

# 铁路通信信号工程技术

*Railway Signalling & Communication Engineering*

中国铁道学会通信信号分会指定期刊

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 2023. **1** 第20卷 总第145期

CRSC

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

## DCZD-T型道岔转换 智能诊断系统



New Upgrade 2.0

## 智慧赋能 全新升级2.0

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

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

邮编: 100070 Postcode: 100070

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

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

## 编辑电话 Edition Tel:

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

## 广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

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

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

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

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

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

## 广告代理 Advertising Agency:

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

## 印刷 Printed by:

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

## 广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第20卷第1期总第145期 Vol.20 No.1 S.No.145

出版: 2023年1月25日 Published on: 1/25/2023

创刊: 2004年 First Issue: 2004

## 高级顾问: 倪光南院士

刘尚合院士

陈维江院士

## Senior Consultants:

Ni Guangnan: Member, Chinese Academy of Engineering

Liu Shanghe: Member, Chinese Academy of Engineering

Chen Weijiang: Member, Chinese Academy of Sciences

## 主任委员: 张啸林

委员: (按姓氏笔画排序)

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

## 本刊入选数据库:

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊;

RCCSE 中国准核心学术期刊;

日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊;

EBSCO 学术数据库收录期刊;

中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊;

中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊;

中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊;

中国学术期刊影响因子年报统计源期刊;

超星期刊域出版平台全文收录



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

扫码打开期刊官网,  
阅读、下载本刊内容

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

# 铁路通信信号工程技术 目 次

## 技术创新

### 信号技术

|                     |               |       |
|---------------------|---------------|-------|
| 采用车地融合方式开展列控过分相计算研究 | 方明亮, 卫旭初, 严之伟 | 1-6   |
| 铁路道岔融雪装置工程设计标准优化研究  | 宁咏梅, 闫宏伟      | 7-13  |
| 动车组受电弓状态图像检测技术研究    | 周 晏           | 14-19 |
| 双压力传感器冗余设计的故障检测方法   | 丁 旭           | 20-23 |
| 一种基于开放网络的安全通信协议实现方法 | 殷 琴, 张立伟      | 24-27 |
| 安全监督在信号集中监测系统上的应用   | 赵浩森, 胡轶超      | 28-32 |

### 通信及信息技术

|                                     |               |       |
|-------------------------------------|---------------|-------|
| 基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制方法               | 董玉圻           | 33-39 |
| GSM-R线路交叉区域异常占用引起CTCS-3降级分析与优化      | 赵寅龙           | 40-45 |
| 基于SRv6的铁路承载网隧道技术研究                  | 高 源, 邱 萍      | 46-51 |
| CTCS-3级列控系统无线超时GSM-R电台SIM卡故障分析及解决措施 | 张晓东, 陈延春, 陈 铮 | 52-55 |
| TDCS/CTC系统局间信息交互方式优化                | 徐 华, 任贸城      | 56-60 |

## 城轨交通

|                         |                              |       |
|-------------------------|------------------------------|-------|
| 市域铁路CTCS-2与CBTC列控系统切换方案 | 全宏宇, 张敏慧                     | 61-66 |
| 面向铁路异构监测数据的光电混合接入系统     | 徐余明, 石先明, 刘利平, 胡祖翰, 黄智杰, 罗 斌 | 67-71 |
| 都市圈轨道交通票务一体化研究          | 梁 君, 付保明, 张 宁, 何铁军           | 72-76 |
| 机电设备技术融合和信号系统总承包的探析     | 仲晓辉                          | 77-82 |
| 金属对中低速磁浮BTM天线谐振频率影响     | 牛江涛, 孟天旭                     | 83-87 |
| 一种有轨电车跟踪方法的设计与实现        | 景顺利                          | 88-94 |
| CBTC信号系统信息安全问题分析        | 王 锋                          | 95-98 |

## 技术交流

|                              |     |         |
|------------------------------|-----|---------|
| 嘉兴站上行出站信号机点灯电路修改及验证          | 窦 磊 | 99-104  |
| CTCS3-300T车载设备VDX时序问题分析与解决措施 | 常 斌 | 105-109 |
| 关于全电子联锁与计算机联锁系统的对比分析         | 毛 芳 | 110-114 |

## 国外信息

|                    |                                  |  |
|--------------------|----------------------------------|--|
| 德国联邦铁路认证的移动地图系统(6) | 欧盟铁路局《2023至2025年单一规划文件》(节选)(114) |  |
|--------------------|----------------------------------|--|

# Railway Signalling & Communication Engineering

## CONTENTS

### Technological Innovation

#### Signalling Technology

|   |                                       |       |
|---|---------------------------------------|-------|
| Research on Calculation for Passing Through Neutral Sections in Trian Control by Applying Vehicle-Ground Integration Approach ..... | Fang Mingliang, Wei Xuchu, Yan Zhiwei | 1-6   |
| Research on Optimization of Engineering Design Standards of Snow Melting Devices for Railway Turnouts .....                         | Ning Yongmei, Yan Hongwei             | 7-13  |
| Research and Implementation of Image Detection System for EMU Pantograph Status .....   | Zhou Yan                              | 14-19 |
| Fault Detection Method in Redundant Design with Two Pressure Sensors .....  | Ding Xu                               | 20-23 |
| Method for Implementing Safety Communication Protocol Based on Open Network .....   | Yin Qin, Zhang Liwei                  | 24-27 |
| Application of Train Control Safety Information Supervision in Centralized Signaling Monitoring System .....                        | Zhao Haosen, Hu Yichao                | 28-32 |

#### Communication & Information Technologies

|  |  |       |
|--|--|-------|
| Transmission Delay Control Method of Railway Communication Networks Based on Neural Network .....                    | Dong Yuqi                                | 33-39 |
| Analysis and Optimization of CTCS-3 Degradation Faults Caused by Abnormal Occupancy in GSM-R Line Crossing Area..... | Zhao Yinlong                             | 40-45 |
| Research and Application of Railway Bearer Network Tunneling Technology Based on SRv6 .....                          | Gao Yuan, Qiu Ping                       | 46-51 |
| Fault Analysis and Solutions of GSM-R Radio SIM Card with Wireless Timeout in CTCS-3 Train Control System .....      | Zhang Xiaodong, Chen Yanchun, Chen Zheng | 52-55 |
| Optimization of Information Interaction Modes Between Railway Bureaus in TDCS/CTC System .....                       | Xu Hua, Ren Maocheng                     | 56-60 |

### Urban Rail Transit

|  |  |       |
|--|--|-------|
| Scheme for Switching Between CTCS-2 and CBTC Train Control Systems for Suburban Railways .....                                   | Quan Hongyu, Zhang Minhui  | 61-66 |
| Photoelectric Hybrid Access System for Railway Heterogeneous Monitoring Data .....   | Xu Yuming, Shi Xianming, Liu Liping, Hu Zuhan, Huang Zhijie, Luo Bin | 67-71 |
| Research on Ticketing Integration of Rail Transit in Metropolitan Area .....   | Liang Jun, Fu Baoming, Zhang Ning, He Tiejun                         | 72-76 |
| Exploration and Analysis of Technical Integration of Electromechanical Devices and General Contracting of Signaling Systems..... | Zhong Xiaohui  | 77-82 |
| Influence of Metallic Objects on Resonant Frequency of BTM Antennas in Medium-low Speed Maglev Trains .....                      | Niu Jiangtao, Meng Tianxu  | 83-87 |
| Design and Implementation of Tram Train Tracking Method .....  | Jing Shunli  | 88-94 |
| Information Security Analysis of CBTC Signal System .....  | Wang Feng  | 95-98 |

### Technological Exchange

|  |           |         |
|--|-----------|---------|
| Modification and Verification of Lighting Circuits of Up-direction Starting Signals at Jiaxing Railway Station ..... | Dou Lei   | 99-104  |
| Analysis and Solutions of VDX Time Sequence Problems of CTCS3-300T Onboard Equipment .....                           | Chang Bin | 105-109 |
| Comparative Analysis of Full-electronic Interlocking and Computer Interlocking Systems .....                         | Mao Fang  | 110-114 |

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.001

# 采用车地融合方式开展列控过分相计算研究

方明亮<sup>1</sup>, 卫旭初<sup>2</sup>, 严之伟<sup>1</sup>

(1. 怀邵衡铁路有限责任公司, 长沙 410027;

2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

**摘要:** 从张吉怀铁路引入怀化枢纽的实际情况出发, 针对联调联试过程中对枢纽动态测试的实际场景, 分析不同车型、不同车载在各场景下的过分相数据, 相对于传统的仅考虑地面参数进行列控过分相模拟计算方法, 提出车地融合方式列控过分相的新计算思路和计算方法, 并提出关键参数的计算公式, 旨在对后续项目的工程设计提供必要的借鉴。

**关键词:** 列控过分相; 车地融合; 计算公式

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0001-06

## Research on Calculation for Passing Through Neutral Sections in Trian Control by Applying Vehicle-Ground Integration Approach

Fang Mingliang<sup>1</sup>, Wei Xuchu<sup>2</sup>, Yan Zhiwei<sup>1</sup>

(1. HuaiShaoheng Railway Co., Ltd., Changsha 410027, China)

(2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

**Abstract:** Through a case study of introducing Zhangjiajie-Jishou-Huaihua High-speed Railway into Huaihua Hub, this paper analyzes the data of the passing over of neutral sections for different vehicle models with different onboard equipment in various scenarios, in order to solve the problems that emerged in actual scenarios in the dynamic testing in the hub in the process of joint commissioning and testing. Compared with the traditional approach, which only takes the ground parameters into account when performing simulation calculation for the passing over of neutral sections, this paper puts forward a new calculation method that integrates the vehicle and ground parameters, and proposes a formula for calculating key parameters, which aim to provide necessary reference for the engineering designs of subsequent projects.

**Keywords:** passing through neutral sections in trian control; vehicle-ground integration; calculation formula

收稿日期: 2022-07-01; 修回日期: 2023-01-05

第一作者: 方明亮 (1970—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: fml0700@163.com。

新建高铁引入枢纽是高铁建设难点中的难点。随着中国高铁建设的范围越来越广, 新建高铁引入既有枢纽的场景越来越多, 需要解决列控等级切换、

大号码道岔应答器设置、开/关灯衔接站点灯等众多问题，本文则聚焦于动车组过分相问题。

张吉怀铁路线路全长 246.909 km，线路北端从黔张常铁路张家界西站引出，南端引入沪昆高铁及怀邵衡铁路并场的怀化南站，桥隧比 90.1%，设计速度目标值 350 km/h。张吉怀铁路沿线地形起伏大、地质条件复杂，是一条典型山区高速铁路，引入怀化枢纽前需上跨沪昆高铁及怀衡铁路，因地形限制，相关线路坡度超过了 20‰。怀化枢纽内线路允许速度较低、联络线线路较短、分相设置在长上坡区段，本文对动车组自动过分相场景进行系统

研究，探讨更优的系统方案应用于后续高铁设计中。

## 1 怀化南下行分相设置情况

张吉怀铁路下行线龙形村所至怀化南怀邵衡场之间线路设计速度目标值 80 km/h，在 2437BG 设置有分相区一处（图示均为断标），动车组反向运行方向分相区入口线路纵向坡度 18‰（上坡）、出口位于下坡道上。另外怀邵衡场道岔均为 12 号，道岔侧向过岔速度限速 45 km/h，相关工程概况如图 1 所示。本章对出现问题的下行线反方向分相设置情况进行描述。

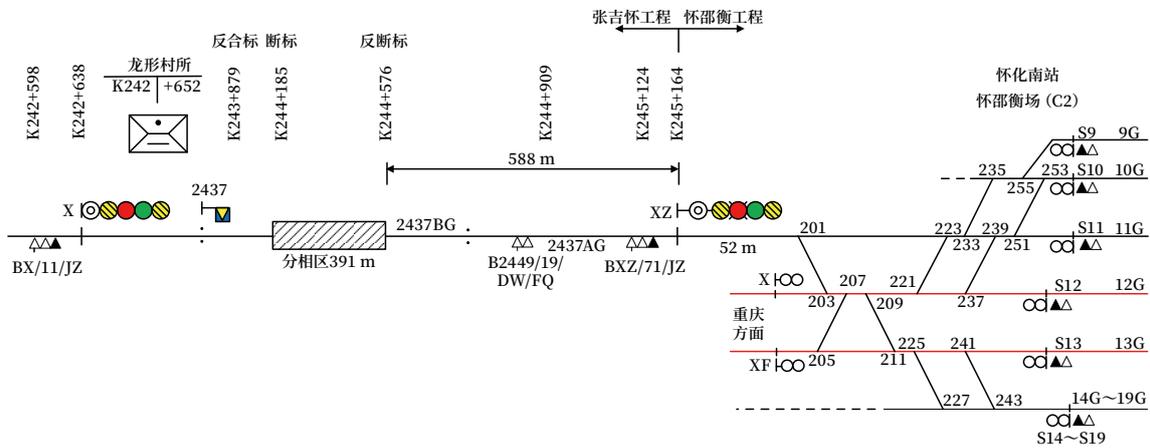


图1 怀化南下行线分相布置示意

Fig.1 Layout of the neutral section of the down line of Huaihuanan Railway Station

### 1.1 分相设置位置规范满足情况

《高速铁路设计规范》(TB 10621-2014) 规定“接触网电分相的设置应经过列车过分相能力检算而确定。电分相不宜设置在连续大坡道、变坡点、大电流及出站加速区段，列车过分相断电区距最近信号机不宜小于 550 m”。该分相断标位置距车站进站信号机距离为 588 m，且根据传统的行车过分相能力检算，接触网电分相设置位置合理且满足设计规范要求。

### 1.2 分相检算原则和主要参数

动车组由怀邵衡场侧线发车经张吉怀下行线至龙形村所运行时，传统的自动过分相模拟算法如下。

列车加速计算起点：车尾越过反向进站信号机开始加速。

动车组列车长度：按重联 420 m 取值。

列车牵引模拟断电、取电位置按上述设计分相断合标里程取值。

### 1.3 检算结果

各车型正线反向行车分相检算结果如表 1 所示。

由表 1 可知，怀化南分区所下行方向分相反向行车入口速度 CRH380AL 可达到 56 km/h，其出口速度为 20 km/h；CRH2-350 可达到 53 km/h，其出口速度为 8 km/h；CRH5 可达到 54 km/h，其出口速度为 11 km/h。

## 2 动车组动态验证实际场景

实际动车组动态验证的过程中，部分序列存在动车组不能加速到 55 km/h 的情况，导致在动车

表1 各车型正线反向行车分相检算结果

Tab.1 Calculation results of different trains passing the neutral section in the reverse direction on the main line

| 车型       | 断标点      | 合标点      | 断标点入口速度 / (km/h) | 合标点出口速度 / (km/h) |
|----------|----------|----------|------------------|------------------|
| CRH380AL | K244+576 | K243+879 | 56.4             | 20.5             |
| CRH2-350 | K244+576 | K243+879 | 53.3             | 8.4              |
| CRH5     | K244+576 | K243+879 | 54.9             | 11.2             |

组自动过分相时停车。自动过分相失败的表现形式有以下方面。

1) 动车组在自动过分相时, 在断标前一定距离就切断了牵引, 可加速的距离比原计算方法到断标点要短, 导致动车组在自动过分相前不能充分加速。

2) 列控数据中对于道岔直向的速度描述按线路最高速度 80 km/h 描述, 而装配 300S 和 300H 的动车组, 在发车进路咽喉区发 JC 码时, 车尾侧向越过 201<sup>#</sup> 道岔侧岔尖后动车组仍不能加速。

3) 装配 300T 车载的动车组驶入进站口外方线路允许速度 80 km/h 的区段仍保持在 45 km/h 的速度不能加速。

4) 动车组车头越过合电标后, 仍不能获得牵引力。

### 3 过分相失败原因分析

#### 3.1 装配有300H或300S的动车组 (以CR400AF-A车型+300H车载 (长编组) 为例)

##### 3.1.1 第一个序列现象

如图 2 所示, 由怀化南站 16G 发车, 发车进路发 JC 码 (跨上下行线运行), 列车从 XZ 信号机处开始车尾保持, 在 K244+694 处车尾保持结束 (速度为 42.6 km/h), 在 K244+615 处切牵引 (速度为 47.3 km/h), 在 K244+025 处停车, 过分相区失败。

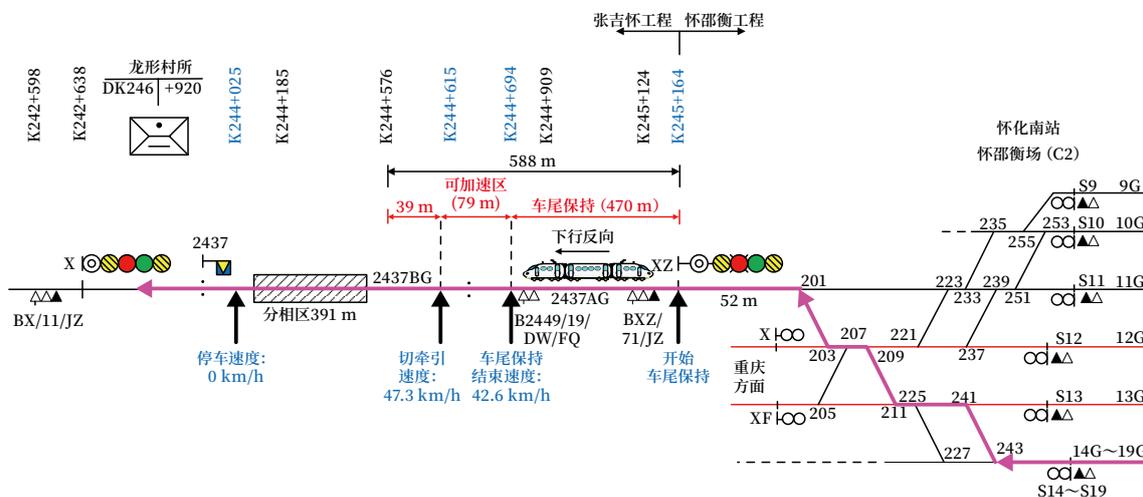


图2 第一个序列回放示意

Fig.2 Schematic diagram of the playback of the first sequence

上述序列实际运行情况与分相检算情况的差异为, 一是动车组头部距离分相断标还有 39 m (动车组当前速度运行 3 s 的距离) 时, ATP 就输出了切牵引的指令; 二是动车组车尾越过 XZ 进站信号机后, 车尾保持距离为 470 m, 较检算取值多 50 m (经了解该 50 m 为车载余量)。上述两个差

异导致动车组比原计算方式少加速 89 m, 因此未能达到自动过分相所需的最低入口速度 (55 km/h), 因此自动过分相失败。

##### 3.1.2 第二个序列现象

如图 3 所示, 由怀化南站 11G 发车 (变更进路), 发车进路发 L 码 (有效码) 列车从 201<sup>#</sup> 道

岔岔尖处开始车尾保持，在 K244+744 处车尾保持结束（速度为 43.5 km/h），在 K244+621 处切牵

引（速度为 55.4 km/h），在 K244+049（速度为 29.8 km/h）撤销指令，过分相区成功。

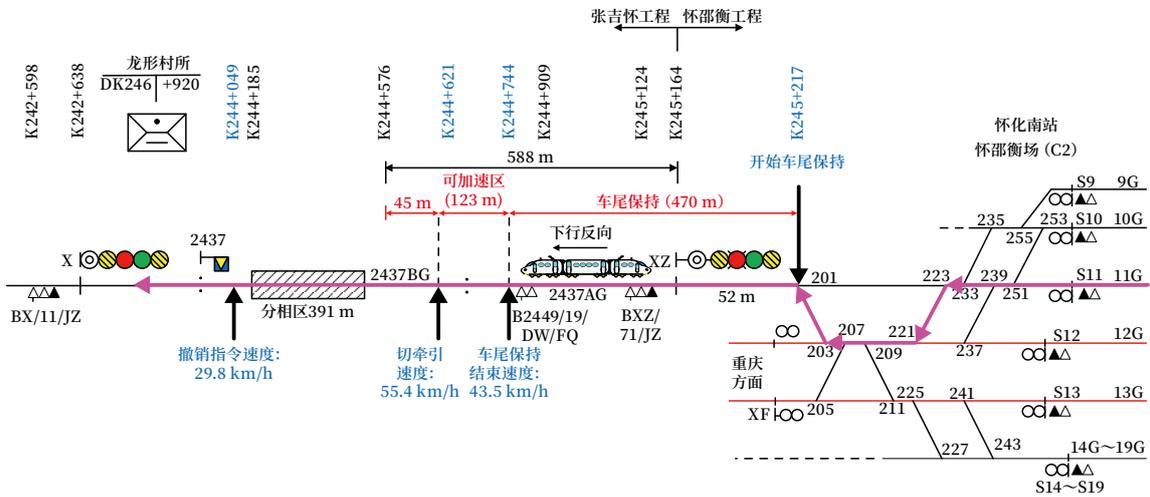


图3 第二个序列回放示意  
Fig.3 Schematic diagram of the playback of the second sequence

上述序列实际运行情况与分相检算情况的差异同第一个序列，动车组头部距离分相断标还有 45 m（动车组当前速度运行 3 s 的距离）时，ATP 就输出了切牵引的指令；本序列车尾保持从 201# 岔尖开始，车尾保持距离较检算长度多了 50 m。该场景下动车组可加速距离较原计算方式（断标至 XZ）仅减少 45 m，动车组在当前场景下可以加速到自动过分相最低入口速度（55 km/h），因此自动过分相成功。经了解，300H 和 300S 的车载设备在收到地面有效码时，动车组车尾保持从其最后越过的道岔岔尖起开始计算（本序列中从 201# 道岔岔尖开始计算），因此该场景下车尾保持结束比原计算方

式条件变好。

### 3.2 装配有300T的动车组（CRH3C-3061+3064车型+300T车载（重联）举例）

第 1 个序列由怀化南站 11G（变更）发车。第 2 个序列由怀化南站 12G 发车。第 3 个序列由怀化南站 16G 发车。无论发车进路是否发有效码，3 个序列中动车组在切牵引前都未结束 45 km/h 的车尾保持，列车过分相均失败。如图 4 所示。

如图 4 所示，300T 列车在 XZ、BXZ 以及 B2449 处车尾保持均会重新计算。经了解 300T 车载类型动车组的车尾保持情况与列车收到的应答器信息有关，只要收到含有线路速度包的应答器、且

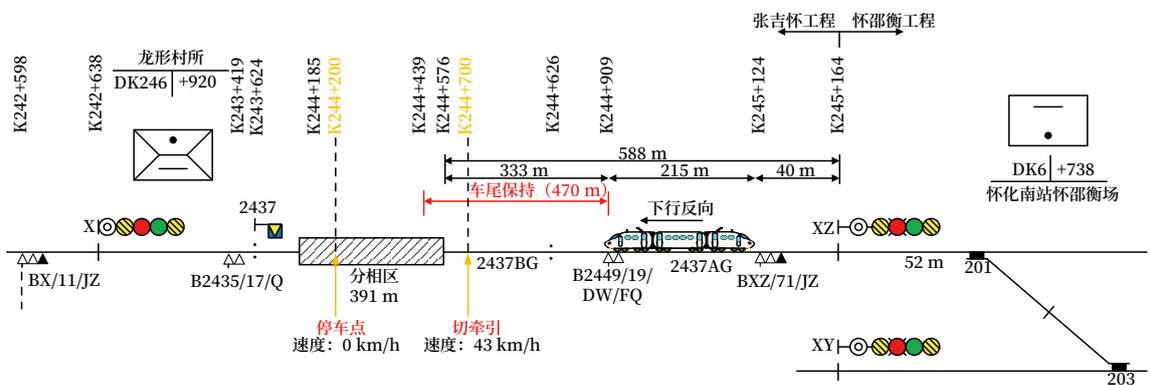


图4 300T车载序列回放示意  
Fig.4 Schematic diagram of the playback of 300T onboard sequence

此时正在车尾保持中，车载都会从应答器位置开始重新计算车尾保持的起点。

### 3.3 动车组越过无电区后的取电时机

动态验证试验表明，动车组并非如上述传统分相计算原则中预期，在过分相后反向断标处取电。该分相区出口位于下坡地段，动车试验多个场景中发现动车组车头越过合标后，虽有车速（下坡），

但牵引电流并未恢复。经向复兴号动车组厂家落实，车载系统在车头越过合标 135 m（部分车型为 135.5 m）后给出合闸信号。而车辆系统接收到车载系统合闸信号后，在动车组继续行驶 400 m（长编，短编为 220 m）后控制真空主断路器 VCB 合闸，此时动车组车头已越过合标约 220 m，如图 5 所示。

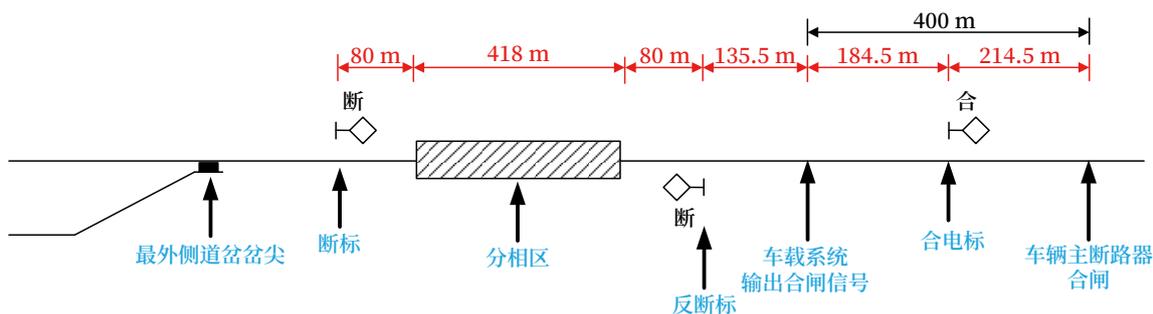


图5 动车组过分相VCB相关开闭时机示意

Fig.5 Schematic diagram of the timing of the opening and closing of Circuit Breaker VCB when an EMU passes over the neutral section

另据车辆厂家反馈，主断路器 VCB 合闸后，若车辆速度大于 55 km/h，车辆即可获得牵引力，开始加速。若车辆速度小于 55 km/h，车辆牵引增加保持开启，需逐一重启后才获得牵引力，重启过程约 15 ~ 25 s。

## 4 分相计算优化

根据上述分析和研究发现，分相计算时需要充分考虑车载设备、车辆设备中相关控制逻辑对过分相过程的影响，相关计算参数取值需按照车地融合的思路进行调整，尤其针对高速铁路困难地段分相计算关键参数的取值，应在以下几个方面进行优化改进。

### 1) 列车车长检算长度

根据相关车载数据，检算列车车长需增加一定安全余量。考虑到未来 17 辆编组列车的运营，检算列车长度可按公式 (1) 计算。

$$L_{\text{检}} = L_{\text{列}} + M \quad (1)$$

其中： $L_{\text{检}}$ ——过分相检算时的列车长度 /m。

$L_{\text{列}}$ ——列车实际长度 /m。

$M$ ——安全余量，一般取 50 m。

### 2) 车尾保持起始位置

因不同车载设备车尾保持的设置方案不同，需按最不利型号车载需求对发车口车尾保持的起始位置进行确定。考虑到进站信号机外方 30 m 处一定设置有描述线路速度信息的应答器组，因此出站口车尾保持起点按信号机外方 500 m (30 m+420 m+50 m) 考虑 (按 16 辆编组)。若在该 500 m 范围内布置有含有速度包的应答器组，应重新计算，将新遇到的应答器位置 +470 m 后作为车尾保持起点，并迭代继续以该点往外寻找是否有含有速度包的应答器组。如果开行 17 辆编组列车，上述车长增加 20 m。

### 3) 计算列车牵引断电、取电位置

经调查后，根据不同车载设备，列车输出分相控制一般分为分相前 3 s 和分相前 10 s 两种，计算是按 10 s 取值。

列车过分相后输出分相控制撤销一般为列车车头越过分相区 130 m 或 135.5 m。在复兴号未修改过分相后 VCB 合闸的走行距离时，取电位置宜按合标后再加 220 m 考虑。同时在线路允许速度不高时，应针对坡度情况适当考虑动车组出分相后速度

低于 55 km/h 时，车辆牵引增加保持开启，增加 15 ~ 25 s 的惰性距离（按 25 s 取值）。

## 5 结束语

采用上述检算思路和计算方法对高铁分相进行计算，尤其是条件较为恶劣的速度较低的短联络线等场景，可以较高等度的仿真列车过分相的实际情况，尽早发现地面设备设置与车载过分相匹配的问题，可提早研究系统整体解决方案，为工程顺利实施和开通奠定基础。

### 参考文献

[1] 姜明华. 浅谈高铁枢纽车站动车组过分相处理逻辑优化 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (2): 45-46, 50.  
Jiang Minghua. Optimization of Processing Logic of EMU Passing through Neutral Section within High-Speed Railway Junction Terminal Station[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(2): 45-46, 50.

[2] 徐轶劼. CTCS2+ATO 城际列控系统与高速铁路 ATO 系统差异性及应用趋势探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (3): 37-42.  
Xu Yijie. Discussion on Differences and Application Trends of CTCS2+ATO Intercity Train Control System and High-Speed Railway ATO System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(3): 37-42.

[3] 中国铁路总公司. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[4] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程: TG/01-2014 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.

[5] 中国铁路总公司. CTCS-3 级列控车载设备技术条件: TB 3483-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[6] 中国铁路总公司. 列控系统应答器应用原则: TB 3484-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[7] 中国铁路总公司. 列控中心技术条件: TB/T 3439-2016 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### 德国联邦铁路认证的移动地图系统

德国联邦铁路已经批准使用 Trimble 的 MX9 移动地图系统来测量轨道、空地和基础设施。

MX9 硬件可以安装在车辆上，以高达 100 km/h 的速度快速捕捉全景和多角度激光扫描和图像，避免了线路关闭和轨旁工作的需要。它与“直观的”现场软件和“强大的、集成的”后台办公软件相结合，提供“从现场到完成”的移动地图。

TrimbleMX9 大客户经理 Ronald van Coevorden 表示：“DB Netz 与我们的德国合作伙伴 Allterra 密切合作，进行了密集的测试，结果 DB Netz 接受了我们的解决方案，作为 DB Netz 广泛的铁路网络上使用的唯一移动地图系统。这证明了该系统的质量和我们提供的专业的本地服务的能力。”

（北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 黄双宁翻译自：<https://www.railwaygazette.com> 2023-01-02）

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.002

# 铁路道岔融雪装置工程设计标准优化研究

宁咏梅<sup>1</sup>, 闫宏伟<sup>2</sup>

(1. 中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600;

2. 中国铁路经济规划研究院有限公司, 北京 100038)

**摘要:** 国内多地冬天雪季频繁, 及时对道岔进行除雪非常重要, 安装道岔融雪装置可以有效清除道岔关键部位的积雪, 提高铁路运输效率。但是道岔融雪装置经过多年运用, 也暴露出较多缺点。针对目前道岔融雪装置用电负荷量巨大、工程造价居高不下以及国内下雪范围南移等问题, 选取不同区域大、中、小型铁路车站为例, 研究道岔融雪装置工程设计方案, 优化道岔融雪装置设计标准, 对于铁路道岔融雪装置工程设计有重要的指导意义, 可为完善相关标准、规范提供技术支持。

**关键词:** 道岔融雪; 工程设计标准; 设置范围

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0007-07

## Research on Optimization of Engineering Design Standards of Snow Melting Devices for Railway Turnouts

Ning Yongmei<sup>1</sup>, Yan Hongwei<sup>2</sup>

(1. China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 102600, China)

(2. China Railway Economy and Planning Research Institute Co., Ltd., Beijing 100038, China)

**Abstract:** Because it snows frequently in winter in many places in China, it is very important to remove the snow from the turnouts in time. The installation of snow melting devices for turnouts can effectively remove the snow from the key parts of the turnouts, and improve the efficiency of railway transportation. However, after years of use, more and more shortcomings of such devices have been exposed. In this paper, in order to address the current problems, including the vast electricity load of such devices, the high engineering costs and the fact that it starts to snow in more areas in southern China, large, medium and small railway stations in different regions are chosen as examples to study the engineering design schemes and to optimize the design standards of such devices. This paper has important significance for guiding engineering design in this field, and provides technical support for

收稿日期: 2022-09-28; 修回日期: 2023-01-05

基金项目: 国家铁路局 2020 年铁路工程建设标准项目 (2020JS014)

第一作者: 宁咏梅 (1981—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: 24707607@qq.com.

improving related standards and specifications.

**Keywords:** snow melting for turnout; engineering design standard; setting range

## 1 概述

近年来随着国内铁路大规模建设,电加热道岔融雪装置已经得到了广泛应用。电加热道岔融雪装置历经多年的发展与工程建设应用,暴露出耗能高、运营维护成本高、系统设计标准不完善等问题。且结合近年来国内天气变化情况,下雪区域存在普遍南移的现象,零度等温线以南部分区域对于道岔融雪装置的需求日趋迫切。如何从工程设计方面,围绕降低工程建设投资和后期运营成本,提高用电利用率,减少雪季对道岔转换设备的影响,以便更好地为铁路运输服务,对道岔融雪装置设计标准进行深化研究是有实际意义和必要的。

## 2 规范梳理

《高速铁路设计规范》(TB 10621-2014)中第 14.9.1 条<sup>[1]</sup>、《城际铁路设计规范》(TB 10623-2014)中第 15.9.1 条<sup>[2]</sup>及《铁路信号设计规范》(TB 10007-2017)<sup>[3]</sup>中第 15.0.1 条规定“在国内零度等温线(秦岭-淮河)以北地区,且 20 年年平均降雪日在 10 d 及以上区域的车站及动车段(所)接、发车动车组列车进路上的道岔应设置道岔融雪系统。”

《市域(郊)铁路设计规范》(TB 10624-2020)中第 16.1.7 条规定<sup>[4]</sup>:“信号系统设计根据运营需求可包括 ATO、道岔融雪装置等。”

上述相关规范已明确国内铁路道岔融雪装置设置区域原则,主要集中在国内地处零度等温线以北的地区,对道岔融雪装置基本设计要求也作了规定,但对电气控制柜布置设计标准、控制道岔开启数量和开启时机均无明确规定<sup>[5]</sup>。

此外,自 2008 年全国范围的大雪灾害以来,下雪区域普遍南移,对于零度等温线以南部分地区

冬季冻雨冰雪对道岔转换设备的影响也日显突出。由于这些区域未设置道岔融雪装置,日常维护维修人员工作量成倍增加,且可能造成信号设备故障,存在安全隐患。

## 3 融雪装置设置需求分析

### 3.1 理论分析

通过对国内 2011~2020 年 10 年间,东、西、南、北 25 个城市冬季气象资料进行调查,根据多个城市冬季降雪日及最大积雪深度的统计情况(如图 1、2 所示),拟针对现行铁路规范标准中对道岔融雪装置设置范围的规定“国内零度等温线(秦岭-淮河)以北地区、且 20 年年平均降雪日在 10d 及以上的线路,设置道岔融雪装置”中涉及的“秦岭-淮河”、“20 年”、“10 d”几个关键要素以及海拔高度因素进行分析。



图1 秦岭-淮河以北地区气象资料  
Fig.1 Meteorological data of the region on the north side of Qinling Mountains-Huai River isotherm

#### 1) 秦岭-淮河

秦岭-淮河线是中国地理区分北方地区和南方地区的地理分界线,简称秦淮线。秦岭-淮河以南 1 月平均气温在 0°C 以上,以北 1 月平均气温在 0°C 以下。

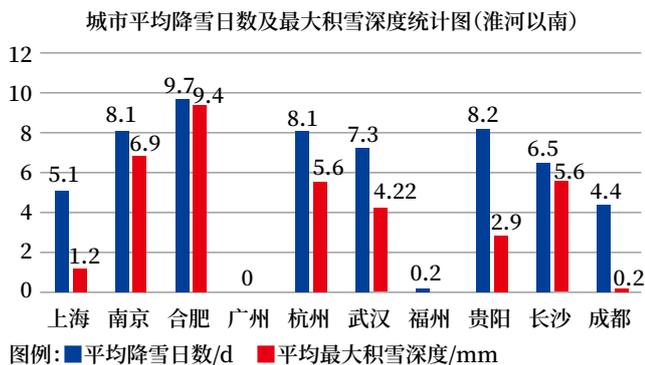


图2 秦岭-淮河以南地区气象资料

Fig.2 Meteorological data of the region on the south side of Qinling Mountains-Huai River isotherm

国内铁路相关规范将零度等温线(秦岭-淮河)作为判断是否需要设置道岔融雪装置的先决条件是考虑冬季平均气温是否在零度以下,是否有下雪的前提温度条件。而从本次收集气象资料表也可以看出,在秦淮线以北地区每年均有不同程度的降雪,以南地区降雪则以秦淮线附近的省份和个别西南部高原地区为主。由于国内地形地貌复杂多样,境内包含山川、河流、沙漠、戈壁、高原、平原,想要以一个明确的地域界限来统筹规定铁路是否设置道岔融雪装置有一定的难度,因此规范选定以秦岭-淮河为界来作为先决条件是相对合理可行的。

### 2) 20年年平均降雪日

通过调查显示,国内气候变化的现状与趋势:一是大范围增温;二是近50年来,全国极端气候事件的频率和强度出现了明显变化。可见,国内降雪虽然总体存在减少的趋势,但是由于极端天气变化明显,特别是下雪区域普遍南移,且南部地区冻雨情况明显比北部地区严重。如果仅仅选取5年、10年或15年年平均降雪日来作为规范判定铁路设置道岔融雪装置的一个因素,或多或少均存在一定的片面性,缺乏合理性。因此,建议仍以20年年平均降雪日作为一个关键判定因素。

### 3) 10 d及以上

对于规范中规定的“年平均降雪日10 d及以上”这一关键因素,结合本次研究对国内东、西、南、北25个城市降雪气象资料调查表来分析:位

于秦淮线以北地区的城市近10年的年平均降雪日有66.7%地区均在10 d以上,其余地区10年年平均降雪日均接近10 d;位于秦淮线以南地区,以安徽、江苏、浙江、湖北、湖南、贵州省地区的城市较为典型,其10年年平均降雪日均在5~10 d,且几乎每年都有降雪,个别地区(比如合肥、南京、杭州、长沙)积雪深度甚至比淮河以北地区都大,其余地区则降雪较少。可见,近年来极端天气的变化造成了下雪区域南移的现象是比较明显的,但是毕竟因为秦淮线以南地区冬季气温低于零度的时间相对北部地区较少。如果严格以年平均降雪日达到10 d及以上来判定该区域内的铁路是否设置道岔融雪装置,秦淮线以南区域几乎是不可能满足规范要求的,甚至以北的部分区域也不满足规范中规定的设置要求。但是从近年来的工程实际运用来看,道岔融雪装置对于冬季铁路,特别是高速铁路的安全、高效运行起着非常重要的作用,因此有必要对关于铁路道岔融雪装置设置范围的相关规定进行适当的调整。

### 4) 海拔高度

国内地势总特点是西高东低,不同的海拔高度气候条件是不同的。从本次收集的气象资料来看,秦淮线以北地区降雪情况主要还是以南北纬度来划分的,尽管是海拔较低的区域,但是越靠北的地区,降雪日和降雪深度都越高,可见海拔高度并不起主要决定作用;秦淮线以南地区除靠近零度等温线的安徽、江苏、浙江、湖北、湖南几个省份(海拔均较低)降雪稍多以外,以地处云贵高原的贵州省降雪稍多,如表1所示。由上可见,海拔高度对于降雪有一定的影响,但是决定作用并不显著,因此铁路规范不宜将所属区域的海拔高度作为判定是否设置道岔融雪装置的限制条件。

## 3.2 建议

结合上述调查的国内近10年冬季降雪资料,通过理论分析,同时根据铁路工程建设需求,相关规范中道岔融雪装置设置范围建议修改为:“国内零

度等温线（秦岭－淮河）以北地区，且 20 年年平均降雪日在 5 d 及以上的线路，宜设置道岔融雪装置，宜采取分时启动方式。零度等温线（秦岭－淮河）以南地区，且 20 年年平均降雪日在 5 d 及以上的线路，结合线路情况，可设置道岔融雪装置。”

表1 海拔高度-气象资料统计

Tab.1 Altitudes and corresponding meteorological data

| 区域   | 城市   | 海拔 /m         | 平均降雪日 (d) / 雪深 (mm) |
|------|------|---------------|---------------------|
| 淮河以北 | 乌鲁木齐 | 800           | 43.6/39.8           |
|      | 哈尔滨  | 128           | 35.6/27.8           |
|      | 长春   | 250 ~ 350     | 33..5/19.2          |
|      | 沈阳   | 30 ~ 50       | 21.7/20.56          |
|      | 兰州   | 1 500 ~ 2 500 | 18.1/3.5            |
|      | 呼和浩特 | 1 050         | 17.3/6.8            |
|      | 拉萨   | 3 650         | 11.7/3.3            |
|      | 太原   | 800           | 10.6/6.5            |
|      | 西安   | 400           | 10.6/5.6            |
|      | 济南   | 280 ~ 400     | 10.1/5.4            |
|      | 郑州   | 108           | 9.8/8.4             |
|      | 天津   | 1.3           | 9.7/4.8             |
|      | 北京   | 43.5          | 9.3/4.03            |
| 淮河以南 | 银川   | 1 010 ~ 1 150 | 8.7/4.13            |
|      | 石家庄  | 1 000         | 7.9/5               |
|      | 合肥   | 20 ~ 40       | 9.7/9.4             |
|      | 南京   | 20 ~ 30       | 8.1/6.9             |
|      | 贵阳   | 1 100         | 8.2/2.9             |
|      | 杭州   | 19            | 8.1/5.6             |
|      | 武汉   | 23.3          | 7.3/4.22            |
|      | 长沙   | 44.9          | 6.5/5.6             |
|      | 上海   | 2.19          | 5.1/1.2             |
|      | 成都   | 500           | 4.4/0.2             |
| 福州   | 84   | 0.2/0         |                     |
| 广州   | 11   | 0             |                     |

#### 4 融雪装置工程设计优化方案

道岔融雪装置设计主要包括电气控制柜的布置、控制终端的配置、电加热元件的配置、各种电源和控制电缆的布置等<sup>[6-10]</sup>。在此主要从电气控制柜不同的设置方案论述其对工程建设投资的影响，从电气控制柜控制道岔的开启时机方面论

述其对用电需求的不同，以及对后期运营能耗的影响，并选取了不同大小规模的多种站场站型，分别以寒冷地区和严寒地区进行设备配置，全面论述。此外，对其他主要设备如调度所远程控制终端、电加热元件工程设计标准优化进行了研究。

#### 4.1 电气控制柜

##### 4.1.1 设置方案

本次选取大、中、小不同规模的 3 种类型车站对电气控制柜的设置方案进行比选。以 10 股道 /50 组道岔车站为例，电气控制柜按以下 2 种方案设置。

方案 1：本方案按照控制柜尽量设置于道岔附近，减少控制柜至隔离变压器间的电力电缆进行布置。全站共需设置 15 个控制柜，电力变压器需分别引出 15 条电力电缆至 15 个电气控制柜。

方案 2：本方案按照控制柜输出回路尽量满配进行配置，减少控制柜数量。全站设置 11 个控制柜，电力变压器需分别引出 11 条电力电缆至 11 个电气控制柜。

主要工程数量及投资对比如表 2 所示。可以看出，按照控制柜输出回路尽量满配进行配置，通过减少控制柜数量，减少电力变压器至控制柜间电力电缆，效果明显优于将电气控制柜紧邻道岔设置、电缆少过轨、减少控制柜至隔离变压器电缆长度此类措施对工程建设投资的影响。且车站规模越大，道岔组数越多，按此原则优化方案，投资减少更多，效果越加明显。优化后的方案 2 较方案 1 投资节省 45.35 万元。

表2 主要工程数量及投资对比

Tab.2 Comparison of the quantity of major items and investments

| 名称                             | 方案 1    | 方案 2    | 数量 增减    | 投资增减 / 万元 |
|--------------------------------|---------|---------|----------|-----------|
| 电气控制柜                          | 10 个    | 8 个     | -2 个     | -30       |
| 控制电缆 (KYJY <sub>23</sub> 7 芯)  | 3 035 m | 2 760 m | -275 m   | -0.5      |
| 控制电缆 (KYJY <sub>23</sub> 3 芯)  | 5 370 m | 4 360 m | -1 010 m | -1.2      |
| 信号电缆 (PTYL <sub>23</sub> 12 芯) | 3 650 m | 3 240 m | -410 m   | -0.85     |
| 电力电缆 (V <sub>22</sub> 185)     | 2 432 m | 1 792 m | -640 m   | -12.8     |

4.1.2 控制道岔开启数量及开启时机方案

电气控制柜是整个融雪装置的主要部件，安装在车站咽喉区。电气控制柜为底层控制功能单元，担负现场层控制功能，一台电气控制柜控制多组道岔，每次启动道岔的数量所需的功率直接决定了电力用电量<sup>[11-12]</sup>。为此，合理的确定每一个电气控制柜控制道岔的同时开启数量，以及开启时机是可以大大优化电力用电量需求的。本次选取了不同规模车站，道岔电加热元件按寒冷地区和严寒地区配置，对车站道岔融雪控制系统中电气控制柜控制道岔开启数量及开启时机进行比选。不同规模车站采用分时启动方案的用电量及空载损耗对比示意如图 3、4 所示。

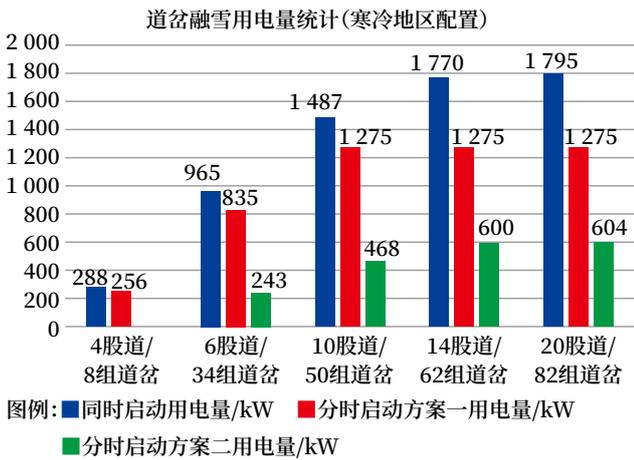


图3 分时启动方案用电量示意

Fig.3 Schematic diagram of the power consumption of asynchronous starting scheme

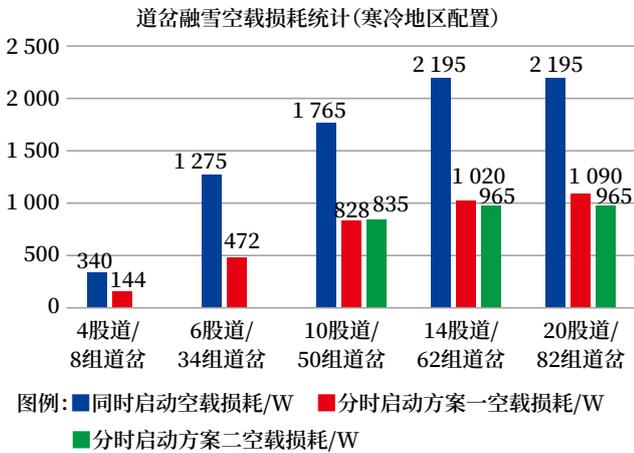


图4 分时启动方案空载损耗示意

Fig.4 Schematic diagram of the no-load loss of asynchronous starting scheme

表3 各方案用电功率对比

Tab.3 Comparison of electric power of each scheme

| 电气控制柜  | 控制道岔数量        | 同时启动用电功率/kW | 分时启动用电功率方案 1/kW | 分时启动用电功率方案 2/kW |
|--------|---------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 1#     | 4组 18号        | 144         | 72 (两组正线道岔)     | 36              |
| 3#     | 4组 18号        | 144         | 72 (两组正线道岔)     | 36              |
| 5#     | 3组 18号        | 108         | 36 (一组正线道岔)     | 36              |
| 7#     | 3组 18号        | 108         | 36 (一组正线道岔)     | 36              |
| 2#     | 2组 42号        | 144         | 144 (两组正线道岔)    | 72              |
| 4#     | 2组 42号        | 144         | 144 (两组正线道岔)    | 72              |
| 6#     | 18号/12号/9号各2组 | 155         | 36 (一组正线道岔)     | 36              |
| 8#     | 4组 18号        | 144         | 72 (两组正线道岔)     | 36              |
| 10#    | 3组 18号        | 108         | 72 (两组正线道岔)     | 36              |
| 12#    | 4组 18号        | 144         | 72 (两组正线道岔)     | 36              |
| 14#    | 4组 18号        | 144         | 72 (两组正线道岔)     | 36              |
| 用电量合计  |               | 1 487       | 828             | 468             |
| 空载损耗/W |               | 1 765       | 1 275           | 835             |

现以 10 股道 /50 组道岔车站为例，车站道岔融雪装置按寒冷地区标准配置，如表 3 所示。

表 3 中方案 1 每个电气控制柜首先启动正线上的道岔，不影响正线通过及接 / 发车进路，按此原则进行分时启动方案配置，提高融雪效率，同时降低用电量需求。方案 2 是在电力容量有限，且扩容困难的条件下，每个控制柜只允许一组道岔开启。

可见，在保证车站正线道岔、关键道岔优先启动，不影响列车进路的情况下，优化后的控制方案对用电量的需求均可降低 30% ~ 40%，且选用道岔分时启动方式，能控制变压器容量，直接减少空载损耗值。

4.2 控制终端

调度所远程控制终端可实现融雪装置的远程控

制,包括远程控制总电源、控制各道岔的融雪装置开启和关闭、分别控制每个加热回路电源的开启和关闭。

道岔融雪装置的开启和关闭与实时天气情况有很大的关联,一般均由车站值班人员或者电务工作人员实时启动和关闭,而远程控制终端设置在路局调度中心,将道岔融雪装置的控制权交由调度中心的值班人员,实属不便,也没有任何操作优势。从本次研究调查资料显示,各大路局调度中心多不设置道岔融雪远程控制终端,设有远程控制终端的其使用率也不高。且通过对一些路局和设计院人员调研了解,均提出现场对道岔融雪装置设置远程操作终端无需求。为此,建议道岔融雪装置不设远程操作终端,满足现场运营维护需求,亦可节省工程建设投资<sup>[13]</sup>。

#### 4.3 电加热元件

近10年来,原中国铁路总公司先后印发了《哈大客专道岔融雪补强方案评审意见》(运电信号函[2013]313号)、《哈大客专道岔加热条安装位置改进措施评审意见》(运电信号函[2014]579号),并于2015年8月发布了《铁路道岔融雪装置安装图》(通号(2015)9401),用以指导铁路工程中道岔融雪装置的安装。直至2018年12月国家铁路局发布《电加热道岔融雪系统设备》(TB/T 3539-2018)<sup>[14]</sup>对电加热元件安装范围作了详细规定。可见,随着铁路道岔融雪装置在国内高速铁路上的大量应用,国家铁路相关部门不断的总结经验、完善应用,力求让道岔融雪装置为铁路运输发挥出最大的作用。

从本次调研资料显示,各路局对于电加热元件的安装建议主要集中在扩大电加热元件安装范围,比如在尖轨第一牵引点前方增加加热元件、在道岔尖划床板处增加加热元件、在第一二牵引点基本轨外侧增加加热元件、将密贴检查器加热板功率提高放至密检器下方等。对于电加热元件安装范围的确定,建议在工程实施工程中与运营维护单位进一

步沟通,在现有的规范、标准、通用图的基础上,进一步了解不同区域路局管内道岔融雪设备存在的特殊情况,适当调整电加热元件的安装范围,更好地满足运营使用需求。

## 5 结束语

本文通过对国内各重点城市气象资料的深入分析,提出了道岔融雪装置设置范围的规范条文修订建议;通过对铁路道岔融雪装置工程设计情况以及路局运用情况的调研,对电气控制柜、调度所远程控制终端等设备的工程设计优化方案研究,提出相应的工程设计建议,供参考。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 高速铁路设计规范:TB 10621-2014[S]. 北京:中国铁道出版社,2015.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. 城际铁路设计规范:TB 10623-2014[S]. 北京:中国铁道出版社,2015.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范:TB 10007-2017[S]. 北京:中国铁道出版社,2017.
- [4] 中华人民共和国国家铁路局. 市域(郊)铁路设计规范:TB 10624-2020[S]. 北京:中国铁道出版社,2020.
- [5] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程(高速铁路部分):TG/01-2014[S]. 北京:中国铁道出版社,2014.
- [6] 曹达,张雪松,李红侠. 道岔融雪控制系统典型问题分析与优化设计[J]. 铁道标准设计,2018,62(3):135-139.  
Cao Da, Zhang Xuesong, Li Hongxia. Analysis of Typical Problems of Switch Snow-Melting Control System and Optimal Design[J]. Railway Standard Design, 2018, 62(3): 135-139.
- [7] 郝腾飞. 哈大铁路客运专线道岔融雪设计[J].

- 铁道标准设计, 2012, 56(5): 40-43.
- Hao Tengfei. Design of Snow-Melting for Switches on Harbin-Dalian Passenger Dedicated Line[J]. Railway Standard Design, 2012, 56(5): 40-43.
- [8] 李晓兵. 哈尔滨南编组站道岔除雪系统设计[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(10): 54-60.
- Li Xiaobing. The Design of Turnout Snow-Removing System for Harbin South Marshalling Yard[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(10): 54-60.
- [9] 崔宁宁, 董昱, 王铁军. 新型感应加热道岔融雪系统的研究及应用[J]. 铁道标准设计, 2011, 55(5): 119-122.
- [10] 赵东波, 侯勤宏. 电加热道岔融雪控制系统的设计与实现[J]. 铁路计算机应用, 2016, 25(8): 45-48.
- Zhao Dongbo, Hou Qinong. Railway Switch Snow Melting Control System with Electric Heating Mode[J]. Railway Computer Application, 2016, 25(8): 45-48.
- [11] 张明岩. 电加热道岔融雪系统设备故障处理研究[J]. 消费导刊, 2018(34): 229.
- [12] 陈新. 电加热道岔融雪系统加热功率配置方案探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(1): 14-17.
- Chen Xin. Discussion on Heating Power Configuration Scheme of Electric Heating Switch Snow-Melting System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(1): 14-17.
- [13] 刘伟, 赵东波, 刘玉昊. 电加热道岔融雪应急启动控制系统浅析[J]. 电气化铁道, 2018, 29(3): 64-66.
- Liu Wei, Zhao Dongbo, Liu Yuhao. Discussion on Emergency Start Control System of Electric Heater for Snow Melting at Switch Area[J]. Electric Railway, 2018, 29(3): 64-66.
- [14] 中华人民共和国国家铁路局. 电加热道岔融雪系统设备: TB/T 3539-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.

\*\*\*\*\*

## 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

## DCZD-TH型道岔转换智能诊断系统

### 智慧赋能, 全新升级2.0

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: dczx@crscd.com.cn

(详见封面)

# 动车组受电弓状态图像检测技术研究

周 晏

(中国铁路兰州局集团有限公司, 兰州 730000)

**摘要:** 受电弓安装于动车组车顶, 其关键零部件安装状态、碳滑板运行状态直接关系到动车的动态运行安全。现有动车车顶的图像检测主要采用线阵相机拍摄, 其缺点主要为图像立体感不强、线阵图像存在畸变等。采用一种新的基于深度学习的触发机制, 通过高清面阵相机全方位拍摄受电弓, 能够更加精准的呈现车顶受电弓全景图像, 更加有利于图像智能识别。

**关键词:** 深度学习; 受电弓; 线阵相机; 动车组

中图分类号: U269

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0014-06

## Research and Implementation of Image Detection System for EMU Pantograph Status

Zhou Yan

(China Railway Lanzhou Group Co., Ltd., Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** A pantograph is installed on the roof of an EMU, and the installation status of the key components of the pantograph and the running status of its carbon contact strips are directly related to the dynamic operation safety of the EMU. At present, image detection of EMU roofs is undertaken by line scan cameras in most cases, and the major shortcomings of this method are that the images do not create strong 3D effects and there is distortion in the line scan images. Therefore, this paper adopts a novel trigger mechanism based on deep learning: high-definition area scan cameras are used to capture the images of pantographs in all directions, which can present the panoramic images of the pantographs more accurately, and facilitate intelligent image recognition.

**Keywords:** deep learning; pantograph; line scan camera; EMU

### 1 概述

随着国内高速铁路的快速发展, 动车组保有量也越来越庞大, 如何降低维修成本、减少人员投入等需求尤为迫切。其中, 动车组车顶关键部件——

受电弓是动车组一级检修<sup>[1]</sup>的主要检修对象之一, 检修内容包括受电弓各子部件的外观状态: 弓头、碳滑板、羊角、拉簧、扭簧、气囊、软编织线、绝缘子等零部件。目前, 国内针对车顶受电弓的检测手段主要分为人工检查和智能设备检测, 其中人工检查为通过申请作业时间点, 登顶车顶作业, 工作强度大、作业效率低; 智能检测设备主要采用线阵图像扫描车顶成像, 通过网络把图像数据传输后台

收稿日期: 2022-09-13; 修回日期: 2022-12-20

作者简介: 周晏 (1966—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道车辆, 邮箱: 1003826603@qq.com。

服务器进行机器智能识别和报警。但是，线阵相机拍摄的图像存在立体感不强、成像的质量易受车速变化导致图像畸变等问题，本文提出一种安装在动车所检测棚，通过创新的车顶触发机制，引导面阵相机进行高质量图像拍摄、图像模板匹配的动车组受电弓状态图像检测系统进行受电弓智能检测。

## 2 系统框架

动车组受电弓状态图像检测系统（简称系统）

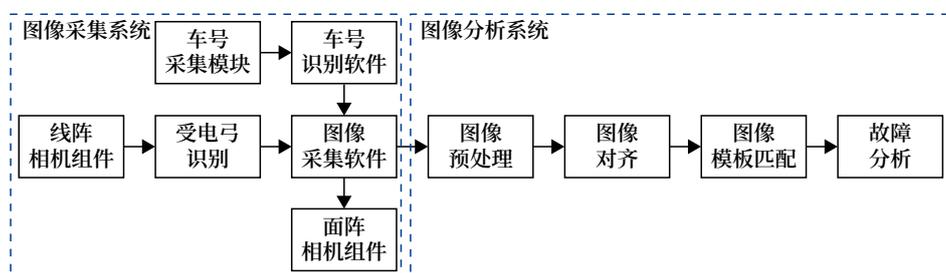


图1 动车组受电弓状态图像检测系统框架

Fig.1 Framework for image detection system of pantograph status of EMU

## 3 系统硬件部署

系统硬件设备主要由部署在检测棚顶部的两台面阵相机组件、线阵相机组件，部署在检测棚下部的车号采集模块，部署在检测棚下部的后端处理工控机，部署在机房的后台处理服务器组成。其中检测棚顶部设备布局如图 2 所示。

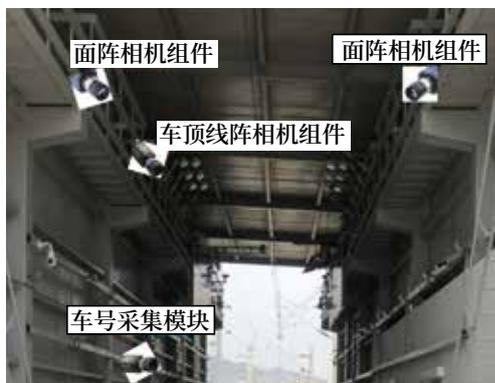


图2 检测棚相机部署

Fig.2 Deployment of cameras in an image detection shed

如图 2 所示，检测棚顶部部署一台线阵相机组件，用于高速线阵车顶扫描，实时把扫描数据传输

由图像采集系统和图像分析系统两个子系统组成。图像采集系统由安装在检测棚的线阵相机、面阵相机、车号识别模块硬件和相应的软件构成，主要具备线阵图像车顶扫描、受电弓识别、车顶受电弓区域图像高清成像、车号识别等功能，具有图像数据传输给图像分析系统功能；图像分析系统负责将图像采集系统的图像进行图像数据处理、对受电弓区域关键零部件的安装状态进行故障对比分析和故障可视化，实现对受电弓状态的自动识别和报警。系统框架如图 1 所示。

给前端处理工控机，通过算法识别是否为受电弓。当准确识别受电弓，输出触发信号给部署在左、右端两台高清工业面阵相机组件，抓拍车顶受电弓区域图像，车顶线阵相机组件和面阵相机组件安装距离  $L$  大于 2 m，确保面阵相机抓拍角度最佳。

## 4 图像采集系统

### 4.1 车号识别

车号识别由车号采集模块和车号识别软件组成，其中车号采集模块由线阵相机组件组成，车号识别软件通过 YOLOv3 算法实现光学字符识别 (Optical Character Recognition, OCR)。YOLO 是一种检测速度较快的单阶段 (One-Stage) 目标检测网络。

YOLOv3<sup>[2]</sup> 作为 YOLO 系列目标检测算法第 3 个版本，在保持快速检测优点的同时，提升了小目标检测精度。由于动车组车号制式标准，车号采集模块拍摄距离固定。网络模型采用 Darknet-53 算法，该算法共包含 53 个卷积层，每个卷积层后面都伴有批量标准化 (Batch Normalization, BN)

层和 leaky ReLU 层, leaky ReLU 是深度学习中经常用到的一种激活函数。模型使用步幅为 3 的卷积层替代抽样层进行特征图的降采样, 全模型均采用卷积层, 可有效阻止由于抽样层导致的低层特征图的精度损失。网络模型输入是 (512, 512, 1)。其中 512 代表图像宽、高, 1 表示输入图像为一个通道灰度图, 输出类别为动车组车号字符 0-9, A-Z, 共 36 个类别。网络模型训练采用随机梯度下降 (Stochastic Gradient Descent, SGD) + 动量方法<sup>[3]</sup>, 如图 3 所示。

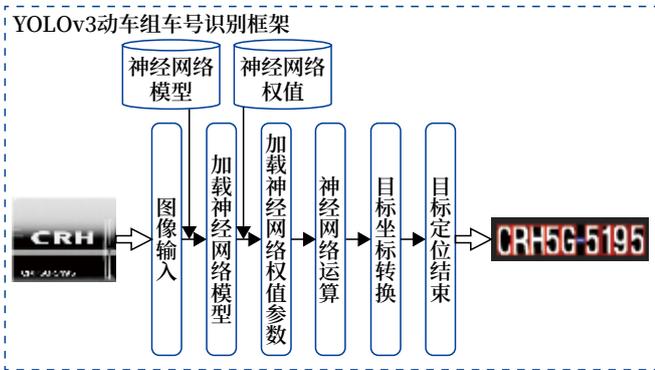


图3 动车组车号识别框架  
Fig.3 Framework for recognizing EMU numbers

#### 4.2 受电弓识别

受电弓识别是指通过线阵相机拍摄的车顶图像, 采用识别算法, 识别车顶受电弓, 把准确识别到车顶受电弓作为触发信号, 触发面阵相机抓拍高清车顶受电弓图像。识别算法采用 Gabor 特征和支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 分类器结合使用。Gabor 特征用来描述图像的纹理信息, SVM 分类器是一类按监督学习 (Supervised Learning) 方式对数据进行二元分类的广义线性分类器 (Generalized Linear classifier)。

Gabor 是一种生物启发式的特征, 其模仿生物视觉系统用以描述图像。通过多尺度多方向的 Gabor 滤波器组对图像滤波处理后得到形状信息, 这一过程称之为 Gabor 变换。在图像处理领域, Gabor 滤波器使用较为广泛, 因为其可以很好地提取图像的不同尺度不同方向的轮廓细节。

Gabor 滤波器公式如式 (1) 所示。

$$g(x,y) = s(x,y) \times w(x,y) \quad (1)$$

其中,  $s(x,y)$  为正弦函数, 如式 (2) 所示。 $w(x,y)$  为高斯核函数, 如式 (3) 所示。

$$s(x,y) = \exp(i2\pi f_0(x\cos\theta + y\sin\theta)) \quad (2)$$

$$w(x,y) = K \exp(-\pi(\frac{(x-x_0)^2}{a^2} + \frac{(y-y_0)^2}{b^2})) \quad (3)$$

对一副车顶线阵图像  $I(x,y)$ , 提取 Gabor 特征是指车顶图像与 Gabor 滤波器进行卷积, 公式如式 (4) 所示。

$$O(x,y) = I(x,y) \times g(x,y) \quad (4)$$

$O(x,y)$  为 Gabor 特征图, 把每个特征图分成  $1 \times 1$ 、 $2 \times 2$ 、 $4 \times 4$  共 3 种单元格组合, 分别计算每个格子中的均值和方差, 把所有均值和方差串联成一个特征描述符, 输入到支持向量机判别是否为受电弓。

#### 4.3 图像采集软件

图像采集软件通过接收车号识别软件的车号信息, 通过接收受电弓识别的触发信息, 分别启动和控制各个面阵相机图像采集, 把采集的图像数据传输给图像分析系统。为了高效、稳定的采集图像数据, 采集软件采用远程过程调用 (Remote Procedure Call, RPC) 框架, 和各个软件之间采用 TCP/IP 进行通信, 软件采用主流的 RPC 框架 -Thrift<sup>[4]</sup>, Thrift 由 Facebook 开发用做系统内各语言之间的 RPC 通信的一个可扩展且跨语言的软件框架, 它融合了功能强大的多个软件堆栈和代码生成引擎, 允许定义一个简单的文件中的数据类型的服务接口, 以 XML 格式作为输入文件, 编译器自动生成 RPC 客户端和服务端通信的无缝跨编程语言。

### 5 图像分析系统

图像分析系统的主要功能是监听和获取从图像采集系统传输至服务器的图像数据和过车信息, 进行一系列的图像预处理、图像对齐和模板匹配等操作后, 将检测结果进行可视化和报警。

#### 5.1 图像预处理

图像预处理是图像处理的基本操作, 也是特别关键的步骤。图像预处理对图像处理总体时间消

耗和后续识别算法起着非常关键的作用。图像去噪、图像增强和图像变换是图像预处理中使用最频繁的运算方法。系统采用多尺度的 Retinex<sup>[5]</sup> 图像增强算法, Retinex 理论的基础理论是物体的颜色是由物体对红色、绿色、蓝色光线的反射能力来决定, 例如, 假设一幅图像  $S(x,y)$  由反射图像  $R(x,y)$  和入射图像  $L(x,y)$  相乘构成, 其中反射图像表示物体的反射性质, 代表图像内在本质, 应尽量保留; 入射图像代表图像像素的动态范围, 尽量去除。Retinex 算法就是通过对  $L(x,y)$  进行高斯照度估计, 通过求逆计算出  $R(x,y)$ , 从而增强  $S(x,y)$  的过程。算法流程如图 4 所示, 图像增强效果如图 5 所示。

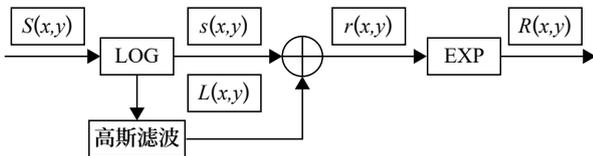


图4 Retinex算法流程  
Fig.4 Flowchart of Retinex algorithm



(a)原始图像 (a)Original image  
(b)增强后图像 (b)Enhanced image

图5 图像增强前后效果

Fig.5 Comparison of images before and after image enhancement

### 5.2 图像对齐

图像对齐是模板匹配的关键步骤, 对齐的好坏直接影响匹配的精度。图像对齐是指提取图像  $I(x,y)$  和图像  $J(x,y)$  图像特征, 采用特征匹配算法对两幅图像进行匹配, 求解两幅图的单应矩阵。处理流程如图 6 所示。



图6 单应矩阵求解流程  
Fig.6 Flowchart of solving homography matrix

如图 6 所示, 采用 ORB<sup>[6]</sup> 特征作为两幅图的特征提取描述符, ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) 是一种快速特征点提取和描述的

算法, 由关键点和描述符组成, 其中关键点是带方向的 FAST 关键点, FAST 关键点的定义为, 假设在一个  $5 \times 5$  的窗格中, 中心像素  $P$ , 窗口中连续的  $N$  个像素点的灰度值比  $P$  点大或者小,  $N$  本文取 15, 则认为  $P$  为关键点。根据关键点周围的像素值变化给  $P$  新增一个方向性, 方向性采用图像矩实现。图像矩是一种具有平移、旋转和尺度不变性的特征, 其能够以一种简单的形式作为图像的特征对图像进行识别。图像矩的计算公式如式 (5) 所示。

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x,y) \quad (5)$$

其中  $m_{00}$  表示图像零阶矩, 代表图像的区域面积,  $m_{01}, m_{10}$  表示关于  $X$  和  $Y$  方向的图像矩。图像质心计算公式如式 (6) 所示。

$$C = \left( \frac{m_{01}}{m_{00}}, \frac{m_{10}}{m_{00}} \right) \quad (6)$$

关键点  $P$  的方向, 就是图像质心  $C$  的角度, 计算公式如式 (7) 所示。

$$\theta = \text{atan2}(m_{01}, m_{10}) \quad (7)$$

当提取到关键点  $P$  的特征后, 使用 BRIEF 描述方法处理特征, BRIEF 描述子, 是一种二进制描述子, 每个关键点  $P$  由一个 128 ~ 512 位的二进制字符串表示, 每个位用 0 或者 1 表示, 根据 BRIEF 描述子的二进制特点, 采用最近邻汉明距离进行 ORB 特征的匹配。汉明距离指的是两个相同长度的特征向量, 对应位置的不同位的长度数量。

单应矩阵  $H^{[7]}$  是两幅图像之间的映射关系, 设  $\{x_i, x_i^{\sim}\}$ , 表示匹配点对, 确定单应矩阵  $H$ , 使其满足  $x_i^{\sim} = Hx_i$ , 也即其中一幅图, 根据等式可对齐另一幅图。把等式进行变换, 使其为  $AH=0$ , 其中矩阵  $A$  由匹配点对构成, 方程为线性齐次方程组, 使用奇异值分解  $A=U\Sigma V^T$ , 求解的单应矩阵  $H$  是矩阵  $V$  最右边列向量。

### 5.3 图像模板匹配

受电弓状态图像的智能识别是系统的最关键功能, 采用稳定性高、算法处理时间短、漏检率低的模板匹配<sup>[8]</sup> 作为智能识别算法技术路线。模板匹配可一次性处理受电弓区域众多关键识别项点, 根据动车组一级检修相关规程, 系统需要识别的车顶受电弓区域的主要项点如表 1 所示。

表1 智能检测项点

Tab.1 Items of intelligent detection

| 序号 | 项点名称        | 项点类别 |
|----|-------------|------|
| 1  | 绝缘子破损       | 破损   |
| 2  | 绝缘子闪络       | 异常   |
| 3  | 受电弓弓头紧固螺栓缺失 | 缺失   |
| 4  | 受电弓弓头紧固螺栓松动 | 松动   |
| 5  | 受电弓碳滑板裂纹    | 破损   |
| 6  | 受电弓碳滑板缺口    | 破损   |
| 7  | 软编织线断裂      | 破损   |
| 8  | 软编织线缺失      | 缺失   |
| 9  | 受电弓羊角中心偏移   | 异常   |
| 10 | 受电弓羊角缺失     | 缺失   |
| 11 | 平衡杆链接螺栓松动   | 松动   |
| 12 | 平衡杆链接螺栓缺失   | 缺失   |
| 13 | 气囊链接螺栓松动    | 松动   |
| 14 | 气囊链接螺栓缺失    | 缺失   |
| 15 | 受电弓附着异物     | 异常   |

模板匹配算法由滑动窗口、图像特征提取和匹配相似度计算 3 部分构成。根据车顶受电弓检测项点的最小尺寸约束，窗口尺寸  $S(w,h) = S(40,40)$ ，滑动窗口步数  $w_{step} = 20$ ，图像特征提取采用 5.2 节的 ORB 特征，相似度计算采用  $\cos$  余弦相似度准则， $\cos(\theta) = \frac{a \times b}{\|a\| \|b\|}$ ，其中  $a, b$  分别代表模板图像和需要匹配图像的 ORB 特征向量，设置相似度阈值为 0.7，即  $\cos(\theta) < 0.7$  判别检测项点存在故障，从而图像分析软件进行可视化展示和报警。

## 6 实验和验证

为测试系统的性能，本文采用场外试验的方法对系统关键的算法进行验证，试验地点为某铁路局机务段，线阵相机型号为 C4-312S，面阵相机型号为 LXG-250，拍摄图像如图 7 所示。

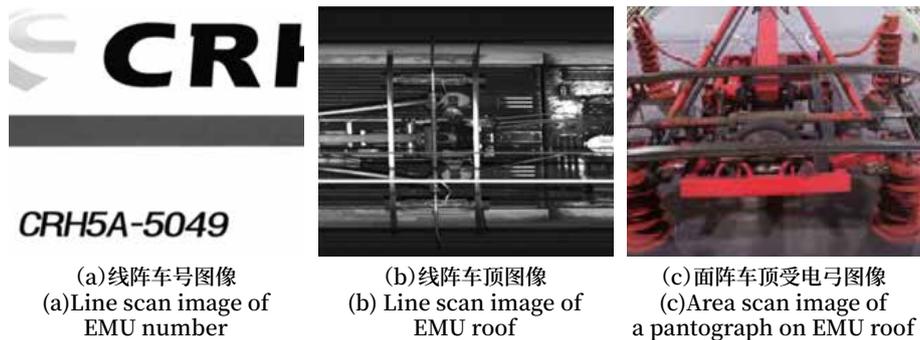


图7 相机拍摄图像

Fig.7 Images taken by the cameras

### 6.1 车号识别

数据采用安装在检测棚下部用于拍摄车号的线阵相机采集的图片，共采集车号图片 12 000 张，每张图片全覆盖列车车身，涵盖动集、动车、高铁多个车号类型，正确识别数量 11 943 张，准确率 99.52%。个别错误识别的车号主要原因是车号采集模块存在图像畸变和相机光源衰减导致图像偏暗，在 12 000 张采集图像中错误识别 57 张，占比 0.48%。

### 6.2 受电弓识别

数据采用安装在检测棚顶部的用于拍摄车顶的线阵相机拍摄的图片，共采集车顶图像 25 000 张，每张图全覆盖一列车车顶，包括升弓和降弓，涵盖动集、动车、高铁多个受电弓型号，其中正确

识别受电弓 24 902 张，错误识别 98 张，准确率 99.6%，错误识别主要原因是把动车组连接处识别为受电弓，连接处和受电弓在图像特征具有相似性，如图 8 所示。

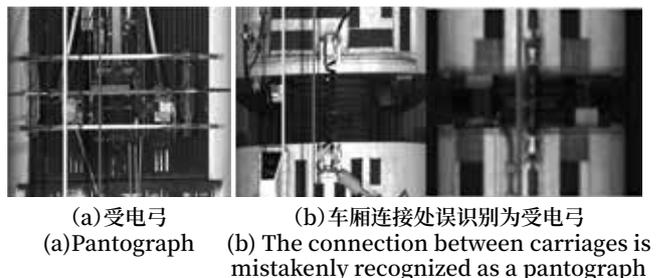


图8 错误识别图例

Fig.8 Example of incorrect recognition

### 6.3 智能识别

数据采用安装在检测棚车顶左、右端的两台面阵相机拍摄的图像，共拍摄车顶受电弓区域图片24 902张，其中存在故障的图片为205张，涵盖

10个识别顶点，系统报出故障223张，经人工核对198张识别正确，有8张图片漏识别，整体准确率为88.7%，漏检率3%，如表2所示。

表2 智能识别统计

Tab.2 Statistics on intelligent recognition

| 序号 | 项点名称        | 故障图片数量 | 系统识别数量 | 正确识别数量 | 漏识别数量 | 准确率 /% | 漏检率 /% |
|----|-------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 1  | 绝缘子破损       | 12     | 14     | 12     | 0     | 85     | 0      |
| 2  | 受电弓弓头紧固螺栓松动 | 16     | 20     | 15     | 1     | 75     | 6.25   |
| 3  | 软编织线断裂      | 33     | 35     | 31     | 2     | 88     | 6      |
| 4  | 受电弓羊角中心偏移   | 3      | 3      | 3      | 0     | 100    | 0      |
| 5  | 平衡杆链接螺栓松动   | 43     | 45     | 40     | 3     | 88     | 6.9    |
| 6  | 平衡杆链接螺栓缺失   | 5      | 5      | 5      | 0     | 100    | 0      |
| 7  | 气囊链接螺栓松动    | 13     | 15     | 13     | 0     | 86     | 0      |
| 8  | 气囊链接螺栓缺失    | 2      | 2      | 2      | 0     | 100    | 0      |
| 9  | 受电弓附着异物     | 78     | 84     | 77     | 2     | 91     | 2.5    |
| 10 | 合计          | 205    | 223    | 198    | 8     | 89     | 3      |

## 7 结束语

本文详细分析了图像采集系统和图像分析系统构成的动车组受电弓状态图像检测系统，通过安装在检测棚进行场外实验，采集数据，对数据进行处理与分析。实验结果表明系统具有稳定的图像采集功能，满足良好的图像质量需求，图像智能分析整体准确率高，漏检率低，具有较高效实用性，可带来降低人工检修工作强度、提高检修效率、降低人工安全风险、提升经济效益等价值。

### 参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 铁路动车组运用维修规程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
- [2] 刘博, 李艳武. 基于改进的YOLOv3算法研究[J]. 现代计算机, 2022, 28(16): 53-56.  
Liu Bo, Li Yanwu. Algorithm Research Based on Improved YOLOv3[J]. Modern Computer, 2022, 28(16): 53-56.
- [3] 史加荣, 王丹, 尚凡华, 等. 随机梯度下降算法研究进展[J]. 自动化学报, 2021, 47(9): 2103-2119.  
Shi Jiarong, Wang Dan, Shang Fanhua, et al. Research Advances on Stochastic Gradient Descent Algorithms[J]. Acta Automatica Sinica, 2021, 47(9): 2103-2119.
- [4] Krzyzstof Rakowski. Learning Apache Thrift[M]. Birmingham: Packt Publishing, 2014.
- [5] Land E H, McCann J J. Lightness and Retinex Theory[J]. Journal of the Optical Society of America, 1971, 61(1): 1-11.
- [6] Rublee E, Rabaud V, Konolige K, et al. ORB: an Efficient Alternative to SIFT or SURF[C]//2011 International Conference on Computer Vision. Barcelona, Spain. IEEE, : 2564-2571.
- [7] Hartley R, Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- [8] 李超, 刘子宽. 一种无需预设模板的动车组故障识别算法[J]. 沈阳工业大学学报, 2021, 43(5): 563-568.  
Li Chao, Liu Zikuan. An EMU Fault Recognition Algorithm without Preset Template[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2021, 43(5): 563-568.

# 双压力传感器冗余设计的故障检测方法

丁 旭

(通号通信信息集团上海有限公司, 上海 200071)

**摘要:** 提出一种通过采用分割压力仓并配合压力检测控制逻辑的方法, 用于解决采用双压力传感器冗余的设计中, 在数据不一致时, 无法确定故障个体的问题。通过与既有冗余设计的判定方法对比, 该方法能够在故障后进一步确定故障个体, 在满足置信度的前提下可继续使用。该方法可应用于列尾设备在提高故障判断的准确度的前提下, 进一步提高设备可用性。

**关键词:** 故障检测; 压力传感器; 热备冗余; 电磁阀; 列尾系统

中图分类号: U284.47

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0020-04

## Fault Detection Method in Redundant Design with Two Pressure Sensors

Ding Xu

(CRSC Communication & Information Corporation Shanghai Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

**Abstract:** In this paper, a method of dividing the pressure chambers supported by the pressure detection control logic is proposed to solve the problem that the specific malfunctioning part cannot be determined when the data are inconsistent from a train designed with dual pressure-sensor redundancy. Compared with the existing fault diagnosis methods in redundant design, the proposed method can further determine the specific malfunctioning part after a fault, and can continue to be used on the premise of meeting the requirements for confidence levels. This method can be applied to train tail equipment to further improve equipment availability on the premise of improving the accuracy of fault diagnosis.

**Keywords:** fault detection; pressure sensor; hot-standby redundancy; solenoid valve; train tail system

### 1 压力传感器故障检测问题引入

铁路货车列尾主机在铁路列尾系统中, 主要功能是采集货物列车尾部主风管的气压信息, 并将该信息反馈至机车设备, 该压力信息将被用于进行列车完整性判断等目的。因此, 准确、可靠地采集列车尾部主风管的气压信息, 对于后面相关行车业务

的处理具有非常重要的意义。

在列尾设备中, 通常采用单个压力传感器进行压力信息的采集, 当运行途中压力传感器发生故障时, 设备自身很难确定自己采集的压力值是否正常。通过比对列车尾部压力与机车压力, 乘务人员仅能确定首尾压力不一致, 但无法从设备故障、列车完整性丢失或车辆连接处漏风的选择中, 给出正确答案。

下面介绍一些目前的主流检测方案。

收稿日期: 2021-12-23; 修回日期: 2022-12-05

作者简介: 丁旭(1985—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 无线通信系统, 邮箱: dingxu@crsc.cn。

## 2 压力传感器故障检测方法介绍

为解决上述问题，最直接做法是通过增加压力传感器的方式形成冗余设计。冗余压力传感器的使用方式基本有 2 种。

### 方式一：冷备方式

在列尾主机中配置 2 个压力传感器，分别定义为主用压力传感器和备用压力传感器。运行过程中，列尾主机首先使用主用压力传感器工作，备用压力传感器此时处于断电状态。判断逻辑是通过有限的判定条件（如压力变化速率、特殊压力值等）对采集的压力进行过滤，当满足条件时，判定该主用压力传感器有异常嫌疑。

此时启用备用压力传感器，如果备用传感器采集的压力值与主用偏差在设定的容忍范围内时，则继续采信并使用主用传感器；如果偏差大于设定的容忍范围，则认为备用是可信的，切换至备用。

该方法是基于备用的压力传感器的工作时间远远低于主用压力传感器，其故障发生的概率较主用传感器低。这种方式的缺点是，当触发主用异常条件并且备用传感器已损坏时，会导致误报。

### 方式二：热备方式

同样地，在列尾主机中配置 2 个压力传感器，运行过程中，两个压力传感器同时上电工作，同时采集 2 个压力传感器的值。判断逻辑如下。

1) 当 2 个传感器采集的压力值的差在容忍范围内时，认为工作正常。压力值可以任选其中一个，或者平均后输出。

2) 当 2 个传感器采集的压力值的差超出容忍范围时，认为出现异常。

3) 异常情况下，通过 2 个压力传感器各自对比自己的历史值，判断压力变化速率、或是压力范围是否正常。通过对比，采信参数更优的一个。

该方法是基于 2 个的压力传感器的差异判断异常出现，每个压力传感器根据自己的历史压力数值，判断压力变化的趋势是否符合常规。这种方式的缺点是，压力变化趋势的场景较多很难量化，当对场

景判断错误时，会导致误报。

## 3 设计思路

针对以上采用双压力传感器的冗余设计，在出现异常时判定方法的不足，本文提出优化设计思路，通过捕获异常、创造条件和寻找参考来实现。

### 1) 捕获异常

上述热备方式通过实时数据比对，当数据出现不一致时，非常容易捕获到异常状态。所以第一步，通过两个压力传感器的数据对比来捕获异常。

### 2) 创造条件

创造条件的目的是制造已知的一种信息，观察采集到的数据是否能够反馈已知信息，与已知信息一致的一方判定为可信的一方。

在列尾的压力采集的场景中，可以通过改变气压创造条件。这点类比于电路设计中，当对于采集的电压信息感到异常时，可以切换到参考电压采集电路，通过对参考电压这种已知信号的比对，来判断是否异常。

### 3) 寻找参考

这种已知的参考信息，具体到列尾压力采集上可以有 2 种形式，分别是变化趋势和绝对压力。通过列尾排风的操作，可实现压力降低的趋势，观察传感器是否能够反馈这一趋势。但这种方式违背了列尾操作的业务要求。

因此，找到绝对压力作为参考是更加可靠的方式。在列尾的应用中，这种随处可取的、已知绝对压力的参考气压，最好的选择应该就是“大气压”。

## 4 实现方式

### 4.1 既有设计

在应用中，列尾主机通过风管与列车主风管连接，通过电磁阀控制与大气是否导通。在列尾的气路部分的设计中，最重要的就是电磁阀和压力传感器以及气压仓所形成的压力检测单元和排风单元。具体结构示意图如图 1 所示。

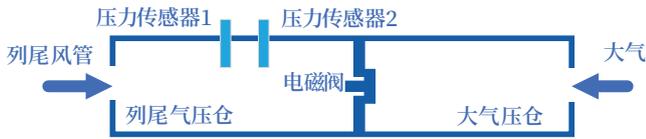


图1 列尾压力检测与排风单元  
Fig.1 Pressure detection and air discharge unit at train tail

正常工作时，电磁阀关闭，列尾气压仓与大气压仓不连通。当气压稳定时，列尾气压仓的压力与列车主风管压力相等，压力传感器安装在列尾气压仓，它们采集的压力即为列车主风管压力（一般约400~600 kpa）。

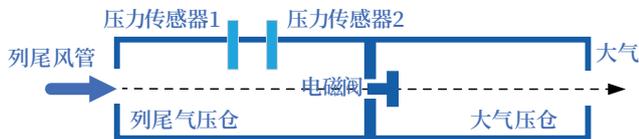


图2 列尾排风时，电磁阀动作  
Fig.2 Movement of the solenoid valve when air is discharged at the train tail

如图2所示，当列尾主机收到排风指令时，将电磁阀打开，列尾压力大于大气压力，风管内的气体被排到大气。

#### 4.2 优化设计

为创造大气压的参考条件，将压力传感器的位置进行调整，并增加检测仓和一个电磁阀，形成如下结构，如图3所示。

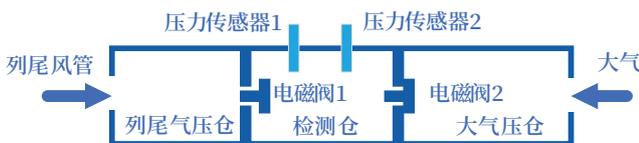


图3 优化设计  
Fig.3 Optimized design

优化后，压力传感器从列尾气压仓移至检测仓。正常工作时，电磁阀1常开，电磁阀2常闭，检测仓与列尾气压仓连通，压力传感器检测的压力即为列尾风管压力。当排风时，电磁阀1与电磁阀2同时开启，风管气压可排到大气，可实现与既有列尾相同的检测和排风功能。如图4所示。

当2个压力传感器采集的压力值之差超出容忍范围时，将进行如下操作。



图4 排风时，电磁阀动作  
Fig.4 Movement of the solenoid valves when air is discharged

1) 关闭电磁阀1，开启电磁阀2，这时列尾气压仓被关闭，不会造成排风动作。另外，检测仓与大气压仓连通，此时采集到的压力即为大气压力。

2) 采集压力传感器1和压力传感器2的输出，更接近大气压的一个即为正常，继续采信。

3) 恢复电磁阀1常开，电磁阀2常闭，继续使用可信的压力传感器进行工作，并采取一定的报警操作，通知更换压力传感器，如图5所示。

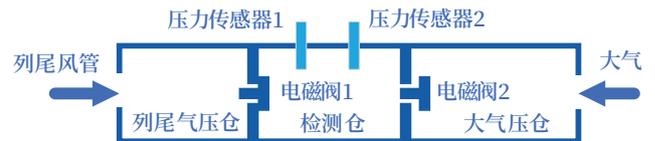


图5 检测时，电磁阀动作  
Fig.5 Movement of the solenoid valves at the time of detection

通过上述的优化方案，创造已知的大气压作为参考输入，可准确判断压力传感器的输出是否可信。相比于既有的检测方案，此判断条件既简单又可靠，另外由于与已知的参考压力进行对比，可以判断出2个压力传感器同时故障的情形，这在上文介绍的检测机制中是不能做到的。

在运用中，可能因海拔因素导致大气压的参考不准确，可在配置卫星定位的列尾装置中，通过提取海拔信息得到更精确的大气压力。海拔-大气压力的计算公式如式(1)所示。

$$P = P_0 \times \left(1 - \frac{H}{44300}\right)^{5.256} \quad (1)$$

其中， $P$  (kpa) 为海拔  $H$  (m) 时的大气压，是一个标准大气压，为 101.325 kpa。将大气压与海拔关系，绘制曲线如图6所示。

参考信息越准，判断结果的可信度就会越高。因此，通过海拔-大气压力的计算后，将会得到更准确的压力值，得到更可信的判断结果。

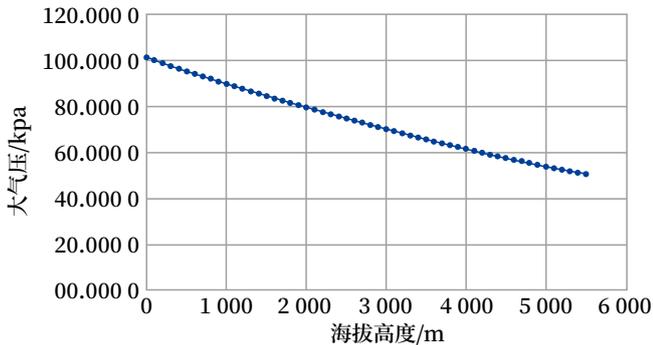


图6 海拔-大气压对应关系

Fig.6 Relationship between altitude and barometric pressure

### 4.3 样品实测

根据优化后的设计思路，制作列尾压力检测和排风单元，实物如图7所示。



(a) 样品正视

(b) 样品侧视

(a) Front view of prototype (b) Side view of prototype

图7 优化设计后的样品

Fig.7 Prototype after optimized design

分别在 400 kpa、500 kpa 和 600 kpa 的情况下进行测试，容忍差值设为 20 kpa，当差值超过 20 kpa 时，触发检测逻辑，并输出故障传感器信息。通过改变传感器压力转换的计算参数，模拟传感器故障的情况进行试验，数据记录如表 1 所示。

表1 试验数据

Tab.1 Test data

| 序号 | 测试压力 / kpa | 传感器 1 / kpa | 传感器 2 / kpa | 大气压测量       |             | 故障定位          |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
|    |            |             |             | 传感器 1 / kpa | 传感器 2 / kpa |               |
| 1  | 400        | 402         | 381         | 103         | 85          | 传感器 2         |
| 2  | 500        | 506         | 530         | 102         | 124         | 传感器 2         |
| 3  | 600        | 578         | 602         | 88          | 101         | 传感器 1         |
| 4  | 600        | 567         | 602         | 84          | 101         | 传感器 1         |
| 5  | 600        | 567         | 542         | 84          | 66          | 传感器 1 / 传感器 2 |

通过试验室模拟测试，在改变某一压力传感器的计算参数后，可立即判断异常，并通过既定操作

步骤精确判定压力传感器是否故障以及是否 2 个传感器都故障，大大提高了设备应用的可靠性以及维护的精准性，降低压力采集系统的不确定性。

## 5 结束语

通过对常用的列尾压力检测技术进行引入性介绍，分析了常用检测方法的痛点，并在常用检测方法的基础上进行总结、分析与创新。提出在基于双压力传感器热备冗余方法的基础上，在捕获到异常后，通过对制造标准大气压的参考值，对压力传感器的可信度进行验证。在原理分析后，研制了样品对新的设计进行试验。试验证明，优化后的设计，对于提高系统风压检测的可靠性有提升，对于故障的判断更加准确。真正发挥出了传感器热备冗余能力，具有很强的实用性，对同类检测方式具有借鉴意义。

### 参考文献

- [1] 张有康, 甘蓉. 压力传感器测量中不确定度的评定 [J]. 中国测试技术, 2005, 31 (6): 25-26, 71.  
Zhang Youkang, Gan Rong. Evaluation of Strain Gauge Measurement Uncertainty of Pressure Transducer[J]. China Measurement & Testing Technology, 2005, 31(6): 25-26, 71.
- [2] 王学辉, 蔡春林. 压力传感器测量结果不确定度的评定 [J]. 计量与测试技术, 2012, 39 (5): 60, 63.  
Wang Xuehui, Cai Chunlin. Pressure sensors Evaluation of Uncertainty in Measurement[J]. Metrology & Measurement Technique, 2012, 39(5):60, 63.
- [3] 王凡, 邵宪辉, 范秋涛. 压力传感器检测系统的研制 [J]. 传感器技术, 2001 (6): 40-43.  
Wang Fan, Shao Xianhui, Fan Qiutao. Development of the Test System for Pressure Sensor[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2001 (6): 40-43.

(下转 39页)

# 一种基于开放网络的安全通信协议实现方法

殷 琴<sup>1, 2</sup>, 张立伟<sup>3</sup>

- (1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;
2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070;
3. 国家铁路局装备技术中心, 北京 100891)

**摘要:** 在开放式网络传输环境下, 安全设备间通信需有完备的数据通信协议来保证应用数据安全。提出一种安全通信协议优化方案, 对 RSSP-I 安全通信协议中的所传输数据采用 SM4 算法进行数据加密, 优化开放式网络环境下安全通信协议的分层结构、消息结构和通信交互过程。通过分析论证, 针对开放式传输系统存在的所有可能威胁, 本安全通信协议实现方法均具备有效的防御、防护技术措施, 满足安全设备间数据传输的安全性要求。

**关键词:** 安全通信协议; 开放式网络传输环境; RSSP; SM4 算法

中图分类号: U284.48 文献标志码: A 文章编号: 1673-4440(2023)01-0024-04

## Method for Implementing Safety Communication Protocol Based on Open Network

Yin Qin<sup>1, 2</sup>, Zhang Liwei<sup>3</sup>

- (1. CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)
- (2. Beijing Engineering Technology Research Center of Operation Control Systems for High Speed Railways, Beijing 100070, China)
- (3. Equipment Technology Center, National Railway Administration of the People's Republic of China, Beijing 100891, China)

**Abstract:** In an open network transmission environment, communication between security devices requires a complete data communication protocol to ensure the security of application data. This paper proposes an optimization scheme for secure communication protocols, which uses SM4 algorithm to encrypt the data transmitted in the RSSP-I secure communication protocol, and optimizes the layered structure, message structure and communication interaction process of the secure communication protocols in an open network environment. Through analysis and demonstration, this paper shows that this method for implementing secure communication protocols provides effective defense and protective technical measures in response to all possible threats existing in the open transmission system, meeting the security requirements for data

收稿日期: 2022-09-06; 修回日期: 2022-12-16

基金项目: 国家自然科学基金联合基金重点支持项目 (U1934221)

作者简介: 殷琴 (1986—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: yinqin@crscd.com.cn.

transmission between security devices.

**Keywords:** safety communication protocol; open network transmission environment; RSSP; SM4 algorithm

## 1 概述

随着国内外列车运行控制技术的飞速发展，列车控制系统安全设备之间数据传输已处于开放式网络环境下，安全通信协议对指导数据的安全传输起着至关重要的作用。本文主要阐述一种在 RSSP-I 安全通信协议的基础上，采用 SM4 算法对传输数据进行数据加密的安全通信协议实现方法，论证该方法满足开放式传输系统环境下安全设备之间数据交互安全要求。

## 2 RSSP-I安全通信协议

目前国内铁路信号安全设备间数据传输所采用的安全通信协议有 RSSP-I 协议和 RSSP-II 协议两种。信号设备间通过封闭式传输系统进行安全信息交互时，采用 RSSP-I 协议；信号设备间通过开放式传输系统进行安全信息交互时，采用 RSSP-II 协议。相对于 RSSP-I 协议，RSSP-II 协议的加密认证算法和建链时的处理使其计算复杂度高于 RSSP-I 协议，协议实现消耗系统时间较长；RSSP-II 协议需采用 TCP 传输方式，RSSP-I 协议可采用 TCP/UDP 和串口传输方式，RSSP-II 协议的传输方式选择较单一。对于封闭式传输系统而言，存在“重复”、“删除”、“插入”、“重排序”可能威胁，为降低相关威胁源风险，RSSP-I 协议站在接收端考虑传输信息的安全性，从接收端的角度设计保护算法，由接收端对所接收消息的数据特征进行校验：1) 发送端的身份鉴别，校验消息的真实性；2) 校验消息正确性、完整性；3) 校验消息的时效性、实时性；4) 校验消息的序列正确性、有序性。

## 3 SM4算法

SM4 算法（简称算法）是一种由加解密算法和

密钥扩展算法组成的分组密码算法。算法采用 32 轮非线性迭代结构进行加密，以字（32 位）为单位进行加密运算，每一次迭代运算均为一轮变换，由 32 次迭代运算和 1 次反序变化组成。算法的解密变换与加密变换结构相同，唯一不同点在于轮密钥的使用顺序，由加密密钥进行逆序变换而得。SMS4 算法是中国无线标准中使用的分组加密算法，已于 2012 年被国家商用密码管理局确定为国家密码行业标准，标准编号 GM/T 0002-2012，是一种成熟、有效的“损坏”和“伪装”防御技术。

## 4 安全通信协议设计

### 4.1 总体结构

在 RSSP-I 安全通信协议的基础上，对传输数据采用 SM4 算法进行数据加密，以满足开放式传输系统环境下安全设备之间数据交互安全要求，安全相关设备间通信的总体结构如图 1 所示。

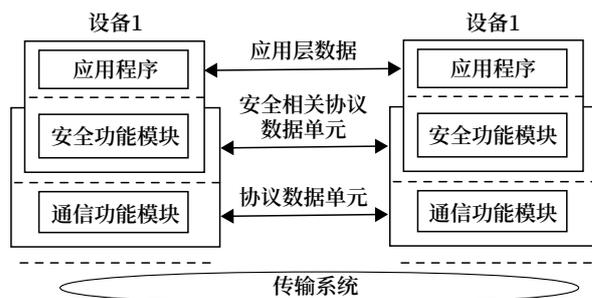


图1 安全相关设备间通信的总体结构

Fig.1 Overall structure of communication between safety-related devices

### 4.2 分层结构

安全通信接口采用分层结构设计，如图 2 所示。安全信息传输的应用协议由各安全相关设备间应用层定义；SM4 加密 / 解密层对应用数据进行加密、解密操作；操作检测安全层对接收数据的发送端身份、报文正确性、报文更新和报文序列进行验证；冗余管理层实现通信链路的冗余处理；传输层实现

数据的可靠、透明和双向传输。

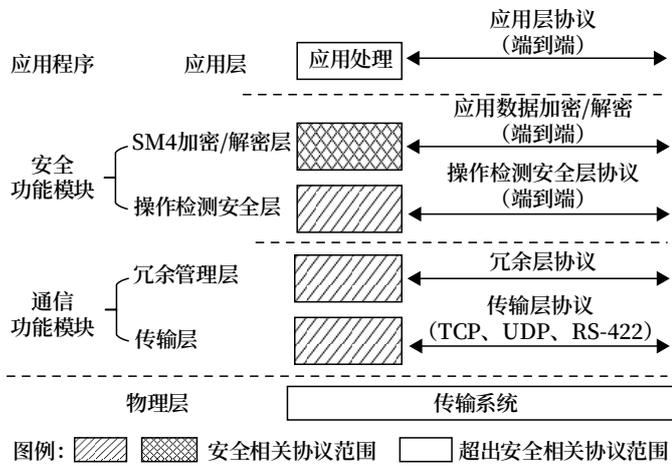


图2 通信协议分层化结构  
Fig.2 Layered structure of communication protocols

### 4.3 报文类型

安全通信的交互过程由3种报文类型组成：安全传输数据帧；时序确认请求帧；时序确认应答帧。报文结构如图3所示。

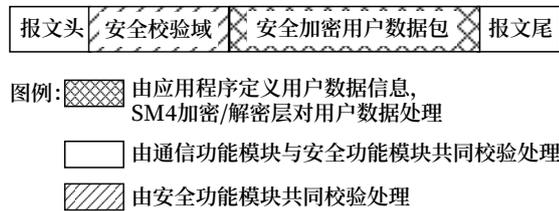


图3 报文结构  
Fig.3 Message structure

报文头作为冗余层和安全应用适配层使用，包含以下3项。

- 1) 协议类别：由用户定义，用于定义区分应用消息交互类别。
- 2) 帧类型：由用户定义，用于区分不同来源和类型的报文明。
- 3) 源地址和目的地址，由用户定义，用于通信双方确认通信地址。

安全校验域根据不同的帧类型，包含内容不同，如表1~3所示。

安全加密用户数据包由应用层接口规范定义，SM4加密/解密层对用户数据进行加密处理，仅在安全传输数据帧中使用。

表1 安全传输数据帧内容

Tab.1 Securely transmit data frame content

| 报文结构      | 字段名称                            |
|-----------|---------------------------------|
| 报文头       | 协议类别                            |
|           | 帧类型                             |
|           | 源地址                             |
|           | 目的地址                            |
|           | 序列号                             |
| 安全校验域     | 安全数据长度                          |
|           | 消息操作检测码                         |
| 安全加密用户数据包 | 安全加密应用数据                        |
|           | (由应用层接口规范定义，SM4加密/解密层对用户数据进行加密) |
| 报文尾       | 报文完整性校验码                        |
|           | (根据以上所有字段生成校验码)                 |

表2 时序请求帧内容

Tab.2 Timing request frame content

| 报文结构  | 字段名称            |
|-------|-----------------|
| 报文头   | 协议类别            |
|       | 帧类型             |
|       | 源地址             |
|       | 目的地址            |
| 安全校验域 | 序列号 (请求方的)      |
|       | 消息操作检测码         |
| 报文尾   | 报文完整性校验码        |
|       | (根据以上所有字段生成校验码) |

表3 时序确认应答帧内容

Tab.3 Timing confirmation response frame content

| 报文结构  | 字段名称         |
|-------|--------------|
| 报文头   | 协议类别         |
|       | 帧类型          |
|       | 源地址          |
|       | 目的地址         |
| 安全校验域 | 序列号 1 (应答方的) |
|       | 序列号 2 (请求方的) |
|       | 消息操作检测码      |
|       | 数据版本号        |
| 报文尾   | 报文完整性校验码     |

报文尾是为了检测整个报文传输过程中不受损害而增加的报文完整性校验码，可使用CRC。

时序确认请求帧与时序确认应答帧仅包含报文头、安全校验域和报文尾3部分。

安全传输数据帧用于安全设备间传送用户数据信息。安全传输数据帧的内容如表1所示。

发生接收时序错误时,接收端向发送端发起时序校正请求。时序请求帧的内容如表 2 所示。

时序确认应答帧是发送端对来自接收端的时序校正请求,进行相应答复的反馈报文。时序确认应答帧的内容如表 3 所示。

## 5 防御技术

对于开放式传输系统,信息的安全、可靠传输存在“重复”“删除”“插入”“重排序”“损坏”“延时”和“伪装”可能威胁。为减少威胁风险,保障消息的真实性、完整性、实时性和有效性,采用 SM4 算法对应用数据进行加密、解密操作,防止传输系统中的损坏和伪装威胁;利用 RSSP-1 协议既有成熟技术,由接收端对接收到的消息进行序列号、时间戳、超时、源和宿标识符、反馈报文和安全编码校验,防护传输系统中的重复、删除、插入、重排序、损坏和延时等可能的威胁。选用的具体防护措施及防护威胁的适用性如表 4 所示。

表4 安全防御技术

Tab.4 Security defense technology

| 威胁  | 防御  |     |    |        |      |      |      |
|-----|-----|-----|----|--------|------|------|------|
|     | 序列号 | 时间戳 | 超时 | 源和宿标识符 | 反馈报文 | 安全编码 | 加密技术 |
| 重复  | √   | —   | —  | —      | —    | —    | —    |
| 删除  | √   | —   | —  | —      | —    | —    | —    |
| 插入  | √   | —   | —  | √      | √    | —    | —    |
| 重排序 | √   | —   | —  | —      | —    | —    | —    |
| 损坏  | —   | —   | —  | —      | —    | √    | √    |
| 延时  | √   | √   | √  | —      | —    | —    | —    |
| 伪装  | —   | —   | —  | —      | —    | —    | √    |

注：“√”表示防护措施可提供对相应威胁的保护

## 6 结束语

本文阐述的通信协议实现方法为基于 RSSP-I 安全通信协议基础上,对开放式传输系统环境下安全设备间传输的应用数据进行加密/解密处理。与铁路安全通信协议 RSSP-II 对比,通信协议方式选择更多样化,有效降低安全通信协议实现的复杂度,削减开放式传输系统环境下安全设备间的通信协议分层间数据交互环节,减少了实现安全通信协议的耗时。针对开

放式传输系统存在的可能威胁,从选用的具体防护措施及防护威胁的适用性进行分析,论证本设计方案具备有效防御开放式传输系统环境下可能威胁的能力,可安全应用于安全设备间数据交互。

## 参考文献

- [1] 国家密码管理局. SM4 分组密码算法: GM/T 0002-2012 [S]. 北京: 国家密码管理局, 2012.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号安全通信协议第 1 部分: I 型协议: TB/T 3528.1-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号安全通信协议第 2 部分: II 型协议: TB/T 3528.2-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.
- [4] 杨霓霏, 段武, 卢佩玲. 铁路信号系统安全相关通信标准与安全协议研究 [J]. 中国铁路, 2008 (6): 48-51.
- [5] 郭伟, 闫连山, 王小敏, 等. RSSP-II 铁路信号安全通信协议的安全性分析 [J]. 铁道学报, 2016, 38 (8): 50-56.
- Guo Wei, Yan Lianshan, Wang Xiaomin, et al. Security Analysis of Railway Signal Safety Communication Protocol II [J]. Journal of the China Railway Society, 2016, 38(8): 50-56.
- [6] Floyd S, Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1(4): 397-413.
- [7] 南迪. RSSP-II 安全通信协议在 CBTC 的应用研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [8] 艾心, 吴鸣旦, 武旭东, 等. 一次一密 SM4 算法的设计 [J]. 网络空间安全, 2018, 9 (2): 20-23.
- Ai Xin, Wu Mingdan, Wu Xudong, et al. Design of One-Time Pad SM4 Algorithm [J]. Cyberspace Security, 2018, 9(2): 20-23.
- [9] 黄雅倩. 轨道交通通信信号设备与系统标准化发展研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (9): 112-115.

(下转 45 页)

# 安全监督在信号集中监测系统上的应用

赵浩森, 胡轶超

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 结合列控安全信息监督实际需求, 介绍列控安全信息监督的层级结构及其安全信息监督分析、预报警管理、相关安全信息展示等主要功能。简述动态时间规整、数据处理融合等关键技术方法, 对列控安全信息监督的应用场景及效果进行展示。并基于现有技术特点展望列控安全信息监督在集中监测系统中的应用发展方向。

**关键词:** 信号集中监测; 列控安全信息; 信息监督

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0028-05

## Application of Train Control Safety Information Supervision in Centralized Signaling Monitoring System

Zhao Haosen, Hu Yichao

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

**Abstract:** Combined with the actual needs of train control safety information supervision, this paper introduces the hierarchical structure of train control safety information supervision and its main functions, such as safety information supervision and analysis, early warning management, relevant safety information display and so on. At the same time, key technical methods such as dynamic time warping and data processing fusion are briefly described. The application scenarios and effects of train control safety information supervision are displayed. And based on the characteristics of the existing technology, the application and development direction of train control safety information supervision in Centralized Signalling Monitoring System are prospected.

**Keywords:** centralized signaling monitoring; train control safety information; information supervision

### 1 概述

随着国内轨道交通信息技术的快速发展, 轨道交通装备也向着网络化、数字化和智能化的方向迈

进, 各信号子设备的可靠性也越来越高<sup>[1]</sup>。但由于缺乏对不同信号设备间相关信息的整合与监督<sup>[2]</sup>, 当单个设备失效或故障导致信号系统难以实现联锁联动时<sup>[3]</sup>, 错误的信号显示或列车控制将会给列车运行带来极大安全隐患。

铁路信号集中监测系统(Centralized Signalling Monitoring System, CSM)是监测信号设备状态、发现信号设备隐患、分析诊断信号设备故障、实现列

收稿日期: 2021-11-30; 修回日期: 2022-07-21

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司重点课题项目(N2020G012)

第一作者: 赵浩森(1995—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 信号集中监测, 邮箱: zhaohaosen@crscd.com.cn。

控安全信息监督、辅助和指导现场维修及故障处理,提高电务系统设备运用质量和维护水平的重要信号设备<sup>[4]</sup>。CSM 作为信号设备的集中监测和智能诊断分析平台,可以有效利用与各信号子系统接口获取的信号设备运行数据,通过对信号系统建模和多源数据的耦合闭环分析,实时发现并定位信号系统异常环节,为列控系统安全运行提供重要保障。

列控安全信息监督(简称安全监督)作为铁路信号集中监测的主要功能之一,实现了安全风险提示的重要作用。其以行业安全标准为依据,通过对各信号子系统结合部数据的监测,利用多来源数据校核、智能分析和故障诊断等技术,发现结合部信息<sup>[5]</sup>不一致时就及时报警。并在此基础上,进一步实现站场图表示、关联数据实时展示、列控安全信息监督分析报告与 CTC 系统预报警共享等其他功能。

## 2 列控安全信息监督系统结构

信号集中监测的列控安全信息监督功能由车站层和中心层构成。在车站层,即利用 CSM 站机采集 CBI、TCC、ZPW-2000、车站 CTC 系统的接口数据并进行车站层的安全信息监督分析。在局集团公司/电务段层(中心层),增加了 RBC、TSRS 和 CTC 对应的接口服务器负责 CSM 接口数据的采集,并新增安全监督服务器实现了中心层的列控安全信息监督分析<sup>[6]</sup>。列控安全信息监督分析主要通过各信号子系统间的关键数据进行一致性比对和相应的逻辑分析,及时报出影响行车安全的预警信息,起到安全风险防范提醒和列控安全信息实时监督的作用。列控安全信息监督功能在 CSM 中的结构如图 1 所示。

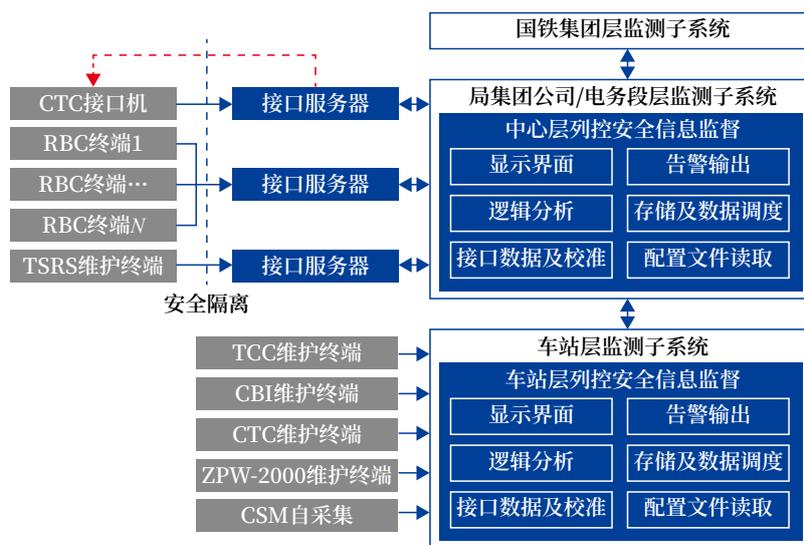


图1 列控安全信息监督功能在CSM中的结构

Fig.1 Structure of the function of train control safety information supervision in CSM

此外,从数据架构上讲,CSM 中列控安全信息监督的数据来源是中心信号子系统和车站信号子系统。通过综合分析不同系统来源数据,构建多维度的数据一致性判断规则,并针对分析出的异常事件及时报警提示。从技术架构上讲,列控安全信息监督通过数据采集、数据分析、数据存储、数据共享,最终将数据应用在预报警管理、站场表示、关联数据实时显示等方面。需要注意的是,目前 CSM 还预留了与 CTC 接口服务器的数据共享功能,可将分

析出的给行车安全带来隐患的报警实时共享,最终实现列控安全信息的有效监督。

## 3 列控安全信息监督主要功能

列控安全信息监督的功能包括安全信息监督分析、报警管理和相关安全信息的展示、统计、回放、共享等。安全信息监督分析主要对不同地面信号子系统传到 CSM 的信息进行一致性分析,可细分为以下几点。

- 1) 区段占用信息一致性比对, 站内区段信息和区间区段信息其数据流分别如图 2(a) 和 (b) 所示;
- 2) 联锁进路与 RBC 系统接收 SA 一致性比对, 其数据流如图 2(c) 所示;
- 3) RBC 系统 MA 与联锁进路一致性比对, 其数据流如图 2(c) 所示;
- 4) TCC 进路信息与联锁进路信息一致性比对, 其数据流如图 2(d) 所示;
- 5) 车站联锁执行 TCC 进站信号机降级命令一致性比对, 其数据流如图 2(e) 所示;
- 6) TCC 码序与联锁信号逻辑一致性比对;
- 7) 各子系统间连接状态综合比对, 包括 CTC、CBI、TCC、TSRS、RBC 及轨道电路, 正常状态下设备间的连接状态如表 1 所示;
- 8) 相邻站 TCC 方向一致性比对, 以站间通信方式为监测中心代转为例, 其数据流如图 2 (f) 所示;
- 9) TCC 与联锁线路方向信息一致性比对, 其数据流如图 2(d) 所示;
- 10) TCC 邻站邻接区段占用逻辑一致性比对, 以站间通信方式为监测中心代转为例, 其数据流如图 2(f) 所示;
- 11) 区间信号机与区间方向的逻辑一致性比对;
- 12) 信号显示与区段发码一致性比对<sup>[7]</sup>。

报警管理, 即通过数据一致性比对发现各地面信号子系统数据不一致时, 实时对对应的安全信息监督分析并产生报警。报警类型除了安全信息监督分析的几种特定类型外, 还可进一步实现故障点划分, 方便用户迅速查找问题所在。例如 RBC 系统 MA 与联锁进路不一致可以进一步划分为 MA 越过禁止信号、MA 经过已占用的区段、MA 道岔位置与联锁进路道岔位置不一致 3 种类型。报警信息除了列出设备、车站、时间、内容等关键信息外, 还结合语音提示并能够进行历史报警的统计和查询。此外双击对应报警, 可跳转到相应的报警诊断界面。用户根据相关报警提示, 结合站场图、设备属性曲线或开关量在故障时间点前、后变化情况等信息, 进一步对报警进行分析诊断。

此外, 最新版本的 CSM 还将列控安全信息监

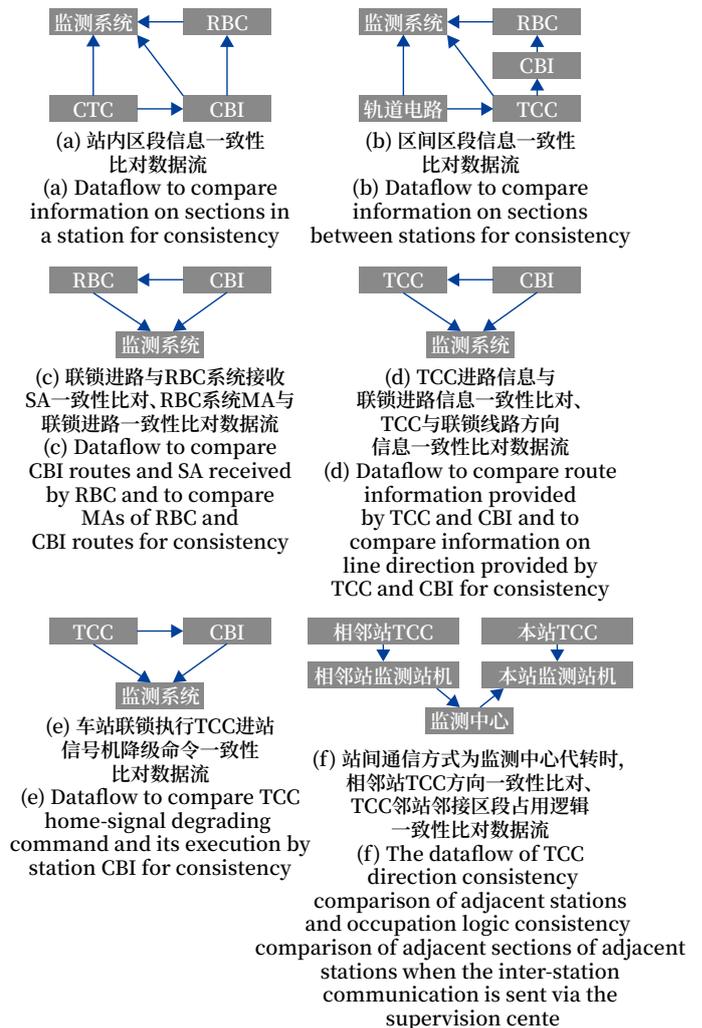


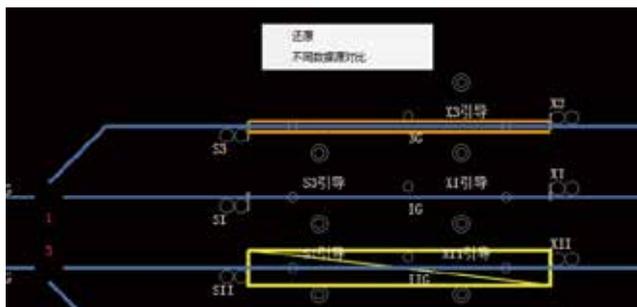
图2 安全信息监督分析中的数据流  
Fig.2 Dataflow in the analysis by safety information supervision

表1 各信号子系统间的连接状态  
Tab.1 Status of connections between each signaling subsystem

| 系统名称 | CTC | CBI | TCC | TSRS | RBC | 轨道电路 |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------|
| CTC  | —   | √   | √   | √    | √   | —    |
| CBI  | √   | —   | √   | —    | √   | —    |
| TCC  | √   | √   | —   | √    | —   | √    |
| TSRS | √   | —   | √   | —    | √   | —    |
| RBC  | √   | √   | —   | √    | —   | —    |
| 轨道电路 | —   | —   | √   | —    | —   | —    |

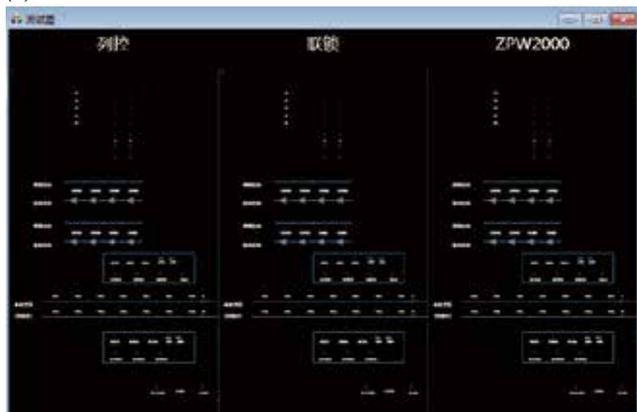
督应用在站场图、列车 MA 时序图、设备工作状态展示, 接口数据、关联数据实时展示, 安全信息监督分析报告, 回放和与 CTC 系统实现预警信息共享等功能上。有效的实现了对信号子系统信息资源的整合校验、分析诊断和列控安全信息监督, 保障了行

车的安全。在 CSM 中右键站场如图 3(a) 所示, 会有不同数据源对比, 点击会打开对比测试如图 3(b) 所示, 通过对比可便捷的对不同源信息的一致性分析判定。如图 4 所示, 在相关统计界面对列控实时信息、列控历史信息 and ZPW-2000 调整表进行统计展示, 有利于对列控信息的实时监督及故障分析。



(a) 不同源数据对比打开

(a) Click to show the interface of data from different sources



(b) 列控、联锁等不同源数据对比

(b) Comparison of data from different sources such as from train control and CBI

图3 不同源数据在站场图上对比

Fig.3 Comparison of data from different sources on the station & yard layout

#### 4 列控安全信息监督关键技术方法

列控安全信息监督除了要对不同来源的多维度数据进行去噪、解耦等预处理, 还会用到特征提取和分类、聚类以及相关性分析等基本数据处理与融合技术。由于不同子系统信息发往 CSM 存在不同的时间延时, 故可通过相应的延时时间分析, 找出合适的冗余时间窗, 以指导应用中信息一致性比对等待的最优时间窗口大小。此外, 还可以运用动态时间规整技术, 即动态的找到最优解使得不同来

源的信号数据在同一时间上对齐, 方便进一步的时延纠正。通过将时延反馈到系统本身并加以纠正, 以提高列控安全信息监督的及时性和精准性。

此外, 测试验证阶段还会用到黑盒监督分析技术<sup>[8]</sup>, 对数据准确性和功能正确性进行校核及验证。根据现场实际情况并参照国铁集团铁路信号集中监测系统接口规范<sup>[9-10]</sup>, 搭建符合要求的仿真环境。通过将现场的典型案例注入对应中心或车站的地面信号子系统仿真接口, 对 CSM 局中心和 CSM 车站相应的列控安全信息监督功能进行验证测试。

#### 5 列控安全信息监督在集中监测系统中的应用发展方向

目前, 列控安全信息监督在 CSM 系统中主要应用在各信号子系统同源信息一致性比较; 各信号子系统逻辑关系的一致性比较; 数据信息在各信号子系统间流转的闭环性校验。其核心是对各地面信号子系统的信息整合、校验监督。CSM 预留了与 CTC 间的数据共享, 这样既可以减少数据冗余, 也避免了再次数据采集、算法分析的复杂性。同时, 将危及行车安全的预报警实时有效地发送给 CTC, 也有利于其及时做出处理, 做到列控安全信息的及时有效监督。

在未来, CSM 系统的列控安全信息监督功能还可进一步扩展, 应用到更多的场景中去。如加入对车-地信息的联合比对, 进行车载 MA 和地面区段占用比对; RBC 发送的 MA 与车载 ATP 接收的 MA 一致性比对; 车载接收到的低频信息和轨道电路发送的低频信息比对; 车载接收应答器报文和地面应答器报文比对; C2、C3 限速命令在地面设备和 ATP 间传输的闭环检查等。这样有利于车-地信息全方位监督核验, 更为有效的保障行车安全。

#### 6 结束语

铁路信号集中监测系统有着设备监测、报警管理、安全监督 and 智能诊断的重要作用, 有效的保证了

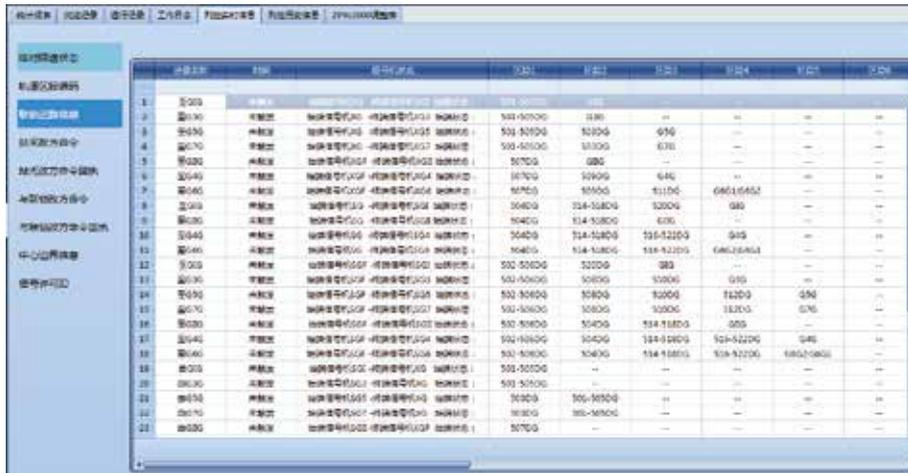


图4 列控实时信息等相关信息统计展示  
Fig.4 Screenshot of the interface of statistics on real-time train control information and other related information

设备运用质量，提高了设备维护水平。CSM 的成功应用和广泛普及，突破了信号维修传统技术，实现了信号设备“状态修”，加强了车地设备运维管理，保障了铁路行车安全。列控安全信息监督和智能诊断功能的不断完善，将显著提升铁路信号维修技术，向着高可靠、高安全、网络化和智能化的方向发展。

参考文献

[1] 王镠莹, 温宏宇. 铁路新技术发展趋势研究及对国内的建议 [J]. 中国铁路, 2020 (1): 59-64.  
Wang Liuying, Wen Hongyu. Research on the Development Trend of New Railway Technology and Suggestions to China[J]. China Railway, 2020(1): 59-64.

[2] 贾春肖, 张宏韬, 齐志华. 国内铁路列控联锁系统发展趋势研究 [J]. 中国铁路, 2020 (2): 1-5.  
Jia Chunxiao, Zhang Hongtao, Qi Zhihua. Development Trend of Interlocking and Train Control System of China Railway[J]. China Railway, 2020(2): 1-5.

[3] 江明. 铁路信号系统安全功能及安全保障措施研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (6): 24-29.  
Jiang Ming. Research on Safety Related Functions and Safety/Security Safeguard Measures of

Railway Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(6): 24-29.

[4] 林瑜筠. 信号集中监测 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2020: 1-5.

[5] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号系统内部接口: TB/T 3546-2019[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

[6] 中国铁路总公司. 铁路信号集中监测系统技术条件: Q/CR 442-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2020.

[7] 张胜平. 铁路信号集中监测系统运用与维护 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2021.

[8] 刘伟, 石成. 铁路列控安全信息监督仿真测试平台研究 [J]. 中国铁路, 2021 (6): 141-146.  
Liu Wei, Shi Cheng. Research on Simulation Test Platform for Railway Train Control Safety Information Monitoring[J]. China Railway, 2021(6): 141-146.

[9] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路信号集中监测系统接口规范: 第2部分: 车站设备接口协议: Q/CR 780.2-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2020.

[10] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路信号集中监测系统接口规范: 第3部分: 局集团公司/电务段层设备接口协议: Q/CR 780.3-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2020.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.007

# 基于神经网络的 铁路通信网络传输延迟控制方法

董玉圻

(国家铁路局装备技术中心, 北京 100702)

**摘要:** 研究一种基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制方法。利用 TCN 网络分析仪抓取的通信网络延迟数据, 组成数据样本。以数据样本为输入, 利用神经网络实现铁路通信网络传输延迟预测。以预测结果为输出, 结合 PID, 得出延迟控制量和延迟补偿量, 实现铁路通信网络传输延迟控制。结果表明, 与基于功率控制协议的控制方法、基于延迟补偿的控制方法相比, 在新的控制方法应用下, 延迟时间更短, 通信链路速率更高, 由此证明新研究的控制方法的有效性。

**关键词:** 神经网络; 铁路通信网络; 延迟预测; 传输延迟; 延迟控制

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0033-07

## Transmission Delay Control Method of Railway Communication Networks Based on Neural Network

Dong Yuqi

(Equipment Technology Center, National Railway Administration of the People's Republic of China, Beijing 100702, China)

**Abstract:** A transmission delay control method of railway communication networks based on a neural network is studied. This study uses the communication network delay data captured by TCN network analyzer to serve as data samples. With the data samples as input, the prediction of transmission delays of railway communication networks is realized by using the neural network. With the prediction results as the output, combined with PID, the delay control quantity and delay compensation quantity are obtained to realize the transmission delay control of railway communication networks. The results show that the new control method in this paper reduces the delay time and increases the communication link rate as compared with the control method based on power control protocol and the control method based on delay compensation, which proves the effectiveness of this new method.

**Keywords:** neural network; railway communication network; prediction of delay; transmission delay; delay control

收稿日期: 2022-08-10; 修回日期: 2023-01-05

作者简介: 董玉圻 (1992—), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 铁路通信, 邮箱: baba\_987654@sina.com。

## 1 概述

经过几代人不懈地努力，国内铁路建设已经发展得较为成熟<sup>[1]</sup>，中国已成为世界上铁路运输行业较为发达的国家。通信网络是现代化铁路运输的关键，可以说是列车的“心脏”。铁路列车在运行过程中通过通信网络及时将信息传递给中央控制室，中央控制室再根据这些信息对列车进行牵引、制动<sup>[2]</sup>。通信网络在进行信息传输时，受到各种因素的影响，不可避免地会出现延迟的情况。网络延迟对于铁路通信质量有很严重的影响，一旦延迟过大，将严重损害铁路运输的安全性和可靠性<sup>[3]</sup>。面对这种情况，有必要进行铁路通信网络传输延迟控制。

耿文凤<sup>[4]</sup>提出了一种基于功率控制协议的延迟控制方法，该方法通过自适应调整数据包传输功率来降低传输延迟，提高传输效率。张友鹏<sup>[5]</sup>等人为了解决铁路时间同步网中上/下行链路延迟不一致的情况，利用改进实时计算数据包排队延迟算法来实现对传输延迟的补偿设计。该方法以铁路时间同步网时钟模型为基础，然后通过计算线性时钟频差的方式改进数据包排队延迟算法，在求解出排队延迟最小数据包后，估算排队延迟并将其导入到时钟模型中，得到新的时钟偏差估计方式，以此为依据制定补偿方案，可以实现对延迟量的控制。

前人研究虽然在一定程度上取得了延迟控制目的，但是延迟控制一般缺乏全面的参考，使时延与实际情况总是存在较大差距。面对这种情况，研究一种基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制方法（简称控制方法）。通过该研究以期提高铁路通信网络传输信息效率。

## 2 铁路通信网络传输延迟控制模型设计

通信网络在铁路运营方面起到重要的作用，关系到铁路的启停、调度等。一旦通信网络出现严重延迟，信息传递就会受到影响，耽误了指令的执行，影响铁路运营的安全性和稳定性<sup>[6]</sup>。面对这种情况，研究一种铁路通信网络传输延迟控制方法。该方法

分为3部分，即通信网络传输延迟数据采集、通信网络传输延迟预测以及通信网络传输延迟控制。下面针对这3个方面进行具体分析。

### 2.1 通信网络传输延迟数据采集

铁路通信网络传输延迟一般由4部分组成，由此构建出通信网络传输时延模型<sup>[7]</sup>。模型表达式如公式(1)所示。

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (1)$$

公式(1)中， $T$ 代表通信网络传输总时延； $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ 分别代表发送、传播、处理、排队等4个部分的延迟。

在通信网络传输时延预测中，需要以延迟数据为基础，因此利用TCN网络分析仪抓取的通信网络延迟数据，具体过程如图1所示。

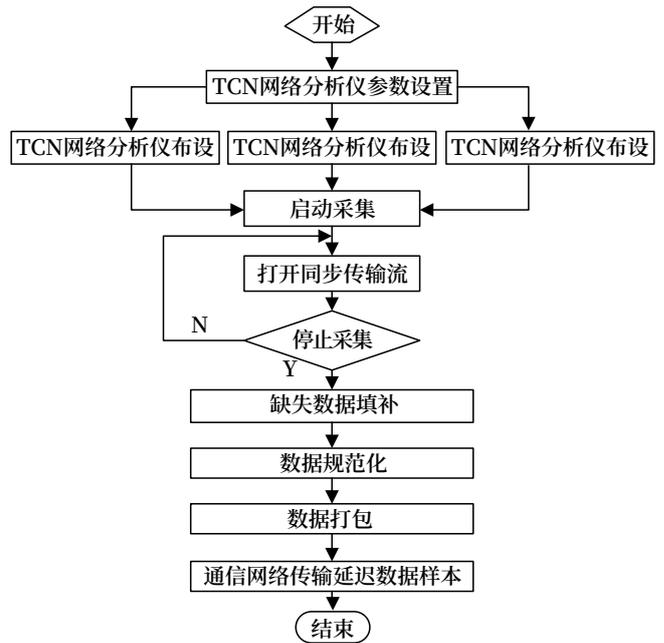


图1 通信网络延迟数据采集流程  
Fig.1 Flowchart of delay data acquisition in a communication network

在完成通信延迟数据采集之后，为保证数据样本的完整性和全面性，需要对延迟数据进行缺失填补和规范化处理<sup>[8]</sup>。

#### 1) 缺失数据填补

通信延迟数据在采集过程中受到采集设备以及采集环境的影响，会存在个别缺失的情况，为此需要进行缺失数据填补<sup>[9]</sup>。具体过程如下。

步骤 1：通过历史数据计算历史通信延迟数据之间的相关因子  $R$ 。

步骤 2：列出缺失序列。

步骤 3：利用时间序列法得到拟合值，记为  $S_1$ 。

步骤 4：找到与缺失序列相关性最高维度的时序数列。

步骤 5：利用相关维度数据预测得到拟合值，记为  $S_2$ 。

步骤 6：通过相关因子计算相关权重，计算如公式 (2) 所示。

$$\begin{cases} w_1 = \frac{R}{2} \\ w_2 = \frac{2-R}{2} \end{cases} \quad (2)$$

公式 (2) 中， $w_1$ 、 $w_2$  代表  $S_1$ 、 $S_2$  对应的权重。

步骤 7：通过权重计算最终拟合值，记为  $S_3$ ，如公式 (3) 所示。

$$S_3 = w_1 S_1 + w_2 S_2 \quad (3)$$

步骤 8： $S_3$  就是缺失值。

## 2) 数据规范化

数据规范化即让通信网络延迟数据具备统一标准。数据规范化计算如公式 (4) 所示。

$$\hat{S} = \frac{S - \bar{S}}{\Delta S} \quad (4)$$

公式 (4) 中， $\hat{S}$  代表规范化后的通信网络延迟数据； $S$  代表原始延迟数据； $\bar{S}$  代表延迟数据平均值； $\Delta S$  代表延迟数据的标准差。

基于上述采集并整理好的通信网络传输延迟数据组成研究样本。

## 2.2 基于神经网络的通信网络传输延迟预测

随着时间的推移，传输延迟会逐渐累积，导致延迟越来越严重<sup>[10]</sup>。为实现对下一刻延迟的控制，事先明确当前时刻通信网络传输延迟十分重要。为此，利用神经网络预测通信网络传输延迟。预测过程以采集到的通信网络传输延迟数据样本为输入，得出预测值<sup>[11]</sup>。预测过程分为两部分，分别为前期的神经网络模型训练和后期的预测测试。通过训练可以建立成熟的预测模型，具体过程如下。

步骤 1：初始化，确定神经网络结构参数、最大允许误差以及学习速率。

步骤 2：为基于神经网络的预测模型随机赋予权值和阈值。

步骤 3：将通信网络传输延迟数据训练样本  $P = \{p_1, p_2 \cdots p_m\}$  和期望输出  $Q = \{q_1, q_2, \cdots, q_n\}$  输入到神经网络当中。

步骤 4：计算隐含层输出。计算如公式 (5) 所示。

$$\eta_j(l) = f(\sum_{i=1}^{n_l} w_{ij} g_j(l) - b_{ij}) \quad (5)$$

公式 (5) 中， $\eta_j(l)$  代表第  $l$  层隐含层第  $j$  个神经元的输出； $w_{ij}$  代表输入层和隐含层之间的连接权值； $g_j(l)$  代表第  $l$  层隐含层第  $j$  个神经元输入的通信网络传输延迟数据样本； $b_{ij}$  代表隐含层与输入层连接阈值； $n_l$  代表第  $l$  层隐含层神经元数量； $l$  代表层编号； $f$  代表激励函数<sup>[12]</sup>。

步骤 5：计算输出层输出，如公式 (6) 所示。

$$\mu_k(l) = f(\sum_{i=1}^{m_l} w_{jk} \eta_j(l) - b_{jk}) \quad (6)$$

公式 (6) 中， $\mu_k(l)$  代表第  $l$  层输出层第  $k$  个神经元的输出； $w_{jk}$  代表隐含层和输出层之间的连接权值； $b_{jk}$  代表隐含层与输入层连接阈值； $m_l$  代表第  $l$  层输出层神经元数量。

步骤 6：计算  $\mu = \{\mu_1, \mu_2 \cdots \mu_n\}$  和  $Q = \{q_1, q_2 \cdots q_n\}$  之间的误差，如公式 (7) 所示。

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{m_l} (q_i - \mu_i)^2}{2} \quad (7)$$

公式 (7) 中， $c$  代表误差； $\mu_i$  代表第  $i$  个输出层神经元的实际输出。

步骤 7：判断误差  $c$  是否小于设定的最大允许误差，若是，终止训练程序，完成基于神经网络的通信网络传输延迟预测模型的训练；否则，更新权值和阈值<sup>[13]</sup>。

步骤 8：通过训练完成的预测模型实现传输延迟预测。

基于上述流程完成基于神经网络的通信网络传输延迟预测。

### 2.3 通信网络传输延迟控制

基于上述研究基础，结合PID控制器实现通信网络传输延迟控制<sup>[14]</sup>。控制模型如图2所示。

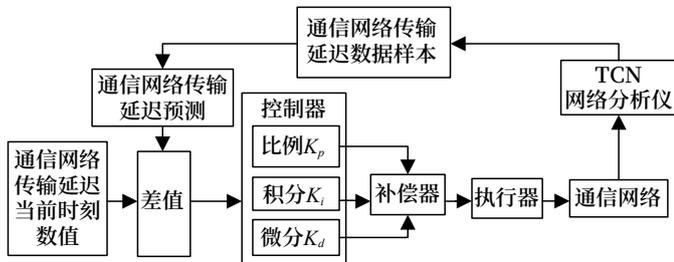


图2 通信网络传输延迟控制

Fig.2 Transmission delay control in the communication network

该控制模型应用过程如下。

步骤1：输入基于神经网络预测的通信网络传输延迟数值。

步骤2：计算当前时刻与预测时刻之间的延迟差值，计算如公式(8)所示。

$$\Delta H = \| H(t) - H(t + 1) \| \quad (8)$$

公式(8)中， $\Delta H$ 代表延迟差值； $H(t)$ 代表 $t$ 时刻的通信网络传输延迟数值； $H(t + 1)$ 代表 $t + 1$ 时刻的通信网络传输延迟数值，也就是预测出的下一刻的传输延迟数值。

步骤3：将 $\Delta H$ 输入到PID控制当中，通过3个子控制器计算通信网络控制量，计算如公式(9)所示。

$$\begin{cases} G_1(t) = K_p \Delta H \\ G_2(t) = \frac{1}{T_i} \int \Delta H dt \\ G_3(t) = T_d \frac{d\Delta H}{dt} \end{cases} \quad (9)$$

由此得出总控制量计算的公式，如公式(10)所示。

$$y(t) = G_1(t) + G_2(t) + G_3(t) \quad (10)$$

公式(9)、(10)中， $y(t)$ 代表 $t$ 时刻的延迟控制量； $K_p$ 代表比例系数； $G_1(t)$ 、 $G_2(t)$ 、 $G_3(t)$ 代表 $t$ 时刻 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 等3个子控制器的输出； $T_i$ 代表积分时间常数； $T_d$ 代表微分时间常数。

步骤4：基于控制量，输入到延迟补偿器当中，

实现铁路通信网络传输延迟控制<sup>[15]</sup>。延迟补偿器模型如公式(11)所示。

$$F(t) = \psi(k \cdot y(t) + \Delta t/L) \quad (11)$$

公式(11)中， $F(t)$ 代表延迟补偿器模型； $\psi$ 代表延迟补偿系数； $k$ 代表通信信号衰减因子； $\Delta t$ 代表铁路通信网络传输间隔； $L$ 代表数据包传输队列长度<sup>[16]</sup>。

经过上述过程，完成基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制研究。

### 3 控制方法应用测试

为测试控制方法在铁路通信网络传输延迟控制中的应用效果，以基于功率控制协议的控制方法、基于延迟补偿的控制方法为对比项，进行实例测试。

#### 3.1 通信网络传输延迟数据样本

基于TCN网络分析仪采集铁路通信网络传输延迟数据，并组成数据训练和测试样本。其中部分样本如表1所示。

表1 部分通信网络传输延迟数据样本

Tab.1 Samples of transmission delay data in the communication network

| 时间/s | 发送延迟/s | 传播延迟/s | 处理延迟/s | 排队延迟/s |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 1    | 0.21   | 0.12   | 0.05   | 0.54   |
| 2    | 0.24   | 0.14   | 0.08   | 0.57   |
| 3    | 0.26   | 0.16   | 0.10   | 0.58   |
| 4    | 0.28   | 0.18   | 0.12   | 0.60   |
| 5    | 0.30   | 0.20   | 0.14   | 0.62   |
| 6    | 0.31   | 0.21   | 0.15   | 0.63   |
| 7    | 0.34   | 0.25   | 0.17   | 0.65   |
| 8    | 0.35   | 0.26   | 0.19   | 0.67   |
| 9    | 0.38   | 0.27   | 0.20   | 0.68   |
| 10   | 0.39   | 0.30   | 0.24   | 0.70   |
| 11   | 0.42   | 0.31   | 0.25   | 0.71   |
| 12   | 0.44   | 0.34   | 0.27   | 0.72   |
| 13   | 0.45   | 0.36   | 0.28   | 0.76   |
| 14   | 0.47   | 0.38   | 0.30   | 0.77   |
| 15   | 0.50   | 0.39   | 0.33   | 0.78   |
| 16   | 0.54   | 0.42   | 0.35   | 0.79   |
| 17   | 0.58   | 0.44   | 0.38   | 0.82   |
| 18   | 0.61   | 0.47   | 0.40   | 0.87   |
| 19   | 0.67   | 0.48   | 0.44   | 0.90   |
| 20   | 0.68   | 0.50   | 0.47   | 0.95   |

### 3.2 基于神经网络的传输延迟模型训练

神经网络预测模型的初始参数如下：神经网络结构参数为 4/36/1；最大允许误差为 0.001；学习速率为 0.25；各层连接为 0.14、0.32；各层连接阈值为 0.036、0.44；最大迭代次数为 100。在上述初始参数设置下，结合表 1 训练样本，进行基于神经网络的传输延迟预测模型训练。结果如图 3 所示。

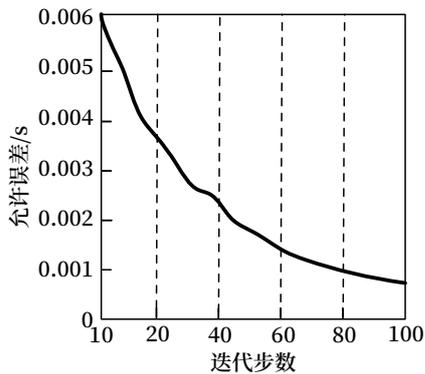


图3 基于神经网络的传输延迟预测模型训练  
Fig.3 Training of the model of predicting transmission delays based on a neural network

从图 3 中可以看出，在迭代步数为 86 时，基于神经网络的传输延迟预测模型的误差小于 0.001，完成训练，可以用于实际延迟控制中。

### 3.3 延迟控制结果

基于 2.3 节的研究，计算通信网络传输延迟控制量和延迟补偿量，结果如图 4 所示。

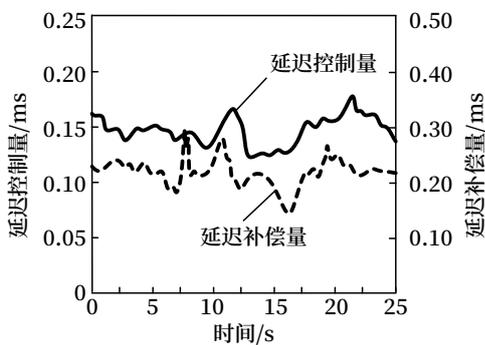


图4 通信网络传输延迟控制量和延迟补偿量  
Fig.4 Delay control quantity and delay compensation quantity for transmission in the communication network

### 3.4 延迟控制结果

在相同测试条件下，利用基于功率控制协议的控制方法、基于延迟补偿的控制方法进行传输控制，

然后对比控制结果，即延迟时间以及通信链路速率，以此判断控制方法性能。结果如图 5、6 所示。

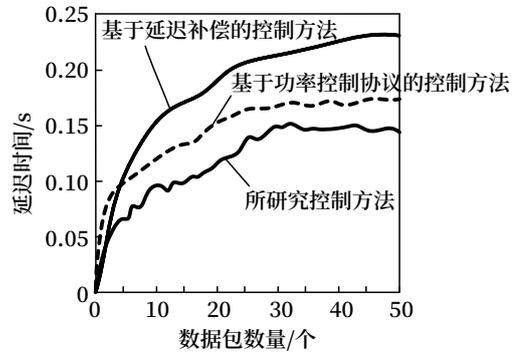


图5 延迟时间  
Fig.5 Delay time

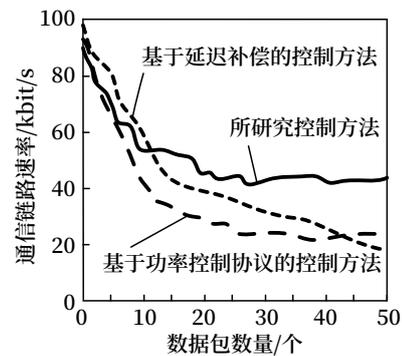


图6 通信链路速率  
Fig.6 Communication link rate

从图 5、6 中可以看出，与基于功率控制协议的控制方法、基于延迟补偿的控制方法相比，控制方法应用后，延迟时间更短，通信链路速率更高，由此证明了控制方法的有效性。

## 4 结束语

提出一种基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制方法，控制方法通过神经网络进行延迟预测，通过预测结果得出延迟控制量和延迟补偿量，实现传输延迟控制。最后，通过实例证明应用控制方法，传输延迟时间有所缩短，通信链路速率提高，证明了控制方法的有效性。然而，本研究仍有需要改进的地方，即控制方法并没有将延迟丢包问题考虑在内，还需要进一步扩展和深入。

参考文献

- [1] 王首婧. 基于 GSM-R 的通信模组管理平台的设计与研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 37-40, 50.  
Wang Shoujing. Design and Research on Communication Module Management Platform Based on GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 37-40, 50.
- [2] 司静. 高速铁路通信信号系统联调联试标准化 管理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 85-90.  
Si Jing. Standardization Management of Integrated Commissioning and Testing for High-Speed Railway Signaling and Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 85-90.
- [3] 张人杰, 胡超, 刘威. 空间延迟容忍网络中多 链路数据拥塞控制算法 [J]. 吉林大学学报 (工 学版), 2020, 50 (4): 1472-1477.  
Zhang Renjie, Hu Chao, Liu Wei. Multi-Link Data Congestion Control Algorithm in Spatial Delay Tolerance Network[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2020, 50(4): 1472-1477.
- [4] 耿文凤. 水声通信网络超低传输延迟控制方法 研究 [J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42 (10): 224-229.  
Geng Wenfeng. Study on Ultra Low Transmission Delay Control Method in Underwater Acoustic Communication Network[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2021, 42(10): 224-229.
- [5] 张友鹏, 曹建荣, 兰丽. 铁路时间同步网延 迟不对称补偿方案 [J]. 激光与光电子学进展, 2021 (7): 139-148.  
Zhang Youpeng, Cao Jianrong, Lan Li. Delay Asymmetry Compensation Scheme of Railway Time Synchronization Network[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021(7): 139-148.
- [6] 张翠芳, 姬楠楠. 基于模糊矩阵的多线程网络 通信延迟检测技术研究 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (27): 11198-11203.  
Zhang Cuifang, Ji Nannan. Research on Multithreading Network Communication Delay Detection Technology Based on Fuzzy Matrix[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(27): 11198-11203.
- [7] 谢尚威, 华蓓. 虚拟机环境下 MPI/RDMA 库的 通信优化 [J]. 小型微型计算机系统, 2021, 42 (7): 1505-1510.  
Xie Shangwei, Hua Bei. Optimizing MPI/RDMA Library in Virtual Machine Environments[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2021, 42(7): 1505-1510.
- [8] 董宁, 孙强. 基于 OTN 交换技术的铁路光传输 网络效率分析 [J]. 铁道学报, 2020, 42 (2): 73-78.  
Dong Ning, Sun Qiang. Efficiency Analysis of Railway Optical Transmission Network Based on OTN Switching[J]. Journal of the China Railway Society, 2020, 42(2): 73-78.
- [9] 张磊, 纪春华, 王旭蕊, 等. 基于最小路径选 择度的电力通信网络路由优化策略研究 [J]. 电 力系统保护与控制, 2022, 50 (1): 141-147.  
Zhang Lei, Ji Chunhua, Wang Xurui, et al. A Routing Optimization Strategy for an Electric Power Communication Network Based on the Minimum Path Selectivity Degree[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(1): 141-147.
- [10] 董广民. 煤矿机电监控系统异常信号传输延迟 消除方法 [J]. 工矿自动化, 2020, 46 (2): 107-110.  
Dong Guangmin. Transmission Delay Elimination Method of Abnormal Signal in Coal Mine Electromechanical Monitoring System[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(2): 107-110.
- [11] 陈维兴, 苏景芳, 赵卉. 基于博弈的机坪感知 网络机会传输控制方法 [J]. 北京邮电大学学 报, 2020, 43 (5): 57-63.

- Chen Weixing, Su Jingfang, Zhao Hui. Opportunistic Transmission Control Method for Apron Sensing Network Based on Game Theory[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2020, 43(5): 57-63.
- [12] 王龙, 孙瑞娟. 基于能量均衡-延迟削弱机制的无线传感网稳定传输算法 [J]. 计算机工程与设计, 2021, 42 (2): 336-342.  
Wang Long, Sun Ruijuan. Stable Transmission Scheme of Wireless Sensor Network Based on Energy Balance Delay Weakening Mechanism[J]. Computer Engineering and Design, 2021, 42(2): 336-342.
- [13] 徐九韵, 孙珊. 物联网异构融合数据延迟保护传输策略 [J]. 微电子学与计算机, 2021, 38 (7): 42-47.  
Xu Jiuyun, Sun Shan. Delay-Guaranteed Transmission Strategy for Heterogeneous Fusion Data in the Internet of Things[J]. Microelectronics & Computer, 2021, 38(7): 42-47.
- [14] 杨劲赫, 李峭, 左沅君, 等. 基于优先级赤字轮询调度的WAIC网络延迟分析 [J]. 北京航空航天大学学报, 2021, 47 (9): 1849-1856.  
Yang Jinhe, Li Qiao, Zuo Yuanjun, et al. Delay Analysis of WAIC Network Based on Priority-Deficit round Robin Scheduling[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2021, 47(9): 1849-1856.
- [15] 朱亮亮, 汤宝平, 黄艺, 等. 机械振动无线传感器网络大量数据传输发射功率优化控制方法 [J]. 振动与冲击, 2020, 39 (17): 275-280.  
Zhu Liangliang, Tang Baoping, Huang Yi, et al. Transmit Power Optimization Control Method for a Mechanical Vibration Wireless Sensor Network with a Lot of Transmission Data[J]. Journal of Vibration and Shock, 2020, 39(17): 275-280.
- [16] 尹煌飞, 程博, 郭桂芳, 等. MCR-WPT系统传输特性研究及传输效率优化 [J]. 电力电子技术, 2021, 55 (10): 117-120.  
Yin Huangfei, Cheng Bo, Guo Guifang, et al. Research on Transmission Characteristics of MCR-WPT System and Optimization of Transmission Efficiency[J]. Power Electronics, 2021, 55(10): 117-120.
- \*\*\*\*\*
- (上接 23页)
- [4] 曹召东, 刘攀, 孔凡景. 压力传感器检测装置: CN 200910215678 [P]. 2010-07-14.
- [5] 施教芳, 陈传虎, 王俭. 一种实用的压力传感器测量电路 [J]. 电子工程师, 2002, 28 (9): 26-27.  
Shi Jiaofang, Chen Chuanhu, Wang Jian. A Practical Transducer Circuit for Pressure Measuring[J]. Electronic Engineer, 2002, 28(9): 26-27.
- [6] 田秀臣, 冷盛翔, 李晓伟. 用于客车列尾装置的电磁阀: CN102556108B [P]. 2015-05-13.
- [7] 杨书铭. 关于列尾风压检测算法的研究 [J]. 中国科技投资, 2019 (7): 282.
- [8] 苏京, 王激, 苏楠. 一种双模列尾主机的检测设备: CN208043430U [P]. 2018-11-02.
- [9] 范楷, 张淼, 滕达, 等. 基于北斗卫星的列车完整性检查技术方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 23-27.  
Fan Kai, Zhang Miao, Teng Da, et al. Research on Technical Scheme of Train Integrity Inspection Based on Beidou Satellite[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 23-27.
- [10] 邹开凤, 陈友龙. 高速电磁阀响应特性的研究 [J]. 海军航空工程学院学报, 2005 (6): 671-672, 675.  
Zou Kaifeng, Chen Youlong. Study of Response Trait of High-Speed Solenoid Valve[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2005(6): 671-672, 675.

# GSM-R线路交叉区域异常占用引起 CTCS-3降级分析与优化

赵寅龙

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200080)

**摘要:** 对于合福高铁下行列车多次发生CTCS-3通信超时并导致降级的问题进行逐步排查, 发现故障发生于线路交叉区域, 查看降级车次CTCS-3接口监测数据与动检车测试数据, 并结合GSM-R系统小区切换原理深入分析, 判断故障是空闲模式下异常占用非合福高铁基站导致。针对该情况, 对线路交叉区域内基站发射功率和天馈角度等进行调整。测试结果显示, 网络优化后此区域内合福高铁基站电平值明显高于邻线, 能够有效避免再次因异常占用问题导致降级故障发生。

**关键词:** GSM-R; CTCS-3; 交叉并线; 网络优化; 合福高铁; 异常占用

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0040-06

## Analysis and Optimization of CTCS-3 Degradation Faults Caused by Abnormal Occupancy in GSM-R Line Crossing Area

Zhao Yinlong

(Shanghai Communication Division, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200080, China)

**Abstract:** Down-direction trains on Hefei-Fuzhou High-speed Railway experienced CTCS-3 communication timeout for many times which resulted in degradation. A step-by-step investigation reveals that such faults occurred in the crossing area of the lines. The monitoring data of CTCS-3 interfaces and the test data of inspection trains regarding the degraded trains are checked, and an in-depth analysis is conducted based on the cell handover principle of GSM-R system. It is determined that the faults are caused by abnormal occupancy of a base station in idle mode that does not belong to Hefei-Fuzhou High-speed Railway. In view of this situation, the transmitting power and the angles of antenna feed lines of the base stations in the crossing area of the railway lines are adjusted. The test results show that after network optimization, the value of the electrical level of the base station of Hefei-Fuzhou High-speed Railway in this area is significantly higher than that of adjacent lines, which can effectively avoid the occurrence of degradation failures caused by abnormal occupancy.

**Keywords:** GSM-R; CTCS-3; crossing and shared sections; network optimization; Hefei-Fuzhou High-speed Railway; abnormal occupancy

收稿日期: 2022-10-22; 修回日期: 2023-01-10

作者简介: 赵寅龙(1985—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信, 邮箱: 13816092532@139.com。

合福高铁是一条连接安徽省合肥市与福建省福州市的高速铁路。作为连通安徽到福建沿海地区的一条大能力客运通道，合福高铁有“最美高铁”美誉，是国内路网八纵八横规划中京港台通道的重要组成部分，线路全长 850 km，设 24 个车站，其中上海铁路局管内安徽段里程约 340 km。

合福高铁全线采用 GSM-R 系统，为 CTCS-3（C3 级）列车控制信息传输等功能的实现提供通信支持。GSM-R 系统总体稳定可靠，但受限于铁路沿线环境日趋复杂，部分线路交叉、并线和交汇等特殊区域容易网络工作异常，导致 C3 通信超时、降级等情况发生，从而影响高铁列车的正常运行。因此，解决线路交叉特殊区域网络问题是 GSM-R 网络优化的重点工作，为行车安全控制提供有力保障具有重要意义。

## 1 合福高铁降级故障案例

### 1.1 问题描述

合福高铁下行方向多次出现 C3 通信超时情况，通信超时严重时会引起 C3 降级发生，从而影响高铁列车行车安全和效率。调取故障阶段的 C3 接口监测系统数据，发现超时情况发生时存在 Abis 口、A 口数据缺失，仅有 PRI 口数据的现象。经与 C3

接口监测厂家确认，此现象证明数据缺失期间有通信，因此初步判断为终端占用非合福高铁基站，之后无法切换回本线导致掉话，进而发生降级。

### 1.2 问题排查

分析话统数据：合芜线 ZhongHan 基站存在掉话情况，且掉话时间与超时时间相符。

查看线路地图：合福高铁线与合芜线存在交叉区域，此范围内两线路均有多个基站部署，合芜线 ZhongHan 基站位于此交叉区域，如图 1 所示。

分析 C3 接口监测数据：降级情况发生于 RBC 交权区。正常车次 MT1 在合福高铁线 CLH-CHD10 基站通信结束，MT2 在 CLH-CHD08 基站起呼；降级车次 MT1 在 CLH-CHD10 基站通信结束，且 MT2 起呼的 Abis 口、A 口数据缺失。根据 Abis 口、A 口无数据而 PRI 口有数据的现象，表示数据缺失期间有通信，结合线路地图分析，考虑通话可能与异常占用合芜线基站有关。

## 2 故障原因分析

### 2.1 分析异常占用邻线基站可能性

在交叉区域，合福高铁基站与合芜线基站无邻区关系，正常情况下在此区域 MT2 不会切换或重选至合芜线基站。



图1 合福线与合芜线存在交叉区域

Fig.1 Existing crossing area of Hefei-Fuzhou High-speed Railway and Hefei-Wuhu Railway

合福基站、合福 BSC 均无异常告警，且 MT1 在该区段正常通信，排除合福基站硬件故障导致 MT2 异常占用合芜线基站。

核查 HeFeiNan 至 CLH-CHD10 基站，未发现合芜线与合福高铁存在基站的 BCCH 相同的情况，排除从合福高铁基站重选至合芜线基站。

查看线路地图：合福高铁线在合肥南附近存在交叉区域，如图 2 所示。合福高铁由 HeFeiNan 基站出站下行方向在 HFN-CLH01A/B 基站附近存在

分叉，其中合福高铁由 HFN-CLH01A/B 基站切换至 HFN-CLH02 基站，而合肥南环线由 HFN-CLH01A/B 基站切换至 FD-HFN02 基站，随后由南环线转合芜线。

考虑合福高铁线与合肥南环线、合芜线存在交叉区域情况，初步怀疑降级车次 MT2（空闲态）由 HFN-CLH01A 基站重选至 FD-HFN02 基站，随后占用合芜线基站，当列车经过 CLH-CHD08 附近的地面应答器时，触发 MT2 在合芜线基站起呼。



图2 合福线与南环线、合芜线存在交叉区域

Fig.2 Existing crossing area of Hefei-Fuzhou High-speed Railway, the south loop and Hefei-Wuhu Railway

## 2.2 监测数据分析

分析 Abis 口数据：查看降级车次 C3 接口监测数据，发现 HFN-CLH01A 基站切换至 HFN-

CLH02 基站前，合福高铁线 HFN-CLH02 基站的电平值较合肥南环线 FD-HFN02 基站强 10 dBm 左右，如图 3 所示。

| 时间       | 基站 ID     | 信号强度 (dBm) | 其他参数 |
|----------|-----------|------------|------|
| 11:23:01 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:02 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:03 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:04 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:05 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:06 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:07 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:08 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:09 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:10 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:11 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:12 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:13 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:14 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:15 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:16 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:17 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:18 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:19 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:20 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:21 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:22 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:23 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:24 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:25 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:26 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:27 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:28 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:29 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:30 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:31 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:32 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:33 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:34 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:35 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:36 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:37 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:38 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:39 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:40 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:41 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:42 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:43 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:44 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:45 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:46 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:47 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:48 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:49 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:50 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:51 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:52 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:53 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:54 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:55 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:56 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:57 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:58 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:23:59 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |
| 11:24:00 | HFN-CLH02 | -85        | ...  |

图3 降级车次C3接口监测数据

Fig.3 Monitoring data of C3 interface of a degraded train

分析合福高铁中国国家铁路集团有限公司（以下简称国铁集团）动检车测试数据：降级车次占用 HFN-CLH01A 基站时，HFN-CLH02 基站的电平值

较 FD-HFN02 基站强 5 dBm 左右，如图 4 所示。

## 2.3 原理分析

GSM-R 即铁路数字移动通信系统，其建设初

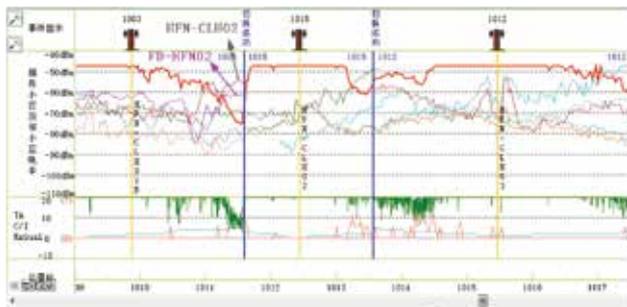


图4 降级车次动检车测试数据

Fig.4 Test data from a high-speed comprehensive inspection train regarding the degraded train

期规划对象一般是单独线路，规划环境比较简单且无线干扰较少。随着国内铁路八纵八横规划的建设以及既有线改造的快速进行，铁路无线专网面对的环境日趋复杂，特别是在铁路线路交叉、并线和交汇等特殊区域，当路线完全并行或相互跨越时，无线网络规划面临严重的无线覆盖、频率规划和业务实现等难题。

为了保障移动状态下列车通信服务的稳定性、连续性，GSM-R 基站在铁路沿线按接续覆盖线路规划建设，服务小区间采用切换的方式来满足车地间信息传送需求。当列车经过小区边缘区域，移动台测量当前无线子系统的下行链路质量以及从邻近小区接收电平的信号强度，基站监测每个被服务移动台的上行接收电平和质量，并将测量报告上报基站控制器。基站控制器根据基站传来的测量报告进行切换判决，对目标小区进行筛选后确定切换小区。小区切换时，移动台与目标小区之间建立新链路，目标小区分配一个新的信道，并命令移动台切换到新信道上继续提供服务，而用户和旧小区之间的链路连接会被删除和释放，以保证用户通话的连续性。在线路交叉区域，不同线路的基站覆盖范围可能相互重叠，当列车经过小区重叠区域且小区覆盖场强相近时，移动终端不能明显分辨出本线路和相邻线路覆盖小区，因此容易造成错切情况，使系统掉话率增高，严重时导致通信超时乃至降级故障发生，影响列车正常运行秩序。

对于高速运行的列车而言，通话情况下的小区切换由切换参数来进行控制，经查询相关线路设置，确认 HFN-CLH01A/B 基站至合福高铁

HFN-CLH02 基站的切换门限为 4 dBm，HFN-CLH01A/B 基站至南环线 FD-HFN02 基站的切换门限为 7 dBm，即通话情况下合福高铁下行列车较难切换至南环线 FD-HFN02 基站。

空闲模式下小区重选的定义为： $C2 = C1 + CRO$ ，其中  $C1 = \text{接收电平} - \text{最小接入电平}$ 。经核查，合福高铁 HFN-CLH02 基站与南环线 FD-HFN02 基站的最小接入电平与 CRO 参数设置一致，即在空闲模式下，仅比较电平值，MT2 会重选至合福高铁 HFN-CLH02 基站与南环线 FD-HFN02 基站中信号较强的小区；若南环线基站信号较强，则合福高铁下行列车会产生异常占用非合福高铁基站的情况，从而造成异常重选故障发生。

综上所述，该 C3 降级问题是由于空闲模式下异常占用合肥南环-合芜线基站导致。从 Abis 口监测数据（通话态 MT1 的数据）和国铁集团动检车测试数据分析，不满足合福高铁 HFN-CLH01A 基站向合肥南环线 FD-HFN02 基站重选的条件，但由于存在快衰落或终端接收性能差异，因此可能是在某个地点降级的模块接收电平较强导致异常重选。

### 3 优化调整方案

#### 3.1 故障应急处置

为验证列车终端从合福高铁 HFN-CLH01A 基站向合肥南环线 FD-HFN02 基站重选导致降级，并避免再次出现连续降级情况，临时调整了合肥南环线 FD-HFN02 基站的功率等级，由等级 3 降至等级 10（功率等级每降低 1，功率下降 2 dB）。

下调合肥南环线 FD-HFN02 基站的功率等级后，问题区域未再次出现降级情况。至此，可判断故障发生时合肥南环线 FD-HFN02 基站在合福高铁 HFN-CLH01A/B 至 HFN-CLH02 区段覆盖过强，导致列车空闲态 MT 重选至合肥南环线 HFN-CLH02 基站而造成降级发生。

#### 3.2 优化调整方案

GSM-R 网络中，基站异常占用主要是由于区域内基站天线角度不当、发射功率设置不当、切换参数设置不当等因素造成的。为避免后续该区段再次出现此问题，同时为恢复临时处置时调整的南环

线 FD-HFN02 基站功率，制定网络优化方案如下：

- 1) 调整南环线 FD-HFN02 基站天线：方位角 225°→235°，俯仰角 6°→8°；
- 2) 调整合福高铁 HFN-CLH01A/B 基站天线：方位角 140°→130°，待第一步实施后看情况决定是否实施；
- 3) 调整合福高铁 HFN-CLH02 基站天线：方位角 330°→325°，待后续国铁集团测试结束后再决定是否实施。

#### 4 网络优化效果

按照上述方案，调整南环线 FD-HFN02 基站天线方位角 225°→235°、俯仰角 6°→10°，同时，恢复南环线 FD-HFN02 基站功率等级 10→3，并将合福高铁 HFN-CLH01A 基站功率由 40 W 提升至 60 W。

对比实施前后合福高铁 HFN-CLH01A/B 至

HFN-CLH02 区段 Abis 口监测数据（如图 5、6 所示），优化调整后，合肥南环线 FD-HFN02 基站的电平值明显低于合福高铁 HFN-CLH02 基站的电平值，不会再次因重选问题导致降级。

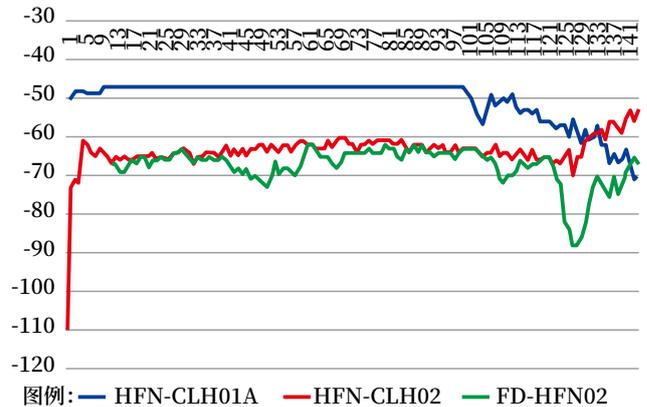


图5 优化调整前合福高铁HFN-CLH01A/B至 HFN-CLH02区段Abis口监测数据

Fig.5 Monitoring data of Abis port regarding the section from HFN-CLH01A/B to HFN-CLH02 of Hefei-Fuzhou High-speed Railway before optimization and adjustment

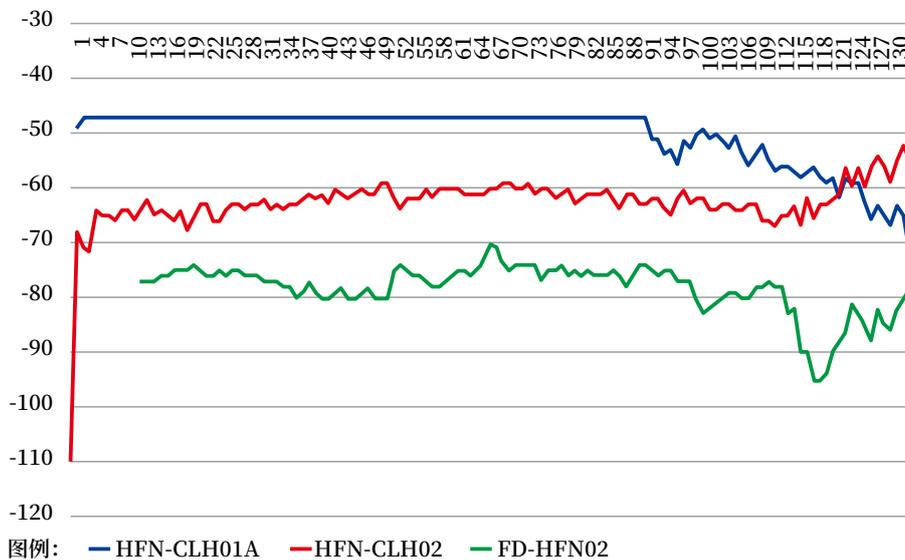


图6 优化调整后合福高铁HFN-CLH01A/B至HFN-CLH02区段Abis口监测数据

Fig.6 Monitoring data of Abis port regarding the section from HFN-CLH01A/B to HFN-CLH02 of Hefei-Fuzhou High-speed Railway after optimization and adjustment

#### 5 结语

随着铁路 GSM-R 网络的建设推进，铁路交叉、并线和交汇的情况越来越多，无线覆盖环境也越来越复杂，这些特殊区域的网络优化属于 GSM-R 网

络设计的重点和难点。在线路交叉区域，要对无线网络进行统筹规划，做好不同线路基站的覆盖及切换参数优化，具体可以通过合理设置天馈方位角、调整基站发射功率等方式控制覆盖区域，避免在线路交叉区段发生小区错切故障。同时，不仅要优化

通话模式下的小区切换情况,对空闲模式下的小区重选情况也要进行重点关注。

### 参考文献

- [1] 董丽. C3 列控系统通信超时及降级运用的分析与措施 [J]. 中国铁路, 2017 (12): 45-50.  
Dong Li. Fault Analysis and Corrective Measure for Communication Timeout and Downgrade Application in C3 Train Control System[J]. China Railway, 2017(12): 45-50.
- [2] 赵留俊. 铁路并线区域 GSM-R 网络规划与关键问题分析 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [3] 林德志. CTCS-3 级无线连接超时典型故障分析及措施 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (4): 51-56.  
Lin Dezhi. Typical Fault Analysis and Measures for CTCS-3 Level Wireless Connection Timeout[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(4): 51-56.
- [4] 刘威壮. 广湛高铁枢纽及交叉并线区段 GSM-R 网络规划研究 [J]. 中国铁路, 2021 (5): 131-136.  
Liu Weizhuang. Research on GSM-R Network Planning for Guangzhou-Zhanjiang HSR Terminal and Crossing and Shared Sections[J]. China Railway, 2021(5): 131-136.
- [5] 梁冠民, 王志强, 王超. 基于复杂线路条件下 GSM-R 网络优化的研究 [J]. 铁道运营技术, 2022, 28 (1): 39-41.  
Liang Guanmin, Wang Zhiqiang, Wang Chao. Optimization of GSM-R Networks under Complex Railway Lines[J]. Railway Operation Technology, 2022, 28(1): 39-41.
- [6] 代小虎. GSM-R 同址双基站异常切换原因分析及其优化方案 [J]. 铁路技术创新, 2020 (2): 62-67.  
Dai Xiaohu. Cause Analysis and Optimization Scheme for Abnormal Handover of GSM-R Same-Site Double Base Stations[J]. Railway Technical Innovation, 2020(2): 62-67.
- [7] 胡田立. GSM-R 网络乒乓切换优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (12): 100-104.  
Hu Tianli. Optimization of Ping-Pong Switching in GSM-R Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(12): 100-104.
- [8] 焦晓辉. 铁路特殊区域 GSM-R 无线覆盖典型案例分折 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (8): 72-75.  
Jiao Xiaohui. Typical Case Analysis of GSM-R Wireless Network Coverage in Special Railway Areas[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(8): 72-75.
- [9] 陶余永. 高铁 CTCS-3 降级典型故障案例分析及优化措施 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (7): 25-29.  
Tao Yuyong. Analysis of Typical Failure Cases and Optimization Measures for CTCS-3 Downgrading of High Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 25-29.
- [10] 王颖, 赵京京. 铁路信号安全数据网网络安全整体解决方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 72-76.  
Wang Ying, Zhao Jingjing. Research on Network Security System Solution of Railway Signaling Safety Data Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 72-76.

\*\*\*\*\*

(上接 27页)

Huang Yaqian. Standardization Development of Signaling and Communication Equipment and System for Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 112-115.

[10] 王颖, 赵京京. 铁路信号安全数据网网络安全

# 基于SRv6的铁路承载网隧道技术研究

高源, 邱萍

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 为更好满足铁路 5G 专用移动通信 (5G-R)、数据中心高速互联和云网融合等智慧铁路新型应用需求, 对面向铁路承载网的隧道技术进行研究, 聚焦铁路应用场景, 结合 SRv6 技术特点和优势, 提出基于 SRv6-TE Policy 隧道和 SRv6-BE 隧道的铁路承载场景部署方案并验证分析, 给出关于铁路承载网的 SRv6 应用部署方案建议。

**关键词:** 铁路; 承载网; 隧道技术; 技术发展

中图分类号: U285.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0046-06

## Research and Application of Railway Bearer Network Tunneling Technology Based on SRv6

Gao Yuan, Qiu Ping

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

**Abstract:** In order to better meet the new application requirements of smart railways such as next-generation railway mobile communication 5G-R network, data center high-speed interconnection and cloud network convergence, this paper studies the tunneling technology facing the railway bearer network, focuses on the railway application scenarios, takes into consideration the characteristics and advantages of SRv6 technology to put forward the railway bearer scenario deployment schemes based on SRv6-TE Policy tunnel and SRv6-BE tunnel, verifies and analyzes these schemes, and makes suggestions on SRv6 application deployment schemes of railway bearer network.

**Keywords:** railway; bearer network; tunneling technology; technology evolution

### 1 概述

随着智慧铁路云网融合、铁路 5G 专用移动通信 (5G-R)、铁路大数据中心、云计算平台建设的

赋能发展和创新驱动, 对于铁路承载网的应用质量保障、灵活跨域互通和动态扩展能力等智能服务能力提出了更高要求。

由于传统隧道技术存在协议种类繁多、跨域部署困难、业务管理零散、可扩展性较差等问题, 影响网络中业务的敏捷高效部署和灵活多域连接, 无法满足新一代铁路通信承载网络“赋能赋智”的要求。在保障承载业务隔离和差异化服务的基础上, 简化网络协议类型, 优化网络配置部署, 降低网络

收稿日期: 2021-12-28; 修回日期: 2022-11-29

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目 (SY2021G001)

第一作者: 高源 (1996—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 云网融合、通信承载网技术、光通信与数据通信, 邮箱: gaoyuan@crscd.com.cn。

运维难度等核心诉求成为了现网中的主要锚点，迫切需要解决。

SRv6 隧道技术通过融合可编程能力，可根据业务的需求灵活编排网络功能、区分业务类型和使能行为动作，并由 IPv6 替代 MPLS 作为数据平面实现基于简洁 Native IPv6 的地址转发和集中控制，打通网间壁垒，赋能云网协同。

本文基于 SRv6 隧道技术，根据铁路承载网的隧道隔离需求和组网模式，对基于 SRv6 的铁路承载网隧道技术进行研究并结合应用部署方案进一步分析，探究相关应用的解决方案并给出部署建议。

## 2 隧道技术需求

隧道技术主要满足以下几个方面的需求。

### 1) 差异化服务的需求

根据业务的使用场景，不同类型的业务在带宽、时延、优先级、可靠性等方面存在巨大差异。结合业务特性，需具备根据不同的服务质量保障需求来多维度的创建、划分承载通道，按需分配并合理复用网络资源的能力，实现复杂场景统一简单化承载。

### 2) 业务隔离的需求

铁路承载网的承载业务可划分为涉及行车相关的业务和普通生产相关的业务，二者间需要通过合理的隔离手段来保证可靠性和安全性。其中生产相关业务也存在不同专业间业务隔离不互通的管理需求，避免业务之间的网络资源抢占和共用。

### 3) 可靠且快速开通的需求

基于态势感知的智能运维发展，铁路各专业需求在不干扰既有业务的同时并行实现及时准确、可靠无感的业务快速开通。

## 3 承载网隧道技术介绍

### 3.1 主流隧道技术

主流隧道技术可以区分为两大类：传统隧道技术和新一代隧道技术。传统隧道技术主要包括基于 LDP 的 MPLS 和 SR-MPLS，新一代隧道技术为 SRv6。其中基于 LDP 的 MPLS 包括 MPLS VPN，

SR-MPLS 包括 SR-BE、SR-TE 和 SR-TP，SRv6 则包括 SRv6-TE Policy 和 SRv6-BE。

### 3.2 隧道技术对比

#### 1) 基于 LDP 的 MPLS

基于 LDP 的 MPLS 隧道主要是采用 MPLS VPN 的隧道部署方案，数据平面基于 MPLS 标签进行转发，控制层面结合 LDP 和 MP-BGP 协议分配公网和私网标签，从而实现标签转发路径的建立，以及不同业务间承载隧道的隔离和控制访问。

基于 LDP 协议的 MPLS VPN 在多种业务共同承载的场景下，网络中会同时存在 LDP、RSVP、IGP、BGP 等控制平面的协议，协议的种类繁多造成业务部署难度大和运维管理复杂的现象。基于 LDP 的 MPLS 为实现流量工程需要结合 RSVP-TE 协议使能实现全网链路信息的收集，由于大量维护连接状态的协议报文存在，所带来的网络资源占用和节点的性能压力会影响业务传递效益。

#### 2) SR-MPLS

SR-MPLS 隧道主要包括 SR-BE、SR-TE 和 SR-TP 场景的隧道部署方案，数据平面基于 MPLS 标签进行转发，控制层进行了简化，用于业务转发的标签直接通过扩展 IGP 的 SR 属性实现，通过 IGP 协议报文传递和通告 SID 段标识，域内路由可达的所有节点可对应生成各节点的本地 SID 转发表项。

SR-BE 隧道部署是通过 IGP 最短路径算法形成最优 SR LSP，IGP 收敛结束，隧道同步建立完毕。对于 SR LSP，主要基于前缀标签创建，目的节点通过 IGP 协议发布 Prefix SID，中间转发节点解析 Prefix SID，并根据本地 SRGB 计算出指导转发的标签，关联计算出的下一跳及出标签指导数据报文转发。

SR-TE 隧道部署不同于 SR-BE 的 LSP 动态协议建立方式，SR-TE 的隧道建立可分为两种静态建立方式。第一种建立方式为静态手工配置显示路径创建 SR-TE 隧道。第二种建立方式为控制器基于 MPLS-TE 的隧道约束属性，通过路径计算单元 (Path Computation Element, PCE) 计算路径，

将整条 LSP 传递链路的邻接标签、粘连标签等按序生成标签栈，由 PCEP 协议实现统一集中的将路径标签等详细配置下发至网元节点，并上报 LSP 状态。

SR-TP 隧道部署是在 SR-TE 隧道的基础之上增加一层端到端标识业务流的标签 Path SID，基于 Path SID 实现 OAM 和 APS 等端到端运维能力及保护倒换能力。其补强了 SR-TE 隧道使用邻接标签仅能标识业务转发路径而不能标识端到端业务，导致端到端运维能力（丢包率、时延、抖动等）受限的短板。

### 3) SRv6

SRv6 隧道是基于 IPv6 的数据层面转发来控制平面 SR 的统一实现，SRv6 的出现使得业务不再依赖于复杂的 MPLS 网络的数据平面，简化统一复杂网络协议，即网络支持 IPv6 的转发即可迅速实现基于 SRv6 隧道的业务部署与开通。SRv6 通过在 IPv6 报文中嵌入扩展头 SRH，并在 SRH 中添加路径所要经过的所有段的 Segment ID 从而形成完整路径信息清单 Segment List，以此来显示规划报文在网络中的传递路径，中间节点按照 SRH 扩展头封装的路径信息进行转发。SRH 扩展报头格式如图 1 所示。

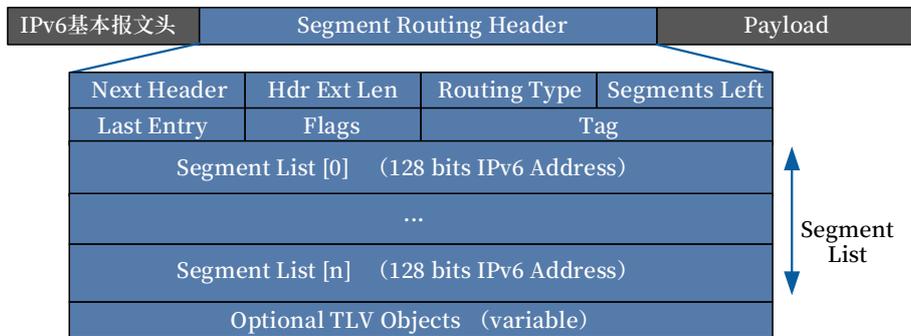


图1 SRH扩展头格式  
Fig.1 Format of SRH extension header

SRH 可随业务数据端到端保留，报头会保留业务完整的 Segment List，其中所携带的完整路径信息适用于云网融合时代的业务意图探析和全程回溯追踪等智能管控新型应用。

SRv6 包含 SRv6-TE Policy 和 SRv6-BE 两种隧道模式，SRv6-TE Policy 可以实现流量工程，配合控制器可以在响应业务差异化需求的同时实现路径约束；SRv6-BE 具有业务快速开通方面的特殊优势，其基于 IPv6 路由可达性，利用业务 SID 来指引报文在 IPv6 的网络中进行转发。

以铁路创新发展为出发点，聚焦以铁路大数据中心、5G-R 等为代表的智慧铁路应用需求发展变化，SRv6 能够根据差异化服务保障、业务特征、相对独立的网络体系等方面提供灵活的可编程能力，以此来灵活响应 Overlay 层面面向服务的各类应用需求，实现不同场景下各种等级的 SLA 保障。

## 4 基于SRv6的承载网应用部署方案

结合铁路场景，介绍以下两种基于 SRv6 的应用部署方案，分别为 SRv6-TE Policy 承载场景（Ng 场景）和 SRv6-BE 承载场景（Xn 场景）。

### 4.1 SRv6-TE Policy隧道承载场景（Ng场景）

针对铁路通信应用场景，车站业务回传至中心的业务承载场景最为典型。从车站接入节点回传至中心的流量可以模拟为铁路 5G 专用移动通信中业务回传至核心网的业务模型，下面以 L3VPN over SRv6-TE Policy 隧道的业务应用承载场景来模拟铁路 Ng 场景业务实现。基于 SRv6-TE Policy 隧道的业务场景数据转发过程如图 2 所示。

总体过程如下：

- 1) 控制器向始发节点 PE1 集中下发 SRv6-TE Policy 隧道策略的承载路由，Color 为 6，

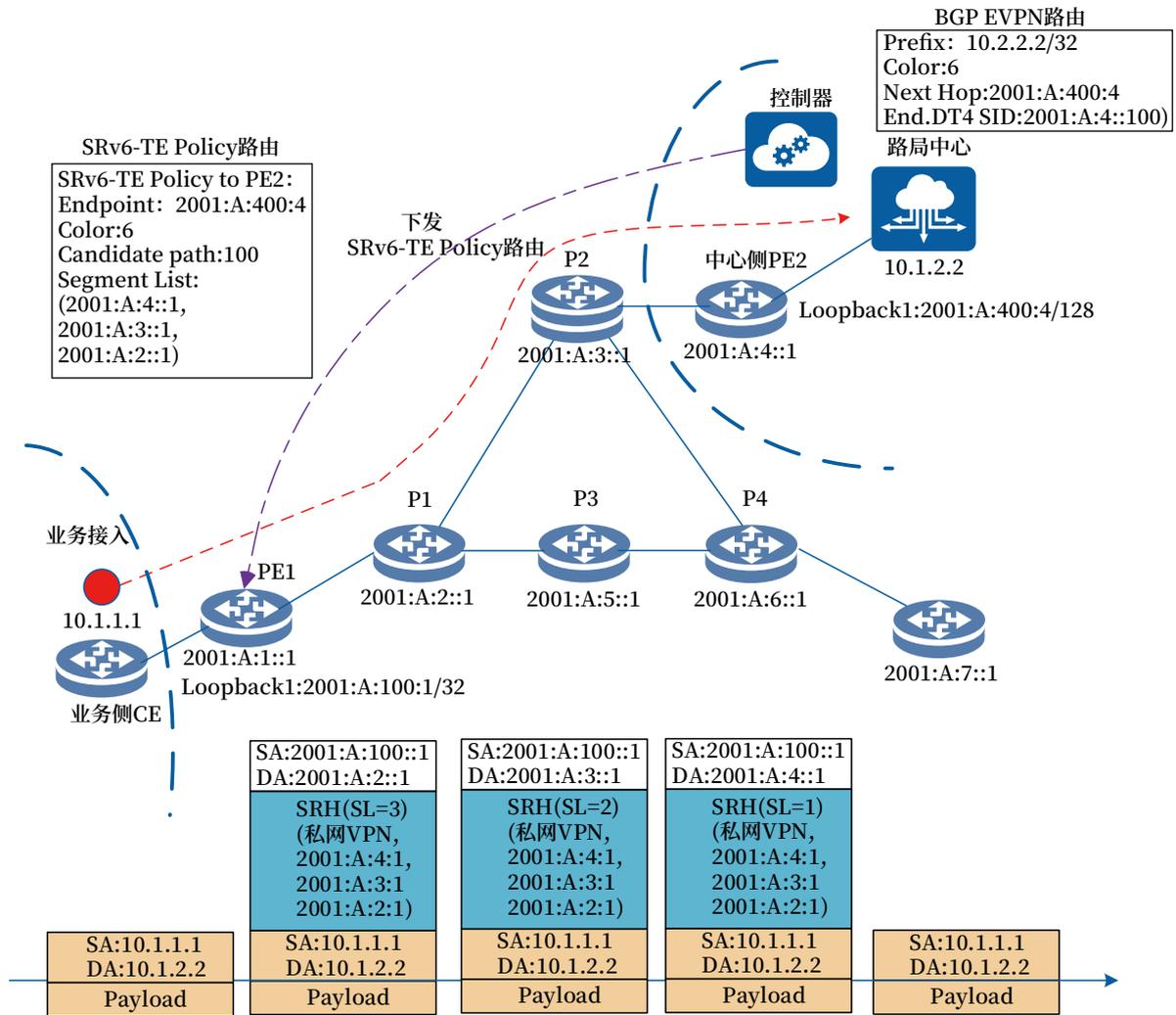


图2 基于SRv6-TE Policy隧道的业务场景数据转发  
 Fig.2 Forwarding of service scenario data based on SRv6-TE Policy tunnel

Endpoint 为 PE2 的地址 2001:A:400:4, Candidate Path 包含的 Segment List 为隧道显示路径信息;

2) 终结节点 PE2 和 PE1 之间建立私网邻居关系, 分配私网 L3VPN 的相关信息 (包含 color 和下一跳);

3) PE1 将接收到的业务侧 CE 递送的私网 L3VPN 业务, 通过查询 VPN 实例对应的 VRF, 并利用其 Color 和下一跳信息迭代到 SRv6-TE Policy 的隧道上;

4) PE1 为报文封装公网侧的 IPv6 报文头信息进行匹配并指导转发, 插入 SRH 头部相关信息, 集中封装 SRv6-TE Policy 的 Segment List, 其中 Segment List 的末端 SID 是私网 VPN 路由对应的

End.DT4 SID ;

5) 中间转发节点 P1/P2 收到来自 PE1 递送的报文后, 按照 SRH 信息逐跳转发, 每次调用 SRH 中的地址替换 DA 发送给下一跳节点, 将 SL-1 ;

6) 报文到达中心侧 PE2 之后, PE2 使用报文中的 IPv6 目的地址 2001:A:4:1 查找本地 SID 表, 击中触发 End SID 的 Function 动作, 将 IPv6 的 DA 更新为私网 VPN SID ;

7) 中心侧 PE2 使用私网 VPN SID 查找本地 SID 表, 命中了 End.DT4 SID, PE2 使能 End.DT4 SID 对应的 Function 能力, 在终结节点执行将外层公网侧 IPv6 报文头解封装的操作, 将报文的 SRH 信息和 IPv6 报头解封装后, 使用内层私

网报文的目的地址查找 End.DT4 SID 对应的私网 IPv4 VPN 实例的 VRF 表项等相关信息，将报文回传给中心。

SRv6-TE Policy 隧道承载场景的流量数据如表 1 所示。

表1 SRv6-TE Policy隧道承载场景

Tab.1 Scenario with SRv6-TE Policy tunnel as the bearer tunnel

| 测试名称                                    | 业务速率                               | 预期结果  | 实际结果  | 备注   |
|---|------------------------------------|---|---|--|
| L3VPN over SRv6 TE-Policy 功能与性能 (Ng 流量) | 100GUNI 满速率 (1 518 字节 MTU 大小, 含开销) | 1. 支持 L3VPN 业务<br>2. 业务正常, 无丢包和告警, 记录业务时延数值 | 1. 业务无丢包<br>2. 时延平均约为 83.6 μs<br>3. 平均抖动不大于 10 μs | 注: 时延受报文长度和实时网络状态影响, 不同环境下时延可能存在差异, 当前时延测试结果为 4 个承载网节点的端到端业务时延 |

#### 4.2 SRv6-BE隧道承载场景 (Xn场景)

铁路通信应用场景中，车站至车站间的业务承载场景也是典型场景之一。车站接入节点间的流量可以模拟为铁路 5G 专用移动通信中的站间业务通信模型，下面以 L3VPN over SRv6-BE 隧道的业务应用承载场景来模拟铁路 Xn 场景业务实现。基于 SRv6-BE 隧道的业务场景数据转发过程如图 3 所示。

总体过程如下。

1) 业务侧 CE1 向车站接入节点 PE1 发送业务报文。

2) PE1 从绑定了 VPN 实例的接口上收到私网业务报文以后，根据 VPN 实例查找 VRF 表项并关联 SRv6 VPN SID 及下一跳信息。直接使用 SRv6 私网 VPN SID 2001:A:6::A666 作为目的地址封装成公网侧的 IPv6 报文并形成逻辑隧道，指引转发。

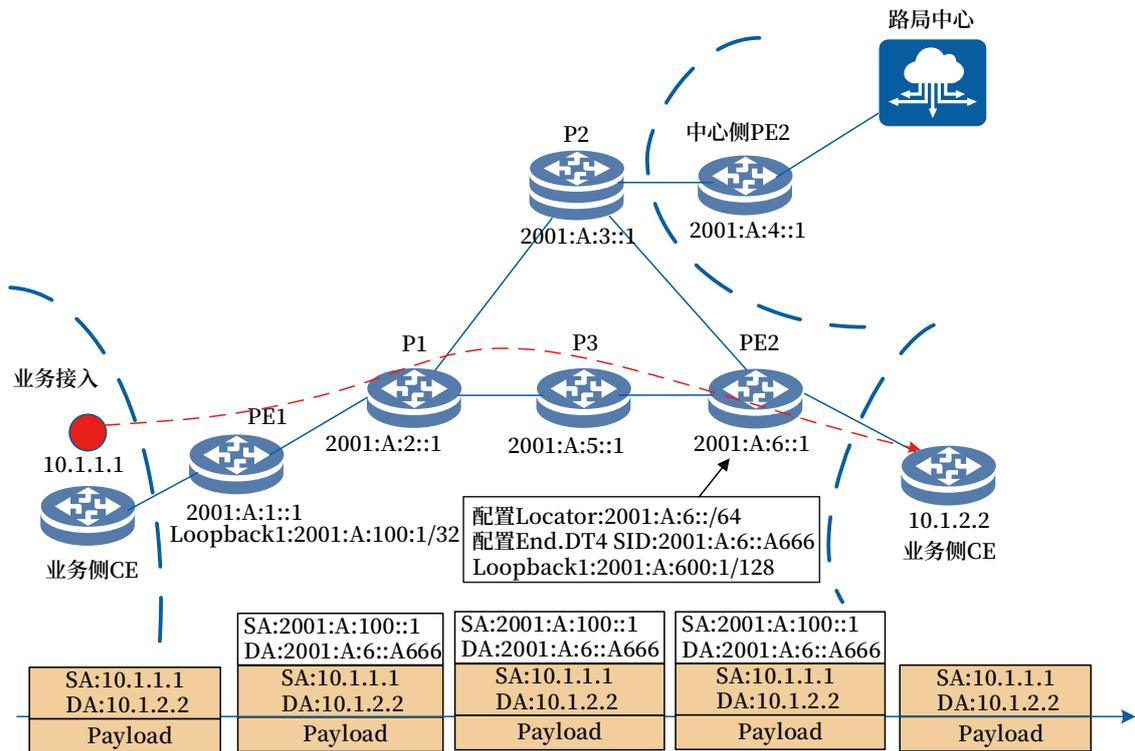


图3 基于SRv6-BE隧道的业务场景数据转发

Fig.3 Forwarding of service scenario data based on SRv6-BE tunnel

3) PE1 进行正常的 IPv6 转发匹配路由的 Locator，按最优路径转发至中间转发节点 P1 和 P3。

4) P1/P3 节点按照最长匹配原则，匹配到 PE2 发布的 Locator 路由（路由 2001:A:6::/64），按最短路径转发到另一个车站侧的 PE2。

5) PE2 使用目的地址 2001:A:6::A666 查找本地 SID 表, 匹配到 End.DT4 SID 的 Function 功能并行使动作, 将 IPv6 报头去除, 然后根据 End.DT4 SID 匹配私网 IPv4 VPN 实例进行转发, 将业务报文递送至业务侧 CE, 从而完成车站至车站节点间的业务传送。

SRv6-BE 隧道承载场景的流量数据如表 2 所示。

表2 SRv6-BE隧道承载场景

Tab.2 Scenario with SRv6-BE tunnel as the bearer tunnel

| 测试名称                             | 业务速率                                | 预期结果  | 实际结果   | 备注   |
|----------------------------------|-------------------------------------|---|--|--|
| L3VPN over SRv6-BE 功能与性能 (Xn 流量) | 100G UNI 满速率 (1 518 字节 MTU 大小, 含开销) | 1. 支持 L3VPN 业务<br>2. 业务正常, 无丢包和告警, 记录业务时延数值 | 1. 业务无丢包<br>2. 时延平均约为 81.25 $\mu$ s<br>3. 平均抖动不大于 10 $\mu$ s | 注: 时延受报文长度和实时网络状态影响, 不同环境下时延可能存在差异, 当前时延测试结果为 4 个承载网节点的端到端业务时延 |

## 5 基于SRv6的铁路承载网应用部署建议

针对铁路综合承载业务场景, 业务的隧道承载可以根据承载业务安全性、承载业务敏感度和承载业务的“可容忍度”等需求对应的条件指标按照模型进行区分, 不同的模型对应匹配不同的 SLA 服务保障需求, 结合 SRv6 的两类隧道承载特点进行划分。因此建议将端到端安全性要求较高的重要专线业务、极低时延抖动的高可靠性业务和大规模跨域互通的业务, 类似于 5G-R 回传业务等, 通过 SRv6-TE Policy 隧道承载和部署实现; 对于类似站间、跨域范围小且具有大带宽、低时延和一定的随机性、突发性应用需求的业务通过 SRv6-BE 隧道进行承载和部署实现, 不同种类的业务间通过隧道进行隔离, 在保障差异化服务的同时灵活可靠快速开通。

目前主流的下一代承载网设备可以分为 SPN 设备和增强型 IPRAN 设备, 增强型 IPRAN 设备全面支持基于 SRv6 的隧道承载, SPN 设备也在积极引进和支持 SRv6 隧道技术, 届时主流承载设备都将

具备 SRv6 隧道的加载和实现, 为云网融合时代的承载提供支撑。

## 6 结束语

远望未来智慧铁路发展, 铁路通信迈步至云网融合时代, SRv6 为铁路智能通信网络提供了灵活高效的控制手段和“一步入云”的灵活跨域能力。其部署简单、容易扩展、维护简单、智能控制等特点是下一代铁路承载网重要特性, 能够更好地实现跨域流量调度和业务路径优化, 保障关键业务质量、均衡流量分布、提高网络资源利用率和降低网络运行复杂程度。基于 SRv6 的铁路承载网隧道技术也为铁路新型业务提供创新的起点和平台, 促进智慧铁路蓬勃发展。

### 参考文献

- [1] 姜永富. 智能联接助力智慧铁路系统建设: “十四五”铁路通信发展展望 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (2): 5-7, 15.  
Jiang Yongfu. Intelligent Connections Facilitate Construction of Smart Railway System—Prospect on Railway Communication Development in 14th Five-Year Plan[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(2): 5-7, 15.
- [2] 汪闻杰. SRv6 技术在广域网的应用研究 [J]. 中国金融电脑, 2021 (12): 76-79.
- [3] 王巍, 王鹏, 赵晓宇, 等. 基于 SRv6 的云网融合承载方案 [J]. 电信科学, 2021, 37 (8): 111-121.  
Wang Wei, Wang Peng, Zhao Xiaoyu, et al. Cloud-Network Convergence Solution Based on SRv6[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(8): 111-121.
- [4] 王君健. SRv6 技术探讨 [J]. 邮电设计技术, 2020 (1): 59-63.  
Wang Junjian. Discussion on SRv6 Technology[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2020(1): 59-63.

(下转 60页)

# CTCS-3级列控系统无线超时 GSM-R电台SIM卡故障分析及解决措施

张晓东, 陈延春, 陈 铮

(中国铁路上海局集团有限公司杭州电务段, 杭州 310002)

**摘要:** CTCS-3 无线超时故障是 CTCS-3 级列控系统的重点和难点问题, 因 SIM 卡造成的超时问题一直没有找到具体的原因, 重点对 SIM 卡的表面形貌分析 (SEM)、成分分析 (EDS) 以及设备运用中 SIM 工作状态的研究, 通过检测发现了 SIM 卡表面存在不导电颗粒物, 在设备运用中造成电台不识卡, 导致无线通信超时故障, 并就该问题提出了对策措施。

**关键词:** 无线超时; SIM 卡; SEM 分析; EDS 分析; 措施

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0052-04

## Fault Analysis and Solutions of GSM-R Radio SIM Card with Wireless Timeout in CTCS-3 Train Control System

Zhang Xiaodong, Chen Yanchun, Chen Zheng

(Hangzhou Signaling & Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Hangzhou 310002, China)

**Abstract:** CTCS-3 wireless timeout fault is a key and difficult problem in CTCS-3 train control system. No specific reason has been found for the timeout problem caused by SIM card. This paper focuses on the research of SEM and EDS of the SIM card as well as the working state of SIM in equipment application. Through detection, it is found that there are non-conductive particles on the surface of SIM card, which can cause the radio station to fail to recognize the card and lead to the wireless communication timeout fault. The countermeasures are put forward to this problem.

**Keywords:** wireless timeout; SIM card; SEM; EDS; countermeasures

CTCS-3 级 (简称 C3) 列车控制系统是高速铁路核心技术装备和安全关键系统, 负责指挥列车运行、保证行车安全、提高铁路运输效率, 在车-地无线信息传输中时有发生无线通信超时 (简称“无线超时”), 无线超时后, ATP 车载设备将输出常用

制动, 待列车运行速度降至 CTCS-2 级 (简称 C2) 允许速度时, 提示司机确认, 系统将转换为 C2 控车, 导致允许速度降低, 影响运输效率。

目前, 随着 C3 无线超时分析的不断深入, 车载空口、基站空口、接口监测业务信令流程监测的普及, 针对网络中信息交互造成的 C3 无线超时已经能够准确分析原因并准确定位故障点。但是由于 SIM 卡引起的瞬间脱网、注册失败等导致的问题,

收稿日期: 2021-11-07; 修回日期: 2022-11-16

第一作者: 张晓东 (1982-), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: antonlin@163.com。

具体原因分析很困难，而且不是固有故障，事后检测各项性能指标均正常，对现场设备维护造成很大的困扰。本文就针对 SIM 卡问题进行全面分析，并提出解决措施。

## 1 SIM卡应用分析

### 1.1 SIM卡作用

GSM-R SIM 卡作为 GSM-R 专用移动通信系统的重要组成部分，是基于 GSM-R 进行各类通信业务必不可少的设备，特别是用于与行车直接相关的通信业务，关系到整个铁路列车行车安全和运输秩序。ATP 电台使用的 SIM 卡根据通信业务功能需求划分属于 CSD 业务类，每套 ATP 设备有 2 个电台模块，SIM 卡安装在电台模块中。高铁列车运行过程中，2 个电台模块交替呼叫地面 RBC 设备，建立 CSD 呼叫。为确保行车过程中列控业务不受其他通信业务的干扰，其 SIM 卡仅开启语音业务的 CSD 呼叫功能。SIM 卡目前采取维修方式是故障修，等发现故障时进行检查或者更换，未出现故障则一直维持使用。

### 1.2 SIM卡原理

SIM 卡是用户身份模块，存储用户有关的个人信息和网络信息，主要完成数据存储、客户身份鉴权和客户信息加密算法等功能，ATP 电台中的 SIM 卡负责实现网络注册及 CSD 呼叫。

SIM 卡是一个装有微处理器的芯片卡，其内部结构有 5 个模块，并且每个模块都对应一个功能：微处理器 CPU、程序存储器 ROM、工作存储器 RAM、数据存储器 EEPROM 和串行通信单元。

### 1.3 SIM卡结构

SIM 卡表面的 6 个触点是其外部接口，根据其功能划分为电源电压 (Vcc)、复位信号 (RTS)、时钟信号 (CLK)、接地 (GND)、可变电源电压 (VPP)、输入 / 输出 (I/O)。

## 2 SIM卡故障分析

### 2.1 SIM卡故障分析

SIM 卡故障时，其相关特征如下。

- 1) DMI 界面无网络注册；
- 2) GSM-R 电台状态指示灯显示异常；
- 3) 途中瞬间脱网后自动恢复网络注册；
- 4) 断电重启后恢复网络注册；
- 5) 重插 SIM 卡后恢复网络注册。

根据以上信息，SIM 卡故障的可能原因是：

- 1) 模块软件问题；
- 2) SIM 卡电路电性能临界，造成间歇性读取卡失败；
- 3) 卡座相关尺寸有问题，造成弹片与 SIM 卡没接触上；
- 4) 卡座弹片氧化造成接触阻抗变大，影响读取 SIM 卡；
- 5) SIM 卡触片氧化造成接触阻抗变大，影响读取 SIM 卡；
- 6) 卡座弹片与 SIM 卡之间有异物，隔断路，影响读取 SIM 卡。

### 2.2 故障检测

#### 2.2.1 电台模块性能检测

选取 4 块发生 SIM 卡故障的 300T 型 ATP 设备电台模块进行测试，模块可正常识别 SIM 卡，各参数均符合标准要求。

对杭州电务段 2020 年 3 月至 2021 年 3 月共 8 件 SIM 卡故障造成的无线超时进行数据分析。

1) 通过车载侧记录数据中 Log 数据分析：Fewer modems registered than installed 1 (单电台)。该记录说明只有一个电台注册到网络，说明在电台与网络间出现问题，且数据没有其他故障信息报警语句，基本可以判断 ATP 设备正常。

2) 通过分析空口监测数据显示 SIM 未插入或 SIM 卡错误。

3) 通过分析通信侧三接口数据能够看到 IMSI DETACH INDICATIO (电台网络去附着)。

电台网络去附着的原因可能是电台正常关机，也可能是 SIM 卡异常导致的，此类超时通常在车-地数据正常交互的情况下。如果是电台关机的话，后续 RBC 交权区会出现单电台情况，所以基本可

以判定为 SIM 卡异常。

### 2.2.2 SIM卡电路电气性能检测

按照 3GPP 标准 SIM 卡接口部分的要求，SIM 卡电路有 6 个 PIN 脚，必需的是供电、复位、时钟、数据和接地。选取 4 张 SIM 卡的供电、复位、时钟和数据等电性能指标，各项指标符合标准要求，并不存在指标临界的情况，可排除电路电气性能的原因。

### 2.2.3 SIM卡厚度检测

根据标准，SIM 卡的厚度要求为  $0.76 \pm 0.08$  mm，测量 4 个故障 SIM 卡，厚度符合要求，如表 1 所示。

表1 SIM卡厚度检测结果

Tab.1 SIM card thickness test result

| 标准 | 厚度 ( $0.76 \pm 0.08$ mm) |
|----|--------------------------|
| 1  | 0.84                     |
| 2  | 0.82                     |
| 3  | 0.81                     |
| 4  | 0.79                     |

### 2.2.4 SIM卡座弹片接触电阻检测

SIM 卡座各弹片的接触电阻过大会影响模块读取 SIM 卡。根据设备厂家经验，一般卡座各接口的接触电阻大于 500 mΩ 时，才可能引起读取 SIM 卡失败。选取 2 块 SIM 卡对卡座各弹片的接触电阻进行检测，各弹片的接触电阻远低于影响读取卡的电阻值，弹片状态良好，如表 2 所示。

表2 卡座弹片接触电阻检测

Tab.2 Contact resistance detection of SIM card holder clip

| SIM 卡 | 弹片接触电阻值 /mΩ |       |       |       |       |       |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | PIN1        | PIN2  | PIN3  | PIN4  | PIN5  | PIN6  |
| 1     | 47.75       | 48.14 | 46.85 | 48.14 | 46.85 | 47.45 |
| 2     | 41.45       | 45.2  | 44.25 | 45.2  | 44.25 | 41.45 |

### 2.2.5 SIM卡功能检查及外观检查

将 4 块故障 SIM 卡样品插入模块中，均可以正常读取 SIM 卡。观察 SIM 卡触片外观，发现表面存在严重程度不一的划痕，镀金层被一层异物覆盖，金属反光较弱。在与卡座弹片对应的位置，存在磨损小凹槽，证明振动磨损的存在，也可以说明尺寸配合是没有问题的。

### 2.2.6 SIM卡表面检测

为确认 SIM 卡触片的状态，设备厂家委托相关实验室做了表面形貌分析 (SEM) / 成分分析 (EDS)，SEM 主要用于样品表面的微观形貌与结构的表征、EDS 用于元素定性和半定量分析，如图 1 所示。



注：镀金层在电子射线下呈白色，黑色为不导电的异物，主要集中在接触部位周围

图1 SEM/EDS检测

Fig.1 SEM/EDS detection

将 4 块故障 SIM 卡（使用时间 5 年以上）的表面进行 SEM/EDS 检测，检测结果如下：弹片接触部位有严重划痕，划痕周围存在异物颗粒，为不导电异物。异物颗粒推测是有机物和氧化物混合组成，异物的主要含量为碳、氧、镍、氯、铜、钙等元素。

### 2.3 数据分析

通过以上检测结果分析，基本排除了软件问题，模块和 SIM 卡功能正常，模块 SIM 卡电路的电气性能、SIM 卡座和 SIM 卡的相关尺寸和 SIM 卡座弹片的接触电阻均正常。

发现使用时间长的卡座弹片和 SIM 卡的接触部位周围有较多不导电异物。

触片不是绝对平整的、金层的硬度很小，卡座弹片和 SIM 卡触片是通过若干个小微丘接触导通的，如图 2 所示。

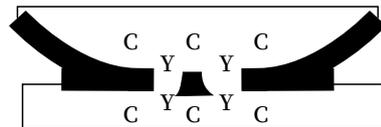


图2 弹片微丘接触示意

Fig.2 Clip bulge contact diagram

推测电台模块长期工作在随机振动环境下，卡座弹片与 SIM 卡触片之间存在微动摩擦，容易在接触部位周围产生有机物、氧化物和磨损粉末的堆积。

如果异物堆积过高，可能会由于振动原因将有机物和氧化物等推至弹片接触区域，从而隔断电信号，造成不识卡故障，导致 SIM 卡故障。此时若重装 SIM 卡，弹片将异物推开，恢复接触，故障消失。或者可能因微动摩擦将异物推开，即出现运行中自动恢复的情况。模块或 SIM 卡使用的时间越久，镀层磨损越严重，表面产生的氧化物越多，出现故障的概率越大。

### 3 整治措施及效果

#### 3.1 新增维护手段

通过分析基本确认 SIM 故障是由于异物隔断造成电台不识卡，针对性采取 SIM 卡清洁、SIM 卡固定、卡托固定及密封 3 种措施。

通常的表面清洁方式有 3 种：酒精、橡皮擦、电子清洁剂。为了对比 3 种方式的效果，选取 3 块表面异物较多的 SIM 卡，清洁后做表面形貌分析 (SEM)，发现橡皮擦清洁效果较差，电子清洁剂效果一般，酒精清洁效果较好，清洁后，尽量不触碰 SIM 卡。

采用耐高温布基双面胶将 SIM 卡与卡托粘贴，双面胶厚度控制在 0.1 mm 之内，避免厚度太大。

卡托固定及密封。采用铜箔胶带对卡托表面和电台表面粘贴，达到固定卡托和 SIM 卡密封效果。如图 3 所示。



图3 卡托固定及密封  
Fig.3 SIM card tray fixture and sealing

#### 3.2 整改效果

杭州电务段共配属 60 套 300T 型 ATP 设备 120 个电台及 SIM 卡，使用年限均超过 10 年。2020 年 3 月至 2021 年 3 月共发现 8 件 SIM 故障造成的无线超时，后采取 SIM 卡清洁、SIM 卡

固定、卡托固定及密封 3 种措施，2021 年 3 月至 2022 年 3 月未发生 SIM 故障造成的无线超时。

拿棉签蘸酒精后擦拭 SIM 卡触片，擦拭 10 个来回之后，SIM 卡触片可以看到明显的金属反光。在 SEM 下看，也可以看到颗粒异物基本被清除，如图 4、5 所示。

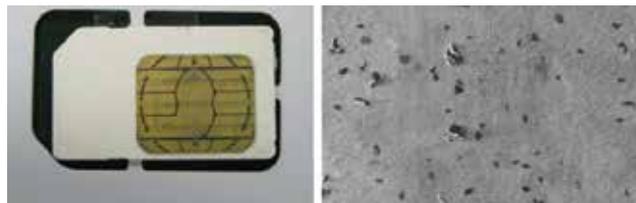


图4 SIM清洗前的状态  
Fig.4 SIM status before cleaning

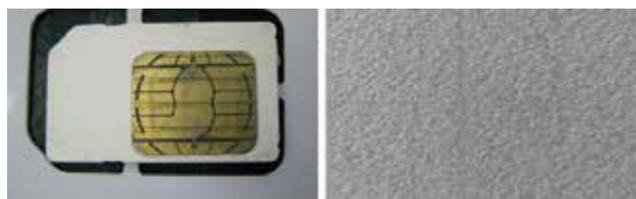


图5 SIM清洗后的状态  
Fig.5 SIM status after cleaning

### 4 拓展及建议

目前 ATP 设备的修程有一级修、二级修、高级修、更新改造，确保了设备能够正常运用，而 SIM 卡没有明确的修程及检修要求，建议结合 ATP 设备修程同步施修，结合高级修对 SIM 卡进行清洁，结合 ATP 设备更新改造更换 SIM 卡。

根据《GSM-R 数字移动通信网设备技术规范》(科技运 [2008]172 号) 第四部分 SIM 卡要求，SIM 卡每个触点压力要大于 0.5 N，保证 SIM 卡与卡槽可靠和连续接触，并能够克服氧化物和振动所引起的中断。根据该项要求，设备厂家要持续做好技术改进，一是要开发相关卡槽和 SIM 卡的相关技术指标的检测工具；二是改进结构工艺，确保 SIM 卡与卡托不产生微振动，卡托与电台不产生微振动。三是加强材料研究，针对铁路行车安全的需求，对 SIM 卡的电路设计、触片工艺开展针对性设计、制造。

(下转 87 页)

# TDCS/CTC系统局间信息交互方式优化

徐 华<sup>1</sup>, 任贸城<sup>2</sup>

(1. 中国铁路上海局集团有限公司, 上海 200071;

2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 针对 TDCS/CTC 系统基于 MQ 组件进行局间信息交互中存在单网故障或单点 MQ 队列中断引起局间站场信息显示不一致、局间调度命令交互异常等故障。通过使用 TCP/IP 取代 MQ 与优化既有单点 MQ 连接的方式开展针对局间交互方式优化探究, 有效提高局间交互信息的稳定性。

**关键词:** 调度集中; 网络结构; 冗余结构

中图分类号: U284.59

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0056-05

## Optimization of Information Interaction Modes Between Railway Bureaus in TDCS/CTC System

Xu Hua<sup>1</sup>, Ren Maocheng<sup>2</sup>

(1. China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

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

**Abstract:** During the information exchange between Railway Bureaus based on the MQ component in the TDCS/CTC System, a single-network fault or a single-point MQ queue interruption may cause inconsistent display of information on stations and yards between Bureaus and abnormal exchange of inter-Bureau dispatching commands. By using TCP/IP to replace MQ and optimize the existing single-point MQ connection, this paper carries out research on the optimization of inter-Bureau interaction modes to effectively improve the stability of inter-Bureau interaction information.

**Keywords:** Centralized Traffic Control System; network structure; redundant data transmission

### 1 概述

TDCS/CTC 系统在铁路运输行业应用越来越广泛, 作为直面运输指挥人员的系统, TDCS/CTC 系统实效性以及稳定性越发重要。TDCS/CTC 系统在同一铁路局内往往采用同一厂家设备, 稳定性有

一定保障。而在局间接口处, 不同厂家系统采用基于 MQ 组件的方式进行信息交互, 出现故障时需要协同不同设备管理单位及不同厂家进行问题分析和应急处置, 处置时效往往存在滞后性。所以 TDCS/CTC 系统在局间接口处的稳定性就显得尤为重要。

### 2 当前局间交互模式

现有局间接口按照原中国铁路总公司技术标准

收稿日期: 2022-04-07; 修回日期: 2022-12-01

第一作者: 徐华 (1981—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: CTC/TDCS 维护管理, 邮箱: xuhua-suzhou@163.com。

《列车调度指挥 (TDCS) 数据通信规程 (V3.0)》要求, 局间建立两条 MQ 通道, 一条传输实时信息, 一条传输非实时信息, 结构如图 1 所示。



图1 局接口结构  
Fig.1 Structure of Bureau interfaces

在基于 MQ 进行信息交互时, 对于 MQ 通道稳定性有较高要求, 在 MQ 通道发生中断时需人工重新连接。

### 3 优化方式探究

优化局间交互方式, 第一点是摒弃 MQ, 采用一种更为稳定的交互方式; 第二点是从系统结构出发, 在 MQ 通道只支持单网通信的局限下增加交互的冗余性。

#### 3.1 采用TCP/IP协议进行交互

摒弃 MQ 的交互方式, 在当前阶段下并不符合总公司对于局间信息交互规范, 仅从理论层面进行可行性以及可用性分析。

新的方式采用 TCP/IP 协议进行局间交互, 理想的系统结构如图 2 所示。

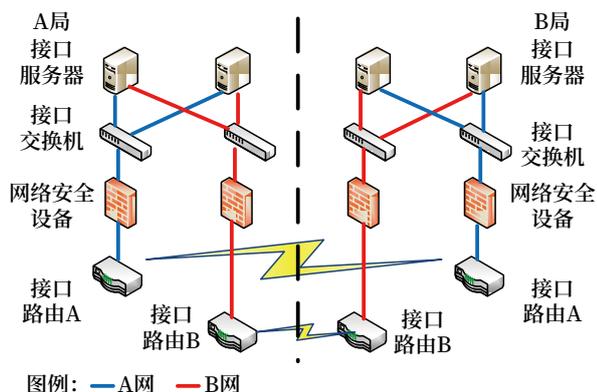


图2 TCP/IP系统理想结构  
Fig.2 Ideal structure of TCP/IP system

采用 TCP/IP 协议与采用 MQ 通道进行数据通信的对比分析如下。

1) 对比 MQ 单个传输队列只支持单 IP 及单端口, 使用 TCP/IP 协议可以最有效的利用局间双网条件, 从数据传输层面实现冗余, 局间网络单通道故障时对系统功能不产生影响。

2) 采用 MQ 是基于 MQ 通信对于时序能很好的把控, 而 TCP/IP 协议在信息交互时也会使用序列号 SEQ 与应答号 ACK 来进行时序确认, 交互时需检查 SEQ 与 ACK 顺序对应, 从而保证双方交互信息的时序一致性。而在发生故障时则会 SEQ 与 ACK 不能相互对应, 此时会主动中断 TCP 连接保证接口连接的实时性。

3) 使用 MQ 时, 接口服务器亦作为 MQ 服务器承担 MQ 搭建以及 MQ 通道建立的责任, 在接口服务器存在故障需要切换时, 备用接口服务器 MQ 需要重新与对端建立通道。而采用 TCP/IP 协议后, 双系接口服务器均可与对端接口服务器建立 TCP 连接, 在服务器硬件故障时, 不存在还需人工介入的过程。从系统结构上实现结构冗余。

4) 对比 MQ 通信, TCP/IP 协议对网络通信要求会更高, 在局间网络通信不佳时, MQ 可以极大的降低数据包丢失概率, 而 TCP/IP 协议在发生心跳包丢失, 连接中断时, 数据存在丢失风险, 所以使用 TCP/IP 协议对局间通道质量要求更高。

总的来说, 摒弃 MQ 而使用 TCP/IP 协议进行交互, 传输冗余性及系统结构冗余性均优于 MQ, 随着局间 FE 光通道的推广, 通道质量相较于之前已有很大改善, 局间交互摒弃 MQ 通信方式而采用 TCP/IP 协议有着很大的发展前景。

#### 3.2 基于MQ交互的优化

基于 MQ 通信的交互优化方式, 是考虑在 MQ 传输队列只支持单 IP 及单端口的情况下进行优化, 主要优化方式可以从 MQ 增加冗余传输队列, 局间通道增加网络通信冗余这两个方面考虑。

##### 3.2.1 MQ增加传输队列冗余

目前局间传输队列只设置实时 (R) 与非实时 (NR) 两条通道, 结构如图 1 所示。可以根据冗余性考虑进行传输队列新增, 针对 MQ 单 IP 及单端

口的情况，建议使用如图 3 所示结构。

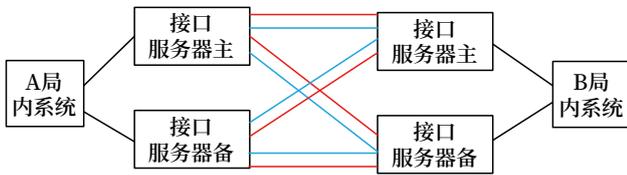


图3 MQ冗余系统结构  
Fig.3 Structure of redundant MQ system

采用这种结构，局间接口服务器需分别建立 2 个 MQ 队列做到交叉冗余，以上海局与南昌局接口为例，各服务器队列如表 1 所示。

表1 MQ的队列连接对应  
Tab.1 Connections between corresponding MQ queues

| 上海局     |                  | 南昌局     |                  |
|---------|------------------|---------|------------------|
| 服务器名称   | 队列名称             | 服务器名称   | 队列名称             |
| 接口服务器 A | R_SH_NC_A (发送方)  | 接口服务器 A | R_SH_NC_A (接收方)  |
| 接口服务器 A | R_SH_NC_B (发送方)  | 接口服务器 B | R_SH_NC_B (接收方)  |
| 接口服务器 A | NR_SH_NC_A (发送方) | 接口服务器 A | NR_SH_NC_A (接收方) |
| 接口服务器 A | NR_SH_NC_B (发送方) | 接口服务器 B | NR_SH_NC_B (接收方) |
| 接口服务器 A | R_NC_SH_A (接收方)  | 接口服务器 A | R_NC_SH_A (发送方)  |
| 接口服务器 B | R_NC_SH_B (接收方)  | 接口服务器 A | R_NC_SH_B (发送方)  |
| 接口服务器 A | NR_NC_SH_A (接收方) | 接口服务器 A | NR_NC_SH_A (发送方) |
| 接口服务器 B | NR_NC_SH_B (接收方) | 接口服务器 A | NR_NC_SH_B (发送方) |
| 接口服务器 B | R_SH_NC_A (发送方)  | 接口服务器 A | R_SH_NC_A (接收方)  |
| 接口服务器 B | R_SH_NC_B (发送方)  | 接口服务器 B | R_SH_NC_B (接收方)  |
| 接口服务器 B | NR_SH_NC_A (发送方) | 接口服务器 A | NR_SH_NC_A (接收方) |
| 接口服务器 B | NR_SH_NC_B (发送方) | 接口服务器 B | NR_SH_NC_B (接收方) |
| 接口服务器 A | R_NC_SH_A (接收方)  | 接口服务器 B | R_NC_SH_A (发送方)  |
| 接口服务器 B | R_NC_SH_B (接收方)  | 接口服务器 B | R_NC_SH_B (发送方)  |
| 接口服务器 A | NR_NC_SH_A (接收方) | 接口服务器 B | NR_NC_SH_A (发送方) |
| 接口服务器 B | NR_NC_SH_B (接收方) | 接口服务器 B | NR_NC_SH_B (发送方) |

对应 MQ 队列连接如图 4 所示。

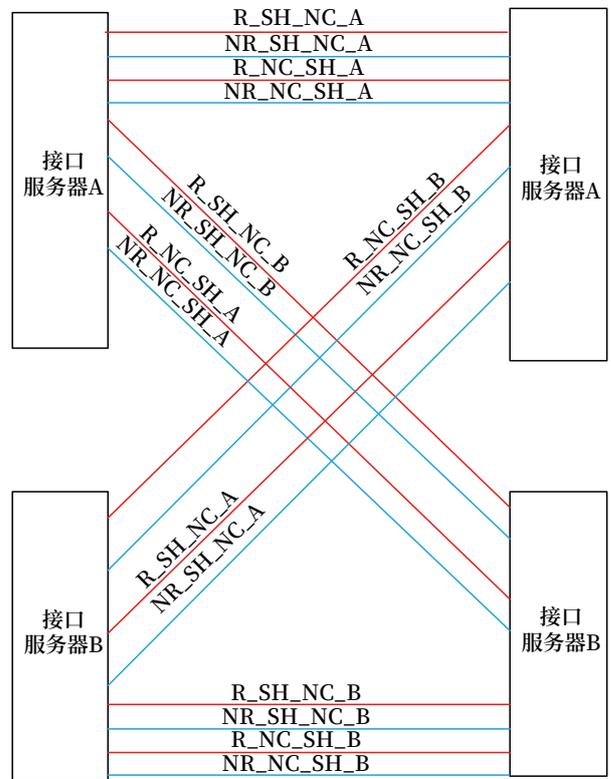


图4 MQ队列连接示意  
Fig.4 Schematic diagram of MQ queue connections

采用 MQ 交叉冗余后，可以确保信息均会通过两条通道分别向对端接口服务器 A/B 传输，以局间表示信息为例，上海局内 CTC 系统将表示信息包发送至接口服务器主机（假设此时 A 机为主机），此时接口服务器 A 通过 R\_SH\_NC\_A 与 R\_SH\_NC\_B 两条 MQ 通道分别发送至南昌局接口服务器 A 机与 B 机（假设此时 A 机为主机），接口服务器 A 机可将该信息传送至南昌局内 CTC 系统，B 机由于为备机，可以将收到的信息做抛弃处理。

在这种结构下，局间接口可以做到 MQ 冗余，在出现接口服务器宕机或者故障情况时，可以由人工或自动切换至备机运行。

### 3.2.2 局间网络通信冗余

随着通信技术发展，现在越来越多的局间通道已由原来的 2 M 单通道慢慢改造为 FE 双通道，但由于 MQ 的单 IP 局限性，对于双网通道利用往往还停留在人工倒切通道线层面。局间通信通过静态



- 北京：中国铁路总公司，2014.
- [3] 于岩. 基于 Websphere MQ 搭建高可用消息传输队列 [J]. 电脑知识与技术, 2015, 11 (19): 76-77.
- [4] 杨春香, 杨雷. 利用 CISCO IP SLA 测试关键业务端到端服务状况 [J]. 科技信息, 2011 (24): 621.
- [5] 张晶. 调度集中系统局间数据的双路冗余传输方案 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 (1): 82-84.  
Zhang Jing. Dual Path Redundant Data Transmission of Centralized Traffic Control System between Several Railway Administrations[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(1): 82-84.
- [6] 周晔. 调度集中系统核心设备冗余切换的分析 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (3): 39-41.  
Zhou Ye. Study on Redundancy Switching of Core Equipment in Centralized Traffic Control System[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(3): 39-41.
- [7] 王济深, 代祖华, 何振学. 案例推理技术在 Websphere MQ 故障维护中的应用 [J]. 甘肃科技, 2014, 30 (1): 19-22, 37.
- [8] 杨丽芳. 调度所 CTC/TDCS 系统工程设计总结 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (9): 30-32.  
Yang Lifang. Summary of Design of CTC/TDCS Dispatching System[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(9): 30-32.
- [9] 王海忠, 房春晓. 铁路局调度所 TDCS/CTC 系统搬迁实施方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (6): 20-25.  
Wang Haizhong, Fang Chunxiao. Implementation Plan of TDCS/CTC System Relocation of Railway Administration Dispatching Office[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 20-25.

\*\*\*\*\*

(上接 51 页)

- [5] 雷正, 沙联宝. 面向 5G 的传送网新架构及关键技术探讨 [J]. 科学技术创新, 2021 (27): 111-112.
- [6] 蒋弢, 李敏. 面向 5G 承载的 Segment Routing 技术浅析 [J]. 中国新通信, 2021, 23 (6): 67-68.
- [7] 郑伟. 基于服务化架构的 5G 核心网消息传递研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (7): 54-57.  
Zheng Wei. Message Transmission Based on SBA in 5G Core Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 54-57.
- [8] 王晨曦, 古锐, 肖亚群, 等. 基于“IPv6+”的智能 IP 网络方案 [J]. 电信科学, 2020, 36 (8): 66-80.  
Wang Chenxi, Gu Rui, Xiao Yaqun, et al. IPv6+ Based Intelligent IP Network Solution[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(8): 66-80.
- [9] 刘睿, 吴军平. SR 技术探究及实现 [J]. 网络新媒体技术, 2020, 9 (3): 21-27.  
Liu Rui, Wu Junping. SR Technology Exploration and Implementation[J]. Journal of Network New Media, 2020, 9(3): 21-27.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.012

# 市域铁路CTCS-2与CBTC列控系统 切换方案

全宏宇, 张敏慧

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

**摘要:** 针对市域铁路 CTCS-2 和 CBTC 列控系统跨制式互联互通运营需求, 在现有列控系统的基础上, 分析 CTCS-2 和 CBTC 列控系统的特点及列控系统切换场景, 研究列控系统切换的系统接口、切换流程以及功能要求, 探讨 CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换应用方案, 以满足市域铁路互联互通和资源共享的运营要求。研究结果对市域铁路列控系统技术标准发展和相关列控系统设备的开发具有参考意义。

**关键词:** 市域铁路; CTCS-2; CBTC; 系统切换

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0061-06

## Scheme for Switching Between CTCS-2 and CBTC Train Control Systems for Suburban Railways

Quan Hongyu, Zhang Minhui

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

**Abstract:** Aiming at meeting the requirements for cross-standard interoperability between CTCS-2 and CBTC train control systems of suburban railways, the characteristics of CTCS-2 and CBTC and the scenarios of switching between these systems are analyzed on the basis of the existing train control system, the system interface requirements, switching procedures and functional requirements for such switching are proposed, and then the application scheme of switching between the systems is discussed, in order to meet the requirements for suburban railway interoperability and resource sharing. The research results provide reference for the development of technical standards of train control systems for suburban railways and the development of related train control system equipment.

**Keywords:** suburban railway; CTCS-2; CBTC; systems switching

收稿日期: 2022-08-10; 修回日期: 2023-01-06

基金项目: 中铁第四勘察设计院集团有限公司科研课题项目 (2019K044)

第一作者: 全宏宇 (1989—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号系统设计, 邮箱: quanhongyu@crfsdi.com。

市域铁路介于城际铁路和城市轨道交通之间, 具有高密度、小编组、公交化的特点, 最高运行速度为 100 ~ 160 km/h, 最小行车间隔为 4 min。随着中国城镇化进程加快, 目前市域铁路正在快速发展, 成为城市综合交通系统的重要组

成部分<sup>[1]</sup>。根据《市域铁路设计规范》，市域铁路列控系统应与其线路特点和运营需求相匹配，可采用中国列车控制系统（Chinese Train Control System, CTCS）制式，也可以采用城市轨道交通列车自动控制（Automatic Train Control, ATC）制式<sup>[2]</sup>。对于 CTCS 制式，开行动车组和有列车自动驾驶（Automatic Train Operation, ATO）功能需求的市域铁路一般采用 CTCS-2 列控系统；ATC 制式主要以基于通信的列车自动控制系统（Communication Based Train Control System, CBTC）为主。

但是 CTCS-2 和 CBTC 列控系统为两种不同的制式，为满足轨道交通多网融合和一体化运营，需研究两种制式列控系统切换。目前国内已针对干线铁路和城市轨道交通列控系统切换开展了相关研究，席武夷研究国铁 CTCS 与城轨 CBTC 列控系统的多网融合方案，提出了地面兼容、车载兼容两种方案及对策<sup>[3]</sup>；面向多网融合运营需求，蔡昌俊等提出 CTCS-2 和 CBTC 列控系统双套车载控制模式切换方案<sup>[4]</sup>；英国伦敦 Crossrail 实现了 ETCS-2 和 CBTC 列控系统切换，并于 2022 年投入运营<sup>[5]</sup>。但是以上研究并未对 CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换相关的系统接口、切换流程，以及设备布置应用方案进行研究。

目前，CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换尚无相

关标准规范和应用案例，跨信号系统制式互联互通将成为制约市域铁路网络化发展的关键问题。本文从市域铁路列控系统互联互通出发，对 CTCS-2 和 CBTC 列控系统的特点及差异性进行分析，研究并提出列控系统切换的系统接口、切换流程，进一步探讨 CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换设备布置应用方案，以满足市域铁路互联互通和资源共享的运营要求。

## 1 CTCS-2与CBTC列控系统切换场景

### 1.1 CTCS-2与CBTC列控系统

CTCS-2 级列控系统是基于轨道电路和应答器传输行车许可信息，采用目标-距离模式曲线监控列车安全运行的列车运行控制系统<sup>[6]</sup>。CBTC 列控系统是基于通信的列控系统，并集成联锁、自动监控和自动进路控制、自动驾驶子系统，可实现移动闭塞和无人驾驶<sup>[7]</sup>。

CTCS-2 列控系统与 CBTC 列控系统的对比如表 1 所示。可以看出，CTCS-2 列控系统具有更高的运行速度；而 CBTC 列控系统最小运营间隔较小，自动化程度更高。同时，CTCS-2 与 CBTC 列控系统存在较大差异，CTCS-2 列控系统采用轨道电路和应答器进行地-车通信，而 CBTC 列控系统采用无线通信方式，且线路数据存储于车载<sup>[8-10]</sup>。

表 1 CTCS-2列控系统与CBTC列控系统的对比  
Tab.1 Comparison between CTCS-2 and CBTC train control systems

| 项目     | 最高运行速度         | 最小追踪间隔    | 自动列车驾驶                            | 列车占用检查 | 地-车通信方式    | 线路数据存储方式 |
|--------|----------------|-----------|-----------------------------------|--------|------------|----------|
| CTCS-2 | 可达到 250 km/h   | 3 ~ 5 min | GoA2(Grade of Automation Level 2) | 轨道电路   | 轨道电路 / 应答器 | 地面       |
| CBTC   | 一般最高为 160 km/h | 最小可达 90 s | GoA2 ~ GoA4                       | 计轴     | 无线         | 车载电子地图   |

### 1.2 CTCS-2与CBTC列控系统切换场景

市域铁路可采用 CTCS-2 列控系统，也可以采用 CBTC 列控系统，当不同列控制式的线路跨线运营时，则存在列控系统切换场景，如图 1 所示。CTCS-2 和 CBTC 线路各自装备相应的列控系统地面设备，跨线运行列车装备 CTCS-2 和 CBTC 两套

车载。在 CTCS-2 线路以 CTCS-2 车载控制列车运行，在 CBTC 线路以 CBTC 车载控制列车运行，在边界处进行 CTCS-2 与 CBTC 列控系统切换<sup>[11]</sup>。

## 2 CTCS-2与CBTC列控系统切换方案

当列车装备 CTCS-2 和 CBTC 两套车载，为

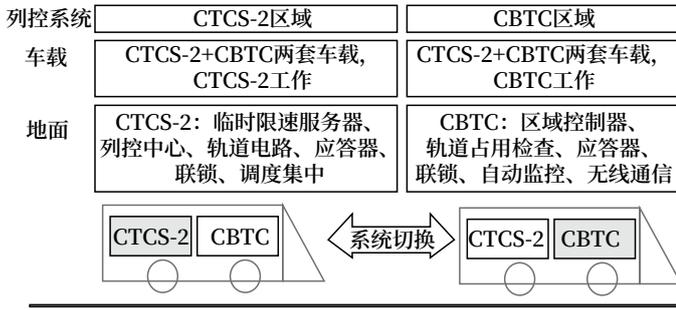


图1 CTCS-2与CBTC列控系统切换场景

Fig.1 Scenario of switching between CTCS-2 and CBTC train control systems

实现跨制式运行时列控系统自动切换, 需在现有CTCS-2和CBTC列控系统架构基础上, 研究列控系统切换方案, 先对列控系统切换接口进行分析, 进而再提出系统切换的功能要求。

2.1 系统切换接口

根据CTCS-2和CBTC列控系统组成, CTCS-2和CBTC列控系统切换接口如图2所示。

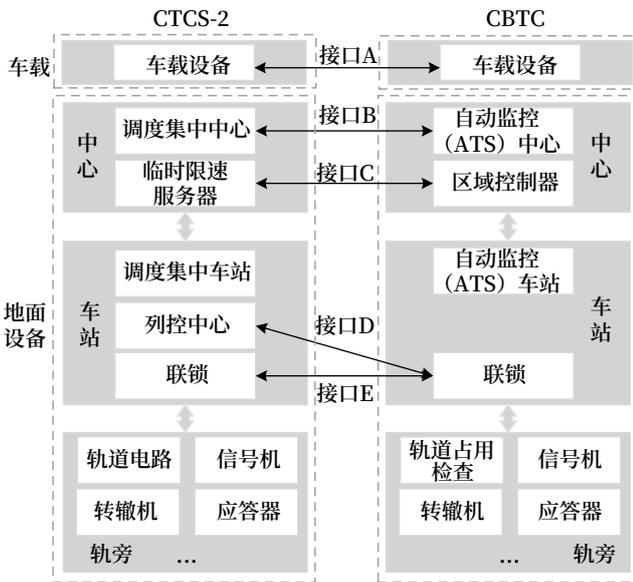


图2 CTCS-2与CBTC列控系统切换接口

Fig.2 Interfaces for switching between CTCS-2 and CBTC train control systems

两种系统切换存在以下接口。

- 1) 接口A: CTCS-2的车载与CBTC的车载接口, 进行列车控制权移交信息交互。
- 2) 接口B: CTCS-2的调度集中中心与CBTC的ATS中心接口, 进行列车运行计划、列车进路设置和状态等信息交互。

- 3) 接口C: CTCS-2的临时限速服务器与CBTC的区域控制器接口, 进行临时限速信息交互。
- 4) 接口D: CTCS-2的列控中心与CBTC的联锁接口, 进行进路联锁控制数据信息交互。
- 5) 接口E: CTCS-2的联锁与CBTC的联锁接口, 进行信号机、轨道区段、道岔以及进路状态信息交互。

接口A可通过安全继电器或总线进行接口, 接口B和接口C可通过冗余的专用通信通道实现接口, 接口D和接口E可通过采集安全继电器信息或构建冗余的安全数据网进行通信。

2.2 CTCS-2与CBTC切换流程及功能要求

1) CTCS-2至CBTC切换

CTCS-2至CBTC切换流程如图3所示, 包括:

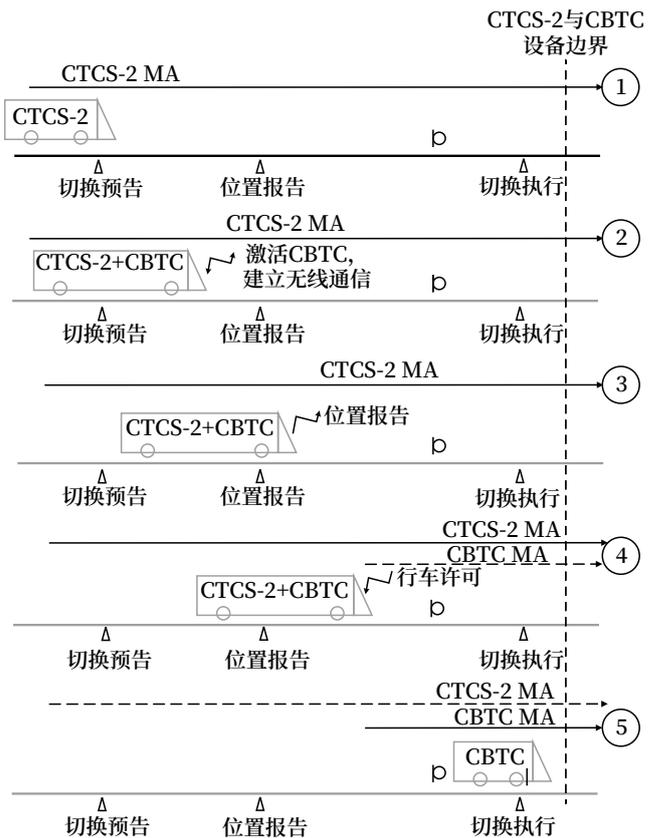


图3 CTCS-2至CBTC系统切换

Fig.3 Switching from CTCS-2 to CBTC system

- a. CTCS-2车载控制列车运行;
- b. CTCS-2车载收到切换预告应答器组信息, 向CBTC车载发送命令并激活CBTC车载, 司机对

切换预告进行确认；

c. CBTC 车载激活后，与地面区域控制器建立无线通信连接；

d. CBTC 车载经过位置报告应答器组时，通过无线通信向地面区域控制器报告位置后，收到区域控制器发送的行车许可，并准备控制列车；

e. CTCS-2 车载收到切换执行应答器组的信息时，经司机确认切换后，CBTC 车载接管并控制列车运行，CTCS-2 车载进入待激活状态（不处理轨道电路及应答器信息）。

## 2) CBTC 至 CTCS-2 切换

CBTC 至 CTCS-2 切换流程如图 4 所示，包括：

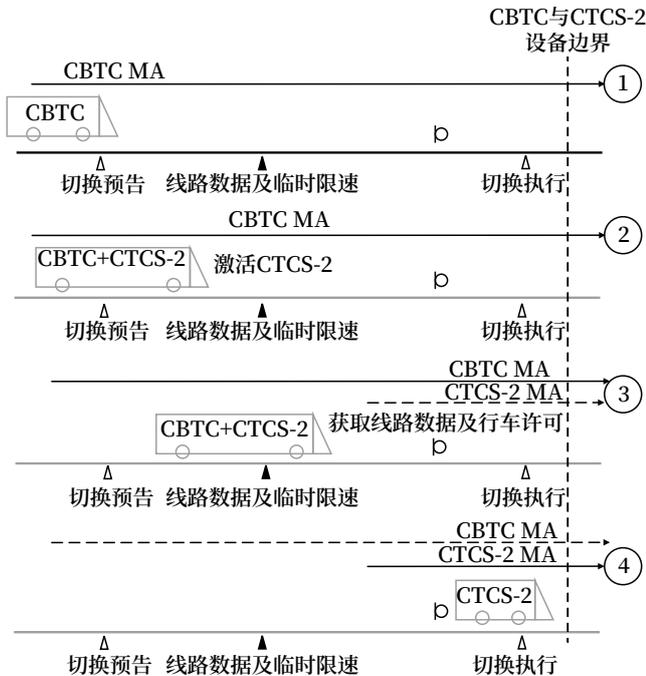


图4 CBTC至CTCS-2系统切换  
Fig.4 Switching from CBTC to CTCS-2 system

a. CBTC 车载控制列车运行；

b. CBTC 车载收到切换预告应答器组信息，向 CTCS-2 车载发送命令并激活 CTCS-2 车载，司机对切换预告进行确认；

c. CTCS-2 车载激活后，收到轨道电路提供的行车许可和地面应答器组提供的线路数据、临时限速信息，并准备控制列车；

d. CBTC 车载收到切换执行应答器组的信息

时，经司机确认切换后，CTCS-2 车载接管并控制列车运行，CBTC 车载向地面区域控制器注销和断开连接，并进入待激活状态（不再处理无线及应答器信息）。

## 3) 功能要求

CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换应实现不停车切换，切换过程应向司机提供信息提示并由司机进行确认；若未切换成功，原列控系统应继续控制列车在切换区内安全停车，停车后由人工进行切换。

切换目标列控系统应提前获取必备的行车许可和线路数据，并准备控制列车。CTCS-2 与 CBTC 系统切换时调度权应同步切换，实现列车调度的切换、显示及管理。

列控系统切换预告点至执行点的距离应至少考虑目标列控系统车载激活反应时间内走行的距离加上司机确认时间内走行的距离和目标列控车载准备行车许可所需时间内列车走行的距离；执行点后方的附加距离应至少考虑司机确认切换时间内走行的距离和原列控系统车载切换点后常用制动停车距离，当切换不成功时确保原列控车载控制列车安全停车。

## 3 CTCS-2与CBTC列控系统切换应用

为实现 CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换的应用，下面进一步对列控系统切换的车载设备、地面设备设置进行探讨。

### 3.1 车载设备设置

跨线运行列车同时装置 CTCS-2 和 CBTC 列控系统车载设备，二者之间增加接口进行切换信息交互。初始状态下以其中一个列控系统为激活状态，并由其通知和设置另一列控系统为待激活状态，同时可由司机人工进行选择。为减少对现有设备的修改，建议 CTCS-2 和 CBTC 车载各自独立设置应答器接收模块、测速测距模块、人机接口等外围设备。

### 3.2 地面设备设置

切换区地面设备设置需满足 CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换所需的轨旁设备及通信网络，包含轨道占用检查设备、应答器以及通信网络的设置。

## 1) 地面设备设置原则

## a. 轨道占用检查设备

CTCS-2 列控系统采用 ZPW-2000 轨道电路进行轨道占用检查并提供传输行车许可, CBTC 列控系统一般采用计轴作为轨道占用检查设备, 在切换区需考虑轨道电路和计轴设备的叠加设置。

CTCS-2 切换至 CBTC 列控系统后, 将采用无线通信传输控车信息, 但若切换不成功, 将由 CTCS-2 列控系统继续控制列车停车, 因此建议切换点后方在计轴设备基础上叠加设置轨道电路, 为 CTCS-2 列控系统提供行车许可。

CBTC 至 CTCS-2 列控切换时, 由于 CTCS-2 列控系统由轨道电路提供行车许可, 因此 CBTC 至 CTCS-2 列控系统切换点前方的区段需在计轴设备基础上叠加设置 ZPW-2000 轨道电路设备。

## b. 应答器

CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换在预告点和执行点由应答器向车载设备提供切换预告和执行信息。

另外, CBTC 至 CTCS-2 列控系统切换需在切换前设置应答器向 CTCS-2 车载提供线路数据、临时限速等信息<sup>[12]</sup>。

## c. 通信网络

CTCS-2 至 CBTC 切换, CBTC 的无线通信应延伸覆盖至预告点, 使 CBTC 车载建立无线连接; CBTC 至 CTCS-2 切换, CBTC 的无线通信再覆盖至执行点一段距离, 满足 CBTC 车载向地面区域控制器注销和断开连接。

同时, 在 CTCS-2 与 CBTC 列控系统边界需按“2.1 系统切换接口”要求增加通信通道, 进行联锁、列车运行控制以及列车调度指挥的信息交互。

## 2) 切换区地面设备布置方案

一种 CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换区地面设备布置方案示意图 5 所示。可在对各自原有的地面设备影响较小的前提下实现 CTCS-2 和 CBTC 列控系统不停车切换。

## a. CTCS-2 至 CBTC 切换, CTCS-2 区域设置

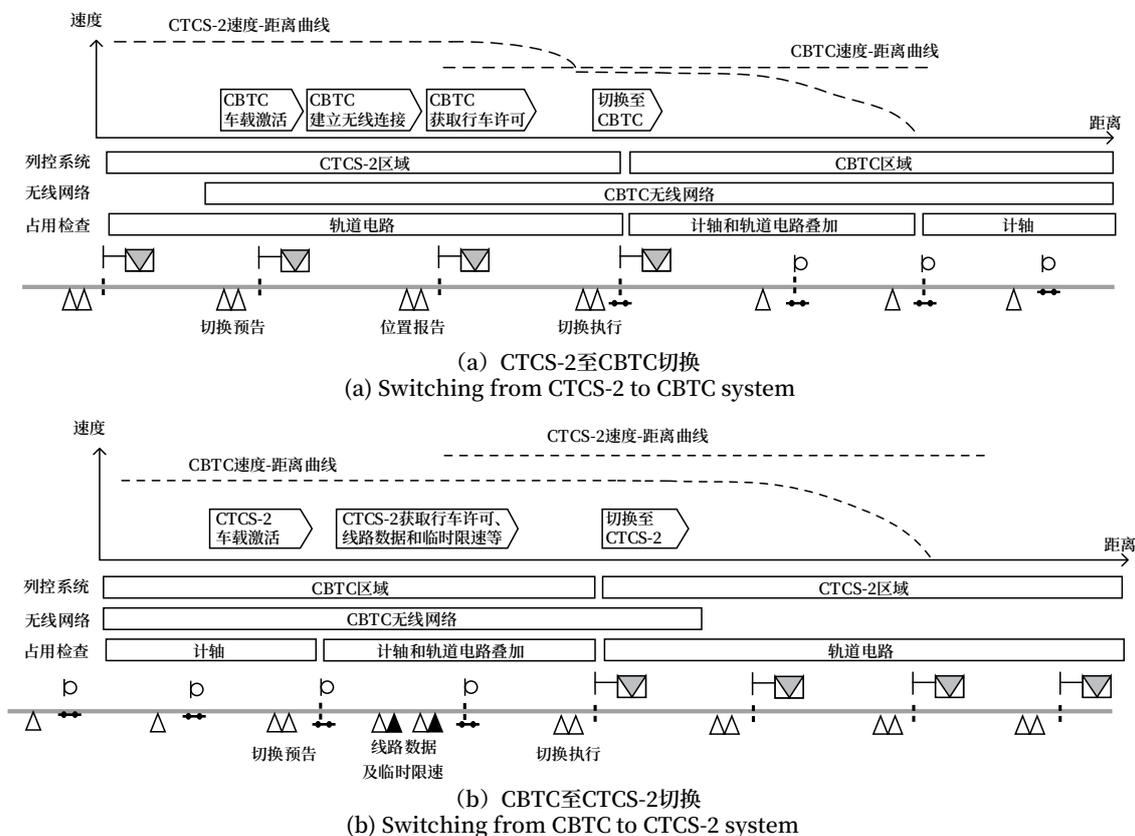


图5 CTCS-2和CBTC列控系统切换区地面设备布置方案

Fig.5 Plans for wayside equipment in the switching zones between CTCS-2 and CBTC systems

ZPW-2000 轨道电路；CBTC 区域设置计轴设备，并在执行点后方 CTCS-2 列控系统常用制动距离区域内叠加设置 ZPW-2000 轨道电路；CTCS-2 区域增加设置切换预告、位置报告和切换执行应答器（可与 CTCS-2 应答器组共用）；CBTC 无线网络覆盖至切换预告应答器组。

b. CBTC 至 CTCS-2 切换如图 5 (b) 所示。CBTC 区域设置计轴设备，并在切换预告至切换执行区域叠加设置 ZPW-2000 轨道电路，CTCS-2 区域设置 ZPW-2000 轨道电路；CBTC 区域增加设置切换预告、线路数据及临时限速、切换执行应答器；线路数据及临时限速应答器按冗余布置，并纳入 CTCS-2 列控系统控制。CBTC 无线网络覆盖至切换执行后一段距离，以满足 CBTC 车载向地面区域控制器注销和断开连接。

当系统切换地点设于车站站内时，其地面设备设置原则与上述设备配置相同，但行车许可需考虑到站内可变的进路控制信息，条件相对复杂。若是 CTCS-2+ATO 列控系统与 CBTC 列控系统切换，则 CBTC 至 CTCS-2+ATO 列控系统切换前，还需设置 ATO 呼叫应答器并提供自动运行计划等信息。另外，切换区地面设备布置需考虑调度管辖范围，并配套实现调度权的有序切换。

## 4 结论

随着市域铁路快速建设，市域铁路逐渐网络化，CTCS-2 和 CBTC 列控系统互联互通是必然的要求。本文提出的 CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换方案，维持现有 CTCS-2 和 CBTC 列控系统架构基础，减少对既有系统的修改，实现列车装备两套车载的情况下列控系统自动切换，以促进市域铁路互联互通和资源共享。研究结果对于 CTCS-2 和 CBTC 列控系统切换技术标准化，以及设备研发、工程设计和实施应用具有指导意义和实用价值。

### 参考文献

[1] 周宇冠. 关于市域快速轨道交通的思考 [J]. 铁

道标准设计, 2012, 56 (9): 22-27.

Zhou Yuguan. Thinking about Regional Rail Rapid Transit[J]. Railway Standard Design, 2012, 56(9): 22-27.

[2] 中华人民共和国国家铁路局. 市域(郊)铁路设计规范: TB 10624-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.

[3] 席武夷. 国铁 CTCS 与城轨 CBTC 列控系统的多网融合方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (10): 81-85.

Xi Wuyi. Research on Solution to Multi-Network Integration of CTCS for National Railway and CBTC for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(10): 81-85.

[4] 蔡昌俊, 陈搏, 陈壁东, 等. 面向多网融合的列控系统双套车载控制模式切换方案探讨 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (3): 78-82, 89.

Cai Changjun, Chen Bo, Chen Bidong, et al. Control Mode Switching of Dual Onboard Train Control Equipment for Multi-Network Integration[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(3): 78-82, 89.

[5] Melih Arpacı, Maximilian Eichhorn. Case Study: Coexistence Of Cbtc And Etc On Crossrail Project In London[C]. CORE 2016, Maintaining the Momentum, Conference on Railway Excellence, Melbourne, 2016.

[6] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-2 级列控系统总体技术要求: TB/T 3516-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.

[7] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统 (CBTC) 互联互通系统规范: T/CAMET 04010.1/4-2018[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2018.

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

(下转 94页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.013

# 面向铁路异构监测数据的光电混合接入系统

徐余明<sup>1</sup>, 石先明<sup>1</sup>, 刘利平<sup>1</sup>, 胡祖翰<sup>1</sup>, 黄智杰<sup>2</sup>, 罗 斌<sup>2</sup>

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063;

2. 西南交通大学信息科学与技术学院, 成都 611756)

**摘要:** 为充分发挥工业总线技术在铁路底层传感监测数据采集传输方面的作用, 提出一种光电混合多端口铁路异构传感监测数据接入系统。通过在系统内部集成控制开关实现多端口自动切换, 确保同一时刻在总线上只接入同一厂家的同类型监测设备, 从而避免协议冲突。同时在系统中增加光端口, 利用光纤传输长距离监测数据。在软硬件设计基础上, 完成样机研制, 并对数据通信功能进行初步验证。该系统可望在智能运维管理系统的底层多业务基础数据高效采集中得到应用。

**关键词:** 异构监测数据; 光电混合; 多端口

中图分类号: U285.16

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0067-05

## Photoelectric Hybrid Access System for Railway Heterogeneous Monitoring Data

Xu Yuming<sup>1</sup>, Shi Xianming<sup>1</sup>, Liu Liping<sup>1</sup>, Hu Zuhan<sup>1</sup>, Huang Zhijie<sup>2</sup>, Luo Bin<sup>2</sup>

(1. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

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

**Abstract:** In order to give full play to the role of industrial bus in the acquisition and transmission of railway bottom sensing and monitoring data, a photoelectric hybrid multi-port railway heterogeneous sensing and monitoring data access system is proposed in this paper. Multi-port switching is realized by integrating an automatic control switch in the system to ensure that only the same type of monitoring equipment from the same manufacturer is connected to the bus at the same time, so as to avoid protocol conflicts. At the same time, an optical port is added in the system to transmit long-distance monitoring data by optical fiber. Based on the software and hardware design, the prototype is developed, and the data communication function is preliminarily verified. The system is expected to be applied in the efficient collection of bottom multi-service basic data of intelligent operation and maintenance management system.

**Keywords:** heterogeneous monitoring data; photoelectric hybrid; multi-port

收稿日期: 2022-05-20; 修回日期: 2023-01-07

基金项目: 中铁第四勘察设计院集团有限公司科研项目(2020K175)

第一作者: 徐余明(1976—), 男, 高级工程师, 主要研究方向: 轨道交通综合监控系统, 邮箱: 180078037@qq.com.

## 1 概述

开发统一强大的智能运维管理系统成为轨道交通领域重点关注的问题<sup>[1-3]</sup>，而底层基础数据的统一高效收集，是支撑智能运维管理系统的基础。对于不同类型的监测数据，可以采取不同的接入传输方式，例如专用视频监控系统通常基于 TCP/IP 进行接入<sup>[4-5]</sup>。同时也存在另外一些类型的传感监测数据，其监测点数量较多且分散，但单一监测点要求的数据传输带宽并不大，业界通常采用工业总线技术来进行采集传输管理<sup>[6-7]</sup>。对这一类传感监测数据统一高效收集管理时，可能会遇到以下两个方面的困难。第一，不同厂商通常会遵从工业界硬件接口标准，例如采用 RS-232、RS-485 总线传输原始传感监测数据，但是传输数据采用的通信控制协议是各自独立开发实现的。因此，尽管 RS-232、RS-485 总线提供了一对多通信功能，但如果用统一的管理设备来接入不同厂商的传感监测数据，由于通信控制协议的差异，很可能在传输数据时产生冲突。第二，需要监测的轨道沿线传感数据可能分布在比较广的范围内，不过 RS-232、RS-485 总线的传输距离是有限的，所以通常需要使用多个采集控制器分别就近接入传感数据，然后利用 GPRS、4G/5G 等无线或有线网络技术连接采集控制器，实现各种远程监测指令的发送和数据的实时采集与传输。如果网络覆盖条件不能满足，RS-232、RS-485 总线有限的传输距离就成为另一个重要制约因素。

为了充分发挥 RS-232、RS-485 总线在底层传感监测数据采集传输方面的作用，本文提出一种光电混合多端口铁路异构传感监测数据接入系统，既解决统一接入时面临的不同厂商通信控制协议潜在冲突问题，又通过拓展总线传输通信距离，使其在网络覆盖不理想的条件下也能够很好应用，从而为智能运维管理系统中底层基础数据的高效收集服务。

## 2 系统结构和工作流程

### 2.1 系统结构

系统设计方面，需要解决总线型传感监测数据统一接入时面临的不同厂商通信控制协议潜在冲突问题，以及如何拓展总线传输通信距离这两个关键技术。针对第一个问题，通过在系统内部集成自动控制切换开关实现多端口切换，确保同一时刻在总线上只接入同一厂家的同类型监测设备，从而避免协议冲突。针对第二个问题，通过在系统中增加光端口，利用光纤传输长距离监测数据。

光电混合多端口铁路异构传感监测数据接入系统结构示意图如图 1 所示。系统由主控单元、开关控制单元、网络接口、电端口和光端口组成，它们之间的连接关系如下。

1) 主控单元针对使能监测数据的发送、接收 2 条数据线分别与开关控制单元的两个公共数据传输端相连；主控单元的控制线与开关控制单元的对应逻辑控制端相连。

2) 开关控制单元的多组数据传输线分别与各个电端口和光端口的传输线逐一对应连接。

3) 电端口的传感监测数据侧为标准的 RS-232 或 RS-485 接口；光端口内部包括光 / 电和电 / 光转换电路，对外通过光纤连接。

4) 主控单元针对网络侧的发送、接收 2 条数据线与 UART 转网口模块对应的数据传输端相连。

### 2.2 工作流程

1) 当主控单元接收来自网络侧的远程监测指令，需采集与某一端口（电端口或光端口）相连总线上的传感监测数据时，主控单元利用控制线对开关控制单元发送逻辑控制电平，使开关控制单元的公共数据传输端自动切换，只与其中一组数据传输线相连，其余各组数据传输线与主控单元之间的连接被断开。

2) 在第一步的基础上，由于同一端口总线上只允许接入同一厂家的同类型监测设备数据，从而避免了协议冲突。

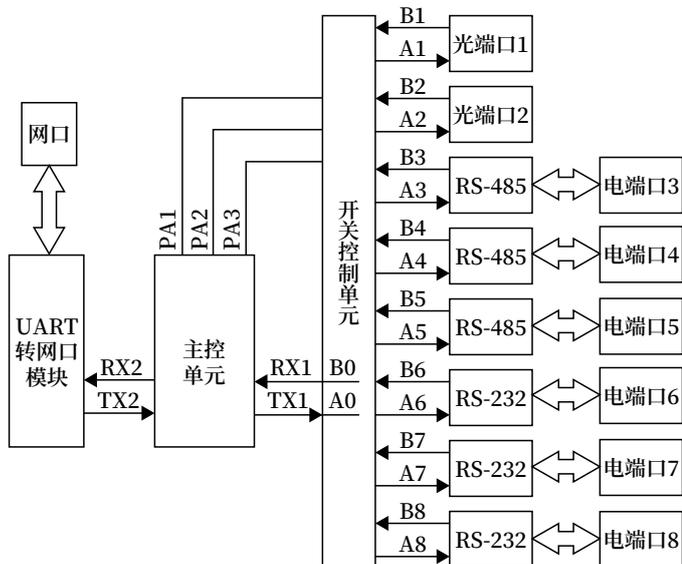


图1 光电混合多端口传感监测数据接入系统结构示意  
Fig.1 Diagram of photoelectric hybrid multi-port sensing and monitoring data access system

3) 主控单元根据端口接入的厂商设备类别, 自动调用相应的内部通信模块与之进行信息交互和传感数据采集。

4) 对于光端口情形, 增加了光/电和电/光转换环节, 具体过程如下。

a. 光端口组成示意(该端口对应 A1 和 B1 这组数据传输线)如图 2 所示, 由主控单元发往传感监测点的电信号来自 A1 传输线, 记为下行信号, 经过电/光转换以后变为下行光信号; 同时, 来自监测点的光信号(即传感监测数据), 记为上行信号。下行光信号和上行光信号采用不同的光波长为载波, 二者通过波分复用器耦合传输, 波分复用器的公共端口即为本系统的光端口, 它通过光纤与远端监测设备相连。

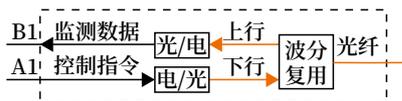


图2 光端口组成示意  
Fig.2 Schematic diagram of optical port composition

b. 经过波分复用器分离输出的上行光信号(即传感监测数据), 经过光/电转换以后, 经由开关控制单元连接传输, 最终被主控单元接收。

c. 如图 3 所示, 在远端的传感监测点, 通过增加 RS-485/232 光纤转发器后, 利用光纤与本系统的光端口相连, 拓展总线传输通信距离。



图3 远端传感监测点光纤连接示意  
Fig.3 Schematic diagram of optical fiber connection of remote sensing and monitoring point

d. 由于光/电和电/光转换环节是在物理传输层实现的, 对于主控单元的控制传输通信应用程序而言, 光端口与电端口并无区别, 可以统一开发。

### 3 硬件设计

为提高硬件开发效率, 网络侧通信直接利用 UART 转网口模块, 光端口则采用 TTL 接口的光收发一体化模块。因此, 本文重点介绍主控单元和开关控制单元的硬件设计, 这两部分的电路如图 4 所示。

主控单元选用芯片型号为基于 ARM Cortex-M4 内核的 32 位超低功耗单片机 STM32L431, 其外围时钟电路、复位电路以及 JTAG 电路均属于常规设计, 这里不做展开。和系统功能紧密相关的是利用了其 2 个 UART 端口, 其中一组 UART1 端口传输线 RX1 和 TX1 实现传感监测数据采集控制。另一组 UART2 端口传输线 RX2 和 TX2 与 UART 转网口模块连接, 实现网络侧通信功能。

开关控制单元选用的芯片型号是 CH448F, CH448F 是 DPOT 模拟开关芯片, 内部集成了双通道、八选一、低阻宽带双向模拟开关。主控芯片 STM32L431 的一组 UART 端口 RX1 和 TX1 分别与模拟开关的 2 个通道公共端 AX 和 AY 相连, CH448F 的数字控制输入引脚包括 SEL2、SEL1、SEL0、XEN# 和 YEN#, 它们分别由 STM32L431 的相应 I/O 端口控制。XEN# 和 YEN# 是 2 个通道的使能引脚, 低电平有效, SEL2、SEL1 和 SEL0 组合选择不同的通道。CH448F 的控制功能如表 1 所示。

CH448F 的 A2X ~ A7X 和 A2Y ~ A7Y 分别与 RS-485/232 接口转换芯片连接, 对外提供标准串口,

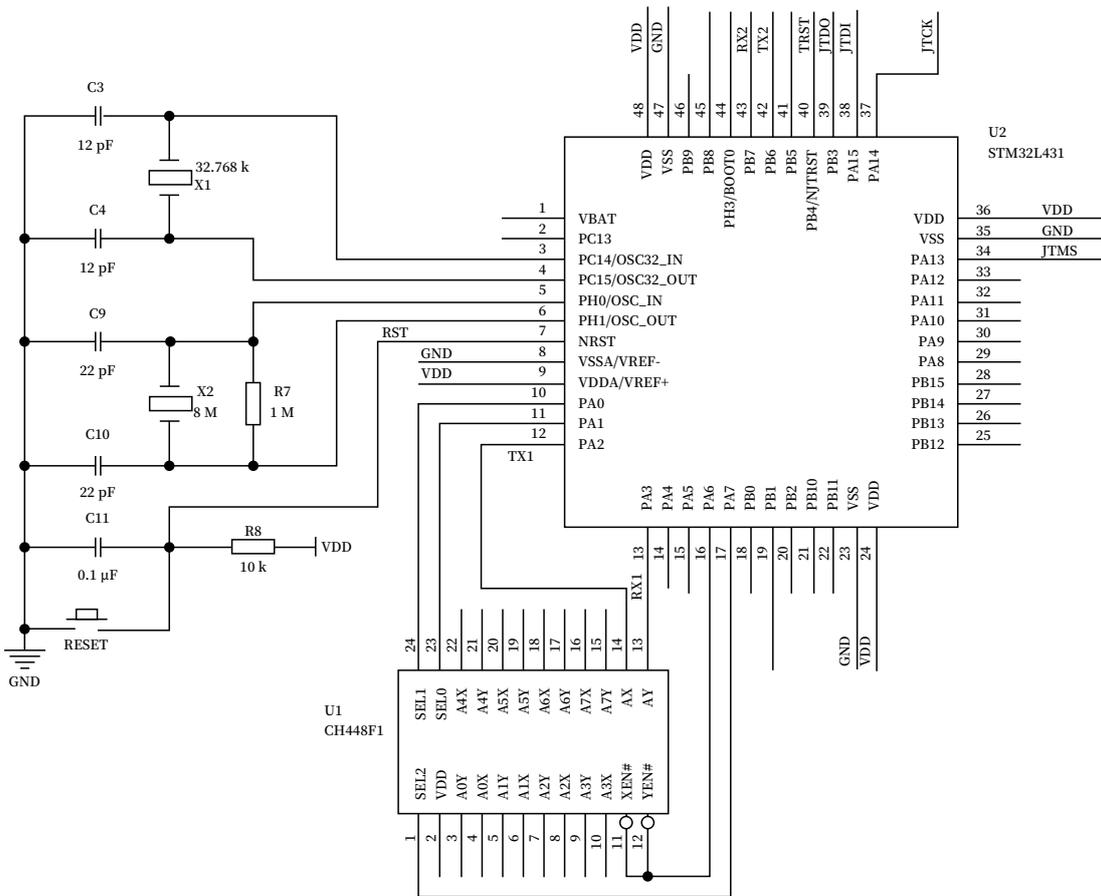


图4 主控单元和开关控制单元原理电路

Fig.4 Schematic circuit diagram of main control unit and switch control unit

该部分电路较为常见。A0X、A1X 和 A0Y、A1Y 直接与光收发一体化模块连接，对外提供光端口。

表1 CH448F控制功能

Tab.1 Table of control function of CH448F

| XEN# | YEN# | SEL2 | SEL1 | SEL0 | AX, AY      |
|------|------|------|------|------|-------------|
| 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 选择 A0X, A0Y |
| 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 选择 A1X, A1Y |
| 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 选择 A2X, A2Y |
| 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 选择 A3X, A3Y |
| 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 选择 A4X, A4Y |
| 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 选择 A5X, A5Y |
| 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 选择 A6X, A6Y |
| 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 选择 A7X, A7Y |
| 1    | 1    | X    | X    | X    | 全部断开        |

#### 4 软件设计

软件开发中，直接利用 STM32CubeMX 工具快速建立工程文件，对系统时钟、GPIO 口进行配

置和程序初始化，提高开发效率。

主控单元程序流程如图 5 所示。程序完成初始化开始运行以后，UART2 端口处于等待接收网络侧远程指令状态。收到远程指令以后，解析判断出需要获取的监测数据来自哪一个端口总线。根据端口需求，主控芯片发出端口控制信号，开关芯片完成端口切换，使 UART1 端口传输线 RX1 和 TX1 与对应端口联通，并根据端口设备数据协议，通过 UART1 端口获取传感监测数据并缓存在主控单元内部，然后，经过 UART2 端口上传到网络。一轮信息交互完成以后，系统又返回到等待接收网络侧远程指令的状态。

软件设计中编写了网络侧通信函数，包括 Receive\_Instruction\_From\_Remote 和 Send\_Data\_To\_Remote，其中，函数 Receive\_Instruction\_

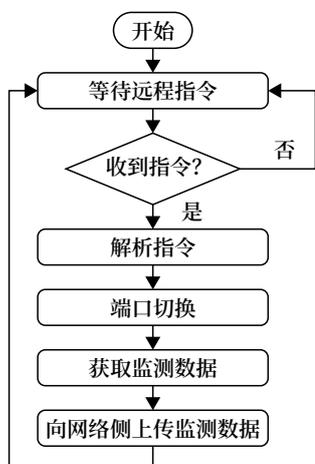


图5 主控单元程序流程

Fig.5 Flow diagram of programme of main control unit

From\_Remote 在 UART2 端口的接收中断中调用, 用于接收网络侧远程指令。函数 Send\_Data\_To\_Remote 用于向网络侧发送监测数据。传感监测数据采集控制函数包括 Send\_Instruction\_To\_Monitor 和 Receive\_Data\_From\_Monitor, 同样, 函数 Receive\_Data\_From\_Monitor 在 UART1 端口的接收中断中调用, 用于接收传感监测数据, 函数 Send\_Instruction\_To\_Monitor 向传感监测点发出控制指令。

需要说明的是, 由于不同端口总线上连接的是不同的厂商设备, 它们的通信控制协议存在差异, 所以, 需要先根据端口进行不同的协议串封装, 然后再调用函数 Send\_Instruction\_To\_Monitor 发送协议控制指令。对于函数 Receive\_Data\_From\_Monitor 接收到的数据字符串, 也应该根据对应协议解析出数据以后, 才发送到网络侧。

## 5 结论

目前, 在软硬件设计基础上, 已完成样机研制, 对数据通信功能进行了初步验证。在今后的实际系统应用中, 只需根据端口连接的具体厂商设备, 针对它们的通信控制协议, 在现有底层框架下, 开发相应的协议串封装模块就能够正常工作。本文提出

的光电混合多端口铁路异构传感监测数据接入系统, 既解决了统一接入时面临的不同厂商通信控制协议潜在冲突问题, 又利用光纤技术拓展了总线传输通信距离。可以充分发挥工业总线技术在底层传感监测数据采集传输方面的优势, 从而为智能运维管理系统中底层基础数据的高效收集服务。

## 参考文献

- [1] 卢思杰. 基于智能运维的通信、信号设备维修系统的探索与研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (11): 6-8, 13.  
Lu Sijie. Exploration and Research of Telecom and Signaling Equipment Maintenance System Based on Intelligent Operation and Maintenance[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 6-8, 13.
- [2] 闫友为. 铁路综合运维探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (11): 1-5.  
Yan Youwei. Discussion on Comprehensive Railway Operation and Maintenance[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(11): 1-5.
- [3] 牛涛, 张辉. 城市轨道交通智能运维系统方案研究 [J]. 铁道运输与经济, 2022, 44 (4): 99-105.  
Niu Tao, Zhang Hui. Research on Intelligent Operation and Maintenance System Scheme of Urban Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(4): 99-105.
- [4] 徐亚萍. 铁路视频运维管理系统设计与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (1): 44-48, 72.  
Xu Yaping. Design and Implementation of Railway Video Operation and Maintenance Management System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 44-48, 72.
- [5] 杨承东, 徐余明. 基于云计算技术的城市轨道交通综合监控系统架构方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (5): 6-9.

(下转 82页)

# 都市圈轨道交通票务一体化研究

梁君<sup>1</sup>, 付保明<sup>1</sup>, 张宁<sup>2</sup>, 何铁军<sup>2</sup>

(1. 苏州市轨道交通集团有限公司, 江苏苏州 215006;

2. 东南大学智能运输系统研究中心轨道交通研究所, 南京 210018)

**摘要:** 首先介绍国内都市圈轨道交通发展形态并分析票务一体化的概念; 然后从系统运营涉及的票务政策、票卡、售检票、清分及运营服务等方面详细分析票务系统一体化的内容。票务一体化内容及方案的分析、探讨为都市圈票务系统的发展提供重要参考, 对都市圈轨道交通一体化发展具有重要的意义。

**关键词:** 都市圈; 轨道交通; 票务系统; 一体化

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0072-05

## Research on Ticketing Integration of Rail Transit in Metropolitan Area

Liang Jun<sup>1</sup>, Fu Baoming<sup>1</sup>, Zhang Ning<sup>2</sup>, He Tiejun<sup>2</sup>

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

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

**Abstract:** Firstly, this paper introduces the development patterns of rail transit in the metropolitan areas in China and analyzes the concept of ticketing integration. Then, it analyzes in detail the contents of ticketing system integration from the aspects of ticketing policies, ticket cards, fare collection, sorting and operation services involved in system operation. The analysis and discussion of such contents and schemes provide an important reference for the development of ticketing systems in metropolitan areas, which is of great significance to the integrated development of rail transit in metropolitan areas.

**Keywords:** metropolitan area; rail transit; ticketing system; integration

都市圈是城市群内部以超大城市、特大城市或辐射带动功能强的大城市为中心、以1 h通勤圈为基本范围的城镇化空间形态<sup>[1]</sup>。随着城际铁路及市

域铁路的快速发展, 国内核心一线城市与周边城市间的联系日益密切, 都市圈发展日趋成熟。国内学者对轨道交通票务一体化进行了广泛的研究。江志滨<sup>[2]</sup>指出一体化票务是轨道交通互联互通的重要技术特征; 陶志祥<sup>[3]</sup>给出了售检票一体化的实施原则; 周天星<sup>[4]</sup>指出统一票务、票制是现阶段急需解决的主要问题之一。但考虑到当前城市轨道交通与

收稿日期: 2021-12-16; 修回日期: 2022-12-17

基金项目: 苏州市轨道交通集团有限公司科研项目 (H202120045)

第一作者: 梁君 (1982—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通建设与管理, 邮箱: liangjun@sz-mtr.com.

国家干线铁路在票制、运输模式等方面存在的技术及管理差异，“四网融合”条件下的票务一体化短时间内难以实现。赵婉好<sup>[5]</sup>等提出了一码通、一证通、刷脸通等6种城际铁路和城市轨道交通之间票务互联互通模式。但考虑到城市轨道交通多元化支付的特点，单一票种的互联互通既不能满足乘客的出行需求，也不符合运营管理要求。

鉴于当前城市轨道交通与国铁系统在票务系统融合方面存在的技术与管理鸿沟，可先行考虑城市轨道交通票务运作模式下各轨道交通的票务互通工

作。结合国内都市圈轨道交通的发展形态，分析城际铁路、市域铁路与城市轨道交通票务一体化的具体内容及实施方案，为都市圈轨道交通的票务融合提供发展思路。

## 1 都市圈发展形态

根据轨道交通的建设、运营情况，可将都市圈城际铁路、市域铁路与城市轨道交通的发展划分为“一核多城”和“一极多核”两种形态，具体如图1所示。

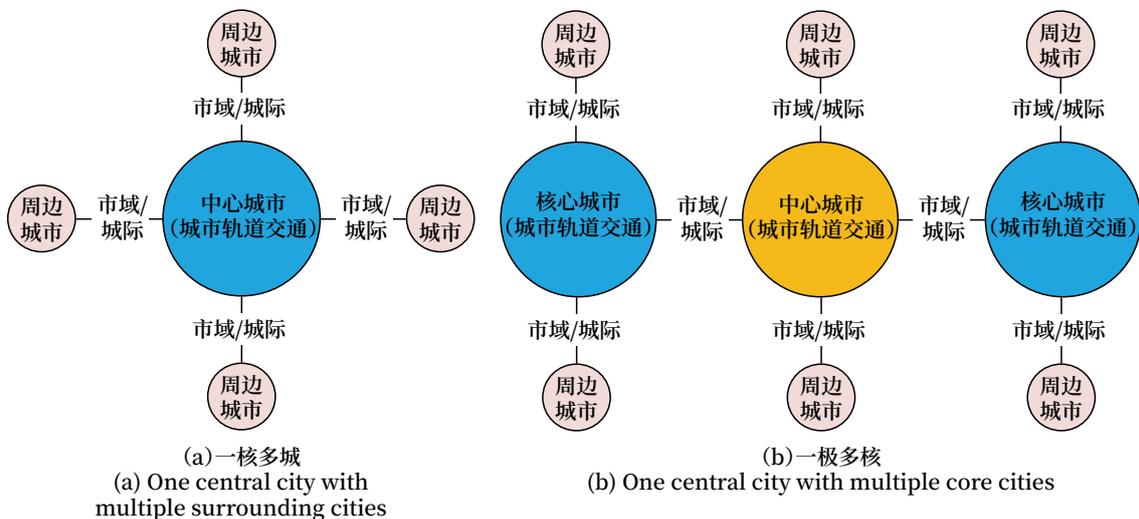


图1 都市圈轨道交通发展形态

Fig.1 Development patterns of rail transit in metropolitan areas

“一核多城”是指都市圈只有中心城市具备城市轨道交通的建设条件，并通过城市轨道交通线网衔接城际铁路/市域铁路，实现与周边城市的快速通行，如图1(b)所示。“一极多核”是指除中心城市外，都市圈内多个城市具备城市轨道交通的建设条件，并已进入或即将进入地铁运营时代，如图1(a)所示。都市圈内各城市通过城际铁路或市域铁路与城市轨道交通线网进行衔接，实现城市间的快速通行。

由都市圈轨道交通的发展形态可知，票务一体化涉及两个层次。

城市轨道交通与市域/城际线路票务系统间的互联互通，两者贯通运营或在换乘节点实现付费区一票换乘；不同城市轨道交通票务系统间的互联互通，通过市域/城际线路的衔接，在换乘节点实现

付费区一票换乘，即乘客能够使用一张车票（单程票、电子票、储值票等）实现跨线网出行。

## 2 票务一体化内容

轨道交通票务是涉及政策、票卡、售检票、清分、运营管理等多部门、多专业的复杂系统，因此都市圈轨道交通票务系统的一体化包含多个方面。

在政策方面，各运营主体要实现票制、票价的统一，并对各地的优惠政策进行细致研判，以实现优惠政策的互通；在售检票方面，各运营主体要对都市圈各类车票进行互认，包括车票的跨线网使用及异地使用等；在交易清分方面，各运营主体要对跨线网交易进行统一清分，以实现各方票款的合理分配；在票务服务方面，各运营主体要统一票务服

务标准，在退票、超时 / 超程更新、充值、发票开具等票务服务上，为乘客提供无差异的、高水平的票务服务；在票卡管理方面，各运营主体要对票卡进行统一管理，统筹处理票卡发行及调配工作。都市圈轨道交通票务一体化的主要内容如图 2 所示。

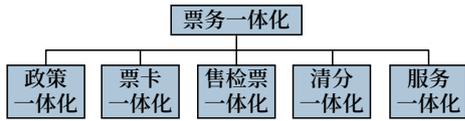


图2 票务一体化内容  
Fig.2 Contents of ticketing integration

### 3 一体化实施方案

针对票务一体化涉及的主要内容，深入探讨一体化的具体实施方案，并对相关方案进行综合分析，为票务一体化的实施提供可行路径。

#### 3.1 政策及标准一体化

##### 3.1.1 政策一体化

都市圈轨道交通票务系统一体化运算是关系到百姓出行的民生工程，首先需相关政府部门进行统筹考虑，建议由都市圈中心城市牵头，其他城市提供政策上的配合。

由于各管理主体均有成熟的票价政策，对其管辖范围内的出行交易，可延续原票价方案。对于涉及多管理主体的出行交易，既可根据各管理主体的票价政策分段计费，确定出行总票价，也可从线网角度从发，根据出行里程制定新的跨线网票价，统一计费。两种票价模式的对比如表 1 所示。

表1 票价模式对比  
Tab.1 Comparison of fare modes

| 对比内容 | 计费方式 |      |
|------|------|------|
|      | 分段计费 | 统一计费 |
| 复杂度  | 低    | 高    |
| 界面   | 清晰   | 模糊   |
| 票价   | 高    | 低    |
| 便民性  | 低    | 高    |
| 融合度  | 低    | 高    |

分段计费方式复杂度低、界面清晰，但统一计费方式下各管理主体票制的融合程度更高，乘客的出行费用更低，更符合票务一体化的初衷。因此，

对于涉及多管理主体的出行交易，建议采用统一计费方式，制定新的跨线网票价。

由于各地政府对市民卡公交出行进行票价补贴，应统一市民卡乘车优惠、换乘优惠及免费乘车等优惠政策，以便市民卡的跨区域出行计费。

##### 3.1.2 标准一体化

票务系统一体化应首先做好系统的顶层规划，统筹各管理主体制定都市圈自动售检票（Automatic Fare Collection, AFC）系统技术标准，并以此指导各方开展既有系统改造及新线建设工作。

为确保 AFC 系统的互联互通，各管理主体均制定了企业级的线网 AFC 技术标准<sup>[6]</sup>，对系统业务、技术要求、数据规范等进行详细的规定。因此，各方应在已有技术标准的基础上，本着求同存异的原则，针对一体化运作面临的新业务、新要求，制定一套完善的区域性行业标准，并将其作为都市圈票务一体化实施的重要技术依据。

#### 3.2 售检票一体化

AFC 系统是实现票务一体化运作的重要载体，是实现乘客一票出行的重要保障。为确保都市圈轨道交通一票通乘，需在不影响既有业务的前提下，对 AFC 系统软件及设备运行参数（Equipment Operating Data, EOD）<sup>[7]</sup> 等进行调整，以适应新的售检票业务需求。

##### 3.2.1 终端设备调整

随着标准读写器在轨道交通领域的推广及应用，传统票卡交易只需读写器即可完成全部流程<sup>[8]</sup>。一方面，修改读写器的票务处理程序（Ticket Processing, TP），添加异地票卡的处理流程；另一方面，调整读写器的硬件配置，确保其能够安装、读取与异地票卡相匹配的密钥卡。

##### 3.2.2 系统软件调整

为确保异地票卡交易记录的生成及上传，应对设备上位机软件、车站计算机系统（Station Computer system, SC）软件等进行修改，补充新票卡交易报表、文件管理功能。由于二维码车票涉及后付费问题，互联网票务平台需在线核验车票

的有效性并进行计费。根据当前轨道交通行业乘车二维码互联互通业务规则, APP 将自动生成所在城市的电子二维码车票。当乘客使用二维码车票进行跨线网出行时, 车票的校验将涉及两个互联网票务平台, 新增互联网票务平台需校验接口实现车票的核验及计费, 接口方案如图 3 所示。

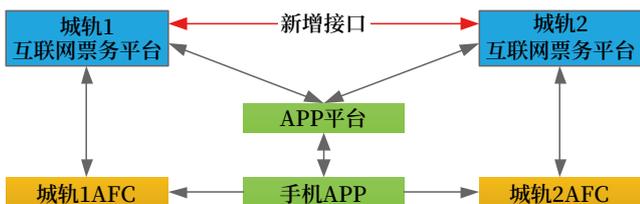


图3 互联网票务新增接口方案  
Fig.3 Scheme with additional interfaces of internet ticketing

### 3.3 票卡及服务一体化

作为乘客出行的信息载体及进出站凭证, 票卡虽位于票务系统业务架构的最底层<sup>[9]</sup>, 票务一体化条件下, 必然面临票卡异地使用等问题, 需调整票卡发行、充值等业务流程, 并由各轨道交通运营主体补充、调整相应的票务服务。

#### 3.3.1 轨道交通票卡一体化

轨道交通票卡是指都市圈各运营主体自行发行的票卡, 不仅包括单程票、计次票、周期票、员工票等传统实体票, 还包含电子二维码等虚拟车票。各运营主体应联合制定都市圈轨道交通票卡管理办法, 根据车票属性的差异, 明确各类车票的发行及流转办法。

不同于其他车票, 单程票涉及票卡的回收、调配、重新编码、注销等流程, 各运营主体间密钥必须互通, 以满足票务一体化条件下单程票的异地重新编码需求, 规避异地单程票单独分拣、配送等管理难题。同时, 单程票作为运营资产, 应明确回收、调配、重新编码、注销、流失等业务中各方的职责, 定期清点票卡数量, 并根据管理办法及票卡增减情况, 实现各管理主体间的票卡调配及资产核销工作。

#### 3.3.2 服务一体化

票务服务一体化, 是保障票务系统正常运作, 提高都市圈整体服务水平, 提升轨道交通一体化服

务形象的重要举措。对于跨线网出行产生的服务需求, 为保证票务服务结果的一致性, 需统一跨线网票务服务标准, 如统一跨线网超时/超程收费标准、统一异常交易处理流程、明确跨线网出行发票开具单位、明确票务服务投诉回复主体等。

### 3.4 清结算一体化

票务一体化条件下, 通过增加异地一卡通清算接口, 城轨 CCHS 系统即可处理本线网内出行交易的清分结算。对于跨线网出行交易, 为保障交易数据及清分结果的不可篡改性、公开性和透明性, 建议采取区块链技术<sup>[10]</sup>, 构建清算联盟, 实现跨线网交易的自动结算, 以充分保障各方的票款利益, 并进一步促进票务系统的融合。清算联盟整体架构如图 4 所示。

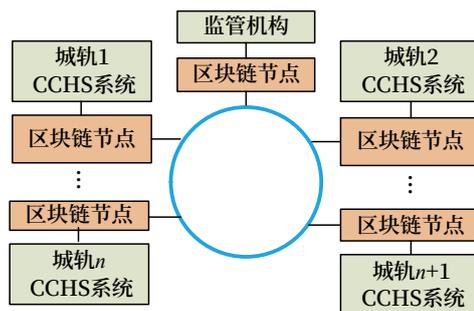


图4 清算联盟整体架构  
Fig.4 Overall architecture of a fare clearing alliance

清算联盟采用区块链技术, 无需增设新的中心级清算机构, 便可实现跨线网交易的清结算工作, 且单个节点故障并不影响系统正常运转, 系统改造、运营成本较低, 清结算流程简洁。由于交易数据及清分结果具有不可篡改性、公开性和透明性, 清分结果的可信度高, 在实现各城轨 CCHS 系统地位均等、数据共享的同时, 有效减少各运营方的票款纠纷, 降低清结算业务成本。

## 4 结语

票务一体化是都市圈轨道交通一体化的重要组成部分, 涉及多部门、多专业、多领域, 其功能实现是一项复杂的系统工程。各都市圈应根据都市圈城市规模及轨道交通发展形态, 制定符合其发展需求的一体化实施方案。“一核多城”模式下, 建议所有线路

均按照城市轨道交通票务系统标准进行建设并统一接入城轨 CCHS 系统；“一极多核”模式下，建议政策、标准先行，并提前做好票务一体化的技术储备及接口预留工作，以便后期一体化的顺利实施。

### 参考文献

- [1] 国家发展改革委关于培育发展现代化都市圈的指导意见[J]. 城市轨道交通, 2019(3): 10.
- [2] 江志彬, 苏马雷, 李洪运, 等. 轨道交通互联互通的内涵及技术特征探讨[J]. 都市轨道交通, 2021, 34(3): 46-51.  
Jiang Zhibin, Su Malei, Li Hongyun, et al. Connotation and Technical Features of Rail Transit Interconnection[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(3): 46-51.
- [3] 陶志祥. 大城市轨道交通一体化探讨: 以广州市为例[J]. 交通工程, 2020, 20(5): 14-20, 27.  
Tao Zhixiang. Discussion on the Integration of Rail Transit in Large Cities: a Case Study of Guangzhou[J]. Journal of Transportation Engineering, 2020, 20(5): 14-20, 27.
- [4] 周天星, 余潇, 薛锋, 等. 大都市区综合轨道交通一体化协同运输组织分析[J]. 综合运输, 2020, 42(12): 29-33.  
Zhou Tianxing, Yu Xiao, Xue Feng, et al. Integrated Transportation Organization of Integrated Rail Transit in Metropolitan Area[J]. China Transportation Review, 2020, 42(12): 29-33.
- [5] 赵婉妤, 史天运, 沈海燕, 等. 城际铁路与城市轨道交通售检票互联互通模式研究[J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(3): 12-17.  
Zhao Wanyu, Shi Tianyun, Shen Haiyan, et al. A Study on the Ticketing System Integration between Intercity Railway and Urban Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(3): 12-17.
- [6] 王健, 黄亮, 张宁, 等. 南京轨道交通线网 AFC 系统技术规程编制[J]. 都市轨道交通, 2011, 24(2): 99-102.  
Wang Jian, Huang Liang, Zhang Ning, et al. Formulating AFC Technical Specifications for Nanjing Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2011, 24(2): 99-102.
- [7] 韩建明, 付保明, 张宁, 等. 城市轨道交通标准票务处理终端研究[J]. 都市轨道交通, 2017, 30(2): 99-102, 124.  
Han Jianming, Fu Baoming, Zhang Ning, et al. Standard Ticket Processing Terminal for Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(2): 99-102, 124.
- [8] 钱曙杰, 张宁, 何铁军, 等. 城市轨道交通自动售检票系统专用读写器研发[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(11): 46-51.  
Qian Shujie, Zhang Ning, He Tiejun, et al. Development of Dedicated Card Reader for Urban Rail Transit AFC System[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(11): 46-51.
- [9] 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.
- [10] 俞光耀. 长三角城市轨道交通互联网出行与区块链应用探索[J]. 隧道与轨道交通, 2019(2): 1-6, 59.  
Yu Guangyao. Exploration on Application of Internet and Block Chain in Urban Rail Transit in Yangtze River Delta Region[J]. Tunnel and Rail Transit, 2019(2): 1-6, 59.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.015

# 机电设备技术融合和信号系统总承包的探析

仲晓辉

(新誉庞巴迪信号系统有限公司, 江苏常州 213166)

**摘要:** 立足于城市轨道交通信号系统招投标要求及经验, 全自动驾驶项目实施经验及行业发展趋势研究, 以信号系统为着眼点, 从功能需求角度融合多专业机电设备, 结合《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》的要求, 从机电设备多专业系统技术融合和信号系统集成商作为总承包的角度进行探析, 为未来城市轨道交通一体化、智慧化发展探索方向。5G 通信、人工智能、云平台及大数据算法等新型技术的发展, 信号系统融合多专业机电设备一体化、智慧化还有很大的发展空间。

**关键词:** 机电设备技术融合; 信号系统总承包; 城市轨道交通; 一体化; 智慧化

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0077-06

## Exploration and Analysis of Technical Integration of Electromechanical Devices and General Contracting of Signaling Systems

Zhong Xiaohui

(Bombardier NUG Signalling Solutions Co., Ltd., Changzhou 213166, China)

**Abstract:** This paper is based on the requirements for and the experience gained from the tendering for urban rail transit signaling systems, the experience from the implementation of fully automatic operation projects, and research on industry development trends. This paper focuses on signaling systems and their integration with electromechanical devices of multiple professional fields from the perspective of functional requirements. Based on the requirements in *Outline of Intelligent Urban Rail Development of Urban Rail Transit in China*, this paper provides an analysis from the perspective of the technical integration of the systems of multi-professional electromechanical devices and from the perspective of an integrator of signaling systems as the general contractor in a tendering process. This paper explores for the direction of the development of integrated and intelligent urban rail transit in the future. Finally, with the development of new technologies such as 5G communication, artificial intelligence, cloud platforms and big data algorithms, there is still much potential for integrated and intelligent signaling systems that integrate multi-professional electromechanical devices.

**Keywords:** technical integration of electromechanical devices; general contracting of signaling systems; urban rail transit; integration; intelligence

收稿日期: 2022-05-31; 修回日期: 2022-12-26

第一作者: 仲晓辉 (1993—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号系统, 邮箱: aaron.zhong@bns-signalling.com.cn.

## 1 概述

传统的城市轨道交通机电设备包括通风空调与供暖系统，给水与排水系统，供电系统（变电所、牵引网、动力与照明、电力监控等），信号系统，自动售检票系统，火灾自动报警系统，综合监控系统，环境与设备监控系统，乘客信息系统，门禁系统，站台门系统，自动扶梯及电梯等。各专业专注于自身系统，积极引导城市轨道交通技术及管理的纵向发展，但横向发展缺少一定的经验积累及模式探索。设备接口较少，交互功能单一，招标发包专业多，乘客体验欠佳，建设运维任务重。因此城市轨道交通线路快速发展的当下，如何建设、运维众多的机电设备专业，打破资源壁垒，优化设备接口，增强乘客舒适度，提升运维效率，保证运营安全，是当前城市轨道交通行业所面临的众多问题。尤其在各个城市全自动运行线路快速部署的今天，乙方总承包基于自身核心功能及接口开放实现系统技术融合，做好多专业一致性协调，大系统级的安全认证工作，是本文探析的目的。旨在推动落实城市轨道交通利用新型信息技术和深度融合的发展战略，实现城市轨道交通多专业机电设备的一体化、智慧化。

## 2 多专业机电设备系统技术融合

《城市轨道交通发展战略与“十四五”发展思路研究报告》提出了新一代智能地铁列车多系统融合控制方案的要求。考虑到全自动运行线路高可靠性、高安全性的要求及人性化、智慧化场景的应用，由信号系统集成商作为机电设备采购及服务总承包方，

融合或者整合下述系统以适应城市轨道交通机电设备系统技术发展的趋势。

### 2.1 列车运行控制系统

目前的城市轨道交通领域，列车运行控制功能主要由基于通信的列车控制系统（Communication Based Train Control, CBTC）及车辆的列车控制管理系统（Train Control Management System, TCMS）来实现。该方案通过信号系统车载列车自动控制子系统（Vehicle Automatic Train Operation, VATO）与 TCMS 车辆控制单元（Vehicle Control Unit, VCU）的交互实现目标功能所需的接口信息，从而使列车非安全架构较为庞杂，设备分布化设置，运营维护成本高，信息延时大，控制精度低，动态响应效果差。因此融合 VATO 与 TCMS，是形成列车运行控制系统一体化、智慧化突破性的一步。结合《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》提出的基于系统容量大、传输时延低、可靠性高的以太网网络，开发列车多子系统融合的一体化平台要求，可以实现由信号系统直接发送牵引制动有关指令给车辆；信号系统直接管理电空混合制动；信号系统直接管理车辆相关子系统；信号系统与 TCMS 司机显示界面融合一体等功能，如图 1 所示。

融合后的列车运行控制系统将基于以太网实时数据协议（Train Real-time Data Protocol, TRDP），考虑到城市轨道交通对于列车运行控制系统相关的制动系统、牵引系统、信号系统及车门控制系统均有安全完整性等级（Safety Integrity Level, SIL）的要求，因此该协议须支持此类安

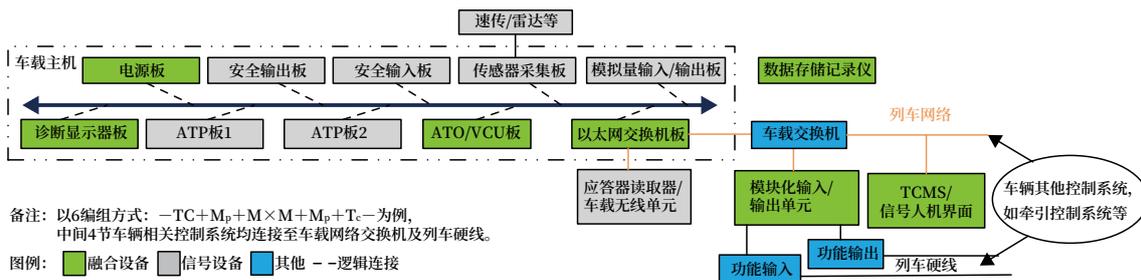


图1 列车双端车载平台架构  
Fig.1 Double-end onboard platform architecture

全数据的传输，安全数据传输协议（Safe Data Transmission version 2, SDTV2）将完成此类安全数据的交互，从而实现数据的准确性、实时性、

可靠性及安全性。列车级网络按照双归属环网布局，单个车辆设置 2 台 1 000 M 交换机并与车辆级终端设备连接，如图 2 所示。

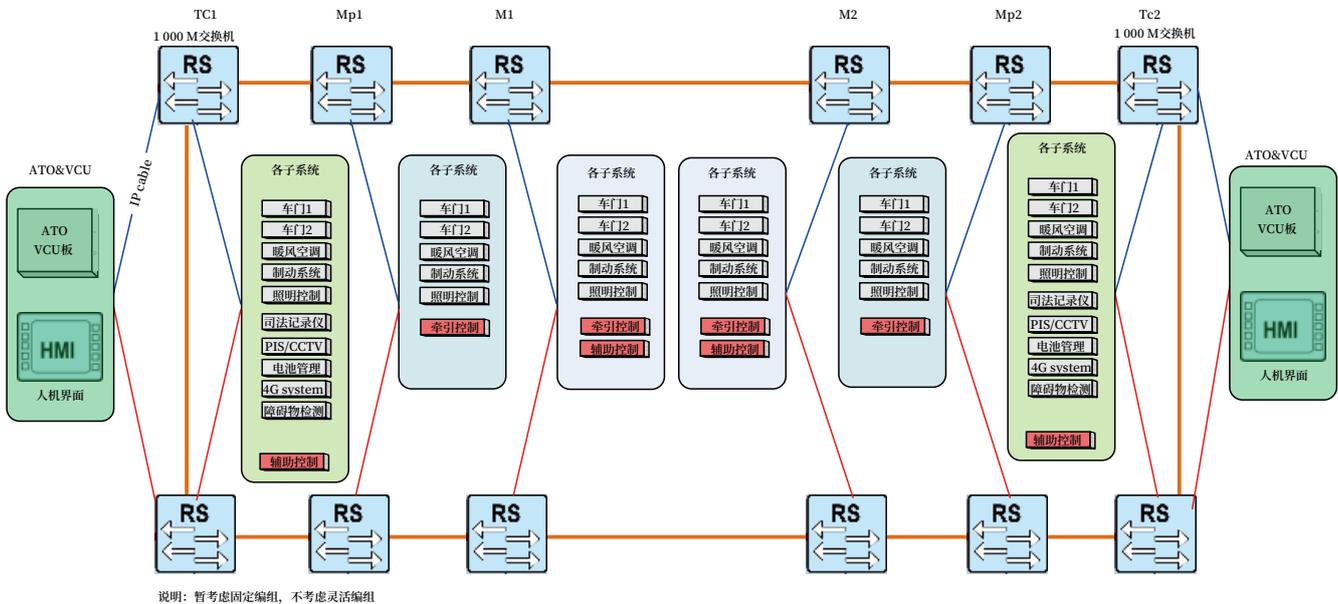


图2 列车车载网络架构  
Fig.2 Train onboard network architecture

本方案融合后将形成新一代列车运行控制系统，使牵引制动系统的响应与信号系统的ATO控车曲线更加贴合，最大限度地考虑乘客舒适度。同时本方案为后续车辆其他系统和信号系统的融合探索了方向，如信号系统、制动系统与牵引系统的速度传感器融合等。

2.2 站台门控制系统

站台门系统作为城市轨道交通安全相关系统，时刻影响着运营的效率及安全。传统的站台门系统（机械设备和控制系统）作为单独的机电设备招标采购，与信号系统计算机联锁（Computer Based Interlocking, CBI）子系统的接口设计功能单一，响应速度迟延，故障定位较难，运维专业联动性差。尤其在全自动运行系统的城市轨道交通线路中，站台门系统如何更好地与信号系统接口，是未来提升运营效率、保证安全以及响应大容量复杂场景应用的瓶颈。本方案将从信号系统整合站台门接口方式及相应功能为着眼点，由安全完整性等级 SIL4 的信号系统对传统站台门接口功能进行总体把控，通过设置的门控柜，信号系统车载设备与轨旁站台门

系统直接通信并传输数据，有效减少传统站台门系统接口信息存在的时延，减少开/关门时间，提高列车运行效率，如图 3 所示。

本方案整合后，信号系统可以安全可靠地实现站台滑动门关门受阻后，列车门和站台门在可配置次数内的再联动开/关门以及该措施失效后，信号系统对于站台门再打开或者再关闭命令的应用；信号系统可以安全可靠地实现对于单个滑动门的联动控制、岛式站台两侧站台门开/关门与站停时间的联动、不同编组不同泊位按照不同时序开/关站台门等复杂场景的应用。进一步地，本方案为未来信号系统与站台门控制系统的融合探索了方向，如信号系统轨旁 CBI 或者列车自动防护（Automatic Train Protection, ATP）子系统完全实现对于站台门机械设备的目标控制；站台门监控设备融合至列车自动监控（Automatic Train Supervision, ATS）子系统或者行车综合自动化系统，以更好地为全自动运行线路智慧化场景服务等。

2.3 车辆智慧运维管理系统

目前，城市轨道交通的运维按照不同专业设置，

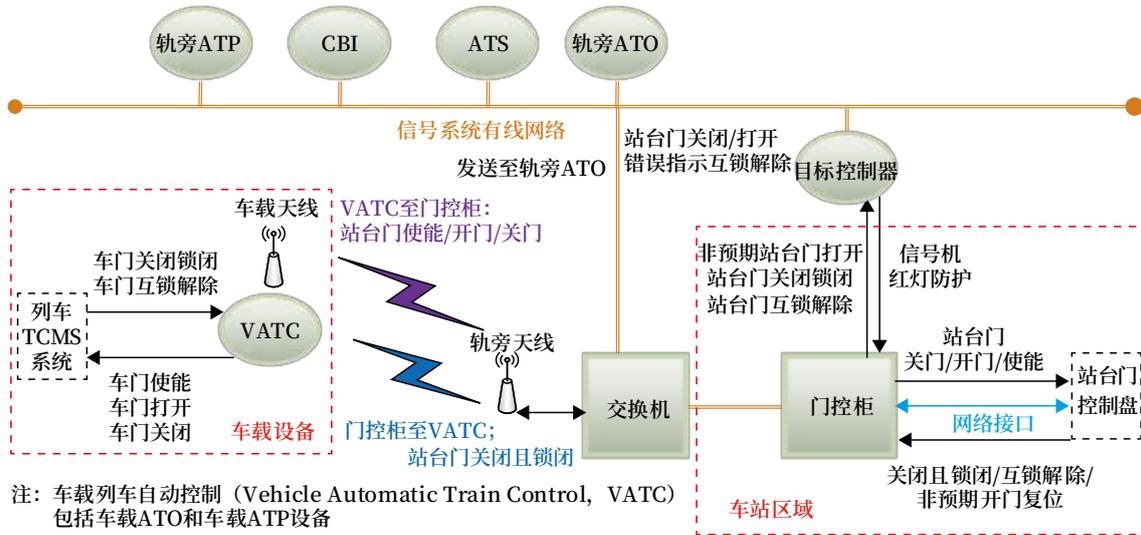


图3 信号系统与站台门系统接口

Fig.3 The interface between signalling system and platform door system

对于接口功能或者跨专业联动功能的控制管理及运营维护带来诸多不便。本方案将基于前述列车运行控制系统的融合及信号维护支持系统的横向开发，

融合车辆各个专业有关运维信息，如牵引系统、制动系统、车门系统及暖通与空调系统等，形成一体化、智慧化的车辆智慧运维管理系统，如图4所示。

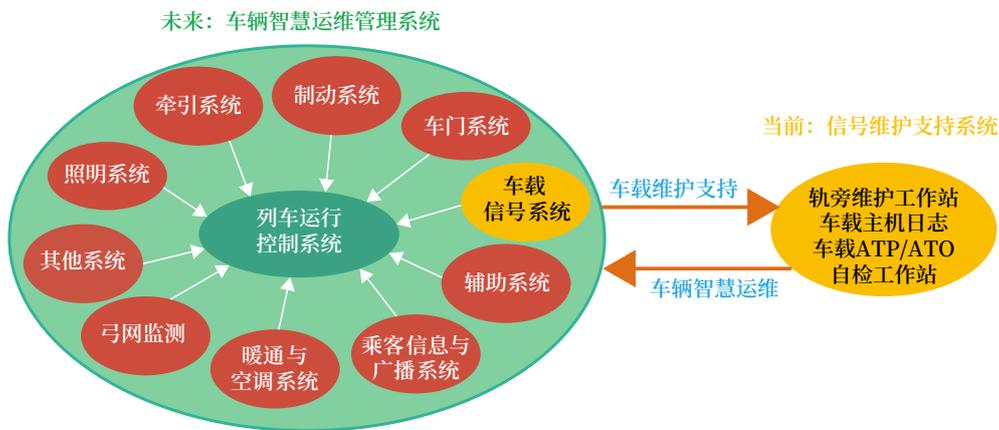


图4 车辆智慧运维管理系统

Fig.4 Vehicle intelligent operation and maintenance management system

本方案融合后，车辆的智慧运维数据将持续不断地通过车-地无线通信系统发送给轨旁运维服务器，运维服务器利用大数据算法，完成数据分析、处理、存储及统计等任务，通过车辆智慧运维工作站显示预测的车辆运维信息，提示运维工作人员及时做出响应。车辆智慧运维工作站还可作为全自动运行系统线路中的远程驾驶台，监视和控制车辆相关系统，如远程照明控制、远程暖通及空调控制、远程紧急制动或常用制动、远程车辆故障复位等。更为重要的，该系统可以快

速定位跨专业的盲点故障并及时解决。本方案为车辆相关专业运维设备从软件功能到硬件设备的融合探索了发展方向。随着全自动运行系统运营线路的逐步增多，一体化、智慧化的车辆运维系统作为综合性运维系统，对于城市轨道交通行业运营维护效率的提升是显而易见的。

#### 2.4 其他

信号系统ATS子系统与综合监控系统(Integrated Supervision Control System, ISCS)融合形成的行车综合自动化系统技术成熟，国内部分

城市轨道交通线路已顺利实施。随着云平台技术的逐步成熟，在统一云平台内，可以实现城市轨道交通众多机电设备专业的融合，如电力综合监控系统、环境与设备监控系统、综合监控系统、门禁系统、安防系统、火灾自动报警系统、乘客信息系统、视屏监控系统、自动售检票系统及列车自动监控系统等。该方案不仅可以建立本线路高效的联动机制，还可以将多条线路的数据部署在同一云平台内，从而实现线网级不同厂家同类系统间的调度管控及更多的联动功能，如本线路同站台换乘站的ATS将时刻表信息发送到其他线路的ATS，从而使时刻表与乘客的乘车计划更为贴合，提高运营舒适度；同样，在故障列车救援和火灾救援等应急场景下，利于运维人员快速响应，进一步实现一体化、智慧化的城市轨道交通应用场景。

自动售检票系统（Automatic Fare Collection, AFC）可融合至信号系统，如AFC系统利用统一云平台和大数据算法，筛选出乘客通行时间的峰谷值并远程打开或关闭售票设备、安检设备及票检设备，同时信号系统对来自AFC系统的客流信息进行定义，匹配列车时刻表和列车编组信息，开发实现4/6/8编组列车运营混跑的机制判断、突发应急事件的行车控制、快慢车计划的干预、时刻表预先编制及列车数量优先安排等功能。而当信号系统跳停本站或者故障列车影响载客时，信号系统可以发送关闭AFC系统的售票设备、安检设备及票检设备的命令，提高乘客的人机交互体验感。实现节能环保，一体化、智慧化运营的目的。

乘客信息显示系统（Passenger Information System, PIS）可融合至信号系统，目前PIS系统可部署在统一云平台内，融合后的系统利用前述章节的列车运行控制系统和车辆智慧运维管理系统将更好地为乘客提供便捷、安全、舒适的服务。涉及列车到站时间、时刻表信息、火灾阻塞、紧急疏散、区间通风、视屏监控及紧急呼叫等联动场景功能的应用，如区间火灾，信号系统根据监测信息智慧选择列车越过区间火灾区域或者返回前站站台紧急疏散。融合后PIS系统将及时地与乘客交互信息，安抚乘客情绪，做好个人安全防护。

### 3 机电设备招标管理优化

目前，轨道交通机电设备专业分类较多，对甲方业主来说，在承发包阶段，考虑各专业工作接口界面较多，不利于建设管理；在设计开发阶段，随着全自动运行系统线路的发展，一体化、智慧化的运营场景需求在增加，各专业机电设备功能的可靠性、安全性要求在提高，安全评估需求在增加；在项目执行阶段，多专业接口功能和运营联动场景需要一致性协调方参与协调管理；在运营维护阶段，对于接口问题的故障处理难以准确定位，投入人力资源成本多。

综上所述，各专业机电设备采购及服务招标方式由单独招标优化为总承包管理后，由SIL4的信号系统作为总承包方进行一体化管理，将减轻甲方业主的建设管理压力，利于建设项目的顺利执行。经过调研，已有部分城市的招标由信号系统集成商总承包管理多专业机电设备采购及服务，如兰州地铁2号线将专用通信系统、公安通信系统、技术防范系统、PIS系统、信号系统、ISCS系统以及AFC系统共同招标；厦门地铁4号线和6号线将信号系统、ISCS系统、线网云平台共同招标。

鉴于本方案前述第2章节各专业机电设备融合或整合项点，乙方总承包方信号系统进行管理后，推荐的基本招标范围包括信号系统、列车运行控制系统、站台门控制系统、车辆智慧运维管理系统、综合监控系统、AFC及PIS，也可根据甲方业主的需求灵活调整。

### 4 结语

本文探析多专业机电设备系统技术融合与机电设备招标管理优化，城市轨道交通多专业机电设备系统发展将更好地符合国家一体化、智慧化的发展战略。

随着5G通信、人工智能、云平台及大数据算法等新型技术将不断地从非关键系统向关键系统应用到城市轨道交通行业，信号系统作为关键SIL4系统，不断契合及发展自身很有必要。从软件技术、硬件技术及网络技术3个维度和信息安全角度，考虑与其他机电设备系统的融合或整合，信号系统融合多

专业机电设备一体化未来还有很大的发展空间。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范:GB 50157-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

[2] 徐东超, 尹光辉, 李宗亮, 等. 基于实时以太网的城轨列车多网融合系统研究 [J]. 智慧轨道交通, 2022, 59 (3): 58-62.

Xu Dongchao, Yin Guanghui, Li Zongliang, et al. Study on Multi-Network Integration System of Urban Rail Train Based on Real-Time Ethernet[J]. Smart Rail Transit, 2022, 59(3): 58-62.

[3] 朱少华, 吉凡. 地铁列车 TRDP 安全数据传输协议研究 [J]. 电子制作, 2021 (10): 23-25.

[4] 马海波. 基于门控柜的站台门联动方案分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (11): 164-165, 168.

Ma Haibo. Analysis of Platform Door Interconnection Scheme Based on Door Control Cabinet[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 164-165, 168.

[5] 胡恩华, 裴加富, 张炳锋, 等. 车辆调度系统

在全自动无人驾驶线路的研究与应用 [J]. 现代城市轨道交通, 2022 (2): 1-7.

Hu Enhua, Pei Jiafu, Zhang Bingfeng, et al. Research and Application of Vehicle Dispatching System in Fully Automatic Driverless Line[J]. Modern Urban Transit, 2022(2): 1-7.

[6] 徐德培, 史时喜, 杨子亮. 城市轨道交通全自动驾驶车辆基地创新研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (10): 141-144.

Xu Depei, Shi Shixi, Yang Ziliang. Innovation Studies on Urban Rail Transit Fully Automatic Driving Vehicle Base[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(10): 141-144.

[7] 陈雷. 系统集成在城市轨道交通建设中的应用 [J]. 中小企业管理与科技 (中旬刊), 2016 (6): 27-28.

[8] 孙永生, 赵斌. 乘客触发全自动驾驶列车车门紧急手柄的防护措施研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (3): 83-89.

Sun Yongsheng, Zhao Bin. Research on Measures for Protecting Emergency Handles of Train Doors Triggered by Passengers in FAO Mode[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(3): 83-89.

\*\*\*\*\*

(上接 71页)

Yang Chengdong, Xu Yuming. ISCS Architecture Scheme for Urban Rail Transit Based on Cloud Computing Technology[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(5): 6-9.

[6] 李竹庆, 蔡德钧, 闫宏业, 等. 基于液位压差原理的高速铁路路基沉降监测技术研究 [J]. 铁道建筑, 2020, 60 (12): 78-82.

Li Zhuqing, Cai Degou, Yan Hongye, et al. Research on High Speed Railway Subgrade Settlement Monitoring Technology Based on Liquid

Level Pressure Difference Principle[J]. Railway Engineering, 2020, 60(12): 78-82.

[7] 熊振兴, 陈漾, 李长霖, 等. 地铁多专业在线监测系统研究现状及趋势分析 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (10): 70-74.

Xiong Zhenxing, Chen Yang, Li Changlin, et al. Research Status and Trend Analysis of Multi-Disciplinary Online Monitoring System for Metro[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(10): 70-74.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.016

# 金属对中低速磁浮BTM天线谐振频率影响

牛江涛<sup>1, 2</sup>, 孟天旭<sup>1, 2</sup>

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

**摘要:** 应答器传输系统 (Balise Transmission Module, BTM) 用于实现车-地之间的信息交互, 与列车的安全运行息息相关。利用三维电磁仿真软件对磁悬浮 BTM 车载天线进行精细化建模, 并对天线周围的金属物质对其谐振频率产生的偏移影响进行仿真分析, 最后根据磁悬浮的 BTM 车载天线的 S11 参数的实际测试结果, 验证仿真模型与仿真结果的有效性。相关研究为现场设备的维护和系统的后续优化研发提供参考。

**关键词:** 磁悬浮; BTM 车载天线; 仿真; 测试

中图分类号: U237

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0083-05

## Influence of Metallic Objects on Resonant Frequency of BTM Antennas in Medium-low Speed Maglev Trains

Niu Jiangtao<sup>1,2</sup>, Meng Tianxu<sup>1,2</sup>

(1. CRSC Research &amp; 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:** A BTM (Balise Transmission Module) system is used to realize train-ground information interaction, which is closely related to the safe operation of trains. In this paper, the three-dimensional electromagnetic simulation software is used to create an elaborate 3D model of a maglev on-board BTM antenna, and the influence of the metallic substances around the antenna on the offset of its resonant frequency is simulated and analyzed. Finally, according to the test results of S11 parameters of the maglev on-board BTM antenna, the effectiveness of the simulation model and simulation results are verified. The relevant research in this paper provides a reference for the maintenance of field equipment and for the subsequent optimization, research and development of the system.

**Keywords:** magnetic levitation; on-board BTM antenna; simulation; test

收稿日期: 2021-11-05; 修回日期: 2022-11-16

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司课题项目 (2300-K1120003.01)

第一作者: 牛江涛 (1994—), 男, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向: 电磁兼容, 邮箱: niujiangtao@crscd.com.cn.

## 1 概述

在国内城市轨道交通系统中，中低速磁悬浮作为后起之秀，因其环保、安全、转弯半径小、爬坡能力强等优点，迅速占领了一席之地。中低速磁悬浮适用于城市市区、近距离城市间以及旅游景区的交通连接，可替代轻轨和地铁<sup>[1]</sup>。然而电磁环境干扰影响 BTM 设备的正常工作是目前磁浮 BTM 设备中的难点问题<sup>[2]</sup>，BTM 车载天线不仅对布线或接地等条件较为敏感，周围设备的布局也可能对其产生影响<sup>[3]</sup>，因此需要深入对 BTM 车载天线特性的研究。

国内中低速磁悬浮的车地通信方式分为车-地无线通信系统 (Train-to-Wayside Communications, TWC) 和 BTM 两种。TWC 系统通过车载天线和交叉感应电缆环线之间的电磁感应原理实现车-地双向通信<sup>[4]</sup>，当列车经过环线时，TWC 系统利用两对接收天线从环线边界获取绝对位置信息判断列车运行方向，从环线交叉点获得列车位置校正信息完成列车定位。

应答器传输系统是安全点式信息传输系统，通过应答器实现地面设备向车载设备传输信息<sup>[5]</sup>。BTM 是列控车载设备的核心部件之一，此模块主要由主机、D 电缆、BTM 车载天线以及地面应答器 4 部分组成。

BTM 车载天线 (CAU) 作为 BTM 系统的核心部分之一，其作用主要是发射频率为 27.095 MHz 的功率波，接收地面应答器发送中心频率为 4.234 MHz 的信号。当列车通过地面应答器上方时，功率波会激活地面应答器，使地面应答器将其储存的信息 (如地理位置、列车目的运行信息、路线信息、固定限速信息等) 编码后经过移频键控调制，通过地面应答器天线以 586 kbit/s 的速率发送至 BTM 车载天线。BTM 车载天线先将信息滤波再将有用信号放大，经解调解码后传送给 BTM 主机等车载设备<sup>[6]</sup>。

## 2 BTM 车载天线的仿真和实测试验

### 2.1 BTM 车载天线的精细化仿真

目前，计算电磁学中有很多计算方法，如有限元法。时域有限差分法和矩量法等都在电磁场仿真中广泛使用，其中时域有限差分法 (FDTD) 是计算电磁学中极为重要的一种时域麦克斯韦方程求解方法。通过调整网格的尺寸和数量，时域有限差分法可以精确地模拟任意结构的材料，对于各种结构的模型以及各类信号都有精度很高的计算结果，且结合计算机的优势，可用于一些复杂的电磁仿真，如空间内电磁场的辐射、导体上电流的分布情况等，都能实现精确且高效的计算<sup>[7]</sup>。

仿真中需要对磁浮车体和轨道的材料和尺寸结构等进行精确模拟，基于建模的特点和仿真需求，选取时域有限差分法对 BTM 车载天线的真实尺寸进行精细化建模计算。天线模型如图 1 所示，内外两环在天线下方通过交叉连接，阻抗匹配电路以及连接在天线上方内环的缺口处。

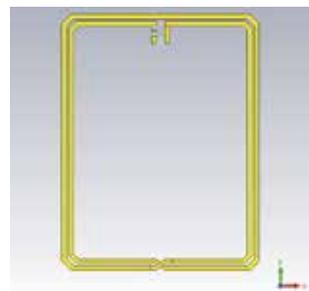


图1 BTM 车载天线模型  
Fig.1 Model of on-board BTM antenna

BTM 车载天线为环形贴片天线，材质设置为铜，外环尺寸为 295 mm × 225 mm，内环尺寸为 279 mm × 209 mm；阻抗匹配电路如图 2 所示，BTM 天线的阻抗匹配电路中，并联一个电阻  $R$  和一个电容  $C_2$ ；串联一个电容  $C_1$  和一个电感  $L_1$ 。

通过计算确定各元件的值，天线的阻抗为 50  $\Omega$ ，谐振频率在 27.095 MHz。上述原件的值通过公式 (1) 到公式 (6) 可计算出。

将电阻  $R=5 \Omega$  并联到图 2 中位置，仿真计算出

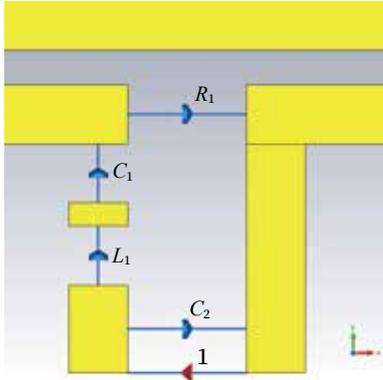


图2 BTM车载天线的阻抗匹配电路

Fig.2 Impedance matching circuit of on-board BTM antenna

此时天线的阻抗  $Z_1$  如公式 (1) 所示。

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \quad (1)$$

将  $Z_1$  的虚部  $X_1$  代入公式 (2) 中, 计算出电容  $C_1 = 2.105 \times 10^{-9}$  F, 上式中  $f = 27.095$  MHz。

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f \cdot X_1} \quad (2)$$

再次通过仿真计算出此时天线的阻抗  $Z_2$  如公式 (3) 所示。

$$Z_2 = R_2 + jX_2 \quad (3)$$

将  $Z_2$  的实部  $R_2$  代入公式 (4) 中, 可得  $L_1 = 8.607\ 123\ 642\ 2 \times 10^{-8}$  H。

$$L_1 = \frac{R_2 \cdot \sqrt{\frac{5}{R_2} - 1}}{2\pi f} \quad (4)$$

启动仿真工程, 计算出此时天线的阻抗  $Z_3$  如公式 (5) 所示。

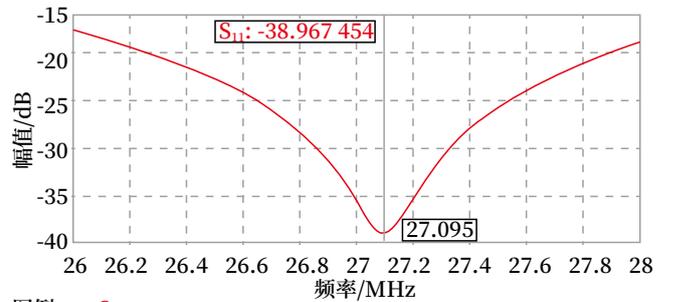
$$Z_3 = R_3 + jX_3 \quad (5)$$

将  $Z_3$  的虚部  $X_3$  代入公式 (6) 中, 计算出电容  $C_2$ , 通过优化对  $C_2$  的值进行微调, 调至谐振频率为

27.095 MHz 时, 电容  $C_2 = 3.662\ 75 \times 10^{-10}$  F。

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f \cdot X_3} \quad (6)$$

经上述步骤天线的阻抗匹配完成, 此时天线的  $S_{11}$  参数的仿真结果如图 3 所示。

图例:  $-S_{11}$ 图3 天线的  $S_{11}$  仿真结果Fig.3 Simulation results of  $S_{11}$  parameters of the antenna

天线的谐振频率为 27.095 MHz, 此时  $S_{11} = -38.967\ 454$  dB。

天线在频率为 27.095 MHz 时的  $Z_{11} = 48.941\ 782 - j0.348\ 910\ 61 \Omega$ , 上述指标满足 CAU 天线的设计需求。

## 2.2 周围金属物质对天线谐振频率偏移影响的仿真

由于 BTM 车载天线周围的介质为金属, 属于有耗介质, 因此会降低 BTM 天线的有效通信距离并影响报文质量。

磁浮 BTM 车载天线周围的金属物质主要是磁浮车体和磁浮轨道, 相比有轨列车少了转向架和车轮。如图 4 所示, 建立磁浮车底和磁浮轨道模型, 二者材料都设置为铁。

将 2.1 节中建立的 BTM 车载天线模型置于车

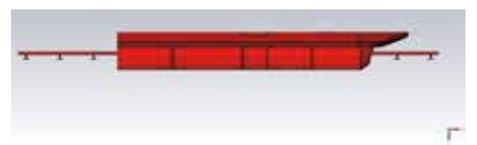
(a) 磁悬浮车底和轨道模型正视情况  
(a) Front view(b) 磁悬浮车底和轨道模型俯视情况  
(b) Top view(c) 磁悬浮车底和轨道模型侧视情况  
(c) Side view

图4 磁悬浮车底和轨道模型三视

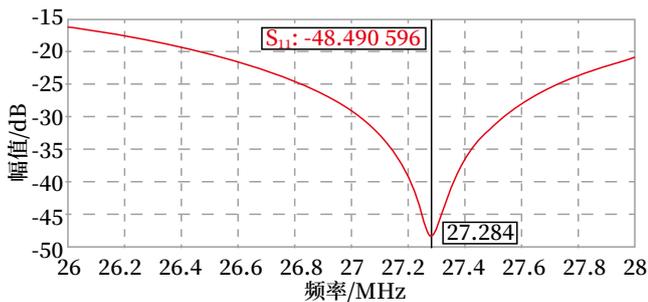
Fig.4 Three view drawings of the model of a railway track and the bottom of a maglev train

底如图 5 所示的位置，天线与车底的相对位置与某中低速磁浮车底与天线的实际相对位置保持一致。



图5 BTM天线模型与车底的相对位置示意  
Fig.5 Schematic diagram of the relative positions of BTM antenna model and the train bottom

仿真的各项参数设置与 2.1 节中保持一致，启动仿真。此时天线  $S_{11}$  参数的仿真结果如图 6 所示。



图例: —  $S_{11}$

图6 车底和轨道环境下天线的 $S_{11}$ 仿真结果  
Fig.6  $S_{11}$  simulation results of the antenna under the train and track environment

如图 6 所示，在车底以及轨道等金属物质的影响下，BTM 车载天线的谐振频率在 27.284 MHz，相比无金属物质影响的情况，谐振频率偏移了 0.189 MHz。

此时天线在 27.095 MHz 处的阻抗  $Z_{11} = 49.542\ 616 + j2.296\ 376\ \Omega$ 。

### 2.3 某中低速磁浮BTM车载天线 $S_{11}$ 参数的实测

对某中低速磁浮 BTM 车载天线  $S_{11}$  参数进行实测，现场测试环境以及 BTM 天线在车底的相对位置如图 7 所示。

测试所用到的设备如表 1 所示。

将 BTM 车载天线连接 D 电缆，D 电缆通过转接线和网络分析仪相连，测得 BTM 车载天线在现



图7 现场测试环境  
Fig.7 Field test environment

表1 测试BTM车载天线 $S_{11}$ 参数所需设备

Tab.1 Equipment required for testing  $S_{11}$  parameters of on-board BTM antenna

| 设备名称    | 型号     | 数量 |
|---------|--------|----|
| 频谱分析仪   | N9917A | 1  |
| D 电缆    | /      | 1  |
| D 电缆转接线 | /      | 1  |

场环境下的  $S_{11}$  参数如图 8 所示。

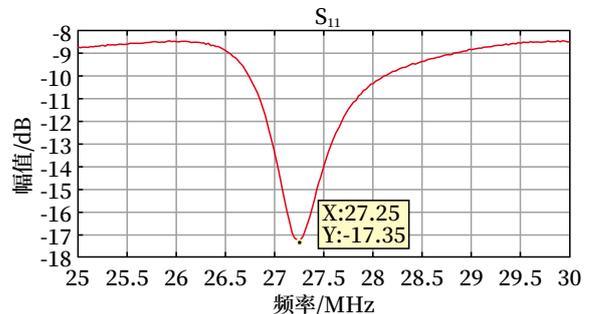


图8 现场环境下BTM车载天线的 $S_{11}$   
Fig.8  $S_{11}$  parameters of on-board BTM antenna in the field test environment

在现场测得的中低速磁浮 BTM 车载天线的谐振频率为 27.25 MHz，与无金属物影响时的谐振频率偏移了 0.155 MHz，十分接近仿真中的偏移值 0.189 MHz。此实测结果验证了 BTM 车载天线模型以及车底和轨道对天线影响仿真的有效性。

## 3 结论

本文使用基于时域有限差分法的电磁场仿真计算对磁浮 BTM 车载天线进行三维精细建模，并对天线模型进行了阻抗匹配，使其谐振频率为 27.095 MHz，此时  $S_{11}$  的值为 -38.967 454 dB。利用电磁仿真软件对天线周围的金属物质环境

进行建模与仿真研究, 仿真结果显示, 车底和轨道等金属物质使 BTM 车载天线谐振频率偏移了 0.189 MHz。此仿真值与现场测试的 BTM 车载天线的谐振频率偏移值非常接近。本文的研究结果验证了中低速磁悬浮 BTM 车载天线仿真模型的正确性和有效性, 为将来进一步的研究以及工程改进奠定了基础。

### 参考文献

- [1] 李艳, 马卫华. 中低速磁浮交通典型故障状态研究 [J]. 中国科技纵横, 2018 (1): 83, 85.
- [2] 姚本东. 电磁环境对 BTM 设备干扰的排除与处置 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (7): 45-48.  
Yao Bendong. Troubleshooting and Disposal of Interferences in Electromagnetic Environment on BTM Equipment[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(7): 45-48.
- [3] 李阳. 列控车载 BTM 设备电磁干扰故障处理 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (10): 35-37.  
Li Yang. Fault Handling of Electromagnetic Interference of On-Board ATC's BTM Device[J]. Railway Signalling & Communication, 2017,

53(10): 35-37.

- [4] 宋瑞刚. 基于交叉感应电缆环线的车—地通信系统建模与仿真研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [5] 中华人民共和国国家铁路局. 应答器传输系统技术条件: TB/T 3485—2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [6] 郭玉华, 张金宝. 动车组车载 BTM 设备电磁干扰防护研究 [J]. 铁道学报, 2016, 38 (11): 75-79.  
Guo Yuhua, Zhang Jinbao. Analysis of Electromagnetic Compatibility of EMU Onboard BTM Equipment[J]. Journal of the China Railway Society, 2016, 38(11): 75-79.
- [7] 周兰花, 付彬, 李仁发, 等. 基于异构计算的三维 FDTD 并行算法及其在电磁仿真中的应用 [J]. 计算机工程与科学, 2017, 39 (7): 1241-1248.  
Zhou Lanhua, Fu Bin, Li Renfa, et al. A 3D FDTD Parallel Algorithm Based on Heterogeneous Computing and Its Application in Electromagnetic Simulation[J]. Computer Engineering & Science, 2017, 39(7): 1241-1248.

\*\*\*\*\*

(上接 55 页)

探索 eSIM 卡 (嵌入式 SIM 卡) 在铁路 GSM-R 网络中运用, 避免 SIM 卡与电台接触不良产生的故障。

### 参考文献

- [1] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-3 级列车运行控制系统系统需求规范: Q/CR 714-2019 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2019.
- [2] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-3 级列车运行控制系统功能需求规范: Q/CR 713-2019 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2019.

- [3] 唐涛. 列车运行控制系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
- [4] 郭进. 铁路信号基础 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [5] 王首婧. 基于 GSM-R 的通信模组管理平台的设计与研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 37-40, 50.  
Wang Shoujing. Design and Research on Communication Module Management Platform Based on GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 37-40, 50.

# 一种有轨电车跟踪方法的设计与实现

景顺利

(南京恩瑞特实业有限公司, 南京 211106)

**摘要:** 介绍一种有轨电车运营调度系统中的电车跟踪方法的设计与实现, 该方法结合车载位置、状态报告及道岔控制器的轨道占用信息, 使运营调度系统可以支持有轨电车环境下的无岔区段及有岔区段的通信及非通信电车跟踪, 满足有轨电车运营调度系统需求。对地铁与有轨电车列车跟踪特点进行讨论, 提出一种有轨电车运营调度系统中的电车跟踪方式, 主要从不同系统差异、系统功能原理、系统设计等方面进行详细介绍。

**关键词:** 电车跟踪; 有轨电车; 调度系统; 信号系统

中图分类号: U284.59

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0088-07

## Design and Implementation of Tram Train Tracking Method

Jing Shunli

(Nanjing NRIET Industrial Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

**Abstract:** This paper introduces the design and implementation of a tram tracking method in the tram operation dispatching system. This method combines the on-board positions, status reports and track occupation information of the controllers of railway switches, so that the operation dispatching system can support the tracking of both communication and non-communication trams in sections with or without switches in the tram operation environment, and meet the requirements of the tram operation dispatching system. This paper discusses the train tracking characteristics of subways and trams, and puts forward a tram tracking method in the tram operation dispatching system, which is introduced in detail from the major aspects, such as system differences, system function principle, system design and so on.

**Keywords:** tram tracking; tram; dispatching system; signal system

### 1 概述

近年来, 随着城市轨道交通的迅速崛起, 有轨电车越来越成为二、三线城市轨道交通发展的趋势<sup>[1-2]</sup>。其中, 有轨电车运营调度系统是实现在有轨电车运营调度和行车管理自动化的重要手段。运营调度系统的列车跟踪是一项十分重要与关键的技术, 如何准确、可靠地实现列车跟踪是有轨电车运

收稿日期: 2022-05-18; 修回日期: 2022-12-06

基金项目: 江苏省高端装备研制赶超工程项目资助(2016-00159)

发明专利: 2018年国家发明专利(ZL201810437619.7);  
2019年实用新型专利(ZL201921917258.2)

作者简介: 景顺利(1982—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 地铁及有轨电车信号系统设计、研发及工程实施, 邮箱: jingshunli@163.com。

营调度系统必须解决的问题<sup>[3]</sup>。

运营调度系统列车跟踪负责跟踪线路中运行列车的位置，并将列车识别信息与对应的轨道进行管理，在人机界面对应的位置进行实时显示，并为调度员提供人工操作功能，方便调度员根据运行需求，在故障情况下实现针对跟踪列车的列车车次号的相关操作。

## 2 地铁与有轨电车跟踪的区别

在城市轨道交通中，地铁与有轨电车项目由于系统设计、轨旁设备设置、网络部署等形式不同，导致地铁的ATS系统与有轨电车的运营调度系统在列车跟踪方式上有所差别<sup>[4]</sup>，主要差异如下。

### 2.1 轨道占用信息获取方式不同

在地铁项目中，ATS系统能通过正线联锁获取线路轨旁的所有物理轨道、逻辑轨道的占用、出清信息，通过车辆段联锁获取车辆段/停车场内物理计轴或轨道电路的占用、出清信息，分别实现正线的基于联锁占用信息的车次号跟踪，车辆段的基于联锁占用信息的车组号跟踪<sup>[5]</sup>。

在有轨电车项目中，运营调度系统通过正线道岔控制器只能获取有岔区段的占用、出清信息，轨旁无岔区段的占用、出清信息无法获取，导致无法完全按照来自道岔控制器上报的占用、出清信息实现车次号跟踪。

### 2.2 跟踪方式不同

地铁项目中，ATS系统在正线根据列车上报的列车位置、状态信息及联锁上报的占用、出清信息，在车辆段根据联锁上报的占用、出清信息分别实现车次号与轨道的关联、车组号与轨道的关联。并将车组号或车次号与对应的轨道在人机界面进行实时移动显示。当前列车对应的轨道占用信息来自于正线或车辆段联锁系统<sup>[6]</sup>。

在有轨电车项目中，运营调度系统根据道岔控制器上报的轨道占用信息实现有岔区段车次号跟踪，在无岔区段，根据列车上报的列车位置、状态信息实现车次号跟踪。在有岔、无岔边界处实现占用跟

踪，并进行位置信息修正。

### 2.3 列车包络获取方式不同

在地铁项目中，列车车载信号系统周期性上报列车位置、状态信息给轨旁区域控制器（ZC）进行处理，ZC根据列车位置、状态信息计算出当前列车所在的包络，并生成逻辑区段的占用、出清信息发送给联锁。ATS系统根据联锁上报的逻辑区段占用信息更新界面显示，调度员可以通过界面逻辑区段的占用显示，获知列车的位置信息及对应车次号的显示<sup>[7]</sup>。

在有轨电车项目中，系统设计中无岔区段不布置计轴设备，联锁系统得不到来自计轴系统的物理占用，同时系统中不配置ZC。列车将位置、状态信息直接发送给运营调度系统，运营调度系统没有直接的逻辑区段占用、出清信息，需根据列车车头、车尾的列车位置信息计算列车包络，即列车车头所在轨道、车尾所在轨道以及车头、车尾之间轨道，并将列车包络中的逻辑区段占用、出清信息在人机界面实时显示<sup>[8]</sup>。

## 3 系统功能描述

### 3.1 电车定位

#### 3.1.1 定位方式

有轨电车在正线区间通过电车上安装的GPS/BD设备、地面定位信标和车辆提供的速度信息确定电车在轨道线路网络中的位置。车载控制器中配置有与运行线路相关的地理坐标数据库，定位时融合处理接收到的GPS/BD粗定位数据和信标检测信息后，在人机操作界面上显示电车位置，同时通过车-地无线通信通道将电车位置上报控制中心运营调度系统。

考虑到GPS/BD的定位有一定的误差，在车站、道岔和路口区域安装定位信标，可更精确地校正电车位置。在地下或一些无GPS信号的地方由于无法采用GPS/BD定位方式，需在出/入段线处安装定位信标，采用信标加里程计方式定位电车位置。

#### 3.1.2 位置信息标识

在线路网络描述模型中，采用基于相连接的线路区段进行位置描述，定位信息标识如图 1 所示。对于一个线路区段，由以下一些参数来确定：

- 1) 线路区段的起始点；
- 2) 线路区段的正常方向；
- 3) 线路区段的长度。

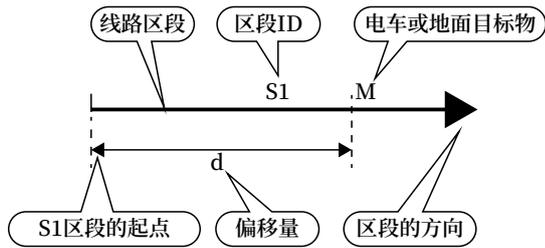


图1 定位信息标识  
Fig.1 Positioning information identifier

车载控制器根据 GPS/BD、定位信标等信息确定电车位置后，向运营调度系统发送每列电车的位置信息如下：电车车头区段 ID、电车车头偏移量、电车车尾区段 ID、电车车尾偏移量等。

### 3.1.3 电车位置确定

电车位置信息包括车头和车尾的位置和方向。对于每个投入运营的车载控制器设备来说，电车定位包括两个过程：一是电车定位初始化；二是电车运行过程中电车位置信息的更新。

在车载控制器设备完成初始化后，车载控制器子系统启动电车的初始定位。电车的初始位置获得有两种途径：一是电车在人工驾驶时经过两个连续的地面信标；二是通过人工设置上/下行和方向使电车定位。

当采用信标加里程方式定位时，电车每经过一个地面信标就能接收到一个用于信标识别的编号报文。根据信标的识别号，车载控制器设备可以利用车载数据库里的静态线路信息对信标进行定位。

## 3.2 电车跟踪方式

### 3.2.1 通信电车跟踪

有轨电车系统中，通信电车在道岔区段、无岔区段采用不同的信息进行跟踪，在无岔区段采用定位信标 + 里程计方式进行定位显示；在有岔区段除

采用定位 + 里程计方式外，还采用计轴精确检测道岔区段的占用 / 出清状态信息进行跟踪。即：位置报告 + 占用 / 出清相结合的方式进行电车的跟踪。

因此，车载控制器需要向运营调度系统周期性提供电车位置报告，具体信息包括：车头所在区段编号、车头所在位置对应区段的偏移量、车尾所在区段编号、车尾所在位置对应区段的偏移量、列车运行方向、车头运行方向、车尾运行方向、车头定位确定性、车尾位置确定性等信息，位置报告发送周期为 1 s。系统根据电车位置信息的移动实时计算电车所在包络，将当前电车包络内的轨道设置为占用状态，将电车已运行经过的轨道设置为出清状态，同时将车次信息关联到车头所在的轨道。具体显示如图 2 所示。

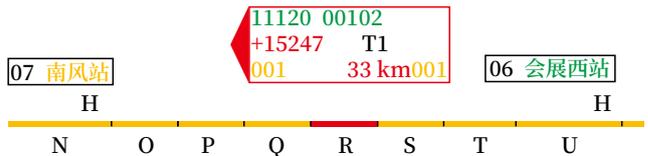


图2 有轨车次号显示  
Fig.2 Display of tram number

### 3.2.2 无通信电车跟踪

有轨电车系统中，道岔控制器不提供无岔区段的占用、出清等信息。当电车丢失通信时，则该电车的位置显示为系统在最后一次收到列车位置信息时所处的轨道位置；当电车恢复通信后，系统根据位置报告重新计算电车所在的包络，并更新包络内轨道为占用状态，将电车已运行经过的轨道设置为出清状态，并发送 HMI 更新界面上元素状态显示。

针对丢失通信电车所处位置信息不同，系统进行不同情况处理，具体处理如下。

- 1) 当电车丢失通信后前方计轴上报占用、出清信息后，采用基于计轴区段占用、出清的状态进行步进；

- 2) 列车丢失通信时，在车次框上显示列车丢失通信状态；

- 3) 丢失通信电车完全占用道岔，道岔出清后，本道岔关联的前后轨道为空闲状态时，保留本道岔

关联的车次框。

电车丢失通信后，界面显示电车跟踪状态如图 3 所示。

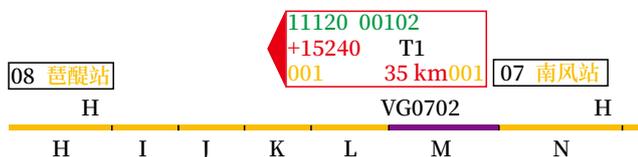


图3 丢通信时车次号显示

Fig.3 Display of tram number when communication is interrupted

### 3.3 区段状态显示

#### 3.3.1 无岔区段状态显示

无岔区段元素状态（列车在无岔区段显示位置，即占用轨道）无法从现场采集，运营调度系统根据周期性接收到的电车位置报告，需要运营调度系统根据列车车头、车尾的列车位置信息计算列车包络，即列车车头所在轨道、车尾所在轨道以及车头、车尾之间轨道。

若电车存在通信，根据车载控制器上报的车头、车尾位置信息，判断某列车显示在某一轨道（可能是一个轨道，也可能是多个轨道），同时当列车驶出该轨道时应出清该轨道上列车占用显示。将无岔区段元素状态变化的信息发送给人机界面进行元素状态显示，如图 4 所示。

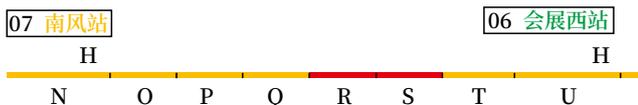


图4 通信正常时轨道状态显示

Fig.4 Display of track status when communication is normal

若电车丢失通信，将该电车设置为无通信电车，电车停在原位置，占用轨道显示为无通信电车占用（即紫色），如图 5 所示。针对丢失通信的电车处理如下。

- 1) 当有后续电车前进时，推动无通信电车前行；
- 2) 用人工步进方式将无通信电车步进到指定位置；
- 3) 丢失通信电车恢复通信后，根据最新的位置

信息更新列车显示。



图5 丢通信时轨道状态显示

Fig.5 Display of track status when communication is interrupted

#### 3.3.2 道岔区段状态显示

运营调度系统根据道岔控制器上报的道岔及轴的占用、出清、进路征用、锁闭、道岔定 / 反位等信息进行状态显示。

同时根据接收到的道岔占用信息，采用标准跟踪方式将列车车次信息步进到道岔。

## 4 系统设计

### 4.1 电列车包络计算

电车包络计算主要功能是获取当前电车所在轨道区段，占用区段可能是一个轨道或者多个轨道。当系统接收到电车位置信息时，触发电车包络计算功能，与系统中保存的上一次的位置信息进行对比，通过两次位置信息的变化更新电车包络中所包含的轨道。具体处理过程如下。

- 1) 根据接收到的位置信息，计算当前电车车头、车尾所在的轨道 frontTrack 和 rearTrack。
- 2) 根据电车索引获取系统保存的当前电车车头、车尾所在的轨道 oldFrontTrack 和 oldRearTrack。
- 3) 对实时接收的电车车头、车尾所在位置信息与系统中保存的电车的车头、车尾所在位置信息进行对比，获取电车当前包络轨道。
- 4) 若前后两次车头、车尾对应的轨道信息相同，说明电车包络信息未发生变化。
- 5) 若当前电车车头、车尾对应轨道与系统中电车车尾、车头对应轨道一致，说明电车在当前位置发生换端，更新原包络信息前后顺序。
- 6) 若当前电车车头与车尾信息与系统保存的不一致时，根据线路拓扑结构，从系统中保存的车头轨道，按照电车运行方向进行搜索，直至查询到

当前电车车头所在的轨道，再按照运行方向搜索时，将搜索到的轨道设置为占用状态；从系统中保存的车尾轨道，按照电车运行方向进行搜索，直至查询到当前电车车尾所在的轨道，将搜索到的轨道设置

为出清状态。

7) 根据步骤6) 计算获取电车实际的包络信息及电车移动过程中导致的轨道占用、出清状态的更新。

具体处理流程如图6所示。

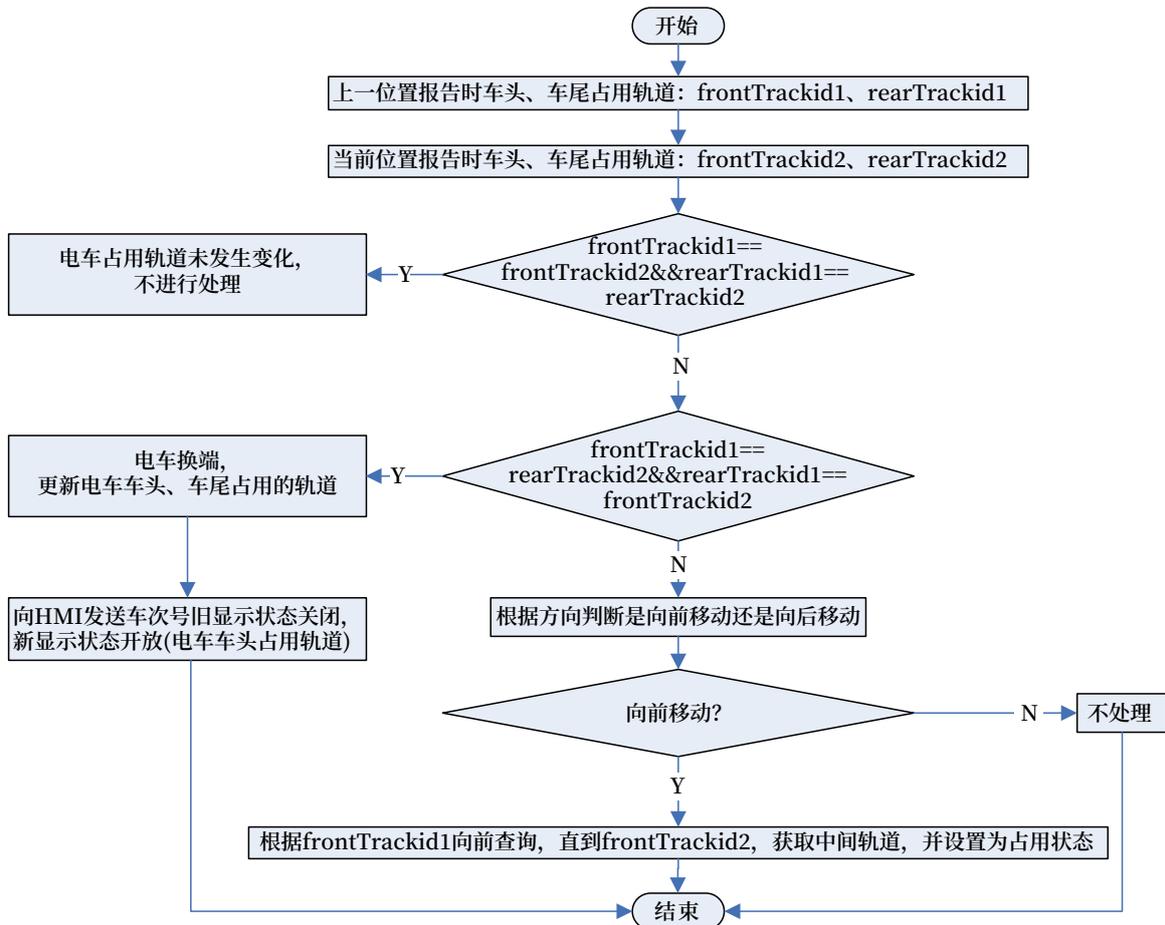


图6 电车包络计算

Fig.6 Calculation of tram profile

#### 4.2 基于计轴区段的标准电车跟踪步进

电车跟踪对象是计轴区段，计轴区段占用 / 出清状态变化会触发电车跟踪作业，列车跟踪作业过程包含列车识别和列车步进，计轴区段变化过程如下。

一个计轴区段由“空闲”状态变为“占用”状态。通常这时一列电车的第一个轮对刚刚进入该计轴区段，即触发列车跟踪作用，将电车车次号关联到当前占用的计轴区段。

一个计轴区段由“占用”状态变为“空闲”状态。通常这时一列电车的最后一个轮对刚刚出清该计轴区段，此时判断“空闲”的计轴区段是否关联

电车车次号，若关联车次号则将车次号关联到当前电车占用的计轴区段。显示示例如图7所示。

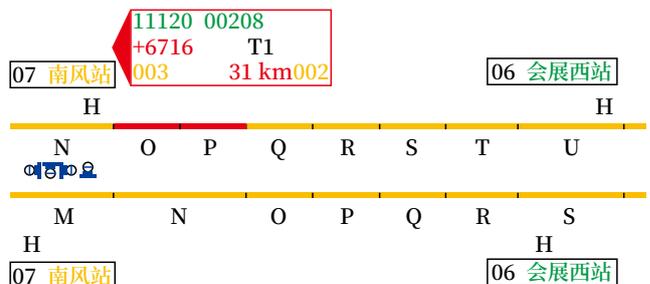


图7 站场

Fig.7 Layout of stations and yards

电车识别的目的是确定电车的移动，一个计轴区段“占用”或者“空闲”状态将触发系统的电车识别功能，计轴区段“占用”或“空闲”时，进行电车识别的目的不同，具体如下。

1) 计轴区段“占用”引起的车次号跟踪，主要为确定电车来自于的源计轴区段。

2) 计轴区段“空闲”引起的车次号跟踪，主要为确定电车运行到的目标计轴区段。

针对图 3 中的列车移动，处理以下两个事件。

### 1) 计轴区段 GD1102 占用事件

系统接收到计轴区段 GD1102 占用后，查看其默认前置轨道 VG1002A 的状态和默认后置轨道 VG1102 的状态，根据计轴区段 GD1102 和前后置的不同状态识别电车来源。处理流程如图 8 所示。

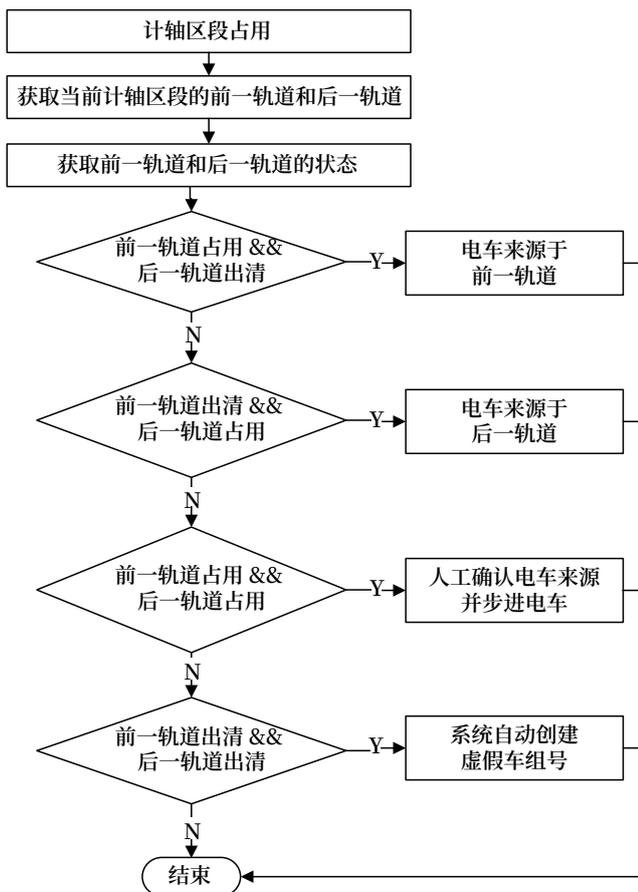


图8 计轴区段占用列车识别

Fig.8 Identification of a train in an occupied axle-counting section

### 2) 计轴区段 GD1102 出清事件

系统接收到计轴区段 GD1102 出清后，获取计轴区段 GD1102 关联的车次号。若不关联车次号，则不进行处理；若关联车次号，查看其默认前置轨道 VG1002A 的状态和默认后置轨道 VG1102 的状态，根据前置、后置轨道的不同状态识别电车运行到的目标轨道。处理流程如图 9 所示。

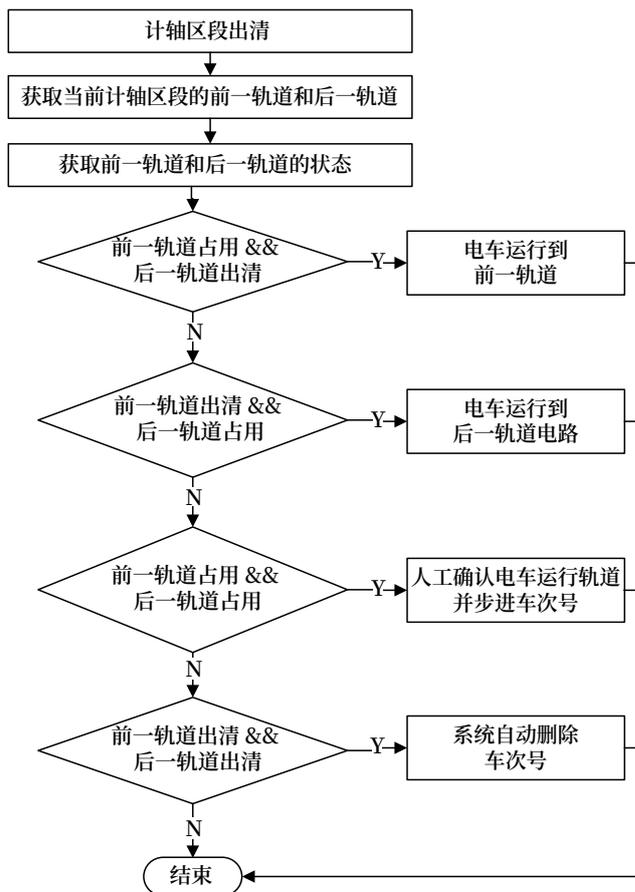


图9 计轴区段出清步进

Fig.9 Step-by-step check of the clearing of the axle-counting section

## 5 结束语

本文从信号系统差异、系统原理及系统设计等方面详细介绍了一种有轨电车的电车跟踪方法，实现有轨电车信号系统中基于位置信息及计轴区段状态信息融合的电车车次号跟踪，以及电车在无岔区段占用状态的显示。方便调度员第一时间掌握线路上运行电车、上线列车及下线列车的运行情况。作为一种有效的现有有轨电车跟踪方法，已经在广州、

南京、嘉兴等地有轨电车项目中成功应用，因此，适合于在有轨电车项目中进一步推广。

参考文献

[1] 中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会. 城市轨道交通 CBTC 信号系统-ATS 子技术规范: CZJS/T 0030-2015[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会, 2015.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 有轨电车信号系统通用技术条件: CJ/T 539-2019[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2019.

[3] 翟子奇. 中小城市发展低运量轨道交通系统研究[J]. 现代城市轨道交通, 2020(10): 13-19.  
Zhai Ziqi. Research on Development of Rail Transit System with Low and Medium Traffic Volume in Small and Medium Cities[J]. Modern Urban Transit, 2020(10): 13-19.

[4] 吕辉环. 现代有轨电车信号系统中的关键技术探讨[J]. 机电信息, 2019(12): 77-78.

[5] 景顺利, 王恒. 基于车组号的地铁车辆段列车跟踪方法[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(11): 88-91.

Jing Shunli, Wang Heng. Train Tracking Method in Metro Depot Based on Train Unit Number[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(11): 88-91.

[6] 王丽丽, 李雷. CBTC 信号系统列车跟踪技术现状及发展[J]. 控制与信息技术, 2019(3): 1-6, 12.  
Wang Lili, Li Lei. Status and Development of Train Tracking Technology for CBTC Signaling System[J]. Control and Information Technology, 2019(3): 1-6, 12.

[7] 余刚, 孙旺. 地铁车辆段列车追踪系统设计与应用[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(3): 41-44.  
Yu Gang, Sun Wang. Design of Metro Depot Train Tracking System and Its Application[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(3): 41-44.

[8] 宋岩, 屈永正, 刘振玉. CBTC 系统列车混跑模式下非通信车跟踪技术研究[J]. 控制与信息技术, 2020(3): 77-80.  
Song Yan, Qu Yongzheng, Liu Zhenyu. Research on Non-Communication Train Tracking Technology in the Mixed-Mode Operation of CBTC System[J]. Control and Information Technology, 2020(3): 77-80.

\*\*\*\*\*

(上接 66 页)

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

[9] 黄俊. 国内市域(郊)铁路未来发展思考[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(8): 100-104.  
Huang Jun. Discussion on Future Development of China's Urban (Suburban) Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 100-104.

[10] 邓志翔. 市域轨道交通信号系统方案选择刍议[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(5):

7-10, 24.  
Deng Zhixiang. Research on Signal System Selection for Suburban Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(5): 7-10, 24.

[11] 张敏慧. 国铁与城轨信号系统差异及互通性探讨[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(12): 76-80.  
Zhang Minhui. Exploration on the Difference and Interoperation between National Railway and Urban Signaling Systems[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(12): 76-80.

[12] 中华人民共和国国家铁路局. 列控系统应答器应用原则: TB/T 3484-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.018

# CBTC信号系统信息安全问题分析

王 锋

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 以计算机联锁系统 (Computer Based Interlocking, CI) 为研究对象, 分析了 CI 系统的通信板、控显及维护机存在的信息安全问题。研究表明 CI 系统存在漏洞被利用的风险, 也为基于通信的列车控制系统 (Communications Based Train Control, CBTC) 信号系统信息安全防护提供了思路。

**关键词:** 分析; CI 系统; 信息安全; CBTC 信号系统

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0095-04

## Information Security Analysis of CBTC Signal System

Wang Feng

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

**Abstract:** This paper mainly focuses on CI system and analyzes the information security problems existing in the communication board, MMI and maintenance machine of CI system. The research results show that CI system has the risk of vulnerability being exploited, which also provides ideas for information security protection of CBTC signal system.

**Keywords:** analysis; CI system; information security; CBTC signal system

### 1 概述

为满足系统的功能及安全需求, CBTC 信号系统网络连接一般采用冗余组网的方式。典型的 CBTC 信号系统网络一般包含 2 个冗余的安全网用来传递控制信息, 2 个冗余的列车自动监督系统 (ATS) 网用来交互 ATS 相关消息, 1 个维护网用来传输维护信息。CBTC 信号系统中大量使用了商用现成品或技术 (COTS), 虽然系统采用了三取二、二乘二取二等安全冗余结构来提高可靠性, 但对于

网络中存在的信息安全威胁却没有高度重视。对 CBTC 信号系统网络信息安全进行分析, 识别出网络中存在的风险, 对确保整个 CBTC 系统安全高效运行具有重要的意义。

### 2 CBTC信号系统网络面临的信息安全问题

从控制设备的功能跟地域分布上一般把 CBTC 信号系统划分为 4 个部分, 即车辆控制部分、中心控制部分、地面控制部分和通信传输部分。CBTC 信号系统网络面临的信息安全威胁可以从设备、数据通信系统 (DCS) 以及通信 3 个方面来分析。

#### 2.1 CBTC信号系统设备的信息安全问题

CBTC 信号系统中设备主要包括计算机联锁

收稿日期: 2021-10-20; 修回日期: 2022-12-17

作者简介: 王锋 (1992—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通信号与控制, 邮箱: wangfeng@crscu.com.cn。

(CI)、区域控制器(ZC)、ATS子系统、列车自动防护(ATP)子系统和列车自动运行(ATO)子系统,此外还包含数据存储单元、维护终端、上位机以及输入/输出单元设备等。这些设备按安全完整性等级一般可分为安全设备和非安设备。

### 2.1.1 安全设备

CI、ZC以及ATP系统的安全完整性等级为SIL4级,在系统信息安全分析过程中这些设备面临的威胁也应该得到更多的重视。安全设备的主机采用Dos以及VxWorks等嵌入式操作系统,通过以太网板卡与外部设备通信,设备开放的端口以及系统漏洞存在被攻击者利用的风险。通信板开启的通信类型的端口会被利用登录到服务器,窃听通信会话内容或其他敏感信息,部分设备开启的Telnet、Ftp端口没有登录错误次数限制,容易被暴力破解。设备系统的漏洞名称、数目以及等级等信息可使用Nessus等漏洞扫描工具获取,在公共漏洞和暴露(CVE)中有关于这些漏洞被利用后果的详细介绍。

### 2.1.2 非安设备

信号系统中维护系统和上位机等大量的终端设备多由商业工控机充当,设备的操作系统一般选用Windows XP或Windows 7系统。商业工控机及软件存在通用的漏洞,因此设备的漏洞信息很容易被攻击者获取。Windows操作系统采用图形用户界面为设备使用人员带来了便利,但计算机、U盘等设备都能轻易接入,给设备带来木马、病毒等威胁。微软已停止更新Windows XP及Windows 7系统的安全补丁,系统安全补丁及杀毒软件病毒库无法及时更新,将导致设备缺乏有效的病毒防护措施,软件后期的升级维护难度也将增大。

## 2.2 DCS的安全问题

DCS采用的工业以太网环网结构使得CBTC信号系统网络环网协议配置不当或交换机故障时可能发生网络风暴,导致整个网络瘫痪。CBTC信号系统中的安全网以及非安网中存在大量的交换机设备负责数据转发,支撑CBTC系统的正常运转。交换机通常处于局域网的内部,一旦交换机被攻击者利

用或者破坏,整个网络便处于危险之中,针对交换机的攻击种类很多,攻击包括“VLAN中继攻击”,“MAC表洪水攻击”等。使用时应避免安全网与非安网接入到同一个交换机上,防止安全网与非安网相互影响。

## 2.3 通信安全问题

信号系统采用有线跟无线两种通信方式。安全网中数据传输协议使用铁路信号安全通信协议RSSP-I/II协议,RSSP-I/II是公开的铁路通信协议,其潜在的漏洞也使攻击者可能通过分析协议挖掘利用。CBTC信号系统网络中典型的通信协议,如TCP/IP协议簇,存在着包括“嗅探攻击”“IP欺骗攻击”“拒绝服务攻击”“拦截攻击”等漏洞。车载VOBC与地面设备之间采用WLAN无线传输技术通信,采用基于IEEE 802.11标准的无线传输技术也面临很多信息安全方面的威胁。比如“中间人攻击”,攻击者与通讯的两端分别创建独立的联系,会话被攻击者完全控制:“蜜罐攻击”,攻击者使用作为一台恶意设备伪装成企业网内部的合法设备来吸引企业网内部的合法设备与之关联等。WLAN无线网络的开放性也使其易受到频段干扰。

## 3 CBTC信号系统网络信息安全风险分析

对系统的信息安全分析可以从安全事件发生的影响以及概率两个方面着手。依据《信息安全技术信息安全风险评估规范》(GB/T 20984-2007)系统信息安全评估涉及到信息资产、威胁性、脆弱性3个要素。利用识别出的系统信息资产、威胁性、脆弱性定量或定性评估出安全事故发生的可能性。系统的风险指标集合 $Risk=\{A_1, T_1, V_1\}=\{\text{信息资产, 威胁性, 脆弱性}\}$ , $A_1, T_1, V_1$ 又可以细分为更多的风险指标,原理如图1所示。《信息安全技术信息安全风险评估实施指南》(GB/T 31509-2015)定义了风险的计算原理,如公式(1)所示。

$$R = F(A, T, V) \quad (1)$$

公式(1)中, $R$ 表示风险的计算函数; $A, T, V$ 分别表示系统的资产、威胁、脆弱性。

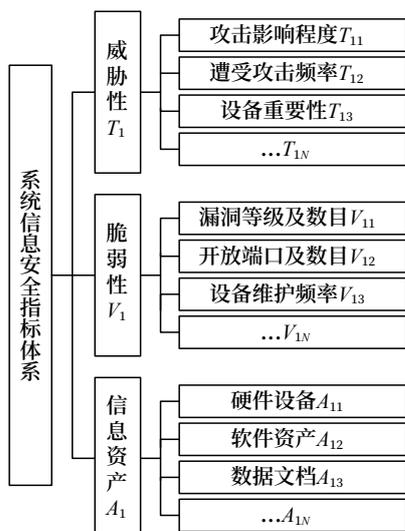


图1 风险分析原理

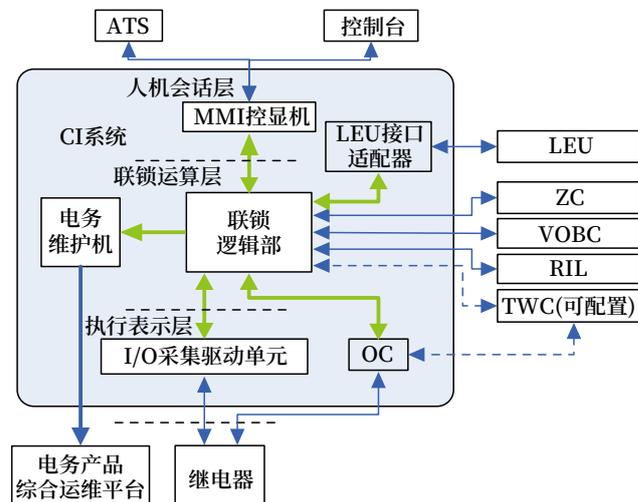
Fig.1 Schematic diagram of risk analysis

对系统的信息安全风险分析一定程度上存在着主观性，结论一定程度上也具有模糊性。信号系统网络中 CI、ZC 以及 ATP 等设备安全等级高受到物理隔离保护，一些常见的攻击方式并不能很好地适用于这些设备，因此设备被成功攻击的可能性较低。非安设备如维护机等设备，由于安全等级较低且经常需要进行回放、日志查询等操作，暴露程度较高，被攻击的概率也较大。结合 CBTC 信号系统的网络特点以及网络风险分析原理，可采取专家评分的方式对可能威胁信号系统信息安全的事件进行评估，并将其存储于分析数据库中，用以支撑网络信息安全风险等级评估。评估元素发生成功的可能性可分 5 个等级，对应的评语集  $V=\{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}=\{\text{低, 较低, 中, 较高, 高}\}$ ，评估等级的高、低程度与该类型攻击发生成功的概率成正比。

### 3.1 漏洞挖掘

在一些已知的工业系统信息安全事故中，攻击者都是利用设备存在的漏洞或者“后门”发起攻击，信号系统设备开放端口跟系统漏洞都存在被利用的可能。CI 是 CBTC 系统中的核心地面控车设备，主要用以采集现场信号设备状态，接收操作员发来的操作命令，进行联锁运算。测试时以某型号 CI 系统为研究对象，利用端口扫描器 Nmap 和漏洞扫描

器 Nessus 对 CI 系统的逻辑部、控显机、维护机进行扫描，分析设备开放端口跟系统漏洞带来的信息安全威胁。CI 的组成以及与外围系统的接口示意如图 2 所示。



图例：■表示联锁系统内部网络 ■联锁与外部网络

图2 联锁系统结构

Fig.2 CI system structure

#### 3.1.1 CI通信板漏洞挖掘

利用端口扫描工具通过接出的以太网口对 CI 通信板扫描，扫描结果包含通信板开放的端口号以及端口的服务类型等信息。漏洞扫描结果显示设备存在一个中级漏洞，该漏洞为公开漏洞，在公共漏洞和暴露 (Common Vulnerabilities & Exposures, CVE) 中有详细介绍。测试时发现环境中的设备未设置密码，通过 Telnet 命令可以直接登入进内部系统。

#### 3.1.2 控显漏洞挖掘

控显是联锁子系统的操作显示终端，与联锁逻辑部、ATS 系统、控制台接口通信。控显的端口扫描结果如图 3 所示。

控显机使用 Windows XP 系统，微软公司于 2014 年停止了该系统的服务支持。控显机操作系统漏洞扫描部分结果如图 4 所示，扫描结果表明该上位机缺少漏洞补丁，系统被攻破的可能性较大。

#### 3.1.3 维护机漏洞挖掘

联锁维护机的主要功能是记录操作信息、报



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.019

# 嘉兴站上行出站信号机点灯电路修改及验证

窦磊

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

**摘要:** 针对嘉兴站上行出站信号机存在的标准点灯电路不能满足现场需求的问题, 根据现场需求提出点灯电路的修改方案, 并对修改方案进行验证。根据现场需求分析嘉兴站上行出站信号机标准点灯电路存在的不足; 提出电路的修改方案; 对修改方案中电路功能逻辑逐一进行方案验证; 对修改设计的要点进行归纳。结果表明, 修改后的电路符合“故障-安全”原则, 能够有效满足嘉兴站现场的实际需求。

**关键词:** 出站信号机; 点灯电路; 现场需求; 修改; 验证

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0099-06

## Modification and Verification of Lighting Circuits of Up-direction Starting Signals at Jiaxing Railway Station

Dou Lei

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that the standard lighting circuits of the up-direction starting signals of Jiaxing railway station cannot meet the demands of the site, a modification plan of the lighting circuits is proposed according to the site requirements, and the modification plan is verified. Firstly, according to site requirements, this paper analyzes the shortcomings of the standard lighting circuits as mentioned above; secondly, the circuit modification plan is proposed; then, the circuit function logic in the modified plan is verified in different scenarios one by one; finally, the key points of the modified design are summarized. The results show that the modified circuits comply with the “fail-safe” principle and can effectively meet the actual demands of Jiaxing railway station.

**Keywords:** starting signal; lighting circuit; site requirements; modification; verification

嘉兴站出站信号机采用的机构是两方向带一个表示器(以下简称BQ)的出站信号机。该型出站信号机在国内四显示自动闭塞普铁中大量使用, 正

向按自动闭塞运行、允许灯光点L/LU/U; 反向按自动站间闭塞运行、允许灯光点L+BQ, 对应的标准点灯电路则是按上述原则设置的。在实际工程设计过程中, 由于嘉兴站上行出站信号机距嘉兴东站距离太近, 路局要求上行反向发车时出站信号机允许灯光能够点出L/LU/U+BQ。这种特殊的点灯需求目前尚无标准的设计规范, 属于典型的非标电路,

收稿日期: 2021-10-26; 修回日期: 2022-11-24

作者简介: 窦磊(1995—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号工程设计, 邮箱: L\_doude@163.com。

可用于参考的先例极少。因此有必要针对这类特殊情形，提出修改方案并进行验证。

本文以嘉兴站上行出站信号机为例，根据现场实际需求分析既有标准点灯电路的不足，然后提出电路的修改方案，并对各个不同点灯场景下电路的逻辑进行验证，从而保证了电路修改方案功能的正确性和逻辑的完备性，以期为今后类似的情形提供一定的参考。

## 1 概述

嘉兴站局部示意如图1所示。嘉兴站出站信号机采用两方向带一个表示器的机构，两站间只有一个长度为596 m的区段。由于站间距离太短，尽管嘉兴站向X口发车不能以自动站间闭塞方式运行，但在实际工程中通常都处理为让出站信号机按照该机构对应的标准点灯电路点L+BQ出站。2020年嘉

兴站改造时，路局要求S1~S6向X口发车时根据嘉兴站SN的点灯情况进行开放，反向除L+BQ外也要能点出LU/U+BQ，即当SN点H时，S1~S6主体信号点U；当SN点U时，S1~S6主体信号点LU；当SN点L时，S1~S6主体信号点L（SN由于机构原因，LU点不出<sup>[1]</sup>）。要求S1~S6的允许灯光既能显示L/LU/U，也能显示L/LU/U+BQ。从路局提出的实际需求看，S1~S6机构类型对应的“仅用于区分反方向发车”的含义已被弱化，体现更多的是“区别进路开通方向”的含义，采用2个表示器的出站信号机更为合适一些。但由于现场的S1~S6已经采用了两方向带一个表示器的出站信号机机构，而该机构对应的标准点灯电路不能实现上述需求，故而需要对S1~S6点灯电路进行修改。

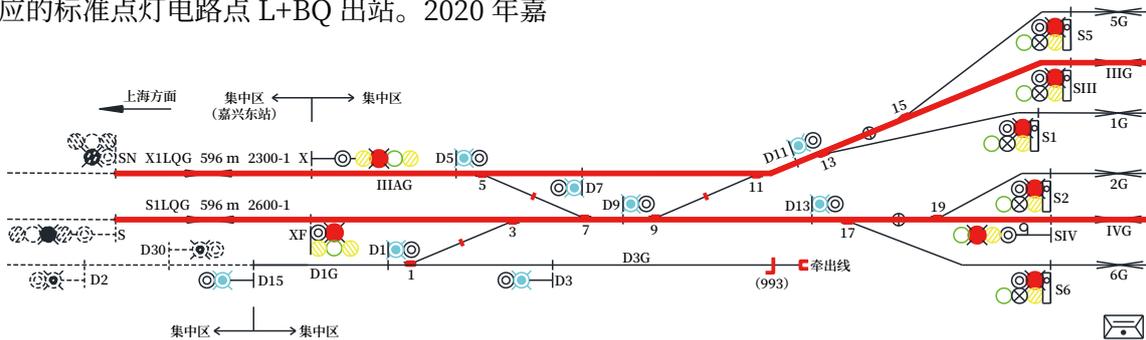


图1 嘉兴站局部示意  
Fig.1 Partial layout of Jiaxing railway station

## 2 既有标准电路的不足

出站信号机S1~S6机构对应的标准点灯电路如图2所示。

该电路在国内普速铁路上广泛使用且比较成熟完善，该电路能够点出的列车允许灯光包括L/LU/U（正向）和L+BQ（反向）。在该电路的基础上进行修改，使其能够点出上述要求的允许灯光是当下最简单的方案。

对图2电路分析发现，反向运行时2DJ监督BQ的灯丝是否完整，正向运行点LU时由2DJ监督U灯丝是否完整。由于现在要求能够点出LU/U+BQ，也即要求U灯和BQ能够同时点亮，因此

U灯灯丝和BQ灯丝无法共用一个2DJ进行监督<sup>[2]</sup>，为了反向点LU/U+BQ时所有灯位的灯丝都能得到监督，必须增设3DJ，将U灯灯丝和BQ灯丝分成两个DJ单独监督，由3DJ监督BQ灯丝的完整性，2DJ只监督正/反向点LU时U灯灯丝的完整性；由于新增了3DJ，为防止室外混线<sup>[3]</sup>，另新增一个GLB用于3DJ的励磁供电。

## 3 修改方案及验证

### 3.1 BQ是否纳入联锁

对于点灯电路的BQ是否纳入联锁，《铁路技术管理规程（普速铁路部分）》（简称《技规》）365条做出了如下规定：“……装有进路表示器或发车进路

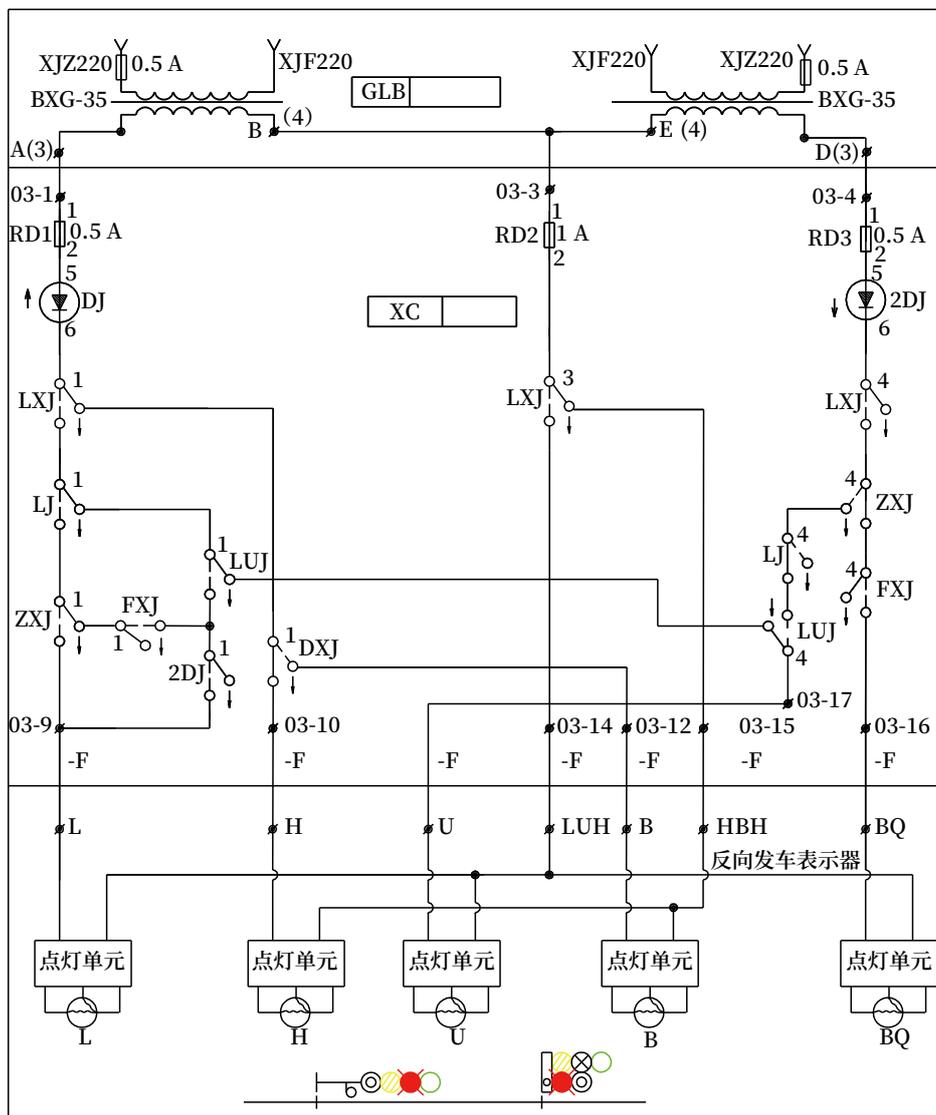


图2 S1~S6机构对应的标准点灯电路

Fig.2 Standard lighting circuit corresponding to the structure of S1~S6

表示器的出站信号机，当该表示器不良时，由办理发车人员通知司机后，列车凭出站信号机的显示出发<sup>[4]</sup>。”

对于普铁中两方向带一个表示器的出站信号机，《技规》448条对其显示情况规定如下：“在双线区段仅用于区分反方向发车时，其显示方式如下……信号机在开放状态且表示器显示一个白色灯光—准许列车反方向发车”。

尽管《技规》规定了BQ可以不纳入联锁，但每一次BQ显示不良时，都需要办理发车人员通知司机，增加了工作人员的工作强度<sup>[5]</sup>，可能会对运

输效率产生影响；部分国内同行认为如果将BQ纳入联锁以解决BQ灭灯的问题，有助于降低工作人员的劳动强度和提高效率<sup>[6-7]</sup>；但将所有带表示器的出站信号机的BQ都纳入联锁也是不合适的，特别是对于多个发车口的车站，可能会耽误发车。目前常用的解决方案是对于多方向出站信号机，为避免BQ故障影响发车，不纳入联锁；对于双线双向自动闭塞站以及单复线站，为区分运行方向将出站信号机BQ纳入联锁<sup>[8]</sup>。另外，本方案是在图2的普铁两方向带一个表示器的机构对应的标准点灯电路基础上进行修改设计的，图2电路将BQ纳入了联

锁，当反向发车时，若 BQ 不能点亮，则主体信号 L 也无法点亮。基于上述几点考虑，本文在修改方案中，沿用了修改前标准电路的做法，将 BQ 纳入联锁，当反向发车时，BQ 因故不能点亮，也禁止主体信号点亮。

### 3.2 点灯逻辑设计验证

在图 2 标准点灯电路的基础上，增设 3DJ 和一个 GLB，并将 BQ 纳入联锁，对电路进行修改，修改后电路的点灯逻辑设计如下。

1) 正向运行点灯时，ZXJ ↑、FXJ ↓、BQ 不点亮、3DJ ↓，当 LXJ ↑时直接根据 LJ、LUJ 的状态点出相应的允许灯光，正向点 LU 时，先点 U 灯，当点亮 U 灯 2DJ ↑，才能点亮 L 灯，防止信号升级显示。

2) 反向运行点灯时，ZXJ ↓、FXJ ↑、BQ 点

亮、3DJ ↑，当 LXJ ↑时直接经 ZXJ 后接点、FXJ 前接点和 3DJ 前接点再根据 LJ、LUJ 的状态点出相应的允许灯光 +BQ。反向点出允许灯光时，必须首先点亮 BQ 使 3DJ ↑，才能接通其他灯位的点灯，以防 BQ 不能点灯时发生误认；同理，点 LU+BQ 时，除了检查 3DJ ↑防止误认外，还需要检查 2DJ ↑防止信号升级。

根据上述点灯逻辑，在图 2 电路的基础上，设计出的满足要求的点灯电路如图 3 所示。

对图 3 的出站信号机点灯电路正方向发车可点出 L/LU/U，反方向发车可点出 L/LU/U+BQ，符合嘉兴站 S1 ~ S6 的设计要求，具体的 6 种点灯场景说明如下。

1) 正方向出站点 L 灯时：LXJ ↑，LJ ↑，LUJ ↑，ZXJ ↑，FXJ ↓；

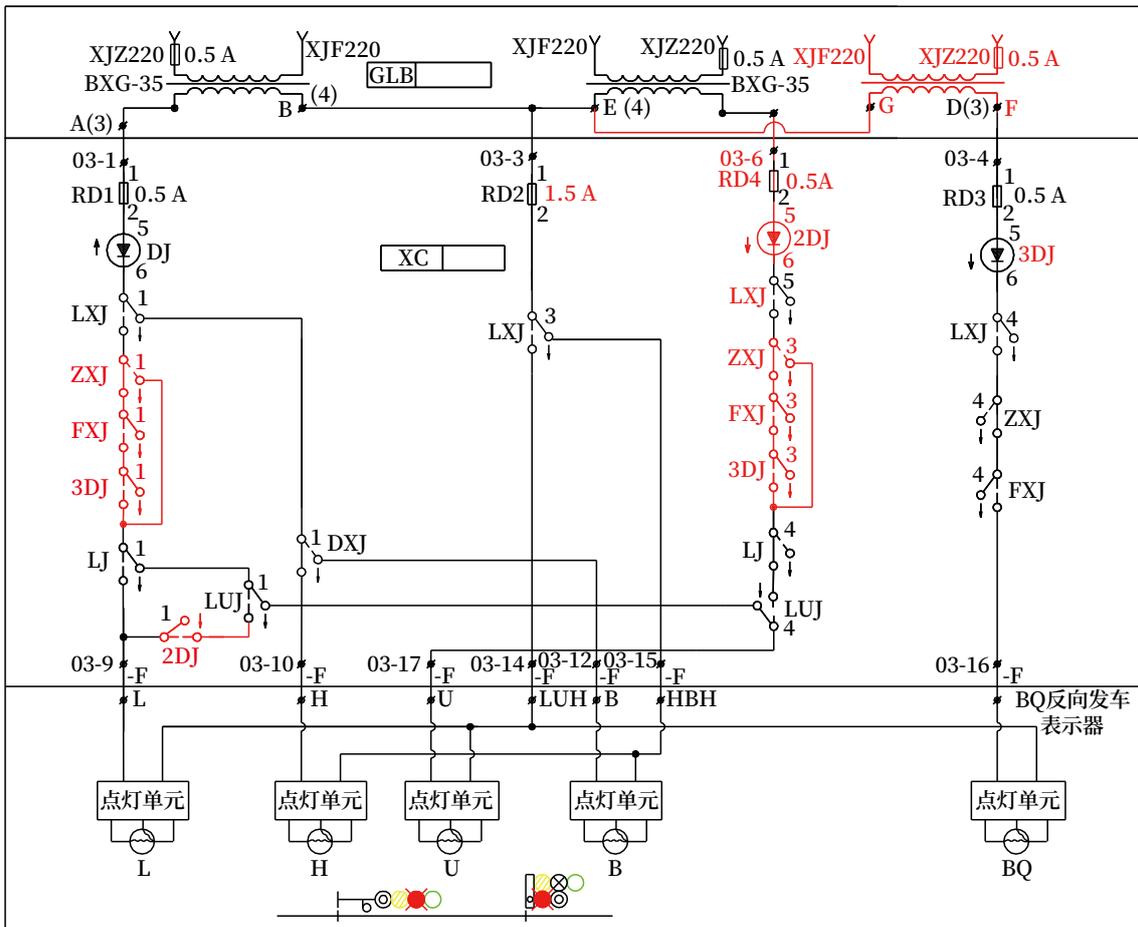


图3 修改后电路  
Fig.3 Modified circuit

2) 正方向出站点 LU 灯时: LXJ ↑, LJ ↓, LUJ ↑, ZXJ ↑, FXJ ↓;

3) 正方向出站点 U 灯时: LXJ ↑, LJ ↓, LUJ ↓, ZXJ ↑, FXJ ↓;

4) 反方向出站点 L+BQ 灯时: LXJ ↑, LJ ↑, LUJ ↓, ZXJ ↓, FXJ ↑;

5) 反方向出站点 LU+BQ 灯时: LXJ ↑, LJ ↓, LUJ ↑, ZXJ ↓, FXJ ↑;

6) 反方向出站点 U+BQ 灯时: LXJ ↑, LJ ↓, LUJ ↓, ZXJ ↓, FXJ ↑。

对以上 6 种点灯场景逐一分析验证可知, 该电路除了能够点出路局要求的正 / 反向发车不同的点灯情形, 还能够避免反向发车时 BQ 不点亮时点出允许灯光和正 / 反向发车时信号升级显示的情形, 符合铁路信号的故障 - 安全原则。经与嘉兴站的联锁厂家确认, S1 ~ S6 反向发车时联锁可根据站联电路传过来的嘉兴东站的条件相应驱动 LJ 和 LUJ, 因此该电路能够顺利点出上述灯光, 满足设计要求。

### 3.3 设计要点

对于标准电路进行修改, 需非常小心慎重, 从信号设计的角度, 对于嘉兴站这类特殊需求, 总体的原则是采用标准电路, 不到万不得已不设计非标电路。如路局等单位要求必须修改, 则需要注意以下几方面。

1) 修改要慎重。因非标电路的功能逻辑完全依赖设计单位的设计、复核人员和总工等, 因此要全面兼顾所有的正常和异常情形, 从而确保满足功能逻辑和故障 - 安全原则。

2) 非标电路往往涉及到一些特殊设计、条件, 因此设计单位在设计过程中需及时与联锁厂家对接, 确认涉及到的特殊设计和条件, 联锁厂家能否提供和实现。

3) 根据实际的站形、咽喉区道岔分布情况, 有针对性, 具体问题具体对待。例如图 1 中, 如无渡线 5/7<sup>#</sup> 道岔, 则 S2、SIV、S6 不具备反向发车的条件, 采用标准电路即可不需修改; 如无渡线 5/7<sup>#</sup>

道岔也无渡线 9/11<sup>#</sup> 道岔, 则 S1、SIII、S5 和 S2、SIV、S6 均只有一个发车方向, 出站信号机的组合中可以不设 ZXJ 和 FXJ 以简化电路等。

4) 需同步修改联锁表。目前设计单位的联锁表往往是单独设计的, 因此对联锁室内进行了特殊设计, 特别是涉及到信号的显示需及时通知联锁表设计人员同步修改, 以免后续出现图纸不一致而增补, 需要联系单进行修改等情形。

## 4 结语

本文修改的点灯电路已经在嘉兴站投入使用, 使用效果良好。本文以嘉兴站上行出站信号机为例, 根据路局提出的实际需求对电路进行修改和验证, 并对设计中的要点进行总结, 以期在设计人员在遇到类似情形时候提供一定的参考。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 杨扬. 车站信号控制系统[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2012.
- [3] 蔡菁华. 车站直控远程信号机点灯方案讨论[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 102-106.  
Cai Jinghua. Remote Control Scheme of Signal Lighting by Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 102-106.
- [4] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程(普速铁路部分)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [5] 王永州. 六方向出站信号机点灯方式及控制电路探讨[J]. 铁道标准设计, 2013, 57(1): 118-120.  
Wang Yongzhou. Discussion of Lighting Mode and Control Circuit of Six-Direction Starting Signal[J]. Railway Standard Design, 2013, 57(1): 118-120.
- [6] 赵越, 李国宁. 基于数码管的多方向发车表示器控制电路的研究[J]. 铁道标准设计, 2015,

59 (7): 159-165.

Zhao Yue, Li Guoning. LED-Based Research on Multi-Directional Departure Track Indicator and Control Circuit[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(7): 159-165.

[7] 韩永强. 七方向发车进路表示器显示及控制电路的设计 [J]. 铁道通信信号, 2013, 49 (9): 17-20.

Han Yongqiang. Design of Seven-Direction

Display and Control Circuit of a Departure Route Indicator[J]. Railway Signalling & Communication, 2013, 49(9): 17-20.

[8] 梁莉. 出站信号机进路表示器浅析 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51 (8): 38-40.

Liang Li. Analysis of Outbound Signal Route Indicator[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(8): 38-40.

\*\*\*\*\*

## 《铁路通信信号工程技术》期刊简介

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

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导;对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员,在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流;及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有:学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

投稿方式:

期刊官网投稿: <https://rsce.crsced.com.cn>

邮箱投稿: [rsce@crsced.com.cn](mailto:rsce@crsced.com.cn)

知网投稿: <http://www.tltx.cbpt.cnki.net/WKD>

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 电话:010-51865951



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

扫码打开期刊官网,  
阅读、下载本刊内容

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.01.020

# CTCS3-300T车载设备VDX时序问题 分析与解决措施

常 斌

(上海铁路通信有限公司, 上海 200071)

**摘要:** 安全数字输入/输出单元(VDX)在CTCS3-300T列控车载ATP系统中至关重要,列车在运行中发生VDX故障,将直接导致故障停车。为保障300T型ATP系统的正常运行,提高运营维护效率,结合VDX单元的功能原理,针对VDX时序问题,分析产生的原因,探讨解决措施,得到处理VDX时序问题的方案。

**关键词:** 停车故障;安全数字输入/输出单元;冗余系统;时序问题

中图分类号:U284.48

文献标志码:A

文章编号:1673-4440(2023)01-0105-05

## Analysis and Solutions of VDX Time Sequence Problems of CTCS3-300T Onboard Equipment

Chang Bin

(Shanghai Railway Communication Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

**Abstract:** Vital Digital Input/Output units (VDX) are very important in a CTCS3-300T onboard train control ATP system. When a train runs, the VDX time sequence problems will directly lead to the stopping of the train due to failure. In order to ensure the normal operation of 300T ATP systems and improve the efficiency of operation and maintenance, the causes of VDX time sequence problems are analyzed, the solutions are discussed with consideration of the functions and principle of VDX units. And the scheme for dealing with VDX time sequence problem is obtained.

**Keywords:** train stopping failure; Vital Digital I/O unit; redundant system; time sequence problems

CTCS3-300T列控车载设备(简称ATP设备)根据无线闭塞中心(Radio Block Center, RBC)提供的行车许可、测速测距、轨道电路及应答器等采

集数据信息,并结合动车组运行参数进行运算,按照目标-距离连续速度控制模式,生成目标-距离连续模式速度曲线,对动车组进行监控及制动,从而保障动车组安全运营。

CTCS3-300T车载设备的安全数字输入/输出单元(VDX-C),是CTCS3-300T列控车载设备的重要组成部分,在车载设备中起着至关重要的作用。

收稿日期:2021-10-19;修回日期:2022-12-20

作者简介:常斌(1984—),男,工程师,本科,主要研究方向:列控车载系统设备生产调试故障分析,邮箱:changbin@crsc.cn.



括制动测试的第6步、第9步、第12步中的任何一步), 此情况下大多会报FS端口无效, 基本可以判断为时序问题; 5) ATPCU AELog报告FS端口无效, 同时报告了第3、4条报警信息, 在没有SDP和JRU数据时, 基本可以判断为时序问题。

### 3 VDX时序问题原因分析及解决措施

#### 3.1 原因分析

如图4所示, 电路中通过L2两端完成故障-安全(FS)输出, 为保证VDX单元中FS输出能够随时进入安全状态, VDX单元每隔5s通过光

耦(N7, N8)完成对FS输出端口进行一次检测。在检测FS端口时, 会形成短暂时间间隔(3ms)断开, 同时该端口连接的继电器的供电电源断开(3ms)后立即恢复。在3ms检测期间, 若FS输出端口电压高于门限电压值, 系统根据故障导向安全原则, 制动停车。ATP缓解制动时, 继电器会有一个励磁吸起的过程。若在3ms检测期间, 恰好遇到ATP正在缓解紧急制动, 继电器励磁不充分的情况下, 此时检测的FS端口输出电压很可能会高于门限电压值, 从而触发时序问题。

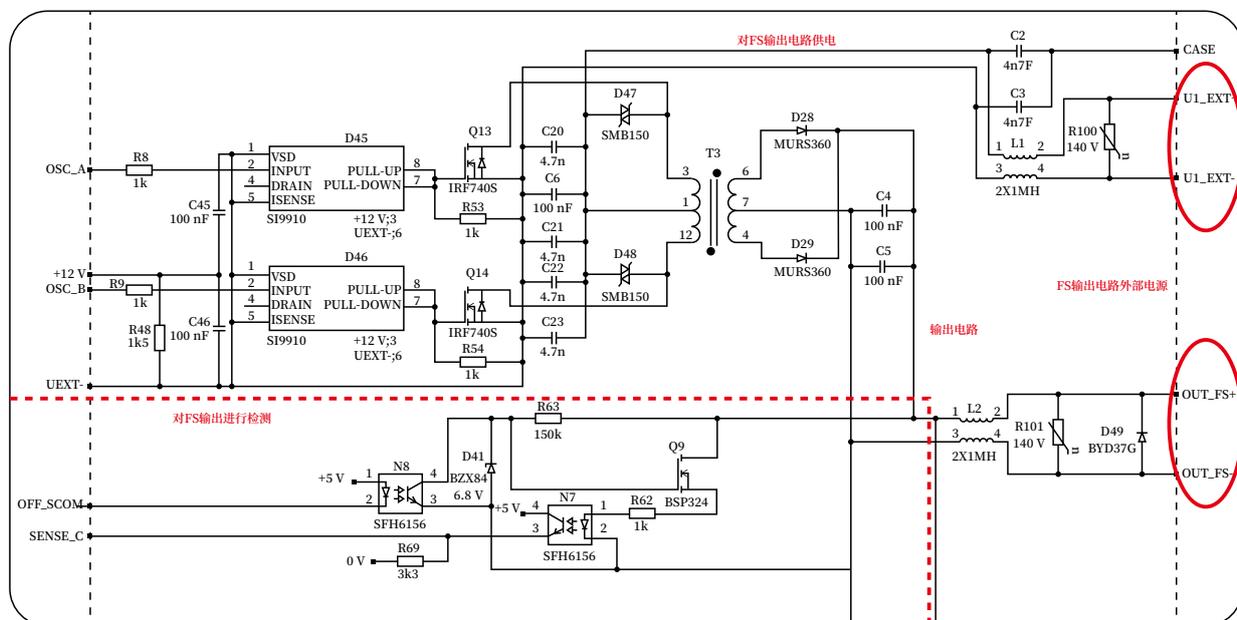


图4 FS输出及检测电路原理

Fig.4 Schematic diagram of FS output and detection circuits

#### 3.2 解决措施

##### 1) 更新VDX固件程序

更新VDX固件程序, 延迟制动到缓解时进行5s 3ms测试的时间, 按照现有逻辑, 3ms测试推迟16ms。在某些特殊的制动缓解场景下, 通过将该推迟16ms的逻辑修改为推迟48ms, 优化自检时序从而降低故障率。

##### 2) 调整继电器线圈电阻

经测试分析和数据统计, 车辆提供电压高电压、VDX单元的异常低电平以及继电器电阻阻值都会对时序问题产生影响。

a. 车辆提供的电压越高越容易触发时序问题, 当车辆侧输入电压超过130V时, 时序问题的触发概率较高。

b. VDX单元异常低电平会增大时序问题的触发概率。

c. 与VDX接口的继电器电阻越大, 放电斜率也越大。当前使用的AG继电器电阻阻值4000Ω左右, 发生概率较低。当使用AMGS继电器电阻阻值为6000Ω左右, 时序问题的触发概率将增大。

因此对VDX控制的继电器阻值进行调整, 将现场继电器线圈阻值减小, 可以有效减少时序问题发生。

### 3) 优化系统设计

目前, VDX 单元在系统中属于非冗余设计, 一旦发生不可修复的硬件故障导致停车, 降低了系统可用性, 需要进一步优化系统设计, 基于现有的 ATP 设备, 采用冗余 VDX 系统。该冗余系统将增加一个 VDX1 和一个 VDX2 单元, 同时增加与列车接口的继电器。由于只增加继电器和 VDX1/2 单元, 可以充分利用机柜的空间, 增加可实施性。

CTCS3-300T 型 ATP 车载设备采用分布式结构, 以 CRH3 型车为例的系统整体结构(冗余 VDX 系统)如图 5 所示。包括程序总线(Process Field Bus, Profibus), 用于车辆控制单元(Vehicle Control Unit, VCU)设备之间的通信, 多功能车辆总线(Multifunction Vehicle Bus, MVB)用于

VCU、测速测距单元(Speed and Distance Unit, SDU)、VDX、应答器传输模块(Balise information Transmission Module, BTM)、列车转换网关(Train Switch Gateway, TSG)设备间的通信, 车辆 MVB 用于人机交互界面(Driver Machine Interface, DMI)、司法记录单元(Juridical Recording Unit, JRU)、TSG 设备间通信。CTCS3-300T 车载设备与动车组的接口采用继电器或 MVB 总线方式, VDX1 和 VDX2 挂在信号 MVB 总线里, 通过控制 4 个单元模块电源。当冗余开关选择 A 系统工作时, VDX1a 和 VDX2a 处于工作状态, VDX1b 和 VDX2b 处于失电冷备状态; 当冗余开关选择 B 系统工作时, VDX1b 和 VDX2b 处于工作状态, VDX1a 和 VDX2a 处于失电冷备状态。

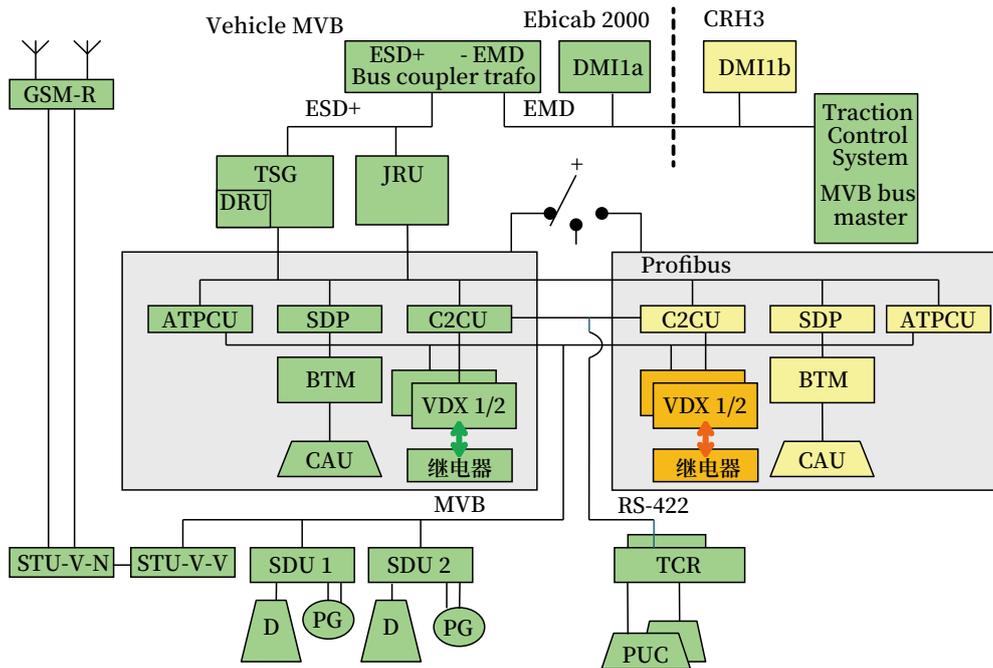


图5 冗余VDX系统结构  
Fig.5 Structure of redundant VDX system

## 4 结束语

对 VDX 的结构、原理与功能进行介绍, 通过现场故障案例对 VDX 时序问题进行了详细分析, 提出 VDX 时序问题的解决措施, 在很大程度上减少 VDX 故障发生。同时新造动车组 300T 列控车

载设备中均采用 VDX 冗余系统的设计, 使 CTCS3-300T 车载设备运行更加稳定。有效降低因单系统设备故障导致的停车事故, 为列车高速、高效、准点运营保驾护航。

## 参考文献

- [1] 安玉华. 列控车载设备 (CTCS3-300T 型) 故障分析与研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2015.
- [2] 高雪峰. CTCS3-300T 列控车载设备安全数字输入输出模块可靠性研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2014, 11 (1): 15-19.  
Gao Xuefeng. Research on Reliability of VDX Unit of CTCS3-300T Onboard Train Control Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2014, 11(1): 15-19.
- [3] 邹未栋. CTCS-3 级车载系统硬件接口设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (11): 10-14.  
Zou Weidong. Design of Hardware Interface of CTCS-3 Onboard System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(11): 10-14.
- [4] 中国铁路总公司. 列控车载设备典型故障案例

[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.

- [5] 刘源萍. CTCS-3 级列控系统常见故障分析处理方法 [J]. 科技风, 2012 (17): 74.
- [6] 王海瑛, 徐明, 宋奎博. 列控 (CTCS3-300T) 车载设备常见故障及处理 [J]. 铁道通信信号, 2013, 49 (9): 34-36.  
Wang Haiying, Xu Ming, Song Kuibo. Common Failures of CTCS3-300T On-Board ATC Equipment and Their Processing[J]. Railway Signalling & Communication, 2013, 49(9): 34-36.
- [7] 毕慧敏. CTCS3-300T 车载设备 VDX 故障分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (8): 85-89.  
Bi Huimin. VDX Fault Analysis of CTCS3-300T On-Board Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 85-89.

\*\*\*\*\*

(上接 98 页)

- [2] 王锋. 信号安全数据网信息安全防御方案研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [3] 汪松鹤, 汪永益. 网络交换机的安全威胁与防范 [J]. 网络安全技术与应用, 2009 (1): 16-17.
- [4] 赵季中, 宋政湘, 齐勇. 对基于 TCP/IP 协议的几个网络安全问题的分析与讨论 [J]. 计算机应用研究, 2000, 17 (5): 44-47.
- [5] 雷阳. 基于无线入侵防御系统的中间人攻击检测功能的设计与实现 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 信息安全技术信息安全风险评估规范: GB/T 20984-2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [7] 罗珍珍. 铁路信号系统信息安全态势评估方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.

- [8] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 信息安全技术信息安全风险评估实施指南: GB/T 31509-2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 董慧宇. 基于复杂网络的城市轨道交通列控系统信息安全评估方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [10] 邝香琦. CBTC 系统信息安全风险评估方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [11] 石晓雯. 列车安全防护包络对 CBTC 列车影响的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 71-75.  
Shi Xiaowen. Study on Influence of Train Safety Protection Envelope on CBTC Trains[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 71-75.

# 关于全电子联锁与计算机联锁系统的 对比分析

毛 芳

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100045)

**摘要:** 结合联锁系统的发展历程, 分析全电子联锁和计算机联锁的系统架构, 然后根据城市轨道交通联锁系统的使用现状, 对两种联锁系统的应用特点进行对比分析, 阐述全电子联锁系统的占用空间小、施工周期短、接口配线简单、维护方便等优点, 克服计算机联锁系统存在的问题。最后, 提出全电子联锁系统现阶段的问题以及展望在未来市场中的应用前景。

**关键词:** 全电子联锁; 计算机联锁; 电子执行单元; 城市轨道交通

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)01-0110-05

## Comparative Analysis of Full-electronic Interlocking and Computer Interlocking Systems

Mao Fang

(Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100045, China)

**Abstract:** Based on the development history of the interlocking systems, this paper analyzes the system architectures of full-electronic interlocking and computer interlocking, compares and analyzes the application characteristics of the two interlocking systems according to the current status of urban rail transit interlocking systems, and explains the advantages of full-electronic interlocking systems, such as small occupied space, short construction period, simple interface wiring and convenient maintenance, which enable such systems to overcome the problems existing in computer interlocking systems. Finally, this paper examines the current problems of full-electronic interlocking systems, with an outlook for their application in the future markets.

**Keywords:** full-electronic interlocking; computer interlocking; electronic execution unit; urban rail transit

### 1 联锁系统的发展

第一代联锁系统是机械联锁。于 1856 年诞生第一套简单的机械式车站联锁控制设备, 初步实现了联锁关系, 但由于当时技术发展水平的限制, 其可用性较差; 由此, 时代的进步促进了第二代继电

收稿日期: 2021-10-27; 修回日期: 2022-11-29

作者简介: 毛芳 (1994—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通列车运行节能优化控制及城市轨道交通信号系统设计, 邮箱: 1275272068@qq.com。

器联锁系统的发展,以国内 6502 电气集中式继电器联锁系统为代表,通过纯继电器电路的搭建实现了联锁关系,但存在设备笨重、可扩展性能较差、维护不便等问题;在第二代联锁系统的基础上,通过计算机软件逻辑代替原有 6502 的 15 条网络线设计、并与室外设备采用接口继电器的方式进行优化,相比于 6502 有了很大的进步和改善,逐渐形成了第三代计算机联锁系统。

目前,被广泛应用的计算机联锁系统的安全性、可靠性、可用性等均能满足当前城市轨道交通中运营的需要,也是近年来各大城市频繁使用的产品。但是,经过时间的沉淀和检验,计算机联锁系统与室外设备的接口继电器组合占用空间大、配线复杂、施工周期较长、日常维护工作量较大、复杂电路的故障排查较为困难、能耗较高等问题也逐渐显露出来。与此同时,随着电力电子、自动控制、计算机、冗余、容错等技术的发展,采用模块化结构设计的电子联锁系统替换室内组合电路直接与轨旁设备接口的技术应运而生,逐渐向第四代全电子联锁系统发展。

近年来,各国计算机联锁系统正在向全电子联锁系统发展,使计算机联锁系统具有开放式结构、更加小型化和智能化。用电子执行单元取代由继电器驱动的信号和转辙机等设备的全电子联锁系统,目前在欧洲轨道交通项目中已经被普遍采用,虽然在国内还未大面积使用,但在很多城市也有了工程应用案例。

## 2 系统架构

### 2.1 计算机联锁系统架构

计算机联锁系统采用计算机进行逻辑运算,保留了 6502 电气集中的执行电路,仍采用继电器组合方式,包括信号机点灯电路、轨道电路、道岔启动电路、各种联系电路等成熟的继电电路。经过长时间的改进和优化,这些继电电路的可靠性和抗外界冲击等性能逐渐得到改善,对行车安全起到了很好的保护作用,也在工程应用中积累了大量成熟的

经验,日益完善、稳定性也在不断的提高。计算机联锁系统架构示意如图 1 所示,主要包括人机交互层、联锁逻辑层、执行层和轨旁设备层。

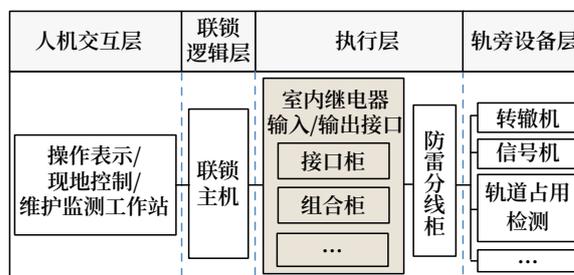


图1 计算机联锁系统架构示意

Fig.1 Schematic diagram of computer interlocking system architecture

1) 人机交互层:人机交互界面,主要显示正线或站场线路配线,实时反映所辖范围内信号机、道岔、轨道区段等设备的状态和联锁逻辑关系,具有声光报警和提示功能,可进行相应的人工操作。

2) 联锁逻辑层:包含联锁主机,内设核心联锁处理逻辑以及各种模式的联锁运算功能。

3) 执行层:由输入/输出继电器组成,接收联锁主机发出的执行命令,通过相应继电器完成室内主机对室外轨旁设备的控制,并向联锁机构传输室外轨旁设备的状态信息。

4) 轨旁设备层:轨旁的各种信号设备(如信号机、转辙机、轨道区段等)。

### 2.2 全电子联锁系统架构

全电子联锁系统架构示意如图 2 所示。全电子联锁系统架构与计算机联锁系统架构大体类似,联锁电路也是由计算机进行控制,只是在执行层有所差异。执行电路采用电子执行单元替代传统的继电器组合,通过电子执行单元实时接收计算机联锁的控制命令并直接控制轨旁各类设备。

电子执行单元由具有不同功能的各种电子模块组成,按照完全独立的单元模块化结构设计,执行单元内交叉冗余,整个系统在控制中更加灵活、简洁,提高了系统的可靠性和设备的安全性。电子模块可分为信号机、转辙机、轨道占用检测、输入/输出以及零散组合等多种类型,并且电子模块本身

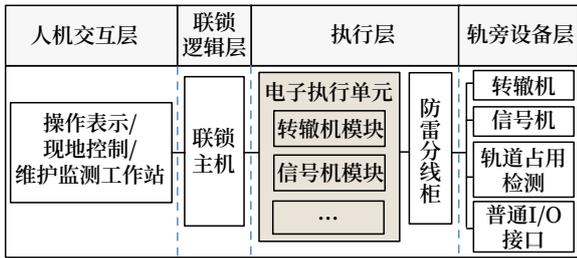


图2 全电子联锁系统架构示意

Fig.2 Schematic diagram of full-electronic interlocking system architecture

具有信息采集、状态监测、命令执行、过流保护、故障检测和诊断等功能，可支持热插拔。

### 3 对比分析

#### 3.1 空间占用

计算机联锁系统是采用继电器实现对室外轨旁设备的相关控制，而全电子联锁系统的执行单元只需依靠电子模块就能直接对轨旁设备进行控制，操作更为简单、直接。

以15架信号机、10组道岔的设备集中站为例，若采用计算机联锁系统，需要1个联锁主机柜、1个联锁I/O柜和6个组合柜；若采用全电子联锁系统，只需要1个联锁主机柜、2个目标控制柜和1个空开柜。相比而言，全电子联锁系统大大减少了组合柜的数量，节省了4个机柜和300多个继电器，大概能减少10 m<sup>2</sup>的占用空间。

根据项目的工程经验，一般传统计算机联锁系统集中站的信号设备室面积大约为80~90 m<sup>2</sup>，同一条件下全电子联锁系统信号设备室的使用面积大概是55~60 m<sup>2</sup>，将近减小了30%的用房面积。由此可知，全电子联锁系统的使用对减少建设投资、节省用房规模有显著的优势。

#### 3.2 施工周期

由于计算机联锁系统保留了部分继电器执行电路，联锁电路与继电电路之间以及继电电路内部之间还存在大量的配线，需人工进行焊接连线，且接口配线较为复杂和繁琐，需耗费大量的人力和物力，现场施工复杂，容易出现误接线的情况，不利于系统的调试。

全电子联锁采用电子执行单元，设备接口模块化，只有少量的对外接口配线，且配线采用压接式端子，现场无需焊接、接线简单。因此，全电子联锁系统的施工周期相对较短，能节省施工成本。

#### 3.3 监测功能

全电子联锁系统的电子执行单元有独立的通信信道，能与独立的监测系统进行通信，具有监测功能，可以通过监测系统对电子执行单元的运行状态、动作曲线、电气参数等进行记录和保存，也可以查看和回放。

计算机联锁系统不具备监测功能，无法直接对设备状态进行监测。

#### 3.4 日常维护

计算机联锁系统中继电器之间配线复杂，继电器使用频率高，通过驱动继电器接点执行命令动作，出现故障的概率较大，并且不同类型的继电器或同一类型不同车站、不同位置的继电器都需要根据不同的使用情况制定相对应的维护和检修标准，因此，计算机联锁系统的日常维护工作量较大，还需定期对接口继电器进行更换维护，同时对维修人员的维修水平和能力也有较高的要求。

全电子联锁系统采用模块化设计，电子执行单元施工简单、维修方便、且支持板卡热插拔，由于具有信号集中监测功能，可实时监控运行状态，维护工作量小，基本不需要维修，如有必要可根据设备的监测状态进行故障修或状态修。

从现有城市轨道交通中计算机联锁系统的应用情况来看，继电器的故障率并不低，暂时还在运营部门的容忍范围内，但是近年来继电器设备价格一直在上涨，每年的维修成本也是一笔不小的费用。而全电子联锁系统免维护的特点无疑给运营部门带来了福音，是一种可行的解决方案。

#### 3.5 故障排查

计算机联锁系统的继电器电路配线较复杂、故障定位困难，大多数情况下只能依靠之前积累的经验 and 熟练的维修人员对故障情况一一进行排查，进

而解决故障问题，往往需要消耗大量时间成本，而故障出现的概率又是随机的，无法预估具体的维修时间，当遇到重大且难以处理的故障时，这对运营部门来说面临着巨大的压力和挑战。

而全电子联锁系统的信号集中监测功能，可以实时监控设备状态，能及时根据监测信息对设备故障情况进行排查，故障定位简单、能精准定位到板卡级，有效缩短了故障排查时间，节省了维修时间和成本。

### 3.6 系统扩展

计算机联锁系统的扩展比较困难，需对继电器组合的联锁电路、电源环线等配线进行修改，增加继电器组合和组合架，对既有系统影响较大、系统扩展难度大且系统调试周期长。

全电子联锁系统采用模块化的设计、可扩展能力强，只需要在联锁系统的软件和接口上修改相应的配置数据，并在机柜中增加相应的电子执行模块即可，系统扩展简单，对既有系统改动少、影响小。

### 3.7 能耗情况

计算机联锁系统由于使用了大量的继电器设备，在同一集中站的设备配置下，采用全电子联锁系统能有效减少继电器的数量，因此，全电子联锁相较于计算机联锁的电源供电容量需求降低，相应的能耗也会减少，在一定程度上来说采用全电子联锁系统可以节能。

### 3.8 技术趋势

从联锁系统和技术的发展角度来看，第四代全电子联锁系统是继计算机联锁系统之后的又一次重大飞跃，未来将会成为主流发展方向。截至目前，已有多个厂家取得了全电子联锁的 SIL4 级认证，并成功在工程项目中应用。

## 4 结论

综合上述对全电子联锁和计算机联锁系统的发展情况、系统架构及特点的对比分析可知：相比于计算机联锁系统，全电子联锁系统在故障处理、日常维护、占用空间、系统扩展等多方面有很大的优

势，可以克服计算机联锁系统存在的占用空间大、维修工作量大、维护难度高等问题。近年来继电器价格一直在上涨，也造成了投资成本的提高，而使用全电子联锁系统在一定程度上节省了大量的人力和物力，有利于节约资源。

同时，全电子联锁虽然具有很多优点，但应明确全电子联锁在城市轨道交通项目中的应用尚处在起步阶段，还未进行全面推广和使用。而且，全电子联锁双套冗余的系统架构也增加了系统的复杂度和投资成本，其防雷和防电磁干扰的能力有待提升，且各地方业主对该系统的认可和接受程度也有待考量。但是从长远来看，全电子联锁是技术发展的必然趋势，也是未来主流的发展方向，相信在未来的城市轨道交通项目中一定能得到广泛的应用。

### 参考文献

- [1] 李帅. 全电子信号联锁系统的应用 [J]. 电脑知识与技术, 2015, 11 (21): 167-169.
- [2] 梁志勇. 全电子化计算机联锁系统设计方案 [J]. 铁路计算机应用, 2014, 23 (1): 53-54.  
Liang Zhiyong. Design of all Electronic Computer Interlocking System [J]. Railway Computer Application, 2014, 23(1): 53-54.
- [3] 张新亭. 传统计算机联锁与全电子计算机联锁对比分析 [J]. 职业, 2013(5): 82.
- [4] 何涛, 范多旺, 魏宗寿, 等. 铁路车站信号计算机联锁全电子执行单元研究 [J]. 铁道学报, 2007, 29 (2): 118-121.  
He Tao, Fan Duowang, Wei Zongshou, et al. Research on the All-Electronic Performance Units for Computer Interlocking Systems at Railway Stations [J]. Journal of the China Railway Society, 2007, 29(2): 118-121.
- [5] 王增力, 方亚非. 全电子化计算机联锁系统 [J]. 铁道通信信号, 2002, 38 (8): 15-17.  
Wang Zengli, Fang Yafei. Full-Electronic Computer Interlocking System [J]. Railway Signalling & Communication, 2002, 38(8): 15-17.

- [6] 薄云览, 杨涛. 全电子计算机联锁系统架构与关键技术研究 [J]. 铁路技术创新, 2018 (6): 11-16.  
Bo Yunlan, Yang Tao. Study on the Architecture and Key Technologies of Full Electronic Computer Interlocking System[J]. Railway Technical Innovation, 2018(6): 11-16.
- [7] 陈亮. 全电子计算机联锁的发展与规模化应用 [J]. 科技视界, 2020 (15): 9-11.
- [8] 何瑄. 全电子计算机联锁发展的思考 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8 (4): 21-23.  
He Xuan. Consideration in Developing Full-Electronic Computer Interlocking System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2011, 8(4): 21-23.
- [9] 韩冰倩, 宿秀元. 全电子联锁系统开发与应用研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 92-96.  
Han Bingqian, Su Xiuyuan. Development and Application of Full Electronic Interlocking System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 92-96.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### 欧盟铁路局《2023至2025年单一规划文件》（节选）

文件原稿于 2022 年 11 月完成，文件共 134 页，部分内容如下。

#### 1 概况

2020 年，欧盟委员会发布了《可持续和智能交通战略 (Sustainable and Smart Mobility Strategy)》。在铁路方面，已经制定了下列目标：

到 2030 年，高铁运输量将翻一番；

到 2030 年，铁路货运量将增长 50%，到 2050 年将翻一番；

到 2030 年，欧盟的基于铁路和水运的多式联运将能够与纯公路运输模式平等竞争。

欧盟铁路局将支持欧盟委员会实现这些目标，尤其要推动无边界的单一欧洲铁路区的进一步发展和有效运作。

在 2023-2025 年规划期间，欧盟铁路局的工作包括两种不同类型的活动。

多项政策任务：通过制定欧盟铁路系统的共同的安全方法，并且通过提高欧盟铁路系统的互联互通水平，欧盟铁路局的政策任务将有助于欧盟立法的实施；

完全履行下列任务：欧盟铁路局要履行作为欧盟范围内安全认证、车辆授权和 ERTMS 轨旁技术批准的权威机构的任务，也要履行在第四套铁路一揽子协议的技术支柱中所预见到的铁路安全和互联互通领域的其他任务。

#### 2 2023-2025 年多年度规划

欧盟铁路局根据下列 9 项战略声明，整理出多年度工作规划的结构：

战略声明 1：铁路乘客和货物的自由流动将不再受制于任何技术和运营障碍，资产可以在整个欧洲重复使用。

战略声明 2：铁路将成为骨干力量，支持能在环境方面实现可持续发展的多式联运系统，并且将成为新一代用户青睐的运输模式。

战略声明 3：将实现无缝轨道交通，并且确保 MaaS（出行即服务）和 LaaS（物流即服务），其中包括覆盖多段行程的票务。

战略声明 4：对于用户和铁路工作者而言，铁路将成为一种越来越安全且有保障的运输模式。

战略声明 5：在应对紧急情况方面，铁路将具有适应力和敏捷性。

战略声明 6：铁路作为一种运输模式和一个行业，经济竞争力将越来越强。

战略声明 7：欧盟将成为全球铁路的参考对象，欧盟铁路局的授权将在全球范围内得到承认。

战略声明 8：为实现性价比最大化，造福欧盟公民和企业，欧盟铁路局将确保有效、高效地治理其活动组合。

战略声明 9：基于高质量、积极的资源和协作行为，欧盟铁路局将确保创造运作良好的工作环境。

### 3 2023 年度工作计划

2023 年欧盟铁路局的工作重点如下。

技术和运营障碍：欧盟铁路局将致力于减少铁路市场内的技术和运营障碍，采用的方法包括修订互联互通技术规范，使其与技术创新保持一致；在欧盟成员国之间协调国家级规则；持续的欧盟公告机构监控；交付第四套铁路一揽子协议的活动（单一安全证书、ERTMS 轨旁技术批准、车辆授权）；以及部署 ERTMS。

安全：欧盟铁路局将发展安全文化，监督国家级安全机构，（在与信息共享系统的资源限制有关的边界内）采用评估安全等级和安全性能的共同安全方法，并且开展其他相关项目，从而强化铁路安全。

数据发展和票务：欧盟铁路局将继续推进关联数据领域的发展，并且推进 TAP TSI（客运服务远程信息处理应用互联互通技术规范）项下的发展。欧盟铁路局将在数据库和登记簿优化方面继续开展工作。

沟通和传播：欧盟铁路局将加强与利益相关方的沟通，向他们传播相关信息和知识，并且组织活动，展示铁路行业内的有趣项目和发展情况。

国际关系：欧盟铁路局将继续推进欧盟和国际铁路立法和标准工作，在欧盟委员会感兴趣的特定地理区域，实现铁路连接便利化，特别要改善安全性和跨境互联互通。

良好的治理：在欧盟铁路局的所有活动中，该局都将努力实现卓越的治理并且提高效率，也将继续努力提高预算执行率以及总体合规情况和业绩。

（北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王冲翻译自：<https://www.era.europa.eu> 2023-01-12）



《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管,北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办,在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响,深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准,自2005年12月起面向国内外公开发刊。国内统一连续出版物号:CN11-5423/U。国际标准连续出版物号:ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计刊源期刊;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。

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导;对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员,在新技术研究和工程实践中总结的科技成果进行交流;及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有:学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

### 投稿方式:

期刊官网投稿:<https://rsce.crscd.com.cn>

邮箱投稿:[rsce@crsdc.com.cn](mailto:rsce@crsdc.com.cn)

知网投稿:<http://www.tltx.cbpt.cnki.net/WKD>

地址:北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号B座

邮编:100070

电话:010-51865951

传真:010-51841598

网址:[www.crsdc.com.cn](http://www.crsdc.com.cn)

### 订阅方式:

邮局订阅:各地邮局均可办理订阅手续,邮发代号80-532

编辑部订阅:e-mail或电话至编辑部

订价:每期10元,全年(12期)120元

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U



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

扫码打开期刊官网,  
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

邮发代号:80-532 国内定价:10元/期