

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. **6** 第20卷 总第150期

安全生产  警钟长鸣

人人讲安全 个个会应急

进一步提升全社会安全意识和避险逃生能力

2023年安全生产月宣传教育活动

—— **安全第一 生命至上** ——

国务院安委会办公室、应急管理部日前发布《2023年全国“安全生产月”活动方案》，文件指出今年6月是第22个全国“安全生产月”，2023年安全生产月主题是“人人讲安全、个个会应急”，6月16日为全国安全宣传咨询日。

今年6月是第22个全国“安全生产月”

铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

主管单位 Administrated by:

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

主办单位 Sponsored by:

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

主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

责任编辑 Editor in Charge:

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

网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

英文编辑 English Editor:

王锦 Wang Jin

编辑出版 Edited and Published by:

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

地址 Address

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

邮编: 100070 Postcode: 100070

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

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

编辑电话 Edition Tel:

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

广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

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

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

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

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

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

广告代理 Advertising Agency:

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

印刷 Printed by:

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

广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第20卷第6期总第150期 Vol.20 No.6 S.No.150

出版: 2023年6月25日 Published on: 6/25/2023

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

无人区铁路断轨检测系统设计	陆兴程, 杨武东	1-5
红灯重复显示CTC跨站自触功能的设计与实现	孟润虎, 陈洪雨, 韩成彦	6-10
车号地面识别设备在CIPS系统的应用	胡 博	11-14
基于TYJL-ADX型计算机联锁模拟道岔电路的设计与优化	徐海波, 王定明	15-19

通信及信息技术

长大干线高速磁浮无线通信系统工程方案研究	谢联莲, 虞 凯, 刘孜学, 王梓丞	20-25
铁路综合视频监控系统与BIM融合应用研究	赵 耀, 李珉璇, 柴天娇	26-30
铁路数据通信网SRv6应用技术探讨	庄文林	31-35
基于5G-R的CTCS-3列控业务接口监测系统研究	吴 宇, 董成文, 李 鹏	36-43
铁路5G-R与GSM-R基础设施共用共存工程建设方案	冯 磊, 李 雪, 许 扬	44-49
基于铁路GPON系统保护机制的应用研究	杨柳青青	50-54
高速铁路手提式二氧化碳灭火器远程监测装置的设计	陈 舒	55-59

城轨交通

基于恒定冲击率模型的列车运行时间计算方法	周丽华, 吴 亮, 柴荣阳, 彭朝阳, 李涛涛, 张 晨	60-64
市域铁路5G无线通信应用方案研究	熊栋宇	65-70
轻轨CBTC信号与DTC信号多制式兼容方法研究	江 坤, 杨迪飞, 刘 佳	71-76
市域铁路公交化运营客票系统设计方案的探讨	何泉勃	77-82
城市轨道交通新线工程信号系统运营需求要点分析	曹启滨	83-86
联挂解编进路处理逻辑研究	宿秀元	87-92
CBTC与CTCS-2兼容互通方案	张 伟	93-97

技术交流

铁路信号电缆低压快速在线测试装置研究	周 彬, 刘 峰, 万园园	98-101
一起线路所CTCS-2/CTCS-3边界停车的案例分析	张国防	102-105

国外项目

境外铁路互联网售票系统方案研究	纪 伟, 杨 志, 吴桦林, 路晓彤, 焦晓辉	106-111
-----------------	-------------------------	---------

国外信息

日本铁路公司将测试生物燃料(101) 曼彻斯特地铁将部署超速防护技术(111) UIC参加美国高速铁路协会的会议(112)		
---	--	--

广告索引

		19
--	--	----

Railway Signalling & Communication Engineering

CONTENTS

Technological Innovation

Signalling Technology

Design of Broken Rail Detection System for Railways in Uninhabited Area	Lu Xingcheng, Yang Wudong	1-5
Design and Realization of Auto-triggering Function of CTC System Across Station in Red Light Repetition Scenario	Meng Runhu, Chen Hongyu, Han Chengyan	6-10
Research on Application of AEI Equipment in CIPS System	Hu Bo	11-14
Design and Optimization of Simulated Turnout Circuit Based on TYJL-ADX Computer Interlocking	Xu Haibo, Wang Dingming	15-19

Communication & Information Technologies

Research on Engineering Scheme of Radio Communication System for Long Main Line With High Speed Maglev	Xie Lianlian, Yukai, Liu Zixue, Wang Zicheng	20-25
Research on Integration of Railway Integrated Video Monitoring System and BIM	Zhao Yao, Li Minxuan, Chai Tianjiao	26-30
Discussion on Application Technology of SRv6 in Railway IP Network	Zhuang Wenlin	31-35
Research on CTCS-3 Train Control Service Interface Monitoring System Based on 5G-R	Wu Yu, Dong Chengwen, Li Kun	36-43
5G-R and GSM-R Infrastructure Sharing Project Scheme	Feng Lei, Li Xue, Xu Yang	44-49
Application of Protection Mechanism Based on Railway GPON System	Yang Liuqingqing	50-54
Design of Remote Monitoring Device of Portable Carbon Dioxide Fire Extinguisher for High-Speed Railway	Chen Shu	55-59

Urban Rail Transit

Calculation Method of Train Running Time Based on Constant Impact Rate Model	Zhou Lihua, Wu Liang, Chai Rongyang, Peng Chaoyang, Li Taotao, Zhang Chen	60-64
Research on 5G Wireless Communication Application Scheme for Suburban Railway	Xiong Dongyu	65-70
Research on Multi-standard Compatibility Method of Light Rail CBTC and DTC Signal	Jiang Kun, Yang Difei, Liu Jia	71-76
Discussion on Design Scheme of Passenger Ticket System of Public Transport Operation for Suburban Railway	He Quanbo	77-82
Analysis on Key Points of Signal System Operation Demand of New Urban Rail Transit Project	Cao Qibin	83-86
Research on Processing Logic of Marshalling and Unmarshalling Routes	Su Xiuyuan	87-92
CBTC and CTCS-2 Compatible and Interoperable Scheme	Zhang Wei	93-97

Technological Exchange

Research on Low-voltage Fast On-line Test Device for Railway Signal Cable	Zhou Bin, Liu Feng, Wan Yuanyuan	98-101
Case Study of Train Stopping at CTCS-2/CTCS-3 Boundary of Block Post	Zhang Guofang	102-105

Projects Abroad

Research on Overseas Railway Online Ticketing System	Ji Wei, Yang Zhi, Wu Hualin, Lu Xiaotong, Jiao Xiaohui	106-111
--	--	---------

Advertiser Index

		19
--	--	----

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.001

无人区铁路断轨检测系统设计

陆兴程, 杨武东

(西南交通大学信息科学与技术学院, 成都 611756)

摘要: 无人区单线铁路区间上大多没有轨道电路, 即没有实时断轨检测能力。无缝钢轨的普及以及提速、重载列车的增多, 使钢轨更易出现开裂和折断, 对检测断轨的运维需求日益增加。基于轨道电路原理, 结合直接数字频率合成技术、远距离无线电通信技术、数字功放技术等设计一款低功耗、易部署的实时断轨检测系统。相较于国内目前常用的断轨检测技术更适用于无人区铁路, 可较大程度减轻运维压力。

关键词: 无人区铁路; 断轨检测; 轨道电路; 无线通信; 数字功放

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0001-05

Design of Broken Rail Detection System for Railways in Uninhabited Area

Lu Xingcheng, Yang Wudong

(The School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: Most single-track railway sections in the uninhabited area are not equipped with track circuits, that is, there is no real-time broken rail detection capability. With the popularization of seamless steel rails and the increase of speed-raising and heavy-load trains, the rail is more prone to crack and break, and the demand for operation and maintenance of detecting broken rail is increasing. Based on the principle of track circuit, combined with direct digital frequency synthesis technology, long-distance radio communication technology and digital power amplifier technology, a low-power, easy-to-deploy real-time broken rail detection system is designed in this paper. Compared with the current common detection technology of broken track in China, this system is more suitable for the railway in uninhabited area and can greatly reduce the pressure of operation and maintenance.

Keywords: railway in uninhabited area; broken rail detection; track circuit; radio communication; digital power amplifier

收稿日期: 2023-02-14; 修回日期: 2023-06-12

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目(K2021G016); 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目(L2022G004)

第一作者: 陆兴程(1998—), 男, 硕士, 主要研究方向: 轨道电路基础设备硬件设计, 邮箱: 275431149@qq.com。

1 概述

无人区单线铁路区间上一般不装设轨道电路, 其断轨检测手段主要依靠传统的探伤仪和探伤车。随着无缝钢轨的普及以及提速、重载列车的增多, 传统断轨检测手段逐渐不能满足运维需求。因此,

针对无人区单线铁路的断轨检测设备的研 究变得十分重要。

首先需要考虑断轨检测设备的基本原理，目前国内主流的断轨检测原理分为超声导波型和电气电路型。基于超声导波型的设备一般具有较远的检测距离，且能够检测非全截面断轨，但一般功耗较大，配套设备较多，不适合布置在无人区铁路。而以轨道电路为代表的电气电路型原理的设备，虽不能实现非全截面断轨的检测，但系统结构比较简单且检测可靠性较高，在全路的应用较为广泛。故本文选用轨道电路作为断轨检测设备的基本原理。

相较于传统轨道电路设备的实现方法，为进一步降低功耗，本文在信号调制部分设计上选择使用直接数字频率合成技术 (Direct Digital Synthesizer, DDS)，在功率放大部分设计上选择使用数字功放替代乙类互推挽放大电路。

此外，针对设置在无人区的设备，本文将无线通信技术纳入设计需求中。综合考虑功耗及传输距离等因素，选用远距离无线电通信技术 (Long Range Radio, LoRa) 兼顾低功耗与远距离传输的需求。

2 轨道电路基本原理

轨道电路是国内铁路信号系统重要的基础设备之一，具有检测列车占用、检测钢轨完整性以及传递行车信息的作用，其基本原理如图 1 所示。

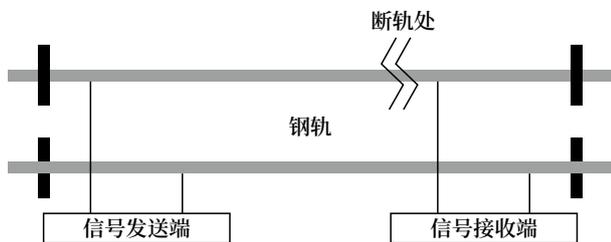


图1 基于轨道电路的断轨检测原理示意
Fig.1 Schematic diagram of broken rail detection based on track circuit

当区段无列车占用且钢轨完整时，发送端发出的信号经线缆、钢轨等传输到接收端，与接收端构成闭合回路，接收端向外输出轨道继电器励磁信号，

轨道继电器吸起表示区段空闲。

当区段有列车占用或钢轨断轨时，发送端发出的信号无法传输到接收端，接收端停止输出轨道继电器励磁信号，轨道继电器落下表示占用或故障。

目前，国内的区间轨道电路中，技术最成熟、应用最广泛的是 ZPW-2000 无绝缘轨道电路，它是在法国 UM71 轨道电路的基础上结合国内实际情况吸收技术后创新改进的，但是，仅将其应用于断轨检测上难免大材小用且成本高昂。因此，本文设计系统的主要思路是在其基础上进行合理剪裁，并对部分功能的实现方式进行优化。

3 断轨检测系统设计

断轨检测系统主要由 3 部分组成，包括检测服务器、核心检测机、检测分机，系统结构如图 2 所示。

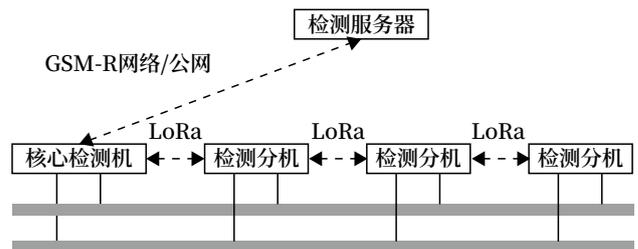


图2 断轨检测系统结构
Fig.2 Broken rail detection system structure

检测服务器通过铁路专用 G 网或公网与核心检测机通信，汇总各个辖区内的检测数据，基于此数据开发了客户端，实现断轨报警、数据存储、日志查询等功能。

核心检测机通过 LoRa 与其分管辖区内检测分机通信，汇总该辖区的检测数据后打包发给检测服务器。

检测分机兼具信号发送和信号接收功能，两两构成“一送一受”式轨道电路对所在辖区内某一区段进行断轨检测，同时采集电源电量、轨面温度等辅助信息，全部功能完成后将断轨检测结果与辅助信息打包发给所在辖区内的核心检测机。

受数据通信及信号采集时长限制，一个辖区内包括核心检测机与检测分机在内的设备一般不超过

20 台。

辖区内每套设备配备了太阳能电池板及蓄电池。设备设计时估算的工作功率约为 10 W，在仅靠容量为 68 Ah、输出电压 12 V 的蓄电池供电进行功率测试时，设备可持续正常工作 7 天，据此计算得到的实际工作功率约为 5 W。配备的 1 m² 太阳能电池板在考虑现场光照及雨水条件的情况下，其平均输出功率应能充分满足供电需求。太阳能电池板与蓄电池的组合使用可以保证设备稳定供电。

4 断轨检测设备设计

本文设计的断轨检测系统中最重要的设备是核心检测机及检测分机。在设计中，核心检测机与检测分机通过配置进行区分，故在介绍其设计时统称为断轨检测设备。

断轨检测设备分为主控板和功率板两部分，整体设计框如图 3 所示。

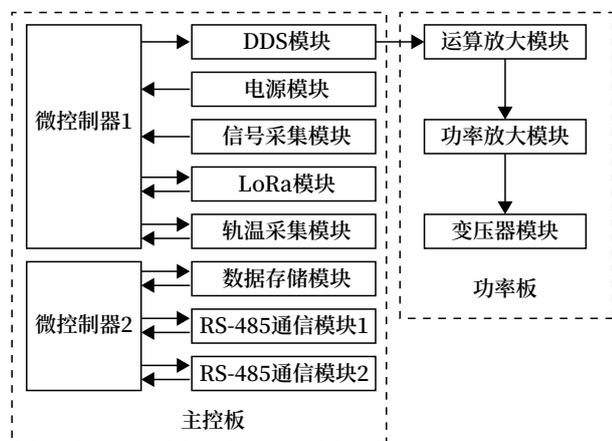


图3 断轨检测设备设计框

Fig.3 Design block diagram of broken rail detection equipment

4.1 断轨检测设备主控板设计

断轨检测设备主控板主要包括微控制器模块、DDS 模块、信号采集模块、通信模块、数据存储模块、电源模块和轨温采集模块等。

微控制器模块选用一款通用型微控制器，每台设备两片，分管数据采集和数据通信功能，兼具低成本和低功耗两个优势。

DDS 模块用于产生调制信号。DDS 模块选用

集成芯片来实现，相较于使用分立元件、FPGA 等方式，它的硬件结构更加简单，调制信号的频率精度更高，经济成本也更低。同时，选用 DDS 集成芯片实现信号调制可以灵活变换频率信息以及调制方式，只需要修改程序即可，不需要对设备本身做较大改动。

信号采集模块用于处理较微弱的信号使之达到微控制器可采样的水平。调制信号经过钢轨传输后，由于钢轨阻抗等的存在会有较大衰减，一般会降低到 mV 级别，而微控制器的采样水平一般为 V 级别。信号采集模块主要由偏置电路和放大电路构成，偏置电路部分依靠运算放大器实现电压跟随器，产生一个偏置电压，放大电路依靠运算放大器实现同向放大器，使基础信号线性放大。同时，运算放大器的使用会在一定程度上对基础信号起到整形滤波的作用。

通信模块主要包括 LoRa 及 RS-485 两种制式的通信。LoRa 用于断轨检测设备间的通信组网。RS-485 作为常用制式的工业通信接口，除了用于满足设备与通信电台等的数据交互外，也保留了额外功能扩展或数据交互的可能。

数据存储模块选用一款可通过 IIC 访问的存储芯片，用于存储包括设备类型、设备号、LoRa 通信信道等的断轨检测设备固有信息。

电源模块主要包括主控板电源产生和自检以及外置蓄电池信息的采集。主控板电源主要依靠线性减压芯片产生，满足板上各芯片的各级电压需求，同时运用分压原理实现自检。外置蓄电池配有专用电源管理模块，其信息可通过 RS-485 通信读取。

轨温采集模块为外置模块，其信息可通过 RS-485 通信读取。

4.2 断轨检测设备功率板设计

功率板主要包括前级运算放大模块、功率放大模块、变压器模块等。

前级运算放大模块用于调节进入功率放大模块的基础调制信号的幅值，进而调节最终的输出功率。传统轨道电路发送器为满足不同传输条件下对信号

功率的要求，需要通过人工改变变压器配线端子，调整变压器变比来实现。前级运算放大模块的实现虽无法省去人工调整的步骤，但调整方式更加简便，且功率调整连续，不易对设备造成冲击。

功率放大模块用于调制信号的功率放大，使用集成的数字功放来实现。传统轨道电路发送器一般采用乙类互推挽电路实现功率放大，从原理上来说，其工作效率在 78% 左右，再结合非线性器件实际中的非理想性，效率将更低，一般在 50% 左右。相应的，由于工作效率不高，电路会具有较高的发热量，需要配备比较大面积的散热片。数字功放中场效应管工作在开关状态，理论上可具有接近 100% 的效率，实际中虽然器件有一定耗散功率，但是很小，故仍然具有较高的效率。并且，由于耗散功率仅与器件本身有关，与信号的幅值无关，所以数字功放更适合大功率的应用场景。

变压器模块用于信号的隔离变换和一定程度上的阻抗调整。同时，由于断轨检测设备在设计上是收发一体的，所以变压器模块的其中一组线圈用于基础信号的采集。

5 现场实验

为验证断轨检测系统功能正确性及完整性，在格库铁路上进行一个区段的样机测试，并用示波器对发送端及接收端信号进行测量，如图 4 所示。



图4 现场测量
Fig.4 Site measurement

由于格库铁路是电气化铁路，区间中设有吸上点，吸上点处钢轨通过回流线短路，故基于轨道电路原理的设备在吸上点处不能直连至轨上，需要增加扼流变压器。受现场实验条件限制，不具备临时增加扼流变压器的条件，故选择通过调整发送端、接收端接入位置，使之距吸上点保持合适距离来降低影响，然后进行信号传输及断轨检测实验。

由于格库铁路线全线采用 50 Hz 工频牵引供电，而牵引电流与轨道电路信号共用钢轨作为传输条件，为降低二者之间的相互影响，轨上传输信号选用 400 Hz 载频、28 Hz 低频、11 Hz 频偏的 FSK 信号。

示波器在信号发送端采集到的信号如图 5 所示，可以观察到明显的移频信号，频率为 400 Hz，信号电压有效值为 9 V。

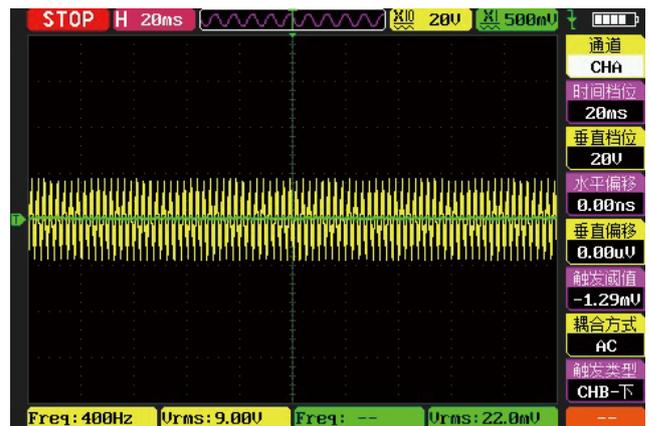


图5 发送端采集信号
Fig.5 The signal collected by the sending end

示波器在信号接收端采集到的信号如图 6 所示，也可观察到明显的移频信号，频率仍为 400 Hz，但信号经 1.2 km 钢轨传输衰减后，电压有效值降低至 400 mV 左右。

实验表明，本文所设计的断轨检测设备在现场环境下能够正常产生和采集检测信号，并且可以在 5 s 内完成对 1.2 km 区段的断轨检测，基本满足对系统实时性的要求。

6 结语

本文为解决无人区单线铁路断轨检测问题，基

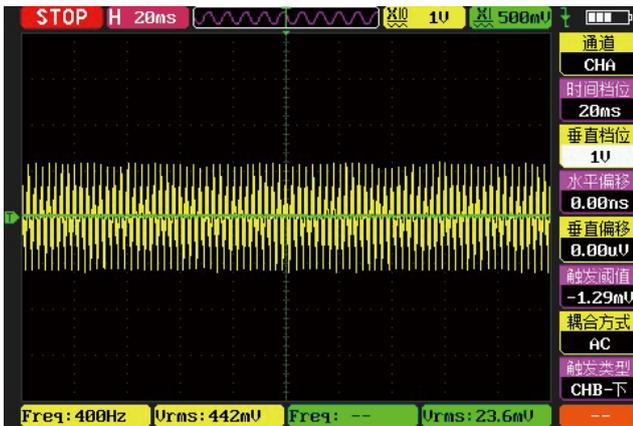


图6 接收端采集信号

Fig.6 The signal collected by the receiving end

于轨道电路原理设计了一款断轨检测系统。现场实验结果表明：本文设计的断轨检测设备能够实现实时断轨检测的基本功能，同时数字频率合成、无线通信、数字功放等技术的应用使设备具有低功耗、易部署等特点，相较于传统断轨检测方式更适用于无人区铁路。不过，受轨道电路原理的限制，本文设计的断轨检测设备更多针对全截面断轨或移轨问题，对于非全截面断轨的检测还待进一步研究与试验。

参考文献

- [1] 史宏章, 任远, 张友鹏, 等. 国内外断轨检测技术发展的现状与研究 [J]. 铁道运营技术, 2010, 16 (4): 1-3, 7.
Shi Hongzhang, Ren Yuan, Zhang Youpeng, et al. Present Situation and Research on the Development of Broken Track Detection Technology at Home and Abroad[J]. Railway Operation Technology, 2010, 16(4): 1-3, 7.
- [2] 周奇才, 林师锐, 赵炯, 等. 基于GSM的远程智能断轨监测系统设计与实现 [J]. 机电一体化, 2015, 21 (10): 54-58.
Zhou Qicai, Lin Shirui, Zhao Jiong, et al. Design and Realization of Remote Broken Rail Detection System Based on GSM[J]. Mechatronics, 2015, 21(10): 54-58.
- [3] 李浩, 段翔宇, 白彪. 基于超声导波的无缝线路断轨检测系统 [J]. 电子设计工程, 2015, 23 (16): 126-129.
Li Hao, Duan Xiangyu, Bai Biao. CWR Broken Rail Detection System Based on Ultrasonic Guided Waves[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(16): 126-129.
- [4] 文武臣. 基于人工智能的ZPW-2000A轨道电路故障诊断方法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (10): 35-39.
Wen Wuchen. ZPW-2000A Track Circuit Fault Diagnosis Based on Artificial Intelligence[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 35-39.
- [5] 石林. 集成轨道电路方式的超声断轨检测系统设计 [D]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [6] 马锦生. 超声波断轨监测系统的研制与应用 [J]. 山西建筑, 2019, 45 (2): 125-126.
Ma Jinsheng. Study and Application of Ultrasonic Wave Broken-Rail Monitoring System[J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(2): 125-126.
- [7] 赵炯, 肖豪, 李呈光, 等. 基于单片机的智能断轨监测系统节点设计 [J]. 机电一体化, 2015, 21 (9): 48-53.
Zhao Jiong, Xiao Hao, Li Chengguang, et al. Node Design of Broken Rail Detection System Based on Microcontroller[J]. Mechatronics, 2015, 21(9): 48-53.

红灯重复显示CTC跨站自触功能的设计与实现

孟润虎^{1, 2}, 陈洪雨³, 韩成彦³

(1. 卡斯柯信号有限公司, 上海 200071;

2. 上海市铁路智能调度指挥系统工程研究中心, 上海 200071;

3. 中国铁路武汉局集团有限公司, 武汉 430064)

摘要: 基于CTC自动触发排路逻辑, 分析高速铁路联络线, 疏解线以及枢纽线路交汇处, 站(所)间设置红灯重复显示的条件下, 结合相邻车站布局情况, 拓展CTC站间自触消息交互内容, 阐述CTC系统在此场景下跨站自触功能的实现原理, 可用于场间联络、站(所)间、以及区域联锁站等多种场景, 保障列车运行安全, 提升运输作业效率。

关键词: 跨站自触; CTC; 红灯重复

中图分类号: U284.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0006-05

Design and Realization of Auto-triggering Function of CTC System Across Station in Red Light Repetition Scenario

Meng Runhu^{1, 2}, Chen Hongyu³, Han Chengyan³

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

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

(3. China Railway Wuhan Group Co., Ltd., Wuhan 430064, China)

Abstract: Based on the auto-triggering routing principle of CTC system, in consideration of the layout of adjacent stations, this paper analyzes the auto-trigger message interaction content between stations under the condition that the red light repetition between stations (block posts) on high-speed railway liaison lines, relieving lines and at junctions of hub lines, and expounds the realization principle of auto-triggering function of CTC system across station in this scenario. This function can be used in various scenarios such as liaison between yards, stations (block posts), and regional interlocking stations to ensure the train operation safety and improve the transportation efficiency.

Keywords: auto-triggering across station; CTC; red light repetition

随着高速铁路的不断建成和跨线运行, 各种联络线、疏解线以及地区枢纽支线实现与正线接轨, 因受特定地形、地貌条件限制, 站(所)间距离短或存在坡道无法设置安全线的情况下, 按照铁路信

收稿日期: 2022-09-14; 修回日期: 2023-04-04

第一作者: 孟润虎(1983—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁道信号、调度集中, 邮箱: 119960823@qq.com.

号设计规范, 通常采用红灯重复显示的防护方案增加列车安全防护距离的防范措施^[1], 从而增加列车运行方向上的安全防护区段长度, 防止列车冒进线路, 降低安全风险。

1 红灯重复显示概述

高速铁路以车载信号作为列车行车凭证, 区间一般不设置通过信号机^[2], 如图1所示, 线路所信号机 XTS、XT、STF、ST、XTF、XTSF, 甲站 SJ 进站信号机, 线路所与甲站站间距离短且无法设置安全线的情况下, 为避免列车侧向冲突, 线路所通过信号机 ST 与甲站进站信号机 SJ 采用红灯重复显示的防护方案^[3-4], 将线路所外方的闭塞分区 TS1LQG 作为安全防护区段考虑, 即当甲站进站信号机 SJ 点红灯时, 即便线路所通过进路 ST-XTSF 锁闭建立后, 线路所 ST 通过信号机也与 SJ 重复显示点红灯^[5]。

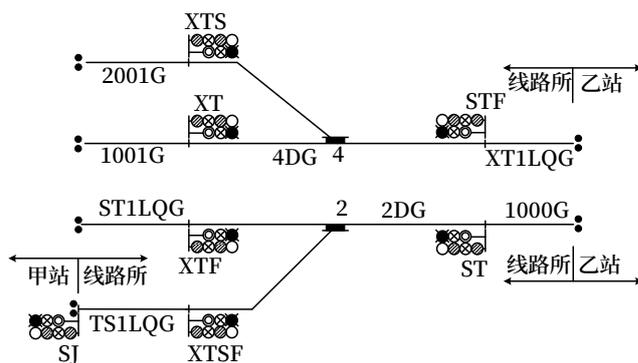


图1 线路所信号平面示意

Fig.1 Signal plan diagram of block post

2 CTC自触排路逻辑

CTC 系统自触排路逻辑是按照列车运行线路分布的车站由近及远顺序依次自动触发进路: 列车进入接车站与前方站区间如图2所示、或者间隔车站接车但前方站已办理好待接列车通过进路如图3所示, 此时满足空间自触条件(高速铁路动车组满足15个闭塞分区)或者时间自触条件(高速铁路动车

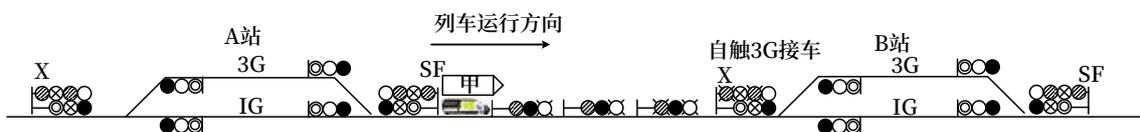


图2 正常站自触过程

Fig.2 Auto-triggering process of normal station

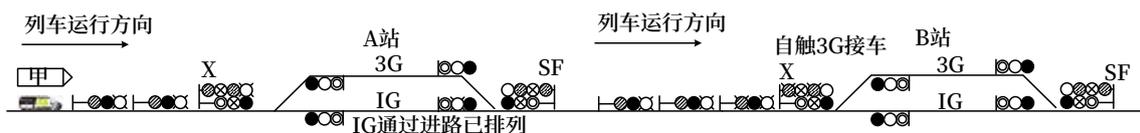


图3 间隔站自触过程

Fig.3 Auto-triggering process across a station

组提前9 min) 任一时^[6-7], 接车站 CTC 自动触发向联锁发送进路办理指令。

如图1所示, 线路所 ST 信号机与甲站 SJ 信号机存在红灯重复显示防护原则的情况下, 受联锁限制, CTC 系统正常的自触排路受影响, 列车计划从线路所通过开往甲站时, 列车运行至乙站与线路所区间时, 近端线路所先满足自触条件, CTC 发送线路所 ST-XTSF 通过进路指令给联锁, 联锁需检查远端甲站 SJ 进站信号是否开放, 而甲站 SJ 信号自触开放的前提条件是近端线路所 ST-XTSF 通过进路触

发已完成, 此时甲站尚不满足 CTC 自触逻辑, SJ 信号机仍显示红灯, 线路所 ST-XTSF 即使锁闭进路建立, ST 也只能点红灯。

列车运行至乙站与线路所区间, 对于甲站来说, 列车位于间隔车站位置, CTC 需先判断线路所 ST-XTSF 通过信号开放后, 才能检查到需要办理的列车车次、位置信息, 进而与计划比较确认是否满足条件触发办理甲站 SJ 接车进路, 因此甲站接车进路也无法实现自动触发办理; CTC 按列车运行方向的顺序自触进路的逻辑与存在红灯重复防

护设置的原则冲突，在此情况下，按常规逻辑无法满足实际运用。

3 CTC跨站自触功能的实现

按照 CTC 自触排路的逻辑，CTC 目前无法实现跨站进路提前自动触发，只能人工提前干预，采用按压按钮的原始方式办理，该模式存在人工错办进路的风险。考虑到两个站场之间存在红灯重复显示的防护原则，针对站间存在红灯重复显示的特殊场景^[8-9]，CTC 研究实现了跨站自触进路的功能。

如图 4 所示，当 CTC 判定 A 站满足办理列车甲发往 B 站进路的时机时，由 A 站 CTC 设备发送请求 B 站先办理列车甲的接车进路，B 站收到请求消息后，将 A 站请求办理车次与自身计划办理车次比对一致时，B 站进行列车甲的接车进路办理，办理完成后将进路办理完成的应答消息发送至 A 站，A 站检查自身计划触发车次与 B 站应答的接车进路办理完成车次一致时，自触办理列车甲发往 B 站的发车进路，处理过程如图 5 所示。

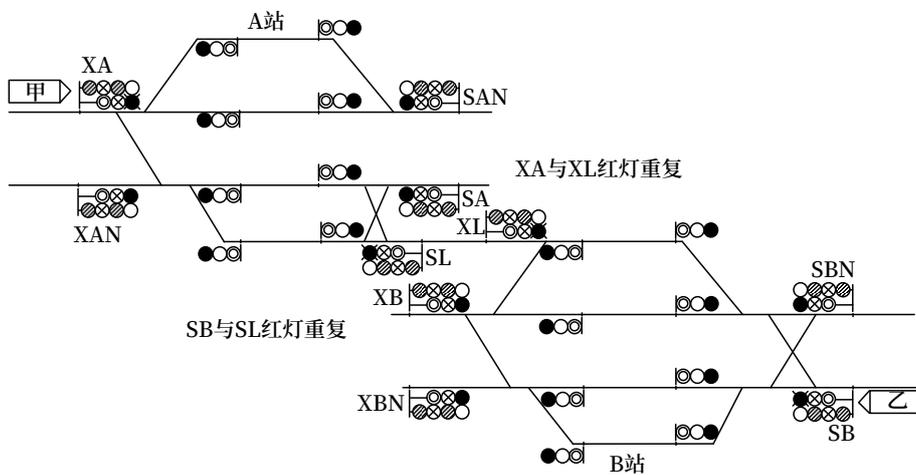


图4 站间红灯重复示意

Fig.4 Schematic diagram of red light repetition between stations

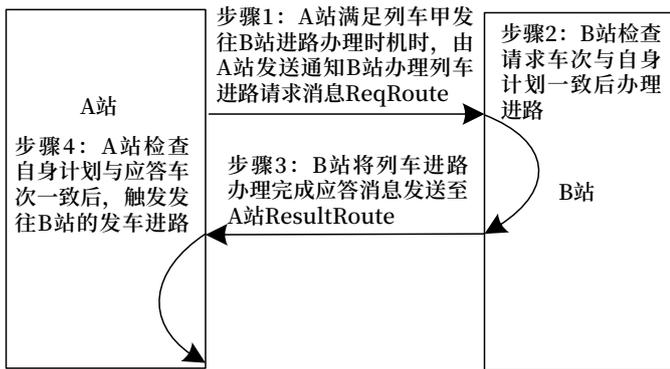


图5 跨站自触办理逻辑

Fig.5 Auto-triggering logic across station

针对每列车的进路序列，A、B 站间交互信息中定义唯一标识符，A 站的请求消息 ReqRoute 中包含该唯一标识符，B 站办理完成后发送到 A 站的应答回执 ResultRoute 消息也包含该唯一标识

符，该标识符在交互过程中一次有效，A 站发出 ReqRoute 后定时周期（默认 45 s）内不能收到和 ReqRoute 中标识符一致的 ResultRoute 消息，则该次交互失败。等待定时周期间隔时间后，A 站发起下一次请求 ReqRoute 消息。

B 站办理 ReqRoute 消息请求的进路时，需要完整检查除列车运行位置外的其他进路触发条件，如股道接发车类型约束条件、CTC 安全卡控条件以及进路冲突检查条件，任一条件不满足则不办理接车进路；请求和应答消息中都包含对应时间戳，接收到对方消息后如果检查当前时间与消息中时间戳的时间差超过 30 s 则认定为过期消息，并做丢弃处理，则该次交互结束^[10]。具体消息交互过程如图 6 所示。

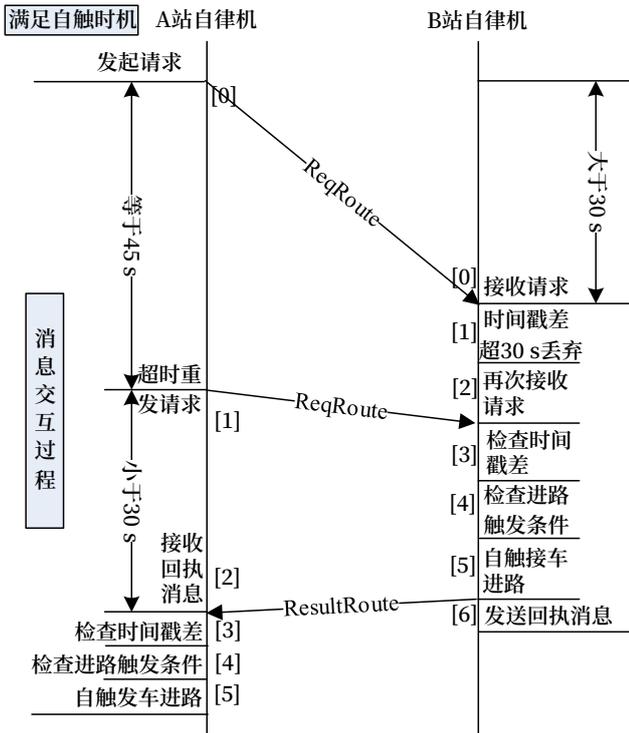


图6 跨站自触消息交互
Fig.6 Auto-triggering message interaction across station

A、B 站红灯重复显示防护条件下人工办理进路作业时限制如下。

1) A 站人工办理发车进路时需确认当前 B 站对应该列车的接车进路是否已办理，防止 A 站人工办理的发车进路与 B 站已办理的接车进路不属于同一列车，导致进路错误组合；

2) B 站人工取消已办理完成的列车接车进路前，需要人工告知 A 站，防止 B 站取消接车信号后，A 站信号自动关闭，导致机外停车；

3) B 站提前自触办理完成的接车进路，由于 A 站临时调整发车计划，存在 B 站自动办理完成的接车进路与 A 站调整发车后的计划不一致，此时 A 站发车进路不能自动触发并报警，B 站已办理完成的进路需人工取消。

因 CTC 触发进路检查条件，如列车车次号、接发车出 / 入口以及列车计划唯一标识，与列车运行计划紧密相关，设置红灯重复的相邻两站站间交互自触消息按车站布局分以下两种情况。

1) 局内车站交互消息

局内车站设置红灯重复需实现跨站自触功能时，相邻站间 CTC 系统直接通信，交互信息包括列车车次号、接发车站出入口信息、列车运行计划唯一标识以及消息时间戳信息，如表 1 所示。

表1 局内车站交互消息
Tab.1 Interaction message between internal stations

请求消息内容	应答消息内容
列车车次号 (TrainNo)	列车车次号 (TrainNo)
前方请求站站号 (PrevStation)	前方请求站站号 (PrevStation)
前方请求站发车出口 (PrevExit)	签发请求站发车出口 (PrevExit)
后方应答站站号 (NextStation)	后方应答站站号 (NextStation)
后方应答站接车入口 (NextEntry)	后方应答站接车入口 (NextEntry)
请求消息时间戳 (RequestTime)	应答消息时间戳 (ResponseTime)
计划唯一标识 (Plan UniqueIndex)	进路办理结果 (RouteResult)

2) 局间车站交互消息

局间或者不同系统之间相邻车站设置红灯重复实现跨站自触功能时，通过局间接口或者系统间接口完成相邻站间交互消息的请求、应答以及回复的完整流程；局间或不同系统间相邻车站交互因受限于列车运行计划来源的差异性，采用列车车次号作为列车计划唯一标识，来确定站间交互列车车次的对应关系。具体交互消息如表 2 所示。

表2 局间车站交互消息
Tab.2 Interaction message between boundary stations

请求消息内容	应答消息内容
局代码 (BureauNo)	局代码 (BureauNo)
列车车次号 (TrainNo)	列车车次号 (TrainNo)
前方请求站站号 (PrevStation)	前方请求站站号 (PrevStation)
前方请求站发车出口 (PrevExit)	签发请求站发车出口 (PrevExit)
后方应答站站号 (NextStation)	后方应答站站号 (NextStation)
后方应答站接车入口 (NextEntry)	后方应答站接车入口 (NextEntry)
请求消息时间戳 (RequestTime)	应答消息时间戳 (ResponseTime)
车次唯一标识 (Train UniqueIndex)	进路办理结果 (RouteResult)

4 结束语

CTC 跨站自触功能可用于场联、线路所与车站间、以及区域联锁主控、被控站间等多种场景,对运输指挥有较大的指导意义,能够在调度集中区段行车指挥方面尽可能地减少调度员与值班员频繁人工干预列车进路的工作,避免了因进路人工干预不及时,或者遗漏干预导致列车进路信号不能及时开放的问题,极大提升运输作业效率。目前在武威城际南湖东站至南湖北所、庙山北所,京广高铁联络线涇口站至 L1L2 线路所已成功应用实施,对运输指挥作业起到了有力保障。

参考文献

- [1] 解峰. 高速铁路不设安全线线路所信号工程设计研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(12): 16-19, 23.
Xie Feng. Study on Signal Engineering Design for Block Post without Catch Siding in High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(12): 16-19, 23.
- [2] 梁滨. 高速铁路线路所信号安全防护方案的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(3): 11-15.
Liang Bin. Signaling-Based Safety Protection Scheme for Block Posts in High Speed Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(3): 11-15.
- [3] 陈玉平, 李乾社. 温州南线路所行车安全分析与防护方案研究[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(4): 42-47.
Chen Yuping, Li Qianshe. Safety Analysis and Protection Scheme Research of Wenzhou South Block Post[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(4): 42-47.
- [4] 中华人民共和国国家铁路局. 高速铁路设计规范: TB 10621-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [5] 胡井海, 马樱, 蔡微微. 高速铁路线路所红灯重复显示问题的分析与探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(8): 94-96.
Hu Jinghai, Ma Ying, Cai Weiwei. Analysis and Discussion on Repeated Display of Red Light in High-Speed Railway Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(8): 94-96.
- [6] 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.
- [7] 中华人民共和国国家铁路局. 列车调度指挥系统技术条件: TB/T 3580-2022[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2022.
- [8] 全宏宇. 金华南线路所信号显示方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(5): 86-88.
Quan Hongyu. Scheme of Signal Aspect and Indication for Jinhua South Block Post[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(5): 86-88.
- [9] 解峰. 商合杭铁路衔接站信号机设置的研究[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(3): 8-12.
Xie Feng. Study of Signal Setting of Joint Station on Shangqiu-Heifei-Hangzhou Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(3): 8-12.
- [10] 中国铁路总公司. 关于印发《关于调度集中场联进路办理等三个事项的细化规定》的通知: 工电函[2018]24号[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2018.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.003

车号地面识别设备在CIPS系统的应用

胡 博

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 铁路信息化、自动化、精细化管理的不断提高, 车号地面识别设备(以下简称为 AEI 设备)作为 CIPS 系统现车精确管理的一种手段, 在车站车号外勤作业中发挥重要作用。主要研究如何将 AEI 设备更加深入的应用于 CIPS 系统, 进一步发挥系统的作用, 为车站减员增效提供手段。

关键词: 车号地面识别设备; 编组站; CIPS

中图分类号: U291.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0011-04

Research on Application of AEI Equipment in CIPS System

Hu Bo

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

Abstract: With the continuous improvement of railway informatization, automation and refined management, the train number ground identification equipment (hereinafter referred to as AEI equipment), as a means of CIPS system for accurate management of vehicles in stock, has played an important role in the field operation of station train numbers. This paper mainly studies how to apply AEI equipment to CIPS system more deeply to further play the role of the system and provide means for reducing staff and increasing efficiency.

Keywords: Automatic Equipment Identification (AEI); marshalling station; CIPS

1 AEI设备简述

AEI 系统是指在车辆和机车上安装固化车号信息的电子标签, 然后在站、段的特定位置安装地面自动识别设备, 当安装了电子标签的车辆或机车通过地面自动识别设备时该车辆或机车的车号信息被自动识别出来, 车号信息通过计算机网络传至上级信息管理系统进行应用。

其设备原理如图 1 所示。

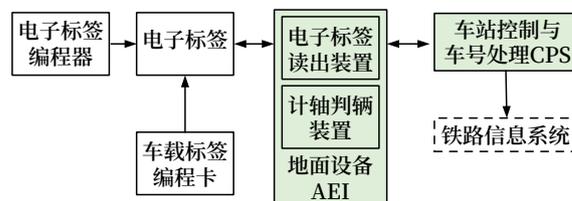


图1 设备原理

Fig.1 Equipment schematic diagram

AEI 设备扫描的信息主要包括车次、扫描时间、扫描位置、车辆或者机车信息(包括顺位、车号、车种、换长等信息)。

收稿日期: 2022-11-07; 修回日期: 2023-04-04

作者简介: 胡博(1983—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 编组站综合自动化, 邮箱: hubo@crscd.com.cn.

目前 AEI 设备广泛应用于铁路运输的各种场景，包括 5T 系统、超偏载系统、机务段进出口等，用于车辆、机车的信息识别。

本文主要基于目前铁路车站的实际需求，研究 AEI 设备在 CIPS 系统中的各种应用。

2 编组站AEI设备应用

2.1 AEI设备在接车作业的应用

对于需要在车站进行中转、改编的列车，技术站到达车号员需要进行“三核对”，也就是对于确报、货票和实际车辆进行核对，保证现车接入的准确性。

随着货票电子化的实现，所有票据信息都已经实现电子化，包括了最后实现电子化的联运票据和军用票据，因此目前到达车号可以采用票据核对的方式直接进行确报与货票信息的核对，不再需要核票。

因此铁路车站都有取消外勤车号的需求，部分车站已经将外勤车号合并到货检岗位，但是这无形中增加了货检的工作量。

CIPS 系统集成了 CTC 行车日志和确报的内容，因此可以在所有进站口安装 AEI 设备（具体是否需要新设要根据实际情况来定），系统获取扫描信息，自动进行比对，完成确报与实际车辆的核对。

为了方便用户比较清楚的知道确报与 AEI 信息的比对结果，CIPS 设计将比对结果进行分级，总共分为 4 级，等级越高表示匹配对越高，车站可以根据匹配等级指定管理办法，减少人工检车作业。

CIPS 获取到 AEI 文件后处理流程设计如图 2 所示。

其中最关键的是匹配等级的确定，其准确性直接决定了结果是否能用。系统设计如下，假设到达确报为 m 辆，车号集合为 $Q = \{cq_1, cq_2, \dots, cq_m\}$ ，车次为 $T(q)$ ；假设 AEI 扫描车辆为 n 辆，车号集合为 $A = \{ca_1, ca_2, \dots, ca_n\}$ ，车次为 $T(a)$ ，各级匹配的计算方法如式 (1) 所示。

其中 k 为设定的常数，目前 CIPS 系统设定为 0.8。

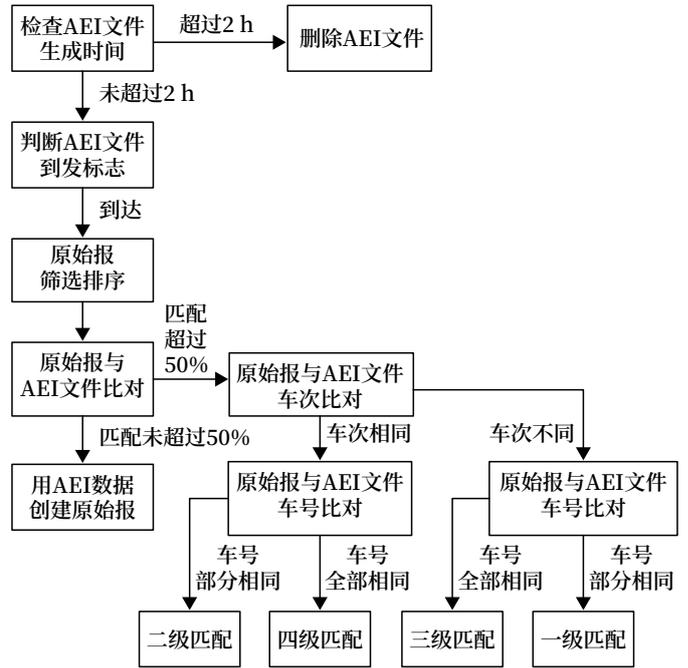


图2 处理流程

Fig.2 Processing flow chart

$$\begin{cases}
 \text{四级匹配} \begin{cases} T(q) = T(a) \\ m = n \\ cq_i = ca_i | 1 \leq i \leq m \end{cases} \\
 \text{三级匹配} \begin{cases} T(q) \neq T(a) \\ m = n \\ cq_i = ca_i | 1 \leq i \leq m \end{cases} \\
 \text{二级匹配} \begin{cases} T(q) = T(a) \\ m \neq n \\ \frac{\sum_{i=1}^m cq_i = ca_i}{m} \geq k \end{cases} \\
 \text{一级匹配} \begin{cases} T(q) \neq T(a) \\ m \neq n \\ \frac{\sum_{i=1}^m cq_i = ca_i}{m} \geq k \end{cases}
 \end{cases} \quad (1)$$

用此方案，可以直接使用 CIPS 的比对结果，大幅减少人工核对车号量，只有 AEI 设备故障或者标签污损时才需要现场检车。

2.2 AEI设备在三级场发车作业的应用

在三级场中，需要从编组场尾部通过牵出线牵出到出发场进行编组，然后形成出发车列。为了防止在调动过程中发生车辆错误，在出发车号核对时同样需要进行出发确报的核对。

系统考虑在尾部牵出线安装 AEI 设备，获取车

号扫描信息与车号进行比对。

出发列车的作业过程为先执行编组计划，然后进行室外检车，因此需要将比对的过程提前，如有问题不能等到通知货检、列检检车时才通知，而是需要提前通知。系统研究比对的对象为编组计划，即对编组计划的调动车辆与 AEI 扫描信息进行比对，完全相同时，表明执行正确，在编组计划上标识正确，否则标识错误，方便站调及时掌握执行情况。

三级场有个比较特殊的情况为多线一列的情况，此时调车机牵引车列会在牵出线区段来回拖拉，此时车列不会完全出清 AEI 设备所在区段，用中间过程数据进行比对会出现错误的结果，因此此处考虑与 CIPS 的调车自控相关联，获取当前执行钩，只有执行到牵出钩时，才使用 AEI 数据进行比对。当然，这种设计也要求 AEI 数据的及时性比较高，目前来看，AEI 信息上传的及时性能满足这个要求。

对于三级场中出发场增轴、补轴的情况，此时调车不经过牵出线，或者即使从尾部拉车进行补轴经过牵出线，其扫描的车辆也是部分车辆，无法满足比对的需要。因此此种情况无法使用编组计划进行提示。可以研究将出发正线上扫描的 AEI 与出发确报进行比对，并将结果显示在作业平台。其比对结果是列车出站后，因此有滞后性，只能作为车站及时发现问题的一个手段。

2.3 AEI设备在二级场发车作业的应用

在二级场中，编发场可以直接发车，列车编组不会经过牵出线，而是调机直接进入编发股道进行编组。

为了自动进行车号比对，需要在编发线的两端安装 AEI 设备。由于编组场头部驼峰区域信号设备密集，安装 AEI 的难度非常大，因此可以考虑在驼峰峰顶平台安装 AEI 设备，保证每一解体车列的车号准确性，系统相信解体计划执行的准确性，如果发生错钩、错道等情况，需要人工修改钩计划或者调整股道现车。

二级场中，系统无法将 AEI 扫描信息直接与编组计划进行比对，只能维持一个现场现车切面，与

CIPS 系统目前已有的实际现车切面进行对应。即通过尾部 AEI 的扫描信息、峰顶平台 AEI 的扫描信息、解体计划来生成编发线的现场现车，在将股道车辆转为编组时，系统一旦判断现场现车与实际现车不一致，进行报警提示，需要人工确认车辆。两者一致时系统可认为实际车辆准确。

在二级场中的应用中，一个主要的问题是调机单机和本务机的穿行，此时 AEI 设备同样会生成报告，并干扰股道的现场现车。同时调机牵引车辆过 AEI 设备时，也会多一个车，形成干扰，因此系统在生成现场现车时需要根据 AEI 的车辆类型将此干扰剔除。

2.4 AEI设备在无序线作业的应用

所谓无序线，是指股道内车辆没有按照实际顺序进行排列，往往是多条线路的集合。这种情况主要存在于车辆段、企业站（包含港口站、钢铁站、煤运站等）。

对于车辆段，段内有多条修车线，且段内有专用调机，而车辆段调度并不在 CIPS 系统内编制调车作业计划，因此所有车辆段的存车都存储在无序线内。虽然目前车统 23、26、33 并 36 已经实现了电子化，但是车辆段出车时，仍然是车辆段将出车信息通过 Excel 表格的方式传递给车站调度，然后出车至交接线。车站拿到 Excel 表格后，需要逐辆按照顺序从无序线挑出，然后统一移动到交接线上，这种操作既繁琐，又容易出错。

可以研究在车辆段出段口安装 AEI 设备，出来时自动扫描车辆信息，在 CIPS 中提供根据 AEI 自动挑车的功能，既快捷又能保证车辆的准确性。

对于企业站，其规模又要远大于车辆段，里面往往还有多个车站，十数台调机。AEI 在企业站的应用一方面是由于无序线挑车，另一方面还可以应用于计算车辆在企业内的周转时间和企业站线直出车辆的提前车号作业。

车辆从进入企业站开始需要计算为企业的时间，一直到从企业站出来为止，当然真正的计算还涉及到车辆的空重、类型、停车时间等级等，但这两个

时间是计算的基础数据。目前通用的做法是人工在室外固定地点抄车或者室内通过查看固定地点的摄像头来抄车辆，这两种方法都需要人工 24 h 盯控。可以研究在企业站的进口和出口处安装 AEI 设备，自动扫描车号信息，结合 CIPS 的现车信息，自动计算停留时间和停留费用。

企业站还有一种情况是线路属于企业，但是可以直接开车，定义为直出。由于企业线内的车辆由企业站内调机调动，国铁车站并不能保证线路车辆的准确性，因此需要室外检车，但是按照目前电子运统一流程，需要提前将运统一信息发送给司机，因此车站有提前核对车辆的需求。尤其是在统计收点前后，需要提前将车发出，如果等人工检车结果是来不及的。解决方案为在企业发车线的两端安装 AEI 设备，与二级场发车类似，进行现场现车与实际现车的比对，提前校核车辆，满足车辆及时发车的需求。

2.5 AEI设备在机车作业中的应用

随着本务机标签的逐步改造，目前本务机标签的准确性越来越高，已经满足现场实际使用的需求。

在技术站内部，一般都有机务段或者机务折返段，用于机车整备与维修。目前车站对于机车的使用往往是采用叫班的方式，即车站调度根据发车阶段计划提前跟机务段 / 折返段调度要机车，机车出来后段值班员通知车站值班员机车号、机车型号，车站值班员再将机车排路至指定地点。

这种操作方式主要有两个问题：一是车站对于机务段内机车总台数、各方向机车的数量不掌握，只能听段调度的，而根据统计，机车晚挂是造成列车晚点的主要因素之一；另一方面机车出段后的进路主要靠值班员人工排列进路（部分车站实现了自动排列，但是也是靠人工指定目的），对于两个单机同时发车而且是往不同方向发车时，可能发错方向，造成事故。

为了解决这两个问题，需要在机务段出入段口安装 AEI 设备，对于进出机务段的机车进行统一管理，方便车站掌握段内机车情况。同时机车出段时可以及时获取出段机车信息，再根据机务派班计划，

获知明确的目的，自动排列机车进路，减少人工对于机车源、目的的干预。值班员在整个出段过程中只是对于机车停留的线路和时机进行控制，但是最终的目的不能改变，这样保证了机车不发错方向，防止多方向错开。

3 结论与展望

文章对于 AEI 设备在 CIPS 中各种场景下的应用进行了深入研究，包含了接车、三级场发车、二级场发车、无序线作业、机车作业等，既有对已有逻辑的总结，也有对于新应用的探讨。

AEI 设备能够准确、及时的扫描机车、车辆信息，在编组站内除了这些应用，还可以应用于超偏载等其他方面。在 CIPS 系统中，还可以基于此做更加深入的研究，并严格记录车辆在站各阶段的准确时间，用于查标分析，为优化车站作业提供依据。

参考文献

- [1] 丁昆. 铁路编组站 CIPS 系统的研究 [J]. 中国铁路, 2009 (11): 27-31.
Ding Kun. Research on CIPS System of Railway Marshalling Station[J]. China Railway, 2009(11): 27-31.
- [2] 张军, 王福旺, 王驰. 车号自动识别系统在编组站的应用 [J]. 铁道车辆, 2005, 43 (12): 40-43, 54.
- [3] 刘忠东. 铁路车号自动识别系统 [J]. 铁路计算机应用, 2005, 14 (B07): 90-91.
Liu Zhongdong. Railway Automatic Train Identification System[J]. Railway Computer Application, 2005, 14(B07): 90-91.
- [4] 齐小明. 铁路车号自动识别系统 (ATIS) 的总体设计 [J]. 铁道运输与经济, 2002, 24 (2): 29-31.
Qi Xiaoming. Overall Design of Automatic Identification System of Railway Car Number (ATIS)[J]. Railway Transport and Economy, 2002, 24(2): 29-31.

(下转 43页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.004

基于TYJL-ADX型计算机联锁 模拟道岔电路的设计与优化

徐海波, 王定明

(中国铁路昆明局集团有限公司普洱职工培训基地, 昆明 650208)

摘要: 以昆明局集团有限公司综合实训基地信号设备建设为背景, 从满足现场信号工技能培训需求出发, 统筹考虑室外站场占地面积和节约资金两个重要因素, 采取“实际+模拟”的方式, 提出模拟道岔电路的设计及优化方案并进行验证。设计的电路通过联锁试验表明, 符合“故障-安全”原则, 能够有效地满足信号实训基地建设中模拟道岔电路设计的需要。

关键词: 模拟道岔电路; 接口电路; 控制电路

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0015-05

Design and Optimization of Simulated Turnout Circuit Based on TYJL-ADX Computer Interlocking

Xu Haibo, Wang Dingming

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

Abstract: In this paper, the signaling equipment setting of the comprehensive training base of China Railway Kunming Group Co., Ltd. is taken as the background, in order to meet the requirements of on-site signalman skills training, considering the two important factors of outdoor station area and saving funds, the way of "practical + simulation" is adopted, and the design and optimization scheme of the simulated turnout circuit is proposed and verified. The design circuit conforms to the "fail-safe" principle through the interlocking test, and can effectively meet the needs of simulated turnout circuit design in the construction of signal training base.

Keywords: simulated turnout circuit; interface circuit; control circuit

在综合实训基地信号专业建设中, 除需要设计建设站内信号联锁设备外, 还需建设区间、场间及不同制式的联锁设备, 以便开展普速、高铁信号工岗位实作技能培训。若实施包含各类型信号设备的

实训基地建设方案, 一是室外站场占地面积较大, 二是需要投入大量资金而造成浪费。为有效解决培训能力与建设规模的矛盾, 采取“实际+模拟”的方式予以解决, 即部分设备按照现场实际使用的设备建设, 其余设备采取模拟设备替代。很多模拟电路需根据特殊需求而设计, 这种特殊需求目前尚无标准的设计规范, 更无参考的先例, 属于典型的非

收稿日期: 2022-08-30; 修回日期: 2023-03-06

第一作者: 徐海波 (1969—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 职教管理及铁路通信信号, 邮箱: 2095591181@qq.com。

标电路。因此有必要针对这类特殊情形，提出设计方案并进行验证。

本文在分析既有道岔控制电路设计的基础上，根据建设实际需要，基于TYJL-ADX型计算机联锁，提出模拟道岔电路的设计及优化方案，进而设计出计算机联锁通用模拟道岔电路原理图，为信号实训基地建设或现场信号工准确理解道岔驱动、采集接口电路提供有益参考。

1 概述

昆明局集团有限公司综合实训基地室外站场设备由真实设备和模拟设备组成，信号站场简图如图1所示。图1中实线部分为真实站场设备，建有9号、12号和18号3种型号道岔，配设ZD6-D、ZD6-E/J和ZYJ7型道岔转辙设备。虚线部分均为模拟设备，相邻模拟站与培训站间按场间设计。采用TYJL-ADX型计算机联锁控制，室内建有ZD6-D、ZD6-E/J和ZYJ7型道岔控制电路并控制室外转辙设备，模拟站道岔全部采用模拟道岔电路实现联锁关系。为有效节约资金，室内除保留一定数量的道岔控制电路外，其余采用模拟道岔电路，以减少继电器、器材、配线及施工工作量。

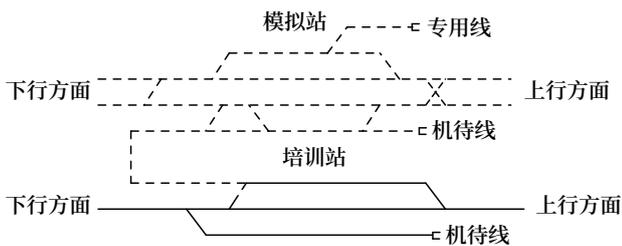


图1 实训基地信号站场简图
Fig.1 Signal station (yard) map of training base

2 计算机联锁道岔电路分析

2.1 计算机联锁道岔驱动接口电路分析

TYJL-ADX型计算机联锁，道岔单独设立接口电路和控制电路，道岔接口电路由道岔驱动接口电路和道岔采集接口电路组成，不同类型道岔转辙设备的接口电路完全相同。每组道岔驱动接口电路

各设置1个DCJ、FCJ和SFJ，在满足联锁条件下，道岔从定位操纵到反位，须驱动FCJ和SFJ励磁吸起，道岔从反位操纵到定位，须驱动DCJ和SFJ励磁吸起，经SFJ和FCJ或SFJ和DCJ吸起前接点，沟通道岔控制电路以控制道岔转换和锁闭，最终使FBJ或DBJ励磁吸起。道岔驱动接口电路如图2所示。

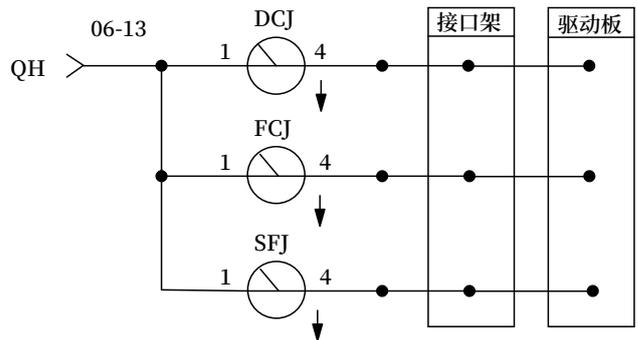


图2 道岔驱动接口电路
Fig.2 Turnout driving interface circuit

2.2 计算机联锁道岔采集电路分析

每组道岔采集接口电路各设置1个DBJ和FBJ，当DBJ吸起，表示室外道岔位置在定位，通过DBJ21-22接点采集道岔定位信息送给联锁机参与联锁运算，控制台道岔编号显示绿色。当FBJ吸起，表示室外道岔位置在反位，通过FBJ21-22接点采集道岔反位信息送给联锁机参与联锁运算，控制台道岔编号显示黄色。当道岔在转换过程中，由于DBJ和FBJ均落下，道岔采集接口电路通过采集DBJ第1组后接点和FBJ第1组后接点给出道岔“四开”位置表示或者道岔故障报警，控制台道岔编号显示红色。道岔采集接口电路如图3所示。

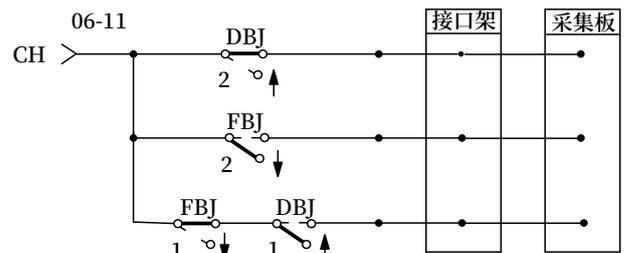


图3 道岔采集接口电路
Fig.3 Turnout acquisition interface circuit

2.3 计算机联锁道岔动作基本流程

计算机联锁控制道岔操纵转换的过程由联锁机、道岔接口电路和道岔控制电路完成，可以分为驱动阶段、道岔控制转换阶段和采集阶段，如图4所示。驱动阶段由联锁机及道岔驱动接口电路完成，实现

联锁条件检查及道岔操纵指令的下达。道岔控制转换阶段由道岔启动电路控制转辙设备完成，实现道岔定反位间转换和锁闭。采集阶段由联锁机及道岔采集接口电路完成，实现道岔位置信息的采集。

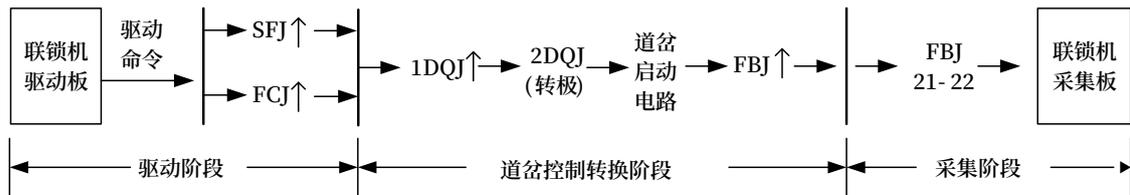


图4 道岔操纵转换过程示意 (定位转反位)

Fig.4 Schematic diagram of turnout operating process (normal to reverse)

2.4 常用计算机联锁模拟道岔电路

常用计算机模拟道岔电路通常采取保留室内电路、取消室外道岔及转辙设备，在分线盘加装二极管通道岔位置表示的方式实现。该方式仅仅减少室外转辙设备和电缆线路，但可以有效开展室内道岔电路技能培训。为最大限度节约资金，在保留一定数量模拟道岔电路的基础上，需对室内模拟道岔电路进一步简化设计。

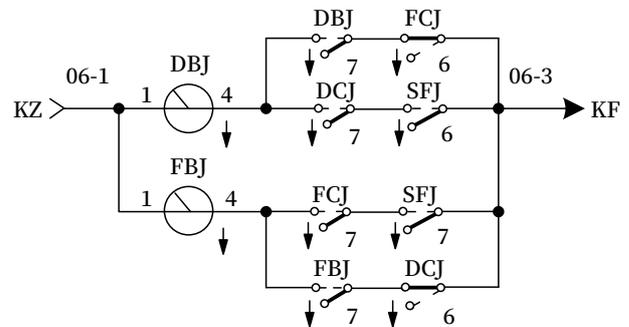


图5 模拟道岔电路原理

Fig.5 Schematic diagram of simulated turnout circuit

3 室内模拟道岔电路的设计

由上述道岔操纵转换过程示意图分析可知，联锁机通过接口电路完成道岔操纵转换的开始和结尾工作，且道岔在参与联锁关系时仅检查道岔位置表示符合要求。因此，设计省去道岔控制电路部分设备、器材及配线的模拟电路设计方案如下。

保留道岔接口电路中DCJ、FCJ、SFJ、DBJ和FBJ。当排列进路或单独操纵道岔转换时，联锁机控制道岔驱动板输出驱动命令，由驱动接口电路使FCJ和SFJ或者DCJ和SFJ励磁吸起，经驱动吸起继电器的前接点沟通励磁电路使FBJ或DBJ励磁吸起，道岔采集接口电路采集DBJ、FBJ接点给出道岔定、反位表示或故障报警。综上所述，设计出的模拟道岔电路如图5所示。

模拟道岔电路逻辑设计验证：如操纵道岔定位至反位，联锁机驱动FCJ和SFJ励磁吸起，经FCJ

和SFJ前接点沟通FBJ励磁电路，使FBJ励磁吸起，FBJ励磁电路为：KZ-06-1-FBJ₁₋₄线圈-FCJ₇₂₋₇₁-SFJ₇₂₋₇₁-06-3-KF。通过FCJ第6组前接点断开DBJ自闭电路使DBJ落下，通过道岔采集接口电路断开道岔定位表示。经DCJ第6组后接点、FBJ第7组前接点沟通FBJ自闭电路，FBJ自闭电路为：KZ-06-1-FBJ₁₋₄线圈-FBJ₇₂₋₇₁-DCJ₆₃₋₆₁-06-3-KF，完成模拟道岔从定位转换到反位并给出表示。如反位操纵至定位，联锁机驱动DCJ和SFJ励磁吸起，通过DCJ和SFJ前接点沟通DBJ励磁电路，使DBJ励磁吸起，DBJ励磁电路为：KZ-06-1-DBJ₁₋₄线圈-DCJ₇₂₋₇₁-SFJ₆₂₋₆₁-06-3-KF。经DCJ第6组前接点断开FBJ自闭电路使FBJ落下，通过道岔采集接口电路断开道岔反位表示。经FCJ第6组后接点、DBJ第7组前接点沟通DBJ自闭电路，DBJ自闭电路为：KZ-06-1-DBJ₁₋₄线圈-DBJ₇₂₋₇₁-FCJ₆₃₋₆₁-06-3-KF，完成模拟道

岔从定位转换到反位并给出表示。

对以上模拟道岔原理图 2 种情况逐一分析验证可知，该电路不但能满足联锁关系，而且能大大减少道岔组合中继电器、器材、配线及施工工作量，特别在双机牵引或高速道岔多机牵引中节约效果尤为突出。同时能够符合铁路信号的故障 - 安全原则，满足模拟站站场建设需要，实现了模拟道岔与实际联锁道岔一致的效果。联锁试验中发现，设备开机时，模拟道岔没有道岔位置表示，需要采取排列进路或单独操纵道岔转换后才能有位置表示。在操纵道岔过程中，定 / 反位转换时间较短，不能很好观察到转换过程的“四开”位置表示。

4 室内模拟道岔电路优化设计

以上设计的模拟道岔电路保留了道岔接口电路中 5 个继电器，通过分析还可以进一步优化设计。模拟道岔电路优化设计方案是：在模拟道岔电路的基础上再略去 SFJ 和配线，仅保留 DCJ 或 FCJ 的驱动条件，通过驱动 DCJ 吸起使 DBJ 励磁吸起，通过驱动 FCJ 吸起使 FBJ 励磁吸起，经 DCJ、FCJ、DBJ、FBJ 接点分别接通 DBJ、FBJ 自闭电路。综上所述，优化设计出的模拟道岔电路如图 6 所示。

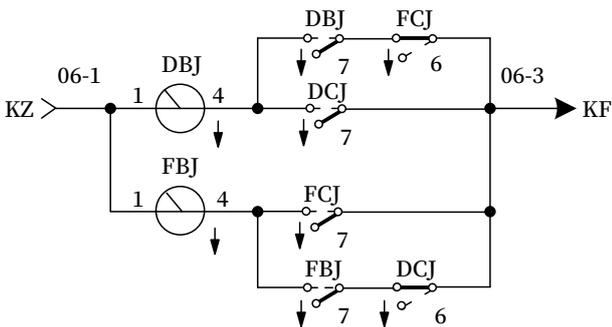


图6 优化模拟道岔电路原理

Fig.6 Optimized schematic diagram of simulated turnout circuit

优化模拟道岔电路逻辑设计验证：如反位操纵至定位，联锁机驱动板驱动 DCJ 励磁吸起，经 DCJ 第 7 组前接点沟通 DBJ 励磁电路，DBJ 励磁吸起，DBJ 励磁电路为：KZ-06-1-DBJ_{1-4 线圈}-DCJ₇₂₋₇₁-06-3-KF。

经 DCJ 第 6 组前接点断开 FBJ 自闭电路使 FBJ 落下，通过道岔采集接口电路断开道岔反位表示。经 FCJ 第 6 组后接点、DBJ 第 7 组前接点沟通 DBJ 自闭电路，DBJ 自闭电路为：KZ-06-1-DBJ_{1-4 线圈}-DBJ₇₂₋₇₁-FCJ₆₃₋₆₁-06-3-KF，完成模拟道岔从反位转换到定位并给出表示。如定位操纵至反位，联锁机驱动板驱动 FCJ 励磁吸起，经 FCJ 第 7 组前接点沟通 FBJ 励磁电路，FBJ 励磁吸起，FBJ 励磁电路为：KZ-06-1-FBJ_{1-4 线圈}-FCJ₇₂₋₇₁-06-3-KF。经 FCJ 第 6 组前接点断开 DBJ 自闭电路使 DBJ 落下，通过道岔采集接口电路断开道岔定位表示。经 DCJ 第 6 组后接点、FBJ 第 7 组前接点沟通 FBJ 自闭电路，FBJ 自闭电路为：KZ-06-1-FBJ_{1-4 线圈}-FBJ₇₂₋₇₁-DCJ₆₃₋₆₁-06-3-KF，完成模拟道岔从定位转换到反位并给出表示。

优化后的模拟道岔电路既能最大限度减少道岔组合中继电器、器材、配线及施工工作量，又能较好实现联锁关系，满足实际建设需要。在联锁试验过程中发现，优化后的模拟道岔电路除存在与优化前的模拟道岔电路相同问题以外，还发现联锁机驱动板无需驱动 SFJ，也能实现联锁关系道岔位置检查条件，在电务维修机驱动信息表中不能观察到驱动命令时亮灯状态。

5 计算机联锁通用模拟道岔电路设计

经查阅 EI32-JD 型计算机联锁、iLOCK 型计算机联锁、DS6-K5B 型计算机联锁道岔接口电路可知，EI32-JD 型计算机联锁和 iLOCK 型计算机联锁道岔驱动接口电路均设置有 DCJ、FCJ、锁闭继电器 (SJ)，DS6-K5B 型计算机联锁道岔驱动接口电路设置 DCJ、FCJ、允许操纵继电器 (YCJ)。几种类型的计算机联锁中 DCJ、FCJ、SJ 或 YCJ 均由联锁机输出驱动命令控制，且 SJ 或 YCJ 在道岔驱动接口电路中与 TYJL-ADX 型计算机联锁中 SFJ 作用相同。为设计通用模拟道岔电路，在上述模拟道岔电路的基础上，如图 5 所示，把 DBJ 和 FBJ 励磁电路中检查的 SFJ 对应联锁类型更换为 SJ 或 YCJ 驱动吸起条件，设计出计算机联锁通用模拟道岔电路

如图 7 所示。如果不保留对应联锁类型中的 SJ 或 YCJ 驱动吸起条件，可以直接选用优化后模拟道岔电路如图 6 所示。

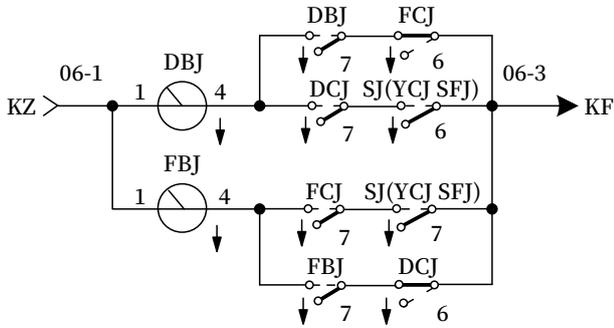


图7 计算机通用联锁模拟道岔电路原理

Fig.7 Schematic diagram of computer based interlocking common simulated turnout circuit

6 结束语

模拟道岔电路已经在基地建设中投入使用，使用效果良好，实现了模拟站开展联锁试验教学功能，减少相同道岔电路重复建设以节约资金，经与联锁厂家对接确认，能满足模拟站联锁条件并通过联锁试验验证，但是，对标准电路进行修改需非常小心慎重。本文设计及优化的模拟道岔电路及方法，仅为设计人员或基地建设中遇到类似情形时提供一定的参考。

参考文献

[1] 徐兴平. ZD6-E/J/J 型直流三机牵引道岔控制电路的改进 [J]. 科技资讯, 2019, 17 (28): 19-20.
 Xu Xingping. Improvement of Control Circuit of ZD6-E/J/J DC Three-Machine Traction Turnout[J]. Science & Technology Information, 2019, 17(28):

19-20.
 [2] 岳丽丽, 王耀东. 一种新型计算机联锁道岔控制模块方案研究 [J]. 铁路计算机应用, 2018, 27 (10): 22-25.
 Yue Lili, Wang Yaodong. New Type of Computer Interlocking Switch Control Module[J]. Railway Computer Application, 2018, 27(10): 22-25.
 [3] 梁志勇. 全电子化计算机联锁系统设计方案 [J]. 铁路计算机应用, 2014, 23 (1): 53-54.
 Liang Zhiyong. Design of all Electronic Computer Interlocking System[J]. Railway Computer Application, 2014, 23(1): 53-54.
 [4] 于勇. ZYJ7 型电液转辙机道岔控制电路的故障分析与处理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14 (2): 89-92.
 Yu Yong. Fault Analysis and Treatment of Switch Control Circuit of ZYJ7 Electrohydraulic Switch Machine[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(2): 89-92.
 [5] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
 [6] 袁成华. 铁路信号设备故障分析与处理 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
 [7] 于腾龙, 任裕. DS6-K5B 型计算机联锁现场布线工艺设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (6): 109-113.
 Yu Tenglong, Renyu. Design of Field Wiring Process of DS6-K5B Computer Interlocking[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 109-113.

广告索引

公益广告
 焦作铁路电缆有限责任公司
 卡斯柯信号有限公司

封面
 封三
 封底

长大干线高速磁浮无线通信系统 工程方案研究

谢联莲, 虞 凯, 刘孜学, 王梓丞

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 针对时速 600 km 长大干线高速磁浮的运营特点及其对无线通信的需求, 提出“38 GHz 毫米波 + 数字移动无线通讯 (Digital Mobile Radio, DMR)”的无线通信系统工程方案。采用 38 GHz 毫米波实现磁浮列车定位数据等实时安全数据的承载; 采用 DMR 实现调度、客运和运维等语音通信; 并且根据系统业务需求, 38 GHz 毫米波也可承载车载乘客信息系统、车载视频等大带宽业务。该方案既满足牵引供电及运控系统业务对实时性和可靠性的要求, 又能在尽可能节省投资和考虑产业支撑的情况下, 满足长大干线运营所需的调度、客运等语音通信需求。

关键词: 长大干线高速磁浮; 无线通信; 38 GHz 毫米波; DMR

中图分类号: U285.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0020-06

Research on Engineering Scheme of Radio Communication System for Long Main Line With High Speed Maglev

Xie Lianlian, Yukai, Liu Zixue, Wang Zicheng

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

Abstract: According to the operation characteristics of high speed maglev of 600 km/h long main line and its demand for radio communication, an engineering scheme of "38 GHz millimeter wave plus DMR" radio communication system is proposed. 38 GHz millimeter wave is used to carry real-time safety data such as maglev train positioning data; DMR is used to realize voice communication for dispatching, passenger transport, operation and maintenance. According to the system business requirements, 38 GHz millimeter wave can also carry high-bandwidth services such as on-board PIS and on-board video. This scheme not only meets the real-time and reliability requirements of traction power supply and operation control system business, but also meets the voice communication requirements of dispatching and passenger transport required by the operation of long main lines while saving investment as much as possible and considering industrial support.

Keywords: high speed maglev for long main lines; radio communication; 38 GHz millimeter wave; Digital Mobile Radio (DMR)

收稿日期: 2022-11-14; 修回日期: 2023-04-10

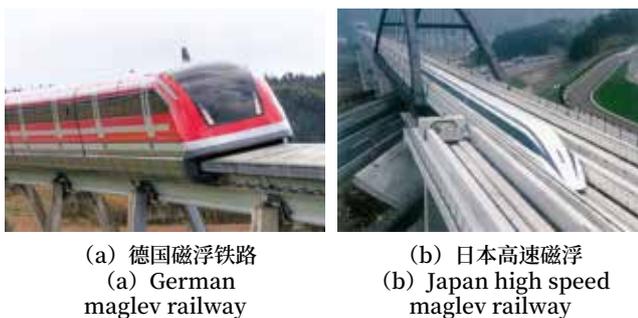
基金项目: 四川省科技计划重点研发项目 (2022YFG0085)

第一作者: 谢联莲 (1992—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 通信工程, 邮箱: xielianlian123@qq.com.

1 高速磁浮发展现状

近年来国内经济高速发展，轮轨交通已无法满足人们对地面交通速度的需求，航空与高铁客运之间速度断档，高速磁浮成为提升地面交通旅行速度的重要研究对象，是长大干线高速轨道交通的重要发展方向。

磁浮起源于德国，1970年以后随着德国工业化的发展，TR系列高速磁浮交通技术已发展成熟，列车最高运行速度接近550 km/h。同时，日本、美国等也开展了磁浮研究，日本高速磁浮运行试验速度达到552 km/h，美国主要针对低真空磁浮管道进行研究。国外磁浮铁路示例如图1所示。



(a) 德国磁浮铁路
(a) German maglev railway

(b) 日本高速磁浮
(b) Japan high speed maglev railway

图1 国外磁浮铁路示例
Fig.1 Examples of foreign maglev railway

国内高速磁浮起步较晚，但在国家高度重视的情况下，近年快速发展。2002年，全引进德国技术的上海磁浮正式运营，最高运营时速达430 km。2019年，中车四方牵头研制的时速600 km高速磁浮列车样车正式下线，解决了超高速工况下车体轻量化、强度、刚度、噪声等系列难题^[1]；同年中车株洲电机公司发布了时速600 km高速磁浮列车牵引动力装备^[2]，该套牵引动力装备将为中车四方的高速磁浮列车提供核心动力，时速600 km高速磁浮列车的正式运行已理论可行^[3]。随着高速磁浮交通关键装备的逐渐成型^[4]，时速600 km高速磁浮的工程应用即将进入现实。青岛高速磁浮列车如图2所示。

2 时速600 km长大干线高速磁浮交通运营特点

时速600 km长大干线高速磁浮在运营方面有别于铁路、地铁以及上海磁浮，其特点如下：



图2 青岛高速磁浮列车
Fig.2 Qingdao high speed maglev

1) 列车运行速度为600 km/h，远超高铁及上海磁浮运行速度；

2) 列车运行主要由牵引供电和运控系统控制，与高铁、地铁的控制原理和运行机制不同。牵引供电系统在运行控制系统的指令下根据车辆的速度、位置信号，控制列车所在定子段的供电，将电信号转换为列车运行所需的牵引力或制动力，驱动列车按照目标运行。牵引系统根据列车定位控制对应的定子段，因此牵引供电系统对定位数据要求极高，要求业务端到端时延 ≤ 5 ms；

3) 运营线路为长大干线，沿线穿越山林河谷，不同于上海磁浮的全市区线路。

基于以上特点，时速600 km长大干线高速磁浮的运营要求和业务要求不同于铁路、地铁和上海磁浮，主要业务特点如下。

1) 无线通信系统首要任务是保证牵引供电和运控系统对无线业务的承载要求，其中牵引供电系统对列车定位数据业务要求端到端时延 ≤ 5 ms；

2) 无线通信系统要满足调度语音及沿线客运、维护、公安、抢修等语音信息的承载；

3) 在带宽允许的情况下，满足车载乘客信息系统(PIS)、车载视频等宽带数据的承载。

3 高速磁浮无线业务分析

3.1 车-地无线通信业务

根据时速600 km长大干线高速磁浮业务特点，

无线通信业务可分为实时安全数据、语音数据、非安全数据等 3 大类：实时安全数据如牵引供电系统的列车定位数据；语音信息如调度语音、沿线客运、公安等语音信息；非安全数据如列车诊断信息、车载视频、车载 PIS 等信息。

3.2 业务需求分析

根据高速磁浮运营需求，无线通信业务需求如下。

- 1) 牵引供电系统的列车定位数据业务为必需业务，且必须满足时延要求；
- 2) 运控系统业务是保证列车安全运行的业务，为必需业务；
- 3) 调度语音及客运、维护、抢修等语音是保证列车运营的重要通信内容，是必需业务；
- 4) 列车诊断信息、车载 PIS、车载视频等可以提高高速磁浮的运营管理水平，是可选业务。

业务承载及带宽需求如表 1 所示。目前时速 600 km 高速磁浮尚处于研究阶段，业务的带宽及时延为暂定要求。

表1 高速磁浮无线通信承载业务

Tab.1 Radio communication bearer services for high speed maglev

类别	业务类型	具体业务	时延 (暂定)	带宽 (暂定) / (bit/s)	必要性
1	实时安全数据	牵引供电系统：列车定位数据等	≤ 5 ms, 时延抖动 < 10 μs	512 k	必需
2	信息	运控系统	≤ 100 ms	1 M	必需
3		调度通信	≤ 150 ms	128 k	必需
4	语音信息	其他语音：沿线客运、维护、公安、抢修、救援等	≤ 150 ms	128 k	必需
5	非安全数据	列车诊断信息	≤ 300 ms	258 k	可选
6	信息	车载视频	≤ 300 ms	≥ 4 M	可选
7		车载 PIS	≤ 300 ms	≥ 8 M	可选

4 高速磁浮新型无线通信系统技术方案

4.1 无线通信技术对比

时速 600 km 高速磁浮无线通信系统可选用的无线通信技术有铁路数字移动通信系统 (GSM-R)、陆上集群无线电 (TETRA)、DMR、38 GHz 毫米

波、长期演进技术 (LTE)、无线局域网 (WLAN)、第五代移动通信技术 (5G) 等^[5]。

GSM-R 是铁路专用数字移动通信系统^[6]，可承载列车无线调度、铁路区间移动通信等语音，同时还能实现车次号、列控信息等数据传输。

TETRA 是基于时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA) 的无线通信技术，可提供综合话音及数据通信。目前 TETRA 已在国内外轨道交通工程中广泛用于承载调度语音。

DMR 是近年在数字无线通信技术领域中形成的一项新型技术，被广泛应用于各行各业无线对讲领域^[7]。DMR 相对于 TETRA、LTE 等技术，造价低廉，是一种可用于语音专网通信的经济适用型无线通信技术。

38 GHz 毫米波采用 38 GHz 频段及 TDMA 协议，是专为高速磁浮开发的无线通信系统，用于传输车辆与地面之间的运行控制、牵引控制等数据。38 GHz 毫米波为宽带系统，可提供 16 ~ 100 MHz 的带宽^[8]，但未考虑语音业务的实现，未有手持终端等相关产品，无法承载语音信息。

LTE 具有带宽灵活、数据速率高、抗干扰性能强等优点，其规范所支持的移动台最大速度为 350 km/h。城市轨道交通广泛采用 LTE 承载列车控制 (CBTC)、PIS、语音等业务，在轨道交通中实测平均传输时延在 11 ms 左右^[9]。

WLAN 目前主要应用于城市轨道交通车-地通信，承载 CBTC、PIS 等业务。但 WLAN 不是为高移动场景而设计，高速磁浮列车的高移动性使多普勒频移显著提升，误码率会急剧增加。

5G 现有的导频结构支持 500 km/h 的最高移动速度，若需要适应高速磁浮 600 km/h 的高速移动性，需进一步设计导频结构并配置更大的子载波间隔以抵抗极大多普勒频移，保证通信系统的稳定性。

4.2 时速 600 km 长大干线高速磁浮新型无线通信技术体制

4.2.1 业务承载方案

根据对现有无线通信技术的分析，结合高速磁

浮的业务需求, 提出承载方案。

1) 实时安全数据

实时安全数据包括牵引供电和运控数据, 可选的无线通信技术有 38 GHz 毫米波、LTE、WLAN 和 5G。

a. 38 GHz 毫米波满足牵引供电定位数据 5 ms 的时延要求, 在上海高速磁浮最高时速 430 km 的运营环境下得到了长期验证, 其可用性和可靠性均有一定保证^[10], 且 38 GHz 毫米波支持的最高运行速度可达 1 200 km/h, 满足时速 600 km 高速磁浮的运行要求。

b. LTE 的时延在 10 ms 左右, 无法满足牵引供电定位数据 5 ms 的要求, 且 LTE 规范支持的最高运行速度为 350 km/h, 无法满足时速 600 km 高速磁浮的速度要求。

c. WLAN 越区切换时间在 500 ms ~ 2 s 之间, 在切换时间内, 磁浮列车可能驶出当前无线接入点 (Access Point, AP) 的覆盖范围, 导致车载天线单元与 AP 连接中断, 无法满足无线通信系统的高可靠性需求。

d. 5G 与 LTE 类似, 时延无法满足牵引供电定位数据 5 ms 的要求。

2) 语音业务

语音包括调度语音和沿线客运、公安等其他语音。目前可承载语音的无线通信技术均无法适配 600 km/h 的运行速度, 因此考虑在列车进/出站及紧急停车等低速情况下保证其语音通信, 由于无法满足全过程语音通信但需满足低速情况下语音通信, 因此用以承载语音的系统应安全可靠且经济适用。语音可选的无线通信技术包括 GSM-R、TETRA、DMR、LTE、WLAN 和 5G。

a. GSM-R 为铁路专用系统, 高速磁浮无法使用。

b. LTE、WLAN、5G 为宽带技术, 可承载语音, 但相比于窄带技术, 工程造价高。

c. TETRA、DMR 为窄带技术, 在轨道交通中广泛用于承载语音。但 TETRA 的造价比 DMR 高, 因此 DMR 更适合时速 600 km 高速磁浮的语

音承载。

3) 非安全数据

非安全数据包括列车诊断信息以及车载视频、车载 PIS 等宽带数据, 根据其时延和安全性的要求, 38 GHz 毫米波、LTE、WLAN、5G 均可承载宽带业务。综合考虑系统性能、工程投资和实施复杂性, 建议采用 38 GHz 毫米波实现宽带数据的综合承载, 但需研究 38 GHz 毫米波系统与各业务系统的接口技术。

各业务的承载方案如表 2 所示。

表2 38 GHz毫米波和DMR承载业务

Tab.2 38 GHz millimeter wave and DMR bearer service

类别	业务类型	具体业务	必要性	选用技术
1	实时安全数据信息	牵引供电系统: 列车定位数据等	必需	38 GHz 毫米波
2		运控系统	必需	
3		调度通信	必需	
4	语音信息	其他语音: 沿线客运、维护、公安、抢修、救援等	必需	DMR
5	非安全数据信息	列车诊断信息	可选	38 GHz 毫米波
6		车载视频	可选	
7		车载 PIS	可选	

4.2.2 时速600 km长大干线高速磁浮新型无线通信技术体制

基于时速 600 km 长大干线高速磁浮的业务需求和无线通信技术发展, 本文提出新型无线通信系统, 即“38 GHz 毫米波+DMR”的无线通信方案: 38 GHz 毫米波承载牵引供电、运控等涉及行车安全的数据, 后续根据其技术发展, 实现对车载 PIS、车载视频等宽带数据的传输; DMR 系统在列车紧急停车及降速进站时, 承载调度语音及沿线客运、公安、救援等语音信息。

4.3 无线通信系统架构

时速 600 km 长大干线高速磁浮无线通信系统架构如图 3 所示。

高速磁浮新型无线通信系统由中心设备、分区站设备、38 GHz 毫米波无线通信网络、DMR 无线

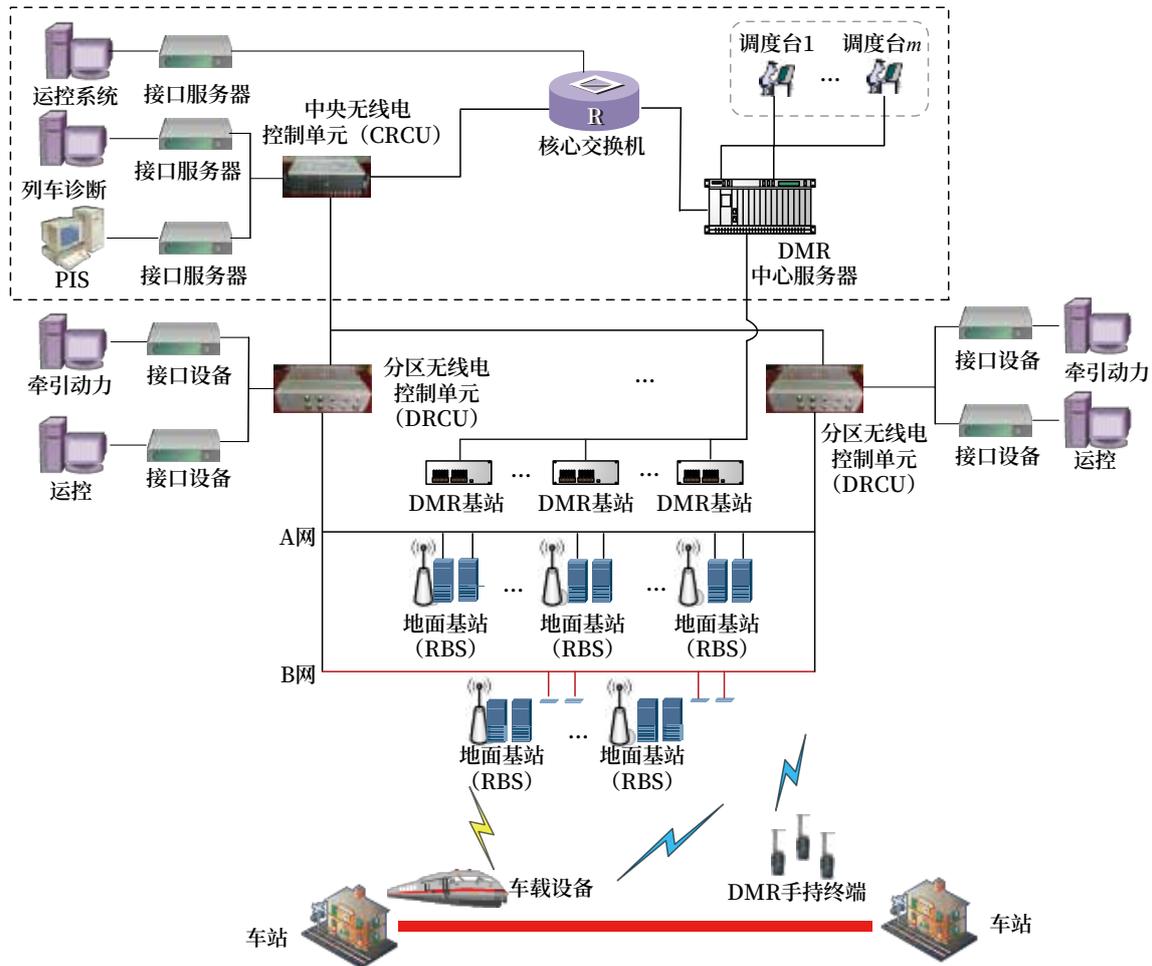


图3 无线通信系统架构
Fig.3 Radio communication system architecture

通信网络和终端组成。

1) 中心设备位于线路控制中心，由 38 GHz 毫米波中央无线电控制单元（CRCU）、DMR 中心服务器、存储设备、接口服务器、网管等设备组成；CRCU 负责管理全线分区无线电单元；DMR 中心服务器负责管理 DMR 无线通信网络；接口服务器实现与运控、PIS 等系统的互联。

2) 分区站设备为 38 GHz 毫米波分区无线电控制单元（DRCU），DRCU 与该分区内 A、B 网的所有基站相连，控制分区内无线电基站连接。通信分区的划分与运控分区一致，分区站设备与运控分区设备同址建设。

3) 线路沿线、车辆基地及站房布设无线通信网络，包括 38 GHz 毫米波地面基站和 DMR 基站。

毫米波地面基站由天线、基站收发器、基站控制器等组成，工作频率为 37.1 ~ 38.5 GHz。基站按 A、B 双网交叉方式布设，在开阔平坦区间，A、B 网基站按 1.5 km 间距设置，采用天线覆盖；在坡度较大区段，按 1 km 间距设置；在隧道区段暂采用天线覆盖，并根据隧道情况增设基站，后续进一步研究漏缆覆盖方式。DMR 基站布设在沿线车站和车辆基地，开阔区间采用光纤直放站结合天线覆盖，按 5 ~ 8 km 间距设置；隧道区段采用光纤直放站结合漏缆覆盖，按 3 km 间距设置。DMR 站址考虑与 38 GHz 毫米波站址合设。

4) 终端由调度台、车载终端、手持终端等组成：调度台实现 DMR 系统调度；车载终端包括 38 GHz 毫米波车载设备和 DMR 车载终端，实现

接入 38 GHz 毫米波和 DMR 无线通信网络；手持终端为 DMR 终端。后续根据技术发展，将 38 GHz 毫米波和 DMR 系统融合，实现车载设备、调度设备等的共用。

5 总结

本文结合时速 600 km 长大干线高速磁浮运营特点及对无线通信的需求，通过对现有无线通信技术体制的比选，提出“38 GHz 毫米波+DMR”的高速磁浮无线通信系统工程方案，实现牵引供电定位数据、运控、调度语音等业务综合承载。该方案技术成熟，可快速部署于工程项目中。其中 38 GHz 毫米波技术已在上海磁浮中得到应用，证明可满足牵引供电和运控业务对无线通信传输实时性和可靠性的要求；DMR 技术产业链成熟，在铁路、公安等专网系统中得到广泛运用，并且工程造价低。下一步将结合具体项目的实施，进一步研究 38 GHz 毫米波和 DMR 技术之间的融合互通。

参考文献

- [1] 董力群, 常杰, 刘然, 等. 高速磁浮车辆工程化制造技术研究 [J]. 机车车辆工艺, 2020 (4): 1-4.
Dong Liqun, Chang Jie, Liu Ran, et al. Research of Engineered Manufacturing Techniques for High Speed Mag-Lev Vehicles[J]. Locomotive & Rolling Stock Technology, 2020(4): 1-4.
- [2] 石煜, 袁贤珍, 熊异. 高速磁浮列车长定子直线同步电机参数计算 [J]. 防爆电机, 2022, 57 (4): 29-34.
Shi Yu, Yuan Xianzhen, Xiong Yi. Parameter Calculation of High-Speed Maglev Train Long Stator Linear Synchronous Motor[J]. Explosion-Proof Electric Machine, 2022, 57(4): 29-34.
- [3] 邱泽宇, 邓志翔, 刘新平. 时速 600 km 高速磁浮列车运行控制系统协同控制方案 [J]. 铁路计算机应用, 2022, 31 (1): 75-80.
Qiu Zeyu, Deng Zhixiang, Liu Xinping. Cooperative Control Scheme for Operation Control System of 600 km/h High Speed Maglev Train[J]. Railway Computer Application, 2022, 31(1): 75-80.
- [4] 侯圣杰, 刘先恺, 汤凯谊, 等. 高速磁浮交通环境与灾害监测预警系统方案研究 [J]. 高速铁路技术, 2022, 13 (1): 7-11, 38.
Hou Shengjie, Liu Xiankai, Tang Kaiyi, et al. Study on Plan of High-Speed Maglev Traffic Environment and Disaster Monitoring and Early Warning System[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1): 7-11, 38.
- [5] 田恺, 晏锐, 万鹏. 高速磁浮无线通信技术研究现状及发展 [J]. 机车电传动, 2020 (6): 25-29.
Tian Kai, Yan Rui, Wan Peng. Research Status and Development of High-Speed Maglev Wireless Communication Technology[J]. Electric Drive for Locomotives, 2020(6): 25-29.
- [6] 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.
- [7] 韦道准, 谢联莲, 虞凯. 基于控制组切换的 DMR 统一调度方法研究 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (9): 70-73.
Wei Daozhun, Xie Lianlian, Yu Kai. Research on Unified Scheduling Method of DMR Based on Control Group Switching[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(9): 70-73.
- [8] 刘畅, 蒋志勇. 低真空管道超高速磁悬浮铁路车地无线通信系统的需求及现状调研 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (1): 32-36.
Liu Chang, Jiang Zhiyong. Investigation of Requirements and Current Situation of Train-Ground Wireless Communication System in

(下转 49页)

铁路综合视频监控系统与BIM融合应用研究

赵 耀, 李珉璇, 柴天娇

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 研究铁路综合视频监控系统与 BIM 融合应用方法, 以提升系统的用户交互、数据应用能力。分析 BIM 在构建三维虚拟空间、关联监控场景数据的优势, 通过构建 BIM 融合应用功能模块的方式实现系统融合, 利用视频接口、BIM 预处理、数据共享等完成数据交互, 经过三维虚拟空间构建、摄像机范围虚拟、监控对象数据关联进行数据融合, 支撑实现监控能力仿真、对象关联调用、数据叠加显示等应用功能, 并提供三维可视化及增强现实交互能力。通过将铁路综合视频监控系统与 BIM 融合应用形成数字孪生体系, 有助于提升铁路泛在感知能力, 在智能高铁中具备广泛的应用前景。

关键词: 铁路; 视频监控; 建筑信息模型; 智能视频分析; 数字孪生

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0026-05

Research on Integration of Railway Integrated Video Monitoring System and BIM

Zhao Yao, Li Minxuan, Chai Tianjiao

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: This paper researches on the integration method of railway integrated video monitoring system and BIM to improve the user interaction and data application capability. The advantages of applying BIM to build 3D virtual space and associate the monitoring scene data are analyzed, the system integration is realized by building the BIM integration application function module, the data interaction is completed by using the video interface, BIM preprocessing and data sharing, and data integration is performed through 3D virtual space construction, camera range virtualization, and monitoring object data association, to support the realization of monitoring capability simulation, object association call, data overlay display and other application functions, and provide 3D visualization and augmented reality interaction capabilities. By integrating the railway integrated video monitoring system and BIM to form a digital twin system, it will help improve the railway ubiquitous perception ability and have a broad application prospect in the construction of intelligent high-speed railway.

Keywords: railway; video monitoring; BIM; intelligent video analysis; digital twin

收稿日期: 2023-02-06; 修回日期: 2023-06-15

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2022YFC3005201); 中国铁路设计集团有限公司科技开发课题资助项目(2022A02512001)

发明专利: 2022 年国家发明专利(ZL202010429580.1)

第一作者: 赵耀(1985—), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向: 铁路通信信息技术, 邮箱: zhaoyao@crdc.com。

1 概述

作为智能高铁泛在感知的重要手段，综合视频监控系统在铁路各专业生产组织、运输服务、作业监控、应急智慧、安全防范方面发挥了重要作用。随着 H.265 编码、云计算、云存储等先进技术在视频监控领域的融合应用，铁路综合视频监控系统呈现出一体化趋势，即纳入各专业多类专用视频，集中设置接入节点^[1-3]。目前，系统已实现铁路多场景覆盖^[4]，供各专业人员调看监控画面，然而，海量摄像机与铁路场景之间逻辑关联薄弱，开发智能综合性应用的难度较大。

建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）作为智能铁路融合的重要新技术，在全生命周期管理、全专业协同及综合应用等方面起到重要作用^[5]。BIM 模型中不仅包含了铁路各专业的几何信息，而且含有丰富的非几何信息，涵盖了基础设施、设备的关键参数，是集成铁路工程实体全生命周期内有效信息，是实现铁路数字孪生应用的数字化基础^[6]。目前，铁路 BIM 模型深度包含铁路综合视频监控系统自身及其监控对象的有效信息，具备挖掘海量摄像机与铁路场景之间逻辑联系的基础。

融合 BIM 技术，发挥其三维可视、数据丰富的优势，有助于为铁路综合视频监控系统提供友好人机交互能力，并为系统在各类铁路业务^[7-8]实现智能化、综合性应用奠定数字化基础，符合中国智能高速铁路 2.0 基于 BIM 平台构建铁路数字孪生应用的方向。

2 BIM技术的融合优势

以 BIM 作为数字底座，与铁路综合视频监控系统相融合，具备以下优势。

1) 构建三维虚拟空间

基于 BIM 几何信息可以构建包含视频监控系统及周边环境在内的三维虚拟空间，并基于此实现三维可视及部分应用。

在三维界面中展示摄像机，便于用户理解摄像

机拍摄视频画面与周边环境的关系，有助于用户进一步理解视频画面中各类物体的位置关系，为铁路各专业用户提供清晰、友好的人机交互界面。

在三维空间中分析摄像机监控范围，便于在设计阶段分析场景内存在的监控盲区，对摄像机是否满足各类视频智能分析功能清晰度的条件进行校核等。

2) 关联监控场景数据

基于 BIM 涵盖铁路工程的丰富数据，可以将视频监控系统的监控对象数字化，并基于数字化基础开发跨专业的综合性智能化应用。

构建摄像机与其监控范围内对象的逻辑关联，用户可以根据基础设施、专业设备、重点防护区域等特定对象数据，在海量摄像机中直接调用所需视频图像，实现系统间视频的灵活调用，提高应用灵活性。

将对象信息叠加在用户调用的图像中显示，有助于专业用户通过视频监控系统观察现场情况时提供对象数据，实现视频监控增强现实（Augmented Reality, AR）类应用。

3 融合方案

3.1 融合目标

铁路综合视频监控系统的体系架构已经非常完善，因此 BIM 融合应用构建独立功能模块，不对视频监控系统本身进行调整。该功能的构建是为了充分发挥视频监控与 BIM 的优势，从交互功能、数据应用等方面强化视频监控系统功能，主要目标如下。

1) 为铁路综合视频监控系统提供良好、便利的用户交互界面，在三维可视化界面展示摄像机及周边环境，利用摄像机及监控对象的数据关联提供便捷的图像索引能力。

2) 实现视频监控的仿真能力，对视频监控系统的覆盖能力、监控效果等进行校验及模拟，为系统建设、智能化应用提供能力评估手段。

3) 为视频监控开发智能化、综合性的应用构建提供完善的数据基础，强化与铁路相关运营系统的数据交互能力，提升铁路泛在感知的智能化水平能力。

3.2 总体架构

铁路综合视频监控系统与 BIM 融合应用总体架构主要包含数据层、应用层、交互层 3 个层级，如图 1 所示。

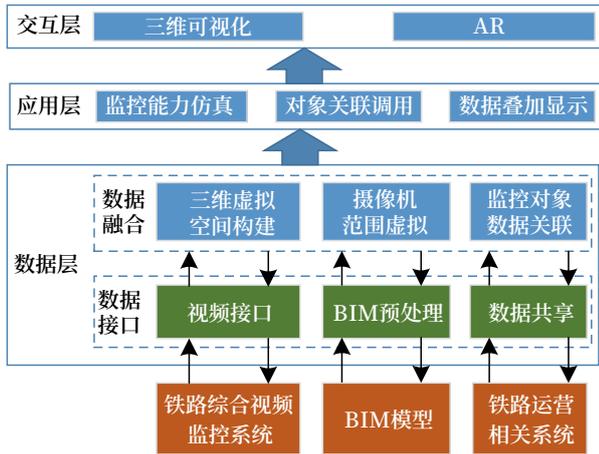


图1 BIM融合应用总体架构

Fig.1 Overall architecture of BIM integration application

1) 数据层

数据层包含数据接口及数据融合两部分内容。

数据接口包含视频接口、BIM 预处理及数据共享 3 部分。视频接口符合《铁路综合视频监控系统技术规范》(Q/CR 575-2022) 中规定的相关接口类型，实现融合应用模块与视频监控系统之间的视频流调用及指令传递；BIM 预处理则是对 BIM 模型进行轻量化、数模分离等操作，将 BIM 模型转化为系统应用的格式；数据共享部分结合具体功能需求，实现与铁路运营相关系统的数据互联互通。

数据融合部分是对视频监控、BIM 及相关系统数据进行融合处理，主要包括三维虚拟空间构建、摄像机范围虚拟、监控对象数据关联几个部分。三维虚拟空间构建利用 BIM 模型的几何信息在数字空间还原摄像机及周边环境；摄像机范围模拟则依据摄像机参数在数字空间内模拟其可监测的空间范围；监控对象数据关联根据摄像机监控范围将被监控的基础设施、设备等与摄像机进行对应。

2) 应用层

应用层包含监控能力仿真、对象关联调用、数

据叠加显示等能力，可以为交互层提供能力支持，也可以通过接口为铁路相关运营系统提供数据共享服务。

监控能力仿真主要用于规划设计阶段的视频盲区分析及智能应用效果分析验证。视频盲区分析验证是通过分析仿真覆盖范围，对摄像机设置位置及个数的合理性进行研判；智能应用效果分析验证是通过分析仿真监控对象的最小像素要求，判断摄像机监控能力是否可以达到智能分析需求。

对象关联调用功能则根据构建的摄像机及监控对象数据关联，提供基于对象的视频调用能力。通过 BIM 模型包含的信息，各专业用户、系统直接访问专业关心的内容，系统自动调出对应的监控图像。

数据叠加显示同样基于数据关联的基础，将铁路设备设施的基础数据或运营系统信息在视频监控图像的对应区域显示。

3) 交互层

交互层主要包含三维可视化及 AR 功能。

三维可视化在三维虚拟空间统一展示摄像机及周边环境，有助于用户快速理解监控画面内容，解决传统树状图或电子地图显示摄像机不清晰的问题。

AR 则是利用数据叠加显示功能在视频监控画面上增加关注设备设施的信息数据，协助专业用户快速聚焦关注内容。

3.3 融合过程

铁路综合视频监控系统与 BIM 融合应用的关键在于数据融合过程，核心在于物理空间真实摄像机、数字空间虚拟摄像机及视频监控系统内摄像机编号的一一对应，融合关键过程如图 2 所示。

首先建立包含空间环境、摄像机及监控对象的 BIM 模型，建立的 BIM 模型包含融合应用所需的几何信息及非几何信息，每一个摄像机、设备设施具有唯一的 ID。

对 BIM 模型进行预处理，将几何信息与非几何信息进行数模分离，其中几何模型进行轻量化处理，非几何信息整理为 JSON 格式数据进行结构化存储。

利用轻量化后的 BIM 几何信息构建三维虚拟空

间, 空间内包含铁路基础设施、专业设备、摄像机及周边环境等内容, 该空间内摄像机、设备设施等通过唯一 ID 与 JSON 数据关联。

引入综合视频监控系统数据, 将实际摄像机在视频监控系统中的编号与虚拟摄像机 ID 进行一一绑定, 并进行校核, 校核一致则进入下一步, 否则重新绑定。

对摄像机的监控范围进行仿真分析, 探测虚拟空间中的设备设施并与实际监控对象进行逐一关联绑定, 若虚拟空间与物理空间监控对象一致, 则进行摄像机与监控对象的关联。

若摄像机范围仍有监控对象未关联, 则返回虚实监控对象绑定流程, 直到摄像机的全部监控对象全部关联完成; 若系统内还有摄像机未完成绑定, 则返回虚实摄像机绑定流程直到全部摄像机处理完成。

完成以上判断即实现了视频监控系统与 BIM 的数据融合。

特别说明, 如图 2 所示的流程为典型初次融合过程, 若在完成后增加摄像头或调整监控对象时, 可以在构建的数据基础上进行局部调整。

4 主要功能

4.1 监控能力仿真验证

单个摄像机在三维虚拟空间中生成监控覆盖范围, 与虚拟环境相结合, 对其监控能力进行仿真验证。在规划设计阶段验证监控范围、角度、遮挡等是否满足要求, 智能应用阶段则判断是否符合智能分析需求。针对客运站房内检票闸机摄像机监控能力仿真实例如图 3 所示。

将区域内多个摄像机的监控范围进行叠加, 可以对是否存在监控盲区等系统覆盖能力进行判断。

4.2 通过监控对象调用图像

铁路综合视频监控系统的用户覆盖各专业、包含海量摄像机, 通过摄像机编码或电子地图查找视频画面难度很大。各专业用户对于专业基础设施、专用设备、空间区域非常熟悉, 通过查找监控对象直接调用视频图像, 可以更好支持不同专业用户使

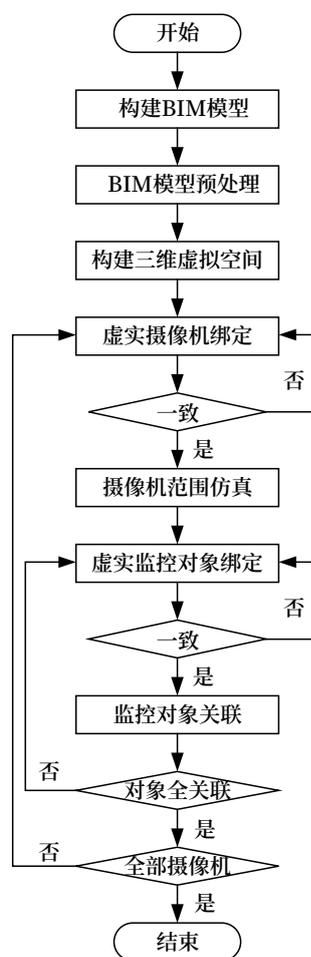


图2 BIM融合流程
Fig.2 BIM integration process

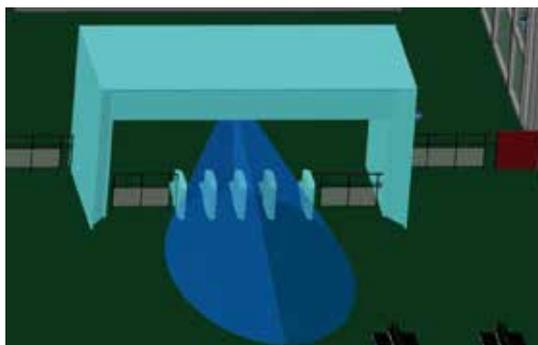


图3 监控能力仿真效果
Fig.3 Simulation effect of monitoring capability

用视频监控系统。

该功能同样应用于智能化综合应用, 以视频监控与异物侵限系统综合应用为例, 异物侵限系统发现某区域异物入侵后可以直接调用对应视频画面, 通过智能视频分析进行复核, 从而提高报警准确率。

4.3 运营管理辅助综合应用

叠加 BIM、运营系统数据的视频监控系统可广泛应用于远程运营维护工作,可以实现远程巡检、异常情况复核等需要赴现场的运营维护工作,从而降低人员现场工作量。在视频画面中叠加对应设备设施的信息及系统运行数据,可以进一步提升远程运营维护工作的完整度及效果。

5 结束语

随着覆盖范围及深度的逐步提高,铁路综合视频监控系统已经成为了铁路泛在感知的重要手段。将铁路综合视频监控系统与 BIM 融合应用,形成数字孪生应用体系,有助于提升铁路综合视频监控系统的用户交互及数据应用水平,促进铁路数字化转型及 BIM、业务系统能力提升,从而逐步实现更多虚实同步、互动的系统功能,在智能高铁建设中具备广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 李可佳, 陈璞, 杨宏图, 等. 铁路一体化综合视频监控系统关键技术研究与实践 [J]. 中国铁路, 2022 (11): 135-141.
Li Kejia, Chen Pu, Yang Hongtu, et al. Research and Practice on Key Technologies of Railway Integrated Comprehensive Video Surveillance System[J]. China Railway, 2022(11): 135-141.
- [2] 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. Research on the Construction of Integrated Video Surveillance System for High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(3): 19-24.
- [3] 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 Railway Integrated Video Surveillance System Based on Cloud Storage[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 51-55, 61.
- [4] 董学娟. 高速铁路基础设施视频大数据应用方案研究 [J]. 铁路计算机应用, 2022, 31 (4): 26-35.
Dong Xuejuan. Research on Surveillance Video Big Data Application Scheme for High-Speed Railway Infrastructure[J]. Railway Computer Application, 2022, 31(4): 26-35.
- [5] 王同军. 中国智能高速铁路 2.0 的内涵特征、体系架构与实施路径 [J]. 铁路计算机应用, 2022, 31 (7): 1-9.
Wang Tongjun. Connotation, Characteristics, Architecture and Implementation Path of China Intelligent High-Speed Railway 2.0[J]. Railway Computer Application, 2022, 31(7): 1-9.
- [6] 刘宸荣. 基于数字孪生的铁路通信实景维护系统研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2021 (10): 84-88.
Liu Chenrong. Research on Railway Communication Scene Maintenance System Based on Digital Twin[J]. Automation & Instrumentation, 2021(10): 84-88.
- [7] 鲁月新, 白轶多, 夏君, 等. GIS 技术面向轨道交通应急指挥的应用研究 [J]. 测绘通报, 2022 (S2): 268-272.
Lu Yuexin, Bai Yiduo, Xia Jun, et al. Research on the Application of GIS Technology for Emergency Command of Rail Transit[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2022(S2): 268-272.
- [8] 佟岩. 城市轨道交通视频监控系统智能运维综合管理系统的研究 [J]. 智能建筑, 2020 (8): 27-29, 37.
Tong Yan. Research on Intelligent Operation and Maintenance Integrated Management System of Urban Rail Transit Video Surveillance System[J]. Intelligent Building, 2020(8): 27-29, 37.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.007

铁路数据通信网SRv6应用技术探讨

庄文林

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 通过研究 SRv6 技术特点以及部署方案, 提出铁路数据网部署方案, 通过控制器 + 转发器的网络架构, 支持提供端到端 (E2E) 承载服务; 通过构建 IPv6-only 网络, 将现有基于 IPv4 MPLS 转发面的 L3/L2VPN 网络演进到基于 IPv6 转发面的 L3/L2VPN 和 EVPN, 从而简化网络协议, 优化网络结构, 释放网络资源, 支持 In-band OAM 网络性能测量和 SLA 实现, 为用户提供端到端 SLA 保证。

关键词: 数据通信网; SRv6; 承载业务优化

中图分类号: U285.41

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0031-05

Discussion on Application Technology of SRv6 in Railway IP Network

Zhuang Wenlin

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

Abstract: This paper proposes a railway data network deployment scheme by studying the technical characteristics and deployment scheme of SRv6, which adopts the network architecture of controller + forwarder to support the provision of end-to-end (E2E) bearer services; by constructing an IPv6-only network, the existing L3/L2VPN network based on IPv4 MPLS forwarding plane evolves to L3/L2VPN and EVPN based on IPv6 forwarding plane, so as to simplify network protocols, optimize network structure and release network resources. support In-band OAM network performance measurement and SLA implementation, and provide users with end-to-end SLA guarantee.

Keywords: data communication network; SRv6; bearer service optimization

1 SRv6 技术简介

基于 IPv6 转发平面的段路由 (Segment Routing IPv6, SRv6) 是基于源路由理念而设计

的在网络上转发 IPv6 数据包的协议。SRv6 通过在 IPv6 报文中插入一个路由扩展头 (Segment Routing Header, SRH), 在 SRH 中压入显式的 IPv6 地址栈, 并由中间节点不断的进行更新目的地址和偏移地址栈的操作来完成逐跳转发。

SRv6 协议简化 IP 网络的协议层级, 通过 MP-BGP 以及 IS-ISv6 实现路由统一计算, 通过 EVPN 协议统一实现二层 VPN 和三层 VPN。IP 承载网络逐步采取 IPv6 单栈进行路由和转发, 全面支持基

收稿日期: 2022-08-10; 修回日期: 2023-04-11

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司重点科研项目 (N2020G013)

作者简介: 庄文林 (1979—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 通信信息, 邮箱: 408zwl@crscd.com.cn。

于 IPv6 的安全管控, 结合 SRv6 等增强型技术实现端到端 IPv6 智能性, 并通过在网络边缘适配 IPv4/IPv6 业务, 提供 IPv4/IPv6 流量的承载和穿越。

SRv6 技术可以简化网络配置, 更简易的实现 VPN, SRv6 基于 IPv6 转发, 不使用 MPLS 技术, 完全兼容现有 IPv6 网络。中间 Transit 节点可以不支持 SRv6, 按照正常路由转发含有 SRH 的 IPv6 报文。

提供高保护率的 FRR 保护能力, 在 SRv6 技术的基础上结合 RLFA (Remote Loop-free Alternate) FRR 算法, 形成高效的 TI-LFA (Topology-Independent Loop-free Alternate) FRR 算法, 原理上支持任意拓扑保护, 能够弥补传统隧道保护技术的不足。

便于 IPv6 转发路径的流量调优, 通过各种服务类型的 SID 搭配使用, 头节点可以灵活规划显式路径, 调整对应的业务流量。

2 铁路数据通信网业务承载现状及SRv6演进需求分析

铁路数据通信网现阶段承载业务为 IPv4 业务, 采用 MPLS/VPN 技术实现承载业务的安全隔离与服务质量保证。IGP 采用 L2 IS-IS; EGP 采用 BGP4, 业务路由都由 MP-BGP4+ 传递, VPN 私网路由信息由 BGP VPNv4 传递, VPN 数据转发平面信息由 LDP 协议传递。由于目前 MPLS 不支持 IPv6, 因此承载 IPv6 业务仍然采用 6vPE 方案, 公网路由通过 BGP4+ 协议传递, 私网路由通过 BGP VPNv6 协议传递, 数据转发平面信息仍然通过 LDP 协议传递。

随着 5G-R、物联网、高清视频监控等业务发展, 对于 IP 地址需求将有爆发性的增长, 现有 IPv4 可用地址资源已濒临枯竭, 无法满足铁路新业务发展的需求, 因此, 数据通信网应支持 IPv6 业务的承载, 具备 IPv4/v6 双栈支持能力。

随着 SRv6 标准的成熟以及广泛应用, 目前业

界对于 IPv6 网络相较于 IPv4 网络, 有了更多优化解决方案, 可以提供基于网络切片、段路由等确定性端到端 QoS 保证的虚拟专网、支持广域大二层灵活组网; 提供更灵活、更精细的管理工具, 为承载业务开通提供精细化管理工具, 用户自助式服务。因此, 在数据通信网向 IPv6 演进的过程中, 应积极考虑 SRv6、EVPN 等新技术的引入与验证, 简化网络协议栈, 优化 VPN 业务承载方案, 为各类业务的快速开通及自助维护提供更多的技术手段。

3 SRv6关键技术

3.1 IS-IS协议

IS-IS 属于链路状态 IGP 路由协议, 采用 TLV 携带链路状态信息, 可以在不动协议主体的情况下, 通过增加部分 TLV 类型支持 IPv6、SRv6 等新协议特性。

为了支持 SRv6 协议, IS-IS 需要增加 SRv6 Capabilities、SRv6 Locator、SRv6 End SID、SRv6 Adjacency SID 等不同 Level 的 TLV, 节点所有 SID 共享 SRv6 Locator TLV 中定义的前缀。Locator 前缀同时通过 MT Reachable IPv6 Prefixes TLV 发布, 保证非 SRv6 节点也能计算出前缀路由, 通过该路由就能满足 SID 转发需求。

3.2 BGP EVPN

BGP EVPN(Ethernet VPN) 是一种 MP-BGP 协议实例, AFI/SAFI 为 25/70, 支持丰富的 NLRI(Network Layer Reachable Information) 路由类型, 比如交换 MAC 或 IRB 的 Type2 路由, 交换 Prefix 网段的 Type5 路由, 兼具 L2/L3 VPN、IPv4/v6 路由交换能力, 能适配 VxLAN SDN、骨干网 SDN、分支 SDWAN 等不同的组网场景。

以 SRv6 VPN 组网为例, BGP EVPN 需要携带 NLRI+BGP Prefix-SID+Color 等 SRv6 相关信息。Type5 NLRI 用于交换用户 L3VPN 路由, 取代 VPNv4/v6 地址簇的作用, BGP Prefix-SID 通过 SRv6 L3 Service TLV, 携带 END.DT4/6 VPN SID, Color 属性用于关联 EVPN 路由和 SRv6

Policy。

3.3 SRv6 FRR

路由协议收敛时间一般为秒级，无法满足某些苛刻应用的要求，通过 FRR 技术为受保护的路由提供备用路径，在新路由生效前使用备用路径转发流量，将网络中断时间降到毫秒级。SRv6+TI-LFA 结合 IP FRR、中间和尾端节点保护、防微环等技术，构建出真正高可靠的 TI-LFA SRv6 网络。

3.4 SRv6 控制器和南向协议

BGP-LS(BGP Link State)也是一种 MP-BGP 协议实例，AFI/SAFI 为 16388/71。BGP-LS 将底层网络链路状态信息 (ISIS) 抽象成 Node、Link、Prefix 等 3 类 NLRI 上报给控制器，分别描述节点能力、邻居关系、IP 前缀信息，控制器据此还原网络拓扑和计算路径。同时为支持跨域组网，BGP-LS 还扩展了 BGP EPE(Egress Peer Engineering) 功能，将 EBGP 邻居关系链路状态化，从而在控制器层面打通不同 AS 的链路状态数据。

BGP-LS 主要通过 NLRI+Attribute 组合携带链路状态数据，增加 Node NLRI 的 SRv6 Capabilities、Link NLRI 的 SRv6 End.X SID、Prefix NLRI 的 SRv6 Locator 等 TLV，另外还要新增 SRv6 SID NLRI 类型，附属 SRv6 End SID、SRv6 End.X SID、SRv6 BGP Peer Node SID 等 TLV。

除了翻译拓扑功能，BGP-LS 还可以上报 SRv6 Policy 状态和 B-SID，避免控制器和转发器异构引发的兼容性问题。相比于 PCEP，使用 BGP 下发 SRv6 Policy 具备更好的兼容性和扩展性，理论上可以支持跨厂商的 SRv6 Policy 对接，和百万级 SRv6 Policy 的部署规模。

4 铁路数据通信网SRv6演进路线建议

4.1 现网概述

目前铁路数据网在网设备入网时间参差不齐，软硬件版本差异很大，华为公司在某路局在网设备如表 1 所示。

可见，目前全网大多数接入层设备可通过升级

软件版本以及更换线卡方式进行支持；而汇聚层及核心层设备，由于入网时间较早，不支持 SRv6，未来需要通过更换设备进行支持。

4.2 设备部署方案

铁路数据通信网 SRv6 部署建议采用标准的控制器 + 转发器组网，控制器负责智能选路，通过南向协议下发 SRv6 Policy，转发器负责执行 Segment 指令和报文转发，标准组网结构如图 1 所示。

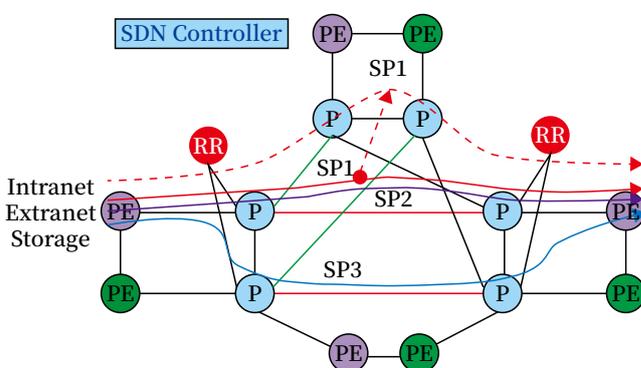


图1 数据通信网SRv6部署方案

Fig.1 SRv6 deployment scheme for data communication network

转发器分为 PE、P、RR 等角色，采用 IS-IS 作为 Underlay 路由协议，使能 IPv4/v6 多拓扑，网络拓扑和路由计算相互独立，同时启用 SRv6 扩展，通过 IS-IS 交换 SRv6 SID 信息。

SRv6 SID 格式为 Locator+Function，Locator 长度为 80 bit，其中前 58 bit 为共同前缀，后 16 bit 为节点数值，Function 长度为 32 bit，其中静态 Function 为 ::00[01-FF]，动态 Function 为 ::[0-F][1-F][00-FF]。END 和 END.X 由节点动态生成，在 ISIS 中关联 Locator 后，ISIS 会自动发布 Locator 和 SID 信息。ISIS 还要启用 TI-LFA 和 Micro Loop Avoid，以提高 SRv6 网络的收敛性能和健壮性。

PE 采用 BGP EVPN 作为 Overlay 路由协议，基于 Loopback IPv6 地址建立域内 BGP EVPN Peer，并选用 SRv6 隧道封装。用户 VPN 路由通过 BGP EVPN Type5 NLRI+BGP Prefix-SID 发布，后者对应 END.DT4/6 VPN SID。

表1 现网设备软硬件版本统计（华为）

Tab.1 Statistical table of hardware and software versions of existing network devices (Huawei)

硬件版本	软件版本	SRv6 TE 支持	SRv6 BE 支持	IFIT	网络切片
NE8000M6	V800R012C00SPC300	已支持	已支持	已支持	已支持
NE20ES16	V800R007C10SPC100	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R009C10SPC200	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
NE20E-S4	V800R007C10SPC100	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R007C00SPC200	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R010C10SPC500	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
NE20E-S8	V800R005C01SPC200	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R007C00SPC200	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R007C10SPC100	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R008C10SPC500	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R009C10SPC200	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R010C10SPC500	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
	V800R011C10SPC100	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
NE20E-S8A	V800R009C10SPC100	线卡 NSP120 及以上, 软件 V800R012 版本支持	软件 V800R012 版本支持	不支持	不支持
NE40E-X16	V600R001C00SPC800	不支持	不支持	不支持	不支持
NE40E-X3	V600R001C00SPC800	不支持	不支持	不支持	不支持
	V600R008C10SPC300	不支持	不支持	不支持	不支持
NE40E-X8	V600R008C10SPC300	不支持	不支持	不支持	不支持
	V600R009C20SPC600	不支持	不支持	不支持	不支持
	V600R009C20SPC600	不支持	不支持	不支持	不支持
NE40E-X8A	V800R013C00SPC100	已支持	已支持	已支持	已支持

PE 从控制器收到 SRv6 Policy, BGP EVPN 路由会根据 Color+NextHop 迭代到正确的 SRv6 Policy 上, 数据平面调用 H.Encaps Behavior 封装 VPN 报文, SRH=SRv6 Policy Segment List+VPN SID, 外层 IPv6 SA=PE Loopback, IPv6 DA=Segment[n-1]。如果没有收到 SRv6 Policy, 则采用 SRv6 BE 转发, 外层 IPv6 SA=PE Loopback, IPv6 DA=VPN SID。无论哪种方式, 目标 PE 收到报文后, 根据 IPv6 DA 定位到 VPN,

剥离 SRv6 封装, 查找 VPN 路由表转发。

4.3 协议部署方案

控制器与转发之间使用 BGP-LS 协议, RR 与控制器之间建立 BGP-LS Peer, 将 ISIS 的链路状态信息转换后上报控制器。RR 与 PE 之间也要建立 BGP-LS Peer, 将 PE 传递过来的 SRv6 Policy 状态反射给控制器。

控制器与 RR 之间建立 BGP SR Policy Peer, 将 SRv6 Policy 下发给 RR, RT 为 Headend:0。

RR 与 PE 之间也要建立 BGP SR Policy Peer, 将 SRv6 Policy 反射给 PE, PE 收到后根据 RT 导入自己始发的 SRv6 Policy。

各类业务流量根据业务类别和安全等级, 分别由相应的 SRv6 Policy 承载。控制器定期根据网络拓扑和流量分布, 计算更新 SRv6 Policy 路径, 通过 BGP SR Policy 下发给 PE 转发器, 实现智能流量调度的目的。

4.4 技术升级路线

网络初始部署可以采用基于 SRv6 Policy 维度的简单调度策略, 在控制器支持的情况下, 可以升级为基于 Segment List 维度的复杂调度策略。

5 结束语

铁路数据通信网应用 SRv6 是网络向 IPv6 演进必然的技术路线, 结合现网设备支持情况, 采用控制器与转发器架构, 部署基于 SRv6 Policy 维度的调度策略, 可以实现对于关键承载业务的高可靠性保护和业务倒换。

参考文献

- [1] Filstoft Ed, Dukas Ed, Previdi, et al. RFC 8754: IPv6 Segment Routing Header (SRH)[S/OL]. (2020-03)[2022-08-15]. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc8754>.
- [2] Filstoft C, Camarillo P, Leddy J, et al. RFC Draft: SRv6 NET-PGM Extension: Insertion Draft-filstoft-spring-srv6-net-pgm-insertion-02[S/OL]. (2020-07) [2022-08-15]. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-filstoft-spring-srv6-net-pgm-insertion-02>.
- [3] Conta A, Deering S. RFC2473: Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification[S/OL].(1998-12)[2022-08-15]. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2473>.
- [4] Amante S, Carpenter B, Jiang S, et al. RFC 6437: IPv6 Flow Label Specification[S/OL]. (2011-11) [2022-08-15].<https://www.rfc-editor.org/info/rfc6437>.
- [5] 王君健. SRv6 技术探讨 [J]. 邮电设计技术, 2020 (1): 59-63.
Wang Junjian. Discussion on SRv6 Technology[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2020(1): 59-63.
- [6] 刘睿, 吴军平. SR 技术探究及实现 [J]. 网络新媒体技术, 2020, 9 (3): 21-27.
Liu Rui, Wu Junping. SR Technology Exploration and Implementation[J]. Journal of Network New Media, 2020, 9(3): 21-27.
- [7] 屈毅. 铁路通信网 IPv6 应用关键技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (2): 38-43.
Qu Yi. Study on Key Technologies of Applying IPv6 in Railway Communication Network[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(2): 38-43.
- [8] 高源, 邱萍. 基于 SRv6 的铁路承载网隧道技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 46-51.
Gao Yuan, Qiu Ping. Research and Application of Railway Bearer Network Tunneling Technology Based on SRv6[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 46-51.

本期广告企业简介

卡斯柯信号有限公司



全面守护
全程放心

您肯定的信号
就是我们
持续前进的方向

守护你的每一步

(详见封底)

基于5G-R的CTCS-3列控业务 接口监测系统研究

吴宇¹, 董成文², 李 鹏²

(1. 中国铁路北京局集团有限公司, 北京 100860;

2. 中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100086)

摘要: 基于 5G-R 的 CTCS-3 列控系统架构和 5G-R 接口协议栈, 研究 CTCS-3 列控业务接口监测系统架构、功能、性能以及关键技术。通过对 5G-R 信令、测量报告以及 CTCS-3 业务数据解析, 设计多种用户标识特征关联方法, 完成用户全过程数据整合与关联, 实现 CTCS-3 信令和 数据跟踪、网络状况监测、查询分析、数据统计和日志图表等多种功能, 填补 5G-R 重要行车 业务监测系统空白, 为 5G-R 无线网络优化提供实时、全程、多角度、多维度、图示化分析数 据, 辅助 5G-R 网络下 CTCS-3 列控系统故障处理。

关键词: CTCS-3; 5G-R; 接口监测; 接口信令; 业务数据

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0036-08

Research on CTCS-3 Train Control Service Interface Monitoring System Based on 5G-R

Wu Yu¹, Dong Chengwen², Li Kun²

(1. China Railway Beijing Group Co., Ltd., Beijing 100860, China)

(2. China Academy of Railway Sciences Co., Ltd., Beijing 100086, China)

Abstract: Based on 5G-R CTCS-3 train control system architecture and 5G-R interface protocol stack, this paper studies the architecture, functions, performance and key technologies of CTCS-3 train control interface monitoring system. Through the analysis of 5G-R signaling, measurement report and CTCS-3 service data, a variety of user identification feature association methods are designed to complete the user's whole process data integration and association, realize CTCS-3 signaling and data tracking, network status monitoring, query and analysis, data statistics and log chart and other functions, fill in the gaps in 5G-R important traffic service monitoring system, and provide real-time, whole-process, multi-angle, multi-dimensional graphical analysis of data for 5G-R wireless network

收稿日期: 2022-10-24; 修回日期: 2023-05-16

基金项目: 中国铁道科学研究院集团有限公司基金课题项目 (2021YJ115)

第一作者: 吴宇 (1984—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信, 邮箱: 18911889209@189.cn.

optimization to assist in troubleshooting of CTCS-3 train control system under 5G-R network.

Keywords: CTCS-3; 5G-R; interface monitoring system; interface signaling; service data

铁路将 5G-R 系统作为下一代移动通信研究方向, 成立中国铁路下一代移动通信技术研究工作组, 全面开展各相关方面技术研究。在标准制定、技术方案、系统研发、应用设计、频率特性及干扰防护研究等方面均取得一定进展。目前在监测系统研究方面仍然是空白, 缺少基于 5G-R 的 CTCS-3 (以下简称 C3) 列控业务接口监测系统, 实现对 5G-R 承载的主要行车业务进行监测, 特别是 C3 列控业务的全过程监测, 进而对监测业务的异常事件和异常状态进行预警, 辅助支撑 5G-R 网络的运营维护和 C3 列控系统故障处理。

1 概述

铁路专用移动通信是铁路信息化、数字化、智能化的重要基础设施和关键技术装备, 在支撑铁路运营、保障行车安全、提高运输效率、提升维护水平等方面发挥着重要作用。为满足铁路运输生产需要, 下一代移动通信系统推出后, 铁路 5G-R 专网取代 GSM-R 网络, 承载 C3 列控系统车-地间双向

传输。

5G-R 承载 C3 列控业务时使用现有车-地安全通信连接机制和应用消息流程, 完成行车许可、线路参数、临时限速、列车位置、列车数据等信息交互。为实现上述业务并确保 GSM-R 覆盖线路和 5G-R 覆盖线路的跨线运行, 需要对 C3 列控系统车载和地面设备及组网方式进行改进。将 ATP 的 MT 替换为 GSM-R+5G-R 双模, ATP 车载设备的 RTU 无线通信单元包含 CSD 模式和 5G-R 模式下的车-地数据传输协议, 并支持两套协议同时工作, RTU 与 MT 接口形式保持不变。RBC 设备增加 5G-R 模式的接口, 通过该接口与 5G-R 网络的 SMF 设备连接, 如图 1 所示。

2 系统组成及架构

5G-R 系统 C3 列控业务接口监测系统由数据采集单元、数据业务解析单元、信令解析单元、关联同步单元、数据存储单元、综合分析单元、网管单元、客户端、网关单元及网络安全设备组成。其

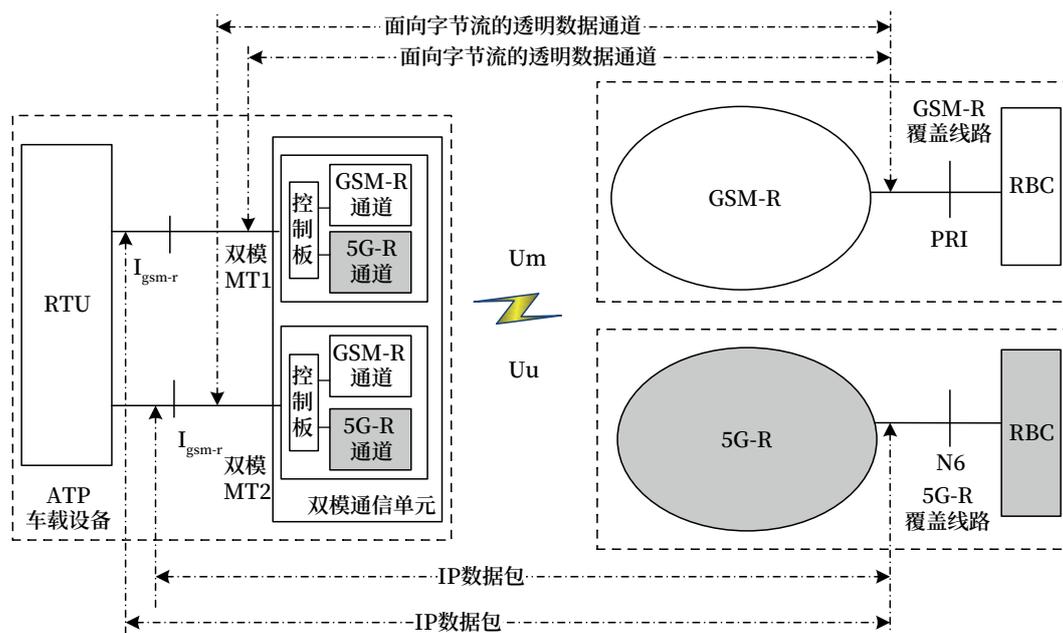


图1 5G-R承载的CTCS-3列控系统改造

Fig.1 Transformation of CTCS-3 train control system carried by 5G-R

中采集单元、数据业务解析单元、数据存储单元和信令解析单元部署在现场通信机械室机房，综合分析单元、网管单元、客户端、网关单元及网络安全

设备部署在铁路局集团公司核心网机房，现场设备与核心网设备之间通过传输或数据网互联互通。如图 2 所示。

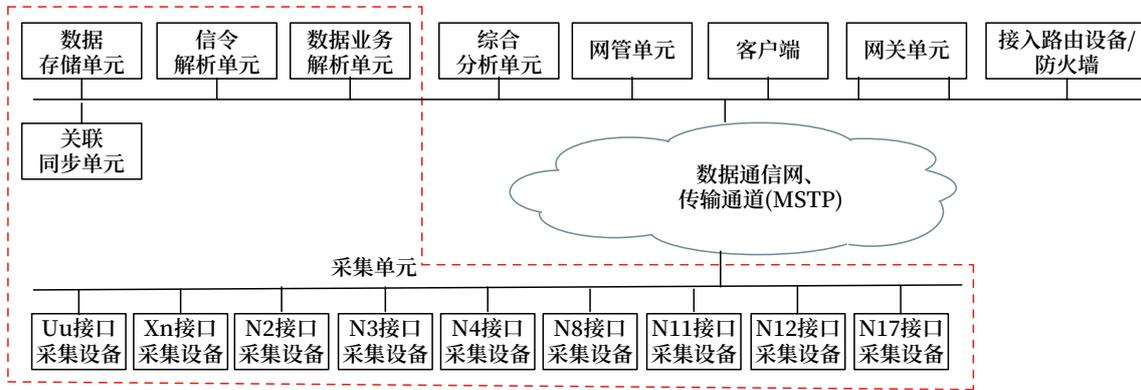


图2 基于5G-R的CTCS-3列控业务接口监测系统架构
Fig.2 Architecture of CTCS-3 train control service interface monitoring system based on 5G-R

2.1 采集单元

采集单元实现 Uu 接口 (UE 与 RAN 之间的接口)、Xn 接口 (gNB 之间的接口)、N2 接口 (RAN 与 AMF 之间的接口)、N3 接口 (RAN 与 UPF 之间的接口)、N4 接口 (SMF 与 UPF/ 边缘 UPF 之间的接口)、N8 接口 (UDM 与 AMF 之间接口)、N11 接口 (AMF 与 SMF 之间接口)、N12 接口 (AMF 至 AUSF 之间的接口)、N17 接口 (AMF 至 5G-EIR 之间的接口) 信令及业务数据进行解析。N2、N3、N4、N8、N11、N12、N17 接口以下统称 NG 接口。

Uu 接口上行通过采用功分器将基站天馈线上行信号功分一路给数据采集设备，下行通过吸盘天线采集所在基站及相邻基站的射频信号，Uu 层采集单元会对物理层信号进行解调，将 TB 传输块信息发送至信令解析单元和数据解析单元。

NG 和 Xn 接口使用 wireshark 工具等网络抓包工具实现以太网数据采集功能，网络抓包工具能解析 http 消息格式，并支持 5G-R 标准接口消息。通过配置相关协议栈，如果是信令层面，能从以太网帧数据中还原物理层、数据链路层、IP 层、SCTP 层和 NGAP 层信令；如果是用户层面，能从以太网帧数据中还原物理层、数据链路层、IP

层、UDP 层消息。通过采集单元处理后，信令解析单元仅用处理后续 NGAP 信令即可，数据解析单元仅用处理后续 GTP-U 和 C3 业务数据即可，如图 3 所示。

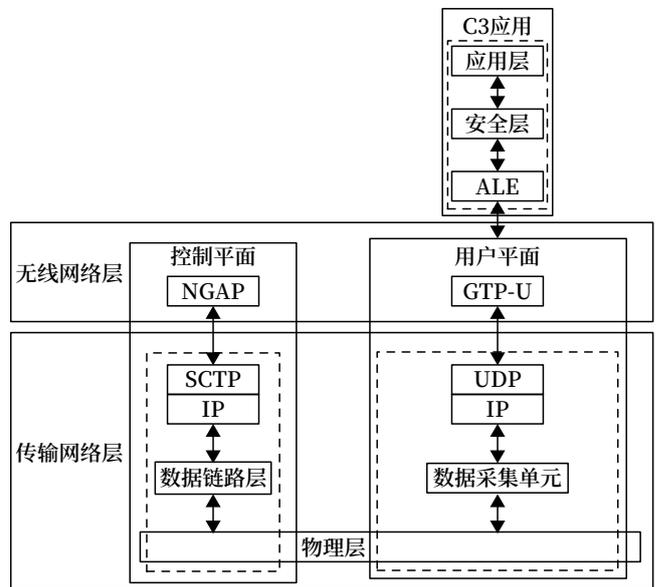


图3 NG和Xn接口解析协议栈
Fig.3 NG and Xn interfaces parse protocol stack

2.2 信令和数据解析单元

Uu 接口信令解析单元实现 MAC、RLC、PDCP、RRC 和 NAS 协议栈解析。Xn 接口和 NG 接口信令解析单元实现物理层、数据链路层、IP、SCTP、

NGAP 协议栈解析。

Uu 接口业务解析单元实现 MAC、RLC、PDCP、SDAP、ALE、安全层和应用层协议栈解析。Xn 接口和 NG 接口业务解析单元解析 IP 层、校验 IP 层，获得传输层首部，校验传输层，解析 UDP 和 GTP 协议承载的应用数据，按 C3 业务协议栈格式要求解析应用数据。

2.3 综合分析单元

综合分析单元是整个系统中枢，根据被监测用户标识信息，对采集原始数据进行关联、合成，对

与被监测用户相关各接口信令和业务数据进行关联分析，对指标统计结果进行汇总。综合分析单元汇聚 Uu、NG 和 Xn 接口信令和数业务解析系统的预处理信息，从 5G-R 运营与支撑系统获取密钥，从 EIR 查询用户身份信息，与网关单元透传跨局信息，接收网管单元配置变更和心跳包，将解析后的信令及业务数据送到存储单元存储，同时送到操作显示单元显示给用户。综合分析单元与其他单元间通信流程如图 4 所示。

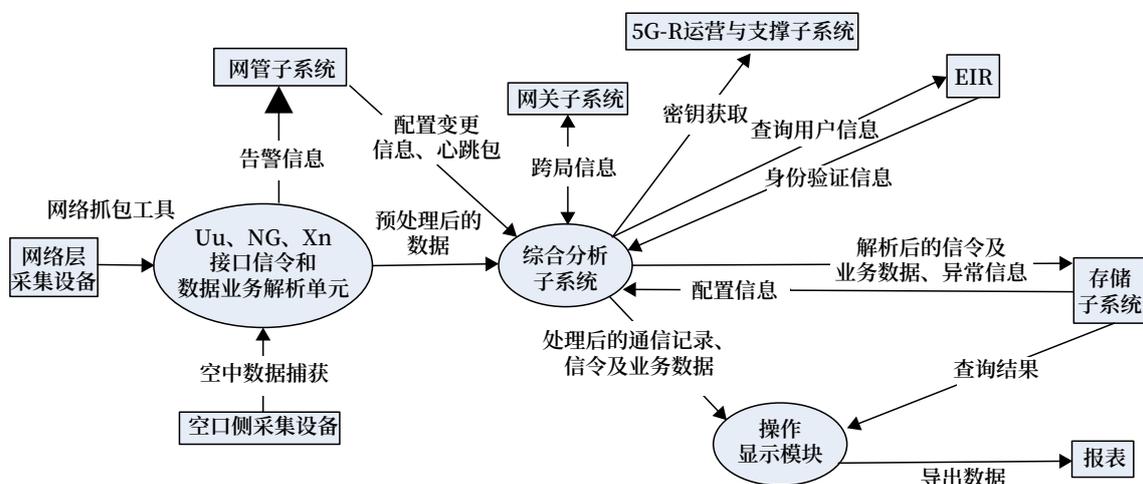


图4 综合分析单元与其他单元间通信流程

Fig.4 Communication process between integrated analysis unit and other units

3 系统功能及性能

3.1 系统功能

3.1.1 信令及业务跟踪

C3 列控业务通过 5G-R 系统承载时，监测信令与业务流程主要包括系统消息下发、随机接入、RRC 连接管理、上下文管理、注册管理、会话管理、C3 业务数据传输和移动性管理等，如图 5 所示。

1) 系统消息

系统消息存在 Uu 接口上，是 UE 获得网络服务信息的第一步。通过系统消息的广播下发，UE 可以获得 AS 层和 NAS 层信息。UE 在开机选择小区驻留、重选小区、切换、以及从非覆盖区返回覆盖区时，都会主动读取系统消息，包括 MSI 和 OSI 系统

消息。本系统不需要获取系统消息来支持 C3 信令和业务的解析，因此本系统不对系统消息进行处理。

2) 随机接入

随机接入过程存在 Uu 接口上，包括基于竞争随机接入和基于非竞争随机接入过程。在初始 RRC 连接建立、RRC 连接重建、下行数据到达、上行数据发送、未激活态至连接态转换中会采用基于竞争的随机接入，切换过程会优先采用基于非竞争的随机接入。本系统监测随机接入消息为 MSG 消息，随机接入过程前 gNB 分配给 UE 了 C-RNTI 的动态标识，唯一标识了一个小区空口下的 UE。

3) RRC 连接管理

RRC 连接管理存在 Uu 接口上，包括 RRC 连接建立、RRC 连接重配、RRC 连接释放等过程。RRC 连接管理监测的信令流程包括 RRCSetupRequest,

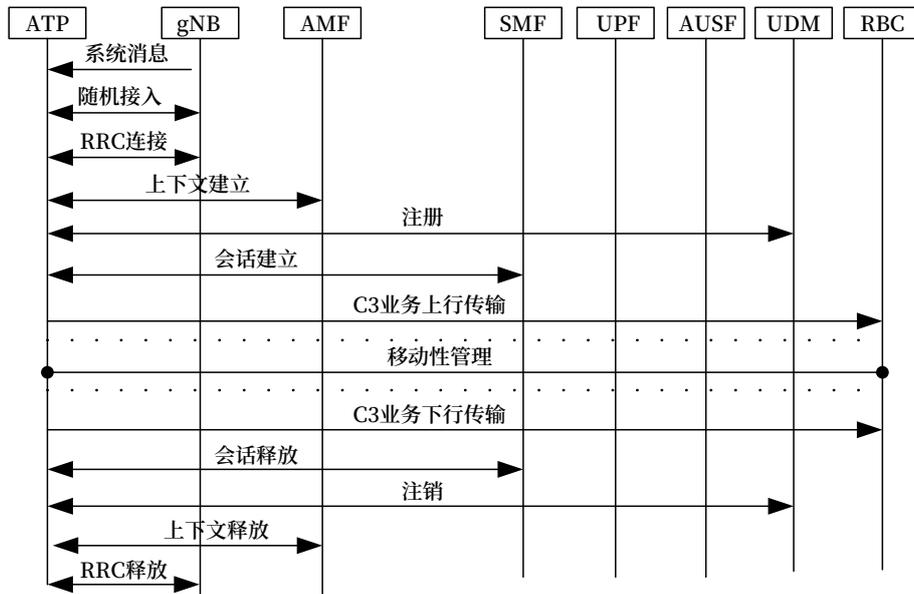


图5 基于5G-R的CTCS-3列控业务信令和跟踪流程
Fig.5 Signaling and data tracking process of CTCS-3 train control service based on 5G-R

RRCSetup, RRCSetupComplete, RRCReject。在RRC连接建立时会创建RRC-TransactionIdentifier标识，该标识能够关联后续同一UE所有RRC消息。

4) 上下文管理

上下文管理存在Uu、N2、N12、N17接口上，包括上下文建立、上下文修改和上下文释放过程。在上下文建立过程中，gNB会为UE创建专用的RAN-UE-NGAP-ID，该标识在后续NG和XN接口消息关联中有重要作用。在上下文建立过程中，同步完成gNodeB透传UE和AMF之间的NAS直传消息，包括IDENTITY查询、鉴权、NAS安全模式和注册过程等。

上下文管理监测的Uu接口信令包括NAS Identity Request, NAS Identity Response, NAS Authentication request, NAS security Mode Command, AS security Mode complete, SecurityModeCommand, UECapabilityEnquiry, UECapabilityInformation, RRCReconfiguration, RRCReconfigurationComplete。

上下文管理监测的N2接口信令包括Initial Ue Message, Context Setup Request, Ue Radio Capability Info Indication, Initial Context Setup

Response, Ue Context Modification Request, Ue Context Modification Response, Ue Context Release Request, Ue Context Release Command, Ue Context Release Complete消息，其中Initial Ue Message包含了NAS透传的注册请求，携带了5G-S-TMSI和5G-GUTI的UE ID信息，对实现Uu接口和NG接口用户信息关联起到重要作用。Context Setup Request包含了NAS透传的注册接受消息。

上下文管理监测的N12接口信令包括Nausf_UEAuthenticate_authenticate Request, Nausf_UEAuthenticate_authenticate Response。

上下文管理监测的N17接口信令包括N5g-eir_EquipmentIdentityCheck Request, N5g-eir_EquipmentIdentityCheck Response。N5g-eir_EquipmentIdentityCheck Request携带了UE的PEI或SUPI，对于实现Uu接口和NG接口用户信息关联起到重要作用。

5) 注册管理

注册过程存在N2接口和N8接口上，是穿插在上下文管理过程中完成的。注册过程监测的N2接口信令包括Registration Request, Registration

Accept, Registration Complete。N8 接口信令包括 Nudm_UEContextManagement_Registration Request, Nudm_UEContextManagement_Registration Response, Nudm_SubscriberData Management_Get Request, Nudm_Subscriber DataManagement_Get Response。

6) 会话管理

会话管理存在于 Uu、N2、N4、N11 接口, 包括 PDU 会话建立、PDU 会话修改和 PDU 会话释放过程。

会话管理监测的 N2 接口信令为 PDU Session Resource Setup Request, PDU Session Resource Setup Response, PDU Session Resource Modify Request, PDU Session Resource Modify Response, PDU Session Resource Release Command, PDU Session Resource Release Response。在 PDU 会话建立过程中会创建用户隧道 TEID 和 UE IP 地址, 该 ID 和 IP 地址将配合其他用户标识, 在进行 C3 业务数据关联中起到重要作用。

会话管理监测的 N4 接口信令为 PFCP Session Modification Request 和 PFCP Session Modification Response。

会话管理监测的 N11 接口信令为 Nsmf_PDUSession_UpdateSMContext Request 和 Nsmf_PDUSession_UpdateSMContext Request。

会话管理监测的 Uu 接口信令为 RRCReconfiguration 和 RRCReconfigurationComplete。

7) C3 数据业务传输

C3 数据业务传输为 ATP 与 RBC 之间透明传输列控业务, 存在与 ATP 与 RBC 之间的各接口。基于 5G-R 网络, RBC 向车载设备 ATP 发送位置报告参数信息和行车许可请求参数信息, 车载设备向 RBC 报告基于 LRBG 的列车位置和当前等级及模式信息。RBC 向列车发送行车许可及线路参数信息, ATP 车载设备根据这些信息实时生成目标距离模式曲线监控列车安全运行。该内容与 GSM-R

接口监测 C3 业务数据处理方式相同, 通过对链路层、传输层、安全层、应用层协议栈解析, 实现 C3 数据业务传输应用消息监测, 主要包括 Initiation of a Communication Session, Configuration Determination, Session Established, Train Position Report, General Message, Acknowledgement of Train Data, MA, MA Request, Termination of a Communication Session, Acknowledgement of Termination of a Communication Session 等。

8) 移动性管理

列车运行过程中经过不同的 gNB 或 AMF 时, 正在传输的 C3 列控业务需要完成切换过程。5G-R 切换业务包括基于 Xn 切换和 N2 切换, 本系统将对切换流程全过程进行监测。移动性管理存在于 Uu、N2、NG 接口, 以 N2 切换为例, 移动性管理监测的 Uu 接口信令包括 RRCReconfiguration, RRCReconfigurationComplete; N2 接口信令包括 Handover Required, Handover Request, Handover Command, Handover Notify, UE Context Release Command, UE Context Release Complete。

3.1.2 测量报告跟踪

GSM-R 网络中切换和小区重选等移动性管理过程是 BSC 判断实现, BSC 判断基于无线网络的场强和质量, 测量报告是通过 Abis 接口从 BTC 发送至 BSC。而 5G-R 网络中 gNB 实现了小区选择, 小区重选和切换过程, UE 需要向 gNB 发送服务小区和邻小区的测量报告, 因此 5G-R 测量报告 Uu 接口消息。通过解析 Uu 接口 Measurement Report 消息, 最终解析当前服务小区的无线场强与质量, 即 RSRP、RSRQ 以及 SINR。

测量报告跟踪原理为 Measurement Report 消息包含 MeasurementReport-IEs, Measurement Report-IEs 读取 MeasResults 内容, 当前服务小区列表包含在 MeasResults 的 MeasResultServing MOList 中, 邻小区列表在 MeasResults 的 Meas

ResultNeighCells 中。读取服务小区和邻小区后, 通过 MeasResultServingCell 获取服务小区 RSRP, RSRQ 以及 SINR, 通过 MeasResultNR 获取邻小区 RSRP, RSRQ 以及 SINR。

3.2 系统性能

本系统主要性能有如下要求。

- 1) 各接口数据采集设备与被监测系统完全隔离, 不影响被监测系统的正常工作;
- 2) Uu 接口采集的频段范围应覆盖 5G-R 网络上/下行频段;
- 3) Uu 接口采集设备的采集灵敏度 $\leq -102\text{dBm}$;
- 4) 系统数据采集、解析准确性 $\geq 99.99\%$;
- 5) 系统数据丢包率 $< 0.01\%$;
- 6) 应同时支持对链路发送、接收方向的汇聚监听和分离监听。

4 系统关键技术

4.1 密钥管理技术

与 GSM-R 系统不同, 为了确保数据传输安全性, 5G-R 系统对传输的信令和数据进行密钥加密, 在没有密钥情况下, 难以解析各接口信令和业务数据。本系统通过与核心网网元 5G-R 运营与支撑子系统互联, 从密钥管理模块获取密钥, 对采集的空口、核心网各网元间的接口数据进行解码, 并支持对密钥的安全保护, 短期密钥使用后及时进行安全删除、长期密钥安全存储和长期密钥有效期的管理。

4.2 Uu接口关联技术

Uu 接口信令协议分为 RRC 信令和 NAS 信令。本系统实现的 RRC 信令、NAS 信令以及随机接入信令关联方案为: 首先随机接入信令包含 C-RNTI 字段, 该字段能够将随机接入 MSG1 ~ MSG4 消息串联起来; 其次 RRC 连接的建立信令通过 5G-S-TMSI 标识进行关联。由于随机接入的 MSG3 消息中包含 RRC 连接的建立信令的 RRCSetupRequest, 因此通过 RRCSetupRequest 信令能够将随机接入与 RRC 连接的建立信令关联起来。RRC 连接的建立信令中的 RRCSetup 信

令中包含 RRC-TransactionIdentifier 用户标识, 通过该用户标识能够将 Uu 接口上该用户其他 RRC 信令与测量报告信息关联起来。NAS 信令使用 RRC 信令中的 ULInformationTransfer 承载, ULInformationTransfer 包含 RRC-Transaction Identifier, 通过该字段能够实现 RRC 信令和 NAS 信令关联。

4.3 NG和Xn接口关联技术

NG 和 Xn 接口关联技术包括信令关联技术和业务数据关联技术。NG 和 Xn 接口信令关联采用“源 IP 地址 + 源端口号 + 目的 IP 地址”为关联特征。以 N2 接口为例, 源端口号为 RAN-UE-NGAP-ID, 如基站切换或 AMF 更新后仍可继续跟踪 RAN-UE-NGAP-ID。NG 和 Xn 接口业务数据关联特征为 GTP-U 的 TEID 字段, 标识数据归属隧道, 每个 C3 用户有独一无二的 TEID, 通过 TEID 可以关联用户业务数据。

4.4 综合分析关联技术

Uu 接口与 NG、Xn 接口数据的多接口间关联方案为: 首先关键信令 NITIAL UE MESSAGEINITIAL 包含 NAS 透传的注册请求, 携带了 5G-S-TMSI 和 5G-GUTI 的 UE ID 信息, 进而通过 N5g-eir_EquipmentIdentityCheck Request 消息实现 gNB-S1AP-ID 与 PEI/SUPI/5G-S-TMSI 用户标识进行绑定, 实现 Uu 接口与 NG、Xn 接口数据的关联。

4.5 云监测技术

除采集单元外, 其他单元均可采用云平台部署方式, 部署在铁路监测云上。采用云部署的优点有 3 点: 一是用户可以通过软件仓库方式任意搭配需要监测的接口模块, 实现用户自定义部署; 二是用户可以通过云平台虚拟化系统自动化部署系统功能, 提高使用效率; 三是用户能够按照统一的接口调用所有 5G-R 厂家的监测信息, 打破不同设备厂家间的壁垒。

5 结束语

5G-R 网络接口监测系统是对承载 C3 列控任务的 5G-R 网络中各接口进行跟踪监测, 通过采集、解析各接口的网络信令及业务数据, 采用实时关联、自动定界、深度智能 DPI 业务识别等多种技术定位用户通信异常原因, 并对无线网络性能及故障信息进行分析、统计, 为 C3 列控系统运维和故障定位提供依据。

参考文献

- [1] 葛伟涛, 冯敬然, 周敏, 等. 铁路 5G-R 无线接入网组网方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 59-63.
Ge Weitao, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Networking Scheme of Railway 5G-R Wireless Access Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 59-63.
- [2] 王玮. 5G-R 冗余技术方案研究 [J]. 中国铁路, 2021 (8): 13-18.
Wang Wei. Research on Redundancy Technology Scheme of 5G-R[J]. China Railway, 2021(8): 13-18.
- [3] 肖正杰, 张亮, 孙迪. 铁路 5G-R 语音调度通信系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 36-39, 91.
Xiao Zhengjie, Zhang Liang, Sun Di. Research on 5G-R Voice Dispatching Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 36-39, 91.
- [4] 庞萌萌. 铁路 5G-R 系统核心网架构研究 [J]. 中国铁路, 2021 (8): 1-6.
Pang Mengmeng. Research on Core Network Architecture of Railway 5G-R System[J]. China Railway, 2021(8): 1-6.
- [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 Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 42-46, 99.
- [6] 杨锐, 郭桂芳, 赵武元. 铁路 5G-R 运维技术方案研究 [J]. 中国铁路, 2021 (8): 19-25.
Yang Rui, Guo Guifang, Zhao Wuyuan. Research on Technical Scheme for Operation and Maintenance of 5G-R[J]. China Railway, 2021(8): 19-25.
- [7] 李雪, 许扬. 5G-R 信令组网方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (10): 33-36.
Li Xue, Xu Yang. Research on 5G-R Signaling Networking Scheme[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(10): 33-36.
- *****
- (上接 14页)
- [5] 王宇. 车号识别系统在机务段的综合应用 [J]. 机车电传动, 2002 (6): 49-50.
Wang Yu. Comprehensive Application of Vehicle Number Recognition System in Locomotive Depot[J]. Electric Drive for Locomotives, 2002(6): 49-50.
- [6] 李瑞. 车号与箱号识别关联技术在铁水联运中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (5): 49-52, 67.
Li Rui. Application of Wagon and Container Numbers Identification and Correlation Technology in Railway and Waterway Multimodal Transport[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 49-52, 67.

铁路5G-R与GSM-R基础设施共用共存工程建设方案

冯磊¹, 李雪¹, 许扬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. 中国铁路沈阳局集团有限公司, 沈阳 110001)

摘要: 铁路 GSM-R 系统将演进到 5G-R 系统, 在 5G-R 系统正式投入使用前, 仍需要新建 GSM-R 系统, 未来 5G-R 系统与 GSM-R 系统将有一段时间同时运行。因此, 从设备演进、业务实现及基础设施共用等方面进行深入探讨, 提出铁路 5G-R 与 GSM-R 共用共存工程建设方案, 确保顺利实现 GSM-R 向 5G-R 的过渡, 保护铁路建设投资。

关键词: 5G-R; 基础设施; GSM-R

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0044-06

5G-R and GSM-R Infrastructure Sharing Project Scheme

Feng Lei¹, Li Xue¹, Xu Yang²

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

(2. China Railway Shenyang Group Co., Ltd., Shenyang 110001, China)

Abstract: GSM-R system will evolve to 5G-R system. Before the 5G-R system is put into use, the GSM-R system still needs to be built, and the 5G-R system and the GSM-R system will operate simultaneously for a period of time in the future. Therefore, this paper makes an in-depth discussion from the aspects of equipment evolution, service realization and infrastructure sharing, and puts forward the 5G-R and GSM-R infrastructure sharing project scheme, to ensure smooth transition from GSM-R to 5G-R and protect investment in railway construction.

Keywords: 5G-R; infrastructure; GSM-R

1 GSM-R向5G-R平滑过渡的必要性

随着 5G 系统大规模商用部署及应用验证, 5G

收稿日期: 2022-11-03; 修回日期: 2023-04-06

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

第一作者: 冯磊 (1983—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信, 邮箱: fenglei@crscd.com.cn.

产业链已经完备。在未来, 5G 将渗透到社会的各个领域。中国国家铁路集团有限公司 (以下简称国铁集团) 近年来密切跟踪 5G 技术发展, 开展 5G 铁路应用技术课题研究, 积极参与国际技术交流, 制定了基于 5G 技术研发 5G-R 作为下一代铁路移动通信系统的技术路线。未来铁路 5G-R 系统

将逐步取代 GSM-R。因此，需要探讨铁路 5G-R 与 GSM-R 共存演进策略，解决两种系统间迁移的技术难题，顺利实现 GSM-R 向 5G-R 的过渡，保护铁路建设投资，同时还应考虑尽量延续既有的运维管理机制、降低工程实施难度。本文将从设备演进、业务实现及基础设施共用等方面进行深入探讨。

2 设备演进

2.1 核心网

5G-R 系统核心网包括 5GC、MC 设备及应用支撑设备。

5GC 采用服务化架构，基于云原生技术实现。MC 设备是分组域网络新增设备，实现集群业务功能。因此采用传统的 ATCA 架构的 GSM-R 网络核心网设备，无法通过升级现有的设备实现 5G 核心网 5GC、MC 设备功能。

核心网应用支撑设备包括 DNS、RADIUS、SMSC、5G-IN 等，虽然部分设备功能可以通过升级既有 GSM-R 共用设备实现，但考虑网元设备割接复杂，对既有设备影响风险较大，目前不考虑共用。

5G-R 系统与需要转接的应用业务之间的接口设备包括 5G-GRIS、CMP、RMS-I 等，5G 与 GSM-R 共用接口设备，业务与系统解耦，应用业务系统的实现方式最简单。建议 5G-R 系统与 GSM-R 系统共用 GRIS，与 CTC/TDCS 的接口不变，CTC/TDCS 无需修改，考虑到共用 GRIS 较既有 GSM-R GRIS 的功能有增加，建议新设 5G-GRIS、CMP、RMS-I 设备，兼容 5G 和 GSM-R 的接口设备功能，由新设设备替代既有设备，应用业务的接口保持不变，最大程度地降低对现网的影响，工程实施复杂性低。

2.2 无线网

不同制式的无线接入网一般采用不同的空中接口技术，物理层调制技术和接入访问层的接入技术不同。如 GSM-R 调制方式为 $BT = 0.3$ 的 GMS，信道编码为卷积码和线性分组码，多址方式为

FDMA，双工方式为 FDD，而 5G-R 的调制方式采用 QPSK、16QAM、64QAM、256QAM 等，信道编码采用 LDPC、Polar、Turbo 码，多址方式为 OFDMA、双工方式为 FDD 和 TDD，且两种系统的带宽、帧结构也都不相同。因此要实现 GSM-R 与 5G-R 接入网络的融合，则必须支持不同网络的空中接口标准，并考虑不同制式的接入网之间的协议及信令转换等问题，实现难度非常大。

目前设备厂家 5G-R 基站采用全新的平台开发，无法实现 GSM-R 基站向 5G-R 的平滑过渡。

2.3 终端

2.3.1 机车综合无线通信设备 (CIR)

CIR 设备无线列调、GSM-R 的多模块工作方式不变。5G-R 的射频功能由车载综合无线传输设备实现，CIR 只需实现 MC 及调度命令、车次号等应用业务传送功能。CIR 通过手动切换模块方式实现无线列调、GSM-R 与 5G-R 之间的跨网运行。

2.3.2 手持终端

GSM-R 系统与 5G-R 系统在网络侧互联，能实现系统用户间的语音业务互通，不能实现跨网漫游。

跨线、跨网运行的列车工作人员宜配置多模手持终端，支持 5G-R、GSM-R 两种制式。对于无跨线、跨网运行的列车工作人员及地面工作人员可配置单模手持终端，支持 5G-R 制式。

2.3.3 列控车载模块

考虑到列车跨线、跨网运行，很长一段时间内，列控车载模块将同时支持 GSM-R 和 5G-R 业务，支持 5G-R、GSM-R 双卡双待，支持 5G-R、GSM-R 天线合路。ATP 的通信模块将支持 5G-R 分组域承载业务和 GSM-R 电路交换业务，ATO 的通信模块将支持 5G-R 分组域承载业务和 GSM-R 分组域承载业务。

2.3.4 车载综合无线传输平台 WTP

5G-R 系统在车上新设车载综合无线传输平台 (WTP) 设备，各业务系统 (ATP/ATO 等列控业务除外) 有车-地无线传输需求时，统一接入车地宽带传输平台，实现业务的车-地无线传输功能。

2.4 天线及漏缆

2.4.1 基站天线

5G-R 基站天线采用 4T4R 或 8T8R 的多波束 MIMO 天线, 频段为 2.1 GHz。GSM-R 基站天线采用正负 45°双极化天线, 频段为 900 MHz。5G-R 基站天线与 GSM-R 基站天线频段差距大, 且天线技术不同, 无法合路后共天线发射。

2.4.2 车载天线

5G-R 系统在车上设置 WTP 设备, 既有 CIR 升级后接入车载综合无线传输设备实现 5G-R 业务, 因此 CIR 不进行 5G-R 射频发射, 无需连接 5G-R 天线。GSM-R 向 5G-R 不断演进需要时间, 在演进过程中两种制式需要并存。考虑到列车跨线、跨网运行的需求, 列控车载模块需要同时支持 GSM-R 和 5G-R 通信制式。CIR 将同时支持无线列调、GSM-R 和 5G-R, ATP、ATO 等需要同时支持 GSM-R 和 5G-R。考虑到车载终端及车顶天线没有安装空间, 整合车顶天线, 支持 5G-R、GSM-R、BDS、400 MHz 无线列调、5G 公网等多个系统制式的多个频段, 优化车顶天线布局, 在不增加车顶天线数量情况下, 提供 5G-R 天馈系统, 组合天线安装在既有车顶位置。5G-R 的终端天线振子数量根据系统业务需求确定, ATO 为 1 天线振子, ATP 为 2 天线振子, WTP 为 4 天线振子。

2.4.3 漏缆

5G-R 系统隧道区段采用双根漏泄同轴电缆方式, 漏泄同轴电缆之间的距离应符合 MIMO 性能要求, 即 $4 \sim 10 \lambda$ 的间距, 对于 2 100 MHz 频段, 此间距约为 0.6 ~ 1.5 m。

目前铁路在用的漏泄同轴电缆共 3 种型号, I 型电缆适用于 450 MHz, II 型适用于 450 MHz 和 900 MHz, III 型适用于 900 MHz, 均不支持 2 100 MHz 频段。因此 5G-R 系统需要使用支持 2 100 MHz 频段的新型漏缆。

考虑到 5G-R 系统、GSM-R 系统及无线列调将有一定时间的并存, 建议使用 IV 型漏缆兼容 5G-R 系统、GSM-R 系统及无线列调系统频段,

即支持 400 ~ 470 MHz、885 ~ 889 MHz、930 ~ 934 MHz、1 965 ~ 1 975 MHz、2 155 ~ 2 165 MHz 等多频段共缆, 与既有 I、II、III 型漏缆相比, 各频段的传输性能指标应不降低。

因此, 现阶段漏缆设置情况如下。

1) 对于后续建设的 GSM-R 线路建议采用 IV 型缆, 支持 5G 频段, 为 5G 信号的引入预留条件。架设高度距离钢轨顶面 4.5 m。未来建设 5G-R 时, 增加一条漏缆架设高度距离钢轨顶面 5.1 m 左右, 与既有 GSM-R 的漏缆形成双缆, 实现双根漏缆的 MIMO。

2) GSM-R 线路若已经采用 II 型或 III 型缆, 安装高度在 4.5 ~ 4.8 m, 无法支持 5G 频段。未来建设 5G-R 时, 如果 GSM-R 漏缆和 5G-R 漏缆共存, 垂直隔离距离应在 0.4 m 以上。GSM-R 和 5G-R 漏缆独立设置, 很难满足 MIMO 的性能及系统间漏缆的隔离距离要求。因此, 如果此区段 GSM-R 和 5G-R 需要同时共存, 则 5G-R 系统的漏缆需采用 IV 型缆, 将 GSM-R 信号与 5G-R 合路后, 馈入新设的漏缆里。在 5G-R 系统漏缆建成后, 拆除既有 GSM-R 漏缆。漏缆的吊挂高度, 应结合 5G-R 试验情况、车载天线的方向图确定, 并根据具体工程情况调整。

3 业务实现

5G 系统的业务承载能力相较于 GSM-R 有较大的提升, 因此在既有 GSM-R 改造为 5G-R 时, 会承载很多新的业务。业务承载方案为增量业务先调试, 存量业务一次性割接, 最终实现全部业务同步运行。对 GSM-R 系统而言, 全部业务一次性割接到 5G-R 系统, 避免两套系统在同一铁路线上同时运行承载业务, 以减少投资和维护上的压力。

3.1 语音业务

GSM-R 系统与 5G-R 系统之间的语音业务过渡, 可采用类似 450 M 无线列调系统与 GSM-R 系统语音业务过渡的方式, 即设置 GSM-R 系统与 5G-R 系统的切换点, 车载终端运行到切换点时,

基于地理位置信息，从一套系统自动切换到另一套系统，机车 CIR 从 GSM-R 系统模块切换为 5G-R 系统模块。这种过渡方式存在的弊端就是正在通信的语音业务将中断，切换完成后，需要重新进行建立连接。

3.2 列控业务

GSM-R 系统与 5G-R 系统之间列控业务的过渡，可按照 RBC 交权区车载 MT 与 RBC 之间的通信方式实施，前提是两套通信网络的边界设置在 RBC 的交权区。RBC 交权之前，车载 MT1 与当前 RBC1 通信，在交权区，根据 C3 列控系统应答器的设置，车载 MT2 注册到目标 RBC2，与 RBC2 建立连接，并与 RBC 之间进行数据交互。之后 MT1 释放与 RBC1 之间的连接。GSM-R 系统与 5G-R 系统在网络边界应存在覆盖重叠区，重叠区长度应满足两套车载 MT 与相关 RBC 通信的需求，保证 RBC 交权顺利完成。

3.3 其他业务

对于其他业务，终端运行到 GSM-R 与 5G-R 网络边界时，正在进行的通信业务将中断，到下一个系统覆盖范围内重新发起连接，进行通信。

4 基础设施共用

5G-R 系统可以尽可能利用 GSM-R 现有站址及配套设施，以降低建设和维护成本。可利旧设施主要为铁塔、机房、外电等资源。后续建设 GSM-R 系统的线路，有必要为将来 5G-R 的建设或改造考虑适当的预留。

4.1 通信基站站间距设置及征地预留

GSM-R 单网交织覆盖时，基站间距一般不超过 3.5 km。普通单网覆盖时，GSM-R 基站间距为 6 ~ 10 km。

5G-R 空间波覆盖能力，经理论测算，用户边缘速率为下行 5 Mbit/s、上行 1 Mbit/s 时，终端功率 2 W，车速 350 km/h，基站天线 8T8R，采用传播模型 cost231 传播模型做郊区空间波场景的链路预算，天线距离轨面高度 23 m，5G-R 站间距

能够达到 3.5 km。采用支持 8T8R 的基站设备、窄波瓣高增益天线、增加天线挂高、RRU 塔上安装等，还可以进一步增加站间距。

后续建设 GSM-R 系统的线路，结合 GSM-R 和 5G-R 基站覆盖能力，合理规划 GSM-R 设备站点，尽量直接利用既有 GSM-R 站址安装 5G-R 设备，并根据需要补充 5G-R 站点。

根据理论预测结果，初步建议在设计的 GSM-R 单网交织覆盖线路，基站间距按不宜超过 3.5 km 设置，将来 GSM-R 改造 5G-R 时，可直接利用既有 GSM-R 站址安装 5G-R 设备。普通单网覆盖线路，GSM-R 基站间距按不宜超过 7 km 设置，GSM-R 改造 5G-R 时，利用 GSM-R 站址安装 5G-R 设备，并在两个 GSM-R 站址中间增加一个 5G-R RRU 站址。在试验线验证后，方案可进一步优化。

4.2 隧道洞室预留

GSM-R 系统隧道内主要采用分布式基站或数字直放站进行覆盖，GSM-R 单网交织覆盖时，隧道内分布式基站或数字直放站间距一般 1.5 km 左右，普通单网覆盖时，隧道内分布式基站或数字直放站间距一般按 2 ~ 2.5 km 设计。

5G-R 隧道漏缆覆盖能力，经理论测算，用户边缘速率为下行 5 Mbit/s、上行 1 Mbit/s 时，终端功率 2 W，车速 350 km/h，基站天线 8T8R，采用 IV 型漏缆做链路预算，5G-R 站间距能够达到 1.6 km。

后续建设 GSM-R 系统的线路，结合 GSM-R 和 5G-R 的基站覆盖能力，合理规划 GSM-R 设备设置地点，为 5G-R 预留通信洞室。

根据理论预测的结果，初步建议在设计的 GSM-R 单网交织覆盖线路，隧道内分布式基站或数字直放站间距按不宜超过 1.5 km 设置，将来 GSM-R 改造 5G-R 时，可直接利用既有 GSM-R 站址安装 5G-R 设备。普通单网覆盖线路，两个 GSM-R 站址中间增加一个 5G-R RRU 站址，为 5G-R 预留通信洞室。在试验线验证后，方案可进一步优化。

对于高速铁路、客运专线、城际铁路等客运量比较大的线路，运营商和铁塔公司一般会在铁路沿线（含正线、车站及隧道）建设公网覆盖，考虑到4G/5G公网覆盖RRU间距500m的需求，有条件的项目，宜按照500m的间距预留隧道内洞室。

4.3 铁塔

根据相关规范，GSM-R铁塔的设计使用年限为50年，按此要求建设的铁塔，在5G-R系统建设时，可考虑利旧使用，对于后续建设的GSM-R铁塔，应考虑预留5G-R系统天馈系统安装的平台、天线支架及荷载要求。

1) 荷载

铁塔荷载应结合当地50年一遇最大风速以及列车通过风压等条件考虑天馈系统、视频监控、铁塔监测的荷载，根据需要预留5G-R覆盖天馈线荷载、检修作业人员荷载，包括后期RRU塔上设置时的通信设备及低压电源监控箱、防雷箱等设备荷载等。

2) 平台

结合不同频段不同制式的天线隔离度要求，铁塔在高度满足条件的情况下进行多层平台设置。目前在GSM-R铁塔上共平台安装5G-R天线和GSM-R天线时达不到水平隔离距离的要求，建议跨平台安装。以三层平台为例，顶部平台为铁路5G-R专网使用，中间层平台可与铁路专网系统（GSM-R、LTE等）共用，底部平台为公网使用。天线抱杆应优先满足专网需求。新建铁塔采用组合单元塔，在满足天线隔离距离和提供适当的维护操作空间情况下，三层平台的间距可在现有5m的基础上适当缩小。

4.4 光缆

5G-R采用分布式基站覆盖，个别为设置BBU机房，区间大多数采用RRU覆盖，因此BBU至RRU需大量的短段光缆（每RRU按4芯光纤预留）。因此后续建设GSM-R的线路，有条件时线路布放1条24芯区段贯通光缆。

4.5 机房及外电

安装5G-R系统BBU设备的机房，需要新设2套传输、2套BBU和2套RRU、1套综合配线柜共需要3个机柜的安装位置。按照双套传输（单套1kW）、双套BBU（单套0.4kW）、双套RRU（单套0.7kW）计算，总功率需求为4.2kW。

安装5G-R系统RRU设备的机房，需要新设2套5G-R RRU设备，共需要1个机柜的安装位置。按照双套RRU（单套0.7kW）计算，总功率需求为1.4kW。

根据相关规范，GSM-R机房的设计使用年限为50年，按此要求建设的机房，在5G-R系统建设时，可考虑利旧使用，对于后续建设的GSM-R站址，与5G-R共站址的机房，应考虑预留5G-R系统设备安装空间。安装BBU设备的机房需预留3个机柜位置，安装BBU设备的机房预留1个机柜位置。

对于后续建设的GSM-R站址，与5G-R共站址的机房，电力区间箱变、变电所变压器的容量，区间综合贯通线和一级贯通线以及调压器等可兼容5G-R用电量统筹设计。安装BBU设备的机房需预留4.2kW负荷，安装RRU设备的机房需预留1.4kW负荷。

5 总结

本文从设备演进、业务实现及基础设施共用等方面对铁路5G-R与GSM-R基础设施共用共存工程建设方案进行深入探讨。在5G-R的建设过程中，应当对基站的覆盖能力进行反复测试论证，做好站址规划工作，统筹利用基础设施资源。

参考文献

- [1] 庞萌萌. 铁路5G-R系统核心网架构研究[J]. 中国铁路, 2021(8): 1-6.
- Pang Mengmeng. Research on Core Network Architecture of Railway 5G-R System[J]. China Railway, 2021(8): 1-6.

- [2] 葛伟涛, 冯敬然, 周敏, 等. 铁路 5G-R 无线接入网组网方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 59-63.
Ge Weitao, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Networking Scheme of Railway 5G-R Wireless Access Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 59-63.
- [3] 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 Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 42-46, 99.
- [4] 肖正杰, 张亮, 孙迪. 铁路 5G-R 语音调度通信系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 36-39, 91.
Xiao Zhengjie, Zhang Liang, Sun Di. Research on 5G-R Voice Dispatching Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 36-39, 91.
- [5] 尹鹏. 5G-R 网络 EIR 设备研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (12): 51-55.
Yin Peng. Research on EIR in 5G-R Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 51-55.
- [6] 姜永富. 铁路 5G-R 研发关键问题探讨 [J]. 中国铁路, 2022 (9): 8-11.
Jiang Yongfu. Discussion on Key Problems of Railway 5G-R R&D[J]. China Railway, 2022(9): 8-11.
- [7] 周宇晖. 基于铁路 5G-R 的 CTCS-3 级列控系统适用性研究 [J]. 中国铁路, 2022 (9): 94-99.
Zhou Yuhui. Research on Applicability of CTCS-3 Train Control System Based on Railway 5G-R[J]. China Railway, 2022(9): 94-99.

(上接 25页)

- Ultra-High Speed Maglev Railway Based on Low Vacuum Pipeline[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(1): 32-36.
- [9] 周梓博, 于行健, 蒋海林, 等. 高速磁悬浮列车车地无线通信技术的探讨 [J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2022, 20 (8): 754-761.
Zhou Zibo, Yu Xingjian, Jiang Hailin, et al. Research on High-Speed Maglev Train-Ground Wireless Communication Technology[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2022, 20(8): 754-761.
- [10] 汤丹. 浅析 38G 无线电系统在上海磁浮示范运营线中的应用 [J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9 (10): 69-72.
Tang Dan. 38G Radio System in Shanghai Maglev Demonstration Line[J]. Urban Mass Transit, 2006, 9(10): 69-72.

基于铁路GPON系统保护机制的应用研究

杨柳青青

(中国铁路广州局集团有限公司广州通信段, 广州 510062)

摘要: 为满足铁路GPON系统承载业务种类的日趋增长需求, 结合铁路接入网的高带宽、高可靠性及高安全性的要求, 介绍GPON系统的保护机制, 并对各种保护方案的适用场景提出建议, 重点针对京广铁路业务承载的实际情况, 研究在不同场景下不同保护机制的应用, 在节省建设成本的前提下, 提高铁路GPON系统的安全可靠性。

关键词: GPON; 保护机制; 可靠性

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0050-05

Application of Protection Mechanism Based on Railway GPON System

Yang Liuqingqing

(Guangzhou Communication Division, China Railway Guangzhou Group Co., Ltd., Guangzhou 510062, China)

Abstract: In order to meet the demand for increasing types of railway GPON system bearer services, combined with the high bandwidth, high reliability and high safety requirements of railway access network, this paper mainly introduces the protection mechanisms of GPON system and puts forward suggestions on the applicable scenarios of various protection schemes. Focusing on the actual situation of Beijing-Guangzhou railway service carrying, the application of different protection mechanisms in different scenarios is studied, so as to improve the safety and reliability of railway GPON systems under the premise of saving construction costs.

Keywords: GPON; protection mechanism; reliability

为满足铁路信息化的发展, 吉比特无源光网络 (Gigabit-Capable Passive Optical Network, GPON) 技术因具有高带宽、低成本、支持多种业务的特点, 成为了铁路接入网的首选。随着铁路GPON系统承载业务种类的增加和重要程度的

提升, 其可靠性问题得到了关注。在铁路GPON系统中, 通常一台光线路终端 (Optical Line Terminal, OLT) 设备会通过PON口连接分光器来管理大量的光网络单元 (optical network unit, ONU), 而分光器与PON口之间只由一根主干光纤组成, 一旦主干光纤或设备出现了故障, 下挂的所有ONU都将无法工作, 用户会出现大面积断网的情况, 尤其是铁路行车运输组织的相关数据业务, 对其可靠性要求高, 因此需引入必要的系统保护。

收稿日期: 2022-04-06; 修回日期: 2023-04-20

第一作者: 杨柳青青 (1988—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 光纤无线通信技术、传输接入设备维护与操作, 邮箱: ylqq521677@163.com。

本文重点研究 GPON 系统的保护机制，重点针对京广线 GPON 系统的实际应用情况，分析研究不同保护机制在不同的场景应用。

1 GPON系统的保护机制

GPON 系统的保护机制通常都是预先规划冗余设备作为备用系统，例如 OLT、分路器、ONU 设备以及设备之间互连的光纤等，此外设备自身也具有备板级的冗余保护能力，例如主控板、电源板、PON 口板均可以配置为主备，铁路 GPON 系统的保护机制会根据业务的重要程度以及设备成本来考虑采用哪些冗余设备来组成备用系统。下面介绍铁路 GPON 系统常用的保护机制，当其系统中某个部件故障时，受影响的主用系统会迅速切换到备用系统上，以保证业务不受影响，从而提高系统的可靠性。

1.1 主干光纤冷备保护

主干光纤冷备保护保护方式的保护对象是 OLT 到分光器之间的主干光纤，各系统设备均无冗余备份措施，如图 1 所示。当主干光纤发生故障时，需要通过人工方式倒代至备用光纤，所以业务中断时间取决于线路抢修的实际恢复时间，在线路故障未恢复时，用户侧业务均受影响，该方式通常用于可靠性要求不高的普通用户接入。

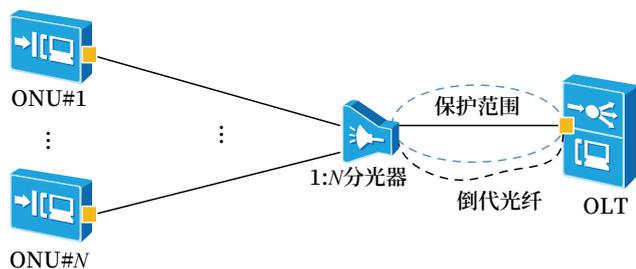


图1 主干光纤冷备保护示意

Fig.1 Schematic diagram of trunk optical fiber cold standby protection

1.2 主干光纤与OLT PON口热备保护

主干光纤与 OLT PON 口热备保护方式是对 OLT 和分光器之间的 PON 口和主干光纤进行保护，OLT 设备配置 2 个 PON 口，分光器的分光比按照 2 : N 配置，如图 2 所示。当主用光纤发生故障时，无需人工干预可自动倒换至备用光纤，毫秒级的切

换时间用户无法感知，不会影响承载业务。该保护方式适用于可靠性要求较高的业务。

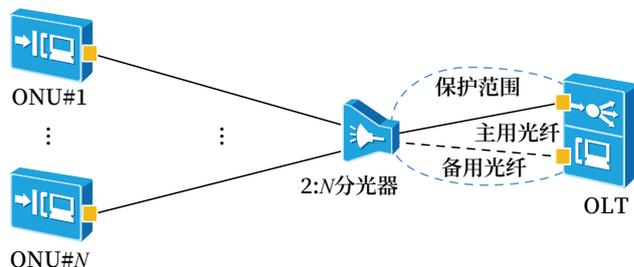


图2 主干光纤与OLT PON口热备保护示意

Fig.2 Schematic diagram of trunk optical fiber and OLT PON hot standby protection

1.3 ONU单归属的全光纤保护

ONU 单归属的全光纤保护方式的保护对象是 OLT PON 口、分光器、ONU 以及系统各设备之间互连的光纤，采用热备份的保护方式，配置一台 2 个 PON 口 OLT，分光器分光比为 1 : N 按照 1+1 配置，如图 3 所示。当任意节点设备、主干光纤、分支光纤出现故障时，均能自动切换至备用部分，从而实现全光纤链路的保护。该保护方式适用于可靠性要求高，有承载重要行车业务的场所。

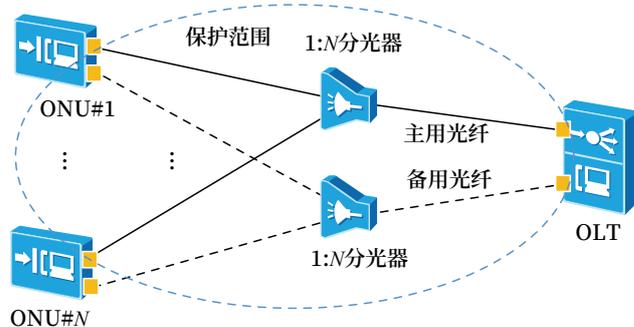


图3 OLT单归属的全光纤保护示意

Fig.3 Schematic diagram of OLT single homed all-fiber protection

1.4 ONU双归属的全光纤保护

ONU 双归属的全光纤保护方式与 OLT 单归属的全光纤保护方式相比较，配置了两台 OLT，作为主备用，如图 4 所示。两台 OLT 的 PON 口都在工作状态，ONU 通过配置注册在两台 OLT 上，当光纤出现故障时，ONU 会自动检测到工作链路上的故障并完成倒换，倒换后 ONU 的业务就会由备用 OLT 转发。为了保证 ONU 的无缝切换，主备用

OLT 需要配置同样的数据，且同步设置相同，所以当未出现切换时，维护人员需要定期人为同步配置或是通过内置定时器定时采集数据进行同步。此保护方式实现成本和维护成本高，适用于对可靠性要求极高的场所。

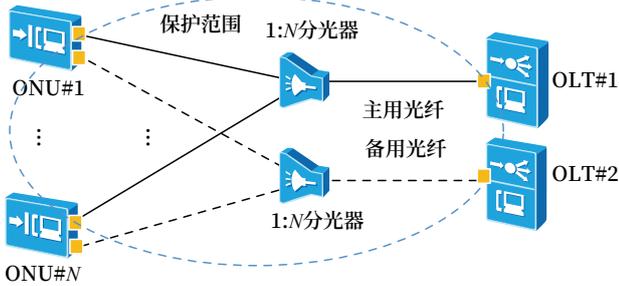


图4 OLT双归属的全光纤保护示意
Fig.4 Schematic diagram of OLT dual-homed all-fiber protection

2 保护机制的应用要求及应用建议

GPON 技术因其较为合理的价格以及实用性等优势，成为了铁路信息化建设“最后一公里”的首选，所以 GPON 系统对成本较为敏感，在考虑网络的安全可靠性的同时，还需要考虑建设成本。铁路接入用户密度虽然低，但承载业务安全性要求较高，若要保证承载业务的稳定运行，将保护方式设为全光纤保护方式，则会大大增加系统的建设成本，也会提高系统维护的难度。因此，在成本和可靠性的权衡下，根据不同线别的 GPON 系统组网结构以及承载业务可靠性要求，需要在不同的场景下采用不同的保护机制。

2.1 线别、站点设备的组网结构要求

OLT 是 GPON 系统中关键的设备，它负责对业务进行汇聚转发，对下挂的各 ONU 进行实时监控、运行和维护管理，它的最大传输距离可支持 40 km。在铁路的实际应用中，OLT 通常是放置在车站的通信机械室。普速铁路车站间的距离一般为 8 ~ 15 km，设置一台 OLT 可以覆盖多个区间，所以通常采用每 2 ~ 3 个车站设置 1 套 OLT 设备，在没有设置 OLT 的车站设置分光器。而高速铁路及客运专业车站间的距离大多接近 40 km，所以高速

铁路的 OLT 通常采用逐站设置。建议有设置 OLT 的大型车站，光分配网络（Optical Distribution Network, ODN）采用星型组网，可以进行全光纤保护，以实现 OLT 到分光器之间的主干光纤保护机制，分光器到 ONU 之间不进行保护；而未设 OLT 的小型车站或是区间节点，ODN 网络常常采用树型组网，可通过多级分光器的方式，以实现邻站 OLT 到一级分光器之间的光纤保护机制，一级分光器到 ONU 之间不进行保护，以降低建设成本。

2.2 综合承载业务的可靠性要求

铁路 GPON 系统可以承载办公信息网、车辆 5T、旅服、电力远动、电源及环境监测系统等相关数据业务，各类视频监控等图像业务和铁路电话、会议等语音业务，这些业务都是铁路行车运输组织和经营管理等相关活动，所以要考虑承载业务的组网和安全可靠性的要求，以承载可靠性要求最高的业务来选择相应的保护机制。

2.3 应用建议

综合分析以上两个方面的要求，为做好冗余保护，建议可以将承载业务分 3 个等级。一是针对于不涉及承载重要业务或行车指挥及行车安全的节点，如普通班组办公网络接入及信号集中监测等，可靠性要求较低，可不采取全光纤保护的方式，通常采用主干光纤冷备方式，以节省建设成本；二是对于承载重要业务的节点，如视频会议等非行车类业务，可采取主干光纤双 PON 口热备保护方式或是全光纤保护的方式进行保护，个别节点根据需求可采用冗余 OLT，实现 ONU 双归属的全光纤保护；三是对于涉及行车指挥及行车安全的节点，如牵引远动、车辆 5T 等行车通信业务，可设置双 ONU 分别接至不同 OLT，实现 ONU 双归属的全光纤保护方式。

3 典型应用

因成本优势，很多铁路局已经大量运用 GPON 系统，承载着各种类型铁路业务。以京广线（广州—飞来峡区段）站点组网结构和承载的业务要求为例，介绍其 GPON 系统采用的保护方案。

该线为普速铁路，根据 OLT 网元隔站设置保护原则，广州 - 飞来峡区段共 17 个 OLT 网元，设置有 OLT 网元的站内段所、车间、班组，设置的 ONU 网元均相应纳入各自车站设置的 OLT，未设

置 OLT 的车站设置的 ONU 设备利用新设站场光缆及干线光缆，采用手拉手的保护方案接入相邻两站设置的 OLT 设备，如图 5 所示。

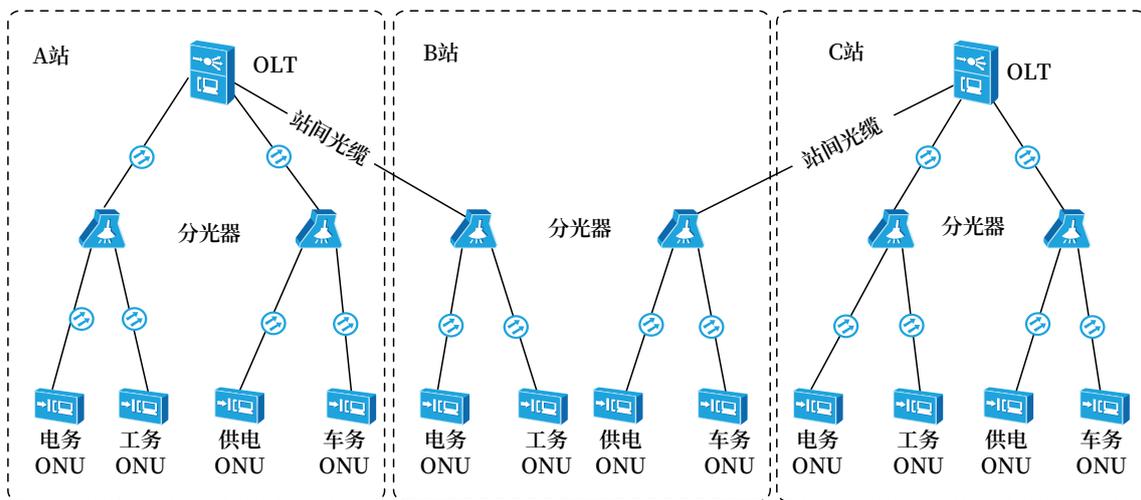


图5 OLT隔站设置保护方案示意

Fig.5 Schematic diagram of OLT alternate setup protection scheme

该线主要承载着办公信息网、综合视频监控、车辆 5T 等数据业务，应用于通信机房至各站段班组与各车站之间，结合站段、车间、班组业务承载分布的实际情况以及业务的特点和安全性要求，主要采取以下 2 种保护方式。

1) 主干光纤冷备保护。此类型的业务可靠性要求不高，主要用于办公网、环境监控、综合视频监控等业务。以京广线源潭站为例，源潭 OLT 设备设置在源潭信号楼通信机房，通过上联口双归接入同机房 A/B 双平面的两台接入路由器 AR，以实现与数据网的互连。通信机房的路由器与信息机房的路由器 CE 相连，以实现信息化办公业务的接入。车站通信机房、相关站段机房或光缆汇聚节点处按照业务需要设置相应分光比的分光器，源潭通信机械室设置的是 1 : 4, 1 : 8 分光器，来汇接二级分光器和 ONU 设备。使用主干光缆逐级形成树状组网，使用“1 个 PON 口 + 1 个 1 : N 分光器 + 单口 ONU 方式”实现用户数据的接入。部分班组设置二级分光器可以减少光缆敷设，且能满足以后更多节点的接入。这样所有业务在系统中，均采用一

组光纤进行上行、下行的传送，各业务通过虚拟局域网 (VLAN) 来进行区分，其组网如图 6 所示。

2) ONU 单归属和双归属的全光纤保护。采用此保护方式的业务类型对可靠性要求非常高，用于红外业务。因此 OLT 与 ONU 采用完全不同的主备径路，采用 1 + 1 备份方式，使 OLT 至 ONU 间的主用光纤和 PON 接口均得到保护，倒换速度快，从而确保红外业务正常畅通。以京广线银盏 - 军田 - 广州北区段的军田站为例，银盏站和广州北站的 OLT 上联数据网组网方式与源潭站类同，根据普速铁路 OLT 隔站设置的组网方式，银盏站与广州北站之间军田站未设置 OLT，军田站的业务使用邻站 OLT 进行业务接入，各站承载重要业务的 ONU 设备利用京广线既有的干线光缆采用 ONU 单归属或双归属的全光纤保护方式接入 OLT 设备，以满足业务保护的需求，承载办公等业务相关班组的 ONU 仍使用“1 个 PON 口 + 1 个 1 : N 分光器 + 单口 ONU 方式”实现用户数据的接入，其组网如图 7 所示。

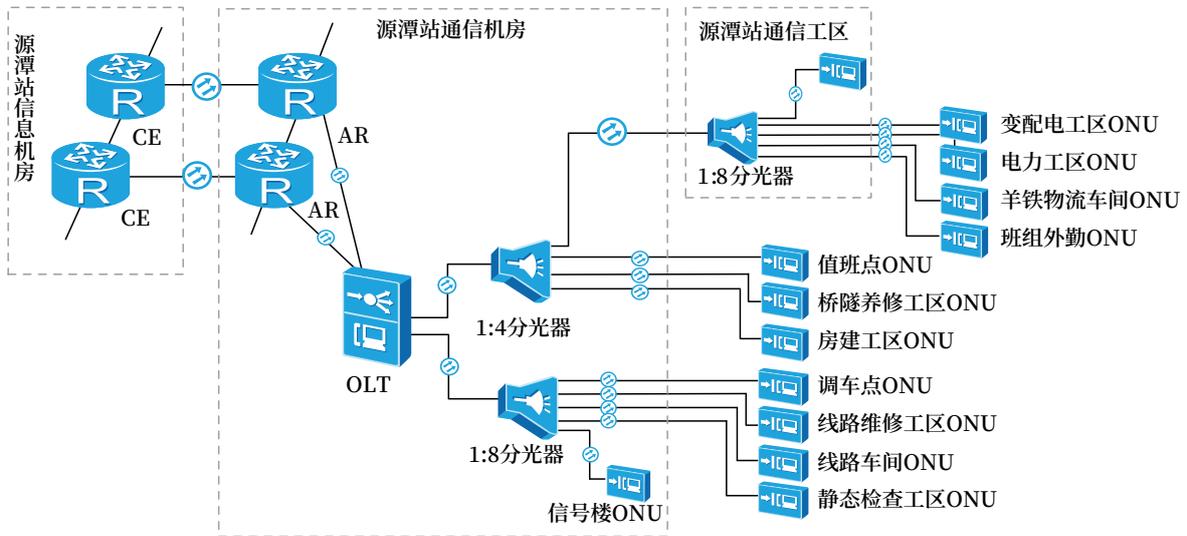


图6 源潭站GPON系统组网示意
Fig.6 Networking diagram of GPON system at Yuantan station

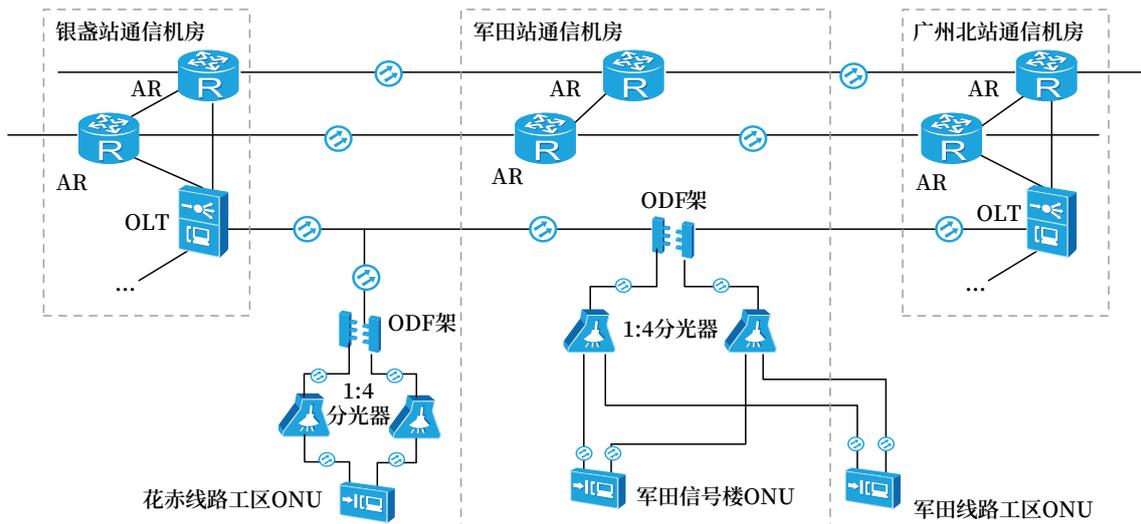


图7 军田站GPON系统组网示意
Fig.7 Networking diagram of GPON system at Juntian station

4 结论

相比传统的接入技术以及数据网技术，在铁路信息化建设上，GPON技术不仅可以满足业务种类多、带宽要求大的需求，还能减少光纤资源的投入，降低建设成本，实现接入用户的统一管理。在解决铁路接入网带宽瓶颈的同时，可根据用户业务承载的可靠性要求程度和实际应用场景，采用灵活多样的保护机制，发挥GPON系统最大的可靠性，以提高通信服务质量，降低通信维护人员压力。

参考文献

- [1] 韩莉敏. 基于GPON的PON保护应用及优化 [D]. 武汉: 武汉邮电科学研究院, 2021.
- [2] 徐建明. 无源光网络在铁路上的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(3): 47-49.
Xu Jianming. Application of GPON in Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(3): 47-49.
- [3] 王昱琦. GPON接入技术在铁路班组信息化建设中的应用探讨 [J]. 中国铁路, 2017(12): 93-98.

(下转 76页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.011

高速铁路手提式二氧化碳灭火器 远程监测装置的设计

陈舒

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 杭州 310006)

摘要: 结合沪昆高铁的运行维护情况, 通过方案比选、产品设计及现场实验, 研发可接入现有动环监控系统的手提式二氧化碳灭火器远程监测装置, 优化现场灭火器的维护检查, 提高日常消防工作的生产率, 最终达到实时网管监测与季度现场检修相结合的新模式。

关键词: 手提式; 灭火器; 远程监测

中图分类号: TU998.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0055-05

Design of Remote Monitoring Device of Portable Carbon Dioxide Fire Extinguisher for High-Speed Railway

Chen Shu

(Shanghai Communication Division, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Hangzhou 310006, China)

Abstract: Combined with the operation and maintenance situation of Shanghai-Kunming high-speed railway, a remote monitoring device of portable carbon dioxide fire extinguisher that can be connected to the existing dynamic and environmental monitoring system is developed through scheme comparison, product design, and on-site experiments. It optimizes the maintenance and inspection of on-site fire extinguishers, improves the productivity of daily firefighting work, and finally achieves a new mode combining real-time network management monitoring with quarterly on-site overhaul.

Keywords: portable; fire extinguisher; remote monitoring

1 概述

消防安全历来是国家安全工作的重中之重。而铁路通信机房作为消防重点单元, 对铁路运输的安全影响巨大。随着《中共中央国务院推进安全生产

领域改革发展的意见》的出台, 铁路设备维修生产要进一步改革、优化。从2016年起中国铁路上海局集团有限公司(简称上海局)上海通信段最先启动铁路通信维修体制的改革, 从局部试点改革到2022年全面推行“状态修”的维修改革, 此次改革意义重大, 改革内容细致, 但此次改革遇到的瓶颈在于: 每月仍需人力进行通信机房灭火器月度巡检, 此事不解决极大影响维修体制改革成效。

目前高铁通信机房一般配备二氧化碳灭火器,

收稿日期: 2020-07-27; 修回日期: 2023-05-18

作者简介: 陈舒(1983—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 有线数据网通信技术及无线GSM-R通信技术, 邮箱: 15068118187@139.com。

主要适用于扑救带电设备、精密仪器、档案资料的火灾。在通信机房消防的日常检修中，现场人员一般使用手掂或台秤称量的模式，以确认二氧化碳灭火器的气体重量是否符合标准，上述检修模式落后且测量精度低。杭州南通信车间 544 km 的管辖范围内共使用 380 具手提式二氧化碳灭火器，现场维护人员仅有 50 人，每月一次仅现场巡检灭火器，就需付出大量的人力、物力，并存在着许多安全风险隐患。如何解决消防灭火器人工巡检工作成为杭州南通信车间维修改革的重大瓶颈。

2 方案比选

现各高铁线均已设置技术成熟的动力环境监测系统，覆盖沿线所有的通信机房，能否利用通信既有便利的监控系统通道，在既不影响既有网络的运行安全，又提供可靠性强、资源节约的解决方案成为一个难点。

根据《中华人民共和国消防法》《手提式灭火器通用技术条件》《铁路消防管理办法》等国家法律和行业规范规定，手提式二氧化碳灭火器的正常状态：年泄漏量不应大于灭火器额定充装量的 5% 或 50 g(取两者的小值)，并参照机房的设计规范要求、通信段要求及车间现场需求，本次设计目标定为：实现对二氧化碳灭火器的远程监测并能实时现场及网管报警。

通过充分调研、分析手提式二氧化碳灭火器性能，对手提式二氧化碳灭火器远程监测设备的设计提出 3 类实施方案。

设计方案一：高清视频巡检法。现有的手提式二氧化碳灭火器上无内部压力表，无法掌握内部二氧化碳压力值，因此在手提式二氧化碳灭火器上加装指针式压力表，并在二氧化碳灭火器的压力表前设置低照度微型高清摄像头，每月灭火器的巡视工作是通过视频网管查看灭火器压力表指针，人工加视频形式监测灭火器的性能。

设计方案一可以直观地看到灭火器内部的压力状态，但查看的气压数值为指针读取不够精准，而且现阶段每具灭火器上均无压力表，新装二氧化碳灭火器压力表需要大量的费用，同时加装压力表的

二氧化碳灭火器存在自身密封性的不确定性，后期消防的维护工作仍需要大量的人力来查看。

设计方案二：特制弹簧秤报警装置。每个灭火器上加装特制的弹簧秤，在通信机房的墙上固定该弹簧秤，二氧化碳灭火器垂直下挂在弹簧秤下，同时在二氧化碳灭火器正下方设置报警装置。当二氧化碳灭火器质量变化后，弹簧秤的弹簧收缩，报警装置则发出报警，并利用通信机房环境动力监控设备上传报警数据，由通信车间网管人员确认现场情况。

该设计方案对经济成本投入较低，主要集中在购置特制弹簧秤，但对安装要求较高，现场二氧化碳灭火器安装位置必须保持垂直安装，同时考虑弹簧秤的弹簧易变形、易固化、易被环境腐蚀等因素，设备长时间悬挂会损耗弹簧秤且监测数值不准确、误差大，需要大量的人力去维护该测试设备。

设计方案三：智能监测报警装置。设计定制单片机集成电路和计算机算法结合的灭火器智能监测报警装置对二氧化碳灭火器重量实时监测，当泄漏值达到预设的报警阈值，现场智能监测报警装置立刻触发声光报警机制，告警信息利用通信机房环境动力监控设备上传报警数据。该智能监测报警装置对现场二氧化碳灭火器重量进行模拟量的采集，控制板将采集到的重量值显示到液晶显示屏上；如泄漏值超过预设的报警阈值时，控制板采集到的数据转化成命令信号，并传送给报警器、报警灯实现现场声光实时报警，同时经过单片机芯片的处理，通过通信机房环境动力监控设备上传数据，再通过环境动力系统将现场的数据呈现在车间动环网管上，做到实时数据采集及实时告警。

该设计方案在不新增通信专用业务、不调整现网运行，对现场设备数据采集精度高、稳定性好，最终实现远程监测目标，对特殊情况能发出声光告警，但技术复杂，对专业知识要求非常高。

通过精确性（测量精确性高，读数识别度越好）、安全性（确保产品质量和劳动人身安全）、经济性（在成本控制范围内，物美价廉）、稳定性（使用周期长，稳定性好）的 3 类方案对比如表 1 所示，最终确定采用设计方案三“智能监测报警装置”的模式。

表1 3类方案对比

Tab.1 Three schemes comparison

指标	供选方案		
	高清视频 巡检法	特制弹簧秤 报警装置	智能监测 报警装置
精确性	肉眼识别指针位置, 指针读数识别度 80%	精度达到 10g, 指针读数识别度 90%	精度达到 1g, 误差小, 网管读数识别度 100%
安全性	安装压力表会破坏灭火器原有密闭性	不改变灭火器原有密闭性, 不影响人员的人身安全	不改变灭火器原有密闭性, 不影响网络安全及人身安全
经济性	工时费、加工费、材料费总价约 10 万元	工时费、加工费、材料费总价约 0.5 万元	工时费、加工费、材料费总价约 1 万元
稳定性	稳定性较好, 寿命可达 5~10 年, 满足目标中所提出的要求	弹簧秤寿命 5~50 万次 (约一年), 弹簧秤容易变形	稳定性较好, 寿命可达 5~10 年, 满足目标中所提出的要求

表2 传感器对比

Tab.2 Sensor comparison

指标	供选方案	
	24 位电容式	24 位 Σ - Δ 型电阻应变式
精度等级	C3	C3
适应性	适用于 -10°C~+50°C 的环境	适用于 -40°C~+85°C 的环境
经济性	200~300 元/个	50~100 元/个

美价廉) 的综合分析如表 3 所示, 最终确定使用 CS5532 芯片。

表3 芯片对比

Tab.3 Chip comparison

指标	供选方案		
	ADC0809	ADS7809	CS5532
芯片精度	8 位	16 位	24 位
时钟频率	5 MHz	2.3 MHz	640 kHz
经济性	20 元/个	300 元/个	100 元/个

3 产品设计

确定方案后, 通过市场调查, 所需的硬件和技术条件均能满足, 根据现场情况制定硬件指标、规格及软件。

3.1 传感器选型

传感器根据精度等级 (传感器精度等级越高越好)、适应性 (能够适应各种环境, 稳定性好)、经济性 (在成本控制范围内, 物美价廉) 的综合分析, 如表 2 所示, 最终、确定使用 “24 位 Σ - Δ 型电阻应变式传感器”。

3.2 单片机A/D芯片选型

模数转换 (A/D) 芯片根据芯片精度 (芯片精度高, 满足使用需求)、时钟频率 (信息处理速度快, 芯片性能好)、经济性 (在成本控制范围内, 物

3.3 电路设计

根据设计方案, 完成 A/D 模块设计图的绘制, 如图 1 所示。

3.4 模拟试验

根据前期工作, 分步实施了电路验证、效果检查, 进行各模块运行状态、功能的试验等, 模拟试验情况均符合预期要求; 运用电路模拟仿真软件进行软件模拟试验, 模拟试验情况均符合预期要求。经过各类试验数据的总结, 电路模块功能模拟试验的成功率是 100%。

3.5 成品形成

经过软件试验成功后, 对将手提式二氧化碳灭火器远程监测装置外观设计图纸交给工厂进行定制

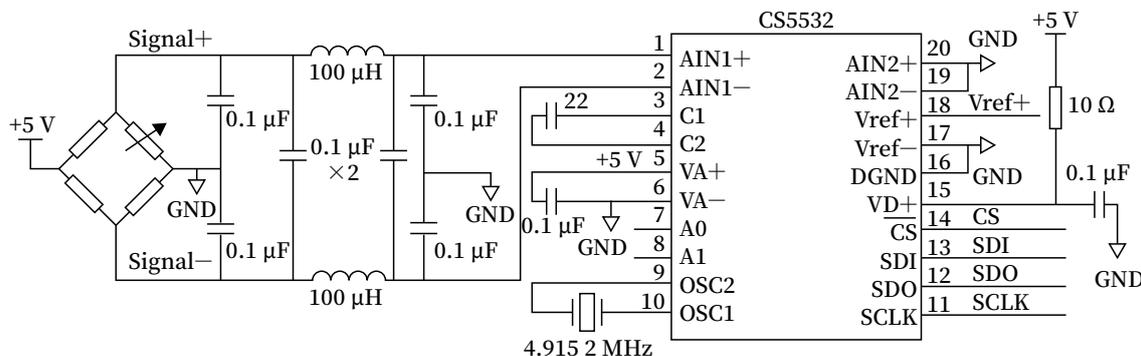


图1 A/D模块设计
Fig.1 A/D Module design

外壳模型，最终手提式二氧化碳灭火器远程监测装置成型，如图 2 所示。



图2 手提式二氧化碳灭火器
Fig.2 Portable carbon dioxide fire extinguisher

4 通信机房现场模拟实验

手提式二氧化碳灭火器远程监测装置功能性是否满足要求还需在实际工作中进行验证，首先在杭州东高铁通信工区对该装置进行功能测试。

4.1 二氧化碳灭火器远程监测装置重量测量精准度

首先对手提式二氧化碳灭火器远程监测装置的重量测量精准度进行测试。本次测试使用 2 kg 的标准砝码，通过 8 次测试重量值的比对，如表 4 所示，手提式二氧化碳灭火器远程监测装置的精准度达到 99.78%。

4.2 二氧化碳灭火器远程监测装置告警精确度

然后对二氧化碳灭火器远程监测装置的告警精确度进行测试。本次测试使用 2 kg 水袋，通过 3 次调整水袋的重量，并设置对应告警门限阈值（阈值为水袋质量增加 1~5 g），确认二氧化碳灭火器远程监测装置是否有告警，手提式二氧化碳灭火器远程监测装置告警准确度达到 100%，同步现场设备发出声光报警。

表4 重量测量精准度

Tab.4 Weight measurement accuracy

项目	标准 2 kg 砝码	测量值 /kg	精准度 /%
1	2	1.995	99.75
2	2	1.996	99.8
3	2	1.996	99.8
4	2	1.995	99.75
5	2	1.996	99.8
6	2	1.996	99.8
7	2	1.995	99.75
8	2	1.996	99.8
平均值	2	1.995 63	99.78

4.3 二氧化碳灭火器远程监测装置室内温湿度精确度

二氧化碳灭火器远程监测装置室内温 / 湿度显示准确度采用实测对比试验，与现场的温湿度仪进行比对，如图 3 所示，手提式二氧化碳灭火器远程监测装置温湿度显示准确度准确，能满足现有机房的温湿度现场监控的效果。



图3 室内温湿度精确度测试
Fig.3 Indoor temperature and humidity accuracy test

4.4 与动环系统关系

手提式二氧化碳灭火器远程监测装置是通过单片机芯片将数据传送至动环系统，动环系统利用其智能口将数据进行无修改的数据采集，并将采集到的数据进行代码对比，最终将有效的信息在动环网管上呈现。同时通过网管告警系统的设置，将手提式二氧化碳灭火器远程监测装置上报的重量数据进行门限设定，重量值低于其重量的 50 g 则进行告警（具体门限值按照出厂重量进行单点设置）。

4.5 接入动环系统

将二氧化碳灭火器远程监测装置接入通信机房既有动力环境监控终端，查看既有通信机房动力环境监控监测功能是否正常，同时检查二氧化碳灭火器远程监测装置接入后运行状态，如图 4 所示。最终测试结果：接入情况良好，既有设备运行正常，二氧化碳灭火器远程监测装置也无缝接入到既有动力环境监控系统中，动环数据准确，达到与既有动力环境监控网管双重验证的效果。

4.6 现网实际运用功能

2022 年 10~12 月将二氧化碳灭火器远程监测装置安装在沪昆高铁杭州南站房通信机房进行现网运用试验，利用既有动力环境监控网管实现实时监测测试。2022 年 11 月中半个月记录数据，如表 5 所示。

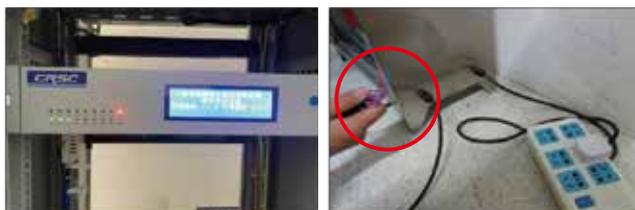


图4 接入动环系统功能测试
Fig.4 Function test after connected to dynamic and environmental monitoring system

表5 网管监控数值

Tab.5 Network management monitoring value

序号	日期	灭火器质量/g (网管)	机房温度/°C	机房湿度/%	报警功能	灭火器质量/g (现场)
1	2022.11.01	7 485	24.3	55	正常	7 485
2	2022.11.02	7 485	24.4	55	正常	7 485
3	2022.11.03	7 485	24.6	56	正常	7 485
4	2022.11.04	7 485	24.4	55	正常	7 485
5	2022.11.05	7 485	24.5	55	正常	7 485
6	2022.11.06	7 485	24.4	55	正常	7 485
7	2022.11.07	7 485	24.5	55	正常	7 485
8	2022.11.08	7 485	24.3	56	正常	7 485
9	2022.11.09	7 485	24.6	56	正常	7 485
10	2022.11.10	7 485	24.7	55	正常	7 485
11	2022.11.11	7 485	24.3	58	正常	7 485
12	2022.11.12	7 485	24.4	56	正常	7 485
13	2022.11.13	7 485	24.3	56	正常	7 485
14	2022.11.14	7 485	24.4	55	正常	7 485
15	2022.11.15	7 485	24.6	55	正常	7 485

对2022年9~12月现场维护测试数据与网管动环监测数据的统计对比,如表6所示,现场测试与网管的数据两者数值均一致,符合现网运用要求。

根据上述试验,通过对4个月现场侧、网管侧手提式二氧化碳智能监测报警装置的试验,从现场数据与网管监控数据来看,手提式二氧化碳灭火器远程监测装置能满足运用需求,能利用网管进行远

表6 网管数据与现场测试对比

Tab.6 Comparison between network management data and on-site test

现场抽查日期	灭火器质量/g (网管)	灭火器质量/g (现场)	温度/°C (网管)	温度/°C (现场)	湿度/% (网管)	湿度/% (现场)
2022.9.15	7 485	7 485	24.6	24.6	55	55
2022.10.15	7 485	7 485	24.5	24.6	58	58
2022.11.15	7 485	7 485	24.5	24.4	60	60
2022.12.15	7 484	7 484	24.3	24.4	65	65

程监控,同时现场也能进行核实比对,符合现铁路网的运用。

5 结束语

手提式二氧化碳灭火器远程监测装置技术不仅提高了对灭火器泄漏值检查的精准度,而且增加对铁路通信机房消防设备的数据监测,全面提升通信机房的消防机制,优化铁路通信机房消防设备性能监控手段,进一步满足中国高铁智能化运营的需要;同时手提式二氧化碳灭火器远程监测装置的研发改变了原本人力巡检的落后维护、检修方式,将粗放的检修逐步演化为智能型精准化的检修,达到提高劳动生产率,全面实施维修体制改革的最终目标。2019年手提式二氧化碳灭火器远程监测装置研发获得上海局集团有限公司科研项目立项评估会的一致好评和认可。

参考文献

- [1] 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.

基于恒定冲击率模型的 列车运行时间计算方法

周丽华, 吴 亮, 柴荣阳, 彭朝阳, 李涛涛, 张 晨

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

摘要: 现有的信号系统运行时间控制方法存在应用于不同线路时需重新规划, 对时间误差响应慢, 临时限速时误差较大的问题。基于恒定冲击率模型, 研究分段命令速度集合下的时间预测方法, 计算列车剩余运行时间, 根据真实剩余运行时间实时调整分段命令速度集合, 从而控制列车高效准时运行。基于提出的方法在国内某地铁线路展开现场试验, 结果显示基于恒定冲击率模型的运行时间计算方法, 实际运行时间与设定时间的误差小于 3.5%, 能够实时在线对列车运行速度进行全局合理规划, 保证了列车的运行效率及舒适度要求。

关键词: 运行时间; 冲击率; 命令速度; 列车运行控制

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0060-05

Calculation Method of Train Running Time Based on Constant Impact Rate Model

Zhou Lihua, Wu Liang, Chai Rongyang, Peng Chaoyang, Li Taotao, Zhang Chen

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

Abstract: The existing running time control methods of signal system need to be replanned when applied to different lines, slow response to time error and have large error when temporary speed limit exists. Based on the constant impact rate model, this paper studies the time prediction method under the section command speed set, calculates the remaining running time of the train, and adjusts the section command speed set in real time according to the real remaining running time, so as to control the train running efficiently and punctually. The field test is carried out on a subway line. The result shows that the error between the actual running time and the set time is less than 3.5% based on the constant impact rate model calculation method, which can make the global and reasonable planning of the train running speed in real time and online, and ensure the train running efficiency and comfort requirements.

Keywords: running time; impact rate; command speed; train operation control

收稿日期: 2022-06-15; 修回日期: 2023-04-08

基金项目: 北京市科协金桥工程种子基金项目 (ZZ22010)

第一作者: 周丽华 (1991—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通自动控制, 邮箱: zhoulihua@crscu.com.cn.

城市轨道交通信号系统由列车自动防护系统(ATP)、列车自动运行系统(ATO)、列车自动监督系统(ATS)、计算机联锁系统(CI)、区域控制器系统(ZC)组成。ATS系统根据地铁车辆运行位置、方向、速度计算指令,从而保证各个地铁车辆运行在安全隔离之内,并保持最小的地铁车辆运行时间间隔^[1]。ATS综合衡量列车运行计划与车辆运行时间间隔后,将区间运行时间信息下发到ATO系统,ATO系统响应ATS指令,调整列车速度按照相应区间运行时间行车,确保达到运营要求。列车运行时间间隔是复杂延时系统在多重因素影响下动态产生的,这些因素之间也呈现复杂的独立性或相关性,导致区间运行时间具有不可预测的多变性。在工程应用中,由于城市轨道交通日常行车对区间运行时间的多样性需求,以及被控对象的大延时、多目标、多约束、非线性特点^[2],导致不同运行时间下区间列车运行策略的优化求解极为困难^[3]。学者采用随机森林^[4]、蚁群算法^[5]、协同优化预测模型^[6]、改进线性预测模型^[7]等对运行时间预测和调整进行了研究。

城市轨道交通ATO系统往往采用嵌入式设备,受到计算能力等条件的制约,通常采用轻量化计算方式完成运行计划调整。目前国内城市轨道交通信号系统通常采用运行等级或速度-时间对照表法实现区间运行时间的规划控制。运行等级方法中,ATS下发运行等级至ATO,运行时间与列车速度百分比采用牵引计算和运行试验相结合的方法确定,并映射成为运行等级。速度-时间对照表法中,ATS下发运行时间至ATO,ATO通过离线定义多条站间运行曲线,并将每条站间曲线分割成若干段,每个分割点记录命令速度与剩余运行时间的对应关系。以上方法在应用于不同线路时需重新规划时间-速度映射关系,对时间误差响应慢,且存在临时限速时控制误差较大。鉴于此,本文使用恒定冲击率对列车运行过程建模,计算分段命令速度集合下的运行时间,最后通过现场试验验证方法的有效性。

1 恒定冲击率模型

衡量列车舒适度的重要指标为列车纵向冲击率,定义为列车从车头至车尾方向的加速度或减速度的变化率。本文所讨论的冲击率均为纵向冲击率,不包含横向冲击率。列车冲击率计算如公式(1)所示。

$$J = \frac{\Delta a}{\Delta t} \quad (1)$$

公式(1)中: J 为列车冲击率; Δa 为列车速度变化率的增量; Δt 为列车速度变化率增量的变化时间。

现有文献对列车运行过程建模时,按照最大加速度和最小减速度计算,不考虑加/减速度在0与极值间变化的过程^[8]。由于列车运行过程中,电机磁场建立和传动系统的时间延迟、车辆的运行舒适性要求等原因,加/减速度变化需经历一定的时间。为提高计算精度,将列车的加速度变化过程拟合成恒定冲击率变化过程。根据工程经验,本文减速度变化过程不进行冲击率拟合。列车的加速度、速度、位移计算如公式(2)~(4)所示。

$$a_t = Jt + a_0 \quad (2)$$

$$v_t = \frac{Jt^2}{2} + a_0t + v_0 \quad (3)$$

$$l_t = \frac{Jt^3}{6} + \frac{a_0t^2}{2} + v_0t \quad (4)$$

公式(2)~(4)中, J 为恒定的加速冲击率; a_0 为列车初始加速度; a_t 为列车实时加速度; t 为时间; v_0 为列车初始速度; v_t 为列车实时速度; l_t 为列车位移。

2 运行时间计算方法

2.1 根据恒定冲击率对列车运行过程建模

列车运行过程包括若干个加速、巡航、减速阶段,假定巡航-加速、加速-巡航阶段,冲击率为恒定的加速冲击率 J_{acc} 、 $-J_{acc}$,其他阶段的冲击率为0。ATO系统根据道路限速、临时限速、车辆性能参数计算命令速度,并按照命令速度控制列车运行。ATO命令速度段的起点、终点位置与加速、巡航、减速阶段并不一一对应,因此需要单独计算每

个命令速度段下的运行时间。

2.2 命令速度段下的运行时间计算

列车在命令速度段下的运行过程可划分为以下7种形式：加速、巡航、减速、加速-巡航、巡航-减速、加速-减速、加速-巡航-减速。假设列车在命令速度段起点的速度为 v_0 ，速度变化率为 a_0 ；最大加速度为 A ，最小减速度为 D ；命令速度段长度为 L ，限速值为 V ，目标点限制曲线在命令速度段终点的限速值为 V_{tar} 。使用 2.2.1 ~ 2.2.7 的方法分别计算通过命令速度段的总运行时间 t 。将列车在命令速度段下的运行时间求和，即为预测的区间运行时间。若预测运行时间高于目标运行时间，则降低最高运行速度，直到预测运行时间与目标运行时间的误差在允许范围之内。按照该最高运行速度下的命令速度集合行车，之后每周期校验时间误差，若误差在允许范围之外，重新修订最高运行速度下的命令速度集合，直到运行结束。

2.2.1 列车加速通过命令速度段

如图 1 所示，若 a_0 不等于 A ，则使用公式 (2) ~ (4) 计算加速度变化结束时的运行时间 t_1 、列车速度 v_1 及位移 l_1 。

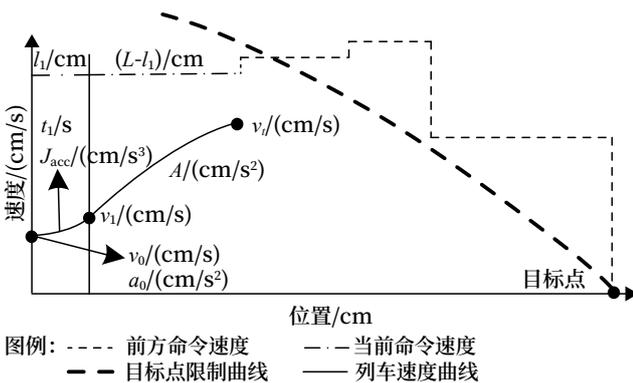


图1 命令速度段预处理
Fig.1 Command speed section preprocessing

剩余命令速度段的速度曲线如图 2 所示，总运行时间 t 使用公式 (5) 计算。

$$t = t_1 + \frac{\sqrt{v_1^2 + 2A(L-l_1)} - v_1}{A} \quad (5)$$

2.2.2 列车巡航通过命令速度段

列车巡航通过命令速度段的总运行时间 t 计算，

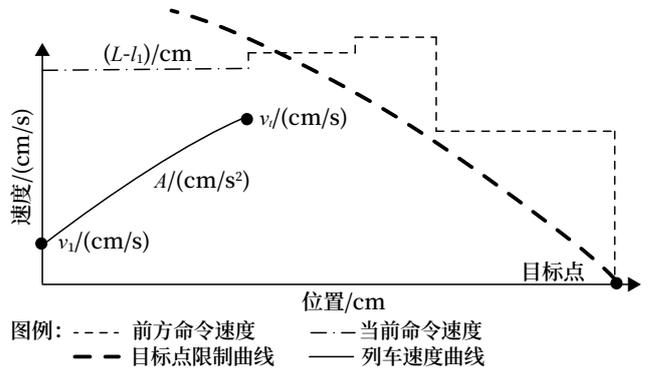


图2 列车加速通过命令速度段
Fig.2 Train accelerating through command speed section

如公式 (6) 所示。

$$t = \frac{L}{V} \quad (6)$$

2.2.3 列车减速通过命令速度段

列车减速通过命令速度段的总运行时间 t 计算，如公式 (7) 所示。

$$t = \frac{V_{tar} - v_0}{D} \quad (7)$$

2.2.4 列车加速-巡航通过命令速度段

命令速度段预处理与图 1 相同，剩余命令速度段 $(L-l_1)$ 如图 3 所示，总运行时间 t 使用公式 (8) 计算。

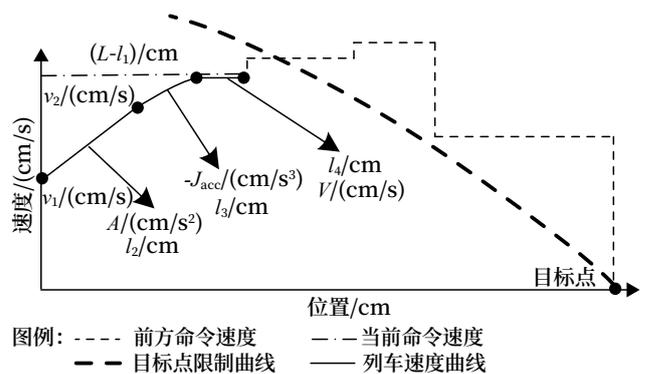
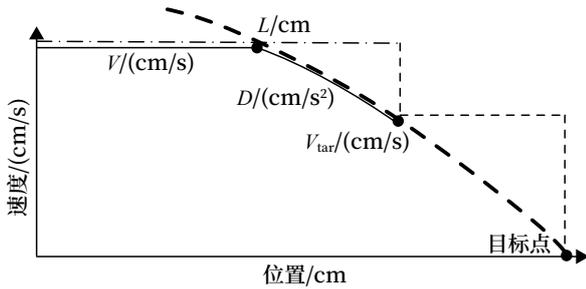


图3 列车加速-巡航通过命令速度段
Fig.3 Train accelerating-cruising through command speed section

$$t = t_1 + \frac{V - \frac{A^2}{2J_{acc}} - v_1}{A} + \frac{A}{J_{acc}} + \frac{L-l_1 - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2A} - \frac{A^3}{3J_{acc}^2} - \frac{Av_2}{J_{acc}}}{V} \quad (8)$$

2.2.5 列车巡航-减速通过命令速度段

列车巡航-减速通过命令速度段的速度曲线示意如图 4 所示，总运行时间 t 使用公式 (9) 计算。



图例: ---- 前方命令速度 - - - 当前命令速度
 - - - 目标点限制曲线 —— 列车速度曲线

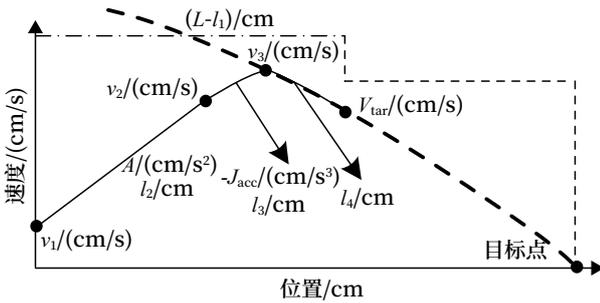
图4 列车巡航-减速通过命令速度段

Fig.4 Train cruising-decelerating through command speed section

$$t = \frac{L}{V} - \frac{V_{tar}^2 - V^2}{2DV} + \frac{V_{tar} - V}{D} \quad (9)$$

2.2.6 列车加速-减速通过命令速度段

命令速度段预处理与图 1 相同, 剩余命令速度段 $(L - l_1)$ 如图 5 所示, 总运行时间 t 使用公式 (10)、(11) 计算。



图例: ---- 前方命令速度 - - - 当前命令速度
 - - - 目标点限制曲线 —— 列车速度曲线

图5 列车加速-减速通过命令速度段

Fig.5 Train accelerating-decelerating through command speed section

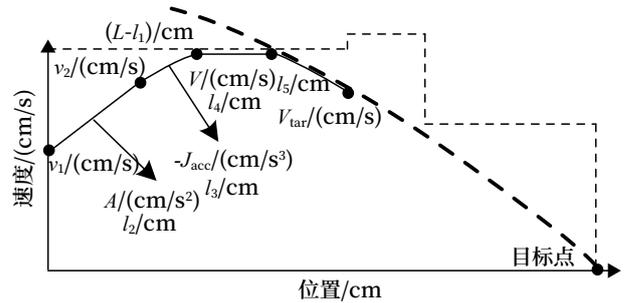
$$L - l_1 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2A} + \frac{A^3}{3J_{acc}^2} + \frac{Av_2}{J_{acc}} + \frac{V_{tar}^2 - (v_2 + \frac{A^2}{2J_{acc}})^2}{2D} \quad (10)$$

$$t = t_1 + \frac{v_2 - v_1}{A} + \frac{A}{J_{acc}} + \frac{V_{tar} - v_3}{D} \quad (11)$$

2.2.7 列车加速-巡航-减速通过命令速度段

命令速度段预处理与图 1 相同, 剩余命令速度段 $(L - l_1)$ 如图 6 所示, 总运行时间 t 使用公式 (12) 计算。

$$t = t_1 + \frac{v_2 - v_1}{A} + \frac{A}{J_{acc}} + \frac{V_{tar} - V}{D} + \frac{L - l_1}{V} - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2A} + \frac{A^3}{3J_{acc}^2} + \frac{Av_2}{J_{acc}} + \frac{V_{tar}^2 - V^2}{2D} \quad (12)$$



图例: ---- 前方命令速度 - - - 当前命令速度
 - - - 目标点限制曲线 —— 列车速度曲线

图6 列车加速-巡航-减速通过命令速度段

Fig.6 Train accelerating-cruising-decelerating through command speed section

3 现场试验结果

本文提出的恒定冲击率模型运行时间计算方法在国内某地铁线路进行了现场试验。现场列车速度范围为 $[0, 80 \text{ km/h}]$, 设定的目标时间在列车可达时间范围之内。如表 1 所示, 试验结果显示本文提出的时分预测方法在全线各区间的相对误差均在 3.5% 以内。

表 1 现场试验时间误差统计

Tab.1 Field test time error statistics

区间	计划运行时间 /s	实际运行时间 /s	时分误差 /%
A 站-B 站	116.4	118.4	1.72
B 站-C 站	142.0	144.8	1.97
C 站-D 站	131.8	133.4	1.21
D 站-E 站	104.8	108.0	3.05
E 站-F 站	120.4	121.6	1.00
F 站-G 站	164.0	164.2	0.12
G 站-H 站	90.0	88.0	-2.22
H 站-I 站	88.4	86.2	-2.49
I 站-J 站	73.4	75.8	3.27
J 站-K 站	139.6	141.8	1.58
K 站-L 站	94.0	94.0	0.00

4 结束语

本文提出的列车运行时间计算方法, 能够在线实时预测列车区间运行时间, 满足嵌入式系统计算能力的限制, 在城市轨道交通信号系统运行时间控制应用方面具有实用价值。本文提出的计算方法依赖于恒定的冲击率, 在下一步研究中, 可考虑适配

变化的加减速率及冲击率, 进一步减少计算误差, 提高运行时间预测精度。

参考文献

- [1] 陈烨. 新一代地铁远程通信ATS系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(6): 1851-1853, 1870.
Chen Ye. Design and Implementation of the New Generation of Metro Telecommunications ATS System[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(6): 1851-1853, 1870.
- [2] 刘彧. 基于坡道的城际铁路节能操纵策略[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(8): 1-5.
Liu Yu. Energy Saving Control Strategy of Intercity Railway Based on Ramp[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 1-5.
- [3] 邓连波, 梅宏达, 周文梁, 等. 城轨区间运行时分-最优能耗值函数的B样条拟合方法[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(9): 2461-2468.
Deng Lianbo, Mei Hongda, Zhou Wenliang, et al. B-Spline Fitting Method of Optimal Running-Time-Energy Function in an Urban Rail Section[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2021, 18(9): 2461-2468.
- [4] 周晓昭, 张琦, 许伟. 不同限速下基于随机森林的列车区间运行时分预测研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(2): 18-23, 54.
Zhou Xiaozhao, Zhang Qi, Xu Wei. A Study on the Random Forest-Based Predictor of Trains' Running Time in Different Sections[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(2): 18-23, 54.
- [5] 赵辉, 代学武. 基于闭塞区间的高速列车运行时间与节能协同优化方法[J]. 自动化学报, 2020, 46(3): 471-481.
Zhao Hui, Dai Xuewu. Cooperative Optimization Method for High-Speed Trains Running Time and Energy Saving Based on Block Sections[J]. Acta Automatica Sinica, 2020, 46(3): 471-481.
- [6] 田昌宇, 刘佳政, 张超. 基于精确运行时间的列车速度曲线计算方案[J]. 控制与信息技术, 2020(5): 58-61, 67.
Tian Changyu, Liu Jiazheng, Zhang Chao. A Method of Velocity Curve Calculation for Train Based on Accurate Running Time[J]. Control and Information Technology, 2020(5): 58-61, 67.
- [7] 陈治国, 李文明, 李文锋. 轨道列车运行时间的线性预测模型与算法[J]. 交通信息与安全, 2016, 34(5): 8-15.
Chen Zhiguo, Li Wenming, Li Wenfeng. A Linear Forecasting Model and Algorithm for Running Time of Urban Rail Transit[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2016, 34(5): 8-15.
- [8] 林宏泉, 郑木火, 周根火. 基于运行时分控制的重载列车推荐曲线计算[J]. 计算机应用与软件, 2017, 34(2): 262-266.
Lin Hongquan, Zheng Muhuo, Zhou Genhuo. Recommended Curve Calculation of Heavy Duty Trains Based on Running Time Control[J]. Computer Applications and Software, 2017, 34(2): 262-266.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.013

市域铁路5G无线通信应用方案研究

熊栋宇

(中铁二院华东勘察设计有限责任公司, 杭州 310004)

摘要: 针对市域铁路无线通信存在制式种类多样、系统孤立、维护升级复杂、智慧化需求多的难题, 总结市域铁路各类场景业务应用需求, 分析 5G 无线覆盖性能指标, 深入探讨 5G 网络对业务融合承载、应急通信和智慧化应用的独特优势。最后, 结合行业应用特点, 探讨可行的商业合作方式, 并从终端、接入网、承载网、核心网的角度, 给出 5G 公网专用的总体架构方案和后期的运营维护标准。

关键词: 5G; 融合通信; 应急通信; 市域铁路

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0065-06

Research on 5G Wireless Communication Application Scheme for Suburban Railway

Xiong Dongyu

(CREEC East China Survey and Design Co., Ltd., Hangzhou 310004, China)

Abstract: In view of the problems in suburban railway wireless communication, such as various types of systems, isolated systems, complex maintenance and upgrading, and multiple intelligent requirements, this paper summarizes the application requirements of various scenarios of suburban railway, analyzes the performance indicators of 5G wireless coverage, and deeply discusses the unique advantages of 5G networks in service integration, emergency communication and intelligent applications. Finally, combined with the characteristics of the industry application, the feasible business cooperation mode is discussed. From the perspective of terminal, access network, bearer network and core network, the general architecture scheme and operation and maintenance standards for 5G public network are given.

Keywords: 5G; integrated communication; emergency communication; suburban railway

收稿日期: 2022-12-07; 修回日期: 2023-05-10

基金项目: 中铁二院华东勘察设计有限责任公司重点科研项目 (2022-KY-02)

作者简介: 熊栋宇 (1981—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通的通信和智能化信息技术, 邮箱: xiong_505@163.com.

1 现状分析

市域铁路作为新型轨道交通系统, 为中心城区、周边新城、乡镇组团之间提供公共交通、大运力、快速便捷的交通服务, 具有线路长、站间距大、地下高架共存、列车速度快 (120 ~ 160 km/h)、存

在与其他线路换乘（或接轨）、与城镇商业圈融合发展的特点。无线通信系统作为市域铁路的重要设备系统，为乘客、运营人员、警务人员等提供音、视频及数据的移动通信服务，同时为设施、设备的运营、运维信息提供无线传输通道服务。现有市域铁路的无线通信系统制式多样，且存在几个方面不足。

- 1) 免许可频段的无线通信系统容易受到外界的干扰。
- 2) 区间系统设备多、运维工作量大、安全隐患点多，同时有限的隧道空间不利于后期升级改造。
- 3) 市域铁路速度快，Wi-Fi 系统制式在吞吐量、切换稳定性及安全性方面性能下降明显。
- 4) 承载业务的无线网多样化，缺乏统一融合通信，难以实现应急通信，不能做到地下与地上、站段与周边的业务融合发展。

2 市域铁路的无线业务需求分析

无线通信网络主要应用于移动通信服务、应急通信以及不利于有线通信布线等情景。结合市域铁路的应用场景，无线通信业务需求主要包含以下几种类别。

- 1) 列车运行与控制类：包括信号基于通信的列车自动控制系统（CBTC）、车辆重要状态信息。
- 2) 调度指挥类：包括音、视频无线调度。
- 3) 车载信息类：包括车载乘客信息系统（PIS）、车载运营信息、车载视频、车载智能运维等。
- 4) 物联感知类：包括巡检机器人、单兵设备、增强现实（AR）终端、智慧工地、应急安防和物联感知终端等。
- 5) 旅客服务类：包括客服机器人、客服终端、站内定位与导航等。

考虑无线小区的特性，无线通信业务需求统计按 1 个小区的标准进行统计。基本业务需求统计主要参考相关规范和白皮书，并结合成都和杭州实际工程应用需求进行更新，具体如表 1 所示。

通过分析可知，业务上行无线带宽需求是下行的 2~3 倍左右；业务发生的时间、区域不同，比

如：区间运维业务多为停运阶段，不占用运营时段小区带宽资源，同时 AR 远程指导业务发生在设备区，与客服类业务不在同一无线小区区域，基本可以独享基站无线网络资源。

3 5G无线覆盖与性能分析

2021 年工业和信息化部发布的《工业互联网和物联网无线电频率使用指南》中并没有为城轨和市域铁路分配专用的频段，而是鼓励工业互联网和物联网业务优先使用电信类运营商 5G 公网为主的承载。当前 3.0 GHz 以下黄金频段没有完整的大带宽、空闲的频段可用，因此，当前 5G 技术应用于市域铁路的主流选择是采用运营商公网切片方式承载专网业务。5G 网络切片可为不同类型业务提供不同的服务，分为服务质量（QoS）优先保障切片、资源块（RB）资源预留切片、载波隔离 3 种类型，为满足不同业务的可靠性需求和无线资源的动态分配，推荐市域铁路采用 RB 资源预留切片和 QoS 优先保障切片结合的方式。

市域铁路包括地下站、高架站、隧道区间、高架或地面区间、场段共 5 类区域场景。在地下站，5G 无线网络主要采用有源室分覆盖方案，由基带处理单元（BBU）、集线器（RHUB）、皮基站设备（pRRU）组成；高架站采用小型内置天线（RRU），采用宏微协同覆盖方案；隧道区间，5G 无线网络采用 BBU+RRU+漏缆覆盖方案；高架或地面区间线路采用铁塔有源天线单元（AAU）结合线路走向统筹部署，沿线可设小型内置天线（RRU）补强的覆盖方案，条件允许时公网也可共享专网的无线漏缆；场段区域采用铁塔+小型 RRU 协调覆盖方案。

5G 公网中低频段采用时分双工（TDD）模式，由于上行与下行时隙比为 3:7 或 2:8，从而使下行网络吞吐率远大于上行，而市域铁路业务流量需求主要集中在上行业务，因此，上行网络性能是市域铁路业务承载的瓶颈。根据合肥、杭州、南京轨道交通实测数据 100 MHz 频谱、时隙比 7:3 下，各场景信号覆盖良好情况下的网络性能实测测试如表 2 所示。

表1 市域铁路基本无线业务需求统计

Tab.1 Statistical table of basic wireless service demand of suburban railway

业务类别	业务应用	上行带宽 / (Mbit/s)	下行带宽 / (Mbit/s)	时延 / ms	业务区域	备注
列车运行与控制	CBTC	1.024	1.024	150	区间、场段行车区域	涉及行车安全，按2列车考虑
	车辆重要状态信息	0.208	0.2	300		
调度指挥类	音频信息	0.512	0.512	400	站段、区间全部区域	按8路音频通话，2路视频考虑
	视频信息	2	2	400		
车载信息类	车载PIS		6	500	正线区间	
	车载运营信息		0.01	300	正线区间	
	车载视频	12		500	区间、场段行车区域	按2 Mbit/s / 路考虑
	车载智能运维	13	4	300		
物联感知类	巡检机器人 / 无人机	16	2	300	站段及行车区域	区间为停运时间段，车站为设备区
	单兵设备	4	4	400	站段及区间	按每单兵2 Mbit/s
	智慧工地	40	18	400	工程建设期的地面、地下	含监控和相关物联感知
	应急安防	8	0.2	300	站段、区间	按4 Mbit/s / 路，区间为停运时
	AR远程指导	25	8	20	站段、区间	区间为停运时，车站为设备区
	各类物联感知终端	2	1	300	站段、区间	
旅客服务类	客服机器人	8	2	300	车站	按1台考虑
	客服终端	2	2	300	车站	
	站内定位与导航	1.6	1.6	300	车站	按50个用户需求考虑
合计	区间带宽合计（非运营时段）	55	15.2		含列调和列控信息	
	区间带宽合计（运营时段）	31	15.01			
	车站带宽合计	29.334	14.536			

表2 各类场景网络性能

Tab.2 Network performance in different scenarios

场景	频谱宽带 / MHz	基站	终端	平均时延 / ms	平均上行速率 / (Mbit/s)	平均下行速率 / (Mbit/s)	最小上行速率 / (Mbit/s)	最小下行速率 / (Mbit/s)
地下室分覆盖	100	4T4R	2T4R	≤ 15	120	450	60	190
高架半敞开覆盖	100	8T8R	2T4R	≤ 15	150	650	60	220
隧道漏缆覆盖	100	2T2R	2T4R	≤ 15	120	705	55	415
铁塔覆盖	100	64T64R	2T4R	≤ 15	100	445	35	199

由此可见，5G无线网完全满足市域铁路车站下行业务（14.536 Mbit/s）和运营时段区间下行业务（15.01 Mbit/s）的带宽与时延需求；满足市域铁路车站上行业务（29.334 Mbit/s）和运营时段区间上行业务（31 Mbit/s）的带宽和时延需求；实际工程应用中，上行网络带宽资源还可以通过增加收发天线或漏缆数、载波聚合、超级上行、超密组网、多模多通道等多种方式进一步提升上行网络资源。

4 5G无线网对市域铁路业务综合承载探讨

列车运行与控制类业务密切关系到行车运营安全，主要涉及到站段和行车区间内的区域，对无线网络的安全性、可靠性要求非常高，优选专用频率、独立组网的方案，比如：采用1 785 ~ 1 805 MHz专用频段的LTE-M技术；若市域铁路与城际铁路接轨，则应选用同城际铁路相兼容的无线制式。

针对调度指挥、车载信息、旅客服务、物联感知类的业务，当前承载此类业务的无线通信制式种类分散、孤立、智慧化业务接入需求不断增多、维护升级复杂，需要一种能够保障不同业务的融合通信制式，实现市域铁路的高质量发展。5G 公网专用可实现市域铁路业务的融合通信，有利于业务快速应用和部署，并可支持应急通信。下面从不同的场景角度对业务承载进行探讨。

1) 融合通信场景

5G 通信网络能构建业务、区域和人的通信融合共存，实现全方位的信息生态系统。5G 融合通信体现在两个方面：其一为区域的融合，实现市域铁路地上、地下一张网，换乘线路间、站段与周边商业一张网，业务应用不受制于常规物理管理边界和无线制式的影响，仅需在核心网完成数据路径和安全策略配置即可实现业务流的打通与汇聚，打破了区域通信局限性，很好的助力站城商业圈融合、提升商业价值。其二为业务的融合，实现音频、视频、位置、数据等信息的一张网承载与同步，乘客业务与市域铁路服务业务一张网泛在承载，通过各类业务的同步关联、综合数据在管理平台和终端的整合应用，助力市域铁路智慧化发展，进一步降低运营管理成本、提升运营运维效率、提高运营指挥精确性等。比如：在突发大客流或其他异常事件情况下，可以结合线路甚至线网的人员、物资的位置和力量分布情况，就近调配，实现快速响应，精确布置。

2) 移动、应急通信场景

在日常运营情况下，通过移动终端设备为工作人员提供的音视频通话、移动票务处理、移动维修管理与处置、巡检自动记录、远程维修指导、人员定位管理等多种服务，并可替代传统公务电话系统、半自动售票机（BOM）等，提高工作效率。

在车站、区间发生灾害情况下，工作人员可快速布置单兵设备、无人机、移动监控与广播等设备，实现地下与地面的应急通信救援。乘客可通过终端应用程序（APP）结合定位信息向乘客服务中心进行报警和音、视频求助，替代区间轨旁电话，作为

车载或车站求助电话的补充，同时，指挥中心工作人员也可远程向待救援区域的人员手机 APP 主动发起弹窗提示服务，实现第一时间救援引导。当自然灾害、停电等引起基站设备无法正常工作，导致通信中断时，5G 终端可进行节点到节点（D2D）通信，即邻近的两个移动终端间能够不经过基站直接通信，同时用户可以通过一跳或多跳 D2D 通信连接到无线网络覆盖区域内的移动终端，借助该终端连接到无线网络，为求助与救援提供应急通信保障。

3) 智慧化应用场景

5G 网络与物联网、云计算、人工智能（AI）等技术深度融合，是市域铁路智慧化应用的最后 100 m 延伸，为工程建设、站段人性化运营服务与管理，线路的各类设施、设备的智能运维带来了全新的发展，贴合市域铁路的数字化转型。以工地智慧化管理为例，通过 5G 通信网络，将地上、地下工地现场的各种施工场景、施工人员行为、灾害风险、音视频图像和位置信息等实时上传到监控管理中心，实现远程操作、远程巡查、远程 AR 指导、实时分析和风险预警等智慧业务应用，有利于统筹管控质量、进度与风险，提升管控效率，能够提供辅助应急决策。

5 5G无线网在市域铁路的应用方案

5.1 5G公网专用的商业应用模式

市域铁路的无线通信网络基本采用自建自维方式。当采用运营商 5G 公网专用方案时，则市域铁路公司需要每年支付一定的网络租费，因此 5G 网络运营商只有合理取费，才符合两家单位的核心利益。从无线网络全生命周期投资的角度，可采用无线频谱资源占比分享的商业合作方式，即考虑全生命周期的 5G 网络租赁服务费替换传统一张自建自维无线网络的方式，如此，5G 公网与市域铁路才能互惠互利和长远发展。

5.2 5G公网专用总体应用方案

市域铁路业务对 5G 网络的速率、时延、可靠性、网络的可用性和安全性都需要确定的服务级别

协议 (SLA) 指标要求, 需要分解业务需求并匹配相应的网络配置, 达到 SLA 指标的要求。为保证系统高可用性和安全性, 需要从接入网、承载网、核心网等综合考虑构建全流程保障系统, 最终实现不同业务的不同需求。

为保障用户业务数据不出场、低时延等需求, 核心网用户平面功能 (UPF) 网元需要下沉到市域铁路的控制中心, 对线路本地数据进行分流和分流处理, 实现数据传输、处理, 结果反馈终结于市域铁路内部, 同时, 下沉的核心网 UPF 应冗余部署, 并做好分区分域的网络隔离。承载网传输采用冗余链路、环网部署方案来提高链路可靠性, 业务通道采用虚拟专用网络 (VPN) 隔离、灵活以太网技术 (FlexE) 的接口隔离方案。

接入网重点在现场可桥接异构的网络, 包含 5G+ 车载接入单元 (TAU)、5G+ 窄带物联网 (NB IoT)、5G+ 无线终端接入设备 (CPE)、5G+ 蓝牙/超宽带 (UWB) 定位、5G+ 毫米波等应用。具体而言, 5G+TAU 满足集群调度、车辆各类状态信息、车载视频、车载 PIS、智能运维等各类信息高带宽、高可靠、实时的通信需求。5G+NB IoT 为各类工务设施、机电设备等的状态、告警、控制信息提供高可靠传输, 解决现场布线难题。5G+CPE 为无人机、机器人和视频终端等提供音视频、数据等信息大带宽回传。5G+ 蓝牙/UWB 高精度定位解决人员定位与导航、设备定位、跟踪和远程控制。5G+ 毫米波可保障重点区域覆盖和上行传输需求。市域铁路 5G 公网专用的总体架构如图 1 所示。

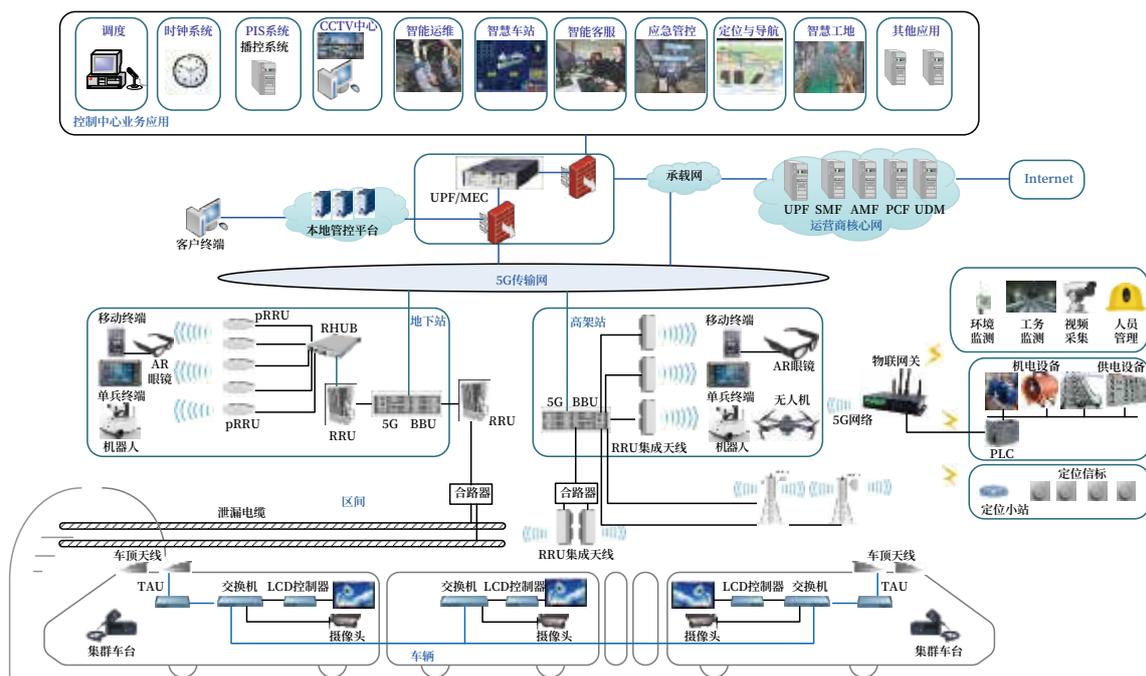


图1 5G公网专用总体架构
Fig.1 Overall architecture for 5G public network

为了降低 5G 网络故障对市域铁路运营影响, 市域铁路对 5G 无线网的运维服务标准还存在行业的特殊需求。首先, 市域铁路线路内需要本地化无线网 SLA 保障实现故障预警、网络诊断、自动化处理、快速响应和闭环优化处理。其次, 市域铁路运营公司还存在对网络的自主监控和对终端自主管理,

实现网络可视可管, 及时了解业务运行状态和运营状况, 保障在应急情况下, 实现运营、运维管理的统一指挥、统一部署。

6 结语

5G 无线网是构建全方位的信息生态系统底座,

对加速市域铁路的智慧化业务发展和数字化转型,促进 5G 的行业深度应用具有重要意义。本文结合市域铁路业务需求、无线通信的痛点、5G 无线网承载市域铁路业务优势和应用方案进行研究,希望能抛砖引玉,为市域铁路可持续、智能化、智慧化发展提供一种无线融合通信的解决方案。

参考文献

- [1] 汪时中. 市域(郊)铁路规划设计若干关键问题的分析与思考[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(4): 10-16.
Wang Shizhong. Analysis and Reflection of some Key Issues on the Planning and Design of Urban (Suburban) Railways[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 10-16.
- [2] 燕强. 城市轨道交通无线通信网络的融合及其方案应用[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 107-111.
Yan Qiang. Integration and Scheme Application of Urban Rail Transit Wireless Communication Network[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 107-111.
- [3] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范第1部分: 系统需求: T/CAMET 04005.1-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [4] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范第3部分: 综合承载信息分类与要求: T/CAMET 04005.3-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [5] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)接口规范第3部分: 集群业务功能和接口: T/CAMET 04006.3-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [6] 杨琪, 冯敬然, 周敏, 等. 城市轨道交通 5G 公网融合组网方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 63-69.
Yang Qi, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Research on 5G Public-Private Network Convergence Scheme for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 63-69.
- [7] 李斌. 铁路 5G 专网应用需求研究及部署方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 42-46.
Li Bin. Application Requirement and Deployment Scheme of Railway 5G Private Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 42-46.
- [8] 汪丁鼎, 许光斌, 丁巍. 5G 无线网络技术与规划设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.

本期广告企业简介

焦作铁路电缆有限责任公司

国内轨道交通电线电缆核心供应商之一。五十多年生产经历。主要产品: 信号电缆、贯通地线、漏泄同轴电缆、射频电缆、长途对称通信电缆、27.5 kV 电气化铁路电缆、35 kV 高压电缆、直流电缆、低压电力电缆、控制电缆、电线。

焦作铁路电缆有限责任公司

地址: 中国河南省焦作市站前路 8 号

电话: 0391-2632323

网址: <http://thjl.crsc.cn>

Jiaozuo Railway Cable Co.,Ltd

Address: No.8 Zhanqian Road, Jiaozuo, Henan Province, P.R.China

Phone: +86-391-2632323

Website: <http://thjl.crsc.cn>

(详见封三)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.014

轻轨CBTC信号与 DTC信号多制式兼容方法研究

江 坤, 杨迪飞, 刘 佳

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

摘要: 轨道交通延伸线中的信号处理方案是影响整个工程顺利完工的重要因素。由于线路的拓展, 既有线路中信号控制系统和延伸线路中信号控制系统可能存在制式不一致的情况。针对既有线路中和延伸线路中分别使用基于通信的列车自动控制系统 (CBTC) 制式以及数字轨道电路控制系统 (DTC) 制式, 或者既有线路中和延伸线路中分别使用 DTC 制式以及 CBTC 制式的线路, 提出一种多制式兼容的方法, 用来满足实际线路中的使用需求。

关键词: 信号多制式兼容; CBTC; DTC; 延伸线贯通

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0071-06

Research on Multi-standard Compatibility Method of Light Rail CBTC and DTC Signal

Jiang Kun, Yang Difei, Liu Jia

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

Abstract: The signal processing scheme in the rail transit extension line is an important factor affecting the smooth completion of the entire project. Due to the expansion of the line, the signal control systems of the existing line and the extension line may have inconsistent standards. This paper proposes a multi-standard compatibility method for existing and extension lines using CBTC (communication-based automatic train control system) and DTC (digital track circuit control system) respectively, or existing and extension lines using DTC and CBTC respectively. It is used to meet the requirements of actual lines.

Keywords: signal multi-standard compatibility; CBTC; DTC; extension line through

1 概述

随着城市轨道交通的快速发展, 国内许多城市轨道交通需要增设延伸线工程, 来满足日益增长的需求^[1]。由于既有线和延伸线的施工时间不一致, 二者的信号控制系统可能存在不一致的情况^[2]。以

收稿日期: 2022-04-15; 修回日期: 2023-04-25

基金项目: 通号城市轨道交通技术有限公司科研项目 (5100-K1220003)

第一作者: 江坤 (1975—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信信号, 邮箱: jiangkun@crscu.com.cn。

既有线为数字轨道电路控制（DTC）信号控制系统，延伸线为基于通信的列车自动控制系统（CBTC）制式为例，DTC 使用绝缘节对列车进行定位和制式升级的控制，CBTC 使用应答器实现列车的定位和制式升级的控制^[3]。而绝缘节和应答器所对应的信号系统控制方法存在较大差异，无法使用某一种信号控制方法满足整体的工程需求。如果拆掉已有的绝缘节或者应答器进行替换，使整条线路的设备保持统一，会大大增加线路的成本。因此，本文提出一种“CBTC-DTC”多制式信号控制系统兼容的转

换方法，保证此种线路的顺利延伸。以长春轻轨 3 号线多制式兼容项目为例，详细阐述本文方法的实施。

2 DTC与CBTC定位方式分析

列车设备如图 1 所示，既能装配接收 CBTC 信号的应答器传输单元（BTM）天线，又能装配接收数字轨道电路信息的数轨天线，此结构为制式转换能够顺利进行的基础^[4]。

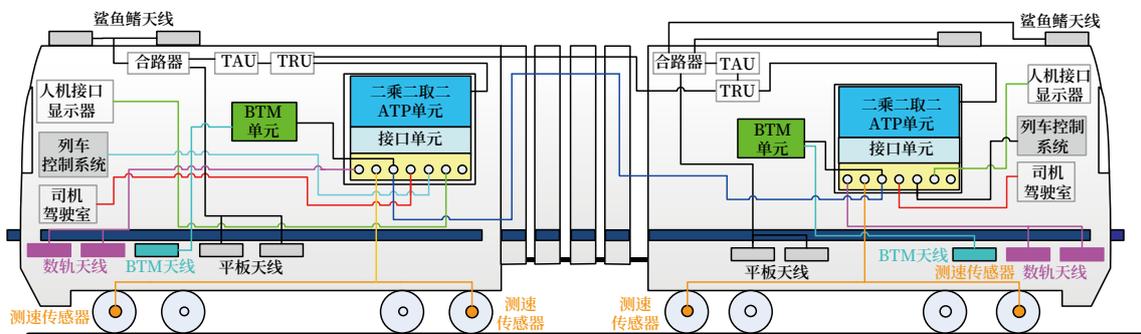


图1 车载设备示意
Fig.1 Onboard equipment diagram

2.1 DTC制式下数轨定位

数字轨道电路定位方法采用列车的运行轨道——钢轨作为列车定位的信息传输通道^[5]。采用“S 棒”将轨道线路进行电器隔离，形成若干个轨道区段，并对所有的轨道区段进行统一编号^[6]。另外，对线路地形和线路设备以及轨道长度等进行数字化描述后形成线路电子地图，存储在车载子系统中。在列车上安装数轨天线，其可以接收解析数字轨道电路发来的信息，并将解析后的信息帧发送给车载子系统。

在车载子系统重启或启动之后，处于未定位状态，此时车载子系统根据接收的数轨信息帧，查询电子地图可以确定当前列车所在的轨道区段。当车载子系统接收到两个连续的轨道电路信息帧中的区段标识后，通过电子地图获得列车的运行方向，如果该方向与后一段轨道电路信息帧中的进路方向一致，则建立定位。

数轨定位法可以作为其他定位系统的校正使用。

在列车从一个轨道区段进入另一个轨道区段时，数轨天线会向车载子系统发送过绝缘节信息帧，此时列车会记录下列车的总里程作为两个轨道区段的边界位置，并以此位置进行校位。

2.2 CBTC制式下应答器定位

CBTC 定位方式采用查询应答器加车载测速器。另外，采用多普勒雷达测速法作为车载测速器的补充。雷达评估反射雷达波的多普勒效应并计算速度和距离值，雷达的结果完全不受列车的空转和滑行影响，两种测量传感器的连续结合可以得到更加安全、可靠、精确的速度距离值^[7]。

各种定位方式描述如下。

1) 车载测速定位法

车载测速定位法是将光电脉冲测速传感器安装在列车车轮上，列车运行时车轮转动，传感器测量每秒车轮转动轮周数，就可测得列车的速度。在此基础上，加上与时间参数的处理，就可以获得相应

运行里程数，从而获得列车的定位值。这种将测速转为测距来取得列车定位的方式在国内外实际工程中获得广泛应用。但在实际应用中会发生因车轮的不规范运动，诸如抱死、滑行等，以及车轮边缘磨损等情况而产生干扰和误差，这需要在实际运行中进行校正。

2) 查询应答器法

查询应答器法主要是通过采集列车收到的地面信号来确定列车位置。该方法在具体实施时，一般在地面道床上设置应答器，列车上安装查询器。当列车经过应答器时，向地面应答器通过无线电波发射能量信号，地面应答器激活后，立即将地面应答器内存储的信息向列车 BTM 天线发送，BTM 天线收到这些信息后，可以通过查询电子地图获得自身的精确定位。

由于应答器安装在地面固定位置，通常作为其他定位系统的校正使用。

在车载子系统（重新）启动后或由于其他原因导致列车位置不可信时，列车位置是未知的，定位状态为“失去定位”。在检测到两个连续应答器，同时所测量的两个应答器之间的距离与线路数据相符之后，则定位状态将变为“定位”。详细步骤如下：

a. 检测第一个应答器用来确定线路数据中的应答器位置；

b. 第二个应答器的检测可以用来确定列车移动方向和列车前行方向与区段方向的关系。

由于连续的累加测速误差，位置不确定性将随

着运行距离而增加。车载列车超速防护（ATP）设备需要设置最大位置不确定性。如果超过最大误差，列车定位状态将变为“失去定位”。

车载 ATP 设备考虑列车的定位测距误差，实时动态计算列车的安全包络^[8]。测距累计误差为位置校准后，列车走行距离 × 测距误差值（该值考虑安装误差和校正位置的误差）。车载设备主要基于车载测速定位法进行位移计算，并更新列车位置，位置测量精度依赖于列车轮径精度。

从定位方式的不同可以分析得知，DTC 制式的定位方式与 CBTC 制式的定位方式存在较大差异，若出现某一轨道前使用 DTC 制式的定位方式，之后使用 CBTC 的定位方式，会因为不同的定位方式给信号处理带来巨大的影响。在此引入“制式转换轨”的概念，表示该轨道前后制式不同。

3 转换轨的处理方法

以长春 3 号线为例，转换轨处理如图 2 所示。东延线使用 CBTC 制式定位、升级，而既有 3 号线使用 DTC 制式定位、升级，二者存在切换边界。下面本文将从 CBTC 到 DTC 正常 / 异常切换场景以及 DTC 到 CBTC 正常 / 异常切换场景，提出信号处理方法。

3.1 CBTC到DTC正常切换

CBTC 到 DTC 正常切换可总结 4 种情况。

1) 列车在进入 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨前即可接收地面数字轨道电路信息，经过轨道电路

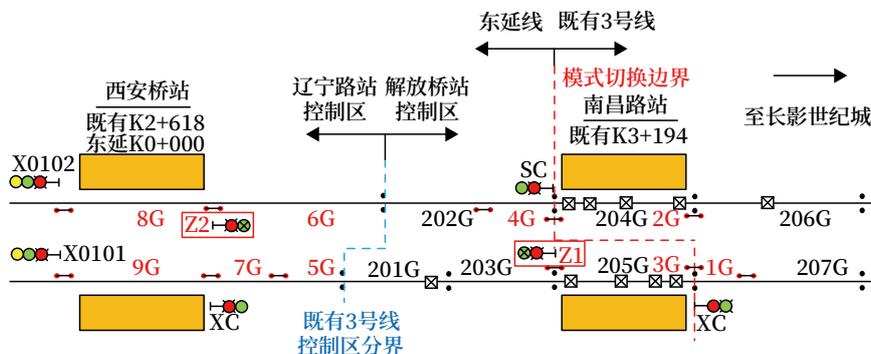


图2 转换轨示意

Fig.2 Transfer rail diagram

边界收到新载频后，建立 DTC 下定位。

2) 列车以自动防护 (CM) 模式 (CM-CBTC) 进入 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨停稳、停准，依据车载电子地图给出车门允许，司机可正常手动开 / 关车门。

3) 车载 ATP 判断在 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨列车越过停车窗下沿停稳后，若已接收到数字轨道电路移动授权信息，则转换为 DTC 下 CM 模式。若车载 ATP 无法获取来自数字轨道电路的移动授权信息，车载 ATP 保持 CBTC 制式。当列车停车时间超过配置值 (如 30 s)，仍未切换至 DTC 制式，则降级至 RM 模式，并输出紧急制动，并在人机界面 (HMI) 上提示“控制等级切换失败”。

4) 车载 ATP 升级为 DTC 下 CM 模式 (CM-DTC) 后，完成切换。列车开始向区域控制中心 (ZC) 发起注销。

3.2 CBTC到DTC异常切换

CBTC 到 DTC 异常切换可总结为 3 种情况。

1) 列车在进入 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨前或进入 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨后，降级为 RM 模式。

若列车在进入 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨后能恢复为 CBTC 等级，则切换逻辑与正常切换场景一样。

若列车在进入 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨后不能恢复为 CBTC 等级，且列车已获得 DTC 下移动授权，则在列车越过停车窗下沿停稳后转换为 DTC 控制等级。若此时具备 CBTC 制式定位，位置报告与正常切换场景一致。

若列车在进入 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨后一直不能恢复为 CBTC 等级，且列车未获得 DTC 下移动授权，则列车以 RM 模式运行：

a. 若列车有 DTC 定位，运行过程中收到 DTC 下移动授权，则列车越过停车窗下沿停稳后，转换为 DTC 控制等级；

b. 若列车有 DTC 定位，但未收到 DTC 下移动授权，则列车越过停车窗下沿停稳后，列车继续以

RM 模式运行；

c. 若列车有 DTC 定位，但列车不停车，则列车继续以 RM 模式运行。列车进入下一轨获取 DTC 下移动授权后转换为 DTC 控制等级。

2) 列车在 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨不停车，直接越过 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨。

车载 ATP 在判断列车最大安全前端位置越过 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨时，即施加紧急制动停车，并丢失定位。列车以 RM 运行，收到 DTC 下移动授权后转换为 DTC 控制等级。

3) 列车在 CBTC 至 DTC 控制等级转换轨从切除模式转为激活模式，列车以 RM 模式运行，在下一轨道建立 DTC 定位并收到 DTC 下移动授权后转换为 DTC 控制等级。

3.3 DTC到CBTC正常切换

DTC 到 CBTC 正常切换可总结为 5 种情况。

1) 列车进入 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨前，接收两个应答器建立 CBTC 制式下定位，判断电子地图中存在有效 ZC 后，才向 ZC 发起注册，与 ZC 建立通信。

2) 列车以 CM 模式 (CM-DTC) 进入 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨停稳、停准，依据车载电子地图给出车门允许，司机可正常手动开 / 关车门。

3) 列车在 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨距计轴小于一个最小车长后，ZC 完成头筛，ZC 将根据出站信号机的状态计算车载 ATP 的移动授权。

4) 车载 ATP 判断列车在 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨越过停车窗下沿停稳后，若已接收到来自 ZC 的移动授权信息，则转换为 CBTC 下 CM 模式。若车载 ATP 无法获取来自 ZC 的移动授权信息，车载 ATP 保持 DTC 制式。当列车停车时间超过配置值 (如 30 s) 仍未切换至 CBTC 制式，则降级至 RM 模式，并输出紧急制动，并在 HMI 上提示“控制等级切换失败”。

5) 车载 ATP 升级为 CBTC 下 CM 模式 (CM-CBTC) 后，此时 HMI 上列车驾驶模式显示为 CM，控制等级显示为 CBTC，同时 HMI 左下提示栏显

示“列车已转换至 CBTC”，完成切换。

3.4 DTC到CBTC异常切换

DTC 到 CBTC 异常切换可总结为 3 种情况。

1) 列车在进入 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨前或进入 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨后降级为 RM 模式。

若列车在进入 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨后能恢复为 DTC 等级，则切换逻辑与正常切换场景一样。

若列车在进入 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨后不能恢复为 DTC 等级，且列车已获得 CBTC 下移动授权，则在列车越过停车窗下沿停稳后转换为 CBTC 控制等级。

若列车在进入 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨后不能恢复为 DTC 等级，且列车未获得 CBTC 下移动授权，则列车以 RM 运行：

a. 若列车有 CBTC 定位，且已收到 CBTC 下移动授权，则列车越过停车窗下沿停稳后，转换为 CBTC 控制等级；

b. 若列车有 CBTC 定位，但未收到 CBTC 下移动授权，则列车越过停车窗下沿停稳后，列车继续以 RM 模式运行；

c. 若列车有 CBTC 定位，但列车不停车，则列车继续以 RM 模式运行。列车进入下一轨获取 CBTC 下移动授权后转换为 CBTC 控制等级。

若列车转换为 CBTC 级别后，因某些原因降级为 RM 模式，则在满足升级 CBTC 条件后转为 CBTC 级别，不再转为 DTC 级别。

2) 列车在 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨不停车，直接越过 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨。

车载 ATP 在判断列车最大安全前端位置越过 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨时，即施加紧急制动停车，并丢失定位。

列车以 RM 运行，收到 CBTC 下移动授权后转换为 CBTC 控制等级。

3) 列车在 DTC 至 CBTC 控制等级转换轨从切除模式转为激活模式，列车以 RM 模式运行，建

立 CBTC 定位，且收到 CBTC 下移动授权后转换为 CBTC 控制等级。

4 结论

本文分析了 DTC 制式下与 CBTC 制式下的定位方式的不同给信号兼容处理带来的影响，并从转换轨信号处理的角度，给出了 CBTC 到 DTC 正常 / 异常切换场景以及 DTC 到 CBTC 正常 / 异常切换场景的信号处理方法，具有实际工程意义。

参考文献

- [1] Ahmed Miske El Hadrami, 刘会明. 轨道交通的自主化列车控制和自主化运营 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (5): 37-39, 94.
- [2] 刘秋生. 城市轨道交通延伸线信号工程设计探讨 [J]. 现代城市轨道交通, 2016 (2): 12-14, 18. Liu Qiusheng. Discussion on Signaling Engineering Design for Transit Extension Line [J]. Modern Urban Transit, 2016(2): 12-14, 18.
- [3] 李中浩. 浅析城市轨道交通信号系统的发展趋势 [J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19 (Z1): 1-3. Li Zhonghao. A Brief Analysis of the Development Trend of Urban Rail Transit Signaling System [J]. Urban Mass Transit, 2016, 19 (Z1): 1-3.
- [4] 宋丹. 长春轻轨 3 号线东延线过渡段信号改造方案分析 [J]. 现代城市轨道交通, 2012 (6): 43-45. Song Dan. Signaling Remodel Program of Transitional Section of East Extension on Changchun Light Rail Line 3 [J]. Modern Urban Transit, 2012(6): 43-45.
- [5] 韩奕玮. 城市轨道交通信号系统改造中的兼容性车载信号系统方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (4): 75-78. Han Yiwei. Compatible On-Board Signaling System Solutions in Urban Rail Transit Signaling System Upgrading [J]. Urban Mass Transit, 2021,

24(4): 75-78.

[6] 代继龙, 李晓刚, 李兆龄, 等. 新一代CBTC系统方案研究与关键技术探索 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(6): 41-44.

Dai Jilong, Li Xiaogang, Li Zhaoling, et al. Research on New Generation of CBTC System and Key Techniques[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(6): 41-44.

[7] 夏庭锴, 崔科. 城市轨道交通下一代CBTC系统发展展望 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(5): 43-47.

Xia Tingkai, Cui Ke. Prospect for the Development of CBTC System in the next Generation[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(5): 43-47.

[8] 邢科家, 郜洪民, 黄苏苏. 基于区域联动和多制式协调的铁路信号系统技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57(5): 1-5, 10.

Xing Kejia, Gao Hongmin, Huang Susu. Research on Railway Signal System Technology Based on Regional Linkage and Multi-System Coordination[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(5): 1-5, 10.

(上接 54页)

Wang Yuqi. Discussion on Application of GPON Access Technology in IT Application Construction of Railway Grass-Roots Working Team[J]. China Railway, 2017(12): 93-98.

[4] 张奥. 铁路站场通信PON技术应用展望 [J]. 信息通信, 2016, 29(4): 223-225.

Zhang Ao. Application Prospect of PON Technology in Railway Station and Yard Communication[J]. Changjiang Information & Communications, 2016, 29(4): 223-225.

[5] 李正涛. 铁路通信承载网技术发展研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14(5): 18-20, 30.

Li Zhengtao. Research on Technical Development of Railway Communication Carrier Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(5): 18-20, 30.

[6] 赵运海. GPON技术在铁路通信中的应用研究 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56(3): 46-51.

Zhao Yunhai. Application of GPON Technology in Railway Communications[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(3): 46-51.

[7] 雷维力. 接入网技术在铁路通信网中的应用

[J]. 数字通信世界, 2019(2): 226.

Lei Weili. Application of Access Network Technology in Railway Communication Network[J]. Digital Communication World, 2019(2): 226.

[8] 陈苏, 赵晟. 新一代铁路通信系统演进探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(8): 45-50.

Chen Su, Zhao Sheng. Evolution of New Generation Railway Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 45-50.

[9] 江浩. 基于GPON系统的铁路业务接入设计与应用 [J]. 铁道勘察, 2019, 45(5): 126-130.

Jiang Hao. Design and Application of Railway Services Access Based on GPON System[J]. Railway Investigation and Surveying, 2019, 45(5): 126-130.

[10] 张杰. 关于铁路通信下一代接入网技术的应用研究 [J]. 电子世界, 2019(19): 16-18.

Zhang Jie. Research on the Application of Next Generation Access Network Technology for Railway Communication[J]. Electronics World, 2019(19): 16-18.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.015

市域铁路公交化运营客票系统设计方案探讨

何泉勃

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 市域铁路的公交化运营兼具国铁和城市轨道交通的特点, 一方面运营组织模式应符合国铁要求, 另一方面需具备城市轨道交通高密度发车、多点换乘、市民使用市政交通卡/二维码等方式快捷出行的通勤功能, 因此需有针对性的研究确立一套完善的客票系统设计方案, 以满足市域铁路公交化运营的特殊需求, 这也成为此类工程的关键技术难点。通过较为详尽的需求分析, 提出适用于市域铁路公交化运营的票制和客票系统主流设计方案, 对其进行比选并得出推荐方案, 可为今后类似的市域铁路项目设计建设提供新的思路, 具有一定的参考借鉴价值。

关键词: 市域铁路; 公交化运营; 客票系统; 设计方案; 混合票制; 深度融合

中图分类号: U293.2+21

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0077-06

Discussion on Design Scheme of Passenger Ticket System of Public Transport Operation for Suburban Railway

He Quanbo

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

Abstract: The public transport operation of suburban railway has the characteristics of both national railway and urban rail transit. On one hand, the operation organization mode should meet the requirements of national railway; on the other hand, it should have the commuting functions of urban rail transit, such as high-density departure, multi-point transfer and quick travel with transportation cards/QR codes. Therefore, it is necessary to establish a refined ticket system design scheme to meet the special needs of the public transport operation of suburban railway, which has become a key technical difficulty in such projects. With a detailed demand analysis, this paper proposes the mainstream design schemes of ticket mechanisms and ticket systems suitable for the public transport operation of suburban railway, compares them, and gets recommended scheme. It can provide new ideas for the design and construction of similar suburban railway projects in the future and has a certain reference value.

Keywords: suburban railway; public transport operation; ticket system; design scheme; mixed ticket system; deep integration

收稿日期: 2022-05-30; 修回日期: 2023-06-07

作者简介: 何泉勃(1982—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信息通信系统工程设计, 邮箱: 52373271@qq.com。

国内新型城镇化进程加快实施，超大城市和特大城市的空间布局不断拓展，功能定位日渐清晰，主城区与郊区、外圈层之间的一体化发展持续加强，城市人口逐渐向周边城镇聚集，并进行日间大规模钟摆式流动，形成了具有相对密切职住关系的大都市圈。在城市空间发展的大背景下，根据国家顶层规划，大力发展市域铁路公交化运营，以解决中心城区与卫星城镇之间的交通问题，成为影响都市圈未来可持续发展的重要因素。近年来国内开展了对市域铁路公交化运营的探索和实践，但由于目前已开通公交化运营的线路屈指可数，部分技术手段尚不成熟，工程设计建设中仍存在一些亟待解决的技术问题。其中，为满足旅客出行便捷性和舒适性需求，提升包括等候、换乘和交通等全链条的通勤效率，提出、选择、优化并完善适应市域铁路公交化运营需求的客票系统设计方案显得尤为关键。

1 市域铁路公交化运营客票系统需求分析

从需求源头分析，影响市域铁路公交化运营客票系统票制选择和设计方案的主要因素包括建设运营管理模式、客流特征及旅客出行需求等。

1.1 建设运营管理模式

市域铁路服务于与中心城市经济、人口交流紧密的地区，以及组团城市联系密切的各城镇地区，由于工程建设投资巨大，同时为满足通勤功能，一般采用低票价政策，因此其经济效益不高，尤其是运营初期和远郊市域铁路。市域铁路的公益性特征决定了普遍采用地方政府与国家铁路共同出资合作建设，并委托所在地铁路局采用国铁运营理念统一运营管理的模式。因此，客票系统的设计、建设、运营维护首先应符合国铁相关标准，并根据当地政府和市政部门的需求，结合城市轨道交通特色，制定合理的方案。

1.2 客流特征分析

市域铁路以实现区域中心城市与周边新城、城镇地区及组团城市各城镇地区间 1 h 通达为基本目标，服务通勤、通学、通商等规律性客流，不同于城际铁路和城市轨道交通，具有其自身独特的客流

特征，主要体现在以下 4 个方面。

一是同城化通勤。市域铁路服务于中心城市辐射行政区域，乘客多以沿线居住和通勤市民为主。以上海金山铁路为例，根据相关统计，乘客中超过三分之一是居住在金山滨海地区、在市区工作的市民，是金山铁路服务的主体。

二是对于周边旅游资源丰富的中心城市，兼具旅游和通勤铁路的客流特征。以成灌铁路为例，日常主要服务于城市通勤，在周末、节假日期间，客流分布呈现出全高峰形态，每列车的上座率极高，且以旅游客流为主。

三是客流潮汐特征明显。市域铁路全天客流量较城市轨道交通偏小，但高峰小时客流量大，在工作日早晚高峰和周日下午能为大量的通勤和返城客流提供高密度的公交化服务，高峰时段列车开行密度明显高于平峰时段。

四是多点换乘一体化衔接。市域铁路需解决中心城区与近远郊区间多点性客流交通问题，随着地铁、公交、有轨电车等多种出行方式的不断建设发展，乘客起讫点呈现分散分布的特征，对乘车便捷性、衔接时效性、多点换乘一体化要求更高。

1.3 旅客出行需求

通过对国内部分市域铁路乘客调研得知，乘客普遍希望公交化运营后，能够通过灵活多变的方式完成检票乘车，特别提出能否仅刷市政公交卡或移动终端 APP 二维码即可进出站乘车，无需单独购买国铁车票或再刷身份证验票的诉求，真正实现市域铁路与城市其他交通方式的无缝接驳、随到随走，以大幅提升市民通勤效率。

此外，对于出行目的为旅游、休闲、探亲、公务的外地客流，国铁模式的售 / 退 / 补 / 检票方式仍旧必不可少。

2 设计方案探讨

2.1 适应票制对比分析

目前轨道交通领域主流的票制方案大致分为国铁模式、城轨模式和混合模式 3 种，3 种票制具有各自显著的特点。

2.1.1 国铁模式票制

国铁模式具备人工或自助售票、网络或代售点售/取票、电话订票、自助或人工验/检票等功能,可支持铁路预售车票、中铁银通卡、铁路e卡通、电子客票等票制。其中,中铁银通卡、铁路e卡通需提前申领储值,其他票制需提前购票方能进站。

国铁模式票制符合铁路行业标准,适应国内高速、普速铁路的运营理念,可实现与国铁其他线路一票跨线乘车,但对于市域铁路服务市民通勤、多点换乘、快速、高效、便捷的公交化运营特点不尽适用。

2.1.2 城轨模式票制

城轨模式票制具备人工或自助售/检票、充值、异常情况处理等功能,采用当地政府统筹定制开发的市政公交卡、电子二维码票制,支持单程票、储值票、特殊票等形式,以及现金、手机APP、微信、支付宝、储值等支付方式。

该票制与国铁运营理念存在较大差异。因不具备实名制验证、车次时域卡控、席位管理等功能,难以限制进站人员身份和乘车人数,因此可能出现客流混杂、车站聚集或实际车载人数远超安全运营上限的情况,对于运营安全存在一定的隐患。

2.1.3 混合模式票制

混合模式在国铁客票系统基础上,针对市域铁路公交化运营的建设管理模式、客流特征和旅客出行需求,灵活引入了市政公交卡/二维码等多种票制体系,同时支持现金、银行卡、储值卡、电子支付、移动支付等多维支付方式。该模式兼具国铁、城轨两种模式的功能和优点,能够为不同需求的旅客,特别是通勤客流提供更为便捷的售检票、无障碍换乘等服务,提升舒适快捷的出行体验,如图1所示。

通过比选可知,混合模式票制更适合市域铁路公交化运营的需求特点,因此下文基于混合模式票制,进一步探讨客票系统的设计方案。

2.2 混合票制下客票系统设计方案比选

混合票制下,根据国铁与城轨两种模式网络架构、融合方式及深度的不同,市域铁路客票系统大致可分为相对独立、局部结合、深度融合共3种设计方案。

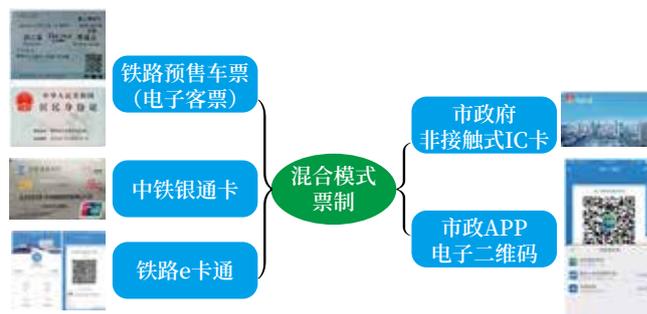


图1 混合模式票制

Fig.1 Ticket system of mixed mode

2.2.1 相对独立方案

本方案是指国铁与城轨仅共用铁路车站建筑、结构、电力、暖通、安检等基础设施,两种模式的客票系统分别组网,相对独立运行。

国铁客票系统按照铁路现行标准构建并配置各级设备,其中车站级客票系统设置服务器、售/检票、实名核验、客票安全等设备,支持购票、改签、退/补票、检票、实名验证等功能。局域网采用核心层、接入层二级网络架构,广域网利用铁路通信传输网专用通道,接入上级铁路局和中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)客票系统。

城轨客票系统则按照当地地铁或轻轨模式,在市域铁路车站独立设置自动/人工售票、充值、异常处理、进/出站闸机等设备,并配置后台处理及网络设备,通过新建或租用网络通道的方式,接入城轨线路节点及票务中心系统。

2.2.2 局部结合方案

本方案在相对独立方案的基础上发展而来,将国铁与城轨客票系统进行局部结合,两种模式仍独立组网,按照现行标准分别配置铁路局地区客票中心、城轨线路中心设备,在车站设置各自系统的售检票服务器、客票安全、网络设备及自动售票机、人工售票终端等,如图2所示。

局部结合方案的特点在于改造并共用自动检票闸机,在国铁闸机内加装一套独立的城轨客票工控机及读卡模块,通过不同的以太网口接入各自系统车站级后台设备,使一台闸机可同时支持国铁与城轨票制检票。

2.2.3 深度融合方案

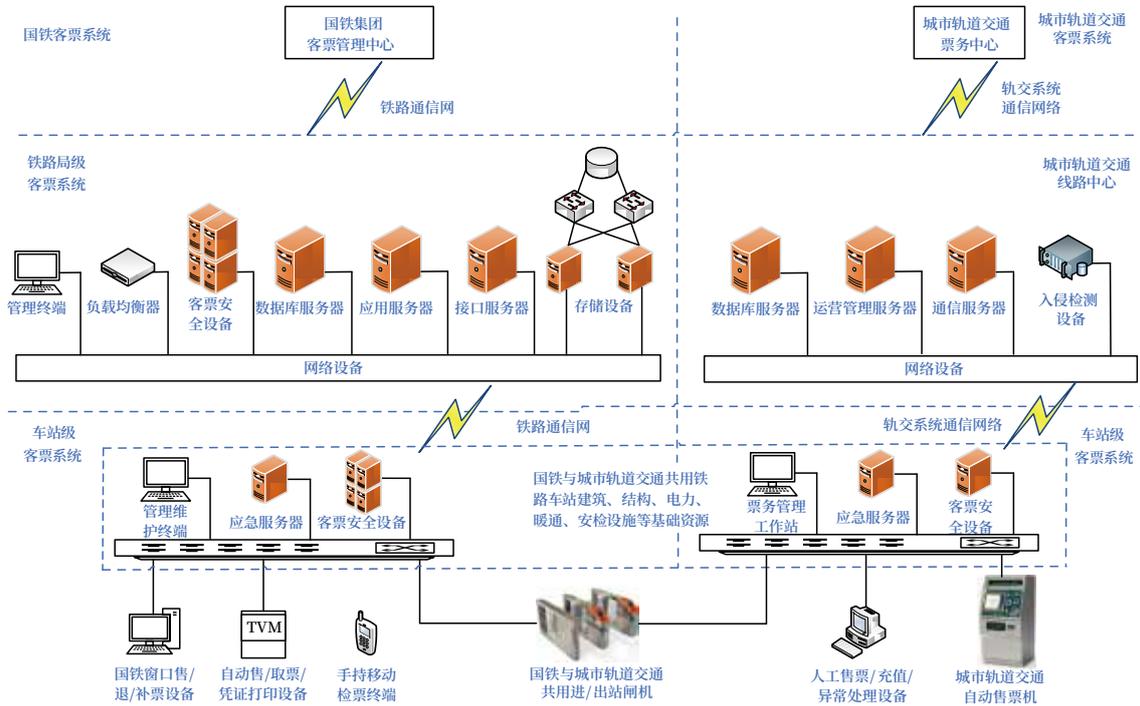


图2 局部结合设计方案
Fig.2 Partial combination design scheme

深度融合方案是指统一利用国铁设施设备及通信网络，在国铁客票系统后端建立与城轨系统的交易清分中心，同时对城轨客票中心系统及APP前端进行适应性改造，并重新规划设计旅客乘车和客票系统清分业务流程，从而实现旅客刷市政公交卡/二维码进出站、席位管理、车上查验不同制式车票、黑名单控制、异常情况处理、报销凭证打印、脱机交易数据处理、收入清分结算和营销统计等一系列适应市域铁路公交化运营的特殊功能。如图3所示。

实现该方案需在国铁侧对既有客票中心进行扩容和软件升级，包括改造自动检票系统、席位管理系统、卡交易配对系统，增设清分结算、网络安全、存储等设备，建立国铁客票系统单向访问城轨票务中心的专用安全通道，完成对市政公交卡/二维码的刷卡及扫码数据、对账文件传输以及乘客身份数据获取等业务。同时更新车站级服务器功能，改造国铁自动检票闸机，在其中增加主控模块、设立独立的城轨刷卡扫码区域（内置PSAM卡插槽，支持多票卡应用、卡片验证及身份、余额查询功能）、合并身份证与二维码扫码区等。

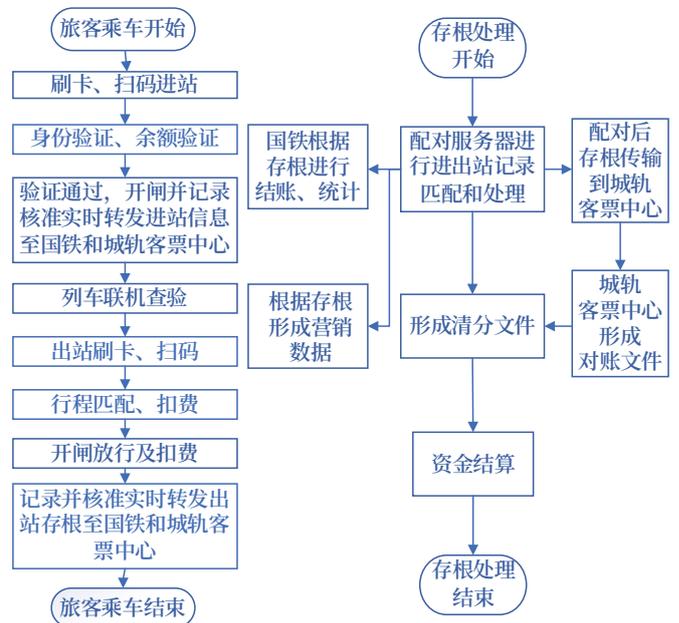


图3 客票系统服务和清分业务流程规划
Fig.3 Process planning of passenger ticket service and fare clearing

在城轨侧，对客票中心系统及APP前端进行适应性改造。调整平台用户、账户系统，设置安全措施（如数据传输及存储加解密等），新增国铁场景用户身份识别、余额查询、账户预扣费、据实扣/退

费及通知功能，通过实名制认证的旅客身份信息比对实现检票、验票流程和黑名单控制；对公交卡清结算系统进行改造，新增交易数据解析、数据转换、报表统计等功能；增设国铁场景改造配套的系统负载均衡、消息队列服务器。在各车站人工窗口增加城轨系统读卡器、POS 机等设备，提供市政公交卡的充值、查询、异常处理等相关服务。

为保障国铁客票系统的数据安全，须按照国铁集团网络安全管理相关规定，设置边界防护、访问策略、权限控制等网络安全防护措施，在国铁与城轨客票系统之间部署安全隔离与信息交换设备，综合利用铁路安全管控防火墙设备，并通过国铁对城市轨道交通系统的单向访问机制专线通道，实现系统间连通。如图 4 所示。

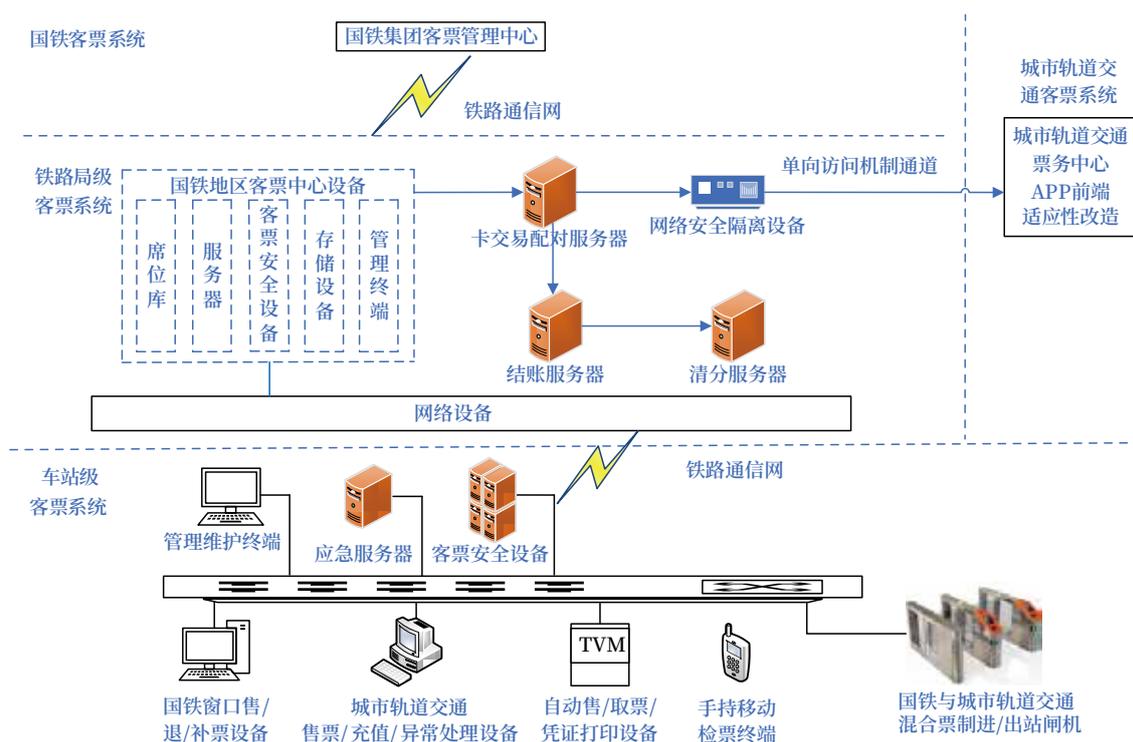


图4 深度融合设计方案
Fig.4 Deep integration design scheme

2.2.4 设计方案比选

上述 3 种设计方案特色鲜明，可在不同程度上实现市域铁路公交化运营客票系统需求，下面各方案优缺点进行分析。

1) 相对独立设计方案的优点在于，在该模式下国铁与城轨客票系统网络架构清晰，运营维护互不影响，权责财务划分明确。但同时也存在着工程投资高、进出站占用站房空间大、旅客流线组织混乱等一系列实际问题，尤其是独立的城轨客票系统难以满足国铁运营模式下的旅客实名制验证要求。

2) 局部结合设计方案与相对独立方案网络架构基本相同，主要区别在于改造并共用自动检票闸机。

通过合设闸机节省了工程投资，减少了占用空间，在形式上体现了混合票制的优势，克服了旅客流线组织混乱的问题，提升了旅客的检票服务体验，但因其网络架构的固有属性，仍无法满足国铁运营模式下旅客持市政公交卡 / 二维码实名制验证和乘车的标准流程。基于上述特点，局部结合设计方案更适用于站房空间相对受限、验票 / 检票分离、席位管理要求不高，且国铁地区客票中心不便于扩容升级的既有支线市域（郊）铁路公交化运营改造工程。在原铁路客票系统的基础上，增加检票闸机使用市政交通卡 / 二维码进出站功能，例如改建上海金山铁路支线。

3) 深度融合设计方案将国铁与城轨客票系统有机结合起来,在符合国铁运营模式的基础上,满足了公交化运营高密度发车、使用市政公交卡/二维码等方式快速乘车的功能。该方案汲取了局部结合方案的各项优势,并且由于系统连通后,国铁客票系统可访问、比对和验证城轨票务系统的旅客实名信息,席位库可对持市政公交卡/二维码检票的乘客分配专用座位,深层次有效解决了其他方案中实名制验证、一体化换乘、席位管理和车上验票等痛点。该方案广泛适用于各类新建/改建市域铁路的公交化运营,特别是实行车站验/检票合一、车上席位分配和验票管理规范的基建铁路项目,完成客票系统的首次深度融合后,可在此基础上对地区客票中心扩容升级,推进大都市圈内其他市域(郊)和城际铁路的公交化运营建设,实现客票业务流程和技术方案的标准化、规模化应用。

通过上述比选可知,深度融合设计方案利用合理的技术手段和措施,将城轨票务系统有机融入国铁客票系统,能在保障国铁客票系统安全等保要求的前提下,完美实现市域铁路公交化运营的所有客票业务需求,乘客无需单独购买国铁车票或再刷身份证验票,只需持经实名认证的市政公交卡/二维码即可实现进出站检票乘车,完成同票制换乘。

3 结语

通过分析市域铁路公交化运营客票系统的使用需求,在此基础上探讨其适应票制,对3种主流设计方案进行深入研究和比选。其中国铁与城轨客票系统深度融合的设计方案更具针对性,能在国铁运营模式下满足各类型旅客使用多种检票方式实名制进站乘车的实际需要,实现无障碍换乘、随到随走,尤其适合市域铁路同城潮汐通勤和多点换乘衔接的特征。如能依托可靠的网络安全方案和明确的营销清分体系,可大幅提升旅客的出行通勤效率和便捷性,具有较为广阔的应用前景。

参考文献

[1] 李连成. 推进市域(郊)铁路有序发展的思考

[J]. 中国铁路, 2017(7): 9-12.

Li Liancheng. Consideration on Orderly Development of Suburban Railway[J]. China Railway, 2017(7): 9-12.

[2] 张鹏雄, 祝建成, 张波. 市域(郊)铁路部分弱电系统设计思路探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(5): 72-76.

Zhang Pengxiong, Zhu Jiancheng, Zhang Bo. Design Idea of Weak Current Systems for Suburban Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 72-76.

[3] 杨晨, 孙世超, 王祥, 等. 市域铁路客流特征分析及启示[C]//2018年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 3421-3430.

[4] 黄俊. 国内市域(郊)铁路未来发展思考[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(8): 100-104.

Huang Jun. Discussion on Future Development of China's Urban(Suburban)Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 100-104

[5] 中国铁路总公司. 铁路电子客票门式自动检票机暂行技术条件: TJ/KH028-2019[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

[6] 中国铁路总公司. 铁路电子客票柱式检票机暂行技术条件: TJ/KH031-2019[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

[7] 邵艳明. 上海金山铁路客票系统设计方案[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(12): 132-134, 139. Shao Yanming. Design Scheme of Shanghai Jinshan Railway Passenger Ticket System[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(12): 132-134, 139.

[8] 李道全. 城市轨道交通 AFC 系统支付方式现状及发展[J]. 都市轨道交通, 2016, 29(1): 59-62.

Li Daoquan. Situation and Development of AFC System Payment Methods in Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016, 29(1): 59-62.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.016

城市轨道交通新线工程信号系统运营需求 要点分析

曹启滨

(北京市地铁运营有限公司, 北京 100044)

摘要:城市轨道交通信号系统是行车运输的关键控制设备, 信号系统的功能设计除满足相关规范标准外, 充分重视并满足运营方用户的实际行车运输需求, 是提升新建线路信号系统适用性的一项关键环节。根据运营单位实际运输需求, 结合行业内多年多条新线筹备实际, 以典型设备典型场景为例, 探讨分析信号系统运营需求的一些要点。

关键词:城市轨道交通; 信号系统; 运营需求; 行车运输

中图分类号: U231.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0083-04

Analysis on Key Points of Signal System Operation Demand of New Urban Rail Transit Project

Cao Qibin

(Beijing Mass Transit Railway Operation Co., Ltd., Beijing 100044, China)

Abstract: The signal system of urban rail transit is the key control equipment of rail transportation. In addition to meeting relevant specifications and standards, the functional design of signal system pays full attention to and meets the actual traffic needs of operators and users, which is a key link to improve the applicability of signal system of newly built lines. This paper discusses and analyzes some key points of operation requirements of signal system from the perspective of actual transportation demands of operating units, combined with the actual preparation of many new lines in the industry over the years, taking typical scenarios of typical equipment as an example.

Keywords: urban rail transit; signal system; operational demand; rail transportation

1 概述

城市轨道交通信号系统是保证行车安全、满足高

效运营服务的关键设备系统。信号系统的设计必须依据轨道交通及铁路系统相关设计规范, 同时在满足规范的前提下应充分重视运营方在行车运输组织管理、操作应用等方面的实际需求, 并尽可能保证同一运营商所辖线路的行车体系的相对一致性。

从城市轨道交通运营方的角度, 结合实际新线设计中的具体运营需求要点, 展开一些细致讨论。

收稿日期: 2022-10-11; 修回日期: 2023-05-26

作者简介: 曹启滨(1982—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通列控、信号、运营控制等, 邮箱: caoqibin@139.com。

2 行车运输业务对信号系统的需求分析

轨道交通信号系统是保证行车安全、服务行车需要的关键控制系统，也是行车运输业务的核心操作平台，因此系统的功能需求不应仅站在设备机体、技术指标角度，还必须从调度指挥、驾驶操作、车站运营组织等业务角度考究运营端的应用。

在轨道交通建设过程中，建设管理单位、设计院、集成供货单位通常是按照设备供货系统划分专业组织实施，行车运输专业通常仅在初步设计以前的阶段由总体设计院统筹。而在开始详细的设计联络、具体运营需求落地阶段，行车运输组织专业的实际需求便要依靠具体设备系统实现，因此信号系统的设计联络、功能需求分析应充分承接行车需要。

3 信号系统布置原则及系统能力

3.1 关于运行方向

全线是否具备反方向运行条件，考虑逐站具备站间跨站进路，或跨越多站的长大反向进路。该种反方向进路在如车辆救援、区间受阻等特殊故障时，可以考虑在严重降效环境下单线“拉抽屉”往复运行。同时，考虑反方向运行时的车载 ATP 功能。运营方一般需要具备反方向进路时设置反向带 ATP 防护运行，该种方案对于车辆段在线路一端、另一远端无法驻车的线路上的作用尤为突出，可以实现上下行双线路从车辆段发出同方向轨道车，实现早间运营线全覆盖的轨道，并且轨道车到达远端终点站后，折返即可作为运用列车开行远端车站早间一二班客运列车，节省了全周转轨道时间，减少了为远端车站派车的空走时空浪费。

3.2 折返点、库线、出入段衔接能力需求

1) 折返点

超大城市骨干线路采取小于 2 min 高密度追踪，对于 8 编组列车实现 2 min 追踪的制约点就是折返条件。在传统 CBTC 模式设计中，要充分考虑终端站清客作业的实际需要来配置站停时间。在现实设计中，设计单位往往为了满足 2 min 折返效能

计算结果，将站停时间盲目压缩，但在交付运营投运后又出现折返困难、压车、调图等诸多问题。究其原因，应着重考虑清客侧的站停，一般设置 45 s 为宜，取值太小，如 30 s 则可能面临清客完不成从而制约发车，影响整体折返效能。在考虑折返能力计算中，还应同时关注区间供电能力、车辆启停性能影响，特别是成品车辆动态性能与理论参考值是否存在负偏差的影响。

部分交叉渡线采用分段分步解锁的方式，提高折返办理、通过能力，是有益的实践成果，未来车车通信的列控技术更加重视对列车对轨旁资源的直接征用与释放，大力压缩了地面控制设备处理与传输的时间，能够将折返效能压缩在 100 s 以内。

2) 中间存车库线

为了提升运营服务水平、提升车辆有效利用率，往往会在客流断面变化点采用大小交路套跑。需要着重考虑库线、存车线的入库时间、特别是出库办理与正线通过的时间关系，以利于运营组织和高密度时段运行图的编制。

3) 追踪能力方面

很多线路采用不同编组列车混跑方式，追踪方面关注的是不同编组间牵引追踪特性模型的匹配。在站台追踪设计方面，要考虑是否允许列车在站内追踪运行的条件。

4 设备系统的运营需求

4.1 计算机联锁 (CI)

1) 信号机属性描述

现有计算机联锁系统中，正线通过信号机属性通常有自动信号和自动触发两种，自动信号类似于大铁路中的区间信号性质，为定位绿灯显示，当进路内方区段完整出清后该始段信号机自动给出绿色许可；自动触发时信号机常态为红灯，待有列车占用触发区段后，根据触发条件触发进路并给出允许信号。这种信号显示在城轨线路中都广泛存在，具体需要征求运营方的使用习惯编制。

2) 接近锁闭与总人工解锁

降级列车进入信号机接近区段，需要变更或取消进路时，CI无法判断列车的准确停稳状态，需要人工确认停稳并在系统解锁时间上配置延时，以确保行车安全。

曾有信号系统集成单位将人工延时解锁时间设置成280s，一旦正线在运营中存在信号、车辆等故障造成通行不畅而需要临时变更和应急组织行车的情形，有可能将以此变更进路完成的情况拖延动作超过5min，导致更多次生延误生成。因此，一般宜将延时解锁时限卡在45s，不宜过长，并在与用户方确认交接的系统操作应用守则中突出明确操作安全风险和安全责任。

4.2 计轴及计轴复位

CBTC信号系统使用计轴作为占用检查设备，计轴室外磁头常因干扰而被系统判断为有车占用，同时计轴系统设置了人工复位操作功能，一般有预复位和直接复位两种途径。其中预复位是人工确认待复位区段确实无车，人工向系统发布预复指令，由邻近的第一辆列车低速轧入出清故障区段，系统判断出清；直接复位则直接由人工在ATS、CI操作界面上直接复位占用状态。

这两种方式的安全前提都是明令由人工确认出清空闲状态，对于任何方式操作，接近的第一辆列车效用相同。因此计轴复位操作，推荐使用直接复位方式提升效率，但首要的人工安全确认手续在运营规章和实践操作中绝不可忽略。

4.3 列控节能

双碳节能是当前轨道交通重点关注的技术项点，ATO、DTO、FAO等自动化运行中应该增加考虑列车走行的节能控制，一般设置不同等级的运行曲线，包括更适用于高峰不节能追踪方式和低峰的节能方式，并在牵引计算数据中分别体现不同运营等级模型，可以实现全天候不同时段的运行图区别化编制，或采用不同时段不同间隔的等间隔追踪方式运行。

4.4 ATS行车监控系统

各城市轨道交通普遍建设指挥控制中心，ATS是服务行车调度指挥的核心设备，也是指挥控制中心

监控行车的最直观视窗、展示信号系统设备品质的重要平台，展示的同时更要悉心关注调度操作需求。

1) 显示方面

控制中心显示大屏屏幕的线路配色（底色）、光带色泽、车次窗提示信息显示字符图标，运行图显示条状标尺等，应关注调度员操作指挥习惯，如进路办理采用按钮式还是菜单式，告警信息按照滚条方式还是弹窗方式，考虑系统告警提示信息的分类；如区间阻止、临时停车、列车紧急制动、晚点延误，信号系统设备如电源、联锁ZC无线单位单系冗余提示，并根据事件影响范围、结合调度指挥作业需要设置告警方式和提示级别。

2) ATS防抢排和冲突点检查方面

库线存车线、出段衔接点，要着重考虑向正线插车能力以及ATS防抢排措施。一般地，有载客列车与出库段列车时间点冲突、存在进路抢排后导致载客列车受阻现象的，会影响正线效率和载客列车乘客感受，宜默认载客列车优先办理，必要时立即弹窗告警提示调度员进行人工组织干预，以确保接发车时刻表顺序符合调度指挥意图。

目前部分线路存在Y型线路，在Y字跨接点处，ATS应有提示信息，汇合方向由冲突告警提示，分叉方向，避免错方向发车。对跨线路运营的情况，该跨接点更需要考虑在两条线ATS分别控制下，交汇处信息的传递处理，确保各线管辖区段的行车调度员能够及时准确全面掌握和预判相关信息，便于调度员联系确认和发布指令。

5 延长线工程预留问题

轨道交通工程普遍存在分段建设分段开通情况，已开通的运营线路继续延长贯通时，信号系统的调试、接驳贯通升级是一项关系到运营安全和新建工期筹划的关键控制性实施项目，也是影响范围最大、作业风险最高的设备系统倒接工程。

为了降低延长段与既有运营段升级接入的难度，宜在初期建设阶段对分段开通的边界点做充分的工程预留条件。在正线施工中，考虑信号系统贯通光电缆预留接头、计轴磁头位置、贯通后可能存在的信

号机杆位置及走线、区间无线天线、应答器设备的安装及铺缆预留；软件及控制系统方面，宜考虑到未来延长接入后线路边长、车组增加，对系统控制能力、计算能力的要求，特别是ATS系统容量的预留。

如果延长线路属于5年以后贯通时，可暂不考虑过大的预留容量，待需要延长接入时考虑既有设备的扩容换新。但若延长区段长、车站多且开通年限较近时，全线的系统设备容量建议一并考虑延长需求。一次成型开通的线路，在设计联络中也建议按照可能存在延长线这一思路对线路端头进行布局，以应对未来因客流需要和城市布局开发而产生新规划的可能。

着重关注既有线中间增加车站的预留设计。由于土建及市政配套等综合影响，部分中间车站无法一次开通，信号系统的布局设计中建议尽可能做好系统预留，如车站进出站信号机、计轴点、应答器等传统固定设备及电子地图等线路数据的配置，宜能够按照车站预配置，待未来开通中间站时，信号系统的倒接调试、接入升级以及对行车指挥的影响可以降至最低。

6 总结

城市轨道交通信号系统具备完善丰富的设计规范、原则和标准，同时结合运营方特别是行车运输组织方面实际需求的内容非常多非常细，对信号系统的功能、技术、操作需求涉及广，甚至远超出技术设备本身的功能需求数量。因此充分重视调度指挥、乘务员、车站综控员站在使用者角度看需求，完善设计构想，是提升新建线路信号系统品质的十分关键的一个环节。本文是笔者结合轨道交通新建线运营筹备实际、结合自身多年筹备开通新线的经验，从运营方的操作者、使用者角度简要罗列的一些关注点，希望相关内容对行业内相关集成供货、设计施工及建设管理单位提供一些工作思路。

参考文献

[1] 武云霞, 李兆龄. 城市轨道交通信号系统能力

分析及优化措施[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(12): 60-65.

Wu Yunxia, Li Zhaoling. Capacity Analysis and Optimization Measures of Signal System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(12): 60-65.

[2] 马冲. 城市轨道交通列车折返能力优化方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(6): 76-80.

Ma Chong. Optimization Scheme of Train Turn-back Capacity of Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 76-80.

[3] 徐义彤. 城市轨道交通延伸线信号系统贯通方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 64-66.

Xu Yitong. Signal Systems Connection Plan for Extension Lines of Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 64-66.

[4] 杨春妮. 城市轨道交通折返能力分析 & 优化[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 89-94.

Yang Chunni. Analysis and Optimization Measures of Urban Rail Transit Turn-back Capacity[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 89-94.

[5] 杨艳艳, 任迎钱. 一种现场动车调试快速测试方法研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(10): 71-75, 85.

Yang Yanyan, Ren Yingqian. Fast Test Method for On-Site Train Commissioning[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 71-75, 85.

[6] 邱丁丑. 城市轨道交通列车晚出库情况下的行车组织探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2022(3): 93-98.

(下转 92页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.017

联挂解编进路处理逻辑研究

宿秀元

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

摘要:城市轨道交通运营过程中客流量呈现潮汐分布的特点,为在提高运营效率的前提下降低能耗,FAO系统增加在线联挂解编作业,计算机联锁系统新增联挂解编进路的处理逻辑。阐述FAO系统中联挂解编作业对联锁进路控制的新需求。同时,对联挂进路、解编进路的具体处理逻辑进行详细分析和研究。

关键词:联挂进路;解编进路;计算机联锁

中图分类号:U12

文献标志码:A

文章编号:1673-4440(2023)06-0087-06

Research on Processing Logic of Marshalling and Unmarshalling Routes

Su Xiuyuan

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

Abstract: During urban rail transit operation, the passenger flow presents the characteristics of tidal distribution. In order to reduce energy consumption on the premise of improving the operation efficiency, the online marshalling and unmarshalling operation is added in the FAO system, and the processing logic of marshalling and unmarshalling routes is added in the computer based interlocking system. This paper expounds the new requirements of interlocking route control from marshalling and unmarshalling operation in FAO system. At the same time, the specific processing logic of the marshalling and unmarshalling routes is analyzed and studied in detail.

Keywords: marshalling route; unmarshalling route; computer based interlocking

1 概述

当前国内大城市的城市轨道交通线路,具有不同时段客流量差异大、客流呈现潮汐分布的特点。为满

足乘客的出行需求,降低系统能耗^[1],通过不同时段改变列车的编组实现在线自动联挂解编作业,高峰时段采用“大编组、高密度”的运营模式,运营平峰低谷时段采用“小编组、高密度”的运营模式,能够有效缓解困扰城市轨道交通的潮汐人流问题,为提升城市轨道交通运营的经济效能,实现城市轨道交通节能减排探索出了一条新路^[2]。

计算机联锁系统作为信号系统的核心设备,为实现在线自动联挂解编作业,进路的相关处理逻辑也面临着新的要求和挑战。本文将对自动联挂解编

收稿日期:2022-09-28;修回日期:2023-05-10

基金项目:通号城市轨道交通技术有限公司科研项目(5100-K1220001)

作者简介:宿秀元(1982—),男,高级工程师,硕士,主要研究方向:城轨列控系统、计算机联锁、安全计算机,邮箱:suxiuyuan@crscu.com.cn。

作业过程中联锁进路的处理逻辑进行详细的阐述。

2 联挂解编作业

运营列车一般在车辆段、停车场或者在具备停车线的车站进行联挂作业和解编作业。正线联挂解编区域一般设置在停车线，车辆段的联挂解编区域，一般设置在具备联挂条件的停车列检库、牵出线^[3]。

如图 1 所示，一条工程线路正线中的两个运营站，站间设置一条存车线作为联挂解编区域，运营中的 2 列小编组列车在联挂解编区域完成列车编组，成为 1 列大编组列车；运营中的大编组列车在联挂解编区域解编为 2 列小编组列车，然后进入正线上行或下行线路继续运营^[4]。

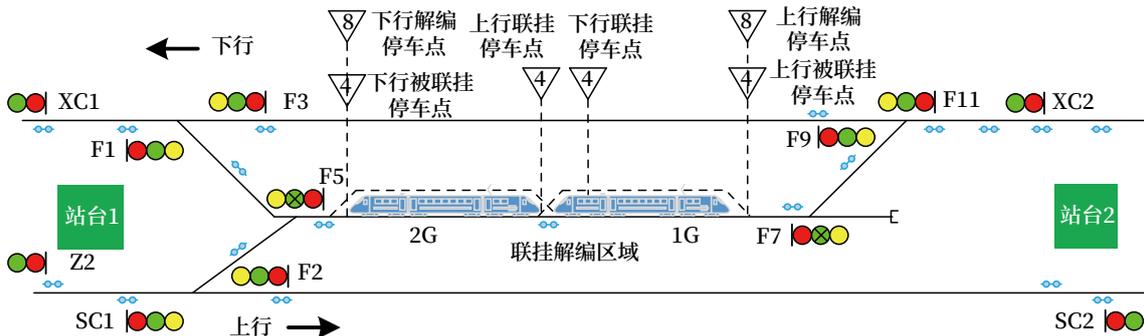


图1 正线联挂解编场景
Fig.1 Marshalling and unmarshalling scenario on main line

车辆段停车列检库的联挂解编场景如图 2 所示。停车列检库 A 列位（3G 和 4G 区域）具备联挂、解编作业的要求。进入列检库的 2 列小编组列车在 A

列位完成列车编组，成为 1 列大编组列车。大编组列车也可以在列检库 A 列位自动解编为 2 列小编组列车。

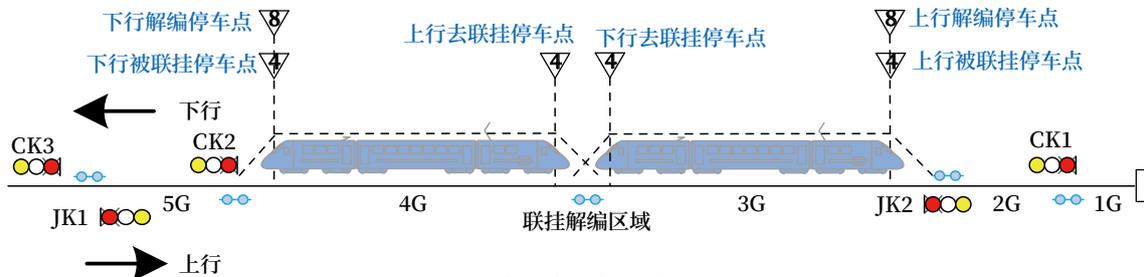


图2 车辆段联挂解编场景
Fig.2 Marshalling and unmarshalling scenario in car depot

3 联挂进路

联挂进路按照被联挂列车所在进路方向与去联挂列车所在进路方向是否一致，可分为顺向联挂进路和对向联挂进路。顺向联挂作业一般在车辆段或具备联挂条件的正线车站都有设置，而对向联挂进路一般只设置在车辆段或停车场。下面以正线场景来介绍顺向联挂进路，以车辆段列检库场景来介绍对向联挂进路^[5]。

3.1 顺向联挂进路

如图 3 所示，列车 1 办理折入进路 SC1 → F7，在停车线 1G 对照 4 编组上行被联挂停车点完成停车；为需要进行联挂的列车 2 办理联挂进路 SC1 → F7，列车 2 在 ATP 设备的防护控制下，沿着进路 SC1 → F7 的锁闭路径与停在 1G 的列车 1 进行联挂作业，联挂完成后标记为列车 3。

对于为列车 1 办理的折入进路，与既有 FAO 系统中的折入进路办理逻辑相同，本文不做详细阐述。现对为列车 2 办理的联挂进路的处理过程进行详细

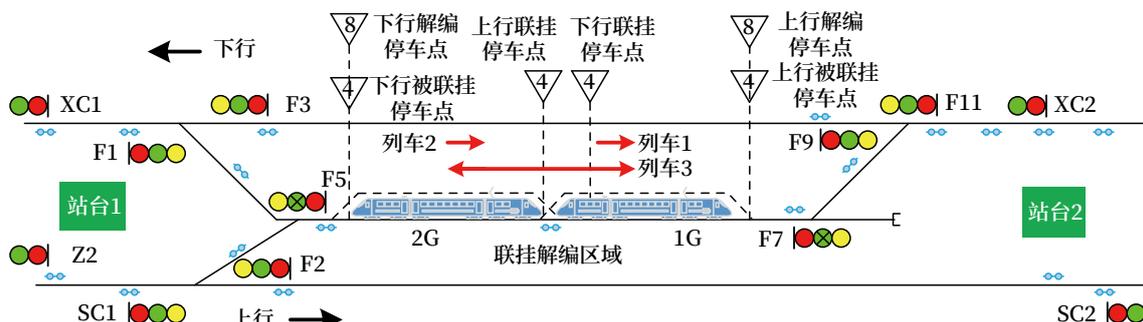


图3 正线顺向联挂作业

Fig.3 Forward marshalling operation on main line

分析。来自其他方向的顺向联挂进路处理逻辑与之类似，后文不再赘述。

1) 办理联挂进路

a. 对于进路 SC1 → F7 实现不同运营作业所实现的功能是有差异的，所以在进行联挂作业时，办理 SC1 → F7 进路，需要采用联挂进路办理命令。

b. 联挂作业要求列车 1 和列车 2 都是装备列车，且处于 CTC 运行模式，从联锁角度来说需要满足：始段信号机 SC1 的接近信息为 CTC 接近；进路内存车区段（配置联挂属性的区段）为 CTC 占用。

c. 被联挂列车列车 1 占用联挂进路最末区段，如果占用区段超过一个，需保证占用的多个区段为进路内连续区段。

d. 进路内除被联挂列车占用区段外的其他区段空闲。

e. 允许列车 1 占用区段保持上行进路锁闭。

f. 其他进路检查条件满足（例如：无超限或超限条件满足、敌对进路条件满足、进路内道岔位置正确、门设备条件满足、SPKS 未激活等）。

2) 顺向联挂进路信号开放保持

联挂进路锁闭完成、信号开放灭绿后，应持续检查以下条件满足：

a. 始段信号机 SC1 的接近信息为 CTC 接近；

b. 列车 1 占用的区段都为 CTC 占用区段，且区段连续；

c. 进路内除被联挂列车占用区段外的其他区段空闲；

d. 进路 SC1 → F7 内所有区段保持上行进路锁闭；

e. 保持开放的其他进路检查条件满足（例如：无超限或超限条件满足、敌对进路条件满足、进路内道岔位置正确、门设备条件满足、SPKS 未激活等）。

3) 顺向联挂进路解锁

随着列车 2 顺序压入进路 SC1 → F7 首区段，信号机 SC1 关闭，随着列车 2 的顺序走行，进路 SC1 → F7 内的区段满足 3 点检查（首区段满足 2 点检查）顺序解锁。

完成联挂后，进路遗留 1G、2G 保持上行进路锁闭。若为联挂后的列车 3 办理上行 F7 至 XC2 方向进路，则遗留 2G、1G 随着列车 3 顺序出清区段，满足 3 点检查条件依次解锁。

若此时，办理下行进路 F5 → XC1，则待列车 3 反向出清 2G 后，满足反向折返解锁逻辑，遗留区段 2G、1G 同时解锁。

4) 顺向联挂进路安全限制

列车 2 进入联挂进路 SC1 → F7 首区段，信号机 SC1 关闭后，与列车 1 进行自动碰撞联挂过程中的安全，由 ATP 相关设备保证。

3.2 对向联挂进路

如图 4 所示，为列车 1 办理出库进路 CK1 → CK2，在 3G 对照 4 编组下行被联挂停车点完成停车；为需要进行联挂的列车 2 办理联挂进路 JK1 → JK2，列车 2 在 ATP 设备的防护控制下，沿着进路 JK1 → JK2 的锁闭路径与停在 3G 的列车 1 进行联挂作业，联挂完成后标记为列车 3。

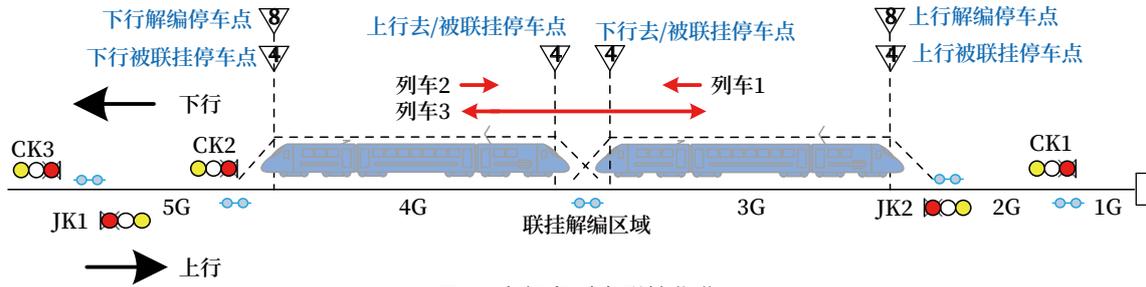


图4 车辆段对向联挂作业
Fig.4 Opposite marshalling operation in car depot

出库进路 CK1 → CK2 为普通出库进路，列车 1 顺序走行出清 2G 后，进路 CK1 → CK2 进路首区段满足两点检查条件，首区段 2G 解锁；列车 1 在 3G 对标停稳后，进路中的 3G、4G 保持下行进路锁闭。

进库进路 JK1 → JK2 按照联挂进路办理，因进路范围内存在反向进路锁闭的 3G、4G 尚未解锁，按照既有联锁逻辑，存在对向敌对，不能办理进路。为保证列车能在列检库完成对向联挂作业，对向联挂进路需进行特殊安全防护。下面将详细阐述对向联挂进路的处理逻辑^[6]。

1) 办理对向联挂进路

a. 联挂进路办理命令办理进库进路 JK1 → JK2。

b. 被联挂列车为装备列车且处于 CTC 运行模式，即进路内列车 1 占用区段（配置联挂属性的区段）3G 为 CTC 占用。

c. 联挂列车是装备列车，且处于 CTC 运行模式，即联挂进路 JK1 → JK2 的始段信号机 JK1 接近信息为 CTC 接近。

d. 被联挂列车 1 占用联挂进路最末区段，如果占用区段超过一个，需保证占用的多个区段为进路内连续区段。

e. 进路内除被联挂列车 1 占用区段外的其他区段空闲。

f. 允许联挂进路内存在被反向进路锁闭的区段，但这些被反向进路锁闭的区段，需同时满足以下条件：

反向锁闭区段，都是为列车 1 办理的出库进路

CK1 → CK2 中的未解锁区段；

反向锁闭区段，其锁闭方向与出库进路 CK1 → CK2 的进路方向一致；

出库进路 CK1 → CK2 中的第一个未解锁区段为列车 1 车尾所在区段且为联挂进路 JK1 → JK2 的末区段 3G；

反向锁闭区段，是出库进路 CK1 → CK2 中的连续区段；

出库进路 CK1 → CK2 与联挂进路 JK1 → JK2 的重叠区段，道岔位置要求一致或无道岔。

g. 联锁收到来自 ATP 设备的列车 1 已经在 4 编组下行被联挂停车点停稳的信息。

h. 其他进路检查条件满足（例如：无超限或超限条件满足、敌对进路条件满足、进路内道岔位置正确、门设备条件满足、SPKS 未激活等）。

2) 对向联挂进路信号开放保持

对向联挂进路锁闭完成、信号开放亮黄后，应持续检查以下条件满足：

a. 始段信号机 JK1 的接近信息为 CTC 接近；

b. 列车 1 占用的区段皆为 CTC 占用区段，且区段连续；

c. 进路内除被联挂列车 1 占用区段外的其他区段空闲；

d. 进路 JK1 → JK2 内所有区段保持上行进路锁闭；

e. 联锁收到来自 ATP 设备的列车 1 已经在 4 编组下行被联挂停车点停稳的信息一直有效；

f. 保持开放的其他进路检查条件满足（例如：无超限或超限条件满足、敌对进路条件满足、

进路内道岔位置正确、门设备条件满足、SPKS 未激活等)。

3) 对向联挂进路解锁

对向联挂完成后, 仅遗留联挂进路 JK1 → JK2 中的区段 4G、3G 未完成解锁。此时, 若办理 JK2 至 CK1 方向的进路, 随着列车走行, 则遗留 4G、3G 随着列车 3 顺序出清区段, 满足 3 点检查条件依次解锁。

若办理 CK2 → CK3 的出库进路, 列车 3 反向出清 3G、4G 后, 满足反向折返解锁逻辑, 遗留区段 4G、3G 同时解锁。

4) 对向联挂进路安全限制

a. 列车 1 在 3G 按照 4 编组下行被联挂停车点停稳至联挂完成的过程中, ATP 设备应保证列车 1 不沿 CK1 → CK2 方向移动。

b. 在计算列车 2 的移动授权时^[7], 应考虑列车 1 的运行方向、列车位置及停稳状态。

4 解编进路

运营进入平峰或低谷期, 运营中的 8 编组列车在存车线或车辆段进行解编作业, 自动解编为 2 列 4 编组列车, 实现在运营平峰或低谷时段采用“小编组, 高密度”的运营方式, 降低能耗、节能减排。

如图 5 所示, 一列 8 编组的装备且处于 CTC 运行模式的列车 3 延进路 SC1 → F7 驶入联挂解编区域, 随列车顺序走行, 进路首区段满足 2 点检查, 正常解锁。列车 3 停于联挂解编区域, 按照联挂解编区域 8 编组上行解编停车点停稳, 遗留 2G、1G 未解锁。列车 3 脱钩后, 标记为列车 1 和列车 2, 开始解编进路处理^[8]。

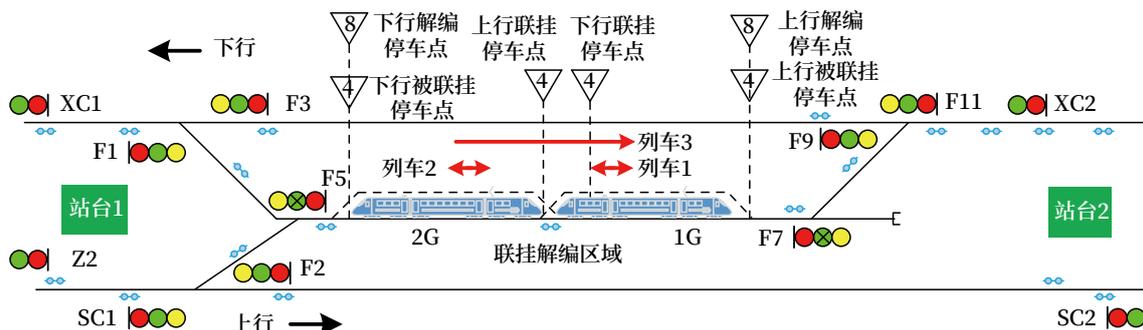


图5 解编作业
Fig.5 Unmarshalling operation

1) 列车 2 下行解编

为列车 2 办理下行进路 F5 → XC1, 信号开放后, 列车 2 沿进路方向顺序走行, 进路 F5 → XC1 按照正常进路进行解锁。列车 2 反向出清 2G 后, 因列车 1 仍然占用 2G, 所以 2G 保持上行进路锁闭、未解锁。

2) 列车 1 下行解编

为列车 1 办理下行进路 F5 → XC1, 信号 F5 开放后, 列车 1 依次反向出清 1G、2G, 满足反向折返解锁逻辑, 遗留区段 2G、1G 同时解锁。进路 F5 → XC1 内的区段满足 3 点检查 (首区段满足 2 点检查) 顺序解锁, 解锁逻辑与普通进路解锁逻辑一致。

支持列车 1 和列车 2 的上、下行双方向解编作业。其他解编方式与上述描述解编过程类似, 不再赘述。

5 总结

目前, 越来越多的项目要求 FAO 系统具备在线自动联挂解编功能, 来应对“潮汐客流”的运营特点以及城市轨道交通对低碳环保方面的要求。在线自动联挂解编作业为城市轨道交通提供了灵活的运营方式, 增强了适应多种运营要求的系统柔性, 有效保证 FAO 系统功能的正常实现, 为后续信号系统的发展提供了良好的基础。

参考文献

[1] 赵家炜, 刘婧婧. 地铁列车在线联挂、解编功能分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(8): 152-154.
Zhao Jiawei, Liu Jingjing. Analysis of Metro Train Coupling and Uncoupling Functions[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(8): 152-154.

[2] 陈予肸. 上海地铁16号线在线联挂解编介绍与应用推广 [J]. 交通科技与管理, 2022(6): 78-80.

[3] 王晨, 储海平, 徐焯. 上海16号线正线联挂、解编作业场景研究 [J]. 轨道交通, 2022(2): 62-65.

[4] 李兆龄, 严业智. 城市轨道交通信号系统灵活编组关键技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(12): 72-77.
Li Zhaoling, Yan Yezhi. Key Technologies of Flexible Marshalling in Signaling System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling &

Communication Engineering, 2021, 18(12): 72-77.

[5] 刘灵, 于小四, 康磊. 地铁列车在线联挂解编的自动化调度管理研究 [J]. 轨道交通, 2022(2): 59-61.

[6] 宿秀元. 互联互通CBTC系统的跨线进路处理方式 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56(1): 72-74, 78.
Su Xiuyuan. Cross-Line Route Processing Mode of Interconnected CBTC System[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(1): 72-74, 78.

[7] 郭晓明, 马新成, 王海南, 等. 一种列车联挂方法、解编方法及装置: CN112078596B [P]. 2021-12-07.

[8] 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.
Su Xiuyuan. Overlap Function Study of CBTC System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(4): 84-86, 89.

(上接 86页)

Qiu Dingchou. Discussion on Urban Rail Transit Train Operation Organization under the Condition of Delayed Departure[J]. Modern Urban Transit, 2022(3): 93-98.

[7] 鲁玉桐, 李鹏, 金艳萍, 等. 城市轨道交通不同编组列车行车组织方案编制方法研究: 以北京大兴机场线为例 [J]. 现代城市轨道交通, 2021(7): 82-87.
Lu Yutong, Li Peng, Jin Yanping, et al. Study on the Method of Working out the Train Operation Organization Plan of Different Marshalling Trains in Urban Rail Transit-Taking Beijing Daxing Airport Line as an Example[J]. Modern Urban Transit, 2021(7): 82-87.

[8] 吴放, 竺越, 扈军, 等. 杭州市城市轨道交通优势区域的时空变化 [J]. 都市快轨交通, 2022, 35(4): 121-128.
Wu Fang, Zhu Yue, Hu Jun, et al. Temporal and Spatial Changes in Urban Rail Transit of Advantageous Areas in Hangzhou[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(4): 121-128.

[9] 白佳薇, 张琦, 鲁放. 城市轨道交通虚拟编组列车快慢车组织方案研究 [J]. 都市快轨交通, 2022, 35(1): 126-133.
Bai Jiawei, Zhang Qi, Lu Fang. Skip-Stop Operation Organization Plan of Virtual Coupling Trains in Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(1): 126-133.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.018

CBTC与CTCS-2兼容互通方案

张 伟

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

摘要: 提出“双套地面”、“双套车载”和“兼容型车载”3种解决CBTC与CTCS-2(含CTCS-2+ATO)系统之间兼容互通的可行方案,并对3种方案进行比对分析,推荐采用“兼容型车载”方案。通过“兼容型车载系统结构图”对方案的车载软、硬件配置和地面设备配置进行说明。同时,重点对切换场景进行详细描述,按不同运行方向分别对切换场景中的行车许可获得,车-地信息的交互内容,临时限速及行车许可管辖范围,切换信息的下达时机,轨旁设备的布置原则,切换失败的运行方式及对司机的操作要求等问题进行详细分析。

关键词: CBTC; CTCS-2; 兼容; 互通; 方案

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0093-05

CBTC and CTCS-2 Compatible and Interoperable Scheme

Zhang Wei

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

Abstract: This paper proposes three feasible schemes to solve the compatibility and interoperability between CBTC and CTCS-2 (including C2+ATO) systems: "dual trackside", "dual onboard" and "compatible onboard", and compares and analyzes the three schemes, and recommends the "compatible on-board". The onboard software and hardware configuration and trackside equipment configuration of the scheme are described through the compatible onboard system structure diagram. It focuses on the detailed description of the switching scene. According to different running directions, the obtaining of the movement authority (MA) in the switching scene, the onboard-trackside information interaction content, temporary speed restriction (TSR) and the MA control area, the issuing time of switching information, the arrangement principle of trackside equipment, the operation mode in switching failure, and the operational requirements for drivers, etc. are analyzed in detail.

Keywords: CBTC; CTCS-2; compatible; interoperability; scheme

收稿日期: 2022-05-11; 修回日期: 2023-04-17

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目(2300-K1200045.07)

作者简介: 张伟(1980—)男,高级工程师,本科,主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: xhzw88@163.com。

干线客运铁路、城际铁路、市域铁路和城市轨道交通“四网的融合”成为便于人们出行的实际交通需求。目前,干线客运铁路、城际铁路主要采用CTCS-2(简称C2)、CTCS-2+ATO(简称C2+ATO)、CTCS-3(简称C3)列控系统,城市轨道交通

交通主要采用 CBTC 列控系统，新建市域铁路根据运输要求、建设方等因素选择采用 CBTC 或 C2/C2 + ATO。C2 与 C2 + ATO 及 C3 之间具有兼容性，C2 既是 C2+ATO 的后备模式，也是 C3 的后备模式，在 C2 + ATO 或 C3 线路上运行要满足列控系统降为 C2 后备模式运行的要求。可见，要解决“四网融合”所采用的不同列控系统之间的互通问题，必须要解决 CBTC 与 C2 列控系统之间的互通问题。

CBTC 与 C2 (含 C2 + ATO) 在地面设备系统结构、运营速度及追踪间隔、自动化程度、列车驾驶模式、闭塞方式、信息存储及传输方式、临时限速下达方式、后备模式和设计标准等方面差异较大，

两种系统之间设备层面互联互通短时间内研发难以实现且需要系统性修改相关标准。结合近期实际情况，本文提出 3 种可行方案并进行优缺点比对。同时，对推荐方案的实施进行详细设计说明（本文以国铁标准的 C2 和中城协兼容互通标准的 CBTC 为研究对象进行研究分析）。

1 方案提出及比选

为解决 CBTC 与 C2 列控系统之间的互通问题，提出 3 种解决方案，如表 1 所示，并进行优缺点比选，从而得出推荐方案。

表1 方案比选

Tab.1 Scheme comparison table

方案	双套地面	双套车载	兼容型车载
方案思路	全线地面设置 CBTC 和 C2 双套地面设备，同时工作，不同系统车载接收各自系统信号运行	车载设备同时设置 CBTC 及 C2 双套车载，可适应不同地面系统	车载采用一套硬件设备，软件兼具 CBTC 和 C2 功能，共用相关接口设备，可适应不同地面系统
优点	无需更改操作规则，对司机无影响；运行过程中无需切换操作；车辆不用增加接口；信号设备无需研发新产品	地面、车载设备基本无改造；实施相对简单；各自系统地面设备相对独立，后期维护及运营职责分工易划分；只需车辆专业配合改造	一套车载硬件设备，节省投资和车辆内部空间；只需车辆专业少量配合改造；各自系统地面设备相对独立，后期维护及运营职责分工易划分；可实现无缝自动切换，无需停车人工切换
缺点	地面设备投资翻倍；增加房建面积及设备占地；增加能耗；地面系统复杂增加系统故障风险；同一线路 CTC、ATS 双套调度指挥，归属权、运营职责难以划分，同时增加维保人力成本	车载投资翻倍；需解决车辆内部空间问题同时需增加车辆接口改造；独立双套车载设备需停车人工进行设备切换；司机需熟练掌握两种信号显示及操作	需研发兼容的车载系统；司机需熟练掌握两种信号显示及操作；需增加车辆接口改造
结论	方案可行，但需房建、电力、运输、维保等专业配套改造，协调难度大，投资高、运营困难，方案实施难度较大	方案可行，但对车辆内部设备空间要求较高，人工切换对行车影响较大，车载投资翻倍，技术无创新	方案可行，技术先进，能够实现自动无缝切换，节省投资、节省车辆空间，推荐本方案

2 兼容型车载方案的系统结构

兼容型车载方案的系统结构如图 1 所示。

2.1 兼容型车载的软、硬件配置

兼容型车载系统硬件应具备同时接收、处理 C2 及 CBTC 地面系统信息的功能，主要设备如图 1 所示。本方案选择在既有 CBTC 车载设备基础上修改，只需新增轨道电路信息接收单元 (TCR) 及天线、GSM-R/GPRS 通信单元 (C2 + ATO 用)，其

他硬件设备共用，设备参数做适应性调整。软件方面进行兼容性修改，ATP 和 ATO 单元集成 C2 和 CBTC 两种功能软件模块，软件模块既具备独立性，也应具备互相通信功能，根据切换命令在各自管辖范围内进行控车。

2.2 地面设备配置

如图 1 所示，各自车站无需新增设备，CTC 及 ATS 中心需各增设一套站间通信接口服务器，用于 CTC 调度中心与 ATS 调度中心之间调度命令的信

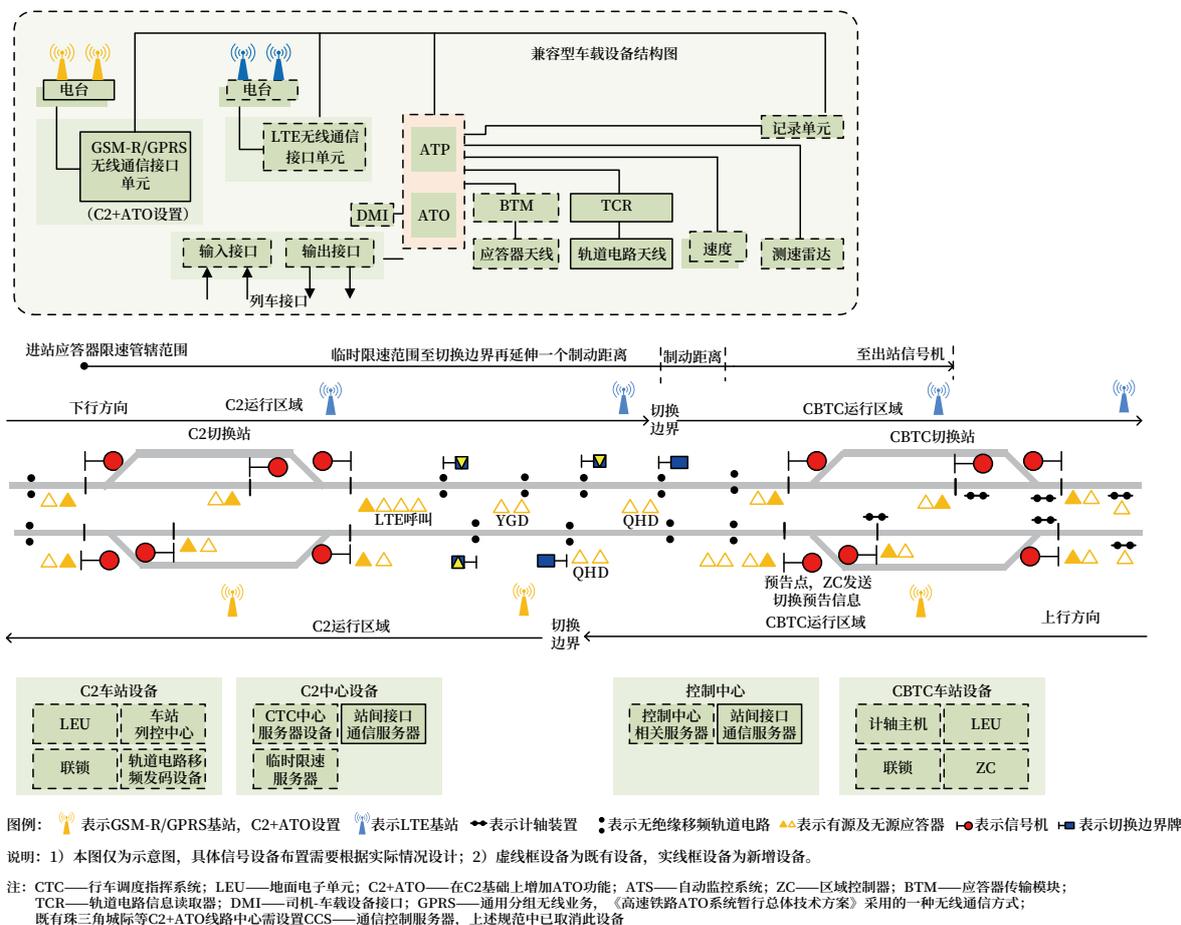


图1 “兼容型车载方案”系统结构示意图

Fig.1 “Compatible onboard scheme” system structure diagram

息交互、验证等。由于CTC与ATS调度命令、限速命令的设置及格式的差异，双方应统一跨区域内调度命令设置原则。

C2区间设置ZPW-2000轨道电路，CBTC区间设置计轴，相应区间布置C2标准应答器和CBTC标准应答器。切换边界两侧按C2和CBTC标准，设置信号机及停车标志。切换区间全线布置移频轨道电路，根据C2及CBTC标准要求布置相关应答器，设置相关标识牌提示司机。轨道电路和计轴的布置范围根据行车许可(MA)范围需求、区间长度、运行设计速度等实际情况进行设计。

3 切换场景方案设计

3.1 由C2进入CBTC方向

1) 列车与LTE建立连接

在LTE无线覆盖区内，设置与LTE建立连接的呼叫应答器，可与出站口应答器组合应用。如图1所示，C2/CBTC切换区间相邻车站本文命名为切换站。列车下行运行方向由C2区域向CBTC区域行驶时，C2切换站下行线出站口处应答器向车载发送LTE连接、注册信息，车载与LTE建立连接通信。处于休眠模式下的车载设备通过该应答器组时同样建立连接。

2) 列车与ZC、ATS建立连接并获得行车许可

列车通过LTE向ZC发起注册并向ZC汇报列车位置信息、报告当前等级模式信息，向车载发送位置报告参数信息、MA请求参数等信息。如图1所示，当列车前端通过预告应答器组(YGD)时，车载设备向ZC报告列车位置，同时，ZC向车载提供包括线路参数、MA、临时限速信息(TSR)

及级间切换命令，激活电子地图信息，车载 CBTC 控车单元根据上述信息生成控车速度曲线。

与此同时向 ATS 发起通信以获取调度命令等信息，ATS 向车载 ATP 传送列车识别号、区间列车运行等级、扣车、跳停、时间等信息。车载 ATP 向 ATS 传送列车位置信息、列车运行等级、列车驾驶模式、列车完整性、列车紧急制动状态、列车自动折返状态、列车速度信息和车门状态等。

列车在此期间至切换边界前始终由车载 C2 控制单元控车，车载设备 CBTC 控制单元和 C2 控制单元将实时进行通信，通过速度值比较计算出平滑过渡至切换点的速度值作为控车速度。

切换 YGD 距切换边界的最小距离应大于车载 -ZC 通信形成速度控车曲线所用时间+司机确认时间过程中列车走行的距离。切换预告应答器组距离 LTE 注册应答器组的距离应大于无线注册完成所用时间过程中列车走行距离。具体时间需不同设备厂商提供设备相关参数进行计算。

3) 切换执行

如图 1 所示，C2/CBTC 切换边界一般设置在闭塞分区处，当列车头部通过 C2/CBTC 边界，根据 ZC 的命令并具备 CBTC 系统控车条件时，车载设备将自动转为 CBTC 控车并切除与 C2 控车相关联系，并向 ZC 反馈切换成功信息。同时设置切换应答器（QHD），向休眠端车载发送切换信息。

4) 切换失败

由于 LTE 通信故障等原因导致切换失败的处理方案如下。

方案 1：列车继续以 C2 模式运行至 CBTC 切换站内停车，车门及站台门操作需人工完成

方案 2：区间停车后，由司机转人工驾驶至 CBTC 切换站内

方案 1 需要延伸 C2 行车许可、临时限速等信息至 CBTC 切换站内，轨道电路及 C2 标准应答器布置至 CBTC 切换站内，如图 1 所示。考虑轨道电路控制范围一般在 10 km 内，城轨或市域铁路站间距离较短，推荐采用方案 1，切换失败后列车可在

区间正常速度运行。

方案 1 中，CBTC 切换车站设置为跳停车站时，当司机向 ATS 中心报告切换失败信息后，ATS 中心应将跳停车站改为停车车站。

5) 切换站之间联锁信息的获得

轨道电路移频发码设备编码及 ZC 生成 MA 所需邻站控制的轨道占用 / 空闲、照查等联锁进路条件，目前可通过采用站间联系电路获得，从技术先进性上应考虑尽快实现 CBTC 联锁设备与 C2 联锁设备之间信息的互联互通。

6) MA 及 TSR 管辖范围

为保持在切换边界列车能以正常允许最高速度运行，C2 系统 MA、线路信息、临时限速、调度命令等信息必须越过 C2/CBTC 边界至少一个完整常用制动距离，如图 1 所示。

考虑切换失败场景，如常用制动距离范围已越过 CBTC 切换站的出站信号机，根据上述原则，相应的 MA、TSR 的范围可满足切换失败后站内停车的需要；如常用制动距离范围未越过 CBTC 切换站的出站信号机，则 MA、TSR 的范围需延伸至 CBTC 切换站的出站信号机处。轨道电路相应由切换区间布置至 CBTC 切换站内出站信号机处，出站信号机至 CBTC 区间布置计轴。

7) 对司机的显示及操作

车载设置一台人机界面（DMI），在各自制式控制范围内按各系统显示原则显示。当列车接近 C2/CBTC 切换边界一定距离（暂定 5 s）时，车载 DMI 将请求司机确认即将进行的级间切换，当列车前端进入 CBTC 区域并自动转为 CBTC 系统工作后，5 s 内允许司机继续进行确认。如果司机没有确认，车载设备将触发制动并停车。DMI 应给出司机切换成功或失败语音及显示提示，同时司机通过车载调度电台向调度中心汇报。

3.2 由CBTC进入C2控制区域

1) 获得切换预告命令

如图 1 所示，当列车上行方向由 CBTC 区域驶向 C2 区域时，ZC 应在列车前端距 CBTC/C2 级切

换边界一定距离（可在上行出站口处位置）时，向车载设备发送切换预告命令。切换预告点的位置距切换边界的最小距离应大于 C2 控车单元生成控车速度曲线的时间 + 司机确认（暂定 5 s）过程中列车走行的距离。

2) 控车速度曲线的生成

当列车行驶至轨道电路发码区段，TCR 获得轨道电路发送的 MA 信息，BTM 通过地面应答器获得线路参数等信息。车载收到切换预告命令后，接收由 TCR 传送的 MA 及 BTM 传送的线路参数等信息，结合临时限速、车辆制动等信息，C2 控车单元生成控车速度曲线。列车在此期间至切换边界前始终由 CBTC 控制单元控车，车载 CBTC 控制单元和 C2 控制单元将实时进行通信，通过速度值比较计算出平滑过渡至切换点的速度值作为控车速度。

3) 切换执行

当列车头部通过切换边界时，ZC 命令车载设备转为 C2 控车单元控车。当列车尾部越过切换边界后，车载关闭与 ZC 的连接。在 CBTC/C2 级切换边界处设置切换执行应答器组（QHD），用于休眠端接收切换信息。

MA 及 TSR 管辖范围、切换失败场景和司机操作的处理原则可参照 C2 向 CBTC 方向切换场景。

3.3 CBTC与C2+ATO切换场景

CBTC 与 C2 + ATO 场景切换方案是在 CBTC 与 C2 的切换场景基础上考虑 GSM-R/GPRS 的呼叫、注册等相关问题，其原理可参考上文“C2 切换至 CBTC”过程中，列车与 LTE 的注册过程。

4 展望

本文提出现阶段 3 种解决 CBTC 与 C2（含 C2 + ATO）系统之间兼容互通的可行方案，并对 3 种方案进行比对分析，推荐采用“兼容型车载”方案。通过兼容型车载系统结构图对方案的车载软、硬件配置和地面设备配置进行说明。同时，重点对切换场景进行详细描述，为相关产品的研发及后续工程设计提供参考和指导。希望在业内专家的共同努力下，尽快

取得相关产品认证，制定出兼容互通的行业标准，早日实现不同列控系统线路之间的跨线运营。

参考文献

- [1] 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, 2019.
- [2] 中国铁路总公司. CTCS-3 级列控系统总体技术规范: Q/CR 661-2018[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2018.
- [3] 中国铁路总公司. 城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统暂行总体技术方案: 铁总科信 [2013]79 号[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2013.
- [4] 中国铁路总公司. 高速铁路 ATO 系统暂行总体技术方案: 铁总科信 [2018]8 号[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2018.
- [5] 董俊超, 李兆龄. 对 CBTC 系统中车载信号设备数据管理的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 72-76.
Dong Junchao, Li Zhaoling. Research on Onboard Signaling Equipment Data Management in CBTC System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 72-76.
- [6] 徐轶劼. CTCS2+ATO 城际列控系统与高速铁路 ATO 系统差异性及应用趋势探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(3): 37-42.
Xu Yijie. Discussion on Differences and Application Trends of CTCS2+ATO Intercity Train Control System and High-speed Railway ATO System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(3): 37-42.
- [7] 张敏慧. 国铁与城轨信号系统差异及互通性探讨 [J]. 铁道工程学报, 2019, 36(12): 76-80.
Zhang Minhui. Exploration on the Difference and Interoperation between National Railway and Urban Signaling Systems[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(12): 76-80.

铁路信号电缆低压快速在线测试装置研究

周彬, 刘峰, 万园园

(中国铁路武汉局集团有限公司, 武汉 430000)

摘要: 信号电缆测试是保证信号设备正常工作的一项重要测试内容, 针对现场电缆绝缘测试存在的问题和实际维护需求, 提出基于低电压对信号电缆进行快速在线绝缘测试的设计和实现方案, 以提升电缆绝缘在线测试效率。

关键词: 铁路信号电缆; 绝缘; 低压; 快速

中图分类号: U284.93

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0098-04

Research on Low-voltage Fast On-line Test Device for Railway Signal Cable

Zhou Bin, Liu Feng, Wan Yuanyuan

(China Railway Wuhan Group Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: The signal cable test is an important test content to ensure the normal operation of the signaling equipment. In view of the problems existing in the on-site cable insulation test and the actual maintenance requirements, the design and implementation scheme of fast online insulation test of the signal cable based on low voltage is proposed to improve the efficiency of the online insulation test of the cable.

Keywords: railway signal cable; insulation; low voltage; fast

1 概述

铁路车站信号设备分为室内设备和室外设备, 室内外设备通过信号电缆进行连接, 信号电缆对地绝缘差, 将直接影响信号设备的正常工作, 甚至可能引起电源屏熔丝熔断或断路器跳闸, 从而引发规模性设备故障。因此, 日常信号设备维护工作中, 定期对信号电缆对地绝缘进行测试非常必要。

现有信号集中监测系统或绝缘电阻表对信号电缆对地绝缘测试多采用 500 V 直流电压, 测量时会触发防雷设备动作, 通常需拔出或断开防雷地线后进行测试, 同时, 其无法适用于耐压低于 500 V 的电缆线路的对地绝缘测试, 很大程度上限制设备的使用范围和测试效率; 另外, 由于积分电路和算法设计等原因, 待测电缆的等效电容充满所需时间较长, 导致测量时间长。针对上述问题, 本文提出铁路信号电缆低压快速在线测试方案。

2 方案设计

本方案设计的铁路信号电缆低压快速在线测试装置由 5 部分组成, 分别是电源电路、通信电路、

收稿日期: 2023-02-06; 修回日期: 2023-06-09

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司重点课题项目(N2021G041)

第一作者: 周彬(1977—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号与信息技术, 邮箱: 457428859@qq.com。

MCU 电路、ADC 采样 / 通信隔离电路、信号采样 / 滤波电路，系统功能框如图 1 所示。

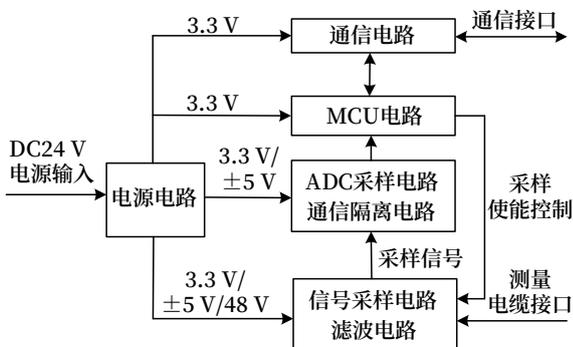


图1 系统功能框
Fig.1 System functions block diagram

1) 电源电路

电源电路将输入的直流 24 V 电源转换成直流 3.3 V、±5 V、48 V，其中 3.3 V、±5 V 为模拟和数字电路功能模块提供工作电源，48 V 为信号电缆绝缘电阻测量提供测量电压。

2) 信号采样 / 滤波电路

低压快速在线测试装置通过被测电缆接口输出 48 V DC，然后对接入的电缆进行数据采样，信号采样 / 滤波电路将采集的数据滤波后传送给 ADC 采样 / 通信隔离电路。

3) ADC 采样 / 通信隔离电路

ADC 采样 / 通信隔离电路将信号采样采集的数据，由 ADC 电路将模拟量转换成数字量传送给

MCU 电路。

4) MCU 电路

MCU 电路将收到的 ADC 采样结果进行处理，同时可以实现在线升级、上传软件版本和硬件状态自检等功能。

5) 通信电路

通信电路通过 RS-485 通信口与外部连接，将测试所得的信号电缆对地绝缘电阻值对外输出。

3 系统实现

铁路信号电缆低压快速在线测试装置信号采样 / 滤波电路如图 2 所示。

1) 采样电路输出一路 48 V DC 作为绝缘电阻测试电压，使用 R_{35} 电阻作为取样电阻，后端使用一个极低偏置电流的运放作为输入隔离，运放前端使用两个极低漏流的钳位二极管，作为对输入过冲电压的防护。

2) 在采样信号输入点使用两个本安型保险丝作为输入防护，同时电路内部串接多个大功率电阻来增加电路内阻，确保测量信号不会对被测电缆正常工作信号产生影响。

3.1 信号采样/滤波防护

测试装置和被测电缆连接的端子采用 5.08 mm 间距连接器，额定工作电压 320 V/20 A，绝缘耐压 AC2 500 V/1 min。当异常浪涌通过时，连接器不

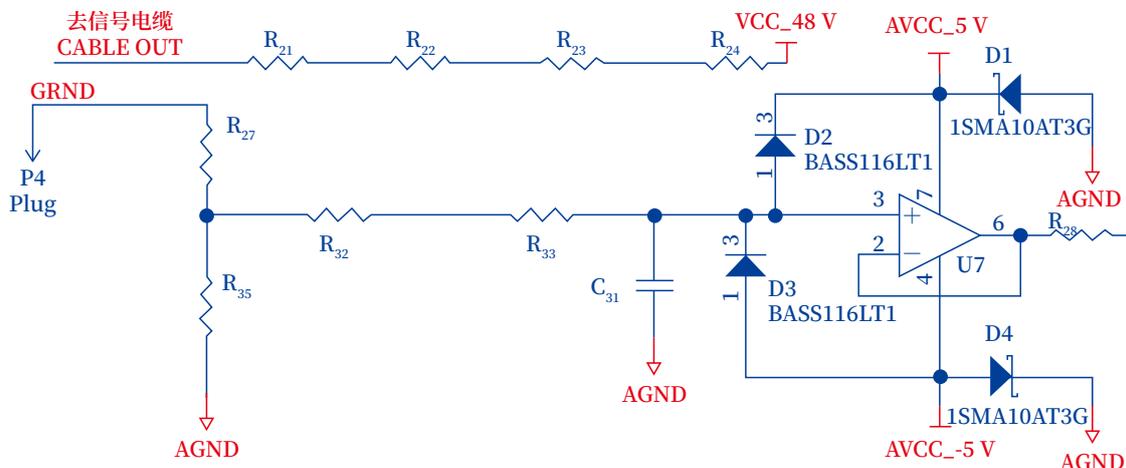


图2 信号采样/滤波电路
Fig.2 Signal sampling/filtering circuit diagram

会被击穿短路或发热。

测试装置通过两个 50 mA 本安型保险丝和待测电缆连接,当异常浪涌通过时,该熔丝能够可靠熔断,并且熔断过程中可能引起的高温、烧灼等均被包容在耐火壳体内部,确保不会蔓延至 PCB,不会引起冒烟、燃烧等严重后果。

测试装置输入信号经过 RC 低通滤波后接入到运放 U7 输入端,运放 U7 前端有 D2、D3 二极管 BASS116,共同组成运放的输入保护电路。当输入信号高于 $V_{CC} + 0.3\text{ V}$ 或低于 -0.3 V 时, D2 或 D3 导通,将输入电压限制在 $V_{CC} + 0.3\text{ V}$ 或 -0.3 V ,防止运放损坏。在保护二极管 D2、D3 导通期间,流过二极管的电流由 $R_{32}+R_{33}$ 限制。

当外部浪涌持续冲击时,可能导致 D2、D3 电流进一步增大,两端压降也随之升高。为此,电路设置了 TVS 管 D1、D4,分别保护正电源和负电源。在出现较高浪涌的时候,能够及时触发,将电源电压限制在可耐受的水平。D1、D4 型号为 1SMA10AT,触发门限最低 6.67 V,最高 7.37 V,配合前述的 D2、D3,能够可靠保护后续敏感的运放。

3.2 信号采样/滤波输出

运放 U7 的输出经过后续的信号调理,AD 转换后送到 MCU。MCU 经过一系列运算后获得信号电缆对地绝缘电阻值,然后通过通信电路 RS-485 通信口与外部连接,将测试所得的信号电缆对地绝缘电阻值上传到外部终端进行显示,用户根据绝缘电阻值判断信号电缆对地是否绝缘良好。

3.3 在线测试影响分析

该测试装置测试电压流入对象信号设备,有可能形成干扰电流。在极端情况下,假设对象设备的另一根电缆对地完全短路,并且对象设备的直流内阻为零,干扰电流也不到 0.1 mA。

1) 这个干扰能量非常有限,对信号机、转辙机等需要较高工作电压的信号设备的影响可以忽略不计。

2) 对于 ZPW-2000A 轨道电路,因为测量过程施加的是稳定的直流激励电压,没有交流分量,也

没有周期性的通断控制,因此干扰噪声频谱分量为零,不会对 ZPW-2000A 轨道电路接收器产生影响。对于 25 Hz 轨道电路,触发继电器动作依靠交流电的相位信息,绝缘测量的直流漏电流不起作用。

3) 对于 480 轨道电路,受端回线串入了轻微的绝缘测量直流漏电流,能够通过 JZXC-480 继电器内部的整流桥作用到线圈上,影响也极其有限,该继电器的吸起电压 $\geq 8\text{ V}$,流过的励磁电流 $\geq 17\text{ mA}$ 。这个电流门限远远大于整个绝缘测量装置对外流出的最大值 0.1 mA,因此不会导致轨道继电器错误吸起。

4 实际应用

该测试装置完成一路绝缘测试所需时间不到 3 s,而且快速测试低压能量小,在线测试不影响信号设备的正常工作,提高了测试效率。与现有系统相比,本测试装置具有以下优点。

1) 测试范围广:本测试装置采用 48 V 直流电源作为测试电压,适用于耐压 48 V 以上的电缆线路,且测试时不会触发防雷设备动作。

2) 测量时间短:本测试装置有别于通常的伏安法及积分法电阻测量,新的绝缘电阻测量引入了时间参数,通过建立电缆的等效模型,根据 RC 充电公式,基于短时间的充电曲线变化选取若干时刻的数据即可准确计算绝缘电阻值,无需等待电缆分布电容充电完成,极大缩短了测量时间。

3) 安全性能好:本测试装置的激励输出电压低,内阻大,短路电流小,具有较高的安全性能。

4) 测量精度高:本测试装置在测量绝缘电阻小于 $1\text{ m}\Omega$ 的电缆时也具有较高的精度,测试相对误差小于 5%,便于精准判断出电缆是否绝缘良好。

5 结束语

铁路信号电缆低压快速在线测试装置采用低压 48 V DC 替代 500 V DC 测试电压进行测试,确保测试过程不影响信号设备的正常工作,克服了既有测试系统的多种问题,测量对象覆盖范围大,单路

测量耗时短，从而大大缩短信号电缆对地绝缘整体测量时间，提高了电务运维效率。

参考文献

[1] 马全松, 秦亚明, 廖立平. 铁路信号电缆绝缘在线测试 [J]. 测控技术, 2003, 22 (4): 26-27, 40.
Ma Quansong, Qin Yaming, Liao Liping. Insulation Test of Electrified Railway Signal Cable[J]. Measurement & Control Technology, 2003, 22(4): 26-27, 40.

[2] 陈希有, 李冠林, 刘凤春. RC 电路充电效率分析 [J]. 电气电子教学学报, 2012, 34 (2): 32-35.
Chen Xiyou, Li Guanlin, Liu Fengchun. Charging Efficiency Analysis for RC Circuit[J]. Journal of Electrical & Electronic Education, 2012, 34(2): 32-35.

[3] 王冈. 信号电缆绝缘测试的研究 [J]. 铁道通信信号, 2013, 49 (7): 17-19.
Wang Gang. Study of Signal Cable Insulation Testing[J]. Railway Signalling & Communication, 2013, 49(7): 17-19.

[4] 孙立峰. 探析铁路信号电缆绝缘质量问题原因分析及解决方法 [J]. 大科技, 2015 (11):

123-123, 124.
Sun Lifeng. Analysis on the Causes and Solutions of Insulation Quality Problems of Railway Signal Cables[J]. Super Science, 2015(11): 123-123, 124.

[5] 吴海平. 信号电缆故障处理实践 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (9): 101-105.
Wu Haiping. Practice of Signal Cable Fault Treatment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 101-105.

[6] 中国铁路总公司. 铁路信号集中监测设备: Q/CR 573-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[7] 钟志旺. 分组互斥的信号电缆绝缘测试方法研究 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (7): 1-4.
Zhong Zhiwang. Study of Insulation Test Method of Signal Cables Arranged in Group with Mutex[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(7): 1-4.

[8] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路信号集中监测系统技术条件: Q/CR 442-2020 [S]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2020.

[9] 靳俊. 铁路信号集中监测系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

国外信息

日本铁路公司将测试生物燃料

西日本旅客铁道公司 (JR West) 将在下关和永敏之间的三仁干线上进行测试，使用生物燃料为内燃动车组提供动力。

试验将在 2023 年早些时候开展，将使用总部位于东京的优瑞纳公司 (Euglena) 提供的生物燃料。试验的目的是评估动力性能和燃料消耗情况，以便在 2025 年投入商业运营。

在 2021 财年，西日本旅客铁道公司的内燃动车组，占公司列车总数的 7%，共消耗 2 100 万升柴油。该公司正计划将所有内燃动车组转换为以生物燃料为能源，以减少该公司的碳足迹。

生物燃料比柴油价格贵，由于大多数内燃动车组在客运量较小的乡村铁路上行驶，西日本旅客铁道公司呼吁政府提供补贴，以便避免将增加的运营成本转嫁给乘客。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 冷宁翻译自: www.railwaygazette.com 2023-06-01)

一起线路所CTCS-2/CTCS-3边界停车的案例分析

张国防

(中国铁路上海局集团有限公司徐州电务段, 江苏徐州 221000)

摘要: 列控系统是保证高铁列车安全运行的核心设备, 列车在正常运行过程中, 在不同的线路中应该满足自动实现CTCS-2/CTCS-3(简称C2/C3)等级转换。通过对其中一种特殊场景下由于切换执行应答器之间的应答器组发送公里标/站名等C3等级使用的信息, 导致C2/C3等级转换不成功停车问题进行探讨分析, 并提出解决措施建议, 为分析解决类似问题提供参考。

关键词: 列控系统; C2/C3等级转换; 停车

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0102-04

Case Study of Train Stopping at CTCS-2/CTCS-3 Boundary of Block Post

Zhang Guofang

(Xuzhou Signaling & Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Xuzhou 221000, China)

Abstract: The train control system is the core equipment to ensure the safe operation of high-speed trains. During normal operation of the train, the CTCS-2/CTCS-3 (C2/C3 for short) level transition should be automatically carried out on different lines. This paper discusses and analyzes the unsuccessful C2/C3 level transition caused by sending the kilometer post/station name and other C3 information from the balise group between the switching balises in a special scenario, which lead to a stop, and puts forward solutions to provide reference for analyzing and solving similar problems.

Keywords: train control system; C2/C3 level transition; stopping

国内高速铁路快速发展, 列车运行控制系统得到了广泛应用。国内列车运行控制系统主要分为CTCS-2级(简称C2)和CTCS-3级(简称C3)列控系统, 列控系统分为车载列控系统(ATP)和地面列控系统, 地面列控系统CTCS-2级以列控中心(TCC)为主, CTCS-3级以无线闭塞中心

(RBC)为主。

高铁线路C2/C3级间转换功能需要地面无源应答器、地面RBC、车载ATP设备3个列控子系统互传指令, 由车载列控系统计算执行完成, 各子系统间信息命令传输如下: 列车经过地面应答器, 地面无源应答器激活后, 车载应答器接收天线(BTM)会不断接收呼叫RBC信息和列车定位信息; RBC设备与车载设备建立连接; 车载设备接到执行等级转换命令后, 完成C2向C3等级转换

收稿日期: 2022-08-15; 修回日期: 2023-04-08

作者简介: 张国防(1987—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路运输自动化, 邮箱: guofangzhang87@163.com。

过程。C2 向 C3 等级转换过程分为 5 个步骤：1) 当列车运行越过 RBC 连接应答器组，车载设备接收到应答器报文中应答器定位信息和 RBC 呼叫信息，车载设备开始呼叫报文中的 RBC 号码，建立通信会话连接，列车此刻仍按照 C2 运行。2) 当列车继续运行越过 C2/C3 切换预告应答器组，车载设备向已建立连接的 RBC 报告列车里程位置，RBC 收到信息后，综合列车前方线路数据发送行车许可 (MA) 消息，该信息包含 C2/C3 等级转换点指令。3) 车载设备收到 MA 信息后，由车载计算机计算生成 C3 等级下的速度 - 目标距离曲线，为 C3 等级运行做好准备。4) 当列车运行接近 C2/C3 等级转换执行应答器组时，车载计算机提示司机 C2/C3 等级切换，由司机进行确认。5) 列车越过 C2/C3

执行应答器组时，车载设备会自动转换为 C3 等级运行，C2 等级监控模式转为后备使用。

列车运行过程中会经过不同列控系统级别的线路，列车应该满足自动实现 C3/C2 等级转换或者 C2/C3 等级转换。本文针对徐盐客专联调联试期间，一起由于 C2/C3 等级转换应答器设置原因，导致列车 C2 转 C3 后冒进停车的案例进行分析。

1 故障概况

2019 年 11 月 25 日，D55703 在盐城北站 (C2 级线路) 4G 发车 (C2 部分模式) 沿青盐铁路下行线正向运行，从圩洋线路所 (C3 级线路) 通过 (TXL-TSF)，19:21:47 在下行正向 K310+900 处进行级间切换，C2 等级转 C3 后转入冒进状态，触发紧急制动停车。圩洋线路所站场示意如图 1 所示。

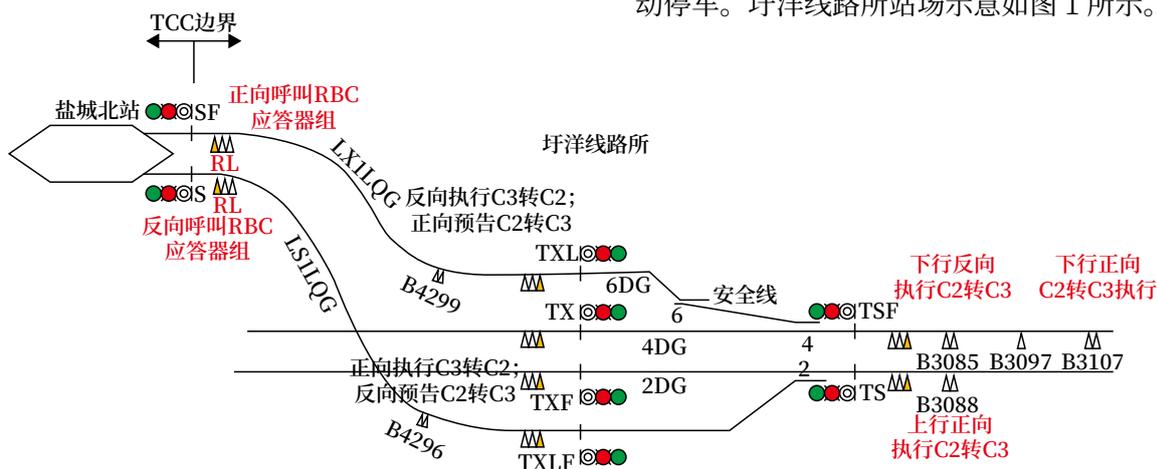


图1 圩洋线路所站场示意

Fig.1 Schematic diagram of Wei Yang block post

2 原因分析

徐盐客专 RBC 设备为 RBC-2-YH，试验车型号为 CRH380B-3716，ATP 型号为 300T，故障地点徐盐客专下行正向 K310+900 处，即 C2/C3 级间转换执行应答器组后，列车 ATP 转 C3，冒进状态，触发紧急制动停车。

JRU 数据分析，19:21:42 列车 ATP 收到应答器组 B3107 信息后，19:21:42 ATP 转为 C3 模式控车，确认冒进状态，立即触发紧急制动停车，如图 2 所示。

应答器组 B3107 在列控工程数据表中查询，该应答器组类型为 C2/C3 级间转换执行应答器组，如图 3 所示。

在 JRU 数据分析中，查看应答器报文信息，其中应答器组 BTXL-1、BTSF-2、B3085-2、B3107-2 报文中 [ETCS-79] 包写有里程信息数据，如图 4 所示，B3085-2 报文中 [ETCS-79]，数据包中双向有效。

根据 CTCS3-300T 车载系统通用运行限制与约束手册要求：OB_SRAC_300T_030。

C2 转 C3 等级时，在转到 C3 等级之前车载



图2 JRU数据
Fig.2 JRU data

693	BTSF-2	088-3-19-021-2	环洋线路所	XYK306-355	FJZ	FB-088
694	BTSF-3	088-3-19-021-3	环洋线路所	XYK306-360	FJZ	FB-088
695	B3065	088-3-19-023-1	环洋线路所	XYK306-570	FDN	FB-088
696	B3073	088-3-19-025-1	环洋线路所	XYK307-910	DN	FB-088
697	B3085-1	088-3-19-027-1	环洋线路所	XYK308-494	Q/FYX2-3	FB-088
698	B3085-2	088-3-19-027-2	环洋线路所	XYK308-499	Q/FYX2-3	FB-088
699	B3097	088-3-19-029-1	环洋线路所	XYK309-602	DN	FB-088
700	B3107-1	088-3-20-001-1	盐城徐盐场	XYK310-699	Q/FYX2-3/TX2-3	FB-088
701	B3107-2	088-3-20-001-2	盐城徐盐场	XYK310-704	Q/FYX2-3/TX2-3	FB-088
702	B3117	088-3-20-003-1	盐城徐盐场	XYK311-785	DN	FB-088
703	B3129	088-3-20-005-1	盐城徐盐场	XYK312-820	DN	FB-088
704	BX-1	088-3-20-007-1	盐城徐盐场	XYK313-030	JZ/RL	FB-088
705	BX-2	088-3-20-007-2	盐城徐盐场	XYK313-035	JZ/RL	FB-088
706	BX-3	088-3-20-007-3	盐城徐盐场	XYK313-040	JZ	FB-088

图3 应答器位置
Fig.3 Balise position list

只能缓存来自地面的3组消息（应答器组消息或RBC消息），因此在地面配置为C2/C3切换预告

应答器至C2/C3切换执行应答器之间的应答器组不应发送公里标、站名等C3等级使用的信息；在进入C3等级前RBC发送的级间切换、临时限速、过分相、临时限速取消等信息均应通过C3等级行车许可消息（M3）发送。

在此过程中，ATP在收到C2转C3等级转换预告后，ATP从线路应答器报文中收到多个公里标信息包和文本信息包，导致将此前RBC发送的M3包被覆盖，列车越过等级转换执行点后，由于M3包被覆盖导致转入C3等级时无C3行车许可，

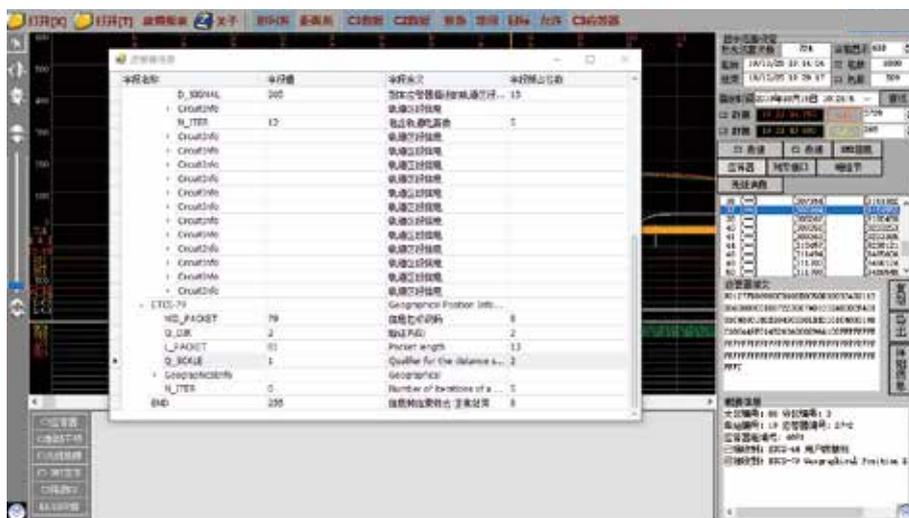


图4 B3085-2报文数据
Fig.4 B3085-2 telegram data

触发冒进, ATP 处理符合 300T 车载逻辑。

3 解决措施

结合现场运用实际, 提出两套解决方案。

方案 1: 修改从预告应答器至执行应答器间报文, 减少 [ETCS-79] 或 [ETCS-72] 包。

方案 2: 圩洋线路所与盐城徐盐场间只有 3 个闭塞分区, 可以从盐城北至盐城徐盐场间以 C2 运行, 不设 C2 转 C3 级间转换, 取消 RBC 连接应答器。

综合对比两套方案以及后期盐通客专引入盐城徐盐场考虑, 现场使用方案 1, 修改现场 B3085-2 应答器中 [ETCS-79] 数据, 将原来数据包中的双向有效改为反向有效 (正向无效)。

4 结束语

涉及 C2 和 C3 级别的线路所, 要考虑更多的现场制约因素和复杂场景, 等级转换应答器设置是否合理, 能够直接影响应答器报文、列控中心软件和 RBC 软件的编制工作。一般等级转换点设置错误, 在软件仿真和报文数据核对时不容易被发现, 当在现场联调联试或者列车运行时发现, 将会直接导致应答器报文、列控中心软件和 RBC 软件马上升级修改, 这会给联调联试和正常运输带来极大的麻烦。本文从车载列控系统和地面列控系统综合分析等级转换点附近由于列车 C3 行车许可数据被覆盖, 导致转换后冒进停车, 对涉及不同等级线路的线路所等级转换应答器的设置提供参考。

参考文献

- [1] 中国国家铁路集团有限公司. 列控系统应答器应用技术条件: Q/CR 769-2020[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [2] 中华人民共和国铁道部. CTCS-2/CTCS-3 级列

控系统等级转换应用原则 (V1.0): 运基信号 [2011]170 号 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2011.

- [3] 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.

- [4] 张霆. 特殊线路场景下的 CTCS-2/3 列控等级转换方法探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(10): 6-8, 29.

Zhang Ting. CTCS-2/3 Train Control Level Transition Method in Special Line Scenario[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 6-8, 29.

- [5] 王先明, 周艳丽, 张健伟. 特殊场景下列控级间切换方案优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(8): 13-18, 31.

Wang Xianming, Zhou Yanli, Zhang Jianwei. Optimization of Transition Scheme between Train Control Levels in Special Scenarios[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 13-18, 31.

- [6] 陈锋华, 崔俊锋. CTCS-2/CTCS-3 级列控系统等级转换基本原理与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2013, 10(5): 4-6, 19.

Chen Fenghua, Cui Junfeng. Basic Principle and Implementation of Level Transition between CTCS-2 and CTCS-3[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2013, 10(5): 4-6, 19.

- [7] 赵晓东. C2/C3 等级转换设置方案优化探讨 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50(4): 24-27.

Zhao Xiaodong. Discussion of Optimization Measures of C2/C3 Level Conversion Settings[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(4): 24-27.

境外铁路互联网售票系统方案研究

纪伟¹, 杨志², 吴桦林¹, 路晓彤³, 焦晓辉³

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031;

2. 通号国际控股有限公司, 北京 100070;

3. 中国国家铁路集团有限公司, 北京 100844)

摘要: 互联网售票已成为境外铁路售票系统的必然发展趋势, 其设计方案的先进性和合理性与运营管理效率和客运服务质量息息相关。充分考虑境外铁路的特点, 通过充分的需求分析, 对技术方案进行适应性研究和创新, 给出境外铁路互联网售票系统设计方案, 为境外铁路互联网售票系统设计提供参考。

关键词: 境外铁路; 互联网售票系统; 客票; 安全; 服务

中图分类号: U293.2+5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0106-06

Research on Overseas Railway Online Ticketing System

Ji Wei¹, Yang Zhi², Wu Hualin¹, Lu Xiaotong³, Jiao Xiaohui³

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

(2. CRSC International Co., Ltd., Beijing 100070, China)

(3. China State Railway Group Co., Ltd., Beijing 100844, China)

Abstract: Online ticket sales has become an inevitable development trend of overseas railway ticketing systems. The advanced nature and rationality of its design scheme are closely related to the efficiency of operation management and the quality of passenger services. This paper fully considers the characteristics of overseas railways, and through sufficient demand analysis, carries out adaptive research and innovation on technical solutions, and puts forward a design scheme of overseas railway online ticketing system, which provides a reference for the design of overseas railway online ticketing system.

Keywords: overseas railway; online ticketing system; ticket; security; service

1 国内外互联网售票系统发展现状

中国高铁作为“一带一路”建设的名片, 在海外工程建设中扮演着越来越重要的角色, 售票系统作为铁路建设和运营的重要系统, 与乘客体验、运营效益和维护管理息息相关, 是用户最为关心的重要系统。互联网售票系统直接面向公众服务, 是互

收稿日期: 2022-05-30; 修回日期: 2023-04-20

基金项目: 中铁二院工程集团有限责任公司重点科研项目 (KDNQ231045)

第一作者: 纪伟 (1981—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 计算机及信息技术, 邮箱: 417465590@qq.com。

联网+便捷交通体系的重要组成部分和具体服务展现平台^[1]。互联网售票系统凭借其便捷性、高效性、易维护和多元化等优点,已成为现代铁路售票系统的必然选项。

国内12306互联网售票系统是基于中国铁路客票发售和预订系统(简称客票系统)构建的^[2]。自2011年启用以来,经过10余年的发展建设,功能日益丰富,用户体验不断提升,已经远超车站窗口、代售点售票等传统渠道购票方式,成为人们出行购票的主要方式^[3]。系统运行稳定,拓展了铁路售票渠道,方便了旅客购票,并经受住了春运大规模并发的压力^[4]。中国12306互联网售票系统是目前全球交易量最大的票务系统,平均一年售出30亿张火车票,高峰日网络售票量占到全路各售票渠道交易总额的80%以上。

国外发达国家互联网售票系统也有较为成熟和广泛的应用。网络售票第一次出现是1994年美国联合航空公司开发的互联网售票系统。其出票方式分为电子机票和自助取票等,售票系统使用的是基于.NET平台技术,同时结合了Web前端应用。欧洲和日本在20世纪后期也逐渐使用了互联网售票系统,比如英国的Tribute系统,拥有的功能包括查询、预订、时刻管理等,车票可以发售到欧美地区不同国家。日本开发的MARS系统,不仅可以实现网上订票,还可以预订到达地的酒店^[5]。

2 境外铁路互联网售票系统需求分析

国内承建的境外铁路项目遍布全球,各个国家在运营管理模式、技术标准、文化习俗以及既有路网状况等方面存在不同差异,国内已成熟应用的互联网售票系统不能简单照搬到境外^[6]。因此需对互联网售票系统的系统结构、系统安全、系统特殊性等方面进行分析,结合当地需求和特点进行适应性研究,并加以创新,提出适用于境外铁路的互联网售票系统(以下简称系统)方案。

2.1 系统结构分析

1) 境外铁路互联网售票系统应具有灵活的扩展

性。系统设计应考虑不同软、硬件平台带来的开发移植问题,应采用易于移植的开发平台和编程语言。

2) 境外铁路的互联网售票系统应考虑模块化设计,满足各功能模块相对独立的需求。单个功能模块的异常或升级不影响其他功能模块及系统整体的正常运行。

3) 境外铁路互联网售票系统需考虑业务负载均衡。各节点间的业务可以平滑迁移,可按动态性能调整与负载的要求,将并发请求均衡至各物理节点,使业务负载达到均衡。

4) 境外铁路互联网售票系统需便于运维。售票系统通常利用天窗时间实现票额生成、数据清理、数据整理、结账统计等后台任务,这些任务往往占用较多系统计算资源。需考虑在售票低峰期设置互联网售票天窗时间,便于执行后台任务和日常运维工作。

5) 境外铁路互联网售票系统需建立完善的系统监控体系。系统能够对服务器、存储、网络、数据库、中间件、机房环境等进行全面监控,保障系统可靠运行。

6) 境外铁路互联网售票系统应具备高安全性和稳定性,应充分考虑安全与业务的关系,满足业务审计的需要,使安全与业务融为一体。

2.2 系统安全分析

1) 境外铁路互联网售票系统网络设备应具有充足的业务处理能力,重要网段与其他网段(尤其是外部系统)之间需采用可靠的技术隔离手段;需对网络运行状况、网络流量、用户行为等进行安全审计;应能够监视防范端口扫描、强力攻击、木马后门攻击等攻击行为。

2) 境外铁路互联网售票系统应能够对主机用户进行身份标识和鉴别,实现特权用户的权限分离;系统审计范围需涵盖每个操作系统用户和数据库用户,审计内容应包含重要用户行为,如系统资源异常使用、重要系统命令执行和其他重要的安全相关事件。

3) 境外铁路互联网售票系统需具有明确的系统

边界，确定路内外相关系统间的互信机制，制定边界安全方案。自行软件开发环境应与实际应用系统分开，软件开发应用需深度测试，避免恶意代码和后门隐蔽信道。

2.3 系统特殊需求分析

1) 电子支付平台

境外互联网售票系统的首要前置条件是需要有当地的电子支付平台。支付平台提供商通过通信、计算机和信息安全技术，在客票系统运营方和银行之间建立支付平台，从而实现购票者、金融机构以及客票系统运营方之间的货币支付、现金流转、资金清算、查询统计等功能。该服务可由第三方电子支付平台或者当地银行提供。

2) 互联网专线

境外铁路互联网售票系统客票中心需通过互联网专线接入当地运营商网络。互联网专线更具备安全性和稳定性，保证专线专用，24 h 在线，数据传输快速稳定，丢包率低，并实现双向数据同步传输。为避免单点故障建议采用双联路（两家互联网专线运营商）专线接入。

3) 境外铁路互联网售票系统与中国 12306 互联网售票系统互联互通

目前中国各跨境铁路的境外铁路客票系统均未与中国 12306 互联网售票系统互联互通。境外铁路客票系统与中国 12306 互联网售票系统互联互通，涉及不同国家之间政策、机密、资金清算以及网络安全等相关问题，因此需要两国间深入研究探讨并达成相关协议后确定。

在两国之间达成共同协议后，在保证客票信息的同步性、实时性以及安全性的前提下，境外铁路客票系统中心与中国 12306 互联网售票系统中心互联互通。互联互通可以通过国际专线，在中国侧设置内网和外网接口服务区，同时在国外侧设置内网和外网接口服务区，内外网间采用安全平台实现物理隔离，数据通过接口服务区进行交互。

4) 境外铁路互联网售票系统与中国 12306 互联网售票系统间的资金支付与清算

两国互联网售票系统间的票款可通过现金或电子支付平台进行支付与清算。目前中国国际列车售票系统是将票务收入数据提供给路局及国铁集团国际部，利用中间货币进行清算。国铁集团建设有清算系统，统一收集旅客票价收入、售票服务费用等运输进款，并核算担当企业与服务企业间的费用支出（如线路使用费、机车牵引费等费用）信息，根据国铁集团制定的清算规则和办法，完成各运输企业间的收入和费用清算。

5) 短信平台或其他通知方式

互联网售票系统购票通常采用用户手机注册，并采用短信交互方式完成关键信息的确认和验证。购票和支付等重要信息需由短信平台通知用户，也可使用微信等即时通信方式替代实现系统通知功能。

6) 互联网客服

互联网售票系统需考虑设置互联网客服。当仅设置窗口售票时，旅客如有问题通常由车站客服人员或售票工作人员解答处理，而在互联网办理业务时，往往需要在线解答或者处理业务问题，因此需考虑设置客服中心，可设置人工坐席通过电话连线帮助用户解答处理。

3 系统设计方案

3.1 系统架构

境外铁路互联网售票系统采用集中式的体系架构，数据集中存储，业务集中处理。在客票中心设置系统主机，通过网络与客户端联接，实现客运营销、运营管理、收入审核、数据统计等业务的电子化管理。中心系统分为客票核心业务区和互联网接入区两个分区，分区之间通过分工协作，为用户提供完整的业务服务。

客票核心业务区实现票务核心业务的处理，包括基础数据管理、票额管理和售票交易等。其处理的数据包括全线基础数据、所存放票额的管理数据、所存放席位数据、所存放席位的余票数据，以及由售票交易产生的电子票库和存根信息等，并为互联网售票服务区提供售票交易服务和相关业务数据。

互联网售票服务区为互联网和手机售票提供客票核心业务交互界面，根据核心区提供的业务数据，为互联网和手机的客户提供票务服务，并记

录客户和交易信息。

系统架构如图 1 所示。

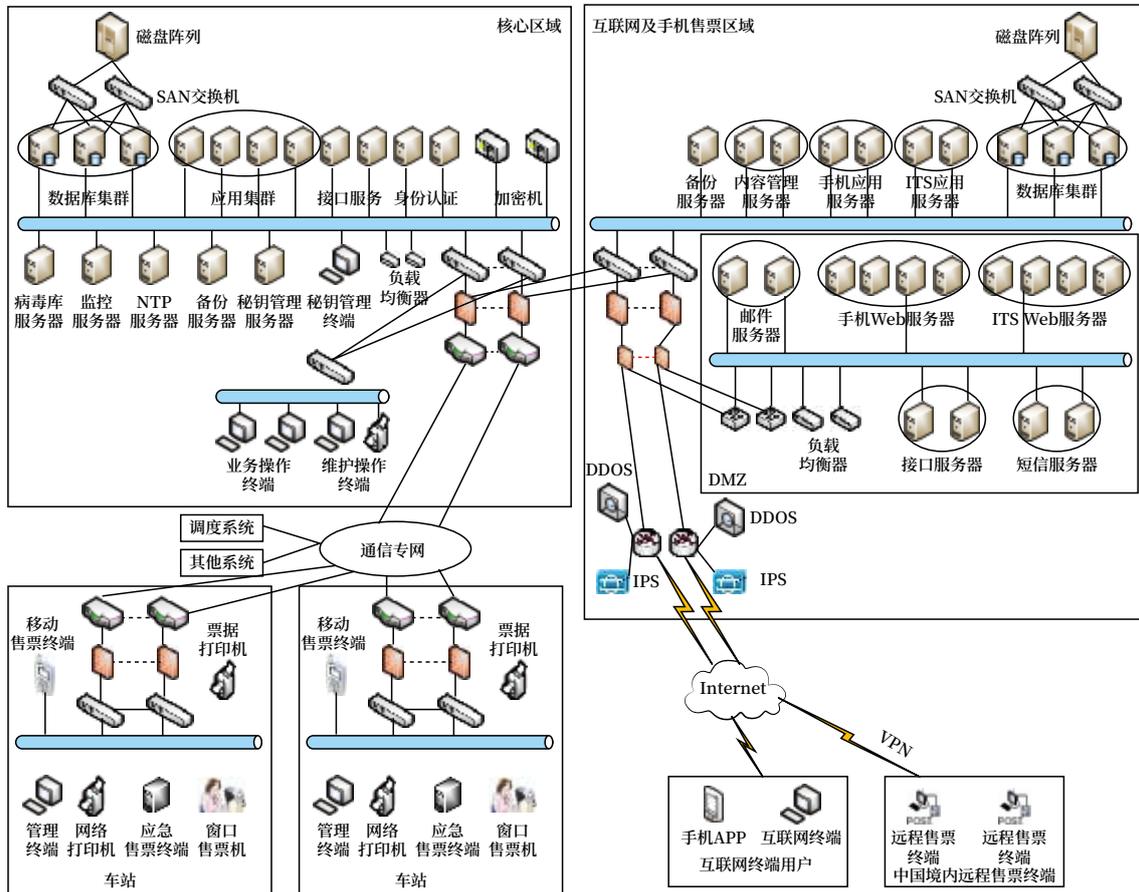


图1 系统架构

Fig.1 System architecture

3.2 系统功能

境外铁路互联网售票系统主要实现数据管理、业务管理、运营管理、席位管理、票价管理、交易处理、收入和统计管理等功能。按照以上功能可将系统划分为中心管理系统模块、车站管理系统模块、结账清分系统模块、车站售票系统模块、互联网/APP 售票系统模块和销售策略管理系统模块。

1) 中心管理系统模块主要完成基础数据管理、列车管理、票价管理、席位管理、权限管理和系统管理等功能。

2) 车站管理系统模块主要实现车站系统的权限管理和票据管理等功能。

3) 结账清分系统模块主要提供结账统计和国际

票款清分等功能。

4) 车站售票系统模块主要实现售票、改签、制票、故障处理、查询、交班、退票和退差价等功能。

5) 互联网/APP 售票系统模块主要服务于 Web 上网订票的客户，或在智能手机 APP 购票的客户，客户可在 Web 网页或者 APP 上完成票务业务和电子支付，并应支持多币种支付。

6) 销售策略管理系统模块可制定各种销售策略及销售套票，销售策略可针对不同的销售渠道提供不同的销售政策。

3.3 系统安全策略

境外铁路互联网售票系统互联网接入区与客票核心业务区需通过安全隔离平台互联。安全隔离平台

提供网站交易安全、客票系统交易安全、电子支付安全、系统间边界安全及网络安全保障功能^[7]。互联网接入区主要对注册用户进行管理，实际交易业务通过客票核心业务区实现。互联网接入区通过互联网出口

防火墙与运营商网络互联，客票核心业务区通过防火墙与车站局域网互联。为避免单点故障，建议采用双联路（两家互联网专线运营商）专线接入。

系统安全架构如图 2 所示。

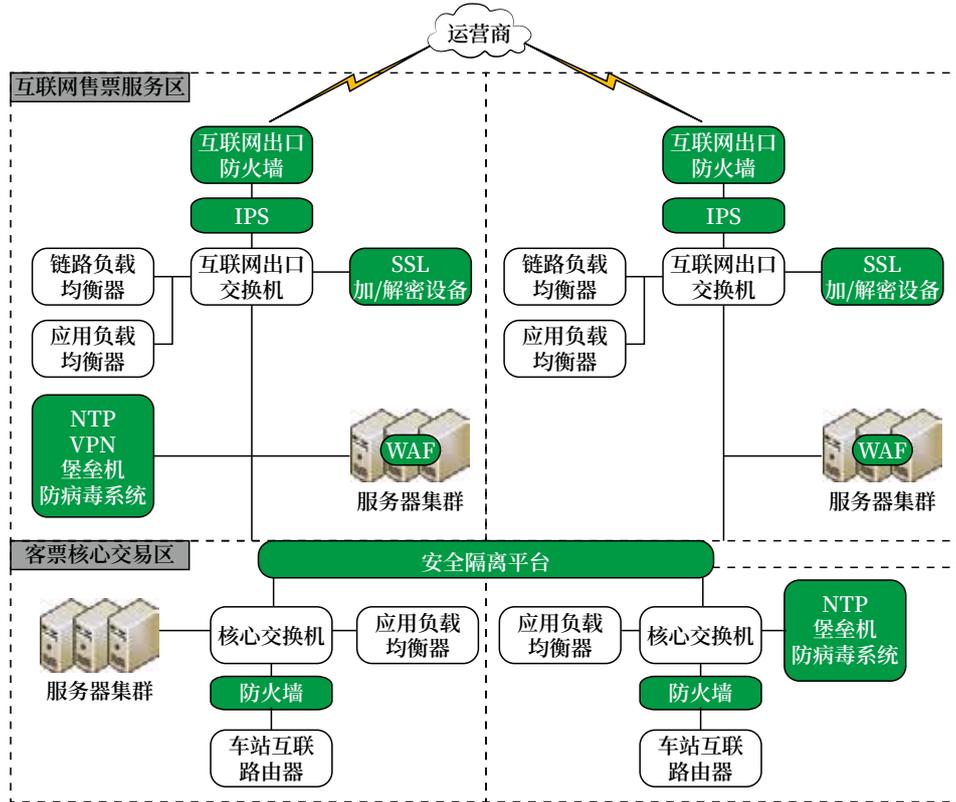


图2 系统安全架构
Fig.2 System safety architecture

4 结束语

中国“走出去”战略和“一带一路”倡议深入实施，中老铁路等国家“一带一路”标志性工程已经建成通车，且中国的12306互联网售票系统建设已经取得不俗成绩，因此将采用中国技术标准的先进铁路互联网售票系统推向全球是共同努力的方向。当今社会以数字化、网络化、智能化为标志的信息技术革命正深刻改变着世界战略格局，要抓住时代机遇，充分推进大数据、云计算、人工智能、区块链等现代信息技术在互联网售票系统中的应用，不断推动互联网售票系统的创新，使互联网售票系统发展成为可提供综合性铁路客运服务的重要门户^[8]，全面提升铁路客运国际化适应能力和服务能力。

参考文献

- [1] 郭祥, 沈兵, 王淑芳, 等. 互联网+便捷交通体系对道路客运联网售票系统建设促进作用探讨[J]. 中国交通信息化, 2017(S1): 23-24, 26. Guo Xiang, Shen Bing, Wang Shufang, et al. Discussion on the Promotion of Convenient Transportation System in Internet Plus to the Construction of Online Ticket Selling System for Road Passenger Transport[J]. China ITS Journal, 2017(S1): 23-24, 26.
- [2] 朱建生, 王明哲, 杨立鹏, 等. 12306互联网售票系统的架构优化及演进[J]. 铁路计算机应用, 2015, 24(11): 1-4, 23. Zhu Jiansheng, Wang Mingzhe, Yang Lipeng, et al.

- Architecture Optimization and Evolution of 12306 Internet Ticketing and Reservation System[J]. Railway Computer Application, 2015, 24(11): 1-4, 23.
- [3] 郝晓培, 单杏花, 杨立鹏, 等. 基于大数据技术的铁路互联网售票异常用户行为分析与实现 [J]. 铁路计算机应用, 2017, 26 (5): 1-4, 10.
- Hao Xiaopei, Shan Xinghua, Yang Lipeng, et al. Analysis of Abnormal User Behavior of Railway Internet Ticketing Based on Big Data Technology[J]. Railway Computer Application, 2017, 26(5): 1-4, 10.
- [4] 王明哲, 朱建生, 徐东平. 铁路 12306 手机售票系统的研究与实现 [C] //2014 第九届中国智能交通年会大会论文集. 广州, 2014: 361-364.
- [5] 朱克菲. 日本铁路公司 (JR) 的多途径客票预售系统 (MARS) [J]. 中国铁路, 1999 (9): 17.
- Zhu Kefei. Multi-Channel Ticket Pre-Sale System (MARS) of Japan Railway Corporation (JR)[J]. Chinese Railways, 1999(9): 17.
- [6] 肖琨. 海外铁路票务系统票制的研究 [J]. 高速铁路技术, 2015, 6 (3): 76-79.
- Xiao Kun. Study on Overseas Railway Ticket System[J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(3): 76-79.
- [7] 曹品一. 铁路 12306 网上售票系统概述 [J]. 科技尚品, 2016 (1): 170-171, 235.
- Cao Pinyi. Overview of Railway 12306 Online Ticketing System[J]. Premiere, 2016(1): 170-171, 235.
- [8] 杨立鹏, 梅巧玲, 陈爱华, 等. 铁路互联网售票系统的研究与实现 [J]. 铁路技术创新, 2012 (4): 32-34.
- Yang Lipeng, Mei Qiaoling, Chen Aihua, et al. Research and Implementation of Railway Internet Ticket Selling System[J]. Railway Technical Innovation, 2012(4): 32-34.

国外信息

曼彻斯特地铁将部署超速防护技术

英国的大曼彻斯特交通局已任命铁路车辆工程咨询公司 DB ESG 和硬件制造商 Sella Controls 为 147 辆地铁轻轨车辆设计、安装和调试驾驶员警戒装置和有轨电车超速防护系统。

DB ESG 此前曾与 Sella Controls 合作, 在伦敦有轨电车网络上部署了一个超速物理防护系统。Metrolink DVD 和 TOPS 将基于 Sella Controls 的 Tracklink III 和 EKE Electronics 的 Trainnet 技术, 使用 GPS 和其他信息来确定有轨电车的位置和速度。在超速的情况下, 驾驶员将得到警告, 如果没有反应, 将自动刹车。

该防护系统将独立于其他有轨电车监控系统运行。

LRVs 已经安装了一个装置, 可以在驾驶员丧失行为能力的情况下实施紧急制动, 并且对牵引制动系统进行了修改, 可以在没有检测到列车移动的情况下请求驾驶员做出响应。这一部署是根据铁路事故调查处对 2016 年克罗伊登 Sandillands 伦敦有轨电车网络致命脱轨事件进行调查后提出的建议。

TfGM 和网络运营商 KeolisAmey Metrolink 已经努力实施 RAIB 的建议, 在某些地点降低速度限制, 增加危险标志, 改进驾驶员培训模拟器, 提高医疗标准和主动速度监测。新技术是为轻轨安全与标准委员会开发的, 以制定安全系统的规范。

5 月 24 日, TfGM 的 Metrolink 负责人 Danny Vaughan 说: “Metrolink 有着堪称典范的安全记录, 但在克罗伊登的悲剧发生后, 通过随后的 RAIB 建议, 我们已经采取措施进一步加强这一点, 并通过参与创新技术的试验来监测驾驶员的注意力和车辆超速, 从而发挥了行业领先的作用。Metrolink 是全国最大、最复杂的轻轨系统, 我们与领先的行业专家密切合作, 以确保我们得到正确的解决方案。”

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王锦编译自: www.railwaygazette.com 2023-05-26)

UIC参加美国高速铁路协会的会议

5月16~17日,美国高速铁路协会(US High Speed Rail Association, USHSR)在美国华盛顿哥伦比亚特区举行会议,会议介绍了美国铁路项目最近的状况,特别是对高速铁路部署的大力支持。在主题为“世界各地的高铁”的会议上,UIC负责高铁的高级顾问菲利普·罗兰(Philippe Lorand)分享了UIC成员在全球范围内的项目进展。除了已经投入运营的项目外,在所有区域都在扩建和发展许多铁路网,在不久的将来,高铁将成为可持续交通的关键参与因素。

在过去的4年中,世界高铁网增加了20%,即1万km,总路网长度达到近6万km。

在菲利普·罗兰的演讲之后,参会者进行了关于高铁运营的小组讨论,讨论了意大利、西班牙和法国市场自由化的初步成果。新进入市场的公司和现有公司的高铁乘客数量都显著增加。

在美国及世界范围内,UIC都是强有力的合作伙伴,能充分利用其成员在高铁领域的集体经验。在专业知识方面,UIC发挥着桥梁的作用,分享过去60年以来在高铁领域积累的独特专业知识。

本次高铁会议议程如下。

- 1) 点燃美国高铁革命。
- 2) 邀请美国国会众议员参加的圆桌会议:高速铁路是解决问题的妙计。
- 3) 世界各地的高铁。
- 4) 加利福尼亚高速铁路:美国的具有变革性的大型项目(进度、采购计划、阶段和流程、可持续发展报告、资金计划和车站发展情况更新)。
- 5) 加快项目交付。
- 6) 世界一流的车站设计和以公共交通为导向的开发模式。
- 7) 高铁运营。
- 8) 通过高铁实现美国交通运输业的脱碳。
- 9) 拜登政府对高铁的愿景。
- 10) 在筹划中的高铁项目:德克萨斯高铁(Texas High Speed Rail)、卡斯卡地亚高铁(Cascadia High Speed Rail)、高原沙漠走廊(High Desert Corridor)、东南高铁(Southeast High Speed Rail)、北大西洋高铁(North Atlantic Rail)。
- 11) Brightline West 高速铁路:即将到来的高速列车。Brightline West 将是美国首个真正的高速客运铁路系统,连接拉斯维加斯和加利福尼亚南部,线路长度为218英里(约351 km),时速超过186英里(约299 km)。项目预计于2023年下半年破土动工。
- 12) 美国制造:一项美国高铁产业战略。
- 13) 建设一体化铁路网。
- 14) 增加私人投资。
- 15) 改变在高铁方面的政治活动。
- 16) 美国高铁革命的下一步措施。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王冲翻译自:www.ushsr.com 2023-05-17)

轨道交通用电线电缆

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

产品

覆盖领域

高速铁路：秦沈客专、武广客专、京沪客专、广深港客专、哈大客专、京沈客专、东南沿海客专、青太客专、徐兰客专、沪汉蓉客专、京福高铁、沪昆客专、西成客专、云桂客专、贵广客专、京津城际、川藏铁路、兰新铁路、沪宁城际、沪杭城际……

地铁轻轨：沈阳地铁轻轨、北京地铁、上海地铁、广州地铁、深圳地铁、武汉地铁、西安地铁、重庆地铁、成都地铁、合肥地铁、郑州地铁……

国家基础建设：长沙机场、沈阳机场、新郑机场、国家电网。

电信运营商：中国移动、中国电信、中国联通、铁塔公司。

海外市场：英国、挪威、加拿大、澳大利亚、以色列、土耳其、韩国、泰国、柬埔寨、印度、尼日利亚、肯尼亚……

技术

领先

国家高新技术企业，全国电子信息行业优秀创新企业，国家“质量信誉最佳企业”，国家安全质量标准化二级企业，全国精神文明建设先进单位，河南省科技型企业，焦作市智能制造推进联盟理事长单位，河南省企业技术中心。起草多项信号电缆、漏泄电缆、贯通地线行业标准，获得五十多项专利技术。

焦作铁路电缆有限责任公司

地址：中国河南省焦作市站前路 8 号

电话：0391-2632323

网址：<http://thjl.crsc.cn>

Jiaozuo Railway Cable Co., Ltd

Address: No. 8 Zhanqian Road, Jiaozuo, Henan Province, P.R. China

Phone: +86-391-2632323

Website: <http://thjl.crsc.cn>





卡斯柯
CASCO

全面守护
全程放心

你肯定的信号
就是我们
持续前进的方向



守护你的每一步

广告

ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U



<https://rsce.crsd.com.cn>
扫码打开期刊官网,
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

邮发代号:80-532 国内定价:10元/期