

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊; RCCSE中国准核心期刊; 日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊; EBSCO学术数据库收录期刊; 中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊; 中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊; 中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊; 中国学术期刊影响因子年报统计源期刊; 超星期刊域出版平台全文收录

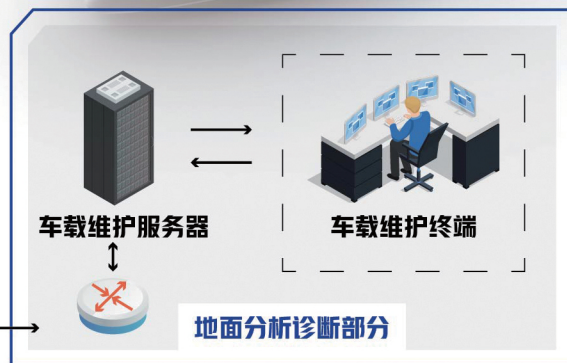
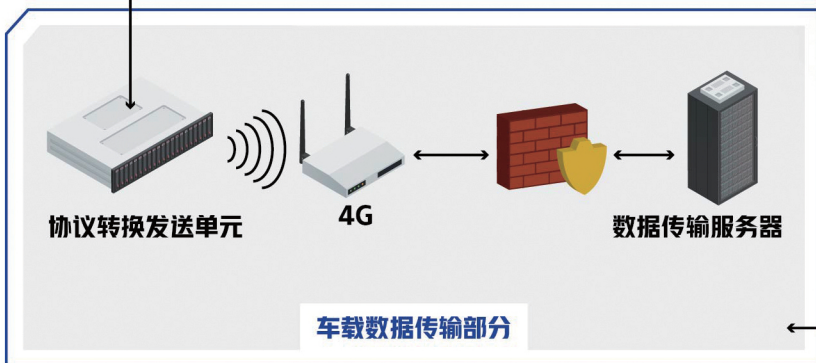
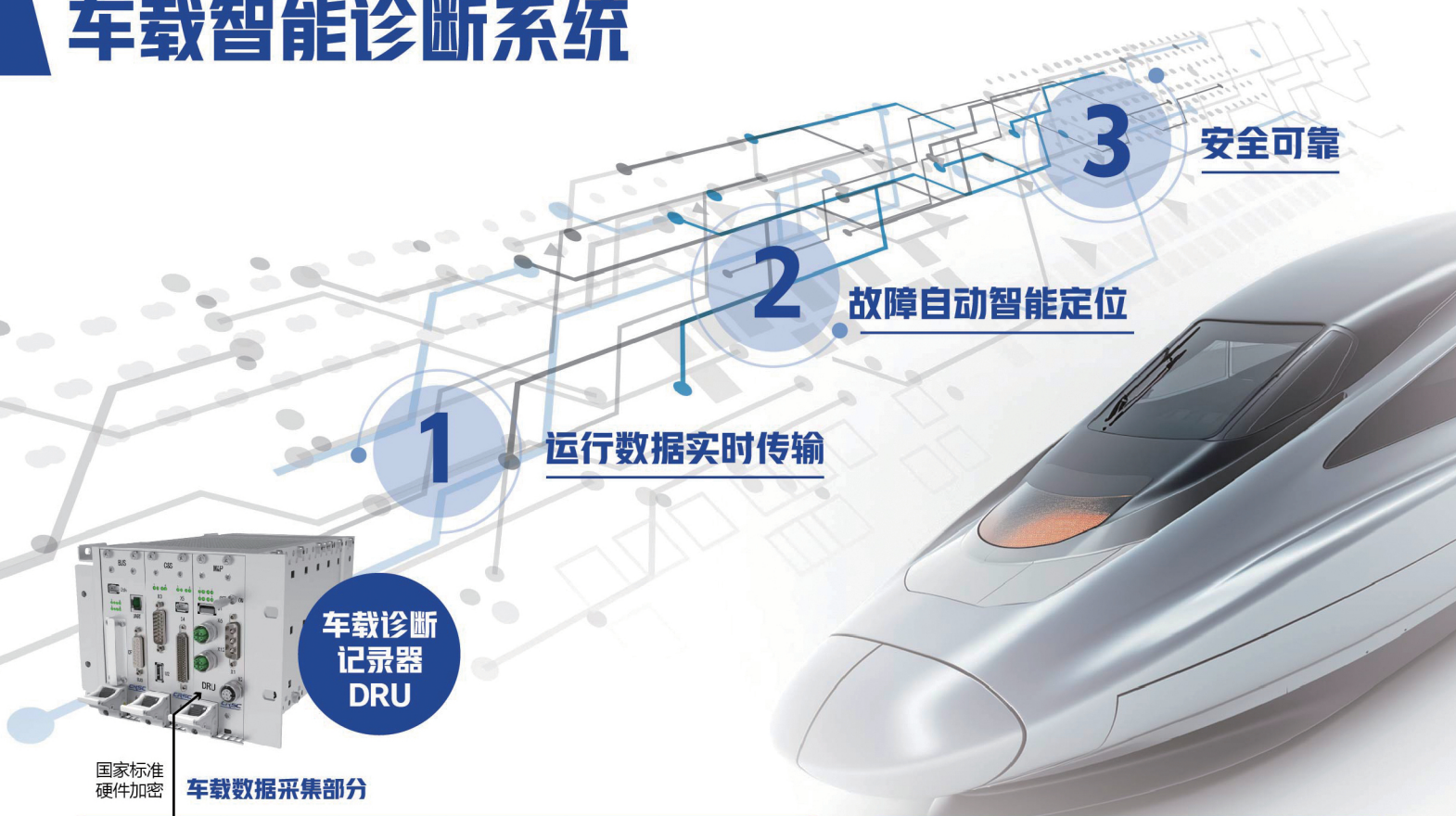
铁路通信信号工程技术

Railway Signalling & Communication Engineering

中国铁道学会通信信号分会指定期刊

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 2024. **2** 第21卷 总第158期

CTCS3-300T 车载智能诊断系统



广告

铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

主管单位 Administrated by:

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

主办单位 Sponsored by:

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

主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

责任编辑 Editor in Charge:

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

网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

英文编辑 English Editor:

王冲 Wang Chong

编辑出版 Edited and Published by:

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

地址 Address

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

邮编: 100070 **Postcode:** 100070

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

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

编辑电话 Edition Tel:

50805951; 50805957 50805951; 50805957

广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

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

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

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

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

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

广告代理 Advertising Agency:

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

印刷 Printed by:

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

广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第 21 卷第 2 期总第 158 期 Vol.21 No.2 S.No.158

出版: 2024 年 2 月 25 日 Published on: 2/25/2024

创刊: 2004 年 First Issue: 2004

高级顾问: 倪光南院士

刘尚合院士

陈维江院士

Senior Consultants:

Ni Guangnan: Member, Chinese Academy of Engineering

Liu Shanghe: Member, Chinese Academy of Engineering

Chen Weijiang: Member, Chinese Academy of Sciences

主任委员: 张啸林

委员: (按姓氏笔画排序)

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

本刊入选数据库:

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊;

RCCSE 中国准核心学术期刊;

日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊;

EBSCO 学术数据库收录期刊;

中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊;

中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊;

中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊;

中国学术期刊影响因子年报统计源期刊;

超星期刊域出版平台全文收录



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

扫码打开期刊官网,

阅读、下载本刊内容

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

2. 本刊文章版权所有, 未经书面许可, 不得以任何形式转载。

铁路通信信号工程技术 目 次

技术创新

信号技术

- 基于Petri网的铁路综合交通枢纽换乘建模与仿真
..... 王陆晞, 朱 明 1-6
- 英标体系含道口区间列车发车间隔分析
..... 张雨千 7-13
- 计算机联锁接发列车故障设置盘的设计与实现
..... 王定明 14-19
- 基于车站无线通信下的临时限速研究
..... 奇岳恒, 杜江红 20-25

通信及信息技术

- 一种基于无线专网的CTC3.0多岗位联动技术方案
..... 王劲阳 26-31
- 公跨营运高铁立交桥异物侵限监测系统重难点分析
..... 陈荣超 32-36
- 铁路综合视频一体化安全防护平台研究
..... 艾博慧 37-42
- 高速铁路通信光缆故障的定位分析与处理
..... 陆守东 43-47

专题：基于北斗的重载铁路列控系统（二）

- 重载铁路公专网车-地通信监测技术研究
..... 蔡 军 48-53
- 基于北斗的重载铁路列控系统新增功能测试方法
..... 史立柱 54-59
- 基于北斗的重载铁路列控系统仿真测试系统研究
..... 韩兴邦 60-66

城轨交通

- 广州18及22号线快慢车运营模式研究
..... 叶富智, 范永华, 苏 航, 林保罗 67-71
- 基于云架构的城市轨道交通信号系统方案研究
..... 郭弘倩, 南 迪 72-77
- 现代有轨电车平交路口信号系统控制方案研究
..... 雷 彬, 孟凡超 78-83
- X射线安检仪人包自动绑定方法研究
..... 赵 耀 84-88
- 5G+泛无线融合技术在地铁施工人员定位中的研究
..... 司福强 89-95
- 基于云平台的中低速磁浮票务系统
..... 陈柯行, 黄志伟, 李广智, 吴 昊 96-102
- 新一代安全型道岔控制电路研制
..... 陈 杰, 任哲宗, 王 茜, 于 壮, 王炳乾 103-107
- 巴西圣保罗13号线车载ATC系统设计
..... 王 成, 刘浚锋, 刘 佳 108-113

国外项目

行业信息

前沿技术：RailSoft 软件简化铁路行业运营流程（6）

Railway Signalling & Communication Engineering

CONTENTS

Technological Innovation

Signalling Technology

Modeling and Simulation of Railway Comprehensive Transportation Hub Transfer Based on Petri Net	Wang Luxi, Zhu Ming	1-6
Analysis of Train Departure Intervals in Block Sections with Level Crossings under British Standard System	Zhang Yuqian	7-13
Design and Implementation of Fault Setting Panel for Train Receiving and Departing of CBI Training Equipment	Wang Dingming	14-19
Research on Temporary Speed Restriction Based on Station Wireless Communication	Qi Yueheng, Du Jianghong	20-25

Communication & Information Technologies

CTC 3.0 Multi-job-position Coordination Technology Solution Based on Wireless Private Network	Wang Jinyang	26-31
Analysis of Key and Difficult Points of Foreign Object Intrusion Monitoring System for Highway Crossing High-speed Railway	Chen Rongchao	32-36
Research on Integrated Security Protection Platform for Railway Integrated Video Surveillance System	Ai Bohui	37-42
Analysis and Handling of Fault Locations for High-speed Railway Communication Optical Cables	Lu Shoudong	43-47

Special Subject : Train Control System for Heavy Haul Railways Based on Beidou (2)

Research on Vehicle-ground Communication Monitoring Technology for Heavy Haul Railway Public and Private Networks	Cai Jun	48-53
Test Method of New Functions of Heavy Haul Railway Train Control System Based on Beidou	Shi Lizhu	54-59
Research on Simulation Testing System for Heavy Haul Railway Train Control System Based on Beidou	Han Xingbang	60-66

Urban Rail Transit

Research on Fast and Slow Train Operation Modes of Guangzhou Metro Line 18 and 22	Ye Fuzhi, Fan Yonghua, Su Hang, Lin Baoluo	67-71
Research on Urban Rail Transit Signal System Scheme Based on Cloud Architecture	Guo Hongqian, Nan Di	72-77
Study on Control Schemes of Signaling Systems at Level Crossings for Modern Trams	Lei Bin, Meng Fanchao	78-83
Research on Automatic Binding Method of Passenger and Luggage Information in X-ray Security Scanner	Zhao Yao	84-88
Research on 5G+Ubiquitous Wireless Fusion Technology in Metro Construction Personnel Positioning	Si Fuqiang	89-95
Medium and Low Speed Maglev Ticketing System Based on Cloud Platform	Chen Kehang, Huang Zhiwei, Li Guangzhi, Wu Hao	96-102
Development of New Generation of Safe Turnout Control Circuit	Chen Jie, Ren Zhezong, Wang Qian, Yu Zhuang, Wang Bingqian	103-107

Projects Abroad

On-board ATC System Design of Sao Paulo Line 13, Brazil	Wang Cheng, Liu Junfeng, Liu Jia	108-113
--	----------------------------------	---------

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.02.001

基于Petri网的铁路综合交通枢纽 换乘建模与仿真

王陆晞, 朱明

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 通过对站内多制式轨道交通综合调度, 可以提升乘客旅途出行的舒适换乘体验。针对多制式轨道交通综合调度问题, 以Petri网为工具, 仿真建立车站枢纽中各种轨道交通方式及相互间换乘通道的基本模型, 利用相互间逻辑关系将其整合为一个整体模型, 输入多制式轨道交通各自的运行计划, 利用模型对其进行智能优化提升, 为乘客提供舒适的旅程体验。

关键词: 综合交通枢纽; 综合调度; 乘客换乘; 形式化建模

中图分类号: U283.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0001-06

Modeling and Simulation of Railway Comprehensive Transportation Hub Transfer Based on Petri Net

Wang Luxi, Zhu Ming

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

Abstract: Through the comprehensive dispatch of multi-standard rail transit in the station, the comfortable transfer experience of passengers can be improved. To address the multi-standard rail transit comprehensive scheduling problem, this paper uses Petri net as a tool to simulate and establish the basic models of various rail transit modes and mutual transfer channels in the station hub. Furthermore, an overall model is established based on the logical relationships between them. The respective operation plans of multi-standard rail transit are input into the model before being intelligently optimized and improved by the model to provide passengers with a comfortable journey experience.

Keywords: comprehensive transportation hub; comprehensive dispatch; passenger transfer; formal modeling

1 概述

铁路车站是多种制式轨道交通交汇的场所, 由于各种制式轨道交通部门运营管理方式不统一, 导

致同一车站的多种交通方式的协调及换乘效率得不到有效提升。本文针对出行服务质量提升问题, 采用离散事件系统的理论和方法, 引入智能调度的概念, 通过协调多种交通运行计划, 减少换乘到目标车站后的等候时间。

本文以一个铁路交通枢纽为例, 进行仿真建模, 该枢纽是高速铁路与城市轨道交通交汇的场所, 以

收稿日期: 2023-07-17; 修回日期: 2024-01-15

第一作者: 王陆晞 (1995—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号系统的形式化验证, 邮箱: 852902974@qq.com。

Petri 网为工具，仿真建立起包含多种轨道交通方式的铁路综合交通枢纽模型，通过模型对多种制式轨道交通在该枢纽的到站计划进行优化，在不影响运行效率和安全性的前提下，使乘客换乘舒适度得到提高，最后达到整体旅途的舒适性。本文建模的方法还适用于多制式轨道交通换乘的优化，可以为其他铁路综合交通枢纽建模与仿真提供借鉴和参考。

2 铁路综合交通枢纽建模

2.1 铁路综合交通枢纽介绍

综合交通枢纽示例如图 1 所示，该综合交通枢纽涉及 3 条铁路线路：高速铁路 G1 线（双线铁路），城市轨道交通 S1 线和磁悬浮线路 S2 线。在该交通枢纽，乘客可以从 G1 线下行方向的 3G 站台和上行方向的 4G 站台下车换乘前往 S1 线和 S2 线乘车。同理，也可以从 S1 线和 S2 线下车在枢纽内换乘另外两种交通方式。其中 G1 线下行方向的 3G 站台与 S2

线的上车站台是同一站台，该站台可以实现 G1 线下行方向乘客下车后几乎零变迁延时地换乘 S2 线。

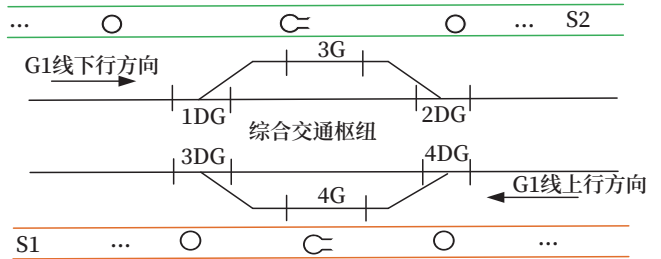


图1 综合交通枢纽示例
Fig.1 Example of a comprehensive transportation hub

2.2 铁路交通枢纽综合模型建立

基于综合交通枢纽示例建立的模型如图 2 所示。假设 G1 线下行方向列车到达换乘枢纽站后，经过一段时间停留后沿着下行方向继续运行。在停留的过程中乘客上、下车，下车的乘客一部分在到发线 3G 同台换乘城市轨道交通 S2 线，一部分经过换乘通道前往换乘 S1 线以及出站。上行方向同理。

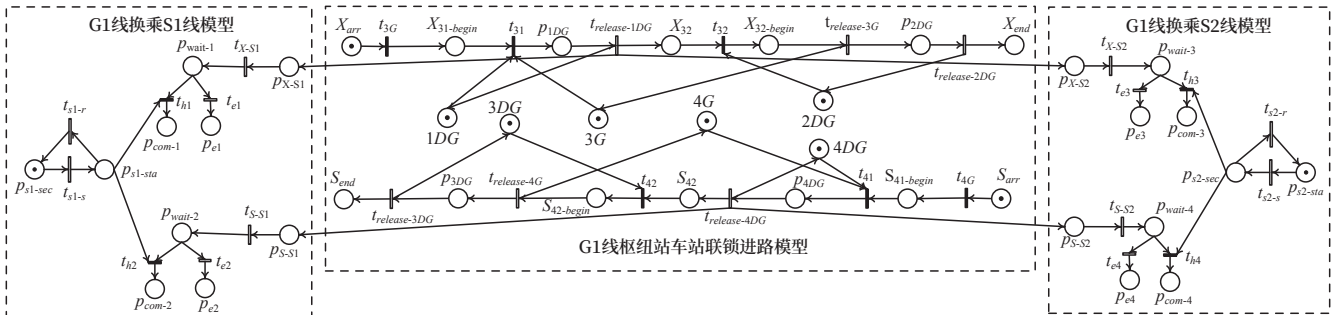


图2 综合交通枢纽换乘模型
Fig.2 Transfer model of the comprehensive transportation hub

综合枢纽模型由两部分组成，即铁路车站联锁进路模型和枢纽换乘模型，分别模拟仿真列车在 G1 线枢纽站的到发线运行过程和 G1 线乘客下车后前往城市轨道交通 S1 和 S2 线的换乘过程。

2.2.1 铁路车站联锁进路部分

铁路车站联锁进路包括接车进路和发车进路，需要说明的是，Petri 网的专业术语库所（图 2 中的圆圈）代表着资源，本文中表示轨道区段，变迁（图 2 中的竖线）代表着事件的变化，本文中表示列车从进入一个区段到出清这一区段，变迁延时表

示列车出清区段的时间。以下行方向接车进路为例，在模型中开始的库所为 X_{arr} ，变迁 t_{3G} 的使能发射一个托肯给 $X_{31-begin}$ ，同时带走 X_{arr} 的托肯。当表示轨道区段 1DG 和 3G 的库所均被标记时，表示这些资源都是空闲状态，3G 的接车进路可以声明。此时变迁 t_{3G} 使能并带走库所 $X_{31-begin}$ 、1DG 和 3G 的托肯，同时发射一个托肯给库所 P_{1DG} ，表示列车开始 3G 的接车进路，与接车进路相关的资源被其他进路所声明使用，表现在网结构中为这些资源的托肯被带走。变迁 $t_{release-1DG}$ 的变迁延时表示列车出清 1DG 区

段的时间, 当网结构运行完这一时间, 变迁 $t_{release-1DG}$ 发射一个托肯给库所 X_{32} 和 $p_{X \rightarrow S1}$ (G1 线换乘 S1 线模型), 同时带走库所 P_{1DG} 的托肯并归还托肯给库所 1DG, 表示该轨道区段 1DG 被列车出清, 此时 1DG 空闲可被别的进路使用。后续过程同接车进路。车站联锁部分模型的关键库所和变迁含义如表 1 所示。

表1 车站联锁进路部分关键库所和变迁延时的含义

Tab.1 Meanings of crucial places and timed transition in station interlocking routes

库所 / 变迁	物理含义
X_{arr}	G1 线下行方向列车进入枢纽站
$X_{31-begin}$	G1 线下行方向到发线 3G 进路的第 1 部分开始
$X_{32-begin}$	G1 线下行方向到发线 3G 进路的第 2 部分开始
X_{end}	下行方向进路结束
P_{1DG}	列车分别在 1DG (其余同理)
t_{3G}	列车进站选择 3G 到达 (其余同理)
t_{42}	列车选择停靠在 4G 的第 2 部分进路声明
S_{arr}	G1 线上行方向列车进入枢纽站
$S_{41-begin}$	G1 线上行方向到发线 4G 进路的第 1 部分开始
$S_{42-begin}$	G1 线上行方向到发线 4G 进路的第 2 部分开始
S_{end}	上行方向进路结束
3G	3G 空闲 (其余同理)
t_{31}	列车选择停靠在 3G 的第 1 部分进路声明
$t_{release-1DG}$	列车在出清 1DG 时间 (其余同理)

2.2.2 综合枢纽乘客换乘部分

以 G1 线枢纽站下行方向乘客换乘 S1 为例, 体现在模型中的动态仿真过程为: 库所 $p_{X \rightarrow S1}$ 被标记, 开始变迁 $t_{X \rightarrow S1}$ 的变迁延时, 当变迁延时耗尽后使能带走库所 $p_{X \rightarrow S1}$ 的托肯并立刻发送一个托肯给库所 $p_{wait-10}$

当库所 p_{s1-sta} 被标记时, 此时变迁 t_{s1} 使能带走库所 p_{s1-sta} 托肯, 并发射托肯给库所 $p_{wait-s1}$ 、 $p_{wait-s1'}$ 和自身。表示 S1 的列车在综合枢纽站停车上、下车。此时如果 G1 线枢纽站下行方向乘客正好在等候, 即库所 p_{wait-1} 被标记, 变迁 t_{h1} 会立刻使能发射托肯给库所 p_{com-1} , 表示乘客舒适换乘, 如表 2 所示。

3 运行计划仿真验证算法

以图 2 模型为输入, 提出一种形式化的方法来验证给定的运行计划能否使乘客舒适换乘。将运行

表2 换乘判断模块中关键库所变迁的物理含义

Tab.2 Physical meanings of crucial places/transitions in the transfer judgment module

库所 / 变迁	物理含义
p_{s1-sec}, p_{s2-sec}	列车分别在 S1 线和 S2 线区间运行
$p_{X \rightarrow S2}, p_{S \rightarrow S2}$	G1 线下行、上行方向乘客下车换乘 S1 线,
p_{e1}, p_{e2}	G1 线下行、上行方向乘客不能舒适换乘 S1 线
p_{com-1}, p_{com-2}	G1 线下行、上行方向乘客舒适换乘 S1 线
$p_{wait-S1}, p_{wait-S1'}$	S1 线列车到站等候乘客上 / 下车
t_{s1-s}, t_{s2-s}	列车运行完 S1 线和 S2 线车站停留时间
$t_{X \rightarrow S1}, t_{S \rightarrow S1}$	乘客走完 G1 线下行、上行方向下车换乘 S1 线的时间
$t_{e1}, t_{e2}, t_{e3}, t_{e4}$	G1 线乘客到达换乘站后不舒适换乘开始时间
p_{s1-sta}, p_{s2-sta}	列车分别在 S1 线和 S2 线车站停留
$p_{X \rightarrow S2}, p_{S \rightarrow S2}$	G1 线下行、上行方向乘客下车换乘 S2 线
p_{e3}, p_{e4}	G1 线下行、上行方向乘客不能舒适换乘 S2 线
p_{com-3}, p_{com-4}	G1 线下行、上行方向乘客舒适换乘 S2 线
$p_{wait-S2}, p_{wait-S2'}$	S2 线列车到站等候乘客上 / 下车
t_{s1-r}, t_{s2-r}	列车运行完 S1 线和 S2 线区间走行时间
$t_{X \rightarrow S2}, t_{S \rightarrow S2}$	乘客走完 G1 线下行、上行方向下车换乘 S2 线的时间
$t_{e1}, t_{e2}, t_{e3}, t_{e4}$	G1 线乘客到达换乘站后不舒适换乘开始时间

计划中到站时间及各轨道区段出清时间等时间因素赋予 Petri 网模型, 利用网结构的运算规律计算其可达标识图, 最后遍历所有的可达标识图, 检查其中是否存在故障库所被标记。若存在被标记的故障库所, 需要查阅这一故障库所被标记时的含义, 定位出故障所在, 提出修改优化建议。同时如果没有被标记的故障库所, 则代表乘客可以较舒适地完成接续换乘。

综合交通枢纽舒适换乘检测被归纳为如下算法, 其中: 模型 G 是本文建立的综合交通枢纽 Petri 网模型, $R(G)$ 是模型 G 计算生成的可达图。可以通过故障库所 p_{ei} 的标记情况锁定故障发生地点。算法的计算过程如下。

输入: 综合交通枢纽 Petri 网模型 G , 各制式轨道交通运行计划, 乘客换乘时间。

输出: n 维向量 E 。

步骤 1: 将列车运行计划的时间因素调整处理为同一尺度的时间戳。

步骤 2: 把这些时间戳与综合 Petri 网模型 G

中的变迁延时一一对应。

步骤3：使用 Petri 网模型的仿真软件计算生成可达标识图 $R(G)$

对于 $i \in \{1, 2, \dots, n\}$

如果 $\forall M \in R(G), M(p_{ei})=0$

$E(i) = 0$

否则

$E(i) = 1$

步骤4：输出 n 维向量 E 。

步骤5：如果 n 维向量 E 为 0，可以得出乘客旅途较为舒适。否则，可以定位出乘客不能舒适换乘的车次和换乘线路，并输出相应的结论。

可达图的生成可以使用 Petri 网仿真软件 TINA，它是很成熟的 Petri 网仿真验证工具。

算法提到的时间转化是 Petri 网变迁延时处理的一个必经过程，将上述时间采用统一的时间尺度，可以极大地方便计算过程且呈现出更直观的仿真过程。例如，一列列车通过轨道区段的时间是 10 min，规定 1 个单位时间为 1 min，那么对应的变迁延时为 $10/1 = 10$ 个单位时间。

4 运行计划仿真和优化

由于不同列车具有不同的离开时间，为了将不同列车发车的时间差异性体现在本模型中，需要设置一个时间基准线。其余的列车发车时间都需要参照这一事件基准线。

4.1 数据准备

给定的 G1 线列车运行计划如表 3 所示，给定的 G1 线列车运行计划一共涉及 7 辆列车，并依次命名。其中，下行方向 3 列车次，分别命名车次号为 01、02 和 03。上行方向 2 列车次，车次号分别为 04 和 05。

假设列车出清 1DG、2DG、3DG、4DG 的时间均为 2 min。体现在模型中的相关变迁延时为 2 个单位时间。同时列车到达到发线股道后乘客立即下车进行换乘或出站，不存在别的延误和影响。

城市轨道交通 S1 线和 S2 线在本枢纽站的始发

表3 G1线列车运行计划

Tab.3 Train operation plan for Line G1

方向	车次号	到站时间	到达到发线时间
下行方向	01	07:00	07:02
	02	07:08	07:10
	03	07:17	07:19
上行方向	04	07:00	07:02
	05	07:10	07:12

时间均为 06:30。S1 线的停站时间为 1 min，区间运行间隔为 3 min。S2 线的停站时间为 1 min，区间运行间隔为 4 min。相关换乘时间如表 4 所示。

表4 城市轨道交通换乘相关时间

Tab.4 Time related to transfer in urban rail transit

G1 线运行方向	换乘线路	换乘时间/min	到换乘站忍受时间/min	停站时间/min	运行间隔/min
下行方向	S1 线	0	1	1	3
	S2 线	2	1	1	4
上行方向	S1 线	2	1	1	3
	S2 线	1	1	1	4

在上行和下行方向都预设了不舒适换乘部分，利用模型仿真验证给定的 G1 线运行计划，检验是否有对应部分的不舒适换乘故障库所被标记。

4.2 综合枢纽乘客换乘舒适性仿真

当时间因素都确定完成后，将各个运行计划及城市轨道交通相关时间分别带入图 2 中的模型中，与图 2 模型中的变迁延时一一对应。本文选用 06:30 作为时间基准线，表示全局时钟开始运行，采用 1 min 作为一个变迁延时单位时间，则对于 05 车来说，它的到站时间是 07:10，表示其到站时间需要在时间基准线基础上增加 40 个单位变迁延时，其余同理。

将各个变迁延对应于图 2 的模型中，采用 Petri 网仿真软件进行仿真，计算其可达标识，通过算法计算出故障库所 p_{ei} 的标记情况，如果库所 p_{ei} 被标记，通过查阅表 2 中的含义，对运行计划调整提出指导性意见。

网结构的故障库所初始标识 $M_0 = [p_{e1}, p_{e2}, p_{e3}, p_{e4}]$ ，由于初始状态下所有的故障库所都没有被标记，

所以 $M_0 = 0$ 。至此模型就可以进行仿真验证。使用时延 Petri 网的仿真软件 TINA, 计算模型中可达标识图, 只观察其中的故障库所, 选出其中不为 0 的可达标识。表 5 中车次号按照发车顺序排列, 各车次运行计划依次带入网结构。计算结果如表 5 所示。

表5 可达标识计算结果

Tab.5 Calculation results of reachable markings

车次号	可达标识	值
01	$M_0 \rightarrow M_{39}$	[0, 0, 0, 0]
	$M_{40} \rightarrow$ 结束	[0, 0, 1, 0]
02	$M_0 \rightarrow M_{46}$	[0, 0, 0, 0]
	$M_{47} \rightarrow$ 结束	[0, 0, 1, 0]
03	$M_0 \rightarrow M_{62}$	[0, 0, 0, 0]
	$M_{47} \rightarrow$ 结束	[1, 0, 0, 0]
04	$M_0 \rightarrow M_{36}$	[0, 0, 0, 0]
	$M_{37} \rightarrow M_{40}$	[0, 0, 0, 1]
	$M_{41} \rightarrow$ 结束	[0, 1, 0, 1]
05	$M_0 \rightarrow M_{44}$	[0, 0, 0, 0]
	$M_{45} \rightarrow$ 结束	[0, 0, 0, 1]

4.3 结果分析

通过对可达图的观察和分析, 以 04 车次为例, 发现可达状态 M_{37} 中故障库所 p_{e4} 被标记, 通过查阅表 5 故障库所 p_{e4} 被标记的含义, 得出是 G1 线上行方向乘客不能舒适换乘 S2 线。同时可达状态 M_{41} 中故障库所 p_{e2} , 同理查询可得, G1 线上行方向乘客不能舒适换乘 S1 线。为提升旅客乘坐体验, 可以对该车次列车运行时刻进行优化调整。其余车次同理。

5 结束语

本文针对综合交通枢纽车站的换乘衔接问题, 引入离散事件系统的建模理论和方法, 创新性地将站内列车进路排列和乘客在枢纽站多种轨道交通换乘过程通过 Petri 网有机结合, 研究列车到达枢纽站后乘客下车换乘城市轨道交通的舒适度判断方法。建立了高铁模拟线路 G1 线和地铁模拟线路 S1 和 S2 线在枢纽站的换乘模型, 并对其进行动态模拟仿真。通过本文的方法可以实现综合交通枢纽乘客换乘舒适性判断, 同时可以指出列车运行计划不能舒适线路的情况, 对运行计划调整提供指导意见。乘

客枢纽换乘衔接方法可应用于其他交通方式间枢纽换乘衔接质量的提升, 为解决该问题提供新的思路和方法。

参考文献

- [1] 孙晗. 基于时延 Petri 网的最优路径研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
- [2] 褚鹏宇, 刘澜. 基于变权模糊 petri 网的综合交通枢纽安全评价 [J]. 西华大学学报 (自然科学版), 2016, 35 (5): 13-17.
Chu Pengyu, Liu Lan. Safety Assessment for Integrated Transportation Hub Based on Variable Weight Fuzzy Petri Net[J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2016, 35(5): 13-17.
- [3] 王玉龙. 智慧综合调度信息系统的三级部署研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (11): 54-59.
Wang Yulong. Research on Three-Level Deployment of Intelligent Integrated Dispatching Information System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 54-59.
- [4] 陆铖. 大型综合交通枢纽站换乘客流组织动态仿真与评价方法的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [5] 孙志科. 应用图像识别技术开发联锁自动测试工具的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (2): 7-12.
Sun Zhike. Research on Development of Interlocking Automatic Test Tool Using Image Recognition Technology[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 7-12.
- [6] 朱泽国. 客流需求背景下有轨电车时刻表优化研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.
- [7] 冯小芳. 高速铁路综合运输计划协同编制方案研究 [J]. 铁道运输与经济, 2020, 42 (10): 32-37.
Feng Xiaofang. A Study on Collaborative Preparation of Comprehensive Transportation Plan

for High-Speed Railway[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(10): 32-37.

[8] 胡威. 深圳都市圈城际铁路信号系统综合智能运维平台建设方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (9): 11-14, 22.
Hu Wei. Construction Scheme of Comprehensive Intelligent Operation and Maintenance Platform for Intercity Railway Signaling System for Shenzhen Metropolitan Area[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(9): 11-14, 22.

[9] 王叶. 综合交通枢纽中高速铁路与城市轨道交通换乘衔接研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2019.

[10] 程磊. 基于 Petri 网模型的铁路智能调度问题研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2002.

[11] 李文涛. 计算机联锁仿真试验自动执行平台研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (1): 1-6.
Li Wentao. Research on Automatic Execution Platform of Computer Based Interlocking Simulation Test[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 1-6.

行业信息

前沿技术: RailSoft软件简化铁路行业运营流程

RailSoft 软件在快节奏的铁路运营领域成为创新的灯塔, 重塑铁路企业从列车长到维护人员的全员管理方式。这种精密的系统不仅是员工信息的记录工具, 而且是确保运输和维护人员灵活并且高效工作的动态管理工具。

RailSoft 软件的核心部分是详细的员工记录, 可以管理有关培训、资质以及权限的关键数据。通过这种系统, 不仅可以获得当前作业人员的信息, 而且可以确保所有员工满足扮演当前角色的要求, 拥有最新证书和线路知识。这种系统的通知功能尤其引人注目, 可以主动提醒管理人员需要更新证书, 有效避免因证书失效而违反法律。

然而, RailSoft 软件不仅可以应用在办公室中, 也可以应用在现场。这种软件配备设备管理模块, 可以确保每个头盔、每个工具和每个关键设备全都得到追踪、维护和检查。RailSoft 软件可以被形容为数字化的军需官, 可以确保方方面面的安全和就绪。“线路知识”模块同样引人注目, 可以确保司机熟悉负责的线路, 并且司机的知识得到验证和更新, 从而避免出现一丝一毫的误差。

RailSoft 软件的最大优势在于实现无缝集成。通过将每月的工作计划与培训活动和假期同步, 可以建立一个综合系统, 从而最大限度提高员工利用率, 同时避免违反法定工作时间限制。这种系统配备电子时间管理模块, 因此不再需要使用打卡机。这样, 员工可以通过移动设备进行上下班打卡, 从而促进铁路行业实现现代化。

然而, RailSoft 软件不仅仅限于管理铁路运营。这种系统配备出租车模块, 可以为员工提供精密的交通解决方案, 从而将出租车服务的高效与管理铁路运营的组织需求结合。这个模块不仅涉及预约乘车, 而且涉及精密的物流管理, 可以确保正确的人员始终在正确时刻上达到正确地点。

从根本上来说, RailSoft 系统不仅是软件, 而且代表着铁路运营管理的未来。这种系统可以被形容为看不见的交响曲指挥员, 可以规划列车在线路上高效运行, 从而确保铁路行业始终在安全、性能和合规方面上走在正确的道路上。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘旸翻译自: www.railway-international.com 2024-01-09)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.02.002

英标体系含道口区间列车发车间隔分析

张雨千

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 在英国标准体系下建立列车接近道口的简化模型, 分析列车接近道口的运行状态, 得到自动道口在不同初速度下的道口报警时间。分析得到列车接近多道口区段时影响道口报警时间的关键因素。分析含多道口双线区间的发车间隔, 得到对向发车间隔的计算方式, 并对模拟多道口区间列车的运行场景进行 MATLAB 仿真计算, 得到该场景下最佳发车间隔。

关键词: 英国标准; 道口区间; 发车间隔; MATLAB 仿真计算

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0007-07

Analysis of Train Departure Intervals in Block Sections with Level Crossings under British Standard System

Zhang Yuqian

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

Abstract: This paper establishes a simplified model of train approach at level crossings under the British standards system. On this basis, it analyzes the running state of trains approaching level crossings, to obtain the level crossing alarm time for automatic level crossings under different initial speeds. It analyzes the key influencing factors of the level crossing alarm time for train approach in the multi-level-crossing section. It also analyzes the train departure interval in the double-track multi-level-crossing section, to obtain the calculation method of the train departure interval for train operation in opposite directions. Moreover, it performs simulation calculation using MATLAB under the simulated scenario of train operation in the multi-level crossing section, to obtain the optimal train departure interval under this simulated scenario.

Keywords: British railway standard; level crossing block section; departure interval; MATLAB simulation calculation

近年来, 中国铁路迎来了全面建设与发展的新时期^[1], 国内企业在海外铁路项目中的中标率也不

断提升。由于英国在铁路领域起步最早, 其标准与制式在世界范围内影响较大, 故在实际工程项目中海外项目的业主普遍认可英国铁路标准^[2]。而对列车追踪及运行模型的研究一直是列车运行控制系统领域的重点探讨内容。近年来, 侯黎明等人对高速铁路追踪间隔进行了分析与优化设计^[3]; 江明等人

收稿日期: 2023-10-10; 修回日期: 2024-01-07

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFB4300500)

作者简介: 张雨千(1990—), 女, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: zhangyuqian@crscd.com.cn。

对列车追踪间隔时间的分解及影响进行分析^[4]；韩辉对高速铁路列车追踪间隔仿真计算系统进行了设计与实现^[5]；周丽华等人基于恒定冲击率模型对列车运行时间进行计算^[6]；鲍鹏宇等人基于粒子群优化对列车制动进行研究^[7]；Takeuchi等人对不同信号系统中的列车运行最小间隔时间和线路通过能力进行了分析^[8]；Yuan和Hansen对车站通过能力优化进行研究^[9]；Khmelnitsky对列车追踪运行最优控制方案进行研究^[10]；Aodsup等人对高压电力网对列车追踪间隔的影响进行研究^[11]。因此，研究和优化英标场景下多道口区间列车发车间隔对提升国内企业在海外项目中的竞争力，具有一定的实际价值与意义。

英国铁路的行业标准是由英国的铁路集团制定，其中也包括与平交道口相关的标准，RIS-0792-CCS Level Crossing Operational Interfaces with Trains是英标平交道口最重要的参考标准^[12]。在该标准中规定，列车驶入接近通知区段后，道口信号机点亮黄灯3 s后熄灭，闪烁红灯5 s。英标体系中多为自动道口，即根据接近通知设备的信息，自动向道口系统发出接近通知，由道口系统自动控制公路侧信号，并驱动栏木升降。

1 含道口线路场景介绍及定义

本文研究的线路和道口情况如下：

- 1) 含道口线路采用四显示自动闭塞系统，区间通过信号机兼作遮断信号机；
- 2) 线路最高运营速度为100 km/h；
- 3) 道口为自动道口，与铁路侧信号机有联锁关系，栏木落下时间取6 s；
- 4) 为提高列车运行效率，列车接近道口不触发制动；
- 5) 采用无线通信设备发送移动授权；
- 6) 道口接近区段设置雷达用于测速测距；
- 7) 列车装备ETCS车载列控系统。

道口报警时间是指从向使用者发出告警到首列车到达该平交道口的时间长度。报警时间计算如公式(1)所示。

$$T_{warning} = T_{close} + T_{train} \quad (1)$$

其中， $T_{warning}$ ：道口报警时间；

T_{close} ：道口关闭的时间，14 s；

T_{train} ：道口关闭后，列车到达道口的时间。

道口完全关闭所需时间为道口信号点亮黄灯3 s，闪烁红灯5 s，栏木落下6 s，共14 s。道口完全关闭所需的时间固定，报警时间长度主要取决于道口关闭后列车到达道口的时间。

接近通知设备设置的位置应考虑列车按最高允许速度运行，接近通知点距道口的距离如公式(2)所示。

$$S_{strike} \geq v_{max} T_{warning} \quad (2)$$

其中， S_{strike} ：接近通知点与道口间距；

v_{max} ：线路运营速度，取100 km/h。

预告通知点距道口的距离如公式(3)所示。

$$S_{advance} \geq S_{strike} + v_{max} T_{min} \quad (3)$$

其中， $S_{advance}$ ：预告通知点与道口间距；

T_{min} ：最小公路开放时间，取10 s。

接近/预告通知点具体的位置可设置在满足公式(2)和(3)要求的相应信号机的位置。

为有效控制道口报警时间，道口接近区段采用雷达实时测速测距。当雷达测的距离与速度满足道口报警时间时，启动道口关闭程序，通知道口控制系统关闭道口。

道口关闭后，遮断信号机才允许开放。为保证列车运行效率，减少追踪间隔时间，应避免列车在过道口时降速，故列车需在启动制动前收到道口关闭后新的移动授权。即道口确认关闭点与道口的间距需大于该速度下列车启动制动点与道口的间距，如公式(4)所示。

$$S_{close} \geq S_{braking} + S_{signal} \quad (4)$$

其中， S_{close} ：道口确认关闭点与道口的间距；

$S_{braking}$ ：列车以速度 v 运行时的制动距离；

S_{signal} ：遮断信号机距道口的距离，本文取67 m。

2 列车接近道口模型分析

雷达在通知道口控制系统关闭道口后，列车可

能加速、减速或匀速接近道口，以下就这3种情况进行具体分析。

2.1 列车加速接近道口

列车速度为 v_0 时，道口启动关闭程序，列车距道口距离为 S_{strike} 。此时列车加速运行，运行 14 s

后，若道口完全关闭，则列车获得道口关闭后新的移动授权，并继续加速行驶通过道口。若列车以速度 v_0 加速运行 14 s 后，道口仍未完全关闭，则列车无法获得新的移动授权，此时需立即启动制动，并在遮断信号机前停车。列车运行曲线如图 1 所示。

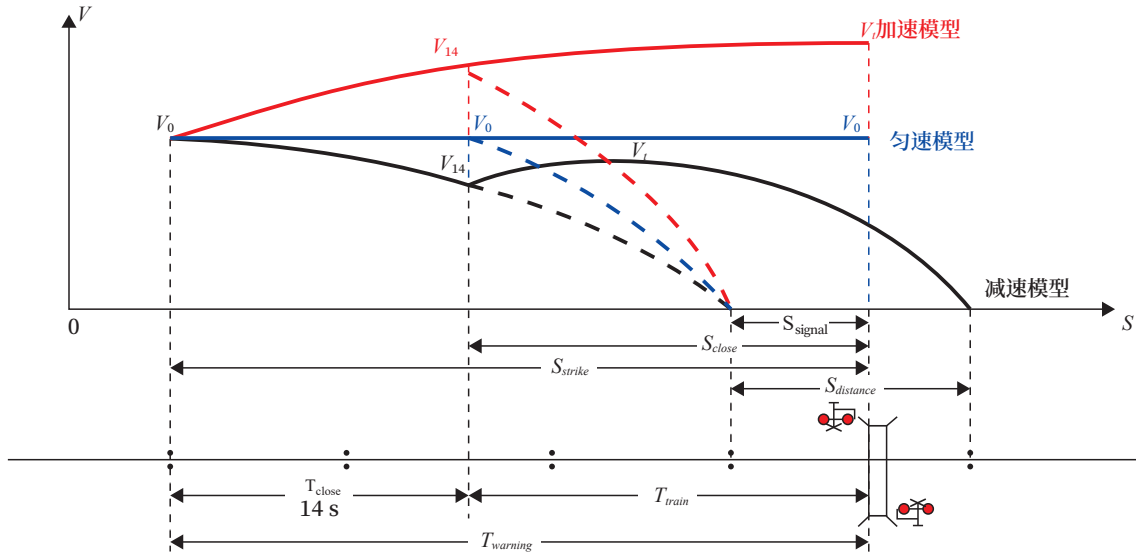


图1 列车接近道口模型
Fig.1 The model of the train approaching the level crossing

列车运行 14 s 后速度为 v_{14} ，列车继续加速运行至道口的速度为 v_t ，根据加速度公式及上文的道口报警时间公式 (1) 可得以下方程组，如公式 (5) 所示。

$$\begin{aligned}
 S_{strike} &= S_{close} + \frac{v_{14}^2 - v_0^2}{2a_{acc}} \\
 T_{warning} &= T_{close} + T_{train} = 14 + \frac{S_{close}}{v_0} \\
 v_t &= \sqrt{2a_{acc}S_{close} + v_{14}^2} \\
 v_{14} &= v_0 + a_{acc} \times 14
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

其中， a_{acc} ：列车加速度，如图 2 所示。

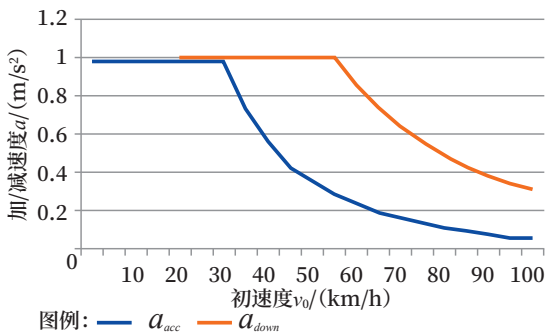


图2 速度与加/减速度关系

Fig.2 Relationship between speed and acceleration/deceleration

取公式 (4) 的临界值可得到固定的道口完全关闭点距离，方程组如公式 (6) 所示。

$$\begin{aligned}
 S_{close} &= S_{braking} + S_{signal} \\
 S_{braking} &= \frac{v_{14}^2}{2a_{down}}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

其中， a_{down} ：列车减速度，如图 2 所示。

由于线路最高速度为 100 km/h，因此 v_{14} 与 v_t 均不高于 100 km/h。若列车加速后速度达到 100 km/h，则按照 100 km/h 的速度匀速运行并通过道口。根据公式 (5)、(6) 可以得到列车初速度与道口报警时间的关系，如图 3 所示。经计算可知，当列车初速度 $v_0 \leq 30$ km/h 时，道口报警时间不断减小，列车初速度 30 km/h $\leq v_0 \leq 100$ km/h 时，道口报警时间不断增加。

2.2 列车匀速接近道口

该场景与加速通过道口场景相似。根据上文的道口报警时间公式可得以下方程组，如公式 (7) 所示。

$$S_{strike} = S_{close} + 14v_0$$

$$S_{close} = v_0 (T_{warning} - T_{close})$$

$$T_{warning} = T_{close} + T_{train} = 14 + \frac{S_{close}}{v_0} \quad (7)$$

经计算得出初速度与道口报警时间的关系,如图3所示。当列车初速度 $v_0 \leq 45$ km/h 时,道口报警时间不断减小,列车初速度 45 km/h $\leq v_0 \leq 100$ km/h 时,道口报警时间不断增加。

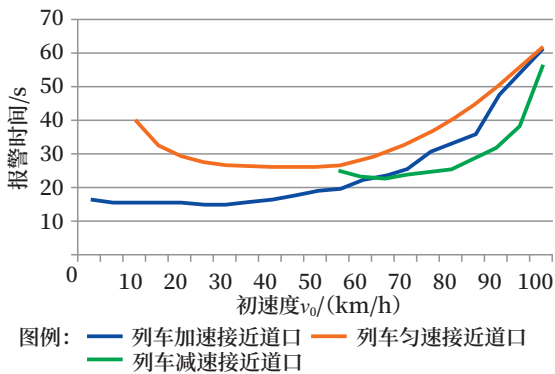


图3 列车接近道口初速度与道口报警时间关系
Fig.3 Relationship between the initial speed of the train approaching the level crossing and level crossing alarm time

2.3 列车减速接近道口

减速场景与加速通过道口场景类似。但需考虑列车运行 14 s 后,若道口完全关闭则列车获得新的移动授权,此时若继续减速运行,则列车会在遮断信号机前停车。故需先加速运行后减速运行,使列车在遮断信号机内方的次一架信号机前停车,由此可得方程组,如公式(8)所示。

$$S_{braking} + S_{distance} = \frac{v_t^2 - v_{14}^2}{2a_{acc}} + \frac{v_t^2}{2a_{down}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{(S_{braking} + S_{distance}) \times 2a_{acc} + a_{down} v_{14}^2}{a_{acc} + a_{down}}} \quad (8)$$

其中, $S_{distance}$: 闭塞分区长度。

为避免列车减速后停车,即 $v_{14} > 0$ km/h, 应使 $v_0 \geq 55$ km/h。根据公式(8)可知,遮断信号机距次一架信号机的距离 $S_{distance}$ 是决定 v_t 大小的重要因素, $S_{distance} \geq 715$ m 且不断增大时,从部分逐渐至所有初速度接近道口的列车需以 100 km/h 匀速运行一段时间,当 $S_{distance} < 715$ m 时,根据公式(8)代入相应数值可得到最大速度 v_t 。当 $S_{distance} = 700$ m 时,列车初速度与道口报警时间关系如图3

所示。当列车初速度 55 km/h $\leq v_0 \leq 65$ km/h 时,道口报警时间不断减小,列车初速度 65 km/h $\leq v_0 \leq 100$ km/h 时,道口报警时间不断增加。

3 多道口控制方案

若道口间距较近,则会存在多个道口共用一个遮断信号机的情况,此时信号机的开放需要防护范围内所有道口均关闭。

3.1 固定接近通知点关闭道口

道口在雷达测得的速度与距离满足道口报警时间的要求时,启动道口关闭程序。以列车匀速模型进行分析,遮断信号机内方最后一个道口关闭后,遮断信号机方能开放,按照公式(4)的关系,可知道口的确认关闭点距道口的距离关系如公式(9)所示。

$$S_{close} \geq S_{braking} + S_{signal} + \Delta S_{LX1-LX3} \quad (9)$$

由公式(9)可知,遮断信号机内方第一个道口 LX1 与最后一个道口 LX3 之间的间距越大,道口完全关闭点与道口之间的距离越大,根据公式(7)可知,道口的报警时间越长。当列车加速或减速通过多道口区域时结论一致。

3.2 固定时间间隔关闭道口

同一个遮断信号机内的道口采用固定间隔依次关闭的方式,即遮断信号机内第一个道口关闭,经过 T 秒后第二个道口关闭。

选用列车匀速模型分析,该方案需满足以下条件,如公式(10)所示。

$$S_{close} \geq S_{braking} + S_{signal} + v_0 \times (n-1)T \quad (10)$$

n : 遮断信号机内方道口数量。

由公式(10)可知,间隔时间 T 越短,即多道口同时关闭,遮断信号机内方道口数量越少,道口报警时间越短。当列车加速或减速通过多道口区域时结论一致。

4 多道口线路车站发车间隔分析及计算

区间空闲状态下两车站向区间发车,下行方向的列车从 A 站出发,上行方向的列车从 B 站出发,到达各个道口的时间如图4所示。

从 A 站出发的列车到达 LX1 道口预告通知点

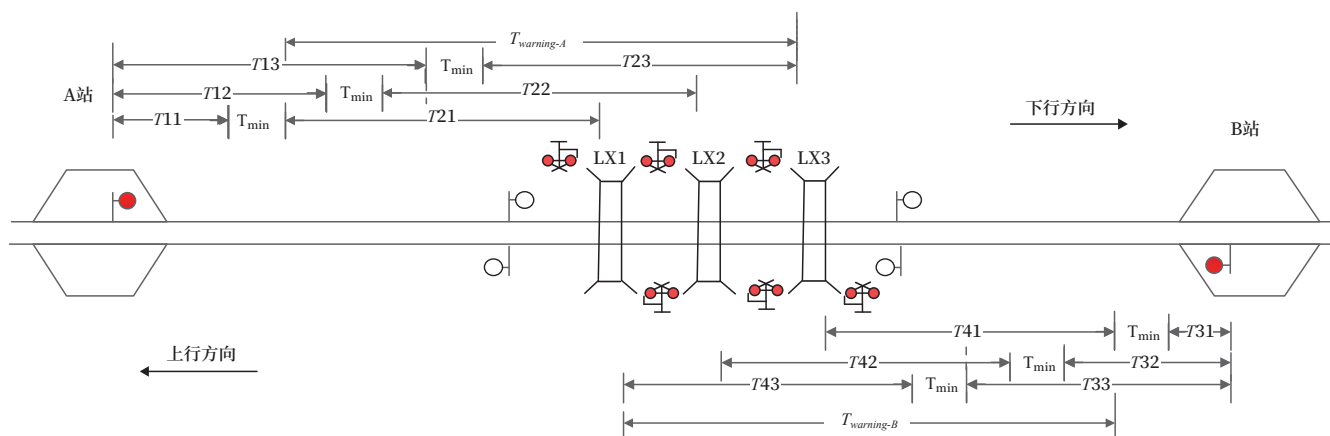


图4 遮断信号机内有多个道口示意

Fig.4 Schematic diagram of several level crossings in the obstruction signal section

需 T_{11} 时间, T_{\min} 后到达 LX1 道口接近通知点, T_{21} 时间后到达 LX1 道口, T_{12} 、 T_{22} 、 T_{13} 、 T_{23} 同理。 $T_{\text{warning-A}}$ 为 A 站发出的列车使道口报警的总道口报警时间; 从 B 站发出的列车到达 LX3 道口预告通知点需 T_{31} 时间, T_{\min} 后到达 LX3 道口接近通知点, T_{41} 时间后到达 LX3 道口, T_{32} 、 T_{42} 、 T_{33} 、 T_{43} 同理。 $T_{\text{warning-B}}$ 为 B 站发出的列车使道口报警的总道口报警时间。

考虑极限情况, 当 A 站发车的列车运行在 $T_{\text{warning-A}}$ 时间段内时, 从 B 站发车的列车刚好出清 $T_{\text{warning-B}}$ 时间段, 将从 A、B 站发车的列车之间的时间间隔定义为 ΔT_1 , 如公式 (11) 所示。

$$\Delta T_1 = T_{11} + T_{\text{warning-A}} - T_{31} - T_{\text{warning-B}} \quad (11)$$

在 A 站发车后 ΔT_1 时间内 B 站可以向道口方向发车。

为保障公路侧人和车通行, 当 A 站先行发车的列车运行 $T_{11} + T_{\min} + T_{\text{warning-A}}$ 时间后, 道口必须开放最短 T_{\min} 时间, 极限情况下道口开放了 T_{\min} 时间时, 从 B 站发车的列车刚好到达 LX3 的接近通知点 T_{41} , 将从 A、B 站发车的列车之间的时间间隔定义为 ΔT_2 , 如公式 (12) 所示。

$$\begin{aligned} \Delta T_2 &= T_{11} + T_{\min} + T_{\text{warning-A}} + T_{\min} - T_{31} - T_{\min} \\ &= T_{11} + T_{\min} + T_{\text{warning-A}} - T_{31} \end{aligned} \quad (12)$$

$\Delta T_1 \sim \Delta T_2$ 时间内 B 站不得发车, 否则将会导致道口刚开放便关闭或道口持续关闭, 不满足道口最小开放时间 T_{\min} 。在 A 站发车后 ΔT_2 时间后, B

站可正常向道口方向发车。

遮断信号机内只有一个道口的发车间隔计算场景与多道口场景类似, 此处不做赘述。考虑列车在站间运行时间最短, 当出站信号机恢复绿灯显示时, 同站可追踪发车。

5 基于MATLAB的含多道口区间列车发车仿真

位于双线区间上的 C、D 两站区间每条线均有 7 个闭塞分区, 设有 6 架通过信号机。除第一个闭塞分区外, 其他区段长度均为 712 m。进站信号机距出站信号机 1 712 m。区间含 3 个道口, 其中 a 道口距 D 信号机 67 m, a、b 道口间距 100 m, c 道口距 J 信号机 100 m, 在列车接近后 a、b 道口同时关闭, 道口宽度忽略不计, 道口最小开放时间均为 $T_{\min} = 10$ s, 如图 5 所示。

根据 MATLAB 计算及综合分析, C 站发车后 56.52 ~ 79.74 s 内 D 站可向区间发车, C、D 站最短发车间隔为 56.52 s, C、D 站发车 132.27 s 后可同站追踪发车。执行程序后 MATLAB 绘制的两站列车运行时间与距离曲线如图 6 所示。

6 结束语

本文对英标含道口线路的运行场景进行建模分析, 得到了道口报警时间与初速度的关系。对多道口区间发车间隔进行分析计算, 并用 MATLAB 软件对道口场景进行计算及仿真, 得到最佳发车间隔的仿真结果。

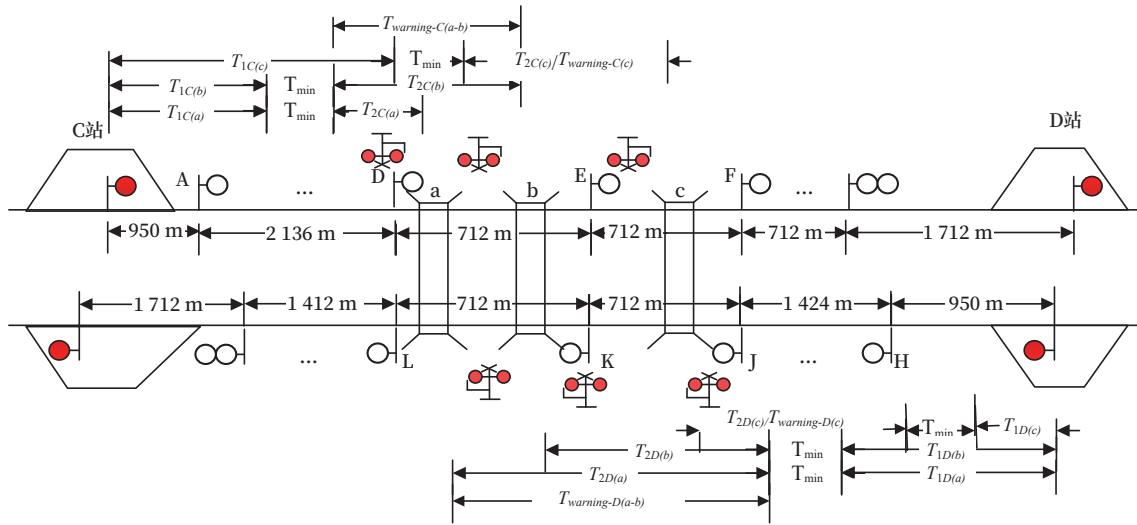
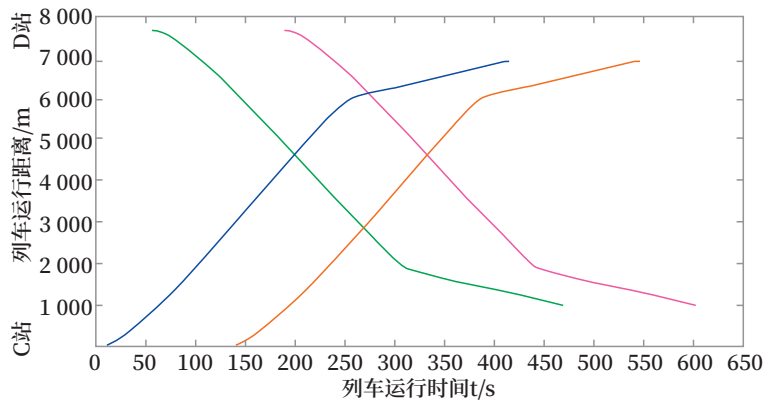


图5 C、D站含道口区间示意

Fig.5 Schematic diagram of the section from Station C to Station D with three level crossings



图例:—C站出发的第一列车 — C站出发的追踪列车 — D站在C站发车后56.52 s出发的列车 — D站出发的追踪列车

图6 C、D站间列车运行时间距离曲线

Fig.6 Time-distance curve of the operation of departing trains between Stations C and D

研究表明，列车匀速接近道口的报警时间相对较长，减速接近道口的报警时间相对较短。当遮断信号机内方有多个道口时，第一个道口与最后一个道口之间的距离越大，则道口的报警时间越长，道口同时关闭，遮断信号机内方道口数量越少，则道口报警时间越短。经分析，对多道口区间可计算出车站合理的对向发车及追踪发车时间。

参考文献

[1] 何华武. 中国铁路发展与科技创新 [J]. 铁道工程学报, 2007, 24 (7): 1-11.
He Huawu. Development and Technical Innovation of China Railway[J]. Journal of Railway

Engineering Society, 2007, 24(7): 1-11.

[2] 赵泽. 英标铁路项目中的平交道口系统设计方案研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
[3] 侯黎明, 孙鹏飞, 聂英杰, 等. 高速铁路追踪间隔分析与优化设计研究 [J]. 铁道运输与经济, 2018, 40 (6): 5-11.
Hou Liming, Sun Pengfei, Nie Yingjie, et al. A Study on Optimizing High-Speed Railway Tracking Intervals[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(6): 5-11.
[4] 江明, 张万强, 张嘉扬. 列车追踪间隔时间的分解及影响分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (7): 1-9.

- Jiang Ming, Zhang Wanqiang, Zhang Jiayang. Decomposition of Train Tracking Interval and Its Impact Analysis[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7): 1-9.
- [5] 韩辉. 高速铁路列车追踪间隔仿真计算系统设计与实现 [J]. 铁路计算机应用, 2017, 26(12): 10-14.
- Han Hui. Simulation System for Train Tracking Interval of High-Speed Railway[J]. Railway Computer Application, 2017, 26(12): 10-14.
- [6] 周丽华, 吴亮, 柴荣阳, 等. 基于恒定冲击率模型的列车运行时间计算方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 60-64.
- Zhou Lihua, Wu Liang, Chai Rongyang, et al. Calculation Method of Train Running Time Based on Constant Impact Rate Model[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 60-64.
- [7] 鲍鹏宇, 陈志强, 王建敏, 等. 基于粒子群优化的列车制动曲线分段方法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 8-11.
- Bao Pengyu, Chen Zhiqiang, Wang Jianmin, et al. Research on Segmentation Method of Train Braking Curve Based on Particle Swarm Optimization[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 8-11.
- [8] Takeuchi H, Goodman C J, Sone S. Moving Block Signalling Dynamics: Performance Measures and Re-starting Queued Electric Trains[J]. IEE Proceedings-Electric Power Applications, 2003, 150(4): 483.
- [9] Yuan Jianxin, Hansen I A. Optimizing Capacity Utilization of Stations by Estimating Knock-on Train Delays[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2007, 41(2): 202-217.
- [10] Khmelnitsky E. On an Optimal Control Problem of Train Operation[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2000, 45(7): 1257-1266.
- [11] Aodsup K, Kulworawanichpong T. Effect of Train Headway on Voltage Collapse in High-Speed AC Railways[C]//2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. March 27-29, 2012, Shanghai, China. IEEE, 2012:1-4.
- [12] RIS-0792-CCS, Level Crossing Operational Interfaces with Trains[S]. London: Rail Safety and Standards Board, 2016.

本期广告企业简介

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

CTCS3-300T车载设备智能诊断系统产品

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

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

E-mail: jiangguohua@crscd.com.cn

(详见封面)

计算机联锁接发列车故障设置盘的设计与实现

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: 针对车务接发列车人员使用计算机联锁仿真培训系统开展培训存在的共性问题, 采取在既有计算机联锁实训设备上增设接发列车故障设置盘方法实现故障设置, 满足接发列车人员实训需要。通过梳理车站固定信号联锁设备故障实训项目, 基于 TYJL-ADX 计算机联锁设备工作原理, 提出接发列车故障设置盘的设计和电路实现。经试验表明, 该方法不仅满足“故障-安全”的设计原则, 而且能有效解决仿真培训系统存在的共性问题, 有较强的通用性和推广价值。

关键词: 铁路信号; 计算机联锁; 接发列车; 故障设置盘

中图分类号: U284.36

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0014-06

Design and Implementation of Fault Setting Panel for Train Receiving and Departing of CBI Training Equipment

Wang Dingming

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

Abstract: In order to address common problems that occur when training personnel responsible for receiving and departing trains using the CBI simulation training system, a fault setting panel for receiving and departing trains is added to the existing CBI training equipment. This addition allows for fault setting and meets the training needs of the personnel. This paper proposes a design for the fault setting panel and for implementing related circuits by examining the training items for addressing the faults of the fixed signal interlocking equipment in stations and based on the working principle of TYJL-ADX CBI equipment. The experiments show that the method of adding the fault setting panel not only satisfies the “fail-safe” design principle but also can effectively solve the common problems in the simulation training system. This method is highly versatile and worth applying to other training equipment.

Keywords: railway signaling; CBI; receiving and departing trains; fault setting panel

收稿日期: 2023-11-29; 修回日期: 2024-02-03

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

1 概述

目前, 车务系统接发列车人员通常采用计算机联锁仿真培训系统开展培训。该系统利用计算机技

术模拟接发列车作业全过程,实现车站接发列车作业理论教学、实作演练等功能,为接发列车人员提供一种“理论+实训”的综合培训平台。但存在很多不足,主要体现在以下4方面:1)系统硬件购置和软件开发需投入大量资金;2)计算机联锁仿真系统平台不能真实达到部分“计算机联锁技术条件”的要求;3)信号联锁设备的使用效率没有充分发挥;4)仿真培训系统可扩展性差。基于此,在既有TYJL-ADX计算机联锁设备上增设故障设置盘,实现车站固定信号联锁设备故障设置功能,满足车务系统接发列车人员实训需要。试验表明,该方案在不改变既有联锁关系的条件下,不仅满足“故障-安全”的设计原则,而且能有效解决仿真培训系统存在的共性问题,同时具有通用性和易扩展性等优点,拟在普洱培训部综合实训基地建设中推广应用。

2 车站固定信号联锁设备故障实训项目分析

车站固定信号联锁设备故障是车务系统非正常情况下接发列车管理的重点之一。常见信号联锁设备故障有信号不能正常开放、轨道电路非正常占用、道岔不能操纵或无表示、区间设备故障等。以某培训部既有TYJL-ADX计算机联锁培训站站场平面图为例进行分析。车站固定信号联锁设备故障实训项目如表1所示。

3 故障设置盘及按钮设置设计

3.1 故障设置盘

故障设置盘是为实现车站固定信号联锁设备常见故障设置功能而设计制作的盘面,盘面上绘制车站信号平面布置图,与车务操作终端一致。盘面在对应信号机、轨道电路、道岔和区间设备每一故障点设置1个按钮,实现车站固定信号联锁设备故障设置并预留扩展功能。按钮为不同颜色带表示灯的LED发光源,所有按钮均采用二位非自复式按钮。

3.2 信号机故障设置按钮

每一架进站信号机,设置绿、黄、红和白4个

表1 车站固定信号联锁设备故障实训项目

Tab.1 Training items for addressing the faults of the fixed signal interlocking equipment in stations

故障类别	故障描述	故障现象	备注
信号机 (进站、出站、区间通过信号机)故障	信号不能正常开放	L不能开放 LU/UU/U不能开放	次要发车方向多方向发车口
		H灭灯 YB不能开放 2L不能开放 B进路表示器不能开放	
道岔故障	道岔不能操纵	道岔不能操纵	
	道岔无表示	道岔定位无表示 道岔反位无表示	
轨道电路故障	轨道电路非正常占用	红光带	
区间设备故障	闭塞机故障 (64D半自动闭塞)	不能办理闭塞	
		闭塞机不能正常复原	
	闭塞机故障 (自动站间闭塞)	计轴设备故障	
自动闭塞故障	自动闭塞故障	正常改方不能办理	
		辅助改方不能办理	

颜色按钮。每一架三方向出站信号机,设置绿、黄、红和白4个颜色按钮。每一架两方向出站信号机,设置绿、黄、红3个颜色按钮,每一架单方向出站信号机,设置绿、红2个颜色按钮。每一架区间通过信号机,设置绿、黄、红3个颜色按钮。所有按钮均设置在信号机所防护的线路对面。

3.3 道岔故障设置按钮

每一组单动或联动道岔,设置蓝、绿、黄3个颜色按钮。蓝色按钮设置在岔尖位置,绿色、黄色按钮设置在道岔定位、反位位置。

3.4 轨道电路故障设置按钮

每一轨道电路区段设置1个红色按钮,按钮设置在相应轨道电路区段。

3.5 区间设备故障设置按钮

自动站间闭塞和半自动闭塞,每一发车口对应设置绿、黄、红3个颜色按钮,双线自动闭塞上、下接车口对应设置绿、红2个颜色按钮。

故障设置按钮布置及安装位置,也可根据习惯或现场情况来合理确定。

4 故障设置按钮电路实现

故障设置按钮电路由信号机、轨道电路、道岔和区间设备故障设置按钮电路组成。按钮电路采取在联锁设备采集、驱动接口电路或励磁电路中增设开关按钮的方法来设计，以减少瞬间电流对故障设置按钮接点损坏和确保人身安全。

4.1 信号机故障设置按钮电路实现

基本闭塞方式下，进站信号机显示灯光有一个绿色灯光 (L)、一个绿色灯光 (L) 和一个黄色灯光 (U)、一个黄色灯光 (U)、一个黄色闪光 (US) 和一个黄色灯光 (U)、两个黄色灯光 (UU)、一个红色灯光 (H)、一个红色灯光 (H) 及一个白色灯光 (YB)。当显示 H 时，需采集灯丝继电器 (DJ) 吸起条件。当显示 L 时，需采集 DJ、列车信号继电器 (LXJ)、正线继电器 (ZXJ)、通过信号继电器 (TXJ) 吸起条件。当显示 U 时，需采集 DJ、LXJ、ZXJ 吸起条件。当显示 UU 时，需采集 2 灯丝继电器 (2DJ)、LXJ 吸起条件。当显示 LU 时，需采集 DJ、2DJ、LXJ、ZXJ、绿黄信号继电器 (LUXJ) 吸起条件。当显示 H 和 YB 时，需采集 DJ、2DJ、引导信号继电器 (YXJ) 吸起条件。进站信号机显示灯位采集电路状态如表 2 所示。表中“1”表示点亮该灯位时需要采集吸起条件的继电器，“0”表示点亮该灯位时不需要采集吸起条件的继电器。

进站信号机 5 个灯位联锁条件中，U、L 和 H 不会同时点亮，2U 和 YB 也不会同时点亮，只有 L 和 2U、U 和 2U 或 H 和 YB 能同时点亮。分析表 2 可知，进站信号机信号显示可以分成 L、LU/U/UU、H、YB 等 4 种情况进行故障设置，分别用绿色按钮控制采集电路中 TXJ 的采集状态，实现 L 故障设置；黄色按钮控制采集电路中 LXJ 的采集状态，实现 LU/U/UU 故障设置；红色按钮控制采集电路中 DJ 的采集状态，实现 H 故障设置；用白色按钮控制采集电路中 YXJ 的采集状态，实现 YB 故障设置。

出站信号机共有 L、LU、U、LL、H 显示灯光。对应每一架单方向出站信号机，设置绿、红 2

表2 进站信号机显示灯位采集电路状态

Tab.2 Status of the light position acquisition circuit of the home signal aspect

名称	信号显示	继电器名称						
		DJ	LXJ	ZXJ	TXJ	LUXJ	2DJ	YXJ
进站信号机	H	1	0	0	0	0	0	0
	L	1	1	1	1	0	0	0
	U	1	1	1	0	0	0	0
	UU	1	1	0	0	0	0	0
	LU	1	1	1	0	1	1	0
	HB	1	0	0	0	0	1	1

个颜色按钮，分别实现 L、H 故障设置功能。对应每一架两方向出站信号机，设置绿、黄、红 3 个颜色按钮，分别实现 L、2L、H 故障设置功能。对应每一架三方向出站信号机，设置绿、黄、红、白 4 个颜色按钮，分别实现 L、LU/U、H、B 故障设置功能，其中，进路表示器 1 个按钮控制 1 个发车口，需要时可适当增设。区间通过信号机共有 L、LU、U、H 显示灯光。对应每一架通过信号机，设置绿、黄、红 3 个颜色按钮，分别实现 L、U、H 故障设置功能。出站信号机和区间通过信号机采集电路所采集继电器状态分析与进站信号机雷同，不再赘述。信号机故障设置按钮电路原理如图 1 所示。

4.2 道岔故障设置按钮电路实现

道岔有不能操纵和无表示两种故障。由道岔接口电路可知，道岔操纵时需驱动锁闭防护继电器 (SFJ) 和对应道岔定位 / 反位操纵继电器 (DCJ/FCJ)，实现道岔定位 / 反位转换，通过采集定位 / 反位表示继电器 (DBJ/FBJ) 给出道岔位置表示。对应每一组单动或联动道岔分别设置蓝、绿、黄 3 个颜色按钮，蓝色按钮控制 SFJ 驱动条件，实现道岔不能操纵故障设置，绿色按钮控制 DBJ 采集状态，实现道岔定位无表示故障设置，黄色按钮控制 FBJ 采集状态，实现道岔反位表示故障设置。道岔故障设置按钮电路原理如图 2 所示。

4.3 轨道电路故障设置按钮电路实现

轨道电路有非正常占用红光带故障。由轨道电路接口电路可知，轨道电路通过采集轨道继电器 (DGJ) 给出轨道区段占用 / 空闲状态表示。每一区

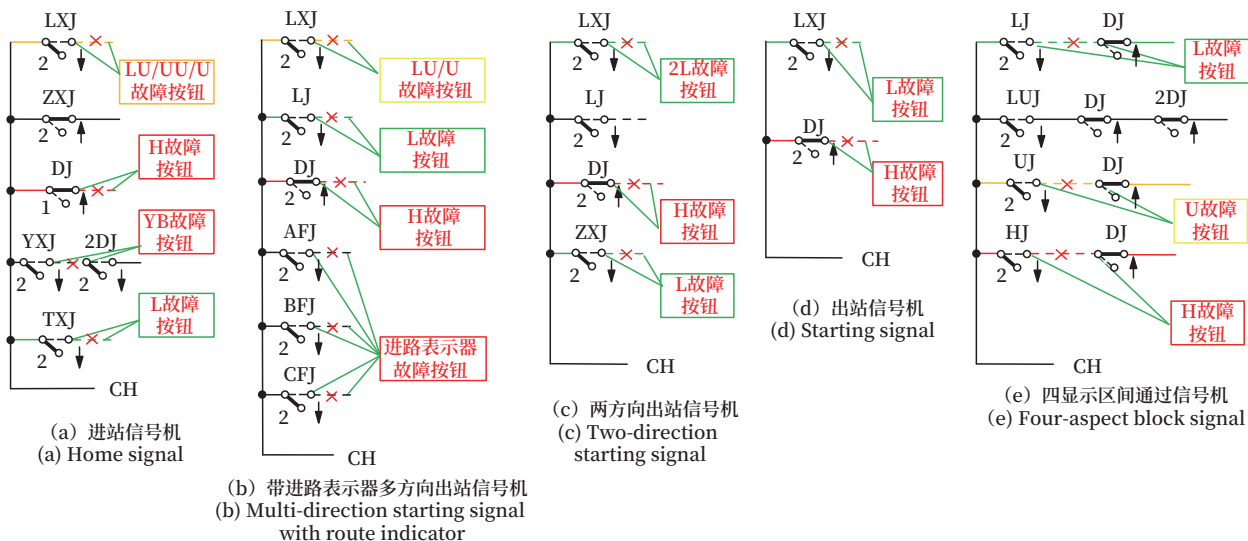


图1 信号机故障设置按钮电路原理

Fig.1 Schematic circuit diagram of signal fault setting button

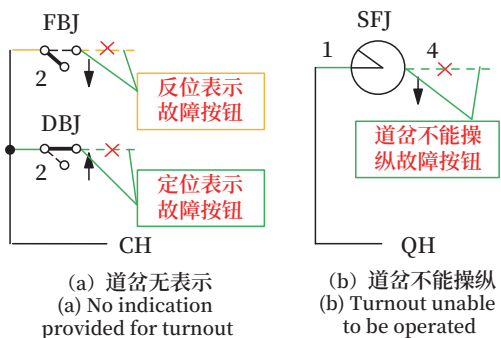


图2 道岔故障设置按钮电路原理

Fig.2 Schematic circuit diagram of turnout fault setting button

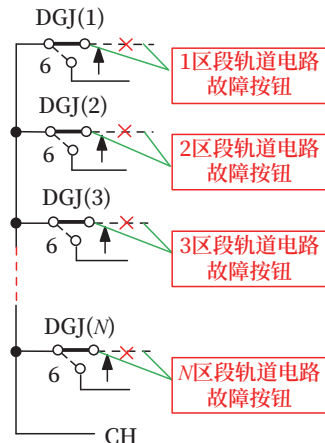


图3 轨道电路故障设置按钮电路原理

Fig.3 Schematic circuit diagram of track circuit fault setting button

段设置 1 个红按钮控制 DGJ 采集状态，实现轨道电路非正常占用故障设置，通过顺序按压接车（发车）进路区段上故障设置按钮模拟列车运行。轨道电路故障设置按钮电路原理如图 3 所示。

4.4 区间设备故障设置按钮电路实现

半自动闭塞通过驱动闭塞按钮继电器（BSAJ）来办理闭塞，驱动复原按钮继电器（FUAJ）来完成区间开通，故在每一发车口对应设置黄（闭塞）、红（复原）2 个颜色按钮。黄色按钮控制 BSAJ 驱动条件实现不能办理闭塞、红色按钮控制 FUAJ 驱动条件实现闭塞机不能正常办理复原故障设置功能。

自动站间闭塞是 64D 半自动闭塞增加区间计轴设备，再与计算机联锁设备结合后实现的一种闭塞。闭塞自动办理继电器（BZBJ）的状态，是区别使用

自动站间闭塞或半自动闭塞的关键，故在上述半自动闭塞故障设置按钮的基础上增设 1 个绿色（计轴）按钮，控制 BZBJ 励磁电路来实现计轴自动站间闭塞不能正常开通区间的故障设置。半自动和自动站间闭塞故障设置按钮电路原理如图 4 所示。

自动闭塞有允许改方不能正常办理和辅助改方不能正常办理故障。分析方向电路和接口电路可知，自动闭塞通过驱动发车按钮继电器（FAJ）励磁条件来办理正常改方，通过控制发车辅助继电器（FFJ）励磁条件来完成辅助改方，故在每一上、下行接车口对应设置绿（允许改方）、红（辅助改方）2 个颜色按钮。绿色按钮控制 FAJ 驱动条件实现不

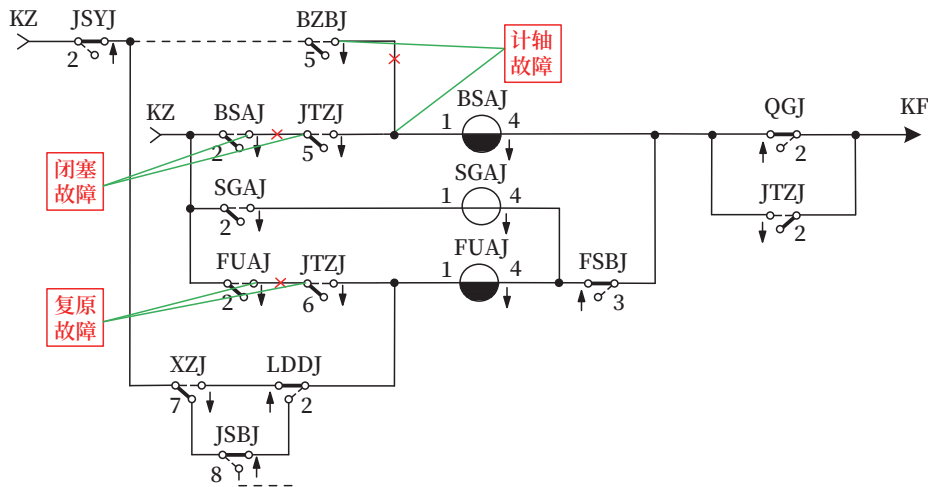
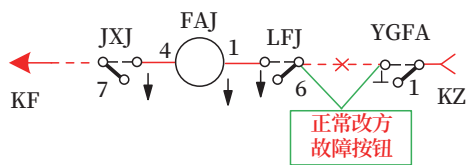


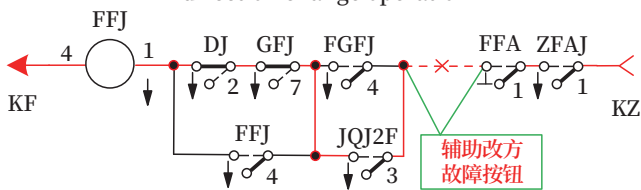
图4 半自动和自动站间闭塞故障设置按钮原理

Fig.4 Schematic diagram of the fault setting button for semi-automatic and automatic station block

能办理正常改方，红色按钮控制 FFJ 励磁条件实现不能办理辅助改方故障设置功能。自动闭塞故障设置按钮电路原理如图 5 所示。



(a) 正常改方故障按钮设置
(a) Fault button setting for normal direction change operation



(b) 辅助改方故障按钮设置
(b) Fault button setting for auxiliary direction change operation

图5 自动闭塞故障设置按钮原理

Fig.5 Schematic diagram of the fault setting button for automatic block

4.5 故障设置盘功能验证及特点

1) 在 TYJL-ADX 计算机联锁中试验。对应站场平面图选取相应数量的信号机、轨道电路、道岔和区间设备，经试验故障设置控制功能正常。

2) 在 iLOCK 计算机联锁中试验。任意选取一定数量的信号机、轨道电路、道岔和区间设备，经试验发现故障设置控制功能须统一在联锁 A 机或联

锁 B 机驱动（采集）电路中设置，才能实现故障设置功能，若统一设置在联锁 A 机驱动（采集）电路中，转换为联锁 B 机工作后不能实现故障设置，故在车务接发列车实训过程中需根据故障设置实际来选择联锁机主控状态。

5 结束语

接发列车故障设置盘不仅拓展了计算机联锁设备的培训功能，有效减少投资，而且不改变原计算机联锁技术条件，扩展性好。该设计方案可以任意增减所控制设置故障的设备类型及数量，最大限度满足车务系统接发列车人员非正常情况下接发列车实训需要，符合综合实训基地信号实训联锁设备建设和预留增减室内、外设备的发展需要。控制功能、电路安全性和易扩展性都达到了设计目的。该方案仅在培训基地开展了信号联锁安全验证，在不同制式的计算机联锁中，故障设置控制的继电器和故障点的选择不唯一，为实训基地建设或设计人员提供借鉴。

参考文献

[1] 王定明. 铁路信号智能模拟盘研制与应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (11): 20-25.
Wang Dingming. Development and Application of

- Intelligent Simulation Panel for Railway Signal[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 20-25.
- [2] 胡威. 深圳都市圈城际铁路信号系统综合智能运维平台建设方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(9): 11-14, 22.
Hu Wei. Construction Scheme of Comprehensive Intelligent Operation and Maintenance Platform for Intercity Railway Signaling System for Shenzhen Metropolitan Area[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(9): 11-14, 22.
- [3] 张昌平, 白书涵. 铁路信号电路设计安全性研究与分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(8): 8-12.
Zhang Changping, Bai Shuhan. Research and Analysis of Railway Signal Circuit Design Safety[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(8): 8-12.
- [4] 徐海波, 王定明. 基于 TYJL-ADX 型计算机联锁模拟道岔电路的设计与优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 15-19.
Xu Haibo, Wang Dingming. Design and Optimization of Simulated Turnout Circuit Based on TYJL-ADX Computer Interlocking[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 15-19.
- [5] 赵阳, 马衍明. 进站信号机显示及区间三接近编码电路的分析与改进 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(1): 96-100.
Zhao Yang, Ma Yanming. Analysis and Improvement of Home Signal Aspect and Third Approach Section Coding Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 96-100.
- [6] 徐世建. 车站接发列车作业计算机综合培训系统研究与开发 [D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [7] 牛凯兰. 晨曦火车站联锁控制模拟系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [8] 许丽, 宋苏民. 计算机联锁车务仿真培训系统的研究 [J]. 兰州交通大学学报, 2017, 36(3): 76-80, 105.
Xu Li, Song Sumin. Research on Computer Interlocking Vehicle Simulation Training System[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2017, 36(3): 76-80, 105.
- [9] 易翠英, 童川. 浅谈城轨信号机模拟实训系统设计 [J]. 中国设备工程, 2023(16): 107-109.
Yi Cuiying, Tong Chuan. On the Design of Urban Rail Signal Simulation Training System[J]. China Plant Engineering, 2023(16): 107-109.
- [10] 刘钊. 铁路信号设备故障设置实训系统的研究与实现 [J]. 电子测试, 2019(22): 51-52, 76.
Liu Zhao. Research and Realization of Train System for Railway Signal Equipment Fault Setting[J]. Electronic Test, 2019(22): 51-52, 76.
- [11] 张嘉, 江浩. 维修训练系统故障设置原理研究 [J]. 电子设计工程, 2015, 23(18): 110-112.
Zhang Jia, Jiang Hao. Research of Failure Setting Principle on Maintenance Training System[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(18): 110-112.
- [12] 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.
- [13] 林瑜筠, 吕永昌. 计算机联锁 [M]. 4 版. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [14] 阮振铎. 铁路信号设计与施工 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [15] 林瑜筠. 区间信号自动控制 [M]. 2 版. 北京: 中国铁道出版社, 2014.

基于车站无线通信下的临时限速研究

奇岳恒¹, 杜江红^{2, 3}

(1. 国能新朔准池铁路(山西)有限责任公司, 山西朔州 036002;

2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

3. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: 针对仅站内覆盖无线网络条件下的临时限速处理进行研究, 在站内有无线网络覆盖条件下, 与列车通信, 将站内列车走行路径范围的临时限速信息及区间临时限速信息发送给列车, 实现列车在区间运行时, 在未覆盖无线网络条件下, 使用出站前接收到的临时限速信息控制列车安全运行。相比全线覆盖无线网络, 或全线设置有源应答器, 临时限速研究方式造价更低, 适用性更强。

关键词: 站内覆盖无线; 行车路径; 限速处理; 适应性

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0020-06

Research on Temporary Speed Restriction Based on Station Wireless Communication

Qi Yueheng¹, Du Jianghong^{2, 3}

(1. CHN Energy Xinshuo Zhunchi Railway (Shanxi) Co., Ltd., Shuozhou 036002, China)

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

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

Abstract: This paper studies the processing of temporary speed restriction under the condition of wireless network coverage only in stations. Under this condition, communication is established with trains to send the following information to the trains: the temporary speed restriction that is applicable to the train's operation path within the station and the temporary speed restriction in the sections. As a result, when trains operate in sections beyond the reach of wireless network coverage, they utilize the temporary speed restriction information received before leaving the station to control the safe operation of the trains. Compared with the method of wireless network covering an entire rail line or the method of setting switchable balises along an entire line, the temporary speed restriction research method in this paper has lower costs and stronger applicability.

Keywords: wireless coverage in station; movement path; speed restriction processing; adaptability

收稿日期: 2022-09-30; 修回日期: 2024-01-08

基金项目: 中国铁路通信信号股份有限公司科研项目(2300-k1200035)

第一作者: 奇岳恒(1973—), 男, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号系统, 邮箱: 1634849155@qq.com。

1 概述

在列车运行控制系统中，临时限速是实现列车在风、雨、雪、施工、突发灾害、恶劣条件等条件下安全运行的至关重要功能。在 CTCS-3 级列控系统中，CTC 将临时限速信息下发给临时限速服务器 (Temporary Speed Restriction Server, TSRS) 设备，由 TSRS 将临时限速信息发送给无线闭塞中心 (Radio Block Center, RBC)。RBC 根据列车位置信息、进路信息、计算行车许可，并将行车许可范围内的临时限速信息通过 GSM-R 网络发送给列车超速防护系统 (Automatic Train Protection, ATP)。由 ATP 根据行车许可、临时限速信息，计算目标 - 距离制动曲线，防护列车安全运行。在 CTCS-2 级列控系统中，CTC 将临时限速信息下发给 TSRS 设备，由 TSRS 将临时限速信息发送给列控中心 (Train Control Center, TCC)。TCC 根据计算机联锁 (Computer Based Interlocking, CBI) 发送的进路信息，将临时限速信息发送至有源应答器。列车经过有源应答器时，ATP 接收有源应答器中的临时限速信息，并根据轨道电路发码，计算目标 - 距离制动曲线，防护列车安全运行。在 CBTC 系统中，列车自动监控系统 (Automatic Train Supervision, ATS) 将临时限速信息发送至区域控制中心 (Zone Control Center, ZC)。ZC 根据列车汇报的位置信息，及联锁办理的进路信息计算行车许可，并将行车许可范围的临时限速信息通过长期演进技术 (Long Term Evolution, LTE) 网络发送至 ATP，由 ATP 根据行车许可、临时限速信息，计算目标 - 距离制动曲线，防护列车安全运行。

上述 3 种既有列控系统的临时限速处理方式无法满足仅车站内覆盖无线通信条件下的列控系统对临时限速信息的处理需求。本文研究仅在车站覆盖无线网络条件下，通过在车站划分正线临时限速区、侧线临时限速区，区间划分未覆盖无线通信区，结合列车在站内通过无线通信汇报的位置，计算出列车走行路径范围的临时限速信息，将站内及区间列

车走行路径范围内的临时限速信息发送至 ATP，保障列车安全运行。

2 设备组成

在车站覆盖无线网络情况下，设置以下设备，组成满足运行需求的新型列控系统。该系统由 CTC、联锁、TSRS、车站控制设备、ATP 系统以及车站无线网络系统组成。在该系统中，CTC 将临时限速信息发送给 TSRS，TSRS 将临时限速信息转发给车站控制设备，车站控制设备存储 TSRS 下发的管辖范围内的临时限速信息。联锁将车站内的进路信息、区段占用信息、道岔位置、信号机开放状态发送给车站控制设备。ATP 将列车位置信息、控制模式、速度等信息发送给车站控制设备。车站控制设备根据列车汇报的位置信息、进路信息、区段占用信息、道岔位置信息、信号机开放状态等信息，计算列车走行路径，将路径范围内的临时限速信息发送给 ATP。ATP 根据临时限速信息、轨道电路发码信息计算目标 - 距离制动曲线，防护列车安全运行，如图 1 所示。

3 临时限速处理

新型列控系统中，车站控制设备实现对临时限速拆分、临时限速的存储、列车走行路径搜索、临时限速信息发送等功能。

3.1 临时限速范围设计

1) 车站覆盖无线网络设计

在车站无线网络覆盖范围内，列车接收到车站控制设备发送的列车运行前方临时限速信息和线路信息后，以不引起列车制动为最小原则，同时考虑列车与车站控制设备通信容忍安全余量。对于进站列车，以进站信号机为目标点，以列车最大线路允许速度为初始速度 V_0 ，考虑列车线性减速度计算的制动距离 $S_{\text{线性}}$ ，列车减速度非线性变化计算的制动距离 $S_{\text{非线性}}$ ，线路最大 12‰ 下坡，列车与车站控制设备建立通信的链接时间 $T_{\text{建链}}$ ，计算出车站无线覆盖范围 $L_{\text{无线覆盖}}$ ，如公式 (1) ~ (3) 所示。

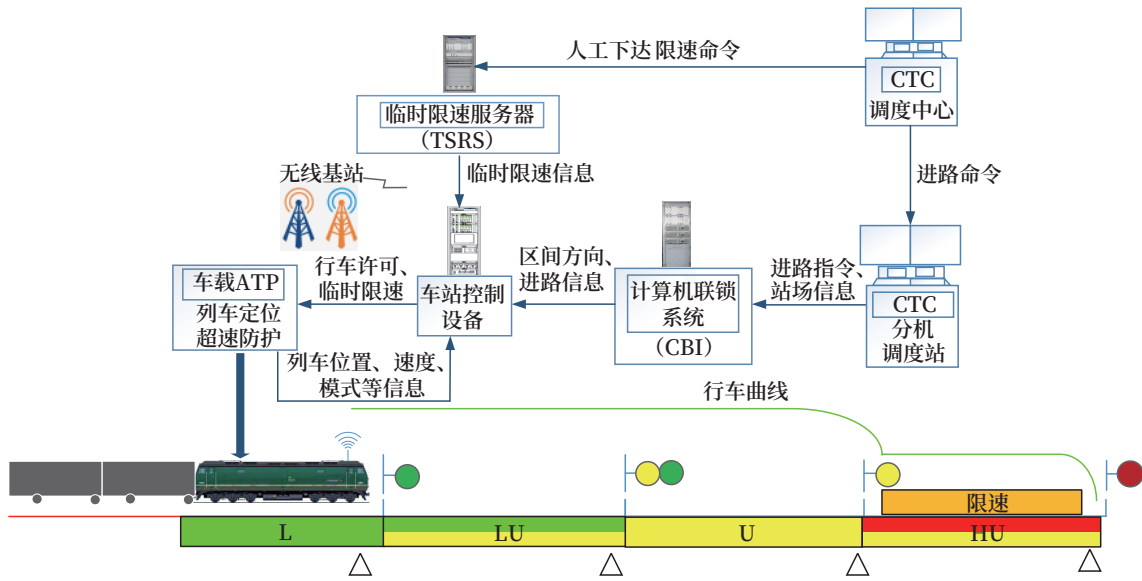


图1 新型列控系统组成结构示意图
Fig.1 Structure diagram of the new train control system

$$S_{\text{制动距离}} = S_{\text{线性}} + S_{\text{非线性}} \quad (1)$$

$$S_{\text{建链距离}} = V_0 \times T_{\text{建链}} \quad (2)$$

$$L_{\text{无线覆盖}} = S_{\text{建链距离}} + S_{\text{制动距离}} + S_{12\%} \quad (3)$$

根据公式(1)~(3)，得出的 $L_{\text{无线覆盖}}$ 范围作为车站覆盖无线网络的最小范围值，如图2所示。

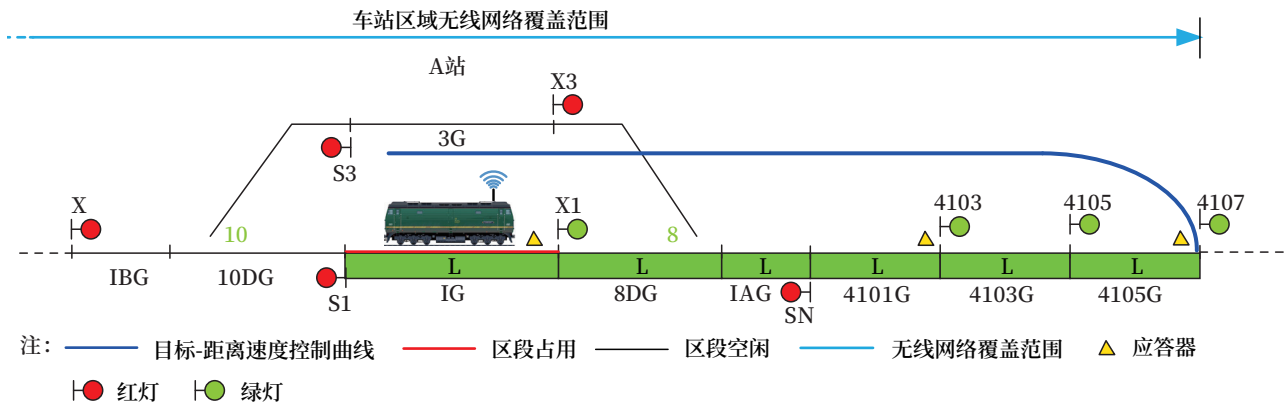


图2 车站无线网络覆盖区示意图
Fig.2 Schematic diagram of station wireless network coverage area

2) 车站临时限速管辖范围设计

设计车站临时限速管辖范围时，当列车出站后，接收到车站控制设备发送的临时限速信息，以该临时限速范围至列车与下一个相邻车站的车站控制设备建立连接时，以列车前方临时限速信息不引起列车制动为基本原则。考虑车站控制设备设计为管辖单个车站，以上一相邻站反向进站信号机作为临时限速管辖左边界，以下一相邻正向进站信号机作为

临时限速管辖右边界，作为车站控制设备的临时限速管辖范围，如图3所示。

3.2 临时限速存储

TSRS向车站控制设备发送临时限速信息时，分为两类限速命令：正线临时限速和侧线临时限速。

1) 正线临时限速范围

正线临时限速内容：限速编号、限速值、站号、正线线路号、起点里程标和终点里程标。

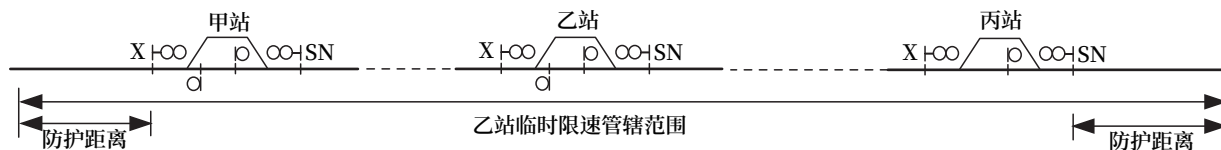


图3 临时限速区管辖范围示意

Fig.3 Schematic diagram of jurisdiction of temporary speed restriction zone

正线临时限速信息存储结构如下：

临时限速范围在区间未覆盖无线网络区域，临时限速信息存储方式：限速编号、限速值、正线线路号、起点里程标和终点里程标；

临时限速范围在车站覆盖无线网络区段，临时限速存储方式：限速编号、限速值、限速起点区段

编号、限速起点区段偏移、限速终点区段编号和限速终点区段偏移。

2) 测试临时限速范围

侧线限速区按照车站侧线范围划分为3区、4区，如图4所示。

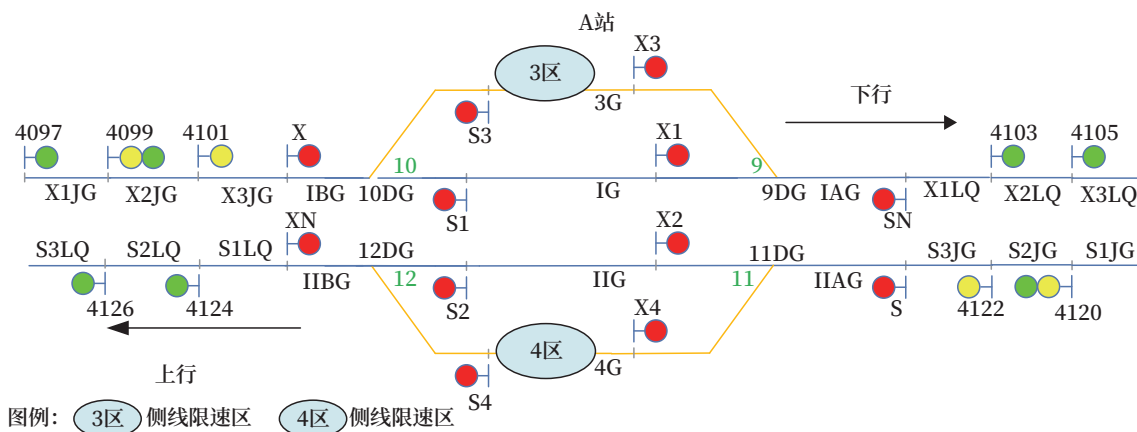


图4 车站侧线限速区管辖范围示意

Fig.4 Schematic diagram of jurisdiction of speed restriction area of the sidings of the station

侧线临时限速内容：限速编号、限速值、站号和侧线区号。

侧线临时限速信息存储结构如下：将侧线区临时限速信息对应到侧线区区段中，按照区段限速左偏移、限速右偏移、限速值进行存储。

3.3 临时限速分发

1) 无线覆盖范围内临时限速分发

列车驶入车站无线覆盖区范围内后，与车站控制设备建立通信，将列车位置信息、控制模式等信息发送给车站控制设备。车站控制设备根据列车位置、进路信息、道岔新型进行列车走行路径判断。将列车走行路径范围内的临时限速信息发送给ATP。ATP根据限速信息计算目标-距离制动曲线，防护列车安全运行，如图5所示。

列车在站内时，列车走行路径终点为X1信号机处，且X→X1信号机范围内，有临时限速信息，则车站控制设备从列车车尾为起点，按照“点+线”拓扑关系，搜索列车前方走行路径，以禁止信号机X1作为搜索路径终止点，将路径范围内的临时限速信息按照以下原则通过无线网络发送至列车。

站内临时限速内容：区段限速左偏移、区段限速右偏移和限速值。

临时限速发送内容：车头位置至限速起点(D)，限速长度(L)和限速值(V)。

其中， $D = \text{限速起点位置} - \text{车头位置}$ ；

$L = \text{走行路径范围内临时限速长度}$ ；

$V = \text{临时限速值}$ 。

2) 无线通信未覆盖范围内的临时限速分发

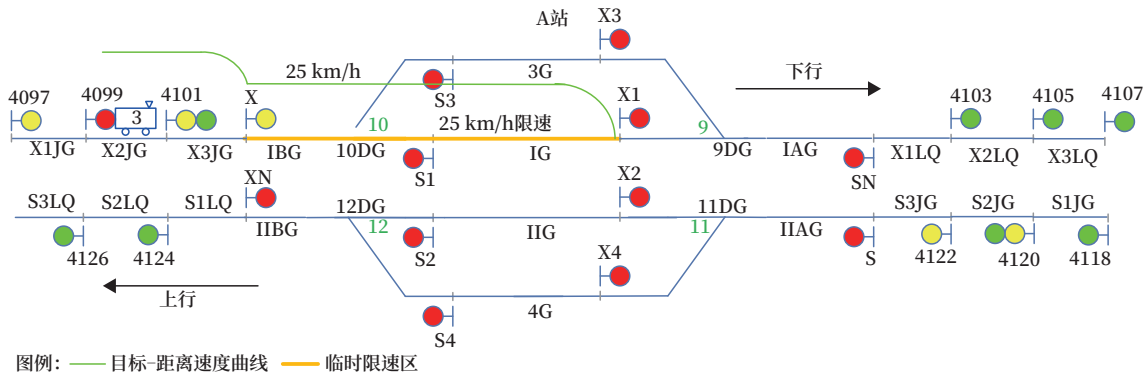


图5 车站范围内临时限速处理
Fig.5 Temporary speed restriction within the station

列车出站前，当无线网络未覆盖的区间有临时限速，则车站控制设备从列车车尾位置为起点，按照点+线拓扑关系，搜索列车前方行走路径，最远

至临时限速管辖边界（B站X信号机处），并将无线网络未覆盖的区间中的临时限速信息按如下原则进行转换并发送。如图6所示。

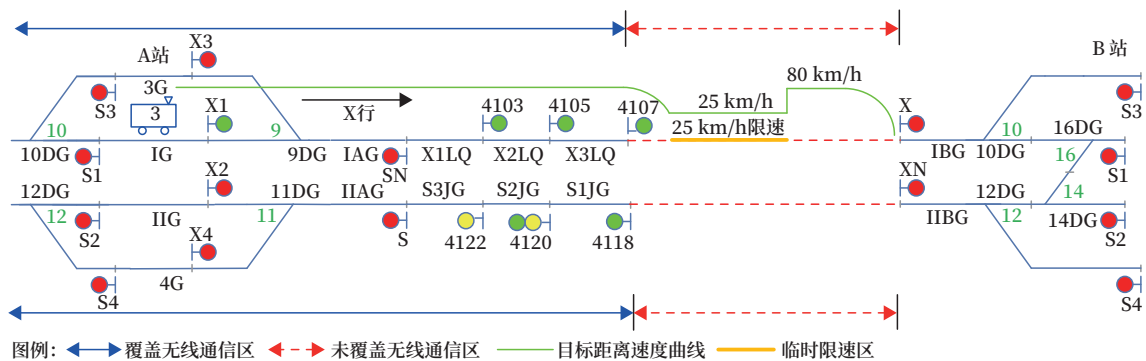


图6 未覆盖无线网络区间临时限速处理
Fig.6 Temporary speed restriction in sections without wireless network coverage

未覆盖无线网络区间临时限速内容：限速编号、限速值、正线线路号、起点里程标和终点里程标。

区间内无列车运行。

临时限速发送内容： D = 车头位置至限速起点， L = 限速长度， V = 限速值。

2) 应确保列车在出站前，接收到车站控制设备发送的区间临时限速后，方可办理列车出站。

D = 无线网络覆盖边界位置 - 车头位置 + (区间限速起点里程标 - 无线网络覆盖边界里程标)

3) 当列车进入未覆盖无线通信网络的区间发生故障且故障恢复后，列车应使用发车车站的车站控制设备发送的临时限速信息计算目标-距离速度曲线，并防护列车安全运行。

L = 无线网络覆盖区间中的临时限速长度

V = 无线网络覆盖区间中的临时限速值

4) 应确保列车在获取车站控制设备最新临时限速信息前，在进站信号机前停车，禁止驶入站内。

4 限制及约束

对于适用于在车站覆盖无线通信网络，区间未覆盖无线通信网络的新型列控系统，在处理临时限速功能时，临时限速处理应制定如下约束条件。

5 结束语

研究适用于站内覆盖无线通信网络，区间未覆盖无线通信网络的新型列控系统的临时限速处理方式。针对不具备全线覆盖无线通信网络条件的线路，有

1) 要求调度员在下达区间临时限速时，确保该

效实施提高列车行车安全的临时限速功能。为降低对区间无线通信的依赖,缩小线路改造范围,提供一种可行的解决方案。

参考文献

- [1] 邹少文. 列控系统临时限速设计方案探讨 [J]. 铁道工程学报, 2008, 25 (2): 9-12.
Zou Shaowen. Exploration on the Temporary Limiting Speed Design Scheme of CTCS[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008, 25(2): 9-12.
- [2] 袁磊, 王俊峰, 康仁伟, 等. CTCS-3 级列控系统临时限速建模与验证 [J]. 西南交通大学学报, 2013, 48 (4): 708-714.
Yuan Lei, Wang Junfeng, Kang Renwei, et al. Modeling and Verification of Temporary Speed Restriction of CTCS-3 Train Control System[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2013, 48(4): 708-714.
- [3] 潘长玉. 浅析临时限速的设置方案 [J]. 铁道通信信号, 2011, 47 (9): 17-18.
Pan Changyu. Analysis of Temporary Speed Limits Setting Plan[J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(9): 17-18.
- [4] 焦万立. 重叠设置正线临时限速方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (10): 19-23.
Jiao Wanli. Discussion on Design of Setting Overlapping Mainline Temporary Speed Restrictions[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(10): 19-23.
- [5] 方明亮. 张吉怀高铁沙堤所设置临时限速引起列车制动问题的探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (2): 95-100
Fang Mingliang. Discussion on Problem of Train Braking Caused by Temporary Speed Limit Set at Shadisuo Station of Zhangjiajie-Jishou-Huaihua High-speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2):95-100
- [6] 高僮, 张亚东, 郭进, 等. 列控临时限速场景风险耦合路径自动搜索方法研究 [J]. 铁道标准设计, 2021, 65 (12): 146-151, 167.
Gao Tong, Zhang Yadong, Guo Jin, et al. Research on Automatic Search Method of Risk Coupling Paths in Temporary Speed Restriction Scenario of Train Control System[J]. Railway Standard Design, 2021, 65(12): 146-151, 167.
- [7] 岳朝鹏, 张鹏. 临时限速设置技术发展探讨 [J]. 铁道通信信号, 2010, 46 (5): 12-15.
Yue Chaopeng, Zhang Peng. Exploration of the Development of TSR Setting Technology[J]. Railway Signalling & Communication, 2010, 46(5): 12-15.
- [8] 杨军, 张伟光, 陈先华. 减速度非线性变化对制动距离影响分析 [J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2011, 41 (4): 848-853.
Yang Jun, Zhang Weiguang, Chen Xianhua. Influence Analysis of Non-Linear Variation of Deceleration on Braking Distance[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2011, 41(4): 848-853.
- [9] 王耀侦. 新型列控系统电子地图临时限速发送方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (11): 38-41.
Wang Yaozhen. Discussion on Transmission Scheme of TSR in Digital Map for New Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 38-41.
- [10] 陈滨, 周小辉. 列控中心临时限速信息包 [CTCS-2] 编码方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (12): 7-13.
Chen Bin, Zhou Xiaohui. Research on Encoding Scheme of Balise Telegram [CTCS-2] for Temporary Speed Restriction of Train Control Center[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 7-13.

一种基于无线专网的 CTC3.0多岗位联动技术方案

王劲阳

(中国铁路西安局集团有限公司, 西安 710054)

摘要: 在调度集中系统 3.0(Centralized Traffic Control System 3.0, CTC3.0) 推广使用过程中, 对于接发车作业中的流程管理功能, 因覆盖岗位多, 需要通过多岗位联动来实现接发车作业流程的流转, 尤为获得车站的关注与重视。通过分析车站运输生产过程中的接发车作业流程业务, 结合 CTC3.0 作业流程管理功能, 探讨一种基于无线专网的 CTC3.0 多岗位联动技术方案, 以期在未来的实践中, 实现 CTC3.0 车站接发车作业流程管理数字化, 减轻车站人员的作业负担。

关键词: 调度指挥系统; 岗位联动; 接发车作业流程管理; 无线专网

中图分类号: U284.59

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0026-06

CTC 3.0 Multi-job-position Coordination Technology Solution Based on Wireless Private Network

Wang Jinyang

(China Railway Xi'an Group Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: In the process of promoting the use of the Centralized Traffic Control System 3.0(CTC 3.0) systems, the process management function for the operations of receiving and departing trains is particularly focused on and valued by stations due to the wide coverage of job positions and the need to coordinate multiple such positions in order to facilitate the smooth flow of the process for receiving and departing trains. This paper analyzes the business process of receiving and departing train operations in the station's transportation production process, and combines it with the CTC 3.0 process management function to explore a CTC 3.0 multi-job-position coordination technology scheme based on a wireless private network. The aim is to achieve digitization in the management of the receiving and departing train operation process at CTC 3.0 stations, thereby reducing the workload of station personnel in future practice.

Keywords: traffic control system; coordination of multiple job positions; process management of receiving and departing trains; wireless private network

收稿日期: 2023-09-08; 修回日期: 2024-02-01

作者简介: 王劲阳(1972—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路电务设备技术改造, 邮箱: wjy5809@163.com.

1 概述

车站接发车作业涉及的岗位主要有车站值班员、助理值班员、信号员、客运员和货运员等岗位，针对不同的列车类型、接车口类型，作业流程稍有不同。以双自闭区间为例^[1]，接车流程为邻站向本站办理发车预告，本站值班员同意，邻站发车。同时本站值班员安排信号员办理接车进路，值班员根据列车接近情况通知助理值班员出务接车、列车接近，外勤助理出务准备接车，车次到达，客运员汇报客运作业完成情况，货运员汇报货车作业完成情况。列车作业完成后外勤助理向值班员汇报作业完成，值班员进行发车预告，在邻站同意后安排信号员办理发车进路，本站发车^[2]。根据不同列车类型，实际执行的列车作业任务及涉及岗位均有不同，汇报内容也各有侧重，当前以无线电联络为主，监控为辅。

遵循 CTC3.0^[3] 标准的车站系统目前主要覆盖值班员和信号员等岗位。在确认接发车条件、通知车号员送货票、通知外勤助理值班员接发车、通知广播室进行检票广播等方面，仍主要依靠无线电等方式通知，缺乏有效的信息手段来统筹、反馈、记录作业的执行情况^[4]。当作业出现交织时，各岗位间呼叫频繁，值班员需要根据车次、列车类型、接近情况、计划股道、作业内容等综合考虑，向车号、列尾、货检、列检等作业人员发送接发车指令^[5]，与列检室、车号室、广播室、外勤室等岗位沟通作业内容及作业进度。晚通知、漏通知的现象时有发生，依赖人为卡控的方式很难保证运输生产的安全。

为此，本文研究一种基于无线专网的 CTC3.0 多岗位联动技术实现方案，对于车流密度大、作业繁忙的多方向车站，增加外围工种手持终端，实现列车作业指令传递、作业状态查询、作业状态反馈等功能。覆盖的岗位包括值班员、助理值班员、车号员、客运值班员、管理人员、车站调度员等与运转室交互频繁的岗位。手持终端自动接收值班员下达的接发列车相关指令，通过具备语音（振动）提示方式告知相关作业人员，作业人员完成作业后，

通过手持终端反馈作业完成情况，以达到行车信息共享，解决不同岗位间因地理位置不同，作业信息不透明、作业状态无记录、作业情况需频繁电话沟通的问题。

2 技术方案

2.1 方案概述

由于铁路车站作业特点，外围工种的活动范围较大，相较于固定终端，无线手持终端的方式更适用于外勤现场作业。当前覆盖车站的无线网络包括 4G/5G 等公用通信网络、450 M 列车无线调度专用通信网络、GSM-R 铁路数字移动专用通信网络等。考虑公有网络的使用不能满足中国国家铁路集团有限公司对于 TDCS/CTC 产品关于网络安全等级保护 2.0 的要求，共用 450 M、G 网等既有的无线网络容易对既有车机联控业务造成干扰，同时，因既有 TDCS/CTC 专网不包含无线网络组网方案。为满足网络安全要求，本方案设计一种基于无线专网的 CTC3.0 多岗位联动系统。通过在 CTC3.0 车站建设无线专网独立组网，搭建多岗位联动系统，利用车站既有的网络结构，将多岗位联动系统接入 CTC3.0 系统专网，与已开通的 CTC3.0 系统相结合，实现 CTC3.0 网络在相关外勤行车岗位的扩展延伸。在业务处理上，多岗位联动系统设置单独的后台服务器设备，与既有车站 CTC3.0 系统保持一定的隔离，在逻辑上相对独立。多岗位联动系统与 CTC 系统关系如图 1 所示。

针对无线手持终端活动范围较大、且需满足铁路通信安全要求的特点，为实现相关功能并且达到运用稳定的效果，需要建设覆盖车站范围的工业级专用 Wi-Fi 网络——CTC 车站无线专网（简称无线专网），并且无线专网中的手持终端应能和 CTC3.0 车站子系统的车站服务器数据交换，实现阶段计划、调度命令、作业流程安排、作业反馈和站场显示等数据的传递。

同时为了确保 CTC 主用系统安全，无线专网应和 CTC 主用系统之间增加网络隔离，具体方案可以

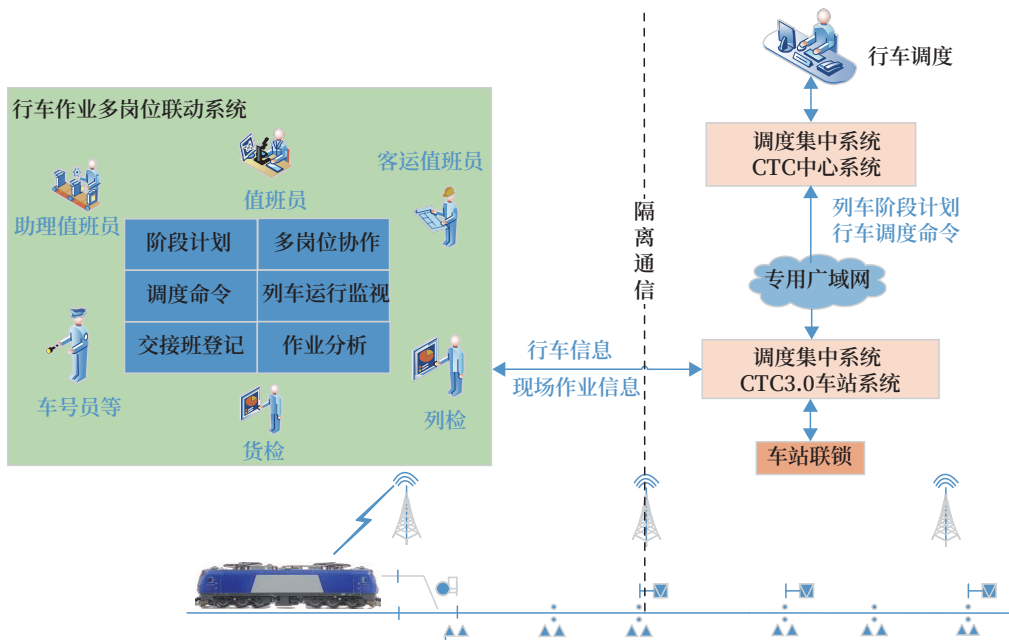


图1 多岗位联动系统与CTC3.0关系
Fig.1 The relationship between the multi-job-position coordination system and CTC 3.0

采用类似 TDCS3.0 技术条件中查询网接口的方法。即无线专网相对独立，和主用系统不存在网络连接，通过一对隔离通信机（串口专用协议）和主用系统间接通信。

2.2 技术原则

CTC 车站无线专网设计技术原则如下。

第一，CTC 车站无线专网作为车站行车指挥的重要通信基础设施，其设计应充分考虑整体可靠性与稳定性。一方面系统的拓扑结构设计中也应体现高可靠性设计理念。即：1) 系统单节点设备故障，不影响其余节点的正常运行；2) 系统需满足易用、易扩展需求以及保证恶劣环境下运行的稳定；3) 设备选型上应采用经过实践考验、复杂环境验证，已证明其稳定、可靠的先进设备。另一方面，应选择高可靠的硬件设备。

第二，无线专网系统必须具有高强度、全方位的安全机制，具备终端认证、数据加密和接入密钥安全措施。确保只有规定的手持终端才能接入无线网络，并且经过严格的身份认证、解密解密后才能进行数据交换。非授权的设备即使可以侦听无线信号，但无法接入更无法接收和解析业务数据。

第三，无线专网应能具备集中管理、集中配置和集中监控的特性，符合铁路对设备的维护管理要求。在建筑和地形复杂的车站，能够通过信号自动测试工具等自动进行空间规划，给出无线接入设备的安防地点以及最佳推荐的无线频段等；能够对所有的无线接入终端进行远程集中管理，可通过远程访问设置用户访问权限及网络资源；能够监视无线信道质量、接入用户的通信状态等。

第四，无线专网应支持手持终端的无缝漫游：即用户在无线网络覆盖区域长距离行走过程中，尽管用户跨越了多个无线接入点的覆盖区域，但信号间无缝切换，让用户网络通信始终保持畅通。

3 无线网络方案

3.1 网络结构

无线专网采用 AC+AP 结构，AC 即无线控制器 (Wireless Access Point Controller)，AP 即无线接入点 (Access Point)。AC+AP 是由位于机房的一套 AC 驱动多个分布在各地点的 AP (收发信号) 组成的面向企业高可靠应用的无线网络技术。这种结构化的集中式无线管理架构，可以达到灵活、高效、

安全和可靠的目的。

无线控制器 AC 是一种用来集中化管控无线 AP 的网络设备, 对 AP 管理包括射频管理、接入安全控制、下发修改配置等^[6]。这种模式应用于车站中, 有利于维护人员对无线 AP 设备进行集中管理, 且支持无缝漫游。相比于传统的覆盖模式, 在用户体验及维护管理上给用户带来质的提升。AC+AP 结构如图 2 所示。

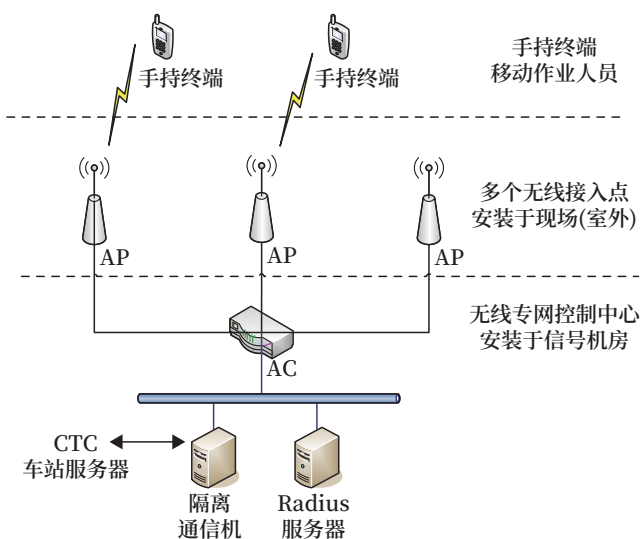


图2 AC+AP结构
Fig.2 Diagram of AC+AP structure

在图 2 中, 无线专网控制中心点设备设置在车站信号楼, 其中无线网控制器 AC、身份认证服务器、接口服务器等放置在信号机械室, 天线安装于楼顶。

在车站合适位置安装无线中继路由器, 之间通过 WDS 构成无线局域网。

人员配置的移动终端开机后, 在车站覆盖范围内, 自动建立无线连接, 并和服务器建立数据通信关系。

当人员移动时, 首先会连接距离最近的无线 AP, 当建立好无线连接之后, 开始传输数据。但是此时人还是在运行中, 当靠近另外一个 AP 时, 移动终端会根据信号强弱去进行切换, 切换时间小于 50 ms, 这样就可以实现车辆在运行过程中实时的不间断通信。

3.2 无线安全

1) 集中管理

在 AC+AP 模式下, 每个 AP 负责无线终端射频信号的收发通信工作。当 AP 接收到射频信号后, 通过 IEEE802.11 编码加密传输到无线控制器 AC, 然后由 AC 进行验证和更高级别的加密、安全控制等工作。因此, 基于 AC+AP 的无线网络解决方案原生支持无线设备的统一管理, 并能够有效地执行安全策略。

2) 接入安全策略控制

AC+AP 无线网络支持多种方式的 用户身份验证。首选, 用户进入无线网络需要输入连接密钥, 通过验证后方可获得访问权限。当前 AC+AP 无线网络支持 IEEE802.1、WEB 认证、MAC、SSID 和 VPN 等多种认证方式, 为网络准入提供了多种安全策略。

3) 数据加密

其次, AC+AP 无线网络可以提供统一的加密方式, 比如 WEP、WPA、WPA-PSK 和 WPA2 等, 均通过无线控制器 AC 进行全局设置。使用 AC+AP 系统, 无论用户是在不同的 VLAN (网络层) 还是在不同的 AP 之间切换, 都通过 AC 统一进行用户访问控制, 不再需要重新验证身份或重新加密, 进而实现安全的无缝切换。

4) 数据访问控制

AC 无线控制器具备访问列表功能。该功能结合 AC 的验证数据库, 可为不同用户提供不同的访问权限。传统的网络有线局域网与无线局域网相互独立, 无法实现该功能。但 AC 无线控制器可通过其网关功能, 实现有线和无线用户之间的互相访问控制, 配置更加灵活。

3.3 无线频率

CTC 无线专网基于国际通用标准 IEEE 802.11b/g 和 IEEE 802.11a, 二者均是目前开放、民用较多的无线频率范围。考虑到无线信道存在同频干扰现象, 所以选择合适的信道是网络设计的重要考虑因素。

IEEE 802.11b/g 规定无线设备工作在 2.4 GHz 频段, 无线的收发频率范围在 2 400 ~ 2 483.5 MHz 之间^[7]。考虑到 2.4 GHz 无线环境较为复杂, 本次专网采用 IEEE 802.11a 5.8 GHz 形成无线中继主干, 而采用 IEEE 802.11b/g 2.4 GHz 信号作为终端接入信道。IEEE 802.11b/g 按照频率范围划分 10 个可用信道, 应按照实际现场无线环境选择合理的信道。

3.4 设备选择

1) 设备可靠性要求

室内安装设备 AC 等应采用工业级机架式设备, 室外安装设备应具有全天候使用, 防水、防尘、防腐、抗振动、抗冲击和抗强电磁环境等高稳定性特性, 环境防护等级需达到 IP68 级。能够保证在恶劣的环境中, 如大风、雷雨、沙尘暴气候等正常运行, 需采用完全密封的铝合金或其他防锈材质压铸工艺的外壳。

2) 网络设备带宽要求

考虑到 CTC 无线子系统主要承载移动终端的数据流量, 每个终端的平均带宽需求不超过 1 Mbit/s, 所以一个车站采用 300 M 的 AC 和 AP 设备是完全可以满足需求。

3) 网络设备技术特性

应符合 Wi-Fi 国际标准 IEEE 802.11 a/b/g/n, 频率同时支持 2.4G、5G 双频。

4) 手持终端

应采用工业级平板电脑, 配置建议为 8 寸高亮度多点触摸屏幕, 2 G 及以上运行内存, 64 G 及以上固态存储, Windows 8.1 或 Windows 10 操作系统, 防护级别不低于 IP67, 支持 Wi-Fi、蓝牙通信, 支持震动和高能量声音输出。

4 无线网络与CTC接口方案

如图 3 所示, CTC 车站无线专网系统与 CTC 主用系统应进行网络隔离, 其中网络隔离采用基于

专用协议进行数据摆渡的技术, 在 TDCS/CTC 系统区和无线终端子系统间设置隔离通信机, 两者之间以 RS-232/RS-422 串口 /USB 实现数据通信, 并在 CTC 系统还可设置防火墙进一步加强安全性。

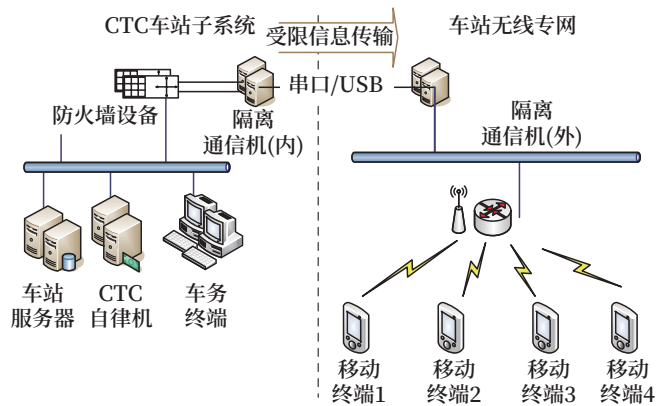


图3 无线网络与CTC接口方案

Fig.3 Plan for the interface between the wireless network and CTC

4.1 受限信息传输

接口数据固定明确, 通过无线终端子系统传输的数据包括: 系统校时信息; 列车阶段计划; 调度命令; 站场图显示; 列车作业流程指令; 列车作业状态反馈。

其他数据通过通信机接口软件过滤不予传送, 通过无线终端子系统不传输可以导致行车安全的控制指令。

4.2 网络层完全隔离

隔离通信机间采用串口或 USB 连接, 并通过非 IP 的自有协议运行专用加密算法, 由通信机运行的专用数据同步软件实现业务数据的交互, 用以阻断链路层以上各级网络通信。通信采用独占式设备读写方式, 可以完全阻止从无线网络向 TDCS/CTC 网络的恶意入侵^[8]。

同时, 通过增设防火墙 / 网闸等网络安全设备, 可以加强必要的病毒防护、入侵监测和包过滤等功能。

4.3 业务数据加密

站场图表示和列车运行信息涉及信息保密, 系统采用满足等保四级要求的数据加密技术实现信息

加密传输,防止监听识别,保证传输数据的安全性、不可篡改性和完整性。

4.4 移动终端业务授权

由于移动终端使用方式上的位置分散等特点,需要采用可靠的身份认证和特殊设计的动态授权技术来确保业务安全。每台终端的应用软件都内含唯一的数字签名信息,该软件签名和终端的硬件序列号、SIM卡序列号完全绑定,保证专机专用。用户在使用移动终端时,必须插入标识用户身份的IC卡,并且输入密码后才能登录进入终端CTC应用软件。

通过以上方案设计,即可完成一种基于无线专网的多岗位联动系统,通过无线终端的操作可实时地实现外围工种作业进度的反馈,解决车站各行车岗位在接发车作业过程中作业通知、作业确认等频繁相互电话沟通的问题,实现各个工种流水线作业,互不干扰,且保留了电子记录。同时系统与车站CTC3.0系统相结合,外围工种可直观地接收接发列车阶段计划、列车作业内容和列车接近情况,不再需要与运转室频繁的呼叫询问,彻底解放了值班员。

5 总结

车站接发车作业涉及多岗位的联动,当前铁路系统繁多,覆盖业务较为单一,本文提出一种基于无线专网的CTC3.0多岗位联动技术实现方案。仅在调度系统基础上设计延展了外围终端子系统,通过两系统的联通互动解决了部分车站运转室调度系统值班员岗位与外勤间的信息共享与互动问题。铁路运输作业涉及系统繁多,实际问题更为多样化。建议结合《交通运输标准化“十四五”发展规划》,为运输各系统间信息互联互通建立标准规范,实现

运输大数据集成,为运输系统智能化发展奠定数据基础。

参考文献

- [1] 国家铁路局. 铁路车机联控作业: TB/T 30003-2020[S]. 北京: 国家铁路局, 2020.
- [2] 吴春波, 崔虎, 费振豪. 基于TDCS/CTC的车站接发车作业流程控制研究[J]. 铁道通信信号, 2013, 49(6): 6-8.
Wu Chunbo, Cui Hu, Fei Zhenhao. Research on Workflow Control of Train Operation at Station Based TDCS/CTC[J]. Railway Signalling & Communication, 2013, 49(6): 6-8.
- [3] 中国铁路总公司. 调度集中系统技术条件: Q/CR 518-2016[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.
- [4] 陶鸿儒, 王如跃, 吴翔. 基于CTC3.0的车站作业岗位联动系统设计与实现[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(10): 1-4.
Tao Hongru, Wang Ruyue, Wu Xiang. Design and Realization of Station Operation Linkage Control System Based on CTC3.0[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(10): 1-4.
- [5] 崔虎, 王兴利, 汤宝伟. CTC3.0车站子系统的研究[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(Z2): 32-35.
- [6] 王晓伟. PDA无线接入的安全机制研究和实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [7] 王楠. 沈阳移动公司WLAN业务发展策略研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [8] 崔虎, 田相坤, 吴翔. 基于TDCS/CTC系统的施工防护预警研究[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(5): 1-3.
Cui Hu, Tian Xiangkun, Wu Xiang. Construction Protection Alarm System Based on TDCS/CTC System[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(5): 1-3.

公跨营运高铁立交桥异物侵限监测系统 重难点分析

陈荣超

(中铁第五勘察设计院集团有限公司郑州分院, 郑州 450001)

摘要: 依托于国道234线郑州境内国道310以南段(荥阳乔楼至崔庙段)改建工程上跨郑西高铁立交工程, 主要对干线公路上跨营运高铁立交工程的异物侵限监测系统设计的重难点进行分析, 并提出解决措施, 该工程为郑州局管辖范围内首次上跨运营高铁立交桥的异物侵限监测系统设计, 可以为今后河南乃至全国同类工程设计及施工提供借鉴经验。

关键词: 异物侵限监测系统; 营运高铁; 安全监控单元; 轨道电路

中图分类号: U285.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0032-05

Analysis of Key and Difficult Points of Foreign Object Intrusion Monitoring System for Highway Crossing High-speed Railway

Chen Rongchao

(Zhengzhou Branch, China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This paper is based on the reconstruction project of south section of National Highway No.310 (Xingyang Qiaolou-Cuimiao section) in Zhengzhou of National Highway No.234, which involves the construction of an overpass for National Highway No.234 to cross over Zhengzhou-Xi'an High-speed Railway. The main focus of this paper is to analyze the key and difficult points in the design of the foreign object intrusion monitoring system for the project and propose solutions. This project is the first foreign object intrusion monitoring system design for the operating high-speed railway overpass within the jurisdiction of Zhengzhou Bureau, providing reference and experience for the design and construction of similar projects in Henan and even throughout the whole country of China in the future.

Keywords: foreign object intrusion monitoring system; operating high-speed railway; safety monitoring unit; track circuit

收稿日期: 2023-06-14; 修回日期: 2024-01-22

基金项目: 轨道交通控制与安全国家重点实验室开放课题项目(RCS2020K001)

作者简介: 陈荣超(1991—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信与信息系统, 邮箱: 415289549@qq.com。

1 概述

近年来国内公路建设进程突飞猛进, 不可避免会有越来越多的公路与高速铁路交叉。高速铁路与公路交叉跨越时, 为确保高速铁路结构安全和运营

安全, 根据《铁路安全管理条例》新建、改建高速公路、一级公路或者城市道路中的快速路, 需要与铁路交叉的, 应当设置立体交叉设施, 并优先选择下穿铁路的方案^[1]。

郑西高铁 2010 年已正式开通运营, 地处豫西丘陵山区, 55% 为高架桥、22% 为隧道、23% 为路基地段^[2]。通常公路与高铁交叉会选择在高铁桥梁段下穿, 但受限制于郑西高速铁路基段较长及公路规划线位等因素制约, 国道 234 线郑州境内国道 310 以南段(荥阳乔楼至崔庙段) 改建工程上跨郑西高铁立交工程(简称该工程) 只能采用上跨铁路方案。该工程为郑州局管辖范围内首次上跨运营高铁立交桥, 也是国内首次干线公路上跨营运高速铁路基段^[3]。

郑西高铁现状存在众多异物侵限监测点, 但都为随郑西高铁同步修建, 不同于随高铁同步修建的异物侵限监测系统, 在营运高铁既有系统上增加异物侵限监测系统风险更高、设计难度更大。

2 工程概况

该工程位于郑西高铁铁路里程 K599+478.5 处, 巩义南站和郑州西站之间, 建成后如图 1 所示。郑西高铁即徐兰高速铁路郑西段, 设计速度 350 km/h; 国道 234 线为国内一级公路, 设计速度 80 km/h。



图1 国道234上跨郑西高铁立交航拍

Fig.1 Aerial photo of the National Highway No.234 Overpass over Zhengzhou-Xi'an High-speed Railway

为确保高速铁路行车安全, 根据《高速铁路设

计规范》^[4] 等相关规定、规范要求, 在该公跨铁立交桥上安装异物侵限监控装置, 监测机动车、大型货物因故越过护栏(防撞墙)、护网(防抛网)而侵入高速铁路限界并控制列车运行^[5]; 并设置视频监控系统, 对该公跨铁立交桥进行实时监控。

郑西高铁全线设有灾害监测系统, 洛阳龙门站老信息机房设有数据处理设备 1 套, 郑州铁路局调度指挥中心设有列车调度监测业务终端 1 套, 郑州铁路局调度指挥中心设有工务调度监测业务终端 1 套, 郑州东高铁基础设施段设有监测维护终端 1 套, 郑州铁路局郑州通信段网管中心设有监测维护终端 1 套。

距该工程约 0.7 km 处既有郑西高铁铁路数字移动通信系统(Global System for Mobile Communications for Railway, GSM-R) 通信基站(铁路里程 K600+180) 1 座, 该基站内既有安全监控单元机柜 1 架, 该机柜已接有 3 处异物侵限监测报警点。

该工程异物侵限监测系统构成如图 2 所示。由现场监测装置、安全监控单元、数据处理设备、调度所等监测终端设备、信号列控接口设备、通信传输设备及通信网络等构成^[6]。

现场监测装置主要为监测电网和轨旁控制器, 监测电网安装在上跨桥两侧, 轨旁控制器依据现场环境安装在路基水泥基础上; 安全监控单元就近设置在 GSM-R 基站内; 数据处理设备设置在信息机房; 监测终端设置在铁路局调度指挥中心、高铁基础设施段、通信段等不同部门。

轨旁控制器至安全监控单元、安全监控单元至信号列控中心之间通过信号电缆传输监测信息^[7], 数据处理设备到监测终端等通过通信传输网传输监测信息。

当发生异物侵限撞击监测电网, 使双电网传感器发生断裂, 现场异物侵限信息通过轨旁控制器传给基站安全监控单元。基站安全监控单元接收并确认异物侵限信息后, 将异物侵限信息分两路同时输

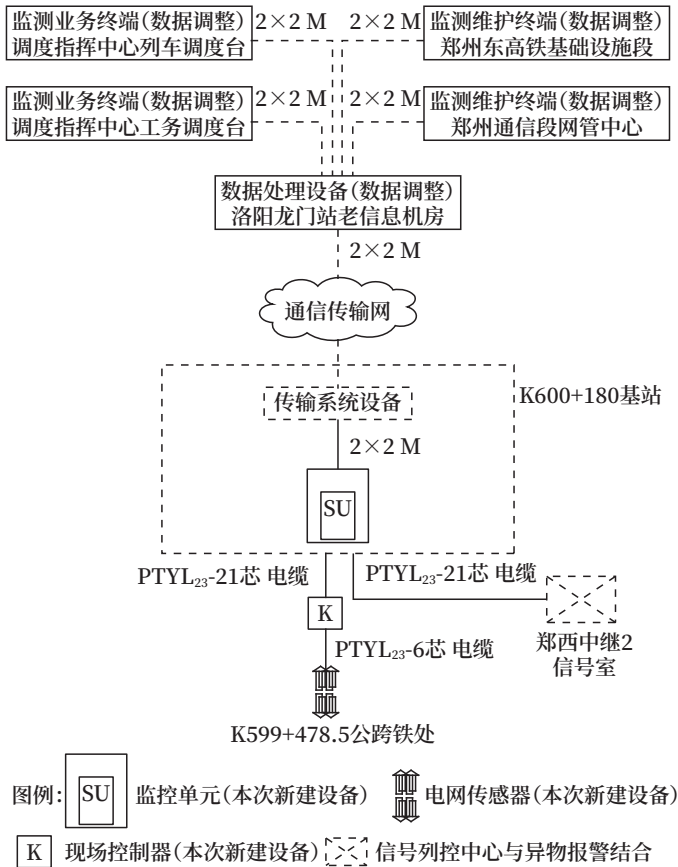


图2 灾害监测系统构成示意

Fig.2 Schematic diagram of disaster monitoring system composition

出：一路通过以太网通道传至信息机房的数据处理设备对信息进行处理并将信息传到监测终端设备显示报警信息；另一路通过铁路信号电缆传给列控中心，触发列控系统，通过轨道电路继电器的落下直接使得异物侵入的区段防护信号机显示禁止信号^[8]。向信号列控系统、联锁系统发送控制命令，通过信号列控系统、联锁系统使列车自动停车，并向列车调度员发出异物侵限报警信息。

3 重难点分析

3.1 既有系统上修改设备难度大、风险高

该工程新增设备的接入需对既有设备进行相应修改，需在既有系统设备的基础上进行改造。此时，既要保证最大限度地减少对既有设备的干扰和影响，又要保证设备接入后系统设备功能的完备和

安全高效。

例如：新增异物侵限监测设备纳入列控系统后，需要对既有的接口电路及相关信号设备进行修改，会对既有设备安全造成很大影响；同时在保证设备接入后发生异物侵限时信号系统能够及时、快速、准确的反应，确保列车运行安全的基础上，尽量减少对既有接口电路及相关信号设备的修改内容。

3.2 专业间接口复杂

异物侵限监测系统的设计，除了系统自身各个设备安装调试外，还需要根据项目实际情况进行信号专业的防灾与信号列控接口设计，通信专业的传输通道、综合视频监控系统设计，电力专业的配电系统设计，房建专业的机房环境改造设计，桥梁专业的电网预埋件预留、保护管安装等土建设计，需要多个专业协调配合。

3.3 工程环境复杂

郑西高铁的铁路等级高，对工程设计的制约因素多，例如：现场设备安装、线缆敷设时紧挨铁路通信光缆、信号电缆、电力电缆、接触网等，需要考虑铁路营业线在用设备、设施的防护或改造；桥梁转体前必须提前将线缆引下保护管、监测电网等安装固定到位，需要结合土建情况及周边条件精确计算各项参数；需配置和修改的设备众多并且分布分散，例如：监测终端分布在铁路局调度指挥中心、高铁基础设施段、郑州通信段网管中心等处，需要合理考虑同步实施条件，减少对既有系统的不良影响。

3.4 施工条件复杂

该工程会引起郑西高铁既有通信、信号、信息、防灾系统的调整或改造，对郑西高铁运营有较大影响；几乎所有施工都要在“天窗点”内完成，尤其是现场设备安装、线缆敷设等需在郑西高铁封闭网内实施，施工作业面小，工期压力大；该工程异物侵限监测系统接入既有系统后，各处监测终端需在短时间内、不同地点、同时进行软件数据修改和试验，要求设备厂家、施工单位、设备管理单位、设

计单位等必须积极配合相互协作，实施难度大，设计过程中必须充分考虑施工条件因素。

4 解决措施

4.1 深入调查既有情况，征求各方意见

在设计前期要深入调查研究。例如：周边既有自然灾害及异物侵限监测系统设置情况，通信传输系统、信号列控系统、计算机联锁系统、集中监测系统、防灾系统的既有设备利用状况和网管运行情况，区间基站、信息机房、信号机械室的空間利用状况、电源预留情况以及改造条件，各个监测业务终端、监测维护终端的数据修改条件等。

将该工程对既有系统造成的影响因素考虑充分，多方论证与审核。与工务部、电务部、通信段、信息技术所、高铁基础设施段等各个相关设备维管部门沟通、协调，拟定安全合理的修改方案，以对既有郑西高铁造成的影响降到最小。

4.2 新增与既有异物侵限监测点在同一轨道区段时，需进行结合处理与联动控制

本次新增异物侵限监测点铁路里程为K599+478.5，在郑西高铁中继站2管辖的信号区间闭塞分区内，下行线落在5991BG，上行线落在5998BG。5991BG和5998BG轨道区段内已有异物侵限监测点各1处，分别在铁路里程K598+900、K599+881处，分布情况如图3所示。

由于该工程新增的异物侵限监测系统需接入既有信号系统，若按照常规项目经验，需要在列控中心增设独立的防灾接口，对既有信号联锁及列控软件进行修改，做多次仿真试验。

本着节约投资、降低工程实施难度、确保既有运营铁路安全的原则，在对既有设备使用情况详细调查、充分征求设备管理单位意见的基础上，结合信号基本电路防护原则，通过设计优化，将新增的异物侵限继电器串接在对应轨道区段相应的接收电路及列控采集电路中。将新增异物侵限点的处理电路与既有处理电路相结合，以实现同一区段不同异物侵限监测点的同步防护和联动控制，避免了

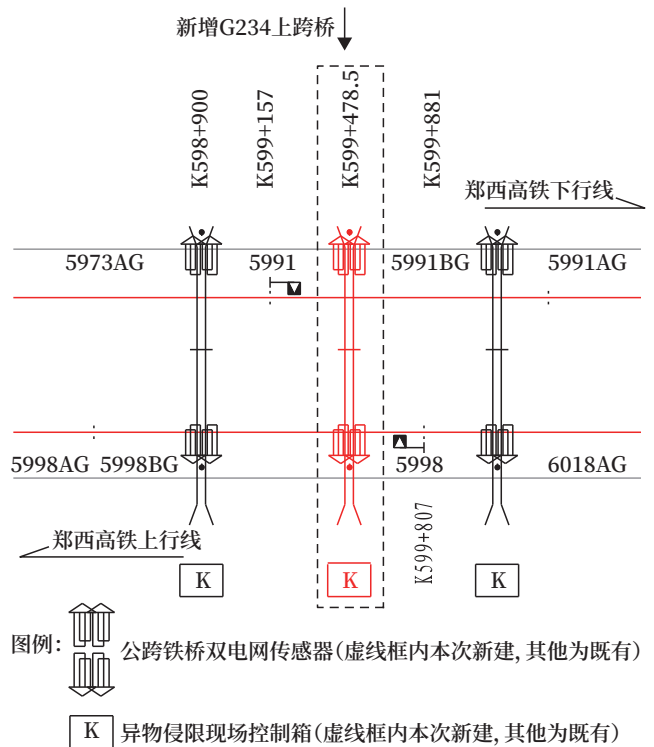


图3 该工程异物侵限监测点分布示意

Fig.3 Schematic diagram of the distribution of foreign object intrusion monitoring points in the project

列控中心、无线闭塞中心、计算机联锁系统等软件的修改，减少对既有运营设备的多次挂载试验和反复修改。

4.3 安全监控单元独立新设，降低施工难度和风险

该工程临近基站内已有安全监控单元机柜1架，该监控单元已接有3处报警点。若按照常规项目经验，新增异物侵限监测报警点后，需要对既有监控单元扩展板件，再重新调试接入既有防灾系统中。1个“天窗点”内完成施工难度较大，稍有不慎还会破坏既有报警点的逻辑关系，实施风险较高。

通过研究郑西高铁既有自然灾害及异物侵限监测系统的组网方式，以及既有基站内的设备布置、空间剩余和电源预留情况等，提出新增安全监控单元1架，将新增异物侵限监测报警点单独部署于该监控单元，不对既有监控单元进行改造。

配套扩容通信传输系统设备板件，为该监控单元单独提供了2×2 M（FE接口）专用数据上传通道，同时新敷设信号电缆到信号室。并将新增安全

监控单元在“天窗点”外提前安装到位和加电调试,大大降低施工难度,避免对既有监测点及设备造成不良影响。

4.4 视频监控结合整体综合视频监控系统改造计划提前谋划

郑西高铁既有综合视频监控系统使用模拟标清摄像机。若按照常规项目经验,新增工程也应与既有标准保持一致,使用模拟标清摄像机。但通过与设备维管部门沟通了解郑西高铁有综合视频监控系统的改造计划,改造后将采用网络数字系统。

为了与改造计划相匹配,避免该工程处的二次改造,提出采用网络数字定焦枪型摄像机。利用为安全监控单元扩容的传输系统设备板件来新增专用FE接口数据通道,将监控数据直接传输到在对应高铁站通信机械室内新增的存储转发服务器、管理服务器、磁盘阵列等后台设备中。并通过新增的后台设备实现与既有系统的兼容调用,纳入郑西高铁既有综合视频监控系统中,后期改造实施时该高铁站通信机械室也能利用新增的后台设备,减少重复改造。

4.5 设计过程中统筹协调铁路部门,同步实施多项工作

针对该工程涉及铁路设备多、维管单位接口多、工程环境和施工条件复杂等特点,设计过程中多次组织设计、施工方案研讨会,协调各站段、处室,沟通代建单位、代管单位、施工及设备厂家,合理制定指导性施工组织设计。结合现场实际情况及具体施工步骤,充分利用“天窗点”,尽可能在一个“天窗点”内完成多项工作。确定合理的“要点”次数,将安全监控单元提前安装到位并加电调试、监控点提前接入视频系统、各处终端同时进行数据修改和试验等,尽可能减少对铁路运输的干扰,减少施工工期。

5 结语

本文依托于国道234线郑州境内国道310以南段(荥阳乔楼至崔庙段)改建工程上跨郑西高铁立

交工程,主要分析了干线公路上跨运营高铁立交工程的异物侵限监测系统设计的重难点,并提出解决措施。该工程异物侵限监测系统于2021年1月顺利通过竣工验收,对后续国道234线上跨郑西高铁立交桥顺利验收、投入运营使用起到了重要作用,得到铁路等部门的充分肯定。

该工程为郑州局管辖范围内首次上跨运营高铁立交桥的异物侵限监测系统设计。对郑西高铁行车调度指挥系统提供有效的支撑,对本专业技术进步有一定的借鉴和促进作用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 铁路安全管理条例: 中华人民共和国国务院令 第639号[S]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2013.
- [2] 陈斌. 爬进高铁桥梁“肚子”里检修的工人[EB/OL]. (2017-08-23) [2023-06-13]. http://news.cyol.com/content/2017-08/23/content_16424731.htm.
- [3] 河南日报. 国道234上跨郑西高铁双幅桥成功同步转体,计划今年6月底通车[EB/OL]. (2021-01-19) [2023-06-13]. <https://zzjt.zhengzhou.gov.cn/mtjj/4698778.jhtml>.
- [4] 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, 2014.
- [5] 李浩. 简谈铁路自然灾害及异物侵限监测系统技术及方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2014, 11(5): 39-42.
Li Hao. Technologies and Schemes of Disaster Prevention and Safety Monitoring System in Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2014, 11(5): 39-42.
- [6] 李鹏. 高速铁路异物侵限监测范围对列控系统处理影响研究[J]. 铁路计算机应用, 2017, 26(2): 18-21.
Li Peng. Impact of Range of Foreign Object Invasion Monitoring on Processing of Train
(下转 66页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.02.007

铁路综合视频一体化安全防护平台研究

艾博慧

(通号通信信息集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 通过对铁路综合视频监控系统安全防护现状的分析, 从安全的角度出发, 提出一体化安全防护平台的设计方案。通过对铁路综合视频监控系统的各类资产进行全面识别、探知与管理, 解决资产管理不统一、安全防护不到位、态势感知不清晰的问题。采用先进的可视化技术手段, 从多角度直观展示铁路综合视频监控系统的运行状态、性能指标及安全信息, 构建其全局安全视图, 实现资产安全状态的实时监测与控制, 最大限度地降低资产风险, 使原有零散的安全管理达到统一, 实现规范化与自动化, 极大提升铁路综合视频监控系统的安全防护水平与管理效能。

关键词: 铁路综合视频监控系统; 一体化安全防护平台; 各类资产; 安全视图; 安全管理

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0037-06

Research on Integrated Security Protection Platform for Railway Integrated Video Surveillance System

Ai Bohui

(CRSC Communication & Information Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: Based on the analysis of the current situation of security protection of railway integrated video surveillance system, this paper presents the design scheme of an integrated security protection platform from the perspective of security. Through the comprehensive identification, exploration and management of all types of assets in the railway integrated video surveillance system, the problems of inconsistent asset management, inadequate security protection and unclear situational awareness are solved. It uses advanced visualization technology to visually display the operating status, performance indicators and safety information of the railway integrated video surveillance system from multiple angles, and constructs a global security view of the railway integrated video surveillance system to realize real-time monitoring and control of the security status of assets, minimize asset risks, and unify the original scattered security management to achieve standardization and automation. It greatly improves the security protection level and management efficiency of the railway integrated video

收稿日期: 2023-07-10; 修回日期: 2024-01-28

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司重点课题项目 (N2022B001)

作者简介: 艾博慧 (1990—), 女, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路综合视频监控方向, 邮箱: aibohui@crsc.cn.

surveillance system.

Keywords: railway integrated video surveillance system; integrated security protection platform; various assets; security view; security management

铁路综合视频监控系统通过实时监视记录铁路运营情况和行车安全的信息，为铁路安全运营提供重要的辅助手段。其安全性一直备受高度关注，特别是近年来等级保护制度的实施，对其安全防护提出了更高要求。近年来，中国国家铁路集团有限公司积极推进铁路通信网络安全标准体系建设，已陆续制定和发布一系列网络安全技术规范标准。其中《铁路通信网络安全技术要求 第4部分综合铁路视频系统》(Q/CR 783.4-2021)规范^[1]，从标准层面强化和规范铁路综合视频监控系统网络安全防护的建设要求。

为应对铁路综合视频监控系统面临的严峻网络安全威胁，单一的防护手段是远远不够的。任启军等专家^[2]研究了一种视频安全防护平台，通过采取分层防御、多元防御等措施，集中管理各类安全设备和构建设备之间的联动，将点状防御手段提升为全方位防控手段。要从物理环境、区域边界、通信网络^[3]等各个角度入手，构建全面的安全防护体系，融合多种安全手段与管理措施，提高整体安全防护能力。

本文在满足视频监控业务安全需求的基础上，从整体上分析和设计一套较为完整的安全防护方案与平台架构。从资产、策略、风险、漏洞与事件等多个维度入手，深入管控资产的每个环节，保障铁路综合视频监控系统的安全稳定运行。

1 现状分析

铁路综合视频监控系统（简称视频系统）是一个庞大的、功能丰富的网络化信息系统，内部部署大量的网络设备、监控硬件与软件系统，其网络安全防护现状主要体现在以下几点。

1) 缺乏统一监管的安全防护措施。各类资产自身已采取一定的安全防护基础措施，然而网络中的

资产往往较为分散与独立，资产之间相互隔离，安全防护措施难以在视频系统内统一规划与应用。

2) 安全防护范围有限。安全设备主要在网络边界形成外围防护墙，无法覆盖内部区域，使网络内核心资产的防护仍面临较大风险。而且其防护功能独立、散落，缺乏协调联动机制，一旦某设备失效，网络安全防线将出现较大漏洞，难以得到及时修补。

3) 安全评估不系统。无法准确判断视频系统当前面临的主要安全威胁与风险，安全防护措施的制定针对性不强，容易产生较大的防护漏洞。

综上所述，现阶段视频监控系统网络安全防护主要采取分散的安全措施和各类安全设备的外围防护，导致安全资源耦合度低，威胁检测相对滞后，安全响应周期过长，安全管理难以统一，安全状况不易掌控。因此，构建一体化安全防护平台，实现资产、事件、威胁之间的有效关联，使安全防护工作由被动应急转为主动防御^[4]，共同推动安全防护的智能化与动态化。

2 设计思路

一体化安全防护平台的设计思路应以保证视频系统的网络安全^[5]管理为核心，从资产采集入手，至数据支撑和可视化应用终止，共同构建一体化的安全管理与防护体系。

1) 构建统一的安全数据支撑中心。采集各类安全数据，如网络设备信息、运行状态、流量日志和事件报警等，建立结构化数据中心。

2) 构建视觉化的安全数据管理。通过对资产运行状态与事件的持续监测，识别资产风险与异常情况，实现对网络安全状况的实时监测与态势感知。

3) 部署智能化的管控功能。通过自动化地实施隔离、修复等响应，实施主动防御。如安全策略制定与推送、网络访问控制、防火墙与IPS配置、网

网络设备健康管理等。

因此，一体化安全防护平台采用系统化设计思路，加强资产管理与数据采集，实施主动防御与管控，实现视频系统的安全可见、可控与可管^[6]。

3 系统设计

3.1 总体架构

一体化安全防护平台的总体架构可以分为采集层、数据层、业务层和展示层4部分。采集层采集数据，数据层存储和处理数据，业务层实现安全管理与控制，展示层直观呈现业务处理操作与结果展示，如图1所示。

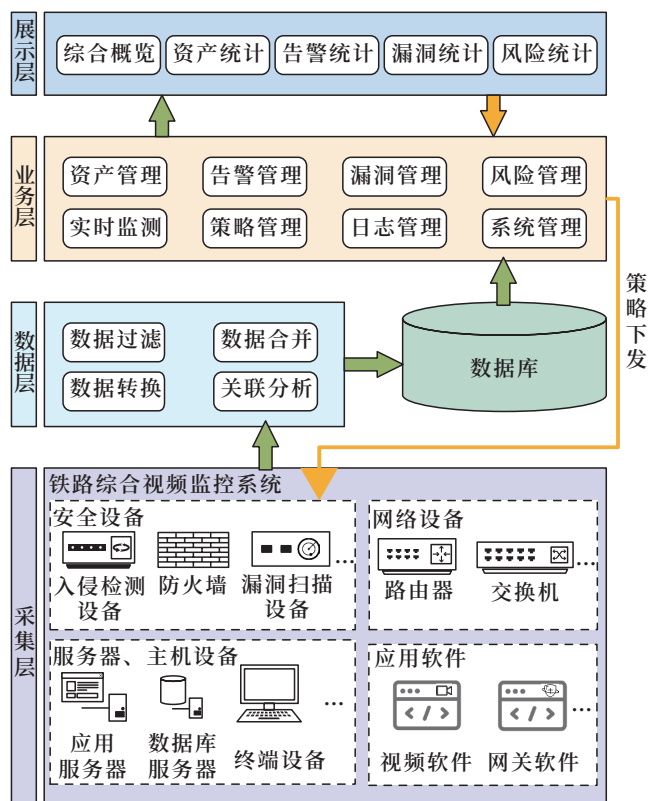


图1 总体逻辑架构

Fig.1 Overall logical architecture

1) 采集层：主要负责各种相关安全数据的采集，重点在于数据的获取。通过标准化的采集接口或代理方式^[7-9]，定期采集服务器、网络设备、安全设备等资产的配置信息、运行状态等资产管理数据；以及操作日志、访问日志、安全日志等管理数据和流量信息统计数据；从公开渠道采集网络威胁、漏

洞、病毒等威胁情报数据。实现对异构数据源的统一采集，形成安全数据池。

2) 数据层：负责原始安全数据的预处理，依托数据库来存储和管理处理后的安全数据，为业务层和展示层提供数据支持。对采集的原始数据进行清洗、过滤，剔除无效数据与重复数据，完成标准化数据格式转化。对数据进行分类和整理，形成资产数据、事件数据、威胁情报等分类，建立标准化的数据模型。实现数据的集中式存储与管理，构建内部统一的安全数据中心。

3) 业务层：基于结构化的安全数据，对视频系统面临的各类威胁与事件进行管理与防御，是一体化安全防护平台的功能核心。平台的业务模块主要体现在资产管理、实时监测、告警管理、安全策略管理、漏洞管理、日志管理、风险管理和系统管理等方面，具体如下。

资产管理：发现管理范围内的各类网络设备、软件系统、业务系统等资产，构建资产库，识别资产间的依赖关系。

实时监测：通过监测设备数据信息来展示网络探测结果和事件响应情况，使管理人员第一时间掌握网络安全态势。

告警管理：过滤无关告警、重复告警和错误报告，根据告警内容和影响范围确定优先级，明确处理顺序和响应时间，定期对告警数量、类型、来源和处理情况等信息进行统计分析。

安全策略管理：根据威胁态势和风险评估结果制定相应的安全策略，统一推送与下发。实时监控资产运行状态与策略执行情况，更新设备配置、修复新发现漏洞等。

漏洞管理：跟踪管理范围内资产的漏洞信息，提供漏洞数量统计、高危漏洞列表等信息。

日志管理：将不同日志进行关联分析，判断是否与同一事件相关联。利用日志信息对系统或资产的操作行为进行审计，判断操作是否规范合理。

风险管理：基于资产管理和告警管理结果评估资产面临的风险，划定风险范围及分布，找出高风

险资产与控制重点。

系统管理：负责配置和管理安全防护平台的设备设施以及权限管理，建立统一的安全机制，实现安全防护平台的高效集中管理。

4) 展示层：通过专业的安全管理界面实现对数据层数据、业务层功能与结果的集成与展示。基于大屏幕监控墙或用户终端，通过图表、报表与 Web 界面等多种形式，以直观的信息或图像形式展现视频系统安全态势和资产管理全貌。

3.2 运行机制

一体化安全防护平台的业务机制贯穿资产管理、告警管理、漏洞管理、风险管理等全过程，通过漏洞修补和安全策略实行管控措施，并以直观的形式展现管控效果。

1) 资产管理机制

主要用于发现管理范围内的各类资产，建立资产管理库，并识别资产间的依赖关系。采集资产数据，并对资产信息进行解析与判断，确定资产的具体类型，建立资产分类，按资产的关键属性完成入库。分析资产间的数据流向、网络连接关系与业务依赖等，生成资产拓扑图。通过持续采集新的资产数据与变更监控，更新资产管理库，保证资产数据的准确性。

2) 告警管理机制

主要用于对资产、漏洞的异常情况或超过阈值的情况实施告警。根据不同的监控对象设定相应的告警策略，并对资产运行数据、日志数据、网络流量、入侵检测结果等持续监测，检测到超过告警阈值的异常情况或告警，生成相应的告警信息。同时具有告警去重机制和优先级划分机制，将告警事件以短信、邮件、微信推送等形式发出，对处置结果进行管理与跟踪，根据处理情况对告警进行归档或更新。

3) 漏洞管理机制

主要用于集中管理与展示各类漏洞的相关信息。对漏洞数据进行采集、分析和统计，监测漏洞状况的变化趋势。根据漏洞的技术类型、危害程度、影响资产类别等属性对漏洞进行分类，得到各类漏洞

的具体数量。

4) 风险管理机制

主要用于识别、评估和统计各种风险信息。识别视频系统中存在的风险源，对识别出的各类风险源进行定量或定性评估，对各类安全告警、漏洞信息等分析，预估资产存在的风险，合理确定风险范围。通过风险资产评估统计，识别关键资产及高风险资产，统计其数量与类型分布，是风险管理的重点防护对象。

4 关键技术

一体化安全防护平台的关键技术主要围绕资产集中管理、日志结构化、关联分析、协同联动与可视化等展开。

4.1 资产集中管理技术

利用资产集中管理技术，整合不同资产数据，实现其配置、运行状态、日志与事件信息的统一管理，解决不同类型资产信息的隔离。识别资产之间的依赖关系，掌握各类资产的使用状况，持续审计与跟踪资产的变化情况，发现资产漏洞与风险，实施集中监控和访问控制，有效提高资产及视频系统的安全性。

4.2 日志结构化处理技术

由于原始日志的格式多种多样、不规范，无法统一存储和分析^[10]。通过提取日志中的关键字段信息，重新封装为统一的结构化格式，统一入库管理，便于统计和分析处理、可视化与报表输出，大大提高日志的可管理性、可操作性和可分析性，使原本独立、格式不规范的各类日志数据实现关联、集成与深入挖掘。

4.3 日志关联分析技术

单一日志通常无法还原完整的攻击活动过程，因此，将数据库中各类结构化的日志进行整合，构建数据之间的关联^[11-13]。关联日志时间、源地址/目标地址，追踪威胁的来源点与传播路径；关联不同设备与系统的日志，全面了解其运行状态、性能指标与安全事件。

4.4 协同联动技术

视频系统中各安全设备独立运行，无法进行有效的数据共享和功能协作，防护措施难以加成，无法针对复杂的网络攻击实现多层防护，安全性及威胁响应能力较弱。因此，通过协调联动技术，使不同安全设备互相协作，汇集不同的监测数据与统计信息，构建全面的网络运行状况视图和威胁态势感知，发挥协同效应，达到“1 + 1 > 2”的防护管理效果。

4.5 可视化展示技术

由于安全数据具有信息量大、表现形式不直观的特点，因此，利用可视化技术从大数据中提取有价值信息，统一数据表达方式、简化管理界面，提供统一的管理界面，以图表、图形等形式直观展示网络的实时运行状态与安全事件，快速感知安全变化，定位关键问题，提供丰富的交互操作。

5 现场应用

为满足济南铁路局的安全防护需求，在视频区域节点应用了安全防护平台，用于全面监控和管理区域网络安全状况，如图 2 所示。并取得了以下安

全防护效果。

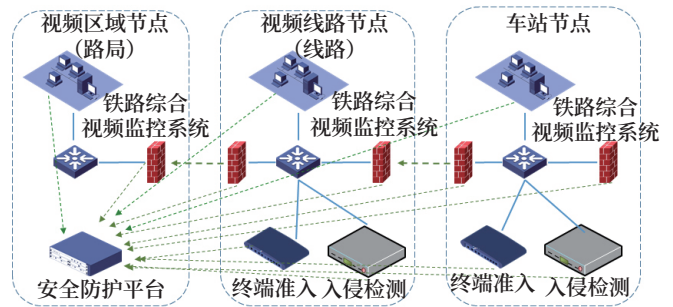


图2 部署应用架构

Fig.2 Deployment of application architecture

1) 实现了对区域内所有 IT 资产的集中监控管理，统一掌握车站、线路、区域等节点的视频系统资产状况。

2) 通过监控概览界面如图 3 所示，可以清晰地全面地掌握视频系统中的各类资产与安全情况，实现了安全管理的一体化和高效运转。

3) 通过资产管理界面如图 4 所示，清晰掌握各资产类别和目录下的资产具体分布情况及运行状态。

4) 持续监测区域网络安全态势，发现潜在威胁，并迅速响应各类安全事件。

安全防护平台的部署应用，实现了区域视频系

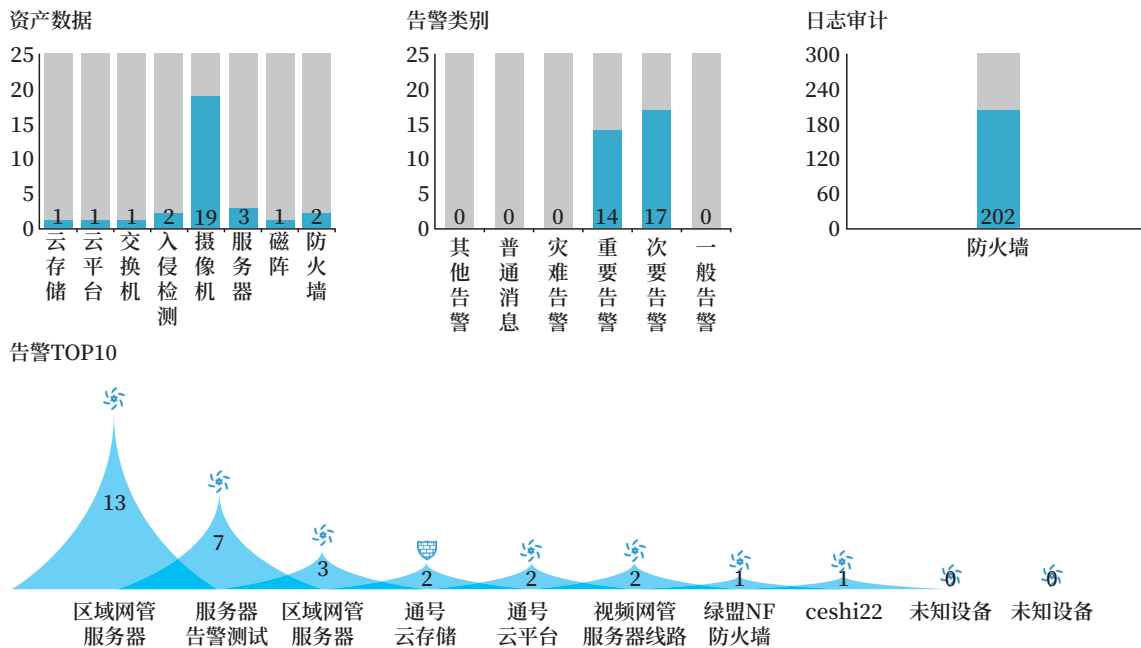


图3 监控概览界面

Fig.3 Monitoring overview interface



图4 资产管理界面
Fig.4 Asset management interface

统资产的集中统一管理，大幅提升系统的安防防护水平，达到了保障铁路安全运行的目的要求。

6 结论

一体化安全防护平台通过收集系统中各类资产信息，识别资产间的关联关系，构建资产全景图。分析各类安全事件与监控信息，挖掘隐藏在大数据背后的安全风险与问题，并以直观方式全面展示视频系统的安全全貌。平台的成果应用，有效提高了视频区域安全管理水平，也为网络安全管理现代化和智能化的推进提供了有力支撑。后续研究重点应聚焦于移动端的接入与应用，方便管理人员的移动执勤与远程管控；优化大数据分析算法，实现对异常事件和潜在威胁的主动识别与响应。

参考文献

[1] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信网络安全技术要求 第4部分综合铁路视频系统: Q/CR 783.4-2021[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.

[2] 任启军, 商秀月, 王子渊. 铁路综合视频监控系统安全防护研究[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(10): 49-53.

Ren Qijun, Shang Xiuyue, Wang Ziyuan. Study on

Network Security Protection for Railway Integrated Video Surveillance System[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(10): 49-53.

[3] 叶礼邦, 朱林, 刘强. 基于等保2.0的视频监控系统安全防护研究[J]. 信息安全与通信保密, 2022, 20(12): 30-38.

Ye Libang, Zhu Lin, Liu Qiang. Research on Security Protection of Video Surveillance System Based on Classified Cyber Security Protection 2.0[J]. Information Security and Communications Privacy, 2022, 20(12): 30-38.

[4] 刘大为. 铁路网络安全面临的严峻形势和主要对策研究[J]. 铁道通信信号, 2023, 59(1): 1-5.

Liu Dawei. Analysis of the Challenges and Countermeasures in Railway Cybersecurity Protection[J]. Railway Signalling & Communication, 2023, 59(1): 1-5.

[5] 许辉. 铁路综合视频监控系统网络安全建设的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(5): 39-43.

Xu Hui. Research on Cyber-security of Railway Integrated Video Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 39-43.

(下转 47页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.02.008

高速铁路通信光缆故障的定位分析与处理

陆守东

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200434)

摘要: 高速铁路通信光缆承载着列车调度指挥及控制等信息, 是保障高速铁路运输安全的重要组成部分, 因此光缆发生故障后的分析处理显得尤其重要。通过多年现场维护经验总结, 得出光缆故障分析和处理方法, 有助于快速判断、解决光缆故障, 为高铁通信光缆的维护工作提供借鉴。

关键词: 铁路通信光缆; 定位; 故障处理

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0043-05

Analysis and Handling of Fault Locations for High-speed Railway Communication Optical Cables

Lu Shoudong

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

Abstract: High-speed railway communication optical cables carry information such as train dispatching, command and control, which are an important part of ensuring the safety of high-speed railway transportation. Therefore, the analysis and handling of optical cable faults is particularly important. Through the summary of years of on-site maintenance experience, the analysis and handling methods of optical cable faults are derived, which are helpful to quickly judge and solve optical cable faults and are able to provide a reference for the maintenance of high-speed railway communication optical cables.

Keywords: railway communication optical cable; positioning; fault handling

铁路通信光缆承载着高铁运输安全的重要信息, 光缆的安全畅通是保障信息传输的物理通道。目前铁路通信维护部门对光缆故障后产生告警的处置非常重视, 基本能够在规定的时间内完成故障的处理, 但对于未产生告警的光缆故障重视程度不

足, 导致故障问题随着时间不断劣化, 最终影响到铁路通信系统正常运行。故障处理在方法上也比较单一, 大多采用更换光缆的方式直接替换, 没有排查故障分析原因, 不但造成了经济损失外, 还不利于后期防范工作的开展。一旦光缆故障, 如何定位分析查找故障位置, 采取何种方法处理光缆故障, 尽量缩短光缆故障延时, 减少对高铁运输安全的影响, 是做好光缆维护工作的重中之重。下面重点对

收稿日期: 2023-08-15; 修回日期: 2024-01-09

作者简介: 陆守东(1982—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信, 邮箱: 18055151199@163.com。

高铁通信光缆故障种类、定位分析以及处理方法进行分析探讨。

1 光缆故障种类及原因

高速铁路通信光缆一般沿上下行槽道敷设两根干线光缆，所有的通信业务利用两条光缆相互保护，正常情况下一根光缆中断会产生大量告警，但业务能够正常使用，不会导致行车中断。光缆故障大致可分为两根光缆全部中断、单根光缆中断、光缆中部分光纤中断或受损、单根光纤中断或受损 4 大类。故障产生的原因也有所不同，主要有外界和光缆自身两大类原因。

1.1 两根光缆全部中断

当高速铁路上下行光缆全部中断，此时必定影响业务导致列车无法正常运行，必须坚持抢通一侧的原则，申请临时计划抢通一侧光缆在用光纤，保证行车业务正常运行，恢复铁路行车秩序。两根光缆全部中断的原因主要为上下行光缆同径路，由施工、火灾以及偷盗等外界因素导致。

1.2 单根光缆中断

当单根光缆中断时，传输网管上会产生大量的告警信息，但由于另外一侧光缆的保护，正常情况下行车业务不受影响。此时应按照先抢通后修复的原则，利用另外一侧光缆备用光纤进行倒代，将中断光缆的在用光纤临时倒通，然后再组织修复。单根光缆中断主要原因与两根光缆全部中断类似，基本上都为外界因素导致。

1.3 光缆中部分光纤中断或受损

此时传输网管可能会产生一些告警，但比单根光缆中断告警数量少，也可能受影响的光纤都为备用光纤，网管无任何告警信息。针对传输网管存在告警的在用光纤，按照先抢通后修复的原则，将故障光纤倒代至备用光纤上消除网管告警，然后再组织修复。部分光纤中断或受损的原因除了施工、火灾和偷盗外，基本为鼠害、过涵过沟防护不良、槽道盖板砸伤等情况导致光缆变形光纤受力而产生的故障。

1.4 单根光纤中断或受损

对于单根光纤中断产生告警时，应按照先抢通后修复的原则，先倒代消除告警，再组织故障的处理。对于单个在用光纤受损，由于受损产生的衰耗大小不一，设备接收光功率也可能未超过灵敏度，所以设备上也可能不会产生任何告警。在日常网管光功率统计或现场测试发现后，也要尽快申请计划组织故障处理，避免故障点继续劣化影响设备正常使用。在日常维护中除鼠害和砸伤外部因素以外，光缆本身在接头盒内断纤、接头不良以及盘纤弯曲半径过小等原因较为常见。

2 光缆故障定位分析方法

光缆故障的定位分析就是利用网管告警和现场测试的数据，与光缆敷设径路、长度、接头位置等基础信息进行综合分析，最终目的是查找到光缆故障点的精确位置。光缆故障的定位分析方法从判断过程来分，大致可以分为初步分析法、预定位分析法和精准定位分析法。

2.1 初步分析法

初步分析法是通过网管告警分析光缆故障的区间范围，适用于光缆部分光纤中断或光缆中断故障的分析。当光缆中断或部分在用光纤中断时，传输网管上多套设备之间会产生连接中断告警，此时查找分析出最短距离两个设备之间的链路中断，就是光缆中断的区间范围。然后安排人员到达就近机房，使用光时域反射仪（OTDR）对故障光纤进行测试，测试出断点与机房的距离，为后续的分析提供数据支撑。

2.2 预定位分析法

预定位分析法适用于所有光缆故障的判断分析，根据光缆故障的现象、影响范围以及紧急程度。预定位分析方法也有所差异，可以从是否为施工影响分两类来分析。

1) 施工影响光缆故障的预定位分析

一般光缆中断或多个光纤中断，传输网管上会产生大量连接中断告警，在没有维护人员作业和不

可抗力的情况下，基本都为施工影响导致。此时施工地段基本存在大型机械和动土的迹象，应根据初步分析法判断的区间，立即安排人员现场测试出断点与机房的距离，与公里标进行换算作为预定位位置，尽快前往查找施工地点，找到光缆断点后尽快组织人员抢通。

2) 非施工影响光缆故障的预定位分析

当光缆单纤中断或受损时，网管只有单方向告警或不告警，基本可以排除外界施工影响，此时根据处置原则倒通业务后进行预定位分析。根据现场测试故障点距机房的距离（一般不考虑光缆预留的情况下），将测试距离按 95% 的长度换算成公里标，与测试机房的公里标进行叠加换算，预定位故障公里标位置。然后再定位就近光缆接头盒，查询光缆径路图等资料，找出距离预定位故障点公里标最近的光缆接头盒，作为后续判断查找需要打开的接头。由于仪表测试存在一定的误差，加上线路上光缆径路走向、预留等不确定因素，测试故障点距离越长误差就越大，不利于精准定位查找故障点，所以一般将 OTDR 测试故障点距离控制在 1 km 左右，这也是要查找打开预定位就近接头的原因。

2.3 精准定位分析法

精准定位分析法适用于光缆单纤中断或受损故障的定位。通过预定位分析到达现场找到就近的接头，打开接头盒找出故障光纤，将故障光纤弯曲人为制作故障点（直径小于 1 cm），联系机房测试，也可在接头盒内断开故障光纤使用 OTDR 进行现场测试，测试出故障点距接头盒距离。然后采用米标查找法寻找故障点。在接头盒处查看光缆米标数，将测试距离与米标进行叠加，换算成光缆故障点的米标数精确定位。找到精准定位光缆的米标数后，由于仪表测试可能会有正负误差，所以应以精准定位米标数为中心，向两侧掀起槽道盖板排查故障点。另外针对光缆断纤的故障，故障范围缩小到 2 km 左右，还可以采用红光笔送红光的辅助手段查找故障点。当然打开接头盒后，通过测试故障也可能在接头盒内，现场检查故障原因采用相应的处理措施

即可。采用精准定位分析法查找光缆的故障，一般为鼠害、光缆砸伤居多。

3 光缆故障的处理方法

光缆故障的处理是在故障定位分析查找到故障点后，根据现场故障的具体原因，采取相应的处理方法，从而解决光缆故障的问题。光缆故障处理方法较多，总结下来大致可分为倒代法、替换法、熔接法、盘纤法和纵剥法 5 种。

3.1 倒代法

倒代法适用于光缆故障影响设备正常使用的处理方法，是光缆故障的应急处置措施，就是将故障光缆的在用光纤倒至另外一侧光缆的备用光纤上，消除网管上光路连接中断的告警，保证所有业务临时恢复正常。当光缆故障彻底解决后，必须将临时倒代的光纤倒回原光缆上，确保两条光缆上的业务始终处于相互保护的状态。当然，如果光缆是部分光纤或单纤中断影响业务，在本缆备用光纤具备倒代条件的情况下，优先使用本缆备用光纤倒代，保证应急处置过程中所有业务的保护还在两根光缆上。

3.2 替换法

替换法是光缆故障处置比较常用的方法，适用于光缆中断及部分光纤中断故障的处理，一般受外界施工等造成光缆中断采用此方法居多。它是使用一段备用光缆覆盖故障位置重新割接，达到恢复光缆正常使用的目的。采用替换法处理光缆故障，一般使用的备用光缆应不小于 200 m，避免两个接头间光缆长度过小，导致 OTDR 特性测试时产生盲区效应，将两个接头的衰耗叠加为一处光纤衰耗点，不利于故障点的判断与查找。实际的故障处理中，使用替换法新增的光缆及接头，无疑会降低光缆的特性指标，但降低的参数都比较小，对业务的影响也微乎其微。但对于承载骨干或局干光传送网（OTN）业务的光缆，建议还是利用原有一个或两个接头重新布放光缆进行割接，尽量减少对光缆本身特性指标的影响。

3.3 熔接法

熔接法适用于光缆中断、部分光纤、单纤中断或受损故障的处理,是在不使用备用光缆的情况下直接对故障光缆或光纤进行熔接处理。当光缆中断在故障点有预留且满足接续长度时,应采用熔接法直接在断点增加一处接头,对故障光缆进行熔接处理。部分光纤、单纤中断或受损故障,当定位分析判断在接头盒内排除弯曲半径过小或受力导致时,基本都为接头不良,应在接头盒内找出故障光纤断开接头直接熔接恢复。

3.4 盘纤法

盘纤法适用于部分光纤或单纤受损故障的处理,此时光纤并未中断,光纤处于受力或弯曲半径过小的状态,导致光纤产生受损衰耗过大。一般在光缆成端的光纤配线架 ODF 盘和接头盒内较为常见。盘纤法就是将受力或弯曲半径过小的光纤重新盘纤,保证光纤不再受力且弯曲半径大于 2.5 cm 以上,从而解决光纤受损衰耗过大的故障。

3.5 纵剥法

纵剥法适用于部分光纤、单纤中断或受损故障的处理,与使用盘纤法不同的是光缆故障点不在接头盒内,而是光缆本身因外力受伤,光缆内束管变形挤压光纤导致受损或中断,一般受鼠害和砸伤的情况居多。纵剥法是在光缆受伤处,以受伤点为中心向两侧开剥光缆 80 ~ 100 cm,在不中断束管和光纤的情况下,将束管受伤变形处使用尖嘴钳恢复束管的物理形态,正常情况下光纤受损的衰耗都会消失,最后再将束管盘一圈在接头盒内加固即可,需要注意的是束管变形处一定要盘放在接头盒侧面中间的位置,防止放在接头盒两端束管弯曲处受力导致再次变形产生衰耗。当然,束管受伤处也可能造成光纤中断,一般鼠害咬断的较多,在使用纵剥法发现光纤中断时,还应采用熔接法将中断光纤的整个束管全部熔接,最终解决光缆的故障问题。

4 总结

铁路通信光缆是高铁运输安全的基础保障,也

是传送铁路各类信息的物理通道,光缆通道的安全畅通,直接影响到高铁运行安全。日常维护过程中一旦发现光缆故障,必须根据故障现象、紧急程度,坚持先抢通后修复的原则,尽量排除光缆故障的影响,减少对高铁行车安全的干扰。同时根据光缆故障的现象和原因,选择合适的定位分析和故障处理方法,在尽量不降低光缆特性指标的情况下,多个方法综合运用解决光缆故障,为高速铁路运输安全保驾护航。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 铁路通信维护规则: 铁总运 [2014] 295 号 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [2] 李仁友. 基于铁路通信光缆维护要点分析与故障处理探究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (2): 72-74.
Li Renyou. Research on Maintenance Key Points Analysis and Fault Handling Based on Railway Communication Optical Cable [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 72-74.
- [3] 李东阳. 铁路通信光缆故障及防护技术分析 [J]. 科技创新与应用, 2020 (34): 135-136.
Li Dongyang. Fault Analysis and Protection Technology of Railway Communication Optical Cable [J]. Technology Innovation and Application, 2020(34): 135-136.
- [4] 樊福军. 既有铁路线光缆割接方案及安全措施 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2012, 9 (4): 85-87.
Fan Fujun. Cutover Scheme of Existing Railway Fiber Optic Cables and Safety Measures [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2012, 9(4): 85-87.
- [5] 柏友富. 光缆线路大衰耗点的分析和处理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2007, 4 (6): 27-29.
Bai Youfu. Analysis and Process on High Loss

- of Optical Cable Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2007, 4(6):27-29.
- [6] 郭家欣, 贾鹏. 试析铁路通信网光纤传输安全及其保护措施 [J]. 中国新通信, 2019, 21(18): 19.
Guo Jiaxin, Jia Peng. Analysis on Optical Fiber Transmission Safety and Its Protection Measures in Railway Communication Network[J]. China New Telecommunications, 2019, 21(18):19.
- [7] 姚伟. 通信光缆障碍的分析查找及处置 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(12): 66-71.
Yao Wei. Analysis, Locating and Disposal of Obstacles of Communication Optical Cables[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 66-71.
- [8] 李远刚. 基于光缆传输的信号系统拓展探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2014, 11(4): 20-24.
Li Yuangang. Discussion on Signal Architecture Expansion Based on Fiber Cable Transmission[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2014, 11(4): 20-24.
- [9] 何艳君. 铁路通信网光纤传输安全及其保护措施 [J]. 四川建材, 2020, 46(7): 121, 135.
He Yanjun. Optical Fiber Transmission Safety of Railway Communication Network and Its Protection Measures[J]. Sichuan Building Materials, 2020, 46(7): 121, 135.
- *****
- (上接 42页)
- [6] 李继元. 铁路通信网络安全防护研究 [J]. 中国铁路, 2022(6): 94-98.
Li Ji yuan. Research on Protection of Railway Communication Network Security[J]. China Railway, 2022(6): 94-98.
- [7] 吴兆松. Zabbix 企业级分布式监控系统 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2019.
- [8] 宋玉峰. 云平台下 RESTful Web Service 架构的研究与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [9] 刘磊, 孙路强, 周利霞, 等. 基于 Syslog 的网络日志管理平台 [J]. 电子技术与软件工程, 2019(5): 12-14.
Liu Lei, Sun Luqiang, Zhou Lixia, et al. Network Log Management Platform Based on Syslog[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2019(5): 12-14.
- [10] 刘吉强, 何嘉豪, 张建成, 等. 基于解析器树的日志压缩优化方法 [J]. 信息网络安全, 2022, 22(4): 30-39.
Liu Jiqiang, He Jiahao, Zhang Jiancheng, et al. Log Compression Optimization Method Based on Parser Tree[J]. Netinfo Security, 2022, 22(4): 30-39.
- [11] 孙国辉, 李佳奇, 李超民. 可视化多协议网络数据传输系统 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11(34): 48-51.
Sun Guohui, Li Jiaqi, Li Chaomin. Visual Multi-Protocol Network Data Transmission System[J]. Technology Innovation and Application, 2021, 11(34): 48-51.
- [12] 陈宝国, 宋旻. 基于模糊聚类的分布式 Web 日志挖掘方法 [J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2020, 19(3): 54-58.
Chen Baoguo, Song Yang. Distributed Web Log Mining Method Based on Fuzzy Clustering[J]. Journal of Taiyuan Normal University (Natural Science Edition), 2020, 19(3): 54-58.
- [13] 黄式敏. 基于大数据的异构网络安全监控算法研究 [J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(3): 72-73, 81.
Huang Shimin. Research on Security Monitoring Algorithm of Heterogeneous Network Based on Big Data[J]. Computer Knowledge and Technology, 2023, 19(3): 72-73, 81.

重载铁路公专网车-地通信监测技术研究

蔡 军

(国能新朔准池铁路(山西)有限责任公司, 山西朔州 036002)

摘要: 公专网技术在重载货运车-地通信线路中的应用, 对重载铁路公专网进行监测成为保障网络安全稳定运行的重要技术手段。简要论述目前实际应用在重载货运线路的LTE公专网架构, 并对公专网监测系统的结构、功能、接口及关键技术进行论述。研究针对在车载侧、地面侧乃至中心侧全链条的监测技术, 最终对重载铁路公专网监测系统未来的推广进行展望。

关键词: LTE公专网; 网络监测; 故障诊断

中图分类号: TN929.533

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0048-06

Research on Vehicle-ground Communication Monitoring Technology for Heavy Haul Railway Public and Private Networks

Cai Jun

(CHN Energy Xinshuo Zhunchi Railway (Shanxi) Co., Ltd., Shuozhou 036002, China)

Abstract: With the application of public and private network technology in heavy haul freight vehicle-ground communication lines, monitoring the public and private networks of heavy haul railways has become an important technical means to ensure network security and stable operation. This paper briefly discusses the LTE public and private network architectures currently applied in heavy haul freight lines, and discusses the structure, functions, interfaces, and key technologies of the public and private network monitoring system. The research focuses on monitoring technology for the entire chain, including technology for the onboard side, the ground side, and even the center side, and ultimately provides prospects for the future promotion of heavy haul railway public and private network monitoring systems.

Keywords: LTE public and private networks; network monitoring; fault diagnosis

1 概述

随着国内货运线路不断发展及运营水平的不断提高,“货运重载化”成为一大重要发展趋势^[1]。为解

决两万吨级重载列车的通信业务需求,国能朔黄铁路公司首次将LTE-R专网(Long Term Evaluation-Railways)技术引入重载铁路车-地通信领域。LTE-R专网能够满足车-地通信的应用需求,但其建设及维护成本相对较高,为此国能集团开始LTE公网专用方案的研究,以达到降低运维成本并确保车-地可靠通信的需求。为保障基于公专网承载重载铁路

收稿日期: 2023-12-05; 修回日期: 2024-02-03

作者简介: 蔡军(1973-),男,高级工程师,本科,主要研究方向: 铁道运输, 邮箱: 17100024@ceic.com.

列控系统车地间的可靠通信, 需要掌握重载铁路 LTE 公网通信链路的工作状态, 以便及时发现 LTE 公网存在的问题, 对故障隐患做出预警, 故需对重载铁路 LTE 公网 (简称 LTE 公网) 进行监测。

2 LTE公网监测系统结构

2.1 LTE公网组网方案

按照 LTE 公网与用户专网间关系的不同, 目前

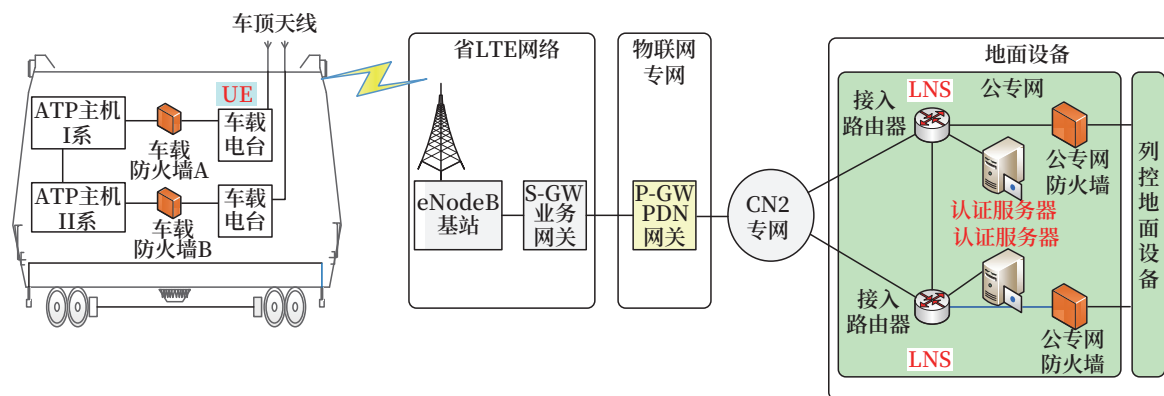


图1 基于LTE公网的车-地通信架构

Fig.1 The architecture of vehicle-ground communication based on LTE public and private networks

无线接入设备为车载电台, 业务数据通过省 LTE 公网、物联网业务专网、电信多业务承载网络 (China Net Next Carrying Network, CN2) 专网、公网接入认证设备, 最终连接到地面列控设备。

为确保 LTE 公网承载重载列控系统车-地通信的数据安全性及可靠性, 采用第二层隧道协议 (Layer Two Tunneling Protocol, L2TP) 和互联网安全协议 (Internet Protocol Security, IPSec) 创建虚拟私有网络 (Virtual Private Network, VPN) 的方式为车地间创建虚拟专用通信链路。

2.2 LTE公网监测系统架构

如上文 2.1 所述, LTE 公网由车载侧、网络侧及列控系统地面公网侧的设备组成。为了实现车-网-地的全链条监测, LTE 公网监测系统由车载监测设备、基站监测设备和监测中心组成。车载监测设备包括 Trace 信息采集模块、镜像端口采集模块、空口监测模块和干扰监测模块等; 基站监测设备包括空口监测模块和干扰监测模块等。系

LTE 公网的架构分为 5 种类型: 运营商代建代维的全套专网设备、普通 4G 卡和虚拟专线、普通 4G 卡和物理专线、专用物联网卡和虚拟专线、专用物联网卡和物理专线^[2]。在重载铁路领域, 为满足高安全性和高可靠性要求, 采用专用物联网卡和物理专线的架构进行建设。其架构如图 1 所示^[3]。

统结构如图 2 所示。

1) 车载监测设备通过端口镜像方式采集车载业务终端与车载电台交互的数据, 通过简单网络管理协议 (Simple Network Management Protocol, SNMP) 提供的接口获取电台 Trace 信息^[4]; 通过射频接口采集车载侧 Uu 接口的信令; 通过射频接口采集车载侧频谱信息及干扰数据, 所有信令采集后可在车载侧实时解析处理并在本地保存, 同时可通过无线单元将数据上传到监测中心。

2) 基站侧监测设备通过射频接口采集基站侧 Uu 接口的信令, 通过射频接口采集基站侧频谱信息及干扰数据, 并通过无线单元将数据上传到监测中心。基站侧监测设备可根据需要进行部署。

3) 监测中心侧通过 Restful 接口收集公网的运维信息^[5]。而后对所有采集到的数据进行解析、关联处理, 将数据入库, 并能进行多角度的查询统计分析以及监测系统自身的维护管理。

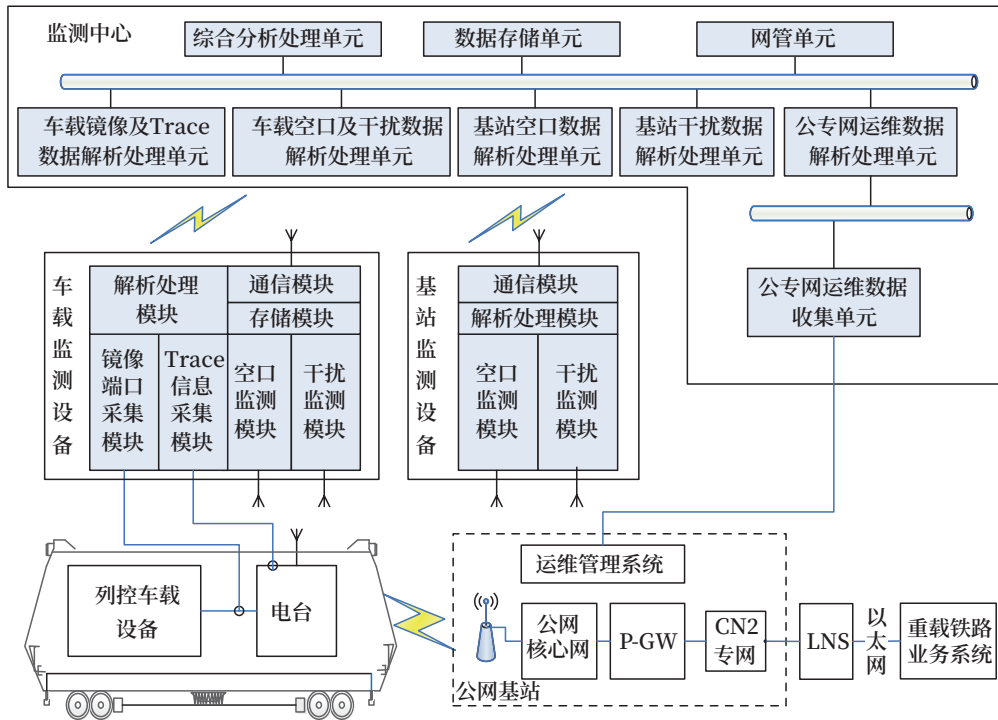


图2 LTE公网监测系统结构

Fig.2 The architecture of LTE public and private network monitoring system

3 LTE公网监测技术概述

3.1 数据采集技术

1) 车载侧数据采集

采集车载业务终端与车载电台交互数据，包括列车运行控制数据及行车调度指挥数据。

通过 SNMP 协议由电台对外网口获取电台的 Trace 信息，主要包括车载电台与网络交互的信令、车载电台与网络交互的业务数据以及车载电台与车载业务终端交互的业务数据^[6]。

采集途经网络 Uu 接口的网络信令以及途经的网络频谱数据，通过频谱数据分析识别干扰信息。

2) 基站侧数据采集

采集移动台与基站的 Uu 接口网络信令以及基站周边网络频谱数据。

3) 中心侧数据采集

收集公网的运维信息，主要包括公网设备的告警信息、公网的性能数据及公网设备的状态信息。

4) 数据上报通道

车载侧监测设备配备无线接入模块，通过公共移动通信 4G/5G 网络、LTE 公网或车载电台按照指定格式将数据实时上报到监测中心，将车载侧保存的数据文件定时上传到监测中心，或接收监测中心的数据下载请求按需将数据上传到监测中心。

基站监测设备配备无线接入模块，通过公共移动通信 4G/5G 网络或 LTE 公网按照指定格式将数据实时上报到监测中心。

中心侧数据采集及收集单元通过局域网按照指定格式将数据实时上报到处理单元。

3.2 基于多源数据管理的分析技术

通过中心侧和车载侧的数据库和文件系统管理为网络维护人员提供数据支持。

维护人员可以便捷地设定机车号、车次号、时间段等信息对网络信令、业务数据、电台 Trace 信息、通信记录、车载电台上线及鉴权记录、通信及业务异常等数据进行查询。

通过时间域、车号、基站等限定条件回放频谱

数据，进行人工分析，分析信号干扰原因。

通过人工设置筛选条件，对车载电台的收发信号强度、基站信号强度进行趋势统计，可尽早发现电台和基站的性能隐患。

通过将多源数据融合在一个系统平台内，为业务人员联合多方数据进行分析提供便利。

3.3 重载铁路LTE公网监测关键技术

在车-网-地分布式全流程监测设备采集的原始数据支持下，通过如下3个关键技术对网络质量、网络故障等进行深入分析。

1) 基于地面无线接入网（UTRAN）接口的监测技术

主要基于接口信令实现，其中S1空口、X2基站间接口是LTE公网中最重要的接口。通过S1-U、S1-MME空口信令，结合LTE-R车载终端和基站的测量报告（Measurement Report, MR），可关联得到网络覆盖情况。

2) 基于频谱分析的干扰监测技术

可通过功分器由车顶通信天线引出射频信号或基于基站侧监测天线获取射频信号，进而扫描分析频谱和频点。

3) 基于数据关联融合分析的异常识别

基于采集的多源数据，可实现基于数据的数据关联分析和异常识别。

数据的关联分析技术主要基于各层次的交互协议将信令和业务数据依据需要进行拆分、组合，最终实现数据的关联与异常分析。

4 基于无线接入网接口的监测技术

S1空口协议栈包含用户面协议和控制面协议两部分，车-地通信业务数据通过S1-U空口传输至服务网关（Serving Gate Way, SGW），控制面信令通过S1-MME空口传输至移动性管理实体（Mobility Management Entity, MME）网元。监测系统可对车-地间通信接口进行解析，基于S1-U协议栈解析信令和业务数据。重载LTE公网协议栈如图3所示。

协议栈包括物理层、数据链路层和IP层等。车载设备上电后动态分配地址，通过L2TP隧道传送PPP验证和动态地址分配，通过IPSec加密通道避免非法用户侵入^[7]。

除了对车载电台信令进行解析和分析信令异常，在公网运营商侧，可基于LTE-MR测量报告实现网络覆盖质量监测，终端和eNodeB基站定时采集的测量报告经由OMC-R采集管理。通过关联S1口和MR数据可有效监测机车沿途的网络覆盖情况，为网络优化提供参考^[8]。关联过程如图4所示。

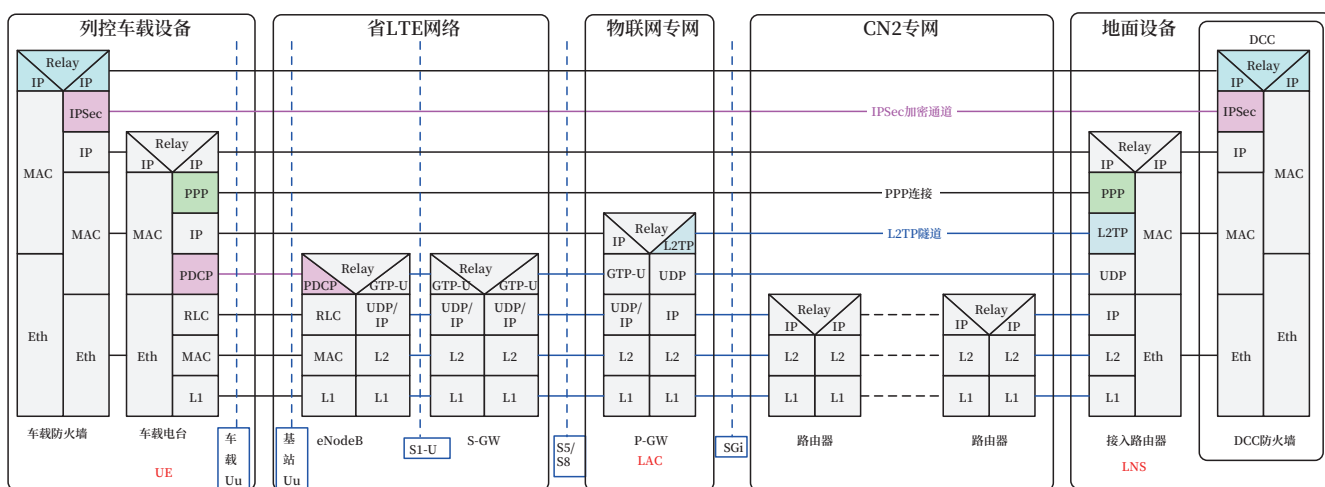


图3 ATP-DCC车-地无线通信数据传输协议栈
Fig.3 ATP-DCC vehicle-ground wireless communication data transmission protocol stack



图4 监测信息关联分析流程
Fig.4 Monitoring information correlation analysis process

1) 首先采集 S1 口 URI 信息获取用户位置，开始时间等字段。

2) MME 可获取为车载通信终端分配的链路隧道端点 ID 从而识别终端。通过时间戳可关联机车位置、终端 ID 和时间。

3) 将包含电平、邻区以及小区等信息的 MR 通过时间戳与 S1-U、S1-MME 数据关联。

4) 由于基站到终端的传输路径存在遮挡，并非直线，所以基于基站的定位存在误差，需要剔除精度差的数据，可以最大时间提前量 (Time Advanced, TA) 距离作为校正判据筛选高精度的关联数据。

该方法可得到筛选后部分采样点的 RSRP 信息、位置信息以部分反映网络覆盖情况。

5 重载铁路LTE网络干扰监测技术

与 LTE-R 铁路专网采用的 450 MHz (大秦、京沈线)、以及朔黄重载货运铁路中采用的 1.8 GHz 频段不同，TDD 模式下 LTE 公网频段分为 1.9 G、2 G、2.3 G、2.6 G 以及重载准池铁路 LTE 公网采用的 800 M (单位 Hz)。1.9 G (F 频段) 和 2.6 G (D 频段) 常用于室外覆盖。

LTE 网络较好解决了同频干扰，主要的干扰类型包含邻频信号、互调信号干扰、噪声阻塞和带外干扰等。通过频谱扫描分析各个频点参数，计算同邻频干扰信号、互调干扰信号的频谱特征，实现干扰信号的监测和报警。典型的干扰监测技术可用于车载沿途干扰信号和地面基站附近干扰信号的检测。

典型的干扰监测识别技术流程如图 5 所示。

在监测到干扰类型后，可通过人工定位分析方

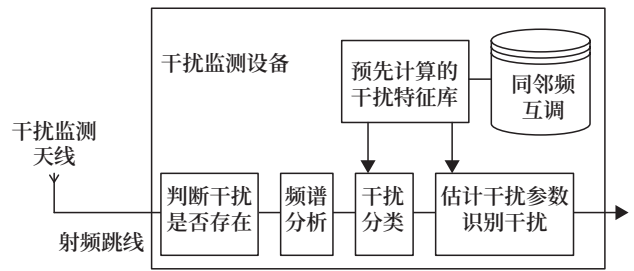


图5 干扰监测识别技术
Fig.5 Interference monitoring and identification technology

法定位干扰源位置，以切实解决干扰问题。网络维护人员使用的干扰监测分析技术主要分为干扰地图分布法和三点扫频定位法。

1) 干扰地图分布法：地面侧终端得到经纬度、时间及报警信息，结合 GIS 可视化技术，将干扰信息显示在地图上，实现可视化的机车沿途信号干扰监测，分析网络通信质量。带内干扰重点核查网络数据配置和越区覆盖问题。

2) 三点扫频定位法：利用高增益定向天线、扫描仪结合信令解析，对干扰进行定位。测量时，天线波束指向正前方，并且垂直极化放置；通过缓慢旋转天线，观察频谱扫描仪的信号变化。监测到异常信号后，缓慢改变天线的俯仰角度观察接收信号变化到最大值时停止。通过频谱分析判断干扰信号种类，并沿着当前天线波束的方向，寻找新的测量点。选取 3 个以上受干扰明显的测点，沿干扰信号方向逐步缩小范围，最终确定干扰发生位置。

6 基于数据关联融合分析的异常识别

中心侧各数据解析处理单元通过对网络信令、业务数据进行解析，提取 IP 地址、车次号、机车号和公里标 (根据应答器计算) 等关键信息，从而对频谱数据及干扰进行拆分；中心侧数据处理设备同步拆分、处理收集到的公网运维数据。

车载侧设备实时处理采集到的镜像端口业务数据，解析 Trace 及空口采集到的网络信令及业务数据，提取 IP 地址、车次号、机车号和应答器等

关键信息，并拆分频谱和干扰信息。

通过关联同一终端与地面列控系统同一次通信的网络信令及业务数据，生成通信记录。基于信令或交互流程特征识别异常网络和业务通信数据，并识别车-地通信超时异常。

在异常的干扰信号识别方面，基于预先计算的异常频谱特征库，比对采集的频谱数据识别干扰信号类型；基于电台日志异常特征识别电台 Trace 异常；同时基于设备状态信息和门限识别公网设备性能异常信息。

7 结束语

本文综述了目前 LTE 公网监测领域的主流技术，研究了通过 LTE 公网本身的车-地通信通道实现机车沿途干扰信号监测的方式，同时研究将故障诊断技术引入重载铁路 LTE 公网领域的方法。通过重载铁路 LTE 公网监测系统的应用，可以大幅提高重载铁路的运维效率，同时也将为公网在铁路领域的应用效果提供数据支撑，有助于公网模式的大范围推广，可以加快铁路智能化、智慧化及绿色化运营的进程。

参考文献

- [1] 李建文. 货运重载化是世界铁路发展的重要方向[J]. 轨道交通, 2012(4): 74-77.
- [2] 李玉洁, 陈俊雷. 高速铁路环境下 LTE 组网技术研究[J]. 信息通信, 2014, 27(1): 250-251.
Li Yujie, Chen Junlei. Research on LTE Networking Technology in High-Speed Railway Environment[J]. Information & Communications, 2014, 27(1): 250-251.
- [3] 鲁放, 郭军伟, 徐夏楠. 虚拟专用网实现公网专用的技术和模式[J]. 郑州轻工业学院学报, 2002, 17(4): 63-65.
Lu Fang, Guo Junwei, Xu Xianan. The Technology and Moulds of Realizing Public Network by Virtual Private Network[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry, 2002, 17(4): 63-65.
- [4] 刘一. 基于 SNMP 协议的铁路远动维护系统[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2015.
- [5] 吕光旭, 林琳, 符刚, 等. 4G QoS 能力开放部署方案探讨[J]. 邮电设计技术, 2018(9): 18-22.
Lü Guangxu, Lin Lin, Fu Gang, et al. Discussion on the Deployment of 4G QoS Capability Exposure[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2018(9): 18-22.
- [6] 张春晖. SNMP 协议的分析与应用[J]. 计算机应用研究, 2000, 17(1): 55-57.
Zhang Chunhui. Analysis and Application of SNMP Protocol[J]. Application Research of Computers, 2000, 17(1): 55-57.
- [7] 彭治湘. L2TP over IPSec VPN NAT 穿越技术研究及实验仿真[J]. 信息技术与信息化, 2020(10): 204-206.
Peng Zhixiang. Research and Experimental Simulation of L2TP over IPSec VPN NAT Traversal Technology[J]. Information Technology and Informatization, 2020(10): 204-206.
- [8] 李勇, 李果, 卫钰. 一种基于信令和 MR 数据的 LTE 网络质量监测方法研究[J]. 移动通信, 2016, 40(24): 52-55.
Li Yong, Li Guo, Wei Yu. Research on LTE Network Quality Monitoring Method Based on Signaling and MR Data[J]. Mobile Communications, 2016, 40(24): 52-55.

基于北斗的重载铁路列控系统 新增功能测试方法

史立柱

(国能新朔准池铁路(山西)有限责任公司, 山西朔州 036002)

摘要: 针对仅站内覆盖无线网络条件下的基于北斗的重载铁路列控系统的测试方法进行研究, 在站内有无线网络覆盖条件下, 通过车站级的数据管理控制设备结合列车的站内位置及联锁状态、临时限速状态信息, 生成列车的行车曲线管理列车安全运行。当列车出站后在未覆盖无线网络条件下, 通过北斗应急通信短报文的方式与区间内列车确认列控数据一致性。基于北斗的重载铁路列控系统相较于传统列控系统在功能上有较多创新, 因此对于其中变化功能的识别, 以及测试方法的研究存在其必要性。

关键词: 站内无线通信; 列车走行路径; 临时限速; 安全运行

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0054-06

Test Method of New Functions of Heavy Haul Railway Train Control System Based on Beidou

Shi Lizhu

(CHN Energy Xinshuo Zhunchi Railway (Shanxi) Co., Ltd., Shuozhou 036002, China)

Abstract: This paper studies the test method of the heavy haul railway train control system based on Beidou under the condition of wireless network coverage only in stations. Under this condition, the train operation curves are generated to manage the safe operation of trains by the data management and control equipment at the station level through the combination of the information about a train's position in the station, interlocking state and temporary speed restriction state. When the train leaves the station and the wireless network coverage is not available, information is sent to the train in the section by means of short messages of Beidou emergency communication in order to confirm the consistency of train control data. Compared with the traditional train control systems, this heavy haul railway train control system based on Beidou has many innovations in functions, so it is necessary to identify the changed functions and study the test methods.

Keywords: station wireless communication; train running path; temporary speed restriction; safe operation

收稿日期: 2023-09-25; 修回日期: 2024-01-26

作者简介: 史立柱(1987—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 交通运输, 邮箱: lizhu.shi@ccic.com。

1 概述

重载铁路是承担大型货物或原材料运输的铁路,

具有列车总重大、行车密度大和运量大的特点，其在铁路运输中占有重要地位，并在推动国民经济发展中起到了至关重要的作用。随着国内铁路建设的快速发展，为列车运行控制系统对列车运行速度、运行效率与安全性等也提出更高的要求。

基于北斗的普速铁路列控系统在既有信号设备

(联锁、轨道电路、LKJ)基础上，增加列车自动防护(ATP)系统、列车辅助驾驶设备、数据管理控制设备、临时限速服务器(TSRs)设备、以及应答器组，打造最高安全等级(SIL4级)的列车运行控制系统。系统结构示意图如图1所示。

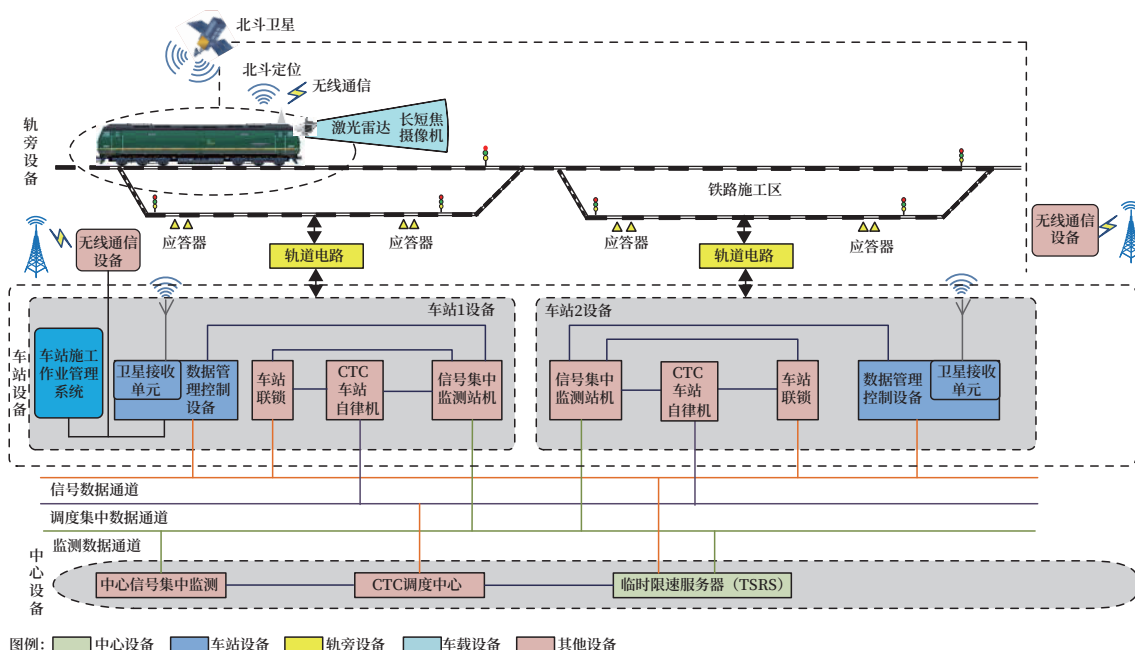


图1 系统结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of system structure

基于北斗的重载铁路列控系统主要功能包括列车占用检查、安全防护距离、轨道电路发码、应答器设置、临时限速命令管理、控车转换、列车多源融合定位与测速测距、卫星定位及短报文通信等。

系统采用基于北斗的多源融合技术实现列车主动精准定位，通过无线通信网络实现线路数据（含限速信息）车-地信息传输。轨道电路实现列车占用检查并提供行车许可，车载设备计算目标距离连续速度模式曲线，监控列车安全运行^[1-4]。

基于北斗的重载铁路列控系统与传统列控系统相比，最大的区别在于无线网络的覆盖范围。传统CTCS-3级列控系统的无线覆盖全线，列车在正常工作状态下的运行过程中始终与地面无线闭塞中心设备保持无线通信会话建立状态，以获得实时的移动授权，控制列车安全运行。基于北斗的重载铁路

列控系统仅在站内覆盖了无线网络，当列车运行至区间时将通过站内提前发送的区间线路数据等信息，结合区间轨道电路状态保证列车安全运行。由于重载铁路一般存在全线基础设施改造困难、线路里程长等特点，使用这种列控方案能显著降低建设成本和后期的运营维护难度。根据上述新特点，针对基于北斗的重载铁路列控系统中各设备的功能特点的测试验证以及工程数据测试等工作提出了新的要求和挑战^[5-7]。

2 基于北斗的重载铁路列控系统

在车站覆盖无线网络情况下，该系统由CTC、计算机联锁(Computer Based Interlocking, CBI)、TSRS、车站数据管理控制设备、列车自动防护系统以及车站无线网络系统组成。该系统中地

面的数据管理控制设备负责和列车建立通信会话，当列车在站内时通过无线网络与车载设备实现双向通信，并根据列车位置信息实现列车管理；通过以太网与计算机联锁、TSRS 通信，根据进路、道岔、信号机状态和 TSRS 下达的临时限速信息计算列车运行路径下的线路信息和临时限速信息，实时生成无线报文消息，并通过无线网络向车载设备发送线路信息及临时限速信息。当列车运行至区间时通过北斗短报文通信方式与车载设备进行应急通信，接收车载设备发送的线路数据校验请求信息，并将线路数据校验结果通过北斗短报文方式发送给车载设备。

3 新增测试内容分析

通过对新增列控设备的功能特点，以及特定功能验证的分析，需要在无线网络覆盖边界点测试、临时限速边界测试、列车特殊控车模式、区间应急通信等方面的测试方法进行详细设计。

3.1 车站覆盖无线网络边界点测试

在车站无线网络覆盖范围内，列车接收到车站数据管理控制设备发送的列车运行前方临时限速信息、线路信息后，以不引起列车制动为最小原则，同时考虑列车与车站控制设备通信容忍安全余量。需要针对车站覆盖无线网络的 $L_{\text{无线覆盖}}$ 值进行测试。

如图 2 所示，测试前提应使列车在进入 $L_{\text{无线覆盖}}$ 起点 4097 信号机前，排列 A 站的通过进路，同时确保列车在 4097 信号机前的列车速度达到列车最高允许运行速度。观察列车在与车站控制设备建立通信的最大允许链接时间内完成建链时，列车不降速运行并通过 A 站。

3.2 临时限速范围边界点测试

当列车出站后，接收到车站控制设备发送的临时限速信息，车站控制设备管辖的临时限速范围，以在列车与下一个相邻车站的车站控制设备建立连接时，列车前方临时限速信息不引起列车制动为基本原则。考虑车站控制设备设计为管辖单个车站，因此，以上一相邻站反向进站信号机作为临时限速管辖左边界，以下一相邻正向进站信号机作为临时

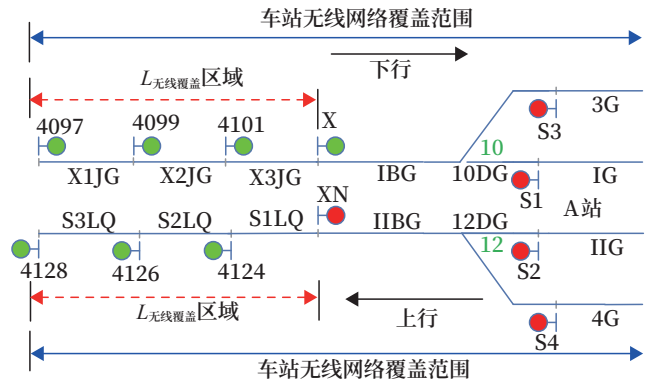


图2 车站无线网络覆盖区示意

Fig.2 Schematic diagram of station wireless network coverage area

限速管辖右边界，作为车站控制设备的临时限速管辖范围。

1) 无线覆盖范围内的临时限速边界点测试

如图 3 所示，在 A 站管辖范围末端（B 站 X 进站信号机）左右两侧分别设置临时限速 TSR-1 和 TSR-2。当列车在 A 站无线管辖范围内，A 站的车站数据管理控制设备仅会将 TSR-1 限速命令发送给车辆。当列车运行至 B 站无线管辖范围内，且与 B 站的车站数据管理控制设备注册成功时，应能同时收到由 B 站的车站数据管理控制设备发送的 TSR-1 与 TSR-2 的临时限速命令。

2) 无线覆盖范围外的临时限速边界测试

如图 4 所示，当列车处于 A 站无线覆盖范围内时，在 A 站管辖范围末端（B 站 X 进站信号机）设置临时限速 TSR-1。A 站的车站数据管理控制设备仅会将 TSR-1 限速命令发送给车辆。

如图 5 所示，当列车越过 A 站无线覆盖范围 4107 信号机，且与 A 站车站数据管理控制设备完成注销后，在 A 站管辖范围末端（B 站 X 进站信号机）设置临时限速 TSR-1。列车将无法收到临时限速 TSR-1。因此要求调度员在下达区间临时限速时，确保该区间内无列车运行。

3.3 临时限速功能故障测试

1) 临时限速移交站通信故障

当列车 A 站出发后，列车使用 A 站预告发送的临时限速进行控制运行，当列车在进入 B 站建链范围内，若未能与 B 站建立通信更新临时限速信息，

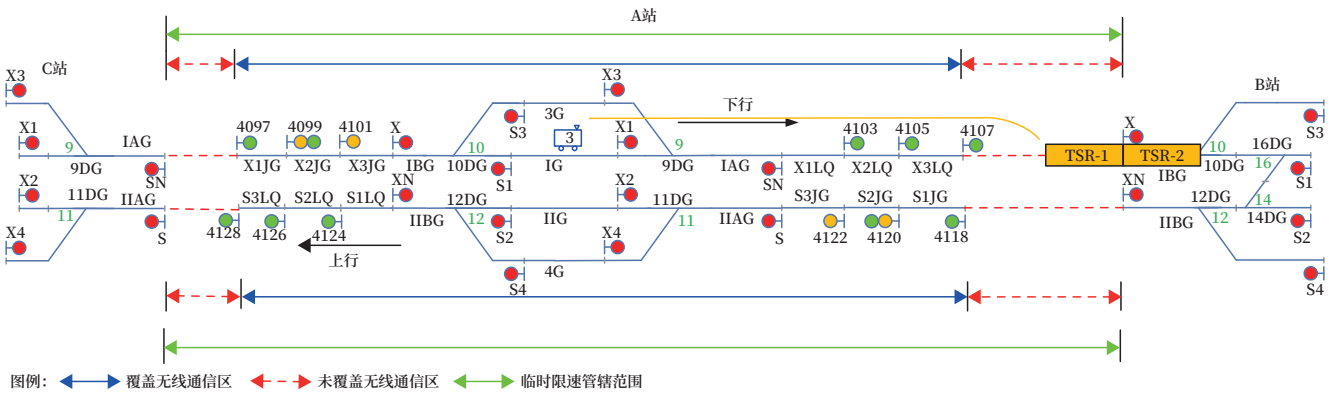


图3 临时限速区管辖范围示意

Fig.3 Schematic diagram of jurisdiction of temporary speed restriction zone

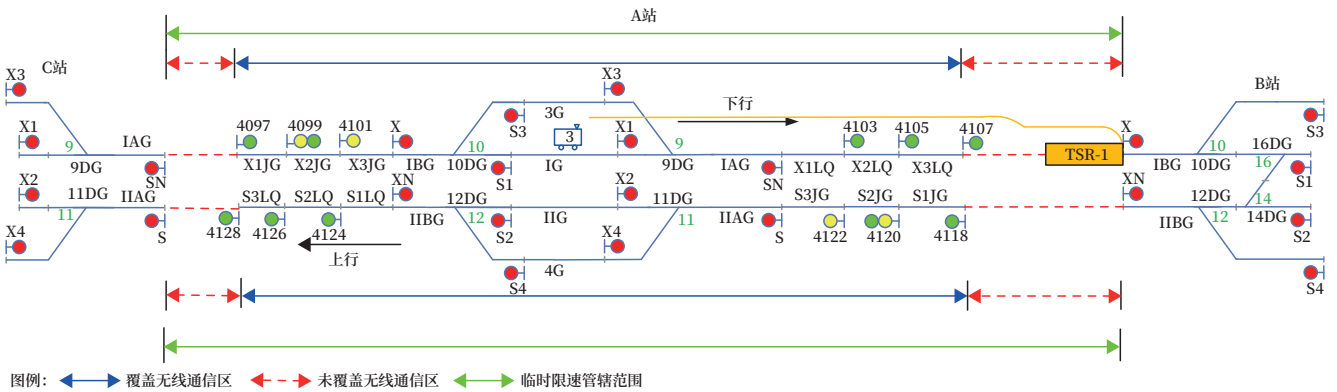


图4 无线覆盖范围边界临时限速测试示意1

Fig.4 Schematic Diagram No.1 of temporary speed restriction test for the wireless coverage boundary

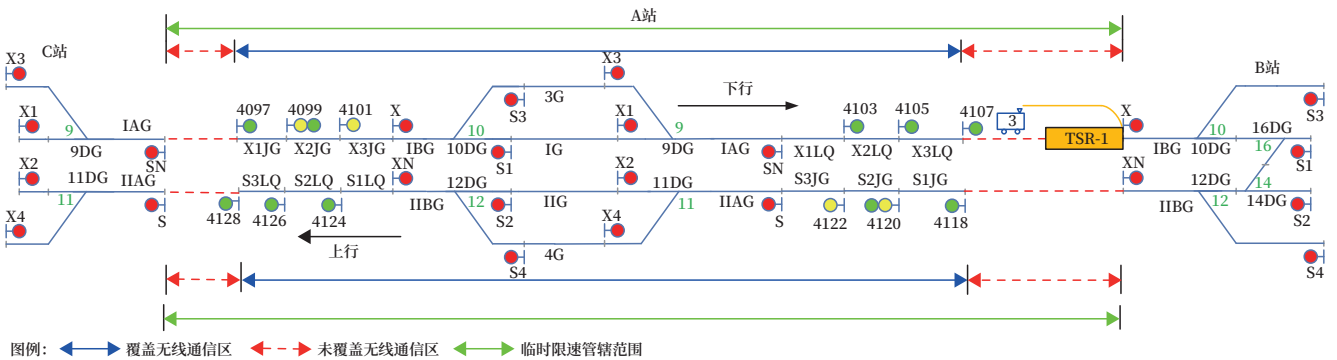


图5 无线覆盖范围边界临时限速测试示意2

Fig.5 Schematic Diagram No.2 of temporary speed restriction test for the wireless coverage boundary

为确保行车安全，列车应该在 A 站往 B 站方向的临时限速管辖范围末端停车后转入人工模式，由司机按照相关无限速下的安全行驶速度要求驾驶列车进站。

2) 区间通信故障

当列车 A 站出发后，列车使用 A 站预告发送的临时限速进行控制运行，当列车尚未进入 B 站建链

范围内，且在进入区间无线覆盖盲区后无法通过应急通信方式与 A 站进行连接，为确保行车安全，此时列车应该停车后转入人工模式，由司机按照相关无限速下的安全行驶速度要求驾驶列车在区间运行。

3.4 列车特殊控车模式

为保证重载铁路既有机车控制设备在跨制式运

行及区间故障模式下与基于北斗的重载铁路列控系统间的互通性，在测试过程中也需要重点对区间信号故障降级模式下的走停走功能及 ATP 与 LKJ 不停车切换功能进行专项测试。

1) 走停走功能测试

机车牵引的列车运行至自动闭塞区间通过信号机前，车载设备收到地面发送 HU 码时，停车持续时间超过 2 min，司机选择“解锁”并确认后，解除停车控制转为走停走模式，并以 20 km/h 监控列车越过该信号机直至次一架信号机，如图 6 所示。测试应对停车持续时间 2 min 以内及 2 min 以外分别设置前置条件，对地面收 HU 码或其他码序分别设置前置条件，并对模式转换后列车运行速度是否按照 20 km/h 进行相应测试。

2) 与 LKJ 不停车切换测试

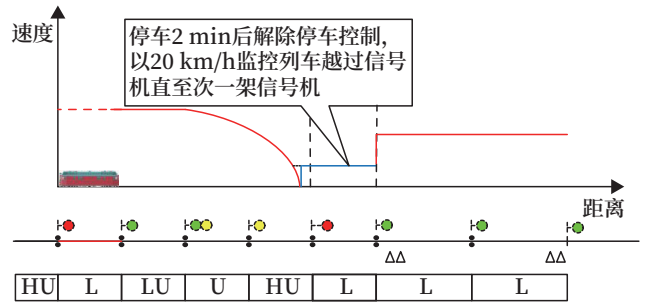


图6 走停走测试示意
Fig.6 Schematic diagram of go-stop-go test

车载 ATP 设备在通常模式 (FS) 控制列车运行时，收到转入 LKJ 控车的预告应答器信息，通过 DMI 提示司机前方将切换至 LKJ 控车。车载 ATP 设备接收到 LKJ 回复的控车状态后，将控车权切换至 LKJ，车载 ATP 设备进入后台工作，在通过切换应答器后，通过 DMI 提示司机已切换至 LKJ 控车。切换场景如图 7 所示。

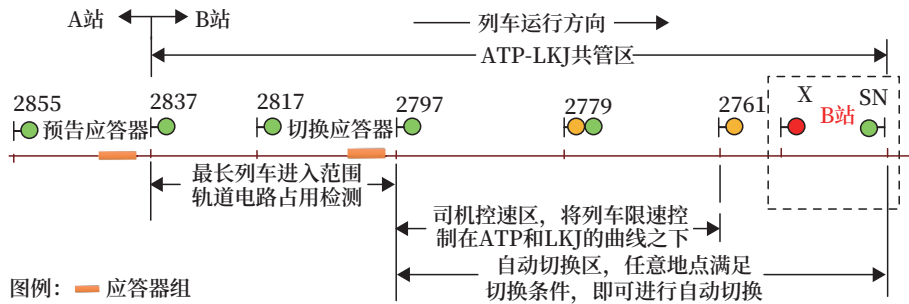


图7 ATP切换LKJ测试示意
Fig.7 Schematic diagram of the test about ATP switching to LKJ

因此，测试方法中需要针对 LKJ 的切换条件前置模式的预置，可通过环境注入报文的方式，复用图示中的信号机 2837 外方 500 m 处布置的一组无源应答器作为预告应答器，在出站信号机 2797 外方 1 000 m 处布置一组应答器作为切换应答器。在整个切换过程中关注 ATP 与 LKJ 之间在预告及切换下的消息交互环节，以及最终控制模式进行重点功能验证。

3.5 区间应急通信

由于列车运行至区间后，存在一定范围的无线覆盖盲区。因此当车载设备在此区域内出现故障，将导致列车降级运行或停车。当车载设备故障恢复后，需要对车载设备内存储的线路数据与当前实际

的数据进行校验，以使其快速投入正常的工作模式。车载设备将连接北斗卫星导航系统，启动故障恢复程序，通过北斗短报文的通信方式与数据管理控制设备进行通信交互。

针对区间内有数据变化和无数据变化进行分别的测试验证设计。

1) 数据无变化

如图 8 所示，列车由 A 站发车时，在无线覆盖盲区内设置一处临时限速 TSR-1，当列车运行至无线覆盖盲区后，未到达临时限速 TSR-1 起点位置时，将车载设备重启。此时车载设备恢复工作后，将通过北斗卫星采用短报文通信方式与 A 站数据管理控制设备进行数据交互。此时由于区间内未发生数据变化，车载设备将根据数据校验结果信息判断

已存储的线路信息有效, 使用线路信息计算控车曲线, 列车进入通常模式, 恢复正常运行。列车将正常处理 TSR-1 的临时限速命令。

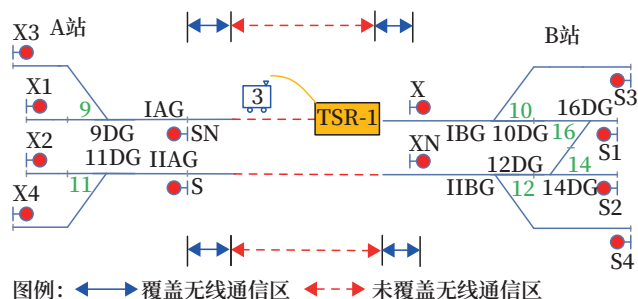


图8 区间数据无变化示意

Fig.8 Schematic diagram of no data change in the section

2) 数据有变化

如图9所示, 列车由A站发车时, 在无线覆盖盲区内设置一处临时限速 TSR-1, 当列车运行至无线覆盖盲区后, 未到达临时限速 TSR-1 起点位置时, 将车载设备重启。此时在B站进站信号机外方设置 TSR-2, 车载设备恢复工作后, 将通过北斗卫星采用短报文通信方式与A站数据管理控制设备进行数据交互。由于区间内发生数据变化, 车载设备将根据数据校验结果信息判断已存储的线路信息无效, 使用最低运行速度控制列车运行至B站无线覆盖范围后, 再投入正常运行。

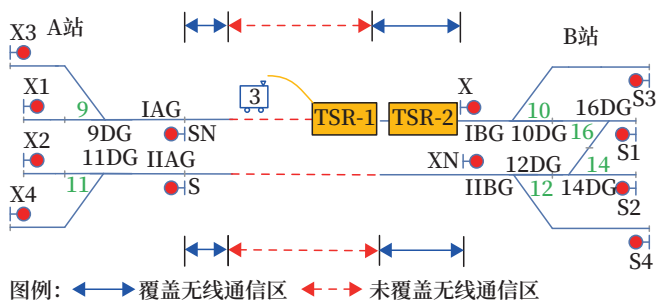


图9 区间数据有变化示意

Fig.9 Schematic diagram of data change in the section

4 结束语

本文研究了基于北斗的重载铁路列控系统新增功能及接口, 完成了相关测试方法设计。针对不具备全线覆盖无线网络的重载铁路, 实施有针对性的列控系统功能测试方法, 对未来推动重载铁路升级改造及功能验证提供了可行的解决方案。

参考文献

- [1] 莫志松, 安鸿飞. 新型列控系统列车综合自主定位技术研究 [J]. 铁道学报, 2022, 44 (1): 56-64.
Mo Zhisong, An Hongfei. Research on Comprehensive Autonomous Positioning Technology of New Train Control System[J]. Journal of the China Railway Society, 2022, 44(1): 56-64.
- [2] 李莹莹, 张浩. 基于电子地图和卫星定位的列控技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (12): 23-27.
Li Yingying, Zhanghao. Research on Train Control Technology Based on Electronic Map and Satellite Positioning[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 23-27.
- [3] 郭华真, 贾云光, 崔俊锋. 卫星定位技术在轻量化列车控制系统中的应用研究 [C] // 中国卫星导航学术年会组委会. 第十届中国卫星导航学术年会论文集. 北京: 2019: 1-4.
- [4] 中国国家铁路集团有限公司. 新型列控系统电子地图暂行技术要求: TJ/DW 238-2020 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [5] William E. Perry. 软件测试的有效方法 [M]. 高猛, 冯飞, 徐璐, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008: 5-6.
- [6] 刘天琦, 张浩, 焦名. 结合测速测距的卫星定位法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 17-20.
Liu Tianqi, Zhang Hao, Jiao Ming. Satellite Positioning Method in Combination with Speed and Distance Measurement[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 17-20.
- [7] 杨厅, 陈光武, 赵晓春. 基于北斗短报文的列车通信系统 [J]. 电子世界, 2016 (18): 54-55.
Yang Ting, Chen Guangwu, Zhao Xiaochun. Train Communication System Based on Beidou Short Message[J]. Electronics World, 2016(18): 54-55.

基于北斗的重载铁路列控系统仿真测试系统研究

韩兴邦^{1, 2}

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: 针对基于北斗的重载铁路列控系统的系统构成, 将系统关键设备作为被测设备, 设计半实物仿真测试系统架构, 并分析北斗卫星导航系统仿真、闭塞系统仿真模拟以及重载列车仿真模拟等关键技术及方案。通过系统实现, 验证本仿真测试系统设计方案可行, 能够执行基于北斗的重载铁路列控系统的典型运行场景, 支撑系统技术方案可行性验证, 支撑装备调试及测试, 为装备研发及工程实施提供环境保障, 并为实验室系统集成测试提供有力的技术保障。

关键词: 列控系统; 仿真测试; 重载铁路; 北斗导航系统

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0060-07

Research on Simulation Testing System for Heavy Haul Railway Train Control System Based on Beidou

Han Xingbang^{1, 2}

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

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

Abstract: Regarding the system composition of the heavy haul railway train control system based on Beidou, the key equipment of the system is taken as the tested equipment. A semi-physical simulation testing system architecture is designed, and key technologies and solutions such as the simulation of the Beidou Navigation Satellite System, block system simulation, and heavy haul train simulation are analyzed. Through system implementation, it has been verified that the design scheme of this simulation testing system is feasible, capable of executing typical operating scenarios of the heavy haul railway train control system based on Beidou, supporting feasibility verification of system technical solutions, facilitating equipment debugging and testing, providing environmental support for equipment research & development and engineering implementation, and offering strong technical

收稿日期: 2023-12-05; 修回日期: 2024-02-03

作者简介: 韩兴邦(1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 列控系统仿真测试技术与方法, 邮箱: hanxingbang@crscd.com.cn.

support for laboratory system integration testing.

Keywords: train control system; simulation test; heavy haul railway; Beidou Navigation Satellite System

1 概述

基于卫星定位的列控系统是新兴的下一代列控系统。卫星定位技术的应用可以补强现有列车测速测距方法,同时减少用于辅助列车定位的地面应答器等轨旁设备的部署数量,节省系统建设和维护成本^[1-2]。伴随北斗三号推广应用战略机遇,短报文服务为列控系统的车-地通信提供新的通道,各式各样的基于卫星定位的列控系统研究相继开展^[3-4],基于北斗的重载铁路列控系统便是其中之一。

基于北斗的重载铁路列控系统是针对国内重载专用铁路线路现状,最大复用重载专用铁路的已有信号设备,结合北斗卫星导航系统的授时+定位+短报文服务的全功能的一种轻量化列控系统。系统由中心设备、车站设备、轨旁设备、车载设备、网络安全系统和上道作业人防系统等组成,如图1所示。

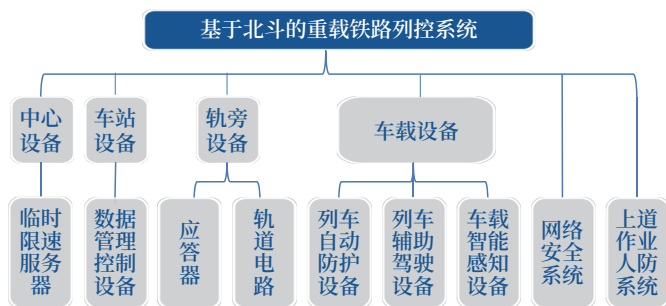


图1 基于北斗的重载铁路列控系统组成

Fig.1 Composition of the heavy-haul railway train control system based on BeiDou

列控系统是保障列车安全运行,提高运输效率的重要行车装备^[5]。因此在系统研发和工程实施期间,都需要经过充分的系统测试验证,以确定其是否满足系统规范要求^[6]。针对基于北斗的重载铁路列控系统,需围绕其在已有重载铁路信号系统基础上新增的关键列控设备,构建配套的测试系统支撑实验室系统功能测试及数据测试。

目前,国内实际应用的面向基于卫星定位列控

系统的测试系统,大部分仅针对车载设备构建^[7-8];对于能够同时集成联锁设备、地面列控设备和车载设备的半实物系统集成测试环境,主要面向成熟的CTCS或CBTC系统。

因此,本文提出完整的适用于基于北斗的重载铁路列控系统的仿真测试系统设计方案并对其进行实现,包括仿真数据从生成到使用再到监测的全套方案。系统可基于工程数据快速构建仿真数据并完成测试环境构建,支持验证基于北斗的重载铁路列控系统技术方案可行性,支撑装备调试及测试,为装备研发及工程实施提供环境保障,并且满足实验室集成测试需求。

2 架构设计

基于北斗的重载铁路列控系统的仿真测试系统,需提供基础的列车仿真、线路及轨旁设备仿真、车地通信通道仿真,能够接入车载设备实物、地面列控设备实物及车站联锁实物,构建半实物的系统集成测试环境。通过列车仿真、线路及轨旁设备仿真提供人机交互接口,实现系统正常运营及异常场景的构建,测试验证接入的实物设备的系统功能及整系统的功能及数据。

在列车仿真、线路及轨旁设备仿真、车地通信通道仿真等基本功能基础上,增加基于北斗的重载铁路列控系统的数据管理控制设备、上道作业人防系统等关键设备的接口,增加北斗卫星导航系统、重载铁路已有闭塞系统的仿真,引入车站联锁、调度集中控制(Centralized Traffic Control, CTC)等系统,构建半实物仿真测试系统,如图2所示。

被测设备实物为基于北斗的重载铁路列控系统核心装备,包括:列车自动防护系统(Automatic Train Protection, ATP)主要设备、列车辅助驾驶设备、数据管理控制设备、临时限速服务器和上道作业人防系统等。其他外部设备/仿真为基于北

角描述列车位置；依据此信息，可根据列车所在轨道区段位置点，结合列控工程数据和包含卫星定位信息的车载电子地图的数据关系^[9-11]，实时换算当前位置点的卫星仿真数据，供卫星信号输出设备产生卫星射频信号至车载设备实物，同时供卫星地图监测界面显示^[12]，如图3所示。

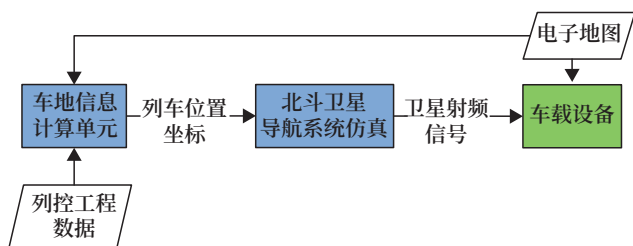


图3 北斗卫星导航系统仿真接口示意图

Fig.3 Schematic diagram of simulation interfaces of the BeiDou Navigation Satellite System

3.2 闭塞系统仿真模拟

闭塞系统仿真模拟，是基于北斗的重载铁路列控系统仿真测试系统实现跑车场景的基础。基于北斗的重载铁路列控系统的设计思想为在已有重载铁路信号装备基础上进行轻量化叠加，故需要根据具体改造的重载铁路实现其闭塞制式，比较普遍的是基于轨道电路继电编码的四显示自动闭塞。

针对此，提出并实现一种简化的轨道电路继电编码仿真模型。本仿真模型并不对具体的继电电路进行实际且复杂的建模，通过继电器采集状态组合实现轨道电路编码逻辑；而是通过模拟列控中心编码逻辑实现轨道电路编码。可以理解为设计了一个仅具备轨道电路发码及区间信号机控制功能的列控中心模型，因此该方案主要参考的资料来自于列控中心以及列控中心与联锁接口的技术规范^[13-14]。

根据上述分析，简化的轨道电路继电编码仿真模型需要与联锁设备及仿真测试平台中的车地信息计算模块接口，获取编码的输入并自动计算码序，发送至仿真测试平台中车地信息计算单元，如图4所示。轨道电路码序的自动计算有效降低跑车场景构建操作，提升测试效率。

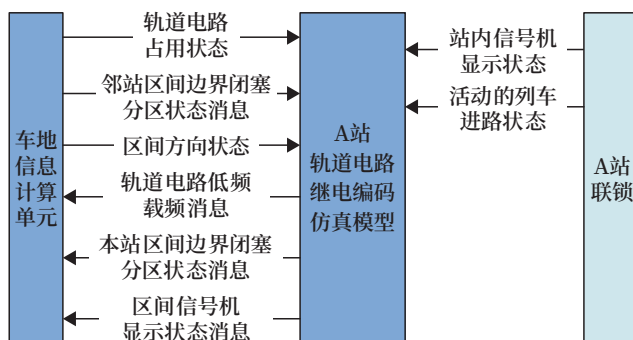


图4 轨道电路继电编码仿真模型接口示意图

Fig.4 Schematic diagram of interfaces of simulation model of track circuit relay coding

3.3 重载列车仿真模拟

重载铁路的机车牵引式列车的仿真模拟，重点在设备接口及动力学模型。

设备接口方面，列车自动防护设备及列车辅助驾驶设备并不直接与机车牵引式列车接口，而是中间增加了智能驾驶单元（Driver Smart Unit, DSU）作为中间信号转换设备。仿真测试平台需要考虑将仿真边界划在DSU设备的两侧，实现不同的测试范围，如图5所示。既能提供DSU的仿真模拟，直接与车载设备接口进行列车信号的交互（仿真边界1）；也能同时将车载设备以及DSU设备接入仿真测试平台，与DSU设备和车载设备接口进行列车信号的交互（仿真边界2）。

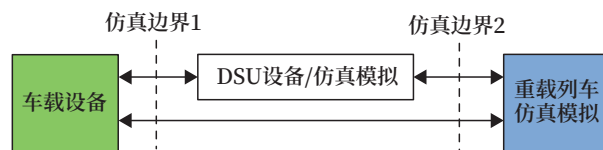


图5 重载列车接口仿真示意图

Fig.5 Schematic diagram of interface simulation of heavy-haul railways

在动力学仿真方面，难点在于重载铁路机车牵引式列车的动力学仿真建模。相较于动车组列车直接采用车辆厂提供的拟合的“速度-级位-加速度”公式进行加速度计算，重载铁路机车牵引式列车需参考相关规范针对不同机车及车辆类型，将电力牵引制动及空气制动分别进行独立建模，实现更加贴近现实的动力学计算^[15]。限于篇幅本文将不再展开描述。

4 系统实现

根据系统架构设计及关键技术实现，成功搭建基于北斗的重载铁路列控系统实验室半实物仿真测试系统：由被测设备实物、其他外部设备实物、车载设备接口平台、交换机、仿真服务器、卫星信号仿真设备和操作终端组成，如图 6 所示。

目前，在已搭建的基于北斗的重载铁路列控系统实验室半实物仿真测试系统中，通过虚实互换，采用列车自动防护仿真软件及列车辅助驾驶仿真软件替代对应实物设备，可以实现系统运行，执行设备上电，驾驶室激活、发车准备、发车准备、列车发车、行车许可、站间运行、自动过分相、临时限

速、通过车站、进站接车、自动发车、自动通过车站、区间自动运行、自动进站停车、关闭电源、溜逸防护、退行防护、重载列车控制、轨道电路无码、提示场景、ATP 与 LKJ 切换、上道作业人防、障碍物感知、车地无线通信故障、地面设备故障和卫星定位故障等典型场景，有效验证基于北斗的重载铁路列控系统技术方案可行性，支撑装备调试及测试，为装备研发及工程实施提供环境保障。分布式部署的基于北斗的重载铁路列控系统实验室半实物仿真测试系统在运行多车列车辅助驾驶运行场景的部分分机截图（包括线路及列车仿真界面、车站联锁控显界面、列车自动防护设备 DMI 界面和数据管理控制设备仿真界面）如图 7 所示。

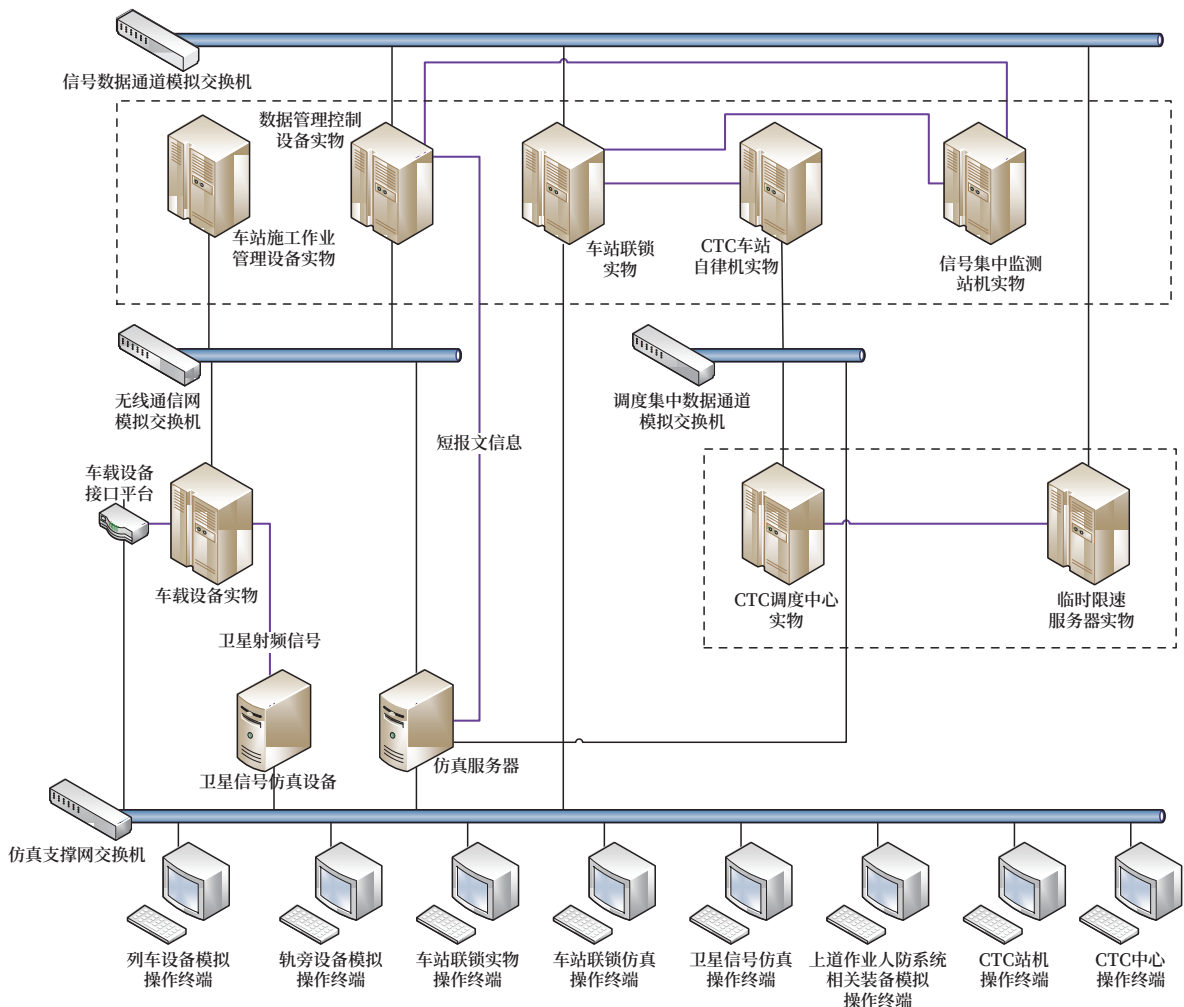


图6 基于北斗的重载铁路列控系统实验室半实物仿真测试系统设备结构
Fig.6 Equipment structure of the semi-physical simulation testing system for the heavy-haul railway train control system based on BeiDou in lab

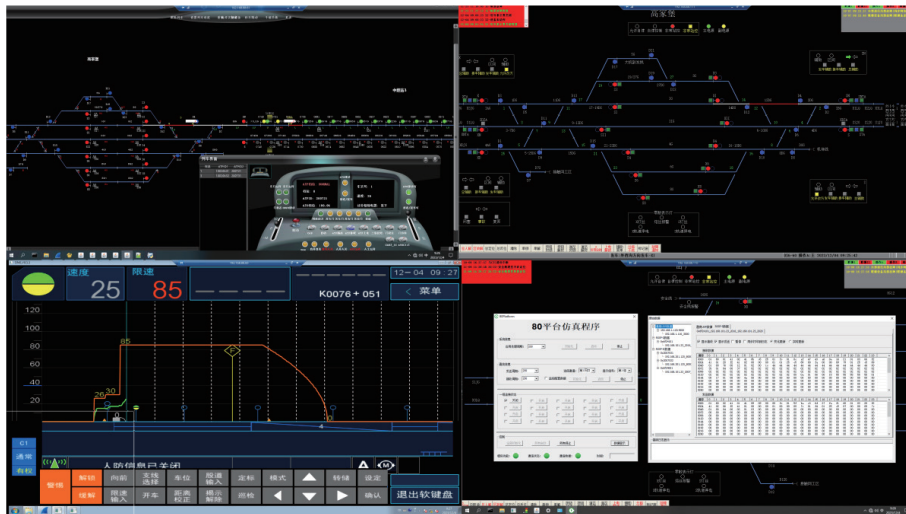


图7 基于北斗的重载铁路列控系统实验室半实物仿真测试系统场景执行
Fig.7 Implementing the scenarios of the semi-physical simulation testing system for the heavy-haul railway train control system based on BeiDou in lab

5 结语

本文充分分析基于北斗的重载铁路列控系统的系统结构，围绕其关键设备，设计了适用于基于北斗的重载铁路列控系统的仿真测试系统架构，分析实现该架构的北斗卫星导航系统仿真、闭塞系统仿真模拟、重载列车仿真模拟3项关键技术。最后通过系统实现，成功搭建了基于北斗的重载铁路列控系统仿真测试系统，有效支撑系统功能验证、装备研发调试以及系统集成测试，满足仿真测试需求。

后续的系统优化方向为：闭塞系统仿真模拟的优化，面向真实的继电编码电路进行建模，更加真实地模拟编码逻辑，提供更加丰富的故障注入功能；重载列车仿真模拟的动力学模型的优化，参考相关规范的细化仿真模型，将曲线、坡度和桥隧等线路特性引入动力学计算，更加真实地模拟重载列车的动力学特性，并适配更多车型，支撑开展更加丰富全面的实验室测试。

参考文献

- [1] 李莹莹, 张浩. 基于电子地图和卫星定位的列控技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(12): 23-27.
 - [2] 刘天琦, 张浩, 焦名. 结合测速测距的卫星定位法研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 17-20, 43.
 - [3] 郭华真, 贾云光, 崔俊锋. 卫星定位技术在轻量化列车控制系统中的应用研究[C]//中国卫星导航学术年会组委会. 第十届中国卫星导航学术年会论文集. 北京, 2019: 1-4.
 - [4] 杨厅, 陈光武, 赵晓春. 基于北斗短报文的列车通信系统[J]. 电子世界, 2016(18): 54-55.
 - [5] 莫志松, 安鸿飞. 新型列控系统列车综合自主定位技术研究[J]. 铁道学报, 2022, 44(1): 56-64.
- Li Yingying, Zhanghao. Research on Train Control Technology Based on Electronic Map and Satellite Positioning[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 23-27.
- Liu Tianqi, Zhang Hao, Jiao Ming. Satellite Positioning Method in Combination with Speed and Distance Measurement[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 17-20.
- Yang Ting, Chen Guangwu, Zhao Xiaochun. Train Communication System Based on Beidou Short Message[J]. Electronics World, 2016(18): 54-55.
- Mo Zhisong, An Hongfei. Research on

- Comprehensive Autonomous Positioning Technology of New Train Control System[J]. Journal of the China Railway Society, 2022, 44(1): 56-64.
- [6] 魏博. 新型列控系统中列车完整性功能测试方法探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(5): 21-26, 31.
Wei Bo. Discussion on Test Scheme for Train Integrity Functions in New Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 21-26,31.
- [7] 张亚忠. 基于卫星导航的列车运行轨迹仿真平台 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57(7): 21-24, 30.
Zhang Yazhong. Train Track Simulation Platform Based on Satellite Navigation[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(7): 21-24, 30.
- [8] 徐佳佳. 基于国产化 ITCS 的卫星导航仿真研究 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56(9): 56-59.
Xu Jiajia. Research on Satellite Navigation Simulation Based on China-Made ITCS[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(9): 56-59.
- [9] 王耀侦. 新型列控系统电子地图临时限速发送方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 38-41.
Wang Yaozhen. Discussion on Transmission Scheme of TSR in Digital Map for New Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 38-41.
- [10] 颀康, 赵晓宇, 张宇. 基于工程线路数据的电子地图自动生成方法研究 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58(7): 28-33.
Xie Kang, Zhao Xiaoyu, Zhang Yu. Research on Automatic Generation Method of Electronic Map Based on Engineering Line Data[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(7): 28-33.
- [11] 中国国家铁路集团有限公司. 新型列控系统电子地图暂行技术要求: TJ/DW 238-2020 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [12] Chen Yang, Cao Xiaoyu, Han Xingbang. Research and Implementation of Simulation Testing Technology for Train Control System Based on Satellite Positioning[C]//Hassan F, Sunar N, Mohd Basri MA, et al. Asia Simulation Conference. Singapore: Springer, 2024: 50-59.
- [13] 国家铁路局. 列控中心技术条件: TB/T 3439-2016 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [14] 国家铁路局. 列控中心接口规范: TB/T 3510-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [15] 国家铁路局. 列车牵引计算第 1 部分: 机车牵引式列车: TB/T 1407.1-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.

(上接 36页)

- Control System in High-Speed Railway[J]. Railway Computer Application, 2017, 26(2): 18-21.
- [7] 毛若羽. 铁路自然灾害及异物侵限监测系统的设计 [J]. 铁道建筑技术, 2017(1): 57-61.
Mao Ruoyu. Design of Railway Natural Disasters and Foreign Object Invasion Monitoring System[J]. Railway Construction Technology, 2017(1): 57-61.
- [8] 王文美. 高速铁路异物侵限监控子系统改进方案 [J]. 科技资讯, 2013, 11(6): 9-10.
Wang Wenmei. Improvement Scheme of Monitoring Subsystem for Foreign Body Intrusion in High-Speed Railway[J]. Science & Technology Information, 2013, 11(6): 9-10.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.02.012

广州18及22号线快慢车运营模式研究

叶富智¹, 范永华², 苏航¹, 林保罗³

(1. 广州地铁集团有限公司, 广州 510010;

2. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 广州 510010;

3. 广州铁科智控有限公司, 广州 510010)

摘要: 针对广州18及22号线长大区间、Y型交路等复杂运营需求, 提出相应的快慢车运营解决方案, 并通过仿真测试进行数据模拟, 形成快慢车运行模式下的信号系统解决方案, 为类似项目的信号系统设计提供有效的技术支持。

关键词: 广州18及22号线; 快慢车; 交汇点; 运行图

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0067-05

Research on Fast and Slow Train Operation Modes of Guangzhou Metro Line 18 and 22

Ye Fuzhi¹, Fan Yonghua², Su Hang¹, Lin Baoluo³

(1. Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou 510010, China)

(2. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510010, China)

(3. Guangzhou Railway Sciences Intelligent Controls Co., Ltd., Guangzhou 510010, China)

Abstract: In view of the complex operation requirements of Guangzhou Metro Line 18 and Line 22, such as long sections and Y-type routing, this paper proposes corresponding fast and slow train operation solutions, and conducts data simulation through simulation tests to form a signal system solution under fast and slow train operation modes, providing effective technical support for signal system design of similar projects.

Keywords: Guangzhou Metro Line 18 and 22; fast and slow trains; intersection; train diagram

广州轨道交通18及22号线(首通段18号线的万顷沙—洗村, 22号线的番禺广场—陈头岗)

的线路条件、运营需求和运营方式特殊, 信号系统需同时满足岛式越行站、Y型交路、快慢车等多方面的运营需求。本文着重研究适配于广州18及22号线快慢车运营的信号系统解决方案, 通过利用列车运行仿真测试系统, 分析、测试和模拟快慢车的运行情况, 从而为优化信号系统设计提供有效的技术支持。

收稿日期: 2022-12-22; 修回日期: 2023-12-06

基金项目: 广州地铁设计研究院股份有限公司科研项目(YK-2017-61)

第一作者: 叶富智(1982—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号, 邮箱: yefuzhi@gzmt.com。

1 广州18及22号线概况

广州市轨道交通 18 号线全长 61.4 km，均为地下线，共设站 9 座，其中换乘站 8 座，平均站间距 7.6 km；最大站间距 25.9 km，为横沥至番禺广场站区间；最小站间距 2.3 km，为石榴岗至琶洲西区区间。

广州市轨道交通 22 号线全长 30.4 km，初期万顷沙至番禺广场段与 18 号线共线。作为广州市域快线，18 及 22 号线构建了广州南部地区的快速联系通道，对于带动沿线周边地区城市发展与经济建设起到举足轻重作用。

广州 18 及 22 号线对于将南沙新区打造为珠三角世界级城市群的枢纽型城市，为国家级新区建设起着举足轻重的作用。对于支持南沙自贸区国家战略，将南沙打造成为粤港澳全面合作示范区，倾力打造世界级大都会起着至关重要的作用。

2 广州18及22号线特征分析

广州 18 及 22 号线（首通段 18 号线的万顷沙—洗村，22 号线的番禺广场—陈头岗）的线路条件、运营需求和运营方式具有以下一些特征。

广州 18 及 22 号线首通段共有客运车站 11 座，其中越行站 6 座，越行站占比超过 50%，适配快慢车运营条件好；

广州 18 及 22 号线所有的越行站，除了 22 号线的陈头岗站是双岛式四线越行站以外，其他的越行站都是单岛式四线越行站。慢车在陈头岗站侧线（避让线）和正线都可停车上下客；

广州 18 及 22 号线快车停靠站，除了 22 号线的陈头岗站是越行站以外，其他快车停靠站都是双线非越行车站；

慢车停靠所有车站（除了疏散救援点 1 站和疏散救援点 2 站以外，在此二站快慢运营列车皆通过不停车）；

所有单岛式四线越行站，避让线（侧股）的运营正向方向终端都有可开通定位直股的道岔作为保

护区段，从而在避让慢车进站过程中，进站进路保护区段未解锁的情况下，减少对通过进路排列的干扰。

广州 18 及 22 号线在番禺广场站汇合。番禺广场站满足跨线运营条件，广州 18 及 22 号线可行成万顷沙—番禺广场，以及万顷沙—番禺广场—白鹅潭的 Y 字形交路运营。

3 信号系统解决方案

信号系统通过各子系统协调配合支持快、慢车运营。可以根据运行图自动实现快车在车站跳停，以及在有条件的车站快车越行、慢车待避。可以自动给乘客信息系统（PIS）及广播系统发送预告，使乘客可以获知每一条股道的下一趟列车是否停车、是否为快车。可以在绘制基本图时标记快、慢车属性，如果需要，可以对快、慢车的运行图和车次窗做颜色或其他形式的区分，方便调度指挥。

3.1 快慢车运行图研究

ATS 系统要适配快、慢车运营，运行图子系统需要能够调整区间运行时间，对于通过列车，区间运行时间应予以适当减少。

对通过列车统一减少一定时间。这种方法适用于线路上各站通过线路条件大致相同，列车通过速度大体一致的情况。如果每个会让站的通过速度差异很多，可以测试各站通过和到开的时间差值。

减少区间运行时间分为 3 种情况。

出发站通过、到达站通过，这种情况减少的时间为 t_1 。

出发站到开、到达站通过，这种情况减少的时间为 t_2 。

出发站通过、到达站到开，这种情况减少的时间为 t_3 。

要精确测试某一区间的快、慢车区间运行时间差值，需要按上述 3 种情况分别测试。

1) 首先测试出发站和到达站都到开的区间运行时间 T ，从列车出发站启动开始计时，至列车在到达站停稳计时终止。

2) 测试出发站通过、到达站通过的区间运行时

间 T_1 ，从列车头部离开出发站台轨道计轴区段开始计时，至列车在到达站头部离开站台轨道计轴区段计时终止。

3) 测试出发站到开、到达站通过的区间运行时间 T_2 ，从列车出发站启动开始计时，至列车在到达站头部离开站台轨道计轴区段计时终止。

4) 测试出发站通过、到达站到开的区间运行时间 T_3 ，从列车头部离开出发站台轨道计轴区段开始计时，至列车在到达站停稳计时终止。

对应的减少时间如公式 (1)、(2)、(3) 所示。

$$t_1 = T - T_1 \quad (1)$$

$$t_2 = T - T_2 \quad (2)$$

$$t_3 = T - T_3 \quad (3)$$

当普通列车到达避让站台时，就是快车越行的最佳时机。快车通行后，普通列车继续追踪，也恰好能够满足最小追踪间隔的需求。其避让的时序关系如图 1 所示。

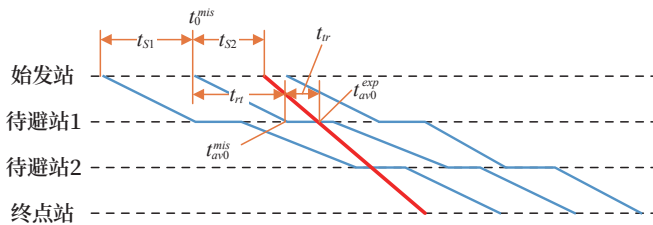


图1 快慢车避让时机
Fig.1 Coordinated timing for avoiding collisions between fast and slow trains

设普通列车从始发站出发时刻为 t_0^{mis} ；普通车从始发站运行到避让站的时间为 t_{tr} 、到达避让站的时刻为 t_{av0}^{mis} ； t_{s1} 为普通车与普通车的发车间隔；二者的发车间隔为 t_{s2} ；快车到达避让站的时刻为 t_{av0}^{exp} ；最小追踪间隔为 t_r ；快车比普通车节省的时间为 t_{jy} 。

可以得出，在避让站 1 快车 C 与普通车 B 之间的关系如公式 (4)、(5) 所示。

$$t_{av0}^{mis} + t_{tr} = t_{av0}^{exp} \quad (4)$$

$$(t_0^{mis} + t_{tr}) + t_{tr} = (t_0^{mis} + t_{s2}) + (t_{tr} - t_{jy}) \quad (5)$$

由此得出，要实现最佳的越行时机，快车与普通车发车间隔和快车节约时间如公式 (6) 所示。

$$t_{jy} = t_{s2} - t_{tr} \quad (6)$$

为实现整体开行方案的均匀间隔，快车需要周期性的变化。可以采取两种方式维持这种周期性变化：第一种，替换运行方式，即在普通车发车间隔不变的基础上，用快车替换普通车。第二种，插入运行方式，即在普通车发车间隔不变的基础上，将快车插入普通车之中。开行方案的优缺点比较如表 1 所示。

表1 开行方案的优缺点比较

Tab.1 Comparison of the advantages and disadvantages of train operation plans

快车开行方式	优点	缺点
替换运行	上线列车数固定，不需要加开	快车跳停时需要牺牲运输能力，站点会出现大的间隔
插入运行	慢车不受影响；快车能够缩小快车停靠站的行车间隔，提升运输能力	需增加上线列车数；行车间隔不均衡

快慢车越行主要受以下两个因素影响。

1) 行车间隔：如果采用插入运行，快车插入点的行车间隔是原间隔的一半，需要在线路最小追踪间隔满足的前提下进行。

2) 越行站台分布位置：在慢车到达越行的站台时，快车需要满足越行慢车的条件，且不能让慢车避让时间超长、避让次数过多。

需对越行站和越行次数的各种组合方案进行可行性分析和实验，才能确定最佳的越行方案。为了达到平衡，可能减小快车在某些区间的旅行速度，或增加慢车的避让时间等。

3.2 快慢车交汇点管理策略

3.2.1 交汇点避让策略研究

在快慢车线路中，交汇点管理策略设置的目的在于使快慢车按照设定的顺序通过越行站，并使列车停在站台外的几率最小。目前，实际应用中比较常见的交汇点管理策略包括：按到达时间优先、按路径优先及按晚点列车优先等方式。

按照上述某一种方式，由 ATS 系统自动控制避让方式，对于 18 及 22 号线的运营是不合适的。一旦图定顺序被打乱，为恢复运营秩序，必然会交换车组担当服务。由于 18 及 22 号线是两条线路按 Y

字形交路运营，且共有 1 个车辆段和 2 个停车场，如果车组担当服务被替换，高峰期结束以及运营结束收车时调度车组回到相应的场段，以及司机派班调度等都会带来很多的麻烦。

3.2.2 交汇点避让方案选择

广州 18 及 22 号线快慢车运营需要采取一种更灵活且需要人工确认避让策略的调整方式。

系统具备越行避让管理功能，能够使快慢车按照预先设定好的顺序通过越行站。在兼顾停站和避让的前提下，快车越行慢车。如果发现异常，系统会自动计算相应的避让时间，如果造成的延误不长，快车会优先通过；如果造成的延误较大，系统会提示操作人员人工处理。

3.2.3 广州18及22号线交汇点管理方案

在交汇点车站，如果待避列车到达进路触发时刻，但是计划前行通过列车晚点未达到的情况时，弹出对话框提示。

系统根据广州地铁企业标准规定的最长待避时间 5 min 原则，对交汇点管理进行优化设计。

1) 交汇点进路请求对话框显示待避列车等待前行列车通过的情况下预计总共停站时间。

2) 如果通过列车晚点情况不多，预计待避列车停站时间不会超过 5 min 的情况下，交汇点进路请求对话框默认选项为等待直至计划前行列车通过。

3) 如果通过列车晚点较多或位置不可知（列车下线等情况），预计待避列车会发生超时，如果列车运行前方仍然有车站可以交汇避让，交汇点进路请求对话框默认选项为立即排列进路；如果列车运行前方没有车站可以交汇避让，交汇点进路请求对话框默认选项为等待直至计划前行列车通过。

4) 列车运行前方仍然有车站可以交汇避让，ATS 支持多次自动交汇避让。

5) 同时支持“先来先走”的交汇点管理策略：信号机可以设置停用交汇冲突检测操作，操作成功后，ATS 不再检查该信号机所有进路的交汇冲突，先来的列车优先排列进路，不再做出冲突提示。

6) 可以灵活配置每条进路的自动进路提前排列时间量，避免早提示、多提示，在列车准点运行的情况下尽量没有弹框干扰。时间量可以根据现场使用情况随时修改。

4 仿真与验证

4.1 仿真交路

采用广州 18 及 22 号线初期运营交路进行仿真实验，初期运营采用独立交路。

广州 18 号线共上线 15 列车，其中 13 列为普通车，2 列为大站快车，广州 18 号线全部列车运营交路为万顷沙至洗村。

广州 22 号线上线 5 列车，全部是普通车，全部列车运营交路为番禺广场至陈头岗。

4.2 仿真结果

依据现场实际仿真测试结果如下。

1) 正常运行期间列车没有 2 min 以上的早晚点情况。

2) 始发全部正点。

3) 其他区间 ATO 自动调整精确，基本图运行线和实际运行线几乎贴合。

4) 慢车平均避让时间小于 3 min，相比慢车最长停靠时间 5 min 指标尚有大幅裕量。

5) 快车跟踪慢车、慢车跟踪快车的最小追踪间隔时间小于 90 s。

5 结束语

广州地铁 18 及 22 号线按照最高速度 160 km/h 设计，设置了多个越行站，适宜采用快慢车运营。针对快慢车和 Y 字形交路运营，ATS 系统须能够支持灵活地生成、编辑运行图，满足不同运营要求。ATS 系统须区分显示快慢车图标、运行线，并提供便捷的快慢车转换手段，在运营秩序出现异常后，能快速地恢复按快运行图快慢车运营。快慢车转换建议在始发站进行操作。本文提供的仿真数据可以作为相应研究结果的支撑。

参考文献

- [1] 胡清梅, 吕楠, 夏朋飞, 等. 新技术下北京地铁调度模式发展趋势 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (4): 47-53.
Hu Qingmei, Lü Nan, Xia Pengfei, et al. Development Trend of Beijing Rail Transit Dispatching Mode Under New Technologies[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 47-53.
- [2] 刘婧婧, 赵家炜, 黄晓钦. 广州地铁 14 号线“快、慢车”运行方案分析 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (6): 89-93.
Liu Jingjing, Zhao Jiawei, Huang Xiaoqin. Express and Local Trains Operation Scheme of Guangzhou Metro Line 14[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(6): 89-93.
- [3] 宋键, 徐瑞华, 缪和平. 市域快速轨道交通线开行快慢车问题的研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9 (12): 23-27.
Song Jian, Xu Ruihua, Miao Heping. Problems of Operating the Express/Slow Train on the Regional Urban Rail Transit Line[J]. Urban Mass Transit, 2006, 9(12): 23-27.
- [4] 屈明月, 黄树明. 城市轨道交通快慢车方案研究 [J]. 铁道运输与经济, 2012, 34 (4): 79-82.
Qu Mingyue, Huang Shuming. Study on the Scheme of Fast and Slow Trains in Urban Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy, 2012, 34(4): 79-82.
- [5] 张咪. 广州地铁 14 号线 Y 型交路快慢车运行图规划实例分析 [J]. 科技创新与应用, 2019 (9): 73-75.
Zhang Mi. Case Study on the Operation Diagram Planning of Y-Shaped Intersection Fast and Slow Trains on Guangzhou Metro Line 14[J]. Technology Innovation and Application, 2019(9): 73-75.
- [6] 孙元广, 史海欧. 市域线快慢车组合运营模式研究与实践 [J]. 都市快轨交通, 2013, 26 (2): 14-17.
Sun Yuanguang, Shi Haiou. Study and Practice of Operating Express/Slow Trains on Urban Railway Lines[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2013, 26(2): 14-17.
- [7] 葛兰新. 深圳地铁 3 号线信号系统改造方案选择 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (10): 73-78.
Ge Lanxin. Selection of Schemes for Transformation of Signal System for Shenzhen Metro Line 3[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 73-78.
- [8] 徐意. 广州地铁 21 号线快慢车越行运行图规划实例分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19 (12): 143-148.
Xu Yi. Analysis of Train Overtaking Diagram Planning for Guangzhou Metro Line 21[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(12): 143-148.
- [9] 王仲林. 广州地铁 21 号线快慢线规划设计与实践 [J]. 都市快轨交通, 2018, 31 (3): 52-57.
Wang Zhonglin. Planning and Design of the Express and Local Line of Guangzhou Metro Line 21[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(3): 52-57.
- [10] 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.
- [11] 谭彬彬, 金华, 刘爽, 等. 考虑城市轨道交通折返进路占用的大小交路列车运行组织优化 [J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19 (8): 2161-2168.
Tan Binbin, Jin Hua, Liu Shuang, et al. Optimization on Train Operation Organization of Full-Length and Short-Turn Routing Mode Considering the Occupation of Turn-back Route[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(8): 2161-2168.

基于云架构的城市轨道交通信号系统 方案研究

郭弘倩¹, 南 迪²

(1. 国家知识产权局专利局专利审查协作天津中心, 天津 300304;

2. 中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 传统架构下信号系统有很高的独立性, 无法实现多系统间信息融合。为实现与城轨生产网的信息共享及大数据挖掘, 可选择将信号 ATS 子系统纳入城轨云平台。在保证信号系统核心设备独立性、安全性的基础上, 将 ATS 子系统中心级服务器、工作站纳入云平台, 以 1.0 的复用比为例计算了 ATS 子系统的计算资源需求。ATS 上云部分与非云部分的连接通过云平台核心交换网络实现; 应用服务器及接口服务器配置刀扇式服务器, 数据库服务器配置机架式服务器。为满足 ATS 子系统冗余及无扰切换要求, 云平台为 ATS 子系统提供两套配置相同的服务器资源; 考虑到城轨信号系统需满足信息安全等级保护 3 级的要求, 云平台均应按照信息安全等级保护三级进行建设。

关键词: 城市轨道交通; 信号系统; ATS; 城轨云; 大数据; 智慧城轨; 云桌面

中图分类号: U283.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0072-06

Research on Urban Rail Transit Signal System Scheme Based on Cloud Architecture

Guo Hongqian¹, Nan Di²

(1. Patent Examination Cooperation (Tianjin) Center of the patent Office, CNIPA, Tianjin 300304, China)

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

Abstract: The signal systems under the traditional architecture have a high degree of independence and cannot achieve information fusion among multiple systems. In order to realize information sharing with the urban rail production network and enable big data mining, the signal ATS subsystem can be included in the urban rail cloud platform. On the basis of ensuring the independence and safety of the core equipment of the signal systems, the ATS subsystem center-level servers and workstations are included in the cloud platform. This paper calculates the computing resource requirements of the ATS

收稿日期: 2022-11-01; 修回日期: 2023-12-28

基金项目: 呼和浩特市科学技术局重大科技专项 (2018150103000100)

第一作者: 郭弘倩 (1990—), 女, 知识产权师, 硕士, 主要研究方向: 交通信息工程与控制, 邮箱: guohongqian@126.com。

subsystem with a reuse ratio of 1.0 as an example. The connection between the cloud part and the non-cloud part of ATS is realized through the core switching network of the cloud platform. The application server and interface server are configured with blade servers, and the database server is configured with a rack server. To meet the requirements of ATS subsystem redundancy and undisturbed switching, the cloud platform provides two sets of server resources with the same configuration for the ATS subsystem. Considering that the urban rail signal systems need to meet the requirements of Level 3 of Information Security Level Protection, the cloud platform should also be built according to Level 3.

Keywords: urban rail transit; signal system; ATS; urban rail cloud; big data; smart urban rail; cloud desktop

随着国内对“互联网+城市轨道交通”战略的推进，云计算、大数据等信息技术已逐渐成为轨道交通发展的趋势。城市轨道交通由运营生产中心、企业管理中心和乘客服务管理中心组成，建立一个涵盖安全生产、内部管理和外部服务等多领域的大数据平台，也是当前智慧城轨系统的需求。

传统城市轨道交通安全生产业务采用基于传统物理服务器分散隔离式部署模式建设，造成硬件资源利用率严重不平衡。随着各地城市轨道交通线网快速发展，业务系统分散部署和物理隔离的模式已逐渐无法满足资源集中管理，高密度数据交换等深层次的资源、数据共享需求。

采用云架构建设城市轨道交通信息化系统，构建服务器、存储、网络等资源池，通过对城轨业务系统之间的横向融合和各线路间信息资源的纵向融合，最终可实现城市轨道交通的全方面融合、全方面的资源共享。

1 当前技术发展现状

信号系统作为安全生产网的重要组成，也是保证城市轨道交通行车安全的基石。信号系统主要由列车自动防护（Automatic Train Protection, ATP）、列车自动运行（Automatic Train Operation, ATO）、列车自动监控（Automatic Train Supervision, ATS）和联锁4个子系统组成，共同完成列车自动控制功能。考虑系统功能定位和设备选型，ATS子系统具备纳入云平台条件。

根据功能定位，ATS系统应设置于IaaS层，即可任意部署和利用云平台的处理、存储、网络等计算资源部署与运行操作系统和应用程序等各种软件，但不可操作云平台管理系统，保证云平台上各安全生产业务系统的相对独立性和安全性。

ATS主要实现线路/线网的运营监控，运行图和列车时刻表编辑和根据计划组织全线路/线网的统一调度，同时可向PIS、ISCS、PA等系统传输列车运行信息。相较于传统“信息孤岛”模式的系统架构，ATS子系统可利用云平台实现安全生产数据交换，同时借助大数据平台为内部管理网和外部服务网提供一些有用信息如列车正晚点信息、列车时刻表、运营数据等，对于城轨的建设者、运营者和使用者均有创新意义。

2 云平台部署原则

ATS纳入城轨云平台时，既需要考虑ATS系统与其他业务系统实现效率最大化的信息交换共享，又必须保证信号系统对安全性的要求。本节结合信号ATS子系统与云平台接口的设计要求及传统ATS子系统部署原则进行分析。

2.1 ATS子系统与信号安全系统的接口设备

信号系统网关计算机，作为ATS子系统与信号安全系统的接口设备，实现ATS子系统逻辑数据与信号安全系统逻辑的交互，为保证云平台与信号安全系统的隔离需求，ATS子系统网关计算机不纳入云平台部署及管理。

2.2 AT子系统与非信号专业接口设备

云平台建设过程中，多专业共用云平台可最大限度地实现云平台的资源利用率。由于各个专业均纳入云平台部署及管理，ATS子子系统与非信号专业的接口设备可纳入云平台部署及管理。

2.3 AT子系统车站设备

ATS子子系统车站设备主要包括现地控制工作站和ATS车站分机。结合考虑中心故障后，保留车站降级模式功能的设计需求进行分析：在控制中心故障后，ATS子子系统优先使用站控模式进行运营组织，ATS车站分机借助现地工作站实现中心故障后站控模式的运营能力。由于部分厂家采用非通用服务器/工作站的方式部署ATS分机，暂不建议将其纳入云平台部署。当中心ATS系统、车站分机均故障时，现地控制工作站作为联锁控显机（上位机）直接对联锁主机进行控制命令输出，因此也不建议将现地控制工作站纳入云平台管理。

2.4 AT系统网络

纳入云平台后，中心级ATS系统网络需纳入云平台，车站级网络可纳入云平台也可采用自组网方案。当采用自组网方案时，车站ATS独立组建光纤环网，在中心通过安全隔离设备（如网关）接入云平台网络。

3 系统架构分析

按照国内武汉、呼和浩特等在建或已开通的城轨项目经验，目前信号ATS系统纳入云平台主要思路是“中心上云，车站不上云”，即中心ATS系统纳入云平台，而车站联锁、ATP/ATO及站级ATS系统保留传统架构。

云平台对CPU的调度是以逻辑核为单位的，逻辑核是将物理核通过超线程（HT）技术模拟成2个逻辑核心，每台计算节点服务器承载vCPU数量计算方法如下： $vCPU \text{ 数量} = (\text{CPU 数量} \times \text{每颗 CPU 物理核数量} \times 2 - \text{虚拟化层占用逻辑核数量}) \times \text{虚拟化复用比}$ 。

虚拟化复用比是一台服务器上虚拟机的vCPU

的总数相对可用逻辑核数（不包括虚拟化层占用逻辑核）数量的比率，标称的是服务器上逻辑核复用的程度，一般情况下推荐复用比为1.0，不同应用场景下复用比推荐如表1所示。

表1 虚拟机应用场景对照

Tab.1 Comparison between the application scenarios of virtual machines

应用场景	建议复用比
虚拟机的vCPU使用率 >30%	≤ 100%（即不复用）
20% < 虚拟机的vCPU使用率 < 30%	100% ~ 200%
虚拟机的vCPU使用率 <20%	200% ~ 300%

以一条标准线路为例，对系统配置进行分析，系统配置如表2所示。

表2 系统配置示意

Tab.2 Example of system configuration

线路/km	车辆段	车站	停车场	变电所	控制中心
20	1	20	1	1	1

3.1 云平台硬件选型

目前城轨云平台处于发展的起步阶段，仍以硬件云为主，存储资源主要由整合服务器搭建完成。目前云平台常用的服务器主要有：刀扇式服务器、机架式服务器以及上述2种服务器组合的形式。

方案1：业务服务器 & 数据库服务器全部采用刀片；

方案2：业务服务器 & 数据库服务器全部采用机架；

方案3：业务服务器采用刀片，数据库服务器采用机架。

刀片式服务器与机架式服务器面对不同场景、需求，各有优势。在城轨云平台的体系下，考虑到多种业务的硬件融合，刀片式服务器的高密度分布和计算能力更适合业务服务器，而数据库服务器本身用于存储的是本专业的重要运营数据，考虑使用机架式服务器作为选择。综上，ATS系统推荐采用方案3：应用服务器及接口服务器采用刀扇式服务器，数据库服务器推荐采用机架式服务器。

3.2 计算资源架构

计算资源包括服务器（应用服务器、数据库服

务器、接口服务器)、工作站(调度员/调度长工作站、时刻表/运行图编辑工作站、维护工作站)。

中心级服务器硬件(应用/接口服务器采用云主机,云管从虚拟资源池统一分配计算资源,数据库服务器考虑信号系统特殊性采用裸金属服务器)纳入云平台管理,软件由ATS系统提供,保留ATS系统既有架构不变。虽然云平台本身具有冗余和备份功能,但不能满足ATS系统主/备无扰切换需求,因此ATS系统切换逻辑由主/备双套的ATS系统软件完成。此外,云平台还可以为同一专业多条线路的数据库服务器提供共享存储空间,提高服务器利用率。

培训系统相关设备一般仅在培训时开机,可以考虑将其纳入云平台,使用时通过云管为其分配相应的虚拟机分区即可。也可以保留其全套硬件,作为信号系统初期调试的备份系统使用。

根据线路情况,ATS系统业务资源配置推荐如表3所示。

表3 计算资源池资源需求

Tab.3 Resource requirements of the computing resource pool

业务模块	业务子系统	节点数量	vCPU/个	内存/GB	主机存储/GB	共享存储/GB	部署方式
列车自动监视系统(ATS)	数据库服务器	2	2颗 16核	64	1 000	6 000	裸金属
	应用服务器	2	16	32	1 000		云主机
	通信服务器	2	16	32	1 000		云主机
	接口服务器	1	16	32	1 000		云主机
	培训服务器	1	16	32	1 000		云主机
合计	云主机(小计)	6	96	192	6 000		
	裸金属				2 000	6 000	

其中虚拟机损耗为5%,虚拟化复用比采用1.5。另外,考虑业务高可靠(HA),根据经验,需要预留30%资源支撑HA。按照上述业务资源需求及计算公式,具体物理服务器资源如表4所示。

行调工作站、时刻表编辑工作站纳入云平台,可纳入桌面云系统直接管理,也可参照服务器上云

表4 计算资源池服务器配置

Tab.4 The configuration of servers of the computing resource pool

业务系统	服务类型	服务器选型	∑vCPU	每服务器vCPU	服务器数量/台
信号ATS系统	云主机	服务器(X86,4颗16核CPU)	96	180	2
	裸金属	服务器(X86,4颗16核CPU)			2
合计	云主机		96		2
	裸金属				2

注:由于ATS系统服务器采用双机冗余配置,双机切换由信号系统自行判断,因此需云平台提供计算资源一致的两套服务器供ATS系统使用

方案仅硬件上云,在云主机提供的虚拟机中安装相关软件。需要注意的是,由于上述工作站直接参与列车调度信息交互,上云时应考虑云平台安全完善度等级与ATS系统保持一致,即满足SIL2级安全完善度等级的要求。由于维护网与车站级设备共同接入维护网,不建议中心ATS维护终端上云。ATS系统云桌面资源配置推荐如表5所示。

表5 计算资源池云桌面需求

Tab.5 Cloud Desktop requirements of the computing resource pool

应用系统	应用节点	节点数量	虚拟机规格		
			vCPU/个	内存/GB	主机存储/GB
列车自动监视系统(ATS)	中心工作站	3	8	16	1 000
	车站工作站(车站不上云)				
总计		3	24		3 000

考虑到工作站数量较少、硬件要求较低,为实现资源云化、整合硬件数量的需求,因此配置服务器时,一般采用多个专业工作站计算资源共同整合的模式。根据经验,在考虑虚拟机损耗、虚拟化复用比按1.5设置的情况下,一台云主机可同时承担90个vCPU的计算能力。

3.3 存储资源架构

存储资源主要包括服务器/工作站自身存储和运营数据存储,业务存储资源采用FC SAN架构,各业务服务器双归属到两台FC交换机,FC交换机分别与存储设备互联,架构如图1所示。

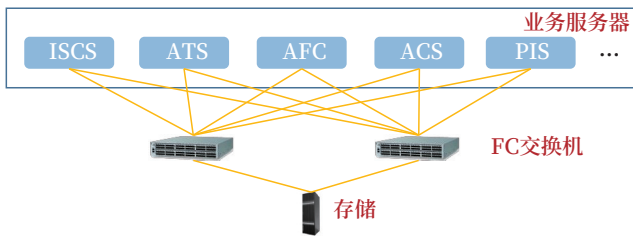


图1 城轨云平台存储架构示意
Fig.1 Storage architecture of the urban rail cloud platform

3.4 网络资源架构

如图2所示,ATS系统通过云平台接入交换机和云平台核心网交换机实现与本系统及其他系统的信息传输及交换。为简化网络部署,提高网络可靠性,多台接入交换机采用堆叠技术虚拟化为1台。

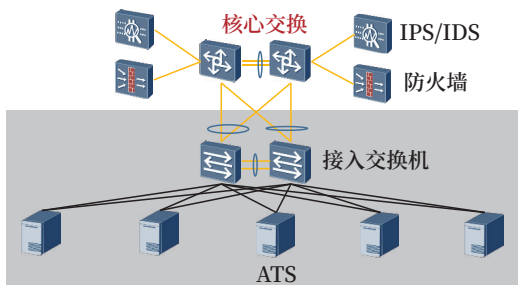


图2 城轨云平台网络架构示意
Fig.2 Network architecture of the urban rail cloud platform

为保证ATS业务带宽,推荐每台接入交换机采用10G链路聚合与核心交换机互联。

3.5 信息安全防护

《网络安全等级保护测评要求 第2部分:云计算安全扩展要求》中明确提出:在云计算环境中,应将云服务方侧的云计算平台单独作为定级对象定级,云租户侧的等级保护对象也应作为单独的定级对象定级。

云计算安全要求应涵盖物理和环境安全、网络和通信安全、设备和计算安全、应用和数据安全、安全建设管理和安全运维管理等内容。

基于上述准则,在本方案中,云平台作为单独的定级对象,由云平台厂商提供等级保护技术建设及等级保护测评服务;ATS系统作为单独的定级对象,由专业安全厂商提供等级保护安全建设及等级

保护测评服务。

目前城轨云平台还是以硬件云为主,控制中心云平台通过设置核心交换区来实现中心各业务系统之间的数据交换。为保证信息安全,在核心交换区的交换机上可以旁挂防火墙和入侵检测等设备。中心级ATS系统纳入云平台后,ATS系统与其他系统接口由硬件网络接口变为逻辑接口,ATS系统内部架构保持不变,站段级ATS系统通过接入交换机接入中心级ATS系统。

信号系统和云平台均应按照信息安全等级保护三级进行建设。

4 工程建设中需注意的问题

本文分析了ATS上云方案,但对于信号ATS系统是否上云目前还处于百家争鸣阶段,各类工程建设规范也并没有强制性要求ATS系统纳入云平台。在实际工程运用时,不论是建设单位、运营单位还是设计单位,应结合不同线路规划及投资情况考虑云平台整体架构是否有必要将ATS系统纳入云平台,同时也应知晓ATS上云后,相比传统架构需额外注意如下问题。

1) ATS系统属于信号系统的核心组成部分,一旦控制中心因火灾、地震等灾害中断势必导致行车中断,考虑极端场景下云平台宕机场景,根据线路重要程度可考虑设置灾备中心以应对主用中心瘫痪时信号行车调度指挥的可用性和功能完整性,并做好应急预案。

2) 上云后,ATS系统需通过云平台网络接入中心级ATS系统,在信息安全方面云平台必须整体实现三级防护。

3) ATS采用冗余机制,可实现主/备系统的无扰切换。目前云平台虚拟机间的热迁移功能(HA)因需要在主资源池故障时重新启动一套同配置的虚拟机,不具备无扰切换能力,因此ATS主/备系统需同时分别占用云资源,并由信号系统软件自行判断切换时机。

5 总结与展望

国内的轨道交通过业自 20 世纪 80 年代开始孕育,随着线路长度、机车数量、客运数量等指标不断攀升,现已成为世界最大的城市轨道交通建设市场。在不断增长与建设的背景下,轨道交通作为城市交通的重要组成部分,其智能化是智慧城市、智慧交通的重要组成部分。在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020 年)》中指明,“高速轨道交通系统”和“智能交通系统”是优先主题。轨道交通智能化系统是以多系统为基础的综合平台,是现代轨道交通发展的必然趋势。《智慧城轨发展纲要》也提出:建设一个自主可控、功能完备、技术领先、安全可靠、可持续发展的城轨云与大数据平台,实现对城轨业务应用的统一部署承载,资源动态分配,统一开发运营部署运行环境,为城市轨道交通各类信息系统应用提供服务,助力城轨智能化、智慧化发展。信号系统作为涉及行车安全的重要系统,系统运行数据是作为现在轨道交通大数据平台的重要组成部分。信号 ATS 系统作为列车行车调度指挥的“大脑”,存储着大量线网列车运营数据,对于将其融合到线网大数据云平台,为实现城轨智能化、智慧化有着非常重要的意义。

参考文献

- [1] 徐伟,张德明,宋欣.城轨信号系统云平台 RAM 指标分析[J].铁道通信信号,2021,57(12):65-70,75.
Xu Wei, Zhang Deming, Song Xin. RAM Analysis on Cloud Platform for Signal System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(12): 65-70, 75.
- [2] 李佳祎.城市轨道交通云平台系统网络架构方案研究[J].铁道工程学报,2020,37(4):91-97.
Li Jiayi. Research on the Network Architecture of Urban Rail Transit Cloud Platform System[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(4): 91-97.
- [3] 覃定明,李永霞.城轨信号系统信息安全技术方案研究[J].铁道通信信号,2017,53(12):71-74.
Qin Dingming, Li Yongxia. Research on Information Security Technical Scheme of Signal System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(12): 71-74.
- [4] 周明月.地铁工程项目管理信息化系统建设与管理探讨[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(1):82-86.
Zhou Mingyue. Construction and Management of Metro Project Management Information System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 82-86.
- [5] 周欢.城轨信号系统智能运维信息采集方案[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(2):73-78.
Zhou Huan. Research on Information Acquisition Scheme of Intelligent Operation and Maintenance for Urban Rail Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 73-78.
- [6] 王彪.城轨云架构下灾备方案研究[J].都市轨道交通,2019,32(3):25-31.
Wang Biao. The Disaster Preparedness Scheme under the Urban Rail Cloud Architecture[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019, 32(3): 25-31.
- [7] 钟章队,黄靖茹,李斌,等.智能通号技术在城市轨道交通中的应用[J].都市轨道交通,2019,32(3):5-12.
Zhong Zhangdui, Huang Jingru, Li Bin, et al. Application of Intelligent Signal and Communications Technology in Urban Rail Transit System[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019, 32(3): 5-12.
- [8] 郜春海,刘波,简锐锋,等.新一代城轨信息化体系中 ATS 系统发展[J].都市轨道交通,2018,31(4):77-81,97.
Gao Chunhai, Liu Bo, Jian Ruifeng, et al. Discussion on the Development of an ATS System (下转 102 页)

现代有轨电车平交路口信号系统 控制方案研究

雷 彬, 孟凡超

(广州铁科智控有限公司, 广州 510145)

摘要: 结合丽江市有轨电车1号线的线路特点及实际情况, 对现代有轨电车平交路口信号系统控制方案进行研究, 详细阐述路口控制系统结构、功能、接口, 以及平交路口信号设备布置设计, 对有轨电车通过平交路口的全过程进行深入分析。侧重介绍对于不同类型的路口, 通过设备布置及有轨电车路口控制系统与市政交通控制系统完成信息交互, 实现有轨电车安全高效的通过平交路口, 对同一线路平交路口种类较多的情况提出解决方案, 说明针对不同类型路口的不同路口通过处理逻辑, 充分保障有轨电车行车安全和运营效率。

关键词: 信号系统; 有轨电车; 平交路口; 路口控制系统; 设备布置

中图分类号: U482.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0078-06

Study on Control Schemes of Signaling Systems at Level Crossings for Modern Trams

Lei Bin, Meng Fanchao

(Guangzhou Railway Sciences Intelligent Controls Co., Ltd., Guangzhou 510145, China)

Abstract: Considering the line characteristics and actual situation of Lijiang Rail Transit Line 1, this paper studies and analyzes the control schemes of signaling systems at level crossings of modern trams. The structure, functions and interfaces of the level crossing control system and the level crossing signal equipment layout design of Line 1 are described in detail, and the whole process of trams passing through level crossings is deeply analyzed. By focusing on different types of level crossings, and through the equipment layout and interaction between tram level-crossing control system and municipal traffic control system, trams are able to pass through the level crossings safely and efficiently. This paper puts forward a solution for the scenario where there are several types of level crossings on the same tram line and explains the different processing logic for trams passing through different types of level crossings to fully guarantee the safety and operation efficiency of trams.

Keywords: signaling system; tram; level crossing; level crossing control system; equipment layout

收稿日期: 2022-08-12; 修回日期: 2023-12-19

基金项目: 广州铁科智控有限公司科研课题项目 (KYA19002)

第一作者: 雷彬 (1992-), 女, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: swjtuleibin@163.com.

随着近年国内城市轨道交通的快速发展,有轨电车因其安全可靠、舒适便捷、节能环保等特点,逐渐成为中小城市公共交通运输体系的骨干,以及大中城市轨道交通网的补充,在城市轨道交通中占据重要地位^[1]。有轨电车区别于传统城市轨道交通的最大特点是与市政交通有道路交叉,以丽江市有轨电车1号线为例,对有轨电车平交路口信号系统控制方案展开研究。有轨电车在城市交通系统中的应用逐渐广泛,与有轨电车线路交叉的路口也随着多样化,一条线路中同时出现多种不同类型的路口成为普遍情况,如何通过路口控制系统实现电车在不同类型平交道口安全高效运行成为有轨电车当前发展阶段需要解决的主要问题。结合丽江市有轨电车1号线,对有轨电车平交路口信号系统控制方案展开研究。

1 设计概述

1.1 项目概况

丽江市有轨电车1号线起于游客中心站,终点至玉龙雪山站,全程途经11个市政地面道路,线路与沿线的地面道路平面交叉,形成典型的铁路与公路平交口。信号系统提供路口控制系统,用于与市政交通控制系统接口交互。该线采用传统的司机目视行车,平交路口前方设置路口表示器,用于指导司机驾驶、控制平交口路权与防护道路安全。平交路口前方设置接近信标、到达信标,平交路口后方设置离去信标。电车扫过接近信标后,车载系统发送接近请求与路口控制系统建立连接,路口根据电车接近情况与市政交通控制系统进行信号传输,控制路口表示器的显示,从而实现电车安全通过平交路口^[2]。

1.2 设计原则

根据国标《轻轨交通设计标准》(GB/T 51263-2017)第11.6.5条“平交口信号优先的控制策略”第2项“当交叉口交通流量满足设置信号控制的最低要求,且相交道路交通流量明显小于正线道路交通流量时,宜采用优先的信号控制”的规定^[3],对

应丽江市有轨电车1号线实际情况,与有轨电车线路相交叉的道路均为城郊、道路等级低、交通流量较少的乡村支路、等外道路及四级公路等。而有轨电车途经丽江市热门旅游景点,有轨电车满足绝对优先运行的条件。为发挥轨道交通安全、快捷、高效、节能环保的优势,提高和改善丽江市旅游景区交通条件,本线路设计为有轨电车与道路相交的平交口采用有轨电车绝对优先方案^[4]。

1.3 路口类型

丽江市有轨电车1号线路口类型具体分为3类:

1) 与站台关联的平交路口:即按运营正方向,路口在电车出站后200 m范围内,在该类型的平交路口,系统确保电车停靠站台时不占用市政道路的路权,列车出站后能迅速通过路口;

2) 无站台关联的平交路口:即按运营正方向,路口不属于电车出站后200 m范围内,对于该类型平交路口,系统保证电车在路口空闲状态下以最短的占用时间通过路口;

3) 车辆基地道路平交路口:该路口仅供车辆基地内部使用,由于此类型路口属于内部使用且使用率极低,路口在无过道申请的情况,长期为电车开放允许状态,保障运营效率。

2 路口控制系统

2.1 系统结构

路口控制系统包含电源模块、CPU模块、光电转换模块以及专用信号机控制模块,通过与市政交通控制系统、路口表示器交互,并基于综合承载网与车载系统、综合调度管理系统进行交互,实现路口控制的功能^[5]。

电源模块:AC/DC开关电源,输入AC 220 V,输出DC±15 V。模块具有完备断电报警功能,模块支持热插拔。

CPU模块:作为路口控制器的核心组件,根据电车接近信息提供优先逻辑处理功能,同时对外提供通信接口,分别与专用信号机控制模块和市政交通控制器进行通信和数据交互。

光电转换模块：用于将电信号转换成光信号，接入综合承载网交换机，并通过综合承载网与综合调度管理系统、车载系统进行交互。

IO 模块 /RS-422/RS-485 模块：用于与市政交

通控制系统进行交互，通过继电器接口与市政交通进行控制命令的发送和接收。

路口控制系统架构如图 1 所示。

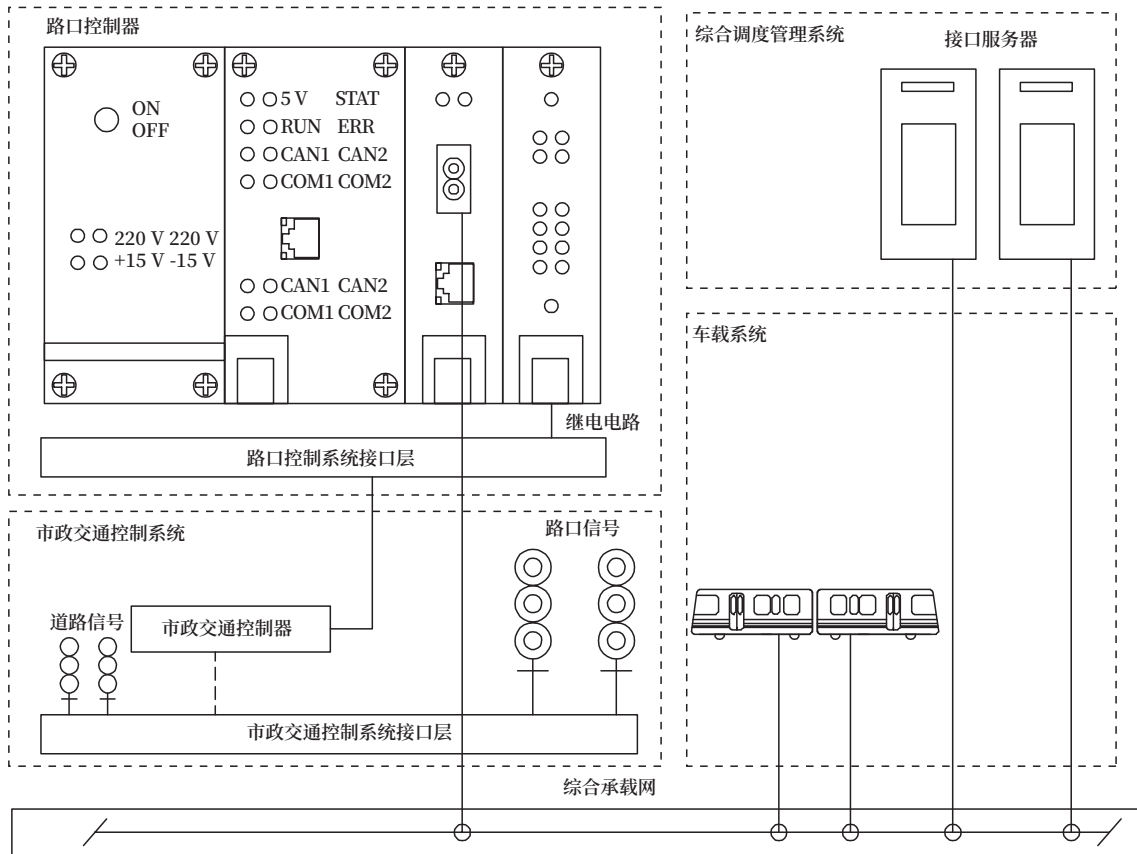


图1 路口控制系统架构
Fig.1 The architecture of the level crossing control system

2.2 系统功能

路口控制系统主要用于实现有轨电车在交叉路口的信号控制。路口控制系统可通过接收车载子系统发送的电车接近、到达和离去路口的判断信息，并将相关信息送往市政交通控制系统，实现各种交通工具之间的有序运行^[6]。

电车运行至路口前方的接近信标，电车的信标天线扫过接近信标时，车载系统向路口控制系统发送接近请求，路口控制系统接收到接近请求后，回复车载系统信息包，完成通信连接建立。电车通过路口后，电车的信标天线扫过离去信标，车载系统向路口控制系统发送离去信息，路口控制系统接收

离去信息后与车载系统断开连接^[7]。

路口控制系统仅在电车位于对应路口的接近信标至离去信标范围内与车载系统建立通信进行信息交互，最大限度节约系统计算及通信资源，优化系统性能。

路口控制系统向市政交通系统提供电车及路口信息后，市政交通控制系统根据优先级策略返回路口表示器的优先状态；路口控制系统根据市政交通控制系统的返回状态，通过车载和综合调度系统向司机和调度反馈^[8]。

2.3 系统接口

路口控制系统接口包括与车载系统接口、与市

政交通控制系统接口、与综合调度管理系统接口。路口控制系统与车载系统、综合调度管理系统之间的接口均采用以太网，路口控制系统与市政交通控

制系统之间的接口采用继电器接口。路口控制系统接口信息交互如图 2 所示。

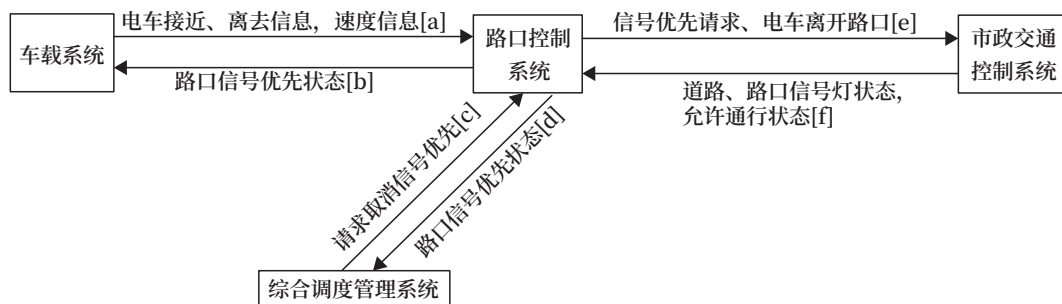


图2 路口控制系统接口信息交互

Fig.2 Interface information exchange of the level crossing control systems

路口控制系统与市政交通控制系统之间的每一路接口信号采用一组继电器干接点实现。路口控制系统继电器的驱动电源及接口干接点采集电源由路口控制系统自身提供，市政交通控制系统继电器的驱动电源及接口干接点采集电源由市政交通控制系统提供。

路口控制系统与市政交通控制系统双向收发详细接口信号和定义如表 1 所示。

3 路口通过方案

每个平交路口设置路口控制器一套，用于控制路口表示器。路口上行和下行各设置一架路口表示器，用于指示有轨电车允许/禁止通过路口。根据有轨电车运行正方向，在路口前方依次设置接近信标和达到信标，在路口后方设置离去信标。

3.1 与站台关联的平交路口

当有轨电车运行至与站台关联的平交路口附近，设备布置时复用站台精确定位信标作为路口接近信标，电车经过接近信标，不与路口控制系统立刻建立连接。进站停车后等待停站倒计时到规定时间时，电车的车载系统再发送接近请求与路口控制系统建立连接，防止有轨电车过多占用路权影响市政交通的运行效率。同理，若离开路口后近距离内有站台，则复用站台精确定位信标作为离去信标，使电车进入站台后能及时释放路权。路口控制系统向市政交通控制系统

表1 接口信号定义

Tab.1 Interface signal definitions

信号名称	信号方向	信号类型	信号定义	
			高电平	低电平
接近请求 (ASJ)	路口控制系统→市政交通控制系统	持续信号	有车接近占用	无车接近占用
故障 (TFJ)	路口控制系统→市政交通控制系统	持续信号	路口控制故障	路口控制正常
允许通过 (ATJ)	市政交通控制系统→路口控制系统	持续信号	允许通过	禁止通过
故障 (MFJ)	市政交通控制系统→路口控制系统	持续信号	市政交通控制故障	市政交通控制正常
绿灯 (LJ1)	市政交通控制系统→路口控制系统	持续信号	灯位点亮	灯位熄灭
黄灯 (UJ1)	市政交通控制系统→路口控制系统	持续信号	灯位点亮(闪烁)	灯位熄灭
红灯 (HJ1)	市政交通控制系统→路口控制系统	持续信号	灯位点亮	灯位熄灭
绿灯 (LJ2)	市政交通控制系统→路口控制系统	持续信号	灯位点亮	灯位熄灭
黄灯 (UJ2)	市政交通控制系统→路口控制系统	持续信号	灯位点亮(闪烁)	灯位熄灭
红灯 (HJ2)	市政交通控制系统→路口控制系统	持续信号	灯位点亮	灯位熄灭

发送电车接近请求信息后，市政交通控制系统关闭市政交通信号，开放有轨电车专用路口表示器。

与站台关联的平交路口如图 3 所示。

3.2 无站台关联的平交路口

当有轨电车运行至无站台关联的平交路口附近时，经过接近信标，电车的车载系统发送接近请求与路口控制系统建立连接，路口控制系统向市政交通控制系统发送电车接近请求信息，市政交通控制

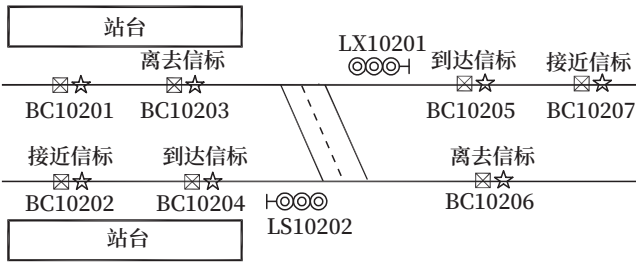


图3 与站台关联的平交路口
Fig.3 Level crossing associated with the platforms

系统接收到信息后关闭市政交通信号，开放有轨电车专用路口表示器。有轨电车驶离平交路口，经过离去信标后，有轨电车发送离去信息至路口控制系统与之断开连接，市政交通控制系统接收到离去信号，自动恢复路口交通信号正常控制，开放市政道路信号^[9]。

无站台关联的平交路口如图4所示。



图4 无站台关联的平交路口
Fig.4 Level crossing not associated with the platforms

3.3 车辆基地道路平交路口

车辆基地道路因只用于车辆基地内部使用且使用率较低，故电车专用路口表示器设置为常绿允许状态。当有行人或社会车辆需要使用车辆基地道路时，按压设置在道路两旁信号机（LX10101/LS10104）上的申请按钮，路口控制系统接收到路权申请后，检查路口空闲状态后开放路权。LX10101与LX10103、LS10102与LS10104设置

为互斥信号，保证道路安全，并设置计轴JZ101、JZ102、JZ103、JZ104进行安全防护。当系统检测到计轴JZ101-JZ103之间有电车，LX10101将被强制置为红灯禁止信号，不再接收路权申请。同理系统检测到计轴JZ101-JZ103之间有电车，LS10102将被强制置为红灯禁止信号。

车辆基地道路如图5所示。

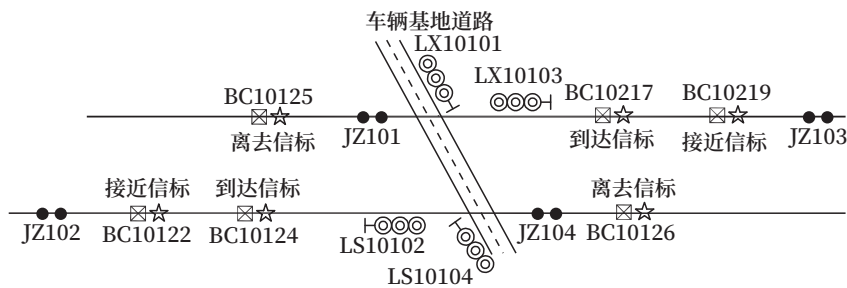


图5 车辆基地道路平交路口
Fig.5 Level crossing between the tram line and the road of the vehicle base

4 路口通过流程

当路口控制系统设备正常且有轨电车线路空闲时，向市政交通控制系统发送的接近请求继电器ASJ处于落下状态、故障继电器TFJ处于吸起状态，有轨电车专用路口表示器点红灯禁止通行。

当平交路口有车接近时，路口控制系统向市政交通控制系统发送的接近请求继电器ASJ处于吸起状态，市政交通控制系统在约定的延时时间内，将市政交通控制灯置为禁止通行状态，将有轨电车专用路口表示器点亮为绿色允许通行状态。

平交路口的市政交通灯禁止、有轨电车专用路

口表示器点亮允许通行状态后, 市政交通控制系统向路口控制系统发送允许通过状态, 路口控制系统收到允许通过状态后允许有轨电车通行。

有轨电车通过路口后, 路口控制系统收到有轨电车的离去信号, 向市政交通控制系统发送的接近请求继电器 ASJ 处于落下状态。市政交通控制系统收到 ASJ 落下状态后, 释放路口优先请求, 将有轨电车专用路口表示器点为红色禁止通行, 市政交通控制系统开放市政交通路权。

当市政交通控制系统收到路口控制系统故障时, 将有轨电车专用路口表示器点为黄色闪烁。

通过流程如图 6 所示。

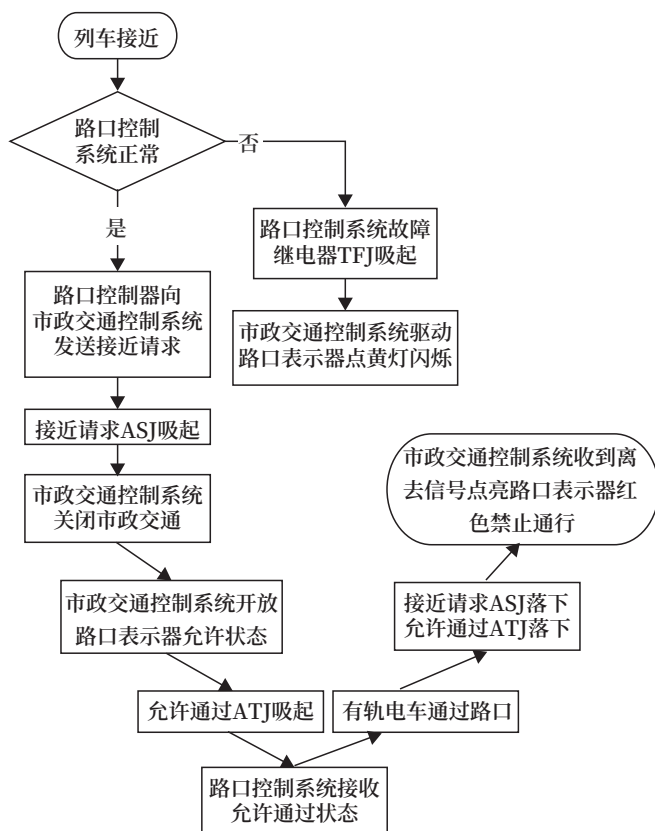


图6 有轨电车通过路口流程

Fig.6 Process of trams passing through level crossings

5 结语

结合丽江市有轨电车 1 号线的具体线路情况, 对现代有轨电车平交路口信号系统控制方案进行分

析研究, 解决了同一线路上有不同类型路口时电车如何安全高效通过的问题。结合具体平交路口的特点和实际情况, 对电车通过路口方案进行针对性定制化设计, 充分发挥了有轨电车安全、快捷、高效等优点, 实现平交路口合理、合规、有效的交通组织, 确保两种不同类型的交通系统能有序地运行, 分流合理, 最大限度地提高交通运输通行能力^[10]。

参考文献

- [1] 郑伟. 现代有轨电车信号系统方案与关键技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (3): 78-80.
Zheng Wei. Modern Tram Signaling System and Key Technologies[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(3): 78-80.
- [2] 吴殿华, 公吉鹏. 基于信标的有轨电车路口优先实现过程分析 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (1): 90-93.
Wu Dianhua, Gong Jipeng. Analysis of Realization Process of Tram Junction Priority Based on Beacon[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(1): 90-93.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 轻轨交通设计标准: GB/T 51263-2017 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [4] 陈志洲, 胡林桥. 现代有轨电车通过交叉口优化控制方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (12): 82-87.
Chen Zhizhou, Hu Linqiao. Study on Optimal Control Solution for Modern Tram Passing through Road Crossing[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(12): 82-87.
- [5] 严建鹏, 梁奕, 徐宏伟, 等. 现代有轨电车信号系统总体结构及功能实现方式 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (9): 98-103.
Yan Jianpeng, Liang Yi, Xu Hongwei, et al. On the Overall Structure and Functional Implementation (下转 95页)

X射线安检仪人包自动绑定方法研究

赵 耀

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 为解决铁路旅客运输中用 X 射线安检仪对旅客行包进行安检时, 人工判断行包所属旅客工作难度大、效率低的问题, 提出一种结合人脸探测及时间关联的人包信息绑定与输出显示系统。在不改变 X 射线安检仪和装置结构的基础上, 在 X 射线安检仪入口处设置监控摄像机对旅客放置行包过程进行图像采集, 通过算法合理计算旅客放行包与安检机采集行包 X 射线图像时间差, 并用人脸分类器快速筛选出含有对应人脸的图像, 与行包 X 射线图像自动绑定。通过实际软硬件调试和人包绑定实验数据分析证明方法的有效性。

关键词: 铁路运输; X 射线安检; 人包信息; 图像处理; 人脸探测

中图分类号: U293

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0084-05

Research on Automatic Binding Method of Passenger and Luggage Information in X-ray Security Scanner

Zhao Yao

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: This paper intends to solve the difficulty and inefficiency in manually judging the ownership of passenger luggage during the security check of passenger luggage using X-ray security scanner in railway passenger transport. It proposes a binding and display system for passenger and luggage information using a new method that combines face recognition with time correlation. The structure of the traditional X-ray security scanner and its devices is not changed. The monitoring camera is arranged at the entrance of the X-ray security scanner to capture images of the passengers' luggage placing process. The appropriate algorithm is applied to calculate the time difference between the luggage placing by the passengers and the X-ray passenger and luggage image acquisition by the security scanner. The face classifier is utilized to rapidly screen the corresponding face images and automatically bind such face images to the X-ray luggage images. The effectiveness of the proposed method is proved by actual hardware and software debugging and binding test data for passenger and luggage information.

收稿日期: 2022-08-11; 修回日期: 2023-12-27

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

发明专利: 2021 年国家实用新型专利(ZL202120992449.6)

作者简介: 赵耀(1985—), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向: 铁路信息通信技术, 邮箱: zhaoyao@crdc.com。

Keywords: railway transport; X-ray security check; passenger and luggage information; image processing; face recognition

现阶段 X 射线安检仪已经非常广泛应用于轨道交通等场景进站口处的旅客行包安检过程中。由于安检现场本身就是客站对客流影响较大的节点,旅客较多而且通常处于流动状态,人工判断该异常行包所属旅客难度很大。以铁路客运站为例,目前部分场景 X 射线安检仪附近设置了摄像机,但视频监控旅客画面与 X 射线透射行包图像未作关联,物品所属人员无法由系统实现快速、准确、自动化关联。结合智能高铁、智能客站和智慧轨道交通的发展要求,采用智能化技术将现场采集到的 X 射线行包图像、旅客持包视频图像关联起来,为每名被检查人员形成一条完整安检记录,有助于大幅提高安检工作效率与效果。

针对 X 射线安检机人员与包件关联方面的研究尚不多见。目前有文献提出利用 RFID 技术实现包件电子单号与 X 射线安检仪安检图像的自动绑定的方法。该方案需要通行人员主动配合按照规定放置行包,适用于如机场这种客流量相对可控、安检要求高的场景。在不改变原有传统 X 射线安检仪的硬件设备基础上,快速准确地实现自动化人包关联是 X 射线安检仪功能升级的研究方向。

结合人脸识别技术与时间关联方法研究,提出一种简单有效的旅客行包物品与人员关联的新方法。在 X 射线安检机入口处设置人脸监控摄像机,在计算旅客放行包与安检机采集行包 X 射线图像时间差的基础上预估放行包时间,通过适时采集入口视频采集时间段,并用人脸分类器快速筛选出含有人脸的图像做绑定,实现准确的人包关联。

1 人包绑定算法

进行人包绑定的目的是把旅客图像与行包图像进行关联,在时间相关顺序基础上加入人脸识别的方法,能够达到高准确率实现人包绑定的目的。

1.1 时间关联基础算法

时间关联的原理是基于安检机的传输带运行速

率以及放置行包的位置距离 X 射线探测器的距离基本是固定的这一规律。例如将放置 A 行包至采集到 X 射线图像 B 这段时间记为 ΔT ,若将收到行包 X 射线图像 B 的这一刻记为 T_2 ,则可倒推客户在放置行包的时刻应为 $T_1 = T_2 - \Delta T$ 。

如何实时获得 T_1 时刻的旅客图像是人包绑定方法的关键。在软件设计中通过对入口处摄像机定时截图并存入一个固定长度 N 的内存队列 Q ,获取 T_1 时刻入口处的旅客放包图像,将旅客放包图像与行包 X 射线图像组合存储,可完成关联的操作。假设定时截图的时间为 t ,则关联到的旅客图像 I 理论上可通过公式 (1) 从内存队列 Q 中获得:

$$I = Q[N - \frac{\Delta T}{t}] \quad (1)$$

实际测试中发现仅通过时间关联,关联到的入口处旅客图像存在偏差或图像效果不佳,需要在实践关联算法基础上,增加一个时间裕度,并设置一层对视频图像有效性的判别算法。

1.2 人脸识别算法应用

因此本文提出在时间关联的基础上,加入人脸识别对关联到的固定时刻的图像上下取一个较小的范围序列 n ,对这 n 个截图进行人脸识别,找出含有人脸图像的那一张图像。方法如图 1 所示。

本文中采用的人脸识别的方法为 opencv 中的级联分类器 CascadeClassifier。CascadeClassifier 是 opencv 下 objdetect 模块中用来做目标检测的级联分类器的一个类。Cascade 级联分类器是一种快速简单的分类方法。

利用 opencv3 中基于 LBP 特征的一个人脸分类器,进行人脸识别的检测步骤如下:

- 1) load() 加载 xml 级联分类器;
- 2) 导出 image;
- 3) 图像灰度化;
- 4) 图像 resize;
- 5) 调用 detectMultiScale() 实现多尺度检测。

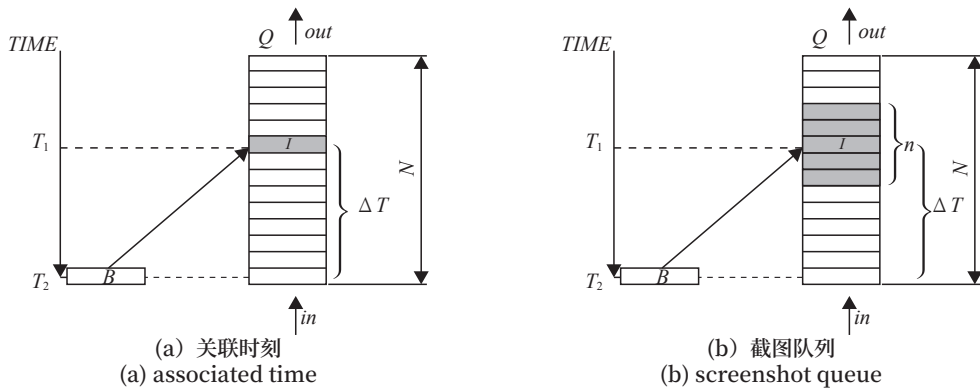


图1 关联时刻及截图队列示意
Fig.1 Schematic diagram of associated time and screenshot queue

由于实际 X 射线行包安检现场人员流量大，旅客在放置行包时可能会出现人员集中的情况，此时在检测出的含有人脸的图像中，进一步的进行筛选出现频次最多、识别框最大的那张图片作为关联的最终结果。

范围序列 n 的选取对于该算法的效率、效果有较为明显的影响。若 $n = 1$ ，表示算法中未加入人脸识别，仅通过时间进行关联；随着 n 越大采用人脸识别获取清晰关联旅客图像的概率越大，但到 n 取值过大时已经超过了该旅客放置行包时间，可能会将下一名旅客的图像纳入本次判断，导致关联错位。

设定 X 光安检仪的人员正常通过时间为 t_p ，人脸摄像机的帧率 FPS，则每一帧视频图像所代表的时间为 $t_f = 1/\text{FPS}$ ，则 n 的上限取值为 $n_{\max} = t_p/t_f = t_p \cdot \text{FPS}$ 。

在实际应用中，需要结合这些参数合理选择 n 值，以实现准确的人包关联。

1.3 算法流程

基于时间关联及人脸识别算法，与既有的 X 射线图像采集结合后实现的 X 射线安检仪人包自动绑定算法流程如图 2 所示。

程序开始后，系统同时开启人脸捕捉及行包 X 射线图像采集，分别获取人脸图像及 X 射线图像。利用时间关联算法对人脸、X 射线图像实现关联，并将视频监控系统捕捉到对应人脸的旅客图像与行包 X 射线图像进行关联存储及统一 UI 显示，实现人包自动绑定。

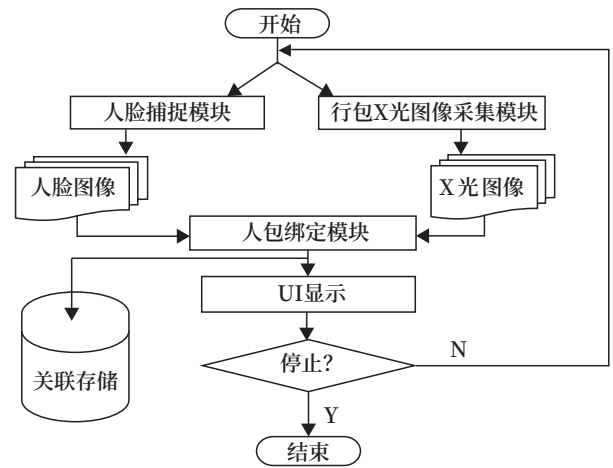


图2 人包自动绑定算法流程
Fig.2 Flowchart of automatic binding software of passenger and luggage information

2 系统设计

系统在既有 X 射线安检仪上增加摄像机，通过增加软件算法及 UI 调整实现人包自动绑定及统一显示。

2.1 系统总体框架

系统总体框架如图 3 所示。

其中 X 射线安检仪、安检仪工控机、安检显示终端与既有 X 射线安检仪配置方案一致。增加摄像机，并在安检仪工控机中增加视频图像采集模块、人包绑定算法模块，对 UI 界面模块进行调整，满足人包绑定画面在终端的统一显示。

2.2 系统硬件设计

两台摄像机分别安装在出口处和入口处，其中出口处摄像机的安装位置，位于 X 射线安检仪上

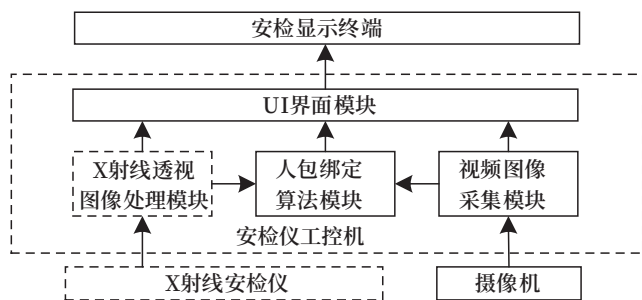


图3 系统框架
Fig.3 System framework

方。入口处的摄像机用于人脸抓拍及旅客放包图像获取，出口处的摄像机用于旅客取包图像获取。入口处的摄像机在录制视频人员放包视频的基础上，同时还作为人脸摄像机使用，需要将安装角度调整到合适的角度范围，以便于能够拍摄到旅客放包时的人脸图像。系统硬件构成示意如图4所示。

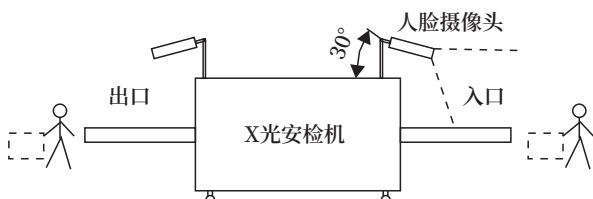


图4 系统硬件构成示意
Fig.4 Schematic diagram of system hardware composition

通过不同身高被测人及在有限次的测试数据基础上，得出入口处摄像机离地1.7 m，与水平面夹角在25°~35°之间时，能够更好地使得摄像机捕捉到人员放包过程中的人脸图像。

3 实验测试与分析

3.1 实验环境搭建

根据系统硬件设计搭建实验环境平台，选用双源双视角X射线安检仪1台，摄像机2台。采用Visual Studio 2019、C#、WPF技术开发相应的系统软件并安装于安检仪工控机内，构建的实验环境平台如图5所示。

3.2 实验方法

系统测试时模拟现实X射线安检现场的情形，从以下3个方面，增加测试数据的多样性：

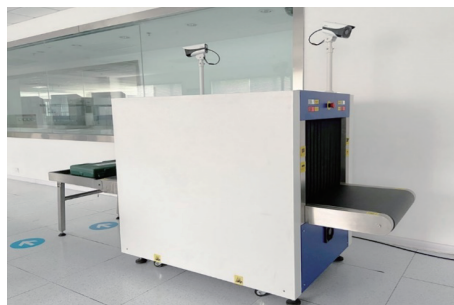


图5 实验环境
Fig.5 Test environment

- 1) 选择10人作为被测旅客，身高范围在157~183 cm；
- 2) 准备了不同体积的行包，包括手提包、工具箱、大小行李箱等；
- 3) 选择两种通过速度，第一种为慢速通过，通过两人之间间隔2 s后第二个人再放行包。第二种为快速连续通过，第一个人放完行包，第二个人紧接着放行包。

10个人先以队列形式按照以不同通过速度的方式轮流在入口处放置行包，再在出口处收取行包，在此过程中记录通过人与行包关联上的次数 N_c ，以及总通过次数 N_t ，得出关联准确性数据。关联准确率 R 计算如公式(2)所示。

$$R = \frac{N_c}{N_t} \quad (2)$$

3.3 实验结果及分析

本实验中入口处摄像机的帧率为每秒5张图片，每个人平均放置行包的时间长度约为2 s，则 $n_{\max} = 10$ ，因此选择合理的 n 值进行测试，分别取 $n = 1、3、5、7$ 和9。具体测试数据如表1所示。

从实验结果看，当仅通过时间关联时，关联准确率很低；加入对关联范围内的人脸识别后识别准备率明显提高，且受通行速度影响不大；随着关联范围 n 值取值较大时，关联准确率也会降低。需要根据不同场景测试进行合理选值。在 $n = 5$ 情况下取值基本可以实现大客流情况下人包自动绑定准确率高于99%，检测时间为4 ms，基本不对通行产生影响。

表1 实验数据
Tab.1 Test data

n	S	N_t	N_c	$R/\%$	T/ms
1	S_1	500	383	76.6	—
	S_2	500	356	71.2	
3	S_1	500	470	94.0	2
	S_2	500	475	95.0	
5	S_1	500	499	99.8	4
	S_2	500	498	99.6	
7	S_1	500	490	98.0	5
	S_2	500	495	99.0	
9	S_1	500	475	95.0	10
	S_2	500	456	91.2	

注： R ：关联准确率； N_c ：关联准确次数； N_t ：总通过次数； n ：关联范围； T ：人脸识别模块耗时； S_1 ：慢速通过； S_2 ：快速通过

4 结论

研究提出一种结合人脸探测及时间关联的人包信息绑定方法。通过实验测试验证了本文提出方法可以在 X 射线安检仪应用并得到高准确性的人包信息绑定结果，且不改变既有铁路客站 X 射线安检仪应用流程，具有良好的应用前景。

参考文献

[1] 戴贤春, 焦志恒, 李子华, 等. 铁路旅客安检系统现状及发展研究 [J]. 铁道技术监督, 2016, 44 (1): 1-5, 9.
Dai Xianchun, Jiao Zhiheng, Li Zihua, et al. Study on Status Quo and Development of Railway Passenger Security Inspection System[J]. Railway Quality Control, 2016, 44(1): 1-5, 9.

[2] 李明明. 地铁安检工作现状及优化路径探析 [J]. 辽宁警察学院学报, 2019, 21 (1): 51-54.
Li Mingming. Analysis of the Present Situation and Optimization Path in Subway Security Work[J]. Journal of Liaoning Police College, 2019, 21(1): 51-54.

[3] 莫俊泓. 基于仿真的高峰期地铁车站客流控制方法研究 [D]. 四川: 西南交通大学, 2021.

[4] 王同军. 中国智能高铁发展战略研究 [J]. 中国

铁路, 2019 (1): 9-14.

Wang Tongjun. Study on the Development Strategy of China Intelligent High Speed Railway[J]. China Railway, 2019(1): 9-14.

[5] 赵耀, 冯敬然, 周敏. 物联网技术在智能铁路客站的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 44-49.

Zhao Yao, Feng Jingran, Zhou Min. Application of IoT Technology in Intelligent Railway Passenger Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 44-49.

[6] 杨燕, 朱焱, 戴齐, 等. 智慧轨道交通: 实现更深入的智能化 [J]. 计算机应用, 2012, 32 (5): 1205-1207, 1216.

Yang Yan, Zhu Yan, Dai Qi, et al. Smart Rail Transportation-an Implementation of Deeper Intelligence[J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32(5): 1205-1207, 1216.

[7] 吴文山, 王昊, 许春春. 基于 RFID 技术的 X 光机安检图像识别绑定分流方法 [J]. 警察技术, 2019 (5): 82-85.

Wu Wenshan, Wang Hao, Xu Chunchun. Binding and Shunting Method for X-Ray Machine Security Inspection Image Recognition Based on RFID Technology[J]. Police Technology, 2019(5): 82-85.

[8] 肖阳. 基于 OpenCV 的人脸识别的算法研究与实现 [J]. 现代信息科技, 2018, 2 (5): 23-24.

Xiao Yang. Research and Implementation of Face Recognition Algorithm Based on OpenCV[J]. Modern Information Technology, 2018, 2(5): 23-24.

[9] 樊松, 孙也, 夏宏旭, 等. 基于 LBP 和 OpenCV 的实时人脸检测系统设计 [J]. 辽宁科技大学学报, 2016, 39 (3): 229-235.

Fan Song, Sun Ye, Xia Hongxu, et al. Design of Real Time Face Detection System Based on LBP and OpenCV[J]. Journal of University of Science and Technology Liaoning, 2016, 39(3): 229-235.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.02.016

5G+泛无线融合技术在 地铁施工人员定位中的研究

司福强

(北京中铁建电气化设计研究院有限公司, 北京 100043)

摘要: 5G网络的大宽带、少延时、广接入奠定了各行各业必要的网络基础设施,并推动着城市轨道交通建设的不断丰富。为了解决在地铁施工建设发生意外时,救援人员无法精确获取施工现场人员的实时位置,无法快速到达事故地点实施营救等问题,基于“5G+泛无线”融合技术方案,逐一分析Wi-Fi、蓝牙、RFID、超声波、UWB等定位技术优缺点,在充分结合城市轨道交通地下应用场景后,最终提出采用“5G+蓝牙”融合定位技术方案,通过构建5G网络与蓝牙定位两张网络,进行定位数据回传、完成信息上报,使5G微基站成为移动蜂窝网络和蓝牙定位网络的信息汇聚中心,从而达到准确定位的效果。

关键词: 5G; 泛无线; 地铁施工; 定位技术

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0089-07

Research on 5G+Ubiquitous Wireless Fusion Technology in Metro Construction Personnel Positioning

Si Fuqiang

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

Abstract: The large broadband, short delay and wide access of 5G network have laid the foundation of the necessary network infrastructure for all kinds of professions and promoted the continuous enrichment of urban rail transit construction. However, when accidents happen during metro construction, rescue workers cannot obtain the accurate real-time position of the construction site personnel and cannot quickly arrive at the accident site for rescue. In order to effectively solve these problems, this paper, based on the plan of "5G+ ubiquitous wireless" fusion technology, analyzes the advantages and disadvantages of WiFi, Bluetooth, RFID, ultrasonic waves, UWB, and other positioning technologies one by one. After fully considering the underground application scenarios of urban rail transit, a solution of "5G+ Bluetooth" fusion positioning technology is finally proposed. By establishing two networks, namely a 5G network and a Bluetooth positioning network, positioning data is returned and information is reported. This allows

收稿日期: 2022-08-12; 修回日期: 2023-12-26

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

作者简介: 司福强 (1988—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信信息, 邮箱: shine8855@163.com.

5G micro base stations to become the information hubs of the mobile cellular network and the Bluetooth positioning network, enabling accurate positioning.

Keywords: 5G; ubiquitous wireless ; metro construction; positioning technology

1 概述

随着中国物联网的蓬勃发展与日益增长和 5G 网络规模建设, 5G 网络的高宽带、少延时、稳定性高的优势, 为业务开展提供了必要的网络支撑, 并推动着业务的不断丰富。在地铁施工建设中, 作业人员的活动中 80% 的时间都用在了地下活动, 而室内的 GPS、北斗信息服务还不能满足需求。同时随着国内城市轨道交通 5G 互联网的业务丰富发展, 人员定位服务将是城市轨道交通行业“互联网+”行动计划以及地铁施工建设中必要的手段, 如何在复杂的室内环境中为公众提供智能定位服务已成为业界的热点问题。本文关于在城市轨道交通地下场景中作业人员定位的方法, 根据目前 5G+ 泛无线融合技术进行研究分析。

2 地铁施工中人员定位的研究背景和意义

2.1 定位研究的背景

在城市轨道交通地下场景中, 因为施工基本都是在地下, 往往工作环境艰苦恶劣, 工作人员众多, 使施工单位面临非常大的管理困难。近年来, 城市轨道交通安全事故时有发生, 发生危险事故、造成人员伤亡后往往无法快速报警求救或自救, 救援人员也无法精确获取施工现场人员的实时位置, 发生人员伤亡时亦无法快速到达地点实施营救, 使城市轨道交通施工安全生产、人员管理的需求更加迫切。综合来说, 这种需求主要包括人员考勤、跟踪定位、灾后急救和日常管理。这些管理需求的实现, 核心是对人员的实时跟踪定位。因此迫切地需要提供一种能够对地铁施工现场所有工作人员进行实时亚米级高精度位置数据定位的系统。

2.2 定位研究的意义

在城市轨道交通地下场景的应用中, 建设前期

搭建的定位系统, 基本都是前期临时性投入, 在选用定位技术中, 要注意定位精度与成本之间的平衡, 因此, 在很多情形下, 都不必选用较高精度或昂贵的系统。另外, 为防止人员信息出现在无法预见的地方, 必须继续研究位置智能的方法, 对轨迹进行全面研究, 进行系统的误差校准, 从而达到提升定位精度的目的。5G 网络为各种功能性业务提供必要的数据传输信道。目前, 户外的服务大部分还是依靠卫星定位系统。GPS、北斗在户外定位系统中扮演了主要角色。但是, 在地下环境和隧道场景, 由于 GPS 卫星、北斗卫星信号遭到阻断, 从而不能通过 GPS、北斗定位系统定位, 因此必须思考怎样解决在这种环境下的定位问题。目前, 虽然有众多定位技术作为卫星定位系统的辅助和提高的技术, 但不同技术间还缺少有机的、深入的技术融合, 仅仅单一地解决了定位精度低或定位时间长的问题, 综合、全面分层整合新的定位系统技术框架, 才能够整合各类定位系统技术。但针对地铁施工中人员定位系统的迫切需求, 目前有以下几种室内定位系统方法。不同的定位方法有其自身的优点, 同时又有相应的不足之处。在选用适当的定位方法时, 必须要考虑定位精度、时间、并发等因素, 以及系统成本与效率。

3 5G+泛无线技术

3.1 泛无线网络的概念

泛在无线网络强调“无所不在”或“泛在”通信理念的特征正日渐清晰, “泛在”也成为了信息时代最主要的特点, 泛在网络已作为信息社会的主要载体并开始形成对信息通信业的广泛共识。一般来说, 它意味着“无处不在的网络”, 即普遍存在的互联网。其特征为无所不在、包容、无所不能, 从而达到了随时随地、任何人、任何事物之间的便捷沟通, 即 5G 网络 + 泛在互联网 = 泛在通信网络。泛

在无线网络主要包括种类，如图 1 所示。

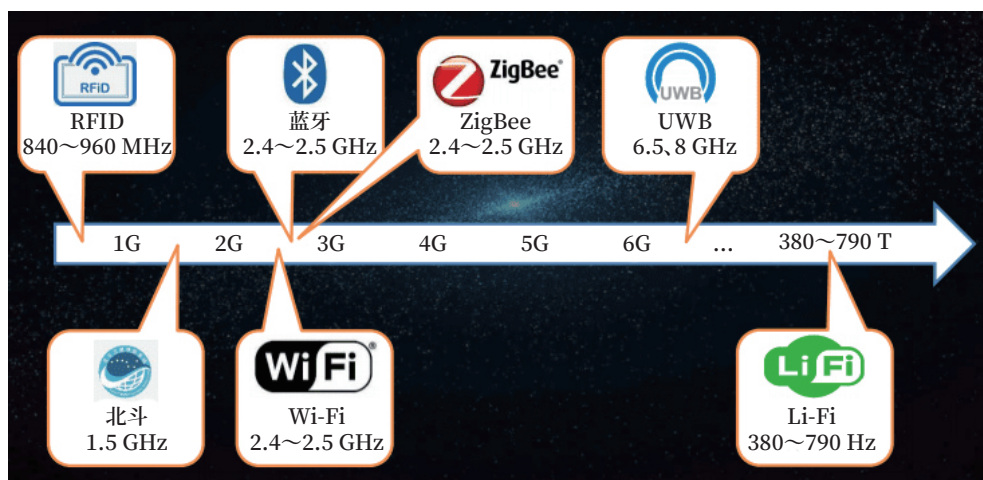


图1 泛在无线网络主要类型
Fig.1 Main types of ubiquitous wireless networks

3.1.1 Wi-Fi定位技术

目前，Wi-Fi 是一项相对成熟且应用广泛的技术，近年来许多公司都在这一领域进行了投资。Wi-Fi 定位可以大范围的定位，然而易受周围环境影响，定位精度低，只能达到 2 m 左右，因此不可能实现精确定位。

3.1.2 蓝牙信标技术

蓝牙定位技术与 Wi-Fi 差别不大，但其准确度略高于 Wi-Fi。iBeacon 蓝牙信标技术，通过蓝牙硬件、智能终端上的软件、云端上的软件后台，协同工作可以正常操作。终端通过测定其所在位置的接收信号频率，以估计与烽墩之间的距离。如果终端周围存在 3 个及以上，就能够利用三边定位技术测算出终端的距离。

3.1.3 RFID技术

RFID 室内定位技术通过固定读卡器读取目标 RFID 标签的特征信息，并通过最近邻法、多边定位法、接收信号强度等方式计算标签的定位。RFID 与室内位置技术作用距离非常近，而从它获取位置信号所需要的时间也非常短，仅需要几毫秒，但由于电磁场技术非视距等优势，传播范围也较大，而且标识的体积小，售价也比较低廉。但由于它不具备通讯能力，抗干扰能力很差，并不方便地集成在

其他信息系统中，且应用的安全隐私保护技术和国际规范也都还没有完备。

3.1.4 超声波技术

超声波定位采用反射测距法进行定位。由一个主测距仪和几个接收机组成。主测距仪可以放置在被测目标上，接收机固定在室内环境中。在定位过程中，相同频率的信号传输到接收机，然后再反射和传播给主波测距仪。通过回波与发送信号之间的时间差测量位置，从而确认距离。其定位精度高，构造简洁，但受多径效应、无视线因素、频率受多普勒效应和环境温度变化的干扰。同时，它又需要大量的基本硬件设备，成本较高。

3.1.5 UWB定位技术

超宽带技术采用纳秒非正弦窄脉冲传输数据，具有频谱宽、时间分辨率高的特点。定高 UWB 系统可以在特定的室内环境中实现对定位目标的实时跟踪定位，并实时显示定位目标在空间的高度变化。具体对比如表 1 所示。

3.2 各类定位技术性能对比

目前，各类定位技术各有优点，但又有一定的局限。在选用适当的定位技术时，必须综合考虑定位精度、延时和并发性等能力。同时，还应充分考虑设备的成本与功耗。对比情况如表 2 所示。

表1 各个定位技术性能对比

Tab.1 Comparison of performance of various positioning technologies

定位维度	5G	4G	蓝牙 4.2	蓝牙 5.1	Wi-Fi	UWB
精度	分米级	米级	米级	分米级	米级	分米级
时延	十毫米级	百毫米级	百毫米级	百毫米级	百毫米级	百毫米级
同步性能	纳米级					纳米级
基站功耗	十瓦级	十瓦级	瓦级	瓦级	十瓦级	瓦级
终端功耗	瓦级	瓦级	毫瓦级	毫瓦级	瓦级	百毫瓦级
单站距离/m	20	20	7	6	30	10

表2 各种融合方案对比

Tab.2 Comparison of various fusion schemes

融合定位方案	优势	劣势	应用场景建议
5G NR 定位	实现简单	特殊专业极高定位精度要求不适用	商场、交通枢纽、展览
5G+UWB/蓝牙 AoA	定位精度 30~50 cm, 部署、维护成本低	定位基站单独部署, 成本相对高	城市轨道交通、隧道
5G+传统蓝牙定位	蓝牙终端通用、成本低, 维护方便, 生态成熟完善	定位精度一般, 1~3 m	城市轨道交通、隧道
5G+Wi-Fi	定位方式的多样、组网灵活, 5G 泛在连接	Wi-Fi 定位更偏向专网	商场、交通枢纽
5G+SLAM	定位精度高	技术待进一步发展	AGV 自动牵引车、物料仓储、智能制造

3.3 5G+泛无线融合

“5G+ 泛无线融合”体系主要包括设备级和管道级融合。利用 5G 基站的广泛部署, 结合泛无线的室内技术, 不管是从设备端或者是管道的传输进行集成, 都将是一个“1 + 1 > 2”的强强联合。5G+ 泛无线融合网络, 使网络部署更加灵活, 维护更加方便, 定位服务更加广泛。不同融合技术提供不同的定位精度。根据应用场景的特点, 匹配出满足应用位置融合的最佳解决方案。表 2 对各类综合定位技术进行了比较, 给出了推荐的应用场景, 当然, 最终选择的解决方案需要根据自身特点、定位

精度和定位终端成本要求等因素综合考虑。

4 5G+泛无线融合室内定位方案

4.1 场景需求

城市轨道交通施工建设以往采用传统的管理方式, 存在安全管理隐患大、无法有效监督和统计人员的到岗到位情况、高危作业场景或重点区域的监督防范的可靠性得不到切实保证、施工现场工器具管理粗放且存在到检未检的漏洞、外来车辆与人员缺少实时监控等诸多问题, 因此需要借助高精度定位技术进行实时管理。但与此同时, 铁路建设城市轨道交通地下作业场景不仅具有专业交叉严重、作业人员多、高遮挡等缺点, 而且作业范围大、环境复杂, 存在布线难、成本高等问题。

4.2 解决方案

针对上述需求现状, 通过 5G 网络通讯和蓝牙高精度定位融合后, 充分发挥运营商 5G 网络建设的规模优势, 通过 5G 网络通讯、MEC 边缘计算、切片能力为城市轨道交通地下施工场景提供一个虚拟无线专网, 从终端到网络接入、施工现场应用等可以实现端到端的安全和高可靠性。同时, 5G 基站支持定位设备一体化部署, 可以同时部署通信网络和定位网络两个网格。定位系统可充分利用 5G 基站的供电、传输等资源, 以节省建设成本。

1) 前端设备组成

前端设备主要由摄像机、蓝牙定位基站、5G 专网基站 (BBU + RRU)、5G 公网基站 (BBU + RHUB + Pico)、5G 用户终端设备 (Customer Premise Equipment, CPE) 组成。

5G CPE 提供无线回传及接口, 满足前端设备接入和数据无线传输需求。蓝牙定位基站提供高精度定位能力。5G 基站提供蓝牙定位的数据回传通道。

公网摄像机与 CPE 利用以太网线连接, 通过空口与公网 Pico 进行通信, 数据通过公网 BBU 接入核心网, 专网摄像机与 CPE 利用以太网线连接, 通过空口与专网 RRU 进行通信, 数据通过专网 BBU 接入核心网, 同时专网摄像机可实现用户面数据下

沉到专网 UPF。业务网管可通过网页端输入摄像机 IP 地址查看前端图像。

蓝牙定位基站通过以太网线与 POE 交换机相连, 并且下挂 CPE, 实现蓝牙基站定位信息通过空口与专网 RRU 进行通信, 数据通过 5G 专网 BBU 接入核心网实现数据回传, 将相关故障警告信息上报到服务器。

2) 后端设备组成

后端设备主要由 5G 核心网、蓝牙定位服务器、业务网管组成。

5G 核心网处理并转发基站提供的数据, 蓝牙定位服务器部署蓝牙系统智能运维与管控软件, 提供系统管控能力。

业务网管通过访问服务器, 获取视频及定位数据, 实现查看蓝牙基站位置及状态信息, 完成维护操作。同时基于 5G 公网回传的前端摄像机可以

与蓝牙定位系统进行关联, 实现定位与视频的联动监控。其组网架构如图 2 所示。

3) 定位精度计算方法

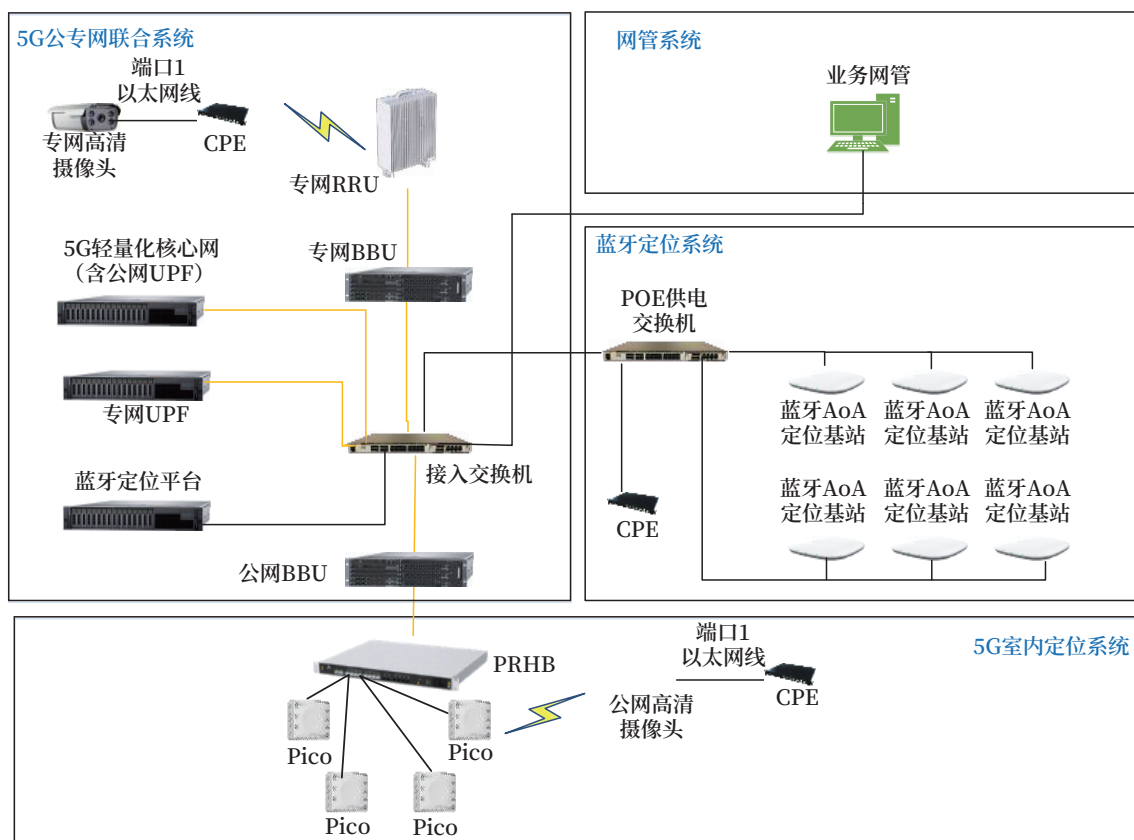
对于二维定位, 人员真实位置坐标为 (x_0, y_0) , 系统定位的坐标为 (x, y) , 单点单次定位误差计算方法如公式 (1) 所示。

$$d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (1)$$

假设在一个位置定位 N 次, 第 i 次得到的人员位置坐标为 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, 3 \dots N$, 该人员的定位精度计算方式如公式 (2) 所示。

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2)} \quad (2)$$

通过将蓝牙定位技术与 5G 融合应用, 实现对城市轨道交通地下施工人员、车辆、工具等的实时定位, 并将位置数据实时地将人、车、物的位置信息显示在项目指挥中心, 并结合电子围栏、应急救



图例: — 光纤连接 — 网线连接

图2 5G融合蓝牙组网架构

Fig.2 Networking architecture of 5G+Bluetooth fusion

援、智能调度等功能，实时定位产生的位置首先能直观地显示各类元素的位置，方便施工企业管理者对各类生产元素的监督。融合定位系统开放位置API接口，可考虑与已有系统进行无缝对接，实现

施工区域运行管理、高风险运行监控、值班管理、检验过程管理、工具管理、车辆实时跟踪监控的智能化和精确化控制，如图3所示。

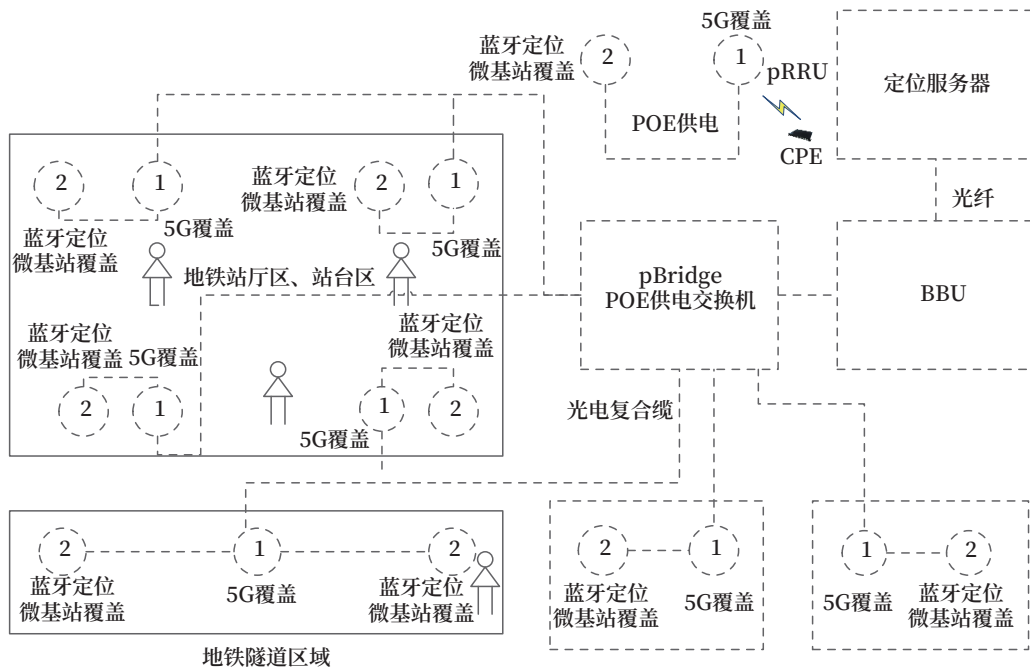


图3 城市轨道交通建设部署
Fig.3 The deployment of urban rail transit construction

5 结束语

5G室内综合定位解决方案提供了一个开放的系统。5G+泛无线定位技术融合、共存、协调发展。根据实际应用需要，可以满足不同的定位精度。根据企业的发展，可以采取相应的解决方案，促进企业的数字化、智能化发展。

参考文献

[1] 王桂英, 邹司晨, 王昕怡, 等. 5G+泛无线融合室内定位技术研究 [C] // 推动网络演进促进应用创新——5G网络创新研讨会(2021)论文集. 北京, 2021: 25-34.
[2] 刘海蛟, 刘硕, 刘文学, 等. 北斗+5G融合定位技术研究 [J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(9): 41-46.

Liu Haijiao, Liu Shuo, Liu Wenxue, et al. Research on Positioning Technology of Beidou Satellite Navigation System + 5G[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2021, 47(9): 41-46.

[3] 杜海涛, 全春来, 周翔. 基于无线传感器和视频融合的室内定位技术研究 [J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(1): 347-350.
Du Haitao, Quan Chunlai, Zhou Xiang. Research of Indoor Location Technology Based on Wireless Sensors and Video[J]. Computer Engineering and Design, 2011, 32(1): 347-350.
[4] 王子冉, 李环. 室内超宽带无线定位技术研究 [J]. 微型机与应用, 2015, 34(8): 60-62, 66.
Wang Ziran, Li Huan. The Research of Wireless Location Technology for Indoor UWB[J]. Microcomputer & Its Applications, 2015, 34(8): 60-

- 62, 66.
- [5] 陈建强. 5G 通信大规模天线无线传输技术研究 [J]. 光源与照明, 2021 (5): 39-40.
Chen Jianqiang. Research on Wireless Transmission Technology of Large-Scale Antenna for 5G Communication[J]. Lamps & Lighting, 2021(5): 39-40.
- [6] 梁晓虎, 甘兴利, 张衡, 等. 基于多传感器室内云定位技术研究 [J]. 无线电工程, 2020, 50 (2): 108-112.
Liang Xiaohu, Gan Xingli, Zhang Heng, et al. Research on Multi-Sensor Indoor Cloud Positioning Technology[J]. Radio Engineering, 2020, 50(2): 108-112.
- [7] 王跃. 5G 室内定位技术在矿用井下人员定位系统中的应用 [J]. 通讯世界, 2021, 28 (4): 89-90, 111.
Wang Yue. Application of 5G Indoor Positioning Technology in Mine Underground Personnel Positioning System[J]. Telecom World, 2021, 28(4): 89-90, 111.
- [8] 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.
- [9] 周亦峰. 地铁隧道 5G 天线布局对 MIMO 性能的影响 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (11): 89-92.
Zhou Yifeng. Impact of 5G Antenna Layout on MIMO Performance in Subway Tunnel[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 89-92.
- *****
- (上接 83页)
- of Modern Tram Signal System[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(9): 98-103.
- [6] 谷素琴, 谢志华. 路口优先控制系统应用研究 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (z2): 42-44.
- [7] 徐海贵. 现代有轨电车信标定位系统比较 [J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20 (12): 134-137.
Xu Haigui. Comparative Study on Trackside Beacon Positioning System of Modern Tram[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(12): 134-137.
- [8] 刘海军, 赵正平. 现代有轨电车与交通信号系统接口方案分析 [J]. 都市快轨交通, 2014, 27 (2): 119-121.
Liu Haijun, Zhao Zhengping. Modern Tram and Traffic Signal System of Interface Scheme Analysis[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2014, 27(2): 119-121.
- [9] 张华, 付一娜, 任俊利, 等. 现代有轨电车交叉口交通组织研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17 (11): 119-121, 125.
Zhang Hua, Fu Yina, Ren Junli, et al. On Traffic Organization of Modern Tramcar at Intersection[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(11): 119-121, 125.
- [10] 王舒祺. 现代有轨电车交叉路口优先控制管理方法研究综述 [J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17 (6): 17-22.
Wang Shuqi. On Signal Priority Control of Modern Tramcar at Intersection[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(6): 17-22.

基于云平台的中低速磁浮票务系统

陈柯行, 黄志伟, 李广智, 吴昊

(北京全路通通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 票务系统是保证中低速磁浮线路正常运营的关键。传统城市轨道交通的票务系统通常采用五层结构, 具有结构复杂, 建设成本高等特点。针对中低速磁浮线网规模小的特点, 提出一种基于云平台的中低速磁浮票务系统架构, 将票务系统架构精简为3层结构。然后, 基于微服务化思想对票务系统进行架构设计, 并对各模块的功能进行详细设计, 提高系统的可扩展性和可维护性。最后, 以用户权限管理功能为例详细阐述微服务架构中主要模块的作用。

关键词: 中低速磁浮; 票务系统; 云平台; 微服务架构

中图分类号: U293.2+2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0096-07

Medium and Low Speed Maglev Ticketing System Based on Cloud Platform

Chen Kehang, Huang Zhiwei, Li Guangzhi, Wu Hao

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

Abstract: Ticketing systems are key to ensuring the normal operation of medium and low speed maglev lines. The ticketing systems of traditional urban rail transit usually adopt five-layer structure, which has the characteristics of complex structure and high construction cost. In view of the small scale of the medium and low speed maglev line networks, this paper proposes a medium and low speed maglev ticketing system architecture based on the cloud platform, which reduces the ticketing system architecture to three-layer structure. Then, based on the idea of micro-service, the architecture of the ticketing system is designed, and the functions of each module are designed in detail, which improves the scalability and maintainability of the system. Finally, taking the realization of user access management function as an example, the functions of the main modules in the micro-service architecture are described in detail.

Keywords: medium and low speed maglev; ticketing system; cloud platform; micro-service architecture

收稿日期: 2022-08-15; 修回日期: 2023-12-28

基金项目: 北京全路通通信信号研究设计院集团有限公司科研项目 (2300-K1200045.10)

第一作者: 陈柯行 (1995—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 智能信息技术与系统, 邮箱: chenkehang@crscd.com.cn.

1 概述

在日益扩展和完善的城市轨道交通运营网络中, 城市轨道交通票务系统实现了售检票业务的自动化, 满足了乘客快速购票检票乘车的需求, 是保障运营

的重要支撑系统^[1]。传统城市轨道交通的票务系统通常采用“一线一中心”的单线建设模式。如图1所示,地铁票务系统由清分中心、线路中央计算机系统、车站计算机系统、车站终端设备、车票5层结构组成,每条线设置一套控制系统,整个线网设置一个清分中心^[2]。

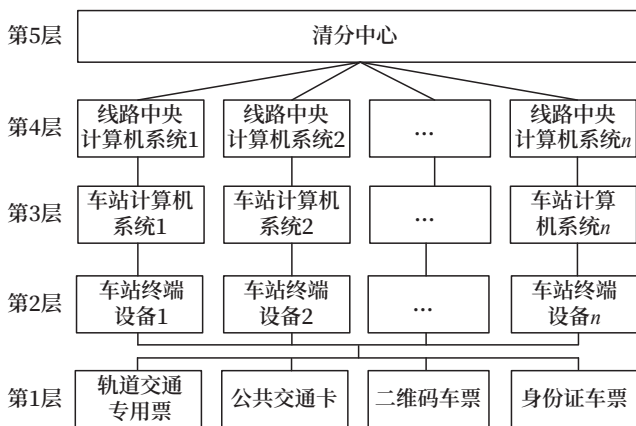


图1 地铁票务系统五层结构

Fig.1 Five-layer structure of a metro ticketing system

中低速磁浮系统是一种采用车载电磁悬浮技术和短定子直线感应电机驱动车辆的城市轨道交通系统,具有噪音污染小、建设成本低等优点,在国内多用于旅游观光和近距离城市间的交通连接,可与地铁等线路互补。国内正在运营的中低速磁浮线路有长沙磁浮快线、北京地铁S1线、凤凰磁浮旅游专线和清远磁浮旅游专线等^[3-6],其票务系统具有以下特点。

1) 中低速磁浮客流以外地乘客为主^[7]。例如凤凰磁浮旅游专线开通初期预测年均客运量1 518万人次,其中80%以上为外地乘客。该类乘客通常初次乘坐磁浮列车,车站购票时容易出现找零、票卡回收、现金回收、储值卡充值等操作不熟练的情况,导致排队阻塞。因此,为了减少乘客时间成本,票务系统采用“互联网多元化支付为主,储值票为辅,现金支付补充”的支付方式,这对票务系统的网络安全性和实时性提出了更高的要求^[8]。

2) 中低速磁浮多用于旅游观光等线路,节假日高峰期面临大规模客流,乘客在出行前倾向于提前通过网络购票。因此,票务系统需要提供电子二

维码等无需现场取票的非实体卡车票。与实体卡车票相比,非实体卡车票制作成本低且不易丢失,提高了通行效率和乘客体验,但同时这也对票务系统的数据存储和计算能力提出了新的要求。

3) 地铁线网规模较大,其票务系统采用五层结构是便于各线路、车站能够独立运行,但需要在每个线路中心和车站都设置服务器。而中低速磁浮线网规模较小,沿用地铁票务系统5层结构会造成基础设施分散和建设成本过高等问题。

基于以上特征,沿用传统票务系统的设计原则无法很好的适应中低速磁浮票务系统的网络、存储和计算等能力要求,并且建设成本高昂。因此,本文将结合微服务化思想搭建基于云平台的中低速磁浮票务系统,实现计算、存储、网络等资源按需分配,提高资源利用率,便于业务快速部署和扩展。

2 云平台 and 微服务架构介绍

2.1 云平台

云平台指的是基于软硬件资源提供计算、网络和存储能力的云计算平台,在数据存储、处理和资源调度等多方面具有优势^[9]。中低速磁浮系统云平台为票务系统、综合监控系统、综合运维系统、乘客信息中心等业务系统提供基础资源,架构如图2所示。

1) 数据采集层

由业务系统负责,完成各类数据采集上报。云平台提供控制中心的各类数据的网络汇聚交换机和配套的安全防护设备,各业务系统负责控制中心网络接入交换机、通信处理机并负责接入云平台的汇聚交换机。

2) 网络传输层

由通信传输系统提供线网骨干网网络通道,云平台负责实现控制中心与线路网的连通。

3) IT 设施层

由服务器、存储、安全、网络等物理基础设施构成融合资源池的基础架构。

4) 资源池层

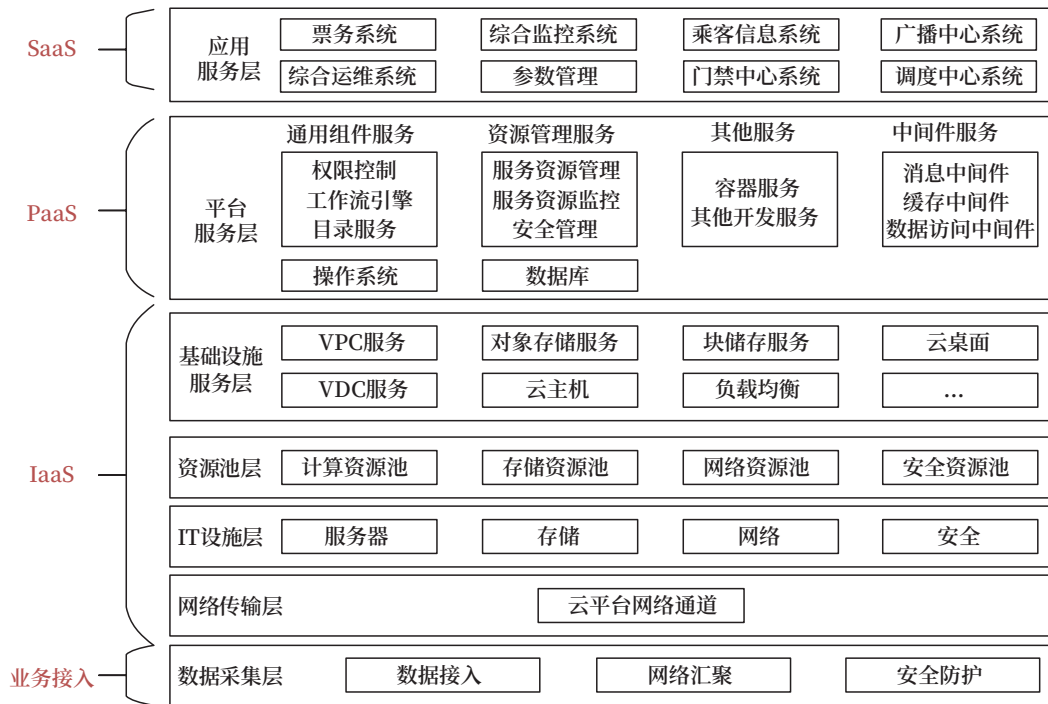


图2 中低速磁浮云平台架构
Fig.2 Diagram of cloud platform architecture for medium and low speed maglev lines

通过虚拟化软件，对计算、存储、安全、网络等物理资源进行虚拟化，提供统一的计算、存储、安全和网络资源池。

5) 基础设施服务层 (IaaS)

通过划分不同虚拟数据中心 (VDC) 以及在 VDC 内部进一步划分不同虚拟私有云 (VPC)，为各应用提供资源的灵活分配。VDC/VPC 内部通过云主机服务、云存储服务、弹性 IP 服务、物理机服务和 GPU 服务器服务等，提供自助资源发放，实现基础设施即服务。

6) 平台服务层 (PaaS)

向下管理 IaaS 的基础架构资源，向上为 SaaS 提供包括基础资源、数据库、操作软件和应用中间件等平台软件服务。

7) 应用服务层 (SaaS)

提供中心级应用服务。

2.2 微服务架构

票务系统通常有两种开发架构模式：单体架构和微服务架构。如图 3 所示，使用传统单体架构是将票务系统所有的业务功能编写在一个项目中，最终会打包成一个 WAR 包并部署运行。这种方式部署简单，

但在对某个功能模块进行修改或者开发新功能模块时需要系统整体修改和部署，可伸缩性较差。

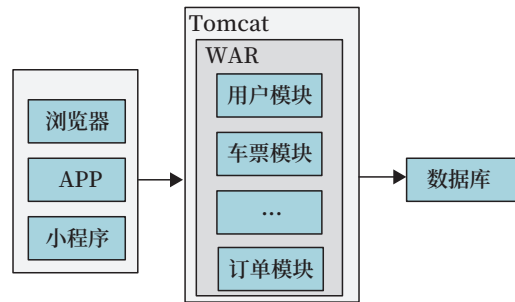


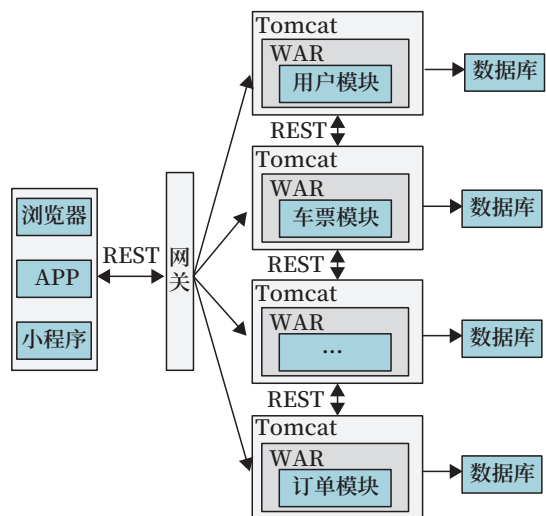
图3 单体架构
Fig.3 Single architecture

微服务是一种新型开发架构模式，使用微服务架构开发票务系统能够简化票务系统业务体系。其架构如图 4 所示，开发人员将票务系统不同的功能模块拆分为不同的微服务，每个微服务之间松耦合，其更新或扩展不会对别的微服务造成影响，易于开发和维护。

3 基于云平台的 中低速磁浮票务系统

3.1 框架

地铁票务系统由清分中心计算机系统、线路中



注：REST指的是在网络中服务端和客户端间或不同应用程序间的一种交互形式

图4 微服务架构

Fig.4 Micro-service architecture

央计算机系统、车站计算机系统、车站终端设备、车票5层结构组成。其中，清分中心计算机系统负责统筹全局性管理功能，线路中央计算机系统负责当前线路的集中管理功能并上传数据至清分中心，车站计算机系统负责管理当前车站的数据并上传数据至线路中心。如图5所示，中低速磁浮票务系统取消中间层级系统，重新规划线路中央计算机系统和车站计算机系统功能，使传统5层结构精简为3层结构：中心云平台、车站终端设备和车票。

中心云平台层由业务服务层、平台服务层和基础设施服务层组成。传统票务清分系统、线路中央计算机系统、车站计算机系统合称为中央计算机系统，与新增的互联网票务平台统一部署到中心云平台业务服务层。中央计算机系统与云平台内部其他系统（如综合监控系统、综合运维系统等）通过云平台核心网络进行通信，完成设备监控等功能。互联网票务平台与外部系统（支付系统、分销系统、发票系统等）通过接口服务器实现数据交互，同时接入防火墙确保云平台数据安全。

在云平台架构基础上，系统结合微服务架构将应用服务层细分为接入层、网关层、业务服务层。其中，接入层又叫负载均衡层，通过云平台提供的负载均衡服务能够将外部流量引入系统中。网关层主要包含内部和外部接口的认证、安全、鉴权、过

滤和限流等服务，这一层将内部服务接口做一层安全隔离，实现保护内部服务、鉴权、黑名单过滤等需求。业务服务层则根据票务系统实际业务需求划分为多个微服务。

车站终端指自动售票机和自动检票机等车站级设备。云平台中心层通过通信传输系统提供线网骨干网网络通道完成与车站终端的网络连通，中央计算机系统能够直接监视车站终端设备运行状态并收集各类运营数据。反之，车站终端设备也能够直接接收中央计算机系统下发的参数和其他指令。

车票是乘客进/出站时持有的包含购票信息的乘车凭证。为提高通行效率，中低速磁浮系统主要采用非实体卡车票形式，缓解高峰期购票压力，方便乘客出行。

中低速磁浮线网规模较小，使用3层结构可以极大地降低建设和运行成本，提高响应速度，降低系统部署难度。

3.2 功能模块设计

中低速磁浮系统中心云平台层分为中央计算机系统和互联网票务系统两部分，根据功能分别拆分为不同的微服务。每个微服务独立开发部署，提供不同的功能。

中央计算机系统由以下微服务支持。

- 1) 用户管理：负责用户信息管理和权限管理等。
- 2) 车票管理：负责票种种类及使用规则定义、票价表定义与下发、车票发行等。
- 3) 车票发售：发售票务系统车票。
- 4) 清分清算：根据清分规则对票务收益进行清分、根据分账规则与外部系统进行对账。
- 5) 运营管理：客流统计与分析、运营设备注册、运营模式管理和黑名单管理。
- 6) 订单管理：负责系统订单查询等管理功能。
- 7) 票务管理：管理车票库存，处理各终端设备上传的交易数据。
- 8) 设备管理：实时监控车站终端设备运行状态和紧急情况下控制终端设备。
- 9) 安全管理：负责密钥生成和下载。

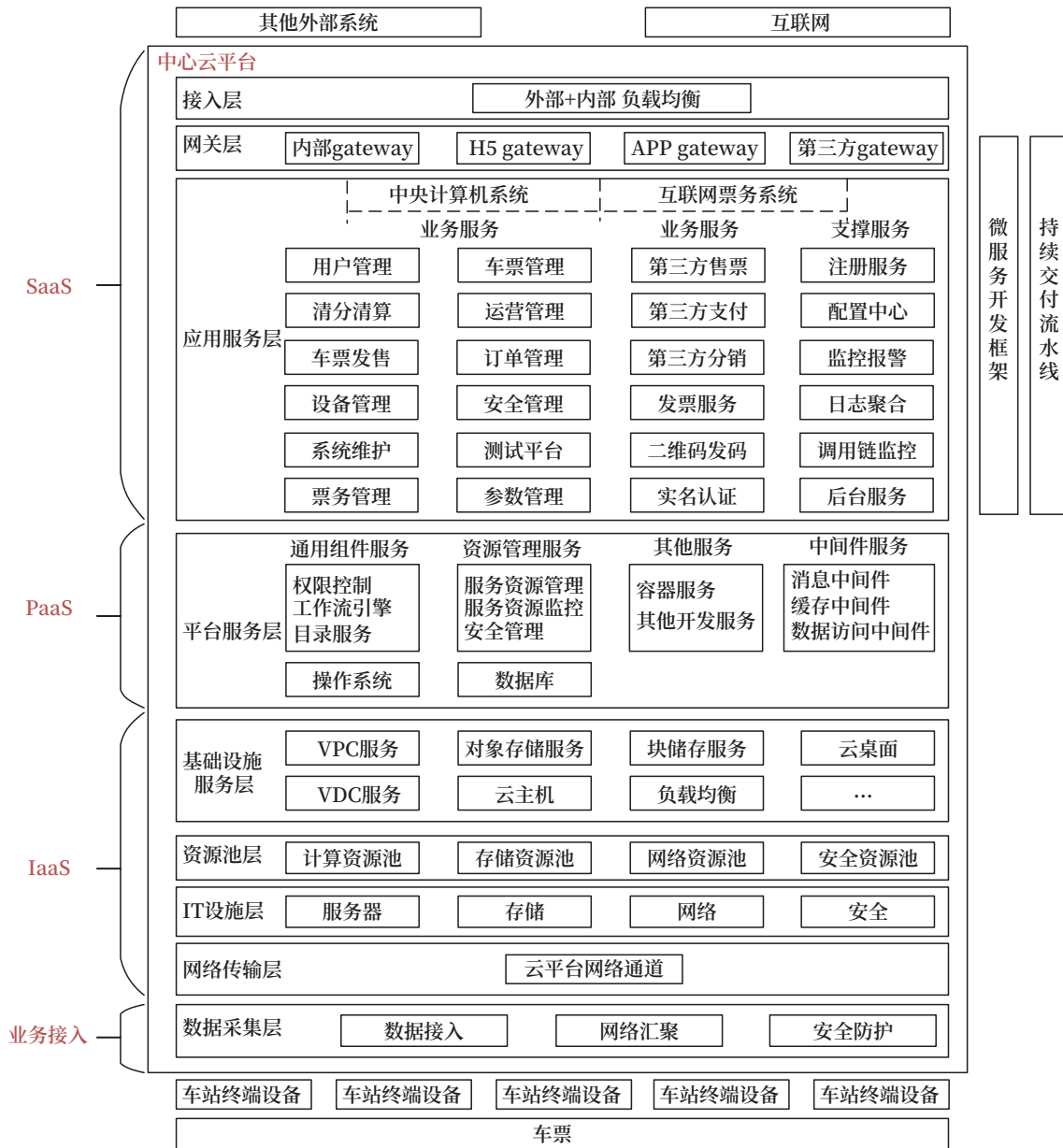


图5 基于云平台的票务系统框架
Fig.5 Ticketing system architecture based on the cloud platform

10) 参数管理：负责向车站终端设备下发系统运行参数和控制命令信息。

11) 系统维护：负责数据库的备份和恢复。

12) 测试平台：负责新票种、新支付方式等开发测试。

互联网票务系统由以下微服务支持。

1) 第三方发售：APP、微信小程序等第三方互联网售票平台的车票发售。

2) 第三方支付：与支付产品（银行、支付宝

等）对接，实现支付功能。

3) 第三方分销：与携程等第三方分销平台对接，实现分销功能。

4) 二维码发码：生成动态二维码，供乘客进出站使用。

5) 实名认证：提供身份证和人脸实名认证功能，支持开通人脸乘车服务。

3.3 用户权限管理功能设计

中低速磁浮票务系统的微服务架构可选择采

用 Spring Cloud Alibaba 框架, 其常用组件包括注册中心 (Nacos)、监控中心 (Admin)、网关 (Gateway)、流量控制与服务降级 (Sentinel)、分布式解决方案 (Seata) 等。

以设计用户权限管理功能为例, 说明微服务架

构中注册中心和网关等模块是如何工作的。如图 6 所示, 服务注册中心 Nacos 能够通过服务注册和服务发现来实现微服务之间的服务调用。网关服务、用户管理服务、订单服务、支付服务等均需要向 Nacos 注册, 并且订阅 Nacos 中的所有已注册服务。

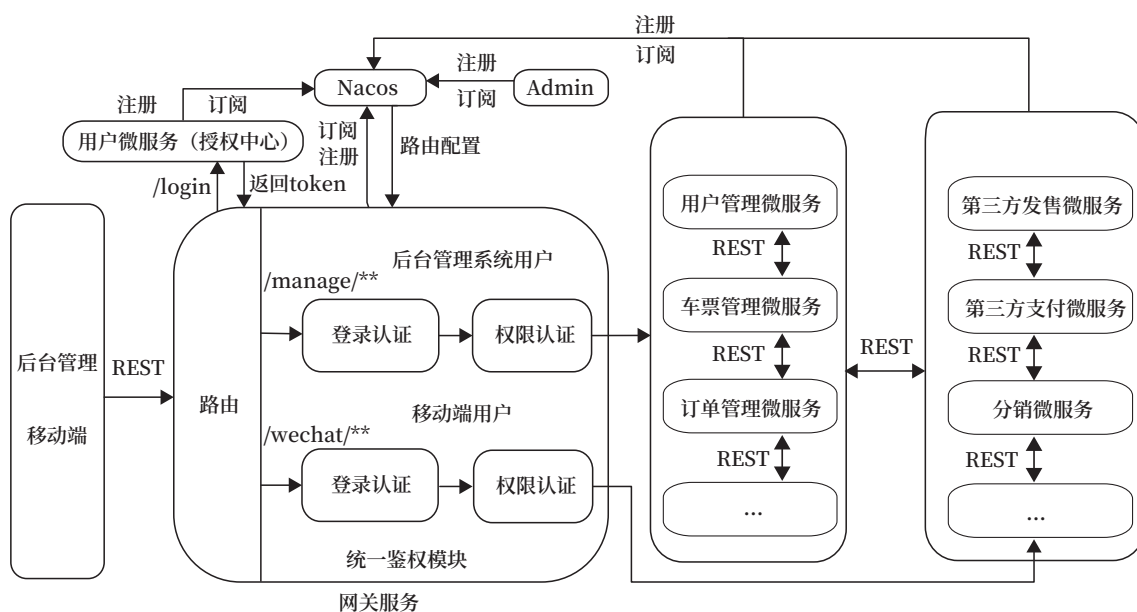


图6 用户权限管理功能示意

Fig.6 Diagram of the user access management function

网关服务是服务访问的统一入口, 客户端和网页端所有的用户请求都会统一通过网关服务进入, 适合承担鉴权这种切面类型的功能服务。因此, 将用户鉴权模块设置在网关服务中。网关保持开放登录注册接口, 用户发送登录注册请求时, 网关转发请求给用户服务, 用户输入账号、密码等信息完成登录注册功能, 同时用户服务缓存当前登录用户信息和对应权限列表。用户再次发起业务请求时, 网关进行拦截, 并获取请求中附带的用户身份信息, 然后调用缓存中信息对请求用户做鉴权操作, 确认当前用户是否有访问该业务服务的权限, 实现统一鉴权功能。若网关服务鉴定当前用户具有权限, 那么网关服务再次转发请求给对应的业务服务。由于网关服务和各个业务服务都进行了服务注册, 因此在网关层面不需要将节点 ip 配置在转发路径上, 注册中心 Nacos 会提供服务与节点的关系。网关服务可以根据接受到的不同请求参数来决定路由到不同

业务服务中。

4 结论

本文重新规划传统城市轨道交通线路采用的票务系统 5 层结构, 提出一种基于云平台的中低速磁浮票务系统。引入云平台为票务系统提供计算、存储、网络等硬件基础资源, 实现软硬件资源统一管理、合理动态分配和集中监测, 提高资源利用率。同时在云平台基础上采用微服务架构代替传统单体架构开发票务系统, 能够将复杂的票务系统拆分为可独立部署的简单微服务, 使票务系统能够根据需求快速扩展, 有助于提高开发效率, 为中低速磁浮票务系统结合云技术和微服务架构提供参考依据。

参考文献

- [1] 张鹏, 吴娟, 徐健洲, 等. 智慧城轨背景下 AFC 终端设备的发展现状及思考 [J]. 铁路通信信号

- 工程技术, 2022, 19(1): 68-72.
Zhang Peng, Wu Juan, Xu Jianzhou, et al. Development Status and Thinking of AFC Terminal Equipment under Background of Smart Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1):68-72.
- [2] 赵圣娜, 张宁, 王健, 等. 基于私有云平台的城市轨道交通自动售检票系统架构及关键技术 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(6): 94-97.
Zhao Shengna, Zhang Ning, Wang Jian, et al. System Architecture and Key Technologies of Rail Transit AFC System Based on Private Cloud Platform[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(6): 94-97.
- [3] 蔡文锋, 颜华, 杨平. 中低速磁浮轨道系统特点及工程适应性分析 [J]. 铁道工程学报, 2015, 32(2): 54-59.
Cai Wenfeng, Yan Hua, Yang Ping. Analysis of the Characteristics and Engineering Adaptability of Track System for Medium and Low Speed Maglev Transit[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(2): 54-59.
- [4] 周晓明, 宗斌, 朱亨国, 等. 中低速磁浮轨道交通信号系统方案选择刍议 [J]. 铁道运营技术, 2019, 25(2): 4-8.
- [5] 朱莉莉. 中低速磁浮列车的发展与应用 [J]. 科技视界, 2013(30): 5, 112.
Zhu Lili. Development and Application of Medium and Low Speed Maglev Train[J]. Science & Technology Vision, 2013(30): 5,112.
- [6] 刘武斌. 中低速磁浮轨道交通旅游特性下系统优化研究: 以清远磁浮旅游轨道交通为例 [J]. 铁道标准设计, 2020, 64(6): 16-22.
Liu Wubin. Research on System Optimization of Medium-Low Speed Maglev Rail Transit Tourism Characteristics: a Case Study of Qingyuan Maglev Tourism Rail Transit[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(6): 16-22.
- [7] 赵丰年, 邱冰, 彭立, 等. 中低速磁浮在旅游交通领域适应性研究 [J]. 铁道勘察, 2021, 47(1): 59-63.
Zhao Fengnian, Qiu Bing, Peng Li, et al. Study on the Adaptability of Medium-Low Speed Maglev in Tourism Transportation[J]. Railway Investigation and Surveying, 2021, 47(1): 59-63.
- [8] 刘畅. 票务多元化支付在旅游轨道交通的应用研究 [J]. 铁道建筑技术, 2021(11): 186-190.
Liu Chang. Research on the Application of Ticketing Diversified Payment in Tourism Rail Transit[J]. Railway Construction Technology, 2021(11): 186-190.
- [9] 刘乐毅, 赵圣娜, 张宁, 等. 基于私有云平台的AFC系统实现方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(10): 51-57.
Liu Leyi, Zhao Shengna, Zhang Ning, et al. Implementation Scheme of AFC System Based on Private Cloud Platform[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(10): 51-57.

(上接 77页)

- in the New Generation Information System of Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(4): 77-81, 97.
- [9] 南迪, 樊艳, 关胜, 等. 一种基于云平台的新型城市轨道交通信号ATS系统: CN107985353A [P]. 2018-05-04.
- [10] 焦凤霞, 刘斌. 基于城轨信号系统云平台测试方法的探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(9): 73-78, 105.
Jiao Fengxia, Liu Bin. Discussion on Cloud Platform Test System Based on Urban Rail Signal System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 73-78, 105.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.02.018

新一代安全型道岔控制电路研制

陈杰, 任哲宗, 王茜, 于壮, 王炳乾

(青岛地铁运营有限公司, 山东青岛 266000)

摘要: ZDJ9 道岔控制电路存在 2DQJ 继电器第一、二组加强接点拉弧灼烧氧化, 导致的接点接触不良现象。因 2DQJ 第一组前接点与第二组后接点为表示共用接点, 接点氧化可导致道岔失表故障; 同时, 道岔表示二极管存在被瞬间启动电流击穿的风险, 也会导致道岔失表故障。现对道岔控制电路原理进行分析、调整电路逻辑, 并对 ZDJ9 交流五线制道岔控制电路进行优化研究, 避免道岔失表故障, 来提高道岔设备的整体可靠性。

关键词: ZDJ9 交流转辙机; 控制电路; 道岔失表故障; 电路优化

中图分类号: U284.72

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0103-05

Development of New Generation of Safe Turnout Control Circuit

Chen Jie, Ren Zhezong, Wang Qian, Yu Zhuang, Wang Bingqian

(Qingdao Metro Operation Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract: The ZDJ9 AC five-wire switch control circuits exhibit the phenomena of arcing, burning, and oxidation of the first and second groups of strengthening contacts of the 2DQJ relays, resulting in poor contact of the contacts. Due to the fact that the first group of front contacts and the second group of rear contacts of 2DQJ relays are shared contacts, oxidation of these contacts can lead to loss of indication of a switch; at the same time, there is a risk of instantaneous starting current striking and damaging outdoor diodes, which can also lead to loss of indication of a switch. The principle of the switch control circuits is analyzed, the circuit logic is adjusted, and the ZDJ9 AC five-wire switch control circuits are optimized to avoid loss of switch indication failure and improve the overall reliability of the switch equipment.

Keywords: ZDJ9 AC switch machine; control circuit; loss of indication of a switch; circuit optimization

青岛地铁 3 号线正线道岔采用 ZDJ9 交流转辙机双机牵引方式。日常发现, 道岔频繁转动会造成 2DQJ 继电器加强接点出现拉弧灼烧氧化、接触不良的现象, 道岔表示二极管存在被瞬间启动电流击穿损

坏的现象, 进而导致道岔电路无法接通, 导致道岔失表故障。针对现有技术存在的上述缺陷, 对 ZDJ9 道岔控制电路进行优化研究, 防止 2DQJ 拉弧、二极管击穿的风险, 提高道岔设备的整体可靠性。

收稿日期: 2023-04-04; 修回日期: 2024-01-25

发明专利: 2022 年国家实用新型专利 (ZL 202221812259.2)

第一作者: 陈杰 (1990—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 轨道交通信号, 邮箱: 505238284@qq.com。

1 ZDJ9道岔控制电路组成

ZDJ9 交流转辙机采用三相交流五线制道岔控

制电路，分为道岔表示电路和道岔启动电路两部分。其中道岔启动电路是动作转辙机、转换道岔的电路，道岔表示电路是反映道岔位置的电路。

道岔控制电路主要由室内继电器组合（道岔 JDD 组合、道岔 JDF 组合）、防雷分线柜、室外电缆盒（HZ24）和转辙机（ZDJ9）相连组成。其中室内部分主要包含表示变压器（BD1-7）、允许操作道岔继电器（YCJ）、一启动继电器（1DQJ）、二启动继电器（2DQJ）、一启动复示继电器（1DQJF）、道岔定位操纵继电器（DCJ）、道岔反位操纵继电器（FCJ）、道岔定位表示继电器（DBJ）、道岔反位表示继电器（FBJ）、断相保护器（DBQ）、道岔保护继电器（BHJ）、切断道岔启动继电器（QDJ）、阻容盒（RC）和熔断器（RD x）等设备组成。

2 ZDJ9道岔控制电路原理

2.1 道岔启动电路

ZDJ9 道岔控制电路，采用分级控制方式控制道岔转换，其中 X1 通过 1DQJ 继电器前接点接至 A 相，由 1DQJ 继电器检查联锁条件，符合要求后接通 1DQJ 励磁电路；X2、X4 通过 2DQJ 继电器接点区分定、反位，接至 B 相；X3、X5 通过 2DQJ 接点区分定、反位，接至 C 相，由 2DQJ 继电器控制交流电机的转换方向，以决定将道岔转换至定位还是反位。工作原理分析如下（以 J1 定位向反位转换为例）：

1) 当操纵道岔由定位向反位转换时，使 1DQJ 吸起，1DQJ 励磁电路为：KZ24→YCJ21-22→DGJ31-32→1DQJ3-4线圈→2DQJ141-142→FCJ21-22→KF24；

2) 1DQJ 自闭电路为：KZ24→QDJ43-41→1DQJ1-2线圈→BHJ32-31→1DQJ32-31→KF24；

3) 1DQJ 吸起后，1DQJF 随之吸起，1DQJF 励磁电路为：KZ24→1DQJF1-4线圈→1DQJ32-31→KF24；

4) 1DQJF 吸起后接通 2DQJ 转极电路，其 2DQJ 励磁电路为：KZ24→1DQJF41-42→2DQJ2-1线圈→FCJ21-22→KF24。

当室内 1DQJ、1DQJF 吸起，2DQJ 转极后构成三相交流电动机电路。A、B、C 三相动作电源经断路器进入断相保护器 DBQ，以及 1DQJ、1DQJF、2DQJ 接点，由 X1、X3、X4 线向室外送电，电机开始转动，转辙机第三排接点断开，切断定位表示电路，接通第四排接点，其电路分别如下：

1) A 相启动电回路：A 相→RD1→DBQ11-21→1DQJ12-11→X1→电动机 U1；

2) B 相启动电回路：B 相→RD2→DBQ31-41→1DQJF12-11→2DQJ111-113→X4→转辙机接点 11-12→遮断开关 K03-04→电动机 W1；

3) C 相启动电回路：C 相→RD3→DBQ51-61→1DQJF22-21→2DQJ121-123→X3→转辙机接点 13-14→遮断开关 K02-01→电动机 V1。

2.2 道岔表示电路

道岔由定位转换至反位，反位表示接点接通道岔表示电路：

1)BD1-7/II-3→R₁→1DQJ23-21→2DQJ131-133→FBJ1-4→X5→转辙机接点器 41-42→K04-03→电动机绕组 W1→电动机绕组 U1→X1→1DQJ11-13→BD1-7/II-4；

2)BD1-7/II-3→R₁→1DQJ23-21→2DQJ131-133→1DQJF23-21→2DQJ121-123→X3→转辙机接点 23-24→转辙机接点 45-46→二极管 8-7→自动开闭器 26-25→电动机绕组 V1→电动机绕组 U1→X1→1DQJ11-13→BD1-7/II-4。

3 目前ZDJ9道岔控制电路存在的问题

ZDJ9 道岔控制电路存在 2DQJ 继电器第一、二组加强接点拉弧灼烧氧化，产生接点接触不良的现象，因 2DQJ 第一组前接点与第二组后接点为表示共用接点，接点氧化导致道岔失表故障；现场调阅信号集中监测系统动作电流曲线发现：道岔启动最高瞬间峰值电流能达到 6 A。

道岔表示二极管采用两并三串结构，额定电流 3 A，反向耐压大于 1 000 V。经比对：道岔启动的瞬间峰值电流约为道岔表示二极管额定电流的 2 倍。证明道岔启动时接通的瞬间启动电流太大，道岔表示二极管存在被瞬间启动电流击穿的风险，导

致道岔失表故障。

3.1 道岔由定位向反位转换

道岔由定位向反位转换时，在1DQJ、1DQJF励磁后，B相电启动电回路通过2DQJ第一组后接点与定位表示回路构成启动电回路，如图1所示。在2DQJ转极时，2DQJ第一组前接点处于带电状态，所以接点转极分离时，会产生拉弧现象。道岔表示二极管与A相电启动电回路、B相电启动电回路构成闭合回路，存在被击穿的风险。C相电启动电回路由于41-42接点断开没有构成回路，所以2DQJ第二组前接点动作时没有拉弧现象。

3.2 道岔由反位向定位转换

道岔由反位向定位转换时，在1DQJ、1DQJF励磁后，C相电启动电回路通过2DQJ第二组后接点与反位表示回路构成启动电回路，如图2所示。在2DQJ转极时，2DQJ第二组后接点处于带电状态，所以接点转极分离时，会产生拉弧现象。道岔表示二极管与A相电启动电回路、C相电启动电回路构成闭合回路，存在被击穿的风险。B相电启动电回路由于11-12接点断开没有构成回路，所以2DQJ第一组后接点没有拉弧现象。

通过上述分析，可以得出当前道岔电路存在以

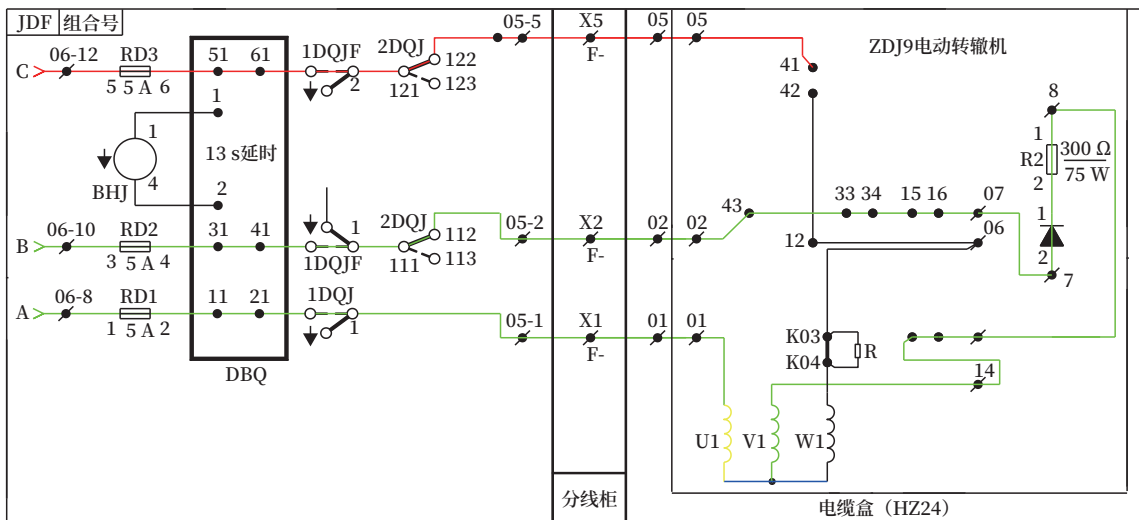


图1 道岔反操时启动电通过表示回路形成回路

Fig.1 When the switch is operated to the reverse position, the starting power passes through the indication circuit to form a circuit

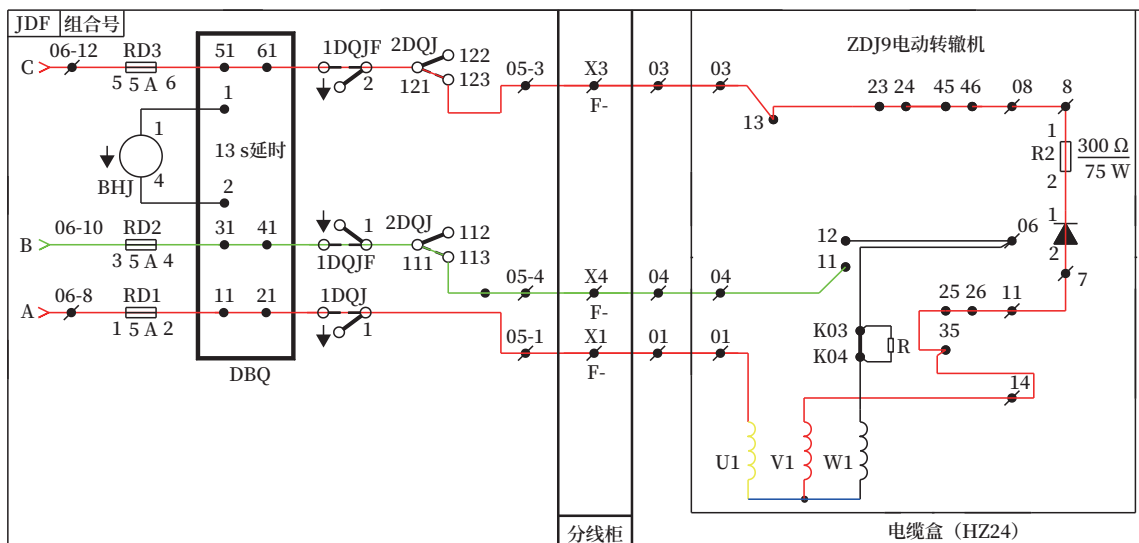


图2 道岔定操时启动电通过表示回路形成回路

Fig.2 When the switch is operated to the normal position, the starting power passes through the indication circuit to form a circuit

下问题：在道岔操纵时，1DQJ、1DQJF 及 2DQJ 存在动作时差，2DQJ 的转极条件为 1DQJF 吸起，在 2DQJ 转极前这个时间，两相动作电通过 2DQJ 接点形成了一个回路，导致二极管存在被击穿的风险；2DQJ 带电转极动作，易产生拉弧现象。

4 ZDJ9道岔控制电路优化改进方案

道岔失表故障会导致列车不能折返，大量乘客滞留车站，严重影响市民乘车体验。针对现有技术存在的上述缺陷，故对 ZDJ9 道岔控制电路进行优化研究，来防止 2DQJ 继电器拉弧、二极管击穿的风险，避免道岔失表故障。

道岔由反位向定位转换时，A、C 两相启动电回路通过 X1 端子、X3 端子构成回路；道岔由定位向反位转换时，A、B 两相启动电回路通过 X1 端子、X2 端子构成回路，其中共用部分为 X1 端子 → U1 线圈 → V1 线圈 → D14 端子 → 35 接点。并且闭合回路构成的时机是 1DQJ 和 1DQJF 吸起，2DQJ 还未转极之前（其时长约为 0.07 ~ 0.12 s），因此在 1DQJF 吸起之前断开闭合回路将表示电路与启动电路隔离，继电器动作顺序为：1DQJ ↑ → 1DQJF、1DQJF' ↑ → 2DQJ 转极，即在室内道岔 JDF 组合增加一台 1DQJF' 继电器，并在转辙机 D14 端子 → 35 接点之间加入一组室内新增 1DQJF' 接点，实现表示电路和启动电路隔离。具体方法如下。

1) 室内部分

a. 在既有室内道岔 JDF 组合空位新增加一台 1DQJF' 继电器，继电器类型选用 JWJXC-480。将 X1 使用 1DQJ 第一组接点修改为 1DQJF' 第一组接点，如图 3 所示。

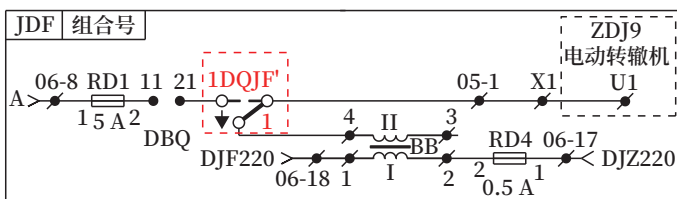


图3 改用1DQJF'电路

Fig.3 The original circuit diagram has been changed to 1DQJF' circuit diagram

即 A 相启动电回路修改为：A 相 → RD1 →

DBQ11-21 → 1DQJF'12-11 → X1 → 电动机 U1。

b. 新增室内 1DQJF' 继电器与既有 1DQJ 继电器第一组接点相连，构成 1DQJF' 励磁电路，如图 4 所示。

即新增 1DQJF' 励磁电路为：KZ24 → 1DQJF' 1-4 线圈 → 1DQJ12-11 → KF24。

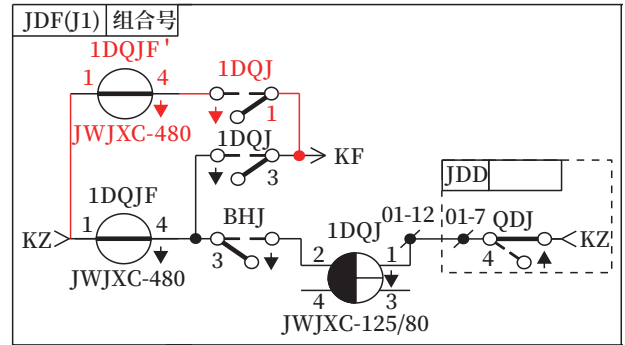


图4 1DQJF' 励磁电路

Fig.4 1DQJF' energizing circuit diagram

2) 室外部分

a. 新增转辙机端子 D15，拆除既有转辙机端子 D14 与第三排接点 35 间连线。

b. 通过室外箱盒、防雷分线柜、组合柜等用电线将室内新增 1DQJF' 继电器第二组中接点和后接点分别接至转辙机 D14 和 35，如图 5 所示。

即表示电路共用部分修改为：X1 端子 → U1 线圈 → V1 线圈 → 端子 D14 → X10 → 1DQJF'21-23 → X9 → 端子 D15 → 接点 35。

5 优化前后试验对比

为对优化道岔控制电路进行验证，在青岛地铁 3 号线安顺车辆段培训中心进行相关试验。

1) 用示波器在优化道岔控制电路二极管两端进行测试。经多次定操、反操试验未发现有交流电 380 V 半波流过二极管。

2) 对比优化道岔控制电路与既有道岔控制电路 2DQJ 继电器接点拉弧的情况。分别采用 2 组 ZDJ9 转辙机，一组采用既有道岔控制电路，另外一组采用优化道岔控制电路。每天模拟 3 号线青岛北站折返道岔动作次数，同时操纵两组道岔，截止目前已有 6 个月时间。经对比发现：每次动作时，既有道

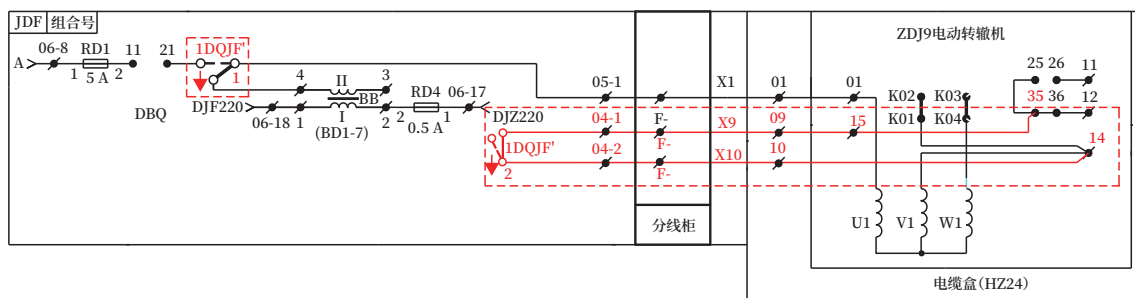


图5 优化后道岔控制电路

Fig.5 Optimized switch control circuit diagram

岔控制电路 2DQJ 继电器接点拉弧现象非常明显,且 2DQJ 继电器接点出现灼烧变黑情况,而优化道岔控制电路 2DQJ 继电器接点光亮如新,且 2DQJ 继电器转极时,无拉弧现象。

6 结语

针对现有技术的缺陷,研制新型道岔控制电路,提出表示电路和启动电路隔离技术。将表示电路与启动电路隔离开来,保证了在操纵道岔时启动电不会通过表示回路构成回路,解决 2DQJ 继电器接点拉弧灼烧氧化及道岔表示二极管被击穿问题,降低道岔设备故障率,提升设备安全可靠程度,减少停车、晚点而造成的经济损失、舆情问题为目的。

该道岔控制电路优化方法施工简单便捷,实用性强,能够有效的提高 2DQJ 继电器的使用寿命,既适用于城市轨道交通,又适用于高速和普通铁路,在新建线路上可以直接利用,可推广性强,有助于更好的保障行车安全和提高行车效率。

参考文献

- [1] 青岛地铁运营有限公司. 防止 2DQJ 拉弧、二极管击穿的电路: CN202221812259. 2 [P]. 2022-09-20.
- [2] 国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [3] 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, 2014.
- [4] 国家铁路局. 铁路车站计算机联锁技术条件: TB/T 3027-2015 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [5] 林瑜筠. 铁路信号基础 [M]. 北京: 中国铁道出

版社, 2006.

- [6] 王秉文. 6502 电气集中工程设计 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.
- [7] 陈泽涛, 郑乐藩. ZYJ7 型转辙机道岔启动电路改进研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (2): 104-107.
- Chen Zetao, Zheng Lefan. Improving Turnout Starting Circuit of ZYJ7-Type Point Machine [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 104-107.
- [8] 李亚兰. 一站两场场间渡线道岔场联电路设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (3): 23-26.
- Li Yalan. Design of Liaison Circuit for Crossover Turnout Between Yards of Station with Two Yards [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(3): 23-26.
- [9] 樊西宁. 道岔控制电路分布电容探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (1): 92-95.
- Fan Xining. Discussion on Distributed Capacitance in Switch Control Circuit [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 92-95.
- [10] 曾科智. 远距离三相交流道岔表示故障解决方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 96-100, 116.
- Zeng Kezhi. Solution to Indication Failure of Long-distance Three-phase AC Switch [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 96-100, 116.

巴西圣保罗13号线车载ATC系统设计

王成^{1,2}, 刘浚锋^{1,2}, 刘佳^{1,2}

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: 介绍巴西圣保罗城市轨道交通概况, 描述巴西圣保罗地铁13号线信号系统。着重对巴西圣保罗地铁13号线车载信号系统详细分析, 对车载ATC的系统组成、驾驶模式和主要系统功能进行分析和论述。对轨道电路接收和处理功能、超前速度监控功能、列车制动力监控功能进行详细分析, 并提出设计方案。

关键词: 巴西圣保罗地铁信号系统; 车载ATC系统; 驾驶模式; ATC系统功能

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)02-0108-06

On-board ATC System Design of Sao Paulo Line 13, Brazil

Wang Cheng^{1,2}, Liu Junfeng^{1,2}, Liu Jia^{1,2}

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

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

Abstract: This paper introduces the general situation of urban rail transit in Sao Paulo, Brazil, and describes the signal system and system composition of Sao Paulo Metro Line 13. The on-board signal system of this line is analyzed in detail, and the system composition, driving modes and main system functions of on-board ATC are analyzed and discussed. The receiving and processing function of track circuits, the speed monitoring function of release speed and the monitoring function of train braking force are analyzed in detail, and a design scheme is proposed.

Keywords: metro signal system of Sao Paulo, Brazil; on-board ATC system; driving mode; ATC system functions

巴西圣保罗地铁13号线是连接瓜鲁柳斯国际机场(GRU)与圣保罗市区的一条线路, 是南美洲第一条机场线路, 全长12.2 km, 沿线设有3座车

站。13号线车辆前期提供8列(64辆)城轨车辆, 为8编组列车, 列车的最高运营速度为90 km/h。

1 巴西圣保罗城市轨道交通概况

巴西圣保罗大都会城市轨道交通系统是南美洲最大的城市铁路系统, 拥有13条线路、187个车站, 总长377 km, 日均客运量830万人。巴西圣保罗大都会城市轨道交通线路示意如图1所示。

收稿日期: 2022-09-13; 修回日期: 2023-12-19

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-K1170010.06)

第一作者: 王成(1985—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通信号系统控制, 邮箱: wangcheng@crscd.com.cn.



图1 巴西圣保罗大都会城市轨道交通线路示意图

Fig.1 Schematic diagram of urban rail transit lines in the Sao Paulo metropolitan area , Brazil

巴西圣保罗共有4家轨道交通运营公司。其中，1号线、2号线、3号线、15号线由圣保罗地铁公司（CMSP）运营。7号线、10号线、11号线、12号线、13号线由圣保罗大都会铁路公司（CPTM）运营。5号线、8号线、9号线由ViaMobilidade公司运营。4号线由ViaQuatro公司运营。6号线和17号线正在建设。

1号线、2号线采用阿尔斯通的Urbalis CBTC信号系统。4号线采用西门子的Trainguard MT CBTC信号系统。5号线、15号线采用庞巴迪的CITYFLO 650 CBTC信号系统。3号线、7号线、8号线、9号线、10号线、11号线、12号线、13号线采用自动闭塞信号系统。其中，3号线正在进行信号系统改造，采用阿尔斯通的Urbalis CBTC信号系统。6号线和17号线正在建设，6号线采用日本SPARCS CBTC信号系统，17号线采用泰雷兹

SelTrac CBTC信号系统。

2 巴西圣保罗13号线信号系统结构

巴西圣保罗13号线信号系统是一种基于轨道电路的固定闭塞信号系统。系统结构如图2所示，系统主要由3部分构成：轨旁设备、地面设备、车载设备。轨旁设备包含信号机、转辙机、电子信标等基础设备。地面设备包含轨道电路、联锁、地面控制中心。车载设备主要包含车载ATC和车载ATO。车载ATC是列车安全防护的核心，依据轨道电路信息、电子信标信息、测速测距等信息实现列车的安全防护，车载ATO实现自动驾驶功能。巴西圣保

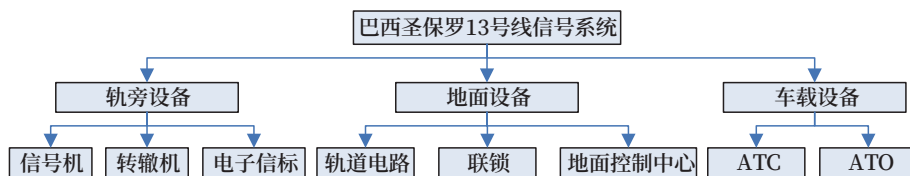


图2 巴西圣保罗13号线信号系统结构

Fig.2 Signal system structure of Sao Paulo Line 13, Brazil

罗7号线、8号线、9号线、10号线、11号线、12号线均采用与13号线相同制式的信号系统，并且各个线路之间都具备互联互通条件，列车可以在不同线路之间混跑。

3 巴西圣保罗13号线车载ATC信号系统

车载ATC信号系统通过霍尔速度传感器+加速度计计算列车的速度和位置。通过车载电子信标读取器获取地面电子信标的定位信息，对列车的位置进行校正。通过车载轨道电路读取器获取轨道电路的移动授权和限速信息，车载设备根据测速测距单元计算的速度和位置信息及地面的限速信息进行列车速度监控。通过无线通信获取地面控制中心的运营命令，实现列车自动驾驶功能。

3.1 车载ATC系统组成

车载ATC系统信号设备包括：车载ATC主机、车载DMI、车载轨道电路读取器(Track Circuit Reader, TCR)、车载电子信标读取器、无线通信单元、速度传感器和加速度计。其组成如图3所示。

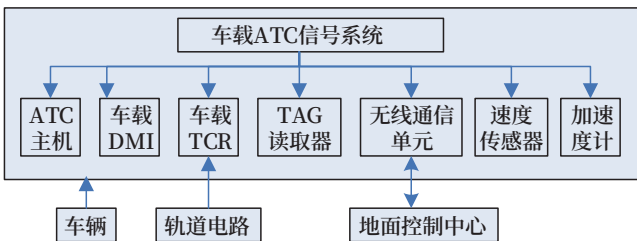


图3 车载ATC系统设备组成

Fig.3 Equipment composition of on-board ATC system

车载ATC主机实现车载ATC应用功能，包含测速测距功能、列车定位功能、速度监控功能、制动率监控功能和事件记录功能等。

车载DMI主要提供给司机速度控制曲线显示、图标信息显示、声音报警等信息。

车载电子标签读取器读取并解析地面电子标签中的数据信息，用于车载ATC主机实现列车定位功能。

车载TCR读取解析地面轨道电路中的数据信息，车载ATC主机通过车载TCR的数据信息实时计算当前列车的控制速度，实现列车的速度监控。

车载无线通信单元接收地面控制中心数据信息，车载ATO通过无线通信单元的数据信息实现控车等级、跳停、扣车等运营命令。

车载ATC通过速度传感器和加速度计计算列车速度和距离信息，通过加速度计获取列车当前的加速度或减速度，与期望列车制动率进行比较，实现制动力监控功能。

3.2 驾驶模式

车载ATC信号系统具备8种操作模式：未上钥匙模式、ATO主动操作模式、主动操作模式、继续限制速度操作模式、待机操作模式、操作性限制操作模式、有限隔离操作模式和完全隔离操作模式。

自动驾驶模式(AM)，车载ATO在车载ATC的监控下，控制列车的启动、加速、巡航、惰行、制动、精确停车的模式。在AM模式下，车载ATC完成与SM模式下相同的监控。ATO在站台区停准后能够完成开关门功能。

完全监控模式(SM)，司机通过模式选择开关来启用主动操作模式。在主动操作模式下，车载ATC系统应对列车安全运行进行防护。主动操作模式具备功能：获取并解析地面轨道电路中的限速代码，根据线路状况，实现列车定位，实现速度防护；检查列车的有效制动力；将车载ATC运营状态显示给司机。

继续限制速度操作模式(VR)，用于线路限速为0 km/h(车载ATC接收到VR限速码)的线路，司机必须靠目视操作。当车载ATC接收到零限速编码(VR限速编码)，当列车速度小于或等于25 km/h时，车载ATC允许使用继续限制速度开关，按照继续限制操作模式的功能要求行驶。当车载ATC具备转换到VR模式条件时，需通过DMI显示图标提示司机。继续限制速度操作模式最大允许速度为25 km/h。

待机操作模式(SB)，待机操作模式用于在非信号线路(站场)以受限速度行驶列车。除了不需要周期识别，与继续限制速度模式类似。该功能必须由高电平VMA1编码(大于8 A的线路电流)激

活, 编码为 180 PPM, 前提是列车速度低于某阈值并借助确认键。该模式下, 安全必须由司机确保, 靠视线操作列车, 遵守线路前方信号。

操作性限制操作模式 (RO), 通过将操作模式开关旋转至操作限制位来激活操作性限制操作模式。ATC 设备必须自动把列车的速度限制在推进限制器限制速度 (50 km/h) 以下。当接收地面线路代码发生故障时, 司机得到地面 CCO 许可使用此模式运行。该模式下, 安全必须由司机确保, 靠视线操作列车, 遵守线路前方信号。

有限隔离操作模式 (LIS), 司机需将模式选择开关打到隔离位, 且推进限制器开关打到正常位, 车载 ATC 进入有限隔离操作模式。该模式下, 车载设备不能施加列车制动。如果列车的速度超过 ATC 允许速度, 车载设备必须输出切断牵引力。当列车速度低于允许速度的 90% 时, 恢复列车牵引。该操作模式只需在车载设备故障情况下使用, 不能在正常时使用。该模式下, 安全必须由司机确保, 靠视线操作列车, 遵守线路前方信号。

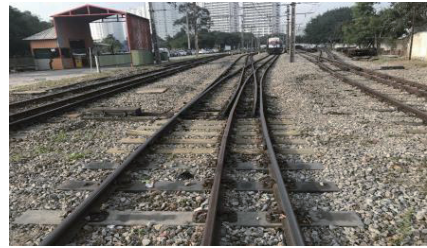
完全隔离操作模式 (UIS), 司机需将模式选择开关打到隔离位, 且推进限制器开关打到隔离位, 车载 ATC 进入完全隔离操作模式。该模式下, 安全必须由司机确保, 靠视线操作列车, 遵守线路前方信号。

3.3 车载ATC功能

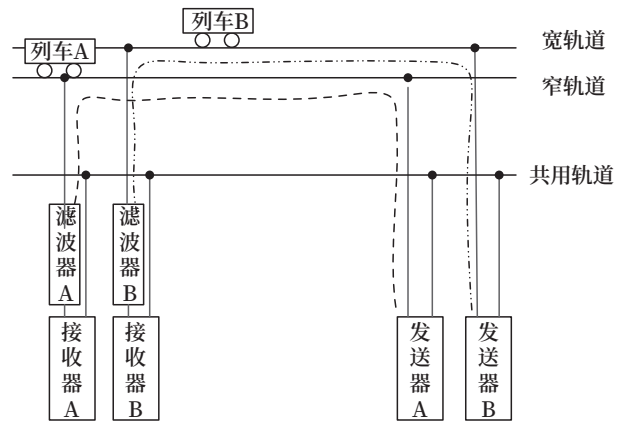
1) 轨道电路接收和处理功能

基于巴西圣保罗 CPTM 公司地铁的三轨线路 (具有 1 m 和 1.6 m 混合轨距的轨道), 列车运行在混合轨距线路上时, 车载 ATC 系统通过车载 TCR 接收和解析定制载频信息的低频信号 (重叠保护信号), 进而实现混合三轨距的轨道占用检查, 防止事故的发生。原理示意如图 4 所示。

基于三轨线路的重叠保护信号的轨道占用检测技术是基于混合轨距的轨道的一种信号控制技术。车载 TCR 通过同时解析轨道电路中两种载频下的低频信号, 获取不同轨距下轨道电路的占用情况, 并将占用情况发送给车载 ATC 系统, 车载 ATC 系统根据地面轨道电路占用情况控制列车运行。



(a) 三轨线路
(a) Three-track line



(b) 占用检测示意
(b) Schematic diagram of occupancy detection

图例: - - - - 列车检测占用信号A - · - · - 列车检测占用信号B

图4 三轨线路及占用检测示意

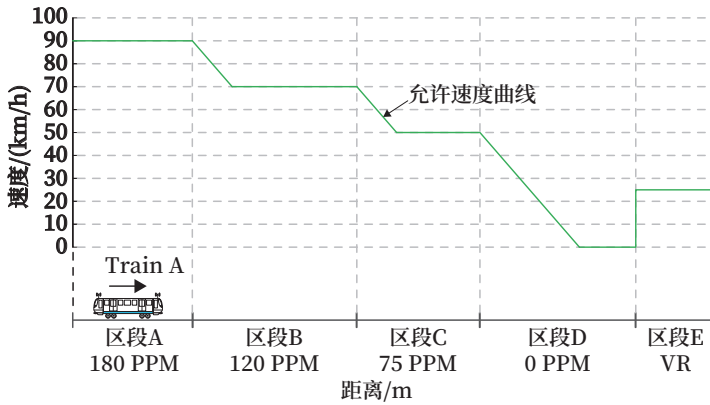
Fig.4 Schematic diagram of the three-track line and occupancy detection

在有重叠保护信号的区段, 车载 ATC 系统在接收使用有效低频信号前, 需检测重叠保护信号。如果车载 ATC 系统接收到有效的低频信号, 但未接收到重叠保护信号, 此时车载 ATC 系统认为前方三轨有占用, 需将线路限制速度设置为 0 km/h, 控制列车停车。如果车载 ATC 系统接收到有效的低频信号, 同时接收到重叠保护信号, 车载 ATC 系统需按照轨道电路的低频信号计算限速。

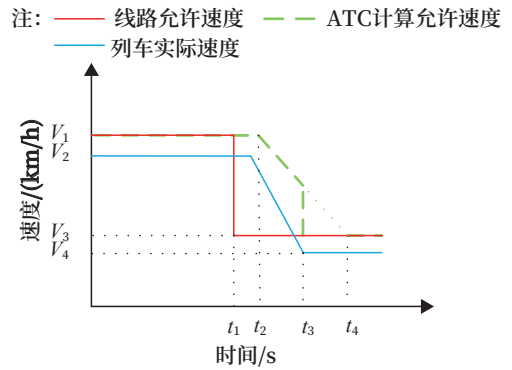
2) 速度监控功能

不同于 CTCS/ETCS/CBTC 信号系统的闭口速度监控方式, 巴西圣保罗 13 号线信号系统的速度监控是超前速度监控。超前速度监控是将本闭塞分区的允许速度作为本闭塞分区的目标速度, 在进入本闭塞分区时对列车速度进行检查, 并在离开本闭塞分区前将列车速度降低至该目标速度以下。速度控制原理如图 5 所示。

车载 ATC 工作在 SM 模式和 AM 模式时, 正



(a) 该线路允许速度曲线示意
(a) Schematic diagram of permitted line speed profile



(b) 实际速度控制示意
(b) Schematic diagram of actual speed control profile

图5 速度控制原理
Fig.5 Speed control principle

常接收地面轨道电路发送的允许速度码信息，并且按照相应的允许速度进行速度监控。

列车运行过程中，列车从允许速度高的轨道区段进入到允许速度低的轨道区段（例如从 VMA1 进入 VMA2）时，车载 ATC 需要考虑运营的安全性和可用性，既需要对降速进行防护又需要防止降速过程中发生不必要的紧急制动影响运营，根据车辆制动性能和现场试验调试，提出以下的设计总体要求。

第一，根据车辆制动性能和线路条件，计算当前列车速度防护曲线。

第二，当车载 ATC 接收到的轨道电路允许速度由低限速变化到高限速时，车载 ATC 计算的速度防护曲线直接升高。车载 ATC 按照速度防护曲线对列车速度进行防护。

第三，当车载 ATC 接收到的轨道电路允许速度由高限速变化到低限速时，车载 ATC 根据车辆制动性能和线路条件计算列车降速曲线。同时，车载 ATC 主动输出切除牵引和最大常用制动，直到降速过程结束。

第四，在降速过程中，基于速度防护曲线，车载 ATC 对列车速度进行防护，车载 ATC 速度大于等于速度防护曲线的速度时，车载 ATC 应施加制动进行防护。

3) 制动力监控功能

车载 ATC 设备需要监控列车制动力，如果车载 ATC 设备检测到列车最大常用制动或紧急制动制动力不足，车载 ATC 需输出紧急制动命令直到列车停稳。需向司机发出报警信息。

车载 ATC 设备监控到列车紧急制动力不足，为保证列车的安全停车距离，车载 ATC 设备必须在收到的最大限制速度（限制速度除外）基础上降低一定百分比形成最大允许速度。第一次发生紧急制动力不足时最大允许速度降低 20%，连续两次发生紧急制动力不足时最大允许速度降低 50%。

当车载 ATC 连续三次检测到列车紧急制动力不足时，需提示司机本列车需要回库检修。

巴西圣保罗 13 号线项目没有线路坡度数据，车载 ATC 仅通过加速度计进行列车制动力监控。当列车在平坡运动时，列车不受线路坡度影响，列车制动力为 $F=ma_{\text{制}}$ 。当列车在上坡运动过程中，当列车没有施加牵引力且没有施加制动力时，列车处于减速向上运动的状态。当前加速度计测量的加速度为 $a_{\text{制}}=0 \text{ m/s}^2$ 。当列车施加最大常用制动或紧急制动时，列车受到前进方向上的制动力 F 。列车制动力为 $F=ma_{\text{制}}$ 。当列车在下坡运动过程中，当列车没有施加牵引力且没有施加制动力时，列车处于加速向下运动的状态。当前加速度计测量的加速度为 $a_{\text{制}}=0 \text{ m/s}^2$ 。当列车施加最大常用制动或紧急制

动时, 列车受到前进方向上的制动力 F 。列车制动力为 $F=ma_{加}$ 。

通过以上的分析, 列车运动方向上的制动力总为 $F=ma_{加}$, 列车的制动力通过加速度计可以计算得到, 与线路坡度无关。

4) 自动驾驶功能

车载 ATC 具备车-地无线通信功能。车载 ATC 在定位状态时, 列车距前方站台距离小于 50 m (可配置), 车载 ATC 应主动与地面控制中心建立无线通信, 获取地面控制中心的跳停、扣车、开门、关门和运行等级等控制命令。当列车离开后方站台距离大于 50 m (可配置), 车载 ATC 应主动与地面控制中心断开无线通信。

车载 ATC 系统根据当前轨道的线路限速信息, 计算自动驾驶的控车曲线, 最终生成控制命令输出至车辆, 实现列车速度的自动调整。同时, 车载 ATC 系统响应地面控制中心的跳停、扣车等控制命令。车载 ATC 系统使用安装在预定位置的地面电子信标来校正列车位置, 实现列车站台精确停车。

列车在站台停稳后, 且满足列车平台对中条件, 车载 ATC 根据地面电子信标开门侧给出门允许。如果车载 ATC 输出门允许, 且收到地面控制中心的开门命令, 且车载 ATC 在此站未执行过开门命令, 车载 ATC 输出相应侧开门指令。车载 ATC 接收到地面控制中心的关门命令时, 车载 ATC 应当按照要求关闭车门。

4 结束语

本文对巴西圣保罗城市轨道交通进行了描述, 详细介绍了巴西圣保罗地铁 13 号线信号系统。针对巴西圣保罗地铁 13 号线的车载 ATC 信号系统, 详细分析了驾驶模式、轨道电路接收和处理功能、速度监控功能、制动力监控功能, 并根据系统功能进行了功能设计, 得出了模式控制、轨道电路接收和处理功能、速度监控功能、制动力监控功能设计方案。

参考文献

- [1] 苏晓声. 巴西圣保罗扩建地铁和市效铁路 [J]. 现代城市轨道交通, 2004 (5): 60.
- [2] 熊竞, 马祖琦. 正在加速推进的圣保罗地铁建设 [J]. 世界轨道交通, 2012 (9): 62-63.
- [3] 牟晓莎, 李忠. 巴西圣保罗 13 号线市域车与我国城轨车辆对比分析 [J]. 国外铁道车辆, 2021, 58 (3): 1-5.
Mu Xiaosha, Li Zhong. Comparative Analysis of Sao Paulo Line 13 in Brazil and Urban Rail Vehicles in China[J]. Foreign Rolling Stock, 2021, 58(3): 1-5.
- [4] 施篇. 巴西圣保罗 13 号线 ATC 车载设备系统控速防护逻辑研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (4): 100-104.
Shi Pian. Speed Control and Protection Logic of ATC Onboard System of Sao Paulo Line 13 of Brazil[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 100-104.
- [5] 朱云生. 巴西圣保罗 13 号线项目车载 ATC 设备冗余设计方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (5): 109-113.
Zhu Yunsheng. Redundancy Design Scheme of Onboard ATC for Sao Paulo Line 13 in Brazil[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 109-113.
- [6] 章希. 圣保罗地铁的现代化 [J]. 城市公用事业, 2010, 24 (3): 48.
Zhang Xi. Modernization of Sao Paulo Subway[J]. Public Utilities, 2010, 24(3): 48.
- [7] 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.

《铁路通信信号工程技术》

Railway Signalling & Communication Engineering

月刊



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

主要内容是围绕轨道交通通信信号专业领域的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导；对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员，在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流；及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。

投稿方式：
期刊官网投稿：<https://rsce.crscd.com.cn>
邮箱投稿：rsce@crsdc.com.cn

联系方式：
电话：50805951；
50805273

订阅方式：
邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，邮发代号80-532
编辑部订阅：e-mail或电话至编辑部
订 价：每期10元，全年（12期）120元

地址：北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号B座 邮编：100070

ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U



<https://rsce.crscd.com.cn>
扫码打开期刊官网，
阅读、下载本刊内容



邮发代号：80-532 国内定价：10元/期