

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

# 铁路通信信号工程技术

*Railway Signalling & Communication Engineering*

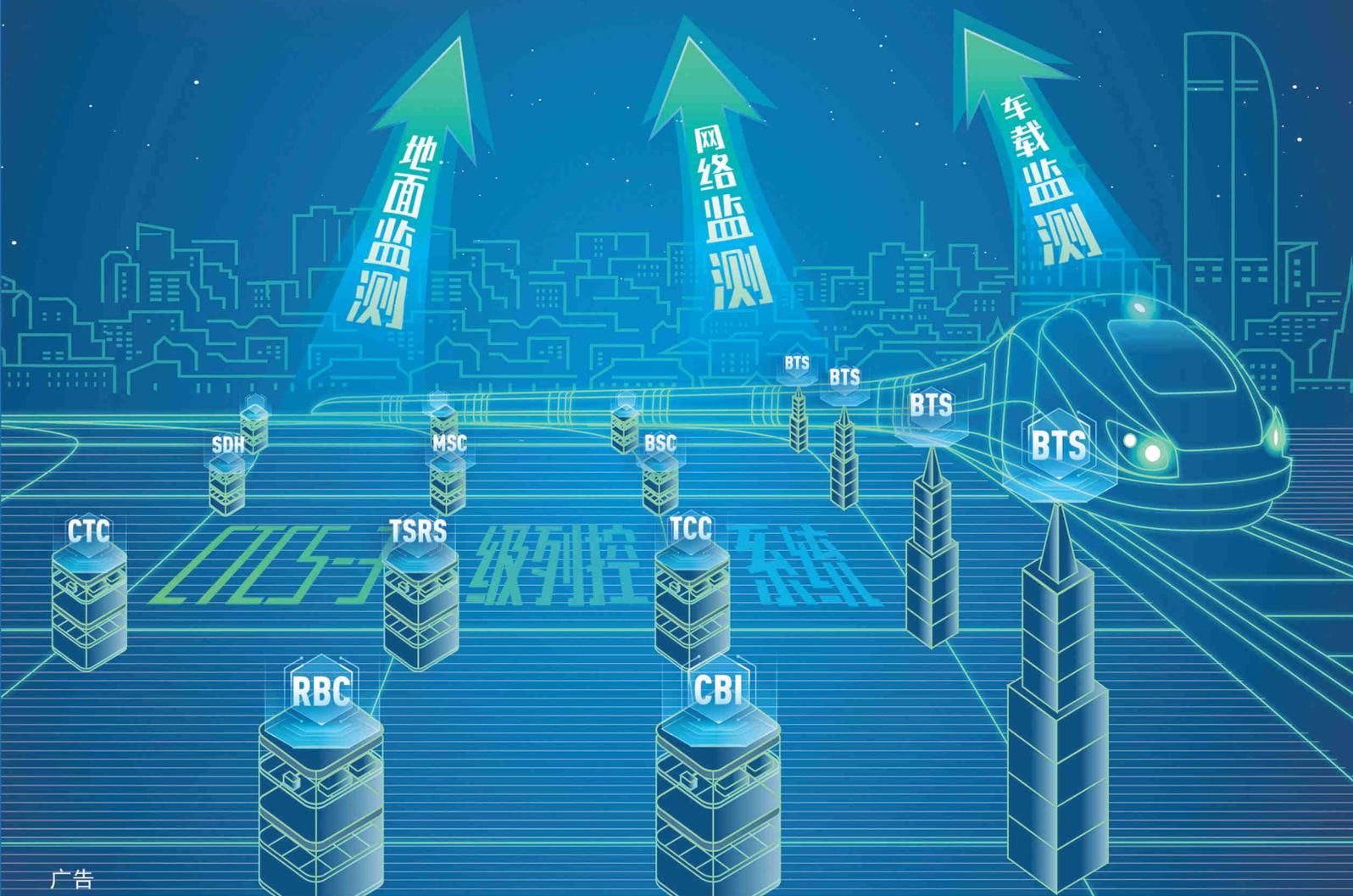
中国铁道学会通信信号分会指定期刊

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 2023. 7 第20卷 总第151期

CRSC

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

## C3列控智能分析系统



广告

地址: 北京丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号大厦, 100070 E-mail: wangdong@crscd.com.cn

# 铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

## 主管单位 Administrated by:

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

## 主办单位 Sponsored by:

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

## 主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

## 执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

## 编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

## 责任编辑 Editor in Charge:

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

## 网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

## 英文编辑 English Editor:

黄双宁 Huang Shuangning

## 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7期总第151期 Vol.20 No.7 S.No.151

出版: 2023年7月25日 Published on: 7/25/2023

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

列车追踪间隔时间的分解及影响分析	江 明, 张万强, 张嘉扬	1-9
融合点式后备模式的CTCS-4级新型列控系统研究	徐高珍	10-15
基于CTCS2+ATO的市域(郊)铁路列控系统技术研究	吴培栋	16-23
特殊场景下电码化电路设计	邢 锐, 马文慧	24-28
铁路信号用机柜的工业设计及可靠性仿真探讨	齐 含	29-33
铁路信号平面图超限绝缘的设置和联锁关系分析与研究	文武臣	34-39

### 通信及信息技术

基于GSM-R的通知外勤方案研究	陈建鑫	40-43
铁路通信网智能架构研究	邓烨飞	44-48
基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统研究	李珉璇, 赵 耀, 吴绍华, 周 敏	49-54
机车综合无线通信设备功能号注册问题简析	王 锐	55-58

## 城轨交通

一种互联互通线路跨线运行图调整实现方案	曹李竹, 何富君, 刘 佳	59-63
中低速磁浮BTM设备电磁干扰分析及优化	罗凌峰, 曹鹤飞	64-69
双速度传感器冗余策略研究	江 坤, 杨迪飞	70-74
市域铁路调度集中系统异构融合探讨	杨 俐, 胡光祥, 林 强, 罗志刚	75-79
基于Wireshark的铁路信号协议解析器的设计与实现	董渠江, 陆志伟, 曾庆文, 刘 晨	80-86
基于故障树的速度传感器检测方法研究	黄愉华, 金 捷	87-91
城轨道岔融雪系统集成到FAO子系统TIAS的可行性讨论	周 浩	92-97

## 技术交流

雷击导致轨旁信号设备故障原因分析及对策	李 雪	98-103
基于车-地数据联合分析的三起列车制动原因及对策	吴敬华, 冯 飞	104-109
一起计算机联锁与CTC通信异常故障案例简析	戴明福	110-114

## 国外信息

澳大利亚维多利亚州授予价值10亿美元的票务系统合同(109)		
--------------------------------	--	--

## 广告索引

.....		63
-------	--	----

## CONTENTS



### Technological Innovation

#### Signalling Technology

Decomposition of Train Tracking Interval and Its Impact Analysis	Jiang Ming, Zhang Wanqiang, Zhang Jiayang	1-9
Research on CTCS-4 New Train Control System Combined with Intermittent Backup Mode	Xu Gaozhen	10-15
Research on Technology of Suburban Railway Train Control System Based on CTCS2+ATO	Wu Peidong	16-23
Design of Coding Circuit in Special Scenario	Bing Rui, Ma Wenhui	24-28
Discussion on Industrial Design and Reliability Simulation of Railway Signal Cabinet	Qi Han	29-33
Analysis and Research on Setting of Transfinite Insulation and Interlocking Relationship in Railway Signal Plan	Wen Wuchen	34-39

#### Communication & Information Technologies

Research on Notification Field Scheme Based on GSM-R	Chen Jianxin	40-43
Research on Structure of Railway Intelligent Communication Network	Deng Yefei	44-48
Research on New 5G-based Railway Tunnel Disaster Prevention and Rescue Monitoring System	Li Minxuan, Zhao Yao, Wu Shaohua, Zhou Min	49-54
Analysis of Registration of CIR Function Number	Wang Rui	55-58



### Urban Rail Transit

Implementation Scheme for Adjusting Cross Line Operation Diagram of Interconnected Lines	Cao Lizhu, He Fujun, Liu Jia	59-63
Analysis and Optimization of Electromagnetic Interference of Medium-low Speed Maglev BTM Equipment	Luo Lingfeng, Cao Hefei	64-69
Research on Redundancy Strategy of Dual Speed Sensors	Jiang Kun, Yang Difei	70-74
Discussion on Heterogeneous Integration in Centralized Traffic Control System for Suburban Railway	Yang Li, Hu Guangxiang, Lin Qiang, Luo Zhigang	75-79
Design and Implementation of Rail Signal Interface Protocol Parser Based on Wireshark	Dong Qujiang, Lu Zhiwei, Zeng Qingwen, Liu Chen	80-86
Research on Speed Sensor Detection Method Based on Fault Tree	Huang Yuhua, Jin Jie	87-91
Discussion on Feasibility of Integrating Snow Melting System of Urban Rail Turnout into TIAS Subsystem of FAO	Zhou Hao	92-97



### Technological Exchange

Fault Analysis and Solution of Tackside Signal Devices Caused by Lightning Strike	Li Xue	98-103
Three Train Braking Reasons and Countermeasures Based on Joint Analysis of Train-ground Data	Wu Jinghua, Feng Fei	104-109
Case Analysis of Abnormal Communication Between Computer-based Interlocking and CTC	Dai Mingfu	110-114



### Advertiser Index

		63
--	--	----

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.07.001

# 列车追踪间隔时间的分解及影响分析

江明<sup>1</sup>, 张万强<sup>1</sup>, 张嘉扬<sup>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. 北京理工大学, 北京 100081)

**摘要:** 综合考虑列车性能、线路条件、信号系统、运输作业等影响列车追踪间隔时间的因素, 深入分析列车追踪间隔时间的构成, 将其分解为列车性能运行时间、线路条件附加运行时间、信号附加运行时间和其他附加运行时间, 给出各运行时间及其对列车追踪间隔时间贡献率的定义。以 CR400BF 型动车组及其运行参数为例, 采用仿真计算软件计算不同运行速度、不同坡度、不同闭塞分区长度等组合条件下各运行时间对列车追踪间隔时间的贡献率, 定量分析各因素及其组合对不同列车追踪间隔时间的影响。对于区间追踪间隔时间和通过追踪间隔时间, 运行速度较低时主导因素为信号系统, 运行速度较高时主导因素为列车性能; 对于出发追踪间隔时间和到达追踪间隔时间, 主导因素为线路条件。

**关键词:** 区间通过能力; 列车追踪间隔时间; 影响因素; 贡献率

**中图分类号:** U292.91+4; U292.4+1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4440(2023)07-0001-09

## Decomposition of Train Tracking Interval and Its Impact Analysis

Jiang Ming<sup>1</sup>, Zhang Wanqiang<sup>1</sup>, Zhang Jiayang<sup>2</sup>

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

(2. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The composition of train tracking interval is analyzed in depth with comprehensively considering of various influencing factors, including train performance, line conditions, signal system, transportation operation. Train tracking interval is accordingly decomposed into train performance operation time, additional operation time under line conditions, additional operation time under signal system and other additional operation time. Definitions of each operation time and its contribution rate to train tracking interval are proposed. Taking CR400BF EMU and its operation parameters as an example, the contribution rate of each operation time to each train tracking interval is calculated using simulation calculation software, under the combination conditions of different operation speeds, different gradients and different block section lengths. The influence of each factor and its combination

收稿日期: 2023-04-19; 修回日期: 2023-07-02

基金项目: 国家自然科学基金高铁联合基金项目 (U2034211)

第一作者: 江明 (1978—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要研究方向: 列控系统及安全控制技术, 邮箱: jiangming@crscd.com.cn.

on train tracking interval is quantitatively analyzed. Conclusion: For train interval tracking time and train passing tracking interval, the leading factor is signal system when the operation speed is low, and the leading factor is train performance when the operation speed is high. For departure tracking interval and arrival tracking interval, the leading factor is line conditions.

**Keywords:** interval throughput; train tracking interval; influencing factors; contribution rate

## 1 概述

近年来,国内铁路干线运输供需矛盾逐渐凸显。列车追踪间隔时间直接影响发车频率,对其进行压缩能显著提高铁路的通过能力。对列车追踪间隔时间进行压缩的基础是明晰其影响因素及影响机理,从而有针对性地采取改进措施。

列车追踪间隔时间( $I$ )是指在自动闭塞区段同一方向追踪运行的两列车间的最小间隔时间,是列车区间追踪间隔时间 $I_{追}$ 、列车出发追踪间隔时间 $I_{发}$ 、列车到达追踪间隔时间 $I_{到}$ 和列车通过追踪间隔时间 $I_{通}$ 中的最大者。列车追踪间隔时间是列车运行图的重要组成部分和计算区间通过能力的主要依据,是反映铁路运输能力水平的重要指标。

影响列车追踪间隔时间的因素很多,主要包括列车性能(列车长度、列车牵引特性、列车制动特性等)、线路条件(线路坡度、咽喉区长度、线路速度等)、信号系统(安全防护距离、闭塞分区长度、ATP制动曲线、应答器布置、系统内附加时分等)、其他(运输作业、电分相设置等)多种类型,涉及铁路的机务、车辆、工务、电务、供电、运输等多个专业。

国内外许多学者聚焦列车追踪间隔时间进行了相关研究,包括检算高速铁路列车追踪间隔时间<sup>[1-2]</sup>,研究高速铁路列车追踪间隔影响因素及测试方法<sup>[3-4]</sup>,研究电分相<sup>[5]</sup>、线路条件<sup>[6-8]</sup>、四显示自动闭塞固定设备<sup>[9]</sup>、延续进路<sup>[10]</sup>、移动闭塞<sup>[11]</sup>等因素对列车追踪间隔时间的影响,提出在降速至速度控制值的制动起始点前提前惰行降速<sup>[12]</sup>、缩短一离去长度和在咽喉区内设置进路信号机<sup>[13]</sup>、准移动闭塞条件下的列车运行时空轨迹优化模型<sup>[14]</sup>、优化到发线运用

方案<sup>[15]</sup>等压缩列车追踪间隔的方法和策略。上述研究主要都是分析单个因素对列车追踪间隔时间的影响,缺乏组合条件下的全面分析。实际上,影响列车追踪间隔时间的因素众多,且各因素相互交织、共同影响,实现组合条件下的全面分析才能更好地理解列车追踪间隔时间的主要影响因素及影响机理。本文综合考虑列车性能、线路条件、信号系统、运输作业等影响列车追踪间隔时间的因素,深入分析列车追踪间隔时间的构成,将其分解为列车性能运行时间、线路条件附加运行时间、信号附加运行时间和其他附加运行时间,给出各运行时间及其对列车追踪间隔时间贡献率的定义。采用仿真计算软件计算了不同运行速度、不同坡度、不同闭塞分区长度等组合条件下各运行时间对列车追踪间隔时间的贡献率,定量分析了各因素及其组合对不同列车追踪间隔时间的影响,为后续采取压缩列车追踪间隔时间的措施提供科学依据。

## 2 列车追踪间隔时间的分解

考虑到列车性能、线路条件、信号系统及其他因素均会影响列车追踪间隔时间,对于任意一种列车追踪间隔时间 $I_X$ (可为列车区间追踪间隔时间 $I_{追}$ 、列车出发追踪间隔时间 $I_{发}$ 、列车到达追踪间隔时间 $I_{到}$ 或列车通过追踪间隔时间 $I_{通}$ ),可以将 $I_X$ 按照不同类型的影响因素分解成4部分的运行时间,如公式(1)所示。

$$I_X = t_{X列} + t_{X线} + t_{X信} + t_{X其他} \quad (1)$$

公式(1)中:

$t_{X列}$ 为列车性能运行时间:列车在平坡区段上运行时,因列车性能导致的列车运行时间。该部分影响因素包括列车长度、列车牵引特性、列车制动特

性等，体现的是机辆因素导致的列车运行时间影响。一旦列车类型和运行速度选定，该部分恒定不变。

$t_{X\text{线}}$ 为线路条件附加运行时间：在 $t_{X\text{列}}$ 的基础上，因线路条件导致的对列车追踪间隔时间的附加影响。该部分影响因素包括线路坡度、咽喉区长度、线路速度等，体现的是工务因素带来的列车追踪间隔时间增量。一旦线路确定，该部分取值恒定不变，但在线路建设之前可统筹考虑建设成本与列车追踪间隔时间之间的平衡。

$t_{X\text{信}}$ 为信号附加运行时间：在 $t_{X\text{列}}+t_{X\text{线}}$ 的基础上，因信号系统导致的对列车追踪间隔时间的附加影响。该部分影响因素包括安全防护距离、闭塞分区长度、ATP 制动曲线、应答器布置、系统内附加时分等，体现的是电务因素带来的列车追踪间隔时间增量，可用于衡量信号系统的性能。

$t_{X\text{其他}}$ 为其他附加运行时间：在 $t_{X\text{列}}+t_{X\text{线}}+t_{X\text{信}}$ 的基础上，因其他因素导致的对列车追踪间隔时间的附加影响。该部分影响因素涵盖了除列车性能、线路条件、信号系统 3 类因素之外的所有因素，包括运输作业时间（司机操作习惯、股道运用方案）等运输因素、电分相等牵引供电因素等，体现的是运输、供电等其他因素带来的列车追踪间隔时间增量。

下面以列车区间追踪间隔时间 $I_{\text{追}}$ 为例，说明上

述各运行时间的含义。按照文献 [1] 中给出的计算，如公式 (2) 所示。

$$I_{\text{追}} = 3.6 \times \frac{L_{\text{制(ATP)}} + L_{\text{防}} + L_{\text{闭}} + L_{\text{列}}}{v_{\text{区间}}} + t_{\text{附加}} \quad (2)$$

则可得下列计算，如公式 (3) ~ (5) 所示。

$$t_{\text{追列}} = 3.6 \times \frac{L_{\text{制(平坡)}} + L_{\text{列}}}{v_{\text{区间}}} \quad (3)$$

$$t_{\text{追线}} = 3.6 \times \frac{L_{\text{制}} - L_{\text{制(平坡)}}}{v_{\text{区间}}} \quad (4)$$

$$t_{\text{追信}} = 3.6 \times \frac{L_{\text{制(ATP)}} - L_{\text{制}} + L_{\text{防}} + L_{\text{闭}}}{v_{\text{区间}}} + t_{\text{附加}} \quad (5)$$

上述公式中的变量含义如图 1 所示，其中 $L_{\text{制(ATP)}}$ 为列车在线路坡度、ATP 监控曲线等工务、电务因素的影响下，从 $v_{\text{区间}}$ 制动到 0 的距离，m； $L_{\text{防}}$ 为安全防护距离，m； $L_{\text{闭}}$ 为闭塞分区长度，m； $L_{\text{列}}$ 为列车长度，m； $v_{\text{区间}}$ 为列车区间运行速度，km/h； $t_{\text{附加}}$ 为列车区间追踪运行附加时间，s； $L_{\text{制(平坡)}}$ 为列车在平坡区段从 $v_{\text{区间}}$ 制动到 0 的距离，m； $L_{\text{制}}$ 为列车仅在线路坡度等工务因素的影响下，从 $v_{\text{区间}}$ 制动到 0 的距离，m；3.6 是单位换算系数。本示例中， $t_{\text{追其他}} = 0$ 。

为了衡量上述各运行时间在 $I_{\text{X}}$ 中所占的比例，定义列车性能贡献率 $R_{X\text{列}} = t_{X\text{列}}/I_{\text{X}}$ ，线路条件贡献率 $R_{X\text{线}} = t_{X\text{线}}/I_{\text{X}}$ ，信号贡献率 $R_{X\text{信}} = t_{X\text{信}}/I_{\text{X}}$ ，其他贡献率 $R_{X\text{其他}} = t_{X\text{其他}}/I_{\text{X}}$ ，分别表示列车性能、线路条

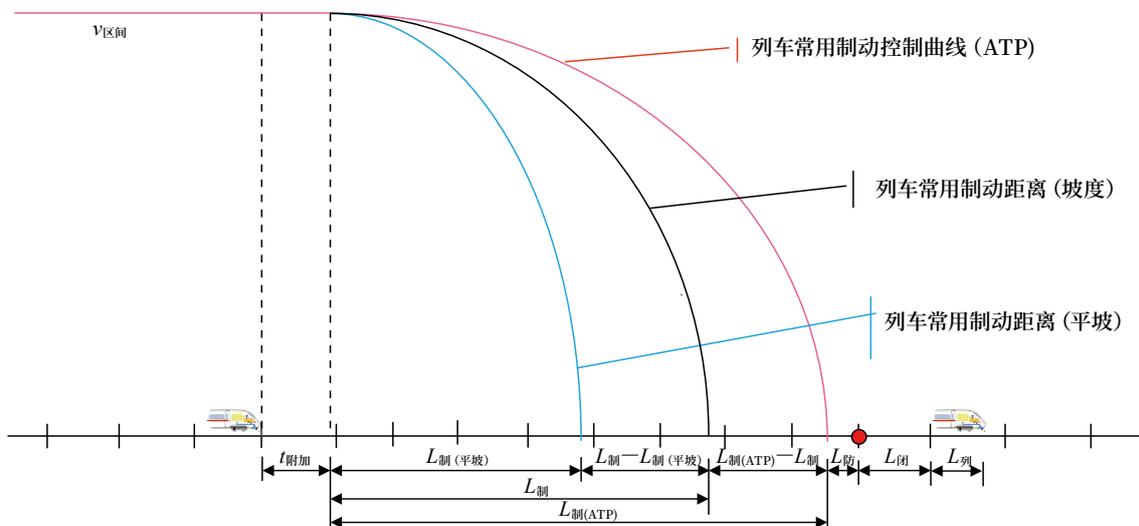


图1 列车区间追踪间隔时间分解示例

Fig.1 Example of decomposition of train interval tracking time

件、信号系统及其他因素对列车追踪间隔时间  $I_x$  的贡献率。各贡献率间的关系如公式 (6) 所示。

$$R_{X列} + R_{X线} + R_{X信} + R_{X其他} = 1 \quad (6)$$

定义  $R_{Xmax} = \max\{R_{X列}, R_{X线}, R_{X信}, R_{X其他}\}$  表示列车追踪间隔时间  $I_x$  各种贡献率中的最大者, 对应的影响因素称为主导因素; 如果  $R_{Xmax} > 0.5$ , 对应的影响因素称为支配因素, 即占绝对优势的主导因素。每种条件下都存在主导因素, 但不一定存在支配因素。例如, 对于某种条件下的列车区间追踪间隔时间  $I_{追}$ , 如果  $R_{追列} = 20\%$ ,  $R_{追线} = 15\%$ ,  $R_{追信} = 60\%$ ,  $R_{追其他} = 5\%$ , 则  $R_{追max} = 60\%$ , 信号因素既为主导因素, 也为支配因素。再如, 对于某种条件下的列车出发追踪间隔时间  $I_{发}$ , 如果  $R_{发列} = 25\%$ ,  $R_{发线} = 45\%$ ,  $R_{发信} = 20\%$ ,  $R_{发其他} = 10\%$ , 则  $R_{发max} = 45\%$ , 线路条件因素为主导因素, 但不存在支配因素。

定义贡献主导因子 ClF 为表征主导因素的序号, 定义贡献支配因子 CdF 为表征支配因素的序号。当不存在支配因素时, CdF 取值为 0; 当列车性能因素为主导/支配因素时, ClF/CdF 取值为 1; 当线路条件因素为主导/支配因素时, ClF/CdF 取值为 2; 当信号因素为主导/支配因素时, ClF/CdF 取值为 3; 当其他因素为主导/支配因素时, ClF/CdF 取值为 4。

### 3 影响列车追踪间隔时间的因素分析

选用 CR400BF 动车组参数 (16 编组, 列车长度 420 m)、CTCS3-300T 型列控车载设备参数, 假定咽喉区长度 700 m, 道岔侧向限速 80 km/h, 采用仿真计算软件 (北京全路通信信号研究设计院集团有限公司研制的列车牵引计算与闭塞分区划分系统) 来计算不同运行速度、不同坡度、不同闭塞分区长度等组合条件下的列车追踪间隔时间, 包括列车区间追踪间隔时间  $I_{追}$ 、列车通过追踪间隔时间  $I_{通}$ 、列车出发追踪间隔时间  $I_{发}$  和列车到达追踪间隔时间  $I_{到}$ , 并针对每种列车追踪间隔时间计算列车性能运行时间  $t_{列}$ 、线路条件附加运行时间  $t_{线}$ 、信号附加运行时间  $t_{信}$ , 进而分别计算不同组合条件下各运

行时间对列车追踪间隔时间的贡献率, 从而确定贡献主导因子 ClF 和贡献支配因子 CdF 的取值。事实上, 不同的咽喉区长度、道岔侧向限速、电分相设置、运输作业时间等因素也会影响到各种运行时间和贡献率的计算, 因篇幅所限, 本文不展开讨论, 后续进一步研究。

运行速度、坡度、闭塞分区长度的组合取值情况如下: 选取 80 km/h、120 km/h、160 km/h、180 km/h、200 km/h、225 km/h、250 km/h、300 km/h、350 km/h 共 9 个速度等级, 其中 180 km/h 和 225 km/h 是在 200 km/h 附近补充的两个速度等级, 其他均为常用的线路速度等级; 按照工程中常见的线路坡度, 选取 -30‰、-25‰、-20‰、-15‰、-10‰、-5‰、0、5‰、10‰、15‰、20‰、25‰、30‰ 等 13 个坡度值; 选取闭塞分区长度分别为 2 000 m 和 100 m 的两种情况, 其中 2 000 m 是工程中常见的闭塞分区长度, 100 m 用于模拟移动闭塞的场景。

#### 3.1 主导因素分析

列车追踪间隔时间  $I_x$  的主导因素在不同组合条件下的分布情况如图 2 所示。其中, 浅蓝色区域代表列车性能因素为主导因素, 绿色区域代表线路条件因素为主导因素, 黄色区域代表信号因素为主导因素。

##### 1) 区间追踪间隔时间 $I_{追}$ 的主导因素

从图 2 中 (a)、(b) 可以看出,  $I_{追}$  的主导因素主要是列车性能因素和信号因素, 线路条件因素为主导因素的占比不大。

当闭塞分区长度为 2 000 m 时, 主导因素为信号因素的占比 65%, 主导因素为列车性能因素的占比 33%。其中, 如果运行速度不高于 200 km/h, 在各种坡度条件下, 信号因素均为主导因素; 当运行速度高于 200 km/h 时, 列车性能因素逐渐成为主导因素。

当闭塞分区长度为 100 m 时, 主导因素为信号因素的占比 14%, 主导因素为列车性能因素的占比 84%。其中, 列车性能因素为主导因素的比例显著增大, 仅在 -25‰及以下大下坡条件下存在信号因

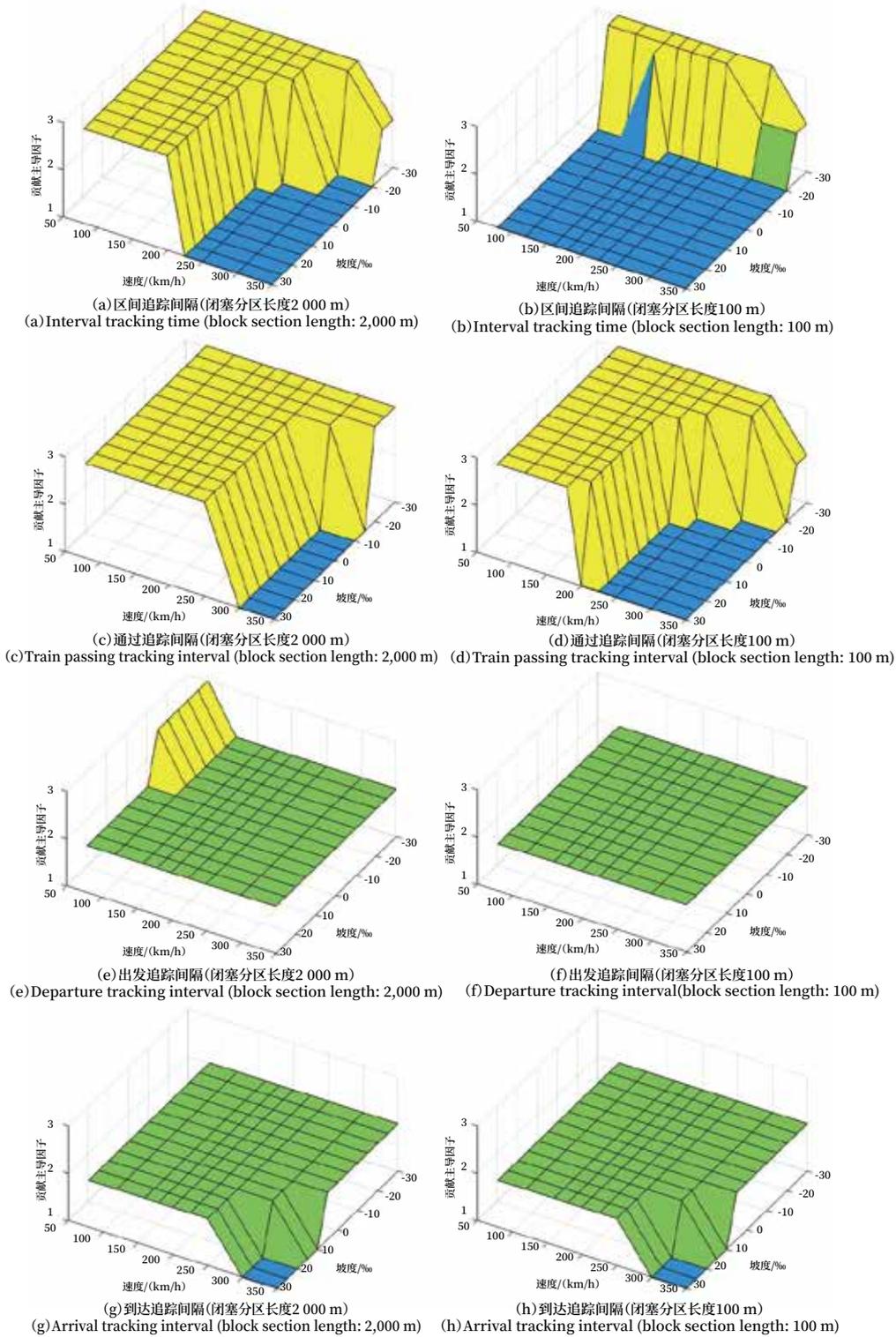


图2 贡献主导因子  
 Fig.2 Contribution leading factor

素为主导因素的情况，其他情况下主要是列车性能因素为主导因素。

2) 通过追踪间隔时间  $I_{通}$  的主导因素

从图 2 中 (c)、(d) 可以看出， $I_{通}$  的主导因素主要是列车性能因素和信号因素，线路条件因素为主导因素的占比不大。

当闭塞分区长度为 2 000 m 时, 主导因素为信号因素的占比 84%, 主导因素为列车性能因素的占比 16%。其中, 如果运行速度不高于 250 km/h, 在各种坡度条件下, 信号因素均为主导因素; 当运行速度高于 250 km/h 时, 列车性能因素逐渐成为主导因素。

当闭塞分区长度为 100 m 时, 主导因素为信号因素的占比 65%, 主导因素为列车性能因素的占比 32%。其中, 如果运行速度不高于 180 km/h, 在各种坡度条件下, 信号因素仍为主导因素; 随着运行速度的升高, 列车性能因素为主导因素的比例显著增大, 但在下坡条件下, 仍有部分情况下信号因素为主导因素, 其他情况下主要是列车性能因素为主导因素。

### 3) 出发追踪间隔时间 $I_{发}$ 的主导因素

从图 2 中 (e)、(f) 可以看出,  $I_{发}$  的主导因素主要是线路条件因素, 列车性能因素和信号因素为主导因素的占比不大。

当闭塞分区长度为 2 000 m 时, 主导因素为线路条件因素的占比 95%; 仅在低速 (80 km/h)、下坡条件下, 信号因素为  $I_{发}$  的主导因素。

当闭塞分区长度为 100 m 时, 主导因素为线路条件因素的占比 100%。

### 4) 到达追踪间隔时间 $I_{到}$ 的主导因素

从图 2 中 (g)、(h) 可以看出,  $I_{到}$  的主导因素主要是线路条件因素, 列车性能因素和信号因素为主导因素的占比不大。

当闭塞分区长度为 2 000 m 或 100 m 时, 主导因素为线路条件因素的均占比 93%; 仅在高速 (大于 300 km/h)、上坡条件下, 列车性能因素为  $I_{到}$  的主导因素。

## 3.2 支配因素分析

列车追踪间隔时间  $I_x$  的支配因素在不同组合条件下的分布情况如图 3 所示。其中, 深蓝色区域代表无支配因素, 浅蓝色区域代表列车性能因素为支配因素, 绿色区域代表线路条件因素为支配因素, 黄色区域代表信号因素为支配因素。

### 1) 区间追踪间隔时间 $I_{追}$ 的支配因素

从图 3 中 (a)、(b) 可以看出,  $I_{追}$  的支配因素主要是列车性能因素和信号因素。

当闭塞分区长度为 2 000 m 时, 支配因素为信号因素的占比 63%, 支配因素为列车性能因素的占比 21%, 无支配因素的占比 16%。其中, 如果运行速度不高于 200 km/h, 在各种坡度条件下, 信号因素均为支配因素; 当运行速度高于 200 km/h 时, 列车性能因素逐渐成为支配因素, 但在大下坡条件下各因素的影响较为均衡, 无支配因素。

当闭塞分区长度为 100 m 时, 支配因素为列车性能因素的占比 69%, 无支配因素的占比 30%。其中, 列车性能因素为支配因素的比例显著升高, 但在 -10‰ 以下的大下坡条件下, 各因素的影响较为均衡, 无支配因素。

### 2) 通过追踪间隔时间 $I_{通}$ 的支配因素

从图 3 中 (c)、(d) 可以看出,  $I_{通}$  的支配因素主要是列车性能因素和信号因素。

当闭塞分区长度为 2 000 m 时, 支配因素为信号因素的占比 79%, 支配因素为列车性能因素的占比 9%, 无支配因素的占比 12%。其中, 如果运行速度不高于 225 km/h, 在各种坡度条件下, 信号因素均为支配因素; 当运行速度高于 250 km/h 时, 列车性能因素逐渐成为支配因素, 但在大下坡条件下各因素的影响较为均衡, 无支配因素。

当闭塞分区长度为 100 m 时, 支配因素为信号因素的占比 61%, 支配因素为列车性能因素的占比 22%, 无支配因素的占比 17%。其中, 如果运行速度不高于 180 km/h, 在各种坡度条件下, 信号因素仍为支配因素; 随着运行速度的升高, 列车性能因素为支配因素的比例显著增大, 但在大下坡条件下各因素的影响较为均衡, 无支配因素。

### 3) 出发追踪间隔时间 $I_{发}$ 的支配因素

从图 3 中 (e)、(f) 可以看出,  $I_{发}$  的支配因素主要是线路条件因素。

当闭塞分区长度为 2 000 m 时, 支配因素为线路条件因素的占比 43%, 主要分布在上坡区段;

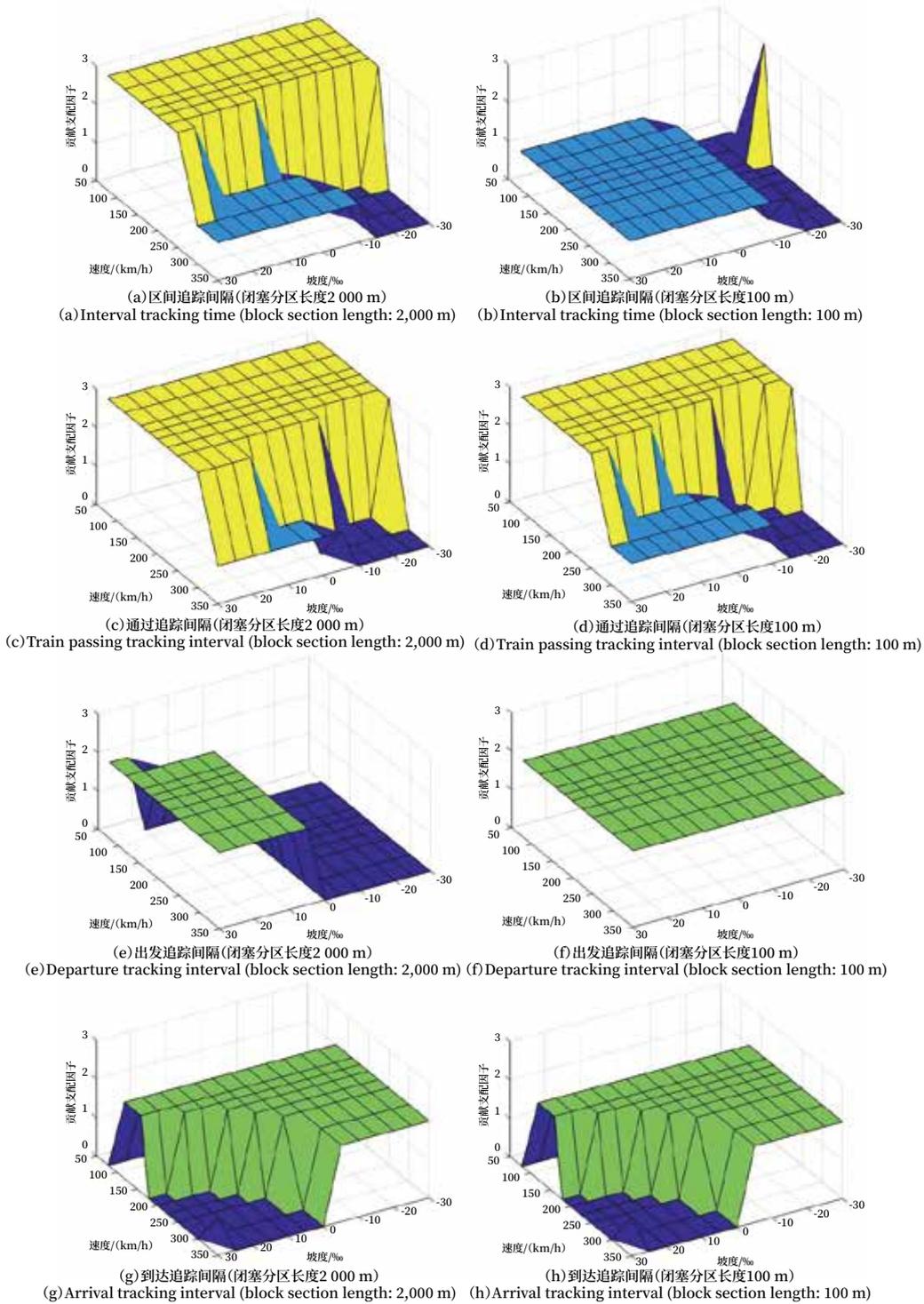


图3 贡献支配因子  
Fig.3 Contribution dominance factor

无支配因素的占比 57%，主要分布在平坡和下坡区段。

当闭塞分区长度为 100 m 时，支配因素为线路条件因素的占比 100%。

4) 到达追踪间隔时间  $I_{到}$  的支配因素

从图 3 中 (g)、(h) 可以看出， $I_{到}$  的支配因素主要是线路条件因素。

当闭塞分区长度为 2 000 m 或 100 m 时，支

配因素为线路条件因素的占比 62%，无支配因素的占比 37%，仅在 350 km/h 高速、30% 大上坡条件下，列车性能因素为  $I_{到}$  的支配因素。

#### 4 结束语

如何有效压缩列车追踪间隔时间，是提高列车运行效率、提升铁路运输水平亟需解决的难题。本文深入分析列车追踪间隔时间的构成，给出列车性能运行时间、线路条件附加运行时间、信号附加运行时间和其他附加运行时间等运行时间及其贡献率的定义，计算了组合条件下各运行时间对列车追踪间隔时间的贡献率，定量分析了各因素及其组合对不同列车追踪间隔时间的影响，明晰了不同组合条件下各列车追踪间隔时间的主导因素和支配因素，为后续实现跨专业优化列车追踪间隔时间提供了新的视角和研究方法。

研究结论表明，如果区间追踪间隔时间或通过追踪间隔时间是列车追踪间隔时间中的最大者，在运行速度较低（不高于 200 km/h）时应重点通过优化信号系统、降低信号附加运行时间来压缩列车追踪间隔时间，在运行速度较高（高于 200 km/h）时应重点通过改进列车性能、降低列车性能运行时间来压缩列车追踪间隔时间。如果出发追踪间隔时间或到达追踪间隔时间是列车追踪间隔时间中的最大者，应重点通过改善线路条件、降低线路条件附加运行时间来压缩列车追踪间隔时间。

论文仅考虑了不同运行速度、不同坡度、不同闭塞分区长度等组合条件，未完整考虑列车性能、线路条件、信号系统、运输作业中存在的各种影响因素，如更多的列车参数、列控车载设备参数、闭塞分区长度、咽喉区长度、道岔侧向限速，以及综合考虑电分相设置、运输作业时间等，后续将开展进一步研究。

#### 参考文献

[1] 田长海, 张守帅, 张岳松, 等. 高速铁路列车追踪间隔时间研究 [J]. 铁道学报, 2015, 37

(10): 1-6.

Tian Changhai, Zhang Shoushuai, Zhang Yuesong, et al. Study on the Train Headway on Automatic Block Sections of High Speed Railway[J]. Journal of the China Railway Society, 2015, 37(10): 1-6.

[2] 张岳松, 田长海, 姜昕良, 等. 高速铁路列车间隔时间的计算方法 [J]. 中国铁道科学, 2013, 34 (5): 120-125.

Zhang Yuesong, Tian Changhai, Jiang Xinliang, et al. Calculation Method for Train Headway of High Speed Railway[J]. China Railway Science, 2013, 34(5): 120-125.

[3] 杨晓. 高速铁路列车追踪间隔影响因素及测试方法研究 [J]. 铁道运输与经济, 2017, 39 (6): 22-26.

Yang Xiao. Study on Influence Factors and Test Methods of High-Speed Train Tracking Interval[J]. Railway Transport and Economy, 2017, 39(6): 22-26.

[4] 凌熙, 杨文韬. 高速铁路追踪列车间隔时间测试方法标准化研究 [J]. 铁道标准设计, 2015, 59 (10): 23-27.

Ling Xi, Yang Wentao. Study on Method Standardization of High-Speed Railway Tracking Train Interval Test[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(10): 23-27.

[5] 耿敬春. 高速铁路接触网电分相对列车追踪间隔时间的影响分析 [J]. 中国铁路, 2011 (10): 7-10.

Geng Jingchun. Analysis on the Influence of the Catenary Electrical Division of High-Speed Railway on the Train Tracking Interval[J]. Chinese Railways, 2011(10): 7-10.

[6] 李栋, 彭其渊. 高速铁路线路条件对列车追踪间隔时间的影响分析 [J]. 铁道运输与经济, 2021, 43 (4): 96-104.

Li Dong, Peng Qiyuan. Impact Analysis of High Speed Railway Line Condition on Train Tracking Interval[J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(4): 96-104.

- [7] 李博, 杨晓. 限速条件下高速铁路列车追踪间隔时间研究 [J]. 铁道运输与经济, 2013, 35 (10): 12-17, 31.  
Li Bo, Yang Xiao. Study on Tracing Interval Time of High-Speed Railway Trains under Speed Restriction[J]. Railway Transport and Economy, 2013, 35(10): 12-17, 31.
- [8] 张守帅, 田长海. 高速铁路长大下坡地段列车运行速度相关问题研究 [J]. 中国铁道科学, 2017, 38 (3): 124-129.  
Zhang Shoushuai, Tian Changhai. Study on Related Problems of Train Operation Speed on Long Heavy down Grade of High Speed Railway[J]. China Railway Science, 2017, 38(3): 124-129.
- [9] 韩春明, 赵琦, 常山. 四显示自动闭塞区段影响追踪列车间隔的固定设备因素分析 [J]. 铁道运输与经济, 2016, 38 (2): 25-30.  
Han Chunming, Zhao Qi, Chang Shan. Analysis on Fixed Equipment Factors Influencing Headway of Trains in Four-Aspect Automatic Block Section[J]. Railway Transport and Economy, 2016, 38(2): 25-30.
- [10] 谢敏. 延续进路对高速铁路通过能力的影响 [J]. 铁道工程学报, 2014, 31 (8): 15-19.  
Xie Min. Impacts of Successive Route upon Passing Capacity of High-Speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(8): 15-19.
- [11] 江明. 移动闭塞与准移动闭塞列车追踪间隔对比分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14 (2): 1-3.  
Jiang Ming. Comparison and Analysis of Headway between Trains in Moving Block System and Quasi-Moving Block System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(2): 1-3.
- [12] 毛润丰, 彭其渊, 张宏翔, 等. 面向能耗优化的高速铁路列车追踪间隔压缩方法 [J]. 铁道运输与经济, 2021, 43 (5): 8-16, 50.  
Mao Runfeng, Peng Qiyuan, Zhang Hongxiang, et al. Tracking Interval Compression of High Speed Trains for Energy Consumption Optimization[J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(5): 8-16, 50.
- [13] 鲁工圆, 赵华铭, 李博, 等. 基于发车时机提前的列车出发追踪间隔压缩策略仿真 [J]. 铁道技术标准 (中英文), 2022 (3): 12-19.  
Lu Gongyuan, Zhao Huaming, Li Bo, et al. Simulation of Train Departure Compression Strategy Based on Early Departure[J]. Railway Technical Standard, 2022, 4(3): 12-19.
- [14] 鲁工圆, 王超宇, 沈子力, 等. 面向追踪间隔压缩的高速铁路列车运行时空轨迹优化 [J]. 铁道学报, 2021, 43 (7): 10-18.  
Lu Gongyuan, Wang Chaoyu, Shen Zili, et al. Headway Compression Oriented Space-Time Trajectory Optimization for High-Speed Railway Trains[J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(7): 10-18.
- [15] 彭其渊, 王超宇, 鲁工圆. 基于到发线运用方案的列车到达追踪间隔时间压缩方法及仿真研究 [J]. 中国铁道科学, 2020, 41 (2): 131-138.  
Peng Qiyuan, Wang Chaoyu, Lu Gongyuan. Compression Method and Simulation of Train Arrival Interval Based on Utilization of Arrival-Departure Track[J]. China Railway Science, 2020, 41(2): 131-138.

# 融合点式后备模式的 CTCS-4级新型列控系统研究

徐高珍<sup>1, 2</sup>

(1. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043;

2. 轨道交通工程信息化国家重点实验室, 西安 710043)

**摘要:** 首先介绍移动闭塞基本原理, 分析新型列控系统的主要故障场景及站间闭塞后备模式下的故障处理方式, 指出存在的问题。其次参考CBTC的点式ATP后备模式, 按照“故障-安全-运行”的理念, 创新性的提出融合点式后备模式的CTCS-4级新型列控系统结构。最后通过局部建模, 解析点式后备模式的工作原理以及各种故障场景下的运行方式。

**关键词:** 新型列控系统; CTCS-4; 移动闭塞; 点式后备模式; 西部铁路; 故障安全运行

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0010-06

## Research on CTCS-4 New Train Control System Combined with Intermittent Backup Mode

Xu Gaozhen<sup>1,2</sup>

(1. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

(2. State Key Laboratory of Rail Transit Engineering Information, Xi'an 710043, China)

**Abstract:** This paper first introduces the basic principle of moving block, analyzes the main fault scenarios of the new train control system and the fault handling method in the backup mode of inter-station block, and points out the existing problems. Then, referring to the intermittent ATP backup mode of CBTC, according to the concept of "fail-safe-operation", the CTCS-4 new train control system structure integrating intermittent backup mode is innovatively proposed. Finally, the working principle of the intermittent backup mode and the operation mode under various fault scenarios are analyzed by local modeling.

**Key words:** new train control system; CTCS-4; moving block; intermittent backup mode; western railway; fail-safe operation

收稿日期: 2023-06-14; 修回日期: 2023-07-14

基金项目: 中铁第一勘察设计院集团有限公司重点专项研发课题项目(2022KY55(ZDZX)-01); 中铁第一勘察设计院集团有限公司科研课题项目(院科20-40)

作者简介: 徐高珍(1987—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通信息工程及控制, 邮箱: 353022780@qq.com。

为促进社会经济发展, 西藏、新疆及青海近年来多条单线或双线铁路加快了建设步伐, 该区域自然环境恶劣、交通不便, 铁路多存在超高隧道比、长大坡道、客货共线等工程技术特点, 对列车运行

控制、运营维护等方面提出了极高的要求。移动闭塞新型列控系统区间不设轨道电路和信号机,可实现列车在区间追踪运行,大幅减少地面信号设备并提高运营效率,降低建造、运营、维护成本,极其适用于西部铁路。后备模式是信号系统要研究的重要内容,有必要结合实际需求对新型列控系统后备模式进行深入研究。

## 1 移动闭塞新型列控系统的基本原理

现行固定闭塞列控系统中,轨道电路作为核心设备实现轨道占用检查并通过向车载发送低频信息码传递移动授权。移动闭塞新型列控系统区间不设轨道电路和信号机,通过无线通信技术实现车-地双向通信,由列车定位技术和列车完整性检查共同实现轨道占用检查,根据移动闭塞技术生成移动授权。

移动闭塞技术解决各种场景下移动授权的可靠生成和列车追踪运行间隔动态优化。地面 RBC 以前方障碍物作为移动授权终点生成行车许可,通过无线通信发送给列车,车载 ATP 生成连续式一次速度模式曲线控制列车运行,列车制动终点与行车许可终点之间留有一定的安全余量。列车前方障碍物是生成行车许可的关键,可能的障碍物包括前方列车的安全尾端、关闭的信号机、线路关闭区域、占用的区段、敌对进路区域等,如图 1 所示。

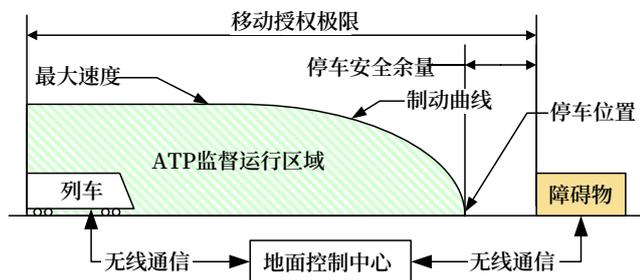


图1 移动闭塞基本原理示意

Fig.1 Schematic diagram of moving block basic principle

## 2 新型列控系统主要故障场景及故障恢复方式

### 2.1 新型列控系统的主要故障场景

1) 车-地通信中断: 通信网络突发干扰或故障、车载电台故障及地面 RBC 故障等均可能造成

车-地通信中断。以现行采用无线通信的 CTCS-3 为例,2020 年上海局合肥电务段管内共发生无线超时降级 191 件,其中通信 49 件、车载电台 56 件、RBC 7 件及原因不明 79 件。车-地通信中断同样会是新型列控系统的常见故障。

2) 列车完整性丢失: 车载完整性检查设备故障及列车本身完整性故障均会造成完整性丢失。

3) 车载 ATP 故障。

4) RBC 故障重启。

### 2.2 站间闭塞后备模式下的故障处理

目前,国内有关 CTCS-4 级新型列控系统的研究多以站间闭塞作为故障情况下的后备模式。以站间闭塞作为新型列控系统的后备时,发生上述故障后,地面 RBC 将失去列车位置且不能确认轨道空闲情况,无法为故障车及追踪车生成并发送新的移动授权,只能人工逐车清空故障区间后,再以站间闭塞方式恢复行车。该故障恢复方式存在以下问题。

1) 人工指挥: 列车以隔离模式或目视模式驶出区间,缺少系统安全防护,存在安全隐患;

2) 逐车清空区间: 区间内存在多辆车时故障处理时间长达 2~4 h,造成长时间行车中断;

3) 站间闭塞方式行车,降低运输效率。

鉴于新型列控系统发生故障的风险较高,故障后若采用人工出清区间再恢复运行,将极大地影响铁路的运输效率和运营安全。因此,有必要对新型列控系统的后备模型进一步深入研究。

## 3 融合点式后备模式的CTCS-4级新型列控系统结构及配置

本文结合西部铁路建设及运维的实际需求,借鉴地铁 CBTC 系统的点式 ATP 后备模式,采用“故障-安全-运行”的理念,遵循 ETCS-1 的控车逻辑,提出融合点式后备(DB)模式的 CTCS-4 级新型列控系统,保证系统在车地通信中断、列车完整性丢失等常规故障场景下安全运行,如图 2 所示。

铁路信号“故障-安全”原则是涉及行车安全

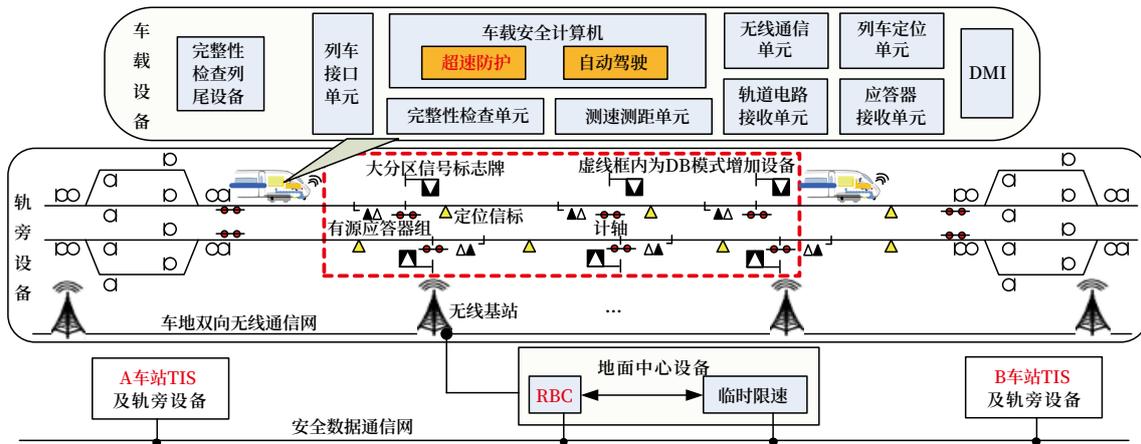


图2 融合点式后备模式的CTCS-4级新型列控系统基本结构示意图  
Fig.2 Schematic diagram of basic structure of CCTS-4 new train control system integrating intermittent backup mode

的铁路信号系统及电路设计必须符合的原则，基本配置的新型列控系统在发生常见的车地通信中断、列车完整性丢失等故障时列车只能选择以停车为安全侧，严重影响系统的可用性。目前，在航空领域、汽车自动驾驶领域均提出了“fail-operational”即“故障可运行”的概念。为提升CTCS-4级新型列控系统的可用性，本文引申出“故障—安全—运行”的理念，即列控系统发生故障时必须先满足“故障—安全”的要求，然后在某些故障场景下将安全侧选取成转换为降级/后备模式持续安全运行，CTCS-3级列控系统发生无线连接超时后降级为CTCS-2运行即是该理念的先例。

### 3.1 系统移动闭塞功能的基本配置

1) 车站设列控联锁一体化系统(TIS)和CTC设备，站内设轨道电路和信号机，提高站内的作业效率并保证调车作业安全。隧道外车站设卫星定位差分基站。

2) 中心设备包括RBC、CTC中心及临时限速服务器等，沿线及中心设安全数据通信网。

3) 设车-地无线通信网，采用基于IP的双向无线通信技术，通信灵活性更高、速度更快、延时短。

4) 车载设备配置ATP控制单元、ATO控制单元、列车自主定位设备、完整性检查设备、无线通信单元、应答器接收单元、轨道电路接收单元、测速测距单元和天线等。

5) 列车定位采用多源可信的列车自主定位技术，融合卫星定位、地面定位信标、测速测距单元等信息。

6) 列车完整性检测设备满足SIL4级要求，包括车载主机的完整性检测单元及列尾设备，适用于动车、普客、普速多种列车类型。

7) 车载及地面配置自动驾驶设备，降低司机劳动强度，节能增效。

### 3.2 点式后备模式增加的设备及功能配置

1) 车载ATP增加点式后备工作模式，调整FS模式的部分功能，增加相关模式之间的转换。

2) 区间室外配套增加点式后备模式轨旁设备，将区间分割为大闭塞分区，闭塞分区长度综合考虑追踪间隔，在闭塞分区入口处设计轴设备、信号标志牌，标志牌前方设有源应答器组、接近区段及发码设备。

3) 车站TIS及RBC配套扩展点式后备相关功能模块。

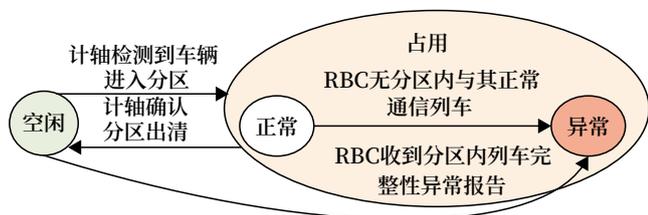
## 4 点式后备模式工作原理及点式后备模式下的故障运行场景

### 4.1 点式后备(DB)模式工作原理

点式后备模式基于自动固定闭塞原理，以车载信号为行车凭证。计轴设备实现大闭塞分区空闲检查并传递给车站TIS及RBC，TIS实现大闭塞分区

状态控制并控制有源应答器报文。车载设备从有源应答器获取移动授权，ATP生成连续式一次制动曲线。

1) 大闭塞分区状态控制：分为空闲、正常占用、异常占用3种状态，由车站TIS控制，根据计轴信息确定分区空闲/占用状态变化，并根据RBC提供的信息确定分区为正常占用/异常占用。已知异常占用分区的下一个分区由空闲转为占用时，直接为异常占用状态。异常占用的分区不能直接转为正常占用状态，只能根据计轴信息由异常占用状态转为空闲。大闭塞分区状态控制逻辑如图3所示。



计轴检测到车辆进入分区，且该分区为已知异常占用分区的下一个分区

图3 大闭塞分区状态控制逻辑示意

Fig.3 Schematic diagram of status control logic of large block section

2) 区间计轴设备：确认大闭塞分区的空闲/占用状态，并将相关信息传递给车站TIS。

3) 大分区有源应答器组：设置于分区入口前适当位置，并可在其前方设置其预告应答器，以供列车提前获取移动授权，提高运输效率。TIS控制有源应答器报文，报文包括前方大分区空闲信息、临时限速、线路信息及RBC连接信息等，该报文设置为仅对车载DB模式有效。

4) TIS扩展点式后备相关功能：根据计轴信息、RBC信息控制大闭塞分区状态并实时将分区状态传递给RBC，控制有源应答器报文及接近区段发码。

5) RBC扩展点式后备相关功能：辅助TIS控制分区状态，为正常FS模式列车生成移动授权时，异常占用的分区入口作为前方障碍物的一种，正常占用的分区入口不作为障碍物。

6) 车载ATP工作模式在CTCS-4基础上进行调整。

FS模式：根据列车参数确定本车FS模式的最高允许速度。FS模式下根据RBC发送的移动授权

控制列车运行，地面低频码信息不参与控制。当车-地通信中断且车载设备正常时，故障车降速后转为DB模式，并将当前MA缩短一定距离。

增加DB模式：根据列车参数确定本车DB模式的最高允许速度。DB模式下车载设备从地面有源应答器获取移动授权、临时限速、线路信息等信息，车载设备生成连续式一次制动模式曲线控制列车运行。另外，DB模式列车经过区间有源应答器后根据收到的RBC连接信息呼叫地面RBC，若列车与RBC建立通信且列车位置、完整性正常转为FS模式。

增加DB模式与待机模式、目视模式、冒进模式等模式之间的模式转换。

7) 大分区接近区段发码设备：TIS控制编码，仅用于DB模式列车或LKJ控制的列车。地面低频码信息仅禁止码参与DB模式控车，允许码信息仅在DB模式列车停在大闭塞分区入口前等待分区变为空闲时，用于提示司机前方大闭塞分区状态变化。

#### 4.2 车-地通信中断运行场景

如图4所示，列车在区间以FS模式正常追踪运行，列车所在分区均为正常占用状态，车载通过无线通信网从RBC获取移动授权，以前方列车的安全尾端作为移动授权终点。

车B发生通信中断且车载设备正常。大分区2变为异常占用状态，车B制动降速运行，降速至DB模式允许速度后转为DB模式，并将MA缩回一定距离。车A的MA根据RBC移动授权信息缩短至大分区2入口前。

车C出清大分区3，分区3状态变为空闲。车B运行至大分区3入口前并经过有源应答器，从有源应答器处获取新的移动授权和RBC连接信息，MA终点延伸至大分区4入口前。

车B进入大分区3，分区3变为异常占用状态，分区2变为空闲状态。车A从RBC获取新的移动授权，MA终点延伸至分区3入口处。

车B越过分区3的有源应答器后根据RBC连接信息呼叫RBC，若与RBC建立通信则转为FS模式，并从RBC获取新的移动授权，MA终点延伸至

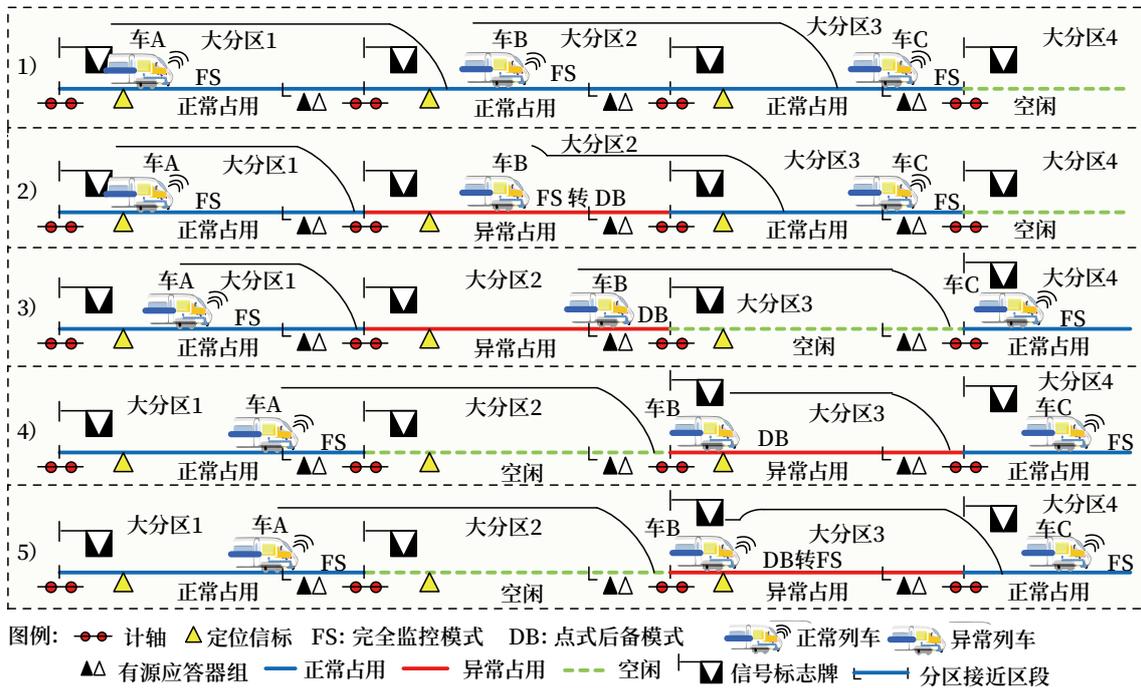


图4 车-地通信中断运营场景示意

Fig.4 Schematic diagram of operation scenario in case of Train-to-Wayside Communication (TWC) interruption

车 C 的安全尾端，分区 3 保持异常占用状态。若与 RBC 连接失败，则车 B 继续以 DB 模式运行。

#### 4.3 列车完整性丢失或车载ATP故障运行场景

如图 5 所示，列车在区间正常运行，从 RBC 获取移动授权，以前方列车安全尾端或其他障碍物为 MA 终点。

车 B 发生完整性丢失故障或车载 ATP 故障后制动停车，完整性丢失时故障车同时向 RBC 发送“列车完整性丢失”报告，ATP 故障时故障车将与

RBC 自动断开通信。RBC 确认分区 2 异常并将相关信息发送给 TIS，TIS 控制分区 2 变为异常占用状态，RBC 重新计算车 A 的移动授权并将其 MA 终点缩至分区 2 入口前。

故障车 B 按地面调度员指挥行车，驶出分区 2，TIS 根据计轴信息分区 2 变为空闲状态，分区 3 变为异常占用状态，车 A 的 MA 延伸至分区 3 入口前。

#### 4.4 RBC故障或无线通信网络故障运行场景

如图 6 所示，列车在区间正常运行，以前方列

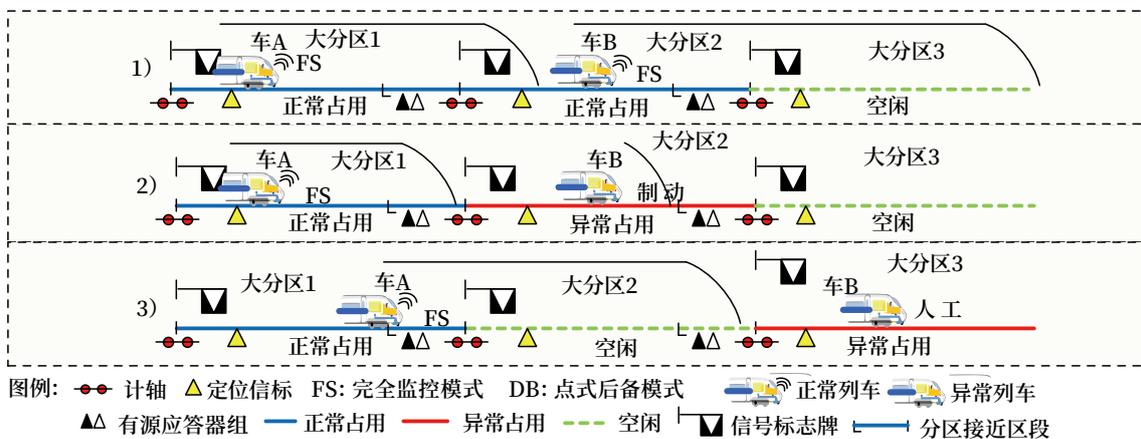


图5 列车完整性丢失或车载ATP故障运行场景示意

Fig.5 Schematic diagram of operation scenario in case of loss of train integrity or on-board ATP failure

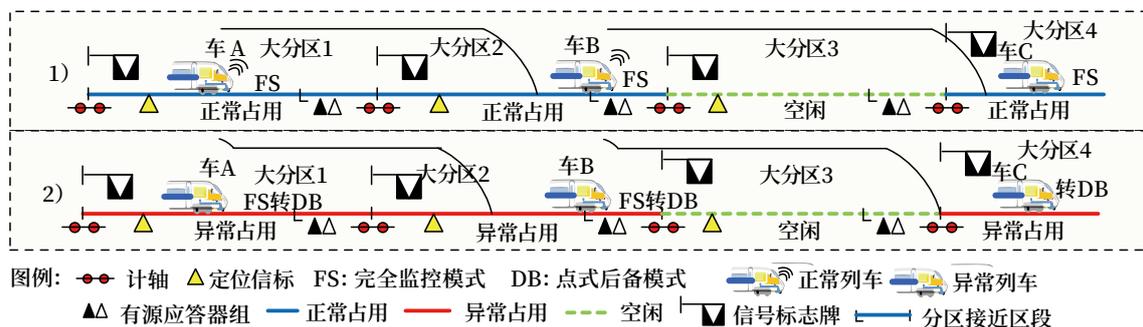


图6 RBC故障或无线通信网络故障运行场景示意

Fig.6 Schematic diagram of operation scenario in case of RBC or wireless communication network failure

车安全尾端或其他障碍物为MA终点。

RBC故障或无线网络故障后,所辖区间内所有列车减速运行并将MA缩回一定距离,降速至DB模式运行速度后以DB模式行车,TIS控制所有占用分区均变为异常占用状态。

## 5 总结

本文按照“故障-安全-运行”的理念提出的融合DB模式的新型列控系统,DB模式遵循ETCS-1的控车逻辑,不改变CTCS-4级列控系统的基本结构,仅在其基础上增加部分点式后备模式的轨旁设备和功能模块,地面TIS、RBC及轨旁设备不切换工作模式,车载ATP工作模式自动进行模式转换。虽然DB模式也增加了一定的轨旁设备维护工作量,提高了RBC、列控中心和车载ATP软件逻辑复杂度,但是其可保证在无线通信超时等常规故障场景下故障车或相邻车能继续安全运行,省去人工故障处理时间,提高了系统的可用性,在提高运输效率和保障运营安全方面具有重大意义。

### 参考文献

- [1] 莫志松. CTCS-4级列控系统总体技术方案研究[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(S1): 34-40.  
Mo Zhisong. Overall Technical Solution of CTCS-4 Level Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(S1): 34-40.
- [2] 徐效宁, 李一楠, 李辉, 等. 融合轨道电路信息的CTCS-4级列控系统研究[J]. 铁道工程学

报, 2018, 35(11): 82-86.

Xu Xiaoning, Li Yinan, Li Hui, et al. Research on the CTCS-4 Train Control System Based on Track Circuit Information Fusion[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2018, 35(11): 82-86.

- [3] 汪小勇. 轨道交通多制式冗余列车运行控制系统的可靠性研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(S2): 92-95.

Wang Xiaoyong. Reliability Analysis of Multi-Mode Redundant Control System for Urban Rail Transit Train Operation[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(S2): 92-95.

- [4] 余伟雄. 城市轨道交通信号系统点式后备模式设计简析[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(7): 86-89.

Yu Weixiong. Brief Introduction to Intermittent Fallback Mode of Signaling System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(7): 86-89.

- [5] 朱中毅, 彭其渊, 鲁工圆. 准移动闭塞与移动闭塞条件下列车追踪间隔仿真对比分析[J]. 铁道经济研究, 2020(6): 27-33.

Zhu Zhongyi, Peng Qiyuan, Lu Gongyuan. Simulation and Comparative Analysis of Train Tracking Interval under Different Automatic Blocking Modes[J]. Railway Economics Research, 2020(6): 27-33.

- [6] 陶余永. 高铁CTCS-3降级典型故障案例分析及

(下转 23页)

# 基于CTCS2+ATO的 市域（郊）铁路列控系统技术研究

吴培栋<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:** 介绍CTCS+ATO列控系统的功能和结构, 分析并提出CTCS2+ATO列控系统应用于市域(郊)铁路列控系统需进行的优化项, 分别对减少追踪间隔时间、缩短到发线有效长、支持“四网融合”、支持多模车地通信进行分析和探讨, 并结合既有研究成果提出建议解决方案。

**关键词:** CTCS2+ATO; 市域(郊)铁路列控系统; 自动折返; 到发线有效长; 四网融合; 多模车地通信; 技术研究

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0016-08

## Research on Technology of Suburban Railway Train Control System Based on CTCS2+ATO

Wu Peidong<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** The paper briefly introduces the function and structure of CTCS+ATO train control system, analyzes and proposes the optimization items to be carried out for the application of CTCS2+ATO train control system in suburban railway train control system. Reducing the tracking interval time, shortening the effective length of the arrival and departure track, supporting "four networks integration", and supporting multi-mode Train-to-Wayside Communication(TWC) are analyzed and discussed respectively. Further, combining with the existing research results, some recommendations and solutions are proposed.

**Keywords:** CTCS2+ATO; suburban railway train control system; automatic turn-back; effective length of arrival-departure tracks; four networks integration; multi-mode Train-to-Wayside Communication (TWC); research on technologies

收稿日期: 2023-04-26; 修回日期: 2023-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1934221)

作者简介: 吴培栋 (1982—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 列控车载设备关键技术与方法, 邮箱: wupeidong@crscd.com.cn.

市域(郊)铁路为都市圈中心城市城区连接周边城镇组团及其城镇组团之间提供公交化、大运量、快速便捷的轨道交通系统, 是城市综合交通体系的重要组成部分, 是实现区域交通一体化发展, 推动

区域经济全面增长的新兴交通方式。

列车运行控制系统是保障铁路行车安全、提高运输效率的核心装备，是铁路的“大脑和中枢神经”。市域（郊）铁路作为一个新兴行业，列车运行控制系统相关的标准规范还几乎处于空白状态。在《市域（郊）铁路设计规范》中对列车运行控制系统制式做了总体规定，对于独立运行的市域（郊）铁路信号系统可采用中国列车运行控制系统（Chinese Train Control System, CTCS）制式或列车自动控制（Automatic Train Control, ATC）制式，对于与干线铁路、城际铁路跨线运行的市域（郊）铁路信号系统应采用 CTCS 制式<sup>[1]</sup>。

针对市域（郊）铁路的运营特点和功能需求，文献 [2] ~ [4] 针对国内主流的信号系统应用于市域（郊）铁路的优缺点进行分析，并给出选择建议。本文主要针对 CTCS 制式在应用于市域（郊）铁路的适应性改进进行技术研究，并提出一些初步建议。

## 1 CTCS+ATO列控系统介绍

CTCS+ATO 分为城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统和高速铁路列车自动驾驶（Automatic Train Operation, ATO）系统。

城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统适用于时速 250 km 及以下城际铁路，中国国家铁路集团有限公司（以下简称国铁集团）牵头北京全路通信信号研究设计院集团有限公司（以下简称通号设计院）等设备供应商于 2013 年发布了《城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统暂行总体技术方案》，2014 ~ 2015 年先后完成产品研制和现场试验，2016 年 3 月 30 日城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统正式应用于珠三角城际铁路。

高速铁路 ATO 系统即 CTCS3+ATO 列控系统，适用于时速 350 km 及以下高速铁路，国铁集团牵头通号设计院等设备供应商于 2017 ~ 2018 年先后完成产品研制和现场试验，2019 年正式发布《高速铁路 ATO 系统总体暂行技术规范》、相关设备功能及接口技术条件、系统测试规范等全套

完整的技术标准，2021 年产品完成并通过试用考核，2022 年产品完成技术评审。高速铁路 ATO 系统向下兼容 CTCS2+ATO，但其标准规范与城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统有差异。相对于城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统，高速铁路 ATO 系统正式发布了成套的标准规范并根据现场应用情况持续迭代和更新，产品经过了国铁集团组织的方案评审、试验评审、试用评审及技术评审，符合国家铁路对专用新技术、新产品的科技成果评价管理流程。基于以上原因，业内普遍认为，若市域（郊）铁路列控系统采用 CTCS 列控系统制式，应基于高速铁路 ATO 系统进行迭代创新，因此本文基于高速铁路 ATO 系统制式下的 CTCS2+ATO 列控系统对市域（郊）铁路列控系统进行技术研究。

### 1.1 系统功能

高速铁路 ATO 列控系统是在 CTCS-2/CTCS-3 级列控系统的基础上，车载设置 ATO 单元实现自动驾驶控制，地面设置专用精确定位应答器实现精确定位，地面设备通过通用分组无线业务（General Packet Radio Service, GPRS）通信实现站台门（安全门或屏蔽门，以下简称站台门）控制、站间数据发送和运行计划处理。高速铁路 ATO 列控系统在既有 CTCS-2/CTCS-3 级列控系统功能的基础上，主要新增功能包括：车站自动发车、区间自动运行、车站自动停车、车门自动开门（防护）、车门/站台门联动控制。

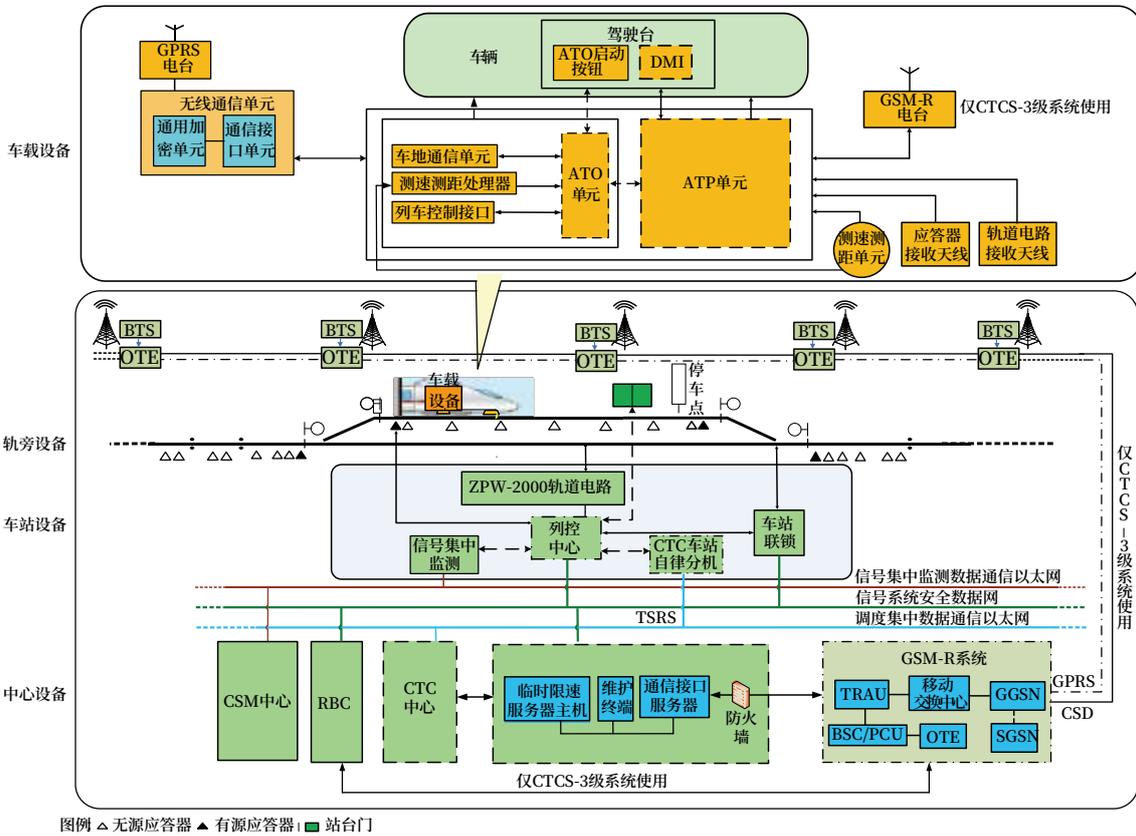
### 1.2 系统结构

高速铁路 ATO 列控系统在 CTCS-2/CTCS-3 级列控系统的基础上，车载设备增加 ATO 单元、GPRS 电台及相关配套设备，地面在车站股道增加精确定位应答器，系统结构示意图如图 1 所示<sup>[5]</sup>。

相对于 CTCS-2/CTCS-3 级列控系统，除新增设备外，部分设备在既有功能的基础上新增了功能。车载 ATP 设备增加列车开门防护功能。临时限速服务器（Temporary Speed Restriction Server, TSRS）设备增加站台门门控信息管理、站台门命令/状态转发、运行计划处理和转发、站间数据存储、调

用、发送等功能。CTC 设备增加发送对应的运行计划、实时管理在线列车、运行计划自动调整等功能。TCC 增加车门 / 站台门联动控制、站台门防护和站

台门状态采集功能。在相关应答器组中增加停车定位基准点、门侧、隧道信息等应答器报文。



图例 △ 无源应答器 ▲ 有源应答器 ■ 站台门

图1 高速铁路ATO系统结构

Fig.1 High speed railway ATO system structure

## 2 CTCS2+ATO应用于市域（郊）铁路的适应性研究

市域（郊）铁路作为中心城区与城市周边区域实现客流快速输送的轨道交通线路，在市郊运行时具有行车速度快、站间距较长等国铁的特点，在中心城区运行时具有行车密度大、站间距离短等城市轨道交通的特点。若市域（郊）铁路采用CTCS2+ATO列控系统，需重点针对中心城区轨道交通的特定，进行适应性研究，研究内容包括减少追踪间隔时间、缩短站台到发线有效长、支持“四网融合”、支持多模车-地无线通信等。

### 2.1 减少追踪间隔时间

基于市域（郊）铁路的特点和需求，市域（郊）

铁路的信号系统应能满足列车的区间追踪间隔、车站的接车 / 发车 / 通过间隔以及列车的折返间隔。目前，基于通信的列车控制（Communication Based Train Control, CBTC）信号系统满足市域（郊）铁路3 min行车间隔的能力。在相同的站场规模、相同列车牵引制动性能的情况下，CTCS2+ATO列控系统满足列车区间和车站的间隔需求，但难以满足市域（郊）铁路小于3 min的折返间隔需求。

列车典型折返场景如图2所示，列车从下行3股发车驶入折返轨I，在折返轨I完成换端后，驶入上行4股停车，完成折返。在现场实际运营中，使用人工折返的CTCS2+ATO列控系统仅车载设备人工换端就需要约120 s（考虑双司机，不含司机走行时间），站后折返的折返时间约需10 min，有两

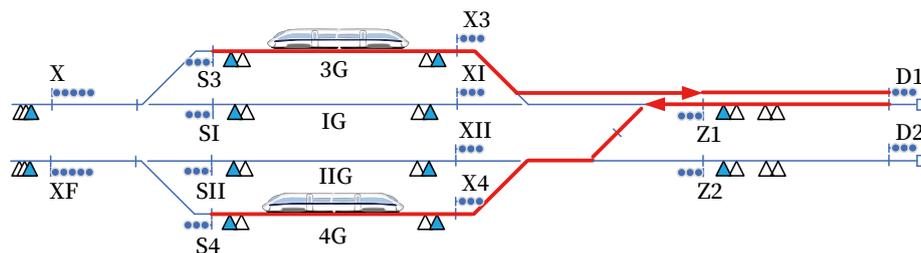


图2 列车典型折返场景

Fig.2 Typical train turn-back scenario

条折返线的情况下，折返间隔接近 5 min。因此，CTCS2+ATO 列控系统在折返站的折返能力，已成为制约市域（郊）铁路全线实现 3 min 追踪间隔的瓶颈。

为提高 CTCS2+ATO 列控系统的折返能力，有必要研究基于 CTCS2+ATO 列控系统的自动折返功能。文献 [6] 在国内首次提出在 CTCS2+ATO 下 3 min 内完成列车自动折返的技术方案，该方案建立了 CTCS2+ATO 下的列车自动折返流程，并提出列车自动折返的信号-车辆接口方案。

该技术方案基于 CTCS2+ATO 列控系统的主要变更如下。

1) ATO 与 TSRS 的车地无线交互接口增加折返计划信息和车载折返状态信息；

2) ATP 与车辆增加折返激活相关接口，满足自动折返过程中驾驶室主控钥匙拔出后车辆对车载设备牵引、制动指令的响应；

3) ATP、ATO 增加自动折返控制功能。

实验室仿真验证结果表明：该方案的列车自动换端时间在 20 s 以内，列车自动折返全过程可在 3 min 内完成。为进一步验证该方案，2022 年年底，上海申铁牵头组织 5 家地面设备供应商及 4 家车载供应商，完成了 CTCS2+ATO 自动折返现场验证。试验结果表明，增加自动折返功能后的 CTCS2+ATO 列控系统可实现 3 min 自动折返、20 s 自动换端的技术指标，可满足市域（郊）铁路小于 3 min 的折返间隔需求，补齐了 CTCS2+ATO 列控系统应用于市域（郊）铁路时折返间隔时间长的这一短板。

## 2.2 缩短站台到发线有效长

站台的到发线有效长一般指到发线一端出站信号机处警冲标至另一端出站信号机处警冲标之间的距离，是铁路的主要技术标准之一<sup>[7]</sup>。CTCS2+ATO 列控系统应用于国铁客运专线铁路，依据《城际铁路设计规范》(TB 10623-2014)，采用 CTCS-2 级列控系统且停靠 8 编组的动车组时，贯通式车站到发线有效长度不应小于 400 m<sup>[8]</sup>。如图 3 所示，目前 8 编组车体长度最长 214 m，站台长度取值为 220 m；列控系统站内安全防护距离取 60 m，考虑一定的误差，应答器安装至出站信号机 65 m 的位置；包含应答器组间距的 5 m，站台端部距应答器组的距离为 15 m；警冲标至出站信号机处的绝缘节的距离为 5 m。到发线有效长计算为  $(5\text{ m}+65\text{ m}+15\text{ m})\times 2+220\text{ m}=390\text{ m}$ ，取整为 400 m。

和 CTCS2+ATO 系统相比，由于 CBTC 系统采取保护区段外置的方式，到发线有效长度基本为列车长度外加 30~40 m，或者站台长度加上站台边缘距离岔尖的长度。若同样按停靠 8 编组的动车组计算，CBTC 系统所需的站台到发线有效长仅需 250~260 m，远小于 CTCS2+ATO 系统所需的 400 m。

市域（郊）铁路要实现郊区与中心城区的联通，不可避免的要进入城市核心区，但在城市中心城区由于受到空间限制，市域（郊）铁路必须采用与地铁一样的地下隧道运行方式。到发线的长度将直接影响整个车站总长和土建规模。车站土建工程量的增加，将造成施工工期延长、工程投资大幅增加。另外，到发线有效长的缩短，也能一定程度

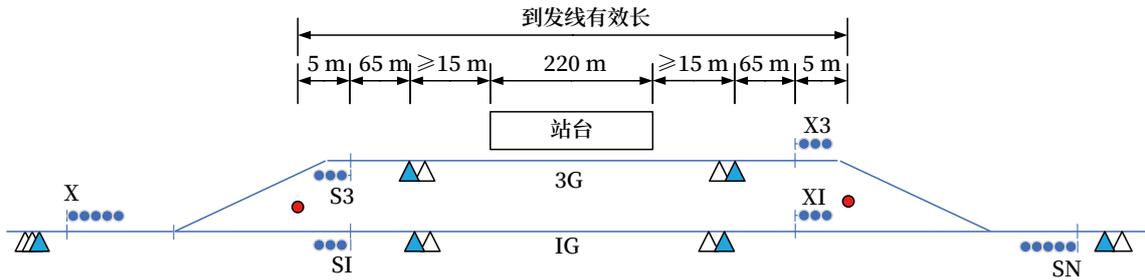


图3 城际铁路到发线有效长度  
Fig.3 Effective length of arrival-departure track of intercity railway

减少折返间隔时间，提高运输效率。因此，若将CTCS2+ATO列控系统应用于市域（郊）铁路时，需针对站台到发线有效长进行优化研究。

文献[9]根据广东省地方标准《城际铁路设计细则》，结合实际工程的停靠列车长度、安全防护距离等因素，对到发线有效长提出了优化方案，将站台到发线有效长由400 m减少至355 m。文献[10]从车载设备的角度出发，提出了一种到发线有效长的优化方案。文献[11]通过比较CTCS-2系统和CBTC系统的差异，针对CTCS-2提出一种设置延续保护进路的方式缩短到发线有效长。国内部分单位目前也正在开展基于保护区段外置的CTCS2+ATO列控系统的优化研究，技术方案基于CTCS2+ATO列控系统的主要变更如下。

1) 进站应答器增加保护区段信息包，向ATP发送保护区段的长度和时效；

2) 列车进站停车时，ATP应以保护区段终点为目标点计算控车曲线；

3) 列车进站停稳停准后，ATP应将行车许可终点（End of movement Authority, EoA）由保护区段末端回缩至进路股道末端，并通过ATO向TSRS报告列车停稳停准信息；

4) TSRS应将列车停稳停准信息通过列控中心（Train Control Center, TCC）发送至计算机联锁（Computer Based Interlocking, CBI），CBI应据此解锁保护区段。

### 2.3 支持“四网融合”

2020年12月7日，中华人民共和国国家发展和改革委员会、中华人民共和国交通运输部、中华人

民共和国国家铁路局、中国国家铁路集团有限公司联合发布了《关于推动都市圈市域（郊）铁路加快发展的意见》，该政策文件要求大力支持利用既有铁路富余能力或对既有铁路适当改造后开行市域（郊）列车，加强市域（郊）铁路与干线铁路、城际铁路、城市轨道交通一体化衔接，统筹协调系统制式，推动具备条件的跨线直通运行，充分发挥轨道交通网络整体效益<sup>[12]</sup>。

信号系统是支持市域（郊）铁路、干线铁路、城际铁路、城市轨道交通“四网融合”的关键系统之一。干线铁路主要包括普速铁路和高铁客专线，国内普速铁路采用CTCS-0级列控系统，高铁客专线采用CTCS-2和CTCS-3级列控系统。城际铁路主要采用CTCS-2级列控系统或珠三角城际CTCS2+ATO列控系统。城市轨道交通普遍采用CBTC列控系统。得益于CTCS2+ATO列控系统的先天优势，市域（郊）铁路若采用该列控系统制式，可天然与干线铁路、城际铁路互联互通。装备CTCS2+ATO列控系统的市域列车在CTCS-0级普速线路运行时，可按照机车信号模式限速80 km/h运行，影响运输效率。该问题可通过增加车载LKJ设备与CTCS-2车载设备的切换解决，在CTCS-2级高铁客专线已有完整的解决方案并成熟稳定运用，因此不是“四网融合”的难点。“四网融合”需重点解决CTCS2+ATO列控系统与CBTC列控系统的互联互通问题，包括技术层面和运营管理层面，支持市域列车到城市轨道交通线路跨线运行。

文献[13]从总体上提出了两种融合方案：一种是列控系统地面设备同时兼容CTCS2+ATO和

CBTC 两种列控系统的车载设备,一种是市域(郊)列控系统车载设备同时适应 CTCS2+ATO 和 CBTC 两种列控系统的地面设备。文献 [14] 提出了一种兼容 CTCS 和 CBTC 列控车载系统,支持装备该车载系统的市域列车在 CTCS 和 CBTC 两种制式的线路跨线运行。文献 [15] 提出了 CBTC 和 CTCS-2 双车载设备方案和一体化设备方案,并从技术、标准、管理和实施等方面进行了分析比较。对于 CBTC 和 CTCS-2 双车载设备的方案,建议参考和采用文献 [16] 提出的方案,该方案接口简单清晰,安全性高。对于 CBTC 和 CTCS-2 一体化车载设备的方案,建议参考和采用文献 [17] 提出的方案,该方案相对于参考文献 [16] 的方案,接口较多但切换过程的限速更加平滑,整体运行效率更高,适合一体化车载设备。除主控单元的切换外,一体化车载设备还涉及司机-车载设备接口(Driver Machine Interface, DMI)显示单元的融合研究,一套 DMI 需支持在不同制式下显示对应的人机界面,也是未来需重点研究的内容之一。

#### 2.4 支持多模车-地无线通信

根据目前技术现状,CTCS-3、CTCS2+ATO 列控系统采用国铁专用的铁路移动通信系统(Global System for Mobile communication-Railways, GSM-R)来承载列控车-地通信业务,CBTC 系统普遍采用工作在 1.8 GHz 频段的 LTE-M (Long Term Evolution-Metro, 用于地铁的 3GPP 长期演进技术)无线通信技术承载 CBTC 列控车-地通信业务。文献 [18] 从多方面比对国铁、地铁当前在用的移动通信技术制式,提出市域(郊)铁路移动通信技术制式不应局限于 GSM-R。文献 [19] 提出了一种 GSM-R 网络和 LTE-M 网络共存的技术方案,建议在新建市域线路采用 LTE-M 网络。

对于 2.3 节提到的 CBTC 和 CTCS-2 双车载设备,两种制式的车载侧和地面侧分别保持既有的车-地无线通信方案即可满足市域(郊)铁路列控系统“四网融合”的需求。对于 2.3 节提到的 CBTC 和 CTCS-2 一体化车载设备建议采用如下方案。

1) 车载设备配置两个双模电台,均同时支持 GSM-R 和 LTE-M 网络;

2) 列车由国铁 GSM-R 网络覆盖的区域驶入城轨 LTE-M 网络覆盖的区域前,车载设备已通过一个双模电台与 TSRS 连接。地面在网络制式切换区域前设置呼叫应答器,车载设备通过应答器获取 LTE-M 网络下的呼叫信息,使用空闲的一个双模电台与区域控制器(Zone Controller, ZC)建立连接,完成列控制制式切换后,车载设备与 TSRS 断开连接;

3) 列车由城轨 LTE-M 网络覆盖的区域驶入国铁 GSM-R 网络覆盖的区域的处理方案与以上 2) 项类似,不再赘述。

随着 5G 无线通信技术的发展和应用,国铁集团已在牵头开展 5G 通信承载国铁列控车地无线业务的研究,未来采用 5G 技术同时解决市域(郊)铁路及跨线互联互通运营也是一种可能。

### 3 结论

本文针对市域(郊)铁路的运营特点和功能需求,提出并分析了市域(郊)铁路采用 CTCS2+ATO 列控系统需适应性研究的减少追踪间隔时间、缩短站台到发线有效长、支持“四网融合”、支持多模车-地无线通信重点优化项,并结合研究现状给出建议方案。不足之处在于,本文提出的优化项不一定全面,针对优化项也仅进行了初步的分析,后续有必要进一步梳理优化项的完整性,并针对优化项逐一开展深入研究。

#### 参考文献

- [1] 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:中国铁道出版社有限公司, 2021.
- [2] 李乾社. 市域铁路信号列控制式的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(2): 10-15.  
Li Qianshe. Research on Signal Train Control System for Regional Railways[J]. Railway

- Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(2): 10-15.
- [3] 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.
- [4] 成正波, 刘华祥. 市域(郊)铁路信号系统制式比选及建议 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 71-74, 78.  
Cheng Zhengbo, Liu Huaxiang. Comparative Selection and Suggestion of Suburban Railway Signaling System Format[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 71-74, 78.
- [5] 中国国家铁路集团有限公司. 高速铁路AT0系统暂行总体技术方案: TJ/DW 202-2018[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2018.
- [6] 杨俐. 上海机场联络线列车自动折返方案研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 9-13.  
Yang Li. Research on Automatic Train Turn-back Scheme of Shanghai Rail Transit Airport Link Line[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 9-13.
- [7] 韩永强. 国铁信号制式下市域铁路到发线有效长探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(7): 19-22, 50.  
Han Yongqiang. Discussion on Effective Length of Receiving-Departure Track of Regional Railway under National Railway Signaling Standard System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(7): 19-22, 50.
- [8] 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.
- [9] 邓运成, 霍磊, 杨威. 城际铁路车站到发线有效长度优化分析 [J]. 交通与运输, 2022, 38(5): 63-68.  
Deng Yuncheng, Huo Lei, Yang Wei. Optimal Analysis of Effective Length of Receiving-Departure Track in Intercity Railway Stations[J]. Traffic & Transportation, 2022, 38(5): 63-68.
- [10] 徐效宁. 高速铁路到发线有效长的车载优化方案研究 [J]. 铁道工程学报, 2020, 37(11): 6-10.  
Xu Xiaoning. Research on the On-Board Optimization Scheme about Effective Length of Receiving-Departure Track in High-Speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(11): 6-10.
- [11] 苏思琦. 基于CTCS-2级与CBTC系统市域到发线有效长度的分析及优化研究 [J]. 流体测量与控制, 2021, 2(4): 31-34, 55.  
Su Siqu. Analysis and Optimization Research of Receiving-Departure Track Effective Length for Regional Railway Based on CTCS-2 and CBTC Train Control System[J]. Fluid Measurement & Control, 2021, 2(4): 31-34, 55.
- [12] 中华人民共和国国家发展改革委员会, 中华人民共和国交通运输部, 中华人民共和国国家铁路局, 等. 关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见: 国办函[2020]116号[S]. 北京: 中华人民共和国国家发展改革委员会, 2020.
- [13] 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.
- [14] 齐亚娜, 王海忠, 何永发, 等. 一种兼容CTCS和CBTC列控车载系统: CN115610476A[P]. 2023-01-17.
- [15] 王珮瑶. 多网融合下的市域铁路列车控制系统方案研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 53-56.  
Wang Peiyao. Scheme of City Railway Train Control System under Multi-Network Integration[J]. Urban

- Mass Transit, 2022, 25(11): 53-56.
- [16] 王硕, 吴培栋, 张友兵, 等. 一种兼容多种制式的列控车载设备的切换方法及系统: CN114475715B[P]. 2022-09-06.
- [17] 张友兵, 王建敏, 张国振, 等. 特殊车载设备与通用车载设备的控车权切换方法及系统: CN113415314A[P]. 2021-09-21.
- [18] 周宇晖. 市域铁路移动通信技术制式探讨 [J]. 中国铁路, 2018 (8): 78-82.  
Zhou Yuhui. The Mobile Communication Technology Standards of Suburban Railway[J]. China Railway, 2018(8): 78-82.
- [19] 刘惠林. 市域铁路与国铁共线运营专用无线通信系统方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (9): 44-47.  
Liu Huilin. Scheme of Dedicated Radio Communication System for Co-Operation between Suburban Railway and National Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(9): 44-47.

\*\*\*\*\*

(上接 15页)

- 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.
- [7] 陈泽君, 潘登, 汪镭, 等. 移动闭塞条件下基于双曲列控策略的发车间隔时间计算 [J]. 微型电脑应用, 2020, 36 (1): 1-6.  
Chen Zejun, Pan Deng, Wang Lei, et al. Analysis and Calculation of Time Interval between Two Trains in Railway Station under Moving Automatic Block[J]. Microcomputer Applications, 2020, 36(1): 1-6.
- [8] 高翔, 张凌翔. 基于系统韧性理论的城市轨道交通信号系统设计 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26 (1): 139-143, 148.  
Gao Xiang, Zhang Lingxiang. Urban Rail Transit Signaling System Design Based on System Resilience Theory[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(1): 139-143, 148.
- [9] 开祥宝, 张淼, 高媛, 等. 基于北斗导航的列车运行控制系统架构设计 [J]. 铁道运输与经济, 2018, 40 (10): 66-70.  
Kai Xiangbao, Zhang Miao, Gao Yuan, et al. An Architecture Design of the Train Control System Based on BDS[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(10): 66-70.
- [10] 程剑锋, 赵显琼, 刘磊. CTCS-4 级列控系统关键技术研究 [J]. 北京交通大学学报, 2016, 40 (5): 104-110.  
Cheng Jianfeng, Zhao Xianqiong, Liu Lei. Research on Key Technologies of CTCS-4 Level Train Control System[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2016, 40(5): 104-110.
- [11] 田长海, 张守帅, 张岳松, 等. 高速铁路列车追踪间隔时间研究 [J]. 铁道学报, 2015, 37 (10): 1-6.  
Tian Changhai, Zhang Shoushuai, Zhang Yuesong, et al. Study on the Train Headway on Automatic Block Sections of High Speed Railway[J]. Journal of the China Railway Society, 2015, 37(10): 1-6.
- [12] 王琳. 基于卫星定位的列控系统移动闭塞技术研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2018.

# 特殊场景下电码化电路设计

邴 锐, 马文慧

(中铁工程设计咨询集团有限公司太原设计院, 太原 030013)

**摘要:** 太原北站枢纽改造中, 遇到列车接车进路上无道岔区段, 列车越过防护的进路信号机后直接接入股道、当防护信号机因为某种原因发生突变时, 列车冒进防护信号后进入股道接收错误的低频信号。针对列车冒进后错误接收低频信号原因进行研究。通过对常规站型常规电路及常见简化电路作用进行讨论, 对冒进后车站作业流程进行分析, 总结无法发送禁止码和无法切断发码通道原因。针对原因, 提出优化 JMJ 继电器的励磁电路及优化站型两种可行的解决问题的思路, 并对两种思路进行分别进行深化设计进行验证。根据现场实际情况进行比选, 推荐优化 JMJ 继电器的励磁电路方法进行现场实施。

**关键词:** 太原北站; 特殊场景; 股道; 电码化

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0024-05

## Design of Coding Circuit in Special Scenario

Bing Rui, Ma Wenhui

(Taiyuan Design Institute, China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Taiyuan 030013, China)

**Abstract:** In the process of transformation of Taiyuan North Railway Station terminal, there is no turnout section on the train receiving route, and the train directly enters the track after crossing the protective route signal. When the protective signal mutates for some reason, the train enters the track after overrunning the protective signal and receives the wrong low frequency signal. This paper mainly studies the reason why the train mistakenly receives low frequency signal after overrunning. By discussing the functions of the conventional circuit and the common simplified circuit of the conventional station, this paper analyzes the work flow of the station after overrunning, and summarizes the reasons for the failure to send the forbidden code and the failure to cut off the code channel. In view of the reasons, this paper puts forward two feasible ideas of optimizing JMJ relay's energized circuit and optimizing station type to solve the problem, and the two ideas are respectively further designed for verification. According to the actual field situation, the optimization of JMJ relay energized circuit method is recommended for field implementation.

**Keywords:** Taiyuan north railway station; particular scenario; tracks; coding

收稿日期: 2022-08-29; 修回日期: 2023-03-06

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题项目 (N2019G017)

第一作者: 邴锐 (1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: 853507323@163.com。

## 1 概述

太原北站是石家庄至太原铁路的终点站，位于山西省太原市尖草坪区。太原北站也是太兴、上兰村、西山等国铁或地方铁路起点站。太原北站一场与二场为单向接发车方式，采用场间联系电路。一场具备对二场方面的发车功能，二场具备对一场方面的接车功能。随着西南环铁路的建成，太北各场功能将发生较大变化，枢纽内运输组织将发生变化，北同蒲去往南同蒲、石太线方向的无调中转列车将通过其运行。根据机车交路部分无调中转车需要在太原北站换挂本务机车。为适应运输模式变化，

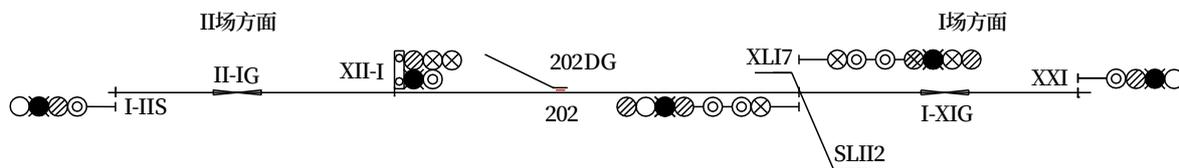


图1 车站局部信号平面示意  
Fig.1 Local signal plane diagram of the station

当列车从太北二场发车，越过太北二场 XII-I 出站信号机后，行驶至一场 XLI7 信号机前。XLI7 信号机因特殊原因由黄灯突变为红灯或者灭灯（如 XLI7 信号机灯丝发生断丝），列车无法及时制动或制动距离有限，列车可能出现越过 XLI7 信号机冒进信号的情况。

依据《铁路车站电码化技术条件》（TBT 2465-2010）第 4.2.3 条要求：列车冒进信号时，至少其内方第一区段发禁止码或不发码。

### 2.1 常规电路原理

通常情况下，根据车站站场布置情况，冒进信号机前方为道岔区段。列车冒进防护信号机后，先进入道岔区段，再进入股道。

当列车经过道岔侧向，接入侧线股道时，实施叠加电码化。列车轮对压入侧线股道后实施电码化，道岔区段无码，满足《铁路车站电码化技术条件》（TBT 2465-2010）第 4.2.3 条要求：列车冒进信号时，至少其内方第一区段不发码的要求。

如图 2 所示，当列车经过道岔直向，接入正线

提高车流交换，增加太原北站一场与二场间的双向接 / 发车功能。太北一场与太北二场采用场间联系电路，二场增加对一场方面的发车功能，一场增加对二场方面的接车功能。

本文主要针对太原北站枢纽改造过程中遇到的接车进路直接接入股道的这种特殊场景下电码化电路进行论述。

## 2 存在问题

太北一场与太北二场采用场间联系电路，二场增加对一场方面的发车功能，一场增加对二场方面的接车功能，如图 1 所示。

股道时，采用预叠加电码化，道岔区段也实施电码化。预叠加电码化电路发码通道中接入接码继电器（JMJ），JMJ 继电器励磁条件中，检查 LXJ 列车信号继电器的前接点。当列车冒进信号前，列车信号发生突变时，列车信号继电器（LXJ）由吸起状态转变为落下状态，切断了接码继电器（JMJ）的励磁电路，接码继电器（JMJ）落下切断发码通道中道岔区段的预叠加电码化。列车冒进后进入道岔区段，道岔区段不发码。

满足《铁路车站电码化技术条件》（TB/T 2465-2010）第 4.2.3 条要求：列车冒进信号时，至少其内方第一区段不发码的要求。

### 2.2 常见简化电路

若太北枢纽这种特殊场景结合常规电码化电路，因 XLI7 信号机内方无道岔区段，无法直接利用既有定型电路，所以根据站型需要对既有定型电路进行简化。

常见的简化方式是，简化 JMJ 电路，仅搭建了 JCJ 的励磁电路。通过 XLI7 信号机外方的轨道区段

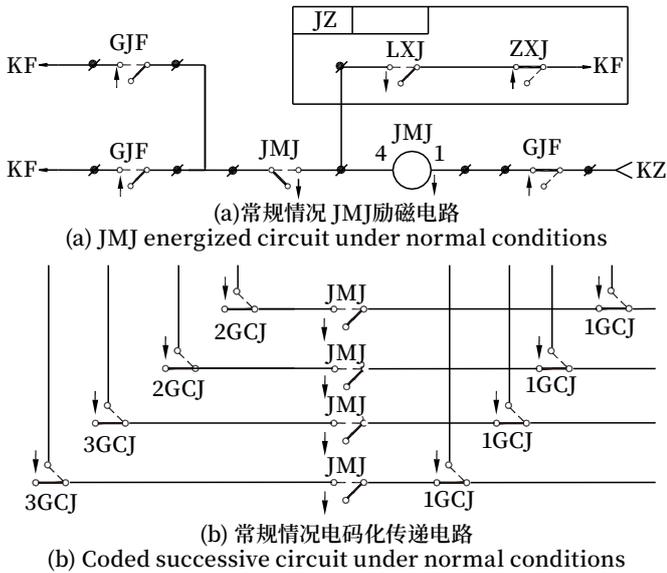


图2 常规情况电码化发码电路及JMJ励磁电路

Fig.2 Coded sending circuit and JMJ energized circuit under normal conditions

202DG 的失磁来实现电码化电路的预叠加原理。在电码化的发码电路中，串接入 JCJ 条件。电码化编码与常规电路一致，根据前方信号机的显示进行继电编码。简化后的电码化发码电路如图 3 所示。

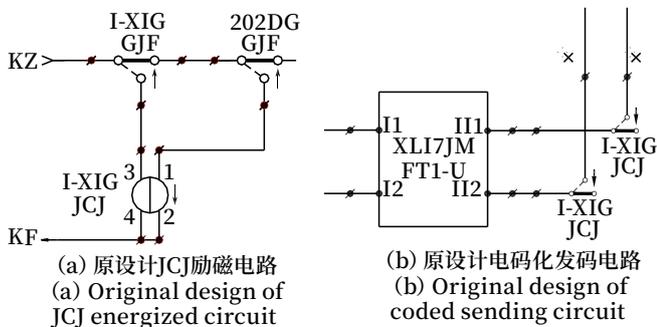


图3 原设计电码化发码电路及JCJ励磁电路

Fig.3 Original design of coded sending circuit and JCJ energized circuit

以太北枢纽为例，当列车轮对从二场发车后，压入二场 202DG 时，一场场联电路中 202DG 的复示继电器 202DGJF 失磁落下，JCJ 继电器励磁吸起，接通 XLI7JM 正线电码化电路图中发码通道，I-XIG 股道发码端开始发码。

当机车信号根据运行前方地面信号的显示会出现以下两种情况：

1) 若太北一场 XXI 出站信号机开放，列车在冒进 XLI7 信号机后，进入一场 I-XIG 股道，机车

信号接收到 UU 码；

2) 若太北一场 XXI 出站信号机不开放，列车冒进 XLI7 信号机后，列车在一场 I-XIG 股道接收到 HU 码。

明显与规范要求的发禁止码（H 码）或者不发码不相符。

### 3 原因分析

#### 3.1 冒进后车站作业流程

当列车冒进信号机时，车站值班员在具备接车条件，确认接车线空闲和进路正确后，不再开放信号机，按调车方式接入站内；车站值班员使用列车无线调度通信设备通知司机进入站内停车，司机凭车站值班员进入站内停车的通知直接驱动列车进入股道。

#### 3.2 无法发禁止码原因

通过对冒进后车站作业流程分析，在列车冒进信号机及重新接入股道的过程中，均是通过车站值班员和司机通过人工方式进行作业。车站计算机联锁设备在作业过程中未参与处理冒进信号，所以无法在逻辑上判断列车是否存在冒进。计算机联锁设备无法驱动一个继电器，可以作为电码化低频信息外部编码电路中发送禁止码（H 码）的条件使用。此外，也无法利用现有逻辑，通过搭建外部编码电路的方式，在电码化低频信息外部编码电路中发送禁止码（H 码）的条件。

#### 3.3 无法切断发码通道原因

定型电路是结合常规站型进行设计，通过本文 2.2 小节分析，不论是实施预叠加或者叠加电码化，既有定型电路均能满足规范需求。既有电码化定型电路中，能切断电码化发码通道的关键因素是：发码电路中串接 JMJ 条件，JMJ 继电器励磁条件中，检查 LXJ 列车信号继电器的前接点。

对比定型电路，常用简化电路不能起作用的主要原因是：发码通道中简化了 JMJ 继电器。

而如果在按照既有定型电路的原理，直接在简化电路接入 JMJ 继电器的励磁条件。则会出现在正常的接车进路中，列车越过进路信号机后，自动切

断电码化发码通道，影响电码化电路的正常使用。

### 3.4 小结

在没有发送禁止码（H 码）或者切断发码通道有效手段的情况下，电码化低频信息只能依据 XXI 信号机的显示向机车信号发送 UU 码或者 HU 码。

## 4 解决方法

根据原因分析 3.2 的结论，通过直接优化电码化低频编码电路解决接车直接进入股道，当列车冒进信号时至少其内方第一区段发禁止码基本不可行。只能从切断电码化发码通道角度出发，提出两个可行的解决方案：一是优化 JMJ 继电器的励磁电路，当列车冒进 XLI7 信号机时，I-XIG 不发码；并且正常行驶列车越过进路信号机后，不切断电码化发码通道；二是优化站型，将既有 I-XIG 切割成 I-XIG1 与 I-XIG2 两个区段，冒进 XLI7 信号机时，I-XIG1 不发码。

## 5 方法实施

### 5.1 优化 JMJ 继电器的励磁电路

JMJ 继电器的励磁电路除了检查 XLI7 的 LXJ 继电器，还需要并接入 YXJ 继电器和 DXJ 继电器，防止因列车调入或者引导接入 I-XIG 后，再办理发车作业时，电码化电路无法正常发送低频信息。同时，在自保电路中接入 I-XIG 的轨道条件，防止列车越过 XLI7 后切断电码化发码通道。如图 4 所示。

修改电路如下。

1) 由 II 场列车正常进入 I-XIG 时：当 XLI7 信号机开放后 II 场发车，列车进入 I-XIG 正常接收 I-XIG 机车信号。

2) 由 II 场调车正常进入 I-XIG 时：调车进入 I-XIG 后发车正常接收 I-XIG 机车信号。

3) 办理引导信号时：当办理 XLI7 引导信号时 II 场发车，列车进入 I-XIG 正常接收 I-XIG 机车信号。

4) 由 II 场发车冒进 XLI7 时：当 XLI7 信号机开放后 II 场发车，列车运行至 XLI7 前因故信号突

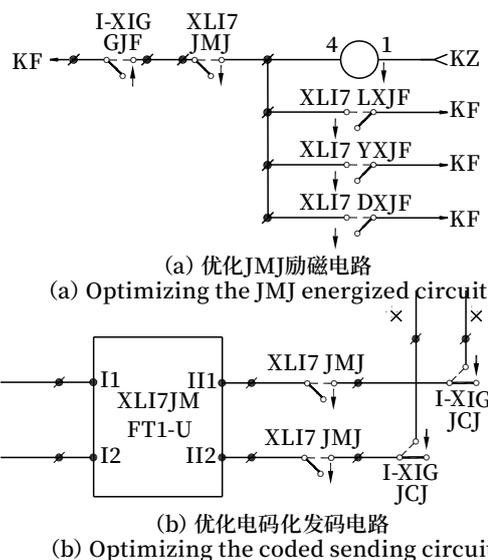


图4 优化电码化发码电路及 JMJ 励磁电路  
Fig.4 Optimizing the coded sending circuit and JMJ energized circuit

变关闭，列车冒进信号后压入 I-XIG，JMJ 切断发码电路，该区段无码符合电码化技术条件。但当列车解除限制后，I-XIG 股道再发车信号设备不具备发码条件。

5) 由 I 场本场调车至 I-XIG 时（现场车务无此种作业需求）：当调车由 I 场本场转线调车至 I-XIG 然后再由 XXI 发车时，此种运行场景信号设备不具备发码条件。

### 5.2 股道切割

将既有 I-XIG 切割成 I-XIG1 与 I-XIG2 两个区段：联锁中将 I-XIG1 与 I-XIG2 前接点串接后联锁进行采集，作为一个区段 I-XIG；在电码化电路中，将 I-XIG1 作为一个无岔区段处理。当列车冒进 XLI7 信号机前，LXJF 切断 JMJ 的励磁电路，I-XIG1 不发码，如图 5 所示。

修改电路后：

1) 由 II 场列车正常进入 I-XIG 时：当 XLI7 信号机开放后 II 场发车，列车进入 I-XIG 正常接收机车信号。

2) 由 II 场调车正常进入 I-XIG 时：调车进入 I-XIG 后发车正常接收机车信号。

3) 办理引导信号时：当办理 XLI7 引导信号时 II 场发车，列车进入 I-XIG 正常接收机车信号。

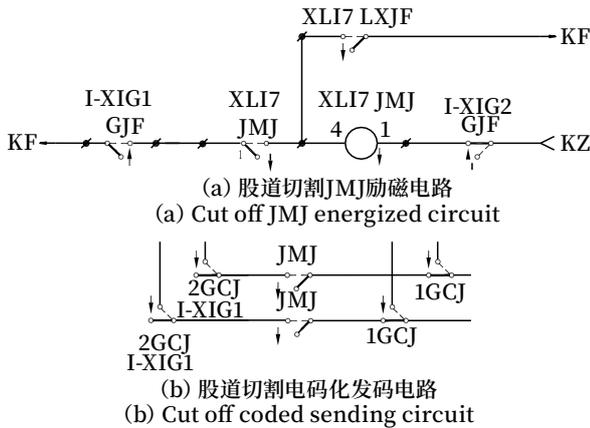


图5 股道切割电码化发码电路及JMJ励磁电路  
Fig.5 Cut off coded sending circuit and JMJ energized circuit

4) 由II场发车冒进XLI7时：当XLI7信号机开放后II场发车，列车运行至XLI7前因故信号突变关闭，列车冒进信号后压入I-XIG1，JMJ切断发码电路，该区段无码符合电码化技术条件。当列车解除限制后进入I-XIG2再发车，正常接收机车信号。

5) 由I场本场调车至I-XIG时（现场车务无此种作业需求）：当调车由I场本场转线调车至I-XIG，然后再由XXI发车时，正常接收机车信号。

## 6 方法对比

优化JMJ继电器的励磁电路：在当机车冒进信号与本场调车在发车的场景下，存在着发车无码的情况。但结合太北一场这种特殊的车站作业模式，这两种作业情景对现场运输作业的影响几乎可以忽略不计，且现场施工仅需室内重新配线，室外无需布放电缆，工程投资较低。

股道切割：对车站作业无影响，但现场工务施工需切割既有无缝线路，增加机械绝缘。电务施工需涉及到室外重新放缆、增加轨道电路室内外设备、室内重新布线、修改信号集中监测等设备，施工较为繁琐。

在实际现场实施过程中，在与业务主管部门组织会议汇报沟通后，现场采用优化JMJ继电器的励磁电路进行实施。

## 参考文献

- [1] 郝东红. 挖掘设备潜力优化运输组织提高运输能力[J]. 山西建筑, 2003, 29(10): 129-130.  
Hao Donghong. Develop Potential Projected Capacity and Optimize Transportation Organization to Improve Carrying Capacity[J]. Shanxi Architecture, 2003, 29(10): 129-130.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁路车站电码化技术条件: TB/T 2465-2010[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [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] 董昱. 区间信号与列车运行控制系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [5] 张智. 自闭区段车站改造区间信号的特殊设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2012, 9(2): 66-68.  
Zhang Zhi. Special Design of Interval Signal for Station Reconstruction in Self-Closing Section[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2012, 9(2): 66-68.
- [6] 任雅萍. 一种特殊站型电码化电路的设计[J]. 铁道通信信号, 2011, 47(7): 25-26.  
Ren Yaping. Design of a Special Station Code Circuit[J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(7): 25-26.
- [7] 杨莉. 进站信号机外方接近轨电码化优化设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(10): 15-18.  
Yang Li. Optimization Design of Approach Section Coding in Advance of a Home Signal[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 15-18.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.07.005

# 铁路信号用机柜的 工业设计及可靠性仿真探讨

齐 含<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:** 针对铁路信号系统的不断更新和功能复杂化, 作为主要载体的信号机柜的外观和性能需要进一步提升。以铁路信号机柜的工业设计、正向结构仿真设计、系统热仿真设计为重点进行探讨和研究, 对机柜的外观布局、模块化设计进行优化, 通过结构和热仿真, 机柜可靠性及热稳定性进行正向验证。

**关键词:** 铁路机柜; 工业设计; 结构仿真; 热仿真

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0029-05

## Discussion on Industrial Design and Reliability Simulation of Railway Signal Cabinet

Qi Han<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:** The appearance and performance of the railway signal cabinet as the main carrier need to be further improved in view of the continuous updating and functional complexity of the railway signal system. This paper focuses on the industrial design, forward structure simulation design and system thermal simulation design of railway signal cabinet, optimizes the appearance layout and modular design of the cabinet, and forward verifies the reliability and thermal stability of the cabinet through structure and thermal simulation.

**Keywords:** railway cabinet; industrial design; structural simulation; thermal simulation

收稿日期: 2022-10-07; 修回日期: 2023-06-05

基金项目: 中国铁路通信信号股份有限公司重大科技专项 (2300-K1200022. 02)

发明专利: 2022 年国家发明专利 (CN111372414A); 2021 年国家实用新型专利 (CN213522626U); 2021 年国家实用新型专利 (CN21363868U); 2021 年国家实用新型专利 (CN214070416U); 2018 年国家外观专利 (CN304899742S)

作者简介: 齐含 (1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 产品设计及信号系统整机设计, 邮箱: qihan@crscd.com.cn.

中国铁路不断快速发展，对铁路信号装备不论是性能层面还是外观造型都提出了更高要求。虽然产品设计占比总成本的比重不到5%，但它却影响产品整体利润的70%以上。铁路信号用机柜作为信号系统的重要载体，其造型设计应该是技术和艺术的结合，既要通过工业设计凸显产品的特点和品牌价值，又要兼顾机柜的结构工艺性、结构可靠性、可维护性、经济性和系统热力学稳定性。基于上述特定，本文从一种机柜的工业设计和可靠性仿真分析的角度进行探讨与研究。

## 1 机柜外观及布局设计

铁路信号用机柜配置 Pantone 428C 主体颜色，室内机柜尺寸以 600 mm×800 mm×2 350 mm 为标准，机柜前门采用网孔设计，配合竖线条和门锁结构，在整体造型设计方面，通过前门凹凸设计和形态拼合，突出机柜的立体感和层次感，从而获得机柜的稳定感。在细节设计上，合理规划铭牌、标识、装饰条等构件位置，凸显企业的品牌感。

利用点、线、面造型要素进行有规律的疏密排列为机柜创造节奏感和秩序性。

机柜通风孔的设计为“点”元素。零部件轮廓线、面板安装缝和内部的布线设计为“线”元素。面板安装缝起到功能分区的作用，使操作界面更加清晰，零部件整体协调，功能更加有序。布线设计则重点考虑线的走向，呈现横平竖直、整齐有序的视觉效果。机柜门板设计及并柜效果为“面”元素。立体门的设计配合柜门两侧的弧面，充分体现了视觉的节奏感和秩序性。通过并柜能够产生视觉的横向延伸感，具有平稳统一的视觉效果，形成功能强大的既视感。如图 1 所示。

## 2 布线及模块化接口设计

### 2.1 布线标准化原则

考虑到现有信号系统用机柜生产布线作业区、现场施工作业区和使用操作作业区界限不清；柜内电源线、信号线和通信线布局没有统一的线槽布线



图1 铁路信号用机柜尺寸、颜色、布局  
Fig.1 Size, color and layout of railway signal cabinet

规范；不合理的布线导致机柜空间利用率很低等问题。根据上述问题，进行了布线标准化，对铁路信号用机柜的作业区进行了划分，如图 2 所示。



图2 铁路信号用机柜布线标准化  
Fig.2 Standardized wiring of railway signal cabinet

### 2.2 模块化接口设计

在铁路通信信号产品领域，PCB 的集成化和模块化已经十分完善，但是对于整机柜系统级别，系统的供电设计模块化不够成熟，方案有两种：一种是单纯将电源线连接到各个 PCB 模块上；另一种是单纯在一块钣金安装板上安装端子排，将外部线缆分流到各个 PCB 模块上。第一种对于现场安装维护不便，而且由于不同模块位置不同，需要提供的外部线缆长度不能统一；第二种解决了外部电源线长度统一化的问题，但是电源接口模块集成度不高，如整机 PCB 模块多，不能有效配置，需要配置的数量多，占用安装的空间大，增加了成本。

如图 3 所示，采用通用电源接口层模块化设计，能够有效地提高产品的生产效率、可用性，提高机



图3 通用电源接口层及信号线缆接口层模块设计  
Fig.3 Module design of general power interface layer and signal cable interface layer

柜的利用空间，便于现场的操作和维护。机柜底部设置信号线缆接口层，实现柜内布线和柜外布线隔离，工厂生产施工布线和现场施工操作隔离，提高产品可靠性、可维护性和生产效率。

### 3 结构仿真分析

考虑到车载机柜的工作环境相对于地面机柜恶劣，对车载机柜的振动可靠性要求更高，通过对车载机柜底部+背部此安装方式的预设条件下进行振动仿真分析，正向验证机柜的结构可靠性。

根据《轨道交通机车车辆设备冲击和振动试验》(GB/T 21563-2018)，车载机柜满足1类车体安装A级标准，对应的ASD频谱（加速度谱密度）如图4所示。

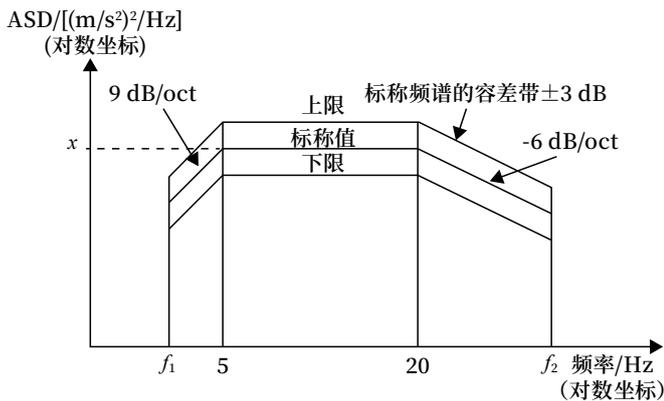


图4 1类A级车体安装ASD频谱

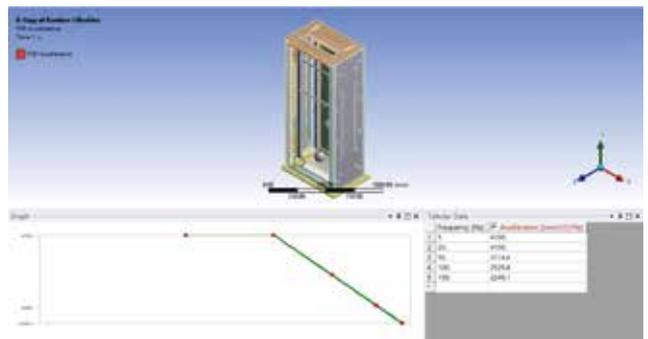
Fig.4 ASD spectrum diagram for type 1 class A vehicle body installation

当  $M$  (质量)  $\leq 500$  kg 时,  $f_1 = 5$  Hz,  $f_2 = 150$  Hz。根据上述标准中 ASD 数值可以计算出 5 ~ 150 Hz 频率下的 ASD 数值, 如公式 (1) 所示。

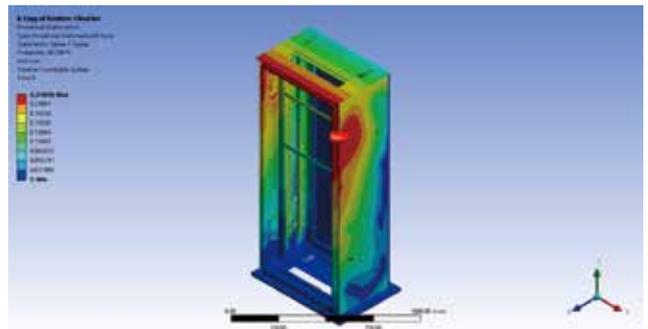
$$P_1 = P_2 \left( \frac{f_1}{f_2} \right)^{S/3} \quad (1)$$

式中:  $P$  是加速度谱密度,  $(\text{mm/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;  $f$  是频率, Hz;  $S$  是斜率, dB/oct。

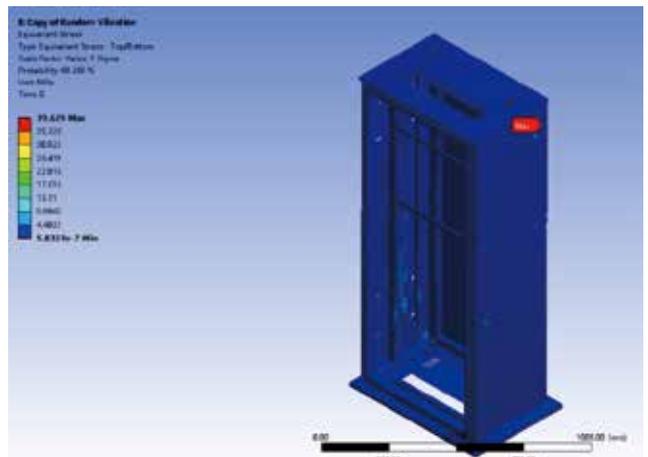
通过 ANSYS 进行车载机柜的建模仿真, 通过横向 PSD 载荷曲线施加横向加速度谱, 得到的应力和应变仿真结果, 如图 5 所示。



(a) 横向PSD载荷  
(a) Lateral PSD load



(b) 最大主应变  
(b) Maximum principal strain



(c) 最大应力  
(c) Maximum stress

图5 机柜横向振动仿真  
Fig.5 Simulation diagram of lateral vibration of cabinet

以此类推，同样得到纵向振动仿真和垂向振动仿真结果，对车载机柜的振动分析(3sigma)得到的参数，如表1所示，结论如下：最大等效应力发生位置的材料为镀锌钢板，材料强度远大于最大应力，无破坏风险。

表1 振动仿真的应力和应变

Tab.1 Stress and strain of vibration simulation

方向	最大主应变 /mm	最大应力 /MPa
横向振动	0.25	118.8
纵向振动	0.58	113.85
垂向振动	0.27	72.21

#### 4 热仿真分析

铁路信号机柜内的各个模块采用 PCB 板卡，而电子设备失效中的 55% 是由于温度过高，热故障已成为电子设备的主流故障。通过对铁路信号机柜系统进行热仿真，优化机柜的结构和布局，对增加系统的热可靠性至关重要。

列控系统中板卡的 CPU 温度过高会导致信号系统故障，通过 Icepak 软件对列控系统进行建模和热分析，如图 6 所示。

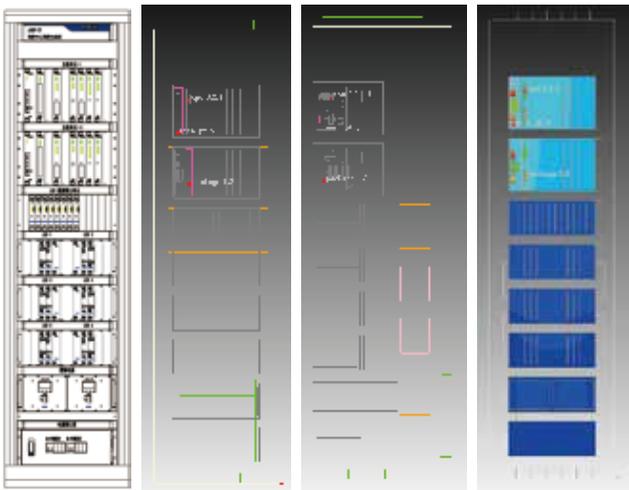


图6 机柜仿真建模及热分析

Fig.6 Simulation modeling and thermal analysis diagram of cabinet

由于列控系统机柜底部有电源模块和接口单元，温度沿着机柜高度方向升高，对逻辑部单元 I 系和 II 系的 CPU 板的温度进行分析，对机柜的热设计做出了如下方案及热仿真分析对比，方式 1 采用上

述既有布置；针对图 6 中的布置，方式 2 对逻辑单元 I 系和 II 系的插箱下方增加了斜挡板同时前补空板增加通风口；方式 3 对逻辑单元 II 系插箱底部增大 1U 空间 + 斜挡板；方式 4 对逻辑单元 II 系插箱底部增大 2U 空间；方式 5 对逻辑单元 II 系插箱底部增大 2U 空间 + 斜挡板；方式 6 将底部电源模块放到机柜最上方，同时在逻辑电源 I 系和 II 系的插箱下方增加了斜挡板同时前补空板增加通风口；仿真结果如图 7 所示。

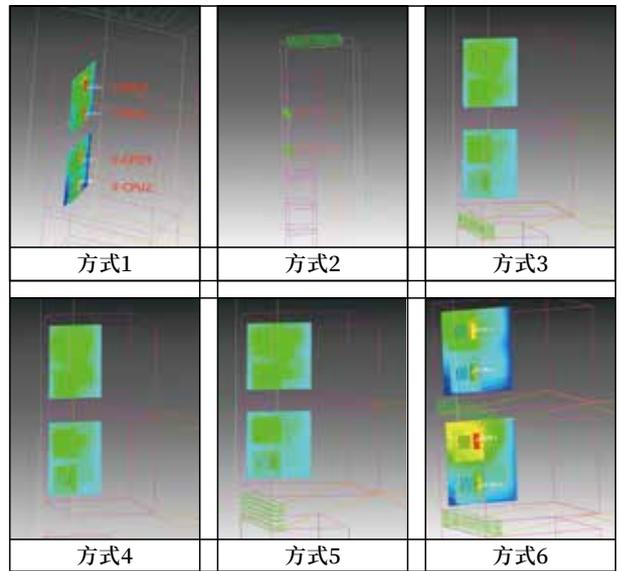


图7 列控系统机柜的结构设计方案及热仿真

Fig.7 Structural design scheme and thermal simulation diagram of train control system cabinet

通过上述仿真结果分别得到了 CPU 的温度值，得到的曲线如表 2 所示。

表2 列控系统机柜不同内部结构下逻辑部CPU温度对比

Tab.2 Comparison of CPU temperature of logic unit under different internal structures of train control system cabinet

结构	I-CPU1 /°C	I-CPU2 /°C	II-CPU1 /°C	II-CPU2 /°C
方式 1	65.5	63.4	62.4	58.7
方式 2	61.36	56.87	63.3	57.92
方式 3	64.6	62.1	60.8	56.1
方式 4	65.46	63.2	61.9	58.18
方式 5	64.3	61.8	60.8	56.1
方式 6	59.9	54.7	64.4	56.1

通过上述热仿真分析及温度参数对比，方式 2 和方式 6 下的列控系统机柜的热可靠性较高，宜采纳。

## 5 总结

本文提出的铁路信号用机柜的工业设计方案,提升了产品的外观,凸显了产品的品牌。通过对机柜的布局优化和模块化设计使得操作界面、生产界面、维护界面的划分更清晰,提高了产品的可用性、可维护性以及生产效率。通过对机柜进行结构仿真和热仿真分析,增加了铁路信号用机柜的结构强度可靠性、热可靠性。在今后的铁路信号机柜实际应用中也要对工业设计及可靠性仿真方面进一步研究,使得结构仿真和热仿真作为机柜设计的必要中间环节,不断更新和优化铁路信号系统机柜。

### 参考文献

- [1] 明方成. 工业造型设计基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [2] 陈少锋, 薛澄岐. 工业机柜设计案例库系统研究 [J]. 电子机械工程, 2009, 25 (5): 4-7.  
Chen Shaofeng, Xue Chengqi. A Study on Cases of Industrial Cabinet Design[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2009, 25(5): 4-7.
- [3] 丁文, 韩德斌. 浅谈形式美法则在电力机柜设计中的应用 [J]. 工业设计, 2021 (4): 155-156.  
Ding Wen, Han Debin. Discussion on the Application of Principle of Form Beauty in the Design of Electric Cabinet[J]. Industrial Design, 2021(4): 155-156.
- [4] 张亚峰. 车载电子设备的抗振设计 [J]. 电子机械工程, 2003, 19 (2): 6-8, 33.  
Zhang Yafeng. Anti-Vibration Design of Vehicle-Borne Electronic Equipment[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2003, 19(2): 6-8, 33.
- [5] 高学斌, 代廷振. 电子设备机柜模态分析及试验验证 [J]. 电工技术, 2020 (23): 52-55, 59.  
Gao Xuebin, Dai Tingzhen. Modal Analysis and Test Verification of Electronic Equipment Cabinet[J]. Electric Engineering, 2020(23): 52-55, 59.
- [6] 王永康. ANSYS Icepak 电子散热基础教程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2015.
- [7] 高飞, 孟佳, 施金奎, 等. 电力电子机柜内部温度优化分析 [J]. 电工技术, 2022 (7): 100-102.  
Gao Fei, Meng Jia, Shi Jinkui, et al. Optimization Analysis of Internal Temperature of Power Electronic Cabinet[J]. Electric Engineering, 2022(7): 100-102.
- [8] 矫海. 某型电子设备方舱散热分析及优化 [J]. 电子机械工程, 2020, 36 (6): 38-41.  
Jiao Hai. Analysis and Optimization of Heat Dissipation of an Electronic Equipment Cabin[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2020, 36(6): 38-41.

\*\*\*\*\*

## 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

#### C3 列控智能分析系统

- 监测数据 / 日志数据的自动采集和清洗
- C3 无线超时故障的自动分析和诊断
- C3 关键信号设备间信息安全监督
- C3 系统健康管理及预警

地址: 北京市丰台科技园区汽车博物馆南路 1 号院中国通号大厦, 100070 E-mail:wangdong@crscd.com.cn

(详见封面)

# 铁路信号平面图超限绝缘的设置和联锁关系分析与研究

文武臣

(北京中铁建电气化设计研究院有限公司, 北京 100043)

**摘要:** 介绍《铁路技术管理规程》中警冲标设置的要求及作用; 阐述岔后绝缘位置的设置以及产生超限绝缘的原因; 从联锁表编制, 超限绝缘联锁电路的设计, 软件的编制等几个方面进行分析; 旨在提高人们对超限绝缘的认识, 在今后遇到此类问题时, 能够妥善处理, 提高工程设计的正确性。

**关键词:** 铁路信号; 超限绝缘; 联锁; 分析与研究

中图分类号: U284.25

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0034-06

## Analysis and Research on Setting of Transfinite Insulation and Interlocking Relationship in Railway Signal Plan

Wen Wuchen

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

**Abstract:** This paper introduces the requirements and functions of setting fouling post in *Railway Technical Management Regulations*, describes the setting of insulation position behind the turnout and the causes of transfinite insulation, and analyzes the compilation of interlocking table, design of transfinite insulation interlocking circuit and compilation of software in order to improve the clear understanding of transfinite insulation, properly deal with such problems while encountering them in the future so as to improve the correctness of engineering design.

**Keywords:** railway signal; transfinite insulation; interlocking; analysis and research

### 1 概述

铁路运输中安全与效率是一个永恒的话题, 钢

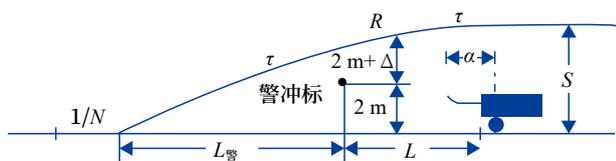
轨岔后绝缘节位置的确定与警冲标的设置完美体现了这一关系。《铁路技术管理规程》中第 454 条规定: “警冲标设在两会合线路间距离 4 m 的中间。线间距离不足 4 m 时, 设在两线路中心最大间距的起点处。在线路曲线部分所设道岔附近的警冲标与线路中心线间的距离应按限界的加宽增加”, 如图 1 所示。

警冲标设置的作用, 从表面意思理解为确定机

收稿日期: 2022-03-23; 修回日期: 2023-05-10

基金项目: 北京中铁建电气化设计研究院既有有线改造设计研发项目 (SJY-2022-06)

作者简介: 文武臣 (1984—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 普速铁路与城市轨道交通信号工程设计, 邮箱: wuchen.w@163.com.



说明:  $N$ :道岔辙岔号;  $S$ :线间距;  $R$ :道岔曲线半径;  $L_{警}$ :警冲标至道岔中心距离;  $L$ :警冲标至岔后绝缘节距离;  $\alpha$ :车轮与车尾(一般指车钩)的距离

图1 警冲标与绝缘节的关系

Fig.1 Relationship between the fouling post and the insulation joints

车的停车位置, 保证行车安全, 防止侧面冲突。现场实际设置过程是在岔后绝缘确定、信号机设置后, 进行倒推, 然后进行测量。

## 2 超限绝缘的设置

从图 1 可以看出, 道岔处的绝缘节, 岔尖绝缘安装在基本轨缝处, 岔后绝缘安装在距离警冲标  $3.5 \sim 4 \text{ m}$  的地点, 之所以这样规定, 就是使轨道电路与限界发生联系。当列车尾部越过警冲标停车时, 使列车的最后一组轮对越过钢轨绝缘, 这时道岔区段即为空闲状态, 道岔区段解锁后, 道岔可以动作, 准许排列邻线进路, 列车可以自由进出; 当列车尾部没有越过警冲标时, 列车的最后一组轮对也不越过钢轨绝缘, 轨道电路因此就保留在占用状态, 道岔区段无法解锁, 道岔不能扳动, 邻线进路无法办理, 这样就避免发生侧向冲突。因此, 警冲标与钢轨绝缘的距离  $L$ , 与车轮和车尾(一般指车钩)的距离  $\alpha$  就发生了联系。从效率的角度考虑,  $L < \alpha$ , 这样当列车越过警冲标时, 就一定能保证列车最后一组轮对越过钢轨绝缘。但是当列车最后一组轮对越过钢轨绝缘时, 列车尾部有可能没有越过警

冲标。这时道岔区段已经显示空闲, 临线进路可以办理, 列车可以自由出入, 有可能存在发生侧面冲突的安全隐患。这就要求从安全的角度  $L > \alpha$ , 此时可以保证列车没有越过警冲标时, 列车最后一组轮对一定没有越过钢轨绝缘, 这样就可以避免发生侧面冲突的危险。但是  $L$  过长, 会造成相邻区段不能及时解锁, 影响到运输效率的问题。综合以上因素考虑, 结合机车车辆限界  $3.4 \text{ m}$ , 加上一定的富余间隙, 规定警冲标与绝缘节的距离  $L$  为  $3.5 \sim 4 \text{ m}$ 。由于站场线路设置的原因, 造成警冲标与绝缘节之间的距离小于  $3.5 \text{ m}$  时, 就需要按侵限处理, 绝缘节即为侵限绝缘节, 在信号平面布置图上把绝缘节加一个小圆圈来表示区别。

在这里需要特别指出, 渡线上的绝缘节一般都是侵限绝缘节, 但是如果两端按照双动道岔处理的话, 可以不认为是侵限绝缘。这是因为双动道岔的动作一致, 即都在定位时, 已经把两条线路隔开, 无需进行侵限检查; 如果都在反位的情况下, 列车需要顺序通过两个道岔区段, 待出清最后道岔区段后, 才允许动作道岔, 也就不存在侵限检查的问题。如果渡线两端的道岔不是双动, 并且其中间绝缘节与警冲标的距离又不满足  $3.5 \sim 4 \text{ m}$  的距离要求, 就仍需按侵限绝缘来处理。下面以某车站的信号平面为例加以分析, 如图 2 所示。

图 2 中的  $14/16^\#$  为双动道岔,  $22/24^\#$  为双动道岔,  $26^\#$  道岔为单动道岔。可以看出,  $14/16^\#$ ,  $22/24^\#$  道岔渡线上的绝缘节没有按侵限绝缘处理,  $24^\#$ 、 $26^\#$  道岔渡线上的绝缘节按侵限绝缘处理, 这

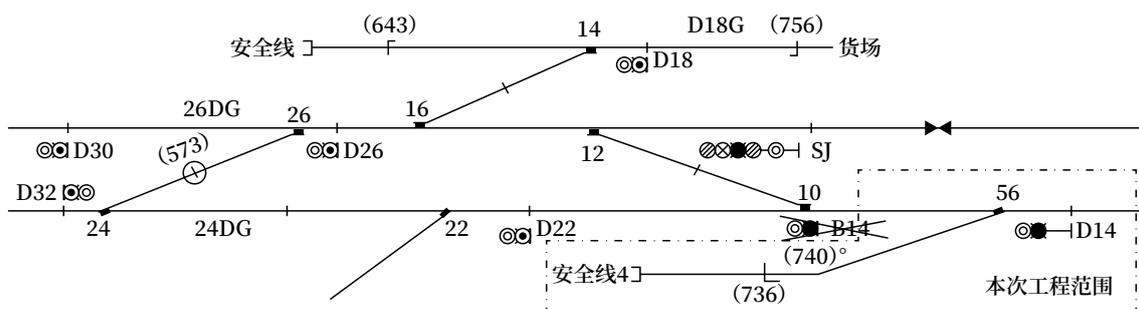


图2 车站信号平面示意1

Fig.2 Station Signal Plan 1

就遵循了上述的原则。如果 24<sup>#</sup>、26<sup>#</sup> 道岔渡线上的绝缘节不按侵限绝缘处理，在如下运行模式下会产生侧面冲突。例如在办理完 26<sup>#</sup> 道岔反位 (26)，22/24<sup>#</sup> 道岔定位的进路后，列车越过 (573) 绝缘节，这时 26DG 道岔区段解锁，可以排列 D26 至 D30 的调车进路，由于特殊原因，前辆列车停留在 24DG 区段，(573) 绝缘节前。这时从 D26 开来的列车就与之前的列车发生了侧面冲突。因此在工程设计时，渡线两端的道岔为了满足平行作业的需求，但是没有化为双动道岔，并且其中间绝缘节与警冲标的距离又不满足 3.5 ~ 4 m 的要求，就必须按照侵限绝缘来设计。

### 3 超限绝缘联锁表编制

根据《计算机联锁车站联锁图表编制原则》的要求，在超限区段栏中，填写应检查的不在所排进路上的轨道区段名称，根据图 2 所示的信号平面图，含义如下。

<22/24>24DG：排列经由 26<sup>#</sup> 道岔定位的进路中，当 22/24<sup>#</sup> 道岔在定位时，应检查侵入限界区段

24DG 的空闲。

<(26)>26DG：排列经由 22/24<sup>#</sup> 道岔反位的进路中，当 26<sup>#</sup> 道岔在反位时，应检查侵入限界区段 26DG 的空闲。

条件超限时，条件道岔号码应填写齐全；绝对超限时，填入侵入限界区段的名称。

如图 3 所示，D35、D49、D63 信号机位于超限绝缘处，在相应超限区段栏中，不但填写应检查的不在所排进路上的轨道区段名称，而且在敌对信号栏中要增加写入相应的敌对信号机名称。例如：以 S6 为始端和终端的进路和以 D35 为终端的进路，S6 和 D35 互为敌对信号；D63 为始端的调车进路建立，然后再排列 D49-D51 的调车进路，当调车运行至 61-63DG 后，会关闭已开放的 D49 信号，此时 D49 非正常关闭。针对上述场景，考虑 D49 为始端的调车进路建立，防护 49<sup>#</sup> 道岔到定位 [49]，不再检查 61-63DG 空闲。同理，D63 为始端的调车进路建立，防护 49<sup>#</sup> 道岔到反位 [(49)]，不再检查 51DG 空闲。

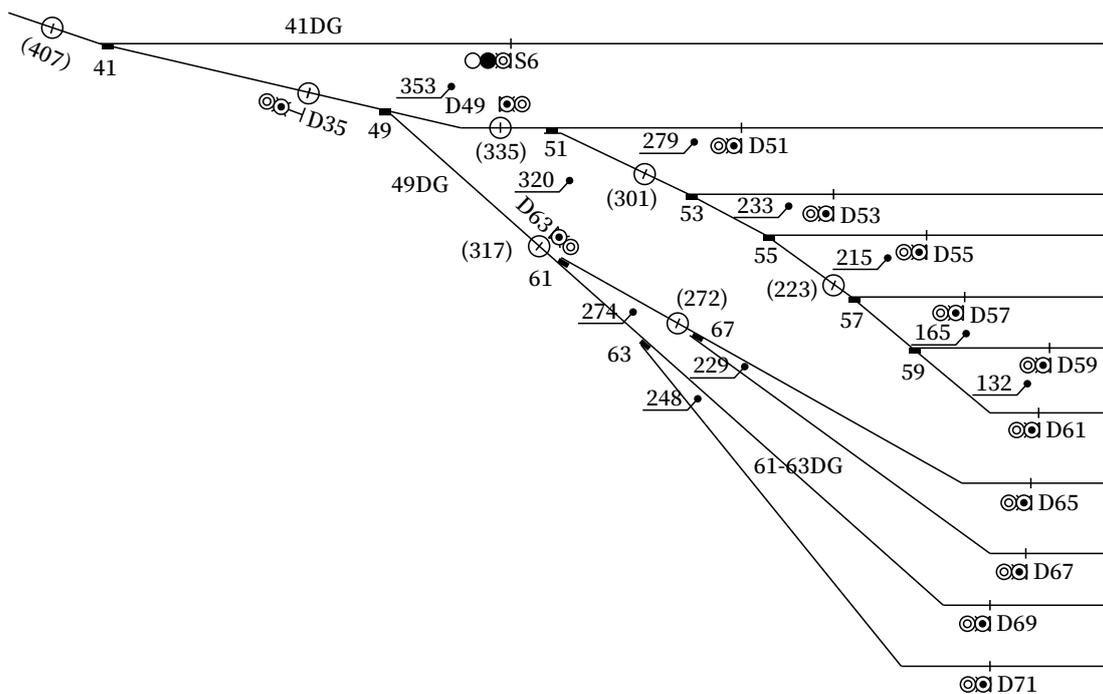


图3 车站信号平面示意2  
Fig.3 Station Signal Plan 2

#### 4 超限绝缘联锁电路设计

在传统的 6502 联锁电路中，为实现对超限绝缘条件的检查，对应图 2 的信号平面示意，在 8 线上的 26<sup>#</sup> 道岔连线部位，并联有一个 24DGJF 第 2 组前节点和一个 22/24FBJF 的第 2 组前节点。这样当排列经由 26<sup>#</sup> 道岔定位的进路，22/24<sup>#</sup> 道岔在定位时，22/24FBJF 前节点断开，需要检查 24DG 区段的空闲条件。同理在 8 线上的 22/24<sup>#</sup> 道岔连线部位，并联有 26DGJF 第 2 组前节点和一个 26DBJF 的第 2 组前节点，当排列经由 22/24<sup>#</sup> 道岔反位的进路中，当 26<sup>#</sup> 道岔在反位时，26DBJF 前节点断开，应检查侵入限界区段 26DG 的空闲，如图 4 所示。

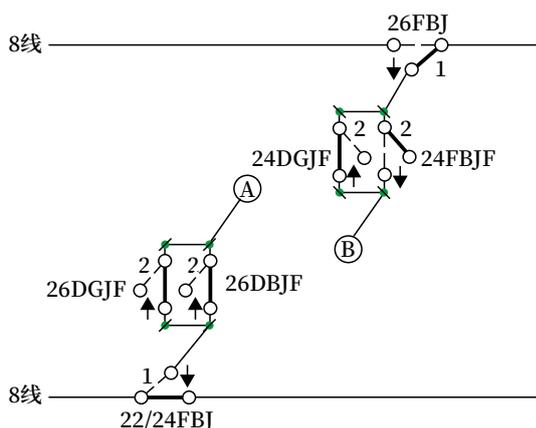


图4 超限绝缘联锁条件的检查

Fig.4 Inspection of transfinite insulation interlocking conditions

检查超限绝缘联锁条件用的 DGJF 和 D/FBJF 固定是用第 2 组前节点，8 线上的 DBJ 或者 FBJ 用的是第 1 组前节点，这样可以做到有规律地使用继电器节点，便于掌握和记忆。

针对图 3 所示的信号平面示意，6502 电路处理的原则是当开放经 41<sup>#</sup> 道岔定位的列车信号机或者调车信号机时，不准许办理以 D35 为终端的调车进路；若先办理了以 D35 信号机为终端的调车进路，就不准许办理经 41<sup>#</sup> 道岔定位的列车进路和调车进路。在 6502 电路中有如下具体处理措施。

1) 先办理以 D35 信号机为终端的调车进路，就把 41<sup>#</sup> 道岔带动到反位。

通过进路上 49<sup>#</sup> 道岔把 41<sup>#</sup> 道岔带动到反位，并联 SJ 后节点，为了保证 DCJ、FCJ 在转换期间 41<sup>#</sup> 道岔的 1DQJ 能够可靠吸起，如图 5 所示。

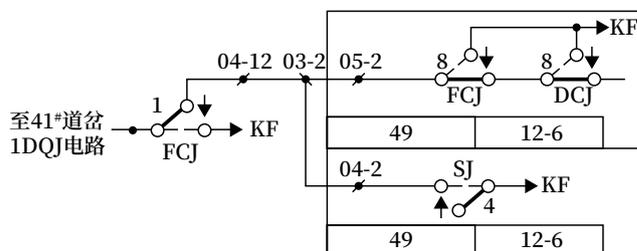


图5 道岔带动电路

Fig.5 Turnout driving circuit

2) 通过 49<sup>#</sup> 道岔 SJ，将 41<sup>#</sup> 道岔锁闭在反位。

在 41<sup>#</sup> 道岔的 1DQJ 继电器励磁电路中加入 49<sup>#</sup> 道岔锁闭继电器前节点，切断 41<sup>#</sup> 道岔励磁电路，从而将 41<sup>#</sup> 道岔锁闭在反位位置，如图 6 所示。

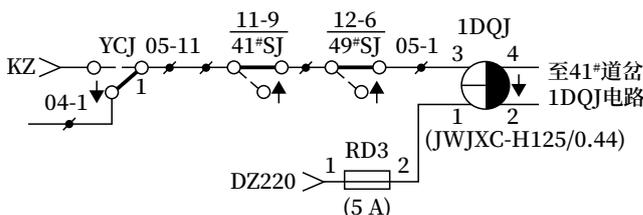


图6 道岔锁闭电路

Fig.6 Turnout locking circuit

3) 排列以 D35 信号机为终端的调车进路时，检查 41<sup>#</sup> 道岔 FBJ 吸起、41DG 空闲。

在 6502 电路网络图 8 线 XJJ 继电器励磁电路中，49<sup>#</sup> 道岔岔后，串联接入 41FBJ 前节点及 41DGJ 前节点，保证在排列以 D35 信号机为终端的调车进路时，检查 41DG 区段在空闲状态及 41<sup>#</sup> 道岔在反位状态，此时 XJJ 才能励磁吸起，开放信号，如图 7 所示。

4) 排列经 41<sup>#</sup> 道岔定位列车或调车进路时，检查 49DG 在空闲状态。

在 6502 电路网络图中 S6 信号机，8 线 XJJ 继电器励磁电路中，41<sup>#</sup> 道岔岔后，串联接入 49DGJ 前节点，保证在排列以 41<sup>#</sup> 道岔定位的列车或者调车进路时，检查 49DG 区段在空闲状态，如图 8 所示。

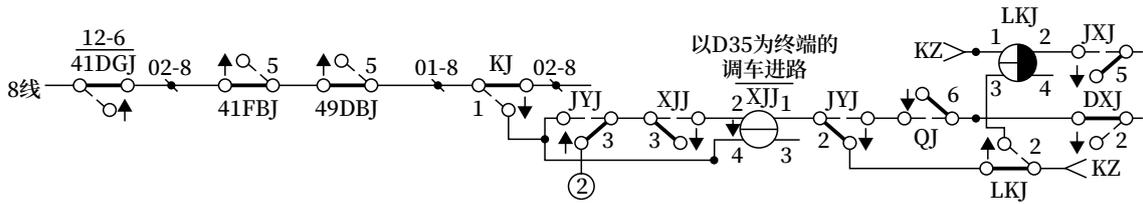


图7 信号检查继电器励磁电路1  
Fig.7 Signal check relay energized circuit 1

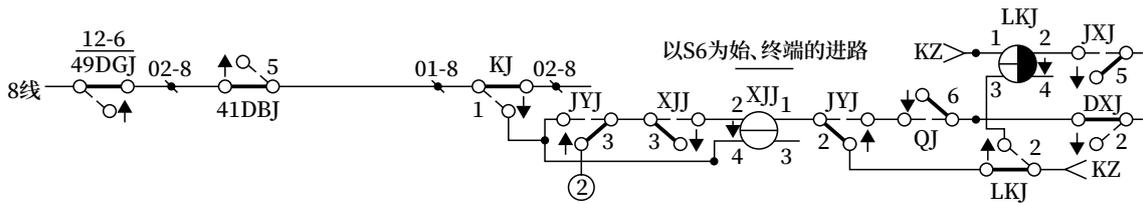


图8 信号检查继电器励磁电路2  
Fig.8 Signal check relay energized circuit 2

## 5 超限绝缘计算机联锁软件编制

计算机联锁厂商在进行联锁软件编制时，设计输入的依据为设计院提供的信号设备平面布置图、双线轨道电路图及车站联锁表图纸文件。计算机联锁软件替代了传统 6502 继电电路的选择组与部分执行组电路进行联锁关系运算和逻辑运算，并对运算结果进行输出，实现对现场设备的操作和状态监控，保留执行电路中的接口电路。例如：信号点灯电路、道岔启动电路、轨道继电器、成型的联系电路等。

计算机控制系统的软件采用模块化设计方式，分为人机交互界面模块、联锁运算模块、I/O 驱采模块、通信模块。联锁关系运算通过联锁运算模块实现，参与联锁的数据有静态数据（常量）和动态数据（变量）两类。

超限绝缘检查的功能需求为：当进行进路选路操作时，联锁机采集按钮继电器条件，判断出要选择哪条进路；按照联锁表中列的内容检查进路经由的道岔以及带动道岔和防护道岔的位置，主要通过采集反映表示道岔位置的 DBJ、FBJ 来判断；进路经由的区段和需要侵限检查的区段条件，主要通过采集反映表示区段状态的轨道继电器 GJ 来判断。

例如图 3 中的平面示意，当开放经 41<sup>#</sup> 道岔定

位的列车信号机或者调车信号机时，不准许办理以 D35 为终端的调车进路；若是先办理了以 D35 信号机为终端的调车进路，就不准许办理经 41<sup>#</sup> 道岔定位的列车进路和调车进路。计算机联锁的表达式为布尔表达式，其实质和电路原理一样，计算机程序语言判断如图 9 所示。

```
(1) IF (D35-ZJ*D35-XJJ)=1, BOOL41-FC
J=(41-FCCLFF+41-FCJ)*.N.41-DCCL*.N.41
-DBJ*.N.41-DCQDT*41DG-SJ*41-CSJ);
(2) BOOL41-SJ=YHX-YZSAJ*41DGJT*N.4
1DG-FDGJ*41DG-XLJ*41DGSLJ*49SJ*VRD;
(3) BOOL D35-XJJEN=( ... ..
*41-FBJ*41DG-DGJGX... ..);
(4) BOOL S6-XJJEN=( ... ..
**49DG-DGJGX... ..)。
```

图9 联锁布尔表达式  
Fig.9 Boolean expression of interlocking

## 6 结束语

超限绝缘在现场较为常见，根据站场情况布置的不同，也会出现不同情形的超限绝缘。在遇到不同的情况时，合理的变更绝缘节的设置位置与信号机的设置，优化信号平面图，对轨道电路合理的划分，仍不失为一种更好的解决办法。一张好的信号平面布置图需要设计人员仔细认真的了解现场实际

情况,对关键位置反复推敲,才能为后续工程设计提供良好的先决条件,优化联锁关系,保证行车安全,提高运输效率。

#### 参考文献

- [1] 王成志,赵阳.一种铁路信号联锁表敌对信号的判定算法[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(3):17-22.  
Wang Chengzhi, Zhao Yang. Algorithm for Judging Conflicting Signals in Railway Signal Interlocking Table[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(3): 17-22.
- [2] 张素段.超限绝缘处设有调车信号机时电路的处理[J].铁道通信信号,2005,41(7):22.  
Zhang Suduan. Treatment of Circuit when Shunting Signal is Installed in Over-Limit Insulation[J]. Railway Signaling & Communication, 2005, 41(7): 22.
- [3] 彭仁通.继电联锁侵限绝缘处调车信号机与相关敌对进路的处理[J].上海铁道科技,2011(2):68-69.  
Peng Rentong. Treatment of Shunting Signal and Related Hostile Route at Relay Interlocking Invading Insulation[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2011(2): 68-69.
- [4] 李本泉.浅谈超限绝缘在实际电路中的处理方法[J].产业与科技论坛,2012,11(2):59-60.  
Li Benquan. Discussion on the Treatment Method of Over-Limit Insulation in Actual Circuit[J]. Industrial & Science Tribune, 2012, 11(2): 59-60.
- [5] 崔栋.计算机联锁系统关键技术研究[J].流体测量与控制,2021,2(3):9-14.  
Cui Dong. Research on Computer Based Interlock Key Technology[J]. Fluid Measurement & Control, 2021, 2(3): 9-14.
- [6] 李茂蛟.铁路信号联锁表计算机辅助设计主要算法与量化策略研究[J].铁道标准设计,2020,64(8):112-117.  
Li Maojiao. Research on Algorithms and Quantitative Strategies for Computer Aided Compiling of Interlocking-Sheet of Railway Signaling[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(8): 112-117.
- [7] 梅林,高佳林,郭岩.计算机联锁软件设计和锁闭模块设计[J].电子世界,2013(23):6.  
Mei Lin, Gao Jialin, Guo Yan. Computer Interlocking Software Design and Locking Module Design[J]. Electronics World, 2013(23): 6.
- [8] 赵玉辉.超限绝缘联锁条件的检查及处理方法[J].铁道通信信号,1994,30(2):15-18.  
Zhao Yuhui. Inspection and Treatment Methods of Over-Limit Insulation Interlocking Conditions[J]. Railway Signalling & Communication, 1994, 30(2): 15-18.
- [9] 梁永胜,张丽萍.关于超限绝缘的探讨[J].铁路通信信号设计,2002(4):26-29.  
Liang Yongsheng, Zhang Liping. Discussion on Over-Limit Insulation[J]. Railway Signalling & Communication, 2002(4): 26-29.
- [10] 柴娟.上海地铁超限绝缘联锁条件的检查方式[J].铁道通信信号,2014,50(7):37-39.  
Chai Juan. Check Method of Interlocking Conditions of Boundary Invasion Insulation in Shanghai Subway[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(7): 37-39.

# 基于GSM-R的通知外勤方案研究

陈建鑫

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 调研分析车站值班员与外勤值班员的作业内容和联络方式, 结合行车设备现状, 研究设计一种基于 GSM-R 的通知外勤方案。借鉴调度指挥系统无线进路预告应用技术的设计思路, 提出自动通知外勤的理念, 研究自动通知外勤的时机与条件。为外勤值班员设置具备人机交互的便携式无线手持终端, 利用既有的 GSM-R 无线通信通道交互信息, 解决目前通知外勤功能实施难度大、应用效果差的问题, 再次提升车务人员接发车作业的管理技术与自动化水平。

**关键词:** 通知外勤; 手持终端; 外勤值班员; GSM-R

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0040-04

## Research on Notification Field Scheme Based on GSM-R

Chen Jianxin

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

**Abstract:** This paper researches and analyzes the operation content and contact methods of station duty personnel and field duty personnel, and designs a GSM-R based notification field service solution by combining the current situation of train operation equipment. This solution proposes the concept of automatic notification to field duty personnel by referring to the design concept of wireless route prediction application technology in the CTC system, and studies the timing and conditions of automatic notification to field duty personnel. Portable wireless handheld terminals with human-computer interaction for field duty personnel are set. Difficult implementation and poor application effect of the current notification field function are solved by using the existing GSM-R wireless communication channel to interact information so as to improve the management technology and automation level of train service personnel's receiving and departure operations again.

**Keywords:** notification to field duty personnel; handheld terminal; field duty personnel; Global System for Mobile Communications-Railway (GSM-R)

收稿日期: 2023-04-03; 修回日期: 2023-07-10

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司重大课题项目 (K2021X001)

作者简介: 陈建鑫 (1984—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路运输, 邮箱: chenjianxin@crscd.com.cn。

## 1 概述

铁路外勤值班员是车站行车作业中的重要角色。车站组织接发列车时, 外勤值班员接到车站值班员通知后, 到达指定位置, 负责同司机和运转车长核

对信号, 检查列车是否存在安全隐患, 并及时向车站值班员报告接/发车情况。目前, 值班员和外勤值班员通过列车无线调度电话(无线列调)进行语音对话。无线列调自20世纪中期从苏联引进后, 广泛应用于各个行车作业岗位之间, 但是其覆盖范围比较局限、容易受干扰。近20年来, 从欧洲引入的铁路数字移动通信系统(Global System for Mobile Communications-Railway, GSM-R)已成熟应用, 作为新一代铁路专用无线通信网, 具备覆盖范围广阔、支持双向传输、更稳定、更强大的特质。

近年来, 行车作业管理要求不断提高, 为实现车站值班员通知外勤作业过程的数字化管理, 一些车站调度集中控制(CTC)设置外勤终端。值班员通过点击车务终端的“外勤”按钮通知外勤作业。外勤值班员看到通知信息后, 确认签收并反馈到值班员终端。这种方式存在两个弊端: 一是应用效果问题, 外勤值班员经常在外作业不在终端设备旁边,

无法及时签收通知; 二是通信问题, CTC车站设计之初并无外勤终端, 没有预留通信通道和设备位置, 如果另行增设光纤通道, 实施难度大。因此, 为解决问题一, 需要采用灵便携带的手持终端; 为解决问题二, 需要采用无线网络通信技术。CTC是专用网络, 为网络安全考虑, 不允许普通无线网络接入。但是CTC系统本身已经与GSM-R接口, 实现了无线调度命令、进路预告、无线车次业务功能, 利用既有通道, 具备进一步扩展业务范围的条件。本文给出一种依托GSM-R的通知外勤解决方案。

## 2 方案总体结构

本方案为外勤值班员设计配置一套手持终端设备, 该终端设备与机车综合无线通信设备(CIR)类似。CTC通过既有GSM-R接口通道与外勤手持终端通信, 实现通知外勤作业与签收回执信息的无线传送业务, 如图1所示。整体方案不改变既有设备, 通信协议符合《GSM-R与CTC/TDCS系统数据传输接口规范》。

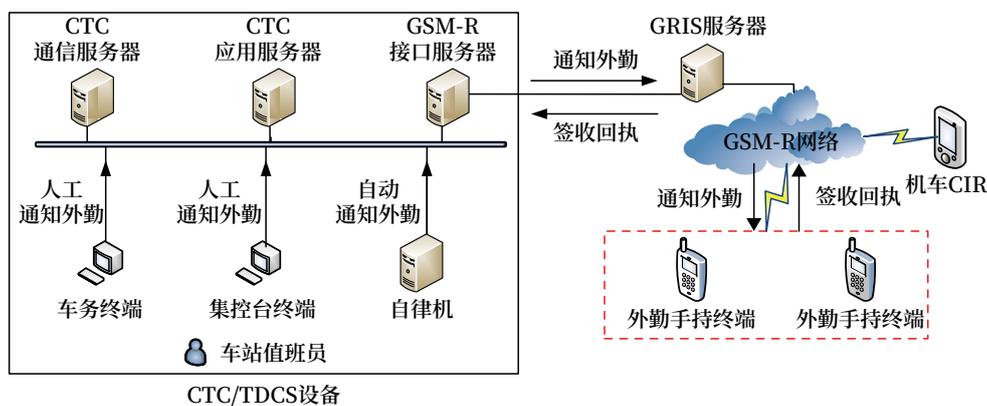


图1 通知外勤整体方案

Fig.1 Solution of sending notification to the field duty personnel

## 3 外勤终端设计

### 3.1 外勤终端设备要求

1) 外勤终端须是小巧轻便, 便于携带的手持终端;

2) 外勤终端具备文字显示、语言播报, 以及人机交互功能;

3) 外勤终端具备CIR的功能。

### 3.2 模拟CIR参数设置

外勤手持终端是一个虚拟的列车CIR, 需向中国国家铁路集团有限公司(简称国铁集团)通信中心申请虚拟机车号, 机车号是外勤终端在全路网的唯一标识。为了CTC能够识别, 同时避免与国铁集团印发的车次编排规定车次冲突, 特约定外勤终端

车次号固定为 WAIQIN000。

外勤终端配置虚拟标识后与 GSM-R 建立连接，完成注册。网络注册成功后，定时向 CTC 发送外勤终端虚拟无线车次号信息。CTC 收到外勤终端虚拟无线车次号后，认为该终端注册成功，即可向该终端发送列车接 / 发车作业通知。

### 3.3 终端注册入网流程

外勤手持终端开机或重启后，首先注册 GSM-R 网络并进行分组数据协议（PDP）激活操作。PDP 激活成功后，外勤手持终端向通用分组无线服务技术（GPRS）归属服务器查询当前 GRIS 的 IP 地址。GPRS 归属服务器的 IP 地址预存在外勤手持终端内。IP 地址查询的内容包括机车号、车次号、公里标、当前小区号、经纬度信息等。GPRS 归属服务器根据小区位置信息、列车经 / 纬度信息或公里标查询数据库后，获得列车当前对应 GRIS 的 IP 地址，发送给外勤手持终端，作为车次号校核信息传送的目的地址。注册完整过程如图 2 所示。



图2 外勤终端启动流程  
Fig.2 Boot process of the handheld terminal

### 3.4 终端作业签收

外勤终端收到列车接 / 发车通知信息后，判断列车车次号和机车号与本外勤手持终端相符，发送自动签收信息并发出阅读提示音。外勤值班员确认作业任务内容后，点击“签收”按键，发出手动签收回执。CTC 通知发起端将签收状态、签收时刻、签收人员信息记入系统数据库。具备占线板列车作业流程管理的车站，识别签收成功后，应自动更新

“外勤”作业状态。

## 4 通知机制设计

进路预告是 CTC 与 GSM-R 结合后的成熟功能，CTC 在列车进路开放后，自动向机车司机发出进路预告信息。通知外勤的应用场景与进路预告类似，区别在于通知的对象发生了变化，从机车司机变成外勤值班员。通知的时机、内容、方式并没有本质变化，仍然需要依据进路开放状态，按照接车、发车两类场景进行相关设计。

### 4.1 接车作业自动通知

#### 4.1.1 通知的时机

国内铁路线路多，运输作业复杂。客车与货车混跑，高铁与普速交错，列车与调车并行，全国一张网，线路间相互影响，加上一些不确定的外界因素，都会导致列车出现早晚点，特别是货物列车计划时刻不准的情况。这些因素使得接车作业通知时机不能采用比照计划时刻提前若干分钟的方式，而应根据列车与接车站的距离判断通知外勤的时机。

铁路运输列车种类繁多，不同种类列车的运行速度不同。参照《调度集中系统技术条件》列车进路触发时机中的列车速度等级分类，设置通知外勤的时机，如表 1 所示。

表1 通知外勤接车作业时机  
Tab.1 Opportunity of notifying the field duty personnel for train receiving operation

列车类型	自动触发进路时机	通知外勤时机
高铁动车组列车	提前 15 个闭塞分区	提前 14 个闭塞分区
动车组列车	提前 9 个闭塞分区	提前 8 个闭塞分区
特快旅客列车	提前 6 个闭塞分区	提前 5 个闭塞分区
一般旅客列车	提前 5 个闭塞分区	提前 4 个闭塞分区
货物列车	提前 4 个闭塞分区	提前 3 个闭塞分区

针对站间闭塞线路，可以依据前方站发车时刻，结合运行图区间运行时分预估本站实际到达时刻，比照预估实际到达时刻，提前若干分钟发起通知外勤动作，如公式（1）所示。

$$\text{通知时机} = \text{前方站实际发车点} + \text{区间运行时分} - \text{预设提前分钟数} \quad (1)$$

#### 4.1.2 通知的条件

满足通知时机，且需满足下列条件后，CTC 自动发起通知。

- 1) 列车对应的接车进路信号开放。
- 2) 列车在接车站计划为到开、终到或计划外行车，或具备占线板流程作业安排的车站明确安排本列车需要进行外勤作业。

#### 4.1.3 通知的内容

1) 接车站处于分散自律模式下，列车计划为到开时，通知内容为“XX 次列车已接近，计划 XXXX 时刻 XX 道停车；下一列车 XX 次计划 XXXX 时刻到达”。

2) 接车站处于分散自律模式下，列车计划为终到时，通知内容为“XX 次列车已接近，计划 XXXX 时刻 XX 道停车；下一列车 XX 次计划 XXXX 时刻到达”。

3) 接车站处于分散自律模式下，无列车计划时，通知内容为“XX 次列车已接近；下一列车 XX 次计划 XXXX 时刻到达”。

4) 接车站处于非常站控模式下，通知内容为“XX 次列车已接近；下一列车 XX 次计划 XXXX 时刻到达”。

#### 4.2 发车作业自动通知

##### 1) 通知的时机

发车作业的通知时机比较简单明确。由于列车已经停在股道上，发车进路一般比计划时间提前 5 min 触发进路，从进路触发到列车出站之间时间较短。因此，应在进路信号开放后立即发起通知外勤工作。

##### 2) 通知的条件

列车停靠在股道上，发车进路信号开放。

##### 3) 通知的内容

通知内容为“XX 次列车，计划 XXXX 时刻 XX 道发车。”

#### 4.3 人工通知

自动通知的规则比较多，系统应具备人工发起通知外勤的功能，以满足特殊场景下的用户使用需

求，增强系统的可用性。可预知的场景如下。

- 1) 自动通知机制失效时；
- 2) 特殊场景下，需要追加通知，或提前通知时；
- 3) 列车进路取消后，确认列车作业取消，人工发起取消作业通知；取消作业通知内容为“取消 XX 次列车 XXXX 时刻 XX 道外勤作业”。

车站值班员通过车务终端发起外勤通知，对于无人站可通过区域集控台终端发起。人工发起成功后，CTC 系统不再自动发送内容重复的通知信息。

## 5 非正常流程设计

考虑系统出现不符合预期的场景时，应及时通知车务人员，及时人工介入。对非正常场景的处理措施如下。

1) CTC 在 15 s 内收到外勤终端的自动回执视为发送成功，否则认为通知失败，失败后系统应重发外勤通知，直到列车压过进 / 出站信号机导致通知发送条件不满足时为止。

2) CTC 通知外勤失败时，应在车务终端 / 调度终端报警“XX 站通知外勤接发车作业失败，请人工电话通知”。

3) CTC 收到外勤终端自动签收后，认为发送成功。如果在 60 s 内（可配置）未收到人工签收回执，应在车务终端 / 调度终端报警“XX 站 XX 外勤值班员未签收作业通知，请人工电话确认”。

## 6 结束语

本方案基于既有 CTC 与 GSM-R 设备，利旧原通信接口，借鉴进路预告业务功能，提出将 CIR 设备引入外勤终端使用，经济实惠地实现了通知外勤功能，既解决增设 PC 外勤终端实施难的问题，又解决了无线网络安全隐患的问题。本方案让通知外勤的工作自动化、作业过程电子化，有效提升车站行车作业的执行效率与管理水平。

对于传统的 450 M 无线电台、400 M 数字无线调度通信系统、新型 5G-R 等铁路专用无线通信  
(下转 48页)

# 铁路通信网智能架构研究

邓烨飞

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 结合现有铁路通信系统构架, 阐述下一代铁路通信网的发展趋势。提出铁路通信网的智能愿景, 铁路通信网将向泛在互联、云网协同、DOICT技术深度融合等方向演进。分析以云计算、软件定义网络(SDN)、人工智能(AI)等为代表的新兴技术及技术体制, 提出适用于铁路通信网的ICT技术体系架构建议, 对新一代铁路通信系统演进方向和系统总体架构具有指导意义。

**关键词:** 铁路; 通信; 云计算; SDN; AI

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0044-05

## Research on Structure of Railway Intelligent Communication Network

Deng Yefei

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

**Abstract:** Combined with the existing railway communication system architecture, the development trend of the next generation railway communication network is expounded. This paper puts forward the intelligent vision of railway communication network, points out that the railway communication network will evolve to the direction of ubiquitous interconnection, cloud network collaboration and DOICT technology deep integration. This paper analyzes the emerging technologies and technical systems represented by cloud computing, software defined network (SDN) and artificial intelligence (AI), and puts forward suggestions on ICT technology architecture suitable for railway communication network, which is of guiding significance for the evolution direction and overall architecture of the next generation railway communication system.

**Keywords:** railway; communication; cloud computing; SDN; AI

近年来国内铁路事业快速发展, 取得了举世瞩目的成就。2020年, 中国国家铁路集团有限公司(简称国铁集团)发布了《新时代交通强国铁路先行规划纲要》, 提出“以新型基础设施赋能智慧发展”等方面的主要任务。在此引领下, 通信技术持续创

新、快速迭代, 以云计算(Cloud Computing)、软件定义网络(Software Defined Networking, SDN)、人工智能(Artificial Intelligence, AI)等技术为代表的信息与通信技术(Information and Communications Technology, ICT)在铁路行业的发展应用也是日新月异。在业务需求和技术创新并行驱动下, 铁路通信网的网络架构也在加速变革。

收稿日期: 2023-03-13; 修回日期: 2023-07-08

作者简介: 邓烨飞(1978—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 有线通信, 邮箱: 410dyf@crscd.com.cn。

## 1 铁路通信网发展趋势

铁路通信网是铁路的重要基础设施，是保证铁路运输正常、安全运行的基本通信手段，是支撑铁路信息化的重要载体。随着 ICT 深度融合，新的使能技术不断涌现，智能网络架构将会呈现出泛在、融合、高效、开放的发展趋势，具体体现在以下 5 方面。

1) 基于铁路业务需求，实现泛在感知及智能互联，IP 增强全面感知力。

2) 网络架构创新成为锚点。一方面发挥光网络的超级带宽、性能保障和绿色节能等优势，将光通信技术进一步向各个领域渗透成为全光互联的底座；另一方面可基于 IPv6 的灵活地址构建新型 IP 网络。

3) ICT 技术深度融合，推动网络全维 IP 化、可定义。通信网络演进成为弹性、敏捷性、开放性的数字赋能平台，深度融合实现了云、网、边、端协同，能够承载智能铁路的各类需求。

4) 铁路基于语音、数据、图像的多种建造、装备或运营需求形成了 AI 应用的多样性，AI 将赋能网络架构创新和运营智能化。

5) 智能通信网络将多种安全因素融合入网络，实现安全协同一体。

## 2 智能通信关键技术

### 2.1 云计算

云计算是一种通过网络统一组织和灵活调用各种 ICT 信息资源，实现大规模计算的信息处理方式。其利用分布式计算和虚拟资源管理等技术，通过网络将分散的 ICT 资源（包括计算与存储、应用运行平台、软件等）集中起来形成共享的资源池，并以动态按需和可度量的方式向用户提供服务。

### 2.2 SDN/NFV

SDN 是一种新型网络体系结构。其本质是摆脱硬件对网络架构的束缚，将网络设备的控制平面与数据转发平面解耦，从而通过集中控制器中的软件

平台实现可编程化控制底层硬件，实现对网络资源灵活的按需调配。

网络功能虚拟化（Network Function Virtualization, NFV）利用虚拟化技术，将传统网络的物理网元功能拆分成几个功能区块，并分别以软件的方式实现，使网络功能不再局限于专用的硬件内，实现了网络功能与硬件解耦。基于 NFV 技术，将铁路通信网网元云化，实现软件和硬件的彻底解耦，可大幅降低硬件资金投入；并且使网络具备自动部署、弹性伸缩、故障隔离和自愈等能力，可大幅提升网络运维效率、降低风险和能耗。

### 2.3 数字孪生

数字孪生的关键技术包括数据采集技术和数据建模技术。数据的采集是数字孪生的基础，它源于物理实体、虚拟模型、服务系统，同时在融合处理后又融入到各部分中，推动了各部分的运转；数字孪生应用中真实物理空间的映射建模需要用丰富建模、计算求解、仿真工具集来强化多时空尺度模型。统一计算求解能力。

在国铁集团的智慧铁路发展中，数字孪生技术可用于车站与铁路设计、施工进度管理、车队维护与调度、列车准点运行与到发、列车故障远程诊断以及决策优化等。

### 2.4 人工智能

人工智能是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。人工智能目的就是让机器能够像人一样思考，让机器拥有智能。人工智能的 4 大要素是数据、算法、算力和应用。人工智能的主要技术方向有自然语言处理（语音识别、语音 / 语义理解和语音合成等）、计算机视觉（图像 / 视频识别、图像 / 视频处理等）、知识图谱、机器翻译等。机器学习（ML）和深度学习（DL）是近年来人工智能在算法上的主流技术。机器学习是专门研究计算机怎样模拟或实现人类的学习行为，以获取新的知识或技能，重新组织已有的知识结构使之不断改善自身的性能。深度学习是源于人工神经网络的研究，含多隐层的

多层感知器就是一种深度学习结构。

### 3 铁路通信网的智能愿景

铁路通信是铁路信息化、数字化、现代化、智能化的重要基础设施，在保障行车安全、服务经营管理、提高运输效率等方面发挥着不可替代的作用。智能网络将推进铁路通信网技术升级，构建智能铁路通信技术体系。铁路通信网的智能愿景包含服务能力、能力支撑、业务场景等3个维度，如图1所示。

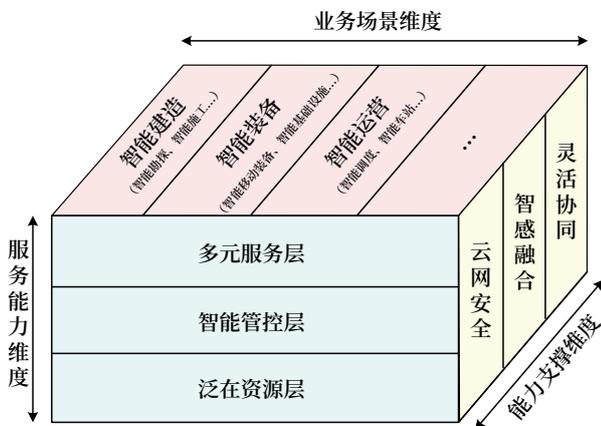


图1 铁路通信网的智能愿景  
Fig.1 Intelligent vision of railway communication network

业务场景主要包含智能建造、智能装备、智能运营等方面，全面满足智能铁路和智能通信的相关需求。

能力支撑主要包含云网安全、智能融合、灵活协同等方面，实现智能主动防御的云网内生安全、多资源的状态数据感知、全方位立体化AI使能、多层多面和跨域异构网络之间的灵活协同和共享等能力。

服务能力主要包含泛在资源、智能管控、多元服务等方面，通过移动网、接入网等空地多种网络的深度融合，结合全方位覆盖的通信基础设施资源，实现泛在连接下的连续通信；基于SDN/NFV、AI及数字孪生、SRv6等技术，实现网络、存储、计算多重资源的集中管控；为智能建造、智能装备、智能运营等业务提供云服务、ICT服务、网络安全等。

### 4 铁路通信网的智能架构

铁路通信网的智能架构是在云计算、SDN/NFV等技术的基础上，融合AI等新技术理念，从云网相对独立到实现云网协同，提供云计算和网络一体化服务，增进ICT技术深度融合。以大容量、高性能、高可靠的泛在承载网为基础，以数字化云平台为核心，网络根据云的需求自动适配、按需部署，提供云网端到端的服务能力，形成云网资源一体化、管控一体化、服务一体化。其技术体系架构如图2所示。

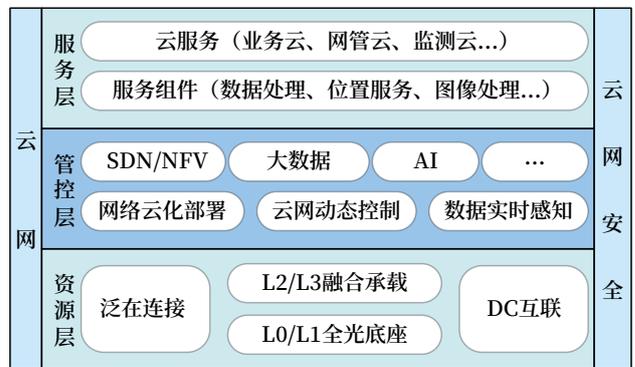


图2 铁路通信网的技术体系架构  
Fig.2 Technical architecture of railway communication network

#### 4.1 资源层

资源层是铁路智能通信网的最基础部分，它是各种智能管控功能和服务实现的基础设施。包括计算、存储和数据中心（Data Center）内网等云资源、以广域网为主的网络资源、数据资源、算力资源、泛在连接的终端资源。

泛在连接采用5G、Wi-Fi 6、光纤等多种接入技术以及差异化的网络协议机制，满足各种智能终端的接入需求。随着铁路通信业务云化转型和云计算的广泛使用，建立铁路通信数据中心资源体系，形成2个冗余备份中心+18个铁路局+X个需求布局的通信DC。以宽带、扁平、开放、安全的全光网络和高效融合的承载网络构成云网基础，构建智能通信网的基础部分。在资源层打造云网边端智能协同，面向业务的个性化需求，灵活高效地利用网

络、计算、存储资源，在不同终端形态、不同组网模式下实现云网边端的有效分布和智能协同。

#### 4.2 管控层

管控层在资源设施之上，提供云网协同、资源融合、智能运维等能力，是实现云网资源一体化管控的智能管控平台。可以在云网资源统一的基础上，实现统一调度，利用大数据和 AI 技术对海量数据进行全局管理和深度挖掘、增强铁路通信网运行状态感知、资源灵活配置和调度的能力，满足“网络智能运行、资源智能管理、系统智能维护、业务智能应用”的目标。通过部署 SDN/NFV 实现网络虚拟化，对云化虚拟网络功能进行生命周期管理，对网络转发设备进行集中控制；引入端到端的协同编排层，实现业务从静态配置演进为动态开通，从单点部署演进为整体部署。

通过智能管控平台可提供云网能力开放、数字化开发运行环境、数据共享等服务，实现铁路各种服务的数字化解决方案。

#### 4.3 服务层

铁路通信网络加速向云化演进，铁路 5G-R 核心网、综合视频等业务正逐步推进云化试点与部署。铁路智能通信网主要面对的服务对象是铁路通信云，包括业务云、监测云和管理云。在服务层对外统一服务入口。面向业务的个性化需求，通过图像处理、数据处理、音频处理、位置服务、分转发处理等服务组件，按照不同业务需求进行组合，为铁路通信云等服务，便于业务的灵活、自动、快速开通，提升和优化服务体验。对内实现网络的智能化，资源层对用户 / 开发者不直接开放，保证云网资源的安全性、可靠性、保密性。

#### 4.4 云网安全

云网安全贯穿整个通信网络架构，其主要特征如下。

1) 网络安全体系向着安全可信、智能灵活、自主感知的主动防御模式演进，构建云网安一体化的新型网络架构内安全网络。

2) 建立端到端的网络安全体系。通过对通信网

络开展防御、检测、响应、预测等安全措施，实现具有自免疫性、自主性、自成长性的云网端到端智能安全网络。

3) 构建态势感知安全平台，面向用户提供设备安全、网络安全、管控安全、业务安全、服务安全等服务，利用大数据对业务流量和各类网络、安全设备日志进行关联分析，结合 AI 智能分析，及时发现潜在威胁，提前预警，提前部署防御措施，打造全网安全态势可视化能力。

4) 采用协同一致的安全策略，统一协同管理。根据业务特点划分安全域，不同安全域应采用相应的安全防护措施。层间分级隔离，网内分类防护，设置安全机制和对应的资源池，并对各类资源池进行保护。

## 5 结束语

智能铁路的发展带来新的需求和挑战，在业务需求和技术创新并行驱动下，铁路通信网的网络架构也在加速进行深刻变革。智能铁路通信网将集成新一代 ICT 技术，实现通信网络内外部环境间信息的全面感知、泛在互联、融合处理、主动学习和科学决策，构建全生命周期一体化管理的新一代铁路通信网络。

#### 参考文献

- [1] 王同军. 中国智能高铁发展战略研究 [J]. 中国铁路, 2019 (1): 9-14.  
Wang Tongjun. Study on the Development Strategy of China Intelligent High Speed Railway [J]. Chinese Railways, 2019(1): 9-14.
- [2] 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 Connection Helps Smart Railway System Construction—Prospect of Railway Communication Development in the “14th Five-Year Plan” [J]. Railway Signalling &

Communication, 2021, 57(2): 5-7, 15.

[3] 方文杰. 云计算技术在智能交通的应用研究 [J]. 科学技术创新, 2020 (9): 62-63.  
Fang Wenjie. Research on the Application of Cloud Computing Technology in Intelligent Transportation[J]. Scientific and Technological Innovation Information, 2020(9): 62-63.

[4] 邓焯飞. 铁路数据通信网的流量调优应用研究 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (11): 51-54.  
Deng Yefei. Research on Application of Traffic Optimization in Railway Data Communication Network[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(11): 51-54.

[5] 何丽. SDN与云计算在系统仿真平台中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (12): 38-41.  
He Li. Application of SDN and Cloud Computing

for System Simulation Platform[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 38-41.

[6] 李斌. 基于超融合基础架构的铁路云数据中心建设方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (3): 54-58.  
Li Bin. Construction Plan of Railway Cloud Data Center Based on Hyper-Converged Infrastructure[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(3): 54-58.

[7] 陈苏, 赵晟. 新一代铁路通信系统演进探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 45-49.  
Chen Su, Zhao Sheng. Evolution of New Generation Railway Communication System [J]. Railway Signaling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 45-49.

\*\*\*\*\*

(上接 43页)  
系统, 利用既有接口, 本方案同样适应。本方案的实施不影响既有系统硬件结构和软件功能, 应用前景宽阔, 值得推广。

参考文献

[1] 中国铁路总公司. 调度集中系统技术条件: Q/CR 518-2016[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.

[2] 中国铁路总公司. 铁路信号产品运用管理办法: 铁总运 [2015]105号 [S]. 北京: 铁总运, 2015.

[3] 中华人民共和国铁道部. 无线调车机车信号和监控系统与铁路列车调度指挥系统接口暂行规范: TJ/DW 166-2014[S]. 北京: 运基信号, 2006.

[4] 中国铁路总公司. 列车无线车次号校核信息传送系统: TB/T 3325-2013[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2013.

[5] 中国铁路总公司. 机车综合无线通信设备功能

优化补充技术规范: TJ/DW 122B-2014[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2014.

[6] 中华人民共和国铁道部. 调度集中系统 (CTC) 设备: 科技运 [2008]36号 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2008.

[7] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程 [M]. 北京: 中国铁路总公司, 2014.

[8] 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: 中华人民共和国国家铁路局, 2017.

[9] 王建敏. 兼容 GSM-R 和 5G-R 互联互通的列控系统无线通信方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 42-46.  
Wang Jianmin. Research on Wireless Communication Scheme of Train Control System Compatible with 5G-R and GSM-R Interoperability[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 42-46.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.07.009

# 基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统研究

李珉璇, 赵耀, 吴绍华, 周敏

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

**摘要:** 针对目前铁路隧道防灾疏散救援监控系统有线组网不灵活、监控能力有限、联动功能不足的问题, 结合5G技术的优势及其在铁路的应用前景, 提出一种基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统方案。兼容考虑铁路5G专网和公网两种承载方式, 对二者兼容性系统架构进行设计, 并对二者系统部署方案进行分析。具备灵活组网、扩展升级的能力, 融合前沿技术手段, 能够实现预警告警、联动控制、一键救援、仿真呈现等功能, 实现智能化运维管理, 提升铁路隧道防灾疏散救援能力。

**关键词:** 铁路隧道; 防灾救援; 监控; 5G; 运维管理

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0049-06

## Research on New 5G-based Railway Tunnel Disaster Prevention and Rescue Monitoring System

Li Minxuan, Zhao Yao, Wu Shaohua, Zhou Min

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of inflexible wired networking, limited monitoring capabilities, and insufficient linkage functions of the current railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system, combined with the advantages of 5G technology and its application prospects in railways, this paper proposes a new 5G-based scheme system. Its compatibility considering the two carrying modes of railway 5G private network and public network, the compatibility system architecture of the two is designed, and the system deployment scheme of the two is analyzed. This system has the ability of flexible networking, expansion and upgrading, and the integration of cutting-edge technical, which means that it is able to realize functions such as early warning and alarm, linkage control, one-key rescue, simulation presentation and so on, so as to realize intelligent operation and maintenance management, additionally to improve the ability of railway tunnel disaster prevention and rescue.

收稿日期: 2022-08-01; 修回日期: 2023-05-20

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(P2021G012); 中国铁路设计集团有限公司科技开发课题项目(2021A240803)

第一作者: 李珉璇(1993—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信信息系统, 邮箱: liminxuan@crdc.com。

**Keywords:** railway tunnel; disaster prevention and rescue; monitoring; 5G; operation and maintenance management

随着中国铁路建设里程的陡增，隧道个数及长度也随之增加，特别是西南、川藏地区隧道位置偏远、地理环境不佳，对保障铁路隧道运营安全的防灾疏散救援监控系统（简称系统）提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。目前，该系统采用铁路专用有线通信组网，被监控设备设施数量多且分布零散，总体上存在有线组网不灵活、监控能力有限、联动功能不足的问题，限制了系统的应用与发展。5G技术在铁路的研究与应用优势为系统提供了良好条件，本文提出将5G技术与该系统相结合，构建基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统，从而有效解决系统现状问题，具备融合前沿技术条件实现系统智能化运维管理，提升铁路隧道防灾疏散救援能力。

## 1 系统现状

依据《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》(TB 10020-2017) 及《高速铁路隧道防灾疏散救

援工程设计补充规定（试行）》（铁总建设[2019]36号），结合项目实践情况，目前铁路隧道防灾疏散救援监控系统如图1所示。系统由两级架构组成<sup>[2]</sup>，1) 中心级：在各路局设置监控主站，包括监控终端、服务器、磁盘阵列等设备，在车站、工区等管理部门设置复示监控终端；2) 现场级：隧道内被监控设备设施接入就近的就地控制器，各就地控制器与主控制器组成自愈光纤环网，就地控制器将数据汇聚给主控制器；中心级与现场级架构呈星型连接，通过铁路专用传输网进行双向通信，从而实现对管辖隧道的防灾救援设备设施的集中监视和远程控制。

目前，铁路隧道防灾疏散救援监控系统存在以下问题。

1) 有线组网不灵活。各类被监控设备设施数量多且分布零散，隧道内线缆敷设空间有限，前端采集均通过有线方式传输，线缆敷设工程量且复用率低。现场级架构采用工业总线方式，中心级架构

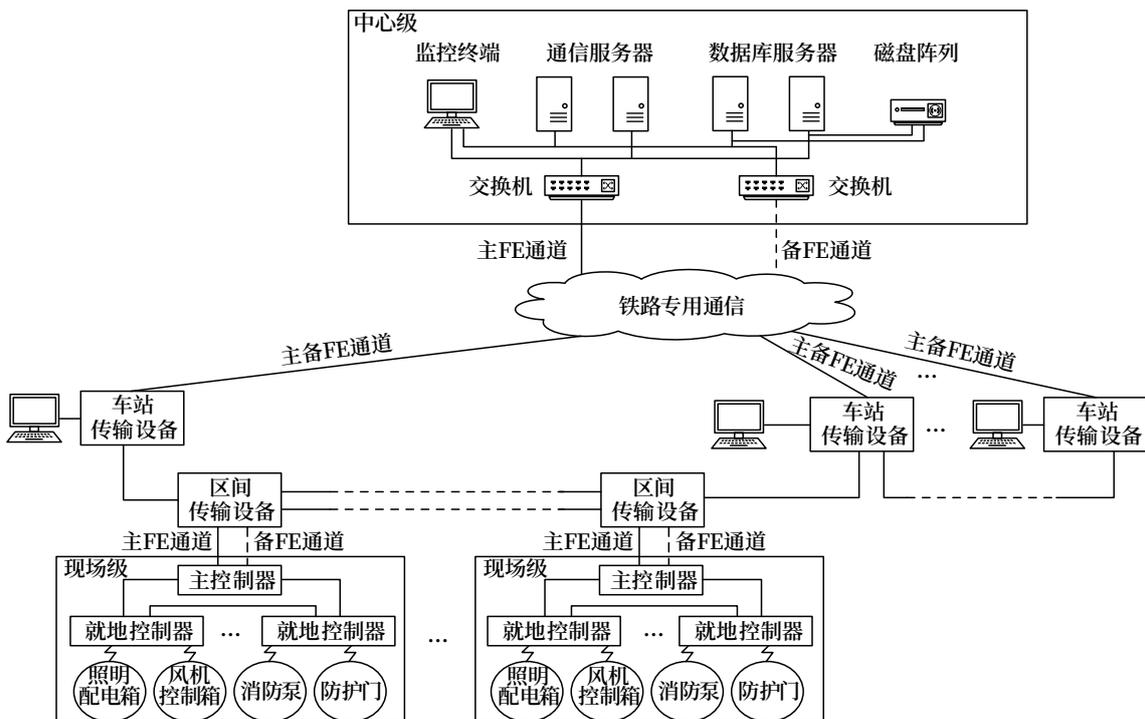


图1 目前铁路隧道防灾疏散救援监控系统组成

Fig.1 Composition of the current railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system

采用以太网, 通过有线连接, 总体组网不灵活, 功能不易扩展。

2) 监控能力有限。被监控设备设施接入类别少, 一般仅包括照明配电箱、风机控制箱、防护门、消防泵, 对气体、洪涝、异物、结构等复杂灾害因素的实时监测、视频监控能力不足, 多接入后系统业务数据量倍增。

3) 联动功能不足。系统中心级架构仅具备数据汇聚能力, 尚未形成有效的运维管理平台, 多接入的被监控设备设施数据互通困难, 联动控制能力不足, 限制系统发展及发挥有效功能作用, 不能满足智能化安全运营维护及管理需求。

针对以上问题, 有必要研究一种新型的铁路隧道防灾疏散救援监控系统, 通过一种能够灵活组网, 且具备与物联网、大数据、云计算等主流智能化手段融合的方式, 提高系统监控及联动能力, 提供系统灵活扩展、功能升级的条件, 助力智能铁路隧道防灾疏散救援。

## 2 系统规划

### 2.1 5G技术概述

作为代替有线通信的移动通信已步入第5代商用阶段, 将移动互联网扩展到移动物联网, 具有增强型移动宽带(eMBB)、大规模物联网(mMTC)和超高可靠低时延通信(uRLLC)3大特性。目前, 物联网、大数据、云计算等前沿技术是驱动新型信息产业发展的核心, 5G技术是促进这些技术应用的关键, 满足未来信息化发展的通信需求<sup>[3]</sup>。

智能高铁是新型信息化建设, 5G技术适用于不断涌现的新型业务场景应用<sup>[4]</sup>, 能够为应用系统提供灵活接入、组网和扩展的网络条件, 提供大带宽、低延时、高可靠的数据承载条件, 提供融合前沿技术手段实现智能化的规划建设、装备研发及运营维护的条件<sup>[5]</sup>。

### 2.2 系统5G承载方式规划

铁路5G网络覆盖划分为铁路自主建设的5G专网(5G-R)和由运营商在铁路沿线覆盖的5G公

网。铁路5G专网采用专用频段独立组网, 而5G公网利用公网频段及网络组网。

铁路移动通信业务按与铁路运营的相关性分为3类, 根据业务特点对其公、专网承载方式进行规划: 1) 行车指挥及控制、运营维护类: 与行车安全、运输生产直接相关的核心业务由5G专网承载, 在专网传输能力不足时, 对于优先级相对低的部分运营维护类业务可以考虑由5G公网承载; 2) 旅客及货运客户服务应用类: 为外部服务应用, 由5G公网承载; 3) 工程建造类: 建造期间尚未建设铁路专网, 由5G公网承载。

铁路隧道防灾疏散救援是一项涉及人员安全的工程, 监控相关设备设施状态是保障安全的重要措施, 被监控的设备设施数据具有安全保密性要求, 业务数据传输具有低时延、高可靠的需求, 因此, 基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统属于上述的第一类业务, 建议采用铁路5G专网承载。同时, 由于铁路5G专网频谱资源有限, 本系统较行车指挥及控制类业务的优先级相对低, 属于不直接影响行车安全的运营维护类系统, 因此, 在公网安全策略可以保障的情况下, 本系统也可以考虑采用高可靠的技术方式实现5G公网承载。

## 3 方案研究

5G技术能够满足系统灵活组网、扩展升级的需求, 提供与主流智能化技术手段融合的条件, 为系统提高监控及联动能力、实现智能化运维管理提供基础支撑。本次研究基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统按兼容专网和公网两种承载方式进行架构设计, 并对二者承载方式的部署方案进行分析。

### 3.1 架构设计

根据系统业务发展实际需求, 按照设备层、传输层、数据层、应用层及展示层进行系统架构设计, 形成的系统架构如图2所示。

#### 1) 设备层

设置开关传感器、位移传感器、光缆传感器等

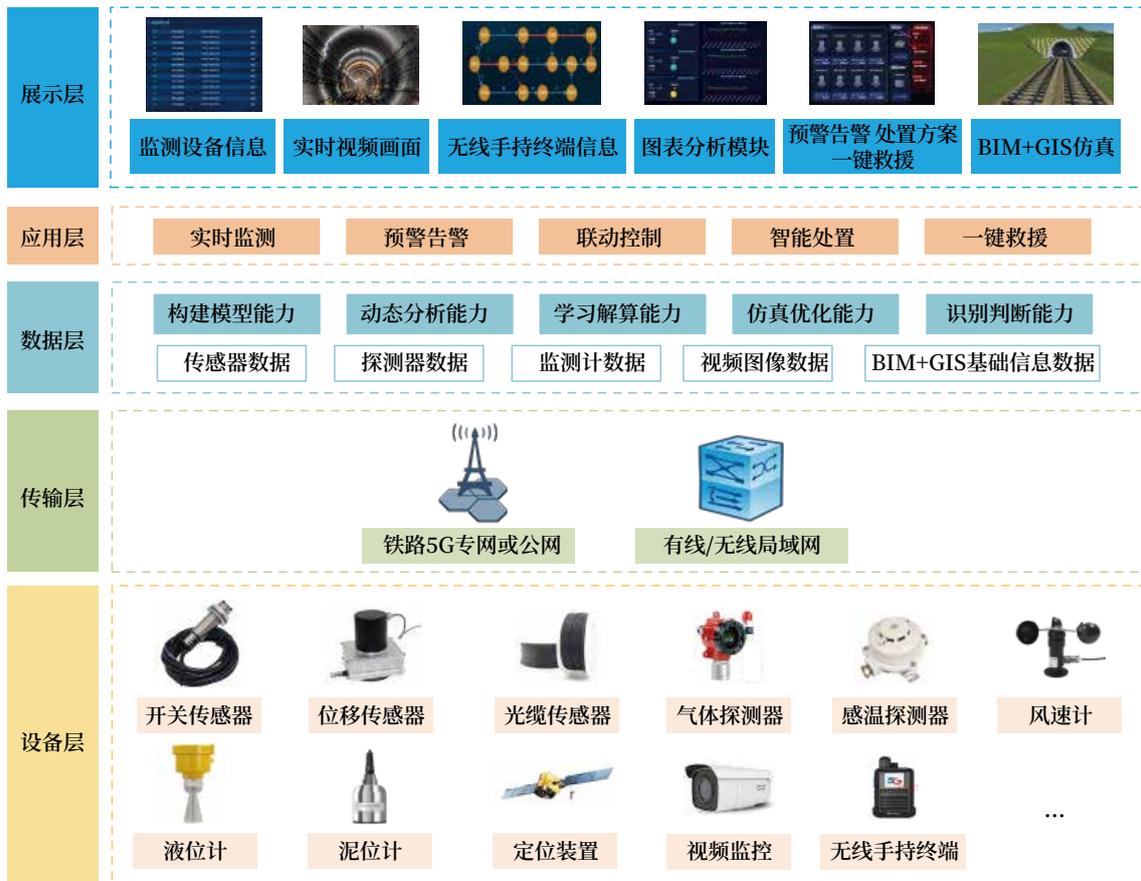


图2 基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统架构  
Fig.2 System architecture of a new 5G-based railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system

设备用于通风、照明、水泵、防护门等设备设施的信息采集，相较于传统有线 IO 模块采集，通过多类型的传感方式、多点位的传感监控能获取更全面精准的系统设备状态信息。

设置气体探测器、感温探测器、风速计、液位计、泥位计等设备用于隧道内有害气体、火、风、雨、泥等环境灾害因素的检测，设置雷达、北斗定位、异物探测传感器、光缆传感器等设备用于隧道变形、异物侵线、轨道高温变形等设施灾害因素的检测。

设置视频监控设备用于采集隧道内外实时图像信息，配置图像识别模块，提供智能辅助判别功能。

设置无线手持终端用于现场人员语音通信、数据传送、人员定位，提供与中心互动指挥作业功能，保障人员安全。

## 2) 传输层

通过铁路 5G 专网或安全可靠的 5G 公网进行数据双向传输，打通从前端到后端的数据无线传输链路，解决系统灵活组网和设备层扩展接入的需求。特别适用于地理环境较差或长大的隧道，解决有线传输光缆敷设及维护工程量大、光缆复用率低的问题。同时，系统也支持有线 / 无线局域网等传统组网方式。

## 3) 数据层

将采集的各类传感器、探测器、监测计、视频图像等数据进行融合，与 BIM+GIS 基础信息数据集成，形成构建模型、动态分析、学习解算的能力，提供系统仿真优化、识别判断的能力。

## 4) 应用层

形成系统智能化运维管理平台，通过数据层的融合分析，实现多种灾害的预警告警、设备设施的实时监测及联动控制，提供更精准的信息告警、处

置方案推荐及一键救援功能,更好地辅助人员进行运维管理及判断决策。

### 5) 展示层

在系统运维管理中心监控终端及大屏上,呈现各应用模块内容,包括实时监测设备设施信息、实时视频画面、现场无线手持终端人员信息、日常图表分析信息、预警/告警信息、处置方案信息、一键救援按钮等。同时,通过BIM+GIS仿真呈现直观界面,清晰地展示出隧道内、外部与被监控设备

设施的位置关系,在同一界面内同时呈现出运维人员关心的全部重要信息,从而提高系统的易操作性。

### 3.2 部署方案

基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统由现场级、边缘节点、中心级组成。

#### 1) 铁路5G专网承载方式部署方案

以某隧道为例的本系统部署方案拓扑如图3所示。



图3 基于铁路5G专网的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统部署方案拓扑

Fig.3 Deployment scheme topology of a new railway 5G private network based railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system

现场级：隧道内按需间隔设置各类传感器、探测器、监测计、摄像头等设备,设备内配置5G传输模块用于信号的接收与传递,通过铁路隧道5G覆盖网络进行传输。铁路隧道5G覆盖方案为：隧道内一般采用漏缆进行柱状均匀覆盖,隧道口空间宽阔,采用天线进行定向覆盖,以分布式基站(BBU+RRU)方式组网,隧道洞室、隧道口处设置RRU,隧道外机房设置BBU,BBU与RRU之间推荐采用安全可靠、节约光缆资源的环型连接方式<sup>[6]</sup>。

边缘节点：多接入边缘计算是5G的关键技术之一<sup>[7]</sup>,5G网络是基于服务化的架构,控制面与用户面分离,5G承载的铁路多场景业务数据如果全部透传至中心级进行处理,会产生大量的并发数据,占用较大的带宽资源,导致数据传输时延较大,引起网络阻塞。本系统对数据实时性、安全可靠要求较高,因此,在近隧道处机房部署边缘计算设备,将业务数据进行边缘本地化快速计算处理,能够有效提高系统性能,减少中心级网络资源压力。

中心级：云计算可以应用于基于服务化的5G网络,通过5G核心网与中心级云计算平台安全对

接,依托路局中心云的计算、存储、网络资源实现系统功能。

根据管理需求,在路局监控主站设置监控终端、大屏等设备,在站段运维管理部门配置复示监控终端,现场配置无线手持终端设备。

#### 2) 铁路5G公网承载方式部署方案

以某隧道为例的本系统部署方案拓扑如图4所示。

现场级：设备部署方式同上述专网一致,铁路5G公网隧道覆盖目前较为成熟,系统设备数据利用隧道公网基站进行传输<sup>[8]</sup>。为充分保障系统数据安全、保密和可靠,需采用定制无线网及承载网切片技术,将本系统数据与公网业务数据隔离传输,为系统提供资源预留、优先调度<sup>[9]</sup>的功能。

边缘节点：在近隧道处机房部署系统专用边缘计算设备,形成系统级“园区”,以保障数据不出场,实现数据的本地化安全处理,保障大带宽、时延敏感的业务数据计算效率。

中心级：设备部署方式同上述专网一致,由于铁路5G公网应用方案尚未明确,至中心级的传输

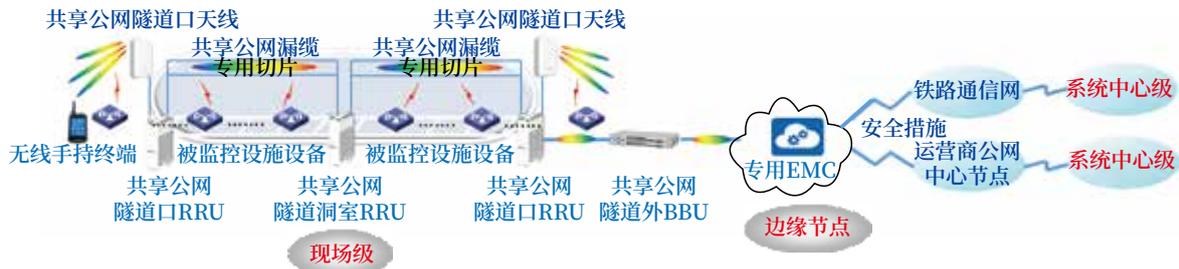


图4 基于铁路5G公网的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统部署方案拓扑

Fig.4 Deployment scheme topology of a new railway 5G public network based railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system

链路，可通过上述边缘节点经安全措施接入铁路通信网至系统中心级设备，或经运营商公网中心节点与路局中心直接对接至系统中心级设备。

#### 4 结语

目前，铁路隧道防灾疏散救援监控系统总体上存在有线组网不灵活、监控能力有限、联动功能不足的问题，限制了系统发展。通过分析5G技术在铁路的应用优势，以及铁路5G承载方式规划，本文提出将5G技术与系统相结合，可实现基于铁路5G专网和公网两种承载方式的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统。根据业务发展需求，系统按设备层、传输层、数据层、应用层及展示层五层架构，现场级、边缘节点、中心级三级部署的兼容性方案进行构建。系统具备灵活组网、扩展接入、融合智能化手段的能力，提供预警告警、联动控制、一键救援、仿真呈现等功能，从而实现该系统的智能化运维管理，提升隧道防灾疏散救援能力，助力中国智能高铁发展。

#### 参考文献

[1] 唐文国, 王鹏翔, 包存文, 等. 铁路高海拔特长隧道防灾疏散救援设备设施监控系统建设[J]. 中国铁路, 2020(12): 173-180.  
Tang Wenguo, Wang Pengxiang, Bao Cunwen, et al. Construction of Disaster Prevention, Evacuation and Rescue Equipment & Facilities Monitoring System for High-Altitude Extra-Long Railway Tunnels[J]. Chinese Railways, 2020(12): 173-180.

[2] 马伟斌, 王志伟. 新型铁路隧道防灾疏散救

援设备设施智能监控系统研究[J]. 中国铁路, 2020(1): 4-10.

Ma Weibin, Wang Zhiwei. Research on New Intelligent Monitoring System for Disaster Prevention, Evacuation and Rescue Equipment and Facilities in Railway Tunnel[J]. Chinese Railways, 2020(1): 4-10.

[3] 丁建文, 孙斌, 郑鹏, 等. 铁路5G技术创新应用探索[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(6): 1-9  
Ding Jianwen, Sun Bin, Zheng Peng, et al. Exploration of Innovative Application of 5G in Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(6): 1-9.

[4] 艾渤, 马国玉, 钟章队. 智能高铁中的5G技术及应用[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(6): 42-47, 54.

Ai Bo, Ma Guoyu, Zhong Zhangdui. 5G Technologies and Applications in High-Speed Railway[J]. ZTE Technology Journal, 2019, 25(6): 42-47, 54.

[5] 艾渤, 章嘉懿, 何睿斯, 等. 面向智能高铁业务和应用的5G基础理论与关键技术[J]. 中国科学基金, 2020, 34(2): 133-141.

Ai Bo, Zhang Jiayi, He Ruisi, et al. Fundamental Theory and Key Technologies of 5G for Service and Application of Intelligent High-Speed Railway[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2020, 34(2): 133-141.

[6] 葛伟涛, 冯敬然, 周敏, 等. 铁路5G-R无线接入网组网方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(6): 59-63.

(下转 58页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.07.010

# 机车综合无线通信设备功能号注册问题简析

王 锐

(中国铁路南宁局集团有限公司南宁通信段, 南宁 530000)

**摘要:** 以机车综合无线通信设备(CIR)功能号注册原理为基础, 通过查看CIR数据、调阅无线网管信息以及现场无线网络环境测试等方式, 对日常维护中所遇到的5个功能号注册失败案例进行原因分析, 并给出解决方案, 以防范功能号注册失败导致车站、调度员等用户无法及时与列车司机进行通信联系, 保证GSM-R语音业务正常。

**关键词:** CIR; 功能号; 原因分析

中图分类号: U285.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0055-04

## Analysis of Registration of CIR Function Number

Wang Rui

(Nanning Communication Division, China Railway Nanning Group Co., Ltd., Nanning 530000, China)

**Abstract:** Based on the principle of CIR function number registration, through viewing CIR data, accessing wireless network management information, and on-site wireless network environment testing, etc., this paper analyzes the causes of 5 function number registration failure cases encountered in routine maintenance, and gives the solution to prevent users such as stations and dispatchers from being unable to communicate with the train driver in time due to the failure of function number registration, so as to ensure the normal GSM-R voice service.

**Keywords:** CIR; function number; cause analysis

国内铁路快速发展, GSM-R网络被广泛应用于铁路线路之中, CIR作为GSM-R网络终端设备重要组成部分, 保证列车安全高效运行。本文通过结合CIR功能号注册原理, 对日常维护中所遇到的5个功能号注册失败案例进行原因分析, 并给出解决方案。

### 1 基本概念

功能号注册是功能寻址的第一阶段, CIR通过

注册功能号使其功能角色与激活该功能角色的移动用户号码(MSISDN)关联起来, 从而调度员、车站值班员等用户需与列车司机进行联系时, 不必知道列车司机所值乘的列车CIR移动用户号码, 通过呼叫CIR功能号, 网络会自动将CIR功能号对应到CIR移动用户号码上, 并建立通话连接, 方便用户联系列车司机。

### 2 CIR功能号注册原理

CIR主机一般由主控单元、电池单元、GPS单元、GSM-R语音单元、GSM-R数据单元、记录单

收稿日期: 2022-02-28; 修回日期: 2023-05-07

作者简介: 王锐(1989—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路无线通信, 邮箱: 850815472@qq.com。

元等部分组成。功能号注册是 GSM-R 网络所特有的业务，因此其进行功能号注册前需确保 CIR 主机中话音单元 SIM 卡附着在 GSM-R 网络上，再由 CIR 主控单元控制 CIR 话音单元，通过 GSM-R 网络，向无线子系统 (BSS) 发送请求消息。BSS 将请求消息中注册所需的过程类型标识、业务代码、功能号发送至移动交换中心 (MSC)，MSC 将注册信息透传给归属位置寄存器 (HLR)，HLR 检查用户是否具有功能号注册的权限，再将请求信息转发至智能网 (SCP)。SCP 判断消息中功能号的合法性，并返回接受请求或拒绝请求的通知。CIR 功能号注册过程如图 1 所示。

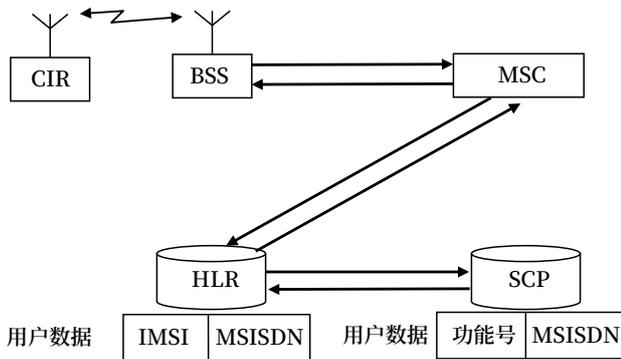


图1 CIR功能号注册过程  
Fig.1 CIR function number registration process

### 3 CIR功能号注册问题分析

在日常维护中，CIR 功能号注册常见问题主要分为 3 类：一是操作问题，列车司机人员较多，业务水平参差不齐，个别人员对 CIR 设备不熟悉，造成操作上的错误；二是设备问题，随着使用时间的增长，CIR、BSS 等设备各电子原器件存在老化现象，在运用过程中极易出现设备异常情况；三是环境问题，随着 GSM-R 线路增多，无线网络环境变得复杂，外部干扰源产生，使得 GSM-R 业务受限，设备间无法正常进行业务交互。

案例 1：列车从 450 MHz 无线网络区段进入 GSM-R 无线网络区段，功能号注册失败，话音通话正常。后续列车司机重新注册功能号，恢复正常。

分析结论：通过查看 CIR 数据，发现列车司

机在 CIR 设备处于 450 MHz 模式时，进行过车次号设置操作；从 450 MHz 模式切换至 GSM-R 模式后，未进行操作，导致功能号注册失败。CIR 功能号注册只有在 GSM-R 模式下才能完成；在 450 MHz 模式下，车次号设置仅用于车次号显示和车次号校核信息传送，CIR 不进行车次功能号注册。后续列车司机根据 CIR 操作指南进行功能号注册，CIR 功能号注册恢复正常。

案例 2：CIR 话音单元故障导致功能号注册失败，无法进行话音通话。反复重启 CIR 后，恢复正常。

分析结论：通过查看 CIR 数据，发现故障期间 GSM-R 话音单元不能正常识别 SIM 卡，无法获取 GSM-R 话音信号，导致功能号注册失败。CIR 主机中的 GSM-R 话音单元故障，会导致 SIM 卡无法正常附着在 GSM-R 网络上，使功能号无法正常注册，也无法进行话音通话。通过 MMI 上的“复位”按钮或重新开/关 CIR 电源，可以让 SIM 卡反复尝试进行 GSM-R 网络附着，从而有机会使其附着在 GSM-R 网络上，使 CIR 功能号注册恢复正常。

案例 3：GSM-R 网络干扰导致短时间内在同一站场多辆列车的 CIR 功能号注册失败，无法获取 GSM-R 话音信号。反复重启 CIR 未见恢复，开出站场后自动恢复正常。

分析结论：通过调阅无线网管数据，发现此站场在故障时间段存在上行 5 级干扰；通过查看 CIR 数据，发现当机车处于站场时，话音信号为 0，功能号无法正常注册，开出站场后话音信号恢复正常，功能号注册成功。无线网络上行干扰会导致 CIR 无法正常与无线基站设备进行信息交互，使 CIR 话音单元中的 SIM 卡无法附着在 GSM-R 网络上，从而无法获取 GSM-R 话音信号，继而导致 CIR 功能号注册失败。当列车驶离受干扰站场后，上行干扰消失，CIR 话音单元中的 SIM 卡正常附着在 GSM-R 网络上，功能号注册恢复正常。

案例 4：GSM-R 网络覆盖弱导致某一站场某一位置功能号注册经常失败，GSM-R 话音通话时好

时坏。反复重启 CIR 未见恢复，列车移动后自动恢复正常。

分析结论：通过调阅无线网管数据，发现此站场无线基站设备运行正常，无异常告警；通过查看 CIR 数据，发现当机车处于该站场该位置时，话音信号不稳定，时强时弱，弱时场强为 0，功能号无法成功注册，列车移动后，话音信号恢复稳定，功能号成功注册；通过现场无线网络测试，发现该站场该位置 GSM-R 网络信号弱，处于 GSM-R 网络信号标准的临界值附近。GSM-R 网络弱场会导致 CIR 无法正常与无线基站设备进行信息交互，从而导致 CIR 功能号注册失败。当列车驶离 GSM-R 网络弱场区域后，CIR 的 GSM-R 话音信号恢复正常，从而功能号成功注册。

案例 5：智能网故障导致短时间内多辆所处站场不一致的列车的 CIR 功能号注册失败，话音通话正常。询问外局列车司机功能号注册情况，其反应也是功能号注册失败。随后，智能网业务主用由北京切换至武汉，受影响列车功能号注册业务恢复正常。

分析结论：通过调阅核心网网管和无线网管数据，发现各设备运行正常，无异常告警；询问北京核心网网管，确认为智能网故障所致。在功能号注册过程中，CIR 需要通过 BSS、MSC 等设备向智能网发送功能号注册请求消息，得到智能网授权消息后，功能号才能成功注册。当智能网发生故障时，会导致大面积的终端设备无法获取智能网提供的授权消息，从而导致功能号注册失败。此时，根据应急处置需要，需将智能网主 / 备用状态进行切换，以保证 GSM-R 业务正常。

#### 4 解决方案

CIR 功能号注册是 GSM-R 话音通信业务重要组成部分，涉及人、设备、环境等诸多环节，任何一个环节出现问题均有可能造成 CIR 功能号注册失败。因此，可以从 3 个方面对 CIR 功能号注册问题进行管控，从而防范功能号注册失败。

##### 1) 利用 CIR 在途监测技术

CIR 在途监测系统由车载系统、车地传输通道、地面监测系统 3 部分构成。其通过安装在列车上的车载系统，实现对 CIR 话音单元工作状态、CIR 设备主要运行参数、司机操作等信息的采集，并将采集到的信息利用 GSM-R 网络或公用网络及 WLAN，安全、可靠地发送至地面监测系统。地面监测系统经过统计分析，将收集到的信息以列车群、设备状态、网络覆盖状态、告警等形式呈现给维护人员，使维护人员能够根据统计分析结果，及时通知应急处置人员进行相应整治。

##### 2) 搭建无线电监测系统

通过加强与地方无线电管理部门协作，在始发站点合适位置架设无线电接收设备，实时监测始发站点附近无线网络环境情况。遇 GSM-R 网络受外部干扰源干扰时，维护人员能够与无线电管理部门进行有效联动，及时找到干扰源，并进行整治。

##### 3) 优化智能网组网方式

将现行的智能网主 / 备模式调整为 1+1 主 / 备模式，当智能网设备任何一处发生故障，不会影响智能网业务正常运行。

## 5 结束语

CIR 作为列车司机与车站值班员、列车调度员等用户通信的主要工具，对铁路信息传递起着至关重要的作用。但 CIR 设备功能号注册问题时常发生，需要在实际处置中认真分析问题原因，不断完善 CIR 设备功能号注册问题处置流程、优化管理模式，压缩问题处置时间或预防问题出现，从而更好保障铁路运输安全。

#### 参考文献

- [1] 钟章队, 李旭, 蒋文怡. 铁路 GSM-R 数字移动通信系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [2] 中国铁路总公司. 高速铁路通信技术 - 无线通信终端 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [3] 宋江平. 铁路 GSM-R 线路功能号呼叫问题浅析 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 (5): 71-73.

- Song Jiangping. Brief Analysis of Train Functional Number Call in Railway Line with GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(5): 71-73.
- [4] 卓少聪. 浅谈机车综合无线通信设备(CIR)在途监测系统的实施[J]. 信息通信, 2017, 30(3): 267-268.
- Zhuo Shaocong. Discussion on the Implementation of Locomotive Integrated Wireless Communication Equipment (CIR) In-Transit Monitoring System[J]. Information & Communications, 2017, 30(3): 267-268.
- [5] 张浩, 高尚勇, 姜宏敏. 机车综合无线通信设备在途监测系统[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(6): 58-60.
- Zhang Hao, Gao Shangyong, Jiang Hongmin. On-Line Monitoring System of Cab Integrated Radio Communication Equipment[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(6): 58-60.
- [6] 马健. CIR通信设备故障分析及防范对策[J]. 上海铁道科技, 2017(3): 40-41.
- Ma Jian. Fault Analysis and Preventive Measures of CIR Communication Equipment[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2017(3): 40-41.
- [7] 刘顺. 高速铁路GSM-R干扰问题分析及对策[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(8): 47-51.
- Liu Shun. Analysis and Countermeasure of GSM-R Interference in High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(8): 47-51.
- [8] 夏焕祥. GSM-R系统弱场处理有关问题的分析[J]. 铁道通信信号, 2005, 41(7): 36-37.
- [9] 袁廷瑞, 陶舵丞. 河谷地带铁路无线通信设备布放方式的探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(4): 43-46.
- Yuan Tingrui, Tao Duocheng. Discussion on Railway Wireless Communication Equipment Layout in Valley[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 43-46.

\*\*\*\*\*

(上接54页)

- Ge Weitao, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Networking Scheme of Railway 5G-R Wireless Access Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 59-63.
- [7] 刘语馨, 陈姝, 钟章队. 边缘云技术在智能铁路中的应用[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(Z1): 7-12.
- [8] 葛伟涛, 孙庆东. 杭台高铁隧道公网覆盖实施方案[J]. 铁道通信信号, 2022, 58(6): 7-11.
- Ge Weitao, Sun Qingdong. Implementation Plan of Public Network Coverage in Tunnels in Hangzhou-Taizhou High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(6): 7-11.
- [9] 杨琪, 冯敬然, 周敏, 等. 城市轨道交通5G公网融合组网方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 63-69.
- Yang Qi, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Research on 5G Public-Private Network Convergence Scheme for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 63-69.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.07.011

# 一种互联互通线路跨线运行图调整实现方案

曹李竹<sup>1</sup>, 何富君<sup>2</sup>, 刘佳<sup>2</sup>

(1. 滇西科技师范学院, 云南临沧 677000;

2. 通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 在城市轨道交通互联互通跨线运营的背景下, 单线运行图调整已不能满足实际运营的需求。提出一种互联互通线路的跨线运行图调整方案, 指出互联互通跨线调整的核心是以运行线(列车)为单位的“本线+邻线”的运行图调整; 设计合理的本线到邻线的传输载体, 从而完成本线与邻线的交互; 提出运行图标准并设计跨线运行图调整流程。该方案可解决跨线运行图调整问题, 提高运营效率。

**关键词:** 运行图调整; 互联互通; 跨线运营

中图分类号: U292

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0059-05

## Implementation Scheme for Adjusting Cross Line Operation Diagram of Interconnected Lines

Cao Lizhu<sup>1</sup>, He Fujun<sup>2</sup>, Liu Jia<sup>2</sup>

(1. West Yunnan University, Lincang 677000, China)

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

**Abstract:** In the context of interconnected and cross line operation of urban rail transit, the adjustment of single line operation diagram can no longer meet the actual operational needs. This paper proposes a cross line operation diagram adjustment scheme for interconnected lines. This scheme points out that the core of interconnection and cross line adjustment is the adjustment of the "local+adjacent line" train diagram based on the operating line (train) as a unit; it designs a reasonable transmission carrier from the local line to adjacent lines to complete the interaction between the local line and adjacent lines, and proposes train diagram standards and designs a cross line train diagram adjustment process. The scheme can solve the problem of cross line operation diagram adjustment and improve operational efficiency.

**Keywords:** train operation diagram adjustment; interconnectivity; cross line operation

收稿日期: 2023-04-19; 修回日期: 2023-07-12

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

第一作者: 曹李竹(1989—), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 铁路轨道信号, 邮箱: 11120250@bjtu.edu.cn.

### 1 概述

目前, 城市轨道交通线路从运营组织上来讲是以线为单位独立运营的。在单线运营模式下, 一条

线路无法利用另一条线路的富余运能，线网中的基础设施、车辆等资源也无法共享，乘客在线网之间的跨线旅行需求只能通过换乘站换乘来满足，也造成了换乘站客流太多等一系列运营组织问题<sup>[1]</sup>。在国际上，一种有利于解决单线运营困境的方法是采用互联互通运营。互联互通运营能够合理分配线路资源，充分利用线路富余运能，满足乘客快速、直达的出行需求，同时避免了大规模的线路和车站改造<sup>[2]</sup>。近些年，国内轨道交通建设也逐步往互联互通运营模式上走，如北京9号线与房山线的跨线运营，重庆5号线与江跳线的跨线运营。

列车运行图（以下简称运行图）是用来表示列车在区间运行及在车站到发或通过时刻的技术文件，它规定各车次列车占用区间的程序，列车在每个车站的到达和出发（或通过）时刻，列车在区间的运行时间以及停站时间，是全路组织列车运行的基础<sup>[3]</sup>。运行图调整是指在实际运营早晚点发生的情况下，尽可能地将后续运行计划调整到吻合目标运营计划的过程<sup>[4]</sup>。受单线独立运营的运营模式的影响，各城市轨道交通信号厂商都仅有成熟的单线运行图调整算法，其核心逻辑都是通过调整当前列车后续停靠站的到发时间及区间运行时间实现的<sup>[5]</sup>。随着城市轨道交通的不断发展，地铁线路已经形成网络，互联互通线路之间的跨线运营也逐渐成为常态<sup>[6-7]</sup>。在此背景下，单线的运行调整算法已不能满足互联互通跨线运营的需求。

## 2 技术方案

本文提供了一种互联互通线路跨线运行图调整方案。其核心在于提供一套单线运行图调整算法标准和跨线运行图调整流程。按照标准实现的运行图调整算法均可通过本方案提供的跨线流程实现跨线运行图调整。具体包含如下5个方面。

- 1) 跨线调整模型建立；
- 2) 本线与邻线的硬件连通；
- 3) 跨线调整中间状态传输载体设计；
- 4) 运行图调整算法通用性设计；

5) 运行图调整算法设计。

### 2.1 跨线调整模型建立

如图1所示，一趟列车（运行图中的一条运行线）从“线1”出发跨线运营，到达跨线站后只可选择“线2”或者“线4”进行运行。因为运行图调整是以列车（运行线）为最小单位进行调整的，所以在跨线调整过程中所有待调整的运行线都是前后接续的，不存在分叉的情况。基于以上情况，可将复杂的跨线情况，以运行线为单位，分解为多个“本线+邻线”的模型。以图1情况为例，可将其定义为“‘本线（线1）+邻线（线2）’+‘本线（线1）+邻线（线4）’+‘本线（线2）+邻线（线3）’”模型。

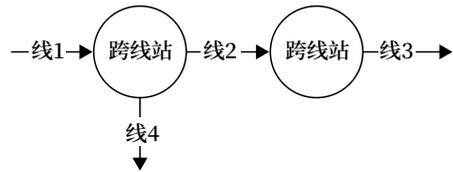


图1 跨线模型说明  
Fig.1 Description of cross line model

### 2.2 本线与邻线的硬件连通

运行图调整相关功能是列车自动监控系统（ATS）的重要功能之一。ATS是一个分布式系统，分为中心服务器（运行全线各站协调相关程序）和车站服务器（运行车站相关任务程序，如车站信息采集），本线和邻线各有一套完整的程序，跨线站会同时存在于本线系统和邻线系统中。本线与邻线的硬件连通和网络可达是保证跨线信息传递的基础，如图2、3所示，本方案提供中心直连（本线中心连接邻线跨线站，邻线中心连接本线跨线站）与跨线站直连（本线跨线站与邻线跨线站连接）两种硬件连通方案，可根据实际设备情况选择相应的硬件连通方案。

### 2.3 跨线调整中间状态传输载体设计

单线运行图调整算法依据列车“实际到/发点”进行调整，该方式显然不能满足跨线运行的要求。如图4所示，假设列车在本线站A产生到点且出现晚点，本线运行图调整算法开始调整，若调整到跨

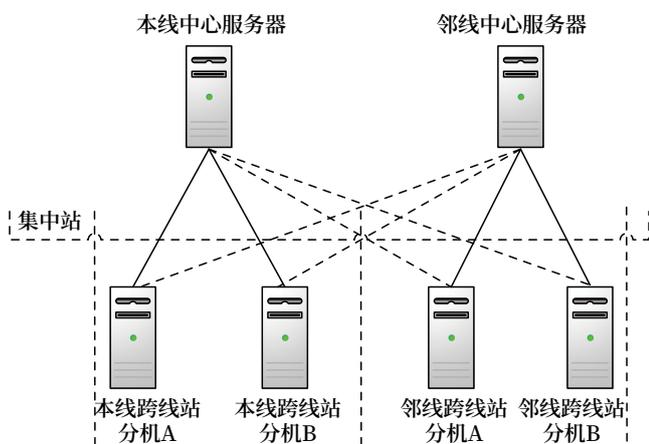


图2 中心直连的硬件连通方案

Fig.2 Hardware connectivity scheme of center direct connection

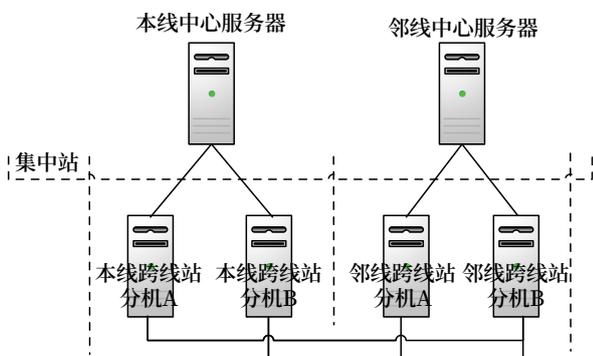


图3 跨线站直连的硬件连通方案

Fig.3 Hardware connectivity scheme of cross line station direct connection

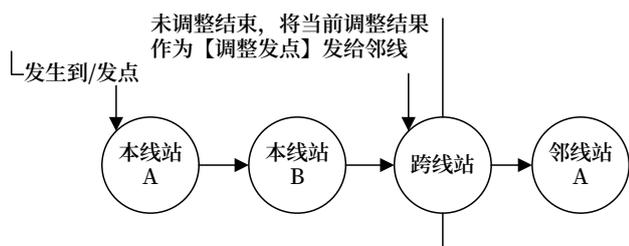


图4 跨线示意

Fig.4 Schematic diagram of cross lines

线站时仍未调整回到目标计划运行，单线运行图调整会认为调整结束。对于跨线调整，上述情况并未调整结束，应该将跨线站的调整中间结果传递给邻线，由邻线的运行图调整算法进一步调整。

因此，需要设计一种数据结构作为跨线调整中间状态传输载体。定义该数据结构为“调整到/发点”，其值为本线运行图调整算法调整到跨线站的调整结果（跨线站调整后的到/发时间）及数据标识（用于区别实际到/发点）。邻线运行图调整算法可

按到/发点调整逻辑进行调整，但要区别出其不是实际到/发点。

## 2.4 运行图调整算法通用性设计

单线运行图调整算法调整的范围为所在线的所有站，如图 2 所示，本线运行图调整算法调整范围包括本线站 A、本线站 B、跨线站；邻线运行图调整算法调整范围包括跨线站、邻线站 A。实际运营中，本线和邻线可能由不同的信号厂商提供解决方案，为实现不同厂商运行图调整算法的跨线调整，故对单线运行图调整算法提出如下标准。

1) 最大调整站数定义：指运行图调整算法接受一个调整点所能调整的最大站数，用户可通过配置设置调整站数，默认值为当前站到所在线最后一站之间的数量。

2) 调整成功定义：在最大调整站数范围内，将当前运行计划调整回目标运行计划。

3) 调整失败定义：在最大调整站数范围内或调整到最后一站，未能将当前运行计划调整回目标运行计划。

4) 能够对“调整到/发点”进行调整。

5) 调整结果返回机制：提供运行图结果反馈，反馈结果包括调整状态（调整成功或失败）及最后调整站（含该站调整后的信息）。

6) 调整恢复机制：将当前运行计划恢复到调整前的状态。

## 2.5 运行图调整算法设计

复杂的跨线情况可简化为多个独立的“本线 + 邻线”模型，其核心为单个“本线 + 邻线”模型的跨线调整流程。“本线 + 邻线”模型流程如图 5 所示，下面描述该流程步骤：

- 1) 列车实际到发点在本线产生，进 B；
- 2) 判断是否早晚点，是，则进 C，否，则进 J；
- 3) 本线运行图调整算法根据列车实际到/发点早晚点情况进行运行图调整，调整成功进 J，调整失败进 D；
- 4) 获取调整末站，判断该站是否为跨线站，若是，则进 E，否，则进 8；

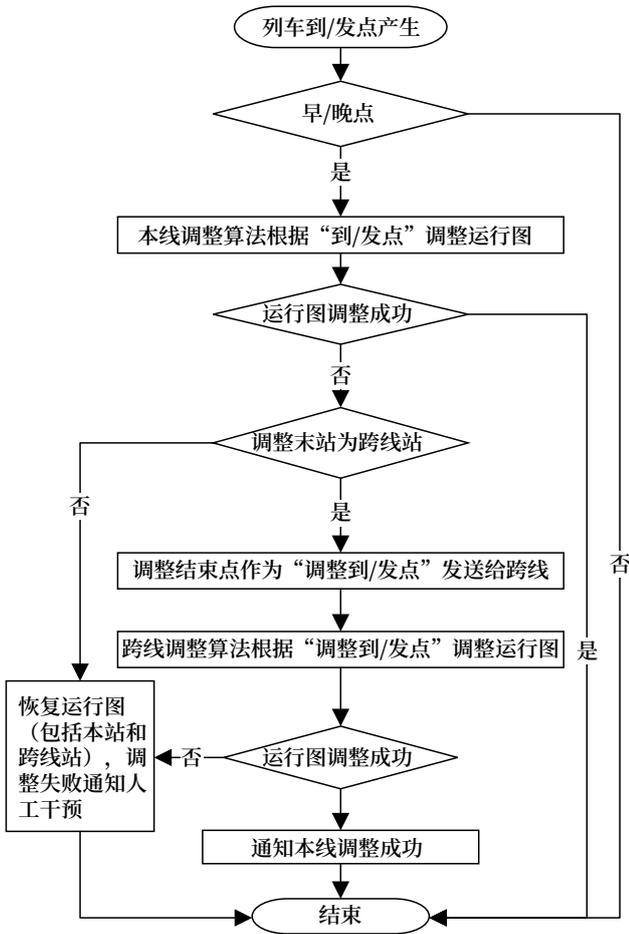


图5 “本线+邻线”模型调整流程

Fig.5 Flow chart of "local line+adjacent line" model adjustment

5) 将本线调整算法调整到跨线站的结果 (调整后在跨线站的到/发时间) 作为“调整到/发点”发送给跨线, 进 F;

6) 跨线调整算法根据“调整到/发点”调整运行图, 进 G;

7) 判断运行图是否调整成功, 是, 则进 I, 否, 则进 H;

8) 恢复运行图, 若仅本线调整算法调整了, 只需恢复本线运行图, 若邻线调整算法调整了运行图, 则需恢复邻线运行图后通知本线进行运行图恢复;

9) 通知本线调整成功;

10) 结束。

### 3 应用结果

如图 6 所示, 江跳线和重庆 5 号线跨线站为跳蹬站。

01001 次列车从江跳线圣泉寺站跨线运行到重庆 5 号线华岩寺站的跨线运行图如图 7 所示, 其中黑色实线代表 01001 次列车当日计划运行图 (简称当日计划), 绿色虚线代表 01001 次列车根据已有实际到/发点调整后的运行图 (简称工作计划), 红线覆盖处代表已出现实际跑过的区域。

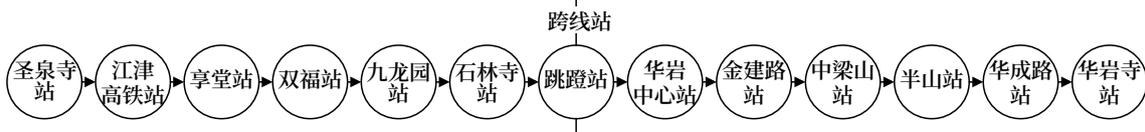


图6 江跳-重五站分布

Fig.6 Distribution of Jiangtiao-Chongqing line 5 stations

如图 7 所示, 当前在江跳线石林寺站产生一个到点 (11:52:45) 比计划 (11:50:50) 晚点 2 min 45 s, 进行运行图调整, 调整过程如下。

江跳线运行图调整算法调整, 调整到跳蹬站时, 到/发点调整到 (11:58:50/11:59:50), 未能达到 (11:57:50/11:59:00);

构建“调整发点 (11:59:00)” (或调整到点 (11:57:50)) 发送给重庆 5 号线;

重庆 5 号线根据调整发点 (或调整到点) 进行调整, 但是该点在运行图上不能标红 (即认为该点

位实际跑过区域);

调整到金建路站时到点调整为 (12:07:50) 已调整回当日计划, 调整成功;

反馈江跳线运行图调整成功, 调整结束。

### 4 结论

在城市轨道交通网络化运营背景下, 为实现城市轨道交通高质量发展, 提高运营效率和服务水平, 互联互通线路的跨线运营越来越受到重视。互联互通运营有利于线路资源共享、乘客出现的同时使得

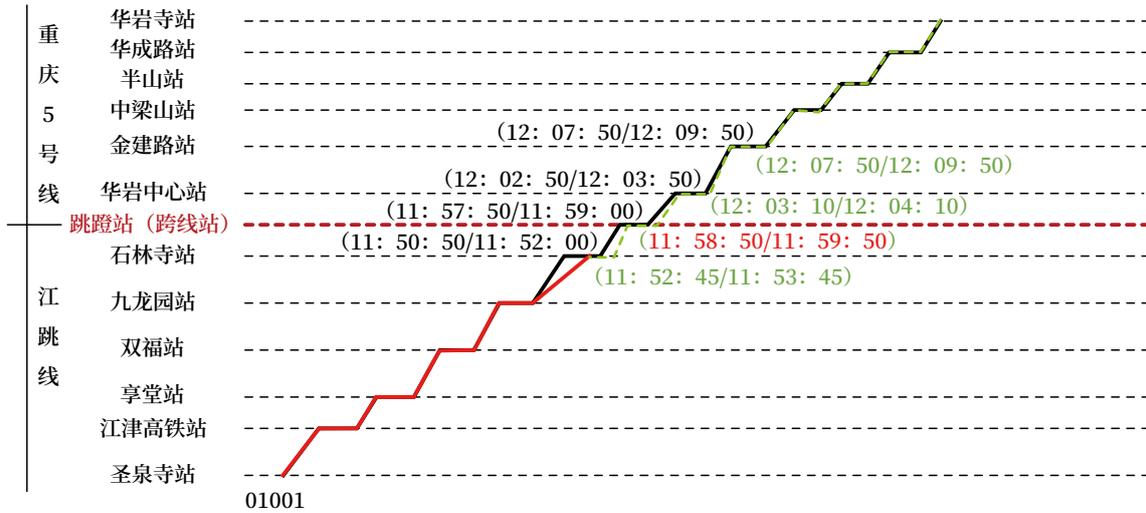


图7 01001车次跨线运行调整实例  
Fig.7 Example diagram of train 01001 cross line operation adjustment

运营组织更加复杂。本文聚焦了互联互通线路的跨线运行图调整问题，将复杂的线网模型拆分成多个“本线+邻线”模型，提出了一套互联互通线路跨线运行图调整解决方案，实现了互联互通线路的跨线调整。本文中阐述的“本线+邻线”模型，在遇到环线交点时存在划分歧义的问题，有待进一步更加细致的研究。

参考文献

[1] 杨晓锋. 面向互联互通运营的城轨列车运行调整研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2021.  
 [2] 李中浩. 城市轨道交通 CBTC 互联互通发展趋势及建议 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (5): 12-15, 33.  
 Li Zhonghao. Development Trend of Urban Rail Transit CBTC Interconnection/Intercommunication

and Some Suggestions[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(5): 12-15, 33.  
 [3] 金天凤. 互联互通条件下城市轨道交通列车交路计划编制优化 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.  
 [4] 徐文恺. 网络条件下城市轨道交通列车运行调整研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2019.  
 [5] 曹家明. 单线铁路列车运行调整优化模型及算法 [J]. 铁道学报, 1994, 16 (3): 72-78.  
 Cao Jiaming. The Optimization Model and Its Algorithm for Adjusting Train Diagram on Single-Track Rail Lines[J]. Journal of the China Railway Society, 1994, 16(3): 72-78.  
 [6] 乔珂. 城市轨道交通网络化运营特征及列车运行调整研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.  
 [7] 任飞. 基于互联互通的城轨网络化运营列车运行计划研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2016.

\*\*\*\*\*

广告索引

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司  
 上海锦申铁道科技有限公司

封面  
 封三

# 中低速磁浮BTM设备电磁干扰分析及优化

罗凌峰<sup>1</sup>, 曹鹤飞<sup>2, 3</sup>

- (1. 通号(长沙)轨道交通控制技术有限公司, 长沙 410205;
2. 北京全路通信信号研究设计研集团有限公司, 北京 100070;
3. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

**摘要:** 中低速磁浮铁路电磁环境复杂, 车载BTM设备极易受到电磁干扰, 影响列车列控系统正常运行。以凤凰磁浮项目为依托, 详细收集车载BTM调试过程中发生的故障及磁浮列车各种工况下现场电磁环境测试记录, 通过对比分析, 确定电磁干扰的主要来源及耦合途径, 并针对电磁干扰传导途径, 制定一系列抑制BTM设备电磁干扰传导的措施。测试结果表明, 这些措施能够有效抑制电磁干扰在BTM设备上传导, 提高BTM设备电磁环境的适应性。为解决车载BTM设备电磁干扰提供借鉴, 也为后续中低速磁浮铁路的建设和运营积累经验。

**关键词:** 中低速磁浮; BTM设备; 电磁干扰

中图分类号: U237

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0064-06

## Analysis and Optimization of Electromagnetic Interference of Medium-low Speed Maglev BTM Equipment

Luo Lingfeng<sup>1</sup>, Cao Hefei<sup>2, 3</sup>

(1. CRSC (Changsha) Rail Transit Control Technology Co., Ltd., Changsha 410205, China)

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

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

**Abstract:** The electromagnetic environment of medium-low speed maglev railway is complex, and the on-board BTM equipment is extremely vulnerable to electromagnetic interference, which affects the normal operation of train control system. Based on the Fenghuang Maglev project, this paper collectes in detail the faults occurred during the commissioning of the on-board BTM and the field electromagnetic environment test records of maglev train under various working conditions. Through comparative analysis, the main sources and coupling paths of electromagnetic interference are determined, and a series of measures to suppress the electromagnetic interference conduction of BTM equipment are formulated according to the electromagnetic interference conduction path. The test

收稿日期: 2022-12-02; 修回日期: 2023-05-09

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目(2300-K1200053); 凤凰磁浮工程项目(2300-G3200294.01)

第一作者: 罗凌峰(1990—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信信息, 邮箱: 304525960@qq.com。

results show that these measures can effectively restrain electromagnetic interference from conducting on BTM equipment, and improve the adaptability of BTM equipment to electromagnetic environment. The research methods adopted in this paper and the preventive measures against electromagnetic interference of BTM equipment provide a reference for solving electromagnetic interference of on-board BTM equipment, and also accumulate valuable experience for the subsequent construction and operation of medium-low speed maglev railway.

**Keywords:** medium-low speed maglev transit; BTM equipment; EMI

## 1 概述

车载应答器传输模块 (BTM) 设备是车载列车自动防护 (ATP) 系统的关键设备, 其基于电磁耦合原理, 用于在特定地点接收地面应答器信息, 实现车地之间的数据传输以及列车位置定位。电磁干扰极易影响 BTM 设备对应答器信息的接收, 从而导致 ATP 系统发生故障, 引发车辆紧急制动, 给乘客乘车体验及线路运营安全带来极大的挑战。而在中低速磁浮铁路中, 列车处在的电磁环境比一般轮轨交通系统的电磁环境更为复杂<sup>[1]</sup>, 更加易于对 BTM 设备造成干扰。因此, 研究中低速磁浮列车对 BTM 设备电磁干扰情况以及如何降低电磁干扰对 BTM 设备影响十分重要。

目前, 国内外对于 BTM 设备受电磁干扰影响以及如何防护的研究主要集中在轮轨系统。文献 [2] 设计并应用了新型抗干扰 D 电缆、阻断应答器天线与车体共模传导途径、安装 CAU 天线定向干扰屏蔽装置等电磁防护方案。文献 [3] 列举了不同型号动车组 BTM 干扰案例及排查方法。文献 [4] 分析了轮轨车辆 BTM 电磁干扰的敏感源、干扰源及耦合途径, 并从抑制干扰源角度和切断耦合路径角度给出 BTM 干扰抑制方案。文献 [5] 通过相关案例分析动车组 BTM 电磁干扰来源并提出了电磁干扰预防措施。文献 [6] 通过仿真建模着重研究 3 种典型脉冲干扰对车载 BTM 天线的电磁干扰。文献 [7] 针对车辆接地线与钢轨之间形成的回路影响车载天线问题, 开展了 BTM 天线受扰仿真预测模型研究。文献 [8] 对中低速磁浮信号系统车-地通信干扰进行研究。

本文基于凤凰磁浮项目列车调试过程中发生

BTM 设备故障情况, 通过对不同工况下磁浮列车的电磁环境测试, 研究中低速磁浮列车对 BTM 设备电磁干扰的影响, 确定磁浮列车电磁干扰的来源及耦合途径。同时, 根据分析出的结果, 通过采用抑制 BTM 设备电磁干扰的耦合途径等措施, 有效抑制磁浮列车 BTM 设备电磁干扰传导, 提高 BTM 设备电磁环境的适应性, 保证磁浮列车列控系统的安全稳定运行。

## 2 BTM工作原理介绍

车载 BTM 系统由 BTM 天线、BTM 主机以及连接天线与主机的 D 电缆构成。磁浮列车在运行过程中, 通过 BTM 天线不断的向车地发送 27.095 MHz 的无线射频。当列车经过地面无源应答器时, 应答器接收到射频信息后被激活, 并向外发送中心频率为 4.23 MHz 的 FSK 调制信号。BTM 天线接收到应答器发出的调制信号后, 信号通过 D 电缆传输到车厢内部 BTM 主机上, BTM 主机随后将接收到的信号进行调制解码并传送给车载 ATP 系统, 用以计算目标-距离模式曲线。车载 BTM 工作原理如图 1 所示。

## 3 故障描述

2021 年 8 月, 凤凰磁浮首列车在株洲电力机车有限公司厂内进行应答器接收测试过程中, 出现报文丢失情况, 导致 ATP 故障。经查询应答器记录板数据发现, 报文质量仅为 0.05, 如图 2 所示。因为该系统已在高铁、地铁等轨道交通项目中大量使用, 从未发生过如此低的报文质量问题。开始, 项目组怀疑是 BTM 设备的软硬件存在故障导致出现

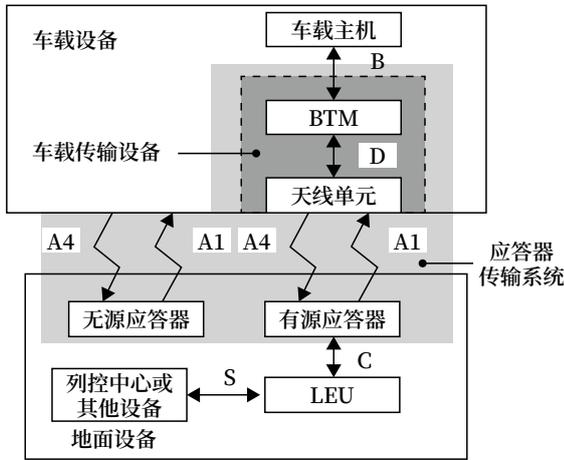


图1 车载BTM工作原理  
Fig.1 Operating principle of onboard BTM equipment

应答器编号	速度/(km/h)	上升沿时间/μs	作用时间/ms	作用距离/mm	有效距离/mm	报文总位数	解码位数	报文质量
0-0-35-128-1	0.00	00085A1A	105	0	0	50196	2605	0.05
0-0-0-0-1	0.00	0009BD5C	79	0	0	44452	0	0.00
0-1-5-128-1	0.00	0009BF7B	87	0	0	43652	1161	0.03
0-0-35-128-1	0.00	00027365	156	0	0	67877	1142	0.02
0-0-37-128-1	0.00	00036E7E	110	0	0	50518	1527	0.03
0-1-5-128-1	0.00	0003716C	118	0	0	44418	2329	0.05

图2 应答器报文质量  
Fig.2 Balise telegram quality

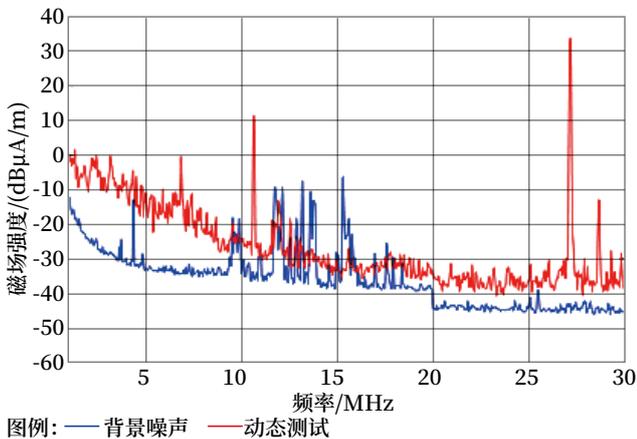


图3 静动态车底电磁辐射干扰频谱对比  
Fig.3 Comparison of static and dynamic electromagnetic radiation interference spectrum under vehicle

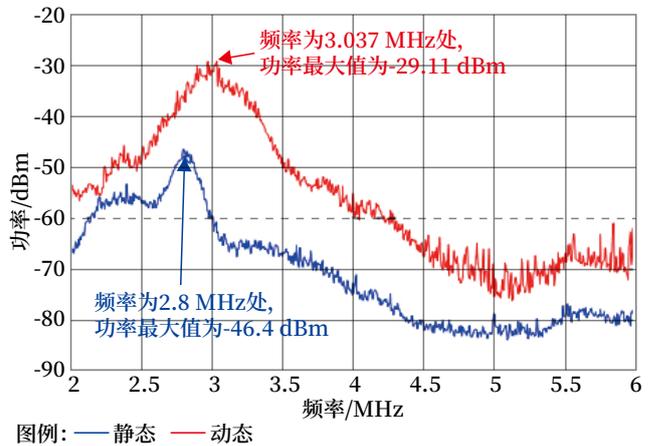


图4 静动态BTM差模干扰频谱对比  
Fig.4 Comparison of static and dynamic BTM differential mode interference spectrum

此类现象，但是在对 BTM 单元软硬件进行检测后，未发现设备故障。根据项目组进一步研究，确定是因为磁浮列车周边存在严重的电磁干扰，导致 BTM 设备无法接收应答器发送的报文。

#### 4 BTM设备电磁干扰验证分析

为找出 BTM 设备电磁干扰源及干扰耦合途径，项目组分别在不同的工况下，对磁浮列车底部电磁环境和 D 电缆差模干扰情况进行测试。测试方案如下。

1) 使用频谱分析仪和自制天线，在磁浮列车静止时和运行时分别对列车底部的电磁环境进行测试，测试结果如图 3 所示。

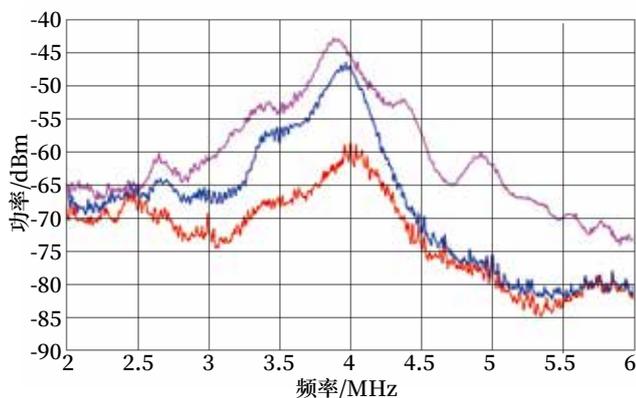
2) 在列车内部，将 D 电缆的 BTM 端与频谱仪直连，测试磁浮列车静止时和运行时 BTM 主机末端的 D 电缆差模干扰情况，测试结果如图 4 所示。

3) 在磁浮列车处于落浮、起浮及牵引运行等不同状态时，测试 D 电缆差模干扰情况，测试结果如

图 5 所示。

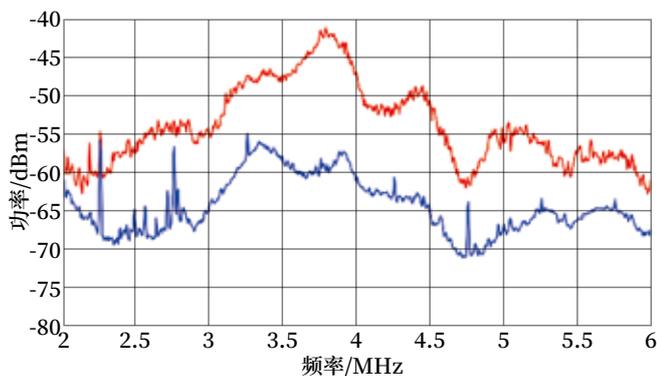
4) 在 BTM 天线与磁浮列车车体接地及不接地状态下，测试 D 电缆差模干扰情况，测试结果如图 6 所示。

通过对各种工况下电磁环境测试结果分析可以



图例: —落浮 —起浮 —牵引运行

图5 不同工况下BTM差模干扰频谱  
Fig.5 Differential mode interference spectrum of BTM under different working conditions



图例: —接地 —不接地

图6 不同接地下BTM差模干扰频谱  
Fig.6 Differential mode interference spectrum of BTM under different grounding conditions

得出以下结果。

1) 通过图 1 数据可以看出, 磁浮车辆底部存在宽频带的电磁干扰, 其中在 BTM 工作的 2 ~ 6 MHz 工作频带内存在较强的电磁辐射干扰。

2) 通过图 2 数据可以看出, 磁浮列车在静态状态和运行状态下, BTM 主机末端 D 电缆在 2.5 ~ 6 MHz 频段内的差模干扰峰值分别为 -46.6 dBm 和 -29.11 dBm, 同时磁浮列车运行时, 所产生的差模干扰比列车在静待状态下显著提高。根据《应答器传输系统技术规范》(Q/CR 716-2019), BTM 在 2.5 ~ 6 MHz 频段内应承受峰值不超过 -60 dBm 的环境噪声。但测试结果表明, 磁浮列车底部存在严重的电磁干扰, 尤其在列车动态运行时,

BTM 天线 D 电缆末端会接收到高达 -29.11 dBm 的干扰, 远超干扰的标准限值, 极有可能导致 BTM 无法正常工作。

3) 通过图 3 数据对比可以看出, D 电缆在列车运行状态下的差模干扰最大, 其次是列车起浮状态, 最低是列车落浮状态。而这 3 种状态下, 磁浮列车分别启用了牵引逆变系统、悬浮逆变系统, 从而可以判断出磁浮列车电磁干扰源主要是由列车牵引系统和悬浮系统所引起。

4) 通过图 4 数据对比可以看出, BTM 天线在与车体接地与不接地状态下 D 电缆差模干扰的情况。当天线与磁浮列车接地状态下, D 电缆末端所接收到的差模干扰明显增加。由此, 可以判断出, 电磁干扰的主要耦合途径是通过磁浮列车车体、BTM 天线、D 电缆等传导到 BTM 主机上。

## 5 干扰抑制措施

通过上述电磁环境测试分析, 初步得出主要的干扰源是由磁浮列车牵引系统和悬浮运行时产生, 干扰耦合途径主要是通过与磁浮列车车体连接的 BTM 天线、D 电缆传导过来的。而根据现行《轨道交通 电磁兼容》(GB/T 24338.4-2018) 第 3-2 部分: 机车车辆设备, 车载电气设备的辐射发射规定最低频率为 30 MHz, 对 BTM 设备通信所用的 4.23 MHz 不做测试。另外该标准在对电气设备“电源线上的传导干扰”测试中也仅对电源线 L、N 进行测试, 而对接地线不做测试。在磁浮列车的牵引系统和悬浮系统各项电磁兼容指标都符合国家规范标准的情况下, 对作为干扰源的磁浮列车牵引系统和悬浮系统进行优化改进较为困难, 而从传导路径进行优化相对难度较低。项目组计划从电磁干扰的耦合途径着手, 以抑制磁浮车辆产生的电磁噪声对 BTM 设备的影响。针对磁浮列车的传导耦合干扰, 项目组采取了以下措施。

1) 在 BTM 天线与安装架之间增加绝缘减震垫, 使 BTM 天线与车体绝缘。安装示意如图 7 所示。

2) 采用特制的双屏蔽层结构电缆替换原有的 D

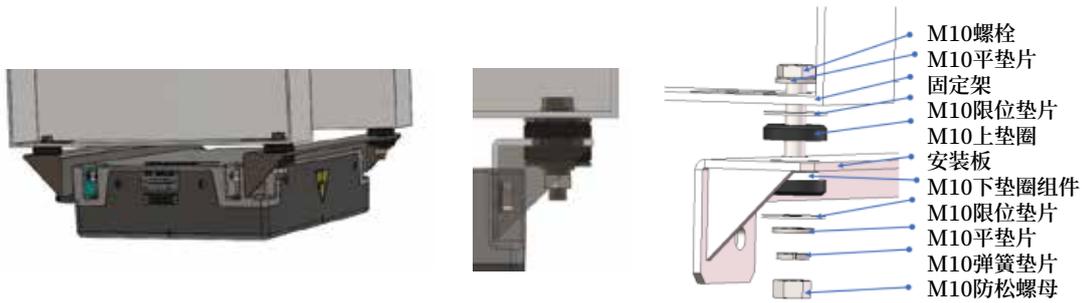


图7 绝缘减震垫安装示意  
Fig.7 Installation diagram of insulating damping pad

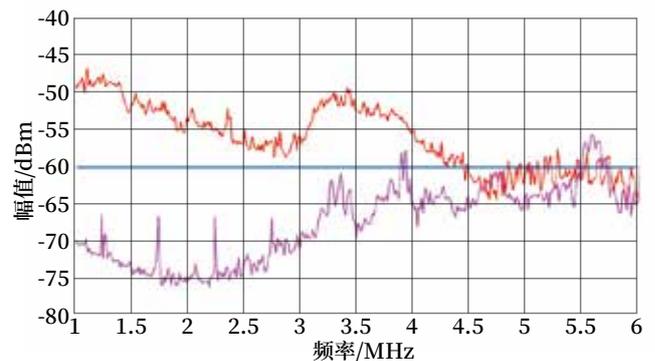
电缆。

3) 对磁浮列车底部 MC1 端和 MC2 端的 D 电缆布线方式进行优化, 包括增大 D 电缆与列车底部 1 500 V 直流供电线、悬浮系统供电线的间距, 减小 D 电缆与其他电源线平行走线的距离。

4) 在 BTM 的拉手线上增加 2 个磁环滤波器用以滤除干扰信号。

经过增加上述电磁防护措施, 项目组对优化后的 D 电缆末端差模干扰频谱重新进行测试, 并对比分析了防护前和防护后干扰频谱情况。测试结果如图 8 所示, 可以看出在采取电磁防护措施后, D 电缆末端在 2.5 ~ 6 MHz 频段内接收到的差模同频干扰降低了 20 dB 左右。同时查询应答器记录板数据, 发现报文质量从原有的 0.05 提升到 0.95 左右,

如图 9 所示, 报文质量有显著提升。证明以上防护措施能有效抑制磁浮列车牵引系统和悬浮系统所带来的电磁干扰。



图例: — 未加防护 — 增加绝缘减震垫并更换D电缆

图8 增加防护措施后BTM差模干扰信号频谱对比  
Fig.8 Comparison of BTM differential mode interference spectrum after adding protective measures

应答器编号	速度/(km/h)	上升沿时间/μs	作用时间/ms	作用距离/mm	有效距离/mm	报文总位数	解码位数	报文质量
0-1-33-6-1	2341.06	00153002	102	699	699	56197	56197	1.00
0 1 1 18 1	2337.48	00150600	87	699	699	49774	49347	0.99
0 1 1 10 1	2336.98	0015e804	86	699	699	49236	49202	1.00
0-1-1-24-1	1179.61	001694LD	75	699	699	41670	40836	0.98
0-1-33-6-1	2327.51	001737C7	58	699	699	33681	33094	0.98
0 1 33 8 1	35.50	001878AR	53	527	527	30217	30216	1.00
0-1-1-24-1	42.84	0018DCV7	45	542	542	25720	25719	1.00
0 1 17 10 1	41.40	001C42RC	42	490	490	24055	24055	1.00
0 1 1 18 1	42.12	001C4B39	43	505	504	24411	24340	1.00
0-1-33-6-1	36.00	001C7D17	52	520	497	28078	28081	0.97
0-1-1-16-1	36.48	001C0037	47	520	520	27488	27487	1.00
0 1 1 14 1	39.60	001D2FF5	48	530	530	27223	27223	1.00
0-1-1-12-1	34.85	001DA8E1	54	529	524	30887	30597	0.99
0-1-1-10-1	34.20	001E1033	55	522	505	30075	30047	0.97
0 1 17 6 1	34.42	001F17D5	53	514	514	30388	30387	1.00

图9 增加防护措施后应答器报文质量  
Fig.9 Balise telegram after adding protective measures

## 6 结束语

本文通过对不同工况下磁浮列车底部及 BTM 单元 D 电缆末端电磁环境进行测试, 对比分析了中低速磁浮列车 BTM 电磁干扰的干扰源及干扰耦合途径, 证实中低速磁浮列车的牵引系统及悬浮系统是对 BTM 设备产生电磁干扰的主要来源, 判断出 BTM 设备电磁干扰的耦合途径是通过磁浮列车车体、BTM 天线、D 电缆等传导到 BTM 主机上的。同时, 本文针对 BTM 设备电磁干扰的耦合途径, 采取了一系列抑制电磁干扰传导的措施。测试结果表明, 这些措施能够有效抑制干扰传导, 极大地提高了 BTM 设备接收应答器报文质量, 大幅降低了因车载 ATP 系统定位丢失而导致磁浮列车紧急制动等故障率, 为保障凤凰磁浮项目安全平稳运行起到了重要作用。

### 参考文献

- [1] 李天石, 龚孟荣, 黄辉, 等. 中低速磁浮与轨道交通系统电磁环境影响差异性分析 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57(2): 53-57.  
Li Tianshi, Gong Mengrong, Huang Hui, et al. Difference Analysis of Electromagnetic Environment Effects between Wheel-Rail Transit and High-Speed Surface Transport[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(2): 53-57.
- [2] 李智宇. 轨旁列控设备电磁干扰及防护研究 [D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2022.
- [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] 杨天砚, 刘松林, 支永健, 等. 车载应答器传输模块电磁干扰研究 [J]. 控制与信息技术, 2020(6): 95-99.  
Yang Tianfan, Liu Songlin, Zhi Yongjian, et al. Research on Electromagnetic Compatibility of Onboard Balise Transmission Module[J]. Control and Information Technology, 2020(6): 95-99.
- [5] 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.
- [6] 宋微, 林凯, 黄植卓. 车载 BTM 天线电磁干扰耦合规律研究 [J]. 电气化铁道, 2022, 33(3): 91-96.  
Song Wei, Lin Kai, Huang Zhizhuo. Study on On-Board BTM Antenna Electromagnetic Coupling Regularities[J]. Electric Railway, 2022, 33(3): 91-96.
- [7] 袁忠康, 张健穹, 曹巍楠, 等. 加装金属屏蔽板抑制车载 BTM 天线受扰研究 [J]. 电工材料, 2023(2): 1-3.  
Yuan Zhongkang, Zhang Jianqiong, Cao Weinan, et al. Research on Suppressing the Interference of Vehicle BTM Antenna by Installing Metal Shielding Plate[J]. Electrical Engineering Materials, 2023(2): 1-3.
- [8] 刘宁宁, 蔡晓蕾, 郝明雷, 等. 中低速磁浮交通信号系统车地通信电磁抗干扰研究 [J]. 铁路计算机应用, 2022, 31(2): 12-16.  
Liu Ningning, Cai Xiaolei, Hao Minglei, et al. Research on Electromagnetic Anti-Jamming of Train to Wayside Communication in Medium and Low Speed Maglev Traffic Signal System[J]. Railway Computer Application, 2022, 31(2): 12-16.

## 双速度传感器冗余策略研究

江 坤, 杨迪飞

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 提出一种双速列车冗余测速测距方法, 并包含相对应的装置、电子设备及存储介质。首先获取速度传感器 1 以及速度传感器 2 在当前时刻的脉冲测量数据, 确定累积脉冲误差; 然后基于所述速度传感器 2 在当前时刻的脉冲测量数据、所述累积脉冲误差, 以及瞬时脉冲误差, 对所述速度传感器 1 在当前时刻的脉冲测量数据进行修正; 最后通过双速度传感器互相修正的结果, 确定列车在当前时刻的行驶距离和行驶速度。解决单个速度传感器产生故障时测量不准的问题, 并且保证速度传感器从故障中恢复时距离输出值不发生跳变, 提高列车速度测量和距离测量的准确性。

**关键词:** 冗余; 测速测距; 双速度传感器

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0070-05

### Research on Redundancy Strategy of Dual Speed Sensors

Jiang Kun, Yang Difei

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

**Abstract:** This paper proposes a redundant speed-distance measurement method for dual-speed-sensors trains, and the corresponding devices, electronic equipment and storage media are included. This method first obtains the pulse measurement data of odometer 1 and odometer 2 at the current moment to determine the cumulative pulse error; Then based on the pulse measurement data of odometer 2 at the current moment, the cumulative pulse error, and the instantaneous pulse error, the pulse measurement data of odometer 1 at the current moment is corrected; Finally, through the results of mutual correction of the two sensors, the distance and speed of the train at the current moment are determined. The method provided in this paper solves the problem of inaccurate measurement when a single speed sensor fails, and ensures that the distance output value of the speed sensor does not jump when it recovers from the fault, which improves the accuracy of train speed measurement and distance measurement.

**Keywords:** redundancy; speed-distance measurement; dual-speed-sensors

收稿日期: 2022-06-30; 修回日期: 2023-07-12

基金项目: 通号城市轨道交通技术有限公司科研项目 (5100-K1220004)

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

## 1 概述

列车控制系统是城市轨道交通保障行车安全、提高运输效率和运营管理水平的重要设备，其中测速测距系统是其关键组成部分之一<sup>[1]</sup>，主要功能是向列车控制系统提供准确的、具有时效性的速度和位移信息。测速测距系统在保证列车行车安全并提高列车运行效率上起着至关重要的作用<sup>[2]</sup>。

脉冲轮轴速度传感器技术的发展已经比较成熟，便于在实际应用中实现，具有获取速度和距离信息的精度高、数字化并且造价低的优点，近年来得到广泛应用<sup>[3]</sup>。但是由于脉冲轮轴速度传感器安装在列车车轮上，因此当车轮发生空转或者打滑时，单独靠单一的脉冲轮轴速度传感器很容易发生测速测距误差<sup>[4]</sup>；而若再安装一个雷达传感器，尽管雷达传感器不存在空转或者打滑的问题，但是将会大大提高测速测距装置的成本<sup>[5]</sup>；或者选择两个传感器即一个主传感器和一个辅传感器，当主传感器正常工作时选择主传感器，主传感器异常时选择辅传感器的测量值作为输出，这种方法会因为传感器之间存在测距累计误差，主传感器在正常工作到空转打滑切换时，产生距离跳变或回缩，影响输出距离的准确性。

## 2 设计与实现

本文设计一种双速传列车冗余测速测距方法，系统由双测速测距设备组成，置于列车首尾可以相互通信<sup>[6]</sup>，并且列车首尾两端速度传感器测量信息通过所述通信装置在两个测速测距系统间共享<sup>[7]</sup>。

当车辆正常行驶时，速度传感器1以及速度传感器2记录当前时刻的脉冲测量数据的差值，确定当前累积的脉冲误差，作为“正常状态时误差参考值”，并进行记录。此时输出的最终路程值为速度传感器1以及速度传感器2所测距离的加权平均值，速度值为速度传感器1以及速度传感器2中速度较大的一个。

当某一速度传感器发生空转打滑时，通过正常状态时误差参考值对未空转的测速单元进行补偿，以保证距离的输出值不发生跳变，并再次记录当

前产生的误差值，作为“空转打滑状态时误差参考值”。此时输出的最终路程值为正常速度传感器的输出值的补偿值，速度值为正常速度传感器的输出值，由于距离的输出值使用“正常状态时误差参考值”对速度传感器进行补偿，因此距离值相比于空转打滑前依然不发生跳变。

当发生空转打滑的速度传感器从异常状态回到正常状态时，再使用“空转打滑状态时误差参考值”以及“正常状态时误差参考值”对该速度传感器进行补偿，此时输出的最终路程值为速度传感器1以及速度传感器2所测距离的加权平均值，速度值为速度传感器1以及速度传感器2中速度较大的一个。

本文的方法可以用列车在当前时刻的行驶距离和行驶速度解决单个速度传感器产生故障时测量不准的问题，并且速度传感器从故障中恢复时距离输出值不发生跳变，提高了列车速度测量和距离测量的准确性<sup>[8]</sup>。

### 2.1 单传感器距离、速度有效性自检

双速传系统的本质是两个速度传感器独立工作又相互协调的有机整体，因此做好单个速度传感器的信号处理是双速传系统的基础。

单传感器对采集的信号三相脉冲进行处理。第一传感器和第二传感器都需要各自计算其三项距离脉冲信号和速度信号的平均值，并得到最大的距离差值和速度差值。若任一距离差值或速度差值大于最大阈值，则置位故障状态；若距离差值和速度差值最大值均低于阈值，则认为数据有效，并将轮轴速度、距离信息进行保存。

### 2.2 单传感器空转打滑检测

根据单传感器距离、速度有效性自检，得到正确的距离、速度信息后，传感器可以独立判定自身是否发生空转打滑。通过判定单位时间速度的变化，计算得到当前传感器的加速度（减速度）值，当加速度值超过阈值，则判定车辆空转；当减速度值大于阈值，则判定车辆打滑。

### 2.3 双传感器空转打滑的补偿方法

明确单个传感器的空转打滑判定原理后，进一步讨论对于冗余设置的双速度传感器的补偿机理。

对于双速度传感器来说，其工作状态包括两个速度传感器均正常工作、两个速度传感器均发生故障，以及其中一个速度传感器发生故障而另一个速度传感器正常工作。

一般情况下，两个单元均正常工作，此时，输出的距离为两个传感器距离的平均值，输出的速度为两个传感器速度较大者。当两个速度传感器均发生故障时，此时应该对列车进行紧急制动。这两种工作方式均不存在空转打滑补偿的情况，因此本文主要讨论一个速度传感器发生故障而另一个速度传感器正常工作时双传感器的补偿方法。为了便于描述，本文实例中采用速度传感器 1 和速度传感器 2 进行描述，并假设速度传感器 2 发生故障，速度传感器 1 正常工作。

由于正常行驶时实际输出距离为速度传感器 1 与速度传感器 2 的平均值，若下一时刻速度传感器 2 发生空转或打滑，直接由平均值切换到速度传感器 1 时，输出距离存在跳变。为了避免此时产生的跳变，在两个传感器均正常工作时，记录速度传感器 1 减去速度传感器 2 的距离差值，这里记为“正常差值”，设第  $i$  个时刻速度传感器 1 正常，其脉冲测量数据为  $A_i$ ，速度传感器 2 同样正常的脉冲测量数据为  $B_i$ ，则此时“正常差值”可以记为  $C = A_i - B_i$ 。当下一时刻第二测速单元发生空转打滑后，基于速度传感器 1 在当前时刻的脉冲测量数据，以及速度传感器 2 在当前时刻的脉冲测量数据，确定“累积差值”，设第  $i + 1$  个时刻速度传感器 1 正常，其脉冲测量数据为  $A_{i+1}$ ，速度传感器 2 发生空转打滑的脉冲测量数据为  $B_{i+1}$ ，则此时“累积差值”可以设  $D = A_{i+1} - B_{i+1}$ 。

在车辆空转或者打滑的第一时刻，使用“正常差值” $C$  对速度传感器 1 在当前时刻的脉冲测量数据进行修正。

$$A^* = A_i - C/2 \quad (1)$$

当速度传感器 1 在当前时刻的脉冲测量数据得到修正后，可以认为该脉冲测量数据是可靠的。此时，可以根据修正后的速度传感器 1 在当前时刻的

脉冲测量数据，确定列车在当前时刻的行驶距离和行驶速度。

当速度传感器 2 测量连续 8 个周期减速度或减速度小于阈值，则认为速度传感器 2 从发生的预设故障中恢复。此时利用实时累计的“累计误差” $D$ 、“正常差值” $C$ ，以及第一传感器测距值  $A$ 、第二传感器测距值  $B$ ，得到恢复正常时第二传感器的补偿后实际距离：

$$B^* = B_i - D + C/2 \quad (2)$$

### 3 仿真验证

为了验证所设计的双速传补偿方式的仿真效果，设计如下 3 种工况对所设计方法进行验证。

1) 列车以  $0.5 \text{ m/s}^2$  加速 3 s，然后匀速行驶 2 s，最后以  $-1 \text{ m/s}^2$  减速到停车，如图 1、2 所示。

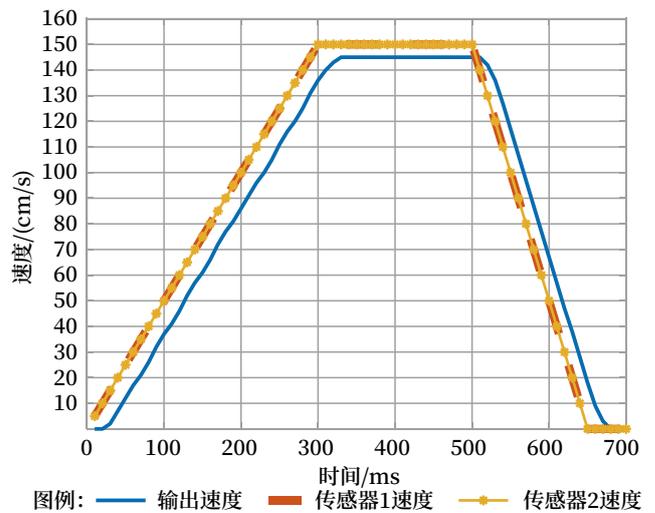
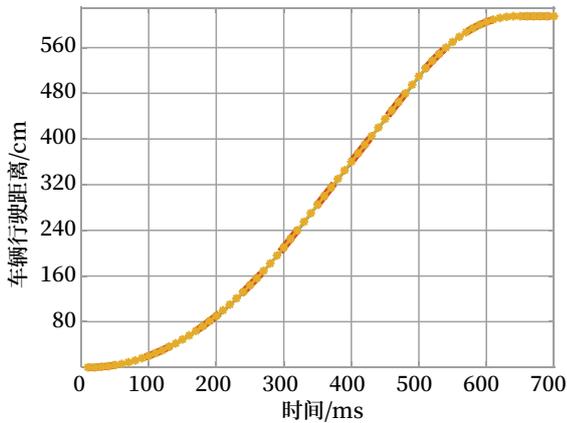


图1 工况1速度变化示意  
Fig.1 Schematic diagram of speed change in working condition 1

从图 1、2 中可以看到，最终输出速度和传感器输入速度有微小差别，这是因为原始速度通过采集单位时间脉冲信号获取，再将单位时间脉冲信号在代码中通过脉冲信号和速度的映射关系转化为速度，该过程有数据的取整失真以及速度滤波，导致了些许偏差，对数据分析无影响。从图中可以看出，当车辆正常加速、匀速以及减速行驶时，算法可以正常反应车辆的行驶情况。

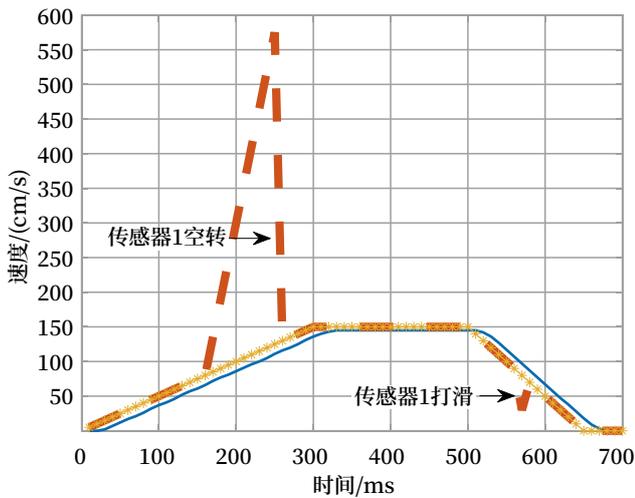


图例：— 输出距离 — 传感器1测距值 ··· 传感器2测距值

图2 工况1距离变化示意

Fig.2 Schematic diagram of distance change in working condition 1

2) 列车以  $0.5 \text{ m/s}^2$  加速 3 s, 传感器 1 加速阶段发生空转速度突升, 然后回归正常, 接着匀速行驶 2 s, 最后  $-1 \text{ m/s}^2$  减速到 0, 如图 3、4 所示。



图例：— 输出速度 — 传感器1速度 ··· 传感器2速度

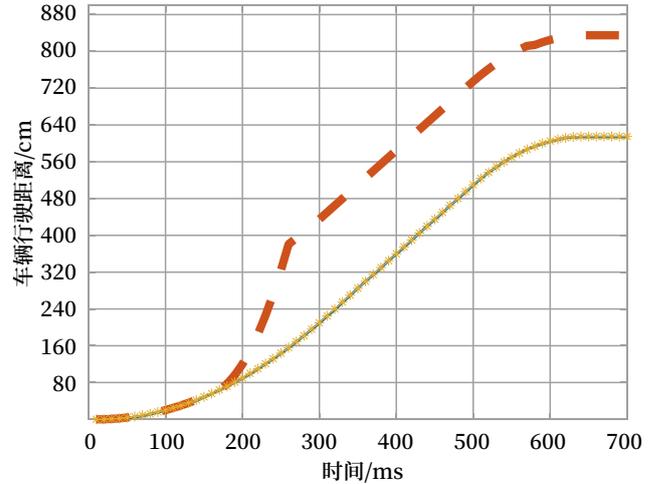
图3 工况2速度示意

Fig.3 Speed diagram of working condition 2

从图 3 中可以看出, 当车辆传感器 1 发生空转时, 车辆最终输出的速度和距离按照正常的传感器 2 的数据进行输出, 并且距离输出值未发生跳变。

3) 列车以  $0.5 \text{ m/s}^2$  加速 3 s, 传感器 2 加速阶段发生空转速度突升, 然后回归正常, 接着匀速行驶 2 s, 最后以  $-1 \text{ m/s}^2$  减速到 0, 如图 5、6 所示。

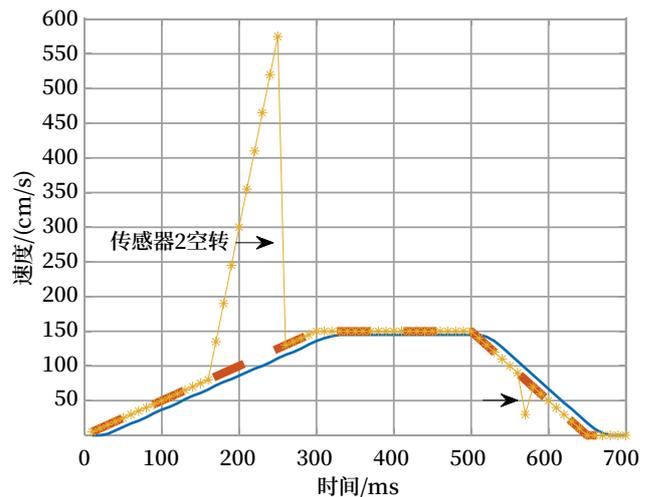
从图 5 中可以看出, 当车辆传感器 2 发生空转时, 车辆最终输出的速度和距离按照正常的传感器 1 的数据进行输出, 并且距离输出值未发生跳变。



图例：— 输出距离 — 传感器1测距值 ··· 传感器2测距值

图4 工况2距离示意

Fig.4 Distance diagram of working condition 2



图例：— 输出速度 — 传感器1速度 ··· 传感器2速度

图5 工况3速度示意

Fig.5 Speed diagram of working condition 3

综上所述实验结果, 双速度传感器冗余的补偿方法可以有效减小某一个速度传感器发生空转打滑时对整体系统造成的影响, 提高系统的安全性和可用性。

## 4 结论

对于双速度传感器系统, 本文将采集的速度传感器 1 和速度传感器 2 的速度、距离数据进行整合。首先分别计算各自的运行状态, 然后与另一个传感器的运动状态进行比较, 分析两个传感器的数据是否处于正常区间, 舍弃错误数据并保留故障前的正确数据, 最后通过得到的正确数据计算实际输

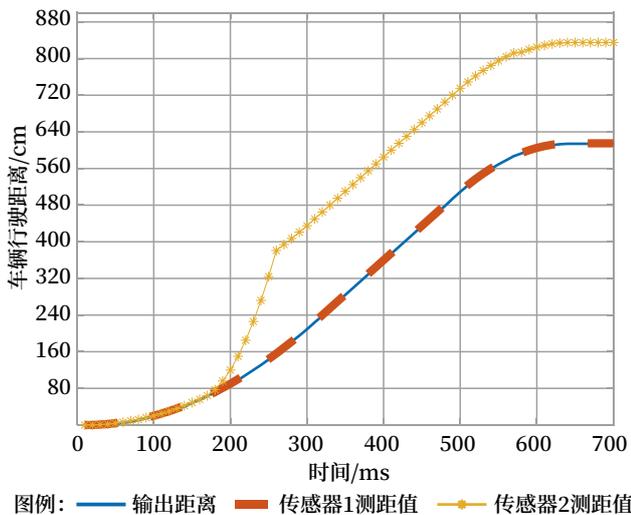


图6 工况3距离示意

Fig.6 Distance diagram of working condition 3

出速度和输出距离，避免了一个传感器发生故障但另一个传感器正常工作时，输出的车辆距离发生跳变的问题，并通过仿真验证了程序的实用性。仿真结果表明，对于双速度传感器系统至多有一个传感器发生故障的情况，本文方法可以有效地保证车辆的速度、距离信息正确可靠，具有一定的实际意义。

### 参考文献

[1] 张彬. 一种双速度传感器结合实现测速及定向的方法和实现 [J]. 电子世界, 2021 (16): 134-136.  
Zhang Bin. Method and Implementation of Speed Measurement and Orientation by Combining Dual Speed Sensors[J]. Electronics World, 2021(16): 134-136.

[2] 刘华磊. 区间信号控制的关键技术: 测速定位技术 [J]. 数字通信世界, 2015 (7): 85-86.  
Liu Hualei. The Key Technology of Interval Signal Control-Velocity Measurement and Positioning Technology[J]. Digital Communication World, 2015(7): 85-86.

[3] 杨岗, 林颖. 基于多传感器的信息融合列车定位算法研究 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (5): 42-47.  
Yang Gang, Lin Ying. Train Positioning Method

Based on Multi-Sensor Information Fusion[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(5): 42-47.

[4] 张世聪. 适用于磁浮列车的测速定位方法研究综述 [J]. 铁道标准设计, 2018, 62 (10): 186-191.  
Zhang Shicong. Research Review of Speed and Position Detection Methods Applied to Maglev Trains[J]. Railway Standard Design, 2018, 62(10): 186-191.

[5] 韩奕玮. 城市轨道交通信号系统改造中的兼容性车载信号系统方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (4): 75-78.  
Han Yiwei. Compatible On-Board Signaling System Solutions in Urban Rail Transit Signaling System Upgrading[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 75-78.

[6] 代继龙, 李晓刚, 李兆龄, 等. 新一代CBTC系统方案研究与关键技术探索 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13 (6): 41-44.  
Dai Jilong, Li Xiaogang, Li Zhaoling, et al. Research on New Generation of CBTC System and Key Techniques[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(6): 41-44.

[7] 蔡宗加. 城市轨道交通CBTC信号系统列车位置不确定性分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (S1): 72-75.  
Cai Zongjia. Train Position Uncertainty Analysis of Urban Rail Transit CBTC Signal System[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(S1): 72-75.

[8] 谭星, 张睿兴. 城轨系统中几种常用测速方法的误差与应用分析 [J]. 铁道通信信号, 2012, 48 (1): 60-63.  
Tan Xing, Zhang Ruixing. Errors Analysis of Common Speed Measurement Methods in Urban Rail Transit System and Their Application[J]. Railway Signalling & Communication, 2012, 48(1): 60-63.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.07.014

# 市域铁路调度集中系统异构融合探讨

杨 俐<sup>1</sup>, 胡光祥<sup>1</sup>, 林 强<sup>1</sup>, 罗志刚<sup>2</sup>

(1. 上海申铁投资有限公司, 上海 200003;

2. 中铁上海设计院集团有限公司, 上海 200070)

**摘要:** 为解决市域铁路调度集中系统中心和车站子系统无法完全互联互通的异构融合问题, 从调度集中系统发展历程入手, 分析现有多家设备接入同一调度中心的实施方案, 以及现有调度集中系统架构及通信协议, 提出采用统一通信规程或接口两种解决异构融合的方案。提出的方案可有效的避免受单一厂家的产品制约及节约建设成本, 实现调度台管辖范围的灵活调整。

**关键词:** 市域铁路; 调度集中; 异构融合

中图分类号: U239.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0075-05

## Discussion on Heterogeneous Integration in Centralized Traffic Control System for Suburban Railway

Yang Li<sup>1</sup>, Hu Guangxiang<sup>1</sup>, Lin Qiang<sup>1</sup>, Luo Zhigang<sup>2</sup>

(1. Shanghai Shen-tie Investment Co., Ltd., Shanghai 200003, China)

(2. China Railway Shanghai Design Institute Group Corporation Limited, Shanghai 200070, China)

**Abstract:** In order to solve the heterogeneous integration problem that the central and station subsystems of the centralized traffic control system of suburban railway cannot be fully interconnected, starting from the development history of centralized traffic control system, the implementation scheme of multiple existing equipment accessing the same dispatching center, as well as the existing Centralized traffic control architecture and communication protocol are analyzed, Propose two solutions for heterogeneous integration using unified communication protocols or interfaces. The proposed solution in this article can effectively avoid being constrained by the products of a single manufacturer and save construction costs, achieving flexible adjustment of the jurisdiction of the dispatch station.

**Keywords:** suburban railway; centralized traffic control; heterogeneous integration

收稿日期: 2023-03-20; 修回日期: 2023-07-12

基金项目: 上海申铁投资有限公司科研课题项目 (SHST-2022-JSB-250)

第一作者: 杨俐 (1981—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 市域铁路信号系统, 邮箱: 1306824611@qq.com.

上海市域铁路规划注重交通通道功能复合利用和设施资源共享, 信号选用 CTCS-2+ATO 列车运行控制系统, 列车运行调度指挥子系统采用调度集中系统 (CTC)。CTC 分为调度中心和车站两级架

构，调度中心包括核心子系统、调度台子系统、接口子系统以及查询、运维、仿真测试相关辅助子系统，其中核心子系统、接口子系统、相关辅助子系统构成调度集中系统中心基础平台；各车站设置车站子系统。

上海市域铁路调度中心规划接入 12 条新建线路，设 6 个行车调度台负责市域铁路全网的列车运行指挥。调度中心拟设置一套 CTC 中心系统，受建设时序影响，必然会出现对车站调度区划进行调整的情况。如图 1 所示，机场联络线先于嘉闵线开通，虹桥站作为机场联络线的终点站，在其开通时由机场联络线调度台管辖；当嘉闵线开通时，虹桥站作为嘉闵线的中间站，宜纳入嘉闵线调度台管辖。机场联络线与嘉闵线采用不同 CTC 厂家设备的情况下，CTC 中心与车站设备应能互联互通，实现异构融合。

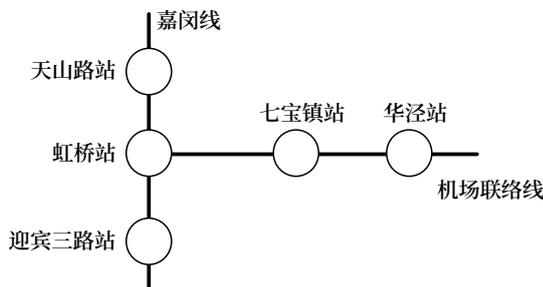


图1 机场联络线和嘉闵线接轨示意

Fig.1 Schematic diagram of connecting the Shanghai rail transit airport link line with Jiamin Line

## 1 现有案例

受历史原因影响，国铁各路局基本采用同一 CTC 设备厂家的中心和车站设备，目前没有 CTC 中心和车站采用不同厂家软件的实施案例。多家设备接入同一调度中心的实施案例介绍如下。

### 1.1 共用基础平台

该方案设置 CTC 中心共用的基础平台，包括核心网络、数据库、对外接口和辅助系统等，在共用基础平台上分别安装多家 CTC 中心软件，不同厂家中心软件之间采用局间标准接口通信方式。如北京局高铁 CTC 中心由两家设备组成，其中厂家 1 提供了共用基础平台并管辖大部分线路，厂家 2 则管辖京沪高铁、京九高铁等部分线路，厂家 1 和厂家 2 设备之间采用局间标准接口 MQ 通信方式传输信息，至今已开通运营多年。其实现的系统架构如图 2 所示。

### 1.2 自建基础平台

该方案设置多家 CTC 中心基础平台，各家 CTC 中心基础平台之间采用局间接口模式通信。如太原局普速 CTC 中心设有 2 家中心基础平台，其中厂家 1 提供 1 套 CTC 中心设备并管辖大部分线路，厂家 2 提供 1 套 CTC 中心设备并管辖迁曹线等部分线路，2 套独立 CTC 中心基础平台按照局间分界口的模式进行通信。其实现的系统架构如图 3 所示。

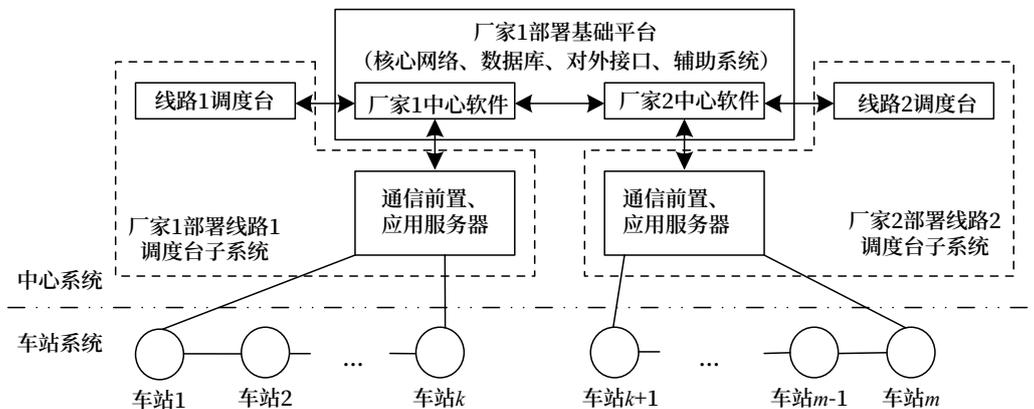


图2 共用基础平台系统架构示意

Fig.2 Schematic diagram of system architecture of common basic platform

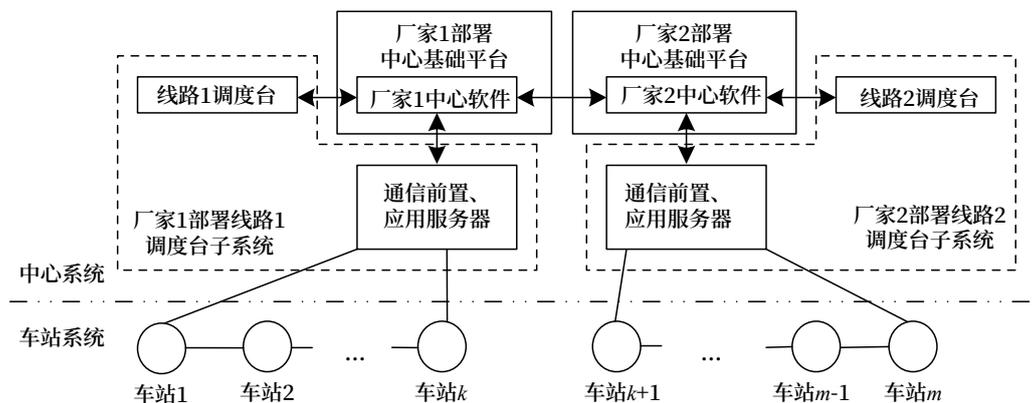


图3 自建基础平台系统架构示意

Fig.3 Schematic diagram of system architecture of self-built basic platform

总结上述技术方案，两个方案均采取了 CTC 中心多家共存的方式，CTC 车站与所在调度台的中心设备仍为同一设备厂家。即目前 CTC 仅具备部分兼容性，中心基础平台与调度台子系统具备兼容性，调度台子系统与车站子系统间不具备兼容性。在个别车站调度区划调整时，需进行硬件的改造、安装和调试工作，费用约 200 万 / 站。

## 2 原因分析

### 2.1 发展历程

国铁各铁路局列车调度指挥系统 (TDCS) /CTC 在近 20 年发展过程中，也同样存在一个中心管辖的不同线路采用不同厂家 TDCS/CTC 的需求。在国铁集团多年组织和协调下，先后经历下述过程逐步形成了目前的应用现状。

1) TDCS 数据通信规程 (运基信号 [2005] 418 号)：通过 418 号文件的制定和执行，形成了 TDCS 中心和车站互联互通的方案和应用，并以此为基础形成了铁总运 [2014]141 号的 TDCS 数据通信规程 (V3.0)。

2) CTC 数据通信规程 (运基信号 [2007] 696 号)：原铁道部颁布 696 号文件后，现场未能在中心和车站间成功实施。

3) 《关于实施调度集中 (CTC) 软件统一工作的通知》(运基信号 [2010] 738 号)：因 696 号文件未能在中心和车站间成功实施，原铁道部发布了

738 号文，要求各厂家独立采购硬件，部署卡斯柯 CTC 软件作为标准软件。

4) 后续随着各铁路局客专新调度楼的启用和 CTC 产品的发展，逐步形成了大多数铁路局基本采用一家 CTC 设备，少部分路局共用基础级硬件，调度台子系统和车站子系统设备独立配置的模式。

### 2.2 原因总结

现行标准《调度集中系统技术条件》(Q/CR 518-2016) 规定了 CTC 系统的相关功能需求及硬件配置，但未对中心与车站所有通信规程进行统一规定，其中 TDCS 层面的信息由《列车调度指挥系统通信规程》(Q/CR 444-2018) 进行统一，而其余 CTC 操作及报警信息未统一。

同时该技术标准要求中心系统和车站系统间的网络应采用双网冗余结构，现有实施方案中厂家间的设备接口采用第三方消息队列 (MQ) 中间件实现交互，该中间件无法支持双网冗余传输，故采用 MQ 中间件的通信方式，无法实现中心和车站设备异构融合。

## 3 解决方案

为实现市域铁路 CTC 调度区划分灵活调整功能，且减少建设时序对设备采购的影响，参考国铁现行标准与应用场景，本文给出调度中心仅设置一套 CTC 中心系统的情况下，不同厂家 CTC 设备之

间实现异构融合的一种解决方案。

### 3.1 统一通信规程方案

该方案不改变现有 CTC 系统架构，通过统一中心和车站通信规程实现异构融合。系统架构沿用应用服务器、通信服务器、车站自律机、车务终端分布式部署，其中应用服务器和通信服务器属于中心设备，车站自律机和车务终端属于车站设备，中心和车站相对独立。中心设备主要负责计划、调令的编辑下达，实现调度集中。车站设备负责信息的采集、车次追踪、进路自动触发等逻辑运算，实现分散自律。通信服务器负责和各个车站设备进行通信，中心和车站之间统一通信规程的具体交互信息如表 1 所示。

表1 中心与车站具体交互信息

Tab. 1 Specific interaction information between center and station

信息类型	信息流向	分析
阶段计划下达	中心→车站	采用既有 444 号通信规程
阶段计划回执	车站→中心	采用既有 444 号通信规程
调度命令下达	中心→车站	采用既有 444 号通信规程
调度命令回执	车站→中心	采用既有 444 号通信规程
表示信息	车站→中心	采用既有 444 号通信规程
车次信息	车站→中心	采用既有 444 号通信规程
列车报点	车站→中心	采用既有 444 号通信规程
进路序列信息	车站→中心	采用既有 444 号通信规程
时钟同步信息	中心→车站	采用既有 NTP 通用协议
通信状态信息	车站→中心	采用既有 444 号通信规程
阶段记事	中心→车站	采用既有 444 号通信规程
阶段记事回执	车站→中心	采用既有 444 号通信规程
限速信息	中心→车站	采用既有 444 号通信规程
GSMR 信息	中心→车站	采用既有 444 号通信规程
人工操作信息	中心→车站	需新定义协议
报警信息	车站→中心	需新定义协议

该方案人工操作信息和报警信息需要统一协议，包括中心与车站设备间传输的信息内容、数据格式、遵循的发送机制，协议首部也可采用 444 号通信规程协议格式；同时中心系统和车站设备间通信接口采用双网 TCP/IP 接口方式，取代原 MQ 中间件交互方式。该接口方式广泛应用于各厂家内部的设备间通信，如中心服务器与调度台终端间通信。通过在应用层协议中增加传输控制、冗余校验、应答反

馈等方式，保证信息传输的时序，异构融合后满足 CTC 系统相关技术标准中对中心和车站通信冗余的要求。

### 3.2 统一通信接口方案

该方案在现有 CTC 系统架构中，通过增设中心接口服务器、车站接口服务器、网络及信息安全设备，统一规范不同厂家间线路、车站、调度区段、调度台、站场设备名称和编号等静态数据通信转换，实现不同厂家间中心和车站设备信息交互。系统架构如图 4 所示。

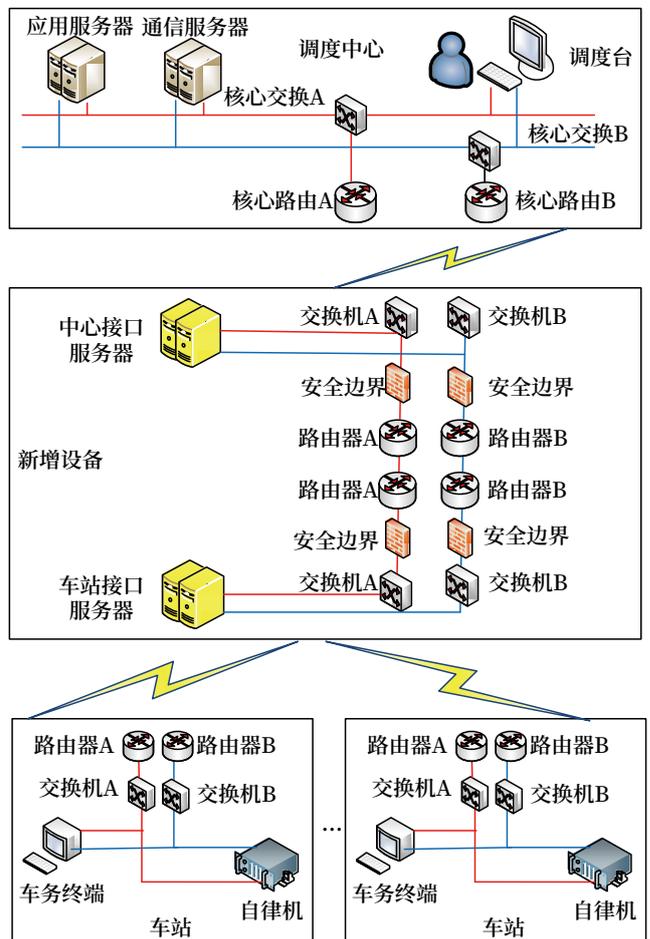


图4 统一通信接口方案系统架构示意

Fig.4 Schematic diagram of unified communication interface scheme system architecture

### 3.3 实施难易性分析

从上述 2 个方案可以看出，采用统一通信规程方案，除现有 444 号通信规程已规定的的数据外，还应对 CTC 的操作及报警等通信规程进行统一，对中

心与车站传输的静态数据进行统一, 各厂家的 CTC 系统均需按统一的数据定义、通信协议进行修改; 而采用统一通信接口方案, 需增加中间接口设备并开发适用于不同厂家的通用转换软件。两方案相比, 后者开发难度较大且额外增加设备。因此, 基于已有 444 号通信规程的基础上, 本文推荐采用规定协议互通信息的方案实现 CTC 中心和车站的异构融合。经梳理, 还需统一协议的 CTC 信息如表 2 所示。

表2 CTC新增统一信息  
Tab. 2 CTC new unified information

信息类型	说明
车次号操作、回执	车次增删改
联锁操作、回执	向联锁下达控制命令, 道岔、进路、按钮等操作
进路表操作、回执	修改触发方式、修改变更进路、修改股道、删除序列、触发进路
TCC 操作、回执	确认区间空闲、设置区间逻辑检查功能开启/关闭
非联锁操作、回执	设置分路不良、供电臂状态、无岔封锁、区间封锁
操作方式转换操作, 回执	转换自律模式下的中心操作、车站操作、车站调车操作方式
进路预告/无线调令、回执	进路预告、无线调令功能
CTC 状态信息	控制模式、操作方式状态
阶段计划下达	在 444 号协议基础上, 增加对预留字段的定义
报警信息	进路触发失败报警、断丝报警、挤岔报警等联锁报警

#### 4 结束语

上海市域铁路有路网内调度区划灵活调整的需求, 在全线网拟设置 CTC 中心系统的情况下, 首

先要求 CTC 中心具备不同线路不同型号的 CTC 车站设备的接入能力, 以减少建设时序对设备选型的影响, 其次在调度区划调整时, 能以较低的代价快速实现, 以降低调整时所需的建设成本。CTC 的异构融合可使不同厂家间的中心和车站设备互联互通, 路网内调度区划分将不受设备型号的制约, 能够实现调度台管辖范围的灵活调整, 在节约建设成本的同时助力市域铁路列车运行调度指挥的高效运行。本文给出了 CTC 中心和车站异构融合的两种方案, 为 CTC 异构融合的实现提供参考。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国铁道部. 列车调度指挥系统: TB/T 2499-2008[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [2] 中国铁路总公司. 列车调度指挥系统(TDCS)数据通信规程(V3.0): 铁总运[2014]141号[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2014.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 调度集中系统技术条件: TB/T 3471-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [4] 魏小丰. 调度集中系统车次号技术的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(6): 44-49, 63.  
Wei Xiaofeng. Research on Train Number Technique for Centralized Traffic Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 44-49, 63.

#### 本期广告企业简介

### 上海锦申铁道科技有限公司



锦申科技  
JINSH TECH

铁路数字孪生



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

电话: 021-65012136 (详见封三)

# 基于Wireshark的 铁路信号协议解析器的设计与实现

董渠江<sup>1</sup>, 陆志伟<sup>1</sup>, 曾庆文<sup>2</sup>, 刘 晨<sup>1</sup>

(1. 卡斯柯信号(成都)有限公司, 成都 610083;

2. 卡斯柯信号有限公司, 上海 200071)

**摘要:** Wireshark 在网络包捕获以及协议解析方面有着广泛的应用, 在分析 RSSP-I 协议以及 TCC 外部接口应用数据的基础上, 基于 Wireshark 采用 Lua 脚本语言实现一种可配置的接口协议启发式解析插件, 能对 RSSP-I、RSSP-II 等多种协议以及多种接口应用数据进行同时解析。测试结果表明该解析器具备较好的可扩展性和易用性, 对联锁、列控工程设计人员具备较大的实用价值。

**关键词:** Wireshark; Lua 脚本; RSSP; 协议自适应解析器

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0080-07

## Design and Implementation of Rail Signal Interface Protocol Parser Based on Wireshark

Dong Qujiang<sup>1</sup>, Lu Zhiwei<sup>1</sup>, Zeng Qingwen<sup>2</sup>, Liu Chen<sup>1</sup>

(1. CASCO Signal (Chengdu) Ltd., Chengdu 610083, China)

2. CASCO Signal Ltd., Shanghai 200071, China)

**Abstract:** Wireshark has been widely used in network packet capture and protocol parse. Based on the analysis of the RSSP-I protocol and TCC external interface application data, this paper uses the Lua scripts to implement a configurable interface protocol heuristic parser based on Wireshark. It can be used to parse many protocols synchronously, including RSSP-I and RSSP-II, as well as several interface application data. The test result shows that the parser has good scalability and usability, and it is useful for engineering designers of interlocking and train control systems.

**Keywords:** wireshark; lua scripts; RSSP; heuristic protocol parser

目前, 列控中心 (Train Control Center, TCC)、联锁系统 (Computer Based Interlocking, CBI) 与外部接口之间多采用铁路信号安全协议 (Railway Signal Safety Protocol-I, RSSP-I) 进行通信, 在遇到故障时, 由于外部接口众多, 如何

收稿日期: 2022-02-21; 修回日期: 2023-05-11

基金项目: 卡斯柯信号有限公司科研项目 (RA. 11119002)

第一作者: 董渠江 (1994—), 男, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通列控系统仿真, 邮箱: DongQuJiang@163.com。

快速定位问题亟需解决，即需能解析私有协议的工具以提高效率。而 Wireshark 软件对私有协议解析提供了方案，曹利等人<sup>[1]</sup>通过对 Wireshark 的二次开发，实现了私有协议解析器的开发，对于私有协议解析插件开发具有一定的借鉴意义，但二次开发流程较为复杂。此外，张海斌等人<sup>[2]</sup>研究了协议解析插件的功能组成，对于 Lua 插件开发方法进行测试，表明简单高效的 Lua 插件是解析私有协议的一种方法。采用 Lua 插件对铁路信号私有协议的解析在国内已有较多研究，在国铁信号系统方面，胡鹏<sup>[3]</sup>、黄鲁江等人<sup>[4]</sup>采用 Lua 脚本语言分别实现了 TCC 与临时限速服务器 (Temporary Speed Restrict Server, TSRS)、CBI 之间的通信协议解析；在地铁信号系统方面，唐辉<sup>[5]</sup>、陈昕<sup>[6]</sup>等人对地铁信号系统进行了应用协议的解析，从而降低开发周期或提高故障定位效率。但在实际情况中，系统与外部系统之间常用一个端口进行通信，而上述文献方法无法实现端口复用情况下的多种协议或数据的同时解析，因此对于启发式协议解析插件的研究具有一定的实用价值。

## 1 基于RSSP-I的外部接口分析

### 1.1 通信系统结构

CBI 与外部系统之间的通信协议主要采用 RSSP-I 或 RSSP-II 协议、TCC 与外部接口间多采用 RSSP-I 协议。本文以 RSSP-I 协议为例进行分析，文献 [7] 固定了该协议的安全通信系统总体结构，该结构重点对 RSSP-I 安全协议机制的安全功能模块 (C 接口)，以及置信传输的协议数据单元 (E 接口) 的功能进行了要求。该体系结构分为 3 层，从上至下为应用层、安全层以及通信层，3 层之间的接口 (B 接口、D 接口) 由应用程序实现；而两实体之间安全相关协议数据单元接口 (C 接口) 采用 RSSP-I 安全协议机制进行实现<sup>[7]</sup>。

如图 1 所示，安全通信系统总体结构中的安全功能模块主要由 RSSP-I 协议的安全校验层实现，

该层通过对接收端的信息进行信息真实性、完整性、实时性以及有序性检查，降低了封闭传输系统所受的数据帧重复、数据帧丢失以及数据帧插入等 6 类威胁。对于网络通信，CBI 与 CBI、TCC 与 CBI、TCC 以及 TSRS 之间的通信协议分层结构均按图 1 所示的分层结构进行信息传输。

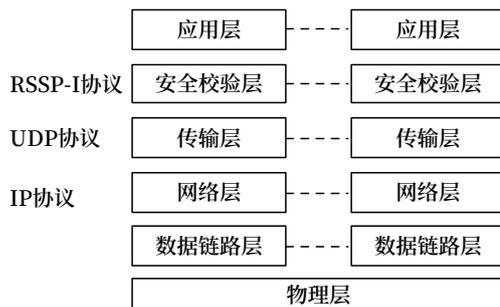


图1 网络协议分层结构

Fig.1 Hierarchical structure of network protocol

### 1.2 RSSP-I 协议

#### 1.2.1 报文结构

RSSP-I 协议的报文结构包括报文头、安全校验域、用户数据包以及报文尾。报文头定义了协议交互的类型、报文类型、以及发送方与接收方，以鉴别数据是否安全、有效，以及物理通道是否连接正常。安全校验域由序列号、安全数据长度以及安全校验通道等组成，是 RSSP-I 中主要的安全防御技术。基于报文结构中前述所有数据，报文尾 CRC 根据多项式生成。

#### 1.2.2 报文分类

RSSP-I 协议在通信交互过程中，传输 3 种报文，分别为：用于传输安全用户数据的实时安全数据 (RSD)；接收端检验到当前安全数据报文时序已超过预定的容忍范围时，需向发送的时序校正请求 (SSE)；用于回应时序校正请求的时序校正应答 (SSR)。RSD 除去固定的报文头、安全校验域以及 CRC 尾，还存在用户数据包，由于应用数据主要依靠 RSD 进行传输，且 RSD 的总长度不大于 546 Byte。因此，对于 RSSP-I 协议，应用数据解析主要体现在对 RSD 的用户数据包的解析。

### 1.3 应用数据层

根据采用 RSSP-I 协议的 CBI 以及 TCC 的外部接口规范<sup>[8]</sup>，可将 TCC 以及 CBI 与外部网口通信应用数据总结为两类：定长型应用数据与变长型应用数据。

#### 1.3.1 定长型应用数据

定长型应用数据为 CBI 与 CBI、TCC 与 TCC、CBI 之间的通信应用数据，若不满足对应的长度要求，则会补齐至规定长度。系统之间的通信应用数据长度如表 1 所示。

表1 TCC与外部接口应用数据包

Tab.1 Application messages between TCC and external interface

类型	描述	长度/Byte
TCC-TCC	TCC 发送或接收的应用数据	250
CBI → TCC	TCC 收到 CBI 发送的应用数据	450
TCC → CBI	TCC 发给 CBI 的应用数据	300
CBI-CBI	CBI 接收或发给 CBI 发来的应用数据	60

#### 1.3.2 变长型应用数据

变长型应用数据为 TCC 与 TSRS 之间的通信，由于文献 [8] 将 TCC-TSRS 之间的每个周期交互的消息拆分为若干通用应用层 (GAL)，且 TSRS、TCC 每个周期最多允许发送 1 个 GAL，而每个 GAL 信息包的总长度不得超过 200 Byte，不足 200 Byte 将按 0 补齐，又因 RSD 的用户数据包总数为 480 Byte，因此，GAL 包字节长度为 200 ~ 480 Byte。

## 2 启发式解析器的设计

启发式协议解析器总体流程设计如图 2 所示，总体包括读取配置文件、得到配置文件中 UDP/TCP 协议的组件 data 以及启发式解析器。协议启发式解析器包括 3 部分：协议检测模块、协议解析模块以及应用数据解析模块。协议检测从 UDP 或 TCP 协议解析获得其用户数据的组件，然后检测并解析 RSSP-I 协议（或其他协议），而应用数据解析模块的主要功能为基于对应应用层协议检测并解析应用层数据，有 CBI 与 CBI、TCC 与 TCC、CBI

以及 TSRS 之间的应用数据。

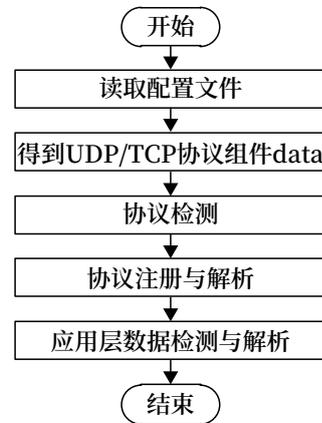


图2 启发式协议解析器总体流程设计

Fig.2 Overall process design of Heuristic Protocol Parser

### 2.1 协议检测模块

协议检测模块实现的功能主要包括：协议检测、协议注册以及调用对应协议解析器进行协议帧头的解析。

#### 2.1.1 协议检测

协议检测通过对应的检测函数实现，以 RSSP-I 协议为例。RSSP-I 协议检测通过 RSSP\_I\_Checker 函数实现，该函数逻辑为：如果应用数据的长度不满足 RSSP-I 规定的长度范围，返回 false，否则判断 UDP 应用数据是否符合 RSD 的报文头特征以及安全数据长度要求、是否符合 SSE 的报文头字段以及长度要求、是否符合 SSR 的报文头字段与长度要求，若满足其中之一，则返回 true，否则返回 false。

#### 2.1.2 注册为启发式协议

若采用常规的注册方式，一个端口只有一种协议插件会起作用，为了实现端口复用，如图 3 所示，通过 Rail\_Proto:register\_heuristic("udp", RSSP\_I\_Checker) 将 Rail\_Proto 协议以启发式方式注册到 UDP 端口，当 RSSP\_I\_Checker 函数返回 true 时，该协议就会被注册为 RSSP-I 协议，此种启发式方式注册结合应用数据解析的模块化设计，便于多种协议的解析。与此类似，RSSP\_II\_Checker 函数返回 true 时，将 RSSP-II 协议注册

至 TCP 对应端口。

### 2.1.3 调用协议解析器

Rail\_Proto.dissectoe 函数根据协议检测函数

返回值调用协议解析模块中的协议解析器对对应协议进行解析。

```

--加载应用协议解析模块
require("M_RSSP_I")
require("M_RSSP_II")
.....
--协议声明
local Rail_Proto = Proto("ALL_PROTO", "铁路信号通信协议")
--定义协议字段
proto_data = ProtoField.bytes("ALL_PROTO.proto_data", "铁路信号通信数据", base.NONE)
.....
--注册解析字段
Rail_Proto.fields = {proto_data}
--获得UDP/TCP协议解析组件
data_rssp = Dissector.get("data")
--协议解析器实现
function Rail_Proto.dissector(tvbuf, pktinfo, root)
    --根据检测函数分别调用对应的协议解析器
    .....
end
Rail_Proto.fields = {proto_data}
--RSSP-I协议检测
function RSSP_I_Checker(buf, pinfo, tree)
    .....
end
--RSSP-II协议检测
function RSSP_II_Checker(buf, pinfo, tree)
    .....
end
--FSFB/2协议等
.....
--协议注册
udp_port = DissectorTable.get("udp.port")
tcp_port = DissectorTable.get("tcp.port")
--根据配置文件将协议注册至UDP/TCP对应端口
addpoto(t)
--协议检测部分
Rail_Proto:register_heuristic("udp", Rail_Proto_Checker)
Rail_Proto:register_heuristic("tcp", Rail_Proto_Checker)

```

图3 协议检测模块

Fig.3 Protocol check module

## 2.2 协议解析模块

协议解析模块由脚本文件 M\_XXXX.lua 实现 (XXXX 为协议名), 首先通过 Dissector.get("data") 函数调用对应协议中的应用数据组件以完成准备工作, 协议解析模块部分关键脚本如图 4 所示。协议解析模块中也需要将对应的协议注册到对应协议上, 解析时的重点为协议各层帧头的解析, 如图 4 所示, 以 RSSP-I 协议为例。RSSP\_I.dissector 函数调用 RSSP\_I\_Head\_dissector 函数对 RSD、SSE 以及 SSR 3 类数据进行解析, 需要注意 RSSP-I 协议字段采用小端字节序进行传输。

除此之外, 需要对采用该协议的应用数据类型进行判断。

以上文分析的 RSSP-I 协议中的应用数据为例, 对于定长型应用数据, 主要通过 RSD 中用户数据的长度进行判断, 如表 1 所示, 该应用数据属于何种应用层协议, 而对于变长型应用数据, 通过判断 GAL 包的报文类型是否属于 0X8003, 以及 GAL 包长度是否处于 200 Byte 与 GAL 最大长度之间的条件进行判断。应用数据解析函数通过调用对应数据解析层实现, 如图 4 所示, RSSP\_I\_TCC\_TCC.dissector(buf, pkt, root) 为数据解析模块

```
--加载应用数据解析层
require("M_TCC_TCC")
.....
--协议声明
local RSSP_I = Proto("RSSP-I", "铁路信号安全协议-I")
--定义协议字段
p1_proto_interactive_type = ProtoField.uint8("RSSP-I.proto_interactive_type", "协议交互类型", base.HEX)
.....
--注册解析字段
RSSP_I.fields = {p1_proto_interactive_type, .....}
--获得UDP协议解析组件
data_rssp = Dissector.get("data")
--协议解析器实现
function RSSP_I.dissector(buf, pkt, root)
    .....
    --TCC-TCC应用数据解析
    RSSP_I_TCC_TCC.dissector(buf, pkt, root)
end
--RSSP协议解析
function RSSP_I_Head_Dissector(buf, pkt, root, off)
    .....
end
--RSSP-I协议检测函数
function RSSP_I_Checker(buf, pkt, root)
    .....
end
RSSP_I:register_heuristic("udp", RSSP_I_Checker)
```

图4 协议解析模块脚本(部分)  
Fig.4 Lua scripts of protocol parse module

中 TCC 与 TCC 之间的应用数据解析函数。

### 2.3 数据解析模块

采用 RSSP-I 协议的 TCC 外部接口应用数据解析模块中，数据解析模块通过脚本文件 M\_TCC\_XXX.lua 以模块方式存在 (XXX 为与 TCC 通过网口采用 RSSP-I 协议交互的系统)。根据 1.3 小结所述，数据解析协议也分为固定字长以及变长型，定长型应用数据解析根据固定字节偏移量进行解析，以 TCC 与 TCC 之间应用数据解析为例，脚本总体结构与图 4 类似。

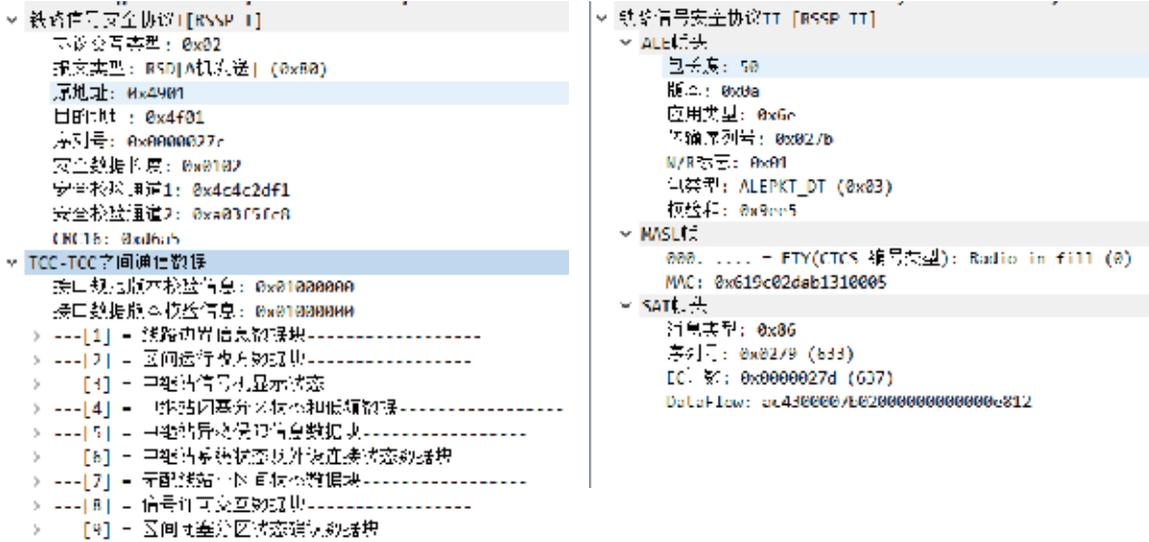
首先定义全局模块（如果定义成局部模块，则脚本最后一行需添加 return 进行返回），后续的协议声明、字段定义等均与协议解析模块类似；差异在于数据解析模块需要根据对应应用层接口规范编写数据块的解析函数，比如 TCC 与 TCC 之间的应用层数据解析需要编写线路边界信息、线路改方等数据块的解析函数；最后也要对应用数据类型进行检查（与协议检测函数类似），并注册到对应协议上，但无需注册到端口。变长型应用数据为 TCC 与 TSRS 之间的应用数据，由于数据包以 GAL 方式存

在，一个 GAL 可包含多个信息包，因此，参考定长型应用数据解析器的实现方式，在该应用数据解析器内部添加一层循环判断即可，判断条件为剩余未解析应用数据的长度是否合法以及该段数据的信息类型。若满足该条件，则进入对应的信息包解析函数进行解析，并返回偏移量，否则结束循环，完成解析。

### 3 解析案例

在 Wireshark 安装目录下新建 lua 文件夹，将编写的协议解析模块、数据解析模块放在 lua 文件夹下，将协议检测模块放在 Wireshark 安装目录的全局插件 plugins 文件夹下，所有脚本文件以 UTF-8 编码方式保存，然后在 Wireshark 的 init.lua 配置文件中开启 lua 支持的配置项，配置文件按行配置需要注册的端口与协议，最后打开 Wireshark 对抓包的数据进行解析测试。

部分解析结果如图 5 ~ 7 所示，其中，图 5 的 (a) 为 RSSP-I 协议解析显示效果（该图为 TCC 与 TCC 之间应用数据解析的一个实例）。图 6 为 TCC



(a) RSSP-I protocol and application data parsing diagram

(b) RSSP-II protocol parsing diagram

图5 RSSP-I协议以及RSSP-II协议(示意)解析结果  
Fig.5 Result of RSSP-I and RSSP-II parsing



(a) TCC与TSRS之间的应用数据  
(a) Application data between TCC and TSRS

(b) TCC与TCC之间的应用数据  
(b) Application data between TCC and TCC

图6 TCC与TSRS、TCC应用数据解析示意(部分)  
Fig.6 Result of TCC, TSRS, TCC application data parsing

与 TSRS、TCC 之间应用数据解析示意，图 7 为 TCC 与 CBI 之间应用数据解析结果。此外，还实现了采用 RSSP-I 协议的 CBI 与 CBI 应用数据解析。为验证该设计能否对多种协议进行同时解析，对采用 RSSP-II 协议进行通信的协议帧头数据进行了简单解析测试，如图 5(b) 所示。协议以及应用数据解析结果呈树形形状显示，逻辑结构清晰；应用数据解

析全面且明了，易于相关人员分析定位。

#### 4 结论

本文分析并阐述了 RSSP-I 协议与列控系统外部接口应用数据，基于 Wireshark 设计了可配置的启发式的协议解析器，解析器在协议检测模块完成多种协议检测与注册；协议解析模块完成对应协议

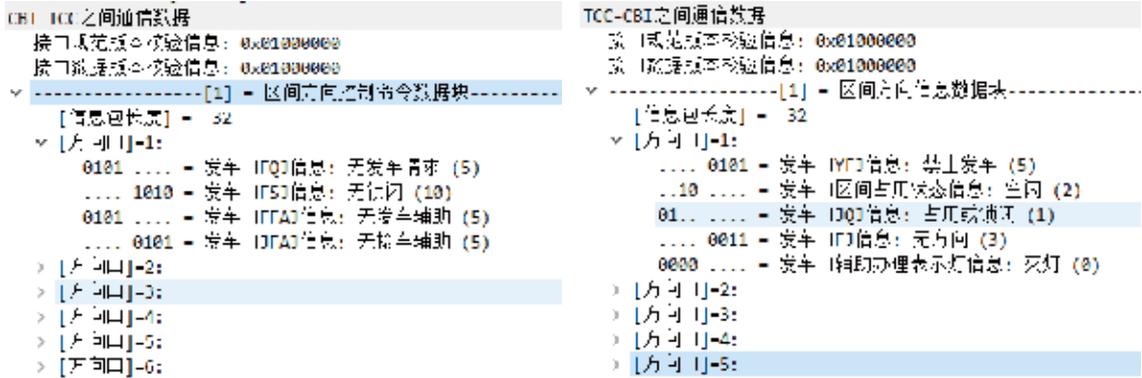


图7 TCC与CBI之间应用数据解析示意(部分)  
Fig.7 Result between TCC and CBI application data parsing

的协议帧头的解析；应用数据解析模块同时有效解析多种应用层数据。此种方式解决了端口复用下的无法实现多种协议解析的问题，具备更好的自适应性，并且设计更加模块化，结构更加清晰，可为铁路信号工程技术人员提供较好的实用价值，但也存在抓包数据量较大时，解析时间较长的不足之处。

参考文献

[1] 曹利, 王丹丹. 基于 Wireshark 的协议解析器开发研究和实现 [J]. 计算机时代, 2015 (6): 13-16.  
Cao Li, Wang Dandan. Research and Implementation of Protocol Parser Based on Wireshark[J]. Computer Era, 2015(6): 13-16.

[2] 张海斌, 周翔, 张松, 等. 基于 Wireshark 和 Lua 的数据链协议解析插件开发 [J]. 中国新通信, 2017, 19 (15): 58-59.  
Zhang Haibin, Zhou Xiang, Zhang Song, et al. Development of Data Link Protocol Parsing Plug-in Based on Wireshark and Lua[J]. China New Telecommunications, 2017, 19(15): 58-59.

[3] 胡鹏. 基于 Wireshark 的列控中心以太网通信协议解析器的研究与实现 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (6): 48-51.  
Hu Peng. Research and Implementation of Ethernet Communication Protocol Parser of Train Control Center Based on Wireshark[J]. Railway Signalling

& Communication, 2020, 56(6): 48-51.

[4] 黄鲁江, 雷焯, 成焱. Wireshark 协议解析在网络故障排查中的应用 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (10): 52-55.  
Huang Lujiang, Lei Ye, Cheng Yi. Application of Wireshark Protocol Dissectors in Network Troubleshooting[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(10): 52-55.

[5] 唐辉. 基于 Wireshark 二次开发的地铁信号系统应用协议解析插件 [J]. 交通与运输 (学术版), 2016 (1): 84-88.  
Tang Hui. Wireshark Based Plugin Implementation on Railway Signal System Application Data's Dissection[J]. Traffic & Transportation, 2016(1): 84-88.

[6] 陈昕, 谭力天, 李澎东, 等. 基于脚本语言的互联互通通信数据解析插件 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (2): 94-98.  
Chen Xin, Tan Litian, Li Pengdong, et al. Resolution Plug-in for Interoperability Communication Data Based on Script Language[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(2): 94-98.

[7] 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, 2018.

[8] 中国铁路总公司. 高铁列控中心暂行技术规范: TJ/DW 172-2015 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2015.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.07.016

# 基于故障树的速度传感器检测方法研究

黄愉华<sup>1</sup>, 金捷<sup>2</sup>

(1. 上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 上海 200235;

2. 上海申通地铁集团有限公司, 上海 201103)

**摘要:** 速度传感器是信号车载子系统的重要外部设备。为精确定位速度传感器的故障, 提出并设计基于故障树的速度传感器检测方法和检测方案。然后, 以上海轨道交通 8 号线的速度传感器故障为例, 采用故障树分析方法 (Fault Tree Analysis, FTA) 精确定位导致速度传感器故障的原因是辅逆变器导致的, 并设计屏蔽方法来保证速度传感器不受干扰, 保证速度传感器的正常工作。

**关键词:** 故障树; 速度传感器; 检测方法

中图分类号: U260.352

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0087-05

## Research on Speed Sensor Detection Method Based on Fault Tree

Huang Yuhua<sup>1</sup>, Jin Jie<sup>2</sup>

(1. Telecom &amp; Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., Shanghai 200235, China)

(2. Shanghai ShenTong Metro Group Co., Ltd., Shanghai 201103, China)

**Abstract:** Speed sensor is an important external equipment of on-board signal subsystem. In order to accurately locate the fault of speed sensor, this paper proposes and designs a speed sensor detection method and detection scheme based on fault tree. Taking the speed sensor fault of Shanghai Rail Transit Line 8 as an example, this paper uses Fault Tree Analysis (FTA) to accurately locate the cause of the speed sensor fault due to the auxiliary inverter, and designs a shielding method to ensure that the speed sensor is not disturbed and ensure the normal operation of the speed sensor.

**Keywords:** fault tree; speed sensor; detection method

### 1 概述

速度传感器是信号车载子系统的重要外部设备。

信号系统通过速度传感器来测量列车的安全速度, 实时更新安全位置等功能。因此, 速度传感器的故障检测和定位, 对于车载信号系统的正常工作, 具有重要意义。上海 8 号线新车自投入运营以来, 陆续在新车发生了两次由于速度传感器报警而引起的清客。相关 ATS 报警显示均为: “持续的方向表决不匹配 .PUID=4, 速度传感器编号 2”。因此, 研究

收稿日期: 2022-07-27; 修回日期: 2023-05-09

基金项目: 上海申通地铁集团有限公司科研基金资助项目 (JS-KY19R041)

第一作者: 黄愉华 (1988—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号项目与维护, 邮箱: 540966370@qq.com。

和设计快速合理地定位速度传感器故障方法具有实用价值。

每个传感器输出的 2 路信号如图 1 所示。

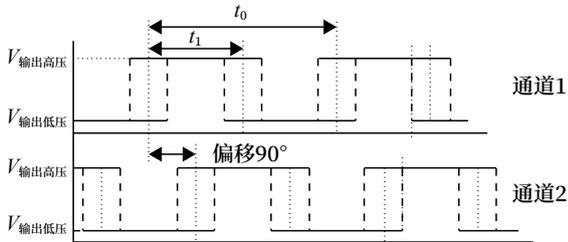


图1 速度传感器输出信号  
Fig.1 Output signal of speed sensor

列车在运行过程中，速度传感器会产生脉冲信号。因为 2 路不同的脉冲信号存在 90° 的差别。所以，通过这个差别可以知道车轮的转动方向，从而通过计算脉冲个数来计算列车的运行距离。计算如公式 (1) 所示。

$$d = \frac{n_{cur}}{N_{total}} \cdot \pi \cdot \phi \quad (1)$$

其中， $d$ ：位移； $\pi$ ：取 3.14； $\phi$ ：车轮直径； $N_{total}$ ：车轮总共齿数； $n_{cur}$ ：当前周期采集的齿数。

如果采集速度传感器的脉冲数量存在错误，则导致列车无法准确地计算位置而产生危险。

## 2 速度传感器故障检测方法设计

### 2.1 故障树理论研究

故障树分析 (Fault Tree Analysis, FTA) 是由上往下的演绎式失效分析法，利用布林逻辑组合低阶事件，分析系统中不希望出现的状态。FTA 主要用在安全工程以及可靠度工程的领域，了解系统失效的原因，并且找到最好的方式降低风险，或是确认某一安全事故或是特定系统失效的发生率。

FTA 也可用于速度传感器测试方案的设计以及故障原因的精准定位。如图 2 所示，本文设计了速度传感器的故障分析树。

在检测速度传感器故障时，需要分不同的场景和情况考虑。导致速度传感器信号错误的原因有很多，可能是速度传感器本身故障，也可能是外部车辆对速度传感器的正常工作的影响。任何一个故障

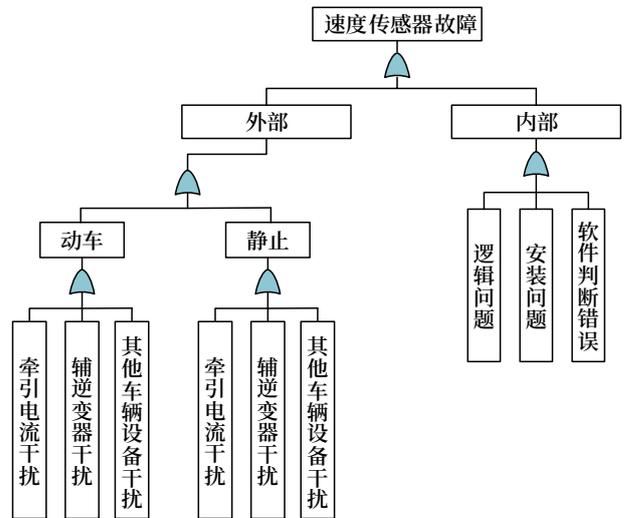


图2 速度传感器故障测试分析方案  
Fig.2 Scheme of speed sensor fault test and analysis

都会导致速度传感器的正常工作受影响。所以各种故障之间都是“或”的关系。也有可能几个故障都会导致速度传感器无法正常工作。所以需要合理地安排测试过程，以利于定位故障点。

### 2.2 速度传感器故障检测系统设计

基于以上分析，对于速度传感器的故障检测，采用以下方案，如图 3 所示。检测节点接在 I/O 板上，然后通过电脑查看波形来判断传感器能否正常工作。

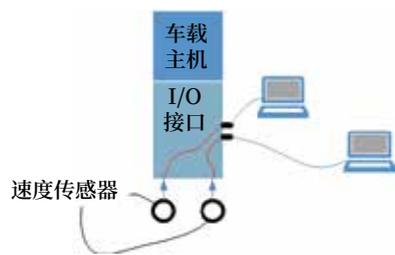


图3 速度传感器故障检测系统方案  
Fig.3 Scheme of speed sensor fault detection system

在测试方法上，需要根据不同的环境来测试。比如，在静车时或者动车时，分别检测查看速度传感器是否故障。

为保证速度传感器检测的精度和故障检测要求，同时结合 FTA 分析方法，本文设计了以下 5 个不同测试方案，如表 1 所示。测试过程按照顺序进行，便于定位故障点。

表1 速度传感器测试方案  
Tab. 1 Test scheme of speed sensor

方案	测试内容
1	静态方案 - 升降弓
2	静态方案 - 开 / 关空调
3	静态方案 - 关闭 / 打开辅逆变器
4	动车测试
5	正常测试

#### 1) 静态方案 - 升降弓

列车在静止时, 通过升降弓反复操作, 查看速度传感器的方波是否有偏差。如果存在偏差, 说明车辆电磁环境对于速度传感器有影响。需要屏蔽由于升降弓的瞬时电信号的影响, 安装相关的信号屏蔽设备。

#### 2) 静态方案 - 开 / 关空调

列车在静止时, 通过反复开 / 关空调操作, 查看速度传感器的方波是否有偏差。如果存在偏差, 说明空调开 / 关产生的大电流 / 电压对于速度传感器的正常工作有影响。需要屏蔽相关的瞬时电信号的影响, 安装相关的信号屏蔽设备。

#### 3) 静态方案 - 关闭 / 打开辅逆变器

列车在静止时, 通过辅逆变器关闭 / 打开操作, 查看速度传感器的方波是否有偏差。如果存在偏差, 则需要屏蔽速度传感器位置处的信号影响。

#### 4) 动车测试

列车正常运行过程中, 查看速度传感器的方波是否有偏差。如果存在偏差, 说明车辆环境对于速度传感器的正常工作有影响。需要屏蔽由于牵引电机工作产生的信号影响。

#### 5) 正常测试

列车在静止和动车时, 正常运行, 查看速度传感器的方波是否有偏差。如果以上测试都没有问题, 仍存在偏差, 那么说明速度传感器本身硬件存在问题。

通过逐个方案测试排除的方法, 可以实现速度传感器的故障定位, 也不会遗漏任何可能的故障原因。

### 3 案例

以上海轨道交通 8 号线为例, 采用上述方案进行速度传感器的故障检测来判断。通过上述的各项测试方案, 结果如表 2 所示。针对失败的测试案例, 本文采用相关的处置方案以减少干扰影响。

表2 速度传感器测试结果

Tab. 2 Test results of speed sensor

方案	测试内容	结果
1	静态方案 - 升降弓	通过
2	静态方案 - 开 / 关空调	通过
3	静态方案 - 关闭 / 打开辅逆变器	失败
4	动车测试	失败
5	正常测试	失败

测试处置方案, 可以初步得出以下判断。

1) 列车实测速传 1 信号干扰明显大于速传 2, 这与 ATS 报警指向速传 1 吻合;

2) 列车实测速传 2 信号干扰明显大于速传 1, 这与 ATS 报警指向速传 2 吻合;

3) 新车速传信号普遍存在比较明显的外部干扰, 易导致信号系统出现速传方向表决不一致和脉冲计数表决不一致等报错。该外部干扰是由于 TC1 的辅助逆变器所致。

测试记录:

1) 如图 4 所示, 针对 Tr867 列车, 车辆静止状态下, 蓝色信号表示速传 1 通道 1, 红色信号表示速传 1 通道 2 (说明: 测试参考电平为速传电源 +12 V, 所以为负电压。图 4 中电压值加 12 V 为正常读数)。观察曲线可以看到, 即使车辆静止也存在严重干扰。

2) 如图 5 所示, Tr867 列车车辆静止状态下, 使用磁环测试后, 可以发现, 信号立即变得很稳定, 干扰消失 (很小的尖峰分析是远处逆变器传导过来的)。

### 4 结论

通过案例分析, 采用故障树方法来检测判断速度传感器故障, 具有实用价值和可操作性。同时,

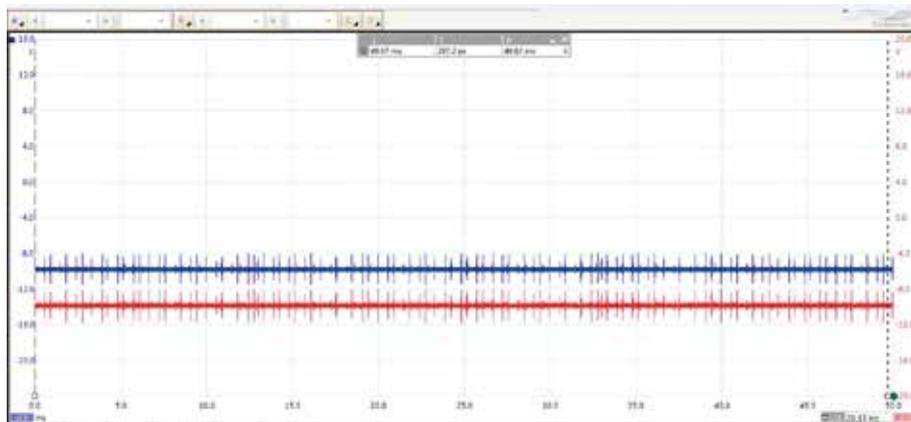


图4 867列车静止状态下速传受扰波形状态  
Fig.4 State of speed sensor disturbed waveform of train 867 in static state

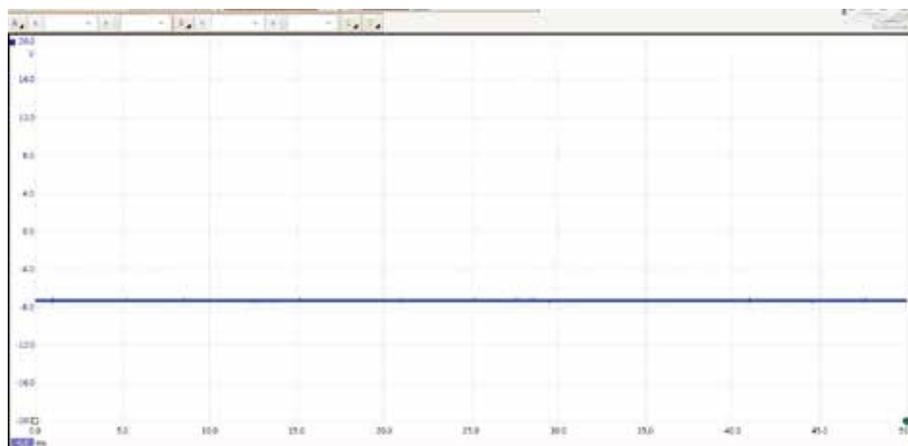


图5 加用磁环确认故障原因  
Fig.5 Adding a magnetic ring to confirm the fault cause

采用 FTA 理论的科学测试方法，才能定位发现最终故障的原因是由于车辆干扰导致的问题。同样，信号系统相关的其他测试，也可以采用 FTA 技术来进行排故测试分析，精确定位故障点。因此，本方法对于信号专业的其他测试，具有一定的参考价值 and 意义。

#### 参考文献

[1] 周军, 李万新, 齐政亮, 等. 高速动车组制动系统防滑控制研究 [J]. 铁道机车车辆, 2017, 37 (3): 4-8.  
Zhou Jun, Li Wanxin, Qi Zhengliang, et al. Research on Anti-Slide Control of Brake System for China Railway High-Speed[J]. Railway Locomotive

& Car, 2017, 37(3): 4-8.

[2] 陈蓝, 金哲, 李邦国, 等. 动车组制动控制系统气动控制单元故障树的建立和分析 [J]. 铁道机车车辆, 2017, 37 (5): 26-30.

Chen Lan, Jin Zhe, Li Bangguo, et al. Establishment and Analysis of Fault Tree for Pneumatic Control Unit of EMU Braking System[J]. Railway Locomotive & Car, 2017, 37(5): 26-30.

[3] 亢磊, 李云龙, 乔峰, 等. CRH380CL 型高速动车组制动系统高低阶压力切换故障原因分析及预防措施 [J]. 铁道机车车辆, 2016, 36 (6): 29-34.

Kang Lei, Li Yunlong, Qiao Feng, et al. Cause Analysis and Preventive Measures of High-Low Braking Ratio Disturbed Fault for CRH380CL

- High-Speed EMU Braking System[J]. Railway Locomotive & Car, 2016, 36(6): 29-34.
- [4] 于泳, 蒋生成, 王高林, 等. 基于状态观测器的感应电机速度传感器故障诊断及容错控制[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(18): 123-130, 186.  
Yu Yong, Jiang Shengcheng, Wang Gaolin, et al. Fault Diagnosis and Tolerant Control for Speed Sensors Based on State Observers in Induction Motor Drives[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(18): 123-130, 186.
- [5] 陈欣. 基于粒子群支持向量机的轨道电路故障诊断[J]. 铁路计算机应用, 2016, 25(8): 56-58, 63.  
Chen Xin. Track Circuit Fault Diagnosis Based on Particle Swarm Optimization and Support Vector Machine[J]. Railway Computer Application, 2016, 25(8): 56-58, 63.
- [6] 潘莹. 故障预测和健康管理技术在地铁车辆运维中的应用[J]. 控制与信息技术, 2020(4): 91-95.  
Pan Ying. Application of Fault Predication and Health Management in Metro Vehicle Operation and Maintenance[J]. Control and Information Technology, 2020(4): 91-95.
- [7] 任磊, 韦徵, 龚春英, 等. 电力电子电路功率器件故障特征参数提取技术综述[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(12): 3089-3101.  
Ren Lei, Wei Zheng, Gong Chunying, et al. Fault Feature Extraction Techniques for Power Devices in Power Electronic Converters: a Review[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(12): 3089-3101.
- [8] 张文亮, 汤广福, 查鲲鹏, 等. 先进电力电子技术在智能电网中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(4): 1-7.  
Zhang Wenliang, Tang Guangfu, Zha Kunpeng, et al. Application of Advanced Power Electronics in Smart Grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(4): 1-7.
- [9] 陈晓龙. 基于故障树的25Hz轨道电路红光带故障分析及建议[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 72-76.  
Chen Xiaolong. Analysis and Suggestions on Red-Light Strap of 25 Hz Track Circuit Based on Fault Tree[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 72-76.

\*\*\*\*\*

## 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。

# 城轨道岔融雪系统集成到 FAO子系统TIAS的可行性讨论

周 浩

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 概述电加热道岔融雪系统和全自动无人驾驶 (Full-Automatic Operation, FAO) 及其子系统轨道交通综合自动化系统 (Train Integrated Automation System, TIAS) 的发展现状。通过对比道岔融雪系统和 FAO 系统结构、功能和人机显示界面的相似之处, 探讨将道岔融雪系统集成到 TIAS 系统是可行且必要的, 并由此提出一种新型集成方案。

**关键词:** 电加热道岔融雪系统; 全自动无人驾驶; 轨道交通综合自动化系统; 集成方案

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0092-06

## Discussion on Feasibility of Integrating Snow Melting System of Urban Rail Turnout into TIAS Subsystem of FAO

Zhou Hao

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

**Abstract:** This paper summarizes the development status of the electrically heated turnout snow melting system, FAO (Full Automatic Operation) and its subsystem TIAS (Train Integrated Automation System). By comparing the similarities of structure, function and man-machine display interface of turnout snow melting system and FAO system, it is found that it is feasible and necessary to integrate turnout snow melting system into TIAS subsystem, and a new integration solution is proposed.

**Keywords:** electrically heated turnout snow melting system; full automatic operation; train integrated automation system; integration solution

随着国内城市轨道交通线路的大量建设开通, 城轨信号系统自动化水平不断提高, 信号辅助系统的功能也逐步完善。城市轨道交通全自动无人驾驶系统 (Full-Automatic Operation, FAO) 已经实

现开通运营。在雨雪严寒环境下, 列车能够按运行图正常行车, 对道岔融雪系统提出了新的要求。

设想能否将道岔融雪系统集成到 FAO 的子系统轨道交通综合自动化系统 (Train Integrated Automation System, TIAS) 中, 既提供统一平台供融雪设备操作, 方便运营人员集中监测车站、车辆段道岔融雪设备的运行状况, 又可以实现道岔融雪系统在“精准化控制”下运行, 还能够利用自身

收稿日期: 2022-03-04; 修回日期: 2023-06-15

作者简介: 周浩 (1992—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 中低速磁悬浮控制系统 (MATC 信号系统)、城市轨道交通列控系统 (CBTC 信号系统)、电加热道岔融雪系统, 邮箱: 13260250609@163.com。

气象站向 FAO 系统输入降雪信息，与 FAO 系统“雨雪模式”相互印证，确保输入信息的准确性。

## 1 道岔融雪系统与FAO系统的现状与发展

### 1.1 电加热道岔融雪系统现状

#### 1.1.1 电加热道岔融雪系统介绍

电加热道岔融雪系统（简称道岔融雪系统）中使用的加热设备是电加热元件。电加热元件通电产生热效应，发热的电加热元件通过热传导将热量传递给周身涂布的热辐射涂层，使其产生热辐射效应。装有电加热元件的钢轨道岔尖和转辙机动作杆件周围空间温度升高，快速融化降雪天气中道岔位置的积雪，从而安全有效地防止道岔因冰雪堆积发生挤岔，避免道岔造成“四开”现象。道岔融雪系统在城市轨道交通中主要应用在北方降雪城市的地面车站、停车场和车辆段。这些站场都处在室外，咽喉区的道岔数量较多，部署道岔融雪系统解决了人工清扫积雪消耗时间长，清理难度高，工作量大，清理人员有一定安全风险的问题。

#### 1.1.2 电加热道岔融雪系统结构和功能

道岔融雪的控制系统由远程控制中心、车站控制终端、电器控制柜、钢轨温度传感器、气象站、通信信道等组成。

道岔融雪系统结构如图 1 所示。

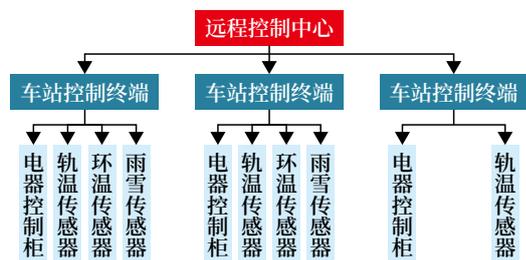


图1 道岔融雪系统结构

Fig.1 Structure of turnout snow melting system

道岔融雪系统的远程控制中心为系统信息集中处理中心，目的是将各站融雪设备的信息统一送到调度中心、枢纽站运转室等，以方便信息查看调阅。系统采用可交互式界面，设定不同操作人员权限，可实时查看各站各控制柜的实时状态。

道岔融雪系统的车站控制终端为系统车站信息集中处理中心，目的是将车站的各现场电气融雪柜信息送至车站值班室、运转室等，以方便集中管理站内融雪设备。系统采用可交互式界面，设定不同操作人员权限，可实时查看站内各控制柜的状态，并根据实际对融雪设备进行操作，配有应急操作方式，防止因控制柜控制模块或通信模块故障造成的系统不启动加热。

道岔融雪系统的电气控制柜是安装在站场内或信号楼内，通过控制器控制加热回路启动和停止，并采集电源电压、电流频率、电气元件状态、环境条件等信息，接受远程控制中心和车站控制终端的遥控操作命令并执行。

气象站设有气温传感器和雨水传感器，当发生降雪或温度变化时，可向车站控制终端输出当前大气温度和降雪状态等天气情况，车站控制终端据此信息输出当前自动或人工控制方式启动电加热融雪。

其中远程控制中心与车站控制终端采用单独的以太网信道通信，车站控制终端与电器控制柜采用串口通信。

#### 1.1.3 电加热道岔融雪系统人机操作界面

以某道岔融雪控系统运行界面为例，主界面共分为 4 个部分：菜单栏、功能按钮区、站场图及信息显示区、控制柜列表显示区，如图 2 所示。

菜单栏位于主界面的顶部，主要实现软件各种功能的控制。具体包含以下按钮：系统管理、车站列表、控制柜列表、控制柜参数设置、实时故障报警信息、历史信息查询以及帮助按钮。

功能按钮区包含用户登录、用户注销、参数设定、实时故障报警、历史信息查询，站场图缩放、控制柜列表样式等常用功能按钮。其中前 5 个功能按钮，等效于菜单栏中的同名按钮。“当前登录用户”区域显示当前登录用户姓名。

站场图及信息显示区用于显示当前车站的站场图、各控制柜及加热电路的位置示意、工作状态等信息。控制柜列表显示各个控制柜的主要运行信息和故障信息，可直观反映全场所有控制柜的运行情况。

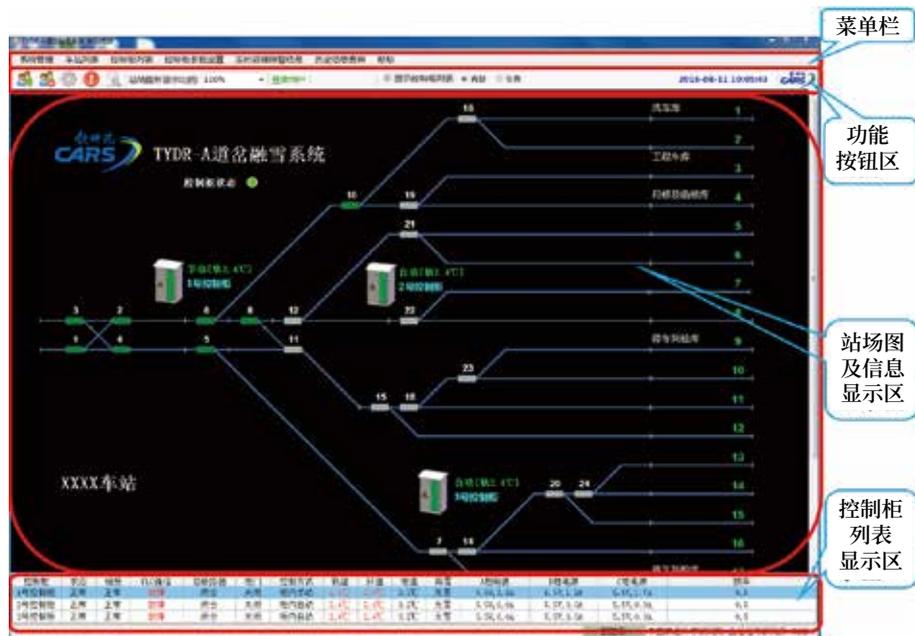


图2 道岔融雪系统车站终端操作界面  
Fig.2 Terminal operation interface of turnout snow melting system

## 1.2 FAO系统现状

### 1.2.1 FAO系统介绍

FAO 系统是基于通信的列车运行控制系统，主要由以下子系统构成：区域控制器 (Zone Controller, ZC)、计算机联锁 (Computer-Based Interlocking, CBI)、轨道交通综合自动化系统 (Train Integrated Automation System, TIAS)、车载列车自动防护系统 (Automatic Train Protection, ATP)、列车自动运行系统 (Automatic Train Operation, ATO)、辅助驾驶设备 (Assistant Operation Module, AOM)。其中 TIAS 子系统核心部分为列车自动监控系统 (Automatic Train Supervision, ATS) 子系统。TIAS 深度集成 ATS 系统、电力监控系统 (Power Supervisory Control And Data Acquisition, PSCADA)、环境与设备监控系统 (Building Auto System, BAS)、界面集成屏蔽门系统 (Platform Screen Door, PSD)、闭路电视系统 (Closed-Circuit Television, CCTV)、扩声公共广播系统 (Public-Address, PA)、时钟同步系统 (Clock, CLK)、门禁系统 (Access Guard System, AGS)、乘客信息系统 (Passenger Information System, PIS)、自动售

检票系统 (Automatic Fare Collection, AFC)、火灾报警系统 (Fire Alarm System, FAS)、通信集中报警系统 (Alarm, ALM)，同时连接列车控制系统 (Automatic Train Control, ATC) 和管理系统 (Train Control and Management System, TCMS) 将车辆信息落地，把线上的每列车及各个车站服务器的所有数据状态集中到地铁运营控制中心显示，工作人员在控制中心即可即时监控整条线路各个专业设备的运行及安全状态：各辆列车的实时位置、是否有故障或早晚点的情况、车厢内情况、车站内情况、车站各设备的运行状况等，都通过监视屏直观地显示出来，供交通计划、调度、维修和决策人员监控使用。

### 1.2.2 FAO系统功能

FAO 系统各设备间通过有线或无线通信的方式连接，分布在列车、轨旁、设备集中站、控制中心、车辆段/停车场等地点。能够实现早间上电、唤醒、出库、轨道车运行、进入正线、进站停车、站台发车、折返换端、清客、停止正线、自动回库、清扫、休眠、洗车、车辆段内自动转线等全自动无人驾驶功能。

FAO 同时具备“雨雪模式”的功能。正线运营的车辆，在不同区域多次出现转向架空转和滑行状

态, 将进入“雨雪模式”。在“雨雪模式”下, 车载 ATP 按照能保证的紧急制动率进行紧急制动曲线计算, 列车最高不可突破速度应不超过车载电子地图中配置的“雨雪模式”速度; ATO 应限制最大牵引和最大制动输出; TIAS 系统根据“雨雪模式”的触发条件, 自动在行调工作站进行“雨雪模式”提示。

### 1.2.3 FAO系统TIAS人机操作界面

参考某车辆段 ATS 终端界面显示如图 3 所示。菜单栏布局和内容基本与道岔融雪车站控制终端显示一致。其中站场图及信息显示区缺少电器控制柜状态显示和加热元件加热状态提示。此处可以增加相应提示满足信息采集的需求。



图3 车辆段CBTC系统ATS中心调度工作站界面  
Fig.3 ATS center dispatching workstation interface of CBTC system of depot

## 2 集成的必要性及可行性

### 2.1 集成的必要性

科研人员将新一代的智能控制技术应用于道岔融雪系统, 以期望实现“精准化控制”。“精准化控制”是指道岔融雪系统通过处理获得的信息和数据, 智能选择需要加热的电加热原件, 精准预先融化车辆行进方向前方道岔的积雪。既减少了电力的消耗, 满足了“节能减排”的要求, 又达到了“提质增效”的目的。

想要实现道岔融雪系统的“精准化控制”就需要获取气象状况、行车计划、道岔状态、钢轨温度、融雪效果等信息。其中气象状况可以通过道岔融雪系统车站轨旁设备气象站获得。车站控制终端通过安装在道岔底部的轨温传感器可以得到钢轨温度, 并以此衡量融雪效果。而行车计划和道岔状态信息在以往单一的道岔融雪系统中难以自动获得, 往往需要行车调度人员根据列车运行图在 ATS 控显界面

来进行判断。TIAS 系统集成了 ATS 系统, 能够提供道岔融雪系统“精准化控制”所需要的运行图行车数据, 提前得知并判断计划中的列车将要行驶的进路数据; 同时 TIAS 系统又以 ATC 系统为核心, CBI 系统能够提供完整的道岔状态信息, 并且能够识别道岔挤岔故障, 并发出报警提示。

道岔融雪系统的“精准化控制”所需信息获取方式如表 1 所示。

将道岔融雪系统与 FAO 系统的“降雪模式”进行对比, 如表 2 所示。

FAO 系统判断“雨雪模式”的提示条件是正线运营车辆, 在不同区域多次出现转向架空转和滑行状态。如果能将车辆空转打滑信息结合道岔融雪系统气象站提供的雨雪数据, FAO 系统就能够在车辆打滑之前提前判断并进入“雨雪模式”, 行车安全性将得到有效提升。

目前, 已经有部分城市轨道交通工程验收时将道岔融雪系统与 FAO 系统共同验收的先例(如北京

表1 道岔融雪系统“精准化控制”信息获取方式

Tab. 1 "Precise control" information acquisition method of turnout snow melting system

系统	气象状况	行车状态	道岔状态	钢轨温度	融雪效果
道岔融雪系统	√	×	×	√	√
ZC 子系统	×	√	×	×	×
CI 子系统	×	×	√	×	×
TIAS 子系统	×	√ (提供显示)	√ (提供显示)	×	×
车载 ATP 子系统	√ (侧面判断)	√	×	×	√ (侧面反映)

表2 道岔融雪系统与FAO系统“雨雪模式”对比

Tab. 2 Comparison of "rain and snow modes" of turnout snow melting system and FAO system

系统	信息采集	信息判断	信息处理	信息驱动
FAO 系统	车辆	空转打滑	车载 ATP、ATO	车辆
道岔融雪系统	轨旁气象站	温度/雨雪	车站控制终端	电器控制柜

地铁燕房线)。但与此同时，很多时候，道岔融雪系统是作为非安全设备，在降雪天气时人工投入使用的。将道岔融雪系统集成到 TIAS 系统就显得既有必要，又有意义。

## 2.2 集成的可行性

从经济角度来说，将道岔融雪系统集成至 TIAS 系统，系统结构优化，车站设备、中心设备，通信信道减少，节省了业主设备采购的资金；同时通过 TIAS 系统提供的数据和服务实现了道岔融雪系统的“精细化控制”，节能减排的同时节省了业主使用消耗的电费。

从设备安装角度来说，道岔融雪系统与信号系统设备室外安装位置相同，施工方可以统一进行设备安装；道岔融雪系统与信号系统设备室内安装位置相同，施工方可以统一进行调试测试；道岔融雪系统与信号系统设备系统中心传输均采用以太网，采用统一的网络进行信号传输，施工方可以一次性进行电缆、网线的铺设。

从技术角度来说，在系统结构上，道岔融雪系统与 FAO 系统均采用远程中心，车站控制，本地控

制结构，二者结构上十分相似；在操作界面上，道岔信息、加热信息都是以站场图为基础，道岔融雪系统与 FAO 系统的控制软件界面部分功能重合，操作方式也类似；道岔融雪系统和 FAO 系统采用不同的技术手段来判断是否为降雪天气，“雨雪模式”信息能够得到相互验证，互为补充。这就充分保证道岔融雪系统能够集成到 FAO 系统当中。

## 3 系统集成的思路

硬件上将道岔融雪系统轨旁设备与 TIAS 系统车站设备直接连接，通过系统网络与 TIAS 中心进行信息交互。车站与中心统一为一个信息传递通道。

软件上将融雪控制终端、融雪远程控制中心集成到 TIAS 界面显示，并与 TIAS 进行雨雪状态、列车进路等信息交互。车站和中心的操作终端合并，操作人员无需在各个终端之间奔走，车站和中心无需另行设置道岔融雪终端。

集成后的 TIAS 系统结构如图 4 所示。

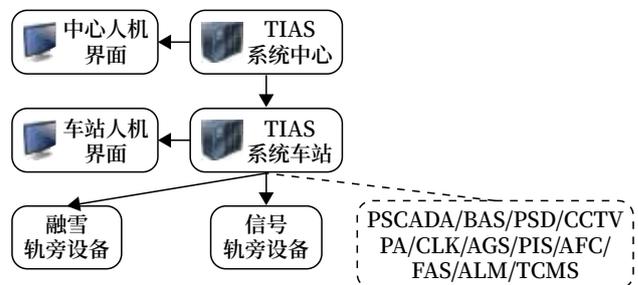


图4 集成后的TIAS系统结构  
Fig.4 Integrated TIAS system structure

由于道岔融雪系统轨旁设备围绕信号转辙机进行部署，设备布置与联锁集中站设置相同。因此在设备集中车站可以将道岔融雪系统接入 TIAS 系统车站的 CBI 子系统经防雷分线柜、组合柜至联锁接口柜。其中每个电加热元件的单路开启与单路关闭、加热模式（自动加热、手动加热、停止加热）等作为驱动信号接入接口柜；每个电加热元件的加热状态、室外机柜的柜门状态、控制方式、轨道温度、环境温度、气象状态、电源状态等作为采集信号接入接口柜。由联锁逻辑部按照转辙机的控制逻辑，

实现自动控制功能。

控制信号经ATS分机由统一的网络传输至系统中心。在系统中心与TIAS系统交互,获取线路状态、行车计划、道岔状态等数据,经系统中心计算后将控制信息传回车站,实现“精细化控制”。同时FAO系统通过道岔融雪系统上传的雨雪信息进行“雨雪模式”判断(需符合故障导向安全原则),对全自动运行车辆实行“雨雪模式”控制。

由于每个车站都设有道岔融雪气象站,气象站的气温传感器和雨雪传感器能够实时判断当地降雪,因此在线路较长,跨度较大的情况下,判断“雨雪模式”可以按照车站划分,而不必按照线路划分。车站进入“雨雪模式”后,TIAS调度工作站显示“雨雪模式”状态,道岔融雪系统按照“精细化控制”的逻辑,将正向大交路运营的进路道岔进行融雪加热,保证道岔转换功能正常,保证车辆按与行车运行图行驶。

#### 参考文献

- [1] 王明嵩. 统一通信调度平台的方案与应用[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(S1): 32-34.
- [2] 张辉, 钱江. 基于全自动驾驶的TIAS系统建设方案[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(3): 79-81, 84. Zhang Hui, Qian Jiang. Construction Scheme of Train Integrated Automation System Based on Fully Automatic Driving[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(3): 79-81, 84.
- [3] 张溢斌, 尚巍. 城轨自动控制系統深度集成探讨[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(9): 64-65. Zhang Yibin, Shang Wei. Exploration of In-Depth Integration of Automatic Control Systems in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(9): 64-65.
- [4] 陈吉余, 李卫娟, 何红光. TIAS系统及其在北京地铁6号线的应用[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(11): 49-52. Chen Jiyu, Li Weijuan, He Hongguang. Application of TIAS in Beijing Subway Line 6[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(11): 49-52.
- [5] 钱江. 以行车指挥为核心的城轨交通多业务联动研究及应用[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(7): 78-81. Qian Jiang. Study and Application of Traffic Control Centered Multi-Service Cooperation of Urban Rail Transport[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(7): 78-81.
- [6] 余冠华, 卫旭初. 张吉怀高铁智能道岔融雪系统方案探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(2): 15-17. Yu Guanhua, Wei Xuchu. Discussion on Scheme of Intelligent Point Heating System for Zhangjiajie-Jishou-Huaihua High Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 15-17.
- [7] 宋志. 电加热道岔融雪系统[J]. 中国铁路, 2010(8): 18-21. Song Zhi. Electric-Heating Turnout Snow-Melting System[J]. Chinese Railways, 2010(8): 18-21.
- [8] 甄良, 李忠明. RD1型电加热道岔融雪系统数据工具软件的设计与实现[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(3): 18-21. Zhen Liang, Li Zhongming. Design and Implementation of Data Tool Software of RD1 Electric Heating Point Snow-Melting System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(3): 18-21.
- [9] 郑泽熙. 电加热道岔融雪系统控制模式的特点及应用分析[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(1): 9-11. Zheng Zexi. Application Analysis of Control Mode of Electrical Heating Snow Melting System for Switch[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(1): 9-11.

# 雷击导致轨旁信号设备故障原因分析及对策

李 雪

(山东交通学院轨道交通学院, 济南 250357)

**摘要:** 雷电对接触网线或接触网线支撑架闪击后, 安装在附近的信号设备及敷设的信号电缆会出现损坏或击穿故障。为研究雷电过电压及工频过电压造成信号设备故障原因, 对雷电流和工频电流在入地点产生的电位升进行计算, 发现分散接地的接触网支柱接闪雷电流幅值超过 10 kA 时, 入地点产生的地电位升远大于信号电缆的冲击耐受电压, 还可以通过钢轨对地泄露阻抗传导至轨面, 造成与钢轨连接的信号设备故障。对分散接地方式接触网支柱附近信号设备及信号电缆在外铠接地、增强绝缘敷设、浪涌保护器 (SPD) 设置优化、绝缘电阻测试等方面提出优化措施, 给类似场景的雷害分析和故障处理提供建议。

**关键词:** 雷电流; 接触网支柱; 分散接地; 浪涌保护器 (SPD); 信号分支电缆

中图分类号: U284.93

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0098-06

## Fault Analysis and Solution of Tackside Signal Devices Caused by Lightning Strike

Li Xue

(School of Rail Transportation, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China)

**Abstract:** After lightning strikes the overhead contact line or the support frame of the overhead contact line, signal devices installed nearby and signal cables laid may be damaged or broken down. In order to study the fault causes of signal devices caused by lightning overvoltage and power frequency overvoltage, the potential rise generated by lightning current and power frequency current at the entry point is calculated. It is found that when the amplitude of lightning current connected to the scattered grounded OCS pole exceeds 10 kA, the ground potential rise generated at the entry point is much larger than the impulse withstand voltage of signal cable, and can also be transmitted to the rail surface through the rail to the ground leakage impedance, resulting in the failure of the signal devices connected to the rail. Optimization measures are proposed for the signal equipment and signal cable near the OCS pole in scattered grounding mode, including outer armored grounding, enhanced insulation laying, SPD setting optimization, insulation resistance testing and other aspects, and suggestions are provided for lightning damage analysis and fault handling in similar scenarios.

**Keywords:** lightning current; overhead contact system(OCS) pole; scattered grounding; Surge Protective Device(SPD); signal branch cable

收稿日期: 2023-02-09; 修回日期: 2023-07-05

作者简介: 李雪 (1985—), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通智能控制, 邮箱: 114707784@qq.com。

在电气化铁路区段,接触网支柱通过贯通地线、分散接地、钢轨接地(无轨道电路区段)或设架空地线等方式接地,其中分散接地方式接地电阻不大于 $30\ \Omega$ ,其他接地方式不大于 $10\ \Omega$ <sup>[1]</sup>。接触网供电线、回流线、接触网支柱等为铁路沿线较高的构筑物及金属导体,为雷电易接闪点。接触网支柱或架空地线接闪后,雷电流在泄放和入地的过程中,会通过静电感应、阻性耦合、容性耦合、地电位反击等多种途径造成沿线的铁路信号设备故障<sup>[2]</sup>。牵引供电线接闪后,较高的雷电过电压引起支撑绝缘子沿面闪络,使工频电流和雷电流沿闪络通道和支柱内钢筋(或钢柱本体)入地,造成附近的信号设备、箱盒、电缆等故障,甚至导致设备设施火灾故障。沿线信号设备的此类故障问题,在普速铁路尤为常见。针对一次典型的铁路沿线信号设备及分支电缆击穿故障进行分析,结合现场设备损坏情况及过电压侵入路径,给出故障成因,并提出优化建议。

## 1 故障概述

2022年6月17日,某铁路车站所在地区出现持续强降雨天气,雷电活动剧烈。当日00:29,该站的18#/20#道岔出现定位无表示故障,同时18DG轨道电路出现红光带故障。事后,经现场人员排查发现,18#道岔X2电缆盒内道岔表示回路的整流二极管损坏,表面明显烧黑碳化,导致了道岔无表示故障,如图1所示。此外,D-14接线箱、X2电缆盒及转辙机设备内部有放电现象,且D-14接线箱与X2电缆盒之间的分支电缆有明显击穿现象,如图2所示。18DG受端轨道箱内10A断路器跳脱,造成“红光带”故障,如图3所示。



图1 道岔整流二极管损坏  
Fig.1 Failure of switch rectifier diode



图2 分支电缆放电击穿  
Fig.2 Discharge breakdown of branch cable

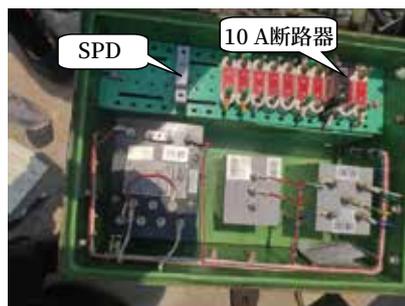


图3 轨道箱内10A断路器跳脱  
Fig.3 Trip of 10A circuit breaker in the track box

## 2 原因分析

### 2.1 现场基本情况

接触网支柱与箱盒相对位置如图4所示。接触网水泥支柱1上的支柱绝缘子金属支撑架通过角钢接地极入地。现场人员使用接地电阻测试仪对该支柱的角钢接地极接地电阻进行测试,测试结果为 $20\ \Omega$ ,该接触网水泥支柱接地未纳入综合接地系统。

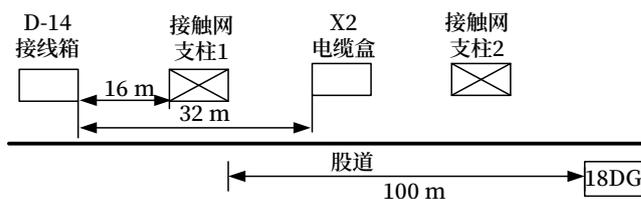


图4 接触网支柱与箱盒相对位置示意  
Fig.4 Relative position diagram of OCS Pole and box

18DG轨道电路受端箱盒钢轨侧设置了型号为SSLP-130VB的SPD。跳闸故障发生后,现场人员进行检查测试,发现SPD的劣化窗口为绿色,仍正常可用。通过防雷元件测试仪测试SPD静态参数,其压敏电压和放电管直流击穿电压仍在规定范围内,未出现性能降低情况。

## 2.2 危害源确定

调取现场站场视频监控发现, 2022年6月7日00:29时, 站场接触网支柱1处有明显的雷电接闪情况。雷击在接触网支柱上产生了巨大的光柱, 并且有明显的熔融物冒着火光落下, 如图5所示。



图5 接触网支柱接闪情况  
Fig.5 OCS Pole lightning receiving situation

与该车站供电维护人员沟通确认, 当日00:29时, 牵引变电所往东头(与18/20#道岔方向一致)馈线送电的断路器有跳闸故障发生。

综合分析信号设备故障时间、接触网支柱接闪时间及接触网馈线断路器跳闸时间, 可以确定雷电对接触网支柱的闪击是造成信号设备故障及分支电缆击穿的主要原因。

## 2.3 分支电缆击穿原因

采用绝缘电阻测试仪对既有分支电缆的钢带绝缘电阻进行测试, 测试结果为0.5 mΩ, 远低于正常信号电缆的绝缘电阻值, 说明分支电缆存在外皮绝缘有破损点或者有绝缘击穿的点的情况。基于这一判断, 现场对分支电缆进行了开挖工作。将分支电缆挖出后, 发现在靠近接触网支柱1位置的信号电缆有明显的击穿放电现象, 且部分分支电缆芯线已经烧融断开, 可见本次侵入的危害能量较大。综合本次视频监控记录信息和接触网馈线断路器跳闸情况, 雷电过电压和工频过电压共同造成了本次分支电缆击穿烧损故障及箱盒和转辙机设备内放电现象。

### 2.3.1 雷电过电压计算

当接触网线或接触网线支撑架接闪后, 雷电流通过接触网支柱接地线泄放入地, 并在入地点附近产生比较高的电位升  $U$ , 如图6所示。本次接闪雷电能量较大(有明显的光柱产生), 由于接触网支柱

工频接地电阻较高, 雷电流在接地装置上的消散效果不好, 在接地装置上消散部分后仍有较大能量向远方传导。电位升通过轨面对地阻抗转移, 使靠近接触网支柱1的钢轨上形成地电位  $U_1$ , 另一根钢轨上形成地电位  $U_2$ 。

雷电流入地点电位升如公式(1)所示。

$$U = U_R + U_L = I_i R_i + L \frac{di}{dt} \approx I_i R_i + L \frac{I_i}{\tau} \quad (1)$$

公式中:

$U$ : 冲击地电位升, kV;

$U_R$ : 雷电流在接地体上产生的阻性冲击电位升, kV;

$U_L$ : 雷电流在引下线上产生的感性冲击电位升, kV;

$I_i$ : 接闪泄放入地的雷电流峰值, kA;

$R_i$ : 接触网支柱的冲击接地电阻, Ω;

$L$ : 引下线和接地网的距离, m;

$\tau$ : 为雷电流的波头时间, μs。

冲击接地电阻  $R_i$  和工频接地电阻  $R$  之间的换算如公式(2)所示, 其中  $A$  为换算系数<sup>[3]</sup>。

$$R_i = A \times R \quad (2)$$

现场测试的接触网支柱的接地电阻为20 Ω, 工频接地电阻和冲击接地电阻之间的换算系数  $A$  取0.5, 带入公式(2)可知:

$$R_i = A \times R = 0.5 \times 20 = 10 \Omega;$$

参照文献[4]中对雷电发生概率的数据, 自然界有90%的雷电流都超过10 kA。结合视频监控观测到的接闪情况, 本次闪击的雷电流可能达上百千安, 但是由于没有具体的雷电测量数据, 本次计算取雷电流幅值为10 kA, 波头时间为2.6 μs<sup>[5]</sup>, 接触网支柱引下线长度为9 m<sup>[6]</sup>, 冲击接地电阻值  $R_i$  为10 Ω。带入公式(1), 可知:

$$U \approx 10 \times 10 + 9 \times 1 \times \frac{10}{2.6} \approx 134.6 \text{ kV}$$

雷电流在接地装置产生的地电位升为134.6 kV, 远大于信号电缆的冲击耐受电压15 kV<sup>[7]</sup>。

### 2.3.2 工频过电压计算

雷击接触网线支撑绝缘子发生沿面闪络, 造成

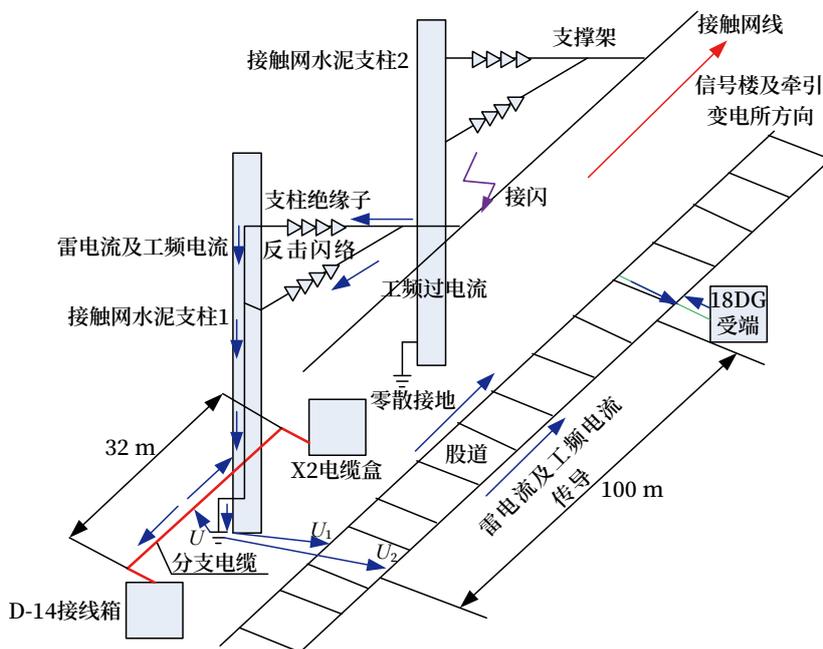


图6 接触网支柱接闪反击  
Fig.6 OCS Pole lightning receiving counterstrike

工频电流从接触网支柱引下线流入接地装置，使入地点附近地电位抬升。工频地电位升高的计算如公式 (3) 所示<sup>[8]</sup>。

$$V = I_G R \quad (3)$$

公式中， $V$ ：地电位升高，kV；

$I_G$ ：最大接地不对称故障电流有效值，kA；

$R$ ：工频接地电阻， $\Omega$ 。

取短路电流为 3 kA<sup>[9]</sup>，接地电阻为 20  $\Omega$ ，代入公式 (3) 计算：

$$V = 3 \times 20 = 60 \text{ kV}$$

根据文献 [10] 的规定：铁路信号电缆芯线与屏蔽层或金属护套的绝缘介质强度为 1 800 V (2 min)。通过计算可知，入地点工频短路电流产生的电位升为 60 kV，其附近的电位升也远大于信号电缆的绝缘耐受电压。

## 2.4 断路器跳闸原因

根据前文分析，由于地电位转移的原因，两根钢轨上分别有  $U_1$  和  $U_2$  的电位，并沿钢轨分别向远方传导。假设传导至 18DG 轨道连接处的电位分别衰减成  $U_1'$  和  $U_2'$ ，两者之间存在电位差为  $\Delta U'$ <sup>[11]</sup>，如图 7 所示。 $\Delta U'$  的电位差施加在 SPD 上面，通过 10 A 断路器后形成过电流。由于本次雷电能量

较高，衰减后的过电流仍超过了 10 A 断路器的冲击耐受能力，造成了 10 A 断路器跳闸，导致本次“红光带”故障发生。

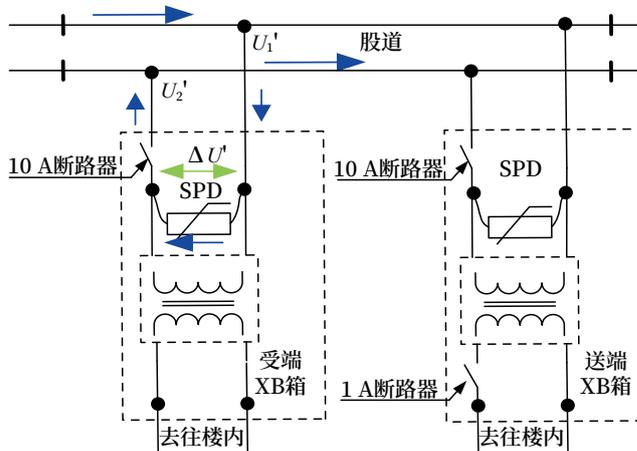


图7 雷电过电压造成断路器跳闸原因分析  
Fig.7 Cause analysis of circuit breaker trip caused by lightning overvoltage

## 2.5 转辙机失表原因

通过调取集中监测的数据发现：17 日 00：29，18#道岔 X2 定位交流电压由 61.3 V 升至 109.7 V，定位直流电压由 20.9 V 降为 0 V，造成这种现象的可能原因是电缆断线或道岔整流二极管损坏（开路故障）。

综合前文的分析情况,雷电流闪击接触网线或接触网线支撑架,产生较高的过电压致使支柱绝缘子沿面闪络。雷电流和工频电流通过闪络通道沿引下线流入接地装置,在接地装置上产生较高的瞬间地电位升,在入地点和分支电缆之间形成反击过电压。反击过电压击穿了分支电缆绝缘,使雷电流和工频电流从击穿点侵入电缆芯线,造成了电缆外铠烧穿、芯线熔断及道岔整流二极管损坏,进而导致了转辙机失去表示故障。此外,入侵的雷电流和工频电流使D-14接线箱、X2电缆盒及转辙机设备内的螺丝、螺钉、箱体等与电缆芯线之间以及电缆芯线相互之间存在较大的电位差。该电位差造成了箱盒和转辙机设备内的放电现象,导致箱盒和转辙机设备内有喷黑的情况。

### 3 优化建议

#### 3.1 分支电缆布设

现场分支电缆距接触网支柱为0.4 m,未施加额外的绝缘措施,使绝缘击穿情况更容易产生。建议分支电缆应尽量远离接触网支柱及其接地线2 m外<sup>[12]</sup>敷设,条件困难时,分支电缆穿长5 m厚3 mm的PPR管,增加绝缘措施。

#### 3.2 分支电缆钢带接地及绝缘电阻测试

##### 3.2.1 分支电缆钢带接地

根据文献[12]中的要求,分支电缆的金属护套和钢带与干线电缆的金属护套和钢带焊(拧)起来,通过干线电缆实现单端接地,但这种做法存在使故障范围扩大的隐患。当分支电缆出现故障时,如出现工频过电流或雷电流入侵的情况,过电流会通过分支电缆钢带侵入到干线电缆钢带,进入到信号楼内入地,扩大了故障的影响范围。因此,建议在每个终端盒处将分支电缆金属护套和钢带接地,电缆接线箱处不接地,实现分支电缆单端接地。

##### 3.2.2 分支电缆钢带绝缘电阻测试

从现场多年运行的情况看,信号电缆钢带对地绝缘不良点容易出现绝缘击穿故障,并在绝缘击穿点和钢带接地点形成电缆钢带双端接地,信号电缆成为过电流的泄流分支回路,进而导致信号电缆烧

损故障发生。相比于干线电缆,分支电缆布放方式较为复杂,可能牵涉过轨、无线槽直埋、与杆塔基础交叉等,布放中容易出现线缆外皮破损的问题。因此,现场出现和分支电缆相关作业后,应采用500 V兆欧表,测试分支电缆钢带与地之间的绝缘电阻,在绝缘良好的情况下再接地。参考文献[13]中室外信号设备的绝缘电阻要求,绝缘性能完好的分支电缆钢带对地绝缘电阻不应小于25 mΩ。

#### 3.3 轨道电路箱盒内钢轨侧SPD设置优化

轨道电路箱内钢轨侧SPD设置在10 A断路器后端,过电流通过SPD导走时一定会经过10 A断路器,增加了10 A断路器冲击跳闸的概率。建议将钢轨侧的SPD外移,接在10 A断路器进线侧,并提高SPD的通流容量至40 kA。当钢轨之间有电压时,SPD导通,并分流走大部分过电流,降低10 A断路器异常跳闸概率,如图8所示。

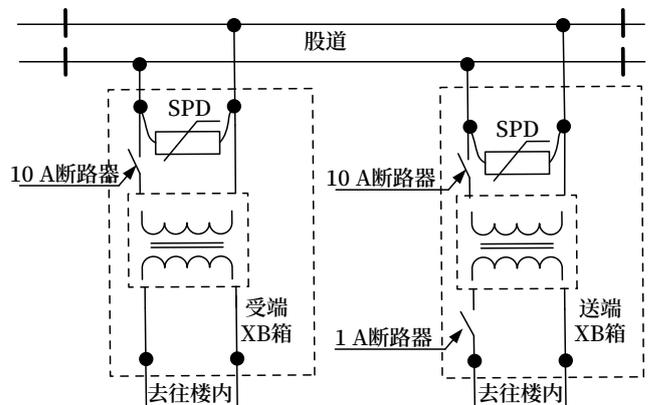


图8 轨道电路箱内钢轨侧SPD设置优化示意  
Fig.8 Schematic diagram of SPD setting optimization on the rail side of track circuit box

#### 3.4 接触网支柱接地方式优化

在项目建设阶段,电务部门应与牵引供电部门沟通协调,分散接地的接触网支柱接地电阻值应不大于10 Ω,条件困难时应不大于20 Ω,尽可能减少因接地电阻值不一致导致的电位差而产生的危害。

在施工验收和日常维护中增加对分散接触网支柱的接地电阻测试,对未设置回流线的接触网支柱接地装置增加局部连接地线,使多个接触网支柱接地装置用40 mm×4 mm热镀锌扁钢相互连接,增加故障

状态下的分流途径,降低故障点地电位升,减少反击危害。

#### 4 结束语

通过对一起典型的雷击接触网线或接触网线支架造成信号分支电缆击穿及轨旁信号设备故障问题分析,得出以下结论。

1) 调阅站场视频监控资料,可以作为确定信号设备故障危害源的重要手段,在其他信号设备雷害故障调查中可以参考应用。

2) 对信号设备而言,分散接地的接触网支柱可能成为较强的危害源,造成的危害程度与接触网支柱接地电阻、与信号电缆距离、信号电缆外皮绝缘完整性、支柱短路电流等因素有关。

3) 分支电缆钢带单端接地和对地绝缘电阻测试,能够在一定程度上避免故障的发生和限制故障范围,应至少在项目验收时测试一次。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路电力牵引供电设计规范:TB 10009-2016[S]. 北京:中国铁道出版社,2016.
- [2] 付茂金,阮小飞,王州龙,等. 高速铁路通信信号综合防雷技术[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑物防雷设计规范:GB 50057-2010[S]. 北京:中国计划出版社,2011.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 雷电防护第1部分:总则:GB/T 21714.1-2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [5] 何金良,杨滚,余占清. 用于雷电防护的雷电流波形参数研究[J]. 建筑电气,2017,36(3):3-8.  
He Jinliang, Yang Gun, Yu Zhanqing. A Study on Lightning Current Waveform Parameters for Lightning Protection[J]. Building Electricity, 2017, 36(3): 3-8.
- [6] 中华人民共和国国家铁路局. 电气化铁路接触网预应力混凝土支柱:TB/T 2286-2020[S]. 北京:中国铁道出版社,2020.
- [7] 陈庆华,韩聪颖. 南方某动车所雷击故障分析及建议探讨[J]. 铁路通信信号工程技术,2020,17(1):88-92.  
Chen Qinghua, Han Congying. Analysis of Fault Caused by Lightning Strike in EMU Depot in Southern China and Suggestions on Fault Prevention[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(1): 88-92.
- [8] 阮小飞,曹亚萍,王旭,等. 铁路牵引变电所二次侧设备强电危害分析及防护措施研究[J]. 铁道通信信号,2020,56(7):31-34.  
Ruan Xiaofei, Cao Yaping, Wang Xu, et al. Hazard Analysis of Strong Power of Secondary Equipment in Railway Power Substation and Study on Protection Measures[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(7): 31-34.
- [9] 曹晓斌,何方方,韩虎,等. 铁路站场中间接触网短路对附近信号电缆的影响[J]. 铁道学报,2017,39(8):45-51.  
Cao Xiaobin, He Fangfang, Han Hu, et al. Effect of Short Circuit of OCS in the Middle of Station Yard on Adjacent Signal Cable[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(8): 45-51.
- [10] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号电缆第1部分:一般规定:TB/T 2476.1-2017[S]. 北京:中国铁道出版社,2017.
- [11] 陈喜林,阮小飞,徐金鹏. 轨道电路匹配盒内断路器异常跳脱解决方案[J]. 铁道通信信号,2018,54(8):48-50.  
Chen Xilin, Ruan Xiaofei, Xu Jinpeng. Solution to Abnormal Jumping off Breaker in Matching Box of Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(8): 48-50.
- [12] 中国铁路总公司. 快速发展的中国高速铁路[M]. 北京:中国铁道出版社,2018.
- [13] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号产品绝缘电阻:TB/T 1447-2015[S]. 北京:中国铁道出版社,2016.

# 基于车-地数据联合分析的 三起列车制动原因及对策

吴敬华, 冯 飞

(中国铁路上海铁路局集团有限公司徐州电务段, 江苏徐州 221000)

**摘要:** 根据列车实际运行情况, 对制动原因进行分类分析, 发现车地间信息不兼容造成的制动原因分析较复杂, 需要分析的数据较多。选取 3 个典型案例, 从地面和车载数据分析入手查找制动原因, 并提出解决对策, 对设备维护具有一定的借鉴或者参考价值。

**关键词:** 列控系统; 列车制动; 应答器报文; 数据分析

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0104-06

## Three Train Braking Reasons and Countermeasures Based on Joint Analysis of Train-ground Data

Wu Jinghua, Feng Fei

(Xuzhou Signaling & Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** According to the condition of actual train operation, the braking causes are classified and analyzed, and it is found that the analysis of braking causes caused by the incompatibility of information between the train and the ground is more complex and requires more data to be analyzed. This paper selects three typical cases to find out the causes of braking from the ground and vehicle data analysis, and puts forward solutions, which has certain reference value for equipment maintenance.

**Keywords:** train control system; train braking; balise message; data analysis

高速铁路的快速发展和新技术的不断涌出, 势必会带来多种列车车载设备和列控地面设备信息交互, 虽然其中各设备都可以满足其自身规范设计和客观要求, 但是从实际运行情况来看, 还是会经常出现列车制动甚至停车的场景。为此选取 3 起较为典型的列车制动问题, 利用车-地数据联合进行分析, 旨在为维护人员处理此类问题时提供帮助。

收稿日期: 2023-01-17; 修回日期: 2023-07-07

第一作者: 吴敬华 (1977—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 地面信号设备管理, 邮箱: ff308134810@163.com。

### 1 列控系统概况

列控系统由列控地面设备和列控车载设备组成, 列车根据应答器、ZPW-2000 轨道电路、RBC 等地面设备提供的线路数据、临时限速等信息, 结合列车本身的信息, 综合计算生成列车目标-距离控制模式曲线, 并实时与列车实际运行速度进行比较, 确保行车安全<sup>[1]</sup>。

列控地面设备和列控车载设备都需要满足铁总的标准规范, 以及设备的技术规范。

## 2 制动原因分类

通过梳理目前管内发生的列车制动问题，主要分为3类原因造成：一是由于无线超时造成制动<sup>[2-3]</sup>，二是由于应答器故障造成制动<sup>[4]</sup>，三是由于车地系统间信息不匹配造成制动<sup>[5]</sup>。无线超时类制动原因往往需要分析三接口信息，而且大部分都是由于通信干扰或者列车单电台造成，此类制动一定是有数据不满足规范或者不满足客观需求；应答器故障类制动原因通过列控车载动态监测系统（DMS）进行分析即可，应答器故障在DMS上都会有相应的报警信息。相比前两类制动，车地系统间信息不匹配造成制动需要分析的内容更多，不仅需要分析地面设备数据和车载数据是否符合规范，有时还需要分析车载设备内在的处理逻辑。如果只依靠地面或者车载单方面进行处理，制动原因不易查清，处理过程也更加复杂。

## 3 车地系统联合分析案例一

### 3.1 故障概况

G55815（300S）经盐通下行线正方向运行至国道村线路所通过，K142级间切换点处允许速度由250 km/h抬升至300 km/h约3 s后突降至260 km/h左右。

### 3.2 数据分析

#### 3.2.1 列控地面数据分析

由于速度发生变化，首先通过列控回放，地面

的码序一直保持未发生突变。然后查看列控工程数据表中的线路速度信息表，可以看出K2+408至K146+108的速度描述都是310 km/h，接着查看最近相关应答器090-1-11-9-1报文数据，[ETCS-27]包中速度描述是300 km/h，满足工程数据表描述要求。查看090-1-11-9-2应答器报文数据，[ETCS-41]包中距离CTCS-3（简称C3）转CTCS-2（简称C2）等级转换的7 802 m，正是C3转C2的等级转换执行点。

综上分析，地面码序和应答器报文都正常。

#### 3.2.2 列控车载数据分析

分析车载JRU数据，收到应答器090-1-11-9包含等级转预告信息，预告前方距离等级转换点7 802 m，如图1所示。列车在经过90-1-11-25应答器后，速度抬升至300 km/h，随后当列车越过等级转换执行应答器90-1-11-27后转入C2等级，C2允许速度250 km/h。

车载解析的应答器数据和码序都正常。

### 3.3 原因分析及解决对策

通过车-地数据综合分析可知，地面描述的数据和车载解析的数据两者一致，而且地面数据描述也正确，那么引起速度变化的原因需要从车载逻辑入手。经与车载厂家联系确认，由于300S车载设备只能依据8组最近相关应答器组去定位等级转换点位置，当等级转换预告应答器编号不在8组内时，等级转换点的C2允许速度会变为无效值。

查看应答器位置表发现，等级转换预告点（应

图1 车载收到的等级预告信息

Fig.1 Diagram of class pre-notice information received by the vehicle

答器 90-1-11-9) 至等级执行点 (应答器 90-1-11-27) 之间链接的应答器有: 90-1-11-11、90-1-11-13、90-1-11-15、90-1-11-17、90-1-11-19、90-1-11-21、90-1-11-23、90-1-11-25, 所以当列车运行至 90-1-11-25 应答器后, 列车还未行至等级执行

点, 会导致 C2 允许速度变为无效, 列车速度重新抬升至 300 km/h, 后来经过等级执行点后, 速度又降到 259 km/h, 如图 2 所示。所以出现速度突变的原因是由于车载逻辑导致, 提出以下解决方案。

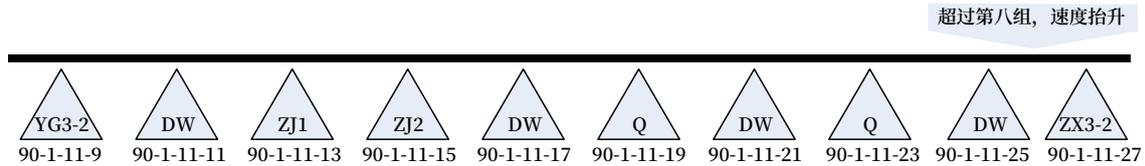


图2 速度抬升  
Fig.2 Schematic diagram of speed rise

方案一: 后续对列车车载设备进行升级。

方案二: 修改地面数据适应车载逻辑。

为尽快消除速度突变的影响, 车载设备升级涉及全国范围, 短时间难以完成。所以决定通过修改地面应答器数据进行解决, 在原有的 90-1-11-13 中增加等级转换预告信息, 这样等级预告点至执行点之间的应答器组数量满足车载逻辑要求。

查看列车数据发现, 列车通过圩洋线路所 TXLF 列车允许速度由 120 km/h 突降至 100 km/h, 车载收到应答器 88-3-19-14-1 (TS 应答器) 描述的坡度数据与应答器 88-3-19-72 (TXLF 应答器) 描述的后续坡度数据存在差异, 88-3-19-72 描述的后续坡度为下坡, 且坡度较大, ATP 在 TSM 区为了对列车进行有效防护, 计算速度曲线, 降低此时的允许速度。

## 4 车地系统联合分析案例二

### 4.1 故障概况

G55712 次, 列车以 C2 完全模式经徐盐客专上行正向运行, 圩洋线路所通过, 路径始端 TS 信号机到终端信号机 TXLF 的进路 (TS-TXLF), 列车经过信号机 TXLF 后, 列车的允许速度由 120 km/h 突降至 110 km/h, 列车触发 EB 制动停车。

### 4.2.2 列控地面数据分析

查看应答器报文中坡度数据, 88-3-19-14-1 (BTS) 描述的是徐盐正线的坡度信息, 460 m 的 -3‰下坡, 235 m 的 -20‰下坡, 1 165 m 的 8‰上坡。从 BTS 出发到 BTXLF 共 725 m, 处于 8‰的上坡中, 但是经过 BTXLF 后, 坡度信息进行了更新, BTXLF 描述的是青盐线正线的坡度信息, 336 m 的 -20‰下坡, 512 m 的 -11‰下坡, 与之前收到的坡度信息变化较大, 如图 3 所示。

### 4.2 数据分析

#### 4.2.1 列控车载数据分析

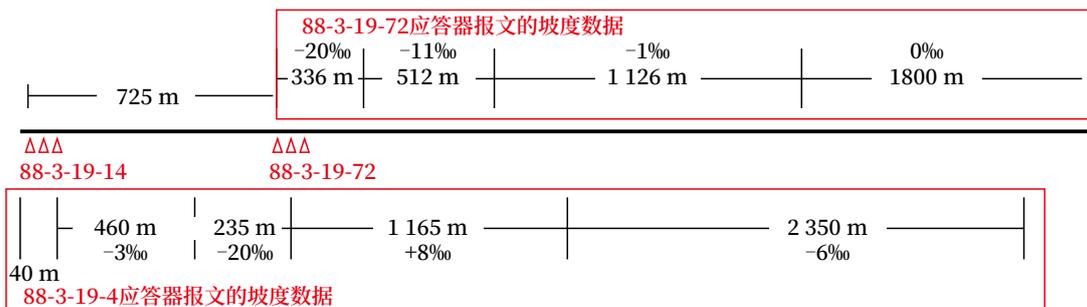


图3 BTS和BTXLF应答器坡度信息对比  
Fig.3 Comparison of slope information between Balise BTS and BTXLF

### 4.3 原因分析及解决对策

综上分析,地面应答器 BTS 和 BTXLF 描述的坡度信息都是各自正线的坡度信息,符合技术规范<sup>[6]</sup>。但是列车没有办法区分,列车通过计算发现两者描述的坡度上下坡度相差较大,为了保证运行安全,引发制动,提出以下解决方案。

方案一:参照《列控系统应答器应用技术条件》(Q/CR 769-2020) 6.2.2.8<sup>[7]</sup>:当不同进路坡度上下坡度不同且坡度相差较大时,坡度数据可在有源应答器中描述。

删除圩洋线路所 BTS 无源应答器中的接车坡度数据,由有源应答器根据实际进路情况发送相应坡度数据,可确保去往徐盐和连盐方向的坡度数据与线路实际一致,此方案描述的坡度最为准确。

方案二:修改 BTS 的正向接车坡度,由原描述徐盐方向改为描述连盐、徐盐两个方向较为不利的坡度,可保证去往连盐方向先后经过的 BTS 和 TXLF 两应答器时没有明显的坡度突变。另外防止收到 BTS 出现坡度突变,同时修改 BTS 外方的最近 Q 应答器组 B3088 中的正向坡度。

修改有源应答器中报文数据,涉及列控中心编制软件、软件验证、仿真试验等环节,耽误时间较长。同时从安全角度出发,方案一和方案二的安全性相差不多,方案二实施也较简单,综合考虑最终采用方案二。

## 5 车地系统联合分析案例三

### 5.1 故障概况

G8352 列车圩洋线路所通过时因 ATP 限速曲线突降导致触发最大常用制动。

### 5.2 数据分析

#### 5.2.1 列控地面数据分析

首先选取一周内不同车次、同一交路的运行情况,通过统计发现,发生制动都是 300H 车型。其余的列车(300T/300S)没有发现该情况,初步判断和 300H 车载逻辑有关。

其次通过回放,地面信号开放正常,且地面码

序发送正常,未发生突变的情况。

然后分析 RBC 数据。RBC 向列车发送基于新 LRBG 的行车许可 M3,区段长度 3 745 m。MA 终点为盐城北站 SII 信号机处(RBC 管辖终点)。徐盐 RBC3 向列车发送行车许可正常。

再通过查看 DMS 发现,制动的时刻是列车收到 RBC 发送 C3-C2 等级转换预告时,查看工程数据表,从等级转换预告点到等级转换执行点距离大于 800 m,线路允许速度是 120 km/h,按照《列控系统应答器应用技术条件》(QCR 769-2020)符合从等级转换预告点到等级转换执行点距离,即大于列车由 C3 等级允许速度降至 C2 允许速度的制动距离,再加上该区段线路允许速度运行 5 s 的距离的要求。

最后查看列控中心应答器报文,[CTCS-2]包中限速长度是 803 m,符合《列控系统应答器应用原则》(TB 3484-2017)附录 B.4 对进站应答器组 [JZ] 临时限速 [CTCS-2] 的描述,如图 4 所示。

综上分析,地面数据均符合要求。

#### 5.2.2 列控车载数据分析

车载设备以 C3 等级完全模式通过编号为 88-3-19-14 (BTS) 的应答器组,收到 C2 临时限速信息,提示 C2 等级临时限速的速度为 200 km/h,临时限速有效区段长度为 805 m,到临时限速有效区段的距离为 0 m。

车载设备收到 RBC 发送的 M#3 消息,包含 P#41 等级转换命令,描述至等级转换点距离为 945 m。可见,车载设备 C2 临时限速信息未覆盖至等级转换点。

根据《CTCS-3 级列控车载设备技术条件》(TB 3483-2017) 8.4.5.2<sup>[8]</sup>:列控设备临时限速信息更新失败或者临时限速信息耗尽时,由临时限速引起的常用制动干预曲线(SBI)突降为 50 km/h,是紧急制动干预曲线(EBI)缓降为 55 km/h。可知,等级转换点 C2 主控单元的目标速度为 45 km/h。

根据《CTCS-3 级列控车载设备技术条件》(TB 3483-2017) 6.14.2:固定点执行 C3 → C2 转换时,

2	临时限速 [CTSC-2]	正线接车	正向	正线TSR管辖范围应从本站进站口开始至前方车站出站口应答器(或中继站第二个有源应答器组)再增加一个防护距离,防护距离应涵盖从防护始端应答器所在区段的线路最高允许码降至HU码的所有闭塞分区并延伸200 m
		侧向接车-1	正向	TSR有效区段长度为接车进路始端应答器至终端防护信号机并延伸80 m
		侧向接车-2	正向	TSR有效区段长度为接车进路始端应答器至发送进路延续临时限速的应答器并延伸80 m
		侧向接车-3	正向	TSR有效区段长度为接车进路始端应答器至发送进路延续临时限速的应答器并延伸80 m

图4 TB 3484-2017《列控系统应答器应用原则》附录B.4  
Fig.4 Appendix B.4 of TB 3484-2017 The Balise Application Principle for the Train Control System

收到等级转换命令后, C3 主控单元宜向 C2 主控单元发送等级转换位置信息, C2 主控单元向 C3 主控单元报告等级转换点的目标速度。列车前端越过转换执行点, C3 主控单元命令 C2 主控单元进入前台工作状态。C2 主控单元在前台控车时, C3 主控单元负责车载设备系统监管。可知, 车载设备收到 P#41 后, C2 主控单元向 C3 主控单元报告等级转换点的目标速度, 车载设备根据等级转换点 C2 主控单元的目标速度 45 km/h 生成 C3 等级控车模式曲线, 车载设备处理逻辑正常。

### 5.3 原因分析及解决对策

综上所述, 根据 300H 型 ATP 逻辑, 车载设备收到 P#41 后(即经过 BTS 应答器后, 从 RBC 收到 P#41 包), C2 主控单元向 C3 主控单元报告等级转换点的目标速度。由于此时 BTS 应答器中描述的临时限速管辖范围并未覆盖等级转换点(BTS 应答器中描述的临时限速有效长度为  $LBTS-BTXLF+80\text{ m}=805\text{ m}$ , 无法覆盖到 B4296 等级转换执行应答器), 故 300H 车载设备根据等级转换点 C2 主控单元的目标速度 45 km/h 生成 C3 等级控车模式曲线, 造成 SBI 限速曲线突降为 104 km/h, EBI 限速曲线突降为 118 km/h, 此时列车速度为 113 km/h, 超过 SBI 限速曲线, ATP 触发最大常用制动。

为了彻底解决此隐患, 需要由厂家对方案进行模拟试验验证, 期间为了避免再次出现制动情况, 需要在圩洋线路所侧 4 区下达 80 km/h 的临时限速命令进行过渡。

最终解决方案经过厂家试验室验证, 以及兼顾到其他车载设备, 最终决定同步修改 RBC、列控中心和相关应答器报文数据, 以解决 300H 因 BTS 应答器限速覆盖范围不足问题引起的制动问题。

## 6 结束语

通过以上 3 个案例分析可以发现, 单独的车载或者单独的列控地面设备不管是数据描述, 还是逻辑判断都是符合规范或者是符合要求, 如果只单独分析地面或者车载数据, 都不能判断列车制动的原因。所以此类制动问题往往需要联合车、地两家数据进行分析, 才能准确地找到故障原因, 并提出针对性的解决措施。

### 参考文献

- [1] 江明. CTCS-3 级列控系统发展历程及技术创新[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(1): 2-7.  
Jiang Ming. Development History and Technological Innovation of CTCS-3 Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(1): 2-7.
- [2] 陈曦, 马剑, 黄文宇. CTCS-3 级列控系统无线通信超时研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(11): 29-32.  
Chen Xi, Ma Jian, Huang Wenyu. Research on Wireless Communication Timeout of CTCS-3 Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(11): 29-32.

- [3] 郑涛. CTCS-3 无线通信超时分析与优化建议 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (10): 100-103.  
Zheng Tao. CTCS-3 Wireless Communication Timeout Analysis and Optimization Suggestions[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 100-103.
- [4] 刘建忠. CTCS-2 级列控系统有源应答器故障后的临时应急处置措施探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (7): 76-79.  
Liu Jianzhong. Discussion on Temporary Emergency Disposal Measures after Failure of CTCS-2 Active Balise[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(7): 76-79.
- [5] 孔得盛. 高普联络线车地兼容性典型问题研究 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (12): 24-27, 33.  
Kong Desheng. Research on Common Problems of Train-Ground Compatibility of Connection Line between High-Speed Railway and General Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(12): 24-27, 33.
- [6] 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.
- [7] 中国国家铁路集团有限公司. 列控系统应答器应用技术条件: Q/CR 769-2020 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
- [8] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-3 级列控车载设备技术条件: TB/T 3483-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### 澳大利亚维多利亚州授予价值10亿美元的票务系统合同

作为 Conduent 交通集团的子公司, Conduent 集团与 Convergint 集团的合伙企业被维多利亚州政府所选中, 将会为维多利亚州提供更新一代的公共交通票务系统, 这个系统叫做 myki 系统。这两家公司将会通过实施采用无接触式付款并且基于账户的先进公共交通票务系统, 为维多利亚州升级现有的一卡通解决方案, 并且为乘客提供更好的用户体验。

根据有关合同, 这两家公司将会从 2023 年 12 月开始负责现有系统的管理, 并且预计从 2024 年开始开展新建系统的一期测试。这个公共交通票务系统计划将会覆盖大墨尔本地区乃至整个维多利亚州的乘客。这个合同预计价值超过 10 亿美元, 并且持续 15 年。

维多利亚州公共交通部长本·卡罗尔 (Ben Carroll) 表示, “在过去 7 年中我们对 myki 系统做出改进, 现在这个新签合同将会为乘客带来更大好处, 通过使用成熟技术, 使得充值、刷卡以及出行更加快速并且更加方便。”

维多利亚州更新一代的公共交通票务系统将会分为两个阶段实施。第一阶段, Conduent 集团将会在巴士、火车和有轨电车上安装刷卡设备, 并且提供无接触式贷记卡和借记卡 (欧洲信用卡 (Eurocard)、万事达卡、维萨卡和美国运通卡) 支付系统。这样, 乘客付款的时候将会既可以使用现有的 myki 交通卡, 也可以使用借记卡和贷记卡, 以及支持 NFC 的设备, 包括带有电子钱包的智能手机和智能手表。

第二阶段, Conduent 集团将会实施基于账户的票务 (ABT) 系统。这样, 通过将虚拟车票储存在云系统中, 使得智能手机、智能卡 (又称 “SM 卡”) 等一系列设备与用户账户安全连接起来。通过灵活的基于账户的功能, 将会提供更好的用户体验。Conduent 集团的 ABT 系统的核心是 Atlas Ops, 这个创新的云解决方案是专门针对多式联运环境设计的。Atlas Ops 设置可以配置的功能, 以便提供各种票务功能和产品。

这个新签合同将会确保 myki 系统在未来若干年内更加高效并且更加有效, 并且支持通过在市场上的成熟技术实现系统升级, 以便所有乘客可以采用安全并且无缝的方式, 进入并且使用公共交通系统并且支付款项。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘昶编译自: www.railwaypro.com 2023-05-22)

# 一起计算机联锁与CTC通信异常故障案例简析

戴明福

(卡斯柯信号有限公司, 上海 200071)

**摘要:** 作为信号系统关键设备, 计算机联锁与 CTC 设备接口的通信稳定, 是行车安全和提高运输效率的重要保证。当 CTC 与计算机联锁系统通信中断时, 会对现场运营产生较大影响。就某站计算机联锁系统与 CTC 通信异常, 导致车务终端站场界面失去表示的故障进行分析, 并制定针对性解决措施, 现场实施效果良好, 相关解决方案提高联锁与 CTC 通信的稳定性, 确保现场设备的安全运行。同时也可为其他站处理类似故障提供参考和借鉴。

**关键词:** 计算机联锁; CTC; 通信故障; 案例分析

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0110-05

## Case Analysis of Abnormal Communication Between Computer-based Interlocking and CTC

Dai Mingfu

(CACSO Signal Ltd., Shanghai 200071, China)

**Abstract:** As the key equipment of signal system, the communication stability between computer-based interlocking(CBI) and CTC interface is an important guarantee for traffic safety and transportation efficiency improvement. When the communication between CTC and CBI system is interrupted, the field operation will be greatly affected. This paper analyzes the fault of a station caused by the abnormal communication between the CBI system and CTC, which leads to the loss of the interface of the station and yard of the vehicle terminal, and puts forward the corresponding solutions. The field implementation results are good. The relevant solutions improve the stability of the communication between the interlocking system and CTC, and ensure the safe operation of the field equipment. At the same time, it can also provide reference for other stations to deal with similar faults.

**Keywords:** CBI; CTC; communication failure; case analysis

计算机联锁设备是保证车站站内列车和调车作业安全, 提高车站通过能力的信号核心设备。利用

计算机对车站作业人员的操作命令及现场设备状态表示信息进行逻辑运算, 从而实现对信号机、道岔以及进路等的集中控制, 使其达到相互制约, 以保证行车安全的车站联锁设备。调度集中系统是行车调度员在调度中心集中控制和监视所管辖区段内各

收稿日期: 2022-02-28; 修回日期: 2023-07-05

作者简介: 戴明福(1988—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 控制工程, 邮箱: daimingfu@casco.com.cn.

车站的信号设备。它将计算机、通信、控制技术融为一体，使铁路运输的连续性、分散性和运输管理的集中性、实时性紧密结合，依靠指挥行车控制信息和有关行车表示信息的正确、实时传送，统一调度和指挥列车安全、高效地运行。利用 CTC 系统集中控制的优势，部分车站及线路所不再设置信号员。类似这些无人值守车站，当 CTC 与联锁系统通信中断后，导致 CTC 车务终端站场界面失去表示时，由于车务和电务人员很难在第一时间到达站点进行故障应急处理，会对行车组织产生较大影响。为此在系统层面提高设备运行的稳定性，对保障现场的安全高效运营至关重要。针对某站联锁与 CTC 通信异常，导致 CTC 车务终端站场界面失去表示这一故障，从软件和硬件两方面进行深入分析，查找定位故障的直接和间接原因，制定规避此类故障的针对性措施，以提高现场设备运行的稳定性。

## 1 概况

2019 年 3 月 26 日 06:11:43，某站计算机联锁操作 A 机（主机）与 CTC 自律机 A 通信中断，自律机发生切机。06:25:11，操作 A 机与自律机 B 也出现通信中断。在操作 B 机（备机）与自律机双系通信良好的情况下，因联锁未切机，出现了 CTC 车务终端站场界面失去表示故障。该站故障发生前后，操作 A 机一直作为主机。现场重启操作 A 机工控机后，故障恢复。

## 2 系统接口

计算机联锁和 CTC 的接口通过计算机联锁系统操作机、CTC 车站自律机之间的通信实现，车站自律机与操作机之间采用交叉互连方式，物理连接如图 1 所示。

操作 A 机和操作 B 机通过主机中安装的串口卡（型号 MOXA CP-134U-I），外接 RS-422 串口线与 CTC 自律机物理连接。每台操作机串口卡引出两路 RS-422 串口，分别命名为 COM3 口和 COM4 口。操作 A 机的 COM3 口与自律机 A 连接，COM4 口

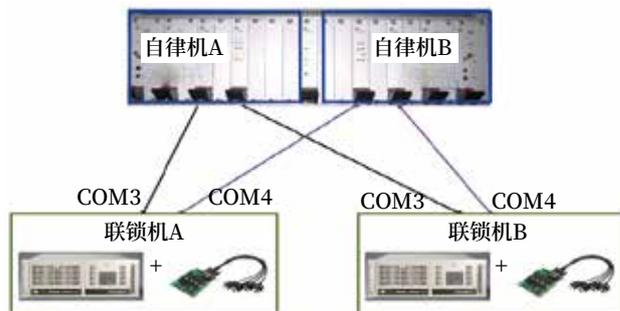


图1 联锁操作机与CTC物理连接示意  
Fig.1 Physical connection between interlocking equipment and CTC

与自律机 B 连接。操作 B 机的 COM3 口与自律机 A 连接，COM4 口与自律机 B 连接。操作机与自律机遵循主 - 主通信原则，联锁向 CTC 发送车站站场表示、控制模式转换等信息，自律机向联锁发送控制命令信息，两系统之间同时交互时钟和心跳等必要信息。

数据通信利用 RS-422 标准串行接口，采用 CRC 校验，接收应答和超时重传机制保证通信的可靠性。有通信数据帧时实时发送通信数据帧，无通信数据帧时发送心跳信息检测通信链路的完整性。

## 3 原因分析

06:11:43，联锁操作 A 机的 COM3 口与自律机 A 出现通信异常。具体表现为操作 A 机在收到来自自律机 A 的通讯请求帧（以下简称 DC2）后，向自律机 A 应答通讯允许帧（以下简称 DC3），此时操作 A 机认为与自律机 A 的通信已经建立。但随后又收到了自律机 A 发送的 DC2 帧，操作 A 机再次向自律机 A 发送 DC3 帧。这个过程一直在反复持续。06:25:11 开始，联锁操作 A 机的 COM4 口与自律机 B 也出现通信异常，该端口的表现形式与 COM3 口一致。

操作 A 机的 COM3 口在收到 DC2 帧后，向自律机回执了 DC3 帧。在自律机首次未收到 DC3 帧情况下，启动超时重传机制。在重发两次（加首次发送共 3 次后，因仍未收到该帧，所以其认为与联锁主机通信中断。因自律机主机判定与联锁主机通信中断时间超过 2 s 握手不成功，于是自律机执行

切机操作。自律机 A 降为备机，自律机 B 升为主机。此时操作 A 机的 COM4 口作为主 - 主通信通道。但随后自律机 B 因无法收到 COM4 口发送的 DC3 帧，其同样判定与该口通信中断。此时因联锁并未执行切机操作，致使自律机判定两系统主 - 主通信中断，于是出现车务终端站场界面失去表示的故障。

因操作 B 机的 COM3 口和 COM4 口与自律机两系均通信正常，在操作 A 机 COM4 口与自律机 B 通信出现异常后，若联锁执行切机操作，上述故障就可以规避。但实际上在以上的重复过程中，操作 A 机在收到 DC2 帧且向自律机回执了 DC3 帧后，判定与自律机握手成功。因其认为与自律机通信正常，所以未触发切机逻辑。操作机之所以判断与自律机通信正常，究其原因，是计算机联锁依据收到 DC2 帧且应答 DC3 帧作为通信建立的标志。而对于 DC3 帧计算机联锁遵循“管发不管收”的原则。受联锁与自律机间这种握手机制的约束，DC3

帧的发送与接收缺少完整链路的“监管”，在传输通道不良的情况下，该帧在传输通道上丢失后，两系统在逻辑处理时易引起误判，这是造成此次车站车务终端站场界面失去表示的直接原因。

对两系统均处于正常工作状态时突发接口通信重连故障的间接原因，进行深入的分析。通过对故障前的运行日志分析发现，通信双方在接收对方数据时，存在连续多包 CRC 校验不通过的记录。由于 CRC 校验不通过会导致通信复位，所以存在诸多操作机与自律机通信瞬间中断的告警信息。从接口日志梳理发现，CRC 校验不通过分为数据域出错和 CRC 本身出错两种情况，如图 2 所示。结合 CTC 和联锁日志，记录 CRC 错误时刻，倒推数据包传送过程中的出错位置，发现如下现象：对于数据域出错，表现为发送或确认序号字节的第 2 比特位出错。对于 CRC 本身出错，表现为 CRC 两个字节的第 2 比特位出错（高字节和低字节都有出错记录）。

```

数据域被改: 03 01 (01->03)
[CIS_COMM4]:Rcv CRC Error: recv eeb2, calc 88d0
联锁发送: [TX]:7D 04 11 03 01 06 B2 EE 7F;
被篡改成: [TX]:7D 04 11 03 03 06 B2 EE 7F;

数据域被改: 01 01 (前 01->03)
[CIS_COMM4]:Rcv CRC Error: recv 80d2, calc eeb2
联锁发送: [TX]:7D 04 11 01 01 06 D2 80 7F;
被篡改成: [TX]:7D 04 11 03 01 06 D2 80 7F;

数据域被改: 01 01 (后 01->03)
[CIS_COMM4]:Rcv CRC Error: recv 80d2, calc e6b0
联锁发送: [TX]:7D 04 11 01 01 06 D2 80 7F;
被篡改成: [TX]:7D 04 11 01 03 06 D2 80 7F;

CRC 被改: (80->82)1000 0000->1000 0010
[CIS_COMM4]:Rcv CRC Error: recv 82d2, calc 80d2
联锁发送: [TX]:7D 04 11 01 01 06 D2 80 7F;
被篡改成: [TX]:7D 04 11 01 01 06 D2 82 7F;

CRC 被修改: D9 ->DB 1101 1001->1101 1011
[CIS_COMM4]:Rcv CRC Error: recv db82, calc d982
联锁发送: [TX]:7D 04 12 02 01 06 82 D9 7F;
被篡改成: [TX]:7D 04 12 02 01 06 82 DB 7F;

CRC 被修改: A9 ->AB 1010 1001->1010 1011
[CIS_COMM4]:Rcv CRC Error: recv 1bab, calc 1ba9
联锁发送: [TX]:7D 04 11 04 01 AA 02 00 AA 55 A9 1B 7F
被篡改成: [TX]:7D 04 11 04 01 AA 02 00 AA 55 AB 1B 7F
    
```

图2 联锁操作机COM4口CRC出错记录  
Fig.2 CRC error record of COM4 port of interlocking equipment

从日志梳理还发现自律机收到的数据 CRC 出错位置相对比较规律，而操作机收到的数据 CRC 出错位置并无规律可循，如图 3 所示。

根据上述日志梳理结果，将故障排查重点放在两系统的接口通道上。主要排查对象为工控机与 MOXA 接触情况，MOXA 卡、MOXA 卡与 RS-422 串口线的连接线，RS-422 串口线。

1) 根据怀疑对象，首先对 MOXA CP-134U-I 型串口卡供货版本进行梳理确认。该串口卡在

```

.*YANLNC-MMIA*,*[RX]:7D 04 11 02 03 06 E0 EF 7E
.*YANLNC-MMIA*,*RCV ACK cmd! TxSeq=02, RxSeq=03
.*YANLNC-MMIA*,*定时(221)发送ACK握手信号...Tx=03, Rx=01
.*YANLNC-MMIA*,*[TX]:7D 04 11 03 01 06 B2 EE 7F
NNLNC-MMIA*,*接收到错误数据cmd=104, TxSeq=00, RxSeq=01
.*YANLNC-MMIA*,*[RX]:7D 04 11 0C 01 04 E0 51
.*YANLNC-MMIA*,*定时(225)发送ACK握手信号...Tx=03, Rx=01
.*YANLNC-MMIA*,*[TX]:7D 04 11 03 01 06 B2 EE 7F
.*YANLNC-MMIA*,*[RX]:7D 04 11 02 03 15 B2 9D 7E
    
```

图3 联锁操作机发送接收数据记录  
Fig.3 Data record sent and received by interlocking equipment

MOXA 系统中从 V2.2 版本开始供货，现场使用 V2.3 版本。V2.3 版本相对 V2.2 版本，仅针对 PIN

Header 及 Connector 的部分进行更新, 主要芯片无任何变更。

2) 对 MOXA CP-134U-I 型串口卡 PCB 板(金手指)的厚度进行测量, 经确认该卡的 PCB 板厚度为 1.61 mm, 符合标准。测量结果如图 4 所示。



图4 MOXA CP-134U-I型串口卡PCB板厚度  
Fig.4 PCB thickness of the MOXA CP-134U-I serial card

3) 对研华工控机主板进行检测。使用各种 PCI 卡片(网卡、声卡、MOXA 串口卡等)在槽位上测试, 系统下均可正常识别和工作, 使用拷机软件做压力测试均正常。使用放大镜观察 PCI 槽内状况, 并无明显异常(簧片折断、有异物、有短路等)。使用三次元影像测量机, 量测 PCI 槽内簧片间距。量测结果间距在 0.688 1 ~ 0.704 5 mm 之间。测量数据如图 5 所示。

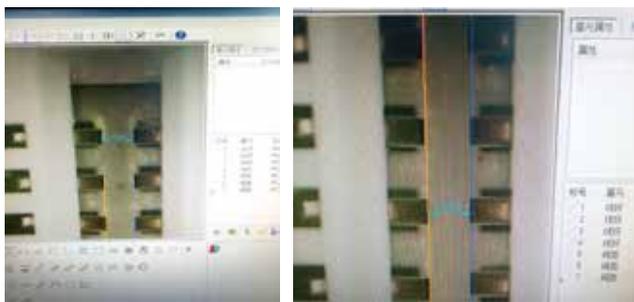


图5 研华工控机PCI插槽簧片测量数据  
Fig.5 Measurement data of  
PCI slot spring sheet of Advantech Industrial PC

从以上测量结果看, MOXA 卡以及其他 PCI 卡金手指的厚度约在 1.6 mm, 这个厚度是 PCI 槽内簧片间距的一倍以上, 且 PCI 槽内无明显簧片异常。因此, 卡片插入时金手指和簧片接触方面判断

并无不良。排除了因串口卡插入 PCI 插槽接触不良引起通信异常的因素。

4) 现场先后对 MOXA 驱动进行重新安装、联锁操作机双系的 RS-422 串口线进行了对调、对联锁操作机工控机和硬盘进行了更换、对 MOXA 卡与 RS-422 串口线的连接线同步做了更换, 但故障并未有效解决, 仍然会有 CRC 校验不通过的记录。

5) 实验室搭建环境进行故障复现。对现场故障工控机(连同 MOXA CP-134U-I 型串口卡)拷机测试发现, 在未加干扰的情况下进行断连试验, 在 COM3 口通信正常时, 断开其约 5 s, 使用 COM4 口连接, 通信可正常恢复。在 COM3 口通信正常时, 断开其约 10 s 以上时, 使用 COM4 口连接, 通信不能恢复。此时查看 CTC 日志记录, 发现一直提示发送 DC2 帧成功, 但联锁操作机日志显示未收到任何串口信息。试验中可多次复现“收不到 DC2”现象。这一现象与现场联锁操作 A 机回执 DC3 帧, 自律机未能成功接收的情况类似。同时还发现, 在未加干扰场景下的测试, 日志中有 CRC 出错的记录, 存在一帧数据中某一比特位被篡改的情况。而在进行 6 min 加干扰试验(干扰值等情况与现场勘测一致频段)场景下, 出现了两系统通信中断 1 min 未恢复的情况。这与该站通信故障时的现象一致。试验中复现出了现场的故障现象, 通过和现场的情况对比, 问题故障定位在串口卡硬件上, 其作为硬件, 某一批次存在坏品的概率。

#### 4 解决措施

1) 优化联锁操作机系统软件。接口通信协议中仅要求对数据传送帧进行确认, 而对通信控制帧的发送接收不做确认要求, 这就造成联锁在收到 DC2 帧后, 向自律机回执 DC3 帧后即认为复位建立连接成功。因通道故障实际 DC3 帧并未被自律机正确接收, 故而自律机不断发送 DC2 帧。自律机因未收到 DC3 帧次数超过协议规定阈值, 判定与联锁的通信中断。两个系统间因“沟通”不良而产生误判, 软件对这一机制进行优化完善。软件优化后, 在接口复位重连

阶段, 联锁将原收到 DC2 帧后发送 DC3 帧即认为通信建立的逻辑, 改为收到 DC2 帧后发送 DC3 帧, 再收到一个非 DC2 帧方可认为通信建立成功。这样可以保证 DC3 帧被正确接收, 接口双方至少完成了一次请求和同意的闭环通信, 有效规避了因通道故障而出现 DC2 和 DC3 无法接收的情况。

2) 更换串口卡。将 CP-134U-I 型号的 MOXA 卡更换为研华 PCL-745B 串口卡。PCL-745B 串口卡为研华自产卡, 搭配研华工控机, 在硬件匹配度和兼容性方面更具优势。更换该卡后, 通过持续追踪系统运行情况, 再未发现有 CRC 出错及通信中断的故障出现, 可以确认问题得到有效解决。

通过实施以上两种方案, 并经现场应用验证后, 发现联锁与 CTC 接口通信的稳定性大幅提高。如图 6 所示, 联锁向 CTC 应答了允许通信帧 DC3, 双方在首次握手成功后, 联锁又收到 CTC 的发送的数据传送帧——自律机主备机运行状态报告帧 RSR。此时联锁才认为与 CTC 通信正确建立, 通信中断恢复。上述方案的修改从软件和硬件两个层面上对串口单向通道故障的场景做了很好的防护, 现场实施效果良好。

```
19:49:31.671:15:RCV DC2 end!  
19:49:31.671:16:串口发送帧DC2  
19:49:31.671:17:串口接收帧DC2  
19:49:31.671:18:DC3应答DC2帧消息...  
19:49:31.671:19:串口接收帧DC3  
19:49:31.671:20:自律机帧[13], TxSeq=00, RxSeq=00  
19:49:31.671:21:帧TX:7D 04 11 00 00 13 47 C6 7E  
19:49:31.781:22:帧RX:7D 01 11 01 00 02 00 55 AA A1 3A 7E  
19:49:31.781:23:CTC通信恢复: 2  
19:49:31.781:24:通信建立成功
```

图6 修改后的通信建立逻辑实例

Fig.6 A instance for modified communication establishment logical

## 5 结束语

针对联锁与 CTC 通信中断故障, 从软件和硬件两方面进行分析, 找到问题原因并采取针对性措施, 现场实施效果良好。本文所述问题分析和思路对其他具有类似场景的故障处理具有一定的参考和借鉴意义。

## 参考文献

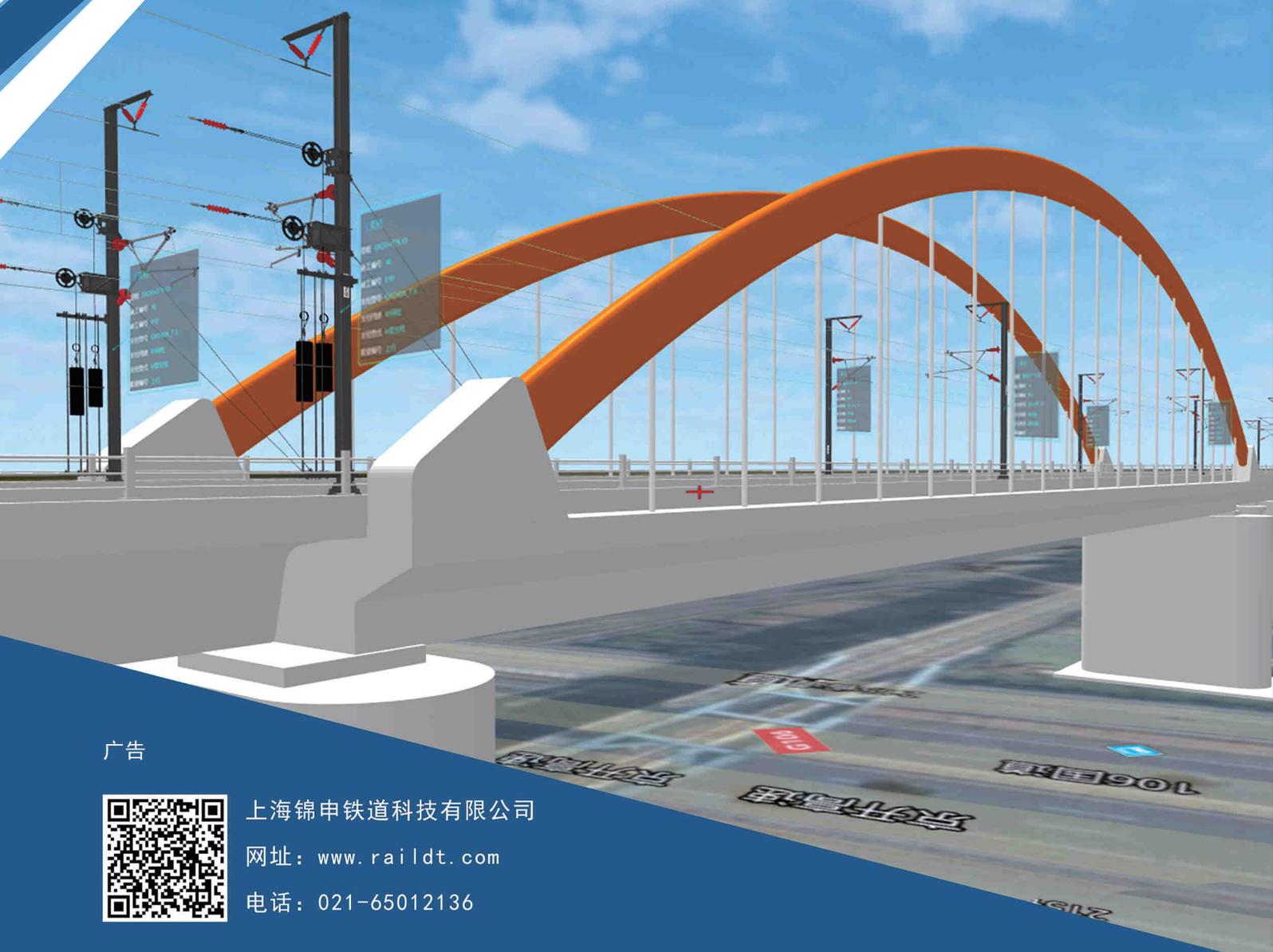
- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 调度集中与计算机联锁接口规范: TB/T 3496-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路车站计算机联锁技术条件: TB/T 3027-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [3] 中国铁路总公司. 车站计算机联锁操作显示技术规范: TJ/DW-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [4] 吕明, 魏涛. CTC 调度集中与计算机联锁通信接口的分析[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(2): 65-67. Lü Ming, Wei Tao. Study on Communication Interface of CTC Station Subsystem and Computer Interlocking System[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(2): 65-67.
- [5] 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. Yang Nifei, Duan Wu, Lu Peiling. Research on Security-Related Communication Standards and Security Protocols of Railway Signaling System[J]. Chinese Railways, 2008(6): 48-51.
- [6] 李永强. CTC 与联锁、列控接口数据测试问题的解决[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(S2): 115-116.
- [7] 闫贝贝. 分散自律调度集中与计算机联锁的结合[J]. 铁道运营技术, 2011, 17(2): 41-43, 48. Yan Beibei. The Combination of Decentralized Self-Discipline Scheduling Centralization and Computer Interlocking[J]. Railway Operation Technology, 2011, 17(2): 41-43, 48.
- [8] 洪玲娇, 李卫娟. 计算机联锁与 TCC 接口自动化测试的研究和设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(10): 24-29. Hong Lingjiao, Li Weijuan. Research and Design of Automatic Test for CBI-TCC Interface[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 24-29.



# 锦申科技

JINSH TECH

# 铁路数字孪生



广告



上海锦申铁道科技有限公司

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

电话: 021-65012136

# 《铁路通信信号工程技术》

Railway Signalling & Communication Engineering

## 月刊



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

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导；对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员，在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流；及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有：学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

### 投稿方式：

期刊官网投稿：<https://rsce.crsd.com.cn>

邮箱投稿：[rsce@crscd.com.cn](mailto:rsce@crscd.com.cn)

知网投稿：<http://www.tltx.cbpt.cnki.net/WKD>

地址：北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号B座

邮编：100070

电话：010-51865951

传真：010-51841598

网址：[www.crsd.com.cn](http://www.crsd.com.cn)

### 订阅方式：

邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，邮发代号80-532

编辑部订阅：e-mail或电话至编辑部

订 价：每期10元，全年(12期)120元



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

扫码打开期刊官网，  
阅读、下载本刊内容

ISSN1673-4440  
CN 11-5423/U

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

邮发代号：80-532 国内定价：10元/期