地面设备的运用质量进行统计分析并生成统计报表。

用于分析的数据源可采集 GSM-R 网络监测系统、车载通信信号一体化监测系统以及地面信号监测系统。其中, GSM-R 网络监测系统的数据库包括 Abis 接口、A 接口和 MSC 侧 PRI 接口的网络信令及业务数据;车载通信信号一体化监测系统的数据库包括 IgsM-r 接口的 AT 命令及业务数据、Um 接口的网络信令及业务数据以及 ATP 日志数据;地面信号监测系统数据库包括 RBC 侧 PRI 接口的网络信令及业务数据及 RBC 日志数据。

### 2.2 规划结构

下一代 CTCS-3 级列控系统无线超时分析应由数据收集层、数据清洗层、数据分析层、数据共享层、操作显示层以及总控层组成,可与 GSM-R 网络监测系统、车载通信信号一体化监测系统以及地面信号监测系统通过铁路传输网或数据通信网实现交互,并能通过离线方式收集综合检测车的检测数据,系统内部各处理单元及存储单元通过局域网以太网实现信息及数据交互,结构如图 1 所示。

数据收集层负责从外部系统收集数据,可直接与各监测检测系统/工具交互获取各类基础监测检测数据,交互方式支持 TCP/IP、FTP 或 U 盘导入。数据收集层包括 DMS 数据收集模块、综合检测车检测数据收集模块、车载通信信号一体化检测系统数据收集模块、GSM-R 网络监测系统数据收集模块、地面信号监测数据收集模块。

数据清洗层负责对收集到的各类基础监测检测数据进行初步处理,将其转换为符合本系统逻辑模型要求的数据,并在数据集中存储单元存储。

数据分析模块负责对数据进行挖掘、提取数据特征以及预测故障案例分析模型,对无线超时事件进行推理分析,对无线网络运用质量及趋势预警进行分析,维护无线超时故障案例模型知识库。

数据共享层负责将无线超时分析结果共享到 GSM-R 网络运维、通信综合运维以及电务综合运维等外部系统,并将无线超时分析结果及其他统计分析结果在本地保存。

操作显示层负责向用户提供操作界面,用于进行系统配置、无线超时查询分析等操作,并显示分析结果、处理报告及报表。

总控层负责系统内交互流程的总体控制以及之间的交互数据传递。

## 3 CTCS-3级列控系统无线超时分析的关键

### 功能与实现技术

#### 3.1 关键功能

##### 1) 数据收集

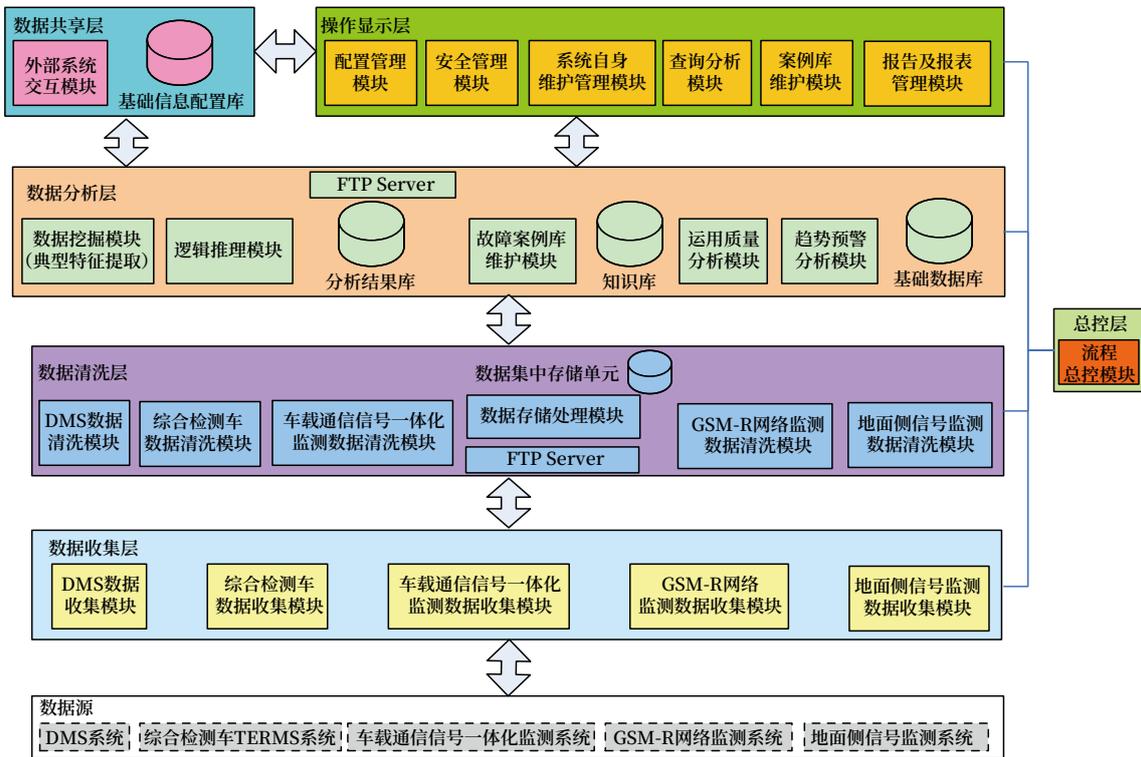


图1 CTCS-3级列控系统无线超时分析结构

Fig.1 Structure of wireless timeout analysis for CTCS-3 train control system

以在线或离线方式从车载通信信号一体化监测系统提取车载侧  $I_{\text{gsm-r}}$  接口 AT 命令及业务数据、Um 接口网络信令及业务数据以及 ATP 日志数据。从 DMS 系统实时或批量获取列车无线超时制动信息。以离线方式从综合检测车自动收集无线超时事件车次、发生点的路测数据。以在线或离线方式从 GSM-R 网络干扰检测系统获取干扰告警及频谱数据。以在线或离线方式从 GSM-R 网络接口监测系统获取基站侧 Um 接口、Abis 接口、A 接口以及 PRI 接口的网络信令及业务数据。以在线或离线方式从地面信号监测系统获取 RBC 侧 PRI 接口网络信令及业务数据、RBC 日志数据。

## 2) 数据清洗

统一保存收集到的各类数据文件，并根据设定的存储规则自动对数据文件进行管理。从收集到的无线超时事件相关数据文件中提取无线超时事件分析所需数据，并将数据统一保存到清理后的数据库中。对收集到的全量数据文件进行格式整理，并将整理后的数据统一保存到数据库中。对多个监测系

统厂家不同格式的数据进行兼容处理，处理后的数据按统一格式进行存储。解析 ATP 和 RBC 日志，从中提取无线超时相关数据并按统一格式进行存储。

## 3) 无线超时分析及报告管理

根据无线超时分析逻辑自动化分析无线超时事件并自动生成分析报告，将分析结果和分析报告按规定格式统一保存。当收集到新的数据源或分析专家库更新后，支持对已分析的超时事件重新进行分析并重新生成分析结果和分析报告，将分析结果和分析报告按规定格式统一保存。分析无线超时事件时，能够根据收集到的车载侧、网络侧及地面侧的实际监测数据情况进行针对性分析，并给出对应的无线超时原因及故障定位结果。能够根据设定条件进行无线超时事件统计，并将统计结果以报表形式导出。

## 4) 无线网络运用质量分析

支持多角度的 GSM-R 无线网络性能统计，包括切换成功率、切换原因分布、测量报告分布、测量报告覆盖、连接建立时延及成功率、连接丢失率

及呼叫时长等，并生成统计报告。支持进行 GSM-R 网络及 MT 运用质量分析，按小区、MT 等统计分析各类异常的发生情况，并能查看各类异常的异常记录以及异常详情，生成质量分析报告并保存质量分析结果及质量异常详情数据。

#### 5) 故障预警

按小区及电台进行电平及通信质量分布趋势统计，及早发现小区及电台故障趋势。按照 RBC 及 ISDN 共计各类故障发生次数，如短呼、V.110 失步等，及早发现 RBC 及 ISDN 的故障趋势。

#### 6) 故障数据共享及操作显示

将无线超时事件分析结果及运用质量分析结果共享到上一级运维系统。

支持按照设定条件查询无线超时事件分析结果，将结果以报表形式导出。支持输入车次号、机车号、时间段等信息发起手动无线超时分析，根据输入信息自动进行数据收集、清洗及分析，并返回分析结果。支持设定条件进行运用质量分析及结果查询，将结果以报表形式导出。支持按车次查询收集的车地通信全量监测数据。根据用户需求生成定制化报表及分析报告。

### 3.2 实现技术

#### 1) 多种数据自动收集

采用在线或离线等方式自动收集 GSM-R 网络侧、车载侧以及地面侧监测系统的各类数据及日志文件，并将收集到的数据按照指定格式进行统一保存。

#### 2) 监测数据的预处理

监测数据具有时间和逻辑的相关性，原始数据维度大，数据长度不能满足模型的输入，为了能够提取到合适的特征用于故障诊断，降低数据的维度，基于数据挖掘、关联分析等方法对车地通信全量监测数据进行特征提取，提取到的特征能够反映不同故障类别之间的差异性，最后将提取到的特征用作分析模块的输入。

#### 3) 无线超时分析专家知识库构建

根据现有无线超时类型以及各类故障的分析逻辑，构建分析知识库，在无线超时类型更新时同步更新知识库。

#### 4) 无线超时分析结果的融合

单一方式进行无线超时分析具有一定的局限性，可能无法得出准确的无线超时原因，为了提高分析的准确率，将采取不同模型实现的无线超时分析所产生的具有置信度的分析结果进行融合，得到最终的分析结论。

#### 5) 数据缺失情况下无线超时分析

数据完整性是无线超时分析得出准确结论的前提，但多数情况下由于各线路部署各类监测系统的情况的差异性导致无法获取到完整的无线超时事件数据。例如，发生在未部署车载通信信号一体化监测系统的线路的无线超时事件，获取到的无线超时事件数据缺少 IgsM-r 接口和 Um 接口的数据；发生在部署了 GSM-R 网络接口监测系统的线路的无线超时事件，由于软件版本不同，Abis 和 A 接口的业务数据的缺失情况也不同。缺失数据存在差异，因此需要在出现不同的数据缺失的情况下，根据缺失数据的类型和特点，对相关特征进行调整，从而实现无线超时事件的分析。

#### 6) 无线超时分析报告自动生成

无线超时事件分析完成后，根据用户指定的分析报告模板自动生成分析报告，并将分析报告进行保存。

#### 7) 多角度趋势统计分析

按照小区、MT、RBC、ISDN 等设定不同的统计周期对基站、MT 以及 RBC 的工作状态进行趋势统计，从统计数据异常状态中发现设备的故障隐患。

#### 8) 实现预警功能

设置关键参数阈值，将基站、MT、RBC 以及 ISDN 数据与阈值进行对比，对超限数据分类并对照故障诊断库进行综合分析，结果通过网管终端输出声光告警，提示性能劣化可能发生设备的、

原因, 实现系统的智能预警。

#### 4 结论和建议

本文对 CTCS-3 级列控系统无线超时分析的发展趋势进行了研究, 对关键功能与相应的实现技术进行了探讨。

CTCS-3 级列控系统无线超时分析在具体应用时可采用传统物理机或云平台方式部署。采用物理机方式部署时, 系统内各处理单元可根据需要分别配置一至多套物理机; 采用云平台部署时, 可以使用私有云或公有云基础设施, 系统内各处理单元可根据需要分别配置一至多套虚拟机。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-3 级列控车载设备技术条件: TB/T 3483-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 杨泽举, 蒋笑霜, 张磷. 实施联合技术攻关, 破解无线超时顽症[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(8): 69-71, 74.  
Yang Zeju, Jiang Xiaoshuang, Zhang Lin. Carry out Combined Technology Program to Handle Wireless Connection Timeout[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(8): 69-71, 74.
- [3] 沈洪波, 陈曦. CTCS-3 级列控系统无线超时自动分析系统研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(6): 1-7.  
Shen Hongbo, Chen Xi. Research on Automatic Wireless Timeout Analysis System of CTCS-3 Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(6): 1-7.
- [4] 傅卫国. 一种 CTCS-3 级列控系统无线超时降级故障诊断方法: CN110673588A[P]. 2020-01-10.
- [5] 钟宏光, 张朝, 张珺. 一种基于机器学习的 CTCS3 故障诊断方法: CN110816589A[P]. 2020-02-21.
- [6] 中华人民共和国铁道部. GSM-R 数字移动通信网 A、ABIS、PRI 接口监测系统技术条件: 运基通信 [2010]637 号[S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2010.
- [7] 中国铁路总公司. CTCS-3 级列控车载设备 I-gsm-r、Um 接口监测系统技术条件 (V1.0): 铁总运 [2016]15 号[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.
- [8] Halevy A, Norvig P, Pereira F. The Unreasonable Effectiveness of Data[J]. IEEE Intelligent Systems, 2009, 24(2): 8-12.
- \*\*\*\*\*
- (上接 26 页)
- Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(7): 84-87.
- [4] 师瑞音. 基于车载系统的列车完整性检测方法探索[J]. 科技创新与应用, 2019(27): 115-117.  
Shi Ruiyin. Exploration of Train Integrity Detection Method Based on On-Board System[J]. Technology Innovation and Application, 2019(27): 115-117.
- [5] 中国国家铁路集团有限公司. 青藏铁路新型列控系统暂行技术规范: TJ/DW 229-2020[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [6] 中国国家铁路集团有限公司. 新型列控系统车载设备暂行技术条件: TJ/DW 232-2020[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [7] 中国国家铁路集团有限公司. 新型列控系统列车完整性检查列尾设备暂行技术条件: TJ/DW 236-2020[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [8] 李强. 基于北斗卫星技术川藏铁路列控系统展望与思考[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(8): 105-110, 116.  
Li Qiang. Outlook and Thinking on Train Control System for Sichuan-Tibet Railway Based on Beidou Satellite Technology[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 105-110, 116.

# 基于天空地一体化监测的 周界防范系统设计及应用示范

王 梁<sup>1</sup>, 谭金林<sup>1, 2</sup>, 孙晨红<sup>3</sup>, 吴 意<sup>1</sup>, 王伟明<sup>1</sup>, 杨笑天<sup>1</sup>, 刘 焱<sup>1</sup>

(1. 陕西航天技术应用研究院有限公司, 西安 710100;

2. 西安电子科技大学, 西安 710071;

3. 自然资源陕西省卫星应用技术中心, 西安 710002)

**摘要:** 围绕铁路安全防范核心需求, 设计基于天空地一体化监测的高铁沿线周界防范综合信息服务系统, 包括4类重点管控场景和5种感知手段, 并进行4类场景的应用示范及分析, 系统保障车站及高铁沿线安全, 实现高铁全天候、智能化、可视化、自动化、立体化预警, 同时提升高铁沿线周边治安管理、安全防控技术水平。

**关键词:** 高速铁路; 天空地一体化; 周界防范; 应用示范

中图分类号: U298

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0032-07

## Design and Application Demonstration of Perimeter Protection System Based on Space-Air-Ground Integrated Monitoring

Wang Liang<sup>1</sup>, Tan Jinlin<sup>1,2</sup>, Sun Chenhong<sup>3</sup>,  
Wu Yi<sup>1</sup>, Wang Weiming<sup>1</sup>, Yang Xiaotian<sup>1</sup>, Liu Yan<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Academy of Aerospace Technology Application Co., Ltd, Xi'an 710100, China)

(2. Xidian University, Xi'an 710071, China)

(3. Natural Resources Shaanxi Satellite Application Technology Center, Xi'an 710002, China)

**Abstract:** Focusing on the core requirements of railway safety precaution, this paper designs an integrated information service system for perimeter protection along high-speed railways based on space-air-ground integrated monitoring, including four key control scenarios and five perception means, and conducts application demonstration and analysis of the four scenarios. The proposed system can ensure the safety of stations and high-speed railway lines, and achieve all-weather, intelligent, visualized, automatic and three-dimensional early warning of high-speed railways. It can also improve the technical capability of security management and safety prevention and control along

收稿日期: 2022-07-20; 修回日期: 2023-03-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0824202)

第一作者: 王梁(1989—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 天基信息体系化应用, 邮箱: wangliang\_fighting@163.com.

high-speed railway lines.

**Keywords:** high-speed railway; space-air-ground integration; perimeter protection; application demonstration

随着高速铁路的快速发展,铁路沿线安全防控需求日益明显,铁路周边的安全也面临重要考验。高铁沿线周界遭受侵犯时,存在监测手段单一、数据来源时效性低、目标识别准确率低、发现周界遭受入侵时处置效率低、通讯难和周界防范威胁研判实时性较差等问题<sup>[1-2]</sup>。本文采用物联网、大数据挖掘、深度学习等新一代信息技术,通过高分对地观测、无人机、地面物联网等监测手段对周界区域进行多角度、无死角实时监测,采用信息融合、目标智能提取与识别、振动目标识别、形变自动监测、周界防范智能分析及预警等技术,开展铁路安全防范及预警研究,设计研制了基于“天空地一体化”监测的周界防范系统,实现对高铁周界区域全天候、智能化、可视化、自动化和立体化预警。

## 1 高铁沿线周界防范综合信息服务系统设计

基于“天空地一体化”手段的高铁沿线周界防范综合信息服务系统依托卫星遥感影像、无人机影像、北斗监测手段,以4G/5G网络为载体,配合视频监控识别、光纤振动信号、周界雷达以及形变监测等地基监测手段,对高铁沿线入侵车辆、人员等风险智能识别监控。在周界防范智能分析与预警模型的支持下,实现对周界入侵对象的智能监控、目标识别与跟踪、智能分析与预警,同时结合岗亭分布数据、人员警力分布数据以及其他物资、业务数据,综合研判报警事件处理方案,第一时间根据方案处置报警事件,保证铁路沿线的安全。

### 1.1 系统架构

高铁沿线周界防范综合信息服务系统架构概括为“1345”,即“1个系统,3种算法模型,4类管控场景,5种感知手段”,总体架构如图1所示。其中“1个系统”指高铁沿线周界防范综合信息服务系统;“3种算法模型”包括目标智能识别算法模型、多源数据分枝决策目标融合算法模型和周界防

范多源感知智能分析及预警模型;“4类管控场景”包括振动目标识别与分析管控场景、周界雷达管控场景、图像智能分析管控场景及基于北斗的变形监测管控场景;“5种感知手段”包括卫星遥感、视频监控、周界雷达、振动光纤及GNSS接收机等。系统架构具体分为感知层、传输层、数据层、支撑层和应用层。

**感知层:**利用地基视频监控、震动光纤和其他地基监测设备,对高铁沿线进行动态监测。利用卫星遥感和空基无人机视频,实现大视场数据采集。

**传输层:**通过4G/5G网络方式为信息的采集与更新提供数据传输通道。

**数据层:**通过卫星遥感、光纤振动、周界雷达以及形变监测等手段获取高铁沿线周界基础数据,形成专题数据库,并通过WEB服务方式,共享数据应用。

**支撑层:**通过基于目标智能识别算法模型、多源数据分枝决策目标融合算法模型和周界防范多源感知智能分析及预警模型3个模型对数据进行加工和处理,通过数据加工和数据研判,形成情报数据和预警数据。

**应用层:**基于全场景监控、报警源接入、分析与预警、指挥处置等功能模块实现多场景应用,并通过统一平台实现数据综合管理,为用户提供了统一的管理平台及专业的视频分析服务。

### 1.2 系统组成

基于天基信息的高铁沿线周界防范综合信息服务系统由全场景监控、报警源接入、分析与预警、指挥处置以及系统管理等组成。具体功能如下。

1) 全场景监控:集成GIS地图功能,以遥感影像为底图,叠加显示铁路沿线重要场景的全景图影像,实现各类传感器与摄像机的标注,以及地理空间分析,为高铁沿线周界防范提供空间数据支撑<sup>[3]</sup>。

2) 报警源接入:实现周界防范报警源的统一接入与管理,包括视频图像防范预警、振动光纤防范

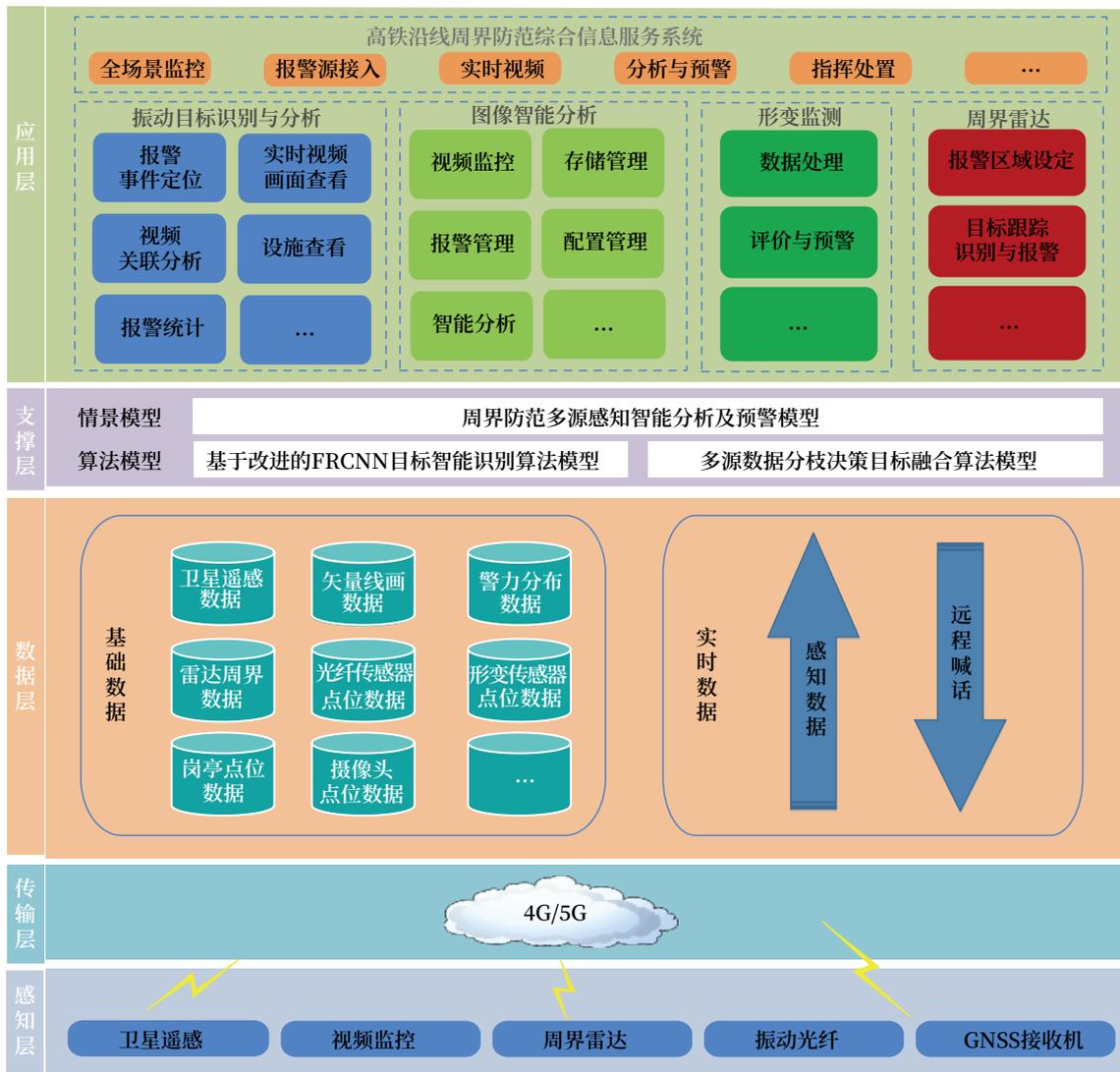


图1 基于天基信息的高铁沿线周界防范综合信息服务系统架构

Fig.1 Structure of integrated information service system for perimeter protection along high-speed railways based on space-based information

预警、形变报警和周界雷达报警。

3) 分析与预警：在利用周界防范智能分析与预警模型对周界入侵对象智能进行监控、目标识别与跟踪、智能分析的基础上，实现对周界入侵预警、重点目标入侵检测预警、目标异常行为预警，用直观的方式在系统中准确提示各类报警信息。

4) 指挥处置：在地理信息系统支持下，系统发现预警时，及时接入实时视频查看现场情况，并可通过话筒对入侵区域目标进行远程喊话驱离。结合岗亭分布数据、人员警力分布数据以及其他物资、业务数据综合研判报警事件的处理方案，并将方案实时下发到关联处置岗位，同时在警报关联的声光

报警器中产生警报，第一时间产生震慑入侵的效果；关联处置岗位在接收到报警信息或者报警处置方案时，第一时间根据方案处置报警事件，保证铁路沿线周界安全。

5) 系统管理：为系统提供统一身份登录功能，主要包括组织机构管理、用户信息管理、系统角色管理、权限管理、安全策略管理等功能，同时还具有良好的扩展性。

### 1.3 算法模型

#### 1) 目标智能识别算法模型

目标智能识别算法模型基于改进的 FRCNN 算法建立的检测模型<sup>[4-5]</sup>，该模型的输入是以视频摄像

头得到的视频流信息获取图片帧以及抓拍的图片作为数据集，通过改进的 FRCNN 算法分析，识别出具体的车辆信息（车牌、车型、颜色）和乘客人脸信息以及行人信息（人脸、人体）。

算法模型以插件的形式集成在布控球机上，针对接入的视频流进行实时处理。经试验验证，该模型识别车辆、人员的准确率达到 95%。

## 2) 多源数据分枝决策目标融合算法模型

多源数据分枝决策目标融合算法模型以深度学习技术为基础，实现对无人机单一影像、无人机+卫星遥感融合影像的自动建筑物目标检测<sup>[6-8]</sup>。研究对比了西成高铁西安段区域内的多期影像，选取建筑物变化较大的区域作为实验区，通过对单一类型样本和多源样本融合数据进行建筑物模型训练。经过实验对比，加入卫星影像样本数据后，无人机影像建筑物提取精度提升 12%。

算法模型以插件形式集成在系统，对采集的多源数据进行融合分析决策。模型支持天基高分辨全色和多光谱影像、无人机视频和图像、地面监控视频和红外影像等数据类型；经试验验证，多源影像融合后目标检测率提升 10%。

## 3) 周界防范多源感知智能分析及预警模型

周界防范多源感知智能分析及预警模型主要用于高铁沿线等国家基础设施的周界防范分析的场景，通过卫星遥感数据融合与大型可疑目标检测识别、无人机巡检和地面视频监控，利用 FRCNN 的目标智能识别算法模型、分枝决策目标融合算法模型实现对入侵车辆、人员等重点目标识别、分析<sup>[9-13]</sup>。结合周界光纤振动传感器等综合传感器，实现目标和防范区域定位和结合，建立高铁周界防范多源感知智能分析及预警模型，实现智能监控、目标识别与跟踪、智能分析与预警等目的，模型构建流程如图 2 所示。

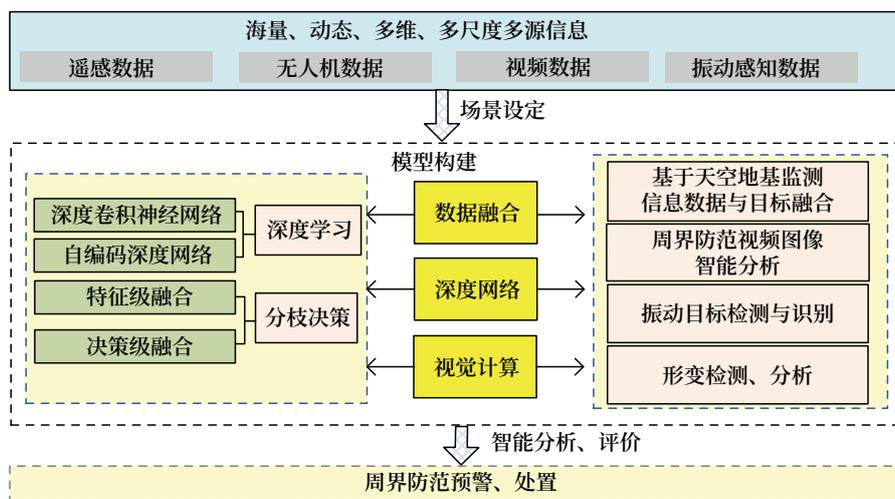


图2 基于通导遥一体的周界防范智能分析与预警模型构建流程

Fig.2 Process of intelligent analysis and early warning modeling for perimeter protection based on communication-navigation-remote sensing integration

算法模型集成在轻智能超脑应用场景岗亭上，针对接入的多路视频流进行实时处理、智能分析及预警。经试验验证，该模型识别车辆、人员的准确率达到 95%，并可对周界入侵、重点目标入侵、目标异常等行为进行预警。

## 2 应用示范及分析

西成高铁是国内西部重要的一条高铁线路，其

线路长、跨度大、环境复杂，其中秦岭山区隧道群首次采用 25‰的大坡度，且大坡道持续段落长达 46 km，是当前国内高铁绝无仅有的路段。在此区域若发现安全事件，防范、处置、救援等环节难度极大。本文将系统获取的数据实时推送至西成高铁特定段周界防范应用示范系统，结合已有的天空地一体化大数据安全情报研判与指挥处置平台，实现西成高铁特定段周界防范监测分析及预警和快速处置。

## 2.1 振动目标识别与分析场景应用

振动目标识别与分析主要对防范区域周界进行全天候、全方位监控，以传感光缆作为感应单元，对直接接触或通过承载物（如覆土、铁丝网、围栏等）传递给传感光缆的各种振动，进行实时、持续监控，采集数据经光通讯传递给后端主机分析处理和智能识别，判断出不同的外部干扰类型，如攀爬铁丝网、按压围墙、禁行区域的奔跑或行走，以及可能威胁物理周界的破坏、机械施工等，实现预警或实时告警，达到对侵入警戒区域周界的威胁行为进行预警监测的目的。

以疏散通道为例，进行振动目标识别与分析场景应用，根据西成高铁及沿线现场周界防护的实际调研，疏散通道主要是防范通道下围墙周界入侵。此场景采用“加装振动光纤+摄像头复核”方式，通过4G/5G无线网络回传至站区派出所，基于前端视频图像与振动数据综合分析，对真正的入侵行为进行报警。根据现场实际情况，部署1套振动光纤系统来监测攀爬围墙的行人目标，当发现可疑人员在攀爬围墙时，岗亭及时进行声光报警。

## 2.2 周界雷达场景应用

周界雷达部分主要包括周界雷达和高清夜视相机、计算机网络及布线，后端服务器及报警管理。结合雷达探测范围广、跟踪目标多、光电探测细节丰富等优势，通过深度学习智能算法进行识别确认，快速完成探测、识别、预警、记录的全过程，大幅降低误警率，减少人力消耗，同时采集的视频便于事后追责取证。

以路基区涵洞为例，进行周界雷达场景应用，高铁沿线路基区涵洞主要为防范周界入侵和人为因素的抛物、弹弓等。此场景采用“周界雷达+智能布控摄像机”的方式，实现人和车的目标识别、周界入侵预警，重点目标入侵检测预警及目标异常行为预警。根据现场实际情况，在路基区过车涵洞两侧各部署2台周界雷达，均部署在围墙内测，当发现可疑人员在攀爬围墙时，会及时声光报警。

## 2.3 图像智能分析场景应用

图像智能分析部分是基于机器视觉深度学习技

术并结合GPU图像处理技术开发的新一代智能视频分析系统，具有强大的目标对象分类识别与跟踪的检测能力，主要由高清摄像头、深度学习服务器、智能视频分析软件等组成。

以低矮桥墩区为例进行图像智能分析场景应用，高铁沿线低矮桥墩区主要防范通道下围墙周界入侵。根据现场实际情况，此场景采用智能布控摄像机的方式，部署1套AI行为识别摄像机，用来监测桥下区域可疑人员抛物、打弹弓和气枪等异常行为，可进行行为预警、远程喊话、实时远程视频等。

## 2.4 基于北斗的形变监测场景应用

利用北斗地基增强系统高精度位置感知能力，综合通讯技术、网络技术等手段，对山体边坡区的形变进行实时位移监测和形变分析，利用光纤方式自动进行预警信息传输、发布，实时查看监测点形变数据。

以山体边坡区为例进行基于北斗的变形监测场景应用，高铁沿线山体边坡区监测主要防范山地边坡产生滑坡，造成人员和财产损失。此场景采用在山体边坡部署GNSS北斗监测设备的方式，通过接收卫星信号，计算所处位置水平和垂直位移，实时进行位移监测和形变分析。根据现场实际情况，在山体边坡区，部署1套GNSS设备，如有滑坡现象及时预警，岗亭发出声光报警。

## 2.5 示范分析

基于天空地一体化监测手段，通过周界防范智能分析与预警模型，对非法入侵人员、车辆等重点目标，进行目标识别与监控、智能分析与预警，入侵告警与处置，结合已有的天空地一体化大数据安全情报研判与指挥处置平台，通过4类管控场景的示范应用，实现了西成高铁特定段周界防范监测分析及预警和快速处置，并通过一年以上在西成高铁特定段的示范应用，形成了可向全国推广的铁路周界防范的技术解决方案。

## 3 结束语

本文通过基于改进的FRCNN目标识别、多源数据分枝决策目标融合及周界防范智能分析与预警等关键技术研究，以西成高铁为应用示范，搭建了

一套基于天空地一体化监测的新技术示范系统,实时获取车站及铁路沿线地区行人、交通等动态事物数据,并对多源数据进行智能融合、分析和筛选,协助发现潜在危机,实现高铁全天候、智能化、可视化、自动化、立体化预警,在沿线区域增加了看不见的“虚拟围墙”,提升高铁沿线周边治安管理、安全防控技术水平。同时,在全面提升突发袭击的防范工作,降低人民群众的经济财产损失以及保障人民群众生命安全,健全国内公共安全体系等维护社会稳定工作中发挥重要作用。

### 参考文献

- [1] 周家梁. 基于振动光纤及视频分析技术的铁路周界监控系统[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(4): 52-55.  
Zhou Jialiang. Railway Perimeter Monitoring System Based on Optical Fiber Vibration Sensor and Video Analysis Technology[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(4): 52-55.
- [2] 李一凡. 高速铁路周界入侵报警系统关键技术研究及应用[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(7): 53-55, 85.  
Li Yifan. Study and Application of Key Technologies of Perimeter Intrusion Alarming System for High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(7): 53-55, 85.
- [3] 崔宵洋, 林建辉, 陈春俊, 等. 基于MLF-FRCNN的高速列车定位器检测技术研究[J]. 计算机与数字工程, 2020, 48(10): 2499-2504, 2525.  
Cui Xiaoyang, Lin Jianhui, Chen Chunjun, et al. Research on Locator Detection Technology of High Speed Train Based on MLF-FRCNN[J]. Computer & Digital Engineering, 2020, 48(10): 2499-2504, 2525.
- [4] 傅荟瑾, 史天运, 王瑞, 等. 基于深度学习的京张高速铁路周界图像智能识别系统构建研究[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(5): 64-72.  
Fu Huijin, Shi Tianyun, Wang Rui, et al. Research on Construction of Intelligent Image Recognition System for BeijingZhangjiakou High Speed Railway Perimeter Based on Deep Learning[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(5): 64-72.
- [5] 蔡檬屿, 郭旭, 王浩帆, 等. 基于深度学习的铁路辅助巡检系统[J]. 铁路计算机应用, 2020, 29(9): 12-15.  
Cai Mengyu, Guo Xu, Wang Haofan, et al. Aided Inspection System of Railway Based on Deep Learning[J]. Railway Computer Application, 2020, 29(9): 12-15.
- [6] 王万齐, 刘军, 李平, 等. 京张高铁运营安全大数据平台设计及关键技术[J]. 铁路计算机应用, 2021, 30(7): 61-65.  
Wang Wanqi, Liu Jun, Li Ping, et al. Design and Key Technologies of Operation Safety Big Data Platform for Beijing-Zhangjiakou High-Speed Railway[J]. Railway Computer Application, 2021, 30(7): 61-65.
- [7] 魏建民, 赵旭, 吕为民. 铁路安全预警系统的设计和实现[J]. 铁路计算机应用, 1997, 6(2): 13-15.  
Wei Jianmin, Zhao Xu, Lv Weimin. Design and Implementation for Railway Early Warning System[J]. Railway Computer Application, 1997, 6(2): 13-15.
- [8] 孙鹏. 铁路物联网应用分析方法研究[J]. 铁路计算机应用, 2017, 26(7): 11-14.  
Sun Peng. Application Analysis Method of Railway Internet of Things[J]. Railway Computer Application, 2017, 26(7): 11-14.
- [9] 李金波. 智能技术在高速铁路周界安防中的应用研究[J]. 铁路计算机应用, 2019, 28(1): 43-46.  
Li Jinbo. Intelligent Technology Applied to Perimeter Security of High Speed Railway[J]. Railway Computer Application, 2019, 28(1): 43-46.
- [10] Ren Shaoqing, He Kaiming, Girshick R, et al. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks[J].

- IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(6): 1137-1149.
- [11] 喻晓芒, 罗光明, 朱珍民, 等. 分布式光纤传感器周界安防入侵信号的多目标识别 [J]. 光电工程, 2014, 41 (1): 36-41.
- Yu Xiaomang, Luo Guangming, Zhu Zhenmin, et al. The Multi Target Recognition of Intrusion Signal of Perimeter Security with Distributed Fiber-Optic Sensor[J]. Opto-Electronic Engineering, 2014, 41(1): 36-41.
- [12] 张良培, 黄昕. 遥感影像信息处理技术的研究进展 (英文) [J]. 遥感学报, 2009, 13 (4): 559-569.
- Zhang Liangpei, Huang Xin. Advanced Processing Techniques for Remotely Sensed Imagery[J]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(4): 559-569.
- [13] 李娟, 赵军. 基于 WebGIS 的遥感影像数据发布系统的设计与实现 [J]. 北京测绘, 2008 (4): 60-63.
- Li Juan, Zhao Jun. Design and Implementation of Publication System for Remote Sensing Image Based on WebGIS[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2008(4): 60-63.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### UIC和联合国亚洲及太平洋经济社会委员会联合举办铁路数字化会议

联合国亚洲及太平洋经济社会委员会 (简称亚太经社会) 是联合国经济及社会理事会的 5 个区域委员会 之一。亚太经社会现有 53 个成员, 包括中国等东亚国家, 东南亚、南亚、中亚、南太, 以及俄罗斯、土耳其、伊朗等国和美国、英国、法国、荷兰等, 还有 9 个准成员, 包括中国香港、中国澳门以及一些太平洋岛国和地区等。亚太经社会第四届交通部长会议 曾鼓励人们实施可持续多式联运货运的区域性方法, 从而深化亚太地区货运业务的可持续性。区域性方法的优先事项之一是通过数字化等方法增加铁路货运所占的份额。

因此, 在联合国发展账户的促进亚太地区向可持续货运转变 (Promoting a shift towards sustainable freight transport in the Asia-Pacific region) 项目的支持下, 亚太经社会组织了一场关于加快铁路数字化转型的高级别区域会议 (联合国发展账户的目标是为联合国发展议程中的优先领域的的能力发展项目提供资金, 这些项目有利于发展中国家和处于经济转型期的国家。联合国发展账户的资金来自联合国经常性预算)。本次高级别区域会议的目标如下。

\* 仔细研究一项加快铁路数字化转型的区域性策略, 从而提高铁路运输的竞争力, 包括为采用该策略寻找前进方向。

\* 分享经验, 讨论与铁路数字化有关的挑战和新机遇。

\* 确定内陆国和最不发达国家的关键问题, 使这些国家的铁路越级提升至数字化铁路。

UIC 与亚太经社会共同举办了本次铁路数字化联合会议, UIC 专家介绍了以下内容:

\* 铁路大数据和分析学的使用;

\* 亚太经社会和 UIC 联合能力建设, 即在加快亚太经社会区域内铁路数字化转型方面的联合能力建设;

\* 数字化铁路通信技术——UIC 的未来铁路移动通信系统 (FRMCS);

\* 优化列车时刻表。

UIC 参加了本次令人感兴趣的重要会议, 会议表明数字化正在取得良好的进展, 特别是在平台和人工智能领域的进展。同时, 数字化也面临着挑战, 例如开发成本、数据质量、培训、专业知识 / 能力建设等。

(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> 2023-04-12)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.008

# 铁路综合视频监控系统网络安全建设的研究

许 辉

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 介绍铁路综合视频监控系统的建设背景、网络安全现状, 并结合标准《铁路通信网络安全技术要求 第4部分: 综合视频监控系统》(Q/CR 783.4-2021)对视频系统的网络安全进行研究和分析, 同时给出视频系统网络安全的建设模型建议。通过对铁路综合视频系统网络安全建设的研究, 为今后视频系统网络安全有效防护起到更大作用。

**关键词:** 网络安全; 综合视频监控; 建设模型

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0039-05

## Research on Cyber-security of Railway Integrated Video Monitoring System

Xu Hui

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

**Abstract:** This paper mainly introduces the background information and cybersecurity status of the railway integrated video monitoring system, studies and analyzes the cybersecurity arrangements of such video system with reference with Technical Requirements for *Cybersecurity of Railway Communication Part 4: Integrated Video Monitoring System* (Q/CR 783.4-2021), and gives suggestions on the cybersecurity model of such video system. This research on the cybersecurity construction of the railway integrated video monitoring system can bring about more effective protection for the cybersecurity of such video system in the future.

**Keywords:** cybersecurity; integrated video monitoring system; construction model

随着《中华人民共和国国家安全法》《中华人民共和国网络安全法》的正式实施, 以及网络安全等级保护标准 2.0 和《关键信息基础设施安全保护条例》的实施, 中国国家铁路集团有限公司(以下简称国铁集团)逐步对各业务进行网络安全核查和补强, 满足相关国家标准和政策的要求。同时, 国铁集团也在制定《铁路通信网络安全技术要求》系列标准, 包括总体要求、承载网、综合视频监控系统、GSM-R 等网

络安全技术要求。本文将结合国铁集团企标《铁路通信网络安全技术要求 第4部分: 综合视频监控系统》(Q/CR 783.4-2021)的要求, 研究铁路综合视频监控系统(简称视频系统)的网络安全如何建设。

### 1 概述

自 2017 年青藏铁路格拉段建设第一条网络化、可资源共享的视频监控系统以来, 铁路在多条线路已建设不同规模的视频系统, 在铁路行车指挥、生产组织、客货运服务、作业监控、抢险救援以及治安防范等领域发挥了重要作用。截止目前, 视频接

收稿日期: 2022-06-22; 修回日期: 2023-04-19

作者简介: 许辉(1978—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 通信工程, 邮箱: xuhui@crscd.com.cn。

入节点已建设 2 000 多个，接入核心节点视频达 23 万多路，视频规模相当庞大。近两年，随着新技术的发展，铁路视频也在逐渐向云技术、智能化技术发展。庞大的规模、对先进技术的引用，以及国家政策法规的要求，都在对铁路视频系统的网络信息安全建设提出迫切需求。

## 2 视频网络安全现状

视频系统建设初期未设置网络安全设备，仅有部分线路在区域节点和核心节点安装了防病毒软件，在《铁路综合视频监控系统技术规范》(Q/CR 575-2017) 发布后，根据标准中的要求对视频系统网络安全做了部分补强工作，设置了防火墙、漏扫、防病毒服务器、终端准入等设备。

目前铁路视频系统主要存在以下几个方面的安全风险。

1) 视频平台：病毒感染和扩散，如勒索病毒、蠕虫病毒、木马病毒等；非法端口访问，如大量非法端口扫描；非法设备私接，如厂商笔记本直接接入视频系统。

2) 前端设备：弱口令风险，整条线设置一个口令现象普遍存在；软件漏洞风险，存在被非法设备控制、信息泄露风险。

3) 视频终端：信息外泄风险，敏感视频流出；USB 等存储媒介带来病毒感染风险；一机双网、一机多用问题带来网络安全风险。

## 3 视频系统网络安全建设探讨

通过对《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239-2019) 和《铁路通信网络安全技术要求 第 4 部分：综合视频监控系统》(Q/CR 783.4-2021) 的研读，视频系统的网络安全包括两个方面：一个是视频系统平台自身实现的网络安全防护功能；另一个是通过防火墙、入侵检测等安全设备实现的网络安全防护功能。区分哪些防护功能是通过视频平台自身实现、哪些是通过外加安全设备实现，是视频系统网络安全建设的关键。

### 3.1 视频系统安全域划分

标准 Q/CR 783.4-2021 中将视频系统的安全域划分为边界保护区、应用服务区、前端设备区和终端设备区 4 个区域，如图 1 所示。

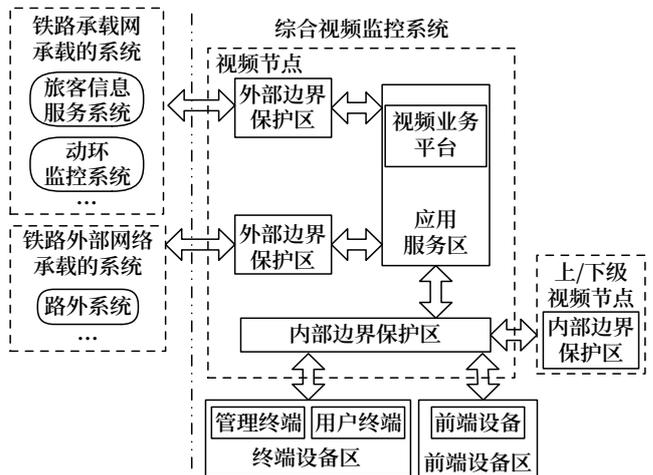


图1 视频系统安全域划分示意

Fig.1 Schematic diagram of security domains of video system

根据视频系统设备类型以及安全风险存在的区域，将前端设备所在区域定义为前端设备区，管理终端和用户终端所在的区域定义为终端设备区，视频系统主要处理设备所在区域定义为应用服务区，系统间或平台间的区域定义为边界保护区。根据视频系统的工作模式，又将边界保护区分为了内部边界保护区和外部边界保护区。内部边界保护区是指视频系统内部各级视频业务平台间，以及视频系统视频终端和前端设备与视频业务平台间的边界保护区域，如：视频接入节点和视频区域节点间互相进行信息传送时，就是需要经过内部边界保护区再接入视频节点的业务平台。外部边界保护区是指视频系统与铁路承载网承载的其他业务系统间的边界设备所在区域（如：旅客信息服务系统、动环系统等），以及视频系统与铁路外部网络承载的业务系统（如：公安系统、交通系统、通过公网承载的铁路内部业务系统等）间的边界保护区域。

图 1 中描述的是一种完整的视频节点类型，包括和前端设备、终端设备、上下级节点以及其他系统互联的情况。当针对某一具体类型的视频节点时，根据实际需要节点或所接的设备有选择地进行安全防护。

### 3.2 视频系统边界防护

Q/CR 783.4-2021 中规定“不应将视频业务平台区域部署在边界处，视频业务平台区域与其他网络区域之间应采取可靠的技术隔离手段”。在视频系统中，视频业务平台是主要处理视频访问控制、视频存储、分发、接入或视频资源管理的平台，一旦平台受到攻击，视频业务将不能正常进行工作，因此，视频业务平台部署区域（即“应用服务区”）不应设置在边界处直接与其他网络区域进行互联，两个区域之间必须有可靠的技术隔离手段，比如：防火墙、网闸等安全设备。

安全边界处的防护就像是通往家中的防盗门，必须是拿着配套的钥匙，插到指定的钥匙孔才能打开相应的防盗门进入房间。对于经过安全边界处的所有访问和数据流也一样，都必须通过边界处设置的安全设备提供的受控接口进行通信。同时，要对非授权设备连接到视频系统内部，以及系统内非授权用户连接到外部网络的行为进行检查或限制。

结合上述分析的视频系统存在的安全风险，避免前端设备和视频终端对系统应用服务区带来的风险，前端设备区和终端设备区与应用服务区之间必须经过安全隔离，满足 Q/CR 783.4-2021 中对安全区域边界的防护要求。

视频系统的外部边界防护分为两种：一种是指视频系统与铁路承载网承载的其他业务系统间的边界设备所在区域。另一种是视频系统与铁路外部网络承载的业务系统间的边界保护区域。

针对第一种情况，视频系统和其他系统均在铁路承载网上承载，铁路承载网是铁路部门统一建设、统一维护，运行环境相对安全，因此，在工程中建议采用防火墙进行技术隔离即可；对于第二种情况，其他系统是承载在铁路以外的网络，网络建设和运行环境相对复杂，且视频系统与其他系统交互的信息相对较少，为保证视频系统的安全可靠，建议采用链路阻断、协议转换技术实现对外部系统接入的安全隔离，这种方式主要是采用网闸等安全设备的可靠隔离措施。由于视频信令是双向的，所以外部

边界处的网闸需要采用双向网闸。

对于边界处的入侵防范可通过配置入侵检测设备或模块实现安全防护。

### 3.3 视频系统应用服务区防护

视频系统应用服务区的防护需要通过视频系统平台和外加安全设备共同完成。其中身份鉴别、访问控制、数据完整性和保密性、数据备份恢复、剩余信息保护均需要通过视频平台来完成，服务器等硬件的端口管控可通过终端管控设备来实现，有关入侵防范和恶意代码防范可通过入侵检测设备、漏扫、防火墙等设备来实现。

Q/CR 783.4-2021 中规定“应提供视频节点间的通信线路、关键网络设备的硬件冗余，以及存储基本配置信息、用户信息、设备信息、授权信息、优先等级等重要信息的设备的硬件冗余，保证系统的可用性”，其中存储重要信息的设备硬件冗余是指业务服务器的双网卡、双电源以及设备的主备冗余等。

Q/CR 783.4-2021 中规定“应采用相关技术手段对视频业务平台的操作系统、应用软件、数据库系统进行漏洞扫描，及时发现存在的漏洞，并经过测试评估后及时修补漏洞，降低漏洞被利用的风险。”这里提出的“漏洞扫描”是针对视频应用服务区的要求，当采用安全设备扫描发现漏洞后，不要求系统自动进行修补，如果直接修补漏洞可能会对视频业务造成影响。因此，当系统发现漏洞后，应根据管理办法组织相关人员进行评估后再做处理。

### 3.4 视频系统前端设备区和终端设备区防护

前端设备区和终端设备区主要是针对前端采集设备和视频终端（包括管理终端和用户终端）的安全防护提出要求。

关于前端设备身份鉴别、访问控制、入侵防范的安全防护要求，主要是通过摄像机厂家自带软件中的相关设置来实现。其中，对前端设备的口令修改可通过视频系统业务平台来实现；对漏洞的发现和修补通过漏洞扫描设备来完成。

对于终端设备的安全防护主要通过终端设备本身、以及终端管控设备来实现。在 Q/CR 783.4-2021 中提出“数字水印要求”，主要是用于出现视

频通过在终端上拍照非法流出后，根据屏幕水印信息进行溯源，这项功能可通过安装水印插件的方式来实现。

### 3.5 视频系统安全管理

对于视频系统的各类网络安全的集中管理和统一处理，需要通过视频平台和安全平台共同完成。由于目前各安全厂家暂时做不到互相兼容，针对 Q/CR 783.4-2021 中的“对分布在视频系统中的各类安全设备或组件进行统一管控”以及“对安全策略、恶意代码、补丁升级等安全相关事项进行集中管理”只能做到同一厂家平台下的安全设备的统一管控和集中管理。但考虑到用户在使用过程中对视频系统安全防护总览的需求，标准中规定要“对视频系统各类安全设备拓扑图、安全事件告警、安全风险、设备资产、系统及设备漏洞等进行统计并集中展示”，并给出具体需要展示的类型、内容和详细描述，这项功能需要在安全平台上来实现。也就是说无论是哪个厂家第一个完成安全平台建设，应该在

平台上能够集中展示本家安全设备以及后续扩容新增厂家的安全设备的相关内容。

### 4 视频系统网络安全建设模型

综合上述研究和分析，视频系统的网络安全建设模型如图 2 所示。

通过在视频区域节点、接入节点设置防火墙，对摄像机、终端、上下级视频节点和铁路承载网承载的其他业务系统对视频业务平台的访问进行逻辑隔离；通过设置网闸，对铁路外部网络承载的系统（如：交通部门、公安部门等相关业务系统或移动公网承载的铁路业务系统等）对视频业务平台的访问进行物理隔离。

在区域节点设置的视频安全平台、漏洞扫描、日志审计、终端管控和防病毒设备，可单独为视频系统设置，也可根据视频系统的规模或业务需求与其他通信业务系统合并设置。

以上建设模型是基于 Q/CR 783.4-2021 中的相关

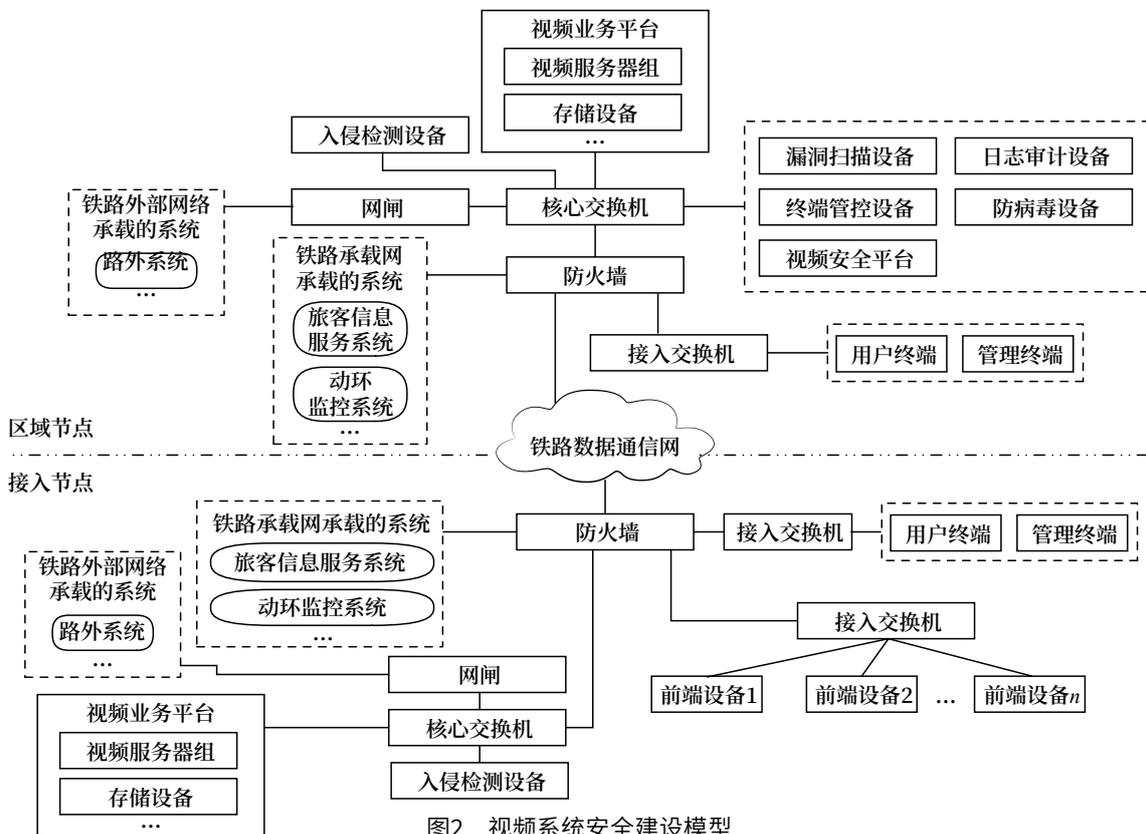


图2 视频系统网络安全建设模型  
Fig.2 Cybersecurity construction model of video system

要求考虑的,图2中安全设备代表设备种类,各类设备设置的具体数量根据工程情况进行配置。图中未配置的安全设备,根据业主要求和工程需求也可补充设置,对视频系统的安全进一步进行完善和补充。

## 5 结束语

由于视频系统关于云技术的应用尚未成熟,且没有相关的技术标准和建设标准,因此有关应用云技术的视频系统安全要求需在符合 GB/T 22239-2019 和 Q/CR 783.1-2021 相关规定的基础上进行工程建设,本文中暂不涉及。

希望本文中对视频系统网络安全的研究分析及工程建设模型的建议,将会对后续的工程起到借鉴作用,使铁路视频系统在更加安全的环境中应用,在保障铁路安全运营、加强治安防范等方面更加稳定地发挥作用。

### 参考文献

- [1] 诸叶刚. 铁路综合视频监控系统网络安全防护体系构建思路探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(6): 71-76.
- Zhu Yegang. Discussion on Construction of Network Security Protection System for Railway Integrated Video Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(6): 71-76.
- [2] 林云柯, 严瑾. 基于云平台的铁路视频系统及安全技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(2): 56-61.
- Lin Yunke, Yan Jin. Research on Railway Video System and Safety Technology Based on Cloud Platform[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 56-61.
- [3] 王玉藏, 齐志, 周端文. 探析网络视频监控系统的安全现状[J]. 网络安全技术与应用, 2021(3): 139-141.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 公共安全视频监控联网信息安全技术要求: GB 35114-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [5] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 信息安全技术网络安全等级保护基本要求: GB/T 22239-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [6] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 信息安全技术网络安全等级保护测评要求: GB/T 28448-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [7] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信网络安全技术要求第1部分: 总体技术要求: Q/CR 783.1-2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [8] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信网络安全技术要求第4部分: 综合视频监控系统: Q/CR 783.4-2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [9] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路综合视频监控系统技术规范: Q/CR 575-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

## 本期广告企业简介

### 上海锦申铁道科技有限公司



锦申科技  
JINSH TECH

铁路数字孪生



网址: [www.raildt.com](http://www.raildt.com)

电话: 021-65012136 (详见封三)

# 铁路客运站调车计划编制系统研究

陈 怡

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 分析当前铁路客运站现车管理和调车计划编制系统存在的不足, 借鉴货运编组站调车作业编制系统的经验, 提出一种基于时间片的现车推算优化方法。分别从计划现车的获取和到发线上的现车推算进行详细阐释, 此外, 介绍一种调车计划执行时序的控制方法, 以解决多调机协同作业模式下的交叉作业问题。基于以上方法设计开发的调车计划管理系统已在沈阳北站实施, 实现车站对于车辆智能化的管理要求, 提高多调机协同作业模式下的调车计划编制效率和质量。

**关键词:** 铁路客运站; 现车; 调车计划

中图分类号: U292.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0044-04

## Research on Shunting Planning System for Railway Passenger Station

Chen Yi

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

**Abstract:** By analyzing shortcomings of the current inventory carriage management and shunting planning system for railway passenger stations, and utilizing advantages of the shunting planning system for freight marshalling yards, this paper puts forward a time slice-based optimization method for inventory carriage calculation, providing details from the aspects of acquisition of planned inventory carriages and calculation of inventory carriages on the arrival and departure track. It also introduces a control method for shunting plan execution sequence, solving the problem of overlapping operation under the collaborative operation mode of multiple shunting locomotives. The shunting plan management system designed and developed with the above methods has been implemented in Shenyang North Railway Station, which meets the requirements of the station on the intelligent management of vehicles, and improves the efficiency and quality of shunting planning under the collaborative operation mode of multiple shunting locomotives.

**Keywords:** railway passenger station; inventory carriage; shunting plan

调车作业计划是保证实现车站阶段计划调车作业的具体行动计划。为保证列车在运行图规定的时间完

成接发车作业, 需充分利用调机及技术设备及时完成列车编组和解体、车体取送、检修车辆取送等作业。车站调度员需根据掌握的现车分布情况、调车机作业进度和客车底、摘挂车的取送作业任务, 根据班计划和阶段收集的资料编制调车作业计划。调车作业通

收稿日期: 2022-03-22; 修回日期: 2023-03-15

发明专利: 2022 年国家发明专利 (ZL202210534400.5)

作者简介: 陈怡 (1984—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路运输, 邮箱: chenyi@crscd.com.cn。

知单要及时下达,防止等待计划中断作业<sup>[1]</sup>。

## 1 现状

目前,大部分铁路客运站的现车管理主要依靠车站调度员、客技库值班员和车号员通过手工抄录的方式进行记录。在编制调车计划时,车站调度员将现在车作为底板,根据车体取送、甩挂和倒调任务编制阶段调车计划;编制完一个阶段的调车计划后,在作业大表的股道现车中用笔做标记,以此作为下一阶段的现在车底板;交班时,车站调度员推导出当班最后一个阶段计划执行后的现车分布,将其誊写在空白的调车作业大表中,下一班的车站调度员以此作为底板编制调车计划。

依靠手工抄录和标记的方式,存在的主要问题是,现车维护数据量大,现车的准确度在很大程度上依赖于车站调度员的推算能力和责任心<sup>[2]</sup>。在调车组执行调车作业时,作业车辆与调车作业单上标记的车辆不一致的情况时有发生。当调车组发现作业车辆与调车作业单给出的计划不一致时,调车长、车站调度员、客技库值班员和车号员需多方联系并核实现车。根据车站工作细则关于调车计划变更方法的规定,比如当受影响的调车钩在同一阶段的调车计划中不超过三钩或者仅涉及变更辆数时可采取口头通知的方式下达,不满足口头方式传达变更的调车作业计划时,需要重新编制或修改调车作业单。无论采取哪种变更方式,都涉及各作业部门和作业人员的传达和反复确认,这样一来,调车计划的执行进度将受到影响,甚至导致调车作业中断。

当前已有的客运站调车计划编制系统,虽然实现了现车与调车计划的双向联动,但是多以满足调机间平行作业的场景进行设计开发,未见有明确提出解决多调机交叉作业的计划编制方法。

针对当前客运站现车管理和调车计划编制工作存在的不足,提出一种基于时间片的现车推算方法,在此基础上,介绍一种调车计划执行时序的控制方法,以满足客运站多调机协同作业模式下调车作业计划的编制需求,推动客运站调度生产信息系统建设<sup>[3]</sup>。

## 2 基于时间片的现车推算方法研究

### 2.1 计划现车的确定方法

车站调度员在编制调车计划时,需要掌握的现车主要包括3类,实际停留在客技库中的现车,需要在本站办理入库作业的车体,需要在站内办理临时甩换作业的车体。对于后两者,在站调编制计划时,往往未实际到站,可将其归为计划现车。

货运列车的计划现车往往根据确报推算车流,对于客运列车而言,编组通常比较固定,对于在本站需要办理出入库作业且按交路规律运行的列车,可通过列车交路推算得到。

对于临开且与其他列车没有接续关系的车体,可由车站调度员人工维护列车编组。针对在编制调车计划前未能确定车体编组的情况,车站调度员可先录入车辆数,然后由系统自动构建虚拟车体,在列车未实际到站时,车站调度员仍可修改列车体,这样一来,可解决车体编组不确定但是又必须提前编制调车计划的问题。

### 2.2 到发线上的现车呈现问题分析

客技库内的调车作业通常只涉及现车的位置变化,客运站到发线上的调车作业通常与列车接发作业相关。目前对于客运站调车计划编制的理论研究中,往往需要设置比较严格的限制条件,比如,使用时间片<sup>[4]</sup>构建数学模型的方法的调机运用计划<sup>[5]</sup>,要求一列列车一旦占用了一条到发线便一直占用到离去时为止,中途不能再转到其他到发线,或者要求一项作业一旦占用了一台调机便一直占用到作业完毕时为止,中间不能中断为其他作业服务。在实际调车作业中,存在长编组带短编组作业的情况,这就意味着站内到发线中可能同时存在多组车体,因此对于到发线上的现车,在构建时间片算法的基础上,还应结合具体的调车作业内容进行修正。

### 2.3 一种基于时间片的现车推算优化方法

本文在已有研究的基础上,针对到发线的作业要求,提出一种基于时间片的场景现车推算方法,具体的步骤如下。

1) 在编制调车计划时,构建阶段调车计划与车体取送任务的关联关系,将需要取送的车体定义为

集合为 TCs。

2) 根据列车作业时分、股道、技术作业要求, 构建时间片算法。

3) 根据时间片算法对 TCs 中的车体及车体关联现车增加时间片占用标记, 该标记将作为显示优先级的依据。

4) 挂车作业时, 对于挂在调机上的所有车辆, 如果车辆集合中存在取送车体任务, 那么所有车辆均以时间靠前的计划点 Pr 作为标记。否则以系统默认最早时间作为标记。

5) 甩车作业时, 需要对作业股道中存在的现车进行预处理。处理步骤为: 从调机上甩下现车集合 C1 时, 检查到发线中是否存在早于甩车现车时刻点 Pr 的现车集合 C0; 如果集合 C0 存在, 那么从 TCs 中匹配属于从本站出发且完成车体编组的列车车体 TCd, 如果 TCd 存在, 那么从到发线中移除列车 TCd 相关的车体现车 Cd; 最后根据作业经由将 C1 的现车集合放入到发线的现车中。

### 3 多调机协同作业计划编制方法研究

#### 3.1 多调机协同作业计划问题分析

在早期的货运编组站调车系统编制研究中, 为解决不同调机间交叉作业的问题, 提出过在调车计划记事栏内写上唯一的标记符的方式<sup>[6]</sup>, 如 ID, 后面填记交叉的调车计划号的方式, 这种方式在提出时, 还未构建起现车与调车计划的联动, 所以需由车站调度员为交叉作业的调车钩添加额外的人工标记。随着信息技术的高速发展, 基于现车的货运编组站调车编制系统已经有了广泛的应用, 通过将现车与调车计划编制建立双向联动, 调车计划可实时模拟出场景现车, 不同调机间的交叉作业的执行时序问题可以迎刃而解。

在基于现车的货运编组站调车编制系统<sup>[7]</sup>中, 一个调车作业单往往只关联一个列车作业, 因此以编制短计划为主。为避免调车作业交叉干扰影响调车效率, 需准确掌握车流动向、机车动态和预确报信息<sup>[8]</sup>, 所以在编组站调车计划编制系统中, 对于未经调度核准的确报无法推入现车, 即已编制的调车计划只有等确认后才能作为场景现车的推算依据。

不同于货运编组站调车计划编制模式, 在客运站的调车计划编制过程中, 往往按阶段同时对调机安排作业。在作业繁忙的时段, 调机间往往需要交叉作业, 以在规定时间内协同完成调车任务, 所以客运站以编制长调车计划为主。此外, 由于客车在开行过程中编组变化不大, 所以场景现车基于现车和上一阶段的调车计划即可直接推算。在同一阶段内的调车计划, 如果各个调机的作业股道互不交叉, 那么通过调车钩序就能推算出场景现车。问题在于, 不同调机在同一股道作业有交叉作业时, 则需要明确调机的作业顺序, 而这个顺序存在于同阶段编制的调车作业单之间。

#### 3.2 一种多调机协同作业计划的执行时序控制方法

针对客运站多调机协同作业的调车计划编制特性, 本文提出一种多调机协同作业计划的执行时序控制方法, 具体步骤如下。

1) 在编制计划时, 由系统为同一批调车作业单的所有调车钩设置一个虚拟的批计划调车钩序, 虚拟钩序跟随车站调度员编制调车钩自动生成。在基于现车的调车计划编制系统中很容易实现, 因为每一个调车钩都需要以某个场景现车为依据, 当车站调度员将鼠标定位到某个调车钩时, 将模拟当前作业钩的执行情况, 如果以此为基准, 接下来新增的调车钩的虚拟钩序自然落在当前钩之后。对于已经编制完成的调车作业单, 可提供一个完整显示批次内所有调车作业钩的视图。该视图中的调车钩按照批计划虚拟钩序排列, 车站调度员可以通过拖动或者右键菜单上下移动实现批计划虚拟钩序的调整。调整批计划钩序后, 系统应自动进行冲突检查, 对于满足作业要求的调车钩, 能够自动更新记事信息。

2) 考虑平行作业的情况, 根据调车作业单开始作业时分和技术作业时间限制、车体取送相关的列车作业时分, 然后根据批计划虚拟钩序构建的接续关系检查交叉作业的情况, 计算各个调车钩的计划开始、计划结束时分。其中, 技术作业时间限制包括车体到站时间与开始挂车作业的最小时间差、送车体时需早于列车发车计划的时间差、挂车作业平均时间、甩车作业平均时间、带车体时股道间走行时间和单机在股道间的走行时间等。

## 4 结束语

综上所述, 本文提出的调车计划编制方法, 为解决多调机协同作业时的交叉计划编制和时序控制难题提供了一种可行方案。目前, 在本方案基础上设计开发的调车计划编制系统已于2020年7月在沈阳北站顺利上线, 该系统的投入使用提升了车站车辆智能化管理水平, 有效保障了调车计划的编制效率和质量。

未来, 为进一步保障接入现车的准确性, 可考虑接入车号识别信息, 降低临开且与其他列车没有接续关系车体的人工维护工作量。

### 参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 铁路运输调度规则(普速铁路部分): 铁总运[2017]128号[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 李季涛, 付佳, 张美勇, 等. 大连站调车作业计划智能化编制系统研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(5): 75-80, 105.  
Li Jitao, Fu Jia, Zhang Meiyong, et al. A Study on an Intelligentized Shunting Operation Planning System at Dalian Railway Station[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(5): 75-80, 105.
- [3] 刘俊. 优化铁路运输调度指挥体系策略的研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(5): 1-6.  
Liu Jun. Study on Strategies of Optimizing Railway Traffic Control Command System[J]. Railway Transport and Economy, 2017, 39(5): 1-6.
- [4] 吕红霞, 倪少权, 纪洪业. 技术站调度决策支持系统的研究——到发线的合理使用[J]. 西南交通大学学报, 2000, 35(3): 255-258.  
Lü Hongxia, Ni Shaoquan, Ji Hongye. The Study on DSS of the Technical Station Dispatching-Rationally Utilizing Reception and Departure Siding[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2000, 35(3): 255-258.
- [5] 吕红霞. 铁路大型客运站作业计划智能编制的优化技术和方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [6] 王培泉, 金永安. 调车计划执行的设计与实现[J]. 铁路计算机应用, 1993, 2(2): 12-15.  
Wang Peiquan, Jin Yongan. Design and Implementation for Shunting Plan[J]. Railway Computer Application, 1993, 2(2): 12-15.
- [7] 丁昆, 崔磊. 铁路调车计划图形编制法[J]. 铁道货运, 2006, 24(6): 18-19, 23.  
Ding Kun, Cui Lei. Graphic Compilation Method of Railway Shunting Plan[J]. Railway Freight Transport, 2006, 24(6): 18-19, 23.
- [8] 李志兵, 王文泓, 许扬. 铁路货运枢纽综合自动化系统设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(1): 7-11.  
Li Zhibing, Wang Wenhong, Xu Yang. Design of Integrated Automation System of Railway Freight Hub[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 7-11.

## 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

#### DLC100-TH型分散式道口系统

分散式道口设备是以计算机为主要技术实现对车站、区间道口控制的系统。通过控制道口信号设备, 指挥铁路机车车辆、公路车辆和行人安全通过道口。具备根据列车位置, 自动控制道口栏木机、信号机、应答器、音响设备的能力, 同时具备与联锁系统、相邻道口系统、计轴系统、中心维护设备的通信接口能力; 系统功能广泛满足国内外的相关技术规范与投标要求。

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 E-mail:325nzg@crscd.com.cn

(详见封面)

# 列车运行及货车装载状态智能化检测技术优化

顾 闻

(中铁大桥勘测设计院集团有限公司武汉分公司, 武汉 430074)

**摘要:** 该技术优化用于解决目前车站接 / 发列车作业和货检作业依靠人工全程盯控和主观判定的传统作业方式, 存在的“拿不准”“强度高”“效率低”等问题。通过有效整合检测点采集数据, 综合运用图像智能识别、语音识别、热成像、机器学习算法及系统集成等技术, 同时对列车运行状态及货车装载状态进行多方位、多角度、多类型的智能检测, 实现对列车各项异常状态的自动识别、标注及语音报警。对全面提升接 / 发列车作业和货检作业的质量和效率, 以及保障铁路安全运输具有极其重要的意义。

**关键词:** 智能化检测; 图像处理智能算法; 语音识别; 异常状态自动标注; 语音报警

中图分类号: U294.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0048-05

## Optimization of Intelligent Detection Technology for Train Operation and Freight Train Loading States

Gu Wen

(Wuhan Branch, China Railway Major Bridge Reconnaissance & Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The proposed technical optimization is used to solve such problems as "uncertainty", "high intensity" and "low efficiency" in the traditional operation mode of the current station train receiving and departure operations and railway cargo inspection operations relying on manual whole-process monitoring and subjective judgment. The various collected data at the detection points are effectively integrated, such technologies as intelligent image recognition, speech recognition, thermal imaging, machine learning algorithm and system integration are comprehensively utilized, and the train operation and freight train loading states are intelligently detected in the multiple-direction, multiple-angle and multiple-type manner, to achieve the automatic recognition and labeling of and voice alarming for various abnormal train states. This study has great significance for the comprehensive improvement of the quality and efficiency of train receiving and departure operations and freight inspection operation, and also the guarantee of the safety of railway transportation.

**Keywords:** intelligent detection; intelligent algorithm of image processing; speech recognition; automatic labeling of abnormal state; speech alarming

收稿日期: 2022-11-16; 修回日期: 2023-05-03

作者简介: 顾闻(1982—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 通信及信息化, 邮箱: 114618908@qq.com.

### 1 概述

接 / 发列车作业和货检作业在传统模式下, 均

采用人工方式对列车的装载状态、运行情况等进行检查，并对发现的问题车采取相应处理措施。随着近年来信息技术在铁路上的大量运用，大部分车站的货检作业已由原来传统的“人检”转变为“机检”，通过货车装载视频监视系统实现了货车装载状态数据的实时、自动采集和远程监控。由于接/发列车作业和货检作业均需对列车的运行及装载状态进行检测，检测项点大部分是一致的，在作业点的布置上也有部分重合。根据中国国家铁路集团有限公司（以下简称“国铁集团”）对信息化建设坚持统一规划、统一标准、统一计划、统一建设的原则，以防止产生信息孤岛和重复建设在车站选择适当的地点建设一套列车运行及货车装载状态智能化检测系统，同时实现接/发列车作业和货检作业的智能化检测，既能提高两项作业的质量和效率，减低铁路运输安全风险，还能减少重复建设，降低建设费用。

## 2 现有技术存在的问题

### 2.1 传统作业模式存在的问题

接/发列车作业和货检作业的传统模式均采用人工检测模式，因车速、夜间、天气、位置、经验和工作强度等因素，作业人员普遍存在“看不全”“看不清”“拿不准”“强度高”“效率低”“难管理”等现实问题，直接影响到接/发列车作业或货检作业质量。同时，由于人工检测大部分工作都需要在室外完成，并且需要临近线路作业，对作业人员的人身安全造成威胁。因接/发列车作业和货检作业引发的列车事故，会造成人员伤亡、财产损失以及铁路正常生产秩序被扰乱等严重后果。

### 2.2 现有技术存在的问题

#### 1) 智能化程度不足

目前，虽然部分编组站的货检作业已经逐渐采用信息化技术手段解决传统作业模式中的“看不全”“看不清”“难管理”以及人员“作业安全”等问题，但由于对货车装载异常状态的判断仍然是采用人工盯控，凭经验主观判定的方式，需要室内人员长时间观看电子屏幕并做出判断，因为视觉疲劳、

经验不足造成的漏判和误判问题依然存在。作业人员“拿不准”“强度高”“效率低”等问题还没有得到有效解决。

#### 2) 信息共享存在壁垒

铁路列车运行状态与货车装载状态的检测均单独建设信息系统，各信息系统间数据无法共享，形成信息孤岛。即使两项检测中部分检测项点一致，仍然需要单独建设现场采集设备，造成资源的浪费。

## 3 智能化检测技术优化

列车运行及货车装载状态的智能化检测技术优化，能有效整合检测点采集的各项数据，综合运用图像智能识别、语音识别、热成像、机器学习算法及系统集成等技术，同时对列车运行状态及货车装载状态进行智能检测，通过自动采集高清图像及数据智能分析，取代目前人工全程盯控和主观判定的现状，实现对货物位移、门窗开启、篷布飘起、车厢异物、货物自燃、车辆运行异音、列尾装置丢失等异常状态的自动识别、标注及语音报警。

### 3.1 检测作业需求分析

接/发列车作业和货检作业需要对列车的运行及装载状态进行检测，检测作业的项点统计如表1所示。

由表1可以看出，接/发列车作业和货检作业主要检测项点大部分都是针对列车运行状态及货车装载状态。货检作业中针对货车押运人的检测项需要对人员进行检测，超载、偏载、偏重等检测前均已采用超偏载仪及轨道衡设备进行检测，以上共5个项点均不作为系统检测项点。

### 3.2 优化系统功能

列车运行及货车装载状态的智能化检测技术优化后，能同时满足接/发列车作业和货检作业各项检测项点的需求，通过室外检测装置采集高清图像、视频及各类数据，对列车运行及货车装载状态进行自动识别及判别，并对异常状态进行自动报警，提醒作业人员采取相应措施处理，充分体现信息系统自动化、智能化、智慧化的特点。

表1 检测作业项点统计

Tab.1 Statistics of detection items

车辆类型	检测分类	检测项点	接 / 发列车作业	货检作业
货车	装载加固	货物或部件发生旋转、开放		√
货车	装载加固	货物发生移动、滚动、倒塌、倾覆、坠落		√
货车	装载加固	加固材料及装置发生松动、折断、破损、变形、脱垂		√
货车	车门窗盖阀关闭	门窗开启、盖阀张开	√	√
货车	车门窗盖阀关闭	车门销、搭扣未落实		√
货车	车门窗盖阀关闭	罐车螺栓未拧紧		√
货车	篷布苫盖	篷布或绳网掀起、脱垂、破损、苫盖不良	√	√
货车	篷布苫盖	篷布绳索、绳网松动	√	√
货车	集装箱	装载集装箱未落槽	√	√
货车	集装箱	空集装箱未按规定捆绑加固	√	√
货车	施封	施封失效、丢失、不一致、上部施封		√
货车	车辆技术状态	车门部件缺失、开焊、变形	√	√
货车	车辆技术状态	棚车车门脱槽	√	√
货车	车辆技术状态	货物撒漏、泄露、外溢	√	√
货车	残留物	车内杂物		√
货车	残留物	车体杂物、悬挂异物	√	√
货车	押运人	押运行为不规范		√
货车	押运人	押运证件不齐全		√
货车	超载	装载货物超载		√
货车	偏载	装载货物偏载		√
货车	偏重	装载货物偏重		√
货车	超限	装载货物超限		√
货车	货物自燃	货物燃烧、有烟雾	√	√
货车	列尾装置	货车列尾装置丢失	√	
货车	治安	货物存在被盗、丢失现象		√
所有车型	治安	车上有扒乘和闲杂人员	√	√
所有车型	车辆技术状态	异音	√	
所有车型	车辆技术状态	冒火花、冒火星	√	
客车	车辆技术状态	客车电池箱盖开启	√	
客车	车辆技术状态	客车尾部标志灯状态	√	
动车	车辆技术状态	动车注水口开启	√	

系统主要包含自动启停采集、智能识别标注、语音自动报警、图像数据查询、数据统计分析、集中实时监控等功能，其中涉及智能识别标注功能的主要检测项点统计如表 2 所示。

### 3.3 检测点位

接 / 发列车作业要求作业人员在指定地点注视列车运行情况和货物装载状态，完成接送列车；货检作业要求作业人员在货车到站后对货车进行各项货检作业；以上作业均要求在列车出站前进

行或完成。为了同时兼顾接 / 发列车作业和货检作业的需求，检测设备安装地点应选择设置在车站进站信号机附近，并且不会对信号机造成遮挡的位置，确保对所有进站列车进行实时检测，不会出现漏检现象。

### 3.4 系统架构

在室外检测点安装线阵相机、面阵相机、热红外相机、激光雷达、拾音器等数据采集装置实现数据的自动采集；安装采集服务器、算法服务器等数

表2 智能检测项点统计  
Tab.2 Statistics of intelligent detection items

检测分类	检测项点	检测精度
装载监测	超限	装载货物超限
装载监测	篷布飘起	飘起 $\geq 240$ mm
装载监测	货物自燃	车身、车顶有烟雾、明火
装载监测	货物撒漏	有物体洒落
车体监测	棚车车门开启	车门纵向开启 $\geq 100$ mm
车体监测	敞车车门开启	车门横向开启 $\geq 100$ mm
车体监测	悬挂异物	车档/车体外面积 $\geq 12\ 000$ mm <sup>2</sup>
车体监测	闲杂人员扒乘	面积 $\geq 12\ 000$ mm <sup>2</sup>
车体监测	客车电池箱盖开启	箱盖开启
车体监测	客车尾部标志灯	无或夜间熄灭
车体监测	货车列尾主机丢失	丢失
车体监测	尾部软管未吊起	软管最底端离轨平面距离 $\leq 100$ mm
车体监测	紧固器未撤除	紧固器未撤除
车体监测	软管未连接	断开
车体监测	动车注水口未关闭	盖开启
车体监测	折角塞门关闭	折角塞门关闭
走行监测	货车闸链拉紧	形成直线
走行监测	异音	无
走行监测	车轮踏面温度异常	同红外线
走行监测	冒火花、冒火星	火星呈舌状或密集的颗粒状喷射

据处理装置进行数据预处理和智能分析；通过光缆通道将数据传输至后端存储服务器进行集中存储；值班人员通过终端实现实时监控、快速查询及自动报警功能。信息系统总体架构如图1所示。

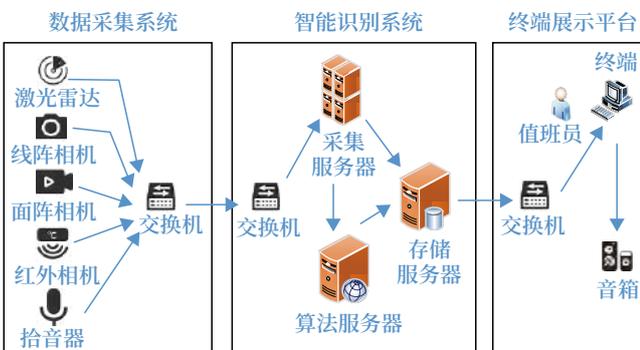


图1 信息系统架构  
Fig.1 Structure of information system

### 3.5 检测设备布置及数据采集

根据检测项点的需求，运用多种类型的设备进

行数据采集。通过高清线阵相机和高清面阵相机，采集车辆的高清图片和图像；通过雷达采集车辆的轮廓云信息；通过热红外相机采集车轮温度信息；通过车号识别设备采集货车车号。同时，由于采集的数据涉及车辆顶部、车辆两侧、车轮等多个方位，安装检测设备的基础设施需要满足能够覆盖以上方位的需求，选用门型钢结构桁架安装线路两侧及顶部的检测设备。室外检测设备布局如图2所示。

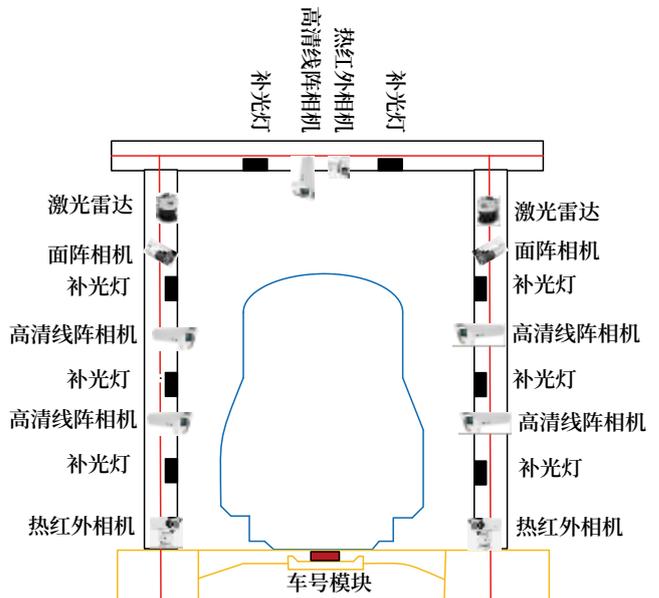


图2 检测设备布局  
Fig.2 Layout of detection equipment

### 3.6 智能化检测

通过线阵高清图像扫描、动态曝光、图像分割、图像增强及编解码等技术对运行中的列车进行实时扫描，每辆车形成顶部、左右车体、左右走行部共5张完整图片；通过拾音器采集列车运行时的声音形成音频数据；系统再通过模式识别、语音识别、热成像、深度学习等技术对图片和音频数据进行风险点检测，对检测出的风险点自动标注及语音报警，提醒值班人员及时、准确地针对告警问题，按照规定采取相应措施。列车顶部及两侧高清图像采集情况如图3所示，车轮部位红外成像情况如图4所示，状态异常自动标注及语音报警情况如图5所示。



图3 列车顶部及两侧高清图  
Fig.3 High-resolution images of train top and sides

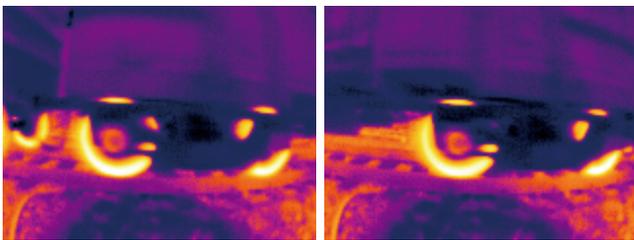


图4 车轮部位红外成像  
Fig.4 Infrared imaging of wheels

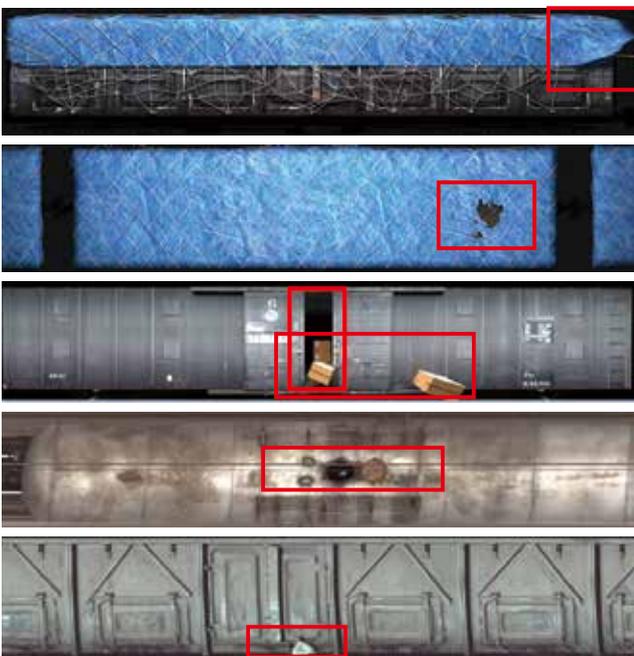


图5 状态异常自动标注及语音报警  
Fig.5 Automatic labeling of and speech alarming for abnormal states

## 4 结论

本系统适用于各车站的接 / 发列车作业和货检

作业, 采集的高清图像、视频以及精准的数据, 通过图像智能识别、语音识别, 热成像、机器学习算法及系统集成等技术, 实现接 / 发列车作业和货检作业由“机检”代替“人检”、“动态检测”代替“静态检测”的转变, 能够更实时地展现列车运行状态和货车装载状态, 更准确的针对异常状态进行智能判定及语音报警, 更充分地保障作业人员的人身安全。从而全面提升检测作业质量, 降低作业人员工作强度, 减少因室外检测作业和误检、漏检造成的安全事故, 为铁路安全运输提供保障。同时, 本系统能够同时兼顾对列车运行状态和货车装载状态的智能化检测功能, 在保障铁路运输安全的基础上, 积极响应国铁集团对信息化建设的“四统一”原则, 避免重复建设造成的浪费。

下一阶段, 本系统可以针对双线过车时列车内侧检测数据缺失的问题方面进行优化, 解决因线间距不足, 无法在线路间安装检测设备, 造成双线同时过车时检测数据采集不全的问题, 提升数据采集的完整性和准确率, 进一步完善本系统的智能化检测功能。

## 参考文献

- [1] 宋华. 铁路超限超重货物运输对策研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [2] 游岳. 铁路客运站行车安全评价研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [3] 李涛, 赵杰, 王永吉. 铁路超限超重货物运输优化对策探讨 [J]. 铁道货运, 2020, 38 (10): 17-22.  
Li Tao, Zhao Jie, Wang Yongji. Strategies for Optimizing the Railway Transportation of Out-of-Gauge and Over-Loaded Goods[J]. Railway Freight Transport, 2020, 38(10): 17-22.
- [4] 张明宏. 轨道安全状态在线监测系统在地铁中的应用 [J]. 智能城市, 2022, 8 (5): 20-22.  
Zhang Minghong. Application of Track Safety Status Online Monitoring System in Metro[J].

(下转 56页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.011

# 铁水联运车船直取信息多重匹配技术研究

龚雪

(中铁大桥勘测设计院集团有限公司武汉分公司, 武汉 430074)

**摘要:** 以铁水联运信息平台为基础, 依托白洋港疏港铁路工程, 研究车船直取信息多重匹配技术。从运量与时间信息双重匹配、时间信息模糊匹配两个方面解决车船直取作业存在的信息不匹配问题, 从而实现铁路、水运两种运输方式间的无缝衔接, 提高运输水平。

**关键词:** 铁水联运; 车船直取; 信息匹配

中图分类号: U169.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0053-04

## Research on Multiple Matching Technology for Train-ship Cross Docking Information in Railway-water Intermodal Transport

Gong Xue

(Wuhan Branch, China Railway Major Bridge Reconnaissance &amp; Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Building on the information platform for railway-water intermodal transport and relying on the port railway project of Baiyang Port, this paper studies the multiple matching technology for train-ship cross docking information. It solves the information mismatch problems in train-ship cross docking operations from two aspects, i.e. double matching of traffic volume and time information and fuzzy matching of time information, to achieves the seamless connection between railway and water transport and improve the transport performance.

**Keywords:** railway-water intermodal transport; train-ship cross docking; information matching

### 1 概述

三峡枢纽白洋港疏港铁路选址于湖北省宜昌高新技术产业开发区白洋工业园, 紧邻宜昌紫云铁路沙湾站, 西侧为沙湾路, 东侧为白洋物流园, 北侧为紫云铁路沙湾站, 南侧靠近长江为白洋港一期码

头。该工程从紫云地方铁路沙湾站接轨延伸至白洋港区, 是第三批国家多式联运示范工程和首批港口型国家物流枢纽核心项目, 也是交通强国湖北现代内河航运试点项目。

基于白洋港港口现有水运集装箱装卸铁路车辆作业现状, 构建铁水联运信息平台, 是自动化、信息化一体的完整解决方案。白洋港铁水联运综合信息监控平台, 通过将港口、铁路的信息进行融合和交互, 提取车、船、货等联运数据应用于业务, 以满足铁水联运车船直取作业流程的业务需求和功能。

收稿日期: 2022-12-06; 修回日期: 2023-04-09

基金项目: 中国中铁股份有限公司引导型课题项目(2020-引导-251)

作者简介: 龚雪(1984—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信信息, 邮箱: 524873680@qq.com。

## 2 车船直取存在的问题

车船直取是指水陆联运货物进行换装作业的方法。即事先经过周密计划，组织车船停在同一地点，直接过载。为了能够实现车船直取作业，需要对铁路车辆与集装箱运输船舶到达港区的时间进行精准匹配。

目前在实施过程中发现铁路运输和水路运输存在时间差问题。水运货船上运输受制因素较多(如航道水深、天气影响、河流结冰等)，无法保证到达和出发时间的准确，铁路运输按时到达时货物无法保证能及时转运上船，水路运输抵达的货物也不能保证马上有车辆能及时从铁路转运，从而影响运输效率。

## 3 车船直取信息多重匹配技术方案

基于上述存在的问题，需要优化信息交互方式，提出新的信息匹配方案——运量与时间信息双重匹配及时间信息模糊匹配。

### 3.1 运量与时间信息双重匹配

铁转水流程中，将铁路车辆的预报信息与船期预报信息进行精准匹配，匹配成功进入车船直取作业，匹配不成功则在沙湾站转公路运输至白洋港码头。但是，因船舶受天气影响以及过船闸时间的不确定性因素较大，实际到港时间与船期预报时间误差较大，准时率比较低；而铁路车辆运输基本不受环境天气影响，准时率高。若前期通过预报时间精准匹配的船舶不能按照预期时间到港，就会存在车等船的情况，而铁路车辆无法长时间等待船舶，就会造成通过铁路运输按时到达的货物无法保证能及时转运上船；另外，铁路转水运的货物不区分水运的运输方向，铁路重车到达港口后，货物要对应不同方向的船舶和船期，所以不能直接装船，需要在堆场分组堆存集结等待船期，不能做到及时车船匹配，只有批量运输的铁路运输货物可能做到及时的车船匹配。

根据上述分析，铁转水流程更适用于运量信息与时间信息双重匹配，完成转运作业。具体流程如下。

1) 货物进入铁路货场后会生成铁路运单信息，与港口船期信息进行交互，铁路提供运单号、发站、到站、到站专用线、集装箱重量等信息，筛选出去往同一方向的集装箱货物量，与港口提供的船期预报进行初次匹配。

2) 铁路装车后生成货车装载清单信息，包括日期、车种、车号、运单号、发站、到站、货物品名、重量、箱型、箱类和箱号等信息。列车出发生成预报信息，与船期分3次进行匹配：

a. 根据铁路车辆预报信息以及沙湾站接/发车作业时间推算铁路车辆到白洋港码头时间(预报信息)，与一周内到港的船期进行模糊匹配；

b. 下游来的船舶到达荆州港后可预估到达白洋港码头时间(13 h内)，与铁路车辆预报信息进行二次匹配；

c. 下游来的船舶在车阳河码头完成装卸作业开出以及上游来的船舶在葛洲坝过闸出闸后，白洋港可推算出船舶到达白洋港码头时间(4 h内)，与铁路车辆从枝江站开出的确报信息进行第3次匹配，匹配成功进入车船直取作业，匹配不成功则在沙湾站转公路运输至白洋港码头堆场。

铁转水信息匹配流程如图1所示。

### 3.2 时间信息模糊匹配

水转铁流程中，也会存在上述因船期准时率低，水路运输抵达的货物不能保证马上就有铁路车辆及时通过铁路转运的情况。修改时间精准匹配原则为时间信息模糊匹配，具体流程如下。

1) 白洋港码头收到船期预报后，向铁路提供一周内的阶段需求，包括提报客户、提报日期、发站名、到站名、品名、发货人、收货人、需求车数、需求吨数、需求车辆类型和预约时间等。

2) 当船舶到达荆州港后，再向铁路提供日需求，包括提报客户、提报日期、订单号、装车日期、

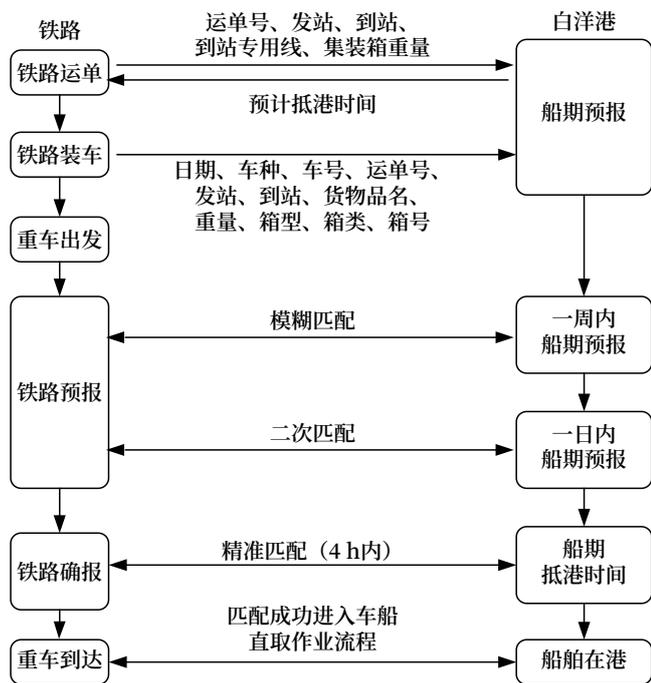


图1 铁转水信息匹配流程

Fig.1 Flow chart of information matching for railway-to-water transport

发站、到站、品名、发货人、收货人、订车数和车种等。

3) 当船舶到达车阳河码头完成装卸作业开出后, 白洋港港区可推算出到达白洋港码头时间 (4 h 内), 与铁路车辆从枝江站开出的确报信息匹配, 匹配成功进入车船直取作业, 匹配不成功则在白洋港码头进堆场堆存或进入沙湾站堆场堆存集结等待。

水转铁信息匹配流程如图 2 所示。

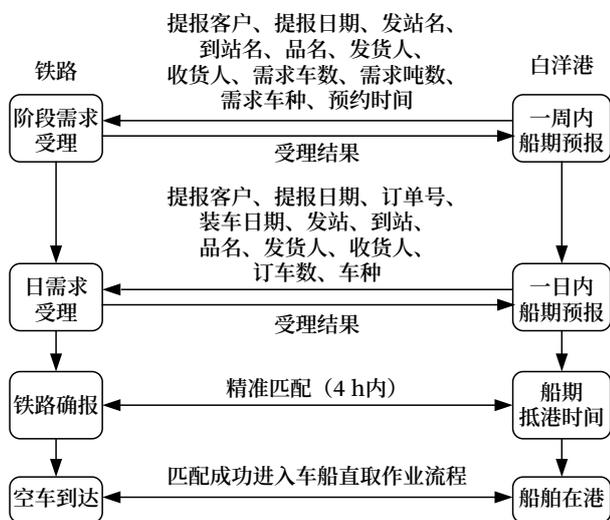


图2 水转铁信息匹配流程

Fig.2 Flow chart of information matching for water-to-railway transport

基于上述信息匹配原则及流程, 结合白洋港目前铁水联运运量约 2 000 ~ 3 000 箱 / 年, 以及紫云铁路云池站每日有到达煤炭列车, 空车需要排空, 故空车资源充足的情况, 水转铁作业流程中信息匹配度要高于铁转水作业流程。

对于信息匹配不成功, 不能进入车船直取作业流程的货物, 由于铁路和港口之间提前进行了信息交互, 双方可以根据交互的时间、货物量等信息, 提前安排铁路车辆或船舶, 可有效减少货物在堆场堆存时间, 提高铁水联运运转效率。

#### 4 总结

车船直取信息匹配问题的解决, 有利于铁水联运信息化平台的实施。而铁水联运信息化平台的实施, 能够实现港口与铁路信息互联互通、数据共享和交互、统一指挥调度铁水联运全流程; 实现火车车辆与港口岸桥的精确接驳、自动协调, 提高装卸效率; 实现实时采集作业现场各设备运行数据、联运货物和车辆信息的自动采集、装卸现场设备的智能控制。

铁水联运信息系统使得整个作业过程集装箱货物都由专业机械进行作业, 安全高效; 铁水联运中铁、水两种运输方式的经营人共同参与联运, 共同参与运输组织, 实现了两种运输方式间的无缝衔接, 提高了运输水平。

#### 参考文献

[1] 李瑞. 车号与箱号识别关联技术在铁水联运中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (5): 49-52, 67.  
Li Rui. Application of Wagon and Container Numbers Identification and Correlation Technology in Railway and Waterway Multimodal Transport[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 49-52, 67.  
[2] 谢鹏, 陈辉, 周志立. 三峡枢纽白洋港疏港铁路车船直取模式的建设关键技术 [J]. 中国水

运, 2022 (3): 122-124.

Xie Peng, Chen Hui, Zhou Zhili. Key Technologies for the Construction of Direct Access Mode of Baiyang Port Shugang Railway in Three Gorges Project[J]. China Water Transport, 2022(3): 122-124.

[3] 刘派, 杨廷宇, 琺琺喆, 等. 我国铁水联运现状与发展模式 [J]. 综合运输, 2022, 44 (3): 29-34.

Liu Pa, Yang Tingyu, Ju Junzhe, et al. Current Situation and Development Mode of Rail-Water Intermodal Transport in China[J]. China Transportation Review, 2022, 44(3): 29-34.

[4] 聂煜阳. “列车—船舶”直取模式下的集装箱港口作业设备调度优化研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2019.

[5] 国巍, 余永金. 白洋港铁水联运车船直取模式研究 [J]. 铁道运输与经济, 2020, 42 (5): 44-48, 70.

Guo Wei, Yu Yongjin. A Study on the Direct Transfer Mode between Train and Ship for Railway-Water Intermodal Transport at Baiyang Port[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(5): 44-48, 70.

[6] 冯力源. 集装箱港口铁水联运车船直取模式下的作业设备调度优化 [D]. 北京: 北京交通大学, 2016.

[7] 姚瑶. 港站铁水联运集装箱装卸搬运设备配置合理量研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2012.

\*\*\*\*\*

(上接 52页)

Intelligent City, 2022, 8(5): 20-22.

[5] 阙卫东, 师文斌, 陈虎林, 等. 兰渝铁路高精度边坡自动化监测系统应用探讨 [J]. 数字技术与应用, 2019, 37 (10): 109-111.

Que Weidong, Shi Wenbin, Chen Hulin, et al. Discussion on the Application of High Precision Automatic Monitoring System for Slope of Lanzhou Chongqing Railway[J]. Digital Technology & Application, 2019, 37(10): 109-111.

[6] 苏靖棋. 轨道检测技术的发展趋势 [J]. 现代城市轨道交通, 2019 (8): 112-114.

Su Jingqi. Development Trend of Track Inspection Technology[J]. Modern Urban Transit, 2019(8): 112-114.

[7] 段宏喜. 铁路客运站行车安全评价研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2018.

[8] 许鸽飞. 江村站铁路货检作业流程优化探讨 [J]. 铁道货运, 2020, 38 (3): 45-49.

Xu Gefei. A Study on the Upgraded Railway Cargo Inspection Workflow at the Jiangcun Railway Station[J]. Railway Freight Transport, 2020, 38(3): 45-49.

[9] 李志兵, 王文泓, 许扬. 铁路货运枢纽综合自动化系统设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (1): 7-11.

Li Zhibing, Wang Wenhong, Xu Yang. Design of Integrated Automation System of Railway Freight Hub[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 7-11.

\*\*\*\*\*

### 广告索引

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

封面

上海锦申铁道科技有限公司

封三

焦作铁路电缆有限责任公司

封底

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.012

# 城市轨道交通列车节能度量探讨

肖孟, 郭佳

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

**摘要:**城市轨道交通信号系统节能措施围绕列车控制进行, 主要包括单列车节能、运行图节能、协同节能。如节能措施的效果仅依靠统计, 难以体现对应关系。提出一种具有预测能力的节能度量方式, 可确定节能措施的节能效果对应关系, 有助于节能效果的参考计算, 可作为智能算法的有效支撑。

**关键词:**城市轨道交通; 单列车节能; 运行图节能; 协同节能

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0057-05

## Discussion on Energy Saving Measurement of Urban Rail Transit Trains

Xiao Meng, Guo Jia

(CRSC Urban Rail Transit Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** Energy saving measures of the signaling system for urban rail transit center around train control, and mainly include single train related energy saving, train diagram related energy saving, and collaborative energy saving. If the effect evaluation of energy-saving measures is only based on statistics, the corresponding relationships cannot be properly shown. This paper proposes an energy-saving measurement method with predictive ability, which can determine corresponding relationships between energy-saving measures and effects and provide effective support for intelligent algorithms in the reference calculation of energy-saving effects.

**Keywords:** urban rail transit; single train related energy saving; train diagram related energy saving; collaborative energy saving

城市轨道交通最主要的能耗是牵引列车, 信号系统通过控制列车实现节能, 包括如下方式:

- 1) 单列车节能: 对列车进行速度曲线优化, 减少牵引次数, 尽量使用惰行, 或降低最高速度, 采用经济速度巡航;
- 2) 运行图节能: 利用同一供电区间相邻列车的

制动能量(再生能)用于牵引;

- 3) 协同节能: 前两种方式的组合, 在满载率较低时设置列车采用节能模式, 增加列车站间运行时间, 降低牵引能耗, 在符合运行图节能情况下, 更充分利用再生能。

现有节能研究通常针对模型建立<sup>[1]</sup>, 通过各种算法进行寻优, 取得较好效果, 但列车在实际运行中存在着较多的扰动<sup>[2]</sup>, 无法完全按照运行图运行, 因此需要对节能效果进行度量。现有度量方式相关研究包括: 文献[3]提到“牵引总净能耗分别降低

收稿日期: 2022-10-27; 修回日期: 2023-03-17

基金项目: 北京市科协金桥工程种子基金项目(ZZ22010)

第一作者: 肖孟(1988—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号系统研发, 邮箱: xiaomeng@crscu.com.cn。

了 15.3% 和 12.6%”是基于整体能耗统计的度量方式；文献 [4] 提到“设计了一套适用于地铁列车能耗数据采集的系统，通过准确测量列车各用电系统的能耗电气参数，可以满足后续对列车能耗分布规律的研究和分析”及文献 [5] 提到“牵引 / 再生能计量装置连接牵引供电系统，测量所处节点的实时网压和电流，安装于各动车变频调速系统箱。”是列车能耗功率计量装置。

现有度量研究的不足之处在于：使用能耗统计无法确定具体时间对应列车的节能效果，列车增加计量装置获得的能耗功率，必须进行时间的积累，较低能耗功率不一定意味着总能耗较小，如两次较慢的加速对应的功率小于一次较快的加速对应的功率，后者可能更节能。考虑时间因素，能耗统计和能耗功率是类似的。

节能度量不仅得到统计信息，更需要有一定的预测能力，从而迅速确定节能效果。本文针对协同节能，研究一种由列车自动监督系统 (ATS) 设置列车节能策略对应节能效果的度量方法。

## 1 模型设计

### 1.1 单列车节能度量

单列车节能效果是通过度量离开车站至到达车站的能耗，可归属于离开车站前下发节能或节时策略的命令窗口时间段，当列车离开车站，行进间不改变策略。列车在同样的起始车站和到达车站之间行驶时，如果确定离开到达时刻，可采用最优速度曲线，从而认为工况一致。

步骤：单列车在不同车站之间按不同起始、到达时间，确定牵引模式，再根据典型车重，计算牵引能耗理论值；按车型 / 编组 / 满载率修正典型值；在夜间调试期间，实验列车关闭列车空调、照明等辅助电源，按照实际线路运行，分时段得到电力专业的能耗测量值<sup>[6]</sup>，此时单列车不涉及再生能，利用该测量值修正理论值。

即当 ATS 设置某列车节能策略，确定不同的起始、到达时刻，得到对应单列车能耗值，并按条件

进行修正。

### 1.2 运行图节能度量

对于运行图节能，列车利用的再生能来源于相邻列车，当相邻列车减速时，必定是相邻列车更早收到节能策略，因此当该列车确定到达离开时刻，则利用再生能的比例确定，该列车减速时，将作为其他列车的再生能来源，不计入该列车的节能。节能效果可归属在离开车站前的下发节能或节时的命令窗口时间段。

步骤：在某个供电区间内，按列车减速的时间段顺序与加速的时间段顺序形成两个列车序列；如果该列车需要加速，则去寻找减速时间段的列车，并确定该列车是否是相邻列车，如果相邻，再确定本列车是否能够使用再生能；由于再生能使用率必须要电力专业的测量，简化起见，按照时间段重叠的范围，并使用满载率编组车型及再生能利用率进行修正，得到能耗值。

即 ATS 设置某列车节能策略，确定不同的起始、到达时刻，从而确定加速时间段，接着寻找相邻列车重叠的减速时间段，按重叠范围计算再生能，并按条件进行修正。

### 1.3 协同节能度量

综合单列车节能和运行图节能方式，ATS 按照现有列车早晚点情况、客流情况、满载率等因素综合判断后针对不同的列车，在命令发送时间段下发节能或节时策略。

上述方式均体现为命令下发时间段和能耗的对应关系，即通过将列车、列车运行区间以及策略设置时间段作为索引，将相关能耗作为内容，当实时设置策略时，可立刻确定该策略对应的节能效果，从而实现一种具有预测能力的度量方式。

## 2 计算与验证

设定某个供电区段具有 3 个车站，分别为车站 A、B、C，其中 AB、BC 之间是 V 型坡度的节能坡，同时假设从 A 到 B 和从 B 到 A 完全一致，从 B 到 C 和从 C 到 B 完全一致，AB 间距 2.2 km、BC 间距 3 km，均无弯道，如果是 W 型坡度或存

在弯道的情况，修正的内容有所增加，暂不讨论<sup>[7]</sup>，假设列车车型和编组一致，相同满载率，对应车重

一致，理论计算出各种加减速时间段、能耗<sup>[8]</sup>，如表1所示。

表1 AB段/BC段区间运行与能耗

Tab.1 Train operation and energy consumption of section AB/section BC

AB段运行时长	AB段加速时间段	AB段减速时间段	AB段能耗 / (kW·h)	BC段运行时长	BC段加速时间段	BC段减速时间段	BC段能耗 / (kW·h)
80	30	50	33.12	100	30	70	40.89
81	30	52	33.01	101	30	72	40.72
82	29	53	32.90	102	29	73	40.51
83	29	54	32.76	103	29	74	40.40
84	28	56	32.65	104	28	76	40.28
85	28	57	32.51	105	28	77	40.16
86	27	59	32.34	106	27	79	40.04
87	27	60	32.17	107	27	80	39.92
88	27	61	32.00	108	27	81	39.79
89	26	63	31.83	109	26	83	39.66
90	26	64	31.67	110	26	84	39.51
91	26	66	31.50	111	26	86	39.36
92	26	67	31.33	112	26	87	39.20
93	25	69	31.14	113	25	89	39.04
94	25	70	31.00	114	25	90	38.88
95	25	71	30.81	115	25	91	38.61
96	25	72	30.59	116	25	92	38.44
97	24	74	30.37	117	24	94	38.27
98	24	75	30.15	118	24	95	38.09
99	24	76	29.93	119	24	96	37.91
100	24	77	29.70	120	24	97	37.73

根据满载率和车重关系，按满载率每降低10%，牵引能耗减少约1.3%数值，得到修正系数，如表2所示。

表2 AB段/BC段满载率修正率

Tab.2 Corrected values of full load ratio of section AB/section BC (with percentage marks omitted) 比率/%

类型	1/8	2/9	3/10	4/11	5/12	6/13	7/14
满载率	0	10	20	30	40	50	60
修正率	92.2	93.5	94.8	96.1	97.4	98.7	100
满载率	70	80	90	100	110	120	130
修正率	101.3	102.6	103.9	105.2	106.5	107.8	109.1

在夜间调试期间，该电力区段仅一列列车，关闭列车辅助照明、空调等能耗设备，各选择3个工况运行，按满载率0%，分时间段由供电系统统计AB与BC各个工况的能耗情况，如表3所示。

理论值可按照+5%进行修正。能量利用率可按制动列车能量峰值的70%计算<sup>[9]</sup>。

选择某个平峰期时段，CB与BA段有两列车，该时刻表片段如表4所示。

假设此时1车满载率70%，2车满载率50%，C、B、A站客流均较低，均选择节时策略，其中2车离开C站和1车将要抵达A站时具有时间重叠，策略1如表5所示。

均选择节能策略，在每个车站，列车均提早出发15s，策略2如表6所示。

由于CB段2车提早出发，未能获得1车制动能量<sup>[10]</sup>，可调整策略，策略3如表7所示。

考虑利用相邻列车的再生能，在设置其他列车为节能策略的同时可以设置某列车为节时策略。单

表3 AB段/BC段测量值与修正值

Tab.3 Measured values and corrected values of section AB/section BC

运行时长	加速时间段	减速时间段	理论值能耗/(kW·h)	测量值能耗/(kW·h)	满载率修正能耗/(kW·h)	比率/%
82	29	53	32.90	31.40	34.13	104
93	25	69	31.14	30.10	32.71	105
99	24	76	29.93	28.44	30.91	103
101	30	72	40.72	39.40	42.87	105
111	26	86	39.36	38.55	41.90	106
118	24	95	38.09	37.67	40.95	107

表4 平峰期时刻表片段

Tab.4 Timetable segments during non-peak period

车站	2车到达	2车离开	1车到达	1车离开
C站	15:10:52	15:11:22	15:07:52	15:08:22
B站	15:13:04	15:13:34	15:10:04	15:10:34
A站	15:14:58	15:15:28	15:11:58	15:12:28

列车节能仅由自身策略决定，单列车节能和再生能可单独计算，如表8所示。

需要注意到，该例子和实际工程中有一定差异，当多列车连续运转时，1车仍可能获得其他列车的再生能。

表5 平峰期策略1与能耗

Tab.5 Non-peak period strategy 1 and energy consumption

运行区间与列车	单车牵引/(kW·h) (满载率修正)	再生能利用/(kW·h) (满载率、利用率修正)	总计/(kW·h) (测量修正+5%)	列车运行时段	命令下发时段	策略
CB:1车	41.04	0	43.09	15:08:22	15:07:52	节时
				15:10:04	15:08:07	
BA:1车	33.19	0	34.85	15:10:34	15:10:04	节时
				15:11:58	15:10:19	
CB:2车	39.98	-11.15	30.27	15:11:22	15:10:52	节时
				15:13:04	15:11:07	
BA:2车	32.33	0	33.95	15:13:34	15:13:04	节时
				15:14:58	15:13:19	

总能耗: 142.16 kW·h

表6 平峰期策略2与能耗

Tab.6 Non-peak period strategy 2 and energy consumption

运行区间与列车	单车牵引/(kW·h) (满载率修正)	再生能利用/(kW·h) (满载率、利用率修正)	总计/(kW·h) (测量修正+5%)	列车运行时段	命令下发时段	策略
CB:1车	38.77	0	40.71	15:08:07	15:07:52	节能
				15:10:04	15:08:07	
BA:1车	30.32	0	31.84	15:10:19	15:10:04	节能
				15:11:58	15:10:19	
CB:2车	37.77	0	39.66	15:11:07	15:10:52	节能
				15:13:04	15:11:07	
BA:2车	29.54	0	31.02	15:13:19	15:13:04	节能
				15:14:58	15:13:19	

总能耗: 143.23 kW·h

### 3 结论与展望

本度量方式主要依靠理论计算，并结合少量实

测统计得出修正系数，与全部实测统计相比精度有限，但成本较低，具有一定的工程参考意义。

本度量方式是以运行图为核心，和现有技术条

表7 平峰期策略3与能耗

Tab.7 Non-peak period strategy 3 and energy consumption

运行区间 与列车	单车牵引/(kW·h) (满载率修正)	再生能利用/(kW·h) (满载率、利用率修正)	总计/(kW·h) (测量修正+5%)	列车运行时段	命令下发时段	策略
CB:1车	38.77	0	40.71	15:08:07	15:07:52	节能
				15:10:04	15:08:07	
BA:1车	30.32	0	31.84	15:10:19	15:10:04	节能
				15:11:58	15:10:19	
CB:2车	39.98	-14.25	27.02	15:11:22	15:10:52	节时
				15:13:04	15:11:07	
BA:2车	29.54	0	31.02	15:13:19	15:13:04	节能
				15:14:58	15:13:19	

总能耗: 130.59 kW·h

表8 节能策略对比

Tab.8 Comparison of energy saving strategies

运行区间 与列车	策略1 总计/ (kW·h)	策略3 总计/ (kW·h)	比例/%	命令下发 时段	优势 策略
CB: 1车	43.09	40.71	5.53	15:07:52 15:08:07	节能
BA: 1车	34.85	31.84	8.64	15:10:04 15:10:19	节能
CB: 2车	30.27	27.02	10.64	15:10:52 15:11:07	节时
BA: 2车	33.95	31.02	8.65	15:13:04 15:13:19	节能

件下的运营组织方式保持一致,符合信号系统的业务特性,可以迅速确定列车节能策略的节能效果,从而支撑智能算法的策略调优<sup>[11]</sup>。

### 参考文献

- [1] 蒲茜. 考虑多目标优化的城市轨道交通列车运行控制策略研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
- [2] 曾壹, 张琦, 陈峰. 一种实时抗干扰的列车节能一晚点恢复模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(2): 171-176.
- Zeng Yi, Zhang Qi, Chen Feng. An Energy-Delay Optimization Method for Real-Time Train Path Disturbances in Transportation Network[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(2): 171-176.

- [3] 步兵, 滕昌敏, 陈尔超, 等. 城市轨道交通多车协作节能控制方法研究[J]. 铁道学报, 2018, 40(8): 43-51.

Bu Bing, Teng Changmin, Chen Erchao, et al. Research on Method of Cooperation among Trains for Energy Saving in Urban Rail Transportation[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(8): 43-51.

- [4] 王官磊, 钱存元, 刘浩. 基于CRIO的智能型地铁列车能耗数据采集系统[J]. 测控技术, 2018, 37(10): 90-93, 97.

Wang Guanlei, Qian Cunyuan, Liu Hao. Intelligent Data Acquisition System of Energy Consumption for Subway Train Based on CRIO[J]. Measurement & Control Technology, 2018, 37(10): 90-93, 97.

- [5] 郑晓彬, 柏赞, 周姗姗. 基于实测数据的地铁列车能耗特征分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(6): 264-271.

Zheng Xiaobin, Bai Yun, Zhou Shanshan. Metro Train Energy Consumption Characteristics Based on Empirical Data Analysis[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2021, 21(6): 264-271.

- [6] 刘炜, 娄颖, 张骥, 等. 计及城市轨道逆变回馈装置的交直流统一供电计算[J]. 电工技术学报, 2019, 34(20): 4381-4391.

(下转 80页)

# FAO下信号系统与站台门一体化方案

崔惠珊<sup>1</sup>, 盖克荣<sup>2</sup>, 李雪枝<sup>3</sup>, 刘伊敏<sup>3</sup>

(1. 北京交通职业技术学院, 北京 102200;

2. 北京工业职业技术学院, 北京 100042;

3. 成都地铁运营有限公司, 成都 610071)

**摘要:**全自动运行系统对站台门提出新的功能需求和安全需求, 灵活编组、车-车通信进一步增加对站台门的可靠性及可用性的要求, 信号系统与站台门一体化的概念被提出和逐渐清晰。分析现有站台门系统的问题和工程实践中一体化的方案和特点, 提出车-车通信下信号系统与站台门一体化设计方案: 基于对象控制器的中央控制盘一体化设计和对象控制器OC直接控制门控器的一体化设计方案, 并对比两种方案的实施效果。

**关键词:**全自动运行系统; 对象控制器; 站台门; 一体化设计

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0062-05

## Integrated Design Scheme of Signaling System and Platform Screen Door under FAO

Cui Huishan<sup>1</sup>, Gai Kerong<sup>2</sup>, Li Xuezhì<sup>3</sup>, Liu Yimin<sup>3</sup>

(1. Beijing Jiaotong Vocational Technical College, Beijing 102200, China)

(2. Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China)

(3. Chengdu Metro Operation Co., Ltd, Chengdu 610071, China)

**Abstract:** As the fully automatic operation (FAO) system raises new functional and safety requirements for platform screen doors (PSD), and flexible train consist and Vehicle-vehicle Based Train Control (VBTC) further increase the reliability and availability requirements for PSD, the concept of integration of signaling system and PSD has been proposed and gradually clarified. This paper analyzes the problems of the existing PSD and the scheme and characteristics of integrated design in engineering practice. It also proposes two schemes of integrated design of signaling system and PSD under VBTC, i.e. integrated design featuring PSC based on OC and integrated design featuring DCU directly controlled by OC, and compares the effects of the two schemes.

**Keywords:** FAO; object controller; PSD; integrated design

收稿日期: 2022-09-14; 修回日期: 2023-03-17

基金项目: 北京市北京交通职业技术学院城市轨道交通专业群建设项目(京教职成[2019]3号); “特高”建设背景下城轨信号课程资源开发研究项目(CP202210)

第一作者: 崔惠珊(1985—), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通通信信号, 邮箱: txchshan@163.com。

## 1 站台门系统现状

信号系统与站台门在功能上紧密耦合，列车进站停车及站台发车均需要获得站台门系统的状态，进站停车需要车载控制器（VOBC）控制站台门开门，发车也需要 VOBC 发出控制命令，控制站台门关门。信号系统通过与站台门系统接口，实现对站台门的控制与状态判断<sup>[1]</sup>。全自动运行系统（FAO）对站台门提出新的功能需求，主要包括唤醒、间隙探测、远程开/关门测试等<sup>[2]</sup>。北京轨道交通燕房线的系统安全评估提出对位隔离的需求，在列车一个或多个车门发生故障的情况下，对位的站台门应该保持关闭，以及站台门故障的情况下，对位车门保持关闭<sup>[3]</sup>。燕房线 FAO 系统中增加信号系统与站台门之间以太网通信接口和独立的间隙探测系统，实现这些功能<sup>[4]</sup>。为应对客流变化，平衡线路运行能力、运营成本和服务水平，地铁运营方和信号厂家又提出灵活编组的功能需求，要求站台门系统能够区分不同编组列车，根据不同编组开/关门<sup>[5]</sup>。

既有体系下，站台门是一个独立的系统，《城市轨道交通站台屏蔽门》（CJ/T 236-2022）要求站台门安全等级为 SIL-2。同济大学的罗敏等分析站台门系统安全控制的风险，认为控制系统故障是站台门重要的风险源，由于控制系统不能准确、及时发出控制指令，可能会导致人员伤亡或延误列车运行，需要全面考虑安全控制机制，改进设置，提高相关可靠性的要求<sup>[6]</sup>。《城市轨道交通站台屏蔽门》（CJ/T 236-2022）中推荐使用 Modbus 协议作为信号系统与站台门系统的接口协议<sup>[7]</sup>。但 Modbus 协议缺少能满足 EN 50159 要求的技术手段，如时间戳、序列号、加密算法等。

目前信号系统与站台门简要接口关系如图 1 所示。

整个控制链路从 VOBC 下发控制命令到门控单元（Door Control Unit, DCU）驱动滑动门运动，数据流经过 VOBC、联锁（Computer Interlocking, CI）、站台门中央控制盘（Platform Screen Doors Central Control Panel, PSC）/单元控制器（Platform Emergency Door Controller, PEDC）和门控单元，对位隔离数据要经过列车自动

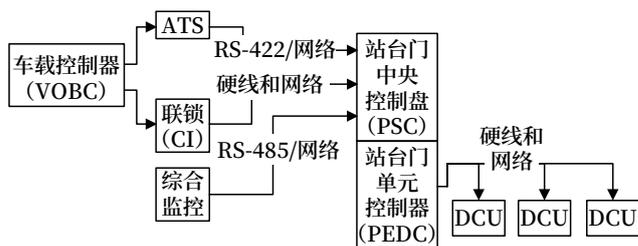


图1 信号系统与站台门系统接口关系  
Fig.1 Interface relationship diagram  
between signaling system and platform door system

监控系统（ATS）转发。由于每个系统都有自己的运行控制周期，彼此之间没有时钟同步，串行的数据和命令传递机制导致延时长，影响列车停靠时乘客的上/下车时间。站台门控制电路大量采用硬线，难以满足车-车通信、灵活可变编组、大小编组混合运行等提升运行效率的新技术对站台门控制的新需求，并且硬线施工量大，故障也较高。针对此种现状，本文提出以下两种实现方案。

## 2 基于OC的PSC一体化方案

基于 FAO、灵活编组及车-车通信等需求，信号系统与站台门一体化的内涵包括：1) 站台门控制系统与信号系统一样达到 SIL-4 的安全等级；2) 缩短控制中间环节，信号系统具有直接控制站台门的能力；3) 信号系统与站台门控制系统之间的通信视为信号子系统之间的通信，并使用 RSSP-I 通信协议。

此方案在武汉地铁 5 号线的工程项目展开研究工作，实现由对象控制器（Object Controller, OC）承担 PSC 的功能，将站台门控制系统接入到信号网络中，方案架构如图 2 所示。

PSC 实现控制功能的是 PEDC。PEDC 与 DCU 的接口包括冗余的 CAN 总线、开/关门指令硬线、安全回路硬线等。本方案的 PEDC 是基于 OC 的硬件实现的。OC 的零散单元承担了与 DCU 的硬线接口，OC 主机的 CAN 总线与站台各个 DCU 组成双冗余的网络。架构如图 3 所示。

在本方案中，PSC 与信号系统统一分配 IP 地址，VOBC、OC 与 PSC 之间具有直接通信能力。通信协议采用 RSSP-I 取代 Modbus，提升信号系统与 PSC 之间的通信安全。基于 OC 的 PSC 继承 OC 本身为 SIL-4 的性质，提升屏蔽门控制系统的

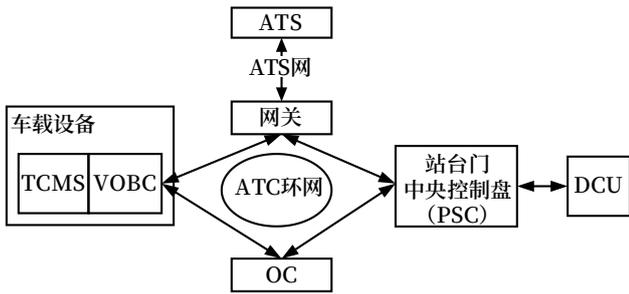


图2 基于OC的PSC一体化系统架构  
Fig.2 System architecture of integrated design featuring PSC based on OC

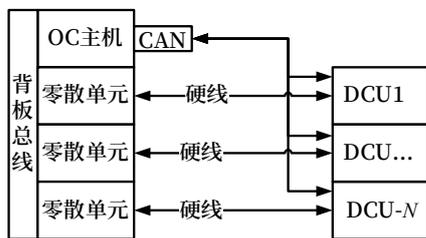


图3 OC实现PEDC功能的架构  
Fig.3 Architecture for OC to achieve PEDC functions

安全度。

此方案数据流程如下：VOBC下发的开/关门命令直接通过ATC网络发送给PSC，控制DCU开门。DCU反馈的开/关门状态也能够直接由PSC发送给VOBC和OC。所有的通信无需传统架构下的联锁系统转发，对位隔离需要的车门或站台门的故障信息可以直接通过ATC网络传输，也无需由ATS转发，提升效率，节省控制时间。

### 3 OC直接控制站台门一体化方案

由OC承载PSC的功能实现信号系统与站台门一体化的方案仍然是将站台门作为一个独立的子系统。在车-车通信的研究中，交控科技的孙军国等认为基于车-车通信的移动闭塞系统OC设置在轨旁，采集计轴、控制道岔、站台门、紧急停车按钮等<sup>[8]</sup>。同济大学的柴明东等认为OC用于实现列车对轨旁道岔及站台门等设备的控制，以及检测轨旁设备，并向车载设备直接反馈实时状态信息<sup>[9]</sup>。广州地铁设计研究院的朱志伟等从资源管理的角度指出站台门与道岔、计轴、SPKS等都属于线路资源<sup>[10]</sup>。由此车-车通信下站台门的发展方向应当是与

OC进一步集成。DCU成为OC执行层的一种板卡级设备，与转辙机、信号机的控制采用相同的接口，由OC统一管理。本方案的架构如图4所示。

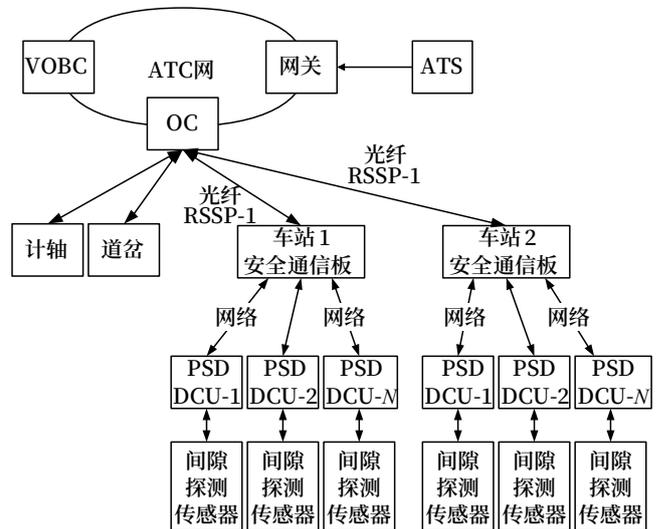


图4 OC直控站台门DCU架构  
Fig.4 Architecture for OC to directly control platform door (DCU)

OC通过网络直接控制DCU。由于站台门按车站部署，而OC主机按照集中区部署，部分DCU距离OC主机比较远，所以增加了安全通信板。安全通信板按照车站部署，每个车站部署一套，通过光纤与OC主机连接，通过局域网与DCU连接。

由于列车从站台发车需要检测门关闭且锁紧及间隙探测已探测且无异物，为进一步缩短VOBC发出关门指令到列车发车的时间，提升运营效率，本架构下由DCU直接与间隙探测传感器连接，承载间隙探测的功能。

站台门的基本控制流程：1) 列车进站停车前，OC直接从各个DCU获取各站台门的状态处理后决定是否允许列车进站停车。VOBC也将需要隔离的站台门发送给OC，OC将需要隔离的车门发送给VOBC，OC和VOBC执行对位隔离的操作。2) 列车到站后，VOBC下发开门指令，OC触发各个DCU开门。3) 列车从站台发车时，VOBC发出关门指令后，OC通过网络广播包，一次性下发给所有DCU。各DCU执行关门和间隙探测后，将结果打包直接发送给OC，VOBC根据OC统一管理的信号机、道岔和站台门等设

备状态决定是否发车。

整个站台门的控制流程只有VOBC、OC和DCU参与,极大地精简了控制环节。DCU集成间隙探测功能,将开/关门和间隙探测两种动作数据交互变为一次。所有的通信环节都采用安全通信协议,保证整个控制和反馈过程的安全。中间环节的减少提升整个系统的可用性。

在工程实施上,需要解决的主要问题是远距离传输带宽和DCU组网。目前站台门控制器中广泛使用的CAN总线最多仅支持110个节点。在点对点通信的情况下,最远1000m的距离,波特率为50kbit/s。随着距离的延长和节点数量的增加,波特率会进一步降低,CAN总线难以满足本架构对数据带宽、实时性的要求。需要DCU进行升级,采用以太网技术取代CAN总线,实现DCU之间的组网。以下两种以太网可以满足要求:10BaseT1L和工业实时以太网EtherCAT。

1) 10BaseT1L技术,即IEEE 802.3cg-2019标准以单对双绞线为介质,提供10Mbit/s带宽和长达1km的通信距离,可以覆盖从站台门设备室到整个站台的距离。10BaseT1L支持TCP/IP和UDP协议,可以无缝承载RSP-1等安全通信协议。

2) 工业实时以太网EtherCAT技术,采用标准的IEEE 802.3以太网帧传输。其采用的集束帧机制非常适合站台门这种一个网络上具有多个DCU,每个DCU控制命令不同,并且需要每个DCU快速返回状态数据和运动过程数据的场景。EtherCAT使用基于IEC 61508开发的FSoE机制实现安全关键控制数据的传输,符合IEC 61784-3标准,可支持功能安全等级SIL-3的安全应用场合。通过双网冗余,可以达到SIL-4的安全等级。

#### 4 两种方案对比分析

从基于RAMS和全生命周期的角度对两种方案进行对比,如表1所示。

以上两种方案均可实现安全性能的提升。基于OC的PSC一体化设计方案基本保留既有站台门系统和信号系统的产品架构,仅通过通信链路的更改

表1 信号系统与站台门一体化方案比较

Tab.1 Comparison of integrated design schemes of signaling system and platform screen door

方案性能	方案一:基于OC的PSC一体化方案	方案二:OC直接控制站台门一体化方案
安全性	PSC为SIL-4,站台门自身为SIL-2。PSC与DCU之间CAN通信无安全等级,主要依靠硬线控制	网络和控制系統为SIL-4,DCU作为执行机构为SIL-2
可靠性	网络和接口可靠性高,硬线可靠性较低	取消了硬线,可靠性较高
可用性	硬线可用性较低,并且受环境影响比较大。有较多的机械继电器,使用寿命相对较短	冗余的网络,可用性更高
可维护性	硬线和继电器维护需要定期检查,维护工作量较大	网络自检功能比较完善,故障率低
全生命周期成本	改造成本低,新建成本高,全生命周期使用成本高	系统简化很大,带来新建、维护等成本大幅度减低。但是对于改造项目需要更换所有DCU,改造成本较高

和基于软件的升级实现信号系统和站台门的一体化设计,适合于老旧线路改造。OC直接控制DCU的一体化方案对站台门系统进行大幅度改造,取消PSC系统,降低成本并缩短整个控制周期的延时。但对既有设备的软硬件改造较多,需要DCU进行软硬件的设计,更适合新建线路的应用。

#### 5 结论

针对目前信号系统与站台门之间的接口现状,本文提出信号系统与站台门一体化的可行实施方案,并分析适用场景。随着未来列车控制系统运行组织模式的灵活性发展、轨道交通运营安全的要求越来越高,对轨道交通建设成本的控制等,信号系统与站台门的一体化设计实施将成为发展的新趋势。

#### 参考文献

- [1] 宋鹏飞, 马雯. 城市轨道交通中信号系统与站台门系统的接口分析[J]. 铁道通信信号, 2022, 58(5): 92-95.  
Song Pengfei, Ma Wen. Analysis of Interface between Signal System and Platform Door System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication,

- 2022, 58(5): 92-95.
- [2] 黄俪, 王炯, 李梦和. 城市轨道交通全自动运行模式下站台门相关问题研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (9): 137-141.  
Huang Li, Wang Jiong, Li Menghe. Issues Concerning Platform Screen Doors under Urban Rail Transit Fully Automatic Operation[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(9): 137-141.
- [3] 孙华平, 张艳兵, 杜薇. 北京轨道交通燕房线工程核心设备系统独立安全评估 [J]. 都市快轨交通, 2020, 33 (3): 1-7.  
Sun Huaping, Zhang Yanbing, Du Wei. Independent Safety Assessment of Core Systems of Yanfang Line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(3): 1-7.
- [4] 丁忠锋, 刘波. 城市轨道交通列车车门与站台屏蔽门对位隔离技术 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (10): 159-160.  
Ding Zhongfeng, Liu Bo. On the Contraposition Isolation Technology of Train Door and PSD for Urban Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(10): 159-160.
- [5] 范海宁, 何勇浩. 城市轨道交通列车灵活编组方案及功能实现 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (9): 200-203.  
Fan Haining, He Yonghao. Flexible Marshalling Scheme and Function Realization of Urban Rail Transit Train[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(9): 200-203.
- [6] 罗敏, 周劲松. 城市轨道交通站台屏蔽门系统安全控制设计与验证研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18 (3): 13-16, 20.  
Luo Min, Zhou Jinsong. Design and Verification of the Safety Control Strategy for PSD System[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(3): 13-16, 20.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通站台屏蔽门: CJ/T 236-2022[S]. 北京: 中国计划出版社, 2022.
- [8] 杜恒, 孙军国, 张强, 等. 基于地面无联锁及区域控制器的新一代CBTC系统方案 [J]. 都市快轨交通, 2017, 30 (4): 91-95.  
Du Heng, Sun Junguo, Zhang Qiang, et al. A New Generation of CBTC System without CI and ZC[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(4): 91-95.
- [9] 柴明东, 祝陶美, 王涛. 基于车-车通信的CBTC系统方案研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 (5): 80-84.  
Chai Mingdong, Zhu Taomei, Wang Tao. Research on the Train-to-Train Communication Based Train Control System[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(5): 80-84.
- [10] 朱志伟, 李聪. 基于车车通信的地铁列车自主运行系统线路资源管理方案研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (10): 137-140.  
Zhu Zhiwei, Li Cong. Research on Wayside Infrastructure Management Scheme in Metro Train Autonomous Control System Based on Vehicle-to-Vehicle Communication[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(10): 137-140.

\*\*\*\*\*

## 本期广告企业简介

### 焦作铁路电缆有限责任公司

国内轨道交通电线电缆核心供应商。五十多年生产经历。主要产品：信号电缆、贯通地线、漏泄同轴电缆、射频电缆、长途对称通信电缆、27.5 kV 电气化铁路电缆、35 kV 高压电缆、直流电缆、低压电力电缆、控制电缆、电线。

焦作铁路电缆有限责任公司	Jiaozuo Railway Cable Co.,Ltd
地址：中国河南省焦作市站前路 8 号	Address: No.8 Zhanqian Road, Jiaozuo, Henan Province, P.R.China
电话：0391-2632323	Phone: +86-391-2632323
网址： <a href="http://thjl.crsc.cn">http://thjl.crsc.cn</a>	Website: <a href="http://thjl.crsc.cn">http://thjl.crsc.cn</a>

(详见封底)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.014

# 加强型接点继电器贮存失效机理分析

孙志法, 程世杰

(宁波市轨道交通集团有限公司运营分公司, 浙江宁波 315100)

**摘要:** 继电器触点作为继电器的重要组成部分, 容易受到侵蚀破坏, 任意一个触点出现异常, 就可能出现接点粘连、拉弧、接触不良等异常情况, 影响继电器的电气特性和机械特性, 导致继电器无法正常吸起、落下, 影响城市轨道交通行车效率和行车安全。结合继电器贮存过程中实际损伤案例, 以 JYJXC-160/260 型有极加强接点继电器为例, 分析继电器损伤程度、损伤原因、贮存环境和贮存方式, 总结继电器的贮存条件中环境因素、存放状态对继电器性能的影响, 以为相关从业人员提供维护依据。

**关键词:** 贮存失效; 银基触点; 继电器; 失效分析; 贮存条件

中图分类号: U284.71 文献标志码: A 文章编号: 1673-4440(2023)05-0067-04

## Analysis of Storage Failure Mechanism of Enhanced Contact Relay

Sun Zhifa, Cheng Shijie

(Ningbo Rail Transit Group Co. Ltd., Ningbo 315100, China)

**Abstract:** The relay contacts, as an important part of relay, are vulnerable to erosion. Once any contact becomes abnormal, this problem may cause such abnormal situations as contact adhesion, arcing and poor contact, and affect the mechanical and electrical properties of the whole relay, so that the relay cannot be energized and de-energized normally, and the running efficiency and safety of urban rail transit are affected. Building on actual relay damage cases in the storage process, and taking JYJXC-160/260 polarized enhanced contact relay as an example, this paper aims to analyze the relay damage degree, damage cause, storage environment and storage method, and summarize the impacts of two factors in storage conditions, i.e., environmental factors and storage state, on the performance of relays, which provides maintenance reference for relevant practitioners.

**Keywords:** storage failure; silver-based contact; relay; failure analysis; storage conditions

AX 系列继电器是国内自主设计和制造的重弹式电磁继电器。具有动作可靠、性能稳定、使用寿命长等特点, 是信号系统继电器电路的重要组成

部分。继电器贮存过程中湿度过大, 酸、碱性气体等环境因素会造成继电器触点表面氧化、腐蚀、机械结构松动等问题。长期贮存的继电器需定期进行机械特性、线圈电阻、电气特性、时间特性、接点接触电阻和绝缘电阻等性能检验。本文针对一起典型的继电器贮存损伤案例进行分析, 该加强型继电器长期贮存后性能检验不合格, 不具备使用条件。

收稿日期: 2022-03-09; 修回日期: 2023-03-21

第一作者: 孙志法(1988—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号, 邮箱: 446511667@qq.com。

下面对贮存失效因素进行分析研究。

## 1 继电器贮存环境

JYJXC-160/260 型有极加强接点继电器长期以定位状态贮存于通风良好，温度为 10℃~35℃，相对湿度不大于 80% 的室内环境中，继电器于贮存前性能检验合格。

## 2 性能测试

### 2.1 接点表面测试

JYJXC-160/260 型继电器动接点材料为银，静接点材料为银-银氧化镉，具有良好的抗电弧侵蚀性、抗融焊特性、较低的接触电阻等。国标规定 AX 系列继电器镀层外观应光滑细致，没有斑点、突起和未上镀的地方，边缘和棱角不应有烧痕<sup>[1]</sup>。经现场查看可以发现该台继电器接点表面已明显变暗、没有金属光泽，表面布满黄褐色斑点。

### 2.2 接点接触电阻测试

继电器接点接触电阻测试记录如表 1 所示。

表1 继电器接点接触电阻测试

Tab.1 Test table of contact resistance of relay contacts

继电器型号	接点类别	加强接点 /mΩ		普通接点 /mΩ	
		1	2	3	4
JYJXC-160/260	定位	11	116	175	194
	反位	180	20 001	1 770	11 050

注：普通接点接触电阻不大于 50 mΩ；加强接点接触电阻不大于 100 mΩ

该台继电器接点接触电阻测试结果为第 1 组定位接点接触电阻合格，其他接点接触电阻均不合格。

### 2.3 电气特性测试

该台 JYJXC-160/260 型有极加强接点继电器电气特性测试结果正向转极值为 8.7 V，反向转极值为 17.3 V，正向转极值、反向转极值均超出 JYJXC-160/260 型有极加强接点继电器标准规定<sup>[2]</sup>。

### 2.4 机械特性测试

继电器机械特性测试记录如表 2 所示。

该台继电器机械特性测试结果符合 JYJXC-160/260 型有极加强接点继电器企业标准的规定。

表2 继电器机械特性测试

Tab.2 Test table of relay mechanical characteristics

项目	接点分类	加强接点		普通接点		备注
		1	2	3	4	
接点压力	定位 /mN	2 700	3 000	400	400	—
	反位 /mN	2 800	3 100	400	360	—
接点间隙	定位 /mm	√	√	√	√	—
	反位 /mm	√	√	√	√	—
托片间隙	定位 /mm	—	—	√	√	—
	反位 /mm	—	—	√	√	—
保持力	定位 /N	> 10				—
	反位 /N	4.2				—
齐度	定位 /mm	0.06		0.08		整机：0.30
	反位 /mm	0.02		0.06		整机：0.08

### 2.5 测试结果

根据国标规定继电器接点通过 0.5 A 的电流时，应满足普通接点接触电阻不大于 0.05 Ω、加强接点接触电阻不大于 0.1 Ω 的标准。从表 1、2 可以看出，该继电器除定位第一组接点满足标准外，其余接点均出现不同程度的阻值偏大现象。继电器电气特性测试表明，该继电器正向转极值、反向转极值均超出 JYJXC-160/260 型有极加强接点继电器 10~16 V 转极值的国家标准<sup>[3]</sup>。

测试结果表明该继电器在贮存一定时间后接触电阻、电气特性已不满足国家标准，该继电器反位接点接触电阻已超出标准范围，正、反向转极值均不达标。

## 3 贮存失效原因分析

### 3.1 接点接触电阻过大原因分析

利用扫描电子显微镜和能谱仪对该 JYJXC-160/260 型有极加强接点继电器的 142、143 静接点和 141 动接点表面进行显微观察和成分分析，观察结果如图 1~4 所示。

通过图 1~4 对 142、143 静接点和 141 动接点表面进行成分分析可知，杂质主要含有 C、O 元素构成的物质和微量元素 N、P、Fe、Al 等元素构成物质。由于 JYJXC-160/260 型继电器动接点材料为银，静接点材料为银-银氧化镉。C、N、O 为大

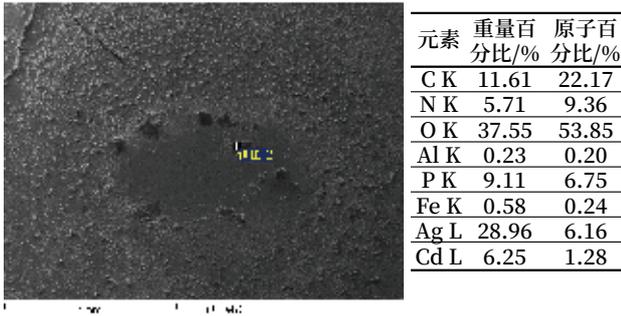


图1 142静接点显微分析  
Fig.1 Microanalysis of 142 static contact

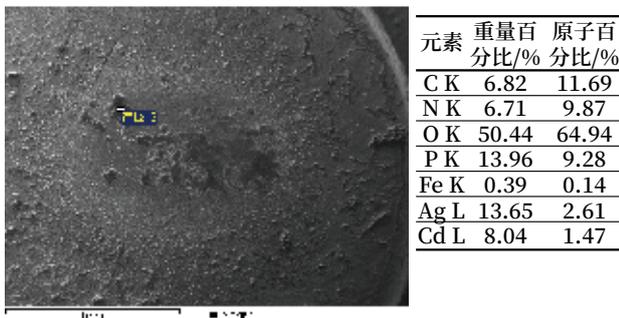


图2 141动接点显微分析(与定位接触面,动静接点接触区域)  
Fig.2 Microanalysis of 141 dynamic contact (contact surface with normal position, contact area between dynamic and static contacts)

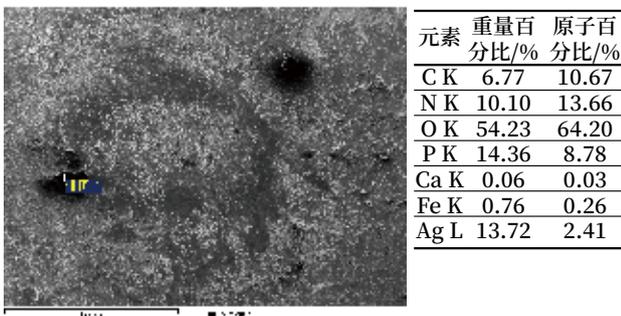


图3 143静接点显微分析(动静接点接触区域)  
Fig.3 Microanalysis of 143 static contact  
(contact area between dynamic and static contact)

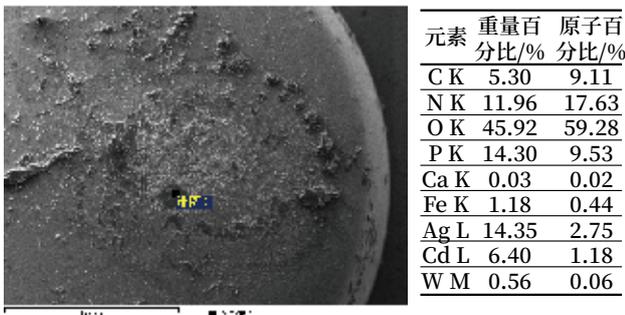


图4 141动接点显微分析(与反位接触面,动静接点接触区域)  
Fig.4 Microanalysis of 141 dynamic contact (contact surface with inverse position, contact area between dynamic and static contacts)

气中常见的元素,在长期与大气接触过程中生成化合物掺杂于接点表面。P多见于土壤中可随着灰尘吸附于接点表面,也可来自于松香或焊料,在继电器出厂测试过程中生产P的氧化物残留于接点表面<sup>[4]</sup>。Fe、Al则是地壳中含量最高的两种金属元素,也可通过灰尘于接点表面形成氧化物。由于该继电器长期暴露于大气环境中,在大气与灰尘的长期作用下,C、O、N、B、Fe、Al等多种杂质在与接点接触过程中形成化合物依附于接点表面,导致接点的导电性降低。

另一方面由于接点长期腐蚀过程中导致接点表面出现凹凸不平的起伏状。该继电器第4组接点在定位与反位元素量占比相似的情况下却存在定位与反位接点接触电阻相差约60倍的情况,从图2和图4中可以看出,141动接点反位动静接点接触区域相较于定位表面明显更加粗糙,在动静接点接触时,由于接点表面过于粗糙,导致动静接点无法充分接触,从而接点接触电阻显著增大。

综上所述,继电器接点表面各类杂质化合物和表面粗糙程度是影响继电器接触电阻的两大重要因素<sup>[4]</sup>。且继电器在腐蚀过程中杂质的化合物会使继电器表面趋于粗糙,在大气与灰尘的作用下,多种杂质在接点接触过程中形成化合物依附于接点表面,导致接点的导电性降低。

### 3.2 电气特性不合格原因分析

JYJXC-160/260型有极加强接点继电器磁路系统和接点系统共同决定继电器的电气特性。磁路系统是刚性的,贮存过程一般不会使磁路性能发生变化,接点系统中的接点片、反力弹片等都是弹性件,在长期贮存过程中会发生形变。

根据继电器电气特性测试结果可知,继电器定位转极值过低,反位转极值过高。判断为继电器存放时处于定位状态,使继电器动接点片和反力弹片受力过大而变形,动接点片和反力弹片产生一个向上的反力,造成正向转极小于标准,反向转极大于标准。

现将该台继电器向下加普通动接点、加强动接点压力,测试继电器机械特性和电气特性,测试结果如表3、4所示,该继电器定、反位转极值均满

足国家标准。

表3 修正后继电器机械特性测试

Tab.3 Test table of relay mechanical characteristics after correction

项目	接点分类	加强接点		普通接点		备注
		1	2	3	4	
接点压力	定位 /mN	2 900	3 200	400	400	—
	反位 /mN	2 700	2 800	370	360	—
接点间隙	定位 /mm	√	√	√	√	—
	反位 /mm	√	√	√	√	—
托片间隙	定位 /mm	—	—	√	√	—
	反位 /mm	—	—	√	√	—
保持力	定位 /N	> 10				—
	反位 /N	8				—
齐度	定位 /mm	0.02		0.03		整机 : 0.18
	反位 /mm	0.02		0.10		整机 : 0.25

表4 修正后继电器电气特性测试

Tab.4 Test table of relay electrical characteristics after correction

继电器型号	正向转极值 10 ~ 16 V	反向转极值 10 ~ 16 V
JYJXC-160/260	14.4	14.4

试验结果证明, 该继电器定位转极值过低, 反位转极值过高, 是因为继电器在贮存时处于定位状态, 使继电器动接点片和反力弹片因长期受力过大而使弹性形变转换为塑性形变, 动接点片和反力弹片产生一个向上的反力, 造成正向转极小于国家标准, 反向转极大于国家标准。

#### 4 结论

信号 AX 系列继电器的贮存环境和贮存方式对继电器的性能有着至关重要的影响, 对上述 JYJXC-160/260 型有极加强接点继电器的失效原因分析得出以下结论。

1) 大气环境污染是导致继电器接点表面腐蚀的主要原因, 大气和灰尘中的各类元素在长期与接点表面接触中会形成各类化合物。化合物通过改变接点表面材料性质和改变接点表面形貌两种形式影响继电器接触电阻。继电器在长期贮存过程中, 大气中的 C、N、O 等普遍存在的元素也会一定程度导致接点表面腐蚀, 若条件允许应将继电器贮存于温、湿度恒定的密闭环境中。

2) 继电器接点系统中的接点片、反力弹片等弹性件是影响继电器电气特性的主要原因, 继电器贮存过程中弹性件长期处于形变状态会导致各类弹性件从弹性形变转换为塑性形变, 加强型接点继电器应按要求放置在反位位置。

3) 贮存超过一年的继电器使用前应重新进行检测或检修。

4) 长期贮存的继电器需定期进行机械特性、线圈电阻、电气特性、时间特性、接点接触电阻和绝缘电阻等性能检验。

#### 参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 铁路信号 AX 系列继电器: GB/T 7417-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [2] 赵正元. 铁路信号继电器触点接触电阻变化的影响因素分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(8): 13-18, 23.  
Zhao Zhengyuan. Factors Affecting Contact Resistance Change of Railway Signal Relay[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(8): 13-18, 23.
- [3] 李文华, 李爽, 卢文将, 等. 铁路继电器触点表面形貌及失效机理分析[J]. 表面技术, 2018, 47(8): 236-243.  
Li Wenhua, Li Shuang, Lu Wenjiang, et al. Analysis of Surface Morphology and Failure Mechanism of Railway Relay Contacts[J]. Surface Technology, 2018, 47(8): 236-243.
- [4] 韩春阳, 王召斌, 李维燕, 等. 银基触点材料性能对比与失效机理试验研究[J]. 电器与能效管理技术, 2019(11): 8-13.  
Han Chunyang, Wang Zhaobin, Li Weiyan, et al. Experimental Investigation on Failure Mechanism and Performance Comparison of Silver-Based Contact Materials[J]. Low Voltage Apparatus, 2019(11): 8-13.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.015

# 城市轨道交通票务管理系统设计与实现

陈莹<sup>1</sup>, 付保明<sup>1</sup>, 张宁<sup>2</sup>, 张鲁栋<sup>1</sup>, 陆海亭<sup>3</sup>

(1. 苏州市轨道交通集团有限公司, 江苏苏州 215006;

2. 东南大学智能运输系统研究中心轨道交通研究所, 南京 210018;

3. 南京交通职业技术学院, 南京 211188)

**摘要:** 针对城市轨道交通票务管理工作存在的低效率、流程繁琐等问题, 在分析日常票务管理业务需求的基础上, 结合轨道交通数字化、信息化、智能化的发展趋势, 提出一种票务管理系统化解决方案, 并从业务功能、系统架构等角度对该系统方案进行分析。最后, 将该系统方案应用到苏州轨道交通的票务管理工作中, 减轻车站票务人员工作量, 降低人员成本, 提高苏州轨道交通票务管理水平。轨道票务管理系统的设计与实现为城市轨道交通票务管理的信息化发展提供思路, 为行业票务管理工作提供经验。

**关键词:** 城市轨道交通; 票务管理; 信息化; 系统架构

中图分类号: U293.2+2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0071-05

## Design and Implementation of Ticket Management System for Urban Rail Transit

Chen Ying<sup>1</sup>, Fu Baoming<sup>1</sup>, Zhang Ning<sup>2</sup>, Zhang Ludong<sup>1</sup>, Lu Haiting<sup>3</sup>

(1. Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., Suzhou 215006, China)

(2. ITS Rail Transit Research Institute of Southeast University, Nanjing 210018, China)

(3. Nanjing Vocational Institute of Transport Technology, Nanjing 211188, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of low efficiency and cumbersome process in ticket management for urban rail transit, this paper proposes a system solution for ticket management on the basis of an analysis of the service requirements of daily ticket management and in view of the development trends of digitization, informatization and intelligentization of urban rail transit, and analyzes the system solution from the perspectives of service functions and system architecture. The proposed system solution has been applied to the ticket management of Suzhou Rail Transit, which reduces the workload of station ticket personnel, and reduces the personnel costs and improves the ticket management of Suzhou Rail Transit. The design and implementation of the proposed ticket management system for

收稿日期: 2022-03-29; 修回日期: 2023-03-17

基金项目: 苏州轨道交通专项科研项目 (H202120045)

第一作者: 陈莹 (1985—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通票务管理, 邮箱: chenying@sz-mtr.com.

urban rail transit provides ideas for the informationization of ticket management for urban rail transit and experience for the ticket management of the industry.

**Keywords:** urban rail transit; ticket management; informationization; system architecture

## 1 概述

票务管理是城市轨道交通运营管理的重要组成部分，依托自动售检票（Automatic Fare Collection, AFC）系统，开展票务政策、收益管理以及车票管理等工作<sup>[1]</sup>。当前，票务管理的信息化程度较低，需各级工作人员填报各类纸质报表，人工处理报表数据并进行收益审核、票卡生产及调配等工作，员工工作量繁重。同时，票卡的生产、调配等完全凭借管理经验，缺乏科学依据。在网络化、跨区域运营条件下，该管理模式的弊端日渐显现。针对票务管理的现状及难点，唐达颖<sup>[2]</sup>对轨道交通的票价定价方式、轨道交通的票务优惠政策及各城市地铁的票价、车票种类及优惠方式等进行研究；王菊<sup>[3]</sup>从票务组织管理标准、票务管理架构等方面提出票务组织管理优化建议；徐晓红<sup>[4]</sup>等对比分析基于线路与基于线网两种票务管理系统情况，探究青岛地铁建立统一票务管理系统的具体实施可行性；周世爽<sup>[5]</sup>利用存储论的思想与策略，制定了科学合理的票卡库存管理方案，以优化车站回收类票卡库存管理，减少运营成本，提高效率及服务质量；顾青云<sup>[6]</sup>等分析阐述了跨市域轨道交通线网一票制换乘方案下车票互通管理方法，有利于实现跨市域轨道交通的协同化发展。

随着移动支付的引入，电子二维码车票<sup>[7]</sup>等新型支付凭证以及数字人民币等支付渠道在城市轨道交通得到推广及应用，车站现金收益逐渐减少、单程票使用量逐步下降、车站人员票务管理工作量明显降低，但票务管理模式尚未发生改变，票务管理相关业务流程仍然比较繁琐。随着轨道交通数字化转型工作的快速推进，以及“降本增效”“一岗多能”等管理理念的转变，急需一套数字化的管理系统，以满足数字时代愈加强烈的票务管理信息化需求。

## 2 票务管理现状

### 2.1 业务内容

票务政策管理、现金收益管理、车票票据管理

是票务管理的3大主要业务。其中，票务政策的制定直接决定了AFC系统的功能框架，AFC系统的功能实现服务于整体票务运作；同时，AFC系统也是票务政策下各收益流、车票流的运作载体，为收益流、车票流提供标准、科学、安全的技术支持与保障。票务管理具体如图1所示。

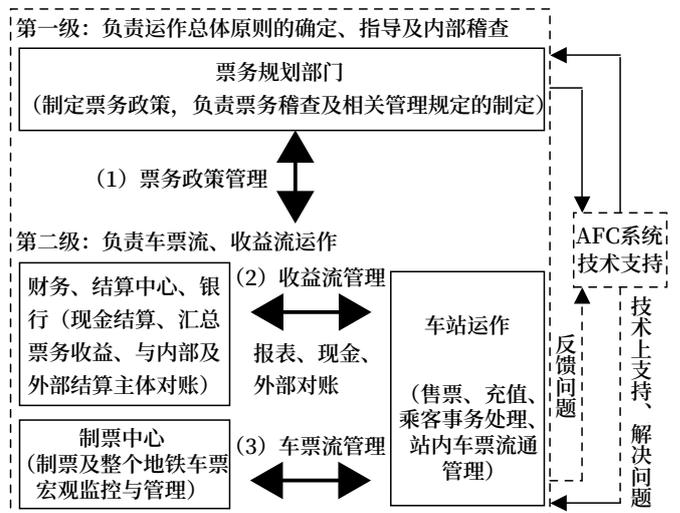


图1 票务管理业务内容  
Fig.1 Ticket management service content

由图1可知，票务政策既包括票制、票价、票种及票务处理原则等宏观指导政策，也包含票务收益流、车票流的运作章程等票务运作细则，是开展票务管理工作的重要依据。收益管理是对现金及非现金收益开展结算和核对等工作。受移动支付的影响，非现金类收益管理已成为收益管理工作的核心和重点。车票管理覆盖票卡的全生命周期，包含票卡的采购、制作、发售、调配、回收及注销等流程。

此外，面向乘客发放的小额发票管理也是票务管理的一部分。该业务虽与AFC系统存在一定的业务关联，但其管理相对独立，缺乏有效监管。

### 2.2 存在问题

随着运营管理经验的增加及规章制度的完善，轨道交通的票务政策基本稳定，现金收益管理、车票票据管理的业务流程及管理办法愈加成熟。但是，票务管理工作仍停留在纸质报表、人工操作阶段，

存在的问题如下。

1) 各线路 AFC 系统虽设置了票务管理子系统, 用于收益等数据的填报及审核, 但由于系统集成商的不同, 该子系统的开发环境、用户界面、报表格式及数据接口等存在较大的差异, 无法实现系统间的互联互通。因此, 线网票务管理部门无法直接利用各线路票务管理子系统开展票务管理工作。

2) 基于纸质报表的票务管理涉及填写、流转、核对及保存等诸多流程, 任一环节的差错都将严重影响票务管理工作, 形成票款、票卡等对账差异, 增加工作人员负担; 同时, 繁琐的业务流程限制了工作效率的提升。

3) 基于纸质报表的票务管理相关流程均需配置专职人员及专用工具, 增加了运营管理人工成本及耗材成本, 与当前降本增效的运营管理理念不符。

4) 纸质定额发票的采购、保存成本较高, 且现场存在多开、虚开等现象, 规范化管理难度大; 同时, 移动支付的应用促使电子发票在轨道交通应用场景日趋成熟。

5) 海量的收益数据、车票管理数据停留在纸质报表中, 管理人员只能根据经验开展收益分析、车票管理优化等工作, 急需深入挖掘、利用这些票务数据开展相关工作。

因此, 在尽量减少各线 AFC 系统改造工作量的同时, 采用信息化技术, 实现票务管理数字化、系统化, 对减轻工作人员负担、降低运营成本、提升票务管理水平有着重要的意义。

### 3 系统设计

在票务管理业务分析的基础上, 针对当前票务管理存在的诸多问题, 从管理架构、业务功能、系统架构等层面对票务管理系统进行设计。

#### 3.1 管理架构

根据票务管理工作的业务特点, 采用线网票务管理、线路票务管理及车站票务管理 3 级管理模式。线网票务管理人员可以看到所有线路、所有车站的票务数据, 线路票务管理人员只可以看到属于本线路下的所有车站的票务数据, 线路管理只有线网票务管理的部分功能。票务管理架构如图 2 所示。

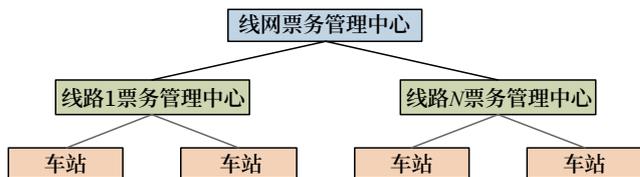


图2 票务管理架构

Fig.2 Ticket management structure

#### 3.2 系统功能

根据当前票务工作的主要内容, 可将系统划分为收益管理、票卡管理及发票管理 3 部分功能, 在业务数据系统化填报的基础上, 进一步实现收益、票卡等相关工作的系统辅助决策, 并实现乘客自助开票等功能。

##### 3.2.1 收益管理

当前票务收益包括现金收益、储值票扣款收益以及移动支付收益等, 收益管理主要包括收益统计、收益差异处理、收益分析等工作<sup>[8]</sup>。票务系统可根据票务人员的填报数据及 AFC 系统数据, 自动核对各类收益, 快速定位各笔长短款交易, 以便于管理人员开展各项收益管理工作。

收益统计是对车站票务人员上报的客服中心、自动售票机等终端的现金收入以及互联网票务平台上报的移动支付收入进行统计, 并与 AFC 系统上报的交易数据进行核对。收益差异处理是指票务管理人员利用系统对差异数据进行溯源, 对相关工作人员及设备厂商进行考核。收益分析是指管理人员利用统计模型分析各类收益数据, 探寻收益的变化规律, 及时发现并处理各类异常收益, 进一步优化收益管理模式。收益管理流程如图 3 所示。

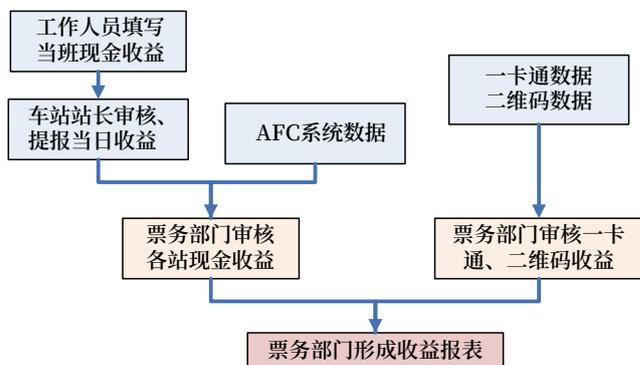


图3 收益管理流程

Fig.3 Revenue management process

### 3.2.2 票卡管理

运营人员可利用系统实现票卡生产、出入库、发放、调配、回收等流程的全生命周期管理。票卡的每一个流转过程均需业务双方进行系统确认，从而保证票卡流通过程的透明化、可视化。

系统可根据各车站票卡的流转情况，依据票卡调配模型，自动生成票卡调配计划，实现票卡的灵活、高效调配，克服传统票卡调配模式存在的个人经验主义。同时，管理人员也可根据节假日及大型活动等特殊客流需求，人工调整票卡调配计划。此外，系统可根据票卡流失规律、票卡增长需求及票卡报废规律等制定票卡生产计划。票卡管理流程如图 4 所示。

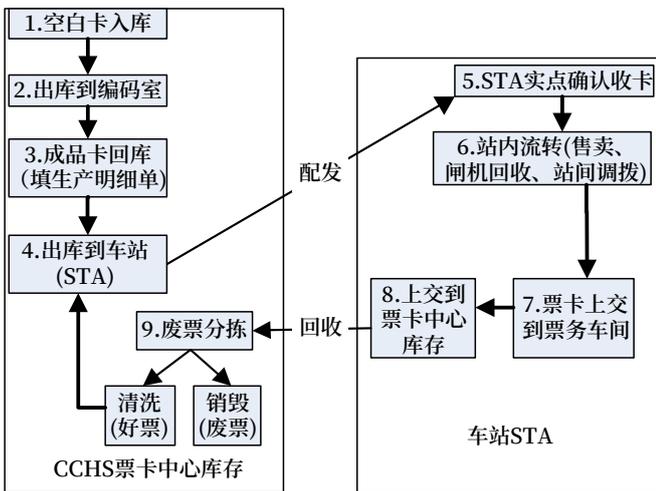


图4 票卡管理流程  
Fig.4 Ticket card management process

### 3.2.3 发票管理

在票务管理系统中增加电子发票管理功能，采用金税盘托管至第三方电子发票服务平台的模式，实现轨道交通乘客自助开票服务。

乘客可在自动售票机 (Ticket Vending Machine, TVM)、轨道交通 APP 等提交开票请求。票务系统对开票请求进行审核，并提交第三方电子发票服务平台。发票开具完成后，电子发票服务平台根据开票终端的差异，将电子发票 PDF 版式文件以不同的形式推送给乘客，如乘客的轨道交通 APP、手机短信、电子邮箱等。

### 3.2.4 其他业务

除收益管理、票卡管理及发票管理外，车站票务人员还可通过系统实现交接班管理，包括车站日结、票务备件、票务钥匙及备用金台账管理等，从而简化车站票务交接班流程，提高交接班效率，并为问题追溯提供可靠的系统依据。同时，票务人员可通过系统实现乘客事务处理的申报、审核及回复等工作。

### 3.3 系统架构

根据票务管理系统的管理模式及主要业务，将票务系统划分为收益管理、票卡管理及发票管理等子系统，系统架构如图 5 所示。

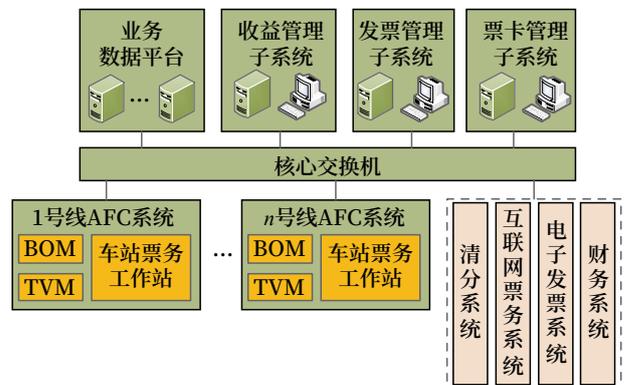


图5 票务管理系统架构  
Fig.5 Ticket management system architecture

如图 5 所示，各线路 AFC 系统车站终端设备一方面为乘客提供各类票务服务；一方面作为票务管理终端，用于车站人员填报各类车站票务数据，如乘客事务处理单、现金收益、车票库存等。业务数据平台对各类票务数据进行统一的采集、存储，并为各业务子系统提供数据支持。各业务子系统根据 AFC 系统填报的各类票务数据以及清分系统、互联网票务系统等外部接口数据开展收益审核、票卡调配等工作。

## 4 系统应用

票务管理系统一期已成功应用于苏州轨道交通的票务管理工作中，已实现收益、票卡、交接班等工作的系统化管理，在减轻工作人员票务管理压力的同时，提高工作效率，提升乘客服务水平，并取

得良好的经济效益。

#### 4.1 应用情况

为减少既有 AFC 系统的改造工作量,减轻票务系统上线对既有 AFC 系统的影响,系统采用浏览器/服务器模式(Browser/Server, B/S)网络架构模式。票务人员只需利用半自动售票机(Booking Office Machine, BOM)及票务工作站登录服务器,即可进行收益、车票、乘客事务等业务的填报及确认工作。系统登录界面如图 6 所示。



图6 票务管理系统登录界面

Fig.6 Login interface of ticket management system

#### 4.2 效益分析

根据票务管理系统的实际运作情况,相比于传统票务管理方式,系统在业务处理效率上提升了 50%,车站报表差错减少了 20%,数据统计时效提升了 30%,同时大幅减少了报表印制、分发、回收等人工、物料成本,为企业后续减员增效奠定基础。

### 5 结语

票务管理数字化是城市轨道交通运营管理数字化转型的重要组成部分。分析传统票务管理存在的诸多问题,并借助信息化技术,搭建票务管理系统,实现苏州票务管理的数字化。票务管理系统的应用,对提升运营管理水平,降低运营成本,对运营管理工作有重要意义。下一步,将结合大数据等技术,充分利用票务管理数据,使票务管理工作更加科学化、人性化。

#### 参考文献

- [1] 裴顺鑫, 张宁. 地铁自动售检票系统的互联标准[J]. 都市快轨交通, 2007, 20(5): 38-41.  
Pei Shunxin, Zhang Ning. Research on the Interconnection Standards for Subway AFC System[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2007, 20(5): 38-41.
- [2] 唐达颖. 城市轨道交通票制研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 90-93, 106.  
Tang Daying. Research on Urban Rail Transit Ticket System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 90-93, 106.
- [3] 王莉. 宁波市轨道交通票务组织管理优化研究[J]. 交通世界, 2018(21): 276-277.
- [4] 徐晓红, 李莉, 李昱洁, 等. 青岛地铁票务管理系统设计与实现[J]. 隧道与轨道交通, 2019(S2): 181-184.
- [5] 周世爽, 赵圣娜, 张宁, 等. 基于存储论的城市轨道交通车站回收类票卡库存管理[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(3): 37-39, 43.  
Zhou Shishuang, Zhao Shengna, Zhang Ning, et al. Inventory Management of Urban Rail Transit Station Recycling Ticket Based on Inventory Theory[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(3): 37-39, 43.
- [6] 陈青云, 顾洋, 李海博. 跨市域轨道交通一票制换乘应用探析[J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(11): 12-16, 71.  
Chen Qingyun, Gu Yang, Li Haibo. A Tentative Study on Application of One-Ticket Transfer in Cross-City Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(11): 12-16, 71.
- [7] 付保明, 张宁, 吴超. 城市轨道交通二维码车票互联互通方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 79-84.  
Fu Baoming, Zhang Ning, Wu Chao. Interconnection Scheme of QR Code Ticket for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 79-84.
- [8] 张瀛丹. AFC 系统互联网票务经济效益分析及探讨[J]. 都市快轨交通, 2021, 34(2): 59-64.  
Zhang Yingdan. Economic Benefits of AFC Internet Ticketing Business[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(2): 59-64.

# 道岔安装绝缘烧损分析及解决方案

魏文涛, 魏倩

(广州地铁集团有限公司, 广州 510000)

**摘要:** 在地铁实际运营中, 道岔绝缘烧损容易造成设备烧毁、行车中断、乘客恐慌等恶劣影响, 是地铁亟待解决的问题。以广州地铁 4、5 号线使用的 S700K 转辙机为例, 对道岔绝缘烧损问题进行分析探讨, 提出解决和提升措施, 保证道岔设备运行稳定正常, 保障运营安全。

**关键词:** 地铁; S700K; 绝缘烧损

中图分类号: U284.92

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0076-05

## Analysis and Solution for Insulation Burning of Switch Machine

Wei Wentao, Wei Qian

(Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** In actual metro operation, the turnout insulation damage can easily cause serious consequences, such as equipment burning, traffic interruption, passenger panic, and constitute an urgent problem to be solved in metro. Taking S700K switch machine used in Guangzhou Metro Line 4 and Line 5 as an example, this paper analyzes and discusses turnout insulation burning, and proposes corrective and improvement measures, so as to ensure the stable and normal operation of turnout equipment and guarantee operation safety.

**Keywords:** metro; S700K; insulation burning

道岔作为城市轨道交通信号系统的关键设备, 其运行是否稳定直接关系到行车安全。而道岔绝缘烧损容易出现打火花和冒烟现象, 严重情况下对地铁正常运营、乘客服务质量及安全生产造成不良影响。

## 1 S700K型转辙机道岔安装绝缘简介

### 1.1 道岔角钢安装绝缘位置

广州地铁 4、5 号线道岔均采用 S700K 转辙机

双机牵引方式, 通过钩式外锁闭装置实现道岔转换功能<sup>[1]</sup>。单台转辙机安装时长角钢与短角钢连接处共有 8 块绝缘垫板 (大、小绝缘垫板各 4 块), 绝缘管共 4 个, 如图 1 所示, 图中阴影部分表示角钢安装绝缘组件。

### 1.2 道岔角钢安装绝缘作用

道岔角钢安装绝缘的作用包含以下几点<sup>[2]</sup>。

1) 针对有轨道电路的线路, 避免轨道电路短路造成红光带;

2) 针对有第三轨供电的线路, 隔离牵引回流与转辙机电路;

收稿日期: 2022-03-15; 修回日期: 2023-03-20

发明专利: 2014 年实用新型专利 (ZL201420174640.X)

第一作者: 魏文涛 (1987—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号, 邮箱: weiwentao@gzmtr.com。

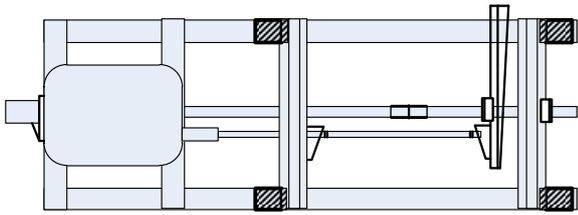
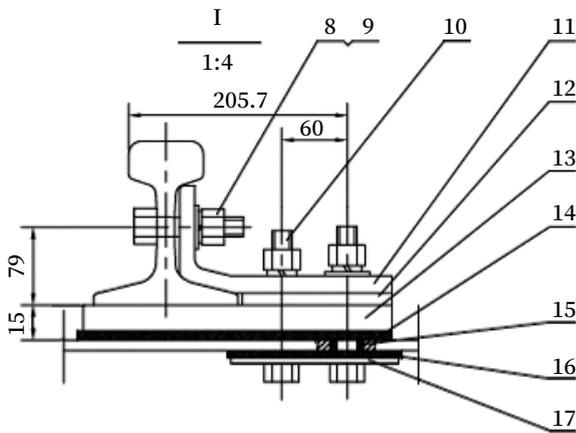


图1 S700K转辙机安装及绝缘位置

Fig.1 Installation and insulation location of S700K switch machine

3) 防止 1 500 V 牵引回流进入室内分线架, 造成室内设备烧损的风险。

道岔安装绝缘组件主要组成部分如图 2 所示。



17	05400-S-XH-06-01-01-3	角钢垫板
16	X2101.87B.11	C绝缘板
15	X2101.93C.06	绝缘管
14	X2101.87A.18	C绝缘板
13	X2101.81A.30	角钢垫板
12	X2101.80A.16	共用垫板
11	X2101.77A.11	60角形铁
10	GB5782	螺栓M20 mm×100 mm
9	GB97.1	垫圈φ20 mm
8	GB5782	螺栓M20 mm×70 mm
7	GB93	垫圈φ20 mm
6	GB6170	螺母M20 mm
5	GB5782	螺栓M20 mm×65 mm
4	05400-S-XH-06-01-01-2B	短角钢
3	05400-S-XH-06-01-01-2A	短角钢
2	05400-S-XH-06-01-01-1B	长角钢
1	05400-S-XH-06-01-01-1A	长角钢

图2 安装绝缘部件示意

Fig.2 Schematic diagram of insulation parts

广州地铁各线路的角钢绝缘安装方式各不相同, 4、5 号线采用的安装方式为: 小钢垫板 - 绝缘小垫板 - 绝缘板 - 角钢 - 钢垫板 - L 型铁 (由下向上的顺序), 通过以上的安装方式, 可以将牵引回流电的漏泄电流隔离于信号转辙机设备。

## 2 道岔安装绝缘烧损故障原因分析

近几年, 广州地铁线网发生多起道岔安装绝缘烧损的故障, 经现场排查并结合多年设备维护经验分析, 造成道岔绝缘烧损有安装工艺不达标<sup>[3]</sup>、部件规格不合适、绝缘性能降低、检修工艺不规范、外部环境变化以及轨道电位、牵引回流等因素<sup>[4]</sup>, 如图 3 所示。

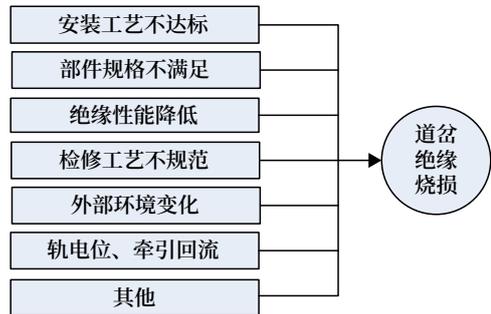


图3 绝缘烧损成因分析

Fig.3 Cause analysis of insulation burning

### 2.1 安装工艺不达标

广州地铁 4 号线某站曾发生道岔绝缘烧损故障, 故障检查发现角钢安装绝缘在安装时将大钢垫板和大绝缘板对调导致该部位绝缘失效<sup>[5]</sup>, 造成道岔绝缘烧损故障发生。故障时的安装方式为如图 4 所示标注的“\* 错误安装方式”。

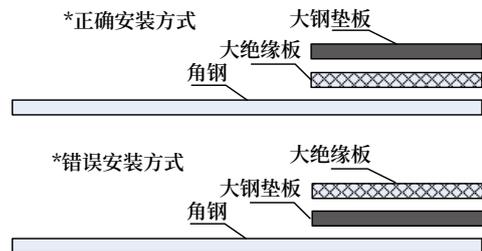


图4 正确和错误的安装方式

Fig.4 Correct installation method and wrong installation method

### 2.2 部件规格不合适

#### 1) 小钢垫板规格不达标

道岔安装绝缘小钢垫板尺寸为 110 mm×50 mm; 在使用过程中发现该小钢垫板尺寸明显大于小绝缘板, 易与角钢底部接触, 导致角钢与钢轨接通, 造成该部位绝缘部件长期受钢轨牵引回流

电腐蚀，进而击穿安装绝缘。为防止此产品生产工艺与现场使用环境不同，对该部件尺寸调整为 110 mm × 40 mm，从而有效地降低绝缘部件被击穿的风险，调整前后如图 5 所示。

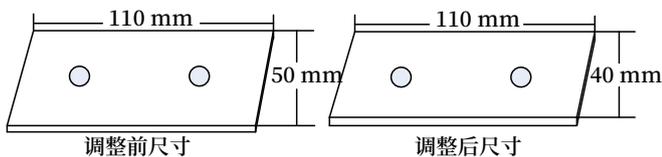


图5 小钢垫板尺寸调整  
Fig.5 Dimensions adjustment of small steel base plate

## 2) 角型铁垫片

安装角型铁紧固螺丝孔，其中一个为椭圆形扩孔状，如图 6 所示。使用原垫片无法将该孔全部覆盖，安装后会遗留部分缝隙，出现下雨或者线路清洗等情况，都可能会将油污、铁屑冲入该缝隙中，进而造成绝缘性能降低。



图6 安装螺丝垫圈未完全覆盖  
Fig.6 Incomplete covering of screw washer

## 2.3 绝缘性能降低

道岔绝缘的材质采用环氧树脂经热压而成的层压制品，具有较高机械和介电性能。但列车在运行中会造成转辙机垂直抖动，导致绝缘套板（管）出现强度降低和破损，亦会导致其绝缘性能下降，从而出现烧绝缘情况。

## 2.4 检修工艺不规范

广州地铁 5 号线某站曾发生过道岔绝缘出现烧损故障，故障后经排查和分解，发现现场安装的绝缘存在破损、变形现象。此问题的产生主要是在日

常检修分解和安装过程中，维护人员未将绝缘管平顺地放入安装孔或在紧固螺丝时螺杆出现偏移，使得绝缘管被挤压产生变形，进一步影响安装绝缘的性能。

## 2.5 外部不利环境

外部油渍、基坑积水、隧道滴水 and 铁屑等使用环境的因素会使绝缘板（管）绝缘性能明显下降。由于油水混合物及水迹均具有导电的特性，该混合物与水迹使钢轨回流电经由钢轨接通至角钢绝缘，造成绝缘件被长期电化腐蚀，进而降低绝缘性能，最终产生拉弧放电并出现绝缘烧损的现象。

## 2.6 轨电位过高或回流不畅

牵引回流经钢轨回变电所，各钢轨接头处都焊接有多根短路线，而道岔地线接到弱电接地扁钢上，接地扁钢接头处用普通螺丝紧固，接地电阻值远大于变电所专用接地。当回流不畅时，可能会出现瞬间较高的轨电位并导致大电流爬电情况，大电流使绝缘产生较大热能烧损绝缘，其工作原理如图 7 所示。为此，要求供电专业对钢轨回流线必须焊接牢固，防止连接松动或虚焊的现象。

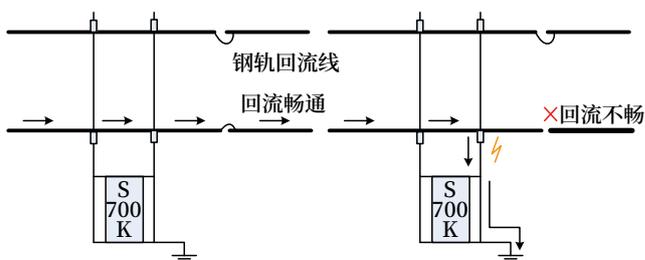


图7 回流畅通和回流不畅对角钢绝缘的影响  
Fig.7 Impacts of smooth and non-smooth current return on angle steel insulation

而针对轨电位的变化，其工作原理等同于牵引回流电的影响，相互之间的区别为牵引回流为瞬间施加电压，而轨电位是长时间低电压大电流的一个电化过程。

## 2.7 其他

地线是使用紧固螺丝安装在角钢尾部和接地扁钢上，当绝缘降低轨电位通过地线放电时，如紧固螺丝松动则会造成该部位拉弧放电。为此，在检修

过程中, 必须进一步规范对角钢地线的安装标准, 防止螺丝松动造成在轨电位泄漏电流流经此处时产生火花<sup>[6]</sup>。

### 3 道岔安装绝缘烧损解决措施

为确保道岔绝缘性能良好, 提出以下措施予以解决和提升, 保证道岔设备运行稳定正常, 保障运营效率。

#### 3.1 加强检修工艺管理

1) 规范班组检修人员的标准化作业程序, 重新梳理道岔角钢绝缘安装工艺, 在工艺中对安装分解次序、角钢稳固方法、仪器仪表使用方法、部件及周边环境清洁等明确标准, 确保在实际生产工作中加以应用。

2) 加强检修人员组织管控, 明确人员作业分工, 在拆卸过程中, 严格按照对角线拆解安装绝缘件的要求, 防止转辙机出现下沉或在安装过程中造成绝缘管被挤压破损和变形。

3) 明确对杆件绝缘、道岔角钢安装绝缘、动作杆、表示杆、地线安装螺丝等部位的绝缘安装整治方法, 结合检修、整治计划对绝缘较低的道岔进行专项整治。

4) 规范道岔钩锁的位置, 车站人员做好钩锁器加装的工艺标准编制及培训工作, 避免钩锁器加装时与角钢接触。

#### 3.2 解决设计缺陷

1) 短期内针对拼装方式的绝缘件, 在线使用到期后, 严格按照规程每年更换新件至在线运营的道岔角钢安装绝缘部件上。

2) 从根本上提高绝缘性能, 可全面更换整体绝缘组件, 新线直接采用整体绝缘安装方式。

3) 对于小钢垫板和紧固螺丝垫片的设计缺陷, 改进更加符合现场使用的型号<sup>[7]</sup>, 例如螺丝安装垫片无法完全覆盖安装孔的问题, 需采用较大尺寸的垫片。

4) 关注岔群回流线焊接情况, 存在状态不良的及时整治, 确保岔区回流顺畅。

5) 进一步加强折返站、出入段线的轨电位合闸记录检查, 以及对地电阻、轨电位等情况的分析, 做到提前预防。针对轨电位频繁变化的区域信号人员实时对道岔绝缘进行测试、跟踪<sup>[8]</sup>, 有利于对道岔烧损绝缘具体原因的查找。

#### 3.3 改善环境及其他外部因素

1) 明确要求保洁人员清洗时对道岔前后 5 m 的范围不进行冲刷, 并及时将道岔基坑的积水进行清洁。

2) 对于道岔上方、侧面及附近滴水, 造成道岔蛇管被浸泡的现象。对相关部位进行封堵、蛇管移位抬高, 并跟进绝缘性能的变化情况。

3) 对于滑床板清洗作业, 要求对道岔转辙机附近滑床板区域严禁冲洗, 采用擦除清洁和吸尘器吸附的方式, 以保证道岔不会被水迹侵蚀, 同时可吸掉道岔周边的铁屑。

## 4 结束语

道岔绝缘烧损故障是各个地铁乃至铁路行业内亟待解决的问题, 其工作性能与日常检修习惯、检修方法、工艺及日常管理密切关联。本文旨在结合日常维护经验, 依托现场已采取的问题分析、解决方法、维护措施等从不同角度对解决绝缘烧损的故障展开探讨, 从预防性维护角度减小故障发生, 保障运营安全。

#### 参考文献

- [1] 阳六兵, 刘军, 陈梁, 等. 城市轨道交通 S700K 转辙机第二牵引点卡缺口故障研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 67-71, 85.  
Yang Liubing, Liu Jun, Chen Liang, et al. Detection Rod Gap Jamming Fault at Second Traction Point of S700K Switch Machine for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 67-71, 85.
- [2] 谭波. 浅析 S700K 道岔烧绝缘的原因及预防措施 [J]. 铁道通信信号, 2012, 48(7): 38-39.

- Tan Bo. Insulation Burning Reason and Preventive Measures for S700K Point[J]. Railway Signalling & Communication, 2012, 48(7): 38-39.
- [3] 田青云. 广佛线道岔角钢绝缘改善方案 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 ( 8 ): 56-57.
- Tian Qingyun. Improvement of Angle Iron Insulator in Guangzhou-Foshan Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(8): 56-57.
- [4] 胡博. 城市轨道交通工程道岔与钢轨连接件绝缘破坏改进措施探讨 [J]. 现代城市轨道交通, 2018 ( 1 ): 43-45, 50.
- Hu Bo. Discussion on Improvement Measures for Insulation Failure of Connecting Parts of Turnout and Rail on Transit[J]. Modern Urban Transit, 2018(1): 43-45, 50.
- [5] 张灿茂. 道岔角形铁绝缘的新型安装工艺 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 ( 11 ): 45-46, 49.
- Zhang Canmao. New Installation of Switch Angle Iron Insulation[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(11): 45-46, 49.
- [6] 赵垒, 薛小强. 地铁道岔转辙机产生电火花现象原因分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 ( 8 ): 174-176.
- Zhao Lei, Xue Xiaoqiang. Analysis of Electric Spark Phenomenon on Metro Turnout Switch Machine[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(8): 174-176.
- [7] 湛心田, 蒋晓阳. 道岔安装绝缘的补强与改进 [J]. 铁道通信信号, 2011, 47 ( 4 ): 28-29.
- [8] 王晓琪. 道岔安装装置绝缘故障的检查 [J]. 高速铁路技术, 2017, 8 ( 2 ): 78-80.
- Wang Xiaoqi. Insulation Failure Inspection of Turnout Installation Device[J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(2): 78-80.

\*\*\*\*\*

(上接 61页)

- Liu Wei, Lou Ying, Zhang Jian, et al. Unified AC/DC Power Supply Calculation Taking into Account Urban Rail Inverter Feedback Devices[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(20): 4381-4391.
- [7] 褚蓄. 城市轨道交通列车运行等级节能方案研究与设计 [D]. 南京: 南京理工大学, 2019.
- [8] 齐永祎. 列车节能运行智能求解算法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [9] 潘雷, 荀浩. 地铁再生制动能量回馈装置分站设置研究 [J]. 电气技术, 2020, 21 ( 10 ): 59-62, 70.
- Pan Lei, Xun Hao. Study on the Substation Setting of Regenerative Braking Energy Feeder in Metro[J]. Electrical Engineering, 2020, 21(10): 59-62, 70.
- [10] 何希和, 花春桥, 王建红. 再生能量逆变吸收装置在单轨交通中的应用 [J]. 都市快轨交通, 2014, 27 ( 2 ): 17-20.
- He Xihe, Hua Chunqiao, Wang Jianhong. Application of Inverting Regenerative Energy Absorbing Device in Monorail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2014, 27(2): 17-20.
- [11] 蒲一超. 城市轨道交通列车牵引节能策略优化 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 ( 11 ): 63-66.
- Pu Yichao. Optimum Strategy of Traction Energy Consumption for Urban Rail Transit Train[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(11): 63-66.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.017

# 上海地铁13号线信号与屏蔽门系统接口分析

于秦龙

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 上海 200237)

**摘要:** 通过对上海地铁13号线信号系统与屏蔽门系统接口的研究, 介绍屏蔽门接口信号侧设备, 屏蔽门联动原理及运营过程中屏蔽门的几种工作模式, 通过在线监测及日志分析等手段对线路发生的多起车门及屏蔽门不联动故障进行分析, 为路网同类系统在今后运营过程中发生的屏蔽门不联动故障处置积累经验。

**关键词:** 上海地铁; 信号系统与屏蔽门; 接口; 联动

中图分类号: U291.6+3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0081-05

## Interface Analysis of Signaling System and PSD System for Shanghai Metro Line 13

Yu Qinlong

(Telecom &amp; Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., Shanghai 200237, China)

**Abstract:** This paper studies the interface of the signaling system and platform screen door (PSD) system of Shanghai metro line 13 to introduce the linkage principles of the interfaced signaling equipment and PSD equipment and several working modes of PSD during metro operation. It also analyzes the linkage failures of the signaling system and PSD system through on-line monitoring and log analysis to provide experience in handling PSD system linkage failures in similar systems of metro networks during future operation.

**Keywords:** Shanghai metro; signaling system and PSD system; interface; linkage

### 1 概述

在城市轨道交通系统中, 信号系统与屏蔽门系统作为两个独立的系统, 在信号系统正常工作时实现两系统的联动, 并在单系统因故停用时实现独立功能, 两个系统通过接口设备进行电气传输及

信号传递, 上海地铁13号线开通以来, 多次发生列车车门与站台屏蔽门不联动故障, 对列车正常运营造成一定影响, 本文以上海地铁13号线卡斯柯URBALIS888信号系统为研究主体, 分析信号系统与屏蔽门接口关系、屏蔽门功能实现模式、联动原理及常见故障, 为城市轨道交通线路类似系统故障处理积累经验。

### 2 屏蔽门接口功能及实现

屏蔽门作为地铁站台重要设备, 起到安全隔离

收稿日期: 2021-12-27; 修回日期: 2023-04-15

作者简介: 于秦龙(1989—), 男, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号系统, 邮箱: yuqinlong1989@126.com。

乘客及轨道的作用。信号系统与屏蔽门系统接口功能主要包括在信号系统可用并与屏蔽门接口接通时，给出屏蔽门关闭并锁闭或打开状态。正常信号模式下，列车进站停稳后，信号系统向屏蔽门系统发送列车占用及开、关门命令，屏蔽门开、关门后将状态反馈给信号系统，列车根据正常信号进/出站。在信号降级模式下（无法自动生成开、关门命令）或屏蔽门系统故障时，能解除信号及屏蔽门系统互锁，实现各自功能且不影响列车在正常信号模式下进/出站。

### 2.1 接口侧设备介绍

接口侧信号设备主要包括信号机房内 KZ/KF 电源、分线盘信号侧电缆、相应继电器等。

车控室设备主要包括 IBP 盘屏蔽门操作单元及端头控制盒（PSL）等。

屏蔽门侧设备主要集中于屏蔽门机房，通过继电器、屏蔽门侧电缆对屏蔽门进行开、关门控制，并将屏蔽门状态反馈给信号系统。

### 2.2 信号系统与屏蔽门接口电路

信号系统与屏蔽门系统主要通过相应接口电路实现两系统间信息交互，具体如表 1 所示。

表1 系统信息交互情况  
Tab.1 Table of system information interaction

交互内容	发送方向
站台轨道占用	信号系统→屏蔽门系统
开门命令	信号系统→屏蔽门系统
关门命令	信号系统→屏蔽门系统
屏蔽门关闭并锁闭	屏蔽门系统→信号系统
屏蔽门互锁解除	屏蔽门系统→信号系统

信号系统侧通过继电器实现相应功能。当列车驶入站台区域，区域控制器（ZC）对站台轨道授权，使轨道授权继电器（ZCKJ）吸起。当列车停稳后，屏蔽门侧接受联锁开/关门命令，由开门继电器（KMJ）和关门继电器（GMJ）通过其内部驱动电路进行开/关门操作，屏蔽门状态通过屏蔽门关闭并锁闭继电器（PDKJ）反馈给联锁系统。当屏蔽门故障时，能人工切除互锁状态，此时屏蔽门旁路继电器（PDQCJ）吸起，解除屏蔽门与信号系统的互锁。

#### 2.2.1 车门关闭并锁闭接口电路

正常信号模式下，信号系统与屏蔽门系统接口工作时，屏蔽门系统应可靠地将屏蔽门关闭并锁闭状态或将开门状态反馈给信号联锁系统，并由联锁系统将状态反馈给 ATS 系统，车门关闭并锁闭接口电路如图 1 所示。

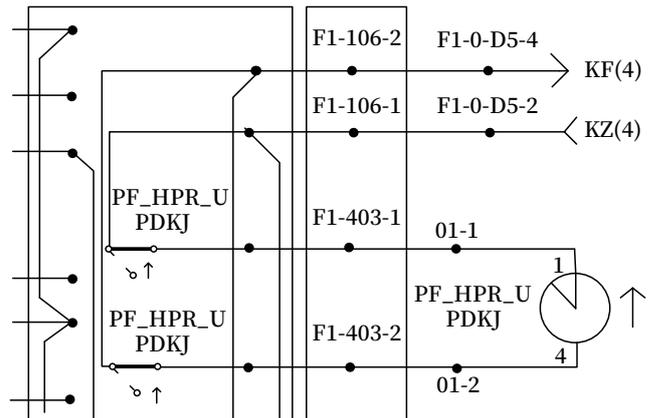


图1 车门关闭并锁闭接口电路  
Fig.1 Interface circuit for door closing and locking

当车站屏蔽门控制室内 PDKJ\_U 接点闭合时，表示该站上行屏蔽门均已关闭并锁闭，通过接口电路传递，信号机房内相应 PDKJ\_U 得电吸起，表示接收到屏蔽门可靠关闭信号。信号联锁系统通过采集继电器状态判断此时该站台屏蔽门状态为关闭并锁闭，信号 ATS 及 ATC 系统接收到该信息后，允许列车在正常信号模式下进入及离开站台区域。

#### 2.2.2 开门接口电路

正常信号模式下，列车驶入站台区域，ZC 会对站台轨道进行授权，列车在站台停稳后，车门打开，并由车载控制器向信号联锁系统发送列车开门信息，信号联锁系统向屏蔽门系统发送开门命令，屏蔽门打开；正常上、下客作业完毕后，列车车门关闭，并将关门信息发送至信号联锁系统，信号联锁系统向屏蔽门系统发送关门命令，屏蔽门关闭，并向信号系统反馈门关闭并锁闭信息，列车接收后按正常信号模式出站。开/关门接口电路如图 2 所示。

#### 2.2.3 互锁解除继电器接口电路

在信号降级模式下（无法自动生成开、关门命

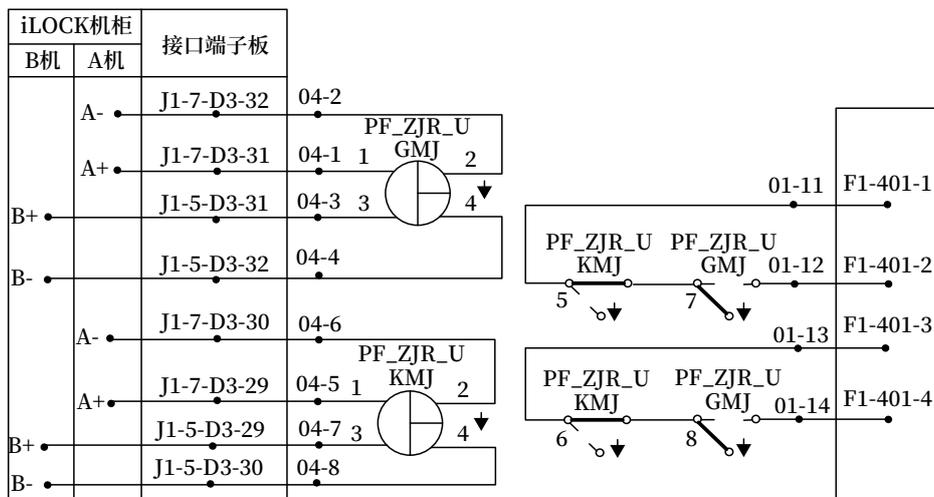


图2 开关门接口电路

Fig.2 Interface circuit for door opening and closing

令)或屏蔽门系统故障时,能解除信号及屏蔽门系统互锁,站台的进、出站列车不检查相应列车占用站台区域授权及屏蔽门关闭锁闭状态,出站进路正常触发,信号正常开放,列车能以手动模式进/出

站。当屏蔽门处于互锁解除状态时,屏蔽门系统会沟通旁路继电器的驱动电路,信号侧相应PDQCJ会吸起,此时信号联锁系统将不再采集门状态信息,如图3所示。

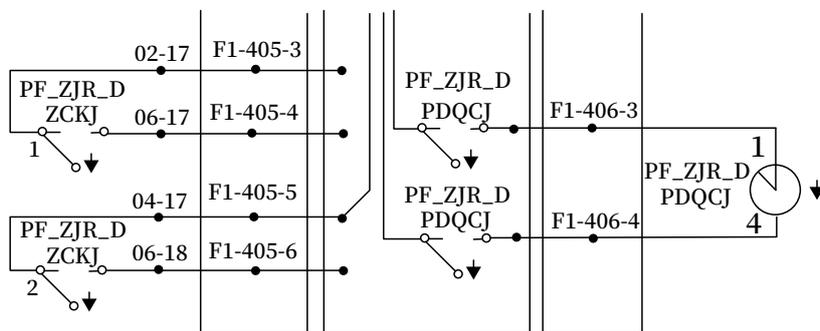


图3 屏蔽门旁路电路

Fig.3 Interface circuit for PSD bypass

#### 2.2.4 屏蔽门联动功能实现

CBTC模式下,列车正常模式进站(ATO、ATP),进入站台区域后,屏蔽门会得到ZC占用区域授权,列车停稳后自动实现开门(此时屏蔽门关闭并锁闭状态),并与联锁系统进行通信,由联锁系统进行开门操作,屏蔽门解锁并打开。列车上、下客作业完成后,联锁系统发送关门命令,并将相关信息发送给车载控制器(CC),列车实现自动关门,并确认屏蔽门关闭并锁闭状态,触发出站进路,按正常信号模式驶离车站,从而实现车门及屏蔽门联动。各继电器开关量逻辑时序如图4所示。

### 3 屏蔽门常见故障分析

在日常行车过程中,屏蔽门往往导致列车无法正常模式进/出站,对有序运营造成一定影响,常见屏蔽门故障一般分为站台部分故障(单扇或多扇)和站台整侧故障。针对上海地铁13号线2020~2023年4月期间屏蔽门的常见故障分析总结如下。

#### 3.1 站台部分屏蔽门故障

此类故障从现象上基本确认为屏蔽门控制系统或单门故障,与信号系统及接口基本无关。为避免故障影响,一般对故障屏蔽门进行单扇隔离(小于

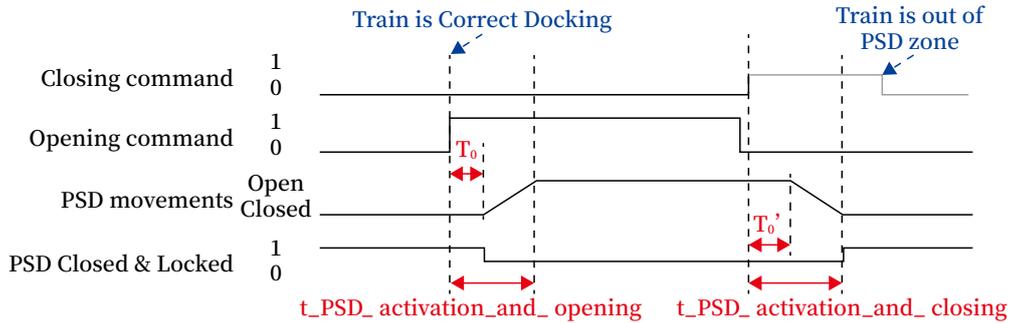


图4 继电器开关量逻辑时序  
Fig.4 Logic sequence of relay digital value

两扇), 不影响信号正常模式下列车车门与屏蔽门联动, 避免对运营造成影响。

### 3.2 站台整侧屏蔽门故障

整侧屏蔽门故障一般为在列车按正常信号模式进站后, 屏蔽门未能和车门实现联动, 导致列车无法正常上、下客及按正常模式出站, 此类故障下, 一般需要对信号及屏蔽门两方面进行共同检查, 信号侧检查联锁命令是否已经发送至屏蔽门系统, 即开门回路是否沟通, 同时确认 ZC 对站台轨道是否授权; 屏蔽门侧检查电源及信号命令是否送至接口柜, 并对屏蔽门控制回路进行检查。

处置建议: 一般由运营人员对屏蔽门状态进行检查后, 将屏蔽门切换到手动模式并以互锁解除形

式恢复列车正常进 / 出站, 同时对于短时间内无法处置的情况, 将站台整侧屏蔽门与联锁隔离。

## 4 在线监测及案例分析

### 4.1 利用监测对屏蔽门故障在线预防

随着现场智能运维程度的推进, 屏蔽门在线监测功能不断完善。以上海地铁 13 号线为试点, 增加屏蔽门接口电压在线监测, 通过采集 PDKJ、PDQCJ、KMJ、GMJ 等继电器动作时序及线圈电压, 并设置参考指标。如发生参数偏离, 系统自动报警提醒人工干预。监测如图 5 所示。

### 4.2 利用数据回放对屏蔽门故障进行分析

通过基于联锁数据诊断系统 (SDM) 对联锁

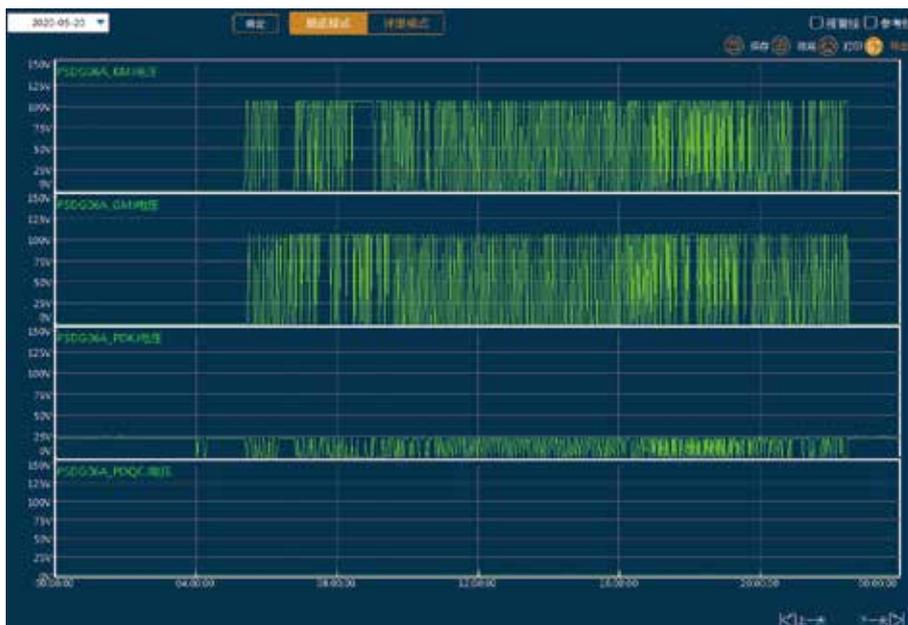


图5 屏蔽门在线监测  
Fig.5 Online monitoring of PSD

驱动及采集的开关量进行记录，在发生不联动故障后，可通过查看数据量回放的形式，对相关继电器动作顺序进行追溯，结合上文所述接口逻辑，区分

信号侧或屏蔽门侧故障原因，提升故障处置效率，如图 6 所示。



图6 SDM开关量回放

Fig.6 Playback of SDM digital value

### 4.3 故障案例分析

案例 1：13 号线某站站台区计轴受扰，列车在站台精确停车，车门开启后，屏蔽门未联动开启，站台受扰区域出清后，该故障恢复。

原因分析：故障时，联锁接收到列车车门打开命令后，正常发出开门命令，但由于此时站台轨道受扰，屏蔽门无法获得 ZC 对屏蔽门的授权（ZCKJ 未吸起），根据屏蔽门与信号接口协议，屏蔽门在自动开门时需要同时获得站台轨道授权与开门命令，才能实现开门操作，如表 2 所示，所以站台轨道计轴受扰是造成此次屏蔽门不联动故障的直接原因。

表2 信号系统与屏蔽门接口协议

Tab.2 Interface protocol between signaling system and PSD system

开门命令	关门命令	站台轨道占用	PSD 操作
1	0	1	打开 PSD
0	1	1	关闭 PSD
1	0	0	关闭 PSD

案例 2：13 号线某站报上行列车进站无速度码，进一步确认上行站台上下客完毕后，列车门关闭，屏蔽门未联动关闭。车站进行屏蔽门互锁解除后，列车按照正常信号模式出站，信号人员至现场测量接口处电压正常，屏蔽门人员查看设备，更换屏蔽门机房内 GMJ 后设备恢复正常。

原因分析：后续对 SDM 回放进行查看，列车

上、下客完毕后，联锁向屏蔽门系统正常发送关门命令，请求关闭屏蔽门，屏蔽门分线柜测到接口电压，但未对电压进行输出，导致屏蔽门未正常关闭。进一步查看屏蔽门系统告警信息，屏蔽门系统未执行关门命令，更换 GMJ 后，设备恢复正常。

## 5 小结

本文通过对上海地铁 13 号线信号系统与屏蔽门系统接口进行分析，阐述了屏蔽门的 3 种操作模式，并对屏蔽门自动状态下，CBTC 列车进站车门及屏蔽门联动开关原理进行分析，并结合现场实例对车门及屏蔽门不联动故障进行分析，为同类型信号系统及屏蔽门系统联动故障处置积累经验。

### 参考文献

- [1] 张敏. 地铁信号系统与屏蔽门控制接口的研究论述 [J]. 中国新通信, 2017, 19 (6): 74-75.  
Zhang Min. Research and Discussion on the Control Interface between Subway Signal System and Screen Door[J].China New Telecommunications, 2017, 19(6): 74-75.
- [2] 兰星. 地铁无人驾驶信号系统与屏蔽门接口设计 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (4): 58-59, 63.  
(下转 91页)

# 轨道电路“死区段”成因分析及对策

陈波

(中国铁路成都局集团有限公司宜宾工电段, 四川宜宾 644699)

**摘要:** 从轨道电路“死区段”分类入手, 客观分析“死区段”存在的原因及运用中的危害性, 提出彻底消除“死区段”、缩短“死区段”长度及调整渡线绝缘节设置位置的对策。并结合“死区段”管理现状, 提出从设计源头控制、既有设备改进整治、完善规章制度等工作建议, 现实操作性强, 具有推广借鉴意义。

**关键词:** 轨道电路; 死区段; 交叉渡线

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0086-06

## Cause Analysis and Countermeasures of "Dead Zone" in Track Circuit

Chen Bo

(Yibin Track, Communication & Signaling and Power Supply Depot, China Railway Chengdu Group Co., Ltd., Yibin 644699, China)

**Abstract:** Starting from a classification of "dead zones" in track circuit, this paper objectively analyzes the cause reasons of "dead zone" and the harmfulness in track circuit application, and proposes the countermeasures, i.e., eliminating the "dead zones", shortening the "dead zones" and relocating the insulation joint at the scissors crossover. Considering the current situation of "dead zone" management, it also proposes such suggestions as source control through improved design, improvement of existing equipment and improvement of rules and regulations, which have strong operability and high reference significance.

**Keywords:** track circuit; dead zone; scissors crossover

轨道电路是利用钢轨作为导体, 用以检查区段占用状态的电路。“死区段”是指轨道电路中两根钢轨间经轮对短接而无分路效应的一段线路。由于受道岔结构、电化区段交叉渡线增加绝缘节等诸多因素限制, 轨道电路两钢轨绝缘不一定能设置在同一坐标位置, 存在一定的错开距离, 从而形成轨道电路“死区段”。机车、车辆在“死区段”内停留或经

过时, 得不到分路检查, 存在错误转换道岔或开放信号、牵引回流干扰相邻区段闪红光带、串频干扰机车信号掉码串码等危害性, 直接影响行车安全和运输效率。提升对轨道电路“死区段”危害性的认识, 强化设计、施工和维护等阶段对“死区段”的管理, 消除安全隐患确保电务设备运用安全, 是当前迫切需要开展的工作。

### 1 “死区段”分类

“死区段”主要分为有绝缘轨道电路“死区段”和电气绝缘轨道电路“死区段”。

收稿日期: 2022-03-17; 修回日期: 2023-05-03

作者简介: 陈波(1979—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号典型案例分析及对策, 邮箱: 597582925@qq.com。

电气绝缘轨道电路因存在 29 m 左右的调谐区“隔离”产生“死区段”，在《铁路技术管理规程》和《高速铁路信号维护规则》（铁总运 [2015]322 号）已明确规定对调谐区禁停标志的设置。同时以 ZPW-2000 系列为代表的无绝缘轨道电路实现了全程断轨检查，调谐区分路死区不大于 5 m，大大提高了传输的安全性。

下面对有绝缘轨道电路“死区段”进行分类和探讨。

### 1.1 独立“死区段”

机械绝缘节的两根钢轨绝缘设在同一坐标处，不能对齐时，其错开的距离（死区段）不宜大于 2.5 m，如图 1 所示。对旧结构道岔，道岔内的死区段不大于 5 m。对于独立“死区段”，只要机车、车辆、作业车轮对在此停留，即可无条件构成轨道电路失去有车占用检查功能。

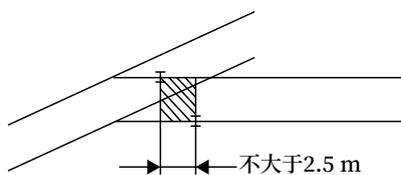


图1 单独“死区段”构成示意  
Fig.1 Schematic diagram of single "dead zone"

### 1.2 间隔“死区段”

两相邻死区段间的间隔如图 2 所示，或与死区段相邻的轨道电路的间隔如图 3 所示，一般不小于 18 m；当死区段的长度小于 2.1 m 时，其与相邻死区段间的间隔或与相邻轨道电路的间隔允许为 15 ~ 18 m。

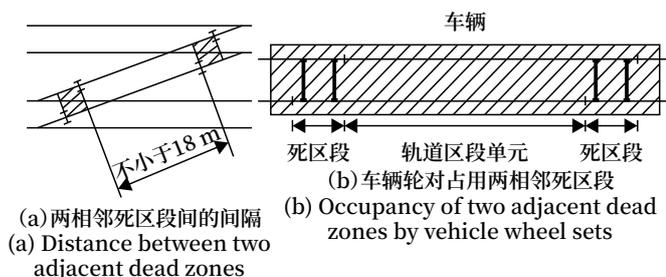


图2 渡线道岔间相邻死区段示意  
Fig.2 Schematic diagram of neighboring "dead zones" at scissor crossover turnouts

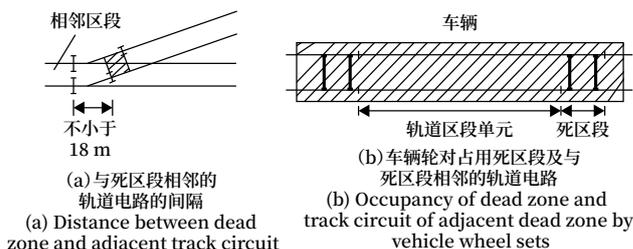


图3 “死区段”与相邻区段示意  
Fig.3 Schematic diagram of "dead zone" and neighboring section

### 1.3 交叉渡线“死区段”

交叉渡线（包括复式交分道岔）道岔的直股线上通过牵引电流时，应在渡线上增设钢轨绝缘节，将相邻轨道电路区段隔开。交叉渡线上加装钢轨绝缘节如图 4 所示的“a”“b”处。

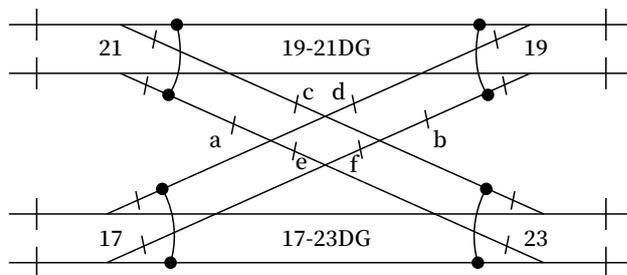


图4 交叉渡线“死区段”标准设计示意  
Fig.4 Schematic diagram of standard design of "dead zone" at scissors crossover

## 2 “死区段”的危害性及解决方案

“死区段”停留列车、车辆和作业小车，存在错误转换道岔或开放信号、牵引回流干扰相邻区段闪红光带、串频干扰机车信号掉码串码等危害性。解决“死区段”危害性的方法就是彻底消除“死区段”或缩短“死区段”长度，因此重点关注交叉渡线绝缘节位置设置的正确性。

### 2.1 无法检测列车占用造成丢车或撞车事故

如图 2、3 所示，由于机车车辆前后两组轮对都刚好停在“死区段”，或一组轮对停在死区段另一组轮对因钢轨生锈，或者特种作业小车停留在轨道电路“死区段”内时，都得不到分路检查，无法监测列车在区段的正常占用情况，就有可能造成错误转换道岔或开放信号，甚至构成严重的行车事故。

## 2.2 区段提前解锁造成侧面冲撞事故

如图5所示,当1DG1处存在分路不良、无受电分支、绝缘节位置不在同一坐标等情况,列车1尾部未出清“死区段”仍处于警冲标内方时,1DG1区段会由于区段空闲而提前解锁。此时,若办理经过IIG的进路时,将会造成侧面冲撞。正常情况下,出发信号机处绝缘节在同一坐标上,且与警冲标有不少于3.5m(有动车组运行时不少于5m)的距离,从源头上消除了“死区段”,有效防范了列车侧面冲撞事故的发生。

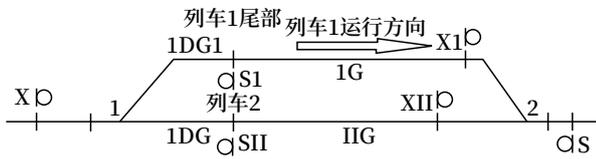


图5 “死区段”造成侧面冲撞示意  
Fig.5 Schematic diagram of flank collision caused by "dead zone"

## 2.3 渡线“死区段”过长牵引回流干扰造成区段闪红

如图1~3所示,“死区段”通过提高设计、施工标准或后期整治,将两组绝缘安装在同一坐标处,可以从根本上消除该缺陷,而对于如图4所示交叉渡线,因其结构的特殊性无法全部消除。《普速铁路信号维护规则》(铁总运[2015]238号)技术标准13.3.3规定:交叉渡线增设绝缘时应尽量缩短轨道死区段的长度。

如图6所示,某普铁车站因中部岔心绝缘位置设计设置不当,aE间“死区段”长度达11.2m,在经由23#往21#反位的调车作业,最后一组轮对(2对或3对轮对)刚好完全停在死区段内,在19-21DG及相邻区段牵引回流取流较大时,大电流经过死区段轮对串入17-23DG(如图6红线所示),冲击空开等相关设备,会造成17-23DG闪红光带,为正常运输和设备故障查找带来不必要的干扰。如按图4所示,按标设置中部岔心处绝缘位置,ae间“死区段”长度缩短为6.3m,死区段容纳轮对数减少,减小了对相邻区段的牵引回流干扰。

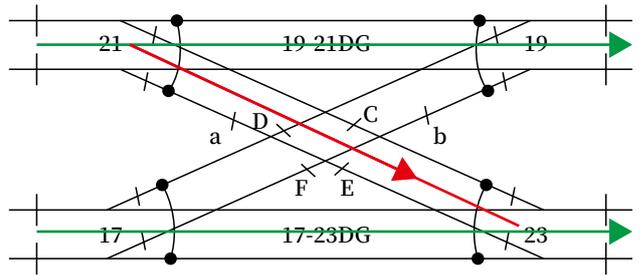


图6 “死区段”设计错误影响相邻区段闪红光带示意  
Fig.6 Schematic diagram of flashing red indication caused by design error of "dead zone"

## 2.4 渡线“死区段”过长掉码ATP输出制动

如图7所示,某高铁站动车组发车进路经17/19#道岔反位,运行至交叉渡线处时,车载设备在正常接收到本区段17-23DG的2000Hz载频信息后掉码,再错误接收到后方区段19-21DG的1700Hz载频信息,造成ATO自动退出并输出制动停于17-23DG。

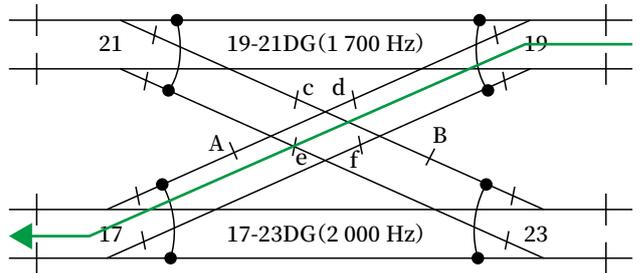


图7 “死区段”绝缘节位置错误安装示意  
Fig.7 Schematic diagram of installation error of insulation joint at "dead zone"

通过监测数据、车载数据及现场测试分析发现,A/B绝缘节位置安装错误(原设计安装如图4所示应安装于a/b处),造成图7中死区段Ad长达15.5m(按原设计安装如图4的fb长度为6m),导致列车经过该处时间较长,在轨道电路信息接收单元(TCR)车载设备的响应时间内,有足够的时间接收轨面混叠的2000Hz、1700Hz两种载频信息。1700Hz载频电流为255mA、2000Hz载频电流为294mA,两种载频幅值均处于车载设备的接收门限,满足译码要求,导致TCR主机A机无法继续正常识别17-23DG的2000Hz后掉码并切向备用B机,而此时B机能解出19-21DG的

1 700 Hz, 经过对比解调, 1 700 Hz 的低频符合输出条件, 给 ATP 输出短暂的载频为 1 700 Hz 的低频信号, 导致 ATP 认为 17-23DG 出现 1 700 Hz 的载频与应答器预告的 2 000 Hz 不一致(死区段列控数据归属 17-23DG), 载频核查错误并输出制动。

## 2.5 渡线“死区段”回流不畅导致谐波干扰输出 B7 制动

某高铁站动车组接车进路经 21/23<sup>#</sup> 道岔反位, 运行至交叉渡线处时, 多趟 200H 型车载设备接收到红黄码, 发生 B7 制动, 如图 8 绿线所示。

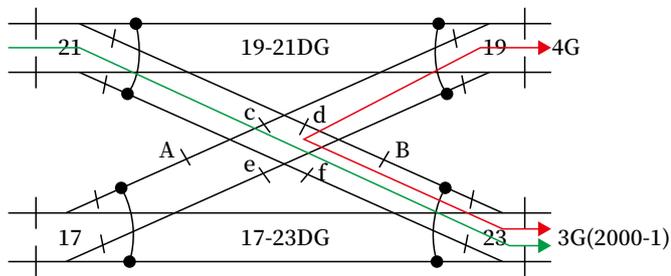


图8 “死区段”谐波干扰示意

Fig.8 Schematic diagram of harmonic wave interference at "dead zone"

站场平面图分析: 17-23DG 为 25 Hz 相敏轨道电路, 无电码化设置。3G 为载频 2000-1 的站内一体化轨道电路, 与非正常制动时车载瞬间收到的载频一致。

集中监测分析: 动车非正常制动时, 在动车出清 19-21DG 区段、占用 17-23DG 区段瞬间均存在电压波动情况, 原因为动车在交叉渡线道岔上的“死区段”运行时制动或加载造成的干扰。

现场设备检查: 接车进路上死区段 dB 长度为 8.446 m, 17-23DG 有效长度为堵回流绝缘 B 至 3G 绝缘距离 37.936 m (B 至 17-23DG/3G 分割绝缘), 动车组运行在 21/23<sup>#</sup> 交叉渡线道岔, 特别是死区段时, 钢轨回流不平衡, 必然导致工频干扰, 如图 8 红线所示。

轨道电路有效长度分析: 为保证车载信号设备能可靠地接收到轨道电路电码化信息, 必须限制短轨道电路的最小长度。一般轨道电路的最小长度  $L$  必须满足  $L \geq t \cdot v + d$ 。

$L$ : 一般轨道电路最小长度 /m;

$t$ : 车载信号设备可靠接收、校核信息时间 /s, 取值 2.5 s;

$v$ : 列车在该轨道电路的允许最高速度 / (m/s) ;

$d$ : 余量 /m, 典型值为 20 m。

21/23<sup>#</sup> 为 1/12 道岔, 侧线过岔速度为 45 km/h = 12.5 m/s, 则 17-23DG 的最小长度  $L = 2.5 \times 12.5 + 20 = 51.25$  m。现场测试, 17-23DG 区段有效长度为 37.936 m, 不满足《铁路信号设计规范》对轨道电路最小长度的要求。

原因分析: 200H 列控车载系统在站内运行提前 50 m 锁载频, 接车进路中 21/23<sup>#</sup> 交叉渡线上在距离 3G 始端 46.382 ~ 37.936 m 处 (d 点至 B 点) 存在死区段, 17-23DG 区段有效长度不满足最小长度的要求, 钢轨回流不平衡, 谐波干扰产生与股道一致的载频信号, 动车瞬间接收该载频信息输出 B7 制动。

解决措施: 考虑 17/19<sup>#</sup> 渡线不接发动车组的运输实际, 调整 17/19<sup>#</sup>、21/23<sup>#</sup> 交叉渡线绝缘位置 (参照图 4)。调整后 21/23<sup>#</sup> 道岔渡线区段的有效长度由 37.936 m 延长至 50.84 m (图 4 中绝缘 e 至 3G 绝缘), 满足死区段长度最短及区段最小长度的要求。该方案实施后, 17-23DG 区段非正常 B7 制动问题未再发生, 取得了明显实效。

## 2.6 “死区段”解决方案综述

综上所述, 解决“死区段”造成联锁失效, 发生侧面冲撞事故的最有效办法是消除死区段, 将两组绝缘设计安装在同一坐标处, 同时对列车径路区段采用全覆盖占用检查防护措施 (克服分路不良及无受电分支问题), 可以从根本上消除该缺陷。交叉渡线道岔上的“死区段”无法全部消除, 对中部岔心 6 组绝缘位置设计严格按照规范设置, 满足“死区段”长度最短及分割区段最小有效长度要求, 可以避免列车在“死区段”运行时回流不畅、区段闪红、机车紧急制动等问题。

### 3 “死区段”管理现状与难点

在信号设备基建、大修及改造时，因设计存在缺陷、技术交底不清，施工单位对图纸审核不细致仍然按错误图纸施工，设备管理单位质量验收把关不严，为后续投入运营发生故障后，设备管理单位查找设备故障原因产生不必要的干扰。

轨道电路设备质量鉴定隐患排查不彻底，存在漏洞。《铁路信号维护规则》业务管理附件2《轨道电路鉴定细目表》（电信鉴表3）设备质量第17项“两相邻轨道电路死区间超过规定”需每年鉴定，但缺少对独立“死区段”、渡线“死区段”绝缘设置及长度检查测试等质量鉴定内容，存在漏项鉴定不彻底的问题。

对现有轨道电路“死区段”缺少必要的规范约束。在中国国家铁路集团有限公司、国家铁路局等规章制度中，仅在信号维护规则及设计规范中简单提及，在技规及行规中无相关卡控措施要求。

运输部门对轨道电路“死区段”存在认知上的误区，认为轨道电路“死区段”是电务自身设备故障原因造成，对纳入行规等进行卡控在理解、执行上存在偏差，与设备管理单位缺乏有效沟通对接。

### 4 “死区段”管理思考与建议

#### 4.1 源头防范

严格按照《铁路信号维护规则》《铁路信号设计规范》等标准对轨道电路钢轨绝缘的位置进行设置。在基建、大修、更新、改造的车站设计、施工和过程验收时，建设、施工、监理和设备管理单位共同确认绝缘位置设置，补充完善设计图纸审核、联锁试验和工程测试相关检查内容，对不符合标准的及时修改，提前消除隐患，避免设备开通后对设备正常使用产生不必要的麻烦。

#### 4.2 既有线设备整治

通过年度设备质量鉴定和轨道电路“死区段”专项整治，掌握“死区段”存在位置、数量、区段长度和运用状态等现状，对发现的能够通过移设钢

轨绝缘位置彻底消除“死区段”的，及时向各铁路局集团公司提报解决方案并进行工电联合整治。因历史原因存在设计、施工与标准不符的，要联系设计人员修改图纸后实施。

因道岔结构、交叉渡线等因素限制客观存在的“死区段”，无法彻底消除，也要复查绝缘设置位置是否符合标准，是否存在“死区段”长度过长的问

题，需要修改设计后进行整治。同时，要研判分路不良区段及无受电分支轨道电路风险，对分路不良区段定期进行检查测试登记，无受电分支保证各连接线作用良好，根据现场运用需要增设受电分支可以解决全程断轨检查，实现分路检查及全进路发码的需要。

#### 4.3 完善规章制度

设备管理单位无法消除的“死区段”要及时函告运输部门。

对经过“死区段”的接/发列车及调车作业，运输部门要严格执行《铁路技术管理规程》相关要求，确认“死区段”有无车辆及作业车停留，不得臆测行车。

对受站场条件限制客观存在的“死区段”，由各铁路局集团公司相关部门在行规等规章制度中明确相应卡控措施，禁止在“死区段”处所停留各种机车、车辆及各种作业车，并要求运输部门纳入车站《站细》严格管理，防止事故发生，减少区段闪红对正常运输秩序的影响。

### 5 结语

通过上述分析可知，因受站场条件限制等特殊场景影响，现场实际运用中会出现无法完全消除的轨道电路“死区段”，但通过修改设计缩短“死区段”绝对长度等技术改进能彻底解决这一固有现象和缺陷，在设计、施工、验收和维修运营中，参照上述措施和建议执行，能确保行车效率和安全。

#### 参考文献

[1] 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.
- [2] 中国铁路总公司. 普速铁路信号维护规则: 铁总运 [2015]238 号 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [3] 中国铁路总公司. 高速铁路信号维护规则: 铁总运 [2015]322 号 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [4] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程 (普速铁路部分): 铁总科技 [2017]221 号 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [5] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程 (高速铁路部分): 铁总科技 [2017]221 号 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [6] 王永信. 车站信号自动控制 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [7] 北京铁路局. ZPW-2000A 型自动闭塞设备知识问答与故障案例 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [8] 田卫东. 地铁车辆段信号系统轨道电路“死区段”处理方式分析 [J]. 电气应用, 2016, 35 (17): 73-76.
- Tian Weidong. Analysis of “Dead Section” Processing Mode of Track Circuit in Metro Depot Signal System[J]. Electrotechnical Application, 2016, 35(17): 73-76.
- [9] 谢文磊, 李言. ZPW-2000A 轨道电路占用丢失问题的分析与探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (9): 104-106, 111.
- Xie Wenlei, Li Yan. Analysis and Discussion of Loss of Occupancy of ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 104-106, 111.
- \*\*\*\*\*
- (上接 85页)
- Lan Xing. Design of Interface of Signaling System to Platform Screen Door[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(4): 58-59, 63.
- [3] 全众鑫. 地铁屏蔽门事故分析及风险控制研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2016, 6 (8): 982.
- Quan Zhongxin. Study on Accident Analysis and Risk Control of Subway Screen Door[J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2016, 6(8): 982.
- [4] 周洋, 李中华. 地铁屏蔽门继电器在线监测与离线检测研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (9): 77-81.
- Zhou Yang, Li Zhonghua. On-Line Monitoring and Off-Line Detection of Relays for Subway PSDS[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 77-81.
- [5] 张玉超, 张冀, 徐科军, 等. 地铁站台屏蔽门控制系统研制 [J]. 电气传动, 2012, 42 (7): 52-56.
- Zhang Yuchao, Zhang Ji, Xu Kejun, et al. Control System Development for Metro Platform Screen Door[J]. Electric Drive, 2012, 42(7): 52-56.
- [6] 胡泽新. 地铁信号系统与屏蔽门系统控制接口浅析 [J]. 科技资讯, 2013, 11 (29): 30-31, 34.
- Hu Zexin. The Control Interface of the Subway Signal System and PSD System[J]. Science & Technology Information, 2013, 11(29): 30-31, 34.
- [7] 王珩. 浅谈地铁屏蔽门电气控制系统 [J]. 地铁与轻轨, 2003, 16 (5): 52-56.
- Wang Heng. Discussion on Electrical Control System of Metro Platform Screen Doors[J]. Metro and Light Rail, 2003, 16(5): 52-56.
- [8] 吴明晖. 地铁站台屏蔽门系统隐患分析及改进研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2011, 14 (5): 55-57.
- Wu Minghui. Analysis and Improvement of the Hidden Dangers of Platform Screen Door[J]. Urban Mass Transit, 2011, 14(5): 55-57.

# 补偿电容故障对ZPW-2000A轨道电路影响分析

罗颖

(通号工程局集团北京研究设计实验中心有限公司, 北京 100070)

**摘要:** ZPW-2000A 轨道电路超过 300 m 区段需要设置补偿电容, 补偿电容可与钢轨的电感形成串联谐振, 使钢轨趋于纯阻性, 降低钢轨的阻抗, 提高钢轨上信号传输的能量。补偿电容故障后, 会影响轨道电路调整、分路、机车电流等轨道电路性能。通过轨道电路仿真计算平台, 对电容断线、电容容值下降的故障情况下, 轨道电路的性能进行定量分析, 并得到电容故障后, 轨道电路调整、分路、机车电流的变化规律。

**关键词:** 补偿电容; 断线; 容值降低; ZPW-2000A; 轨道电路

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)05-0092-05

## Analysis of Impacts of Compensation Capacitor Failure on ZPW-2000A Track Circuit

Luo Ying

(Beijing Center of Research, Design & Test Co., Ltd., China Railway Signal & Communication Engineering Bureau Group, Beijing 100070, China)

**Abstract:** The sections longer than 300 m in ZPW-2000A track circuit need to be provided with compensation capacitance, which can have series resonance with rail inductance, makes the rail tend to be purely resistive, reduces the rail impedance, and increases the rail signal transmission energy. Any fault of the compensation capacitor can affect such track circuit performance indicators as track circuit adjustment, track circuit shunt and locomotive current. Utilizing the track circuit simulation calculation platform, this paper conducts quantitative analysis on the track circuit performance under the conditions of capacitor line breakage and capacitor capacitance drop, and proposes the change rules of track circuit adjustment, track circuit shunt and locomotive current after capacitor failure.

**Keywords:** compensation capacitor; line breakage; capacitance drop; ZPW-2000A; track circuit

### 1 概述

ZPW-2000A 轨道电路主要有占用检查与机车

发码的功能, 信号在钢轨传输过程中, 需要满足机车信号感应电流的要求。钢轨等效阻抗呈感性, 信号在长区段传输时, 会存在较大的损耗, 因此通常在超过 300 m 的区段设置补偿电容。补偿电容可以使钢轨趋于纯阻性, 降低钢轨的阻抗, 提高钢轨上信号传输的能量。因此, 补偿电容故障会导致信号

收稿日期: 2022-12-12; 修回日期: 2023-03-21

作者简介: 罗颖(1987—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信信号系统, 邮箱: 13911438714@126.com。

传输受到影响。

## 2 补偿电容故障对轨道电路的影响

### 2.1 补偿电容故障模式

现场运用中补偿电容安装于室外轨枕，工作环境恶劣，故障情况时有发生。结合现场补偿电容故障反馈和 EN50129 中对电容故障模式的规定，补偿电容主要有短路、开路、容值下降 3 种故障模式，而其中短路故障模式下轨道电路会直接表现为红光带，因此本文选择补偿电容断线、容值下降两种故障模式进行分析。

本文对无故障和每次一个电容故障进行比对，具体包含故障情况如下。

- 1) 第 1 个电容断线、第 2 个电容断线……第  $n$  个电容断线；
- 2) 第 1 个电容降低 50%、第 2 个电容降低 50%……第  $n$  个电容降低 50%。

使用 Matlab 软件，搭建轨道电路传输仿真模型，遍历各种系统配置和应用场景，对补偿电容故障后轨道电路调整、分路、机车电流等轨道电路性

能进行定量计算分析。

具体仿真条件包含组合：客专区间（区段长度 1 400 m）、普速区间（区段长度 1 400 m）、站内无选频（区段长度 650 m）、站内有选频（区段长度 650 m）。对于同一种故障，每种轨道电路类型选择载频最大、电压电流变化较为明显的 2 600 Hz 情况进行图形呈现，其他频率的变化整理总结在变化比例汇总表中。

### 2.2 补偿电容断线故障分析

#### 1) 客专区间

电容断线故障后的变化曲线如图 1 所示。不同位置电容断线后，主轨出调整电压呈下降、机车电流上升、分路残压上升、小轨道电压变化的现象。

#### 2) 普速区间

电容断线故障后的变化曲线如图 2 所示。不同位置电容断线后，主轨出调整电压呈下降、最小机车电流上升、分路残压下降、小轨道电压变化的现象。

#### 3) 站内无选频

电容断线故障后的变化曲线如图 3 所示。不同

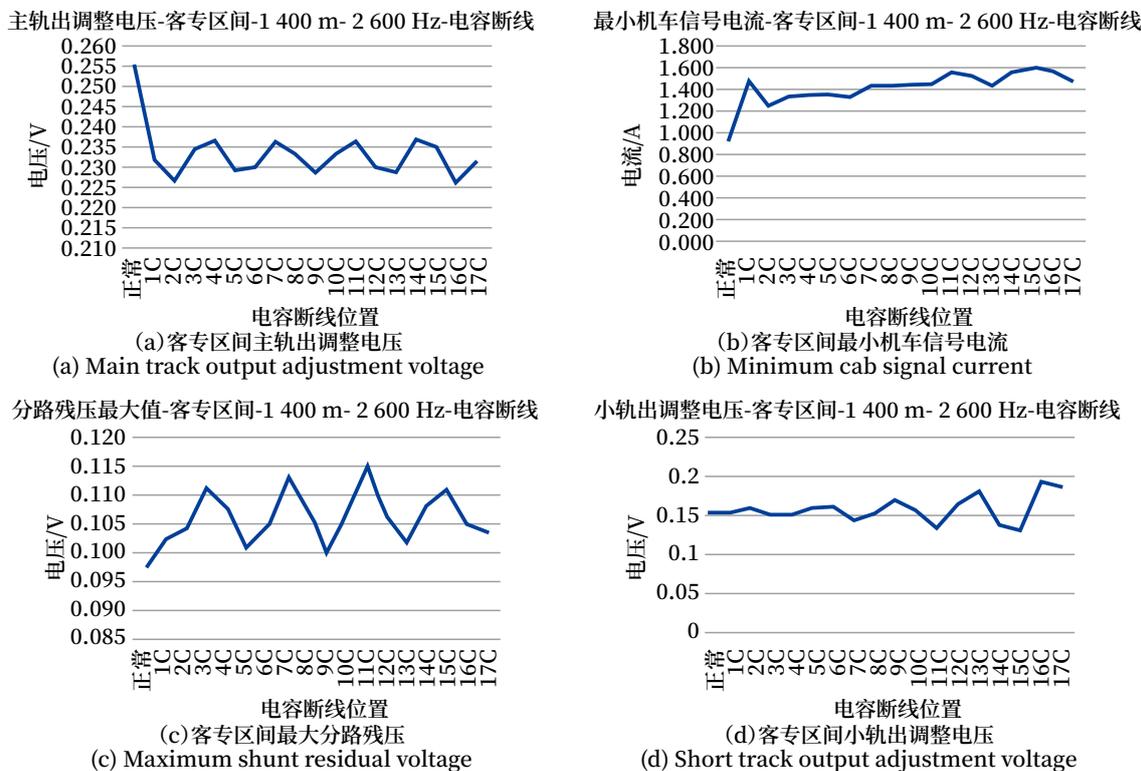
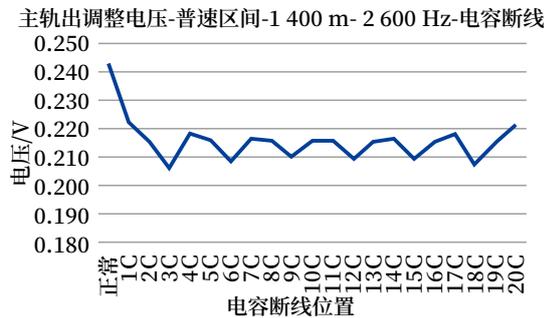
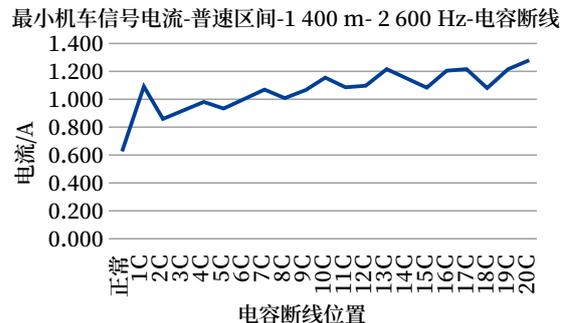


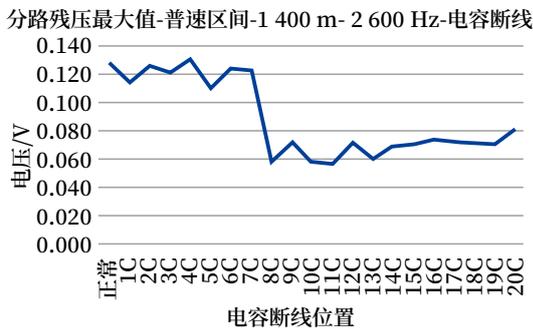
图1 客专区间电容断线曲线  
Fig.1 Curves after capacitor line breakage for open line sections of passenger dedicated line



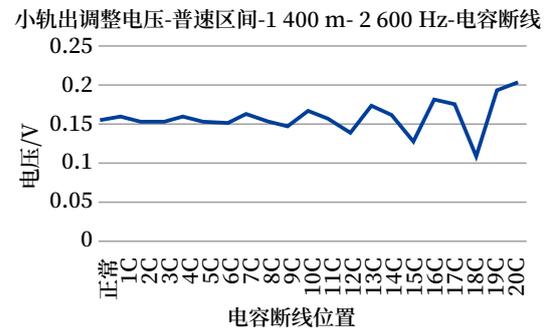
(a) Main track output adjustment voltage



(b) Minimum cab signal current



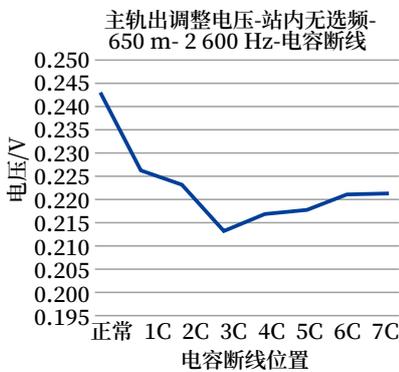
(c) Maximum shunt residual voltage



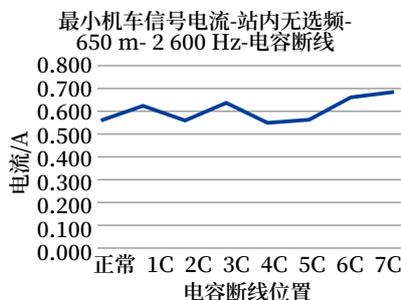
(d) Short track output adjustment voltage

图2 普速区间电容断线故障曲线

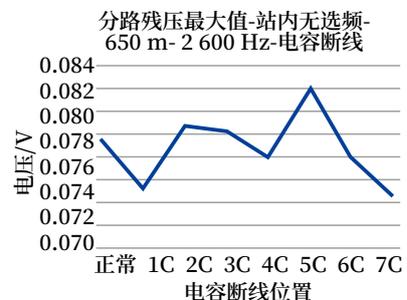
Fig.2 Curves after capacitor line breakage for open line sections of normal speed railway



(a) Main track output adjustment voltage



(b) Cab signal current-shunt residual voltage (capacitor wire breakage)



(c) Maximum shunt residual voltage

图3 站内无选频区段电容断线曲线

Fig.3 Curves after capacitor line breakage for station sections without frequency selection

位置电容断线后，主轨出电压变化、最小机车信号电流上升、分路残压上升的变化现象。

#### 4) 站内有选频

电容断线故障后的变化曲线如图 4 所示。不同位置电容断线后，主轨出电压下降、最小机车信号电流下降、分路残压上升的变化现象。

#### 5) 变化比例汇总

遍历所有频率，不同区段长度补偿电容断线故障后，轨道电路调整、分路、机车电流等轨道电路性能变化如表 1 所示。

### 2.3 补偿电容容值降低故障分析

容值下降 50% 故障相比于完全断线故障，故障后变化规律相似但影响程度减弱。

#### 1) 客专区间

表1 补偿电容断线故障调整分路状态

Tab.1 Shunt state adjustment after compensation capacitor line breakage

评估指标	客专区段	普速区间	站内无选频	站内有选频
调整电压	↓ 11.6%	↓ 23.8%	↑ 4% ↓ 18.9%	↑ 5.0% ↓ 20.3%
机车信号电流最小值	↑ 83.4% ↓ 19.3%	↑ 96.9% ↓ 24.5%	↑ 31.1% ↓ 21.5%	↑ 0.6% ↓ 38.4%
分路残压最大值	↑ 30.3% ↓ 18.4% <153mV	↑ 31.7% ↓ 26.6% <153mV	↑ 41.7% ↓ 18.8% <153mV	↑ 26% ↓ 33.9% <153mV
小轨电压	↑ 28.9% ↓ 21.5%	↑ 45.7% ↓ 33.8%	—	—

注：“↑↓”表示补偿电容断线后，轨道电路性能指标的增减幅度变化结果范围。

电容容值降低后，主轨出调整电压有升有降，最小机车电流上升，分路残压有升有降但都在153 mV 落下门限以下，小轨道电压有升有降无明显规律。

#### 2) 普速区间

电容容值降低后，主轨出调整电压呈下降趋势，最小机车电流上升，分路残压呈下降趋势，小轨道电压有升有降无明显规律。

#### 3) 站内无选频

电容容值降低故障后，主轨出电压呈下降趋势，最小机车信号上升，分路残压有升有降，但分路残压均在153 mV 落下门限以下。

#### 4) 站内有选频

电容容值降低故障后，主轨出电压呈下降趋势，最小机车信号电流会下降，分路残压呈上升趋势，但分路残压均在153 mV 落下门限以下。

#### 5) 变化比例汇总

遍历所有频率，不同区段长度时补偿电容容值降低故障后，轨道电路调整、分路、机车电流等轨道电路性能变化如表2所示。

### 3 结论

通过补偿电容故障后与正常情况相比可以发现，电容断线与电容容值下降相比，变化规律相似，影响更剧烈。电容故障后调整电压主要呈下降趋势，最大下降约23.8%；分路残压有升有降，最大上升

表2 补偿电容容值降低故障调整分路状态

Tab.2 Shunt state adjustment after compensation capacitor capacitance drop

评估指标	客专区间	普速区间	站内无选频	站内有选频
调整电压	↓ 4.0%	↓ 9%	↑ 3.9% ↓ 8%	↑ 4.1% ↓ 9.3%
机车信号电流最小值	↑ 95.4% ↓ 4.1%	↑ 112% ↓ 0.6%	↑ 45.4% ↓ 4.6%	↑ 0.6% ↓ 38.4%
分路残压最大值	↑ 15.3% ↓ 9.1% <153 mV	↑ 19% ↓ 15% <153 mV	↑ 26.6% ↓ 14.3% <153 mV	↑ 17.6% ↓ 17% <153 mV
小轨电压	↑ 14.3% ↓ 11.9%	↑ 30% ↓ 18.9%	—	—

注：“↑↓”表示补偿电容断线后，轨道电路性能指标的增减幅度变化结果范围。

31.7%，但均在153 mV 落下门限以下；机车信号电流有升有降，除站内有选频外均能满足机车信号电流要求；区间小轨电压有升有降，变化比例最大约42%。

通过仿真分析可以看出，补偿电容故障对轨道电路传输性能的影响与区段配置有关，无明显线型关系，不能根据某一轨道电路参数变化推断电容故障情况。因此在现场维护过程中，维护人员需要对补偿电容的容值进行定期的测量，对于存在故障的电容，应及时更换。

#### 参考文献

- [1] 中国铁路总公司. ZPW-2000A型无绝缘移频自动闭塞系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [2] 中国铁路总公司. 高速铁路信号维护规则-技术标准部分[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [3] 李文海. ZPW-2000A移频自动闭塞系统原理、维护和故障处理[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [4] Yang Yixuan, Qiao Zhichao, Yin Huiyuan, et al. Influence of Temperature on the Transmission Performance of Track Circuit in High-speed Railway[C]. 2018 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering, ICFMCE, 2018.

[5] 龙真真, 王锐东, 刘鸿恩. ZPW-2000K 轨道电路补偿电容相关问题研究 [J]. 通信电源技术, 2020, 37 (11): 29-31.

Long Zhenzhen, Wang Ruidong, Liu Hongen. Research on Compensation Capacitance of ZPW-2000K Track Circuit[J]. Telecom Power Technology, 2020, 37(11): 29-31.

[6] 韩雅芳. 补偿电容断线对轨道电路工作状态的影响研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 ( Z1 ): 128-131.

Han Yafang. Influence of Compensation Capacitor

Disconnection on Working State of Track Circuits[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(Z1): 128-131.

[7] 温术来, 于树永, 赵寰宇, 等. ZPW-2000A 轨道电路中补偿电容故障问题研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (10): 91-95.

Wen Shulai, Yu Shuyong, Zhao Huanyu, et al. Research on Compensation Capacitor Fault in ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 91-95.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### 波罗的海铁路公司信号系统招标项目收到五投标文件

波罗的海铁路公司 (Rail Baltica) 的波罗的海铁路控制—命令—信号系统项目 (CCSRB Rail) 宣布, 共有 5 个跨国公司和联合体提交申请, 将会参加波罗的海铁路公司 CCS (控制—指挥和信号) 系统招标第一阶段。

这个设计—施工项目的采购流程分为两个阶段, 并且包括谈判, 预计 2024 年年中签署合同。

5 个投标方包括: 德国 GTS 有限责任公司 (德国); 日立铁路信号和交通系统股份公司 (Hitachi Rail STS S.P.A.) (意大利); 由 Indra Sistemas 公司和 AŽD Praha 公司组成的联合体 (西班牙和捷克共和国); “波罗的海 SKGN” 联合体, 包括西门子交通集团拉托维亚公司、西门子交通集团有限责任公司、GRK Suomi 公司、NRC 集团芬兰公司和控创交通集团有限责任公司 (Kontron Transportation GmbH) (拉托维亚、德国、芬兰和奥地利); “阿尔斯通—COBRA—FIMA” 联合体, 包括阿尔斯通交通集团、阿尔斯通波罗的海公司、Cobra 设施和服务公司 (Cobra Instalaciones y Servicios) 和 Fima KZA Krakow 公司 (法国、拉托维亚和西班牙)。

波罗的海铁路公司系统和运营部部长让·马克·贝德马尔 (Jean Marc-Bedmar) 表示, “鉴于这项战略性活动的复杂程度、范围和重要意义, 我们非常高兴看到最为富有经验的国际市场参与者广泛参与这个项目。我们正在努力在经过波罗的海 3 国的全长 870 km 的波罗的海干线铁路上建设一体化可互联互通的铁路子系统。”

波罗的海铁路公司的 CCS 子系统部署项目的技术范围包括 ETCS 系统、FRMCS 系统、联锁和闭塞系统、交通管理系统、信息和通信技术 (ICT) 系统, 其中包括数据传输网络、语音通信系统、网络安全系统、用于铁路运营通信的配套系统、监测应用和 SCADA 系统。这个项目还包括车站设备, 其中包括旅客信息系统、CCTV 系统、主时钟系统、票务系统、一些车站的站台屏蔽门系统、用于 CCS 子系统的非牵引供电系统、所有系统的电缆系统, 以及技术楼宇 / 建筑。

针对这个项目, 2023 年 1 月启动招标, 2022 年波罗的海铁路公司与由赛思达公司 (Systra)、伊塔佛公司 (Italferr) 和爱集思公司 (Egis) 组成的联合体签署价值 3 230 万欧元的合同, 这个合同涉及部署 CCS 系统的工程和管理服务。

欧盟将会通过连接欧洲基金 (CEF) 提供共同融资, 出资额为整个合理成本的 85%, 波罗的海 3 国——爱沙尼亚、拉托维亚和立陶宛——将会提供剩余融资。

(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 2023-04-05)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.05.020

# 新型铁路信号继电器重锤片的研制

李学强

(西安铁路信号有限责任公司, 西安 710199)

**摘要:** 重锤片是铁路信号继电器磁路系统衔铁组件中的一个零件, 在继电器的机械负载和磁路平衡中起着配重的作用, 用于保证继电器衔铁可靠落下。通过对比原重锤片的结构尺寸及材料, 结合新工艺技术对重锤片的结构尺寸及材料重新研制, 主要从重锤片研制的设计输入、理论计算、实物验证等内容, 并对重锤片研制前后的实物进行对比分析。新型重锤片的成功研制将提高重锤片零件的防腐性能及应用环境, 彻底取消电镀工序对环境质量的影响, 同时提高零件的生产效率, 缩短产品的生产周期。

**关键词:** 信号继电器; 铁路信号; 重锤片; 奥氏体不锈钢; 冷轧低碳钢带

中图分类号: U284.71 文献标志码: A 文章编号: 1673-4440(2023)05-0097-04

## Development of New Heavy Hammer Piece for Railway Signal Relay

Li Xueqiang

(Xi'an Railway Signal Co., Ltd., Xi'an 710199, China)

**Abstract:** The heavy hammer, as a part of the armature assembly of the magnetic circuit system of the railway signal relay, plays the role of counterweight in the mechanical load and magnetic circuit balance of the relay to ensure the reliable falling of the relay armature. By analyzing the structural dimensions and material of the existing heavy hammer pieces, and considering the new process technology, this paper proposes the structural dimensions and material of a new heavy hammer piece. It focuses on the design input, theoretical calculation and physical verification of the heavy hammer piece, and carries out comparative analysis on the physical objects before and after the development work. The successful development of the new heavy hammer piece will improve the anti-corrosion performance and application environment of heavy hammer parts, completely eliminate the impacts of the electroplating process on environmental quality, improve the production efficiency of parts, and shorten the production cycle of products.

**Keywords:** signal relay; railway signaling; heavy hammer piece; austenitic stainless steel; cold rolled low carbon steel strip

收稿日期: 2022-12-12; 修回日期: 2023-03-21

基金项目: 西安铁路信号有限责任公司科研项目(2600-K1220022)

作者简介: 李学强(1985—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号继电器的产品研发和生产制造, 邮箱: 395034368@qq.com。

### 1 概述

铁路信号继电器大量应用在铁路轨道交通控制系统中, 其可靠性及安全性是保证轨道交通自动控

制、远程控制信号设备正常工作的必要条件。重锤片是铁路信号继电器磁路系统衔铁组件中的一个零件，在继电器的机械负载和磁路平衡中起着配重的作用，用于保证继电器衔铁可靠落下，即动合接点（前接点）可靠断开。其重锤片是用冷轧低碳钢带 DC01 经冷冲压加工而成，表面经过电镀处理以提高零件防腐性能，按一定的方式组合在一起，然后铆接在衔铁上构成衔铁组件半成品。

随着国内轨道交通控制系统以及国内科技工业的高速发展，对铁路信号继电器产品质量和产能提出新的要求。随着对环保意识的不断增强，有必要对电镀零件进行一次技术革新，从而有效提升产品的环境适应能力。

## 2 设计依据及选材

重锤片的材料为冷轧低碳钢带 DC01，执行标准为 GB/T 5213-2019 冷轧低碳钢板及钢带。有两种重锤片，其区别仅仅是厚度尺寸不同而已，厚度尺寸分别是  $A = 1.5 \pm 0.07 \text{ mm}$ 、 $B = 1 \pm 0.045 \text{ mm}$ ，其单件的重量分别约为 15 g、10 g。根据各种继电器的接点系统及磁路系统的需求，每种继电器所需要的重锤片数量会有差异。经统计，目前现有继电器重锤片的组合可以归纳为 3 类，分别为 A2（2 个 1.5 mm 重锤片，组件厚度为 3 mm），A5（5 个 1.5 mm 重锤片，组件厚度为 7.5 mm），A4B2（4 个 1.5 mm 重锤片和 2 个 1 mm，组件厚度为 8 mm）。表面处理为电镀彩锌 Fe/Ep.Zn12.c2C.S，在试验温度为  $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 、试验时间为 16 h 的条件下，其防腐性能必须达到盐雾耐腐蚀等级二级的要求。

根据上述设计依据以及国内工业发展的情况，结合生产工艺水平的实际情况，优先选用环保性好、通用性强、最为常见的 304 不锈钢作为重锤片的材料，其对应国产不锈钢牌号为 06Cr19Ni10。此不锈钢属于奥氏体不锈钢，基体以面心立方晶体结构奥氏体组织（ $\gamma$  相）为主，无磁性，具有加工性能好、韧性高等特点，执行标准为 GB/T3280-2015 不锈钢冷轧钢板和钢带，这样可以彻底解决由于电镀

工序对环境质量的影响。材料的厚度选 0.5 mm，厚度偏差为  $\pm 0.02 \text{ mm}$ ，这样可以通过一种重锤片的多片组合方式代替两种重锤片，也可满足 3 类重锤片的组合，尤其是在后续生产时仅备一种规格的材料、仅用一副冷冲压模具就可以满足生产加工的要求，有利于降低生产及管理成本。加工方式依旧采用冷冲压加工工艺，并将冷冲压叠铆技术应用到生产中，可以通过一副冷冲压模具实现加工 3 类重锤片组件的目的，实则通过此模具可以调整重锤片组件叠铆的数量，从而提高零件的生产柔性，也为后续继电器新产品的研发奠定基础。

## 3 设计计算

通过上述设计依据和选材可以得出，两种材料的比重不一样。经查冷轧低碳钢钢带 DC01 为  $7.85 \text{ kg/m}^3$ ，不锈钢带 06Cr19Ni10 为  $7.93 \text{ kg/m}^3$ 。选择不锈钢做为重锤片的材料，必然会使重锤片的单片重量增加，因此必须对重锤片的结构尺寸进行优化设计，使重锤片的重量在研制设计前、后保持一致。

综上所述，将重锤片  $4 \times 31$  的槽口根部尖角研制为 R2 的圆弧，有利于生产加工，延长模具冲头的寿命，降低模具维修成本。将过拉轴的导向孔径由  $\phi 3.2$  改为  $\phi 4.5$ 。材料的厚度选 0.5 mm，厚度偏差为  $\pm 0.02 \text{ mm}$ ，此公差在不锈钢轧制行业内为普通的工业水平，不会因此要求而增加生产难度。其余的结构尺寸均不做变动。研制前、后重锤片的结构如图 1、2 所示。

按这种结构方式研制后，重锤片的重量基本保持不变，考虑材料厚度偏差对零件和组件的重量以及厚度尺寸对产品影响，特对研制前、后的重锤片重量、重锤片组件的重量和厚度尺寸进行理论计算，具体如表 1～3 所示。

通过表 1～3 可以看出，设计研制后重锤片组件的基准重量、基准厚度尺寸和原设计保持一致，其中基准重量的差异均在毫克级别，最大差值为 0.06g。由厚度偏差所产生的重量和厚度尺寸波动范围均小于研制前，这样可以使组件的一致性较集中，有利于后续生产以及产品的组装调试，故认为此设计研制方案可行。

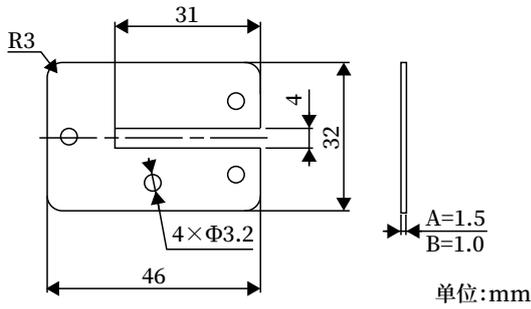


图1 研制前重锤片结构

Fig.1 Structure of heavy hammer piece before development work

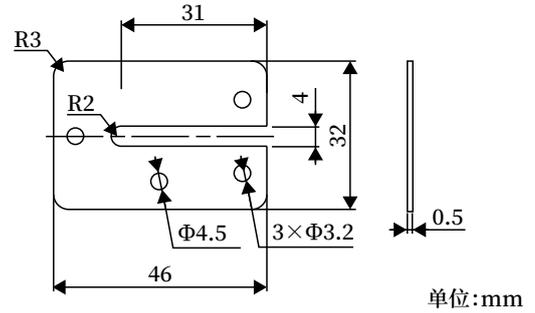


图2 研制后重锤片结构

Fig.2 Structure of heavy hammer piece after development work

表1 重锤片重量对比计算

Tab.1 Weight comparison calculation of heavy hammer piece

序号	材料牌号	下限重量 /g	基准重量 /g	上限重量 /g	厚度偏差	备注
1	DC01	14.684 1	15.403 0	16.121 8	±0.07	厚度 A=1.5 mm ; 1 件
2	DC01	9.806 5	10.268 6	10.730 7	±0.045	厚度 B=1.0 mm ; 1 件
3	06Cr19Ni10	4.925 4	5.130 6	5.335 8	±0.02	厚度为 0.5 mm ; 1 件
		9.850 7	10.261 2	10.671 6		厚度为 0.5 mm ; 2 件
		14.776 1	15.391 8	16.007 4		厚度为 0.5 mm ; 3 件

表2 重锤片组件重量对比计算

Tab.2 Weight comparison calculation of heavy hammer plate assembly

序号	材料牌号	组合方式数量 / 件	下限重量 /g	基准重量 /g	上限重量 /g	厚度偏差
1	DC01	A4B2	78.350 0	82.149 0	85.948 0	A : ±0.07 B : ±0.045
		A5	73.421 0	77.015 0	80.609 0	±0.07
		A2	29.368 0	30.806 0	32.244 0	±0.07
2	06Cr19Ni10	A4B2/16	78.805 8	82.089 4	85.372 9	±0.02
		A5/15	73.880 4	76.958 8	80.037 1	
		A2/6	29.552 2	30.783 5	32.014 9	

表3 材料厚度偏差对重锤片组件厚度的影响分析

Tab.3 Analysis of impacts of material thickness deviation on thickness of heavy hammer piece assembly

序号	材料牌号	组合方式数量 / 件	下限厚度 /mm	基准厚度 /mm	上限厚度 /mm	厚度偏差
1	DC01	A4B2	7.63	8	8.37	A : ±0.07 B : ±0.045
		A5	7.15	7.5	7.85	±0.07
		A2	2.86	3	3.14	±0.07
2	06Cr19Ni10	A4B2/16	7.68	8	8.32	±0.02
		A5/15	7.2	7.5	7.8	
		A2/6	2.88	3	3.12	

#### 4 样件验证及对比分析

通过上述设计计算后,按照设计研制后的重锤片设计方案制作冷冲压叠铆模具,经过冷冲压加工后,取样 100 件,按产品试制抽样方案随机抽取 10 件,对

研制后的 3 类重锤片组件进行实物称重、厚度测量,然后对试验数据进行对比分析,具体如表 4、5 所示。

通过表 4、5 可以看出,研制后 3 类重锤片组件的实物重量和厚度尺寸测量值和理论设计基准值相比均略大,均在设计计算范围内且未超出上限值,

表4 研制后重锤片组件的重量

Tab.4 Weight of heavy hammer piece assembly after development

序号	组合方式 / 数量	样件重量 /g									
		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
1	A4B2/16	82.6	82.5	82.7	82.9	82.6	82.9	82.5	82.7	82.5	82.7
2	A5/15	77.4	77.6	77.7	77.3	77.3	77.6	77.6	77.6	77.8	77.6
3	A2/6	31.1	31.2	30.9	30.9	31.3	30.8	30.7	31.0	31.2	30.9

表5 研制后重锤片组件的厚度

Tab.5 Thickness of heavy hammer piece assembly after development

序号	组合方式 / 数量	样件厚度 /mm									
		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
1	A4B2/16	8.05	8.06	8.05	8.09	8.06	8.06	8.02	8.02	8.01	8.08
2	A5/15	7.54	7.56	7.54	7.56	7.58	7.52	7.51	7.55	7.54	7.57
3	A2/6	3.05	3.02	3.04	2.99	3.04	3.03	3.02	3.02	3.01	3.02

能满足产品设计要求。

## 5 结束语

通过优化铁路信号继电器重锤片的结构、样件试制、实物称重及厚度尺寸测量试验，以及对研制前、后数据的分析，充分证明此次设计研制是在保证原产品设计要求不变的前提下优化提升重锤片的零件质量及加工工艺性，符合信号继电器产品设计要求。设计研制后彻底取消了电镀工序对环境质量的影响，尤其在设计之初就将新技术、新工艺方法、降本增效等理念应用到零件设计中，从而为后续的高效率、低成本、自动化生产奠定了坚实基础。

### 参考文献

[1] 胡耀华. 信号继电器及检修(上册)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.  
 [2] 王文学. 信号继电器及检修(中册)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1900.  
 [3] 李毓鼎, 郑胡德. 信号继电器设计[M]. 北京: 人民铁道出版社, 1980.  
 [4] 甘永立. 几何量公差与检测[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.  
 [5] 杨美君. 联锁驱动继电器动作时序对低频码的影响及优化分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 13-18.  
 Yang Meijun. Influence of Interlocking Drive

Relay Actions on Low-frequency Codes and Its Optimization Analysis[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 13-18.

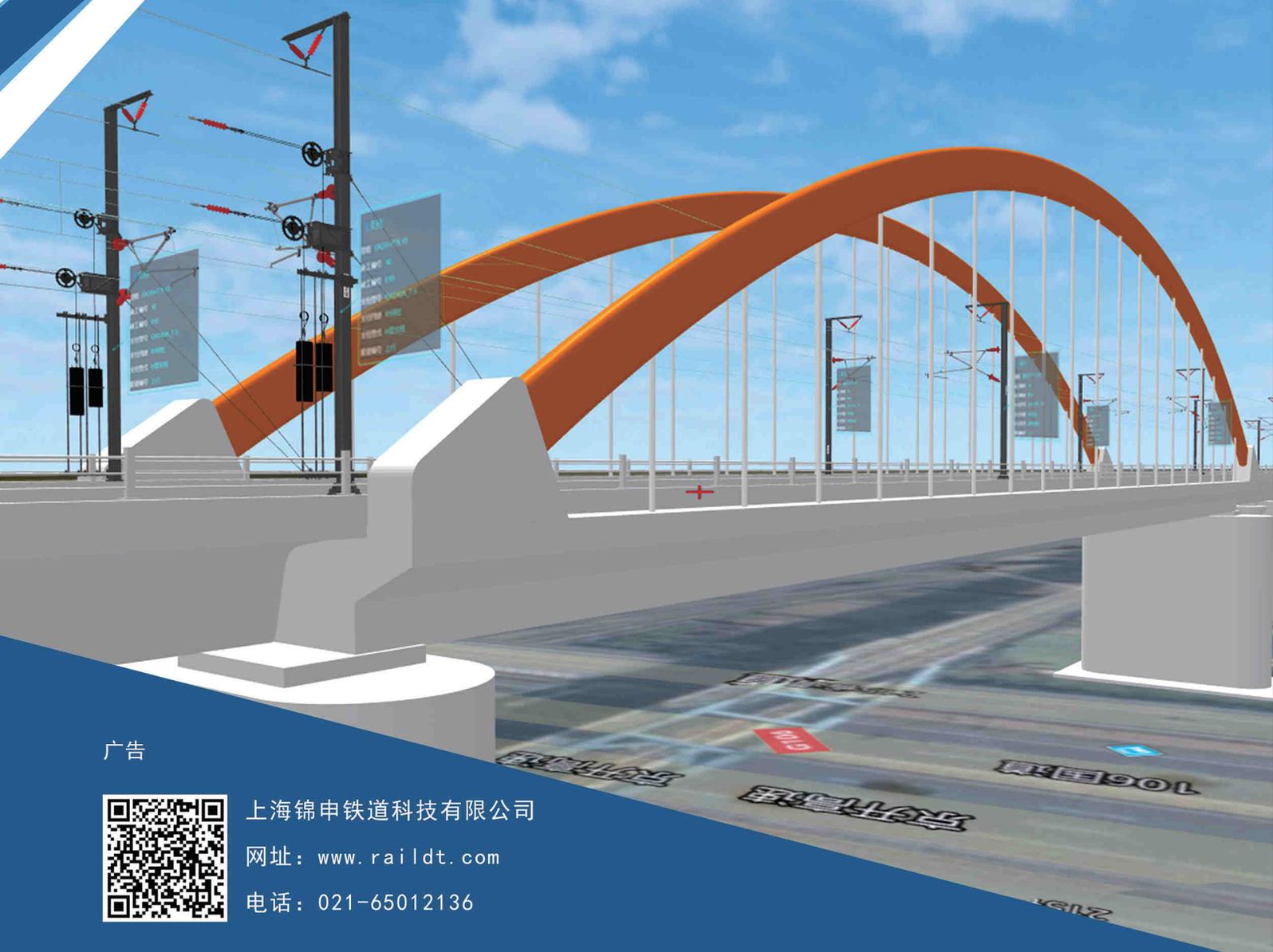
[6] 周远. 继电器逻辑检查设备实现远程控制的改造方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(6): 92-95.  
 Zhou Yuan. Transformation Plan for Remote Control of Relay Logic Check Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 92-95.  
 [7] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 铁路信号继电器试验方法: GB/T 6902-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.  
 [8] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 铁路信号AX系列继电器: GB/T 7417-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.  
 [9] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 冷轧低碳钢板及钢带: GB/T 5213-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.  
 [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. 冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差: GB/T 708-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.  
 [11] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 不锈钢冷轧钢板和钢带: GB/T 3280-2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.



# 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](http://www.raildt.com)

电话: 021-65012136



焦作铁路电缆有限责任公司  
Jiaozuo Railway Cable Co., Ltd.

## 轨道交通用电线电缆

国内轨道交通电线电缆核心供应商。五十多年生产经历。主要产品：信号电缆、贯通地线、漏泄同轴电缆、射频电缆、长途对称通信电缆、27.5kV 电气化铁路电缆、35kV 高压电缆、直流电缆、低压电力电缆、控制电缆、电线。

### 产品

#### 覆盖领域

**高速铁路：**秦沈客专、武广客专、京沪客专、广深港客专、哈大客专、京沈客专、东南沿海客专、青太客专、徐兰客专、沪汉蓉客专、京福高铁、沪昆客专、西成客专、云桂客专、贵广客专、京津城际、川藏铁路、兰新铁路、沪宁城际、沪杭城际……

**地铁轻轨：**沈阳地铁轻轨、北京地铁、上海地铁、广州地铁、深圳地铁、武汉地铁、西安地铁、重庆地铁、成都地铁、合肥地铁、郑州地铁……

**国家基础设施建设：**长沙机场、沈阳机场、新郑机场、国家电网。

**电信运营商：**中国移动、中国电信、中国联通、铁塔公司。

**海外市场：**英国、挪威、加拿大、澳大利亚、以色列、土耳其、韩国、泰国、柬埔寨、印度、尼日利亚、肯尼亚……

### 技术

#### 领先

国家高新技术企业，全国电子信息行业优秀创新企业，国家“质量信誉最佳企业”，国家安全质量标准化二级企业，全国精神文明建设先进单位，河南省科技型企业，焦作市智能制造推进联盟理事长单位，河南省企业技术中心。起草多项信号电缆、漏泄电缆、贯通地线行业标准，获得五十多项专利技术。

### 焦作铁路电缆有限责任公司

地址：中国河南省焦作市站前路 8 号

电话：0391-2632323

网址：<http://thjl.crsc.cn>

### Jiaozuo Railway Cable Co., Ltd

Address: No.8 Zhanqian Road, Jiaozuo, Henan Province, P.R.China

Phone: +86-391-2632323

Website: <http://thjl.crsc.cn>



广告

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U



<https://rsce.crscd.com.cn>  
扫码打开期刊官网，  
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

0 5 >

邮发代号: 80-532 国内定价: 10元/期