

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. 9 第20卷 总第153期



运达科技

股票代码: 300440

致力于为轨道交通业务领域
提供智能化解决方案及服务



国铁安全联锁监控系统



联系电话
028 8283 9999

地址: 四川省成都市高新区西部园区康强四路99号
网址: <http://www.yd-tec.com>
邮箱: gtbg@yunda-tec.com

铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

主管单位 Administrated by:

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

主办单位 Sponsored by:

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

主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

责任编辑 Editor in Charge:

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

网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

英文编辑 English Editor:

王锦 Wang Jin

编辑出版 Edited and Published by:

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

地址 Address

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

邮编: 100070 Postcode: 100070

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

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

编辑电话 Edition Tel:

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

广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

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

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

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

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

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

广告代理 Advertising Agency:

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

印刷 Printed by:

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

广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第20卷第9期总第153期 Vol.20 No.9 S.No.153

出版: 2023年9月25日 Published on: 9/25/2023

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

- 动车组车尾保持场景的深度分析和优化建议
..... 徐华沙, 张超凡 1-6
- 基于UVM的应答器传输模块验证方法研究
..... 刘光宇, 马 盼, 刘肖婷, 孟博洋, 林子明 7-10
- 深圳都市圈城际铁路信号系统综合智能运维平台建设方案
..... 胡 威 11-14
- 基于TMS570的SIL4级列控系统安全平台设计
..... 裴志斌, 吕媛媛 15-18
- 铁路线路属性对信号系统的影响及解决方案
..... 谢兰英, 许海祥 19-22
- 桑梓店站信号过渡处理方案研究
..... 付 志, 张文斐 23-29

通信及信息技术

- 基于GPRS的智能高铁自动驾驶技术应用研究
..... 王军栋 30-35
- 铁路GSM-R系统核心网改造工程方案研究
..... 周海龙 36-41
- GSM-R网络分组域仿真系统关键技术研究
..... 张国振, 田宏达, 李 杰, 郭瑞彬 42-47
- 铁路车站能源管理系统集成方案设计
..... 张妍君, 赵 耀 48-53
- 一体化综合视频监控技术在南崇高速铁路的应用
..... 谢庆楚 54-60

城轨交通

- FAO互联互通系统保护区段解锁优化方案研究
..... 张楠乔, 耿 鹏 61-65
- 集中判图技术在城市轨道交通安检系统中的应用
..... 秦 柳 66-70
- 城市轨道交通信号与车辆融合控制技术研究
..... 刘小龙, 朱今朝, 龙 飞 71-76
- 人车定位系统在地铁施工中的研究与应用
..... 司福强 77-82
- 基于PRP提升CBTC车地无线通信可靠性方案研究
..... 杨 震, 邝荣华, 蔡景俏, 熊 文 83-86

技术交流

- 区间逻辑检查进站外方区段延迟解锁原因分析及对策
..... 陈 波 87-91
- 不同制式轨道电路相邻时存在问题及解决方案
..... 达兴亮 92-96
- 既有线增加区间占用逻辑检查试验方法思考
..... 苏向棋 97-100

广告索引

- 10

Railway Signalling & Communication Engineering

CONTENTS



Technological Innovation

Signalling Technology

Analysis and Optimization Suggestions for EMU Tail Speed Restriction Keeping Scenarios	Xu Huasha, Zhang Chaofan	1-6
Research on Verification Method of Balise Transmission Module Based on UVM	Liu Guangyu, Ma Pan, Liu Xiaoting, Meng Boyang, Lin Ziming	7-10
Construction Scheme of Comprehensive Intelligent Operation and Maintenance Platform for Intercity Railway Signaling System for Shenzhen Metropolitan Area.....	Hu Wei	11-14
Design of SIL4 Safety Platform for Train Control System Based on TMS570	Pei Zhibin, Lü Yuanyuan	15-18
Influence of Railway Line Attributes on Signaling System and Solutions	Xie Lanying, Xu Haixiang	19-22
Study on Signal Transition Processing Scheme of Sangzidian Station	Fu Zhi, Zhang Wenfei	23-29

Communication & Information Technologies

Application Research on Intelligent High-speed Railway ATO based on GPRS	Wang Jundong	30-35
Research on Railway GSM-R System Core Network Transformation Project Scheme	Zhou Hailong	36-41
Research on Key Technologies of Packet Domain Simulation System in GSM-R Networks	Zhang Guozhen, Tian Hongda, Li Jie, Guo Ruibin	42-47
Integrated Scheme Design of Railway Station Energy Management System	Zhang Yanjun, Zhao Yao	48-53
Application of Integrated Video Monitoring Technology in Nanning-Chongzuo High-speed Railway	Xie Qingchu	54-60



Urban Rail Transit

Overlap Release Optimization Scheme for Interoperability of FAO System	Zhang Nanqiao, Geng Peng	61-65
Application of Centralized Image Judgment Technology in Urban Rail Transit Security Check System	Qin Liu	66-70
Research on Fusion Control Technology of Urban Rail Transit Signal and Vehicle	Liu Xiaolong, Zhu Jinzhao, Long Fei	71-76
Research and Application of Man-vehicle Positioning System in Subway Construction	Si Fuqiang	77-82
Research on Improving Reliability of CBTC Train-Ground Wireless Communication Based on PRP	Yang Zhen, Kuang Ronghua, Cai Jingqiao, Xiong Wen	83-86



Technological Exchange

Cause Analysis and Countermeasures of Delay Unlocking of Section in Rear of Home Signal in Section Logic Check	Chen Bo	87-91
Problems and Solutions Caused by Different Types of Track Circuits	Da Xingliang	92-96
Thinking of Test Methods for Adding Section Occupancy Logic Check on Existing Railways	Su Xiangqi	97-100



Advertiser Index

.....		10
-------	--	----

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.001

动车组车尾保持场景的深度分析和优化建议

徐华沙¹, 张超凡²

(1. 中国国家铁路集团有限公司驻成都安全监督管理特派员办事处, 成都 610081;

2. 中国铁路南宁局集团有限公司南宁电务段, 南宁 531000)

摘要: 通过分析动车所动车组经过轮对探伤区段后车尾保持的场景, 依据相关技术规范要求, 并结合现场实际情况, 对 300T、300S 型 ATP 车载设备车尾保持情况进行分析, 详细对比两种车型不同的车尾处理逻辑, 并提出具体优化措施。

关键词: 车尾保持; 动车所; ATP; 300S; 300T

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0001-06

Analysis and Optimization Suggestions for EMU Tail Speed Restriction Keeping Scenarios

Xu Huasha¹, Zhang Chaofan²

(1. Chengdu Safety Supervision Special Office, China State Railway Group Co., Ltd., Chengdu 610081, China)

(2. Nanning Signaling & Communication Depot, China Railway Nanning Group Co., Ltd., Nanning 531000, China)

Abstract: By analyzing the tail speed restriction keeping scenarios of after EMUs pass through the wheelset inspection section, according to the relevant technical specifications, combined with the actual situation of the site, the tail speed restriction keeping of the 300S, 300T ATP onboard equipment is analyzed, the different processing logics of the two models are compared in detail, and the specific optimization measures are put forward.

Keywords: tail speed restriction keeping; EMU depot; ATP; 300S; 300T

南宁动车所至南宁东站方向咽喉区 3 条动走线分别设置有 10 m 长的轮对踏面诊断设备(简称轮对诊断区), 该区段限速 15 km/h, 长度 40 m, 而车组从股道发车至该区段限速为 30 km/h。根据《CTCS-3 级列控车载设备技术规范(暂行)》(铁运[2012]211号)中 5.7 和

7.4.3.3 节对最限制速度曲线计算和速度监控的规定, 装备 300T、300S 型 ATP 车载设备动车组进入该区段会进行降速, 而经过该区段后限速条件为 30 km/h, 故车组在经过该区段后会进行车尾保持处理。本文结合实际案例深入分析 300S、300T 型 ATP 车载设备对车尾保持的不同处理逻辑, 同时对南宁动车所轮对诊断区后的应答器位置设置提出优化建议。

收稿日期: 2023-06-06; 修回日期: 2023-09-08

第一作者: 徐华沙(1979—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 电务安全, 邮箱: 1144714674@qq.com。

1 运行场景

重联动车组 11G 发车，车组走行距离为 35 m 时，经过编号为 4184 的应答器组（出站信号机外方第一组应答器），预告前方 4 段速度变化信息：1) 前方 20 m 开始限速 30 km/h（即车组走行距离为 35 + 20 = 55 m 处），限速区段长度 468 m。2) 前方 523 m 开始限速 15 km/h（即车组走行

距离为 35 + 20 + 468 = 523 m 处），限速区段长度 40 m（即轮对诊断区）。3) 前方 563 m 开始限速 30 km/h（即车组走行距离为 35 + 20 + 468 + 40 = 563 m 处），限速区段长度 182 m。4) 前方 745 m 开始限速 40 km/h（即车组走行距离为 35 + 20 + 468 + 40 + 182 = 745 m 处），限速区段长度 2 545 m，如图 1 所示。

字段名称	字段值	字段含义	字段所占位数	解释
▼ SpeedInfo		速度信息		前方 20 m 处执行 30 km/h 限速，限速距离 $L = 468$ m
D_STATIC	20	到下一个速度变化点的距离	15	
V_STATIC	6	线路最大允许列车运行速度	7	
Q_FRONT	0	由车载设备确定头尾有效性 ……	1	
N_ITER	0	包含列车类型的数量	5	
N_ITER	4	包含速度变化点的数量	5	
▼ SpeedInfo		速度信息		前方 468 m 处执行 15 km/h 限速，限速距离 $L = 40$ m
D_STATIC	468	到下一个速度变化点的距离	15	
V_STATIC	3	线路最大允许列车运行速度	7	
Q_FRONT	0	由车载设备确定头尾有效性 ……	1	
N_ITER	0	包含列车类型的数量	5	
N_ITER	0	包含速度变化点的数量	5	
▼ SpeedInfo		速度信息		前方 40 m 处执行 30 km/h 限速，限速距离 $L = 182$ m
D_STATIC	40	到下一个速度变化点的距离	15	
V_STATIC	6	线路最大允许列车运行速度	7	
Q_FRONT	0	由车载设备确定头尾有效性 ……	1	
N_ITER	0	包含列车类型的数量	5	
N_ITER	0	包含速度变化点的数量	5	
▼ SpeedInfo		速度信息		前方 182 m 处执行 40 km/h 限速，限速距离 $L = 2 545$ m
D_STATIC	182	到下一个速度变化点的距离	15	
V_STATIC	8	线路最大允许列车运行速度	7	
Q_FRONT	0	由车载设备确定头尾有效性 ……	1	
N_ITER	0	包含列车类型的数量	5	
N_ITER	0	包含速度变化点的数量	5	
▼ SpeedInfo		速度信息		
D_STATIC	2545	到下一个速度变化点的距离	15	
V_STATIC	127	线路最大允许列车运行速度	7	

图1 4184应答器组速度区段信息
Fig.1 Speed restriction section information of balise group 4184

列车经过编号为 4101 的应答器组（越过轮对诊断区进入区间第 1 组应答器）时车组走行距离为 954 m，预告前方 2 段速度变化信息：1) 限速 40 km/h，限速区段长度 3 130 m。2) 限速 80 km/h，限速区段长度 1 465 m，如图 2 所示。

2 处理逻辑对比

结合应答器信息对 300T、300S 型 ATP 车载设备重联车组执行车尾保持动作的不同处理逻辑进行对比，如图 3 所示。

300T、300S 型 ATP 车载设备在以下方面处理

逻辑一致。

1) 车组由低速区段进入升速区段时，按最不利限速曲线（MRSP）计算车尾保持。

2) 车尾保持长度为车长 420 m（重联车组长）+ 50 m（安全距离）= 470 m。

3) 车尾保持期间，若经过应答器收到新的限速描述（静态限速 SSP、临时限速 TSR），由于 CTCS-2 系统中应答器数据采用覆盖式更新（即直接采用更新后数据，不检查与之前既有数据的一致性），则根据新限速数据重新计算 MRSP 时要考虑应答器数据更新之前的限速值。若更新之前的限速

字段名称	字段值	字段含义	字段所占位数	
▼ ETCS-27		线路速度		
NID_PACKET	27	信息包标识码	8	
Q_DIR	1	验证方向: 正向有效	2	
L_PACKET	170	信息包位数	13	
Q_SCALE	1	距离 / 长度的分辨率: 1 m	2	
▼ SpeedInfo		速度信息		
D_STATIC	0	到下一个速度变化点的距离	15	前方 0 m 处执行 40 km/h 限速, 限速距离 $L = 3\ 130$ m
V_STATIC	8	线路最大允许列车运行速度	7	
Q_FRONT	0	由车载设备确定头尾有效性 ……	1	
N_ITER	0	包含列车类型的数量	5	
N_ITER	4	包含速度变化点的数量	5	
▼ SpeedInfo		速度信息		
D_STATIC	3130	到下一个速度变化点的距离	15	前方 80 m 处执行 80 km/h 限速, 限速距离 $L = 1\ 465$ m
V_STATIC	16	线路最大允许列车运行速度	7	
Q_FRONT	0	由车载设备确定头尾有效性 ……	1	
N_ITER	0	包含列车类型的数量	5	
▼ SpeedInfo		速度信息		
D_STATIC	1465	到下一个速度变化点的距离	15	前方 1 465 m 处执行 160 km/h 限速
V_STATIC	32	线路最大允许列车运行速度	7	
Q_FRONT	0	由车载设备确定头尾有效性 ……	1	
N_ITER	0	包含列车类型的数量	5	
▼ SpeedInfo		速度信息		
▼ SpeedInfo		速度信息		

图2 4101应答器组速度区段信息

Fig.2 Speed restriction section information of balise group 4101

值低于更新后的应答器描述限速值, 则进行车尾保持, 保持的长度仍是车长 420 m (重联车组长度) + 50 m (安全距离) = 470 m。由图 3 看出, 车组在走出最低限速 15 km/h ($L = 40$ m) 后进入提速区段 (30 km/h, $L = 182$ m), 300T、300S 均按 MRSP 进行车尾保持。两者车头走出限速为 15 km/h 区段并进行车尾保持后的走行距离均为: $35 + 20 + 468 + 40 + 470 = 1\ 033$ m。

300T、300S 型 ATP 车载设备在车尾保持期间的限速更新有不同的处理逻辑。

1) 对于 4184 应答器组中第 3 条静态速度的处理

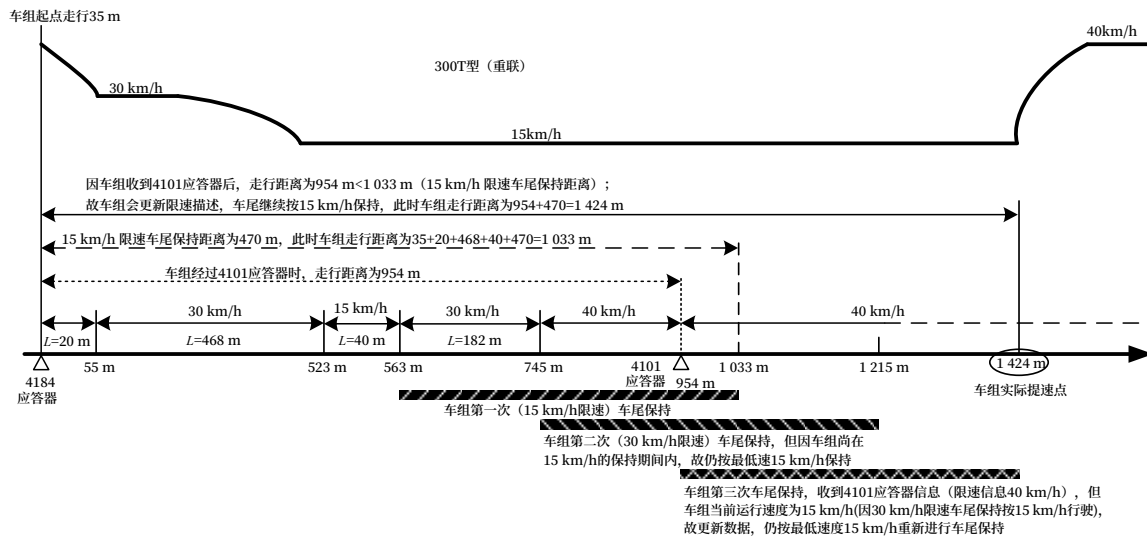
a. 300T 型车载设备处理逻辑: 因该限速区段仍在 4184 应答器第 2 条静态速度描述的 15 km/h 车尾保持期间 (30 km/h 起点为 563 m 处, 15 km/h 车尾保持结束点为 1 033 m 处), 则其虽对新限速数据重新计算 MRSP, 但因之前的限速值 (15 km/h) 低于新限速值 (30 km/h), 则 MRSP 仍按最低速度 (15 km/h) 进行车尾保持, 即忽略更新限速。

b. 300S 型车载设备处理逻辑: 车头走出限

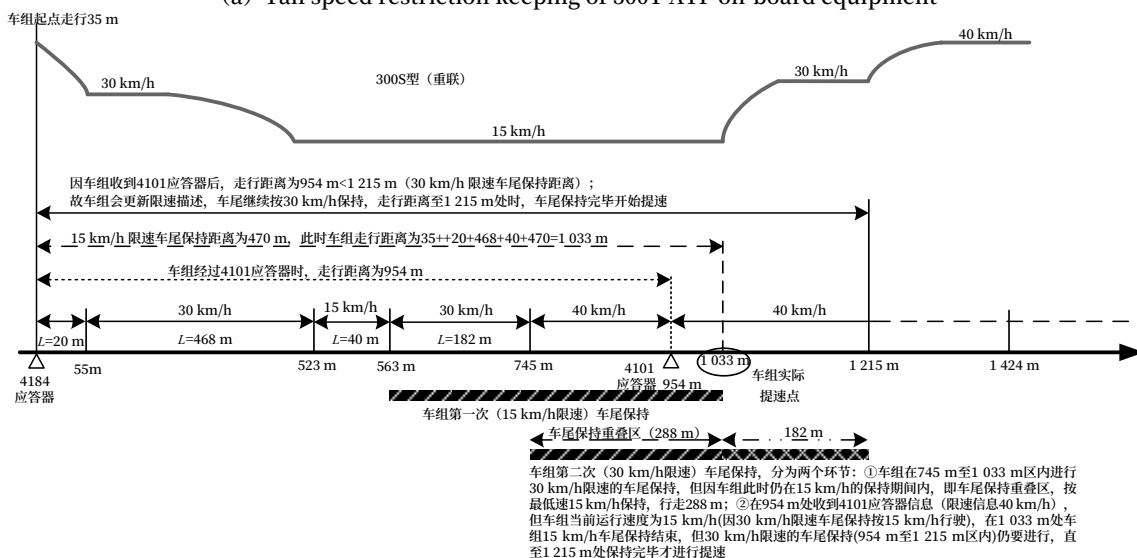
速为 15 km/h 区段 ($L = 40$ m) 后, 对新限速数据重新计算 MRSP, 但之前的限速值 (15 km/h) 低于新限速值 (30 km/h), 则 MRSP 按最低速度 (15 km/h) 进行车尾保持。当车头走出限速为 30 km/h 的区段 ($L = 182$ m) 后, 将同步进行两个车尾保持处理, 其一为 15 km/h 限速剩余的车尾保持距离 ($1\ 033 - 745 = 288$ m), 在该区段内车组按最低速度 (15 km/h) 运行; 其二为开始进行 30 km/h 限速的车尾保持。对新限速数据 (4184 应答器组中第 4 条静态速度描述) 重新计算 MRSP, 因之前的限速值 (30 km/h) 低于新限速值 (40 km/h), 则 MRSP 按最低速度 (30 km/h) 进行车尾保持。图 3 中 15 km/h 和 30 km/h 车尾保持的过程中有一段 288 m 的重叠区, 取最低限速 (15 km/h) 进行车尾保持。在车组走行至 1 033 m 处时, 15 km/h 车尾保持结束, 车组继续按 30 km/h 进行车尾保持, 故车组提速至 30 km/h。

2) 4101 应答器组中第 1 条静态速度的处理

a. 300T 型车载设备处理逻辑: 在收到 4101 应答器组描述的 40 km/h 报文处, 仍在 4184 应



(a) Tail speed restriction keeping of 300T ATP on-board equipment



(b) Tail speed restriction keeping of 300S ATP on-board equipment

图3 300T、300S型ATP车载设备车尾保持对比(重联车组)

Fig.3 Comparison of tail speed restriction keeping of 300T and 300S ATP on-board equipment (Recoupled trainset)

答器第2条静态速度描述的15 km/h车尾保持期间(40 km/h起点为954 m处, 15 km/h车尾保持结束点为1 033 m处)。则其虽对该新限速数据重新计算MRSP, 但因之前的限速值(15 km/h)低于新限速值(40 km/h), 则MRSP按最低速度(15 km/h)重新进行车尾保持。在行至1 424 m处 $954 + 470 = 1 424$ m处时车尾保持结束, 车组开始提速至40 km/h。

b. 300S型设备处理逻辑: 车头走出限速为

30 km/h区段后, 行至954 m处收到4101应答器描述的40 km/h报文, 此时车组仍在15 km/h和30 km/h的车尾保持期间。对新限速数据重新计算MRSP, 仍按最低速度(15 km/h)进行车尾保持; 行至1 033 m处时, 车组15 km/h车尾保持结束, 但此时车组还在30 km/h的车尾保持期间, 故限速提至30 km/h; 行至1 215 m处时, 车组30 km/h车尾保持结束, 车组开始提速至40 km/h。

由以上分析可知, 300S型车载设备在收到新限

速描述后升速区段的车尾保持是同时进行计算的。300T 型车载设备在收到新限速描述后,若升速区段在前一段低限速的车尾保持期间,则仍按前一段低限速重新进行车尾保持。两者对比,在本案例中升速点相差 $1\,424 - 1\,033 = 391\text{ m}$ 。

3 改进方案

结合上述分析可知,两种设备执行车尾保持动作期间接收到同一组应答器信息后,实际提速位置不同,在本案例中 300T 型设备相较于 300S 型设备要“多”行走 391 m 才进行提速。有以下 3 个建议改进方案。

3.1 方案一

两种设备对于车尾保持的处理逻辑虽不同,但均依据《CTCS-3 级列控车载设备技术规范(暂行)》(铁运[2012]211号)文件 5.7 节和 7.4.3.3 节对最限制速度曲线计算和速度监控的规定中对车尾保持的处理逻辑没有给出具体的约束要求,故不同厂家间会有所异同。而从运输效率来看,300S 型车载设备对于不同限速的车尾保持处理是同时进行计算的,能够

较快执行限速条件,效率会更高。300T 型车载设备对车尾保持处理虽进行了更严格的约束,但对运输效率会有一定影响,如本案例中 4184 应答器组中第 3 条静态速度 30 km/h 的限速条件对于该型设备而言“形同虚设”。故改进方案一是参照 300S 型车载设备对车尾保持的处理逻辑,修改 300T 型车载设备车尾保持逻辑,使两者一致。

3.2 方案二

修改地面应答器信息。在本案例中 4184 应答器组中第 3 条静态速度 30 km/h ($L = 182\text{ m}$) 的限速条件,300S 型设备实际执行起点为 $1\,033\text{ m}$ 处至 $1\,215\text{ m}$ 处结束,而 300T 型设备未按预期报文执行。故可考虑将 4184 应答器组中第 2 条静态速度 15 km/h ($L = 40\text{ m}$) 与第 3 条静态速度 30 km/h ($L = 182\text{ m}$) 信息合并修改为静态速度 15 km/h ($L = 222\text{ m}$),同时将 4101 应答器组中第 1 条静态速度 40 km/h ($L = 0\text{ m}$) 修改为静态速度 40 km/h ($L = 79\text{ m}$)。目的主要是为避免 300T 型设备的第 3 次车尾保持,而将其提前至 $1\,215\text{ m}$ 处(比之前提早 $1\,424 - 1\,215 = 209\text{ m}$),如图 4 所示。

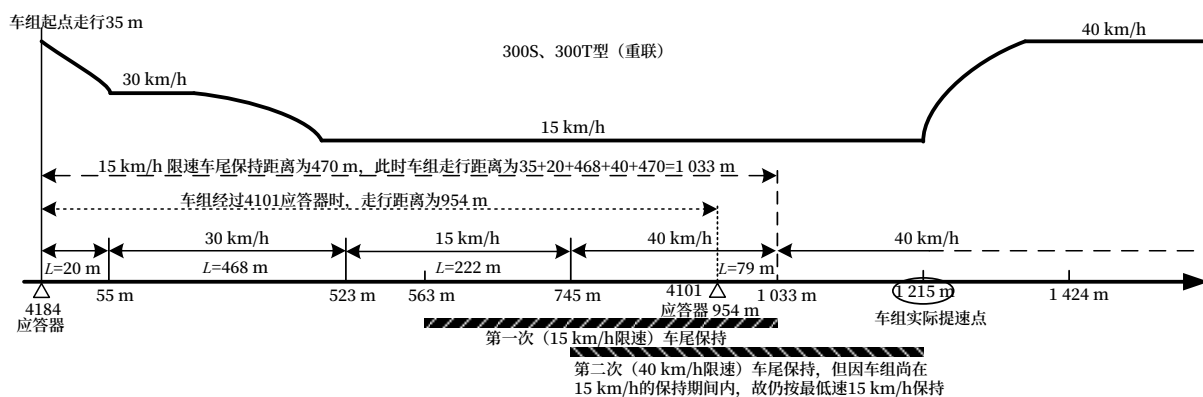


图4 改进方案二

Fig.4 Improvement plan II

3.3 方案三

修改地面应答器信息。将 4184 应答器组中第 3 条静态速度 30 km/h ($L = 182\text{ m}$) 信息与第 4 条静态速度 40 km/h 信息进行合并,统一修改为限速 40 km/h ($L = 2\,727\text{ m}$),同时将 4101 应答器组中第 1 条静态速度 40 km/h ($L = 0\text{ m}$) 修改为静态速度 40 km/h ($L = 79\text{ m}$)。

目的是为避免 300T 型设备的第 3 次车尾保持,而将其提前至 $1\,033\text{ m}$ 处(比之前提早 $1\,424 - 1\,033 = 391\text{ m}$)。修改后两种设备实际提速点可归为一致,均为 $1\,033\text{ m}$ 处,如图 5 所示。

3.4 改进方案优缺点比较

方案一:只在车载设备侧进行改进(修改软件),不涉及地面设备,相对操作比较简单。但文

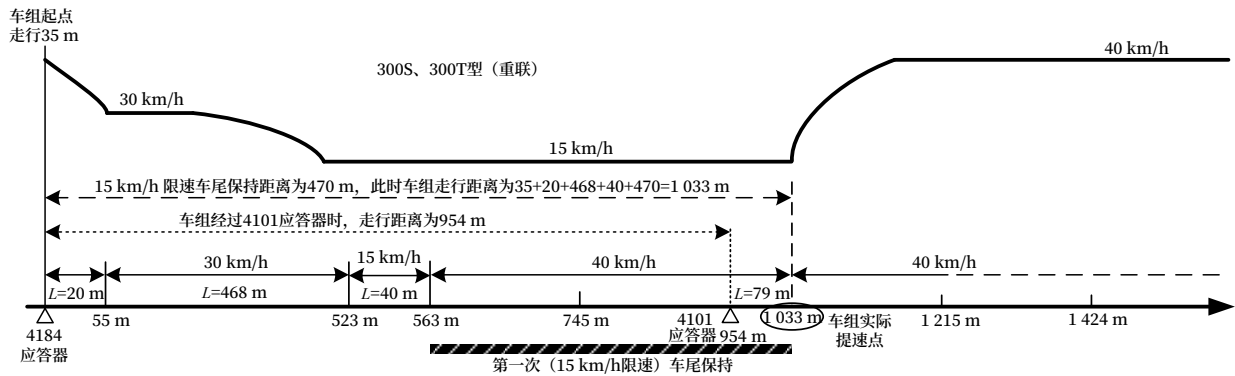


图5 改进方案三
Fig.5 Improvement plan III

中所提及的场景并非普遍存在，且修改 ATP 设备软件需经过非常严格的调研审批、试验认证等环节，周期长、耗费人力物力大，故修改软件可能性很小。方案二：修改后两种设备实际提速点（40 km/h）可归为一致，均为 1 215 m 处。且 1 215 m 处之后地面设备满足 40 km/h 的走车条件（修改前 300S 型提速至 40 km/h 起点即为 1 215 m 处）。但修改前 300S 型设备在 1 033 m 处至 1 215 m 处区段内第一次提速为 30 km/h 将走行 182 m，而修改后运行速度将变为 40 km/h，且实际提速点后移（1 215 - 1 033 = 182 m），如图 4 所示。方案三：该方案将两种设备 40 km/h 实际提速点归为一致，均为 1 033 m 处。从运输效率看可行性最高，但在 1 033 m 处至 1 215 m 处的 182 m 区段内，只有 300S 型设备以 30 km/h 的速度运行过，且将 4184 应答器组中第 3 条静态速度由 30 km/h 提升为 40 km/h，须与设计部门进一步论证确认该区段内的地面设备是否满足 40 km/h 的走车条件。

4 结束语

结合动车组通过南宁动车所至南宁东站方向咽喉区轮对踏面诊断设备区段车尾保持场景和地面应答器设置情况，动车组运行速度没有及时提速和通过速度低（15 km/h 以下），司机操控困难、影响动车组通过咽喉区的效率等实际情况，对比 300T、300S 型 ATP 的车尾保持处理逻辑分析，提出改进方案。依据 4184 的应答器组第 4 条报文描述（745 m

处可提速至 40 km/h，如图 1 所示）及 4101 的应答器组第 1 条报文描述（954 m 处可提速至 40 km/h，如图 2 所示），说明设计条件在 745 m 处之后即允许运行 40 km/h，同时通过对现场设备进行调研，1 033 m 处至 1 215 m 处 182 m 区段内的地面设备满足 40 km/h 的走车条件。与设计部门进一步论证确认实施后，可缓解南宁动车所至南宁东站方向咽喉区动车组通过效率，提高运输效益。

参考文献

- [1] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-3 级列控车载设备技术规范: Q/CR 744-2020[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
 - [2] 中国铁路总公司. CTCS-2 级列车运行控制系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
 - [3] 中华人民共和国国家铁路局. 列控中心技术条件: TB/T 3439-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
 - [4] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-2 级列控系统总体技术要求: TB/T 3516-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
 - [5] 张明星. 动车组 DMS 与 LAIS 系统设备融合方案探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 18-21.
- Zhang Mingxing. Discussion on Integration Solution of DMS and LAIS System Equipment for EMU[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 18-21.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.002

基于UVM的应答器传输模块验证方法研究

刘光宇^{1, 2}, 马盼^{1, 2}, 刘肖婷^{1, 2}, 孟博洋^{1, 2}, 林子明^{1, 2}

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: FPGA设计逻辑的不断提升, 对其测试的难度也在不断加大, 传统的基于开发工具验证的模式已经不能实现其测试需求。针对应答器传输模块(BTM)解码板的FPGA, 设计一种基于UVM的验证平台, 实现对代码的自动化仿真测试。该平台使用随机驱动加定向测试的方法生成测试激励序列, 可通过较少的测试用例实现对FPGA代码的测试覆盖率要求。同时, 该平台可在服务器资源允许的情况下, 实现对任意数量案例的并行仿真, 进一步缩减测试的时间成本。

关键词: 测试平台; 随机测试; 定向用例

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0007-04

Research on Verification Method of Balise Transmission Module Based on UVM

Liu Guangyu^{1, 2}, Ma Pan^{1, 2}, Liu Xiaoting^{1, 2}, Meng Boyang^{1, 2}, Lin Ziming^{1, 2}

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

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

Abstract: With the continuous improvement of FPGA design logic, the difficulty of testing is also increasing, and the traditional verification model based on development tool can no longer meet its testing requirements. Aiming at the FPGA of the balise transmission module (BTM) decoding board, this paper designs a verification platform based on UVM, and realizes the automatic simulation test of the code. The platform uses the method of random driver and direct testing to generate test incentive sequences, which can achieve the requirement of test coverage of FPGA code through fewer test cases. At the same time, the platform can realize parallel simulation of any number of cases as the server resources permit, and further reduce the time cost of testing.

Keywords: test platform; random testing; direct testcase

1 概述

国内铁路技术飞速发展, 铁路运营里程不断攀升, 各种复杂的运行环境对列车控制技术的要求也更为严格。当前, 由于可移植性高及便

收稿日期: 2022-10-20; 修回日期: 2023-08-31

第一作者: 刘光宇(1986—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 数字集成电路设计与验证, 邮箱: liuguangyu@crscd.com.cn.

于开发等特点，现场可编程逻辑门阵列（Field Programmable Gate Array, FPGA）得到了广泛应用。随着列控逻辑功能的不断增加，对其验证的要求也在不断提高。传统的FPGA开发工具仿真的方式已逐渐不能完成其全序功能的测试^[1]。

近年来，验证技术的不断发展，通用验证方法学（Universal Verification Methodology, UVM）凭借其标准化、层次化和可重用性等特点开始占据主导地位。同时借助服务器端高并行度的特点，可实现更快速的测试和迭代。本文针对列控应答器传输模块中的解码板FPGA逻辑，实现了以SystemVerilog语言构建的UVM验证平台，可实现对待测设计（Design Under Test, DUT）的快速迭代和功能覆盖。

2 验证对象特征分析

应答器传输模块（Balise Transmission Module, BTM）主要实现对编码报文的译码功能，其总体设计框架如图1所示。输入的编码长报文或短报文FSK_in信号首先进入先入先出数据缓存器（First In First Out, FIFO），控制模块（control）检测到FIFO非空情况，开始读取其内部数据，并在达到其判定条件后开始在解码模块（decode）中进行译码过程。译码完成后的结果送入随机存储器（Random Access Memory, RAM）模块，等待CPU总线进行读取。

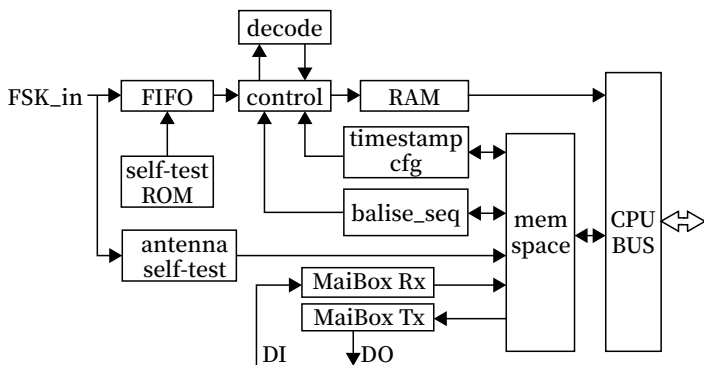


图1 BTM硬件设计结构
Fig.1 BTM hardware design structure

BTM内置通信模块信箱（Mailbox），含发送

FIFO Tx与接收FIFO Rx，可方便与其他设备进行数据通信。同时为保证设备运行的可靠性，BTM还内置自检模块，定时进行报文自检和天线自检处理，以保证设备的正常运行。同时，其内部还有丰富的地址映射，方便对速度、距离、时间戳等进行配置或读取。

3 验证平台实现

UVM面向所有数字设计，涵盖从模块级到芯片级，从ASIC到FPGA，从控制逻辑、数据通路到处理器的全部场景^[2]。基于其灵活的环境类，可方便实现组件的层次结构化扩展。

典型的验证平台如图2所示。其主要包含激励序列（sequence）、主代理（i_agent）、参考模型（reference model）、计分板（scoreboard）、从代理（o_agent）5大部分^[3]。事务级激励序列经由序列生成器送入驱动器，转化成信号级激励序列后驱动DUT，主监视器检测DUT端口激励，将其转为事务级激励后送入参考模型，参考模型计算得到的参考结果（golden result）送入计分板，与从监视器采集到的DUT输出进行比较，从而判定DUT执行结果的正确性。

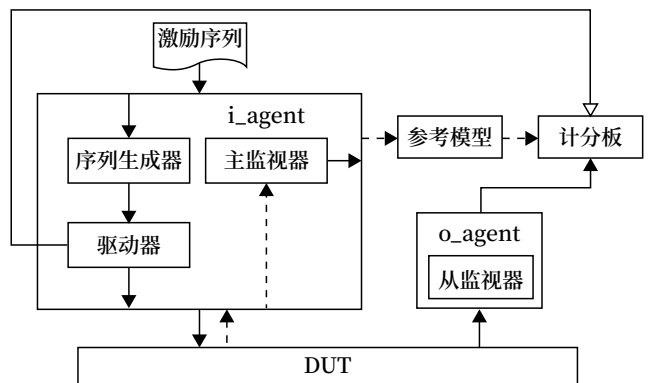


图2 BTM验证平台结构
Fig.2 BTM verification platform structure

BTM报文的编码及解码主要依据欧洲编码规范，其实现较为复杂，测试采用的编码后报文部分源于《应答器传输系统测试规范》（TB/T 3544-2018），尤其针对特定错误报文的输入，需遵循严格的编码规则，测试所需的异常报文均由规范中获取。针对此类情况，本测试对平台进行了优化，取消参

考模型的数据通路（如图 2 虚线箭头所示），改由驱动器直接将参考结果送入计分板（如图 2 空心箭头所示）。

验证平台的控制主要采用 python 语言实现，测试用例的所有参数，含标号、测试序列、顶层模块指定、波形使能和覆盖率使能等，均在表格中呈现，使平台的控制更为简单直观。依托图表工具集 pandas，可方便实现对表格进行读取，生成所需的编译命令和仿真命令。同时依据进程池工具集 multiprocessing，可在服务器资源允许的情况下实现对任意数量案例的并行仿真。

4 随机驱动加定向用例的验证实现

4.1 随机激励

随机激励^[4]主要采用报文编码生成器，生成可译码的报文。由于产生的报文都是典型报文，其严格符合编码规范，大规模随机测试对功能覆盖及代码覆盖影响较小^[5]。对随机仿真仍难以覆盖的情况，可通过大量报文生成后再进行软件筛选的方式进行实现。

报文编码生成器主要采用 C 语言实现，可将 830 bit 长报文编码为 1 023 bit，或将 210 bit 短报文编码为 341 bit。为保证编码的完备性和正确性，生成器还内置了译码模块，对编码后的长短报文进行译码并判定其正确性。SystemVerilog 引入的直接编程接口（Direct Programming Interface, DPI），可方便进行 SystemVerilog 语言与 C/C++ 语言间的相互调用。为方便实现各种报文的组合情况测试，本文没有采用 DPI 模式，而是将长短报文分别进行生成，组合后送入测试平台。针对长短报文编解码长度不一致情况，同时兼顾异常报文无法解码的情况，将报文设计为“编码 + 分隔符号 + 解码 / 异常标号”组合，并按字符串模式进行读取。在检测到指定分隔符号后，将编码报文送入驱动器，将解码报文送入计分板，驱动器依据编码报文字符串长度选用对应位宽变量进行接收，计分板对正常解码报文同样按字符串长度选用对应位宽变量进行接收，并进行相应比对。

4.2 定向测试

定向测试^[6]主要完成 BTM 中特定场景的测试，

如报文异常注入、自检、Mailbox 通信、边界溢出等情况。通过在定向用例中添加小规模随机的情况，可实现覆盖率的迅速提升。

定向常规报文测试主要针对选定的报文进行测试。报文按其功能可划分为正常长报文、正常短报文、异常长报文、异常短报文，不同类型的报文编码长度和解码长度均不相同。为便于进行混合测试，激励序列中生成的报文同样为字符串形式。驱动器得到激励序列后，将其进行分割，编码报文驱动 DUT，解码后报文或异常标号通过 UVM 的 config 机制直接送入计分板中。DUT 解码后的报文或异常标号与计分板中的参考结果进行比对，即可迅速对结果正确性进行比对，同时对错误情况可实现迅速定位。

BTM 运行过程中需进行定期自检，自检含天线自检和报文自检两大部分。对于天线自检，其会占用报文输入端口；对于报文自检，其会占用 CPU 总线接口。为最大限度检测自检功能正确性，与实际相比，仿真中显著缩短了自检间隔。设计中引入 uvm_event 方法，当检测到总线忙时则处于等待状态，直至总线空闲时占用总线，读取报文输出结果或相应地址空间，并在使用结束后释放总线，如此可方便解决接口调用时的冲突问题。

针对译码过程中寻找报文头模块覆盖率低的情况，采取将报文依次移位译码的方法，并依据仿真速度对用例进行拆分。针对 11 转 10 译码模块覆盖率低的情况，可生成大量随机报文并筛选符合要求的情况，有效地减少仿真时间，提高仿真效率。

典型定向用例对行覆盖率和分支覆盖率的影响如图 3 所示，其中横轴表示的定向用例为同类型用例的整合。可以看出，针对性的添加定向测试用例，可以实现代码覆盖率的快速提升，并迅速达到 99% 以上，针对未覆盖情况，设计补充案例，即可实现代码的全覆盖。

5 验证结果

本次仿真在 linux 平台下进行，采用 VCS 仿真工具实现。使用随机加定向的测试模式，可实现覆盖率的快速收敛。在保证功能覆盖完备性的前提下，本文共设计定向案例 48 个（含为加速仿真而拆分的 24

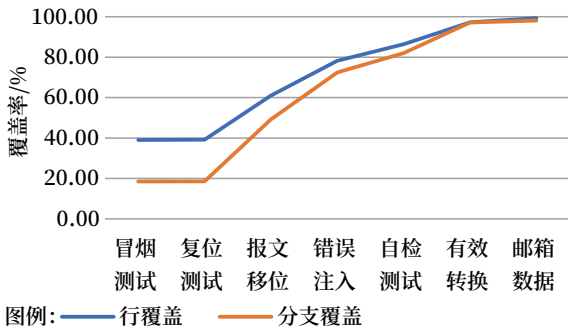


图3 典型定向用例对代码覆盖率的影响
Fig.3 Impact of typical cases on code coverage

个案例), 即可实现指定的覆盖率。经设计人员确认, 排除无效和冗余情况, 指定的行和分支情况代码可实现 100% 完全覆盖, 代码覆盖率如图 4 所示。

Name	Line	Branch
tb_top	100.00%	100.00%
top_inst	100.00%	100.00%
dcff_inst1	100.00%	100.00%
edgcnt_inst2	100.00%	100.00%
edgcnt_inst3	100.00%	100.00%
edgcnt_inst10	100.00%	100.00%
lp_inst1	100.00%	100.00%
mb139_inst1	100.00%	100.00%
mb_inst1	100.00%	100.00%
syncrst_mbclk	100.00%	100.00%
u01	100.00%	100.00%
u11_at_u0	100.00%	100.00%

图4 BTM代码覆盖率
Fig.4 BTM code coverage

6 结论

以 BTM 解码板作为验证对象, 基于 UVM 的验证平台, 采用随机驱动加定向测试的组合模式, 实现了对代码功能的仿真测试。与传统 FPGA 验证模式相比, 验证平台可以实现不同功能的测试场景, 并可实现组合情况的覆盖, 同时可对疑问或错误情况进行快速定位。而自动化的测试方法, 可大大缩短前期测试与后期迭代的时间成本, 从而保证验证

周期和功能覆盖的完备性。

参考文献

- [1] 马盼, 靳旭. 基于 UVM 实现 SM4 算法的自动化验证平台 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (8): 33-37.
Ma Pan, Jin Xu. UVM-Based Automatic Verification Platform for SM4 Algorithm[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(8): 33-37.
- [2] 刘斌. 芯片验证漫游指南: 从系统理论到 UVM 的验证全视界 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.
- [3] 张强. UVM 实战 - 卷 I [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [4] 沈海华, 卫文丽, 陈云霄. 覆盖率驱动的随机测试生成技术综述 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21 (4): 419-431, 441.
Shen Haihua, Wei Wenli, Chen Yunji. A Survey on Coverage Directed Generation Technology[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2009, 21(4): 419-431, 441.
- [5] 陈庆贤. 基于 UVM 的 AES 安全串口通信 IP 的验证研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2021.
- [6] 陈星, 史再峰, 姚素英, 等. 基于类定向测试的多制式视频后处理芯片验证 [J]. 计算机工程, 2012, 38 (15): 251-253, 257.
Chen Xing, Shi Zhaifeng, Yao Suying, et al. Verification for Multi-Standard Video Post Processing Chip Based on Resembling Directed Test[J]. Computer Engineering, 2012, 38(15): 251-253, 257.

广告索引

成都运达科技股份有限公司
上海锦申铁道科技有限公司

封面
封三

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.003

深圳都市圈城际铁路信号系统 综合智能运维平台建设方案

胡 威

(深圳铁路投资建设集团有限公司, 广东深圳 518000)

摘要: 简要介绍深圳都市圈城际铁路建设背景以及信号系统的运维现状。提出深圳都市圈城际铁路信号系统综合智能运维平台的建设目标, 通过分析设备的运维需求, 给出一套具体的软、硬件建设方案。该平台建成后, 有利于全面提升设备的运用维护和管理水平, 也有利于实现数据资源的整合和优化配置。

关键词: 智能运维; 信号系统; 城际铁路

中图分类号: U284.92

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0011-04

Construction Scheme of Comprehensive Intelligent Operation and Maintenance Platform for Intercity Railway Signaling System for Shenzhen Metropolitan Area

Hu Wei

(Shenzhen Railway Investment & Construction Group Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: This paper introduces the construction background of intercity railway in Shenzhen Metropolitan Area and the operation and maintenance status of the signaling system, proposes the construction goal of the integrated intelligent operation and maintenance platform. By analyzing the operation and maintenance requirements of the equipment, a set of specific software and hardware construction schemes are given. After the completion of the platform, it is conducive to comprehensively improving the O&M and management level of the equipment, and is also conducive to the integration and optimal configuration of data resources.

Keywords: intelligent operation and maintenance; signaling system; intercity railway

城际铁路作为典型的资产密集型行业, 涉及专业多, 管理的设备设施数量巨大^[1]。其中, 信号系统关系到铁路行车安全和保障运输效率, 有着重要

作用。传统铁路信号相关监测、运维系统存在数据标准不一, 数据的一致性、完整性难以确保; 缺乏有效的分析手段, 难以对数据进行深入分析和挖掘等缺点^[2]。随着城际铁路信息化的建设, 以及新技术新设备的大量投入, 同时为实现资产的全生命周期管理, 如何能够在运营过程中更加智能地对信号

收稿日期: 2022-05-27; 修回日期: 2023-07-05

作者简介: 胡威(1989—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: visitvic@hotmail.com。

系统进行运用维护成了一门需要在建设过程中亟待研究的课题^[3]。

1 建设背景

2020年8月4日，国家发改委正式批复《粤港澳大湾区（城际）铁路建设规划》，规划近中期到2025年，大湾区铁路网络运营及在建里程达到4700 km，全面覆盖大湾区中心城市、节点城市

和广州、深圳等重点都市圈^[4]。根据相关安排，深圳地铁集团将负责粤港澳大湾区中深圳都市圈城际铁路的规划、设计、建设及运营。按照规划，深圳都市圈内共涉及11条城际铁路，线路总长度约1071 km，如图1所示。2022年前启动建设的有：穗莞深城际南延线、深圳至惠州城际前海保税区至坪地段（含大鹏支线）、深圳机场至大亚湾城际深圳机场至坪山段。

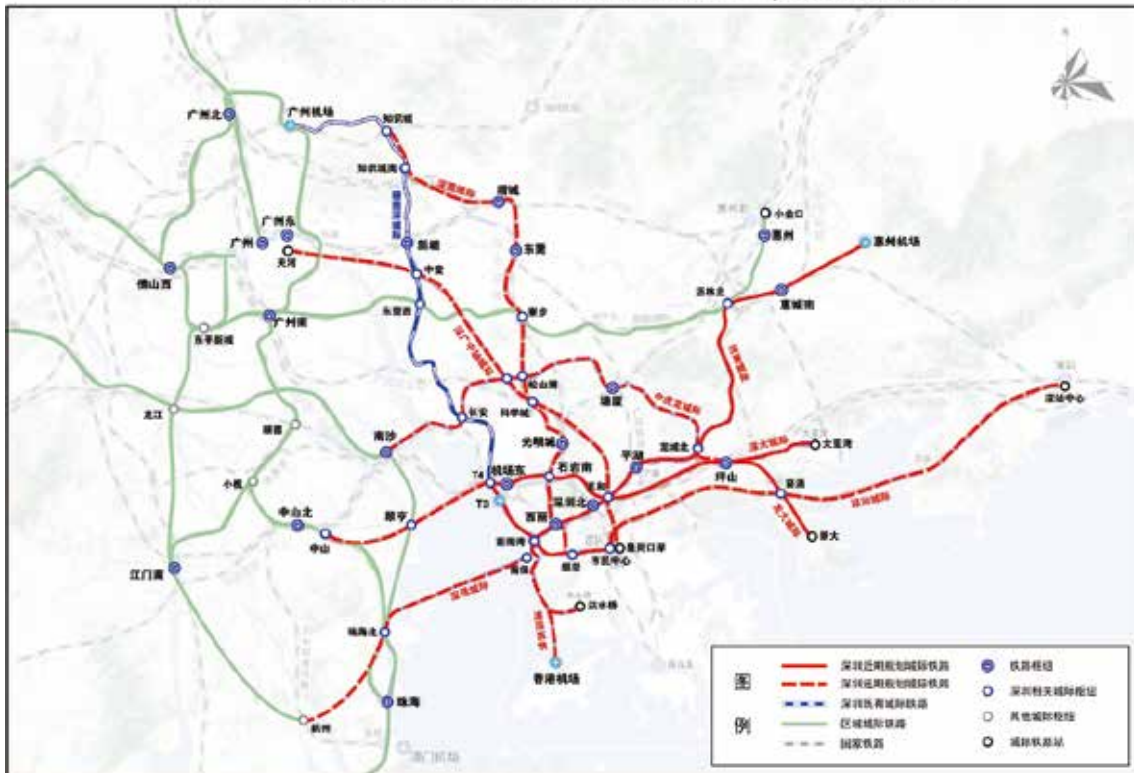


图1 深圳都市圈城际铁路建设范围
Fig.1 Construction scope of intercity railway in Shenzhen Metropolitan Area

2 信号系统运维现状

2.1 信号监测系统

信号集中监测系统或计算机监测系统作为信号专业的子系统之一，被普遍运用在国家铁路以及城际铁路线路中。信号监测系统把铁路信号设备作为监测对象，通过本地或网络远程实时监测信号设备的工作状态及电气特性，并能记录被操作的过程。信号监测系统具有自动监测、存储、报警等功能，同时提供了回放、异常分析等工具，是铁路信号设

备的综合测试、分析和管理系统^[5]。目前，新版信号集中监测系统还具有一定的趋势分析、报警分析等功能，但主要的信号设备故障分析还需依靠人工来完成，智能化的深度和广度还不够。

2.2 其他运维系统

除信号监测系统外，经过近十几年的装备与发展，其他涵盖了信号设备台账、监测检测、故障统计等多个业务，包括列控设备动态监测系统（Dynamic Monitoring System, DMS）、信号动态检测系统、列车自动防护系统（Auto Train

Protection, ATP) 车载设备信息管理系统、器材检修管理系统、信号安全生产调度管理系统及其他生产作业管理系统、信号技术设备履历管理系统、轨道车运行实时监测系统、列车运行实时检测系统等也在推进建设中。这些系统产生和积累了设备技术状态、故障报警、作业记录等海量数据。但是,各系统也存在着相互独立、接口和编码不统一、数据利用和共享不充分、数据存储不集中等问题,形成了信息孤岛,无法建立数据之间的关联关系,难以实现对信号设备状态进行全方位的科学评价与分析,造成大量数据闲置。同时,数据缺乏深度挖掘和开发,在对异常或故障事件的实时分析与诊断支持、采样数据的自动实时处理、设备状态的趋势判断、报(预)警信息的主动通知等方面,仍然存在严重的不足^[6]。

3 城际铁路信号系统综合智能运维平台

3.1 建设目标

遵循铁路信息化总体规划和“统一规划、统一标准、统一平台”的思路,按照“硬件平台统一化、数据采集归一化、数据接口集中化、综合资源共享化、专业应用定制化”的建设原则,构建电务大数据智能运维一体化平台,提升智能应用水平^[7]。建成集设备资产管理、综合分析管理、作业监控管理于一体的信号系统综合智能运维平台,实现信号系统运维管理的内容可视化、业务流程化、知识体系化、决策智能化和管理少人化。

3.2 需求分析

1) 管理需求:对管内各线路所有信号设备类的资产进行管理;能够记录涵盖出厂、安装、验收、运用、维护、维修、报废等全生命周期信息,并依据关联性分析、故障信息等资料制定备品备件的配置计划。

2) 采集需求:主要是从信号各子系统中采集并进行记录各类生产作业类数据,包括调度集中(Centralized Traffic Control, CTC)、计算机联锁(Computer Based Interlock, CBI)、列控中心

(Train Control Center, TCC)、车载信号设备、集中监测系统等日志、告警等信息,以及轨旁设备的电气特性、开关量等信息。

3) 分析需求:根据采集到的各类数据,使用人工智能模型分析系统健康状态,对设备寿命、运行情况、故障隐患等进行预测;运用大数据等方法生成信号设备的专家经验,对发生的故障提供故障溯源,给出合理有效的维修指导策略。

4) 生产需求:指导日常的维修生产作业,实现班组人员管理、维修材料管理、作业单派发等,以及异常情况下的应急调度指挥功能。

3.3 建设方案

3.3.1 总体方案

信号系统综合智能运维平台按照“硬件平台+应用模块”的模式,在不改动信号集中监测和其他运维系统的功能和结构的情况下,通过安全设备采集各子系统数据,进一步对数据进行清洗和筛选后,统一进行数据分析,满足各类运维需求。

硬件平台方面,在城际铁路控制中心统一部署数据库服务器、应用服务器、存储及备份系统、防火墙、大屏展示系统等设备。在深铁城际运营公司、信号维修车间和工区部署远程终端及相关外设,依托内部网络系统访问综合智能运维平台。

应用模块方面,依据需求分析,至少应包含信号设备资产管理、全生命周期管理、信号设备综合监测、故障智能诊断、故障预测与健康管理等、运维综合分析、作业管理、工机具管理、应急调度指挥等。

整个城际铁路信号系统综合智能运维平台构成如图2所示。

3.3.2 应用模块设计

1) 资产管理模块:规范收集设备基础台账,按照运维管理业务对象细分,形成资产、功能位置、设备、构件等多个级别的层级化设备分类,实现信号机、轨道电路、计轴、转辙机、应答器、系统设备等设备履历管理。设备履历电子化可实现班组-车间-维修基地-城际运营公司的网络填报、自动汇总,实现履历数据的大数据管理。

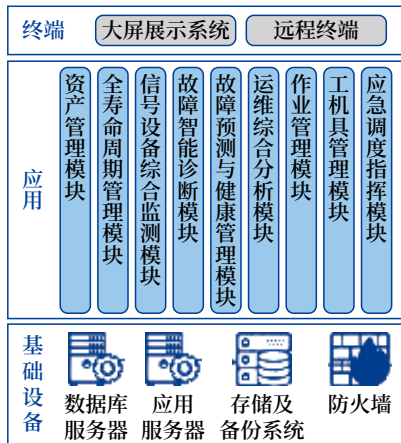


图2 信号系统综合智能运维平台构成
Fig.2 Composition of integrated intelligent O&M platform for signaling system

2) 全寿命周期管理模块：结合设备检测缺陷、特性测试、生产维修及更换等历史记录形成全寿命周期管理功能。按照“一单元一档案”的原则，通过对设备设施按单元将基础信息以及寿命周期内的静态信息和动态信息与编码进行关联，形成完整的设备单元技术状态档案，并提供对该单元的信息查询和自动统计^[8]。

3) 信号设备综合监测模块：利用既有信号监测系统，将监测系统收集的各信号设备的数据进行复现，并对全线车站进行统一管理，通过结构化图形，更好地展示各设备的工作状态。

4) 故障智能诊断模块：采用智能化的算法，对综合监测模块采集到的数据进行横向比对，提前发现设备隐患。当发生设备故障或者报警时，智能诊断模块能够诊断故障范围并定位故障点，根据历史数据及专家经验找出故障原因。

5) 故障预测与健康管理模块：依据设备资产的投产时间、监测数据、缺陷历史和作业频次，按照可调权重算法对各专业设备单元进行量化评分，综合分析设备劣化趋势，筛选重点病害地段、缺陷设备，实现对信号设备故障预测与健康管理 and 动态养护等功能，形成完善的设备健康评分机制。

6) 运维综合分析模块：主要由故障诊断与健康评分结果决定，推行灵活的设备维护模式。根据设备健康管理数据，将设备的健康状态分为周期性故

障、偶发性故障、损耗性故障和缺陷性故障等类别，分别采取加强监测、周期维修、升级改造、报废处理等方式，实现维修支出与维修效果的性价比最大化，为智能推送作业方案提供决策支撑。

7) 作业管理模块：包括维修年月表的制定、维修方案编制及审批、日计划作业票及派工单编制、相关风险要素控制及审批和作业过程安全卡控等。可利用移动终端软件对现场作业点进行实时监控，以录音、录像、视频监控等方式全程跟踪作业过程。

8) 工机具管理模块：通过电子标签动态识别技术，实现工机具设备出入库及进出场安全管理等功能，对现场遗落的工具进行报警。对各单位部门工具在用、领取、发放、报废等情况纳入系统进行信息管理，并进行查询统计、数据分析，关联使用人员、生产厂家、生产日期等信息，具备定额、周期、寿命追溯、状态评估等功能。

9) 应急调度指挥模块：为故障处理和巡检作业提供信息化辅助、作业安全提醒及作业指导、工单派发等。

4 结论

在城际铁路大规模建设的今天，信息化、智能化的运维需求应被重点关注。信号系统的运维是一个动态的过程，通过大数据、智能分析等手段，力争实现智能化监测、精准化维修的目的。信号系统综合智能运维平台的建设，有利于全面提升设备的运用维护和管理水平，也有利于实现数据资源的整合和优化配置。

参考文献

[1] 杨航, 张海桃, 陆知言. 我国城市轨道交通设施智能维护分析[J]. 江苏科技信息, 2022, 39(1): 78-80.
Yang Hang, Zhang Haitao, Lu Zhiyan. Analysis of Intelligent Maintenance of Urban Rail Transit Facilities in China[J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2022, 39(1): 78-80.

(下转 22页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.004

基于TMS570的SIL4级列控系统 安全平台设计

裴志斌, 吕媛媛

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 研究 TMS570 CPU 的安全特性, 并将其应用于列控系统中, 以 TMS570 处理器为基础, 构建一个二乘二取二架构的 SIL4 级安全平台, 提出 CPU 安全自检设计的具体实现方案, 并讨论安全自检中的技术要点和异常处理措施, 有助于用户通过简单的配置和处理实现 EN 50129 标准中要求的安全功能。

关键词: TMS570; SIL4; CPU 自检

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0015-04

Design of SIL4 Safety Platform for Train Control System Based on TMS570

Pei Zhibin, Lü Yuanyuan

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

Abstract: This paper researches the security characteristics of TMS570 CPU and applies it to the train control system. A SIL4 level safety platform based on TMS570 processor is constructed with dual two out of two architecture, the specific implementation scheme of CPU security self-test design is proposed, and the technical points and exception handling measures of CPU security self-test are discussed, which is helpful for users to realize the security functions required in EN 50129 standard through simple configuration and processing.

Keywords: TMS570; SIL4; CPU self-test

1 概述

轨道交通领域的列控系统是对列车运行状态进行控制的系统, 其中的安全平台应该具备高安全性、高可靠性的特点, 满足安全完整性等级 SIL4 级功能要求。TMS570 是 TI 公司 Hercules 系列的安全微处理器, 是 TI 针对航空航天、轨道交通领域推

出的新型安全微处理器。一般的微处理器不具备安全功能, 需要用户通过软件实现, 而 TMS570 微处理器在硬件内部已做好安全防护, 从而使 CPU 部分的架构简洁化、性能最佳化, 从而减少用户软件开销。本文基于 TMS570 设计一个列控系统 SIL4 级安全平台。

2 TMS570 CPU安全自检设计

在 EN 50129:2018 标准里, 针对 SIL4 级系统提出要求, 对数字集成电路的单个故障防护应对

收稿日期: 2022-10-27; 修回日期: 2023-07-15

第一作者: 裴志斌 (1985—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: peizhibin@crscd.com.cn。

CPU 进行初始化时的自检和运行中的周期自检。系统对安全 CPU 的自检内容应包括：指令集（加减乘除、移位、等值、与或非等）、内部 RAM、栈空间防护、内部 ROM、寄存器（通用寄存器、专用寄存器含 Flag Register、核外可检测寄存器）、Cache（尽量关掉，因缺少自检方法）和时钟偏移。

TMS570 CPU 可提供双核锁步 CPU 架构、CPU 和存储器内置硬件自检 BIST、内存保护单元 (MPU)、Flash 和 RAM 接口上的 ECC 和片上时钟及电压监控等一些关键功能的安全特性，单 CPU 芯片达到了 IEC61508 标准中 SIL3 级的相关要求。CPU 硬件内置的自检功能，使用户无需设

计复杂的安全软件和花费安全代码费用，即可检测到潜在缺陷。

2.1 TMS570芯片架构

以 TMS570 系列里的 TMS570LS3137 为例，CPU 架构如图 1 所示，从安全功能角度将 CPU 分为 3 部分。

红色部分为安全岛层 (Safe Island Layer)：包含芯片内安全运行相关功能，如双 CPU 锁步周期故障检测机制、RAM 的 ECC 等，这些功能始终运行，用户无法关闭，拥有最高的硬件自检诊断覆盖率。

蓝色部分为混合层 (Blended Layer)：包含执

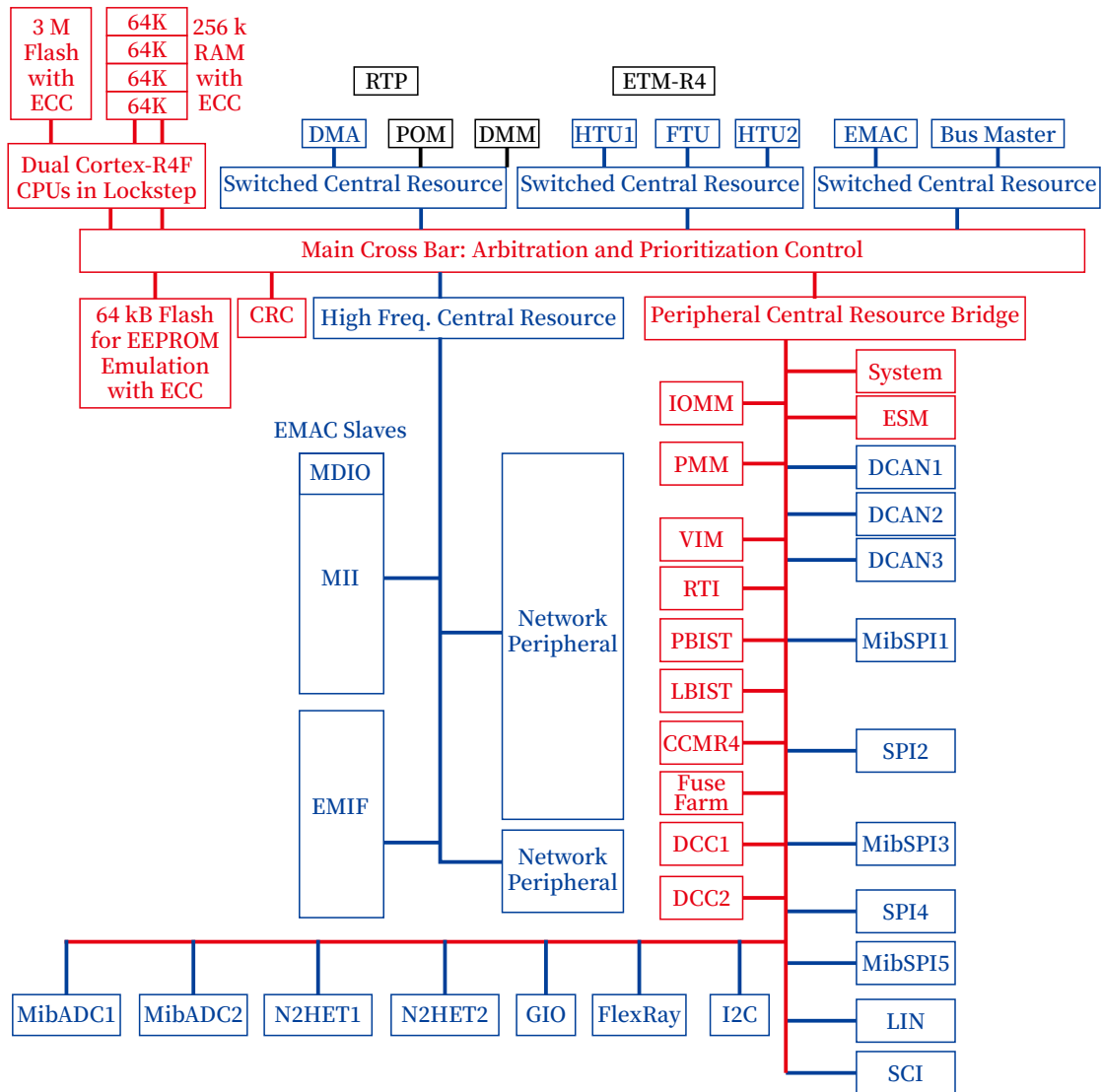


图1 TMS570LS3137芯片结构
Fig.1 TMS570LS3137 chip architecture

行外部安全相关功能的外设。这部分功能仅在部分关键部位具备有限的硬件自检措施，如外围存储器上的奇偶校验、模拟和数字 I/O 环回测试、AD 自检和校正等，自检主要通过用户软件实现。

黑色部分为离线层 (Offline Layer)：包含调试和测试相关功能。这部分功能不包含在硬件自检范围内。

2.2 异常处理

TMS570 架构中设计了一个错误信号模块 (ESM-Error Signaling Module)，来提供内部安全措施故障指示集合。CPU 检测到故障后会通过 ESM 模块触发中断处理，并通过 MCU 的 ERROR 引脚向外输出信号。故障依据固定的严重等级分类，根据故障的分类产生相应的反应，ESM 对故障等级的管理如表 1 所示。

表1 TMS570中ESM故障等级划分

Tab.1 ESM fault levels classification in TMS570

故障组	说明	ERROR 引脚
Group1	故障可屏蔽，可通过配置选择产生不可屏蔽最高优先级中断或低优先级中断	选择是否输出 ERROR 引脚
Group2	不可屏蔽，产生不可屏蔽最高优先级中断	强制 ERROR 引脚输出
Group3	不可屏蔽，不产生中断	强制 ERROR 引脚输出

以 TMS570LS3137 为例，芯片给出 128 个故障通道对应的故障源。本平台中使用 CPU 的 AD、PWM、FLASH、以太网等资源，针对这些资源，设计了相关 ESM 中断的处理，如表 2 所示。

2.3 启用的自检项及处理方法

对于 CPU 自检的具体方法，在 EN/IEC61508-2 中有明确的指引。EN50129:2018 由于考虑了铁路行业的专有特点，在失效模式与 EN/IEC61508 保持一致的情况下，对防护措施 / 方法做了部分调整，以适应于更严苛的铁路运营安全需要。

根据 EN50129 对 SIL4 级系统的要求，结合本平台实际应用情况，启用的 CPU 主要自检项及处理方法如下。

1) 电源

表2 本平台中ESM故障处理

Tab.2 ESM fault handling in the platform

故障组	组内编号	故障源	处理
Group1	6	FLASH 数据 ECC 可纠正纠错	无
Group1	7	N2HET 寄存器奇偶校验失败	平台宕机
Group1	12	FlexRay 寄存器奇偶校验失败	无，用户软件安全通信协议可防护
Group1	15	中断向量表 (VIM) 奇偶校验失败	平台宕机
Group1	19	MibADC1 奇偶校验失败	平台宕机
Group1	26	主内存数据 ECC 可纠正纠错	无
Group1	28	主内存数据 ECC 可纠正纠错	无
Group1	27	CPU 锁步自检失败	平台宕机
Group1	37	IOMM 配置错误	平台宕机
Group1	38	PMM 锁步比较失败	平台宕机
Group1	39	PMM 自检失败	平台宕机
Group1	40	eFuse ECC 错误	平台宕机
Group1	41	eFuse 检测失败	平台宕机
Group1	43	以太网	无，用户软件安全通信协议可防护
Group2	2	CPU 锁步比较失败	平台宕机
Group2	4	FLASH 数据 ECC 不可纠正错误 FLASH 地址奇偶校验错误	平台宕机
Group2	6	主内存数据 ECC 不可纠正错误	平台宕机
Group2	8	主内存数据 ECC 不可纠正错误	平台宕机
Group2	10	主内存地址奇偶校验错误	平台宕机
Group2	12	主内存地址奇偶校验错误	平台宕机
Group2	16	FLASH、主内存活锁	平台宕机

TMS570 内置电压监测 (VMON) 独立于 CPU 运行，用户无法配置和关闭。当 CPU 内核和输入输出引脚电压超出指定范围，VMON 会将 CPU 强制拉入安全状态。同时，使用 TPS65381 作为外部电源管理芯片，属于 TMS570 推荐配套的电源管理芯片，可实现安全看门狗功能。

MCU 中有两个电源管理模块采用锁步方式运行，当检测到锁步异常后通过 ESM 触发中断。此功能时刻运行，无法关闭。为了检测电源管理模块的锁步机制运行是否正常，电源锁闭自检分两步：

比较一致的测试和锁步故障植入测试。本自检只在启动时执行。

2) 周期寄存器配置回读

用户软件运行中定期回读所有固定不变的寄存器配置，当发现寄存器数值出现变动，平台进行宕机处理。

3) 重启

CPU 的 nRST 和 nPORRST 引脚自带毛刺滤波，防止错误重启，该功能属于强制项，无法关闭。

4) CPU

TMS570 使用双核锁步技术，双核相差两个 CPU 时钟周期运行相同程序，最后通过比较器检测 CPU 计算结果是否异常。双核锁步比较失败会通过 ESM 触发不可屏蔽中断。强制功能时刻运行，无法关闭。CPU 锁步比较自检是通过故障植入检测 CPU 比较器是否正常运行。本检测仅在启动时执行一次；CPU 逻辑自检 (LBIST) 通过硬件对两个 CPU 的寄存器和指令执行结果进行检测，本检测在执行完成后会触发 CPU 热启动，仅在启动时执行一次。

5) 内存

TMS570 具备 ECC 保护功能，在启动时配置执行。当内存检测到 1 bit 可纠正错误后，会将修正后的数据存入错误寄存器，同时将修正后的数据回写入内存中，并从内存重新读取。当再一次检测到 1 bit 可纠正错误后，CPU 进入活锁状态，触发 ESM 中断，需要 CPU 重启。此功能在启动后强制启用。同时，CPU 自带硬件内存自检电路 (PBIST)，可提供对 SRAM 的高诊断覆盖率自检，所有片上 RAM 都可以检测到，但这个自检会破坏内存中的原有数据，因此仅在启动时执行一次，自检失败后平台宕机。

3 二乘二取二 SIL4 级安全平台设计

列控系统安全平台一般为三取二或二乘二取二架构。为实现高可靠性和高安全性，本文基于 TMS570 搭建了一个二乘二取二的安全平台。

TMS570 本身是通过认证的 SIL3 级 CPU，通过两个 CPU 二取架构，配合 CPU 自检措施，可以达到 SIL4 级功能安全。同时，通过双系二乘架构，可以达到高可靠性的要求。

平台内部通信（系内双 CPU 间以及双系间）采用 TMS570 自带的 Flexray 高速冗余总线，来实现时间同步和数据交互功能；外部通信采用 TMS570 自带的以太网，来实现和外部系统的大容量数据交互功能。平台架构如图 2 所示。

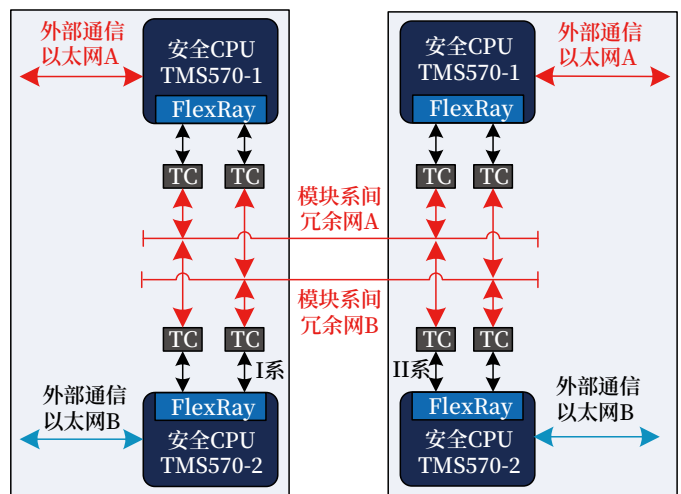


图2 安全平台结构
Fig.2 Security platform architecture

4 总结

目前，列控系统安全平台中 CPU 安全功能多数由用户软件实现，具有代码繁琐，设计复杂等缺点。凭借集成的安全特性和可供选择的多种通信接口和控制外设，TMS570 为具有安全要求的高性能实时控制应用提供了理想解决方案。本文基于 TMS570 设计了一种二乘二取二安全平台，用户只需通过配置和简单的故障处理即可实现安全防护措施，使用户可以将精力放在业务功能层面，为用户带来了极大便利。

参考文献

[1] 张勇. 基于 TMS570 的计算机联锁系统嵌入式计算平台设计与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2014.

(下转 41页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.005

铁路线路属性对信号系统的影响及解决方案

谢兰英^{1, 2}, 许海祥^{1, 2}

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: 根据《铁路技术管理规程》(高速铁路部分)(TG/01-2014)对正线的定义、信号显示的规定以及《列控系统临时限速技术规范》(Q/CR 662-2018)对临时限速设计的规定, 分析工程中因线路设计与信号设计对站内正线处理不统一, 导致无法下达正线限速的原因, 探讨合理的解决方案。

关键词: 正线; 信号显示; 临时限速

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0019-04

Influence of Railway Line Attributes on Signaling System and Solutions

Xie Lanying^{1, 2}, Xu Haixiang^{1, 2}

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

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

Abstract: According to the definition of main line and the provisions of signal aspect and indication in *Technical Management Regulations for Railway (High Speed Railway) (TG/01-2014)* and the provisions of temporary speed restriction design in *Technical Specification for Temporary Speed Restriction of Train Control System (Q/CR 662-2018)*, this paper analyzes that the line design and signal design are not unified for the processing of main line in the station, It is the reason why the speed restriction cannot be issued, and explores reasonable solutions.

Keywords: main line; signal aspect and indication; temporary speed restriction

1 问题的提出

高速铁路线路由调度员根据调度命令在调度集中(CTC)终端输入临时限速命令参数信息, 确

认后生成临时限速命令, 下发给临时限速服务器(TSRs)。区间及站内正线临时限速按里程设置, 侧线临时限速以上、下行侧线分别(不含正线)按区设置。

在工程实施中, 高速铁路线路出现因列车运行监控装置(LKJ)基础线路数据正线范围比列控工程数据正线范围短, 导致无法下达正线临时限速命令的情况。

收稿日期: 2022-06-14; 修回日期: 2023-07-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFB4300500)

第一作者: 谢兰英(1986—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号系统, 邮箱: xielanying@crscd.com.cn。

2 问题分析

如图 1 所示，以某高铁新建 CTCS-2 级车站为例，I-IG、I-IIG 所在线路为高铁线路正线，I-3G、I-4G 所在线路为动车组走行线，SA 接车至 I-3G，

SB 接车至 I-4G，均为经道岔直向位置进入站内股道。动车组走行线 A 线、B 线线路允许速度均为 80 km/h，站内道岔辙岔号均为 18 号，站内无低于 80 km/h 的固定限速。I-3G 和 I-4G 情况类似，以下均以 I-4G 为例进行阐述。

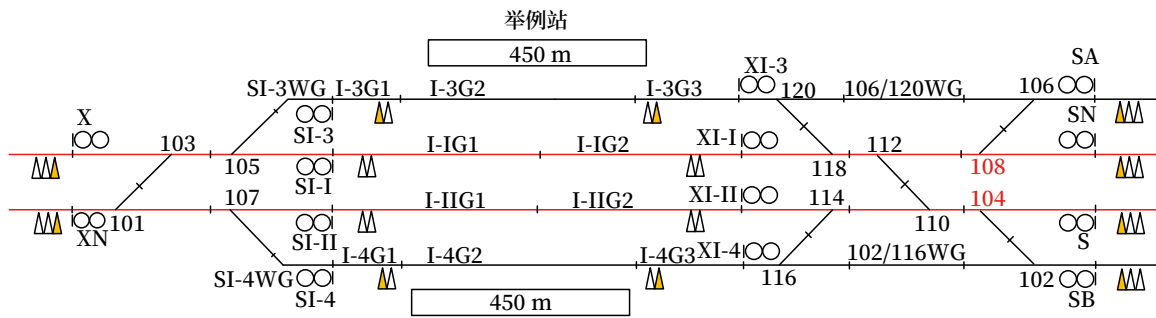


图1 举例站信号平面布置示意

Fig.1 Schematic diagram of signal layout for an example station

因征地等原因，铁路线路设计未在动车组走行线与正线接轨处设置物理隔开设备（如安全线、双动道岔等）且线路设计文件中动车组走行线线路里程起点定义在 104[#] 道岔岔尖处。

根据《铁路技术管理规程》（高速铁路部分）（TG/01-2014）第 33 条规定“铁路线路分为正线、站线、段管线、岔线及安全线等。正线是指连接车站并贯穿或直股伸入车站的线路（条文说明中对正线的解释为：正线是指连接车站并贯穿或直股伸入车站的线路。正线可分为区间正线及站内正线。连接车站的正线为区间正线，贯穿或直股伸入车站的部分为站内正线。但新建线路直股伸入站内正线外的其他股道时，如股道未按正线设计（改造），不作为正线管理）”以及第 51 条对安全线设置条件的规定“联络线、动车组走行线与正线接轨时应设置安全线，与到发线接轨时可不设安全线”，铁路局工务管理部门将 I-4G 按站线管理，而不是按正线管理，SI-4 至 102[#] 道岔之间线路无里程信息。

办理 SB 经道岔直向位置进入站内 I-4G 的进路时，信号设计将 SB 设计为一个黄色灯光显示，按照 TG/01-2014 第 469 条对进站色灯信号机显示一个黄色灯光的规定“准许列车按限速要求经道岔直向位置进入站内正线准备停车”，从信号显示上看

I-4G 为站内正线。

列控工程数据表中 B 线正线线路数据描述至 SI-4，且线路速度为 80 km/h，按《列控系统临时限速技术规范》（Q/CR 662-2018）规定，B 线临时限速正线线路号起点应设置为出站信号机 SI-4，SI-4 至 102[#] 道岔之间线路临时限速应按里程设置。

B 线临时限速正线线路范围（起点在 SI-4）比线路设计提报的正线线路范围（起点在 104[#] 道岔岔尖）长，当需要下达 SI-4 至 102[#] 道岔之间线路临时限速时，因调度员无法获知这段线路的里程值，无法准确下达临时限速命令。

3 问题解决

为解决无里程下达正线临时限速的问题，提出以下 4 个解决方案。

方案一：调度员按列控工程数据的正线里程下达临时限速

正常情况下，由工务段向工务部提报限速申请，由工务部书面通知局调度所，调度所根据工务部的临时限速申请向有关单位发布运行揭示调度命令。在此过程中，提报的限速申请里程信息是以 LKJ 基础数据为依据，SI-4 至 102[#] 道岔之间线路里程信息仅能从列控工程数据表中获知，因此需要调度员在

CTC 设备上下达临时限速时，自行核对调度命令范围是否包含 SI-4 至 102[#] 道岔之间线路。若包含则调度员需按照列控工程数据表中里程值下达临时限速命令。

此方案需要路局制定规章制度调度员下达临时限速命令。当 SI-4 至 102[#] 道岔之间线路需要下达临时限速时，调度员从列控工程数据表中获知里程信息。

方案二：公布 LKJ 基础数据时包含 SI-4 至 102[#] 道岔之间线路里程数据

维持 I-4G 站线的属性，信号专业对信号显示及临时限速正线设计不变，办理 SB 经道岔直向位置进入站内 I-4G 的进路时，SB 显示一个黄色灯光。工务部公布 LKJ 基础数据时，将 SI-4 至 102[#] 道岔之间线路里程数据一并公布，供下达临时限速使用。

此方案需要铁路局工务部公布 SI-4 至 102[#] 道岔之间线路里程数据。

方案三：信号设计修改信号显示、正线信号数据表范围

铁路线路设计将 I-4G 按站线设计，SI-4 至 102[#] 道岔之间线路无里程数据，为解决无里程下达临时限速的问题，信号设计将 SB 经道岔直股接车至 I-4G 的信号显示设计为“黄闪黄”（一个黄色闪光和一个黄色灯光——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），SB 接近区段码序设计为“双黄闪码”，I-4G 经道岔直股向 SB 发车时，XI-4 接近区段码序设计为“双黄闪码”。动车组走行线 B 线临时限速正线线路号起点设置在 SB 信号机处，SB 至 107[#] 道岔间线路均按站内侧线区设计。

此方案可解决无里程下达临时限速的问题，但信号专业修改量大，计算机联锁、列控中心、临时限速服务器、调度集中、信号集中监测均需修改，且经道岔直向接车显示“黄闪黄”“双黄”为特殊显示，经道岔直向接车、发车，信号机接近区段发送“双黄闪码”“双黄码”为特殊码序，需提报路局相关部门批准。

此外当 SI-4 至 102[#] 道岔之间线路以及动车组走行线线路允许速度大于 80 km/h 时，SB 经道岔直股接车至 I-4G 的信号显示设计为“黄闪黄”，会降低运输效率。若此车站采用 CTCS-3 级列控系统，还需要修改无线闭塞中心（RBC）。

方案四：线路专业修改线路设计，将 I-4G 设计为正线

线路专业设计线路时，在 I-4G 下行咽喉侧股道末端设计安全线，将动车组走行线与正线隔开，I-4G 按正线设计。信号设计维持按 SB 经道岔直向位置进入站内正线，将 SB 设计为一个黄显示，SB 接车至 I-4G，I-4G 向 SB 发车时，站内临时限速按正线设计。线路、信号显示、限速管理等均按正线保持统一，便于管理维护，且不会出现因线路专业将直向线路不按正线设计，而信号专业将直向线路按正线设计的不匹配问题。

此方案线路专业会增加投资，需结合工程投资考虑方案可行性。

4 结束语

线路专业在设计高速铁路线路时，应尽可能按照《铁路技术管理规程》正文中关于正线的定义“正线是指连接车站并贯穿或直股伸入车站的线路”进行正线设计。可避免线路专业将直股伸入车站的线路设计为站线后，信号设计将防护道岔直向进入站内股道的进站信号机设计为黄显示，从而导致临时限速按正线设计后，调度所无法按里程下达临时限速的情况发生。

信号专业在收到线路专业提供的线路资料后，通过线路里程、股道编号等识别出直股伸入车站的线路未设计为“正线”时，应及时报备给路局管理单位，征求路局意见，根据线路设计情况（铁路线路分类、线路允许速度）与线路设计共同提出合理解决方案，做到线路设计、信号显示、临时限速设计、设备管理维护均合理合规，既保证安全又不影响效率。

参考文献

[1] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程（高速铁

路部分): 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] 中国铁路总公司. 列控系统临时限速技术规范: Q/CR 662-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

[4] 中华人民共和国国家铁路局. 机车信号信息定义及分配: TB/T 3060-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

[5] 中华人民共和国国家铁路局. 列控中心技术条件: TB/T 3439-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

[6] 中国国家铁路集团有限公司. 列控中心技术条

件: Q/CR 817-2021[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.

[7] 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.

[8] 中华人民共和国国家铁路局. 调度集中系统技术条件: TB/T 3471-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[9] 沈晓瑜. 朔黄铁路机车调度系统设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(5): 28-32.

Shen Xiaoyu. Design of Locomotive Dispatching System for Shuohuang Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 28-32.

(上接14页)

[2] 胡启正, 杨勇, 王巍. 铁路电务智能运维应用系统研究与设计[J]. 中国铁路, 2021(4): 61-66.

Hu Qizheng, Yang Yong, Wang Wei. Research and Design of Intelligent Operation and Maintenance Application System for Railway Communication & Signaling[J]. China Railway, 2021(4): 61-66.

[3] 李俊波, 王万齐, 沈鹞, 等. 高速铁路建维一体化数据管理与运用方法研究[J]. 中国铁路, 2022(3): 94-101.

Li Junbo, Wang Wanqi, Shen Kun, et al. Research on Integrated Data Management and Application Methods for Construction and Maintenance of High Speed Railway[J]. China Railway, 2022(3): 94-101.

[4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于粤港澳大湾区城际铁路建设规划的批复: 发改基础[2020]1238号[S]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2020.

[5] 马龙. 城市轨道交通信号系统智能维护监测平台研究与应用[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(11): 73-76, 81.

Ma Long. Study and Application of Intelligent Maintenance Support Platform for Signal System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(11): 73-76, 81.

[6] 丁顺亭, 蒋纲, 王立延. 信号集中监测智能预警及诊断系统的设计与实现[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(2): 21-24.

Ding Shunting, Jiang Gang, Wang Liyan. Design and Realization of Intelligent Warning and Diagnosis System of Centralized Signal Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(2): 21-24.

[7] 陈建译. 电务大数据智能运维平台研究与应用[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(S1): 162-166.

Chen Jianyi. Research and Application of Big-Databased Intelligent Operation and Maintenance Platform for Railway Communications and Signaling[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(S1): 162-166.

[8] 王华伟. 铁路运输设备技术状态大数据平台研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2017.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.006

桑梓店站信号过渡处理方案研究

付志, 张文斐

(中铁工程设计咨询集团有限公司济南设计院, 济南 250022)

摘要: 以邯济铁路桑梓店站增二线及车站改造为例, 提出衔接牵出线道岔拆除后的特殊处理方案, 过渡期间在防护信号机点灯条件中插入道岔表示条件, 从而保证进路安全; 针对插入道岔的位置及启用时机的不同, 分别提出切实可行的道岔过渡处理方式, 满足车站运输需要; 探讨过渡期间无岔区段插入道岔表示处理方式, 提出合理的过渡方案, 顺利完成车站信号过渡。通过对车站改造过程中信号过渡方案的总结研究, 为以后改造车站过渡设计提供工程参考。

关键词: 信号过渡设计; 道岔改造; 道岔处理; 道岔表示

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0023-07

Study on Signal Transition Processing Scheme of Sangzidian Station

Fu Zhi, Zhang Wenfei

(Jinan Institute, China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Jinan 250022, China)

Abstract: Based on the double-line reconstruction project of Sangzidian railway station on Handan-Jinan railway, this paper proposes a special processing scheme for connecting turnout of switching lead when this turnout has been removed. In order to ensure safety of railway traffic during the signal transition, switch normal indication of transition turnout is inserted into the lighting circuit of protection signal. According to the different position and enable timing of inserting turnout, practical treatment methods of transition turnout control circuit are proposed separately, so as to meet the needs of railway transportation. The processing method of inserting turnouts in the switchless section during the transition period is discussed, and a reasonable transition plan is proposed to successfully complete the station signal transition. Through the summary of the signal transition scheme in the process of station transformation, these suggestions presented in this paper can supply references for transition scheme for station reconstruction project in the future.

Keywords: signal transition design; turnout transformation; turnout processing; turnout indication

1 概述

国内铁路的快速发展, 使部分既有铁路运力已

无法满足现阶段铁路运量发展的需要, 既有铁路面临进行增二线扩能或者新增联络线改造, 需要对既有站场进行大规模的改造。由于车站站改工程复杂, 道岔改动多, 车站过渡步骤复杂, 需要信号过渡方案与之完全配套, 确保安全。

收稿日期: 2022-06-07; 修回日期: 2023-08-05

第一作者: 付志 (1990—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: shixinruanf@163.com。

信号过渡工程在既有信号设备上施工，既要满足既有线的运输需求，保证部分线路正常运营，同时需要确保车站联锁关系正确，保证行车安全。在综合考虑施工难度及缩短工期的前提下，同时节省投资，车站信号系统改造一般在既有联锁的基础上一次改造到位，无法配合车站分步站改施工，进行多次联锁设备软件修改。因此信号系统需要在既有设备上过渡，满足车站站改需要并减少对车站运输的影响。本文以桑梓店站站改工程中信号特殊过渡处理方案为例进行深入研究，为类似工程信号过渡设计提供参考。

2 信号过渡设计原则

车站的信号过渡工程，在未启用新车站联锁设备前，新增设备需要在既有联锁系统上进行过渡处理，同样在启用新的联锁设备后，未拆除的旧设备或未就位的新增设备也需要在新联锁上对设备进行过渡处理。为确保安全，方便施工，保障顺利开通，信号过渡设计时必须遵循以下原则。

1) 车站信号过渡方案及步骤必须与站场、电气化等相关专业步骤统一，统筹考虑，确保各专业过渡工程协同有序进行，减少对运输行车的干扰。

2) 在新旧联锁设备上进行的电路改动必须满足“故障-安全”的原则。

3) 在过渡期间，严格执行《国铁集团铁路营业线施工管理办法》中“严禁进路有关道岔未纳入联锁时开放信号办理列车和调车作业。营业线站场改造工程中，凡所接入或移动的道岔，应按信号过渡工程设计、施工，将道岔表示纳入车站联锁后方可

开放相应的信号机。”的有关规定。所有新增、更换道岔表示室内外应一致，必须保证所有道岔纳入联锁正确后方可施工、开通。

4) 信号过渡工程应根据现场实际情况，尽量永临结合，减少废弃工程。

3 工程概述

3.1 既有设备概况

桑梓店站全站共有联锁道岔 29 组，到 / 发线 7 条（含正线 1 条）。既有信号联锁设备为 2008 年济南化工产业园铁路专用线引入桑梓店站改造时的计算机联锁系统，行车指挥系统为列车调度指挥系统（TDCS），对邯济线邻站为半自动闭塞，轨道电路为 25 Hz 相敏轨道电路并叠加 ZWP-2000A 四线制电码化。

3.2 车站改造工程设计概况

桑梓店站在邯济铁路至胶济铁路联络线工程主要内容为：新铺道岔 23 组，新增邯济铁路正线 1 条（增二线）、至胶济铁路联络线正线 1 条。信号设备在既有计算机联锁系统上利旧修改，对邯济线区间改为 ZPW-2000 系列四显示移频自动闭塞，对胶济线区间采用 64D 半自动闭塞。

为了不影响桑梓店站正常运输作业，车站站场改造范围内的施工基本都安排在车站天窗点内进行。本次站改站场联锁关系变动大，施工步骤较多，需在满足车站运输不受影响的情况下，确保既有信号设备的安全运行，对信号专业的过渡提出了较高的要求，如图 1 所示。

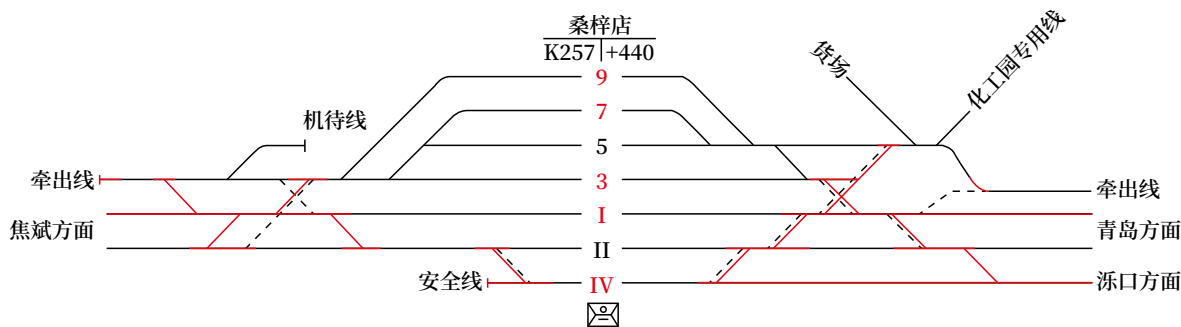


图1 桑梓店站站改示意
Fig.1 Sangzidian station reconstruction diagram

4 信号过渡设计方案

针对本次站改信号过渡施工内容和站改过渡的难点、重点,提出信号总体过渡思路如下:为减少在启用新联锁时对联锁试验的影响,减少在信号大要点内的拆配线修改,原则上全部过渡均在旧联锁软件或既有组合上进行;尽量避免增加联锁软件的修改次数,尽量在室外进行过渡电路处理,减少室内电路修改及联锁关系改动;与运输部门建立有效的沟通机制,分阶段、分步骤、有计划地进行信号工程过渡,满足过渡期间运输行车需求。

根据上述的过渡设计原则,桑梓店站信号过渡设计中新道岔纳入联锁时的过渡处理方案出现以下几种特殊情况。

4.1 进路中已拆除的防护道岔过渡处理

既有牵出线上的道岔(2[#])和济南化工园专用线衔接道岔(4[#]),在既有联锁系统中两组道岔为两组单动道岔。为防止牵出线上车列溜出造成侧冲,原联锁软件中在办理济南化工园接/发车进路时,2[#]道岔作为防护道岔进行处理,即进路开放需检查2[#]道岔处于定位位置,如图2所示。

在桑梓店站站改过程中,既有牵出线及2[#]道岔一并拆除,并在既有牵出线北侧还建牵出线,新牵出线在既有牵出线拆除后同步拨接线路启用(如图2红线所示)。

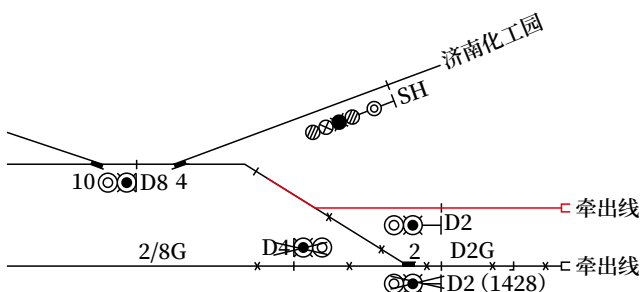


图2 拆除道岔处信号平面布置
Fig.2 Signal layout for the turnout removed

由于需在既有联锁系统基础上对既有2[#]道岔进行拆除,即相当于室外没有2[#]道岔,而室内控制电路及联锁软件仍含有该组道岔,如不对室内道

岔表示电路进行处理,联锁系统会采集到道岔 DBJ 和 FBJ 均处于落下状态。为防止联锁报警,信号过渡设计中一般会根据线路实际使用情况,将 DBJ 或 FBJ 继电器线圈上加电,让表示继电器吸起,从而避免报警。

在此次桑梓店站站改过渡中,站改完成后立即启用新牵出线,在使用牵出线时需要使用到已拆除的2[#]道岔的反位,而济南化工园接车时需要检查已拆除的2[#]道岔处于定位位置,这就造成在对2[#]道岔拆除的过渡处理无法实现一般情况下对道岔表示的处理方法。为了节省过渡投资、避免在过渡工程中修改联锁软件,针对上述情况提出以下解决方案。

1) 从站场道岔布置图中可以看出,既有2[#]道岔和4[#]道岔在使用时,道岔的定、反位为同步使用,即济南化工园专用线接发车时,两组道岔均需锁定在定位位置,使用牵出线时道岔均锁定在反位位置。站场改造完成后,既有2[#]道岔室外设备已经拆除,为满足联锁软件上两组道岔表示的同步,可以将2[#]道岔表示状态改为复示既有4[#]道岔的表示,从而在联锁软件层面保证进路的正常办理。

2) 为保证牵出线上的D2信号机仅可以在4[#]道岔处于反位时信号方可开放,在D2信号机DXJ继电器的驱动电路中插入4[#]道岔的反位表示条件,确保只有在4[#]道岔处于反位位置时D2信号机才可以开放,避免出现挤岔、侧冲等风险。具体电路修改如图3所示。

通过上述方式修改电路后,可以同时满足济南化工园接/发车和牵出线正常的使用,满足过渡期间运输行车需求。同时还避免了联锁软件的修改,缩短过渡工期、节省过渡工程投资。

4.2 新插入交流转辙机牵引道岔的过渡处理

桑梓店站在胶济铁路联络线引入后,车站站场布局有较大的改变,新插入的道岔除安全线道岔外均采用交流转辙机牵引。针对新道岔插入的位置不同,将室内外道岔控制电路修改归纳为新位置插入道岔和原位换铺新道岔两种情况。

4.2.1 新位置插入道岔

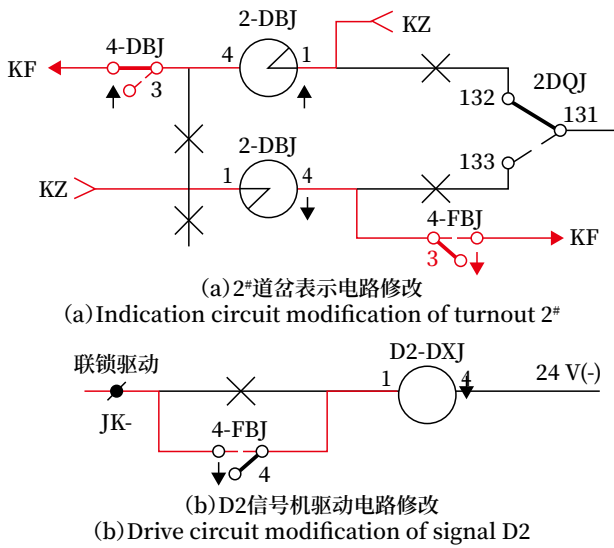


图3 道岔表示电路过渡修改电路

Fig.3 Turnout indication circuit transition modification diagram

为满足站场改造的需要，既有道岔需要进行移

设（如图4中3#道岔，新3#暂不启用），在新道岔插入后信号联锁关系随即发生变化。在联锁系统软件未更换前，信号过渡施工时，必须严格执行“严禁进路有关道岔未纳入联锁时开放信号办理列车和调车作业”的规定，新插入道岔表示必须接入既有道岔表示回路内，纳入既有联锁检查，方可满足上述规定。在插铺新3#道岔后，需将新插入的3#道岔（ZYJ7+SH6）定位表示接入既有3#道岔（ZD6-E/J）表示回路内，两组道岔间敷设信号过渡电缆。室外道岔表示电路修改如图5所示。

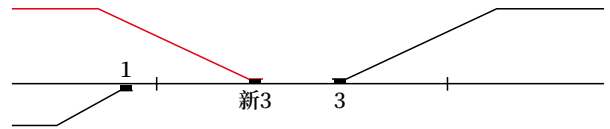


图4 3#道岔移设示意

Fig.4 Turnout 3# displacement diagram

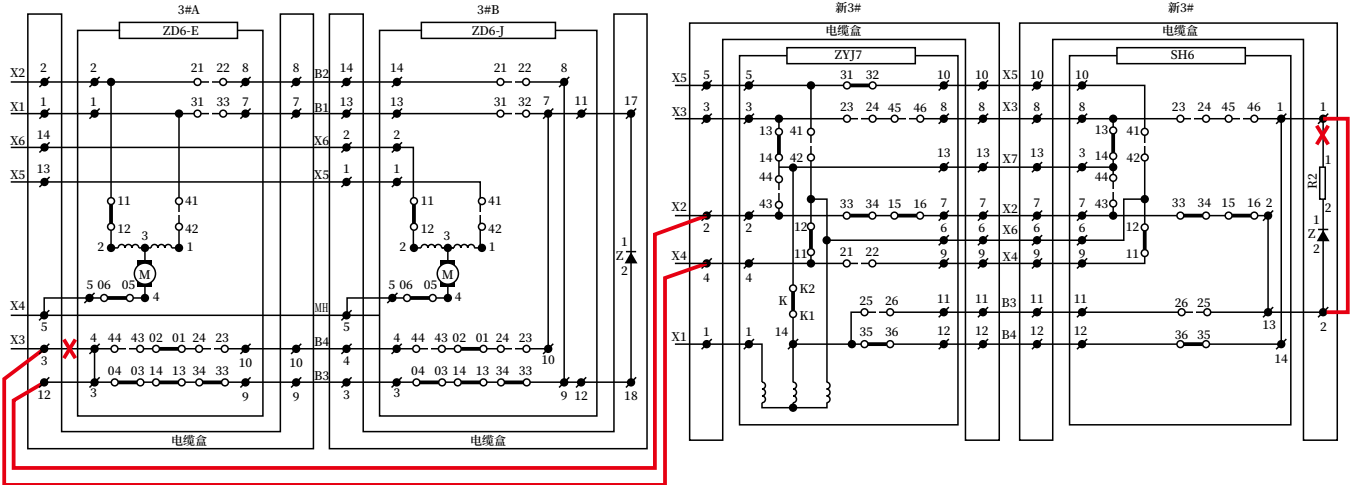


图5 道岔表示电路修改

Fig.5 Turnout indication circuit modification diagram

4.2.2 原位换铺新道岔

因胶济联络线引入桑梓店站，为满足列车轴重和直向通过速度的需要，桑梓店既有侧线多组道岔需要原位更换为提速道岔。桑梓店站车站作业比较繁忙，既有车站的运输不能中断，为了使施工对运输的影响降低至最小，站改过程中提速道岔更换后需直接启用。因为直流、交流转辙机牵引道岔的室内外控制电路均不相同，因此在新的联锁系统未启用前需对该组道岔进行过渡。

信号过渡工程必须要保证行车安全，同时还需要充分利用既有信号设备，减少封锁施工期间的改造工程量，降低施工风险，减小施工难度。根据以上原则，新插入道岔直接启用正式工程的转辙设备、电缆以及室内交流道岔JDF辅助组合，同时为减少施工点内的配线数量，信号过渡设计中充分利用既有直流道岔控制组合，保留道岔表示和启动条件所用继电器，避免修改计算机联锁接口电路配线，具体过渡设计方案如图6所示。

1) 将直流道岔组合内的 DBJ、FBJ 与既有电路拆离，并将 JDF 组合内的 DBJ、FBJ 继电器接点分别串入直流道岔组合中的 DBJ、FBJ 中，从而使道岔表示信息与室外道岔情况保持一致。

2) 拆除直流道岔中不再使用的 1DQJ、2QDJ (F) 和道岔阻容元件及动作断路器，并将道岔启动条件接入新的 JDF 组合内，完成计算机联锁对室外道岔动作的控制 (如图 6 中虚线框内部分)。

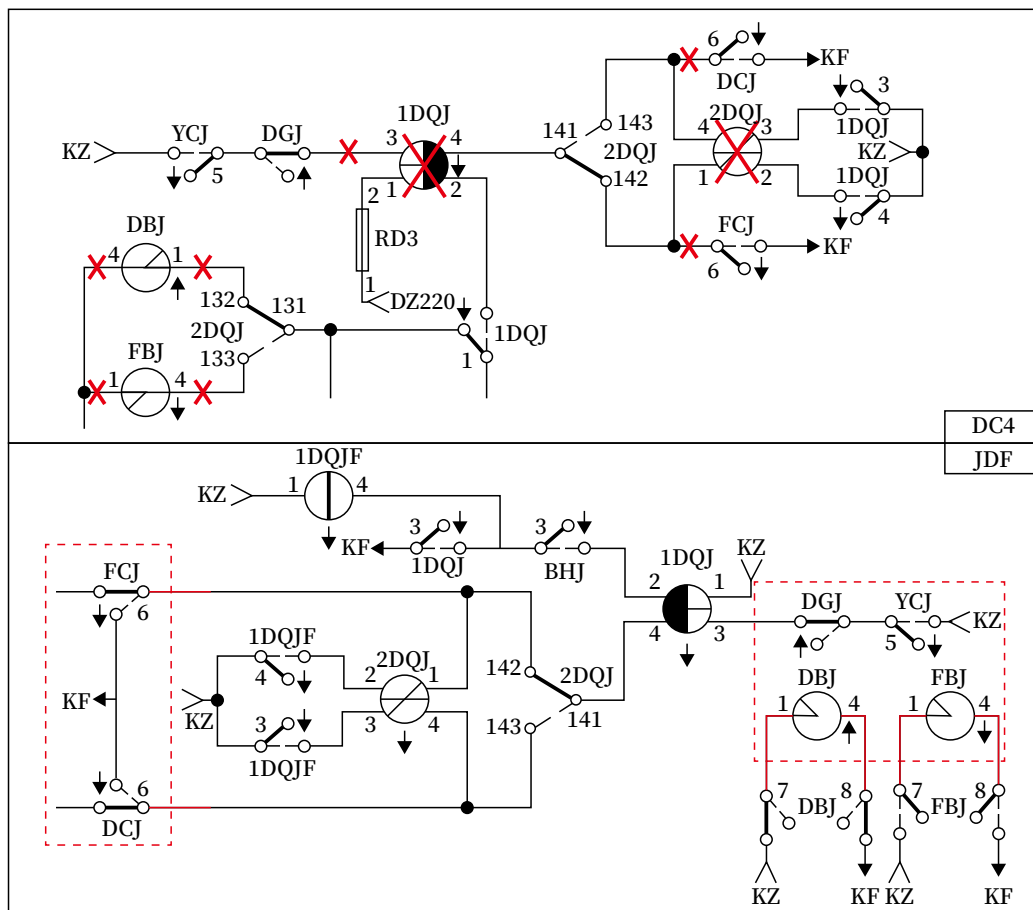


图6 道岔室内控制电路修改
Fig.6 Turnout indoor control circuit modification diagram

4.3 新道岔需插入无岔区段内

桑梓店站因站改需要在正线上插入新 17# 和新 23# 道岔，这两组道岔的插入位置处于 D9 和 D19 信号机之间的无岔区段内，且两组新插入的道岔岔心间距离很短，约 59 m，如图 7 所示。

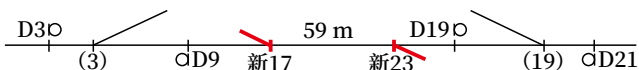


图7 新插入道岔位置关系
Fig.7 Newly inserted turnout position diagram

在以往的信号过渡设计时，遇到新插入道岔在无岔区段的情况，一般是移设既有道岔岔前或岔后

的信号机和轨道电路设备，将新插入的道岔纳入到邻近道岔的道岔区段内，并将新道岔的定位表示纳入邻近道岔表示内，从而保证在进路排列时可以检查到新插入道岔的密贴情况，保证车列运行安全，避免安全隐患。

以本次过渡情况为例，将 D9 和 D19 信号机分别移至新 17# 和新 23# 道岔岔前，满足道岔表示纳入的条件。可本次插入的两组道岔距离较近，如按照此方式移设信号机，就会造成移设后的无岔区段长度仅有 25 m，移设后的区段长度过短，极易发生掉码等设备故障，并且移设后两架信号机间距离

过近，无法满足车站调车作业需要，因此该种过渡方案不可行。

如不移设信号机，仅将新道岔表示纳入一侧既有道岔内，即新 17[#] 道岔表示纳入既有 3[#] 道岔表示内、新 23[#] 道岔表示纳入既有 19[#] 道岔表示内。因新插入的道岔位于无岔区段内，按照此种方式处理道岔表示存在一定的安全隐患，即当排列从一侧进入无岔区段的进路时，因另一侧道岔不在进路相关道岔的检查范围内，故而联锁只会检查进入侧的道

岔表示，就会造成仅有一组新插入的道岔表示被检查，另一组道岔处于不被检查状态的情况，列车运行安全无法得到全部保障。因此，在过渡设计时，应将新插入的两组道岔表示串联，分别纳入无岔区段两侧的两组道岔内，采用此种方式，无论列车从哪侧进入无岔区段都可以检查到两组道岔的表示情况，并且由于没有移设信号机，保证了无岔区段的长度，保证了设备的正常运转。具体室外电路修改如图 8 所示。

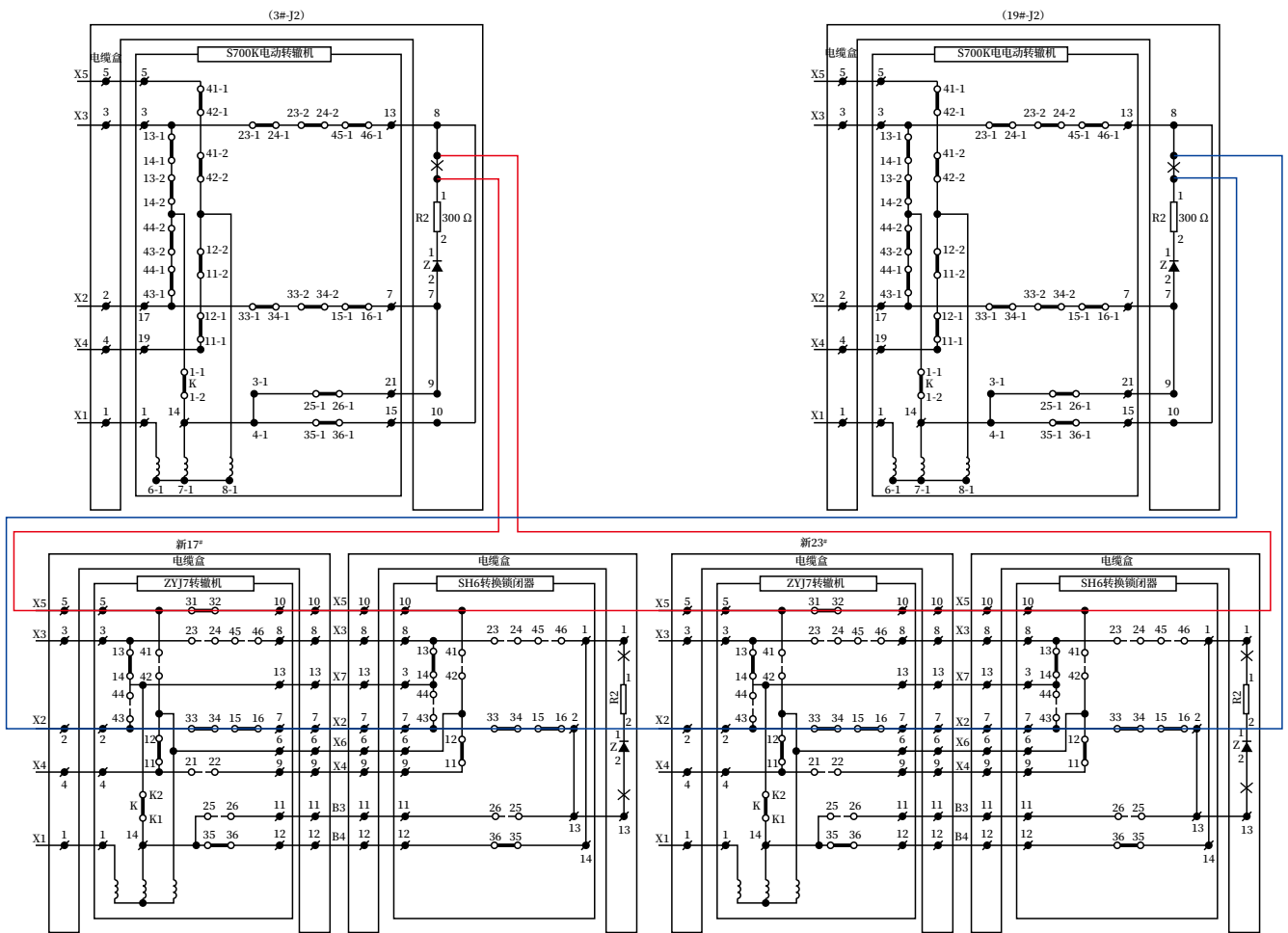


图8 新铺道岔表示纳入联锁电路修改
Fig.8 Circuit modification of new turnout indication incorporating into interlocking

5 结语

通过对桑梓店站过渡设计方案的分析可以看出，在站改过程中如何将道岔纳入联锁中并没有一成不变的过渡方案及实施方法。面对不同的站改方案，

需要有针对性的研究，分析整理改造过程中施工内容和步骤，需根据具体情况制定切实有效的信号过渡措施。信号过渡工程设计要在确保安全的前提下，降低施工难度，减少工程投资和缩短建设时间，确保过渡方案的合理性和可实施性。通过归纳总结信

号过渡设计中出现的特殊过渡方案,为以后类似站改工程信号过渡设计提供借鉴。

参考文献

- [1] 闫学文,朱文福.营业线站场改造过渡插入道岔的联锁电路处理方法[J].铁路通信信号工程技术,2008,5(3):47-48.
Yan Xuewen, Zhu Wenfu. Methods of Bringing Temporary Turnouts into Interlocking Circuit in Renovation Project[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2008, 5(3): 47-48.
- [2] 童超.既有枢纽车站改造信号过渡道岔处理方案研究[J].铁道标准设计,2015,59(5):153-157.
Tong Chao. Research on Scheme of Signal Transition Switch Processing in Existing Hub Station Reconstruction[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(5): 153-157.
- [3] 朱伦.烟台站轨道结构优化引起的道岔改造信号过渡方案探讨[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(7):107-112.
Zhu Lun. Signaling Transition Scheme of Switch Transformation Caused by Rail Structure Optimization in Yantai Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 107-112.
- [4] 杨光虎.既有线插铺道岔纳入联锁的几种解决方案[J].铁道通信信号,2009,45(12):36-37.
Yang Guanghu. Several Solutions for Interlocking Inserted Turnouts on Existing Lines[J]. Railway Signalling & Communication, 2009, 45(12): 36-37.
- [5] 中国国家铁路集团有限公司.国铁集团铁路营业线施工管理办法: TG/QT 102-2021[S].北京:中国铁道出版社,2021.
- [6] 许宾.道岔试验模拟条件在信号工程开通施工中的应用[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(8):6-10.
Xu Bin. Application of Turnout Test Simulation Conditions in Commissioning Construction of Signaling Engineering[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 6-10.
- [7] 钱怀武.昆明枢纽扩能改造昆明站岔改信号过渡方案研究[J].铁路通信信号工程技术,2017,14(1):84-87.
Qian Huaiwu. Signal Transition Engineering Design Scheme for Reconstruction of Kunming Junction[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(1): 84-87.
- [8] 李永辉.浅谈新铺道岔纳入既有信号联锁的过渡方案[J].铁路通信信号工程技术,2007,4(3):16-18.
Li Yonghui. Brief Discussion on Transit Scheme for Bringing Newly-Laid Points into Existing Signal Interlocking System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2007, 4(3): 16-18.

本期广告企业简介

成都运达科技股份有限公司

运达科技
国铁安全联锁监控系统

致力于为轨道交通业务领域
提供智能化解决方案及服务

联系电话:028-82839999

网址: <http://www.yd-tec.com>

地址:四川省成都市高新区西部园区康强四路99号

邮箱: gtbg@yunda-tec.com

(详见封面)

基于GPRS的智能高铁自动驾驶技术应用研究

王军栋

(北京中铁建电气化设计研究院有限公司, 北京 100043)

摘要: 介绍 CTCS-3+ATO 模式列控系统的运行方式和 GPRS 的相关参数。通过分析国内首条使用 CTCS-3+ATO 模式高铁线路运行 1 年多以来的监测数据, 可见高速铁路 ATO 业务在功能和性能方面完全满足国铁集团制定的规范要求, 并对原 CTCS-3 业务没有任何影响, 证明使用分组域 GPRS 网络承载列控类业务的可行性。为增强 GPRS 分组域通道的可用性, 保证 ATO 业务的正常运行, 针对 BSC 资源利用、小区重选和 ATO 设备保护功能等方面提出合理建议。

关键词: 通用分组无线业务; 自动驾驶; 列控业务

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0030-06

Application Research on Intelligent High-speed Railway ATO Based on GPRS

Wang Jundong

(Beijing China Railway Construction Electrification Design&Research Institute, Beijing 100043, China)

Abstract: This paper introduces the operation mode of CTCS-3+ATO train control system and the relevant parameters of GPRS. By analyzing the monitoring data of the first domestic high-speed railway line using CTCS-3+ATO mode for more than one year, the high-speed railway ATO service fully meets the requirements of the specifications formulated by China Railway Group in terms of function and performance, and has no impact on the original CTCS-3 service, which proves the feasibility of using packet domain GPRS network to carry train control services. In order to enhance the availability of GPRS grouped domain channels and ensure the normal operation of ATO, this paper puts forward reasonable suggestions on BSC resource utilization, cell reset and ATO device protection.

Keywords: general packet radio service; ATO; train control business

1 概述

智能高铁是中国未来高铁建设的发展方向, 也是当今世界各国高铁行业的主要发展趋势。智能化

收稿日期: 2022-10-25; 修回日期: 2023-07-20

作者简介: 王军栋(1984—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 高速铁路通信系统设计, 邮箱: 446134641@qq.com。

高铁是中国高铁进一步保障出行安全、提升高铁速度、降低运输成本的一大创新选择。

根据中国国家铁路集团有限公司(简称国铁集团)发布的 ATO 技术规范定义, 高速铁路 ATO 列车业务管理系统是在能够实现 CTCS-2(简称 C2)级和 CTCS-3(简称 C3)级列控的功能外, 增设 ATO 单元模块在车载设备上, 从而实现列车运行控制以及自动驾驶, 使用基于 GPRS 通信模块来实现

车-地之间自动驾驶的行车业务数据模块间所进行的信息数据交互^[1]。车站的自动售票发车、区间的自动调度运行、车门的自动开门/关闭(防护)、车门/站台门的联动控制系统等这几个主要部分模块都是国内高速铁路ATO列车业务智能管理监控系统模块中的一些重要系统功能^[2]。

2 ATO实现方式

2.1 ATO运用方式

C3+ATO模式列控系统是在C3列控基础上,车载设备增加ATO单元、GPRS通信模块及相关配套设备实现自动驾驶控制^[3]。如图1所示,地面在临时限速服务器(TSRs)、调度集中系统(CTC)和列控中心(TCC)等设备上增加相应功能。自动驾驶ATO业务数据使用GSM-R网络的通用分组无线业务(GPRS)分组域通道,原C3列控业务数据仍使用GSM-R网络的电路域通道。

2.2 GSM-R系统组成

GSM-R网络由基站子系统(BSS)、网络交换子系统(NSS)和移动台(MS)构成。GPRS的引入使现有网络架构得以扩展,因为两种类型的应用,电路交换(CS)和分组交换(PS),都通过GSM-R/GPRS网络运行。

BSS由很多基站收发信台(BTS)构成,这些BTS能够实现移动台与网络之间的无线连接^[4]。BTS设定了移动台与网络之间的所有功能,包括信道编码、交织、加密以及突发。此外,还包括GMSK及8-PSK调制及解调。BTS由基站控制器(BSC)控制,包括在专用连接中对BTS和MS测

量结果的计算,以及切换和功率控制。BSS中的第3个网元是TRAU,提供语音压缩,将传真、语音、数据信息转化为TRAU帧^[5]。

为实现GSM PS模式,通过数据包控制单元(PCU)增强BSS,可以将其作为BSS的一部分安装在网络中的不同位置。PCU的功能是管理GPRS无线资源,而BSC负责管理电路交换无线资源。TRAU和BTS之间使用16 kbit/s信道,并且该信道速率用于较低的GPRS编码方案(信道编码)。为了利用GPRS(即CS-3/CS-4)获得更高的带宽,在Abis上需要更大的带宽(>16 kbit/s)。如上所述,PCU帧通过BSC透明地转发到BTS,以进行进一步处理。BSC和PCU在Abis和空中接口(Um)上共享时隙和资源。BSC和PCU需要进行协调,以防止BSC和PCU分配彼此已经占用的时隙。

NSS有一个或多个归属位置寄存器(HLR),包括鉴权中心(AuC),MSC包涵很多媒体网关及MSS^[6]。拜访位置寄存器(VLR)大多数时候与MSC/MSS连接。部分NSS用于GSM分组模式,比如签约信息的获取及与MSC/MSS移动性管理。

PS模式分组核心网(PaCo)是CS模式NSS的对应网络,由服务GPRS支持节点(SGSN)和网关GPRS支持节点(GGSN)功能组成。PaCo网络内部的服务GPRS支持节点(SGSN)接管GSM中MSS/MSC和VLR所执行的功能。除了这些功能之外,SGSN还必须执行GPRS特定的其他任务。

GGSN本质上是GPRS网络与外部分组数据网络之间的接口。

2.3 GPRS协议栈

GPRS需要新的协议用于MS和BSS以及分组

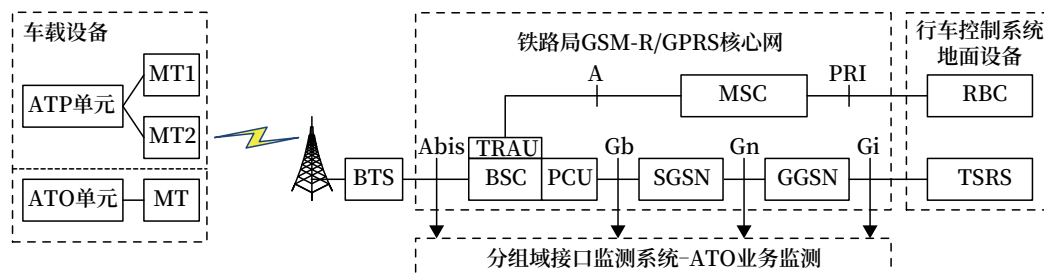


图1 地铁施工临时通信处理系统示意

Fig.1 Schematic diagram of temporary communication processing system for metro construction

域核心网接口处。协议栈由用户平面及控制平面组成，如图 2 所示，在用户平面协议栈中没有 MSC/

MSS+MGW。

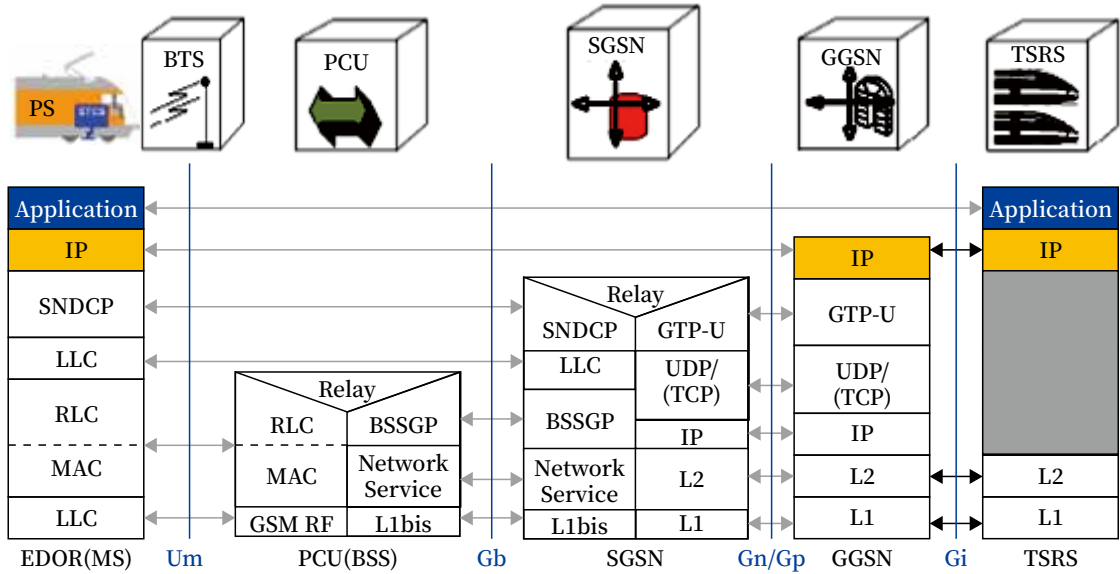


图2 GPRS协议栈
Fig.2 GPRS protocol stack

在所有 GPRS 支持节点和 SGSN 和 GGSN 之间，用户数据报协议 (UDP) 或传输控制协议 (TCP) 显示在 GPRS 隧道协议 (GTP) 下。GTP 用于在 GSM、UMTS 和 LTE 中传输 GPRS，并且由单独的协议 GTP-C、GTP-U 和 GTP 组成。

SNDCP 向更高层提供服务，包括复用、分段和封装，即将 IP 帧转换为子网格式。另外，SNDCP 执行多个 PDP 上下文 PDU 传输，并确保在满足 QoS 要求的情况下及时将网络协议数据单元传输到 LLC 层。

LLC 传送协议数据单元 (PDU)、移动管理 (GMM)、会话管理 (SM)、IP 分组及短消息 (SMS)。在 SNDCP 层中，PDU 进行预先处理，并通过 LLC 进行传送。MS 及 SGSN 之间的 LLC 传送参数通过交换标识帧 (XID) 来进行交换。

BSSGP 用于提供在 PCU (BSS) 和 SGSN 之间交换用户数据所需无线相关的 QoS 和路由信息。这样的用户数据是透明的，并且 BSSGP 不为用户数据提供前向纠错。

无线资源分配机制属于协议栈的 RLC/MAC

层，由无线链路控制 (RLC) 和媒体访问控制 (MAC) 两个单独的协议组成。

2.4 ATO运用情况

在功能方面，通过 1 年多以来的 ATO 运用情况来看，ATO 相关设备在通信方面的处理功能正常。车载 ATO 设备和地面 TSRS 服务器之间均能正常建立 TCP 连接，并维持正常的 ATO 业务信令的交互。车载 ATO 设备在 TSRS 服务器交权区可以正常进行交权，正常结束当前呼叫，执行 PDP 去激活操作；然后进行 PDP 激活操作，获取新的 IP 地址；再根据从应答器接收的新 TSRS 服务器 IP 地址，与新 TSRS 服务器建立 TCP 连接^[7]。

从性能指标方面来看，通过对空中传输的 TCP 数据包的时延统计，单向平均时延和 95% 信息包的时延均小于 ATO 规范规定的标准（如某月的统计结果为单向平均时延 0.42 s，95% 时延 0.66 s）。

从 ATO 运用情况可以看出，国铁集团通过前期充分的理论研究和实验室验证，制定的高速铁路 ATO 方案和各项参数设置是合理的。

2.5 GPRS对列控业务的意义

通过对某高铁 ATO 业务的运用信息跟踪,充分说明使用分组域 GPRS 网络承载列控类业务是可行的,是对原 C3 列控系统使用的电路域通道的有效补充。

GSM-R 网络无线信道资源少,语音呼叫业务的带宽利用率低,列车控制系统使用传统的电路交换数据模式,GSM-R 网络承载列控业务的压力较大,尤其在车流密集的枢纽区域,很可能出现无线电资源不足的情况^[8]。使用分组交换模式传输列控系统数据,可以将多路会话复用到一个无线电资源,按需分配传输资源,提高带宽利用率,有效解决 GSM-R 网络下无线电资源紧张的问题。进一步研究列车控制系统在 GSM-R 网络下实现 GPRS 传输,对解决 GSM-R 网络当前面临的问题有重要意义^[9]。

3 ATO业务优化方法

3.1 GPRS参数

高速铁路 ATO 系统与 GSM-R 网络接口暂行技术条件中,提出的 GPRS 数据传输延迟标准是 1 级,指标如表 1 所示。

表1 GPRS网络数据传输延迟指标

Tab.1 GPRS network data transmission delay indexes

传输数据	平均时延 /s	95% 时延 /s
128 Byte	< 0.5	< 1.5

此外定义了 GPRS 网络参数,如表 2 所示。

3.2 BSC资源利用

用来调节 GSM-R 与 GPRS 网络间资源利用的参数如下。

FPDCH:该信道参数表中已设定出包含在每个小区范围内所有可用的静态信道 PDCH 频道资源的资源个数。增大到此静态信道参数值时,虽然可能是用比较经济有效的方法保证该小区 GPRS 网络的服务量的业务质量,但它也同样意味着可能导致或相应地会减少该小区覆盖范围内 GSM-R 信道能够使用到的信道资源^[10]。目前的小区 GPRS 业务量都以相对较小的话音数据量为主,对拥塞的时间也

表2 GPRS网络参数配置要求

Tab.2 GPRS network parameter configuration requirements

QoS 指标名称	参数设置	说明
业务类型 (Traffic Class)	流 (Streaming)	共有 4 种业务类型, Streaming 是相对来说实时性最好的业务类型
ARP (分配与保持优先级)	1	定义此业务的优先级, 1 为最高优先级, 在分配资源时可优先于别的业务
GBR (保证比特速率)	3 kbit/s	定义此业务最低的速率要求, 资源分配不允许小于这个速率
SDU 错误率	10^{-4}	定义允许的最大 SDU 错误率, 超过此值即认为 SDU 是错误的, 可以设置为不传数据帧
残留比特错误率	10^{-5}	定义收到的 SDU 中未做错误检测的比特错误率, 超过此值也认为 SDU 是错误的, 可以设置为不传数据帧
是否发送错误的 SDU	不发送	—

较为敏感,而用户需求对其所得到数据的时隙间隔和个数却不太那么的敏感。如果将手机设置默认成已经安装上这样的一个静态 PDCH,那么,数据发生拥塞时,仅仅影响到数据吞吐量大小和运营商对其用户需求的感知度。

PILTIMER:动态 PDCH 处于空闲状态时,将被放入空闲列表,当时钟值超过该值之后,才由分组交换域返回电路交换域。根据这个理论分析, PILTIMER 值越大,空闲的动态 PDCH 等待的时间就越长,这样可以减少动态 PDCH 重新分配次数,减少接入时的时延。

TBF_LIMIT:有 TBF_UL_LIMIT 和 TBF_DL_LIMIT。当该小区系统的任何一个系统中平均的每个 PDCH 所能承载的 TBF 数超过门限值时, TBF 数将被重新分配到新承载的 PSET。在国内当前大多数已建成开始正式使用高铁的线路设备段上,由于其在国内现阶段作为用户端接入所需的可传输的数据量通常还都较小,对高速网络数据传输要求的速度却又通常并不太高,可建议酌情地将线路此段的参数值设置稍高。

3.3 重选参数

GPRS 小区的重选设置过程中一般仅使用 C1

准则和 C2 准则，因此当用户在进行选择或者修改其中的任何电路参数时，需要先认真去考虑它将要对整个电路域所产生的影响^[11]。

路由覆盖区范围 (RA)：若一个系统 RA 的路由覆盖区范围变化过小，则其通常会在短期内大大加重整个过程中发生的网络信令流量的损失程度；但反之，则通常也会导致其整个系统寻呼网中的信令链路负荷变得较重。可以认为必须通过综合的统计分析网络系统处理，才能正常运行。因此对一些既有铁路和其他已逐步实现全覆盖化的新建高铁线路，可以设置成只包含一个路由区的一个位置区。

TEMPORARY_OFFSET 和 PENALTY_TIME：一般采用线状网络覆盖线路的部署设计方式。已基本成功部署实现的高铁线路目前大都仍采用单层网络的覆盖，每个线路服务所覆盖的小区仅相邻的 2 个线路服务覆盖服务小区，因此对这两个参数都没有影响，这说明他们都对国内目前可以实现的城际高铁线路正常运营能力无其他直接影响。

CELL_RESELECT_OFFSET：小区的重选偏置，此参数值通常用于平衡移动网络环境中用户的移动业务量。若用户设置了本小区此参数值比远邻小区大时，则能使其移动互联网终端用户更顺利的选择进入本小区，反之亦然。而对于国内已成功实现电气化的部分高铁线路所采用到的单层网络结构，此值设置为相同值较为适合^[12]。

3.4 ATO交互恢复问题

虽然某高铁 ATO 业务运行情况总体良好，但是在 1 年多的运用过程中也确实出现过车载 ATO 单元与地面 TSRS 服务器交互中断后，长时间无法恢复通信的异常情况。通过设备日志和分组域接口监测数据的分析，发现既有车载 GPRS 通信模块的问题，也有核心网设备的问题。

目前 ATO 单元仅有单独一个 GPRS 通信模块，如果该模块发生问题，没有其他通信模块可以替代使用。这个问题可以通过增加备用通信模块的方式解决，形成类似 C3 系统的双模块交替呼叫冗余保

护方式。

此外，也存在 GPRS 通信模块与核心网信令失配，或软件出现问题时，单靠重新 PDP 激活，或模块软复位也无法恢复通信的情况。可以通过实现通信模块的下电硬复位解决，并增加类似 CIR 设备活动性检测的处理方式。

4 结束语

国内首条使用 C3+ATO 模式高速铁路线路的成功运营，首创了自动驾驶 ATO 业务数据使用 GSM-R 网络的 GPRS 分组域通道，C3 列控业务数据使用 GSM-R 网络的电路域通道的无线传输方案。通过对在线运行 1 年多以来的监测数据进行分析，可见高速铁路 ATO 业务在功能和性能方面满足国铁集团制定的规范要求，对原 C3 业务也没有任何影响，证明了使用分组域 GPRS 网络承载列控类业务的可行性。另一方面，可以在 BSC 资源利用、小区重选和 ATO 设备保护功能等方面继续进行研究，增强 GPRS 分组域通道的可用性，进一步保证 ATO 业务的正常运行。

参考文献

- [1] 赵军武. 铁路 GPRS 网络承载 C3+ATO 业务简析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (11): 25-30.
Zhao Junwu. Analysis of C3+ATO Business in Railway GPRS Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(11): 25-30.
- [2] 钟章队. GPRS 通用分组无线业务 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [3] 赵博. 京张铁路 CTCS-3+ATO 信号系统工程方案设计研究 [J]. 铁道工程学报, 2021, 38 (10): 79-84.
Zhao Bo. Research on the Engineering Scheme Design of CTCS-3+ATO Signal System for Beijing-Zhangjiakou Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(10): 79-84.
- [4] 曹一锋. GPRS/EDGE 无线信道配置方法 [J]. 电

- 信工程技术与标准化, 2008, 21(1): 67-70.
Cao Yifeng. GPRS/EDGE Radio Channel Allocation Method[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2008, 21(1): 67-70.
- [5] 王东方, 李红侠. 京张高铁 CTCS-3+ATO 系统工程设计方案研究 [J]. 铁道标准设计, 2021, 65(5): 162-167.
Wang Dongfang, Li Hongxia. CTCS-3+ATO System Engineering Design Scheme of Beijing-Zhangjiakou High-Speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2021, 65(5): 162-167.
- [6] 刘文东, 孙蓉, 张星, 等. GPRS 无线网络优化探讨 [J]. 电信技术, 2008(2): 59-62.
Liu Wendong, Sun Rong, Zhang Xing, et al. Discussion on GPRS Wireless Network Optimization[J]. Telecommunications Technology, 2008(2): 59-62.
- [7] 王晓懿. 地方铁路移动通信制式探讨 [J]. 铁道建筑技术, 2022(1): 10-12, 182.
Wang Xiaoyi. Discussion on Local Railway Mobile Communication System[J]. Railway Construction Technology, 2022(1): 10-12, 182.
- [8] 庄继晖, 谢辉, 严英. 基于 GPRS 的电动汽车道路行驶工况自学习 [J]. 天津大学学报, 2010, 43(4): 283-286.
Zhuang Jihui, Xie Hui, Yan Ying. GPRS Based Driving Cycle Self-Learning for Electric Vehicle[J]. Journal of Tianjin University, 2010, 43(4): 283-286.
- [9] 李中伟, 崔秀帅, 赵涛, 等. 基于 GPRS 的电气化铁路线索张力监测系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2015(10): 50-52, 56.
Li Zhongwei, Cui Xiushuai, Zhao Tao, et al. Design of Tension Monitoring System of Electrified Railway Based on GPRS[J]. Instrument Technique and Sensor, 2015(10): 50-52, 56.
- [10] 张洪厉, 谢文娣. 基于卫星定位与 GPRS 技术的检测系统设计 [J]. 电子制作, 2022, 30(8): 13-15.
Zhang Hongli, Xie Wendi. Design of Detection System Based on Satellite Positioning and GPRS Technology[J]. Practical Electronics, 2022, 30(8): 13-15.
- [11] 严伟. CTCS2+ATO 系统车门与站台门联动问题 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 34-39.
Yan Wei. Discussion on Linkage between Train Doors and Platform Screen Doors of CTCS2 + ATO System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 34-39.
- [12] 杨月钢, 梁辉, 郑能. 自动驾驶纯电动客车设计 [J]. 重型汽车, 2021(4): 18-19.
Yang Yuegang, Liang Hui, Zheng Neng. Design of Self-Driving Pure Electric Bus[J]. Heavy Truck, 2021(4): 18-19.

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

电话: 021-65012136 (详见封三)

铁路GSM-R系统核心网改造工程方案研究

周海龙

(中国铁路呼和浩特局集团有限公司, 呼和浩特 010050)

摘要: 基于铁路 GSM-R 系统核心网改造的需求, 提出改造方案。针对 MSC 改造, 提出 R4 网络架构主备 MSC 方式和 R4 网络架构 MSC Pool 方式, 并进行方案比选; 针对 SGSN 改造, 提出兼容两种 BSC/PCU 的组网方案, 并进行方案比选; 针对 GGSN 改造, 提出两种冗余方式。并从站址选择、承载网通道提出了相应需求。最后探讨新旧核心网设备割接的方案。

关键词: GSM-R 核心网; 冗余组网; MSC; SGSN; GGSN; 业务割接

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0036-06

Research on Railway GSM-R System Core Network Transformation Project Scheme

Zhou Hailong

(China Railway Hohhot Group Co., Ltd., Hohhot 010050, China)

Abstract: Based on the demand of core network transformation of GSM-R system, this paper proposes core network transformation schemes. For MSC transformation, the master/standby MSC mode of R4 network architecture and MSC pool mode of R4 network architecture are proposed, and the schemes are compared. For SGSN transformation, a network scheme compatible with two BSC/PCUs is proposed, and the scheme is compared. For GGSN transformation, two redundant modes are proposed. The corresponding requirements for site selection and bearer network channel are put forward. Finally, the cutover scheme of old and new core network equipment is discussed.

Keywords: GSM-R core network; redundant networking; MSC; SGSN; GGSN; service cutover

1 研究背景

国内铁路从 2006 年随客专开始大规模建设 GSM-R 系统, 经过十几年的发展, 全路 GSM-R 网

络已形成一定规模, 并不断发展完善, 核心网的架构也基本形成。截至 2022 年底, 已完成全部 19 个核心网节点建设, 无线网络覆盖里程近 9 万 km, 用户近 40 万, 覆盖了高铁、客专、城际、重载铁路和部分普速铁路, 提供了列车运行控制类、调度指挥类、列车运行安全监控类、运营维护类等多种业务, 适应了当前铁路快速发展, 为铁路运输安全、提高运输效率起到了非常重要的保障作用。GSM-R 核心网作为整个 GSM-R 系统的关键设备, 具备数据管理、接入

收稿日期: 2023-06-08; 修回日期: 2023-09-10

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划科研专项 (J2021Z506)

作者简介: 周海龙 (1975—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信、信号、牵引供电领域规划, 邮箱: zh148466@sina.com。

和移动性管理、鉴权、数据路由等多项核心功能，对 GSM-R 业务正常运转发挥关键和基础作用。

GSM-R 核心网按路局集中部署，部分按全路集中部署，一旦故障将影响整个路局甚至全路 GSM-R 业务。因此 GSM-R 核心网的规划、建设和改造，一直以来备受关注。各路局 GSM-R 核心网随本局 GSM-R 网络工程建设，历经十余年发展，逐步达到更新改造期限，陆续开展 GSM-R 核心网改造工程。GSM-R 核心网改造，除设备老化、故障率升高、备品备件不足等问题引起的改造需求外，还有满足相关标准要求的改造需求，主要有以下两方面：

1) 《铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 设计规范》(TB 10088-2015) 提出核心网 SGSN、GGSN 设备宜冗余设置^[1]；

2) 《铁路通信网络安全技术要求 第 3 部分：铁路数字移动通信系统 (GSM-R)》(Q/CR 783.3-2022) 提出路局集中设置的核心网设备宜同城异址部署^[2]。

因此，为了 GSM-R 线路语音及数据业务正常使用，提高行车安全保障能力，及时消除安全隐患，GSM-R 核心网改造不是简单的设备更新替换^[3]，需要结合运维需求，基于相关标准，在设备功能、组网以及部署等方面提出优化完善的方案。

2 GSM-R核心网冗余组网方案

本文主要针对路局集中设置的移动交换中心 (MSC)、服务 GPRS 支持节点 (SGSN)、网关

GPRS 支持节点 (GGSN) 等核心网设备的冗余组网等提出改造方案。

2.1 MSC冗余组网方案

路局既有 MSC 有 R99 和 R4 两种架构，R99 架构的 MSC 未进行冗余组网，R4 架构的 MSC 采用主备冗余组网方式。根据《铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 总体技术要求》(TB/T 3324-2021)，更新后的 MSC 应进行冗余组网，且可采用两种冗余备份组网方式^[4]，方式一：R4 网络架构主备 MSC 方式，方式二：R4 网络架构 MSC Pool 方式。

2.1.1 R4网络架构主备MSC方式

1) 网络架构

基于 R4 网络架构的 MSC 由 MSC Server 和媒体网关 (MGW) 组成，实现控制层面和承载层面的分离。路局核心网设置 2 套 MSC，每套 MSC 由 1 套 MSC Server 和 1 套 MGW 组成。

MGW 负责承载层面，通过 2 M 链路路与路局的无线子系统 BSC，有线调度通信系统 FAS、铁路电话程控交换网 PSTN 等相关通信系统，CTCS-3 级列控系统 RBC^[5]、机车同步操控系统 AN 等应用业务系统互联；通过 2 M 链路路与全路共用设备北京、武汉 STP 互联，实现与全路共用设备 HLR、SCP、SMSC 等互联；通过 2 M 链路路与相邻局 MSC 互联。

MSC Server 负责控制层面，通过 IP 链路路与 2 个 MGW 以及对端 MSC Server 互联，实现信令交互及心跳检测。

网络结构如图 1 所示。

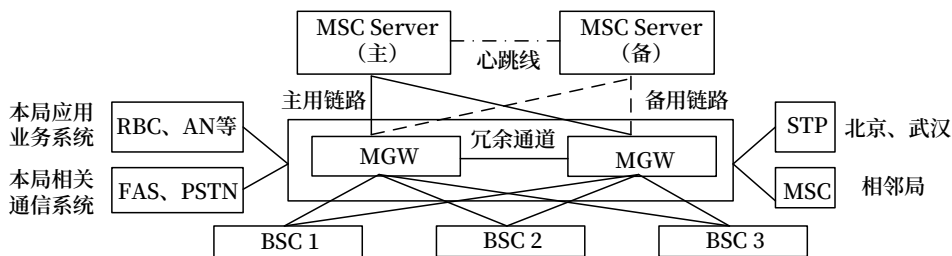


图1 R4网络架构主备MSC方式组网架构示意

Fig.1 Network architecture diagram of master/standby MSC mode of R4 network architecture

2) 冗余机制

该方案采用双归属和 MiNi-Flex 技术，主用、备用两个 MSC Server，同一个 MGW 归属于两个 MSC Server，正常运行情况下，MGW 只注册到

主用 MSC Server 上，而当该 MSC Server 发生故障时，MGW 可注册到备用 MSC Server 上，继续为此 MGW 下管理的用户提供业务。MSC Server 之间的主备倒换通过心跳检测实现。BSC 通过两套

MGW 连接到主、备 MSC Server 上，两套 MGW 负荷分担，提高 MGW 层面的可靠性。

2.1.1.2 R4网络架构MSC Pool方式

1) 网络架构

基于 R4 网络架构的 MSC 由 MSC Server 和 MGW 组成，实现控制层面和承载层面的分离。路局核心网设置 2 套或 2 套以上 MSC，每套 MSC 由 1 套 MSC Server 和 1 套 MGW 组成，组成 MSC Pool。

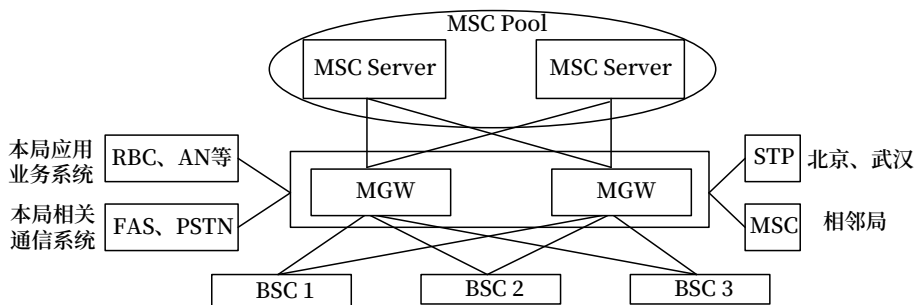


图2 R4网络架构MSC Pool方式组网架构示意

Fig.2 Network architecture diagram of MSC Pool mode of R4 network architecture

2) 冗余机制

该方式采用 A-Flex 技术，互为冗余的 MSC 组成 MSC Pool，BSC 能够同时连接两个 MSC Server，MSC 间采用负荷分担，从而能够实现 MSC 级别的容灾。该方式的关键技术在于实现负载均衡，可以通过 BSC 或 MGW 实现负载均衡。位于 MSC Pool 内的两个 MSC 互相备份各自的内容，当某个 MSC 中存储的用户信息发生变化时，会将此信息传送到池内另一个 MSC 中。两个 MSC 的数据实时同步，当池内某个 MSC 故障时，被叫将送到池内另一个 MSC 处理。

MSC Pool 方案中一个 Pool 内的两个 MSC 之间没有心跳检测，当 BSC、STP、FAS 等外部网元检测到主用 MSC 的链路故障时（传输通道故障或主用 MSC 故障），会自动选择到备用 MSC 的链路，实现主备 MSC 的倒换。

2.1.3 方案比选

方式一的优势与既有方式相同，编号方案简单，由于备用 MSC 为非激活状态，与主用 MSC 使用同一个信令点码，故不需为其再分配信令点码，目前此方式在路内应用较为广泛、成熟，技术支撑有保障；不足之处在于存在当采用数据同步功

能倒换时有短暂业务中断的情况，大约 5 min 后方可恢复正常。

方式二的优势在于网络容灾和合理分配网络资源方面，在一定程度上网络可以自动调整负载；不足之处为数据配置复杂，2 套 MSC 均需要设置信令点编码，且池内每个 MSC 需要配置池内所有位置区信息。

网络结构如图 2 所示。

上述两种方案均能满足核心网 MSC 设备的冗余需求，在核心网改造过程中需根据路局需求、设备供应、既有设备支持能力等情况进行选择。

2.2 SGSN冗余组网方案

路局既有 SGSN 大部分未采用冗余组网，《铁路数字移动通信系统（GSM-R）设计规范》（TB 10088-2015）要求 SGSN 宜进行冗余组网，因此，更新改造后的 SGSN 需依据标准采用冗余组网方案。SGSN 的冗余组网有两种方式，取决于无线子系统 BSC/PCU。

1) BSC/PCU 不支持 Gb Flex 功能的情况下，BSC/PCU 只能连接到一个 SGSN，SGSN 故障时，人工倒接至备用 SGSN，该方式为冗余 SGSN 的冷备工作方式。

2) BSC/PCU 支持 Gb Flex 功能的情况下，

2) BSC/PCU 支持 Gb Flex 功能的情况下，

BSC/PCU 可以连接到 2 个 SGSN, 2 个 SGSN 组成 SGSN Pool, 为负荷分担的工作方式。BSC/PCU 按照预置的负荷分担原则选择池组内一个 SGSN 服务, 某个 SGSN 故障时, 正在建立的业务, BSC/PCU 可以选择 Pool 内另一个 SGSN 完成业务, 已经在故障 SGSN 建立业务的用户可通过手动迁移方式由池组内其他 SGSN 接入^[6-7], 该方式为冗余 SGSN 的热备工作方式。

在 SGSN 进行了冗余改造, 接入既有 BSC/PCU (不支持 Gb Flex 功能) 和未来新设 BSC/PCU (支持 Gb Flex 功能), 可考虑以下两种组网方式。

方案一: 冗余的 SGSN 分担冷备 + 热备

方案一的网络结构如图 3 所示: 不支持 Gb Flex 功能的 BSC/PCU, 一部分 (图 3 中 BSC/PCU1 和 BSC/PCU2) 通过帧中继方式连接到 1 个 SGSN, 另外一部分 (图 3 中 BSC/PCU3 和 BSC/PCU4) 通过帧中继方式连接到另外 1 个 SGSN, 为分担冷备方式; 新设的 BSC/PCU (图 3 中 BSC/PCU5) 通过 IP 方式连接到 2 个 SGSN, 为热备工作方式。

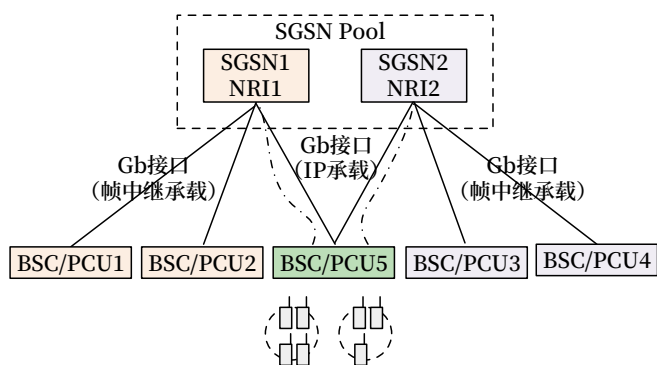


图3 BSC/PCU与冗余SGSN的组网架构(分担冷备+热备)
Fig.3 BSC/PCU and redundant SGSN network architecture (shared cold standby + hot standby)

在这种方式下, SGSN1 和 SGSN2 分配独立的 RAI (路由区标识)^[8] 和 IP 地址, 相互之间独立工作, 其冷备和热备的工作方式互不影响。SGSN1 和 SGSN2 较为均匀的分担了网内 BSC/PCU 的业务, 尤其在路局内没有支持 Gb Flex 功能的 BSC/PCU 情况下, 2 个 SGSN 均能对外提供服务, 不存在单

纯冷备的情况, 设备的利用率比较高, 且故障风险有所分担。

方案二: 冗余的 SGSN 冷备 + 热备

方案二的网络结构如图 4 所示: 不支持 Gb Flex 功能的 BSC/PCU (图 4 中 BSC/PCU1 ~ BSC/PCU4) 通过帧中继方式全部连接到 1 个 SGSN, 另外 1 个 SGSN 冷备; 新设的 BSC/PCU (图 4 中 BSC/PCU5) 通过 IP 方式连接到 2 个 SGSN, 为热备工作方式。

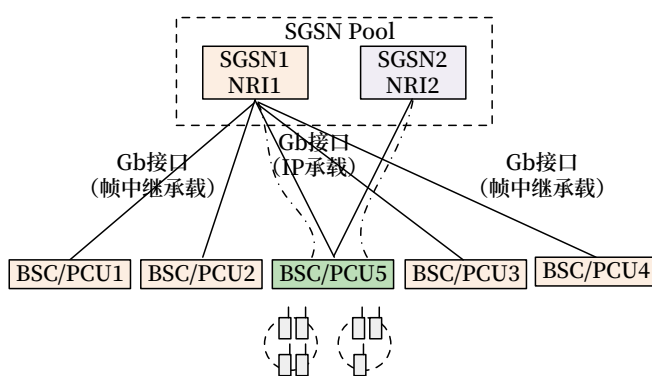


图4 BSC/PCU与冗余SGSN的组网架构(冷备+热备)
Fig.4 BSC/PCU and redundant SGSN network architecture (cold standby + hot standby)

在这种方式下, SGSN1 和 SGSN2 分配独立的 RAI 和 IP 地址, 相互之间独立工作, 其冷备和热备的工作方式互不影响。SGSN1 承载业务较多, 在路局内没有支持 Gb Flex 功能的 BSC/PCU 情况下, SGSN2 只作冷备, 设备的利用率比较低, 且一旦 SGSN1 故障, 风险较为集中。

上述两种方案均能满足 SGSN 冗余组网的需求, 需针对 BSC/PCU 支持 Gb Flex 功能的情况、维护工作量等方面综合考虑方案的选取。

2.3 GGSN冗余组网方案

GGSN 同 SGSN 类似, 路局既有 GGSN 大部分未采用冗余组网, 《铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 设计规范》(TB 10088-2015) 要求 GGSN 宜进行冗余组网, 因此, 更新改造后的 GGSN 需依据标准采用冗余组网方案。

冗余的 GGSN 采用热备工作方式, 2 套 GGSN 使用相同的逻辑地址、不同的物理地址, 同时接入

网络，可采用两种工作方式：在负荷分担的工作方式下，2套GGSN配置相同的权重，均对外提供服务；在主/备工作方式下，可配置主用GGSN的优先级更高，负责承担业务。2套GGSN间建立心跳以及数据备份通道，当检测到1套GGSN故障时，业务自动倒换至另1套GGSN。

3 其他提高可靠性策略

1) 同城异址部署

根据《铁路通信网络安全技术要求 第3部分：铁路数字移动通信系统（GSM-R）》（Q/CR 783.3-2022）提出路局集中设置的核心网设备宜同城异址部署的要求，核心网在改造过程中，在具备条件的情况下，需考虑将冗余的2套核心网设备部署在同一城市不同站址的2个机房，从集中维护力量的角度考虑，应选择路局所在地城市，具有外部冗余供电、承载网资源丰富的机房。

2) 承载网通道冗余

核心网设备需要与局内无线子系统、FAS、应用业务系统互联，与其他局核心网设备互联，互联通道由传输系统和铁路数据网提供。为保障互联网元之间的可靠连接，网元之间的互联通道应冗余考虑，并由不同的物理路由提供。

4 设备入网割接方案

每个路局的核心网设备（MSC、SGSN、GGSN）承担了本局所有的GSM-R业务，涉及的业务系统较多，新设核心网设备替换既有核心网设备的割接工作也非常关键且复杂，从时间上大概可分为入网调测、业务割接两个阶段进行。

1) 入网调测

入网测试即新设核心网设备利用新分配的网络数据接入GSM-R网络，实现与其他相关核心网设备的互联互通。在此阶段，新设核心网设备不承担现网业务，需要利用测试基站进行各类业务测试，验证设备功能和性能。

2) 业务割接

待入网调测完成后，即可进入业务割接阶段。业务割接即为将既有设备业务逐步割接至新设设备的过程，主要是既有无线子系统接入新设核心网设备、新设核心网设备与相关通信系统、应用业务系统的互联。为保障割接的安全可靠，尽量减少对业务运用的影响，业务割接^[9]需要申请天窗点，并分批次完成，可以分为各线无线子系统接入新设MSC、SGSN（包括MSC与RBC、AN等既有电路域应用业务系统的互联），新设MSC与FAS互联，新设MSC与PSTN互联，GGSN与分组域应用业务系统互联等几部分逐一割接^[10]。新旧核心网在网内并存过渡的时间较长，待所有业务割接完成，既有核心网设备即可退网。

5 结论与建议

铁路GSM-R核心网在十余年的发展过程中，积累了丰富的运营维护经验，因此对核心网改造的需求更加明确，思路更加清晰，进行优化完善后，形成一个互联互通、安全可靠的GSM-R核心网络，能够更好地满足铁路运输生产指挥的需求，进一步为铁路下一代移动通信系统的发展奠定基础。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路数字移动通信系统（GSM-R）设计规范：TB 10088-2015[S]. 北京：中国铁道出版社，2015.
- [2] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信网络安全技术要求 第3部分：铁路数字移动通信系统（GSM-R）：Q/CR 783.3-2022[S]. 北京：中国铁道出版社有限公司，2022.
- [3] 刘盛尧，李坚. 既有铁路GSM-R系统工程设计研究[J]. 铁路通信信号工程技术，2021，18（10）：48-53.
Liu Shengyao, Li Jian. Engineering Design of Existing Railway GSM-R System[J]. Railway Quality Control, 2021, 18(10): 48-53.
- [4] 李莉. GSM-R MSC备份方案研究[J]. 铁路技术创新，2011（S1）：110-113.

[5] 王建敏. 兼容 GSM-R 和 5G-R 互联互通的列控系统无线通信方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 42-46, 99.

Wang Jianmin. Research on Wireless Communication Scheme of Train Control System Compatible with 5G-R and GSM-R Interoperability[J]. Railway Quality Control, 2021, 18(5): 42-46, 99.

[6] 周宇晖, 庞萌萌. 解析 TB/T3324-2021《铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 总体技术要求》[J]. 铁道技术监督, 2022, 50 (9): 15-21, 32.

Zhou Yuhui, Pang Mengmeng. Interpretation of TB/T 3324-2021 General Technical Specification for Global System for Mobile Communications-Railway(GSM-R)[J]. Railway Quality Control, 2022, 50(9): 15-21, 32.

[7] 李雪. GSM-R 网络 SGSN 冗余设置解读 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14 (4): 33-34.

[8] 韩蕾. GSM-R 中跨 SGSN 更新时源 SGSN 域名解析数据的智能生成方案设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (2): 81-85.

Han Lei. Design of Intelligent Generation Scheme of Resolution Data of Source SGSN Domain Name in cross SGSN Updating of GSM-R[J]. Railway Quality Control, 2020, 17(2): 81-85.

[9] 梅靖. GSM-R 无线子系统割接后组呼失败案例简析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (4): 46-50.

Mei Jing. Case Analysis of Group Call Failure after GSM-R Wireless Subsystem Cutover[J]. Railway Quality Control, 2020, 17(4): 46-50.

[10] 任启军. GSM-R 核心网升级改造方案 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (6): 53-56, 61.

Ren Qijun. Upgrading and Reconstruction Scheme of GSM-R Core Network[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(6): 53-56, 61.

(上接 18 页)

[2] 凌宽. 基于 TMS570 的列控系统中安全计算机的研究与设计 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.

[3] 乐建锐. 基于二乘二取二冗余—安全控制的地铁 LCU 设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (5): 52-56.

Le Jianrui. Design of Metro LCU Based on 2×2-out-of-2 Redundancy-Safety Control Structure[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(5): 52-56.

[4] 刘骋程, 宗凯. TMS570 的 ECC 逻辑自诊断机制与实现方法 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2017, 17 (11): 27-29, 33.

Liu Chengcheng, Zong Kai. ECC Logic Self-Diagnosis Mechanism and Realization Method Based on TMS570[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2017, 17(11): 27-29, 33.

[5] 祝新玲. 基于 EN50129 的二乘二取二计算平

台中的安全性研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.

[6] 靳旭. 高延迟信道下 CAN 总线控制器芯片的优化设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, (9): 16-20.

Jin Xu. Optimization Design of CAN Bus Controller on High Latency Bus[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, (9): 16-20.

[7] 马盼, 林子明. 铁路专用芯片服务器端可重用开发环境的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (2): 22-26.

Ma Pan, Lin Ziming. Research on Server-side Reusable Development Environment of Railway ASIC[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 22-26.

[8] 刘坤明. 基于 TMS570 的 CAN 通信接口板设计 [D]. 北京: 北京交通大学, 2012.

GSM-R网络分组域仿真系统关键技术研究

张国振^{1, 2}, 田宏达^{1, 2}, 李杰³, 郭瑞彬⁴

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070;

3. 北京邮电大学, 北京 100876;

4. 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要: 在铁路数字移动通信系统(GSM-R)中, 分组域通用分组无线业务(General Packet Radio Service, GPRS)系统主要承载调度、状态监测等非实时性业务, 为提高研发效率, 需要设计一种符合GSM-R要求的GPRS仿真系统。介绍GSM-R分组域仿真系统的系统架构, 分析仿真系统的技术难点, 阐述仿真系统在信令流程上与现网的区别, 给出仿真通信系统无线与IP侧全协议栈的实现方法, 构建出满足研发测试要求的GSM-R分组域仿真系统, 同时对传输速率、网络时延等多项性能指标进行测试, 表明所设计GSM-R分组域仿真系统能支持真实铁路应用产品在仿真环境中的无差异通信。

关键词: GSM-R; GPRS; 分组域; 网络仿真

中图分类号: U285.21

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0042-06

Research on Key Technologies of Packet Domain Simulation System in GSM-R Networks

Zhang Guozhen^{1,2}, Tian Hongda^{1,2}, Li Jie³, Guo Ruibin⁴

(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)

(3. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

(4. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In the railway digital mobile communication system (GSM-R), General Packet Radio Service (GPRS) system mainly carries non-real-time services such as scheduling and status monitoring. In order to improve the efficiency of research and development, a GPRS simulation system

收稿日期: 2023-03-21; 修回日期: 2023-09-05

基金项目: 中国铁路通信信号股份有限公司重大科技专项(2020ZX03)

第一作者: 张国振(1980—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 列控系统及车载系统设计与开发、列控系统仿真平台研究, 邮箱: zhangguozhen@crscd.com.cn.

that meets the requirements of GSM-R is required. This paper first introduces system architecture of GSM-R packet domain simulation system, and explains the technical difficulties of simulation system, then describes the difference between simulation system and current network in the signaling process. The whole IP protocol simulation method is proposed and a GSM-R packet domain simulation system is built that meets the requirements of R & D and testing. Finally, the system performance indexes such as transmission rate and network delay are tested, which shows that the designed GSM-R packet domain simulation system can support non-difference communication of real railway application products in the simulated network environment.

Keywords: GSM-R; GPRS; packet domain; network simulation

铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 网络的通用分组无线业务 (GPRS) 具有多用户共享带宽、传输数据量大等优势, 可以有效提高频率复用率。国内高速铁路使用 GPRS 主要承载调度命令等非安全数据, 随着列控系统技术的发展, GPRS 逐渐开始承载车地列控数据等安全数据的传输。欧洲最新发布的 ETCS 列控系统基线 3 版本, 也优先使用 GPRS 承载车地列控数据等安全数据传输。而用于承载铁路通信的 GSM-R 网络, 因其应用领域独特专用, 相关研究和产品较少, 由于没有适合 GSM-R 的 GPRS 仿真模拟平台, 导致基于 GPRS 的铁路应用产品的开发测试效率较低。

为提高研发效率, 保证铁路系统的安全性, 需要开发一种可以替代 GSM-R 分组域现网的 GSM-R 分组域仿真网络, 通过在该仿真网络中进行测试和试验, 提高铁路应用产品的开发质量和效率。

1 GSM-R分组域仿真系统简介

铁路应用产品与 GPRS 终端之间的数据传送采用 GPRS 模式, GPRS 终端在开机并注册到 GPRS 网络后, 依次进行附着、激活等流程, 最终获得网络访问能力, GPRS 终端数据发送的特征主要由应

用需求决定。发送的数据通过空中接口将数据依次传输到基站收/发信机 (BTS)、基站控制器 (BSC) 和分组控制单元 (PCU), 由 PCU 再依次传输到服务 GPRS 支持节点 (SGSN)、网关 GPRS 支持节点 (GGSN), 最终送入专网/互联网中。

GSM-R 网络分组域仿真系统的原理如图 1 所示, 该系统在原有的 GSM-R 电路域仿真系统中增加了 PCU、SGSN、GGSN 等单元。其中 PCU 单元负责将分组域数据从电路域数据中分离出来, SGSN 负责网络接入控制、移动性管理、无线资源管理、用户数据管理、会话管理及路由选择和数据转发等功能, GGSN 负责会话管理、网络接入控制、路由选择和数据转发、用户数据管理及外网访问接口等功能。

2 GSM-R分组域仿真系统的关键技术

GPRS 在 GSM 提供的 CS-1 信道编码基础上, 又提供了 CS-2、CS-3、CS-4 共 3 种信道编码, 以提高网络的性能, 根据网络环境动态选择编码能够有效提高传输速率, 在 GPRS 现网中大多采用链路适配的方案来进行动态选择编码方案, 在仿真环境中不存在通信环境突变情况, 因此仿真系统无需实

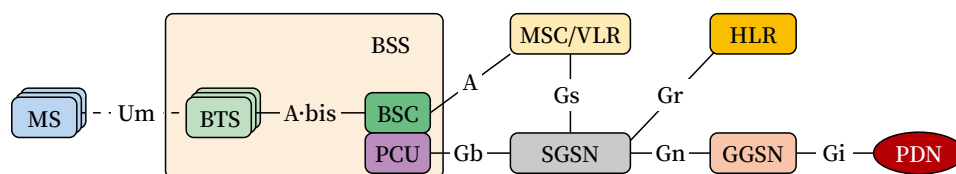


图1 GSM-R分组域仿真网络系统架构

Fig.1 GSM-R packet domain simulation network system architecture

现所有信道编码并设计相应的动态选择算法，合理地实现部分编码和编码选择方案将有效降低系统的复杂度。

铁路应用系统中车载电台 (MS) 在开机注册 GPRS 网络后，将向 SGSN 发送附着请求，SGSN 确认该用户具备 GPRS 业务能力后发送附着成功到终端。在完成附着后，电台将发送分组数据协议 (PDP) 激活请求以获取网际互连协议 (IP) 地址，由 SGSN 将接受到的接入点名称 (APN) 信息发送到专用域名服务器 (DNS) 进行解析，再由 SGSN 发送激活请求到特定的 GGSN，由 GGSN 服务器到认证服务器获取该 MS 对应的 IP 地址并分配给该 MS。已有的 GSM-R 网络电路域仿真系统为一体化实现，因此 SGSN 和 GGSN 网元的实现数量越多，仿真系统的性能也将越差。因此在 GSM-R 网络分组域仿真系统研发过程中，SGSN 和 GGSN 各做一个实现，而如何在单个 GGSN 的情况下，按照需求为每个 GPRS 终端分配 IP 地址并实现分组域数据通信将成为本系统的技术难点。

而本系统中不存在移动台在不同 SGSN 间路由切换、GGSN 查找移动台所在的 SGSN 等需求，同时本系统中 BTS、BSC/PCU、GGSN 和 SGSN 之间并不需要进行网络通信，因此 GPRS 协议中为了方便这些网元通信设计的协议对本系统无应用，简化或舍去 GPRS 协议中的不必要通信协议将是本系统设计的另一大难点。

3 GSM-R分组域仿真系统关键流程分析

3.1 GPRS附着

GSM 附着分为国际移动用户标识 (IMSI) 附着、GPRS 附着以及联合附着，因 GSM-R 网络分组域仿真系统已经具备电路域仿真功能，在此以联合附着为例进行说明，如图 2 所示。

GSM 标准规定，GPRS 终端附着时，MS 首先发送附着请求到 New SGSN，然后由 New SGSN 发起 Identification Request，而由于本仿真系统中只设有一个 SGSN，因此省略向旧 SGSN 发送

Identification Request 消息，并直接向用户终端发送 Identity Request 消息，要求其上报 IMSI，接着执行鉴权和 IMEI 身份检查，SGSN 通知归属位置寄存器 (HLR) 该 MS 位置更新，HLR 将 MS 的预约数据下发到 SGSN，之后 SGSN 需要向拜访位置寄存器 (VLR) 发起位置更新，在本系统中不存在发生切换的情况，该部分信令交互流程也需要简化省略。最后 SGSN 将 Attach Accept 消息发送至用户终端并等待用户终端应答完成附着。

3.2 PDP上下文激活

PDP 上下文激活分为用户终端发起的 PDP 上下文激活和网络发起的 PDP 上下文激活，一般而言为用户终端主动发起激活流程，如图 3 所示为一般的 MS 发起 PDP 上下文激活流程。

MS 首先向 SGSN 发出 PDP 上下文请求，请求内容包括 PDP 类型、网络服务接入点 (NSAP)、APN 等信息，SGSN 执行安全性规程，接着 SGSN 根据 MS 提供的 PDP 类型、APN 等信息解析 GGSN 地址，但由于仿真系统只设计了单个 GGSN，因此本仿真系统将忽略该解析流程，并直接向 GGSN 发送创建 PDP 上下文请求，GGSN 利用 SGSN 提供的信息分配 IP 地址，限定服务质量 (QoS)。最后 SGSN 接收 GGSN 的 PDP 创建上下文响应，向 MS 返回激活 PDP 上下文接收消息，此时 MS 与 GGSN 之间已建立起路由，可以进行分组数据传送。

4 GSM-R分组域仿真系统架构

4.1 整体结构

如图 4 所示，白框模块为软件模块，灰框模块为硬件模块。

BTS 仿真模块驱动收发器完成物理射频子层和物理链路子层所有功能，包括时分复用技术 (TDM) 功能、物理链路阻塞检测、前向纠错码 (FEC) 功能、信道编码、功率控制，可选择的编码方案能够实现更高速率数据传输，BTS 仿真模块实现了 CS1 (单信道 9.05 kbit/s) 和 CS4 (单信道

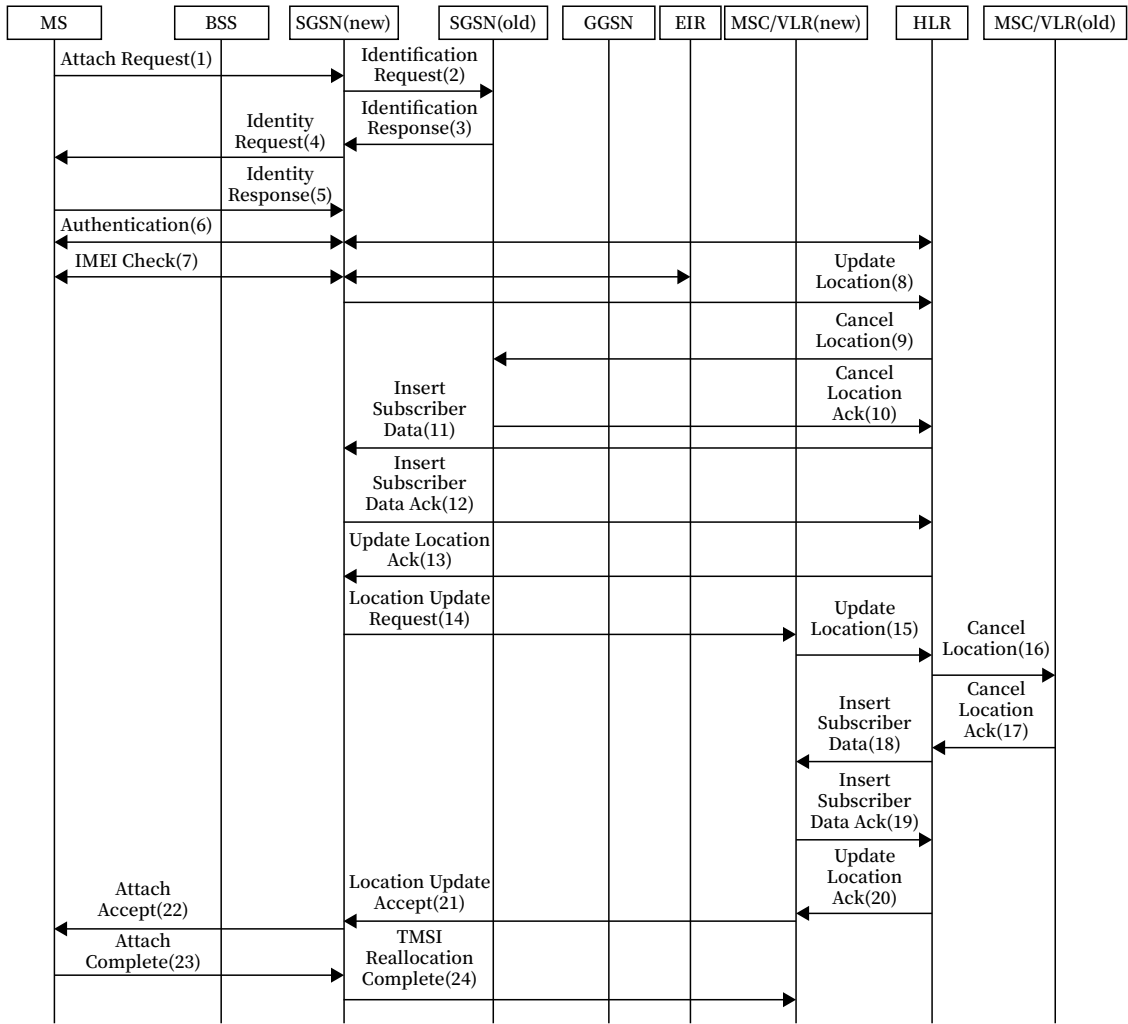


图2 GPRS联合附着
Fig.2 Combined GPRS attach procedure

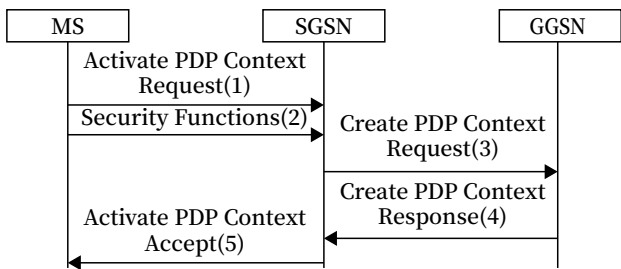


图3 PDP上下文激活
Fig.3 PDP context activation procedure

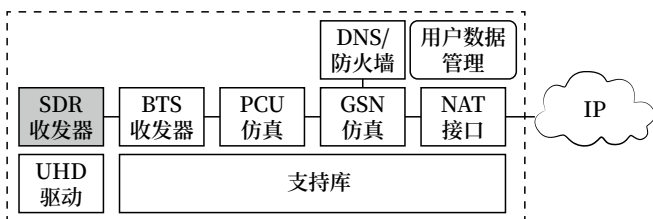


图4 GSM-R分组域仿真系统模块
Fig.4 Module of GSM-R packet domain simulation system

21.4 kbit/s) 两种信道编发方案, 用于模拟恶劣环境和理想环境下的 GPRS 网络。

PCU 仿真模块完成媒体接入控制 (MAC) / 无线链路控制 (RLC) 所有功能, 包括 MAC 接入冲突分解、MAC 优先级处理、RLC 自动重传请求 (ARQ) 传输错误纠正和逻辑链路控制 (LLC) PDU 分割重组。

GSN 仿真模块负责完成 SGSN 和 GGSN 功能, 包括 GPRS 移动性管理 (附着和分离) 和会话管理 (PDP 激活和去激活)。基于本仿真系统网络只存在 1 个 SGSN, 因此 GSN 仿真模块不需要实现 SGSN 位置管理功能 (路由区更新等流程)。

通过 GPRS 附着、PDP 上下文激活等流程后,

GPRS 终端最终可以通过使用 GGSN 动态分配的 IP 地址访问外网，GPRS 网络仿真系统采用 Ubuntu 作为仿真系统的载体，GPRS 外网功能通过构建虚拟网络设备 TUN 和配置网络地址转换 NAT 实现。GPRS 终端在通过仿真系统访问外网时，仿真系统将通过源地址转换 (SNAT) 的方式将 GPRS 的源 IP 地址替换为 Ubuntu 上可用的 IP 地址，并在外网响应时通过查表的方式重新替换为原来的 IP 地址，以实现正常的网络访问功能。

DNS/ 防火墙模块为 GPRS 仿真网络提供可配置的 DNS 解析服务器，允许 GPRS 仿真网络借助公众 DNS 服务器或私有 DNS 服务器进行试验。同时为 GPRS 仿真网络和 GPRS 终端提供防火墙保护，防止网络和终端受到恶意攻击。

4.2 GPRS通信过程

GPRS 控制平面协议如图 5 所示。协议类型 1 为 GPRS 终端所需要实现的协议模块，与 GPRS 仿真网络无关，类型 2 和类型 3 的协议为 GPRS 协议规定的网络侧控制平面协议结构。基于仿真需求的特殊性，简化仿真系统的复杂度，提高仿真系统的性能，本仿真系统中只涉及单个 BTS、BSC/PCU、SGSN 和 GGSN，同时这些模块均运行在同一服务器中。因此与 GPRS 网络中寻址、路由相关的协议（协议类型 3）在本系统中无应用，因此本系统只实现类型 2 的协议，以实现完整的 GPRS 仿真网络（以下同理）。

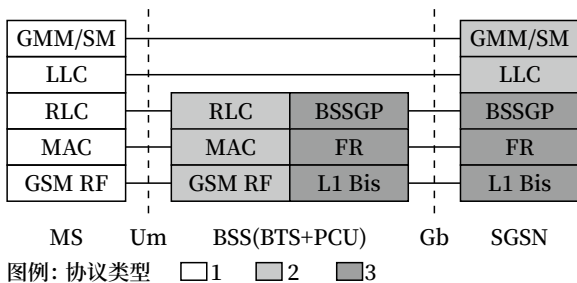


图5 GPRS控制平面协议
Fig.5 GPRS control plane protocol

控制平面主要用于实现 GPRS 移动性管理和会话管理。当移动台刚开机还未连接至 GPRS 网络时，为了使用 GPRS 服务，GPRS 终端必须先

向 GPRS 网络登记自身信息、位置信息 (attach)，网络记录该信息并更新移动台的客户临时识别码 (TMSI)，使网络有能力找到该移动台，然后移动台发送 PDP 上下文激活请求以获得网络访问能力。在本系统中 GGSN 不需要记录 SGSN 的位置，因此直接返回响应到移动台，此时移动台拥有了连接网络的能力。

GPRS 传输平面协议如图 6 所示。移动台在获得网络能力后，其应用程序依靠 GPRS 分配的 IP 地址进行通信，GPRS 为了提供与网络层无关的透明传输功能，设计了 SMDCP 协议，为不同的网络层协议 (IP, X.25, ATM) 提供服务。在现网中大量使用基于 IP 的网络层协议，因此本系统中 SMDCP 模块提供 IP 网络层的实现。为了保证网络层数据可以在 GPRS 网络中透明传输，LLC 实现了下层协议对上层协议的统一，并对中断的帧提供错误检测和恢复，本系统中 LLC 模块实现 LLC 协议的所有功能，RLC 模块将上层 LLC 数据分段，以便在逻辑信道上传输，并提供选择性重传功能，向上层提供一个可靠的链路，并将 LLC 包按照信道编码切割成不同的小块，方便后续卷积、交织等操作，MAC 定义和分配控制和分配逻辑信道，控制移动台接入到共享逻辑信道中完成数据传输。

5 仿真系统测试

GSM-R 分组域仿真系统要求支持铁路应用产品在真实 GSM-R 网络和仿真 GSM-R 网络环境下的无感通信，GSM-R 分组域仿真系统只需要完成网络信令的正确应答和分组数据的正确传输，不实现所有协议分支及内容。基于此，针对 GSM-R 分组域仿真系统进行测试，测试结果如表 1 所示，符合设计预期。

6 结束语

本文分析了 GSM-R 中分组域业务当前遇到的瓶颈，对 GSM-R 分组域协议进行了研究，设计并实现了一种满足研发测试需求的仿真系统。该系统在通信

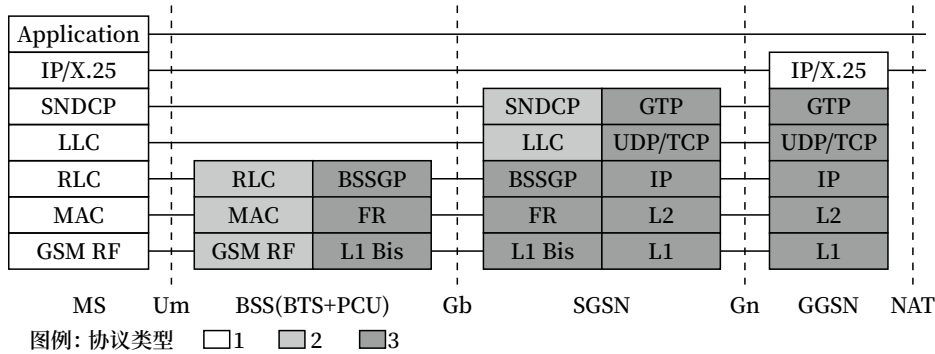


图6 GPRS传输平面协议

Fig.6 GPRS transmission plane protocol

表1 GPRS仿真系统测试结果

Tab.1 GPRS simulation system test results

功能		测试
基站	工作频率	上行 885 ~ 889 MHz/ 下行 930 ~ 934 MHz
	接收增益	≥ 10 dB
	附着 / 去附着	成功率 >99%, 平均延时 <1 s
	PDP 激活 / 去激活	成功率 >90%, 平均延时 <5 s
	信道编码方案	CS-1、CS-4
	最大传输速率 (CS-4)	21.4 kbit/s/ 信道
	最小传输速率 (CS-1)	9.6 kbit/s/ 信道
网络时延	SDU 128 Byte	平均传输延迟 < 5 s, 95% 传输延迟 < 25 s
	SDU 1 024 Byte	平均传输延迟 < 15 s, 95% 传输延迟 < 75 s
网络可靠性	SDU 丢失概率	10 ⁻⁴
	SDU 重发概率	10 ⁻⁵
	SDU 失序概率	10 ⁻⁵
	SDU 损坏概率	10 ⁻⁶

协议和流程上进行了优化, 使仿真成本和难度大幅度降低, 满足当下 GSM-R 分组域业务研发的需求。

参考文献

[1] 邓佳琪, 张晓, 赵光, 等. GSM-R 空中接口监测与信令解析系统研究 [J]. 计算机应用与软件, 2023, 40 (4): 93-98.
Deng Jiaqi, Zhang Xiao, Zhao Guang, et al. Research on GSM-R Air Interface Monitoring and Signaling Analysis System[J]. Computer Applications and Software, 2023, 40(4): 93-98.

[2] 刘盛尧, 李坚. 既有铁路 GSM-R 系统工程设计

研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (10): 48-53.

Liu Shengyao, Li Jian.Engineering Design of Existing Railway GSM-R System[J].Railway Signalling & Communication Engineering, 2021,18(10):48-53.

[3] 刘子豪. 基于 GSM-R 的空口监测系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 53-59.
Liu Zihao. Research on Air-Port Monitoring System Based on GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 53-59.

[4] 刘晓亮, 孟景辉, 马良德, 等. 基于软件无线电的 GSM-R 网络 Um 接口监测系统研究 [J]. 中国铁路, 2019 (7): 45-49.

Liu Xiaoliang, Meng Jinghui, Ma Liangde, et al. A Study of Um Interface Monitoring System of GSM-R Network Based on Software Radio[J]. China Railway, 2019(7): 45-49.

[5] 陈彦文. 铁路空口监测系统技术方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (8): 33-37.

Chen Yanwen. Technical Scheme of Railway Um Interface Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(8): 33-37.

[6] 王敏. GSM-R 数据通信业务解析 [J]. 内蒙古科技与经济, 2016 (24): 74-75.

Wang Min. Analysis of GSM-R Data Communication Service[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2016(24): 74-75.

(下转 60页)

铁路车站能源管理系统集成方案设计

张妍君, 赵 耀

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 为充分利用车站内与能源管理相关的能耗监测、BAS、智能照明等系统, 建立资源共享的能源管理系统平台, 对能源管理系统集成方案进行研究。首先对系统整体的功能需求进行分析; 接着讨论客站标准化能耗模型和能耗 KPI 指标体系的建立, 为集成平台计量系统的设计提供依据; 然后在此基础上, 给出能源管理系统总体架构, 并根据总架构进行集成方案的设计。

关键词: 能源管理; 铁路车站; BAS; 系统集成; 能耗指标

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0048-06

Integrated Scheme Design of Railway Station Energy Management System

Zhang Yanjun, Zhao Yao

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: In order to make full use of energy consumption monitoring, BAS, intelligent lighting and other systems related to energy management in the station, and establish a resource sharing energy management system platform, this paper studies the integration scheme of energy management system. Firstly, the functional requirements of the whole system are analyzed. Then it discusses the establishment of standardized energy consumption model and energy consumption KPI index system of the railway station, which provides the basis for the design of integrated platform metering system. On this basis, the overall architecture of the energy management system is given, and the integration scheme is designed according to this architecture.

Keywords: energy management; railway station; BAS; system integration; energy consumption index

1 概述

国内社会经济的发展 and 资源环境压力增加, 节能减排的要求日益提高。铁路车站面积增长、功能越来越复杂、室内环境要求提升, 车站耗能量日益

增加, 面临着较大的节能降耗压力。目前常规的规划设计大多无能源管理相关功能或仅停留在能耗监测层面, 不能有效提升车站用能效率, 节能减排工作较难推进^[1-3]。

近年来的新建铁路车站通常设置多个与能源管理或设备控制相关的系统, 例如大型车站通常设有能耗监测系统, 用于电能的分区分项统计管理; 一般车站设置机电设备监控系统 (BAS), 实现对车站通风空调、给排水、电梯等设备进行监控^[4]; 另外

收稿日期: 2022-06-15; 修回日期: 2023-06-16

基金项目: 中国铁路设计集团有限公司科技开发课题项目 (2020KF240810)

第一作者: 张妍君 (1989—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信息系统, 邮箱: 578341138@qq.com。

还设置有智能照明系统^[5]、冷冻站集中节能控制系统^[6]等。能源管理系统如何集成上述系统、建立统一的能源管理平台、实现资源充分共享、建立科学的能耗分析体系和智能控制算法以实现主动节能,成为亟待解决的问题。

2 功能需求分析

为实现铁路车站高效、智能化的能源管理目标,对能源管理系统的具体要求如下。

1) 采集耗能设备数据

目前能耗监测系统对能耗数据的分区、分项计量细分度不够,需建立更科学的能耗分析体系。能源管理系统需推行全面能源计量、根据节能管理需求确定能源计量深度,满足精细化管理的要求。

2) 采集环境参数

在节能的同时需考虑对环境舒适度的影响,为此需设置车站环境的检测手段,为节能控制提供依据。主要包括利用各类传感器对光照度、温湿度、PM2.5浓度、CO₂浓度、CO浓度等各类环境信息进行采集。

3) 统一管理平台

通过将收集到的计量数据和环境参数纳入统一管理平台,建立设备间逻辑关系,具备统一节能管控、统一呈现数据能力。

4) 智能的节能算法

通过采用智能算法对设备数据、环境数据的存储、处理、分析,给出机电设备的节能控制决策。

5) 多种控制方式

在具备条件的情况下,系统自动控制相关的机电设备按照节能方式运行;不具备条件的情况下,系统为节能管理人员提供机电设备运行模式,人工对机电设备运行模式进行调整。

3 能耗指标与计量系统设计

3.1 能耗模型与指标设计

3.1.1 能耗模型设计

根据管理需要,建立客站统一的能耗模型,通过网络接口采集各项目能源管理系统数据,通过系

统的数据分析功能,进行各项目能耗、能效数据横向比较,以实现对各站实际运行能耗与能效的监控和精益管理。

首先,需建立能耗分类模型,例如:电、水、气、热等分类;其次,可以对上述分类模型进行细化,建立分项模型,例如对于车站而言,根据主要耗电设备类型进行分类的模型如表1所示。

表1 车站能耗模型

Tab.1 Energy consumption model of railway station

一级	二级	三级	四级	五级	
总电耗	站房公共区电耗	广告灯箱电耗		广告灯箱电耗	
		信息系统电耗		大屏、安检等旅服设备电耗	
		暖通空调电耗	空调末端电耗	空调箱电耗	
				新风机电耗	
				其他形式末端电耗	
		照明插座电耗		站房公共区照明插座电耗	
		动力设备电耗		电、扶梯电耗	
			给排水电耗		
	消防设备电耗		消防设备电耗		
	站房设备区电耗	暖通空调电耗	冷站电耗	冷机、冷却塔、冷却泵等电耗	
				热站电耗	热水泵、补水泵、水处理器等电耗
		信息机房电耗			
		通信机房电耗			
办公区电耗					
站台电耗					

3.1.2 能耗指标设计

能耗 KPI 指标设置主要基于对比、分析和考核,因此可使用单位面积能耗、单位旅客人次能耗等作为 KPI,通过与历史时间对比,形成考核 KPI。如表 2 所示。

3.2 计量系统设计

根据上述能耗模型与指标体系确定所需采集的耗能设备数据,进行计量系统设计。

表2 车站能耗指标类型
Tab.2 Energy consumption index type of railway station

指标类型	一级 KPI 指标	二级 KPI 指标	三级 KPI 指标	四级 KPI 指标
面积指标	单位面积总电耗	单位面积站房公共区电耗	单位面积广告灯箱电耗	单位面积空调末端电耗
			单位面积信息系统电耗	
			单位面积暖通空调电耗	
			单位面积动力设备电耗	
			单位面积照明电耗	
			单位面积消防电耗	
	单位面积水耗	单位面积站房设备区电耗		
		单位面积站房办公区电耗		
		单位面积站台电耗		
	单位面积耗热量			

1) 电能耗采样位置

a. 变电所总表、各馈线。

b. 以区域划分为准，在现场末端配电箱按照明、冷/热源单元、冷/热媒输配单元、空调系统末端设备、空调机组、冷却塔、水泵、风机（盘管）、扶梯、直梯、客服机房、大显示屏、通信信号机房、消防设备、办公、公安值班、广告用电、商铺总配商业、充电桩等分项采样。

2) 水能耗采样位置

a. 水源总表。

b. 以区域划分位置和用水单位、系统为基准，在各机房、各卫生间、各商铺等分支节点设置计量表计。

3) 热力能耗采样位置

a. 热源总表。

b. 以区域划分位置和热源利用单位、系统为基准，在各机房、各分支节点设置计量表计。

4 系统总体架构

根据上文的功能需求分析，能源管理系统功能主要包括能耗数据采集、能源管理分析、自动节能控制和设备管理功能。对应的系统架构应包括设备层、物联网层、能源大数据层、人工智能层、运营管理层和系统应用层^[7-8]。

设备层能源管理的基础和主要对象，包括各类耗能设备、计量表计、环境监测传感器。

物联网层负责设备层机电设备运行参数、计量表计参数、传感器参数的采集，主要包括数据采集主机、设备控制柜等。

能源大数据层包括能源大数据平台，负责将物联网层采集到的数据纳入管理平台进行统一大数据分析处理。

人工智能层进行能源数据分析，并通过各类模型的建立和优化算法，为节能控制操作方案。

运营管理层将能源分析数据提供给应用层，并利用人工智能层的相关算法，远程控制设备层的相关设备。

系统应用层主要负责应用交互，比如将统计数据通过多种手段呈现给运营管理人员，辅助管理者进行决策、获取管理命令及偏好等。系统总体架构如图 1 所示。

5 系统集成方案设计

5.1 相关系统介绍

目前车站与能源管理相关的系统主要包括已有的能耗监测系统、BAS 系统、智能照明系统以及冷冻站集控系统。

5.1.1 能耗监测系统

能耗监测系统的功能是计量统计，系统监测车站智能仪表能耗数据，通过对能耗数据的深入挖掘分析来评估各用能单位或区域的能效级别，及时发现用能问题，制定节能整改措施并通过系统核算节能效果和投资回报周期。

能耗监测系统通过通讯管理机采集项目现场所有的多功能电力仪表、分布式多回路电力测量仪表、

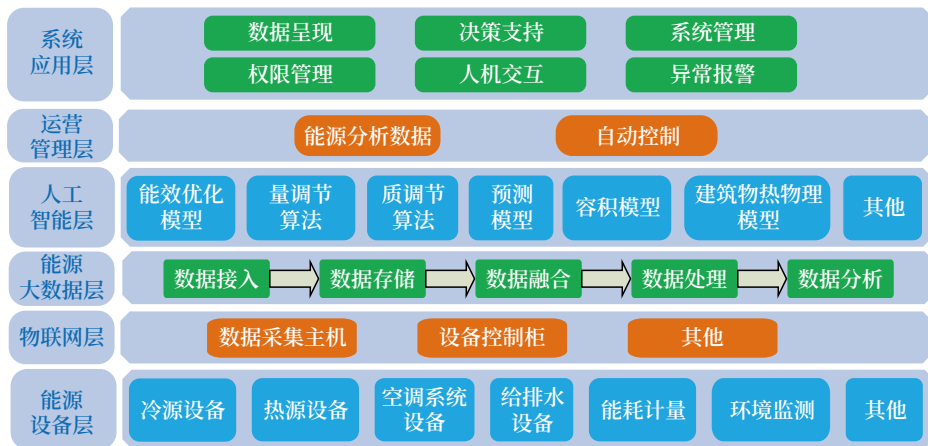


图1 能源管理系统总系统架构
Fig.1 Overall architecture of energy management system

水表、能量表和燃气表数据。

5.1.2 BAS系统

BAS系统采用集中管理、分散控制的系统架构，BAS系统的控制中心配有工作站、中心的服务器等中心设备，在各被控设备附近设置控制箱及控制器。

BAS系统监控对象主要包括建筑物内的冷冻系统、空调及通风系统（新风机及电动风阀、空调机、送/排风机系统）、电梯系统、给排水系统、UPS系统等；在主要功能区设置温/湿度传感器、二氧化碳浓度传感器，实现浓度超标报警，并启动相关的排风设备。

5.1.3 智能照明系统

智能照明系统由操作站、现场控制器、各类传感器、可编程现场控制面板、功能模块、通信网络和应用软件等构成。通过在总线上传输通信数据包，可对每一个智能照明系统设备进行独立控制。

5.1.4 冷冻系统节能控制系统

冷冻系统节能控制系统能够实现参数检测、参数与设备状态显示、自动调节与节能控制、工况自动转换、设备联锁与自动保护、能量计量以及中央监控与管理等功能。冷冻站集控系统可与BAS系统设通信接口，实现远程控制与信息共享。

5.1.5 小结

上述各系统在能源管理方面具备一定的功能：能

耗监测系统对智能仪表数据进行采集和分析；BAS系统在重点功能区设置有温/湿度传感器、二氧化碳浓度传感器，并对通风空调、给排水、电梯等设备进行监控；智能照明系统对照明设备进行监控；冷冻站集控系统能够根据自身节能策略，实现节能控制。

5.2 集成方案

5.2.1 集成系统实现方式

能源管理系统的的核心数据主要来源于能耗监测系统和环境监测数据。根据能耗指标设计科学的计量体系，接收智能水表、智能电表等的测量数据，结合当时监测到的环境数据，利用设计好的节能策略和智能算法，通过向物联网平台下发指令达到对暖通设备、给排水设备、智能照明设备、电梯设备的远程控制，实现节能目的。集成系统数据传输方式如图2所示。

5.2.2 集成方案设计

根据上述实现方式，需考虑对车站能耗监测系统、BAS系统、智能照明系统、冷冻站集控系统的集成。具体集成方案的系统架构如图3所示。

1) 统一平台

设置统一能源管理平台，该平台主要包括系统总体架构中能源大数据层、人工智能层和运营管理层的功能，主要设备由各类数据库服务器、应用服务器、存储设备、通信服务器和操作等组成，平台安装主控软件，集成系统全部功能选项。实现能耗

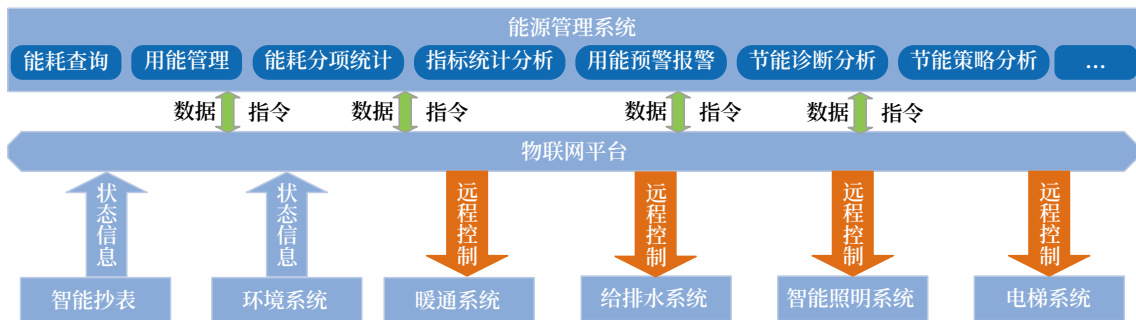


图2 数据传输示意
Fig.2 Data transmission diagram

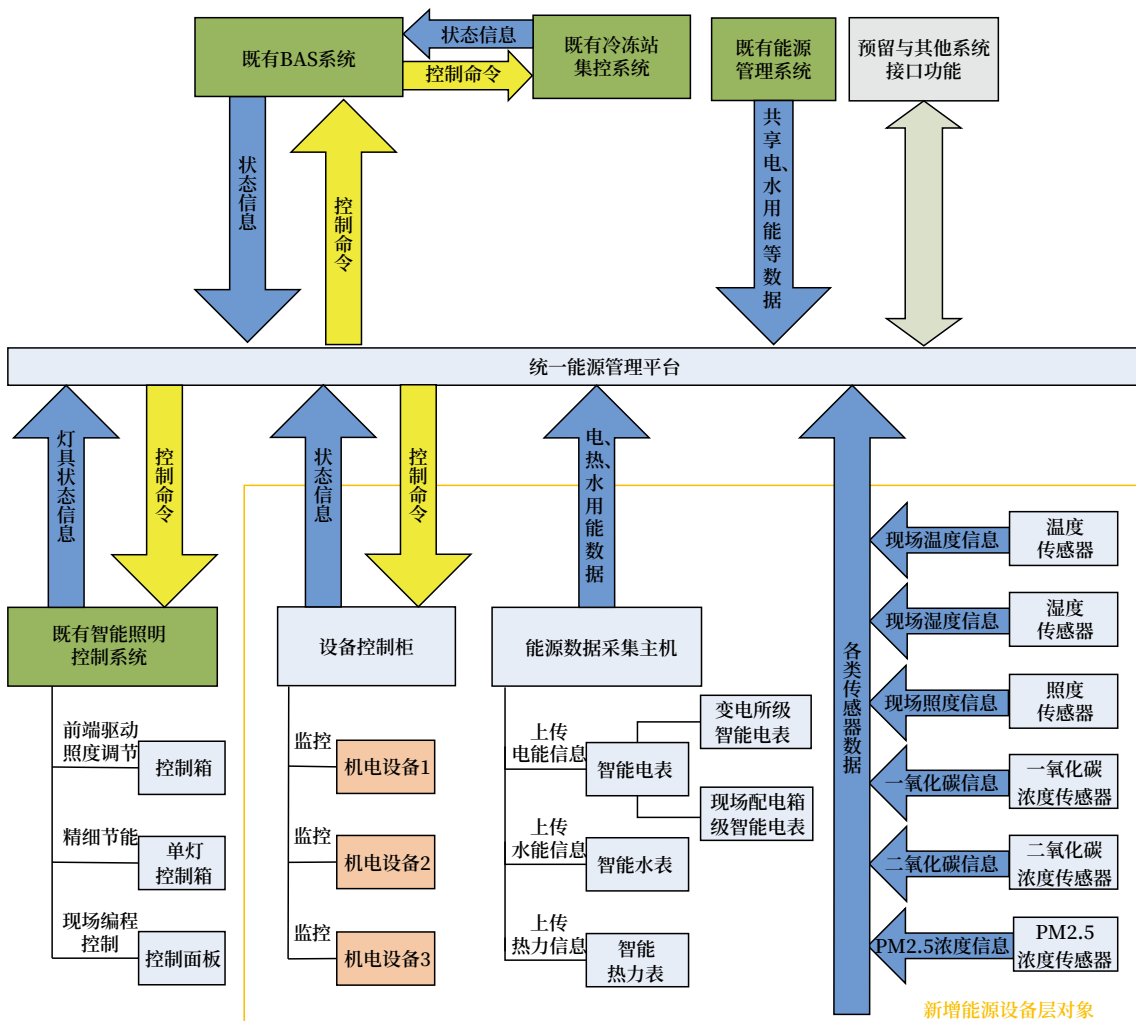


图3 集成方案示意
Fig.3 Integration scheme diagram

查询、用能管理、能耗分项统计、指标统计分析、用能预警 / 报警、节能诊断分析、节能策略分析和电能质量分析等功能。

2) 增加末端设备

能源设备层在 BAS 监控设备、能源管理层表

计、BAS 环境采集传感器的基础上，根据指标体系确定的采集系统设计和节能策略对被控设备以及设备管理功能的要求，增加对相应设备的监控接口、增加表计和传感器（如图 3 所示）：一方面需补充对所需机电设备的监控，提升 BAS 功能。另一方面

在设备末端加装智能表计, 以实现分系统分类计量; 此外还需在车站公共区域、办公区等处增加各类传感器, 满足环境数据的监测需求。

3) 既有 BAS 系统

车站既有 BAS 系统集成到能源管理平台, 采集设备状态信息, 由平台统一进行设备状态管理, 并根据能源管理平台相关策略实现联动控制机电设备。集成后, 平台可实现传统机电设备监控系统全部功能, 将原有 BAS 的功能全部纳入到上层应用中, 底层的设备和系统接入到物联网层, 上层应用通过物联网平台完成信息采集和控制。

4) 既有能耗监测系统

集成到能源管理平台, 共享其采集到的数据, 包括既有的多功能电力仪表、分布式多回路电力测量仪表、水表、能量表和燃气表的数据。

5) 既有智能照明系统

智能照明系统对照明控制进行专项设置与控制, 将其集成到能源管理平台, 由能源管理系统主控软件实现全部照明控制功能。

6) 既有冷冻站集控系统

冷冻站系统通常与 BAS 设置接口, 接口主要包括: 冷水机组及其辅助设备联锁启停控制、冷水机组、冷水泵等设备的运行/停止/故障状态、电动阀门的配电及控制、冷水温度、压力、流量、冷量、冷却水温度等显示、冷水机组程序启停及运行台数控制、冷却塔风机运行台数控制等。集控系统可通过 BAS 系统集成到能源管理平台上, 集成后平台可实现上述控制功能和信息共享, 平台在既有集控系统节能控制策略基础上, 结合平台数据进一步优化策略, 提升系统功能。

6 总结

对车站能源管理系统进行方案设计时, 需考虑对能耗监测、BAS、智能照明等系统的集成。本文研究了能源管理系统的功能、能耗指标体系和总体架构, 并根据总架构进行了集成方案的设计, 对集成平台功能规划、末端计量采集系统设置方案以及车站现有相关系统的集成方案等内容进行了深入分析。本文研究内容为后续铁路车站能源管理系统的

实施提供了方案支撑, 具有良好的指导意义。

参考文献

- [1] 王斌晓. 新时期铁路能管系统构建及在雄安站房的应用[J]. 建筑电气, 2022, 41(1): 64-70.
Wang Binxiao. Construction of Railway Energy Management System in the New Era and Its Application in Xiong'an Station Building[J]. Building Electricity, 2022, 41(1): 64-70.
- [2] 屈洪鑫, 李建民. 上海虹桥铁路枢纽站能源管理系统介绍[J]. 建筑电气, 2011, 30(2): 31-35.
Qu Hongxin, Li Jianmin. Introduction of the Energy Management System of Shanghai Hongqiao Railway Terminal Station[J]. Building Electricity, 2011, 30(2): 31-35.
- [3] 李金冬, 张苏, 韩松, 等. 基于BAS的京张高铁站房能源管理系统研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(1): 176-179.
Li Jindong, Zhang Su, Han Song, et al. Researches on BAS-Based Energy Management System (EMS) of Stations on Beijing-Zhangjiakou High-Speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(1): 176-179.
- [4] 刘敬军. 机电设备监控系统在高速铁路中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2009(8): 98-103.
Liu Jingjun. Application of Electrical & Mechanical Control System in High-Speed Railway[J]. Railway Construction Technology, 2009(8): 98-103.
- [5] 程清波, 沈海燕, 刘家涛, 等. 基于信息物理融合系统的铁路客运站智能照明系统[J]. 照明工程学报, 2020, 31(3): 50-53.
Cheng Qingbo, Shen Haiyan, Liu Jiatao, et al. Intelligent Lighting System of Railway Passenger Station Based on Cyber Physical Systems[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2020, 31(3): 50-53.
- [6] 张军伟, 刘金枝. 数据中心冷冻站的群控系统[J]. 智能建筑电气技术, 2020, 14(6): 70-73.

(下转 70页)

一体化综合视频监控技术在 南崇高速铁路的应用

谢庆楚

(广西铁路投资集团有限公司, 南宁 530025)

摘要: 高速铁路的综合视频监控技术不断发展, 现有视频技术越来越不能适应新形势的要求, 一体化综合视频监控技术的发展有力促进了高速铁路的建设。以一体化综合视频监控技术在南宁至崇左高速铁路建设中的应用为例, 阐述一体化综合视频监控技术的方案及分析, 为后续高速铁路综合视频监控系统的建设提供参考。

关键词: 一体化; 综合视频监控; 高速铁路

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0054-07

Application of Integrated Video Monitoring Technology in Nanning-Chongzuo High-speed Railway

Xie Qingchu

(Guangxi Railway Investment Group Co., Ltd., Nanning 530025, China)

Abstract: With the continuous development of integrated video monitoring technology of high-speed railway, the existing video monitoring technology cannot meet the requirements of the new situation. The development of integrated video monitoring technology has effectively promoted the construction of high-speed railway. Taking the application of integrated video monitoring technology in the construction of Nanning-Chongzuo high-speed railway as an example, this paper expounds the scheme and analysis of integrated video monitoring technology, which provides a reference for the subsequent construction of high-speed railway integrated video monitoring system.

Keywords: integration; integrated video monitoring; high-speed railway

新建南宁至崇左高速铁路(简称南崇高速铁路)东起南宁枢纽既有南宁站,经吴圩机场、扶绥南、渠旧南(预留),至崇左南站,远期延伸至凭祥市。南崇高速铁路是广西壮族自治区全额投资建设

的第一条高速铁路,正线全长119.3 km,设计速度250 km/h,全线于2018年10月全面开工,计划于2022年建成通车。为提高南崇高速铁路综合视频监控监控系统的集成度,便于集中管理维护,为集中智能分析提供基础条件,根据中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)的部署和要求,以“先进、可靠、成熟、开放、经济”为总体建设原则,对

收稿日期: 2022-09-28; 修回日期: 2023-08-13

作者简介: 谢庆楚(1983—),男,高级工程师,硕士,主要研究方向: 铁路工程建设通信专业管理,邮箱: 183485882@qq.com。

南崇高速铁路综合视频监控系统原有的设计方案进行变更, 实施一体化综合视频监控方案。目前该系统已通过静态验收和联调联试, 运行状态正常。

1 综合视频监控系统原设计方案

与其他近期已开通的高速铁路类似, 南崇高速

铁路综合视频监控系统原设计方案是根据《铁路综合视频监控系统技术规范》(Q/CR 575-2017) 的要求, 采用传统的设计方案, 系统由视频区域节点、视频接入节点、视频汇集点和视频采集点等设备构成, 如图 1 所示。

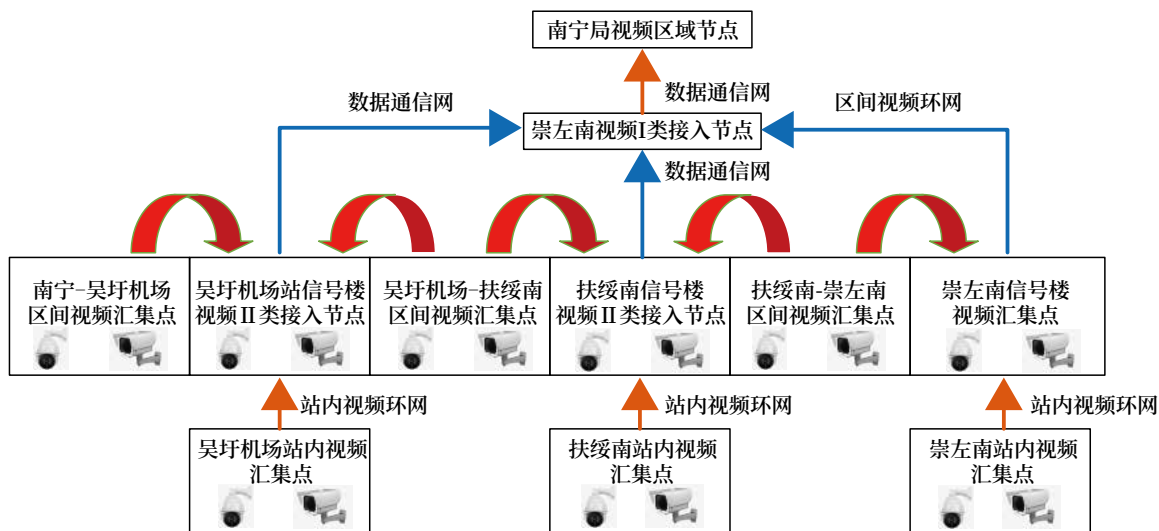


图1 南崇高速铁路综合视频监控系统原设计方案示意

Fig.1 Schematic diagram of original design scheme for integrated video monitoring system of Nanning-Chongzuo high-speed railway

1.1 视频区域节点

视频区域节点主要实现视频的分发/转发、系统管理、用户管理和与其他系统的互联等, 并可对节点内的告警信息和重要视频信息进行存储。南崇高速铁路综合视频监控系统接入南宁局既有视频中心平台, 并对既有视频区域节点的存储设备及智能视频分析系统进行扩容, 其余设备及电源均利旧。视频区域节点通过铁路数据通信网等传输方式接入到国铁集团视频核心节点。

1.2 视频接入节点

南崇高速铁路在崇左南站设置综合视频监控 I 类节点设备, 实现本线视频信息的接入、存储、分发及转发、调用、控制、配置管理、告警处理以及与其他业务系统互联和联动等功能。I 类视频接入节点实现本线路的视频图像诊断功能, 设置云存储服务器(含存储)、视频分/转发服务器、视频管理服务器、视频管理终端及网络安全相关设备等。在吴圩机场、扶绥南站设置综合视频监控 II 类接入节

点, 实现车站管辖范围内视频信息的接入、存储、分发及转发、调用、控制、告警处理以及与其他业务系统互联和联动等功能。

1.3 视频汇集点

视频汇集点设置于沿线各站房、信号中继站、维修工区、通信基站、牵引变电所、分区所和电力变配电所等处所。视频汇集点设置三层交换机, 实现对相对分散的采集点的视频接入、汇聚上传。每不超过 6 个汇集点组成一个光纤环, 接入所属 I、II 类视频接入节点交换机。

1.4 视频采集点

本工程在车站、站房、维修车间/工区、区间基站、信号中继站、电力电气化等节点通信、信号机房, 以及通信及信号区间机房院落、牵引供电及电力供电机房院落、隧道口、隧道紧急出口/避难所/救援站、车站咽喉区、接触网电分相(电气化 6C) 等处设置高清视频采集点, 利用 GSM-R 基站和部分直放站铁塔设置线路监控高清视频采集点,

实现对线路路基、路基与桥梁结合部及长度 6 km 以上桥梁等区段的视频监控。涉及旅客车站内的综合视频监控系统前端监控设备均接入综合视频监控系统，旅服信息系统设置于售票室视频、安检区域视频纳入综合视频监控系统。

1.5 原承载网设计方案

根据本线数据业务的分布特点及带宽需求，数据通信网由核心层、汇聚层、接入层组成。核心层负责南宁局区域节点与南宁站、崇左南站之间的视频图像及数据传输，汇聚层负责崇左南站视频节点与各车站视频汇集点之间的视频图像及数据传输，接入层负责各车站视频汇集点与现场视频采集点之间的视频图像及数据传输。

1.5.1 核心层

本工程不新设核心节点设备，利用南宁调度所及南宁东通信站的核心路由器，实现区域网络与骨干网络间数据的快速转发。

1.5.2 汇聚层

南宁东通信站、崇左南站设汇聚节点，南宁东通信站既有汇聚路由器利旧并根据需要扩容，崇左南新设 2 台汇聚路由器。2 台汇聚路由器之间通过 10GE (O) 接口进行直联，汇聚路由器通过骨干层传输系统提供的 10GE (O) 接口上联至核心路由器并扩容既有核心路由器接口板，本工程负责与上级核心路由器互联。

1.5.3 接入层

接入节点设置在沿线各个车站（吴圩机场站、扶绥南站、崇左南站），分别设置 2 台接入路由器，接入路由器之间利用沿线路一侧干线光缆中的 2 芯光纤通过 GE (O) 接口直连。本工程在南宁站、南宁调度所远动机房各增设 1 台接入路由器，负责本地数据的接入、交换，同址设置的两台接入路由器间通过 GE (O) 接口互联，如图 2 所示。

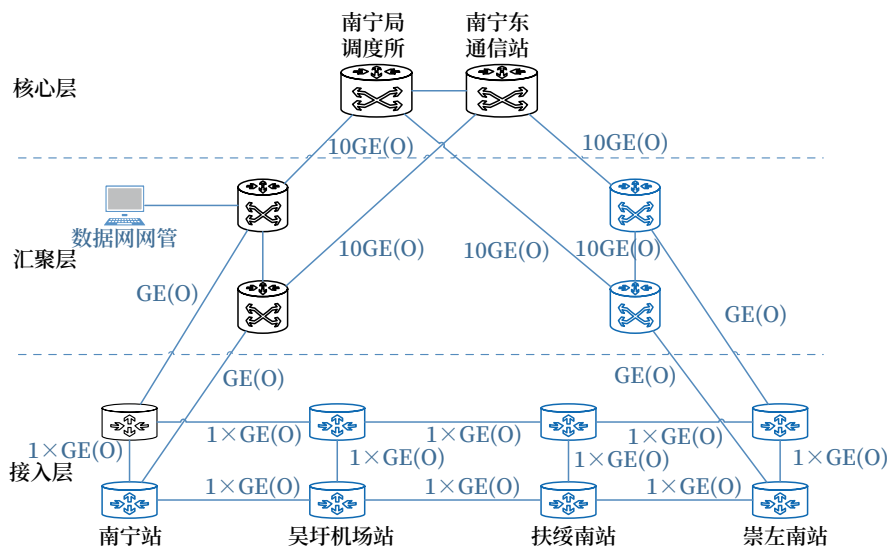


图2 原承载网设计方案示意
Fig.2 Schematic diagram of original bearer network design scheme

2 一体化综合视频监控的设计方案

与原设计方案类似，南崇高速铁路的一体化综合视频监控系统也是由视频区域节点、视频接入节点、视频汇集点和视频采集点组成，但是需对视频区域节点和视频接入节点设备进行改造，使其满足

系统运用的要求。视频汇集点和视频采集点与原设计方案一致，不做任何修改，如图 3 所示。

2.1 视频区域节点的设计方案

一体化综合视频监控系统接入南宁局集团既有视频区域节点。对南宁局既有视频区域节点进行升级改造，包括区域节点视频终端升级和服务器等

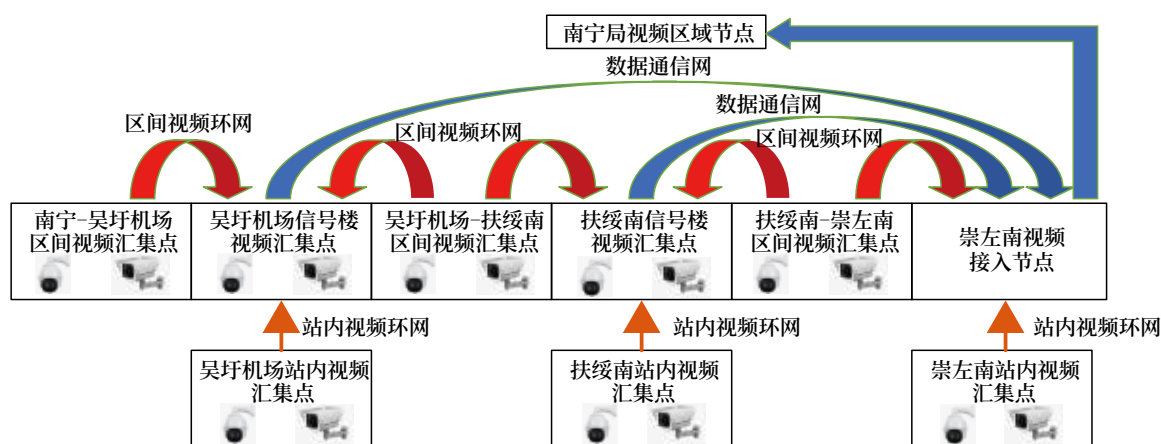


图3 南崇高速铁路一体化综合视频监控设计方案示意

Fig.3 Schematic diagram of integrated video monitoring design scheme for Nanning-Chongzuo high-speed railway

相关软硬件升级，由其他工程统筹考虑。以满足H.265编码视频的调用，在满足本工程一体化综合视频监控系统接入的同时，需支持其他既有有线既有综合视频监控系统接入。并考虑本线视频前端设备满足国铁集团核心节点通过南宁局区域节点调用视频图像的能力。

2.2 视频接入节点的设计方案

接入节点采用云架构设计，通过网络将可伸缩、弹性、共享的物理和虚拟资源池，以按需自服务的方式进行供应和管理。视频接入节点的计算资源设备采用云存储，云存储是具有分布式架构，存储虚拟化，提供统一命名空间、故障检测、自动恢复、纠删码冗余功能的存储系统。本次一体化综合视频监控采用单接入节点设置于崇左南站，将吴圩机场和扶绥南站接入节点调整为车站视频汇集点。结合现有设备的能力，管理服务器不支持作为云平台管理设备使用，分/转发服务器设备不支持作为云计算设备使用，接入节点根据需要设置不同数量的云平台管理设备、云计算设备（含分/转发功能）和云存储设备，满足沿线综合视频监控高清摄像机的接入需求。此设计方案利用原施工图设计的云存储设备，新设云平台管理设备、云计算设备。

2.2.1 云平台管理设备

本次变更设计在崇左南站视频接入节点增设云平台管理设备，设备采用主/备冗余设置，实现业务管理、设备管理、云化管理和运用质量管理。

2.2.2 云计算设备

本线视频摄像机采用单码流，摄像机码流通过承载网经汇集点后接入云节点，通过接入云计算设备转发至云存储设备进行存储。此外，云计算设备还需要向各业务部室的视频终端、电视墙以及各类视频数据应用转发视频流。

2.2.3 云存储设备

本次一体化综合视频监控设计方案在视频接入节点崇左南站设置存储资源池，负责存储管辖范围内的告警视频信息及辖区内视频图像信息。

2.3 一体化视频承载网设计方案

根据南崇高速铁路一体化视频的设计方案，对南崇高速铁路全线视频数据流向和带宽进行测算，并对承载网设计方案进行调整。

2.3.1 南崇铁路视频带宽测算

独立设置的视频汇集点至视频接入节点间链路带宽可按公式 $B = n \times b$ 计算，其中：

B 为链路带宽，Mbit/s；

n 为视频汇集点内接入视频路数，路；

b 为每路视频流的平均流量，Mbit/s，在此按

2.5 取值。

各视频汇集点至视频接入节点间链路带宽 $B_1 = 980 \times 2.5 = 2450$ (Mbit/s)；视频终端调用带宽 B_2 按 10% 视频路数计算， $B_2 = B_1 \times 10\% = 245$ (Mbit/s)；崇左南站节点上传告警等图像至区域节点带宽 B_3 按 10% 视频路数计算， $B_3 = B_1 \times 10\% =$

245 (Mbit/s)。承载网总带宽 $B = B_1 + B_2 + B_3 = 2\,450 + 245 + 245 = 2\,900$ (Mbit/s)，数据流向及带宽如图 4 所示。

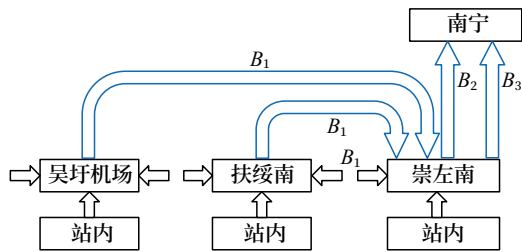


图4 数据流向及带宽示意
Fig.4 Schematic diagram of data flow and bandwidth

2.3.2 承载网设计方案

根据视频数据流向带宽分析，采用一体化视频方案以后，接入节点之间带宽需求最高为吴圩机场至崇左南的 0.96 Gbit/s。为满足峰值链路带宽不高于 70% 的要求，本次变更将各数据通信网接入节点

之间互联带宽由 GE 升级为 10GE，每台接入路由器（共 8 台，含南宁站 1 台既有接入路由器）更换既有接入路由器 GE (O) 接口板为 10GE (O) 接口板。

视频接入节点崇左南站信号楼视频三层交换机与本站数据通信网接入节点维持施工图设计，采用 10GE 光口互连，同站视频三层交换机之间采用 GE 光口互连；视频汇集点车站信号楼视频三层交换机与本站数据通信网接入节点采用 GE 光口互连，同站视频三层交换机之间采用 GE 光口互连；区间视频三层交换机组网维持施工图设计，采用光纤直连组网，利用干线光缆光纤采用 GE 光口串接后，接入车站信号楼三层交换机；车站客服摄像机经信息专业交换机，利用站内光缆采用 GE 光口上连至站房通信机械室三层交换机，如图 5 所示。

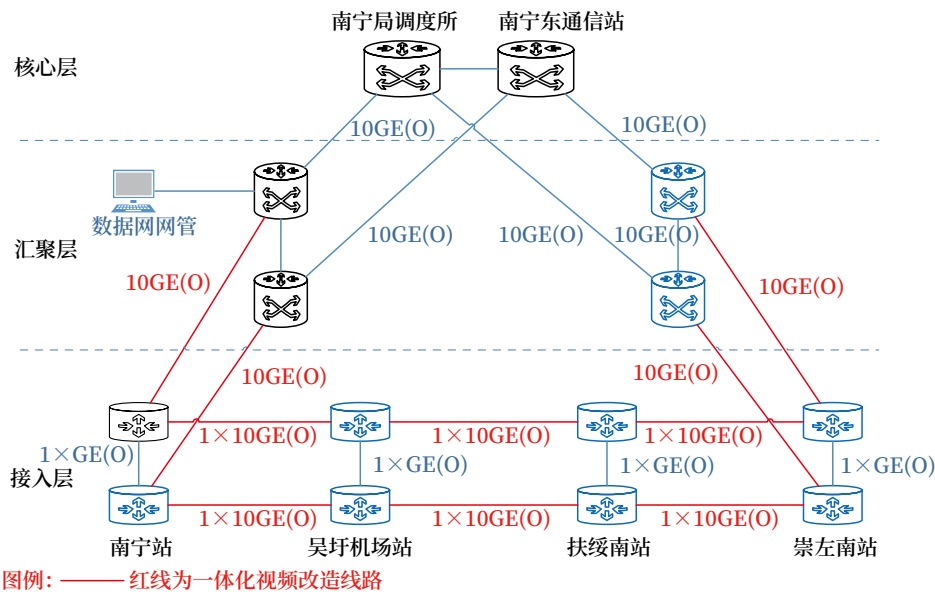


图5 一体化综合视频监控承载网设计方案示意
Fig.5 Schematic diagram of integrated video monitoring bearer network design scheme

3 一体化综合视频监控技术的利弊分析

一体化综合视频监控技术在南崇高速铁路的应用，实现了铁路综合视频监控系统在维护管理方面的创新与突破，也有其自身的利弊。

3.1 有利方面

3.1.1 实现设备集中维护管理

一体化综合视频监控方案实施之后，对原设计方案中的吴圩机场站、扶绥南站和崇左南站 3 处接入节点设备进行整合，仅保留崇左南站接入节点设备。该方案减少了视频接入节点的数量，采用集约化管理，降低维护工作量，实现了综合视频监控系统资源统一管理和高效应用，便于设备的集中维护管理。

3.1.2 节省视频的存储空间

南崇高速铁路综合视频监控系统纳入施工图设计的摄像机路数共计 980 路（含 30 路预留），分辨率为 1 080P，原设计方案采用 H.264 视频编解码协议，存储容量计算除符合存储的保护机制外，还应按有效存储时间和有效视频信息内容进行设计。存储容量包含实时视频存储容量和告警图像存储容量两部分。

存储设备容量应满足：普通视频信息按不小于 3 天进行存储，图像分辨率不低于 CIF，图像帧率 1 ~ 25 f/s 可调；重点目标及重点治安防范区域的视频信息按不小于 15 天进行存储，告警图像及告警信息按不小于 30 天进行存储。I、II 类视频接入节点考虑客服视频信息的接入条件，其中对站房重点监控区域视频图像信息按不小于 90 天进行存储。吴圩机场站 42 路，扶绥南站 40 路，崇左南站 46 路，经计算，崇左南站需要存储容量 480 TB，扶绥南站需要存储容量 400 TB，吴圩机场需要存储容量 400 TB，共计需要存储容量 1 280 TB。

在摄像机路数不变的情况下，一体化综合视频监控设计方案在视频接入节点崇左南站设置存储资源池，负责存储管辖范围内的告警视频信息及辖区内视频图像信息，所有摄像机图像分辨率均为 1 080P。通过计算，采用云架构设计和 H.265 视频编解码协议，共计需要 720 TB 的视频存储空间，可节约存储空间 560 TB，节省了相应的投资。且一体化视频方案较实现资源的统一管理、按需分配，提高资源利用效率。

3.1.3 预留后续发展需要

一体化综合视频方案实施之后，由于接入节点采用云架构设计方案，具有结构灵活、系统整体弹性好的特点。而视频接入节点采用云存储的技术，具有分布式、虚拟化的特点，进而使视频存储具备统一命名空间、故障检测、自动恢复、纠删码冗余的功能。这种设计方案将为南崇铁路综合视频系统的智能化发展打下良好基础。

3.2 不利方面

3.2.1 增加了承载网的投资

根据视频数据流向带宽分析，采用一体化视频方案以后，接入节点之间带宽需求最高为吴圩机场至崇左南的 0.96 Gbit/s。为满足峰值链路带宽不高于 70% 的要求，本次变更将各数据通信网接入节点之间互联带宽由 GE 升级为 10GE，需将南崇高速铁路两个端头站南宁站和崇左南站的每台接入路由器既有接入路由器的 GE (O) 接口板升级为 10GE (O) 接口板。从而对综合视频监控承载网提出更高的要求，也增加了该部分设备的投资。

3.2.2 系统单节点集中设置降低了容灾能力

一体化综合视频监控方案实施后，将原设计方案的吴圩机场和扶绥南站接入节点调整为车站视频汇集点，将南崇高速铁路全线的视频管理和存储等功能全部集中于崇左南站的单接入节点，崇左南站接入节点的安全可靠性，直接决定了南崇高速铁路全线的综合视频监控运用质量。因此，对崇左南站接入节点的可靠性提出更高要求。

4 结束语

一体化综合视频监控技术采用云架构和集中管理的方式，有效提高了高速铁路综合视频监控系统的集成度，实现了集中管理维护，节约视频存储空间，为集中智能分析提供基础条件，但也对视频承载网和系统的可靠性提出更高的要求。一体化综合视频监控技术在南崇高速铁路得到了有效运用，并通过现场检验和测试。结果表明：一体化综合视频监控技术的各项技术指标均满足设计和维护的要求，为南崇高速铁路的顺利开通运营打下良好的基础，也为今后高速铁路综合视频监控系统的建设提供参考。随着国内高速铁路事业的不断发展，一体化综合视频监控技术也必将发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] 孙嵘, 姜志威. 高速铁路一体化综合视频监控系统构建研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (3): 19-24.
Sun Rong, Jiang Zhiwei. Study on Construction

- Scheme of Integrated Video Monitoring System for High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(3): 19-24.
- [2] 王治强. 高速铁路综合视频改造方案研究 [J]. 信息通信, 2019, 32 (6): 77-79.
Wang Zhiqiang. Research on High-Speed Railway Integrated Video Reconstruction[J]. Information & Communications, 2019, 32(6): 77-79.
- [3] 李鹏, 陈路全. 广深线综合视频监控系统网络设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (4): 23-27.
Li Kun, Chen Luquan. Network Design of Integrated Video Monitoring System for Guangzhou-Shenzhen Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(4): 23-27.
- [4] 曹程铭. 铁路视频监控系统解决方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14 (1): 14-17.
Cao Chengming. Solutions of Railway Video Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(1): 14-17.
- [5] 王毅勇. 铁路视频远程监控预警系统的功能扩展与标准化集成 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13 (1): 38-42.
Wang Yiyong. Functional Expansion and Standardized Integration of Railway Video Monitoring and Warning System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(1): 38-42.
- [6] 张涛. 基于铁路标准的视频监控云平台设计实现 [J]. 科技资讯, 2020, 18 (6): 3-4, 6.
Zhang Tao. Design and Implementation of Video Surveillance Cloud Platform Based on Railway Standards[J]. Science & Technology Information, 2020, 18(6): 3-4, 6.
- [7] 高玉, 张玮. 基于云存储技术的高速铁路综合视频监控系统研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2017 (11): 187-190.
Gao Yu, Zhang Wei. Research on High Speed Railway Integrated Video Monitoring System Based on Cloud Storage Technology[J]. Automation & Instrumentation, 2017(11): 187-190.
- [8] 田爱香. 浅析铁路综合视频监控技术方案选择 [J]. 科学技术创新, 2020 (14): 99-100.
Tian Aixiang. Analysis on Technical Scheme Selection of Railway Integrated Video Monitoring System[J]. Scientific and Technological Innovation, 2020(14): 99-100.
- [9] 程智源, 严瑾. 基于云存储的铁路综合视频监控系统方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (2): 51-55, 61.
Cheng Zhiyuan, Yan Jin. Research on Scheme of Railway Integrated Video Monitoring System Based on Cloud Storage[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 51-55, 61.

(上接 47页)

- [7] 陈昊星, 王惠生. 基于 GPRS 列控数据传输的扩展应用 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (1): 62-65.
Chen Haoxing, Wang Huisheng. Extended Application of GPRS-Based Train Control Data Transmission[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(1): 62-65.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.012

FAO互联互通系统保护区段解锁 优化方案研究

张楠乔, 耿鹏

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

摘要: FAO 互联互通系统在 GoA4 级应用时已不再需要司机监控列车运行, 与 CBTC 互联互通系统在列车安全监控方面的人 / 系统职责划分方式上存在明显区别, 因此, CBTC 互联互通系统保护区段解锁既有方案已不再适用于 FAO 互联互通系统, 存在安全风险。重点关注列车已停靠至站台时的保护区段正常解锁方式, 分析保护区段解锁既有方案的适用性, 提出以车载信号设备反馈的列车控制级别为依据、以轨旁信号设备发出的保护区段授权为依据这两种优化方法原理, 设计相应的保护区段解锁优化方案, 并对两者执行优劣对比, 形成优化方案使用建议, 并具有可行性。

关键词: 保护区段; 解锁; FAO; 互联互通

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0061-05

Overlap Release Optimization Scheme for Interoperability of FAO System

Zhang Nanqiao, Geng Peng

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

Abstract: Interoperability of FAO system no longer requires drivers to monitor train operation at GoA4. In terms of the division of responsibility on train safety monitoring between human and system, interoperability of FAO system is clearly different from interoperability of CBTC system. Therefore, the existing overlap release scheme for interoperability of CBTC system is no longer applicable to interoperability of FAO system, and there are safety risks. This paper focuses on the normal overlap release methods when the train has stopped at the platform. First, this paper analyzes the applicability of existing overlap release scheme; Then, this paper proposes two optimization principles including using the train control level information from onboard signaling equipment and using the overlap authorization information from trackside signaling equipment, and proposes the corresponding overlap release optimization schemes. Finally, this paper compares the advantages and disadvantages between the above-mentioned overlap release optimization schemes, and presents suggestions for use which

收稿日期: 2023-05-22; 修回日期: 2023-09-10

基金项目: 北京市科协金桥工程种子基金项目 (ZZ22010)

第一作者: 张楠乔 (1992—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 列车运行控制, 邮箱: zhangnanqiao@crscu.com.cn.

met the actual demands.

Keywords: overlap; release; FAO; interoperability

1 研究背景

近年来城市轨道交通建设快速增长，部分新建线路也在基于通信的列车运行控制系统（CBTC）基础上引入了更多自动化、智能化的功能需求，使列车运行控制系统向着全自动运行（FAO）方向发展^[1]。FAO 互联互通系统在 CBTC 互联互通技术规范体系基础上扩展而成，是 CBTC 互联互通系统的延伸和升级，是中国城市轨道交通列车运行控制系统的主流技术发展方向^[2]。

在城市轨道交通中，由于车站站台土建条件的限制，运营停车点通常距离出站信号机过近，为保证列车自动运行（ATO）可控制列车停靠至该点完成旅客乘降作业，车载列车自动防护（ATP）计算的紧急制动曲线终点必须延伸至出站信号机内方^[3]。为了解决这一问题，计算机联锁（CBI）在出站信号机内方额外锁闭一片区域，使得紧急制动曲线终点得以安全延伸，该额外锁闭区域即为保护区段^[4]。保护区段内可能包含道岔，若保护区段解锁时机过晚，将影响列车运营间隔，降低运营效率^[5]。因此，CBTC 互联互通系统通常支持多种方式解锁保护区段，包括：收到来自车载 ATP 的允许保护区段解锁信息后解锁、保护区段延时解锁计时结束后解锁等^[6-8]。

FAO 互联互通系统具有城市轨道交通列车运行自动化水平的最高等级，自动化等级（GoA）4 级已不再需要司机监控列车运行，与 CBTC 互联互通系统在列车安全监控方面的人 / 系统职责划分方式上存在明显区别。对此，保护区段解锁既有方案是否适用于 FAO 互联互通系统有待研究。本文重点关注列车已停靠至站台时的保护区段正常解锁方式，尝试以保护区段解锁既有方案为基础，分析其适用性，提出优化方法原理，并设计相应的保护区段解锁优化方案。

2 保护区段解锁既有方案

2.1 原理流程

列车顺序进入保护区段接近区段后，CBI 启动保护区段延时解锁计时：计时结束前，若 CBI 收到车载 ATP 发送的允许保护区段解锁信息或区域控制器（ZC）发送的允许保护区段解锁信息，且保护区段空闲，则 CBI 解锁保护区段；计时结束后，若保护区段空闲，则 CBI 解锁保护区段。

其中，车载 ATP 仅在停稳且不再使用保护区段授权的前提下，方可向 CBI 或 ZC 发送允许保护区段解锁信息，CBI 直接获取或通过 ZC 间接获取该信息，以此实现保护区段快速解锁，提高解锁效率；若不满足保护区段快速解锁条件，则 CBI 亦可通过延时解锁方式解锁保护区段。

综上所述，保护区段解锁既有方案总体流程如图 1 所示。

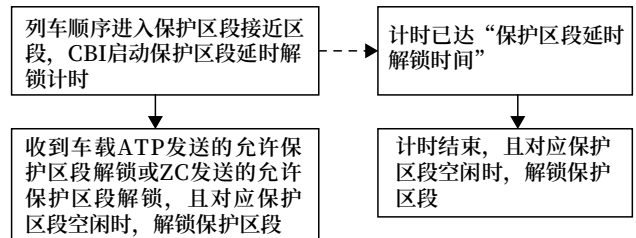


图1 保护区段解锁既有方案总体流程

Fig.1 Overall process of existing overlap release scheme

2.2 存在缺陷

保护区段解锁既有方案可满足安全性的前提在于：列车进入保护区段接近区段后，司机应保证在一定时间内驾驶列车于保护区段外方停车或进入保护区段内方。在 CBTC 互联互通系统中，该限制约束尚可输出至司机；但在 FAO 互联互通系统中，司机将驾驶模式升级为全自动运行模式（FAM）后，原则上已不再承担列车运行监控的安全职责，该风险仅可由信号系统内部消化，故上述前提已不再成立。

由此，可构建如下危险场景：司机驾驶非连续

式控制级别（CTC）列车顺序进入保护区段接近区段，CBI 启动保护区段延时解锁计时；计时结束前，司机将驾驶模式升级为 FAM 模式，车载 ATP 依据包含保护区段授权的移动授权控制列车运行，由于车地通信存在信息时延，计时结束后 CBI 解锁保护区段，车载 ATP 仍持有保护区段授权，列车闯入已解锁的保护区段，存在安全风险。

3 保护区段解锁优化方案

3.1 优化方案A

为修复保护区段解锁既有方案中存在的缺陷，信号系统应考虑如何安全收回列车可能持有的保护区段授权。对此，本文设计优化方案 A，以列车控制级别、区段占用状态或信号机接近状态等本质上由车载信号设备反馈的列车控制级别为依据，CBI 安全解锁保护区段。

上述优化手段的具体处理方法为：列车顺序进入保护区段接近区段后，CBI 启动保护区段延时解锁计时，计时结束前提前一定时间向 ZC 发送保护区段无效，以此保证：计时结束时，列车未进入保护区段或已进入保护区段停稳，且 CBI 已检测到该

列车是否占用保护区段。据此，CBI 可在计时结束、收到车载 ATP 发送的允许保护区段解锁信息或收到 ZC 发送的允许保护区段解锁信息，且保护区段空闲时，安全解锁保护区段。

上述 CBI 提前向 ZC 发送保护区段无效的处理方法，其目的即在于安全收回车载 ATP 可能持有的保护区段授权。假定直至该时刻车载 ATP 仍持有保护区段授权，若车载 ATP 与 ZC 通信正常，则 CBI 发送保护区段无效、ZC 收回保护区段授权，车载 ATP 根据更新的移动授权信息重新计算紧急制动曲线，列车最终停于保护区段外方或触发紧急制动闯入保护区段停稳；若车载 ATP 与 ZC 通信中断，则车载 ATP 使用当前保护区段授权达到最大超时后触发紧急制动，列车最终停于保护区段外方或闯入保护区段停稳。该提前量包含了上述场景中车载 ATP 触发紧急制动直至停稳且被 CBI 检测到是否占用保护区段的最大延时，保证计时结束时 CBI 可安全判定保护区段是否可能被列车使用，如未使用方可解锁保护区段。

综上所述，保护区段解锁优化方案 A 总体流程如图 2 所示。

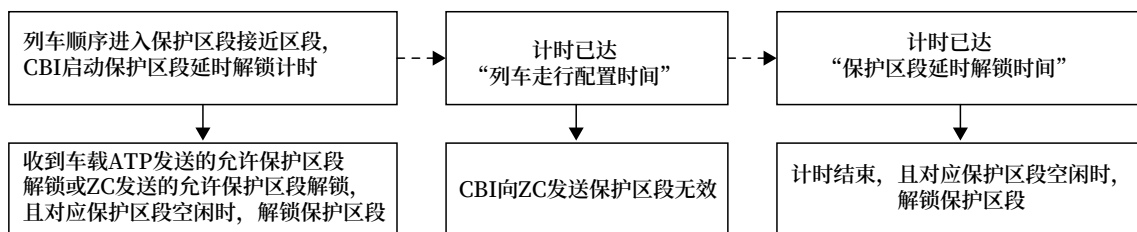


图2 保护区段解锁优化方案A总体流程
Fig.2 Overall process of overlap release optimization scheme A

3.2 优化方案B

为修复保护区段解锁既有方案中存在的缺陷，信号系统应考虑如何安全收回列车可能持有的保护区段授权。对此，本文设计优化方案 B，以 CBI 是否允许列车进入保护区段、ZC 是否允许列车进入保护区段等本质上由轨旁信号设备发出的保护区段授权为依据，CBI 安全解锁保护区段。该优化手段将待解决问题抽象为信号系统是否授权列车进入保护

区段，站在发送方的角度思考并延后决策时机，以此获得有效判定依据。

具体地，上述优化手段的处理方法为：列车顺序进入保护区段接近区段后，CBI 启动保护区段延时解锁计时；到达“列车走行配置时间”时，CBI 向 ZC 发送保护区段无效；到达“非 CTC 保护区段延时解锁时间”时，若 CBI 判断车载 ATP 不可能持有保护区段授权则以“非 CTC 保护区段延时解锁

时间”作为计时终点，若 CBI 判断车载 ATP 可能持有保护区段授权则以“CTC 保护区段延时解锁时间”作为计时终点；据此，CBI 可在计时结束、收到车载 ATP 发送的允许保护区段解锁信息或收到 ZC 发送的允许保护区段解锁信息，且保护区段空闲时，安全解锁保护区段。

优化方案 B 可避免优化方案 A 存在的两个问题：

1) 若采用由车载信号设备反馈的列车控制级别为依据，则不可避免地需要考虑车载信号设备反馈信息的安全时延；

2) 若启动计时即区分 CTC 列车保护区段延时解锁计时、非 CTC 列车保护区段延时解锁计时，则不可避免地需要考虑列车在计时结束前可能出现列车控制级别转化，即需要考虑列车可能持有保护区段授权导致的安全时延。

上述优化手段可以实现 CBI 针对非 CTC 列车、CTC 列车分别使用不同的保护区段延时解锁时间，有效缩短了“非 CTC 保护区段延时解锁时间”，相比优化方案 A 而言提高了保护区段解锁效率。

除此之外，优化方案 B 进一步提出了 3 种优化手段：

1) 针对非 CTC 列车与 CTC 列车共用“列车走行配置时间”导致“非 CTC 保护区段延时解锁时间”

相比传统非 CTC 模式信号系统仍然偏长的缺陷，提出 ZC 自置保护区段无效状态的优化手段，通过将“非 CTC 列车走行配置时间”与“CTC 列车走行配置时间”分开处理、“非 CTC 列车走行配置时间”到达时 ZC 判断是否自置保护区段无效状态的方式，进一步缩短了“非 CTC 保护区段延时解锁时间”，使其完全等同于传统非 CTC 模式信号系统；

2) 针对“CTC 保护区段延时解锁时间”依赖于配置最大超时导致等待时间较长的缺陷，提出了 CBI 与 ZC 间交互保护区段解锁请求的优化手段，通过将原 CBI 保护区段解锁判断逻辑部分转移至 ZC 的方式，进一步缩短了“非 CTC 保护区段延时解锁时间”“CTC 保护区段延时解锁时间”；

3) 针对列车进入保护区段延时解锁区段时人机界面 (MMI) 倒计时显示与列车控制级别不匹配的缺陷，提出 CBI 根据保护区段接近区段占用状态选择 MMI 倒计时显示的优化手段，通过 CBI 切换“非 CTC 保护区段延时解锁时间”“CTC 保护区段延时解锁时间”MMI 倒计时显示的方式，进一步提高 MMI 倒计时显示的可用性，使其更匹配运营人员使用习惯。

综上所述，保护区段解锁优化方案 B 总体流程如图 3 所示。

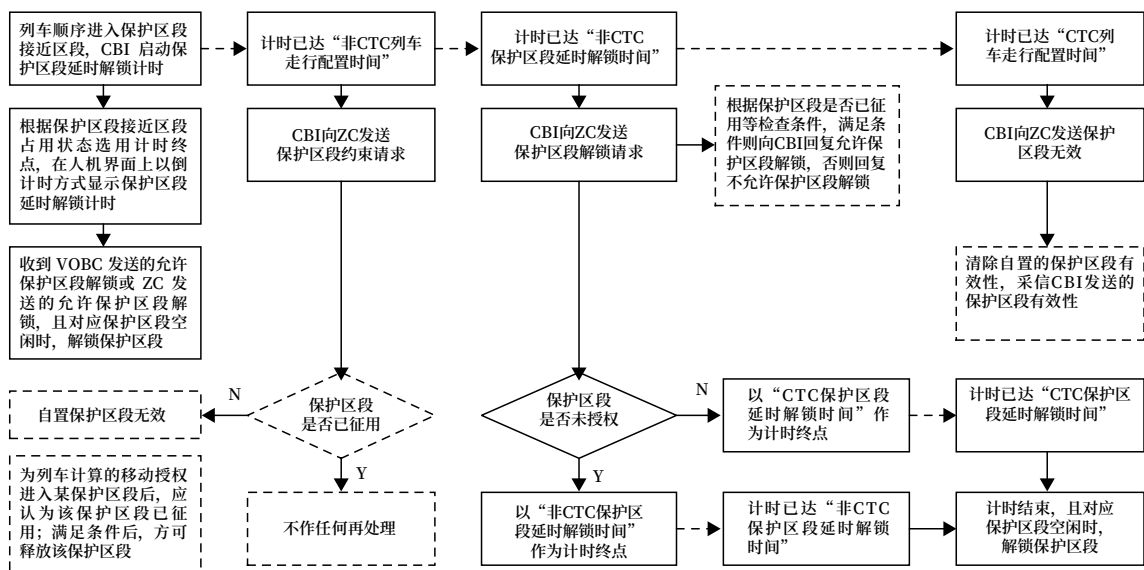


图3 保护区段解锁优化方案B总体流程
Fig.3 Overall process of overlap release optimization scheme B

3.3 方案优劣对比

对于上述优化方案 A、优化方案 B，从修复缺陷、解锁效率、实现难度 3 方面执行优劣对比，如表 1 所示。

表1 优化方案A与优化方案B对比

Tab.1 Comparison between optimization scheme A and optimization scheme B

优化方案	修复缺陷	解锁效率	实现难度
优化方案 A	可修复	非 CTC 模式运营时的保护区段延时解锁时间较长，降低了非 CTC 模式运营时的保护区段解锁效率	复杂度较低，实现难度较小
优化方案 B	可修复	1) 非 CTC 列车采用与 CTC 列车不同的保护区段延时解锁时间，相比既有方案更短，解锁效率更高 2) CTC 列车采用的保护区段延时解锁时间相比优化方案 A 更短，解锁效率更高	复杂度较高，实现难度较高

综上所述，对于不考虑非 CTC 模式运营或非 CTC 模式运营频率较低的信号系统，可采用优化方案 A，容忍非 CTC 模式运营时较低的保护区段解锁效率，以较低的实现难度修复既有方案缺陷；对于非 CTC 模式运营频率较高或运营模式冗余度要求较高的信号系统，可采用优化方案 B，接受较高的实现难度，则既可修复既有方案缺陷，又可有效提高非 CTC 模式、CTC 模式运营时的保护区段解锁效率。

4 结论

本文首先介绍了保护区段解锁既有方案的方法原理及总体流程，分析其存在的缺陷；然后提出了保护区段解锁优化方案 A、优化方案 B，分别详细说明其方法原理及总体流程，并对两者进行优劣对比，形成优化方案使用建议。本文所述保护区段解锁优化方案 A、优化方案 B 适用于 CBTC 互联互通系统、FAO 互联互通系统，在确保安全的前提下于解锁效率与实现难度之间取得平衡，具有可行性。

参考文献

- [1] 邓红元. 城市轨道交通信号系统发展展望 [J]. 现代城市轨道交通, 2020 (8): 33-37.
- [2] 张艳兵, 戴克平. 自主化全自动运行系统研究与应用 [J]. 都市轨道交通, 2017, 30 (6): 1-6.
- [3] 刘江, 谢鲲. CBTC 系统在车站保护区段的解锁优化方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20 (8): 55-58.
- [4] 陈卫华, 张成国. 保护区段对行车折返效率影响的分析 [J]. 铁路计算机应用, 2017, 26 (9): 60-63.
- [5] 张大涛. 城市轨道交通信号系统保护区段设置的研究 [J]. 控制与信息技术, 2020 (2): 85-90.
- [6] 宿秀元. 城市轨道交通 CBTC 系统中保护进路相关功能的研究 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51 (4): 84-86, 89.
- [7] 潘亮, 徐焯, 洪玲娇. 一种保护进路设计方法: CN112660206B [P]. 2022-08-26.
- [8] 耿鹏, 赵鹏, 聂宇威, 等. 进路保护区段的解锁方法及系统: CN110834651B [P]. 2020-12-01.
- Deng Hongyuan. Development Prospect of Urban Rail Transit Signaling System[J]. Modern Urban Transit, 2020(8): 33-37.
- Zhang Yanbing, Dai Keping. Research and Application of Independently Developed Fully Automatic Operation System[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(6): 1-6.
- Liu Jiang, Xie Kun. Optimum Scheme of Overlap Releasing in Urban Rail Transit CBTC System[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(8): 55-58.
- Chen Weihua, Zhang Chengguo. Impact of Overlap to Driving Turnback Efficiency[J]. Railway Computer Application, 2017, 26(9): 60-63.
- Zhang Datao. Research on Protection Section Setting of Urban Rail Transit Signaling System[J]. Control and Information Technology, 2020(2): 85-90.
- Su Xiuyuan. Overlap Function Study of CBTC System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(4): 84-86, 89.

集中判图技术在城市轨道交通安检系统中的应用

秦 柳

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 传统的安检系统在每个安检点均配有图形工作站和判图员, 各安检点独立进行判图。这种模式会造成各判图员工作量不均衡、人力资源浪费的情况。介绍基于禁带品智能识别的远程集中判图技术的功能、技术架构、系统构成及应用情况。结合轨道交通安检业务特点, 对安检集中判图技术在城市轨道交通中的实际应用进行探讨。

关键词: 集中判图; 城市轨道交通; 安检

中图分类号: U239.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0066-05

Application of Centralized Image Judgment Technology in Urban Rail Transit Security Check System

Qin Liu

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: Conventional security check system is equipped with a graphic workstation and judges at each security checkpoint. Each security checkpoint shall judge images independently. This mode will cause uneven workload and waste of human resources. This paper introduces the function, technical architecture, system composition and application of remote centralized image judgment technology based on intelligent identification of prohibited articles. Combined with the characteristics of rail transit security check, this paper discusses the practical application of centralized image judgment technology in urban rail transit.

Keywords: centralized image judgment; urban rail transit; security check

城市轨道交通运营中, 由于客流差异导致不同安检点判图人员工作强度差异较大, 大客流车站高峰时期安检效率较低。采用远程集中判图的形式, 将安检判图员的工作地点从各个分散的安检点现场

转移到集中判图中心, 可提升轨道交通的安检效率。

1 城市轨道交通安检系统现状

城市轨道交通安检系统目前按照“逢包必检、液体必检、人机结合”的思路, 实现地铁安检需求的“机检”“人检”二检一体的安检模式, 人检即车站现场安检人员对乘客进行普检和疑点排查; 机检

收稿日期: 2022-04-24; 修回日期: 2023-07-03

作者简介: 秦柳(1989—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通通信信息, 邮箱: 331477801@qq.com。

即通过 X 光机、手持仪器、液体检查仪等设备对包裹、行李包、液体等进行检查。

安检过程中，安检员负责引导乘客，并操作安检设备对包裹、行李包、液体等进行检查；安检员负责对发现的危险品、可疑物品进行先期处置。

目前安检系统设备主要包括通道式 X 光行李检查机、辐射安全报警仪、台式液体检查仪、便携式液体检查仪、便携式爆炸物探测器、防爆球、防爆毯、危险物品存储罐、手持金属探测器、安检门、网络设备、标志标识、辅助设备等。各安检点位设置一台判图工作站及一名判图员，判图工作在各安检点现场进行。各安检点安检信息通过以太网上传至安防集成平台。

近年，在天津地铁 4 号、10 号线及 6 号线二期等一些在建项目中，车站安检点在以上配置的基础上进一步设置了禁带品智能识别设备。禁带品智能识别设备设置于车站各安检点处，为安检判图员提供 AI 辅助判图功能，智能判图结果发送给本地判图工作站。设置禁带品智能识别设备可进一步提高安检点判图员的判图效率及判图准确率。

2 需求分析

国务院办公厅印发的《关于保障城市轨道交通安全运行的意见》（[2018]13 号）中提到，“鼓励推广应用智能、快速的安检新技术、新产品，逐步建立与城市轨道交通客流特点相适应的安检新模式”。同时，在《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》中，也要求建成与城轨交通客流特点相适应的智能安检新模式。

因此，为适应新的形势及变化，也为了贯彻落实习近平总书记关于智慧城轨建设的重要指示，以及贯彻落实《交通强国建设纲要》，推动大数据、互联网、人工智能等新技术与交通行业深度融合，地铁安检现场需要新的智慧安检技术及模式，以实现安检运营的减员增效、提高违禁品的检出率、提升乘客安检效率及服务品质。

目前地铁全网安检点多且范围广，需投入大量的安检人员。不同车站的客流不均衡现象非常明显，早晚高峰期间不同站点间进出站客流量相差巨大，同一个地铁站在一天内波谷期间的客流量可能

只有波峰期间客流量的 20%，这种情况造成不同安检点判图人员工作强度差异较大，存在着部分判图员工作不饱满、人力资源浪费的情况^[1]；大客流车站高峰时期安检效率低，在客流高峰期易发生地铁乘客大量滞留于安检点的情况。

围绕大客流车站高峰时期运营安检效率低、乘客滞留安检点等问题，可通过设置统一的集中判图室，将安检判图员的工作地点从各个分散的安检点现场转移到集中判图中心。各安检点生成的每个判图任务，通过网络发送到集中判图中心。集中判图系统运用安检机图像实时传输、任务调度及负载均衡、人工智能等技术，通过对所有安检点判图任务的智能调度，将安检机产生的判图任务动态匹配给当前最适合的判图站进行处置，达成实时判图、远程判图、AI 智能辅助判图等功能。需开包检查的行李信息再通过网络传回至安检点现场的开检站。通过对安检判图形式的调整，达到平衡各安检判图员看图工作、提升安检效率、减员增效的目的。

3 基于禁带品智能识别的远程集中判图技术

3.1 系统功能

集中判图系统能有效实现高峰时期不同安检点间判图人员工作强度的动态平衡及判图工作的协同支援，实现各安检点判图工作量的“削峰平谷”；能有效提升地铁站安检判图员的工作效率，降低安检判图员漏判的风险，有效地优化安检人员配置，达到系统“减员增效”的目标。

3.2 系统架构

远程集中判图系统主要由集中判图室内设备及车站安检点设备构成。为实现对各车站安检点集中判图任务的统一调度和负载均衡，建议新建线路每 3 个车站设置一处集中判图室，主要由安检集中监控平台、集中判图工作站、汇聚交换机、集中判图任务调度服务器、大屏等设备组成。对于安检点位较多、客流量大的枢纽车站，可单站设置一处集中判图室，对本站内所有安检点位进行集中判图。

车站安检点作为集中判图系统的现场执行部分，是整个安检业务的主要实体。在对传统安检设备进

行改造、升级的基础上，通过部署集中判图系统设备，实现车站安检点的集中判图任务调度，从而提

升安检效率。远程集中判图系统的架构如图 1 所示。

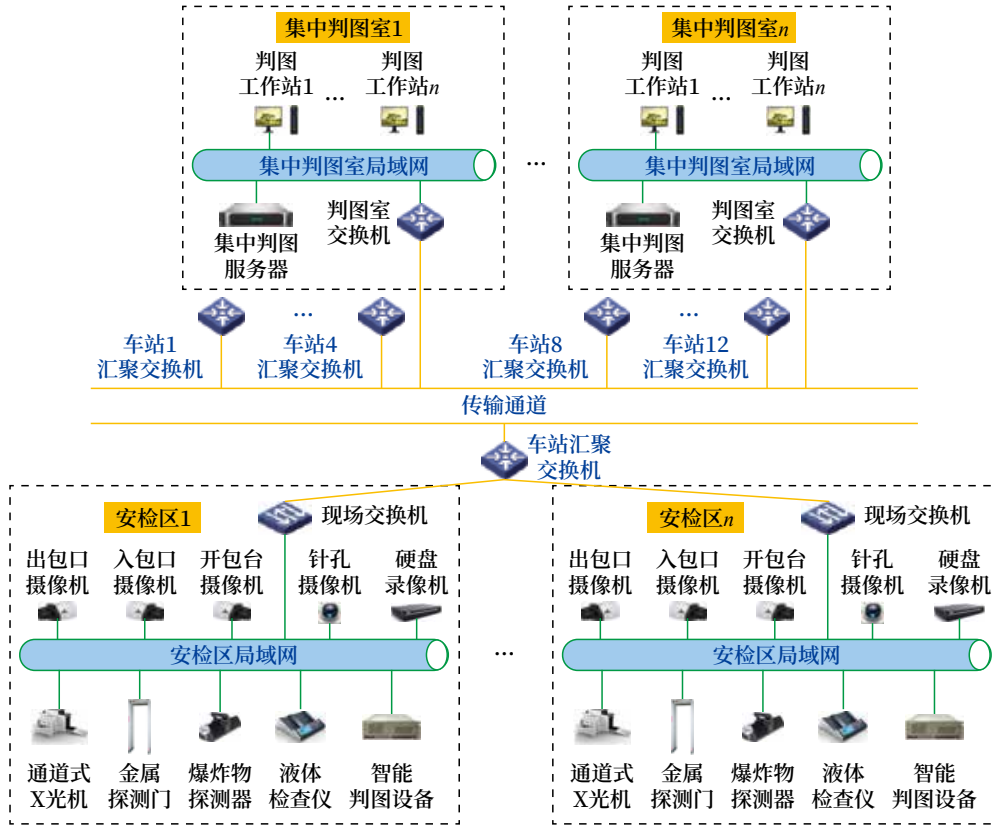


图1 集中判图系统架构
Fig.1 Centralized image judgment system architecture

3.3 系统构成

与传统安检系统方案相比，安检集中判图技术方案主要由通道式 X 射线安全检查设备、智能判图设备、开包工作站、远程判图工作站、集中判图服务器配合实现。以上设备分布在车站安检区和集中判图室。

3.3.1 集中监控平台

根据运营管理需求，在部分车站设置区域集中判图室；在集中判图室设置集中监控平台，实时监控安检判图数据、安检判图人员工作状态以及相关设备数据，实现安检数据集中监管。

3.3.2 集中判图工作站

在区域集中判图室设置集中判图工作站，主要用于接收行李包裹的实时 X 光图像与外观图像；判图员对图像进行判定，提交开检或放行结论；开检

信息返回至现场安检点位的集中判图开检站。

3.3.3 集中判图任务调度服务器

在区域集中判图室设置集中判图任务调度服务器，负责安检图像的均衡调度，平衡各远程判图站的业务量，实现对判图任务的统一均衡调度。

3.3.4 通道式 X 射线安全检查设备

在车站各安检点设置通道式 X 射线安全检查设备，采集被检行李包裹的实时 X 光图像与外观图像，并将图像发送给判图站，经判定为嫌疑包裹后连同外观图像发送给安检现场的开检站。与传统安检方案相比，采用集中判图方案需对 X 光机做出如下改造。

- 1) 对安检机皮带进行延长，满足集中判图系统对行李定位的需求。
- 2) 具备开检任务声光报警提示装置，采用红色

灯光模式提示报警，并具备复位按钮。

3) 具备远程实时集中判图系统工作状态（正常、异常）提示装置。

4) 传统安检方案中判图工作站可根据运营部分需求取消或保留。

3.3.5 集中判图开检站

在车站安检点设置集中判图开检站，安检现场的开检员根据开检站接收的提示信息，对包裹进行开包检查，并登记开检结果，实现从集中判图到开检查验的地铁车站进站安检全流程闭环。

集中判图方案下，集中判图开检站代替了传统安检方案中的开包工作台，各安检点位的开包员在集中判图开检站接收开检信息并进行开包检查；传统安检方案中的判图工作站可根据运营的需求取消或保留，各安检点位判图员移至各集中判图室内进行判图工作。

集中判图方案下，车站典型安检点的布置如图2所示。

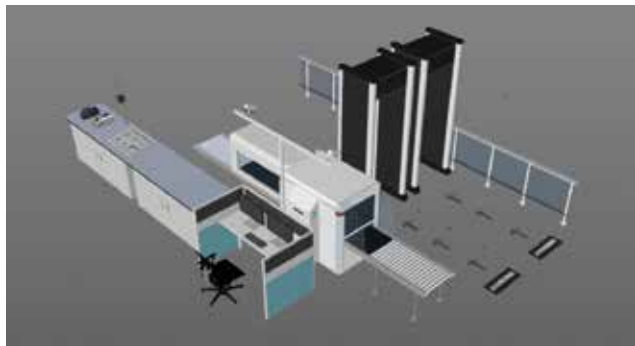


图2 车站安检点(集中判图)部署示意
Fig.2 Station security checkpoints
(centralized image judgment) deployment diagram

3.4 系统技术特点

安检集中判图系统具有智能化、专业化、信息化等技术特点。

1) 智能化：远程集中判图系统在禁带品智能识别功能的加持下，均衡分配判图任务，提高了安检员的判图速度和工作效率；

2) 专业化：远程集中判图系统将原本分散在各车站的判图员集中到判图中心工作，使得判图员在更加优良的环境工作，更专注于判图，有利于提高

判图人员的专业化程度；

3) 信息化：远程集中判图系统可以实时记录判图员信息、判图过程和判图结果，实时显示统计报表，方便安检业务的监管。

4 技术应用情况及投资分析

目前，远程集中判图系统技术方案暂无国家或行业相关规范中的统一标准，不过该技术已经较为成熟，有部分安检集成商可以支持，且在轨道交通中有部分站点试用案例。

在集成商支持情况方面，声迅电子、同方威视、东影等多家安检设备供货商均可实施远程集中判图技术方案。

在城轨项目应用情况方面，西安地铁5号线、6号线、14号线安检系统按全线集中判图方案进行实施并已开通；广州地铁万胜围站、珠江新城站、嘉禾望岗站、广州塔站及北京地铁方庄站、天通苑南站、天津地铁金街站、环宇道站等车站已开展单站集中判图方案试点使用。

从应用效果上来看，在集中判图方案试点应用中，集中判图系统根据判图任务并发的数量自动采用并行判图或串行判图的方式分配判图任务，均衡了各判图员的判图工作量，缩减了一部分判图员数量，达到了地铁提质增效的目标。以广州塔站为例，该站共设置5个安检点，在系统设计时，对所有安检设备进行网络化连接，并在车站设置集中判图室进行集中判图作业。传统安检模式下，5个安检点需全天配备5名判图员进行本点位的判图工作；采用远程集中判图技术后，在早晚高峰时段，集中判图室配3~4名判图员，平峰时段集中判图室配2~3名判图员即可满足判图需求。相较传统安检模式，采用远程集中判图技术后的安检系统人力资源效率可提高约40%。

由于集中判图方案需增加后端集中判图室内服务器及监控平台等设备，在建设投资上每个安检点预计会增加15~20万元左右。

5 结束语

集中判图技术在轨道交通里属于智能运营的范

畴, 该技术的应用可提升轨道交通的安检效率, 提高违禁品的检出率, 实现轨道交通的减员增效。

在实施时, 安检集中判图技术在既有线可按车站进行试点应用, 在新建线路对本技术的应用则可按照线路级进行规划, 在新线设计阶段, 应综合考虑各站土建规模及房屋设置情况, 选取合适的车站设置区域集中判图室。

参考文献

[1] 张森, 于敏. 基于网络化集中判图的城市轨道交通新安检系统设计 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (7): 174-177.
Zhang Sen, Yu Min. Design of New Security Inspection System for Urban Rail Transit Based on Network Centralized Map Judgment[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(7): 174-177.

[2] 陈宝军, 汤旻安. 智慧安检在重庆单轨 3 号线上的应用 [J]. 现代信息科技, 2021, 5 (22): 109-113.

[3] 达选晨. 浅谈地铁智慧安检集成管理系统方案 [J]. 信息系统工程, 2018 (11): 59.

[4] 赫楠, 张在龙, 马卫东, 等. 城市轨道交通智慧安检系统的构建 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25 (4): 214-216, 220.
He Nan, Zhang Zailong, Ma Weidong, et al. Construction of Smart Safety Inspection System in Urban Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2022,

25(4): 214-216, 220.

[5] 刘伯德, 张森. 基于网络化大数据的城市轨道交通安检系统 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 (6): 182-186.
Liu Bode, Zhang Sen. Security Check System in Urban Rail Transit Based on Internet-Driven Big Data[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(6): 182-186.

[6] 赵野, 付保明, 张宁. 城市轨道交通安检集成系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (4): 71-76.
Zhao Ye, Fu Baoming, Zhang Ning. Research on Integrated Security System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 71-76.

[7] 孙煜. 基于智慧轨道交通信息化顶层架构设计的思考 [J]. 隧道与轨道交通, 2020 (4): 1-5.
Sun Yu. Thoughts on Top Level Information Architecture Design Based on Smart Rail Transit[J]. Tunnel and Rail Transit, 2020(4): 1-5.

[8] 潘圣凯. 智能安检技术在温州轨道交通的应用探讨 [J]. 中国安防, 2019 (9): 85-87.
Pan Shengkai. Discussion on the Application of Intelligent Security Inspection Technology in Wenzhou Rail Transit[J]. China Security & Protection, 2019(9): 85-87.

[9] 陈阳. 地铁安检设备现状及研发新理念 [J]. 低碳世界, 2018 (4): 335-336.

(上接 53页)

Zhang Junwei, Liu Jinzhi. Group Control System of Data Center Freezing Station[J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2020, 14(6): 70-73.

[7] 徐会咏. 智慧能源管理系统建设方案 [J]. 能源研究与管理, 2020 (4): 83-87.
Xu Huiyong. Smart Energy Management System

Construction Scheme[J]. Energy Research and Management, 2020(4): 83-87.

[8] 肖珊, 吴华. 基于云平台的城市轨道交通能源管理系统 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (4): 95-98, 103.
Xiao Shan, Wu Hua. Urban Rail Transit Energy Management System on Cloud Platform[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 95-98, 103.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.014

城市轨道交通信号与车辆融合控制技术研究

刘小龙, 朱今朝, 龙 飞

(中车青岛四方车辆研究所有限公司, 山东青岛 266000)

摘要: 基于青岛6号线项目背景, 提出一种信号和车辆的融合技术, 该技术重新界定信号和车辆的边界, 以“安全可靠、高效便捷、绿色环保”为目标, 重点对轨道车辆以及车载核心系统进行智能化升级, 构建列车智能控制一体化解决方案。融合系统包含如下功能及优化: 单车及多车节能运行控制功能; 融合智能控车优化; 融合全自动联挂解编功能; 车厢载容量实时追踪引导功能; 融合智能自检功能。对城市轨道交通信号与车辆融合控制技术设计及实现方法进行详细介绍。

关键词: 融合控制; 节能; 车辆; 信号; 智能

中图分类号: U239.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0071-06

Research on Fusion Control Technology of Urban Rail Transit Signal and Vehicle

Liu Xiaolong, Zhu Jinzhao, Long Fei

(CRRC Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract: Based on Qingdao Line 6 project, this paper proposes a fusion technology of signal and vehicle, which redefines the boundary of signal and vehicle. With the goal of "safety, reliability, efficiency, convenience, green and environmental protection", it focuses on the intelligent upgrading of rail vehicles and on-board core systems, and constructs an integrated solution of intelligent train control. The fusion system includes the following functions and optimization: single vehicle and multi-vehicle energy-saving operation control function; integrated intelligent vehicle control optimization; integrated full-automatic coupling and uncoupling function; real-time tracking and guiding function of passenger capacity; integrated intelligent self-test function. This paper introduces the design and implementation of the fusion control technology of urban rail transit signal and vehicle in detail.

Keywords: fusion control; energy saving; vehicle; signal; intelligence

收稿日期: 2022-09-14; 修回日期: 2023-07-17

基金项目: 中国中车基于列车自主运行系统的信号控制系统研究项目 (SRIBY21)

第一作者: 刘小龙 (1989—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 轨道交通信号与车辆方向, 邮箱: zhu_today@163.com。

随着国内经济发展和一系列城市化进程, 城市轨道交通因其运量大、速度快等特点, 成为解决城市交通问题的主要手段^[1]。截至2020年底, 中国大陆共45个城市开通城市轨道交通, 运营里程7 969.7 km, 投运车站4 681座, 2020年客运量

175.9 亿人次，运营服务水平、运营安全、运营经济性面临突出挑战^[2]。2020 年 9 月习近平主席在联合国大会上发表重要讲话，表明应对气候变化《巴黎协定》代表了全球绿色低碳转型的大方向，中国将采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和^[3]。2020 年 3 月中国城市轨道交通协会发布《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》，部署以智能技术装备体系下的课题研究，全面提升列车控制自动化、智能化和运营维护水平。

轨道交通行业建设转向了新阶段：涵盖规划、设计、建造、运营、维护全流程，综合考虑降低全生命周期成本、提高服务水平和低碳绿色环保的精细化管理阶段^[4]。因此，本文提出一种信号和车辆的融合技术，设计了融合系统的控制架构，将信号控制和车辆控制融合成一个控制程序，即融合控制器，该融合技术消除了车辆和信号控制的边界，简化了系统结构，提高了数据传输速度和数据交互性能，改善了乘客体验，提升了设备和运营管理水平，提高了系统智能化水平，使融合系统更加低碳、节能。

1 融合系统方案

1.1 融合系统架构

融合系统是基于集约型网络、一体化平台的地铁融合控制系统。整个系统包括车载硬件、操作系统、控制软件、诊断软件、监视软件和维护工具等。融合系统在国家发改委示范工程“列车自主运行系统”现有成果基础上，进一步深化研究和拓展应用，以“安全可靠、高效便捷、绿色环保”为目标，重点对轨道车辆以及车载核心系统进行智能化升级，构建列车智能控制一体化解决方案。信号与车辆融合的架构如图 1 所示。

融合系统中，融合 OCU 代替了传统系统中 ATO 和 CCU 的控制功能，减少了系统接口，缩短了数据链路，硬件设备也实现了融合^[5]。本地控制单元用于处理车辆硬线 I/O 控制、牵引和制动输入 /

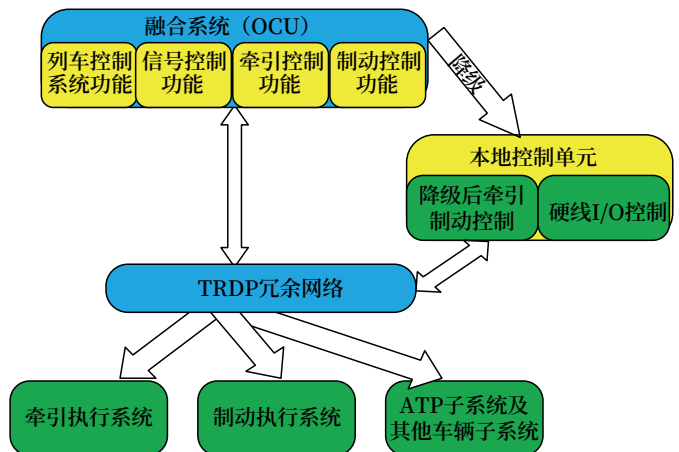


图1 融合系统架构示意
Fig.1 Fusion system architecture diagram

输出控制，当中央控制中心由于故障等原因降级时^[6]，本地控制单元在降级模式下承担牵引制动的本地控制功能。

融合 OCU 采用冗余以太网网络，使用 TRDP 协议，各个控制单元和车辆子系统之间通过该网络进行信息交互^[7]。融合 OCU 为双机热备结构，当一系出现故障时，另外一系自动升级为主系^[8]。

融合系统结构如图 2 所示。

1.2 融合网络架构

融合系统网络基于大带宽、高实时的以太网，融合系统网络将所有列车控制相关设备均作为节点纳入统一网络管理。融合系统的网络通信遵循 IEC 61375 标准，基于融合系统网络的控车具有高带宽、低延时、综合优化控制的优点。融合系统网络采用多网融合设计，车载、牵引、制动、网络多系统统一进行调度控制^[9]。融合系统网络为安全架构，使用冗余网络配置，车辆级和列车级均为故障导向，系统安全可靠。

2 融合系统功能及优化

2.1 单车及多车节能运行控制功能

传统的信号与车辆的控车时效性较差，冲击率较高，乘客的舒适性较差^[10]。融合系统通过对惰行的智能控制，合理地调节惰行，实现节能运行。

单列车整车控制节能技术根据惰行节能控制原理，在巡航阶段根据线路信息及运行情况，智能调

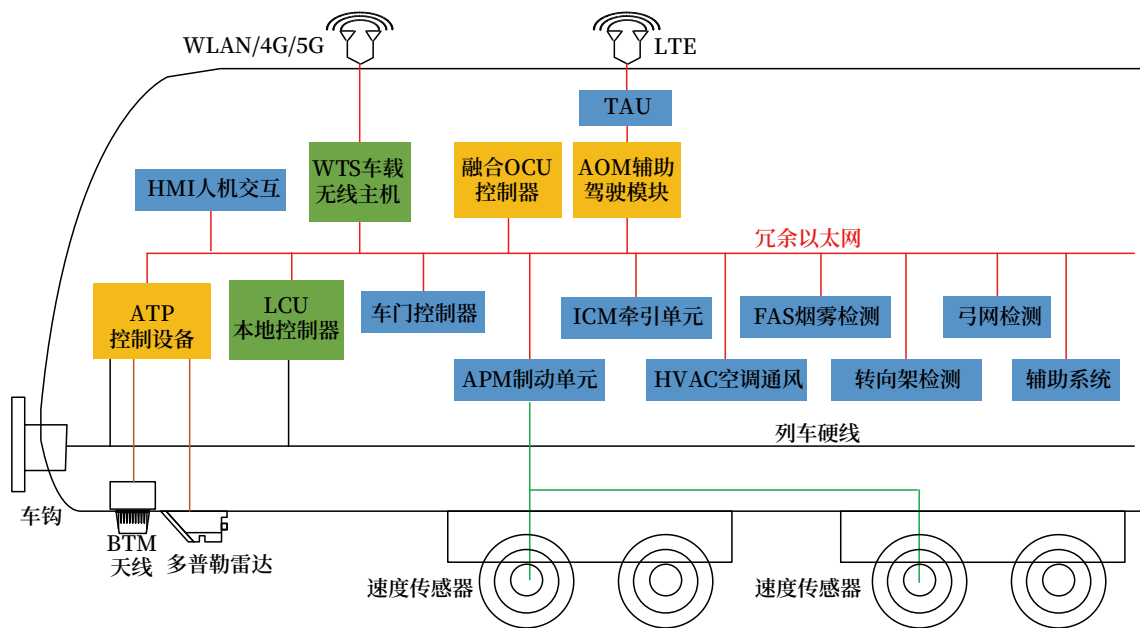


图2 融合系统结构示意图

Fig.2 Fusion system structure diagram

节列车惰行时间，提高了乘客舒适性、停站精度。

多车协同节能控制技术基于单列车整车控制节能技术，通过线路级整体的控制，多车联动，自动生成并优化列车运行图，得到列车总净能耗的全局最优解，提升运营效率的同时降低能耗^[11]。

2.2 融合智能控车优化

融合系统中，融合OCU包含ATO和TCMS的功能，直接与牵引制动系统交互，参与整车牵引力制动力计算和分配。融合后通信链路短，时效性更高。

随着车辆使用年限的增加，车辆性能不同程度地降低，传统CBTC系统会使用保守的减速度值，直接影响停站精度。融合系统使用智能调节的站停曲线计算方法，能够根据历史曲线、实时载荷(AW0~AW3)以及实时牵引制动性能，智能调整GEBR，根据不同的线路条件和实际控车效果，对站停曲线进行自适应调整，实现站台精确停车的计算，提高列车精确停车的准确率，减少站停过程中的能耗，实现低碳节能^[12]，如图3所示。

2.3 融合全自动联挂解编功能

融合系统直接和车辆子系统进行信息交互通信

链路短，时效性更高，基于融合系统架构，融合OCU实现全自动联挂解编功能，提高运营效率，提升乘客体验，如图4所示。

融合系统的全自动联挂解编功能流程如下。

中央调度中心远程下发“联挂/解编”指令，由ATP转发“联挂/解编”指令至融合OCU；

融合OCU基于“联挂/解编”指令，进入“联挂/解编”工况；

车辆获取“联挂/解编”工况和指令，自动执行联挂或解编；

待联挂或解编后，车辆由新的编组组成，通过车辆硬线输出“列车完整性”和“驾驶室激活”状态；

车辆反馈“联挂/解编成功”和编组信息；

ATP通过“联挂/解编成功”信息以及车辆硬线“列车完整性”，若判定列车完整性丢失，ATP施加紧急制动。

2.4 车厢载客量实时追踪引导功能

传统轨道交通时常会出现列车某些车厢非常拥挤而另外一些车厢人数不多的情况。有时还会出现乘客大量拥挤，导致无法上车甚至造成列车延误^[13]。

为解决这些问题，融合系统采用对每节车厢载

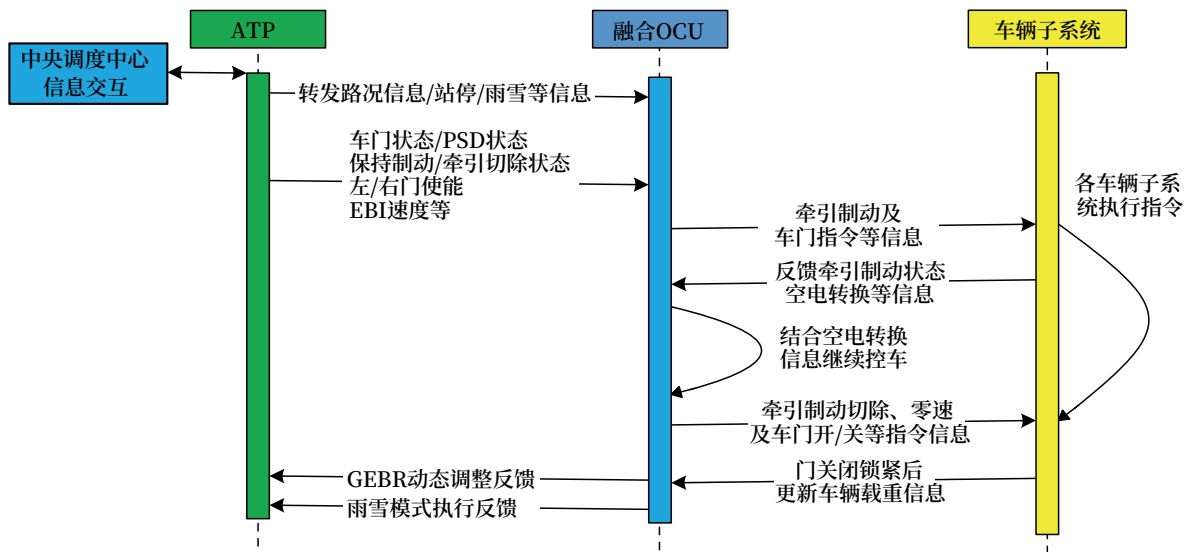


图3 融合智能控车流程
Fig.3 Integrated intelligent vehicle control flow chart

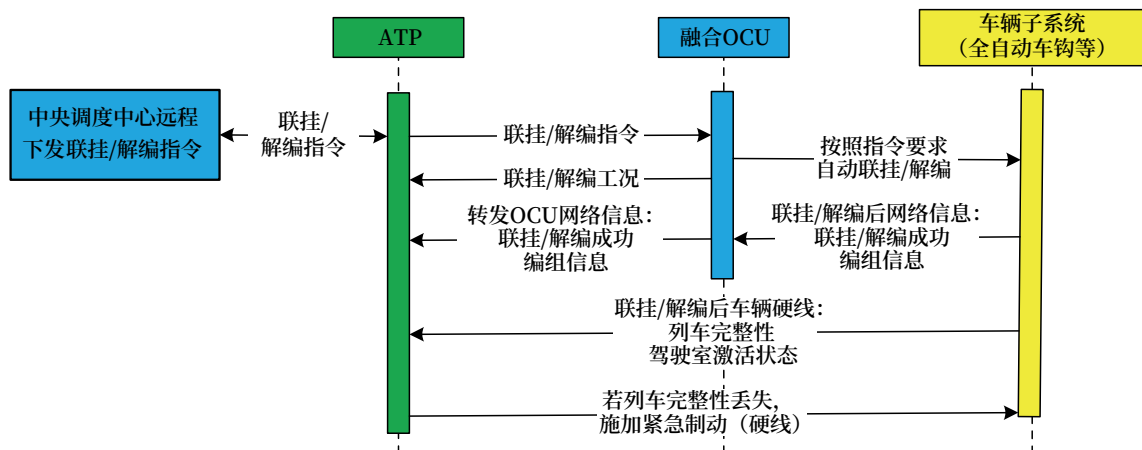


图4 融合全自动联挂解编功能流程
Fig.4 Integrated full-automatic coupling and uncoupling functional flow chart

客量实时追踪技术。利用车厢摄像头图像智能分析每节车厢的人数，引导乘客乘车，从而提升运营效率^[14]。

在车厢载客量实时追踪引导功能的流程中，首先在列车车门关闭锁紧后，牵引制动单元实时更新每节车厢的当前载重数据并将数据传送给融合OCU，每节车厢的摄像头通过图像识别技术得出每节车厢的乘客人数并将数据传送给融合OCU。融合OCU获取车厢载重信息和人数信息，对比两者数据，而后将载客信息和站台号等信息推送至下一站站台PIS/PA，站台PIS/PA获取消息后，提前在站台显示每节车厢对应的载客率，向乘客标识出较为

空旷的车厢，引导乘客乘车。

2.5 融合智能自检

融合系统中，融合OCU直接与车辆各个子系统交互，融合系统可以逐条指令发送到车辆各子系统，使用并行处理的方式减少自检时间，完成自检。使用详细的反馈结果替代传统系统笼统的单一结果，提高列车的出车效率，减少人工上车唤醒列车的情况，自检失败的详细子系统信息将上传给ATS，帮助运营调度中心快速定位自检失败的具体位置，有效地提高了自检的效率和准确性，提升运营效率，低碳节能。

3 融合仿真平台测试与分析

基于融合系统, 围绕着车载控制设备, 以覆盖轨道交通全系统的思维, 建设一体化仿真平台, 如图 5 所示。



图5 融合一体化仿真平台
Fig.5 Integrated simulation platform

基于融合一体化仿真平台测试, 融合功能的性能指标提升较大。正线列车设计最小追踪间隔 79 s, 减少时间 13%, 无线通信延迟时间减少 4.33%, 牵引阶段时间减少 27.7%, 制动阶段时间减少 13.4%, 停站时间减少 16.7%, 旅行时间减少 5%, 列车停车精度在 ± 0.2 m 的兑现率为 99.98%^[15], 如表 1 所示。

表1 单车运行控制算法能耗对照

Tab.1 Comparison of energy consumption of single vehicle operation control algorithm

运行时间 /s	现有控制算法能耗 / kW·h	优化后算法能耗 / kW·h	节能率 /%
184	28.060	26.012	7.30
190	24.665	23.126	6.24
197	22.623	21.012	7.12

基于当前的融合平台, 对单车及多车节能运行控制功能进行仿真测试, 和传统系统对比得出的性能和能耗数据如表 2 所示, 可以看出融合后的系统大大节省了系统能耗。

通过仿真分析与对比得出信号与车辆融合系统, 对单车进行的控制策略优化, 预计将减少 14% 的

表2 多车协同节能优化控制能耗对照

Tab.2 Comparison of energy consumption of multi-vehicle collaborative energy-saving optimization control

发车间隔 /s	节能方法	牵引总能耗 (再生系统总能耗 + 牵引系统总能耗) / kW·h	再生系统总能耗 / kW·h	牵引系统总能耗 / kW·h
90	现有	5 369.9	629.1	4 740.9
	优化	5 673.7	1 872.1	3 801.6
240	现有	5 307.9	919.2	4 388.8
	优化	5 357.0	1 344.7	4 012.3

通过融合一体化仿真平台得到的智能自检测试数据如表 3 所示。

表3 智能自检测试数据

Tab.3 Intelligent self-test data

自检测试内容	测试内容子项	备注
高压测试	受电弓升降及主断路器闭合测试	最长 10 min
	辅助供电系统测试	最长 10 min
	空压机状态监督	最长 18 min
牵引 / 制动测试	保持制动缓解	最长 10 s
	保持制动施加	最长 10 s
	紧急制动缓解	最长 10 s
	紧急制动施加	最长 10 s
	停放缓解	最长 15 s
	停放施加	最长 10 s
	制动自检	最长 500 s
	牵引系统测试	最长 15 s
	常用制动缓解	最长 10 s
常用制动施加	最长 10 s	
照明	照明	最长 10 s
列车广播	列车广播	最长 30 s
车门测试	车门测试	最长 30 s
鸣笛测试	鸣笛测试	最长 5 s
跳跃测试	跳跃测试	最长 10 s

牵引能耗, 对多车协同的节能控制技术的应用, 在小发车间隔和大发车间隔下, 将分别减少 17% 和 10% 的牵引净能耗。传统系统中信号与车辆的联合自检, 大约 34 min, 融合后理想情况下缩短为 28 min, 约提升 20%。融合智能控车优化, 融合全自动联挂 / 解编功能以及车厢载客量实时追踪引导功能, 预计将带来 10% 左右的效率提升, 减少 20% 左右能耗。总体来看, 信号与车辆融合系统的应用可减少 10% 的

车载设备、15%的设备面积、30%的现场安装调试时间、30%的维护工作量，系统全寿命周期成本约降低20%，融合系统的使用将带来“20%能耗降低，10%运能提升，10%用车减少”。

4 结论

信号与车辆融合系统作为下一代技术的发展方向，其优点在于重新界定了信号和车辆的边界，由车载融合 OCU 统一运算和控制，精简了控制架构，融合系统关键设备均采用冗余架构，能更好地协同控制和进行故障导向，提高控车精度，缩小运行间隔，抑制列车冲动，减少闸瓦磨耗，并且提高了车载系统的可靠性，发生故障时缩小对系统的影响范围，提高列车的可用性。融合控制系统还承担对车辆自身状态监测和健康管理功能，降低了维护成本，减少了维护工作量以及维护难度。融合系统利用智能技术，提升融合系统整体安全和可靠水平，保障乘客和列车运营的安全，改善乘客出行体验，提升运营效率、低碳节能环保，具有高安全性、高可靠性、高可用性、高可维护性的特点。

参考文献

- [1] 朱明亮, 段洪亮, 欧阳瑞璟. 城市轨道交通车辆牵引与制动系统接口的优化 [J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(2): 109-110, 116.
Zhu Mingliang, Duan Hongliang, Ouyang Ruijing. Improvement of Interfaces between Metro Traction System and Metro Braking System[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(2): 109-110, 116.
- [2] 何玉琴, 张潜. 城市轨道交通车辆与信号主要接口问题分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(12): 119-122.
He Yuqin, Zhang Qian. Analysis of Key Issues on Interfaces between Subway Vehicle and Signaling System[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(12): 119-122.
- [3] 曾广坤. 城市轨道交通通信系统提升方案研究 [J]. 现代城市轨道交通, 2019(3): 8-14.

- Zeng Guangkun. Research on Upgrading Scheme of Urban Rail Transit Communication System[J]. Modern Urban Transit, 2019(3): 8-14.
- [4] 杜建新. 城市轨道交通车车通信信号系统的控制思想 [J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(S2): 21-23.
Du Jianxin. Control of Train-to-Train Communication Signal System in Urban Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(S2): 21-23.
- [5] 李亚. 智慧城市轨道交通运营管理信息化建设研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2018(6): 106-107.
Li Ya. Research on Information Construction of Urban Rail Transit Operation Management[J]. Intelligent Building & Smart City, 2018(6): 106-107.
- [6] 王伟. 城市公共交通系统规划方法与管理技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [7] 赵亚东. 基于《交通强国建设纲要》的我国 TOD 管理内容优化分析 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(2): 40-42.
Zhao Yadong. Analysis of China's TOD Management Content Optimization Based on the Outlines for Building a Transport Power[J]. Intelligent Building & Smart City, 2022(2): 40-42.
- [8] 包叙定. 同绘智慧城轨图共筑交通强国梦《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》解读 [J]. 城市轨道交通, 2020(4): 24-29.
- [9] 戴华明, 李照星, 孙宁. 城市轨道交通的节能低碳发展 [J]. 设备监理, 2014(2): 8-12.
Dai Huaming, Li Zhaoxing, Sun Ning. Energy Saving and Low Carbon Development Practices in Urban Rail Transportation[J]. Plant Engineering Consultants, 2014(2): 8-12.
- [10] 王龙达. 城市轨道交通节能运行策略的研究 [D]. 大连: 大连交通大学, 2013.
- [11] 于波. 城市轨道交通节能技术实践与展望 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

(下转 96页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.015

人车定位系统在地铁施工中的研究与应用

司福强

(北京中铁建电气化设计研究院有限公司, 北京 100043)

摘要: 在地铁建设中机械化施工作业面的规模不断加大, 作业施工现场环境庞大复杂, 地下施工光照不足, 作业内容危险系数高, 工作人员人数多且分散, 人机混合作业频繁, 使施工单位面临巨大的管理困难及作业安全风险。随着数字化建设的不断深入, 迫切需要一种能够科学、高效、准确进行人员、车辆管理和安全管理系统。通过建立第三方监控平台, 对作业现场人员和车辆进行精准定位, 一方面通过位置数据分析来帮助管理者实现现场安全管理和工效管理, 另一方面通过平台的语音告警及现场的声光告警, 提高施工现场安全管控能力。

关键词: 地铁施工; 安全管理; 告警; 定位

中图分类号: U231+.92

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0077-06

Research and Application of Man-vehicle Positioning System in Subway Construction

Si Fuqiang

(Beijing China Railway Construction Electrification Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100043, China)

Abstract: In the subway construction, the scale of the mechanical construction operation are increasing, homework construction site environment becomes complex, and illumination is insufficient, the underground construction work content high danger coefficient, the number of staff and scattered, man-machine hybrid operation is frequent. With the deepening of digital construction, there is an urgent need for a scientific, efficient and accurate personnel and vehicle management and safety management system. The third-party monitoring platform can be established to accurately locate personnel and vehicles on the site. On the one hand, location data analysis can help managers to achieve site safety management and efficiency management. On the other hand, the voice alarm and sound and light alarm on the platform can improve the ability of safety control on the construction site.

Keywords: subway construction; security management; alarm; positioning

1 人员定位管理系统的现状及存在的问题

1.1 安全管理现状

地铁施工作业范围广和专业数量多, 决定了作业人员均为分散式作业, 并不集中, 因此经常出现

收稿日期: 2022-08-19; 修回日期: 2023-07-17

基金项目: 中国铁建股份有限公司 2021 年度科研计划项目 (2021-C43)

作者简介: 司福强 (1988—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路四电施工与研究, 邮箱: shine8855@163.com。

运输车辆和人员交叉作业的情况，也就提高了运输车辆和人员的安全作业风险。虽然制定了“红区”管控管理规定，规范了运输车辆和人员的作业行为，但由于人员的不确定因素导致运输车辆无法提前预估危险，造成事故的发生，比如作业人员在未告知司机的情况下在违规地点休息、作业人员在进路里作业时未按“红区”管控要求设立或解除红区警戒绳等。近几年所发生的地铁施工建设中，运输车辆安全事故均是由于人员的违章行为造成事故的发生，对运输车辆安全运行带来极大的风险。

1.2 人员管理现状

通过“六大系统”建设，地铁施工建设初步实现以 FRID 为核心的人员管理系统，通过在现场安装定位基站，识别过往人员携带的射频卡实现人员定位管理，但此系统存在以下缺点。

- 1) 实时定位难。系统不具备精准定位能力，只能对过往人员进行范围性确认，活动轨迹无法掌握。
- 2) 有效考勤难。系统只能知道人员是否刷卡，无法掌握人员是否到达指定的工作面，难以实现对人员的有效考勤。
- 3) 安全预警难。人员进入施工区域后，系统无法根据人员位置，判断是否需要人员对人员进行危险预警。
- 4) 反馈管控难。因为无法确切掌握现场人员的工作状况，难以对相关人员进行有效的反馈，一旦发生事故，很难利用现有手段快速确定事故人员位置。

2 实行人员精准定位系统的目的

2.1 实现的功能

通过高精度人车定位系统，可以实现包括但不限于考勤统计、实时监测、安全保障、查询回调等功能。人车定位系统的应用，使施工管理的粒度精细到每个人和车辆，即精确到了施工作业的基本单元。通过实时获取作业人员和车辆的实时位置，可以明确判断人员和车辆的出勤状态、工作状态、是否安全（及必要的安全提示），分析人员和车辆具体工作时间、工作效率，保障人员和车辆的安全、提供紧急状态下处置方案的数据支撑；通过与综合视

频监控系统、应急播报系统等的联动，及时发现和确认异常、及时提供针对性极强的干预，保障项目的规范和安全。

2.2 极大降低隧道内运输车辆安全运行风险

运输车辆是地下作业面运输渣土、废石、材料以及设备的重要载具，同时也存在着较高的安全运行风险。无轨设备的安全高效运行，不仅是完成生产任务的重要保证，同时也是地铁建设中地下施工人员人身安全的重要保障。

通过在运输车辆安装的测距基站和人员佩戴的测距标签的距离监测来进行相互提示和报警，配合“红区”管控措施，最大程度地降低运输车辆的安全运行风险。

3 人车精准定位系统的原理、结构及功能

3.1 人车精准定位系统的原理

LocalSense® 无线定位系统使用先进的超窄脉冲精确测量飞行时间技术，实现底层的精确测距/计时；结合 LocalSense® 位置解算算法，实现上层的精确定位。其基本原理如图 1 所示。

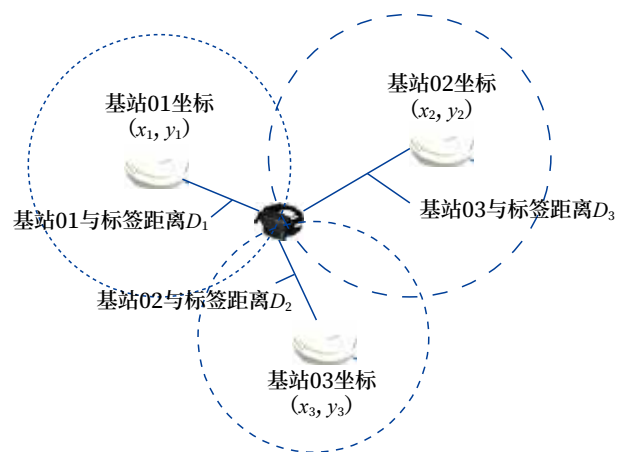


图1 人车精准定位系统定位原理
Fig.1 Positioning principle of precise positioning system for person and vehicle

假设有 3 个基站 (P_1, P_2, P_3) 分别发射信号，终端 (MS) 接收信号，假设 MS 与 P_i 的距离为 d_i ，则 d_i 的计算如公式 (1) 所示。

$$d_i = (t_i - t_0) \times c, \text{ 其中 } i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

其中, t_0 为信号从终端发出的时间; t_i 为基站接收信号的时间; c 为信号传播速度。

设基站坐标为 $P_i(x_i, y_i)$, 移动终端位置 $MS(x_n, y_n)$, 计算如公式 (2) 所示。

$$\begin{cases} d_1^2 = (x_1 - x_n)^2 + (y_1 - y_n)^2 \\ d_2^2 = (x_2 - x_n)^2 + (y_2 - y_n)^2 \\ d_3^2 = (x_3 - x_n)^2 + (y_3 - y_n)^2 \end{cases} \quad (2)$$

可得出移动终端位置 $MS(x_n, y_n)$ 如公式 (3) 所示。

$$\begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) \\ 2(x_2 - x_3) & 2(y_2 - y_3) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_1^2 \\ x_1^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_2^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$



图2 人车精准定位系统架构

Fig.2 Precise positioning system architecture for person and vehicle

通过在作业现场部署定位基站, 对人员、车辆配置标签的方式, 实现实时高精度定位功能。基于系统提供的精准定位数据, 开发人员和车辆安全管理、实时位置检测、考勤管理、统计查询等功能, 以及开放的系统对接接口, 为后期实现视屏联动和应急语音播报系统提供技术支持。

3.3 人车精准定位系统的功能

1) 实时位置定位与轨迹显示

绘制现场电子地图, 对现场作业人员和车辆进行精准定位, 并将作业人员和车辆运行的实时运动轨迹在电子地图上进行显示, 在一般情况下, 定位精度可达到 15 ~ 30 cm。定位数据经过软件算法

3.2 人车精准定位系统的架构

人车精准定位管理系统由定位硬件层、网络连接层、数据解算层和应用层组成。其中定位硬件层是人车定位系统实现定位功能的主体部分, 包括定位微基站和定位微标签; 网络连接层用于将定位微基站采集的数据回传到数据中心; 数据解算层则是实现标签位置计算的关键; 应用层针对现场管理需求, 完成业务层面的呈现。人车精准定位系统架构如图 2 所示。

处理, 得出各具体信息 (包括人员 ID、位置、时间等)。同时可在现场 LED 大屏, 实时滚动显示作业现场人员和车辆位置信息。

2) 突发情况报警

一旦发生突发情况, 施工人员可通过按下所携带定位标签上的定位按钮发出警报, 同时, 监控室的动态显示界面会立即触发报警事件并进行记录。当突发情况发生时, 定位系统将保留人员和车辆的最后活动位置, 为精确紧急搜救提供重要参考。

3) 电子围栏报警

在电子地图上或对某个基站的监控范围划定一个危险区域, 当人员或车辆进入该危险区域或在设定的时间内未离开该区域时, 就会触发系统报警, 报警效果如图 3 所示。



图3 电子围栏报警效果

Fig.3 Electronic fence alarm effect picture

4) 历史轨迹存储与回放

对人员和车辆运行历史轨迹进行一年的存储和

回放，同时呈现人员和车辆活动热力分布情况。历史回放效果如图4所示。



图4 历史轨迹回放效果
Fig.4 Historical track replay effect picture

5) 区域统计与电子点名

对划定的区域内的人员和车辆数量、状态信息进行统计并以电子表格的形式进行显示。

(如各采场人员和车辆数量、状态信息)实时监测人员在线、休眠、离线状态，对于长时间未移动的人员或车辆进行系统报警。

6) 自动考勤与工时统计

定制考勤任务，自动统计人员、车辆出勤、准时、迟到、早退天数，并形成电子化表格。

7) 视频联动

定位系统与视频监控系统进行视频联动，多目标多画面跟踪指定人员或车辆，并保存视频信息，视频联动效果如图5所示。



图5 视频联动效果
Fig.5 Videos linkage effect picture

4 人车定位系统应用实例及可推广性

4.1 人车定位系统的应用实例解析

为进一步增强地下施工本质化安全管理水平，

坚决杜绝各类安全事故的发生，2018年，一施工企业在地下施工作业现场全面推广应用人车测距防撞报警系统，使地下施工运输车辆安全运行状况得到改善。在此基础上为进一步提高施工作业现场人员和车辆安全管控能力，基于无线测距定位技术，2019年5月，该施工企业分段建立并投用人车精准定位管理系统。此系统由定位硬件层、网络连接层、数据解算层和应用层组成。其中定位硬件层是人车定位管理系统实现定位功能的主体部分，由定位基站和定位标签组成。定位标签则由已投用的人车测距报警系统中的车载测距基站和人员测距标签组成，人车精准定位系统现场效果如图6所示。



图6 人车精准定位系统现场效果
Fig.6 On-site effect picture of precise positioning system for person and vehicle

通过在作业现场部署定位基站，接收人员、车辆定位标签发送的定位数据，实现实时的高精度定位。定位数据通过光纤网络上传至服务器进行数据解算，并根据定位数据针对现场管理需求，完成业务层面的呈现。目前已实现的功能如下。

1) 人、车实时精准定位

绘制现场电子地图，对现场作业人员和车辆进行精准定位，并将其实时运动轨迹在电子地图上显示。通过划定点名区域，对各作业现场人员、车辆进行统计，可以全面掌握作业现场人员、车辆分布情况、工作状态、是否安全（及必要的安全提示），提高现场调度指挥能力。

2) 电子围栏报警

在电子地图上或对某个基站的监控范围划定一个危险区域（如隧道进/出口、站厅层与站台层中

空地段),当人员或车辆进入该危险区域或在设定的时间内未离开该区域时,人员携带的定位标签会触发震动报警,系统后台会触发围栏报警,提高危险区域的安全管控能力。

3) 视频联动

定位系统与视频监控系统进行视频联动,多目标多画面跟踪指定人员或车辆,通过视频联动可以第一时间掌握人员、车辆工作状态,提高现场行为纠偏处置能力。对于长时间停滞的标签,可以通过视频联动观察标签目前工作状态,存在危险情况时,通过后台向标签下达预警信号,及时提醒作业人员规避安全风险。

4) 应急处置

发生危险情况时,作业人员可通过按下所携带的定位标签上的定位按钮发出警报,同时,监控室的动态显示界面会立即触发报警事件并进行记录,定位系统将保留人员、车辆的最后活动位置,为精确紧急搜救提供重要参考。发生重大危险情况,需要整个作业区域人员全部撤离时,可通过定位管理系统高效组织撤离,提高现场应急指挥能力。

5) 提高施工现场“红区”管控能力

现场生产管理人员可通过定位系统掌握施工现场人员、车辆分布情况。当施工作业人员未全部撤离时,禁止运输车辆进行渣土、设备、材料等运输作业。在作业过程中可通过定位系统有效制止人员误入和违章作业现象,提高采场“红区”管控能力。

6) 提高应急演练质量

通过定位系统,实时掌握模拟危险区域人员、车辆分布状况,在应急演练过程中提高应急指挥能力,在后期可通过轨迹回放功能对演练过程进行数据分析,为演练方案调整优化提供技术支持。

4.2 可推广性分析

人车精准定位系统已经在某一施工企业在地下施工现场分段应用,使生产作业管理的粒度精细到每个人和车辆,即精确到生产作业的基本单元。目前已经与视频完成联动,在后期的系统开发应用过程中将加入应急播报系统,及时发现和确认异常、

及时提供针对性极强的干预,进一步提高地铁施工作业现场的安全生产管控能力,提升施工作业现场工业信息化、智能化水平。

5 结束语

人车精准定位管理系统通过实时获取作业人员和车辆的实时位置,可以明确判断作业人员的出勤状态、工作状态、是否安全(及必要的安全提示),分析作业人员具体的工作时间、工作效率,保障作业人员的安全、提供紧急状态下的处置方案的数据支撑,从而提高对现场作业人员的精细粒度管控和作业安全。

人车精准定位管理系统建立了人员、车辆精准位置数据库,通过对分析软件的二次开发,以及开放的系统对接接口,可扩展丰富的管理功能,比如可与视频监控及应急播报通讯系统进行联动,及时发现和确认异常,及时提供针对性极强的干预,确保人员和车辆的安全。它的建立对于地铁施工作业系统的数字化建设具有借鉴和指导意义。

参考文献

- [1] 朱满江,王玫.一种新的超宽带窄脉冲产生方法[J].电测与仪表,2008,45(5):57-60.
Zhu Manjiang, Wang Mei. Novel UWB Pulse Generating Method[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2008, 45(5): 57-60.
- [2] 徐少平,王命延,王炜立.一种基于R树和四叉树的移动对象空间数据库混合索引结构[J].计算机与数字工程,2006,34(3):54-57.
Xu Shaoping, Wang Mingyan, Wang Weili. A New Index Structure for Moving Object Spatial Database Based on R Tree and Quan Tree[J]. Computer & Digital Engineering, 2006, 34(3): 54-57.
- [3] 曹永升,梁胜祥,谢冠恒,等.移动定位技术的现状与发展趋势[J].电子技术应用,2015,41(1):17-20,24.
Cao Yongsheng, Liang Shengxiang, Xie Guanheng, et al. The Situation and Development Tendency of

- Mobile Positioning Technology[J]. Application of Electronic Technique, 2015, 41(1): 17-20, 24.
- [4] 王文亮, 杨彬, 石成华, 等. 基于小型嵌入式RTOS的EPA电动执行机构[J]. 仪表技术与传感器, 2010(8): 22-24.
Wang Wenliang, Yang Bin, Shi Chenghua, et al. Development of EPA Electric Actuator Based on Small Embedded RTOS[J]. Instrument Technique and Sensor, 2010(8): 22-24.
- [5] 邹杰, 李珊君, 陈晓明. 一种改进的室内无线定位算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(14): 76-78.
Zou Jie, Li Shanjun, Chen Xiaoming. Improved Indoor Wireless Localization Algorithm[J]. Computer Engineering, 2011, 37(14): 76-78.
- [6] 安宝强, 张浩, 崔学荣. 单基站UWB定位距离的获得及处理方法[J]. 现代电子技术, 2014, 37(7): 15-17, 20.
An Baoqiang, Zhang Hao, Cui Xuerong. Acquisition and Processing Method of UWB Positioning Distance in Single Base Station[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(7): 15-17, 20.
- [7] 赵仕俊, 张朝晖. 无线传感器网络正六边形节点覆盖模型研究[J]. 计算机工程, 2010, 36(20): 113-115, 118.
Zhao Shijun, Zhang Zhaohui. Study Regular Hexagonal Node Coverage Model of Wireless Sensor Networks[J]. Computer Engineering, 2010, 36(20): 113-115, 118.
- [8] 王壮. 城市轨道交通信号系统车地无线冗余方案探索[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(10): 56-61.
Wang Zhuang. Vehicle-ground Wireless Redundancy Scheme of Urban Rail Transit Signal System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 56-61.
- [9] 赵静, 苏光添. LoRa无线网络技术分析[J]. 移动通信, 2016, 40(21): 50-57.
Zhao Jing, Su Guangtian. Analysis on LoRa Wireless Network Technology[J]. Mobile Communications, 2016, 40(21): 50-57.
- [10] 王阳, 温向明, 路兆铭, 等. 新兴物联网技术: LoRa[J]. 信息通信技术, 2017, 11(1): 55-59, 72.
Wang Yang, Wen Xiangming, Lu Zhaoming, et al. Emerging Technology for the Internet of Things—LoRa[J]. Information and Communications Technologies, 2017, 11(1): 55-59, 72.
- [10] 曹然. 地铁信号系统设计验证的研究和应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 86-89.
Cao Ran. Application of Design Verification of Signal System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 86-89.

《铁路通信信号工程技术》期刊简介

《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管, 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办, 在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响, 深得科技人员的好评。经新闻出版总署批准, 自2005年12月起面向国内外公开发行人。国内统一连续出版物号: CN11-5423/U。国际标准连续出版物号: ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊; RCCSE中国准核心期刊; 日本科学技术振兴机构数据库(JST)收录期刊; EBSCO学术数据库收录期刊; 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊; 中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊; 中文科技期刊数据库(全文版)收录期刊; 中国学术期刊影响因子年报统计源期刊; 超星期刊域出版平台全文收录; 中国铁道学会通信信号分会指定期刊; 国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊。

期刊官网: <https://rsce.crsced.com.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.016

基于PRP提升CBTC车地无线通信 可靠性方案研究

杨震¹, 邝荣华¹, 蔡景俏¹, 熊文²

(1. 深圳地铁运营集团有限公司, 广东深圳 518000;

2. 卡斯柯信号有限公司深圳分公司, 广东深圳 518000)

摘要: 为解决既有采用 WLAN 方案地铁线路面临的无线干扰问题, 提出基于 PRP 的车地通信冗余方案, 引入不同制式的无线链路, 使信号车地通信单网信息经由冗余通道传输, 从而提高信号系统车地通信的可靠性。该方案进行实验室及地铁线路现场动车测试验证, 对测试结果进行对比分析, 并对信号系统中 PRP 方案的应用场景进行展望。

关键词: PRP; WLAN; LTE; 冗余通道

中图分类号: U231.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0083-04

Research on Improving Reliability of CBTC Train-Ground Wireless Communication Based on PRP

Yang Zhen¹, Kuang Ronghua¹, Cai Jingqiao¹, Xiong Wen²

(1. Shenzhen Metro Group Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

(2. Shenzhen Branch, CASCO Signal Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: In order to solve the problem of wireless interference faced by existing metro lines using WLAN scheme, this paper proposes a train-ground communication redundancy scheme based on PRP. Wireless links of different standards are introduced to make the single network information of signal train-ground communication transmitted through redundant channels, so as to improve the reliability of train-ground communication in signal system. The scheme has been tested and verified in the laboratory and on-site on metro lines. In this paper, the test results are compared and analyzed, and the application scenario of PRP scheme in signal system is prospected.

Keywords: PRP; WLAN; LTE; redundant channel

收稿日期: 2022-03-31; 修回日期: 2023-07-18

基金项目: 深圳地铁运营集团有限公司科研项目 (STYY-Yyth011-FW001/2021)

第一作者: 杨震 (1973—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: 03118@szmco.com。

并行冗余协议 (Parallel Redundancy Protocol, PRP) 是 IEC62439-3 中定义的冗余网络标准协议, 主要应用在对实时性和可靠性要求较高的工业自动化网络中。该协议标准支持发送端设备将数据包复制后通过两个独立的网络同时发送, 并在接收端设

备根据该协议算法进行选收，从而提高传输链路的可靠性。当其中一个网络故障时，数据包将无缝改由另一个网络传输。本文首先讨论 PRP 协议的技术特点，并针对 PRP 方案在提高地铁 CBTC 信号系统 WLAN 车地无线通信可靠性的应用场景进行阐述，然后介绍基于 PRP 方案的 CBTC 车地无线通信实际测试情况，最后对该方案在轨道交通中的实际应用进行分析和展望。

1 PRP协议概述

PRP 支持通过两个相互独立的局域网通道同时进行数据传输。支持 PRP 协议的网络设备称为双连接节点 (Doubly Attached Nodes Obeying to PRP, DANP) 设备，DANP 设备的两个以太网口分别连接到两个不同的局域网。要实现冗余通道传输功能，DANP 设备一般成对使用，两台 DANP 设备之间通过两个不同局域网同时收发数据包。源 DANP 设备将收到的数据包同时经由两个局域网传输到目的 DANP 设备，目的 DANP 设备选择先到达的数据包转发出去。源和目的 DANP 设备之间通信的原理如图 1 所示。其中 Link Redundancy Entity 工作在数据链路层，因此 PRP 协议设备只能直接处理二层数据包。

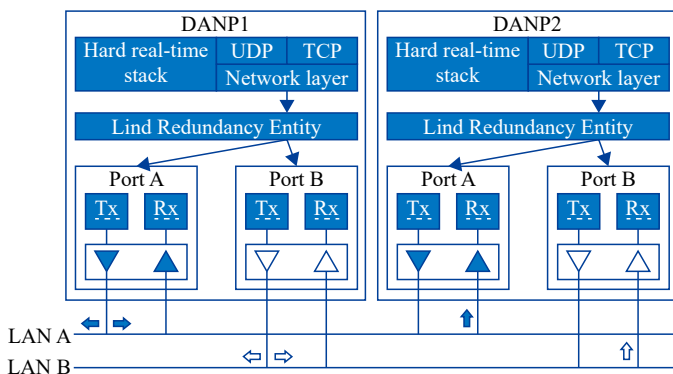


图1 DANP数据收发原理
Fig.1 DANP data receiving and transmitting principle

2 既有信号系统WLAN网络现状

国内早期已开通的地铁线路 CBTC 信号系统多

采用基于 IEEE802.11g 标准的 WLAN 车地无线方案，车地无线通信工作在 2.4 GHz 开放频段。线路一般有隧道和高架两种线路类型，其中隧道段车地无线通信稳定，但高架段由于外部无线环境复杂，运营时段存在的同频干扰源较多，车地无线通信受扰后短时通信中断的情况时有发生，对地铁线路正常运营造成了一定的影响。为解决高架段车地无线通信问题，地铁线路既有 WLAN 方案进行了各种无线优化工作，包括调整占用的无线频段、优化无线信道及无线发射频率等，也排除了高架沿线的部分干扰源，但仍不能完全解决高架段车地无线通信问题。

3 基于PRP的车地无线通信冗余方案

鉴于 WLAN 系统内部优化已无法有效解决干扰问题，为解决地铁线路信号系统 WLAN 车地通信的问题，考虑在车地通信既有 WLAN 网络基础上，再引入一套不同制式不同频段的无线系统作为冗余通道，从而提高车地无线通信的可靠性。

对于两条不同无线链路的冗余，一般有负载分担、主备链路、PRP 链路冗余等几种技术方式。几种方式的特点对比如表 1 所示。

表 1 几种不同冗余方式对比

Tab.1 Comparison of several different redundancy modes

冗余方式	适用场景	解决的主要问题	故障场景
负载分担	车地通信吞吐量较大的场景	增加一条无线链路进行负载分担	一条链路故障所有数据量改由另一条链路传输
主/备链路	两条无线链路质量均较好，在一条无线链路故障时降低对信号系统的影响	一条链路不可用时切换到另一条无线链路传输	一条主用一条备用，主用故障时改由备用链路传输，主/备链路切换时间在百毫秒级
PRP 方案	各种场景（同时使用两条无线链路，实际选择更优的无线链路进行转发）	增加系统可靠性，两条无线链路同时进行数据包传输	相互独立且同时使用，一条链路故障时无延时切换到另一条链路

信号系统车地通信数据量明显低于 PIS 和 CCTV 等业务，且信号系统更关注的是车地通信通道的稳定性和可靠性。由于既有的 WLAN 链路存在受扰造成车地通信丢包的风险，因此无论采

用负载分担还是主/备链路方式，都无法解决既有 WLAN 链路切换时的丢包风险。而采用 PRP 方案则可通过同时使用两条无线链路传输，且选择相对更优的无线链路发来的数据进行转发，能够有效实现两条无线链路之间的互补，理论上能够有效解决既有 WLAN 车地通信的问题。

选择表 1 中第三种方案，增加一套其他制式的无线系统，使信号系统车地通信单网数据包（共两

个网络）可经由两条不同制式的无线通道同时传输。在其中一条无线通道，如 WLAN 通道全线或部分区段故障不可用时，信号系统可以无延时的改用另一条无线通道进行车地通信。理论上能够有效提升信号系统车地通信的可靠性，降低车地无线故障对运营造成的影响。基于 PRP 方案的信号系统车地无线通信网络方案示意如图 2 所示（以信号系统车地通信单网为例）。

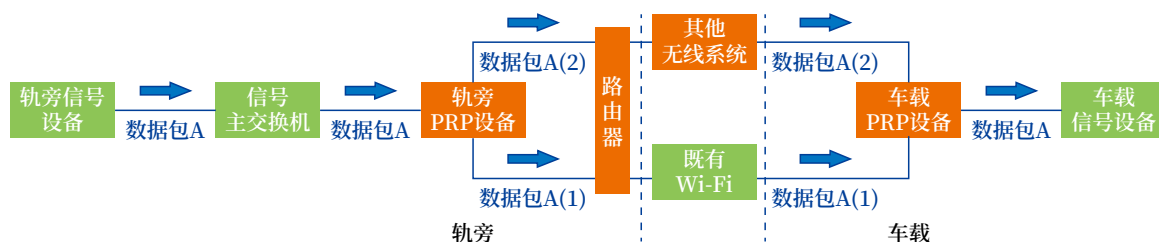


图2 信号系统PRP方案车地通信网络架构

Fig.2 Train-ground communication network architecture of signal system PRP scheme

方案中，由于既有 WLAN 系统及其他无线系统一般为三层网络架构，而 PRP 协议工作在数据链路层，因此通过 PRP 接入两条不同的无线网络时，在车地无线系统两端需增加路由设备实现车地之间的二层隧道传输。将既有车地 WLAN 系统改造为 PRP 冗余通道方案，轨旁除了需要增加 PRP 设备外，还需要增加用于建立二层隧道的路由器设备，列车上仅需增加集成了二层隧道功能的 PRP 设备。

当轨旁信号设备发送数据包 A 给车载信号设备时，数据包 A 到达轨旁 PRP 设备后，PRP 设备会将数据包 A 复制后转发到两条不同无线链路上，且分别为两个数据包打上识别标签；两个相同内容的数据包经由两条不同无线链路分别到达车载 PRP 设备；车载 PRP 设备通过识别数据包的标签，将先到达车载 PRP 设备的数据包转发给车载信号设备，将后到达的数据包丢弃。当车载信号设备发送数据包给轨旁信号设备时，也采用同样的处理机制由轨旁 PRP 设备对数据包进行选收并转发。

4 PRP方案测试验证

由于上述 PRP 方案在轨道交通信号系统没有应

用先例，为验证方案的实际传输性能，在实验室及实际地铁线路分别进行了 PRP 方案的验证测试。测试使用的通信方案如图 3 所示。

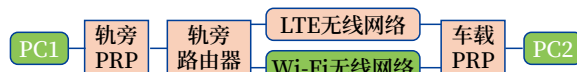


图3 PRP车地通信方案测试网络架构

Fig.3 PRP train-ground communication scheme test network architecture

首先在实验室进行了 PRP 同时经由 WLAN 及 LTE 无线链路传输的静态功能测试验证。基于图 3 的测试网络架构，测试内容为通过车载和轨旁两台测试电脑之间运行端到端性能测试软件对丢包率和时延进行测试。测试结果：1) 在同时存在两条无线链路时，PC1 和 PC2 能够正常稳定通信；2) 任意断掉 LTE 无线网络或 WLAN 无线网络，PC1 和 PC2 之间的通信不受影响。测试证明 PRP 方案功能上能满足同时利用两条无线链路传输的要求。

选择实际地铁线路对 PRP 方案进行动车验证测试，方案中使用的冗余链路是通信专业既有的 1.8GHz LTE 系统。动车测试主要内容包括：PRP 冗余通道车地通信传输性能测试；模拟单个无线网部分故障测试；模拟单个无线网全部故障测试。

选择该线路的一段高架区间进行测试,将新增 PRP 测试设备接入既有信号系统网络后,确认静态情况下两个无线网络均能正常通信后,开始动车测试。为更直观地显示测试效果,测试时手动关掉既有 WLAN 系统连续 5 个轨旁 AP 电源模拟故障场景,对比仅通过 WLAN 传输和同时通过 WLAN、LTE 链路传输的传输性能指标。测试采用 Iperf 性能测试工具,车地双向收发数据,测试吞吐量为 25 kbit/s,发包大小 200 Byte。对比 3 次测试的丢包情况,如表 2 所示。

表 2 不同场景测试丢包情况对比

Tab.2 Comparison of packet loss in different scenarios

测试场景描述	地到车方向丢包	车到地方向丢包
测试一:LTE+WLAN(WLAN 连续 5 个 AP 掉电)	0	1 处丢包
测试二:LTE+WLAN(WLAN 连续 5 个 AP 掉电)	0	1 处丢包
测试三:仅 WLAN(WLAN 连续 5 个 AP 掉电)	超过 30 处丢包	超过 30 处丢包

由于 WLAN 系统一般传输时延在 10 ms 以内,而 LTE 系统传输时延在 20 ms 左右,3 次测试(除连续 5 个 AP 掉电区域外)平均时延均接近 10 ms。也就是说在 LTE 和 WLAN 两种制式网络同时工作的场景下,PRP 大部分时间均选择传输时延更短的 WLAN 链路进行数据转发。

5 结语

随着各运营商 4G、5G 的普及以及家用 WLAN、企业专用 WLAN 的广泛应用,车地无线通信外部环境日益复杂,信号系统车地通信采用 PRP 方案同时使用 WLAN 和其他制式无线系统通信,能够显著提升信号系统车地无线通信的可靠性(经计算和单一无线链路相比,MTBF 提升 150% 以上),和单一制式无线系统相比,明显提高了车地通信的抗干扰能力,能有效解决既有线路 WLAN 系统受扰影响正常运营的问题。

参考文献

[1] 杨贵,高红亮,李广华,等.基于 IEC62439-3

协议的智能变电站过程层网络监视方法研究与实现[J].计算技术与自动化,2018,37(2):47-50.

Yang Gui, Gao Hongliang, Li Guanghua, et al. Research and Implementation of Process Layer Network Monitoring Method Based on IEC62439-3 Protocol[J]. Computing Technology and Automation, 2018, 37(2): 47-50.

[2] 黄晓博. PRP 和 HSR 技术在国内智能变电站中的工程应用分析[J]. 通讯世界, 2016(22): 129-130.

Huang Xiaobo. Analysis of Engineering Application of PRP and HSR Technology in Domestic Smart Substations[J]. Telecom World, 2016(22): 129-130.

[3] 施寅跃,付艳兰,李琳玮,等.基于 PRP 和 HSR 冗余协议的智能变电站网络组网研究[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(5): 52-57.

Shi Yinyue, Fu Yanlan, Li Linwei, et al. Research on Network Construction of Intelligent Substation Based on PRP and HSR Redundancy Protocol[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(5): 52-57.

[4] 谢黎,周华良,于同伟,等.一种智能变电站新型双网冗余设备及实现[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(11): 151-156.

Xie Li, Zhou Hualiang, Yu Tongwei, et al. A New Network Redundancy Device for Smart Substation and Its Implementation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(11): 151-156.

[5] 简捷,王立德,靳建宇,等.基于以太网的列车通信网络冗余结构可靠性分析[J]. 北京交通大学学报, 2018, 42(2): 76-83.

Jian Jie, Wang Lide, Jin Jianyu, et al. Reliability Analysis of Train Communication Network Redundancy Based on Ethernet[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2018, 42(2): 76-83.

[6] 王壮.城市轨道交通信号系统车地无线冗余方案探索[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (下转 100页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.017

区间逻辑检查进站外方区段延迟解锁原因分析及对策

陈波

(中国铁路成都局集团有限公司宜宾工电段, 四川宜宾 644609)

摘要: 从增加区间逻辑检查设备功能入手, 分析增加设备后存在进站外方闭塞分区晚于站内区段出清及不能正常解锁现象的原因, 分析产生该现象的原因, 提出改进电路图设计等措施和建议, 在保证联锁安全的同时减小对运输影响, 具有易操作、可推广的现实价值和意义, 供设计、施工、维护、运营单位在日常工作中参考和借鉴。

关键词: 闭塞分区; 出清; 区间逻辑检查; 延时; 解锁

中图分类号: U284.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0087-05

Cause Analysis and Countermeasures of Delay Unlocking of Section in Rear of Home Signal in Section Logic Check

Chen Bo

(Yibin Track, Communication & Signaling and Power Supply Depot, China Railway Chengdu Group Co., Ltd., Yibin 644609, China)

Abstract: Starting with adding the section logic inspection equipment, this paper analyzes the reasons for the phenomenon that the block section in rear of the home signal is cleared later than the section in rear of the home signal and cannot be unlocked normally after adding the equipment, and puts forward measures and suggestions to improve the circuit diagram design, so as to ensure the interlocking safety and reduce the impact on transportation. It has practical value and significance of easy operation and promotion for the design, construction, maintenance and operation units in their daily work.

Keywords: block section; clear; section logic check; delay; unlock

为解决设备故障不能导向安全的设计缺陷, 借鉴站内通过“三点检查”解锁的原则, 在复线自动闭塞区间增加逻辑检查设备, 实现列车顺序占用、出清、解锁。但在安装继电式区间逻辑检查功能的

普速线路开通后, 列车通过车站时, 部分车站在控制台显示界面会出现进站外方区段出清晚于内方区段出清的情况, 某些线路甚至会出现列车进入股道后, 进站外方区段才出清的情况, 某些站会出现进站外方区段不能正常解锁的极端情况。下面具体介绍产生缺陷的原因, 从技术上采取改进设计, 增设继电器等措施予以防范, 有效解决设备运用中的安

收稿日期: 2022-05-30; 修回日期: 2023-07-18

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, 邮箱: 597582925@qq.com.

全隐患。

1 “三点检查”基本工作原理

列车走行条件满足“三点检查”(占用本区段、出清前一区段、占用后一区段并出清本区段,进站方第一区段等特殊情况除外),进路自始端起,各区段在出清后延时3 s,依次向终端解锁。如图1所示,以2JG区段为例,按照列车正常运行方向顺序依次压入1JG、2JG、3JG等轨道电路区段,列车已正常占用前一区段1JG区段、占用本区段2JG区段、占用后一区段3JG区段,在依次出清1JG区段3 s后1JG区段解锁,出清2JG区段3 s后2JG区段解锁,3JG区段等以此类推。正常情况下,依据列车运行顺序占用、出清轨道区段后自动解锁,不需要人工干预。在区段分路不良、车列折返等情况下不能正常解锁时,人工确认区段无车占用后,按压解锁按钮解锁。

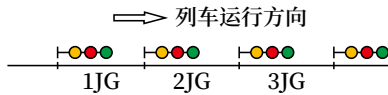


图1 “三点检查”示意
Fig.1 Schematic diagram of released by checking three sections

2 延时出清原因分析

出现进站外方区段晚于站内区段出清或不能正常解锁的现象,综合起来主要的影响因素如下。

1) 区间、站内不同系统固有响应时间差异。区间ZPW-2000、站内25 Hz轨道电路制式不一致,站内轨道继电器吸起时间小于区间,不利于区间与站内顺序出清。

2) 站内区段占用时间短于区间恢复时间。由于车站站场设置限制,进站首个区段长度普遍较短(大部分为无岔区段),会出现列车占用进站内方区段时间短于区间闭塞分区恢复时间的情况。

3) 区间逻辑检查延迟闭塞分区恢复时间。区间增加逻辑占用检查功能,增加缓吸电路,GJ吸起时间延长至4~5 s,如果闭塞分区存在多个区段,

每增加一个区段延时时间会增加4~5 s。

4) 列车快速通过减少站内区段恢复时间。如列车正线通过速度达160 km/h,站内区段长度100 m,则列车通过该区段时间为 $100 \div (160 \div 3.6) = 2.25$ s。

2.1 区间轨道电路响应时间

区间每个轨道区段设置一个区间轨道继电器(QGJ)和轨道继电器(GJ),采用QGJ的前接点接通GJ的驱动线圈,驱动GJ吸起和落下,如图2所示。

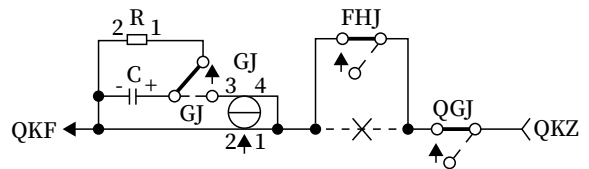


图2 QGJ驱动GJ电路
Fig.2 Circuit diagram of QGJ driving GJ

QGJ由落下到吸起的反应时间为2.3~2.8 s。在GJ(继电器型号JWXC-1700)的驱动电路中存在一个电阻(51 Ω)和电容(1 000 μF)组成的缓吸电路,初始电压24 V,GJ的缓吸理论时间为2.5 s左右。所以区间轨道区段的出清延时为2.8 + 2.5 = 5.3 s。

站内每个区段设置一个GJ,轨道电路微电子接收器驱动GJ落下到吸起的反应时间为0.5 s左右,后续带动的GJF的动作时间可忽略不计,故站内轨道区段的出清延时为0.5 s。

2.2 区间闭塞分区内联锁关系延迟出清

区间闭塞分区存在多个区段时,每个区段单独设置轨道电路,为防止后续列车进入本闭塞分区,每个区段空闲检查存在联锁关系,在列车运行方向后方轨道电路的发送电路中串入前方区段的GJ前接点。以3个区段组成1个闭塞分区为例,列车依次占用并出清CG、BG、AG,但BG检查AG状态,CG检查BG状态,将最后恢复空闲的CG状态作为闭塞分区的状态,如图3黑框所示,为6466CG轨道电路检查BGJ继电器状态。

列车离开6466AG后,QGJ和GJ的吸起顺序

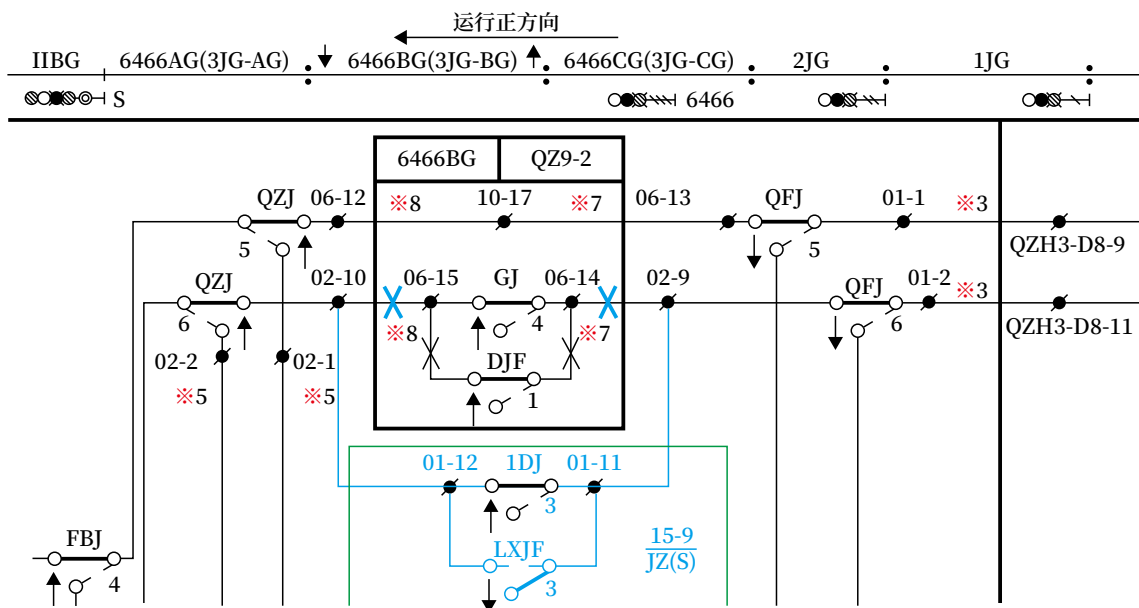


图3 多个区段组成一个闭塞分区的区段发送电路

Fig.3 Section sending circuit diagram when multiple sections form a block section

和时间延时为：列车离开 6466AG，2.8 s 后 6466AG 的 QGJ 吸起，2.5 s 后 6466AG 的 GJ 吸起，2.8 s 后 6466BG 的 QGJ 吸起，2.5 s 后 6466BG 的 GJ 吸起，2.8 s 后 6466CG 的 QGJ 吸起，2.5 s 后 6466CG 的 GJ 吸起。所以具有两个区段的闭塞分区出清延时时间为 $2.8 + 2.5 + 2.8 + 2.5 = 10.6$ s。具有 3 个区段的闭塞分区出清延时时间为 $2.8 + 2.5 + 2.8 + 2.5 + 2.8 + 2.5 = 15.9$ s。可见每增加一个区段，闭塞分区的出清延时就增加 $2.8 + 2.5 = 5.3$ s。

2.3 区间占用逻辑检查延时影响

对于采用区间综合监控系统（简称 QJK）实现逻辑检查功能时，区间占用逻辑检查功能按照《铁路信号区间综合监控系统暂行技术条件》（铁总工电[2018] 155 号）实现，闭塞分区设备状态由占用变为空闲且保持 3 s 以上判断为空闲，由空闲变为占用时立即判断为占用。QJK 控制防护继电器（FHJ）的状态，当发生占用丢失时，通过 FHJ 的接点切断 GJ 的驱动电路，实现对区间的安全防护。

当列车正常占用、出清轨道区段时，QJK 设备采集到轨道电路 QGJ 吸起后延时 3 s 判定为空闲，驱动 FHJ 动作，接通 GJ 驱动电路。当闭塞分区存在多个区段时，仅在该闭塞分区最后方轨道区段的

GJ 驱动电路上串入 FHJ。

在采用 QJK 设备实现区间占用逻辑检查的线路上，闭塞分区正常出清延时为：未设置分割区段的 2.8 (QGJ) + 2.5 (GJ) + 3 (FHJ) = 8.3 s，设置两个区段的 $2.8 + 2.5 + 2.8 + 2.5 + 3 = 13.6$ s，设置 3 个区段的 $2.8 + 2.5 + 2.8 + 2.5 + 2.8 + 2.5 + 3 = 18.9$ s。

3 对策与建议

在普速铁路增加区间逻辑检查功能后，如出现车站进站信号机外方闭塞分区不能正常解锁的情况，应针对性的开展调查，明确问题原因。在继电式区间逻辑检查电路中，没有 QJK 判断和控制 FHJ 状态的 3 s 时间，现阶段采取增设进站继电器（JZJ）代替进站内方区段轨道继电器，JZJ 接点接入进站外方区段 FHJ 电路，改进进站外方闭塞分区 GJ 空闲检查时机条件等，可以从根本上解决进站外方区段不能正常解锁的问题。

3.1 进站外方区段电路改进

如前所述，产生进站信号机外方区段晚于内方区段出清或不能解锁根源在于 3JG-GJ 延迟吸起时间太长，主要有增加逻辑检查动作 FHJ 时间，分区

内区段间空闲联锁关系检查 AGJ、BGJ 传递时间等。首先,采用图 2 设计,3JG-GJ (CG) 取消 FHJ 接点检查条件,3JG-GJ (CG) 空闲吸起只检查 QGJ 空闲状态。其次,采用图 3 蓝线所示进行 QGJ 电路修改,取消检查前一区段 BG-GJ、AG-GJ 条件,改为检查进站信号机开放情况,即 1DJ (实现红灯转移) 或 LXJF (防止在开放信号瞬间接点切换造成区段闪红) 吸起条件。最后,如图 4 所示,改进轨道复示继电器 (GJF) 检查条件,并用 GJF 作为联锁检查条件,在 FHJ、AG-GJ、BG-GJ、CG-GJ 均吸起后,整个闭塞分区空闲解锁,实现逻辑检查和分区内所有区段

空闲检查。通过这种方式,3JG-GJ (CG)、3JG-GJ (BG) 在列车顺序出清后就吸起,闭塞分区内区段间空闲检查时间与区段个数无关,3JG-GJ (AG) 出清 2.8 s 后 QGJ 吸起, FHJ 和 GJ 同时计时准备吸起,2.5 s 后 GJ 吸起,3 s 后 FHJ 吸起,所以 3JG 出清延迟时间为: 2.8 (QGJ) + 3 (FHJ) = 5.8 s, 延迟出清时间比设置一个区段的缩短了 $8.3 - 5.8 = 2.5$ s, 比设置两个区段的缩短了 $13.6 - 5.8 = 7.8$ s, 比设置 3 个区段的缩短了 $18.9 - 5.8 = 13.1$ s。从根本上解决了进站外方区段晚于站内区段出清或解锁问题,特别是进站外方闭塞分区存在多个区段时效果明显。

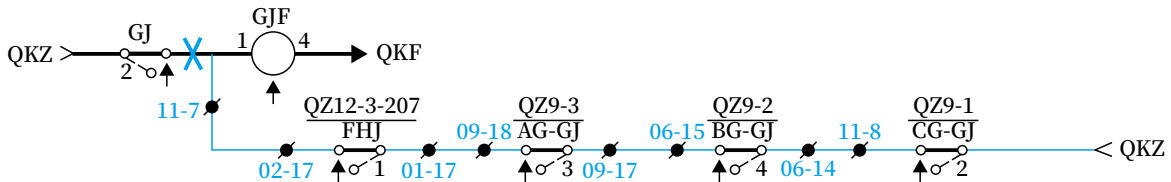


图4 进站外方区段GJF改进电路
Fig.4 GJF improvement circuit diagram of section in advance of home signal

如图 5 所示,在 3JG 的 BG、AG 有车占用情况下,为防止列车冒进 6466 通过信号后收到允许码,对 3JG-GJ (CG) 的发码条件进行修改,增加检查前方 BG、AG 空闲条件, BG、AG 必须同时空闲时, CG 才发送与进站信号开放情况一致的低频码序。BG、AG 任一区段 GJ 落下, CG 均发送检测码,有效解决列车冒进通过信号后追尾前方列车的

风险。
3.2 现阶段临时措施
由于站内和区间轨道电路 GJ 响应时间不同,加之增加逻辑占用检查功能、站场区段长度设计等因素影响,所以在列车通过车站时,部分车站会发生进站外方区段晚于站内区段出清的情况,不属于设备故障,对联锁关系和列车运行无影响。

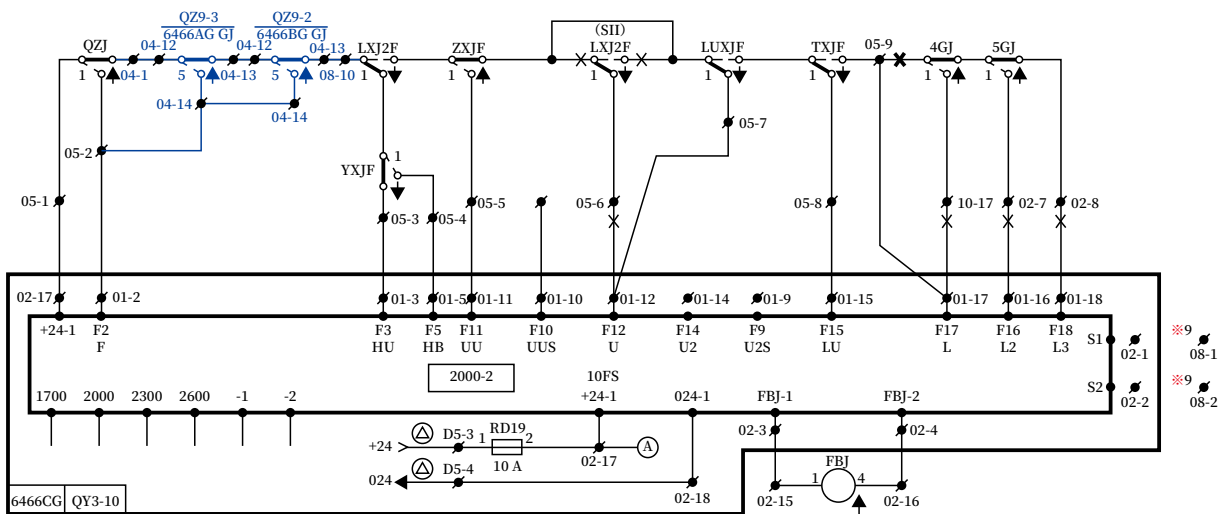


图5 进站外方区段改进发码电路
Fig.5 Improvement coding circuit diagram of section in advance of home signal

对于普速铁路增加区间逻辑检查功能后,如出现进站外方闭塞分区能够正常解锁,但是晚于站内区段出清的情况,设备管理部门和运输部门共同调查确认,纳入《车站行车工作细则》管理。

大修、更改及新线建设设计时,充分考虑站内区间轨道电路制式不一致、站场区段设置、运营速度、区间增加逻辑占用检查功能等因素,对进站外方区段正常解锁及出清延时时间的影响,在前述拆除闭塞分区后方轨道电路的发送电路中串入前方区段的GJ前接点等方式的基础上,还可以取消GJ驱动电路中存在的阻容缓吸电路,缩短延时时间。

4 结束语

通过上述分析可知,在开通继电式区间逻辑检查功能的普速线路,因特殊场景影响,会出现进站外方闭塞分区晚于站内区段出清或不能解锁的现象。通过技术改进能彻底解决这一固有现象和缺陷,在区间逻辑检查设计过程中,应充分考虑由于轨道电路恢复时长差异导致的逻辑检查不解锁情况,制定解决方案。在设计、施工、验收、维修运营中,参照上述措施和建议执行,就能确保行车安全、提高运输效率。

参考文献

- [1] 尹英军. 区间继电式逻辑检查电路浅析[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(5): 56-58.
Yin Yingjun. Section Relay Logic Check Circuit[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(5): 56-58.
- [2] 秦发园. 既有线区间单向改双向自动闭塞信号设计方案探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 90-94.
Qin Fayuan. Signal Design Scheme of Changing Single-direction to Double-direction Automatic Block in Section of Existing Rail Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 90-94.
- [3] 夏进波. 自动闭塞区间使用安全计算机增加占用逻辑检查的技术方案[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(7): 34-36.
Xia Jinbo. Discussion on Breaker Tripping in Inter-Station Liaison Cable in Existing Shijiazhuang-Taiyuan Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(7): 34-36.
- [4] 周飞. 基于安全计算机的自动闭塞区间逻辑检查方案研究[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(12): 13-16.
Zhou Fei. Research on Automatic Block Section Logic Check Scheme Based on Safety Computer[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(12): 13-16.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程-普速铁路部分[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [8] 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.

不同制式轨道电路相邻时 存在问题及解决方案

达兴亮

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要: 在车站同时存在不对称高压脉冲轨道电路和 25 Hz 相敏轨道电路时, 因两种轨道电路制式的时间特性不一致, 存在单机运行时轨道区段漏解锁、丢车、掉码的现象, 对正常行车造成干扰。通过详细分析两种轨道电路制式的时间特性, 对 3 种运营故障场景进行剖析, 并针对每种场景给出不同的解决方案, 对以后的工程设计具有一定的指导意义。

关键词: 不对称高压脉冲轨道电路; 25 Hz 相敏轨道电路; 时间特性; 解决方案

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0092-05

Problems and Solutions Caused by Different Types of Track Circuits

Da Xingliang

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: When there are asymmetric high-voltage pulse track circuit and 25 Hz phase-sensitive track circuit in the main line of the station at the same time, due to the inconsistent time characteristics of the two track circuit systems, there are phenomena of missing unlocking, train loss and code loss in the track section during single locomotive operation, causing interference to normal train operation. By analyzing the time characteristics of the two track circuit systems in detail, this paper analyzes three operation fault scenarios, and gives different solutions for each scenario, which has certain guiding significance for future engineering design.

Keywords: asymmetric high-voltage pulse track circuit; 25 Hz phase-sensitive track circuit; time characteristics; solution

某既有车站大修改造时, 运营部门审查后要求分路不良区段采用高压脉冲轨道电路, 因此该站出现正线区段高压脉冲轨道电路和 25 Hz 相敏轨道电

路相邻的情况。因两种轨道电路制式存在不一致的时间特性, 导致单机高速运行时, 存在轨道区段漏解锁的情况。同时短车高速通过还会出现短暂“丢车”“掉码”的现象, 对正常行车造成干扰, 需采用必要的技术手段予以规避。

收稿日期: 2022-08-15; 修回日期: 2023-07-21

基金项目: 中铁第四勘察设计院集团有限公司 2020 年科研项目 (2020K065)

作者简介: 达兴亮 (1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: 771439238@qq.com。

1 问题提出

参考轨道电路厂家提供的《GMG-GX 型电子

化不对称高压脉冲轨道电路系统技术手册》相关资料, 高压脉冲轨道电路接收系统的吸起延时为 2 ~ 2.5 s, 落下延时为 1 ~ 1.5 s, 采用的类型为无极继电器 JWXC-1700。97 型 25 Hz 相敏轨道电路接收端采用 JRJC-70/240 型交流二元二位继电器, 联锁系统接口所用的轨道继电器为 JWXC-H310 型无极缓动继电器。电码化发码继电器为 JWXC-H340 型无极缓放继电器。国内机车最短中心轴距 L 为 11 m。不同轨道电路相关继电器的时间特性如表 1 所示。

表1 不同轨道电路相关继电器时间特性

Tab.1 Time characteristics of relays related to different track circuits

继电器类型	落下时间	吸起时间
JWXC-1700	20 ~ 30 ms	180 ~ 220 ms
JRJC1-70/240	66 ms	200 ms
JWXC-H310	0.8 ± 0.1 s	0.4 ± 0.1 s
JWXC-H340	≥ 0.5 s	≤ 0.3 s

1.1 问题一：单机运行漏解锁

如图 1 所示, 该站 IIAG, 9-11DG 为 25 Hz 相敏轨道电路, 21DG, 7DG 为高压脉冲轨道电路, IIAG 的长度为 66 m。当列车以 120 km/h 的速度由 21DG 驶向 IIAG (由高压脉冲轨道区段以高速驶入 25 Hz 相敏轨道短区段) 时, 列车最后轮对出清 21DG 后, 21DG 轨道继电器吸起的时间 $t_1 = 2.5 + 0.22 = 2.72$ s (取最不利时间进行分析); 列车最后轮对出清 21DG 至出清 IIAG 的时间 $t_2 = \text{IIAG 长度} / \text{车速} = 66 / (120 / 3.6) = 1.98$ s。列车最后轮对从 IIAG 出清后, 联锁采集 IIAG 的轨道继电器 IIAGJ 吸起时间为 $t_3 = 0.4 + 0.2 = 0.6$ s (取最不利时间进行分析)。由于 $t_1 > t_2 + t_3$, 因此 IIAG 会

先于 21DG 吸起, 违反信号联锁的“三点检查”逻辑, 导致 21DG 漏解锁。

1.2 问题二：单机运行占用丢失

同理, 如图 1 所示, 当列车以 120 km/h 的速度由 9-11DG 驶入 7DG (由 25 Hz 相敏轨道区段高速驶入高压脉冲轨道区段) 时, 9-11DG 空闲吸起的 $t_1 = 0.4 + 0.2 = 0.6$ s (取最不利时间进行分析), 7DG 占用落下的时间 $t_2 = 1.5 + 0.03 = 1.53$ s, 两者的时差为 0.93 s。如果单机高速通过, 前后轮经过绝缘节时间小于 0.93 s, 就会发生 7DG 还未落下, 9-11DG 已经吸起的情况, 产生“丢车”的现象。

按照单机车长为 11 m 计算, 当车速大于 $(11 / 0.93) \times 3.6 = 42.58$ km/h 时就会“丢车”。

1.3 问题三：单机运行短暂掉码

以 SII → XF 的发车进路为例, 当列车以 100 km/h 的速度由 9-11DG 驶入 7DG (由 25 Hz 相敏轨道区段高速驶入高压脉冲轨道区段) 时, 9-11DG 空闲吸起的 $t_1 = 0.4 + 0.2 = 0.6$ s (取最不利时间进行分析), 7DG 占用落下的时间 $t_2 = 1.5 + 0.03 = 1.53$ s, 单机第一轮轨压入 7DG 至出清 9-11DG 的时间为 $t_3 = 11 / (100 / 3.6) = 0.396$ s, 因此 7DG 落下与 9-11DG 吸起的时间差 $\Delta t = t_2 - t_1 - t_3 = 1.53 - 0.6 - 0.396 = 0.534$ s, 也即存在 0.534 s 的时间 7DG, 9-11DG 同时吸起。除了发生占用丢失外, 由于 0.534 s 大于 SIIMJ 的缓放时间 (0.5 s), 会导致 SIIMJ 存在 0.034 s 的短暂落下, 进而打断发码通道 0.034 s, 出现短暂掉码的情况。SIIMJ 的励磁原理如图 2 所示。

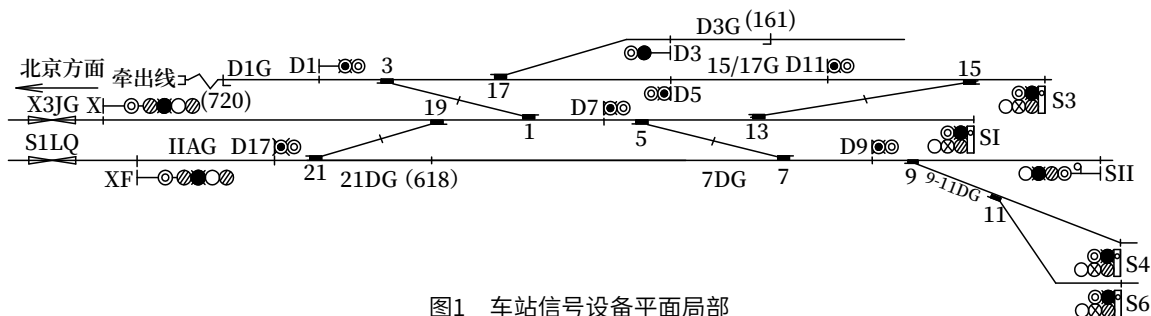


图1 车站信号设备平面局部
Fig.1 Partial plan of station signal equipment

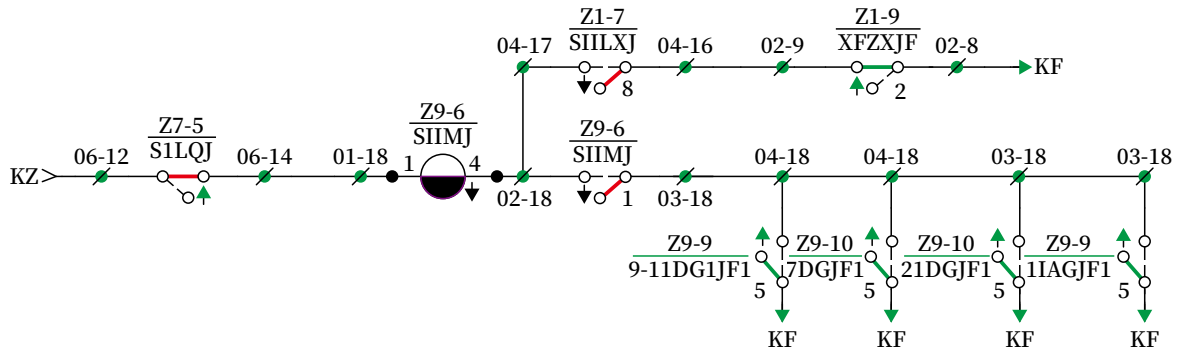


图2 SIIMJ电路原理
Fig.2 SIIMJ circuit schematic diagram

2 解决方案

2.1 单机运行漏解锁

方案一：在设计前期，通过与运营部门的沟通，车站正线区段统一采用相同制式的轨道电路，保证正线轨道区段有一致的时间特性。

方案二：对与高压脉冲轨道电路相邻的 25 Hz 相敏轨道电路区段长度根据列车运行速度进行限制。顺着问题一的分析方法，计算出在防止单机漏解锁基础上，与高压脉冲轨道区段相邻的 25 Hz 相敏轨道区段最短长度与列车运行速度的对应关系，如公式 (1) 所示。

$$T_1 = T_2 + \frac{L_G}{V_{\text{车}}} \quad (1)$$

公式中：

T_1 ：高压脉冲轨道电路接收系统缓吸时间；

T_2 ：25 Hz 相敏轨道电路接收系统缓吸时间，取值为 0.6 s；

L_G ：与高压脉冲轨道区段相邻的 25 Hz 相敏轨道区段长度；

$V_{\text{车}}$ ：列车速度。

根据公式 (1)，列车运行速度与高压脉冲轨道区段相邻的 25 Hz 相敏轨道区段最短长度对应关系如表 2 所示。

综合以上两家设备，针对正线存在高压脉冲轨道电路和 25 Hz 相敏轨道电路的车站，为防止问题一的出现，与高压脉冲轨道区段相邻的 25 Hz 相敏轨道区段的长度应做如下限制：

表2 列车运行速度与高压脉冲轨道区段相邻的25 Hz相敏轨道区段最短长度对应关系

Tab.2 Corresponding relationship between train running speed and the shortest length of 25 Hz track circuit section adjacent to high-voltage pulse track circuit section

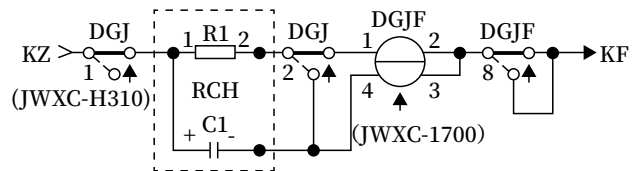
厂家	速度 $V_{\text{车}} / (\text{km/h})$	与高压脉冲轨道区段相邻的 25Hz 相敏轨道区段最短长度要求 $-L_G / \text{m}$	缓吸时间 (按最不利条件) $-T_1 / \text{s}$
固安厂	100	59	$2.5 + 0.22 = 2.72$
	120	71	
	160	95	
西安厂	100	53	2.5
	120	64	
	160	85	

当车速为 100 km/h 时，区段长度不小于 59 m。

当车速为 120 km/h 时，区段长度不小于 71 m。

当车速为 160 km/h 时，区段长度不小于 95 m。

方案三：与高压脉冲轨道电路相邻的 25 Hz 轨道电路增加延时吸起的电路，使两种轨道电路制式的时间特性保持一致，计算机联锁采集增加缓吸之后的继电器进行逻辑运算，如图 3 所示。



说明: $R1 = \text{RX}20 - 25 \text{ W} - 260 \Omega$; $C1 = \text{CD}15 - 680 \mu\text{F} - 50 \text{ V}$;
DGJ 为原轨道继电器 (JWXC-H310);
轨道复示继电器 DGJF 为 JWXC-1700 型

图3 增加缓放电路
Fig.3 Adding slow release circuit

方案四：与方案三解决思路一致，但改由计算

机联锁实现抵消时差的功能，达到不同轨道电路时间特性的一致性。

2.2 单机运行占用丢失

方案一：在设计前期，通过与运营部门的沟通，车站正线区段统一采用相同制式的轨道电路，保证正线轨道区段有一致的时间特性。

方案二：与高压脉冲轨道电路相邻的 25 Hz 相敏轨道电路增加延时吸起的电路，使两种轨道电路制式的时间特性保持一致，计算机联锁采集增加缓吸之后的继电器进行逻辑运算，如图 3 所示。

方案三：与方案二解决思路一致，但改由计算机联锁实现抵消时差的功能，达到不同轨道电路时间特性的一致性。

2.3 单机运行短暂掉码

方案一：在设计前期，通过与相关部门的沟通，车站正线区段采用统一的轨道电路制式，保证正线

轨道区段时间特性的一致性。

方案二：前两个问题的解决方案主要是对联锁系统采集对应的 GF2 组合进行延时处理，原 25 Hz 相敏轨道电路二元二位继电器吸起时间并未改变，而电码化 FMJ 电路中使用 GF1 组合中继器，因此其吸起、落下时间并未改变，为了防止掉码现象的产生，需对 FMJ 电路进行修改。

原 FMJ 继电器采用 JWXC-H340 型，延时时间为 0.5 s，根据问题三分析，延时时间需大于 0.534 s 才能避免掉码，因此将原发码继电器型号由 JWXC-H340 更换为 JWXC-1700 型无极继电器，同时在继电器 1, 4 线圈上并连由阻容元件构成的放电电路，实现延长缓放时间的效果，从而解决该问题，如图 4 所示。

综上所述，要想同时解决问题一、二、三、则

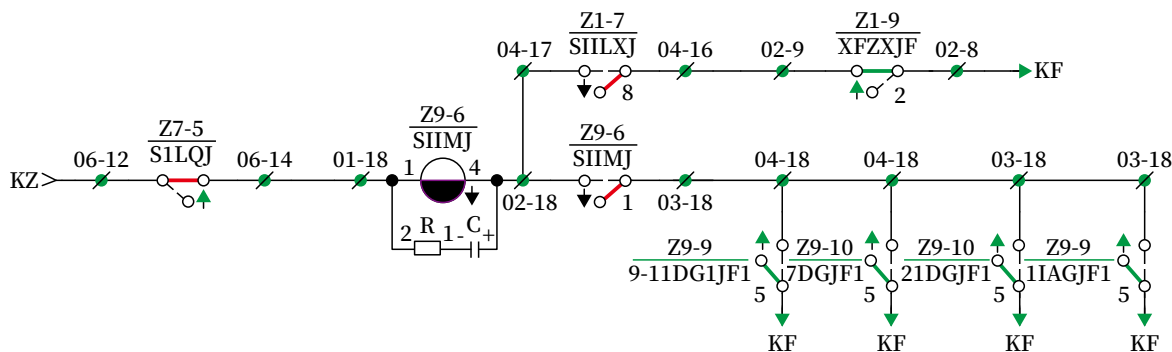


图4 改进SIIMJ电路
Fig.4 Improving SIIMJ circuit

需采用以下两个方案。

方案一：在设计前期，通过与运营部门的沟通，车站正线区段统一采用相同制式的轨道电路，保证正线轨道区段有一致的时间特性。

方案二：与高压脉冲轨道电路相邻的 25 Hz 相敏轨道电路增加延时吸起的电路，使两种轨道电路制式的时间特性保持一致，计算机联锁采集增加缓吸之后的继电器进行逻辑运算如图 3 所示，同时发码继电器采用 JWXC-1700 型无极继电器，并在继电器 1, 4 线圈上并接由阻容元件构建的放电电路，延长缓放时间如图 4 所示。

3 结论

为避免对正常运营造成不必要的干扰和影响，在同一车站采用不同制式轨道电路的情况下，需要分析不同轨道电路在时间特性方面的匹配性，采用必要的技术措施，保证轨道继电器动作能满足联锁进路解锁条件、地面低频码序的连续性要求。

另外，为规避上述问题，在设计前期将此问题与运维部门进行充分沟通，尽量采用同种制式的轨道电路，可以降低技术解决方案带来的电路复杂性问题，同时也可降低运营风险。

参考文献

[1] 陈玉泉. 不对称高压脉冲轨道电路与 25 Hz 相敏轨道电路相邻存在的问题及解决 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51 (9): 32-34.
Chen Yuquan. Question and Solution of Issues Occurring when Asymmetrical High Voltage Pulse Track Circuit Adjacent to 25 Hz Phase Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(9): 32-34.

[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] 刘立冰. 不对称高压脉冲轨道电路漏解锁问题分析及处理 [J]. 通讯世界, 2017 (1): 131-132.
Liu Libing. Analysis and Treatment of Leakage Unlocking Problem of Asymmetric High Voltage Pulse Track Circuit[J]. Telecom World, 2017(1): 131-132.

[4] 宋盼, 徐秀兰. 高压脉冲轨道电路和 25Hz 轨道电路时间特性匹配解决方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (7): 89-92.
Song Pan, Xu Xiulan. Solution to Time Characteristic Matching Problem of High-Voltage Pulse Track Circuit and 25 Hz Phase-

Sensitive Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(7): 89-92.

[5] 刘国鹏. ZPW-2000A 轨道电路小轨电压异常判断分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 95-100, 108.
Liu Guopeng. Judgement and Analysis of Abnormal Small Rail Voltage in ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 95-100, 108.

[6] 刘曦. 电化区段高压脉冲轨道电路干扰机车信号分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 96-101.
Liu Xi. Analysis of High-voltage Pulse Track Circuits Interfering with Locomotive Signals in Electrified Sections[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7):96-101.

[7] 安海君, 李建清, 吴保英. 25 Hz 相敏轨道电路 [M]. 3 版. 北京: 中国铁道出版社, 2004.

[8] 周娟. 不对称高压脉冲轨道电路对动车运行干扰探讨 [J]. 中国科技投资, 2021 (34): 117-120.
Zhou Juan. Discussion on the Interference of Asymmetric High-Voltage Pulse Track Circuit to EMU Operation[J]. China Venture Capital, 2021(34): 117-120.

(上接 76页)

[12] 冉茂平, 杨光旭, 罗忠文. 城市轨道交通系统节能措施研究 [J]. 城市公共交通, 2010 (10): 45-47.
Ran Maoping, Yang Guangxu, Luo Zhongwen. Study on Energy-Saving Measures of Urban Rail Transit System[J]. Urban Public Transport, 2010(10): 45-47.

[13] 中华人民共和国交通运输部. 深入贯彻“十四五”规划, 加快建设交通强国 [EB/OL]. (2021-03-24) [2022-09-14]. <https://www.mot.gov.cn/2021wangshangzhibo/gxb4/>.

[14] 中华人民共和国中央人民政府. 交通强国建设纲要 [EB/OL]. (2019-09-19) [2022-09-14]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm.

[15] 简伟, 李毅. 轨道交通移动通信技术发展分析及建议 [J]. 现代城市轨道交通, 2019 (9): 1-8.
Lin Wei, Li Yi. Analysis and Suggestions on Development of Mobile Communication Technology in Rail Transit[J]. Modern Urban Transit, 2019(9): 1-8.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.09.019

既有线增加区间占用逻辑检查试验方法思考

苏向棋

(广深铁路股份有限公司广州电务段, 广州 510610)

摘要: 区间占用逻辑检查功能的实现, 高速铁路、城际铁路多以增加列控中心功能方式, 普速铁路多以增加继电电路、区间综合监控系统(QJK)的方式。既有线在非同步大修的情况下增加逻辑检查功能受施工条件、天窗时间和人员组织等限制, 难度大, 风险高。针对既有线施工实际情况, 分别就以上两种方式对试验方法进行归纳总结, 详细论述试验项目、试验方法和试验内容, 对联锁试验方案进行优化, 在降低工作量的同时确保联锁关系正确。

关键词: 逻辑检查; 联锁试验; 区间综合监控系统

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0097-04

Thinking of Test Methods for Adding Section Occupancy Logic Check on Existing Railways

Su Xiangqi

(Guangzhou Signal & Telecommunication Depot, Guangshen Railway Co., Ltd., Guangzhou 510610, China)

Abstract: The logic check function of section track circuit is realized mostly by adding the function of TCC in the high-speed railways and inter-city railways, and by adding the relay circuit and QJK in conventional speed railways. In the case of non-synchronous overhaul of existing lines, adding logic check function is restricted by construction conditions, time of maintenance-skylinght, personnel organization, etc., which is difficult and risky. According to the actual construction situation of existing railways, this paper summarizes the test methods in the above two ways respectively, discusses the test items, test methods and test contents in detail, optimizes the interlocking test scheme, reduces the workload and ensures that the interlocking relationship is absolutely correct.

Keywords: logic check; interlocking test; QJK

区间逻辑检查功能应用日益广泛, 在使用过程中也暴露出试验不彻底、关闭及恢复操作不当等问题。据不完全统计, 2020~2021年全路因为区间逻辑检查导致的故障有10件, 给铁路运输造成了

一定影响。综合分析既有线增加区间占用逻辑检查由于天窗时间、施工条件等限制, 对试验的失效性和准确性要求更高。本文分别对继电式、区间综合监控系统(QJK)式区间占用逻辑的试验项目、方法、内容进行归纳总结、优化, 确保联锁关系绝对正确的同时进一步提高试验效率。

收稿日期: 2022-06-13; 修回日期: 2023-07-18

作者简介: 苏向棋(1987—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信信号, 邮箱: gz_sxq2019@163.com。

1 继电式逻辑检查试验内容及方法

1.1 人工解锁按钮盘（以下简称人解盘）试验

1) 表示灯核对

逐个区段按压人解按钮，该区段人工解锁按钮灯（RJD）亮黄灯；区段空闲时区间轨道继电器灯（QGJD）亮绿灯，有车占用时灭灯；模拟列车运行，逐个区段核对占用丢失 60 s 后报警灯（BJD）亮红灯。

2) 关闭按钮功能试验

对应车站每个接 / 发车口，分别按下关闭按钮，相应区间所有区段的人工解锁继电器（RJJ）↑，人解盘对应区段 RJD 亮黄灯，关闭按钮灯（GBD）亮红灯。

3) 主控站与被控站试验

a. 试验主控站与被控站授权和取消授权功能：默认状态下本地解锁盘按钮无效，本地授权灯（SQD）闪烁，远程 SQD 常亮；按下远程授权按钮（SQA），本地有效，本地解锁盘 SQD 常亮，远程 SQD 闪烁，再次按下恢复远程有效。

b. 结合占用丢失防护、报警及报警解除试验对主控站、被控站人解盘按钮功能试验。

1.2 记录继电器（JLJ）试验

1) 模拟列车正常运行，占用前一区段和本区段，核对本区段记录继电器（JLJ）↓、区间轨道继电器（QGJ）↓、轨道继电器（GJ）↓，调度集中系统（CTC）控制台显示占用。

2) 列车出清前一区段，保持本区段占用，核对本区段 JLJ ↓、QGJ ↑、GJ ↓，CTC 控制台显示占用。

3) 60 s 内列车出清本区段，占用下一区段，核对 JLJ ↑、QGJ ↑、GJ ↑，CTC 控制台显示空闲。

4) 列车通过后，各区段无“占用丢失”报警，全过程核对人解盘区段状态灯、计算机监测、联锁控制台（接近离去区段）、CTC 控制台显示状态一致，无异常。

1.3 轨道电路故障占用试验

模拟区间单个闭塞分区故障占用又恢复空闲，

人解盘区段绿灯灭灯又恢复绿灯，核对 JLJ 全过程保持吸起状态。注意试验连续两个区段时需确认本区段恢复空闲，GJ 吸起后方可进行下一区段试验，避免动作时序差产生逻辑占用关系。

1.4 接近、离去结合试验

1.4.1 离去结合出站继电器（常态吸起）试验

1) 未排列发车进路的情况下占用进路最末区段，出站继电器（CZJ）↑。

2) 排列发车进路锁闭后模拟列车运行，未占用进路最末区段时 CZJ ↑，占用进路最末区段时 CZJ ↓，占用第一离去区段（1LQG）并出清最末区段时 CZJ ↑。

3) 排列发车进路锁闭后模拟列车占用并出清进路最末区段，未占用 1LQG，CZJ ↓，逻辑检查人工解锁按钮盘按压 1LQG 人解按钮后 CZJ ↑。

1.4.2 进站结合进站继电器（常态落下）试验

分别开放进站和引导信号，模拟列车运行至第三接近区段（3JG），进站内方第一区段占用进站继电器（JZJ）↑，3JG 有车占用 JZJ 保持吸起；待 3JG 出清后 JZJ ↓。（注：进站内方第一区段故障时开放引导信号，区间占用逻辑检查功能无效）。

1.5 逻辑检查丢失报警及报警解除试验

1) 顺序占用并出清两个区段（1LQG 需排列发车进路，3JG 需排列接车进路配合试验）造成后一区段逻辑“占用丢失”报警，核对该区段 QGJ ↑、JLJ ↓、GJ ↓，所在区间 JQD 亮红灯，计算机监测、联锁控制台（接近离去区段）、CTC 控制台显示红光带。60 s 后人解盘对应区段 BJD 亮红灯，同时蜂鸣器声光报警。

2) 按压对应区段人解按钮（RJA），核对 QGJ ↑、GJ ↑、JLJ ↑，BJD 灭灯，蜂鸣器声光报警解除。

1.6 反向试验

对车站各区间进行改方操作，反向运行时，核对人解盘该区间所有 RJD 亮黄灯，GBD 灭灯，区段 RJJ、JLJ 继电器保持吸起。

2 区间综合监控系统 (QJK) 试验内容和方法

2.1 仿真试验

由区间综合监控系统厂家在实验室搭建仿真试验平台, 核对平面图、显示区段状态及报警信息。模拟列车运行, 对区间占用逻辑检查功能进行试验, 验证软件数据和逻辑关系的正确性。

1) 试验项目

显示及平面图核对、上电初始化、正常占用、故障占用、逻辑占用丢失、邻站通信中断试验、双系切换、逻辑检查关闭、反方向自动关闭、主控站与被控站试验等。

2) 平面图及显示核对

平面图核对: 根据现场平面图核对 QJK 系统维护终端平面图, 逐个区段核对区间闭塞分区名称和位置。

显示核对: QJK 维护终端轨道区段 5 种状态显示, 正常占用 (红色光带)、空闲状态 (蓝色光带)、占用丢失 (橘色光带)、故障占用 (粉色光带) 和占用丢失计时 60 s (绿色光带)。

2.2 现场试验

2.2.1 QJK 系统功能试验

1) 系统上电试验: 验证 QJK 系统启动后与相邻车站 QJK 系统通信正常, 逻辑检查状态判断正确。

2) 继电器驱动采集核对: 按照厂家提供驱动、采集信息表, 由厂家技术人员配合, 排列相关进路, 模拟列车运行条件对 CZJ、列车信号继电器复示 (LXJF)、引导信号机电器复示 (YXJF)、方向继电器 2 (FJ2)、QGJ、防护继电器 (FHJ)、发车锁闭继电器复示 (FSJF)、发车进路最末区段的 GJ 等相关继电器分 A、B 机进行驱动、采集信息一致性核对。

2.2.2 人工解锁按钮盘试验

试验内容及方法与继电式逻辑检查一致, QJK 系统无 RJJ, 不需要核对。

2.2.3 FHJ 试验

1) 正常占用试验: 模拟列车正常顺序占用和出清进路及区间闭塞分区至对方站站内, 观察 CZJ、各闭塞分区 FHJ 和 JZJ 落下、恢复时机正确, 无报警信息, QJK 系统、人解盘、闭塞分区、联锁控制台 (接近离去区段)、CTC 控制台、集中监测系统

状态一致。

2) 故障占用试验: 模拟区间单个闭塞分区故障占用又恢复空闲, 人解盘区段绿灯灭又恢复绿灯, 核对 FHJ 全过程保持吸起状态。

2.2.4 逻辑检查报警试验及解除报警试验

1) 发车口逻辑检查报警试验: 排列发车进路, 顺序占用、出清至进路最末区段, 1LQG 未占用, 各系统界面显示最末区段红光带 (QJK 系统绿光带), 60 s 后 QJK 系统最末区段显示橘色光带, 人解盘 1LQG 区段 BJD 亮红色闪光, 同时蜂鸣器声光报警。

2) 接车口逻辑检查报警试验: 开放进站信号 (或引导信号, 不含进站信号机内方第一区段故障的引导信号), 顺序占用、出清第二接近区段 (2JG)、3JG, 进站内方第一区段未占用, 各系统界面显示 3JG 红光带 (QJK 系统绿光带), 60 s 后 QJK 系统 3JG 显示橘色光带, 人解盘 3JG 区段 BJD 亮红光, 同时蜂鸣器声光报警。

3) 逐个区段进行试验, 顺序占用并出清两个区段 (1LQG 需排列发车进路, 3JG 需排列接车进路配合试验; 站界需要连续占用并出清本站两个区段和邻站一个区段) 造成后一区段逻辑“占用丢失”报警, 核对该区段 QGJ ↑、FHJ ↓、GJ ↓, 所在区间 JQD 亮红灯, 各系统界面显示区段红光带 (QJK 系统绿光带), 60 s 后 QJK 系统该区段显示橘色光带, 人解盘该区段 BJD 亮红光, 同时蜂鸣器声光报警。

4) 同时按压总人工解锁按钮 (ZRJA) 和对应区段的 RJA, 区段防护和报警解除, 核对 QGJ ↑、GJ ↑、FHJ ↑ 状态正确, 声光报警消除。

2.2.5 反向试验

对区间进行改方操作, 核对人解盘该区间所有 RJJ 亮黄灯, GBD 亮红灯, 区段 FHJ 保持吸起。

3 结束语

通过对继电式逻辑检查电路和区间综合监控系统的试验内容和方法对比分析不难发现, 二者现场试验方法大同小异: 继电式逻辑检查通过电路关系实现逻辑关系检查和丢失防护、报警, 试验的重点

就是对每一条分支电路进行验证, 确保继电器前后接点使用、配线关系正确。区间综合监控系统则是通过软件进行逻辑关系检查和丢失防护、报警进行判断, 使用继电器接口电路与自动闭塞、区间监督电路、方向电路相结合的方式, 软件验证通过仿真试验重点把控, 现场试验则是对接口电路进行验证, 继电器的驱采一致性核对、接口电路继电器前后接点使用、配线关系正确。在施工过程中把握住各自各阶段的试验重点, 严格按照要求进行试验, 避免漏项, 保证区间占用逻辑检查功能安全可靠运行。

参考文献

[1] 张祺. QJK 系统在局界处实现区间占用逻辑检查的设计分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 102-106.
Zhang Qi. Design and Analysis of Track Vacancy Logical Detection at Railway Boundaries of QJK

System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 102-106.
[2] 杨根茂. 继电式逻辑检查施工联锁试验方法探讨 [J]. 中外企业家, 2018 (14): 94.
Yang Genmao. Discussion on Interlocking Test Method of Relay Logic Check Construction[J]. Chinese & Foreign Entrepreneurs, 2018(14): 94.
[3] 陈建译, 方少锋. 铁路信号联锁试验实用手册 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
[4] 李湘宜. 基于划分单元的区间占用逻辑状态判断与影响分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (6): 12-14, 30.
Li Xiangyi. Determination and Impact Analysis of Logic States of Section Occupation Based on Basic Units[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 12-14, 30.

(上接 86页)

(10): 56-61.
Wang Zhuang. Vehicle-ground Wireless Redundancy Scheme of Urban Rail Transit Signal System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 56-61.
[7] 汤春燕. 上海地铁泰雷兹 CBTC 系统车地通信故障原因及对策 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (4): 83-88.
Tang Chunyan. Causes and Countermeasures of Train-Ground Communication Failure of Thales CBTC System for Shanghai Metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 83-88.
[8] 周华良, 郑玉平, 杨志宏, 等. 面向智能变电站三网合一网络的 PRP/HSR 实现方案 [J]. 电力自动化设备, 2018, 38 (10): 216-223.
Zhou Hualiang, Zheng Yuping, Yang Zhihong, et al. Implementation Scheme of Three-in-

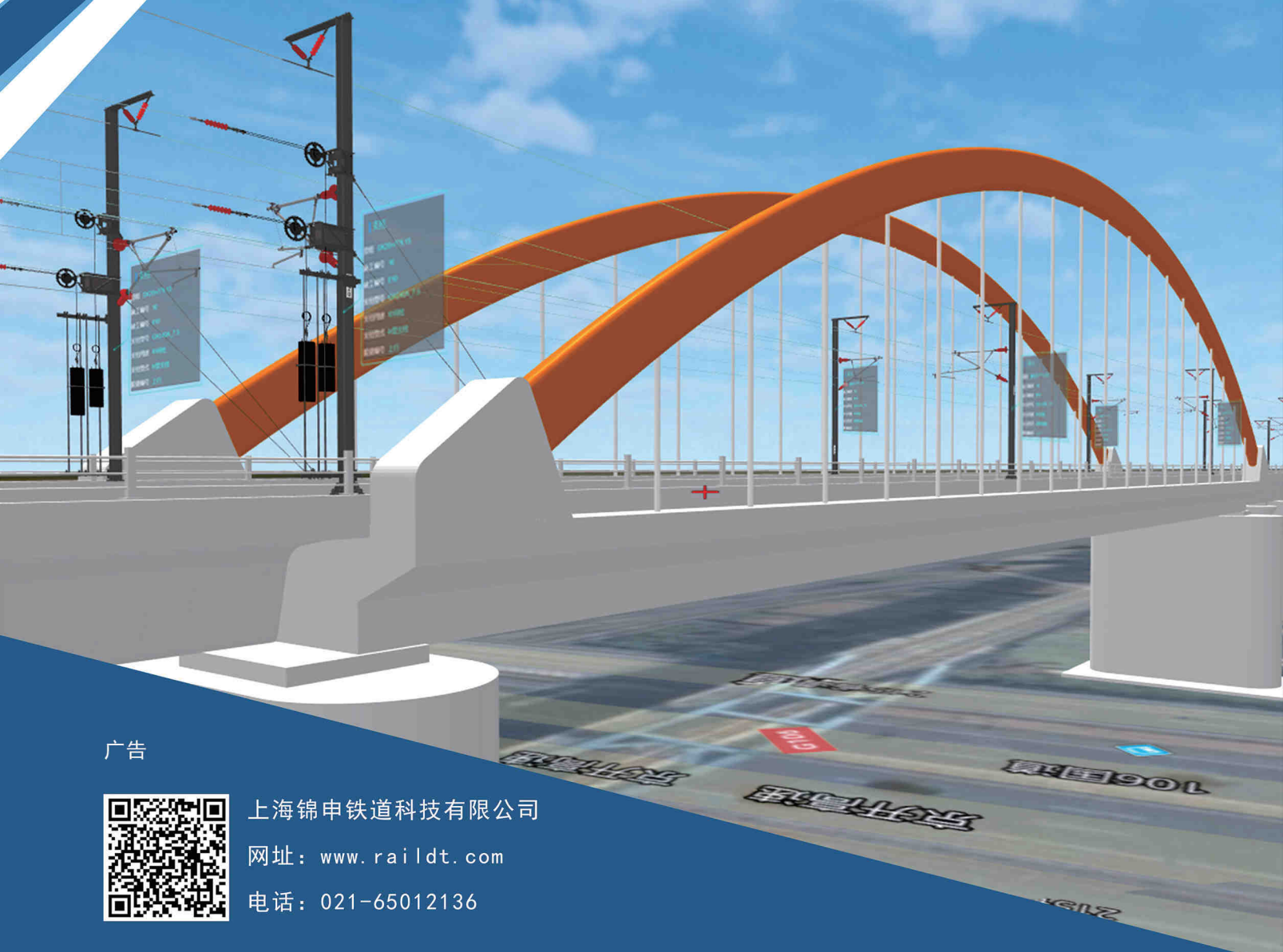
one Network Based on PRP/HSR in Smart Substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(10): 216-223.
[9] 郭涛, 申萍, 王立德, 等. 梯形高可靠列车通信网络冗余结构分析 [J]. 机车电传动, 2020 (2): 81-87.
Guo Tao, Shen Ping, Wang Lide, et al. Analysis of Redundant Structure of Highly Reliable Train Communication Network Based on Ladder Topology[J]. Electric Drive for Locomotives, 2020(2): 81-87.
[10] 高红亮, 陶文伟, 唐孝舟, 等. 基于监测帧的 PRP 和 HSR 冗余网络监视系统的实现 [J]. 电力工程技术, 2017, 36 (4): 65-69.
Gao Hongliang, Tao Wenwei, Tang Xiaozhou, et al. The Implementation of PRP and HSR Redundancy Network Supervision System Based on Detecting Frame[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(4): 65-69.



锦申科技

JINSH TECH

铁路数字孪生



广告



上海锦申铁道科技有限公司

网址: www.raildt.com

电话: 021-65012136

《铁路通信信号工程技术》

Railway Signalling & Communication Engineering

月刊



《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办，在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响，深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准，自2005年12月起面向国内外公开发刊。国内统一连续出版物号：CN11-5423/U。国际标准连续出版物号：ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊；RCCSE中国准核心学术期刊；日本科学技术振兴机构数据库(JST)收录期刊；EBSCO学术数据库收录期刊；中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊；中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊；中文科技期刊数据库(全文版)收录期刊；中国学术期刊影响因子年报统计源期刊；超星期刊域出版平台全文收录；中国铁道学会通信信号分会指定期刊；国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊。

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导；对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员，在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流；及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有：学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

投稿方式：

期刊官网投稿：<https://rsce.crsd.com.cn>

邮箱投稿：rsce@crscd.com.cn

知网投稿：<http://www.tltx.cbpt.cnki.net/WKD>

地址：北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号B座

邮编：100070

电话：010-51865951

传真：010-51841598

网址：www.crsd.com.cn

订阅方式：

邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，邮发代号80-532

编辑部订阅：e-mail或电话至编辑部

订 价：每期10元，全年(12期)120元



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

扫码打开期刊官网，
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

邮发代号：80-532 国内定价：10元/期