

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 2024.6 第21卷 总第162期



## 运达科技

股票代码:300440

致力于为轨道交通业务领域  
提供智能化解决方案及服务



### 国铁安全联锁监控系统

室内客户端+备用操作台



操作终端



27.5kV验电接地



电动隔离开关



门禁设备 (一体式)



门禁设备 (分离式)



声光报警设备



警示设备



广告



联系电话 028 8283 9999

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

# 铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

## 主管单位 Administrated by:

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

## 主办单位 Sponsored by:

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

## 主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

## 执行主编 Executive Editor:

江明 Jiang Ming

## 编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

## 责任编辑 Editor in Charge:

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

## 网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

## 英文编辑 English Editor:

王冲 Wang Chong

## 编辑出版 Edited and Published by:

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

## 地址 Address

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

邮编: 100070 Postcode: 100070

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

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

## 编辑电话 Edition Tel:

50805951; 50805957 50805951; 50805957

## 广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

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

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

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

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

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

## 广告代理 Advertising Agency:

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

## 印刷 Printed by:

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

## 广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第21卷第6期总第162期 Vol.21 No.6 S.No.162

出版: 2024年6月25日 Published on: 6/25/2024

创刊: 2004年 First Issue: 2004

## 高级顾问: 倪光南院士

刘尚合院士

陈维江院士

## Senior Consultants:

Ni Guangnan: Member, Chinese Academy of Engineering

Liu Shanghe: Member, Chinese Academy of Engineering

Chen Weijiang: Member, Chinese Academy of Sciences

## 主任委员: 张啸林

委员: (按姓氏笔画排序)

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

## 本刊入选数据库:

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊;

RCCSE 中国准核心学术期刊;

日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊;

EBSCO 学术数据库收录期刊;

中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊;

中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊;

中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊;

中国学术期刊影响因子年报统计源期刊;

超星期刊域出版平台全文收录



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

扫码打开期刊官网,

阅读、下载本刊内容

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

2. 本刊文章版权所有, 未经书面许可, 不得以任何形式转载。

# 铁路通信信号工程技术 目 次

## 技术创新

### 信号技术

- 基于移动闭塞的状态发车技术研究  
..... 郭军强 1-7
- 信号设备多状态模式下运行趋势统计分析研究  
..... 董文武 8-12
- 关于高速铁路一体化轨道电路股道安全提升的探讨  
..... 李 进 13-22
- 基于MVB总线的市域铁路车载设备首尾通信方法  
..... 张友兵, 曲 忠, 王 硕, 张家兴 23-29
- 半自动不能正常复原故障分析处理  
..... 王昱翔, 窦丽明, 王淑琴, 郟佃举, 尤玉淇, 王继柱 30-36
- 雷电危害机理及ZPW-2000A轨道电路防雷措施研究  
..... 刘春雷, 刘安波, 张 浩, 张家强 37-41
- 铁路信号设备用电量计算软件的设计与仿真  
..... 张文泉, 张新华, 陈 东 42-46

### 通信及信息技术

- 列车UDP数据传输可靠性快速分析方法  
..... 项学海, 于昊明, 郁兆旺, 陈 奎 47-52
- 对铁路综合视频监控安全防护的思考  
..... 董相奎 53-57
- 基于北斗短报文的列车区间故障恢复技术研究与应用  
..... 黄永聪 58-63
- GSM-R铁路数字移动通信基站设备可靠性的提升  
..... 洪 钰, 马海鑫 64-69
- CIR设备数据无线传输及智能分析系统研究  
..... 张 孟, 欧盛芬 70-77

## 城轨交通

- 基于全自动运行系统下自动跳跃功能设计与实现  
..... 傅 棣 78-83
- 基于FMEA的FAO自动唤醒功能安全设计与实现  
..... 贾 佳 84-88
- 粤港澳大湾区市域快线多网融合列控系统研究  
..... 曲 睿, 雷 彬 89-95
- 城市轨道交通智能召援系统建设研究  
..... 徐 正, 张炳森, 刘泽远 96-101
- 城市轨道交通信号系统临时控制中心方案研究  
..... 宋煜炜, 肖 克, 白永杰 102-109
- 基于车载ATC系统的车辆仿真模拟器制作与应用  
..... 蔡 波, 方潇仪 110-115
- 基于城轨列车振动模式的三度振动测试系统的研究与设计  
..... 黄愉华, 沈 喆, 陈 琪, 钱 隽 116-122
- 欧盟干线铁路法规进程研究  
..... 张 麒, 高红娜 123-128

## 综述·评述

## 广告索引

..... 101

# Railway Signalling & Communication Engineering

## CONTENTS

### Technological Innovation

#### Signalling Technology

Research on State Departure Technology Based on Moving Block .....	Guo Junqiang	1-7
Statistical Analysis and Research on Operating Trend of Signal Equipment in Multi-state Mode .....	Dong Wenwu	8-12
Discussion on Improving Safety of Station Tracks Equipped with Integrated Track Circuits of High-speed Railways.....	Li Jin	13-22
Head-to-tail Communication Method of Urban Railway On-board Equipment Based on MVB Bus .....	Zhang Youbing, Qu Zhong, Wang Shuo, Zhang Jiaying	23-29
Analysis and Processing of Failing to Recovery Normally for Semi-automatic Block .....	Wang Yuxiang, Dou Liming, Wang Shuqin, Qie Dianju, You Yuqi, Wang Jizhu	30-36
Research on Mechanisms of Lightning Hazards and Lightning Protection Measures for ZPW-2000A Track Circuits .....	Liu Chunlei, Liu Anbo, Zhang Hao, Zhang Jiaqiang	37-41
Design and Simulation of Power Consumption Calculation Software for Railway Signal Equipment .....	Zhang Wenquan, Zhang Xinhua, Chen Dong	42-46

#### Communication & Information Technologies

Quick Analysis Method of Train UDP Data Transmission Reliability .....	Xiang Xuehai, Yu Haoming, Yu Zhaowang, Chen Kui	47-52
Conception of Security Defence in Integrated Video Monitoring Systems for Railways .....	Dong Xiangkui	53-57
Research and Application of Fault Recovery Technology for Trains in Sections Based on Short Message of BeiDou Navigation Satellite System.....	Huang Yongcong	58-63
Research on Reliability Enhancement of GSM-R Digital Mobile Communication Base Station Equipment .....	Hong Yu, Ma Haixin	64-69
Research on Wireless Data Transmission and Intelligent Analysis System for CIR Equipment .....	Zhang Meng, Ou Shengfen	70-77

### Urban Rail Transit

Design and Implementation of Generic Jog Based on Fully Automatic Operation System .....	Fu Di	78-83
Safety Design and Implementation of FAO Automatic Wake-up Function Based on FMEA .....	Jia Jia	84-88
Research on Multi-network Integrated Train Control System for Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Urban Express Line.....	Qu Rui, Lei Bin	89-95
Research on Establishment of Intelligent Emergency Call System for Urban Rail Transit .....	Xu Zheng, Zhang Bingsen, Liu Zeyuan	96-101
Research on Schemes for Temporary Operation Control Center of Urban Rail Transit Signaling System .....	Song Yuwei, Xiao Ke, Bai Yongjie	102-109
Creation and Application of Vehicle Simulator Based on On-board ATC System .....	Cai Bo, Fang Xiaoyi	110-115
Research and Design of 3D Vibration Test System Based on Vehicle Vibration Mode in Urban Rail Transit .....	Huang Yuhua, Shen Zhe, Chen Qi, Qian Jun	116-122

### OVERVIEW · REVIEW

Study on Progress of Railway Regulations of European Union on Mainline Railways .....	Zhang Qi, Gao Hongna	123-128
--	----------------------	---------

### Advertiser Index

.....		101
-------	--	-----

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.06.001

# 基于移动闭塞的状态发车技术研究

郭军强<sup>1, 2, 3</sup>

(1. 南京理工大学, 南京 210094;

2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

3. 列车自主运行智能控制铁路行业工程研究中心, 北京 100070)

**摘要:** 在移动闭塞基础上, 根据列车运行计划、列车状态、列车位置、列车制动性能、站场区段状态以及道岔位置等条件, 以区段及道岔建立二叉树模型, 搜索列车走行路径, 判断列车位置出清关键道岔区段节点, 计算后续发车进路办理时机, 办理后续发车进路, 实现进路由计划办理到状态办理转变, 发车由计划发车到状态发车转变。缩短发车时间间隔, 进而提升车站发车能力。

**关键词:** 移动闭塞; 发车时机; 关键道岔; 计划发车; 状态发车

中图分类号: U284.44

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0001-07

## Research on State Departure Technology Based on Moving Block

Guo Junqiang<sup>1, 2, 3</sup>

(1. Nanjing University of Science &amp; Technology, Nanjing 210094, China)

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

(3. Engineering Research Center of Railway Industry of Intelligent and Autonomous Train Control, Beijing 100070, China)

**Abstract:** This paper establishes a binary tree model composed of sections and switches on the basis of moving block and in view of train operation plan, train status, train location, train braking performance, station section status, switch position and other conditions. Then, the train running path is searched, the nodes of the key switch sections cleared by the train are determined, the time for setting the subsequent departure route is calculated, and the subsequent departure route is set accordingly. The proposed model can change the route setting method from plan-based to state-based setting, and the train departure method from plan-based to state-based departure. Thus, it can shorten the interval of train departure and improve the train departure capacity of the station.

**Keywords:** moving block; departure time; key switch; plan-based departure; state-based departure

收稿日期: 2024-03-13; 修回日期: 2024-06-10

作者简介: 郭军强 (1981—), 男, 正高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: 241gj@crscd.com.cn.

## 1 概述

当前高速铁路以及普速铁路的车站发车进路作

业办理方式采用运输指挥调度集中系统，按照调度计划向计算机联锁发送进路办理指令，计算机联锁检查区段占用、道岔位置、敌对进路、信号机灯丝状态等有关联锁条件，判断条件满足则锁闭进路并开放进路信号，司机凭地面信号及调度命令行车<sup>[1-5]</sup>。对于装备车载 ATP 设备的列车，司机凭 DMI 显示的行车许可及调度命令行车。在固定闭塞场景下，计算机联锁办理发车进路时，以出站信号机为起点，区间一离去区段远端为终点，检查起、终点范围内区段状态空闲及道岔位置正确。对于复杂站场，起点至终点距离较长时，通过设置发车进路信号机，实现发车进路分段办理<sup>[6-10]</sup>。当前调度集中系统排列进路的时机考虑列车类型、区间闭塞方式、邻站发车时刻、区间运行时分和完整到达停稳以及前行列车位置等因素，分为时间触发和地点触发。时间触发是根据列车运行计划，结合列车类型，提前若干时间开始办理，同时还考虑列车位置和相邻车站的发车进路办理情况<sup>[11-14]</sup>。地点触发是根据列车运行位置，结合列车类型，提前若干闭塞分区开始办理，同时还检查相邻车站发车进路办理情况<sup>[15-16]</sup>。采用调度集中系统当前列车进路办理方式，对于复杂干线枢纽车站，无法突破提升咽喉区发车能力瓶颈，在列车运行计划大规模扰动情况下，无法保证调度调整时效性<sup>[17]</sup>。

在不增设站场设施条件下，为提升复杂干线枢纽车站咽喉区发车能力，以及在列车运行计划大规模扰动情况下快速恢复列车准点问题，提出基于移动闭塞下的状态发车进路办理方法，最大化利用站场轨道区段、道岔等资源，缩短办理发车进路间隔，提升发车效率<sup>[18]</sup>。

## 2 场景分析

基于移动闭塞的车站发车进路办理原理：调度集中控制系统根据列车运行计划向计算机联锁发送发车进路办理指令，计算机联锁判断进路始端信号机接近类型为通信车接近，并驱动进路范围道岔与进路联锁条件一致，在检查道岔动作到指定位置且进路始端信号机内方第一闭塞分区逻辑状态为空闲

及物理区段状态为空闲，则计算机联锁锁闭进路，并开放允许信号<sup>[4]</sup>。

在移动闭塞车站发车进路办理基础上，提出根据列车汇报位置，判断列车车尾驶出影响后续发车进路办理的关键道岔区段，且考虑站内采用轨道电路作为区段占用检查条件的状态发车进路办理方法。选取复杂枢纽站场，分析发车进路办理场景，并以区段、道岔为节点建立二叉树模型，根据列车实际运行情况，参考列车控车曲线，以及线路允许列车最小追踪间隔，计算后续列车发车进路最佳办理时机。

### 2.1 发车场景

如图 1 所示，站场中共设置 5 条到发线，对 4 列列车向 X 行区间发车场景进行分析，在移动闭塞条件下分析列车经过区段和道岔情况。

列车 5 向 X 行区间发车，进路起点为信号机 X5、终点为信号机 X4135，经过区段 17DG、道岔 17 反位、区段 9DG、道岔 9 反位、区段 1-7DG、道岔 7/5 定位、道岔 1/3 定位、区段 IAG、区段 X1LQ。

列车 3 向 X 行区间发车，进路起点为信号机 X3、终点为信号机 X4135，经过区段 17DG、道岔 17 定位、区段 9DG、道岔 9 反位、区段 1-7DG、道岔 7/5 定位、道岔 1/3 定位、区段 IAG、区段 X1LQ。

列车 2 向 X 行区间发车，进路起点为信号机 XII、终点为信号机 X4135，经过区段 13DG、道岔 13/15 定位、区段 11DG、区段 3-5DG、道岔 1/3 反位、区段 1-7DG、区段 IAG、区段 X1LQ。

列车 4 向 X 行区间发车，进路起点为信号机 X4、终点为信号机 X4135，经过区段 11DG、区段 3-5DG、道岔 1/3 反位、区段 1-7DG、区段 IAG、区段 X1LQ。进路长度如表 1 所示。

表1 进路长度

Tab.1 Route lengths

序号	进路名称	进路起点	进路终点	进路长度 /m
1	X5 → SN	X5	X1LQ 末端	1 755
2	X3 → SN	X3	X1LQ 末端	1 755
3	XII → SN	XII	X1LQ 末端	1 723
4	X4 → SN	X4	X1LQ 末端	1 763

以列车向 X 行区间发车占用站场区段及道岔资

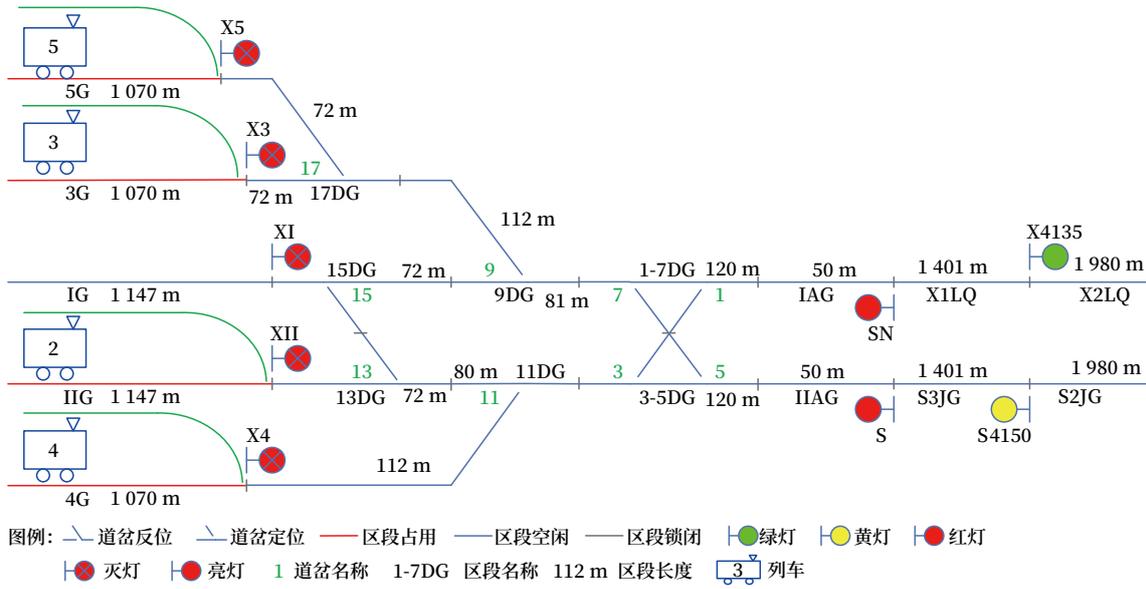


图1 车站站场示意  
 Fig.1 Schematic diagram of station layout

源情况，分析列车在不同运行计划条件下的道岔、区段冲突的空间关系，例如发车顺序为列车5、列车3、列车2、列车4。列车5向X行区间发车进路为X5→SN，列车车尾出清区段17DG后，列车3对应X3→SN进路即可办理，列车3车尾出清区段17DG、9DG、1-7DG后，列车2对应XII→SN进路即可办理，列车2车尾出清区段13DG、区段

11DG后，列车4对应X4→SN进路即可办理。以此类推列车在不同运行计划条件下，列车位置、道岔、区段空间关系如表2所示。

根据列车不同发车顺序数组排列算法  $A_n^m$ ， $n$ 为当前车站所在到发线上列车数量， $m$ 为列车发车数量。取到发线上共有4列车即  $n$ 取值为4，该4列车即将发车即  $m$ 取值为4，共有24种排列顺序。

表2 列车在不同运行计划下的道岔、区段空间关系

Tab.2 The spatial relationship among switches and sections for trains under different operation plans

序号	发车顺序	当前列车	前续列车出清区段	进路道岔位置
1	列车5、列车3、列车2、列车4	列车5	无	17 (反位)、9 (反位)、7/5 (定位)、1/3 (定位)
		列车3	17DG	17 (定位)、9 (反位)、7/5 (定位)、1/3 (定位)
		列车2	17DG、9DG、1-7DG	15/13 (定位)、11 (定位)、1/3 (反位)
		列车4	13DG、11DG	11 (反位)、1/3 (反位)
2	列车3、列车5、列车2、列车4	列车3	无	17 (定位)、9 (反位)、7/5 (定位)、1/3 (定位)
		列车5	17DG	17 (反位)、9 (反位)、7/5 (定位)、1/3 (定位)
		列车2	17DG、9DG、1-7DG	15/13 (定位)、11 (定位)、1/3 (反位)
		列车4	13DG、11DG	11 (反位)、1/3 (反位)
3	列车2、列车3、列车5、列车4	列车2	无	15/13 (定位)、11 (定位)、1/3 (反位)
		列车3	13DG、11DG、3-5DG、1-7DG	17 (定位)、9 (反位)、7/5 (定位)、1/3 (定位)
		列车5	17DG	17 (反位)、9 (反位)、7/5 (定位)、1/3 (定位)
		列车4	17DG、9DG、1-7DG	11 (反位)、1/3 (反位)
4	列车4、列车3、列车5、列车2	列车4	无	11 (反位)、1/3 (反位)
		列车3	11DG、3-5DG、1-7DG	17 (定位)、9 (反位)、7/5 (定位)、1/3 (定位)
		列车5	17DG	17 (反位)、9 (反位)、7/5 (定位)、1/3 (定位)
		列车2	17DG、9DG、1-7DG	15/13 (定位)、11 (定位)、1/3 (反位)

选取表 2 中 4 种发车顺序作为样本示例，建立列车在不同发车顺序下的区段、道岔空间二叉树模型。

### 2.2 设计模型

根据表 2 中列车在不同发车顺序情况下，各列车先后经过车站区段及道岔的空间关系，设计以列车为对象，以车站区段及道岔为节点的二叉树模型，列车顺序 5、3、2、4 情况下的二叉树如图 2 所示。

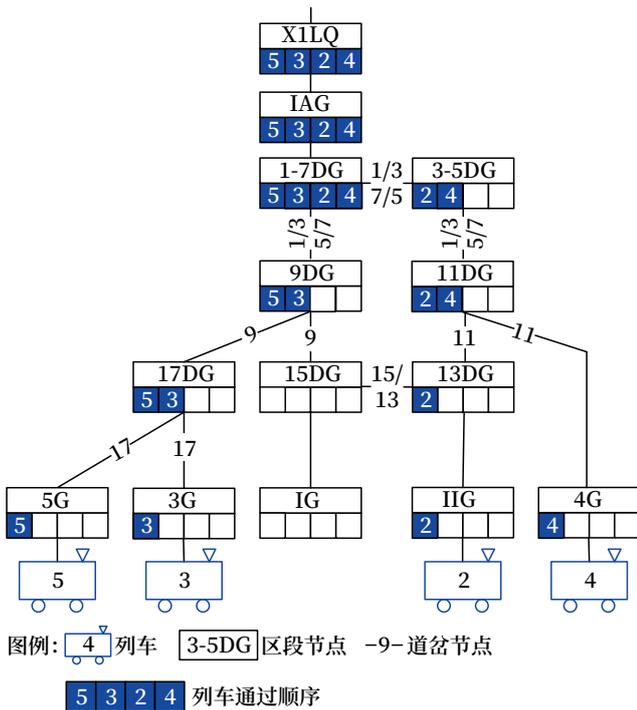


图2 列车发车进路二叉树模型  
Fig.2 Binary tree model of train departure route

根据图 2 二叉树模型，得出在以车站区段、道岔为节点的二叉树中，列车停靠在车站到发线，根据列车发车顺序，可以确定列车车尾出清某冲突区段，后续列车对应进路即可办理。影响进路办理时间的关键条件为道岔动作到指定位置时间，在第一列车出发作为计时开始，以最后一列车出发作为终止时间，在列车长度及牵引性能相同条件下，确定列车发车顺序后，可得出所有列车对应进路办理时间，如公式 (1) 所示。

$$T = T_{r1} + T_{d2} + T_{r2} + T_{d3} + T_{r3} + T_{d4} \quad (1)$$

其中： $T$ ：所有进路办理完毕时间

$T_{r1}$ ：列车 1 车尾出清冲突区段时间；

$T_{d2}$ ：列车 2 对应进路所有道岔动作到指定位置时间；

$T_{r2}$ ：列车 2 车尾出清冲突区段时间；

$T_{d3}$ ：列车 3 对应进路所有道岔动作到指定位置时间；

$T_{r3}$ ：列车 3 车尾出清冲突区段时间；

$T_{d4}$ ：列车 4 对应进路所有道岔动作到指定位置时间。

在列车发车顺序未确定情况下，可根据发车顺序数组排列算法计算出所有列车顺序下的进路办理时间，可选取对应用时最少的发车顺序作为最优解，如公式 (2) 所示。

$$T_{min} = (\min)T_{A_n^m} = (\min)(T_{r1} + T_{d2} + T_{r2} + T_{d3} + T_{r3} + T_{d4})_{A_n^m} \quad (2)$$

其中： $T_{min}$ ：所有进路办理最少时间；

$A_n^m$ ： $n$  为当前车站所在到发线上列车数量， $m$  为列车发车数量。

### 2.3 性能对比

选取列车长度一致  $L_{train}$ ，列车停靠到发线车头与前方出站信号机距离  $L_{signal}$ ，列车牵引性能参数  $A_{train}$  一致，道岔动作到指定位置并考虑牵引点错峰启动时间  $T_{switch}$  差一致，在咽喉区道岔限速  $V_{switch}$ ，以列车车尾越过 IAG 前，列车速度不超过  $V_{switch}$ ，车尾越过 IAG 后，速度最高加速至  $V_{max}$  为目标。车站各区段长度如图 1 所示，各列车车尾至出清冲突区段长度  $L_r$ （包含列车长度  $L_{train}$  及车头与前方出站信号机距离  $L_{signal}$ ），计算现有进路办理方式与基于移动闭塞进路办理方式下的用时如表 3 所示。

$$L_{train} = 214 \text{ m}, L_{signal} = 60 \text{ m}, A_{1train} = 0.88 \text{ m/s}^2 \quad (0 \sim 45 \text{ km/h}), A_{2train} = 0.39 \text{ m/s}^2 \quad (45 \sim 80 \text{ km/h}), T_{switch} = 3 \text{ s}, V_{switch} = 45 \text{ km/h}, V_{max} = 80 \text{ km/h}.$$

现有进路办理方式，列车占用车站资源速度与出清区段长度关系如图 3 所示，列车占用车站资源用时  $T_n$  计算如公式 (3) ~ (8) 所示。

$$L_1 = \frac{V_{switch}}{2} \times t_1 \quad (3)$$

$$L_2 = V_{switch} \times t_2 \quad (4)$$

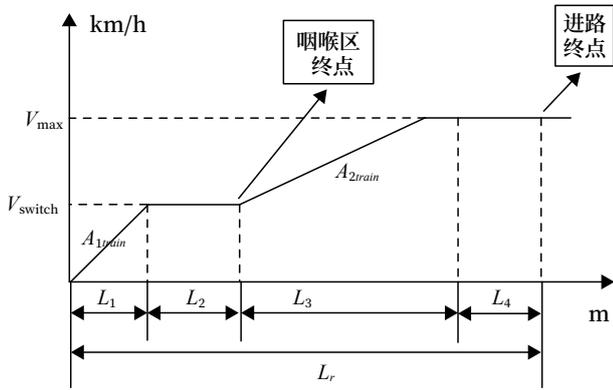


图3 现有进路办理方式列车速度距离关系  
Fig.3 Relationship between train speed and distance in existing route setting method

$$L_3 = \frac{V_{max} + V_{switch}}{2} \times t_3 \quad (5)$$

$$L_4 = V_{max} \times t_4 \quad (6)$$

$$L_r = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \quad (7)$$

$$T_n = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + T_{switch} \quad (8)$$

基于移动闭塞进路办理方式，列车占用车站资源速度与出清冲突区段长度关系如图4所示。列车占用车站资源用时  $T_m$  计算如公式(9)~(12)所示。

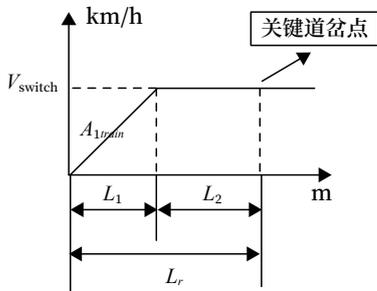


图4 移动闭塞进路办理方式列车速度距离关系  
Fig.4 Relationship between train speed and distance in route setting method based on moving block

$$L_1 = \frac{V_{switch}}{2} \times t_1 \quad (9)$$

$$L_2 = V_{switch} \times t_2 \quad (10)$$

$$L_r = L_1 + L_2 \quad (11)$$

$$T_m = t_1 + t_2 + T_{switch} \quad (12)$$

如表3所示，采用移动闭塞方式下的状态发车进路办理方式，较现有进路办理方式用时极大地减少。

### 3 结束语

基于移动闭塞的状态发车进路办理方式较现有

进路办理方式可极大缩短车站发车进路办理时间

表3 进路办理用时对比

Tab.3 Comparison of route setting time

序号	发车顺序	进路办理方式	当前列车	至出清冲突区段长度 $L_r/m$	出清冲突区段用时/s	道岔动作用时/s	总计用时 $T_n/s$
1		现有进路办理方式	列车5	1 755	147.5	0	147.5
			列车3	1 755	147.5	3	150.5
			列车2	1 723	144.6	12	156.6
			列车4	0	0	3	3
2	列车5、列车3、列车2、列车4	基于移动闭塞状态进路办理方式	列车5	72	37.36	0	37.36
			列车3	304	58.24	3	61.24
			列车2	152	44.56	12	56.56
			列车4	0	0	3	3

隔，为复杂干线枢纽车站，提升咽喉区发车能力，以及在列车运行计划大规模扰动情况下，调整调度计划快速恢复列车准点提供理论基础。但在实际铁路运输作业中，列车发车间隔还需考虑列车牵引/制动参数、列车长度、轨道电路占用/出清延时、司机启动列车用时、道岔的固定限速以及线路闭塞制式等因素。

### 参考文献

[1] 宿秀元. 联挂解编进路处理逻辑研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 87-92.  
Su Xiuyuan. Research on Processing Logic of Marshalling and Unmarshalling Routes[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 87-92.

[2] 杨韬, 黄佳. 站内长短进路的列控系统处理方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(11): 34-38.  
Yang Tao, Huang Jia. Research on Train Control System Processing Scheme of Long-Short Route in Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 34-38.

[3] 刘儒琛, 孙众人, 张尚崇. 基于邻接表和改进深度搜索的进路搜索研究[J]. 铁路通信信号工

- 程技术, 2024, 21(3):7-11.
- Liu Ruchen, Sun Zhongren, Zhang Shangchong. Research on Route Search Based on Adjacency List and Improved Depth First Search[J].Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 21(3):7-11.
- [4] 蒋爽. 基于计算机联锁的多段延续进路设计方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11):20-23.
- Jiang Shuang. Design Scheme of Multiple Successive Routes Based on Computer Interlocking[J].Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11):20-23.
- [5] 胡志焄. 进路分段办理压缩大型客运站发车追踪间隔时间 [J]. 交通科技与经济, 2018, 20(3):23-27, 65.
- Hu Zhiyao. Compressing Departure Tracking Interval of Large Passenger Railway Station with Departure Route Subsection[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2018, 20(3):23-27, 65.
- [6] 段卿培, 冯小芳, 李欣. 基于时空网络的列车运行计划应急调整方法 [J]. 中国铁路, 2022(4):7-13.
- Duan Qingpei, Feng Xiaofang, Li Xin. Emergency Adjustment Method of Train Operation Plan Based on Temporal-Spatial Network[J]. China Railway, 2022(4):7-13.
- [7] 张利峰, 王春华. 重载铁路移动闭塞计算机联锁系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(1):12-18.
- Zhang Lifeng, Wang Chunhua. Research on Computer Based Interlocking System for Moving Block System of Heavy Haul Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1):12-18.
- [8] 贺广宇, 王菲, 马云鹏, 等. ATP 制动曲线优化及咽喉区通过能力提升效果研究 [J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(12):9-16.
- He Guangyu, Wang Fei, Ma Yunpeng, et al. Study on Improvement Effect of Throat-Area Carrying Capacity Based on ATP Braking Curve Optimization[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(12):9-16.
- [9] 孙海富. 高速铁路到发线有效长度优化研究 [J]. 铁道工程学报, 2019, 36(6):4-8, 37.
- Sun Haifu. Research on the Optimization of the Effective Length of Receiving-Departure Line of High-Speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(6):4-8, 37.
- [10] 李红侠, 王东方. 京张高铁车站出站信号机设置方案优化研究 [J]. 铁道标准设计, 2020, 64(1):204-208.
- Li Hongxia, Wang Dongfang. Optimization Study on the Design of Departure Signal of Beijing-Zhangjiakou High-Speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(1):204-208.
- [11] 陈嵘, 方嘉晟, 王平, 等. 考虑外锁闭装置影响的高速道岔尖轨转换力仿真研究 [J]. 铁道学报, 2021, 43(11):122-128.
- Chen Rong, Fang Jiasheng, Wang Ping, et al. Simulation Analysis of Switching Force of Point Rail of Turnouts of High-Speed Railway Considering Influence of External Locking Device[J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(11):122-128.
- [12] 孔庆玮, 苗苗, 冯小芳, 等. 基于知识图谱的高速铁路客运调度命令闭环管理方案研究 [J]. 铁道运输与经济, 2023, 45(10):89-98.
- Kong Qingwei, Miao Zhuo, Feng Xiaofang, et al. Research on Closed-Loop Management Scheme of High Speed Railway Dispatching Command Based on Knowledge Graph[J]. Railway Transport and Economy, 2023, 45(10):89-98.
- [13] 陈梵, 汤宝伟. 调度集中系统发送无线进路预告的改进方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21(3):59-63.
- Chen Fan, Tang Baowei. Solution to Improve

- Wireless Route Notice Transmission by CTC System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(3): 59-63.
- [14] 赵军, 向江海, 彭其渊. 铁路技术站进路调度问题优化研究 [J]. 铁道学报, 2020, 42 (7): 10-23.
- Zhao Jun, Xiang Jianghai, Peng Qiyuan. Optimizing Route Scheduling Problem at Railway Technical Stations[J]. Journal of the China Railway Society, 2020, 42(7): 10-23.
- [15] 刘荣峰, 钱江, 周庭梁, 等. 城市轨道交通场段出库列车发车进路自动办理时序卡控方法 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26 (9): 214-216.
- Liu Rongfeng, Qian Jiang, Zhou Tingliang, et al. Automatic Time Sequence Control Method for Outbound Train Departure Route Setting of Urban Rail Transit Depot[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(9): 214-216.
- [16] 李锋, 代斌. 基于虚拟信号机的复杂货运站场发车能力提升研究 [J]. 铁道货运, 2022, 40 (9): 12-17.
- Li Feng, Dai Bin. Train Departure Capacity Improvement of Complex Freight Station Based on Virtual Signals[J]. Railway Freight Transport, 2022, 40(9): 12-17.
- [17] 梁紫玥. 重载铁路始端技术站列车编组方案及发车策略研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2022.
- [18] 陈维亚, 杨伟婷, 石晓琪, 等. 铁路车站咽喉区道岔自动分组方法研究 [J]. 铁道学报, 2023, 45 (6): 9-15.
- Chen Weiya, Yang Weiting, Shi Xiaoyi, et al. Automatic Grouping Method for Turnouts in the Throat Area of Railway Stations[J]. Journal of the China Railway Society, 2023, 45(6): 9-15.

## 本期广告企业简介

### 绵阳市维博电子有限责任公司

绵阳市维博电子有限责任公司是国家高新技术企业, 主要从事电量隔离传感器、智能电量变送器、各种检测仪表等产品的研发、生产与销售。公司具有雄厚的研发和生产实力, 已累计获得国家专利 73 项, 技术成果 16 项。“维博”商标 2014-2017 年连续被评为四川省著名商标, 产品远销国内外, 2021 年成功入选工信部国家级专精特新“小巨人”企业。公司以质量求生存, 以诚信树形象, 以服务拓市场, 坚持“创新、信任、效率、责任”为核心的企业文化, 坚持以创“国内一流、国际知名”为企业发展目标, 矢志不渝地攀登电测科技新高峰。



企业 QQ 及免费咨询电话: 800-8865801 E-mail: wb@wbdz.cn

电话: 2278150/151/153/154

网址: www.wbdz.cn www.wb-my.com

地址: 四川省绵阳市游仙区游仙东路98号 (621000)

(详见封三)

# 信号设备多状态模式下运行趋势 统计分析研究

董文武

(中国中铁电气化局集团有限公司, 北京 100036)

**摘要:** 测试和分析信号设备电气特性数据, 可以掌握设备运行状态趋势, 提前发现信号设备性能异常。信号设备电气特性参数指标与其工作模式有关, 信号设备运行在不同工作模式时, 其运行电压、电流等数值的大小, 会随着工作模式的变化而变化, 在多模式混合采样统计的情况下, 数据的正常变化与异常变化很难敏捷区分。以轨道、道岔等信号设备为例, 通过工作模式识别、数据采样以及其在不同模式下电气特性趋势统计分析方法研究, 探索信号设备多状态模式下运行趋势统计分析的新思路。

**关键词:** 工作模式; 电气特性; 运行趋势

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0008-05

## Statistical Analysis and Research on Operating Trend of Signal Equipment in Multi-state Mode

Dong Wenwu

(China Railway Electrification Engineering Group Co., Ltd., Beijing 100036, China)

**Abstract:** By testing and analyzing the electrical characteristic data of signal equipment, it is possible to grasp the trend of equipment operation status and detect abnormal performance of signal equipment in advance. The electrical characteristic parameter indicators of signal equipment are related to their working modes. When the signal equipment operates in different working modes, the magnitude of its operating voltage, current, and other values will change with changes in the working mode. In the case of multi-mode mixed-sampling statistics, it is difficult to quickly distinguish between normal and abnormal changes in data. Taking signal equipment such as tracks and switches as examples, this study explores new ideas for statistical analysis of operating trends of signal equipment in multi-state mode through working mode recognition, data sampling, and statistical analysis of electrical characteristics trends in different modes.

**Keywords:** working mode; electrical characteristics; operating trend

收稿日期: 2023-08-25; 修回日期: 2024-03-29

作者简介: 董文武 (1980—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号施工技术、施工工艺工法研究, 邮箱: dongwenwu@ceb.cn.

## 1 概述

信号设备运行过程中的电压、电流等电气特性数据，是反映设备运用质量的重要参数。电气特性数值偏离正常的过高、过低或波动，可能是设备不稳定或故障的前兆，直接关系到设备的运行安全。对信号设备电气特性数据的特征和规律进行监测、统计和分析，可以有效掌握设备运行状态趋势，及时发现设备劣化隐患。

当信号设备运行在不同工作模式时，其运行电压、电流等数值的大小，会随着工作模式的变化而变化。不同工作模式下的电气特性监测数据之间无关联性，因此不同工作模式下的设备运行数据样本应分别进行采样、统计和分析。

本文重点对轨道区段接收端电压、道岔表示电压等具有多种工作模式特征的信号基础设备监测数据进行研究，探索准确反映其运行趋势的统计分析方法。

## 2 技术现状

当前对信号设备运行趋势进行统计分析的系统主要是信号集中监测系统。系统的主要统计方法是按时序对监测数据进行采样、描点连线，绘制设备模拟量的实时曲线、日曲线、月曲线和年趋势等，曲线数据不区分工作模式按时间连续统计，在曲线上显示相应工作模式，如图 1 所示。



图1 道岔表示电压日曲线  
Fig.1 Daily voltage curve of switch indication

以图 1 道岔表示电压日曲线为例，道岔 X1X2

交流、直流表示电压值的大小随道岔定、反位置的转换而正常变化，且夹杂着转辙机启动、停转期间的动作电压。人工详细分析该曲线数据，道岔处于每个位置的电压值都是正常的，但电压值的大小在 0 ~ 100 V 之间来回波动。从曲线的整体趋势来看，很难直观理清设备电气特性的运行趋势规律，尤其是当电路故障时，该电压数据同样会出现此类波动，导致无法通过曲线趋势数据判别道岔表示电路异常，道岔表示电压电气特性数据采用此方式统计分析形成的总体价值意义不大。

## 3 趋势统计与分析

### 3.1 模式识别

铁路道岔、轨道区段在日常运用中，通常有不同的状态或工作模式，其中道岔定位和反位状态，轨道电路分占用和空闲状态，在不同状态或工作模式下，其电气特性正常值的大小不同。

#### 1) 轨道区段工作模式识别

应通过采集到的轨道继电器状态识别轨道区段工作模式，当轨道继电器吸起时，轨道区段处于空闲模式；当轨道继电器落下时，轨道区段处于占用模式。

#### 2) 道岔工作模式识别

应通过采集到的道岔定位、反位表示继电器状态识别道岔工作模式。当道岔定位表示继电器吸起且反位表示继电器落下时，道岔处于定位工作模式；当道岔反位表示继电器吸起且定位表示继电器落下时，道岔处于反位工作模式；当道岔定位、反位表示继电器均为落下状态时，道岔处于转换期间或处于道岔无表示等故障状态，定义为无表示工作模式。

### 3.2 数据采样

系统根据设备工作模式对其相应模式下运行时间段的电气特性监测数据进行采样，具体如下。

#### 1) 轨道区段数据采样

在轨道区段“占用”模式下，系统对监测到轨道占用模式即轨道继电器落下状态期间的轨道区段接收电压数据进行取样，在“空闲”模式下，系统

对监测到轨道空闲模式即轨道继电器吸起状态期间的轨道区段接收电压数据进行取样。

2) 道岔数据采样

在道岔“定位”模式下，系统对监测到道岔定位模式即定位表示继电器吸起且反位表示继电器落下期间的道岔表示电压数据进行取样。在“反位”模式下，系统对监测到道岔反位模式即反位表示继电器吸起且定位表示继电器落下期间的道岔表示电压数据进行取样。在“无表示”模式下，系统对监测到道岔无表示模式即定位、反位表示继电器均落下期间的道岔表示电压数据进行取样。

3.3 轨道区段接收电压趋势

系统通过界面设置“占用”“空闲”勾选项，由用户选择轨道区段接收端电压的趋势曲线统计分析方式。

1) 同时勾选“占用”“空闲”状态选项，轨道占用、空闲电压值按时间进展描点混合显示，同时显示接收端电压调整、分路的报警上/下限。轨道继电器状态在同一坐标系下采用进度条的方式在电压曲线上方显示，蓝色表示吸起（区段空闲），红色表示落下（区段占用）。统计分析界面示意如图2所示。

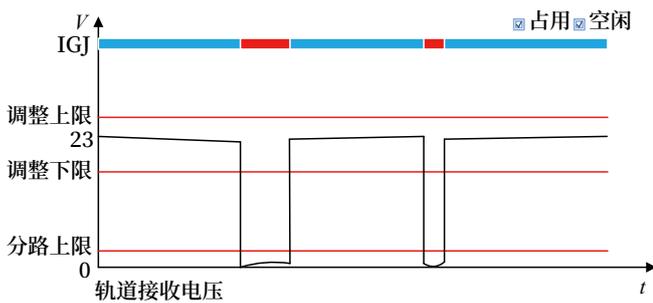


图2 轨道区段接收电压趋势曲线示意(合并显示)  
Fig.2 Schematic diagram of receiving voltage trend curve in track section (combined display)

图2中，以25 Hz相敏轨道电路IG为例，轨道区段处于空闲状态时，监测采集的接收端电压通常不小于15 V，在轨道区段处于占用状态时，接收端电压通常在7 V以下。

2) 单独勾选“占用”或“空闲”选项，轨道占

用、空闲分别统计。此种方式下，每项轨道接收端电压曲线按占用、空闲分开显示，分别将占用/空闲模式下的模拟量终点、起点用细的虚线连接。显示界面示意如图3、4所示。

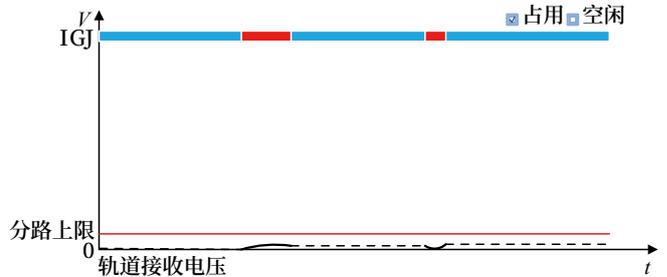


图3 轨道区段接收电压趋势曲线示意(占用)  
Fig.3 Schematic diagram of receiving voltage trend curve in track section (occupied)

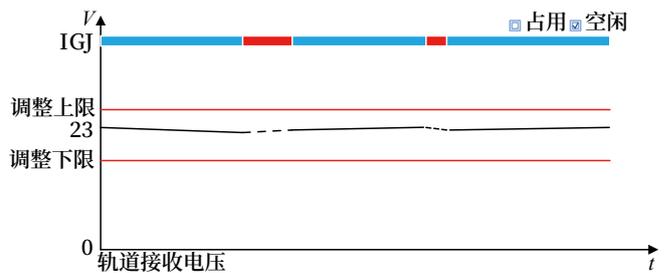


图4 轨道区段接收电压趋势曲线示意(空闲)  
Fig.4 Schematic diagram of receiving voltage trend curve in track section (clear)

由图3、4可见，轨道区段接收电压在占用、空闲两种工作模式下，其电压监测数据分别采样、趋势曲线分别统计，运行趋势规律十分明显，可快速发现数据波动较大的异常状况，从而有效辅助轨道电路故障分析处理。

3) 也可以分别将占用/空闲模式下的模拟量直接拼接，拼接处用竖线接续。此时无需再在曲线上方显示轨道继电器状态，因轨道区段随着时间占用、空闲的运用状态变化，对应的占用/空闲时间轴将不再连续，直接显示相应模式下模拟量数据的实际时间。

3.4 道岔表示电压趋势

系统通过设置“定位”“反位”“无表示”界面勾选项，由用户选择道岔表示电压的趋势曲线统计分析方式。

1) 同时勾选“定位”“反位”“无表示”状态选项, 道岔定位、反位及无表示期间表示电压值按时间进展描点混合显示, 同时显示道岔表示电压定位、反位的报警上、下限, 道岔状态在同一坐标系下采用进度条的方式在电压曲线上方显示, 绿色表示定位 (定位表示继电器吸起且反位表示继电器落下), 黄色表示反位 (定位表示继电器落下且反位表示继电器吸起), 灰色为无表示 (定位表示继电器落下且反位表示继电器落下)。统计分析界面示意如图 5 所示。

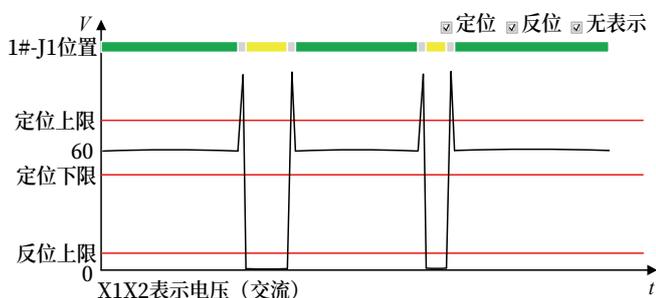


图5 道岔表示电压趋势曲线示意 (合并显示)  
Fig.5 Schematic diagram of  
voltage trend curve for switch indication (combined display)

图 5 中, 以 1#-J1 交流转辙机道岔表示交流电压为例, 道岔保持在定位状态时, 监测采集的分线盘 X1X2 处表示电压为交流 60 V, 在道岔处于反位状态时, X1X2 处的交流电压为 0 V 左右, 在道岔正常转换无表示期间, X1X2 的交流电压因受道岔动作电压的影响, 会有明显的升高和震荡。

2) 单独勾选“定位”“反位”或“无表示”选项, 道岔定位、反位、无表示分别统计。此种方式下, 每项道岔表示电压曲线按定位、反位、无表示分开显示, 分别将定位 / 反位 / 无表示模式下的模拟量终点、起点用细的虚线连接。显示界面示意如图 6 ~ 8 所示。

由图 6 ~ 8 可见, 1#-J1 交流转辙机道岔表示交流电压在定位、反位、无表示 3 种工作模式下, 其电压监测数据分别采样、趋势曲线分别统计后, 运行趋势规律十分明显, 可快速发现数据波动较大的异常状况, 从而有效辅助道岔表示电路故障分析处理。

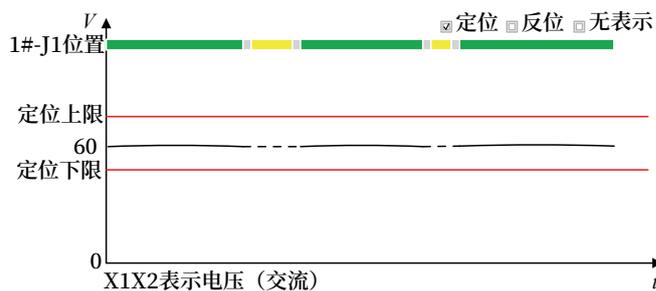


图6 道岔表示电压趋势曲线示意 (定位)  
Fig.6 Schematic diagram of  
voltage trend curve for switch indication (normal)

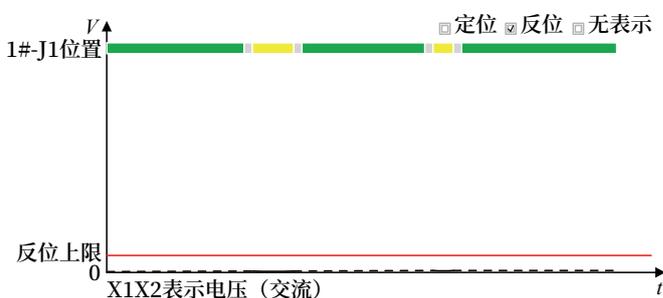


图7 道岔表示电压趋势曲线示意 (反位)  
Fig.7 Schematic diagram of  
voltage trend curve for switch indication (reverse)

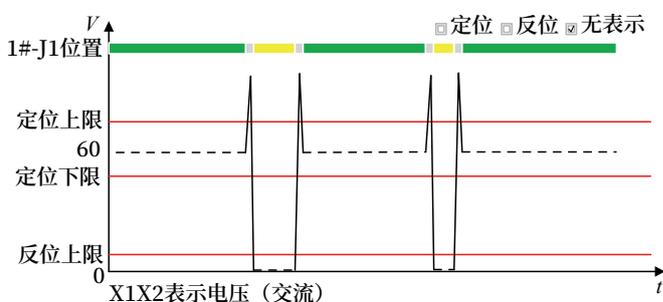


图8 道岔表示电压统计分析示意 (无表示)  
Fig.8 Schematic diagram of  
voltage statistical analysis for switch indication (loss of indication)

## 4 结束语

铁路信号设备电气特性运行数据在其不同工作模式下的统计分析, 可以非常直观体现其在不同工作模式下的运行趋势规律, 敏捷发现系统运行中的异常, 对铁路信号维护人员进行故障分析诊断和定位具有很高的实用价值。

### 参考文献

- [1] 丁召荣, 黄天新. 道岔表示功能的安全定量指

- 标及其计算示例 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (9): 99-104.
- Ding Zhaorong, Huang Tianxin. Safety Quantitative Index of Switch Indication Function and Its Calculation Example[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(9): 99-104.
- [2] 付斌. 交流道岔表示电路原理及电路故障处理 [J]. 中国新技术新产品, 2016 (10): 90-91.
- [3] 赵德生. 提速道岔表示电路的故障分析与处理 [J]. 铁道运营技术, 2018, 24 (4): 32-35.
- Zhao Desheng. Analysis and Treatment of Indication Circuits Faults of Speed-up Switches[J]. Railway Operation Technology, 2018, 24(4): 32-35.
- [4] 王勇龙, 钟桂东, 陈姝, 等. 铁路信号设备故障预测与健康管理系统研究 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (1): 16-20.
- [5] 樊西宁. 道岔控制电路分布电容探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (1): 92-95.
- Fan Xining. Discussion on Distributed Capacitance in Switch Control Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 92-95.
- [6] 李亚兰. 一站两场场间渡线道岔场联电路设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (3): 23-26.
- Li Yalan. Design of Liaison Circuit for Crossover Turnout between Yards of Station with Two Yards[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(3): 23-26.
- [7] 王勇, 赵泽. 电缆分布电容对交流道岔动作电路的影响 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (4): 5-10.
- Wang Yong, Zhao Ze. Influence of Distributed Capacitance of Cables on AC Switch Transition Circuits[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(4): 5-10.
- [8] 刘振华. 铁路道岔转换阻力分析与监测技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (5): 6-9, 15.
- Liu Zhenhua. Study on Monitoring Technology for Switching Resistance of Railway Turnout[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 6-9, 15.
- [9] 黄晨涛. 一种转辙机运行参数综合监测系统 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (12): 37-42.
- Huang Chentao. Comprehensive Monitoring System for Operating Parameters of Switch Machines[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 37-42.
- [10] 赵浩森, 胡轶超. 安全监督在信号集中监测系统上的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 28-32.
- Zhao Haosen, Hu Yichao. Application of Train Control Safety Information Supervision in Centralized Signaling Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 28-32.
- [11] 于秦龙. 上海地铁智能运维平台的道岔设备管理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (3): 57-62.
- Yu Qinlong. Turnout Equipment Management Based on Intelligent Operation and Maintenance Platform of Shanghai Metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(3): 57-62.
- [12] 罗颖. 补偿电容故障对 ZPW-2000A 轨道电路影响分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (5): 92-96.
- Luo Ying. Analysis of Impacts of Compensation Capacitor Failure on ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 92-96.
- [13] 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

(下转 22页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.06.003

# 关于高速铁路一体化轨道电路股道安全提升的探讨

李 进

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 目前国内高速铁路站内普遍采用与区间同制式的 ZPW-2000 型一体化轨道电路, 部分车站股道采用一段轨道电路构成。当车站办理接车后, 股道的轨道电路发送端将迎着列车进行发码为列车提供地面信息。如果列车在本站停稳并进行折返换端, 当出站信号未开放时, 列车将可能错误收到临线轨道电路发送的信息, 造成列车错误发车从而引发安全问题。提出新增外部继电电路方法, 通过电路逻辑判断出列车进/出股道的时机, 给出具体的列车尾部补码措施, 从而满足列车进入股道后即可实现双端发码以解决问题。此方案仅在室内增加少量继电器, 无室外工程量、无需更改列控软件, 且可针对车站个别股道单独改造, 改造过程易实施、对运输影响极小。可为高速铁路站内股道采用一体化轨道电路安全防护提升的解决思路提供参考。

**关键词:** 高速铁路; 一体化轨道电路; 股道安全防护

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0013-10

## Discussion on Improving Safety of Station Tracks Equipped with Integrated Track Circuits of High-speed Railways

Li Jin

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

**Abstract:** At present, the ZPW-2000 integrated track circuits with the same standard as those used in the sections are widely used in China's high-speed railway stations, and the platform tracks in some stations adopt one-section track circuits. When the train is received at the station, the sending end of the track circuit of the platform track will face the train and send codes to provide trackside information for the train. If the train comes to a complete stop at the station and changes its direction by activating the cab on the intended end, when the starting signal is not at clear, the train may mistakenly receive the information sent by the track circuit of the adjacent line, and the train will depart from the station incorrectly, resulting in safety problems. In this paper, the method of adding an external relay circuit is proposed, and the timing of the train entering and leaving the platform track is determined by the circuit logic, and the concrete measure for applying train

收稿日期: 2024-03-04; 修回日期: 2024-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (2300-K1220003)

作者简介: 李进 (1974—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: lj318@crscd.com.cn。

tail complementary code is provided, so that the double-end code sending can be realized after the train enters the track to solve the aforementioned problems. This solution only adds a small number of relays indoors, has no outdoor workload, does not need to change the train control software, and can be adapted to suit individual platform tracks of the station. The adaptation process is easy to implement and has minimal impact on transportation. This scheme can provide reference for the solution of safety protection enhancement for platform tracks equipped with integrated track circuits in high-speed railway stations.

**Keywords:** high-speed railway; integrated track circuit; track safety protection

## 1 概述

目前国内高速铁路站内普遍采用与区间同制式的 ZPW-2000 型一体化轨道电路, 其集占用检查、车-地信息传输等功能于一体, 并可与列控中心以通信方式进行信息交互, 作为高铁信号基础设施之一在高铁列车控制安全领域发挥着巨大作用。作为占用检查和提供 CTCS-2 (简称 C2) 级行车许可的地面设备, ZPW-2000 型轨道电路采用一端设置发送器进行发码, 另一端设置接收器对从钢轨获得的信号进行解调。一体化轨道电路采用电磁特性传输机理, 通过耦合可能产生邻线干扰, 其干扰程度受电磁环境、邻线发送功率、线路间距、邻线有无机车占用及机车位置、邻线轨道区段长度等诸多因素影响。

为解决邻线干扰可能造成的问题, 通过两个方面技术分析, 提供一种探讨解决方案。一方面可从轨道电路源头研究降低邻线干扰能力及本线提升抗干扰能力; 另一方面可从轨道电路发码时机、机车信号译码机理、运行场景、干扰后防护等方面提出系统抑制和防护方案。本文重点针对轨道电路发码时机进行分析。

## 2 问题分析

基于 ZPW-2000 型一体化轨道电路车站, 如果站内股道采用一段轨道电路构成的方式, 当列车占用股道时, ZPW-2000 型轨道电路发送器能满足向股道一端进行发码, 接收器满足从轨道电路另一端的钢轨接收信息。如图 1 所示, 位于 5G 列车 A 其中车头端靠近 S5 信号机, 能接收本股道发送器发送的 HU 码, 尾端靠近 X5 信号机, 无法接收到本股道发送器发送的 HU 码。此时若相邻股道 3G 轨道电路发送 UUS 码, 则 5G 中 A 车尾端靠近 X5 侧可能受到干扰收到 UUS 码, 如果干扰量满足机车信号动作门限, 则 5G 列车尾端将可能错误收到 3G 发送的 UUS 码, 此时若 A 车进行换端, 则可能引发相关问题。

## 3 解决方案

针对上述问题, 有多种解决方案可供选择。增加发车进路预告功能、通过增加股道分割缩短轨道区段长度降低邻线干扰量、在保证轨道电路正常工作的前提下降低各股道轨道电路发送电平级, 通过列控中心软件实现控制列车尾端补码、计算机联锁软件、继电

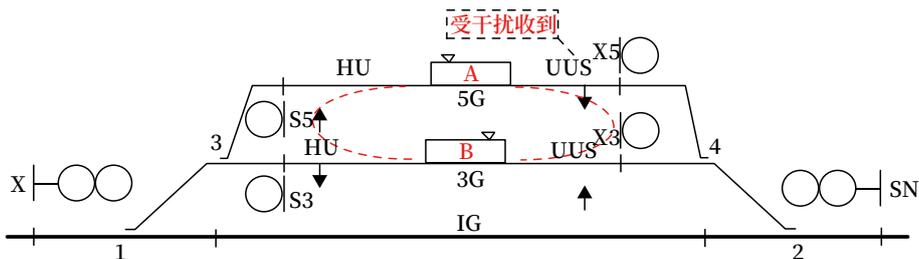


图1 站内轨道电路邻线干扰示意  
Fig.1 Schematic diagram of interference caused by the track circuit of the adjacent line in a station

电路实现控制列车尾端补码等方式均可在一定程度上解决邻线干扰问题。本文重点针对采用继电电路实现控制列车尾端补码方式进行分析探讨。

### 3.1 实现目标

电路需实现的目标如下：车列进入股道，在占用顺序和道岔位置满足条件时，压入股道后，在轨道电路尾端开始发码；车列驶入股道，在占用顺序和道岔位置满足条件时，压入股道相邻区段后，股道停止尾端发码，接收器恢复正常工作；无车情况下进行轨道电路分路测试等工作，应在测试完成后

接收器自动恢复正常工作。

### 3.2 实现原理

继电器是通过电磁铁原理实现电路的接通与断开，其特性决定了单个继电器无法进行状态记忆及逻辑判断，因此需要通过多台继电器组成继电电路来实现股道列车尾端补码控制的目标。

如图 2 所示，通过继电电路逻辑，控制防干扰继电器 (FGRJ) 动作。常态 FGRJ 励磁吸起，将本区段接收器接入控制电路，实现轨道电路的占用检查功能。当有车占用该股道需要进行尾端补码时，

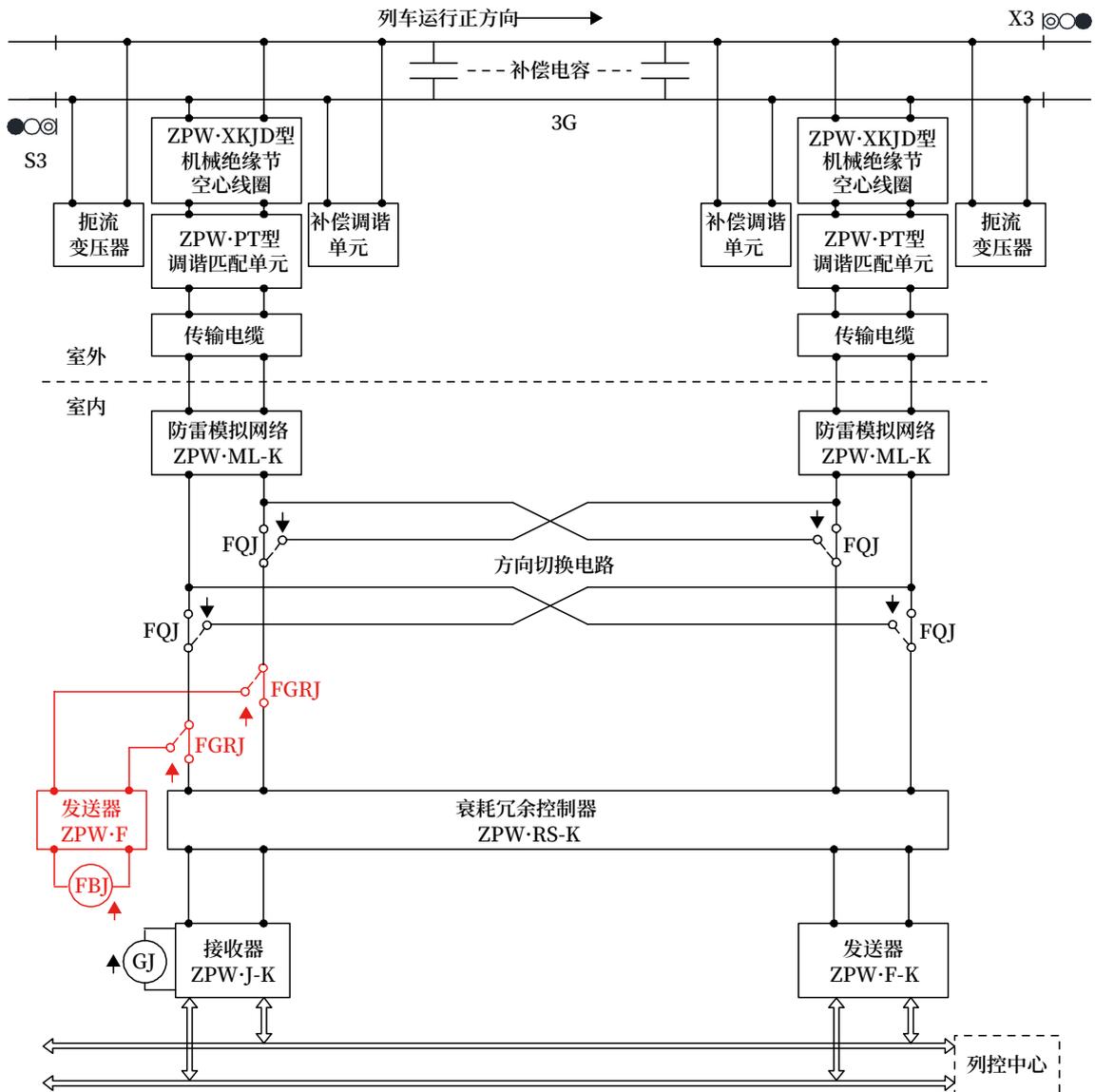


图2 站内股道列车尾端补码示意  
Fig.2 Schematic diagram of train tail complementary code in station tracks

FGRJ 失磁落下，将用于给车列尾端发码的发送器接入电路，同时将本区段的接收器从电路中切除，本区段的轨道继电器（GJ）保持落下状态。

补码发送器因主要用于停车时的防护，故可采用编码电路中直接固定仅可发送 HU 码方式。既降低了电路的复杂程度，又实现了因各种特殊情况发生错误接收并解调出补码发送器所发送的信息时应满足故障-安全的要求。

### 3.3 防护原理电路

为使 FGRJ 按所需逻辑动作，设置 FGRJ 的励磁电路如图 3 所示。图 3 中 FBJ 为 3G 的 ZPW-2000 一体化轨道电路发送器所励磁的发送报警继电器，常态处于励磁状态，当发送器故障时，则 FBJ 失磁落下。准备启动防干扰继电器（ZQFJ）是给 FGRJ 励磁所设置的一个继电器，其目的是判断轨道区段占用状态是否应该进行防干扰防护。

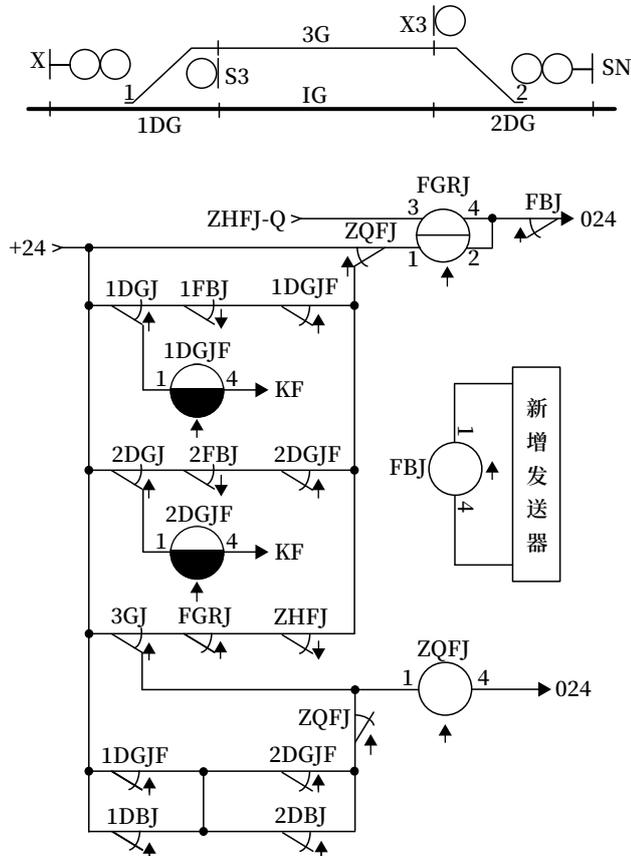


图3 站内股道防干扰继电器工作示意  
Fig.3 Schematic diagram of the operation of anti-interference relays in stations tracks

如图 4 所示，为使原理更加清晰，可将图 3 电路简化成图 4 几个等效电路。FGRJ 常态靠 ZQFJ 的前接点经 1、2 线圈构成励磁电路⑦，保持 FGRJ 励磁吸起。

以车站办理由 X 进站信号机向 3G 接车为例。进路办理完成，此时 1<sup>#</sup> 道岔的定位表示继电器（1DBJ）处于落下状态，则准备启动防护继电器 ZQFJ 的自保电路①处于断开状态。列车先占用 1DG 然后占用 3G，1DGJ 首先落下，1DGJF 经缓放后也随之落下，则 ZQFJ 的自保电路②处于断开状态，同时 FGRJ 的励磁电路⑥也被切断；随后 3GJ ↓，则 3GJ 的励磁电路③处于断开状态；图 4 中 ZQFJ 因两条自保电路①、②以及励磁电路③均处于断开状态，则 ZQFJ ↓。

FGRJ 常态依靠⑦作为励磁电路，保持其吸起状态。由上述分析可知，当列车压入 3G，3GJ ↓后 ZQFJ ↓，则切断 FGRJ 的励磁电路⑦，则 FGRJ ↓，此时把新增发送器接入 3G 的接收端电路，通过接收端电缆给室外接收侧发送对应低频信息实现双端发码防护。

列车出清 1DG 后，1DGJ 励磁吸起，随后 1DGJF ↑，此时 FGRJ 励磁电路⑥仍保持断开状态。ZQFJ ↓后使得 FGRJ ↓，列车完全进入 3G 后 FGRJ 保持落下，此时原轨道电路接收端通过 FGRJ ↓仍保持双端发码防护状态。

当车站办理由 3G 至 SN 的发车进路，2<sup>#</sup> 道岔处于反位，2FBJ 励磁吸起，当列车越过出站占用 2DG 时，2DGJ ↓，此时 2DGJF 处于缓放状态，则 FGRJ 经由励磁电路⑤构成了励磁电路，FGRJ ↑，将发送器从接收端电路切除，中断双端发码；2DGJF 完成缓放后转为落下状态，则切断 FGRJ 经由⑤构成的励磁电路，FGRJ 转为落下，此时原轨道电路接收端通过 FGRJ ↓改为双端发码防护状态；由于 FGRJF 的缓放时间仅有 0.4 s，所以由于 FGRJ 由落下转为吸起再转为落下的时间将不大于 0.5 s，即尾端发码中断时间不大于 0.5 s，故

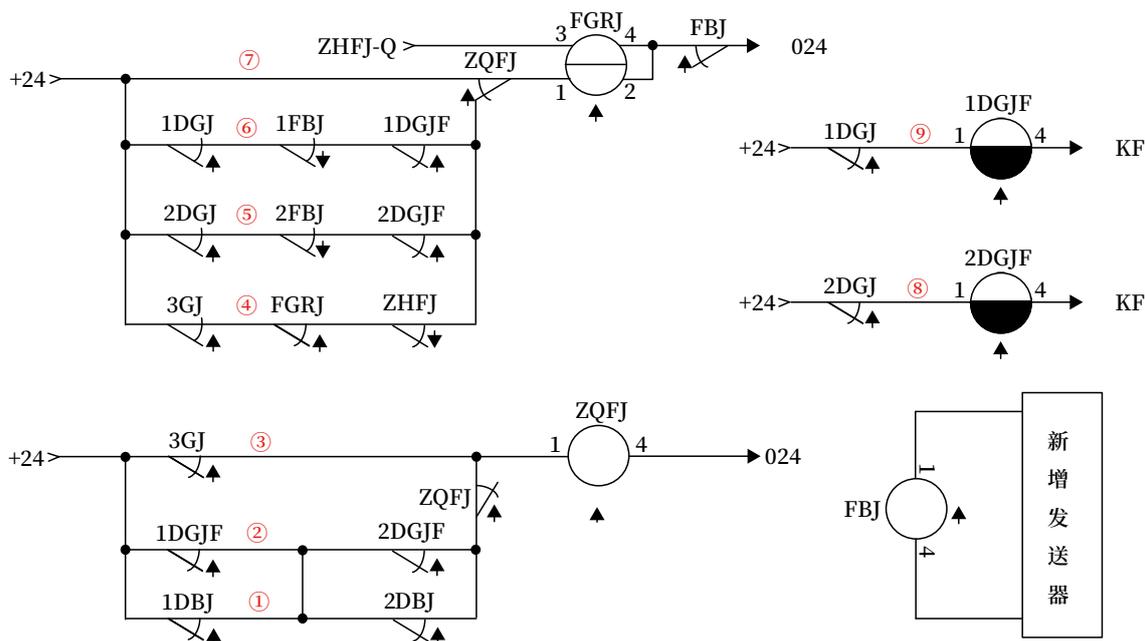


图4 站内股道防干扰继电器工作等效简化示意

Fig.4 Simplified schematic diagram of the operation of the anti-interference relay with equivalent circuits in stations tracks

机车信号将不会出现掉码现象。

当列车完全出清 3G 后，3GJ 转为吸起状态，构成 ZQFJ 经③的励磁电路，则 ZQFJ 励磁吸起；ZQFJ 吸后，则经 FGRJ 的 1、2 和电路⑦的励磁电路构成，FGRJ 励磁吸起，此时将 3G 接收器接入接收端电路，形成完整的一体化轨道电路，由于列车出清 3G，接收器能正常解调发送器经室外钢轨提供的信号，则接收器检查 3G 空闲后将 3GJ 励磁吸起，至此完成了列车占用 3G 时双端发码的功能。

因高铁现有联锁未驱动信号开放的继电器，如 LXJ 等，为避免对联锁软件进行修改，电路中未采用信号开放条件。所以无论列车还是调车，只要按上述顺序进入股道，均可实现双端发码的功能。

为解决正常情况下电务人员维修维护中需要分路室外区段进行相关测试时可能造成的 FGQJ 落下，而测试完成后 FGQJ 无法自动恢复励磁吸起的问题，如图 5 所示，设置了 ZQFJ 继电器。ZQFJ 继电器采用两条自保电路①、②和一条励磁电路③共同构成 ZQFJ 的工作条件。当 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 道岔在定位时，1DBJ 吸、2DBJ 吸，此时无论维修人员是否分

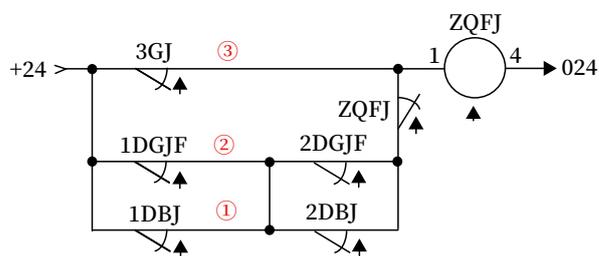


图5 ZQFJ电路示意

Fig.5 Circuit diagram of ZQFJ relay

路 1DG 区段、2DG 区段、3G 中的一个或多个区段（股道），ZQFJ 始终处于吸起状态；当 1<sup>#</sup> 道岔在定位 2<sup>#</sup> 道岔在反位时，1DBJ 吸、2DBJ 落下，此时维修人员只有同时分路 2DG 区段和 3G，ZQFJ 才会转为落下状态；当 1<sup>#</sup> 道岔在反位 2<sup>#</sup> 道岔在定位时，1DBJ 落下、2DBJ 吸，此时维修人员只有同时分路 1DG 区段和 3G，ZQFJ 才会转为落下状态；当 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 道岔均在反位时，1DBJ 落下、2DBJ 落下，此时维修人员只有同时分路 3G 以及 1DG 和 2DG 区段，ZQFJ 才会转为落下状态。通过此电路方式，基本满足了正常情况下电务人员维修维护工作中正常分路室外区段进行相关测试的需求。

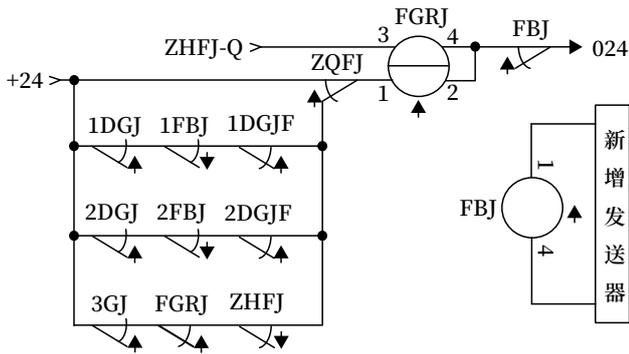


图6 新增发送器故障处理原理示意  
Fig.6 Schematic diagram of the fault handling principle of the new transmitter

如图6所示，当新增发送器故障后，为使运营维护人员快速发现并处理故障，采用将新增发送器的发送报警继电器FBJ接点串入FGRJ的024电源回路中。新增发送器正常工作时，FBJ处于吸起状态，当新增发送器故障时，FBJ失磁落下切断FGRJ的励磁电路，使FGRJ↓，FGRJ↓又切断3G轨道电路的接收通道，从而使3GJ↓股道出现红光带，以便提示运营维护人员及时处理故障。

### 3.4 停电后或设备上电时自动恢复电路

电路在停电或设备开始上电时需进行安全防护，为此，需要采用每次上电时为FGRJ给出一次短时间的恢复励磁的条件电源。

如图7所示，停电时图中所有继电器将处于落下状态。来电后将同时构成3条电路：第①条电路，既有轨道电路的停电监督继电器GTJ吸起，此时通过GTJ第1组前接点给GTJF励磁，使GTJF经7s延时后吸起；第②条电路，当GTJF处于缓吸状态，经GTJF后接点给恢复继电器(HFJ)励磁；第③条电路，通过GTJ第2组前接点、处于落下状态的ZHFJ后接点以及电阻R给电容C充电。

停电恢复后GTJ励磁，7s内GTJF处于缓吸状态，利用GTJF第1组后接点，通过HFJ的1、4线圈给HFJ励磁。HFJ励磁后通过HFJ第1组前接点及恢复复继电器HFJF的1、4线圈给HFJF励磁。

GTJF经7s延时后将励磁吸起，通过GTJF第1组接点吸起，切断HFJ的励磁电路HFJ落下，此时HFJF继电器处于缓放状态。如图8中红色虚

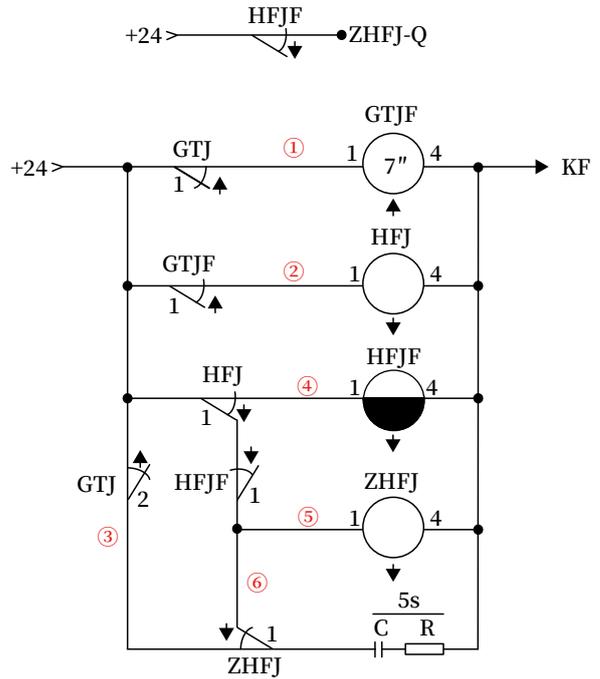


图7 停电恢复防护功能原理示意  
Fig.7 Schematic diagram of the principle of the power failure recovery protection function

线所示，利用HFJ第1组后接点、处于缓放状态的HFJF第1组前接点，通过总恢复继电器(ZHFJ)的1、4线圈，为ZHFJ构成励磁电路，ZHFJ励磁吸起。ZHFJ励磁吸起后为FGRJ构成励磁电路，满足停电后FGRJ的吸起检查需求。

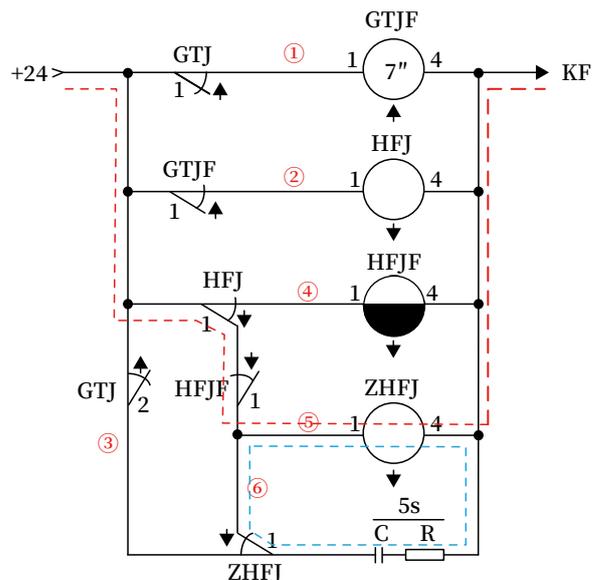


图8 停电恢复防护总准备恢复主、辅助磁原理示意  
Fig.8 Schematic diagram of the principle of the overall preparation to recover the energized state of the main and auxiliary relays for power failure recovery protection

如图8中蓝色虚线所示, ZHFJ励磁后, 电容C经ZHFJ第1组前接点, ZHFJ的1、4线圈, 以及电阻R, 为ZHFJ构成另一条励磁电路。HFJF经缓放后落下, 经HFJF第1组接点切断ZHFJ的红色励磁电路, 此时ZHFJ仅剩经ZHFJ第1组前接点构成的蓝色励磁电路。电容C经5s放电后无法继续为ZHFJ提供能量, 故ZHFJ失磁

落下, 至此完成了停电恢复后给FGRJ一次性的短暂恢复励磁条件。

## 4 适应性分析

### 4.1 站场适应性分析

在典型站场的基础上扩展应用场景, 现场站场图形的可能情况有8种, 具体如图9所示。

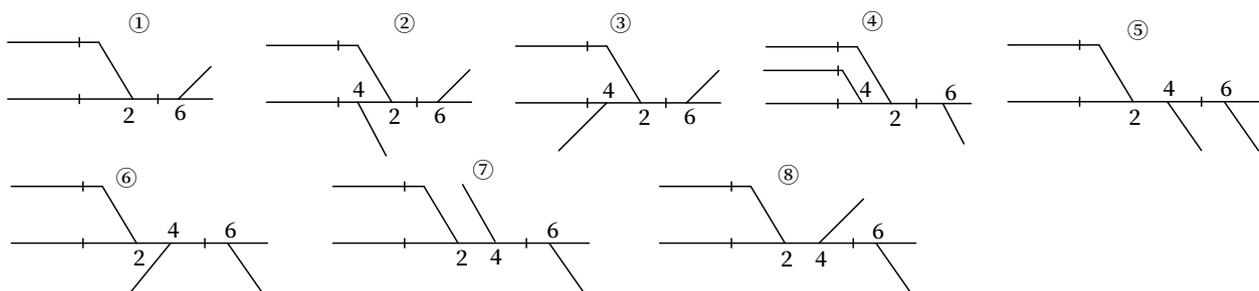


图9 现场站型分类示意

Fig.9 Schematic diagram of the types of on-site station layouts

图中①③④⑤⑦⑧属于同一种类型, 利用2DGJ和2FBJ条件励磁ZQFJ; 图中②属于一种类型, 利用2DGJ和2FBJ以及6DGJ条件励磁ZQFJ; 图中⑥属于一种类型, 利用2DGJ和2FBJ以及4DBJ条件励磁ZQFJ; 结合前述分析, 上述8种站场情况可按大类型进行归类, 均可通过原理电路实现列车折返时的双端发码安全防护。

### 4.2 维护分路测试分析

在天窗点内进行股道分路测试, ZQFJ会通过相邻区段的位置及占用状态实现自保, 分路测试后会自动恢复, 故不影响维修维护人员正常进行的股道分路测试工作。

### 4.3 对分路不良的改善

正常接车股道占用后, 由于切断了接收通道, 可以实现股道的完好分路, 有效避免GJ落下后出现分路不良的问题。

### 4.4 站内停电分析

当股道有车且发生站内停电后, 恢复供电时ZQFJ保持落下, FGRJ也保持落下, 继续实现双端发码。

当股道无车占用发生站内停电后, 恢复供电时ZQFJ保持落下, FGRJ也保持落下, 实现双端发码, GJ将不能正常吸起, 需人工占用1DG方式恢复, 发生红光带, 提示值班员进行人工确认该股道是否有列车并且处于分路不良状态, 确认无车后可通过人工进行恢复, 从而保障停电恢复后的安全防护。

### 4.5 道岔区段故障运用场景分析

当列车未进站前, 2DG故障, 列车由1DG接入股道后仍能保持双端发码, 此时若经2DG引导发车后, 股道将维持双端发码, GJ将不能正常吸起, 控制台将保持红光带显示, 提示值班员需人工占用1DG方式恢复轨道电路对股道的正常空闲检查状态。

### 4.6 新增发送器故障运用场景分析

当新增发送器故障后, FGRJ将无条件落下, 实现双端发码, GJ将不能正常吸起, 发生红光带, 提示值班员。

## 5 结论

通过上述原理及适应性分析, 本方案分别从正常接发车、存在故障区段时的接发车、停电恢复时的

安全防护等多个场景论述了采用继电电路实现控制列车尾端补码的具体时机及实现方法。该电路采用系统抑制方式提高列车接收信干比,从而可有效减小邻线干扰可能造成的安全问题,为高速铁路运输股道折返作业的基础安全防护提供一种研究思路。

## 6 结束语

通过对高速铁路站内一体化轨道电路干扰防护的深入研究,不难看出,这一技术在确保列车运行安全方面可发挥的重要作用。随着高速铁路的快速发展,轨道电路发码的准确性、稳定性和可靠性变得愈发重要。本文所探讨的干扰防护策略和技术手段,是对现有高铁站内股道轨道电路发码防护优化的可行方法之一。该方案未采用软件防护措施,而从电路分析入手研究轨道电路干扰防护,提供一种防护技术,同时也可采用股道分割方法实现站内一体化轨道电路干扰防护功能,两条不同技术路线各有优缺点。随着科技的不断进步和创新,高速铁路站内一体化轨道电路干扰防护技术将会不断完善和优化,为高速铁路的安全、高效运行提供更为坚实的保障。

### 参考文献

- [1] 谢文磊,李言.ZPW-2000A 轨道电路占用丢失问题的分析与探讨[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(9):104-106,111.  
Xie Wenlei, Li Yan. Analysis and Discussion of Loss of Occupancy of ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 104-106, 111.
- [2] 廖文豪.双线轨道电路图设计流程与技巧探讨[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(12):111-116.  
Liao Wenhao. Steps and Skills of Designing Double-Line Track Circuit Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 111-116.
- [3] 许燕文.ZPW-2000 轨道电路信号的解析方法[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(12):11-17.  
Xu Yanwen. Analysis Method of ZPW-2000 Track Circuit Signals[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 11-17.
- [4] 贾鸿,马樱,张祺.25 Hz 相敏轨道电路与 ZPW-2000A 结合处的逻辑检查故障分析[J].铁路通信信号工程技术,2024,21(3):101-105.  
Jia Hong, Ma Ying, Zhang Qi. Fault Analysis of Logic Check at Junction of 25 Hz Phase Sensitive Track Circuit and ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(3): 101-105.
- [5] 张昌平,白书涵.铁路信号电路设计安全性研究与分析[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(8):8-12.  
Zhang Changping, Bai Shuhan. Research and Analysis of Railway Signal Circuit Design Safety[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(8): 8-12.
- [6] 曾峰.单机运行引起轨道电路之间不匹配的研究[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(10):102-105.  
Zeng Feng. Research on Mismatch between Track Circuits Caused by Single-Locomotive Train Operation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 102-105.
- [7] 陈波.轨道电路“死区段”成因分析及对策[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(5):86-91.  
Chen Bo. Cause Analysis and Countermeasures of “Dead Zone” in Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 86-91.
- [8] 达兴亮.不同制式轨道电路相邻时存在问题及解决方案[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(9):92-96.

- Da Xingliang. Problems and Solutions Caused by Different Types of Track Circuits[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(9): 92-96.
- [9] 马卫杰. 站内轨道电路邻线干扰分析与解决措施[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11): 102-104, 120.
- Ma Weijie. Analysis and Solution of Interference from Neighboring Line in Station Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 102-104, 120.
- [10] 于晓泉. 列车速度 400 km/h 的信号系统适应性分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(6): 5-11.
- Yu Xiaoquan. Adaptability Analysis of Signal Systems for Trains with 400 km/h Operation Speed[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(6): 5-11.
- [11] 罗松, 贾昆. 客运专线 CTCS-2 列控系统及相关技术问题 [C] // 2006<世界轨道交通>论坛中国铁路客运专线的运营管理、融资建设与技术装备会刊. 2006: 196-205.
- [12] 李文涛. 站内股道一体化轨道电路绝缘破损信号越区干扰防护措施研究[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(5): 23-26.
- Li Wentao. Protective Measures for Signal Against Cross-Border Signal Interference Due to Integrated Track Circuit's Insulation being Damaged[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(5): 23-26.
- [13] 赵翠琴. 基于 ZPW-2000 轨道电路车站区间一体化邻线干扰的研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2020.
- [14] 赵辉. 浅谈 ZPW-2000 轨道电路邻线干扰解决方案[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(5): 26-28.
- Zhao Hui. Solution of Interference of ZPW-2000 Track Circuit from Neighboring Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(5): 26-28.
- [15] 邹昕洋. 轨道电路并行区段邻线同频干扰解决方案研究设计[J]. 科技资讯, 2023, 21(4): 44-47.
- Zou Xinyang. Research and Design on Solutions for Adjacent Line Co-Channel Interference in Parallel Sections of Track Circuits[J]. Science & Technology Information, 2023, 21(4): 44-47.
- [16] 李强, 何健. 站内一体化轨道电路股道防邻线干扰分析及解决方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 61-64.
- Li Qiang, He Jian. Analysis and Solution on Anti-Interference from Adjacent Line of Integrated Track Circuit in Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 61-64.
- [17] 刘国栋, 陈德伟, 肖鹏. 站内 25 Hz 轨道电路叠加电码化典型问题分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 65-67, 89.
- Liu Guodong, Chen Dewei, Xiao Peng. Analysis on Typical Problems of Overlapped Coding of 25 Hz Phase Sensitive Track Circuit in Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 65-67, 89.
- [18] 曾晓海. ZPW-2000A 轨道电路调谐区窜码故障分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 100-104.
- Zeng Xiaohai. Analysis of Code Skipping Fault in Tuning Area of ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 100-104.
- [19] 周明君. 电化区段特殊位置 25 Hz 相敏轨道电路的分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 77-80.
- Zhou Mingjun. Analysis of 25 Hz Phase-Sensitive Track Circuits in Special Positions in Electrification Sections[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 77-80.
- [20] 李文涛, 阳晋, 袁志彬. ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路继电接口电子化探讨[J]. 铁路通信

信号工程技术, 2022, 19(6): 12-16, 27.

Li Wentao, Yang Jin, Qiu Zhibin. Discussion on Electronic Relay Interface of ZPW-2000 Series Jointless Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 12-16, 27.

- [21] 刘曦. 电化区段高压脉冲轨道电路干扰机车信号分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 96-101.

Liu Xi. Analysis of High-Voltage Pulse Track

Circuits Interfering with Locomotive Signals in Electrified Sections[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 96-101.

- [22] 刘国鹏. ZPW-2000A 轨道电路小轨电压异常判断分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(1): 95-100, 108.

Liu Guopeng. Judgment and Analysis of Small Rail Voltage Fluctuation of ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 95-100, 108.

\*\*\*\*\*

(上接 12 页)

Tree[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 72-76.

- [14] 周明君. 电化区段特殊位置 25 Hz 相敏轨道电路的分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 77-80.

Zhou Mingjun. Analysis of 25 Hz Phase-Sensitive Track Circuits in Special Positions in Electrification Sections[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 77-80.

- [15] 唐敦辉. 关于 ZPW-2000A 轨道电路小轨输出电压呈正弦波动探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(5): 101-103.

Tang Dunhui. Discussion on Small Rail Feeding out Voltage Sine Wave of ZPW-2000A Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 101-103.

- [16] 马卫杰. 站内轨道电路邻线干扰分析与解决措施 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11): 102-104, 120.

Ma Weijie. Analysis and Solution of Interference from Neighboring Line in Station Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication

Engineering, 2022, 19(11): 102-104, 120.

- [17] 滕东华. 道岔智能运维系统功能的拓展与改进 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 85-88, 110.

Teng Donghua. Expansion and Improvement of Intelligent Turnout Operation and Maintenance System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 85-88, 110.

- [18] 姚胜良, 杨硕, 李继, 等. 简谈重载铁路道岔转换系统工作状态智能诊断技术 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(5): 17-20.

Yao Shengliang, Yang Shuo, Li Ji, et al. Intelligent Diagnosis Technology for Working State of Turnout Switching System for Heavy Haul Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 17-20.

- [19] 曾科智. 远距离三相交流道岔表示故障解决方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(6): 96-100, 116.

Zeng Kezhi. Solution to Indication Failure of Long-Distance Three-Phase AC Switch[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 96-100, 116.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.06.004

# 基于MVB总线的市域铁路车载设备 首尾通信方法

张友兵<sup>1, 2</sup>, 曲忠<sup>3</sup>, 王硕<sup>1, 2</sup>, 张家兴<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. 列车自主运行智能控制铁路行业工程研究中心, 北京 100070;

3. 中国铁路沈阳局集团有限公司长春电务段, 长春 130051)

**摘要:** 市域铁路是适用于都市圈中心城市城区连接周边城镇组团的轨道交通系统, 提供公交化、大运量、快速便捷的交通服务。市域铁路要求列车两端的车载设备首尾通信、传递信息、支持站后自动折返和原地自动换端。详细介绍基于MVB总线的首尾通信方法和技术, 已经成功应用于市域铁路车载设备之中。经过实验室测试和检验, 提出的首尾通信方法和技术可以实现首尾两端车载设备高安全、高可靠的数据通信, 是市域铁路列车实现站后自动折返和原地自动换端的重要基础技术。

**关键词:** 市域铁路; 列车控制系统; 车载设备; 首尾通信; 多功能车辆总线

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0023-07

## Head-to-tail Communication Method of Urban Railway On-board Equipment Based on MVB Bus

Zhang Youbing<sup>1, 2</sup>, Qu Zhong<sup>3</sup>, Wang Shuo<sup>1, 2</sup>, Zhang Jiaying<sup>1, 2</sup>

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

(2. Engineering Research Center of Railway Industry of Intelligent and Autonomous Train Control, Beijing 100070, China)

(3. Changchun Signaling &amp; Communication Depot, China Railway Shenyang Group Co., Ltd., Changchun 130051, China)

**Abstract:** The urban railway is a rail transit system that is suitable for connecting the central urban area of the metropolitan area with the surrounding urban clusters, providing public-focused, large volume, fast and convenient transportation services. The urban railway requires that the on-board equipment at both ends of the train be able to perform head-to-tail communication, support automatic turn-back behind the station and automatically change ends in the station. This paper introduces in detail the head-to-tail communication method and technology based on MVB bus, which has been

收稿日期: 2022-12-07; 修回日期: 2024-03-12

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-K1240026.03)

第一作者: 张友兵 (1982—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 高速铁路列车控制系统, 邮箱: zhangyoubing@crscd.com.cn.

successfully applied to the urban railway on-board equipment. After laboratory testing and inspection, the head-to-tail communication method and technology proposed in this paper can achieve high safety and high reliability in data communication between the on-board equipment at the head and tail of the train, which is an important basic technology for urban railway trains to realize automatic turn-back behind the station and automatic end change in the station.

**Keywords:** urban railway; train control system; on-board equipment; head-to-tail communication; Multi-function Vehicle Bus

近年来,随着中国城镇化进程加快,市域铁路在国内得到蓬勃发展。市域铁路又称为通勤铁路、市郊铁路,是大都市市域范围内的客运轨道交通系统,服务于城市与郊区、中心城市与卫星城、重点城镇间等,提供公交化、大运量、快速便捷的轨道交通系统,是城市综合交通系统的重要组成部分。

市域铁路可以采用高速铁路CTCS2+ATO列控系统,但需要增加自动折返功能,而自动折返功能要求列车两端车载设备配合工作,所以要求列车两端车载设备具备首尾通信能力,实现双向的、安全的、可靠的数据传输。本文着重介绍市域铁路列车首尾两端车载设备首尾通信的原理、方法和关键技术。

## 1 市域铁路

### 1.1 市域铁路需求

从市域铁路的功能定位来看,其具有公交化、高密度的运营需求,通常要求满足3 min追踪间隔,包括折返间隔。在相同的站场规模、相同列车加减速能力的情况下,CTCS2+ATO信号系统满足列车区间和车站的间隔需求,但该系统目前不具备自动折返能力,难以满足市域铁路小于3 min的折返间隔要求。

国铁领域中,采用CTCS制式的线路均未实现自动折返功能。在现场实际运用中,仅人工换端就需要约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,有两条折返线的情况下,折返间隔接近5 min。

为了满足市域3 min追踪间隔要求,CTCS2+ATO列控系统必须增加自动折返功能,通过高水平的自动化提高自动折返效率。CTCS2+ATO列控系统车载设备包含车载ATP和车载ATO。在列车运行过程中,车载ATP根据行车许可、线路数据和列车制动参数计算目标-距离连续速度控制模式曲线,对列车位置和速度进行实时监控,保证列车安全、高效运行。车载ATO实现车站自动发车、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、列车自动折返。CTCS-2+ATO列控系统实现自动折返功能后,将明显缩短市域动车组在折返站的折返间隔,提高列车开行密度,实现公交化运营目标,提高铁路运输效率。

### 1.2 自动折返功能

自动折返又分为原地自动折返和站后自动折返。

原地自动折返也称为原地自动换端,是指列车在股道停稳后,由司机发起换端操作,车载设备自动完成两端的信息交互并交接控制权,司机激活并启动另一端驾驶室和车载设备。

站后自动折返是指在整个折返过程中,包括驶入折返线、换端和折出过程都不需要司机在驾驶室控制操作。站后自动折返过程示意如图1所示。A端的列控车载设备在站台股道(位置1)接收到司机下发的自动折返发车指令后,由车载设备自动驾驶列车从到达站台股道驶入折返线停稳(位置2)后,两端车载设备及车辆驾驶室完成控制权的交接,再由B端(原休眠端)车载设备驾驶列车折出折返线,到站台股道停准停稳(位置3)。

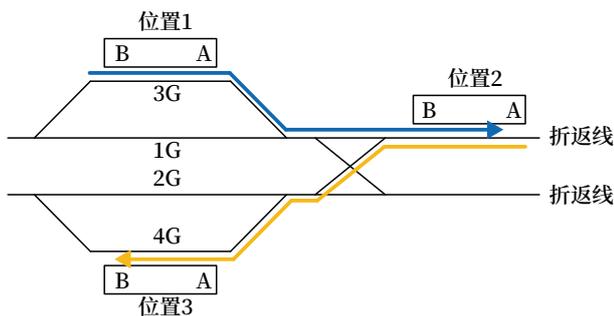


图1 站后自动折返过程  
Fig.1 Process of automatic turn-back behind the station

## 2 首尾通信

### 2.1 首尾通信物理结构

从自动折返流程可知，首端列控车载设备与尾端列控车载设备需要进行信息交互，才能完成自动折返过程，可以采用车辆的多功能车辆总线（Multifunction Vehicle Bus, MVB）进行首尾通信，也可以两端车载设备组建 MVB 网络进行首尾通信。本文介绍的首尾通信方法为列车两端的车载设备单独组建 MVB 网络，因此需要分配主/从角色。如果两端车载设备接入车辆 MVB 网络，那么两端车载设备只需要配置为 MVB 从设备，不需要分配主从角色。

每一套车载设备包含左系和右系，两系为热备关系，当左系为主系时，右系为备系。设备运行过程中，如果左系故障死机，则右系将自动无缝升级为主系，继续监控列车运行，保障行车安全。列车两端分别称为 A 端和 B 端，列车 A 端的车载设备称为 A 端车载设备，列车 B 端的车载设备称为 B 端车载设备。

两端车载设备进行首尾通信时，A 端和 B 端的左系、右系都挂在一条 MVB 总线上，A 端左系为主设备，A 端右系、B 端左系、B 端右系为从设备。首尾通信的物理结构如图 2 所示。

### 2.2 首尾通信原理

A 端发送数据、B 端接收数据的原理如图 3 所示。B 端发送数据、A 端接收数据的原理如图 4 所示。其中，车载设备进行首尾通信时，左系或右系

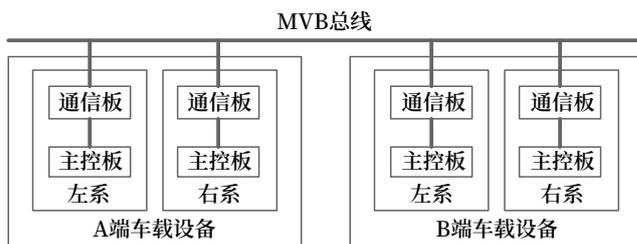


图2 首尾通信的物理结构  
Fig.2 Physical structure of head-to-tail communication

都有主控板、通信板共两个模块参与工作。从图 3 和图 4 可知，两端发送数据、接收数据的原理相同，以图 3 为例，说明首尾通信原理。

A 端左主控板产生首尾通信数据，发送给 A 端左通信板，A 端左通信板将首尾通信数据传递给 B 端左通信板。A 端右主控板产生首尾通信数据，发送给 A 端右通信板，A 端右通信板将首尾通信数据传递给 B 端右通信板。

B 端左主控板通过 B 端左通信板接收 A 端左系的首尾通信数据，通过 B 端右通信板接收 A 端右系的首尾通信数据，并使用两系中的主系数据。B 端右主控板通过 B 端左通信板接收 A 端左系的首尾通信数据，通过 B 端右通信板接收 A 端右系的首尾通信数据，并使用两系中的主系数据。

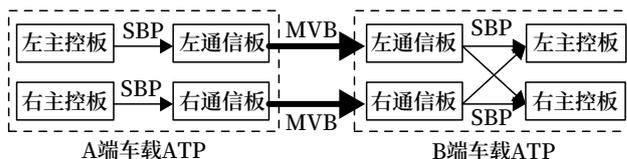


图3 A端发送B端接收的原理  
Fig.3 Schematic diagram of End A sending data to End B

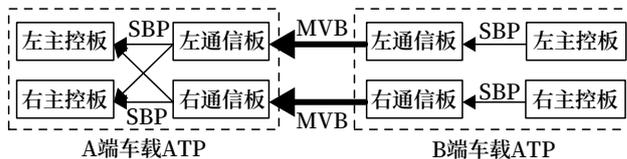


图4 B端发送A端接收的原理  
Fig.4 Schematic diagram of End B sending data to End A

## 3 首尾通信关键技术

### 3.1 列车两端角色分配

车载设备增加配置参数，用于区分车载设备安

装在列车 A 端或 B 端。这样实现的好处是两端车载设备使用完全相同的软件，只是配置参数存在细微差别。列车两端角色分配如图 5 所示，列车两端安装软件和硬件均相同的车载设备，A 端车载设备使用 A 端参数，B 端车载设备使用 B 端参数。车载设备上电启动后，读取配置参数，根据参数识别本端车载设备位于列车 A 端或 B 端。



图5 列车两端角色分配  
Fig.5 Assignment of roles for both ends of the train

### 3.2 端口配置和使用

从图 2 可知，共有 4 系车载设备列车防护单元 (Automatic Train Protection, ATP) 挂在 MVB 总线上进行首尾通信，为每一系 ATP 分配唯一的端口号，车载设备各系端口分配如表 1 所示。每一系 ATP 向分配的端口号发送数据，其他系的 ATP 从该端口号读取数据。例如，A 端左系向 Port1 端口发送数据，A 端右系向 Port2 端口发送数据，B 端左系从 Port1 端口接收 A 端左系的首尾通信数据，B 端右系从 Port2 端口接收 A 端右系的首尾通信数据。

车载设备上电后，通过配置参数可以得知本端车载设备位于 A 端或 B 端，每一套车载设备的左系和右系还可以从计算机平台获知本系是主系或备系，也就唯一确定了每一系 ATP 的角色和对应的端口编号。车载设备各系端口分配如表 1 所示。

表1 车载设备各系端口分配

Tab.1 Allocation of ports for each system of on-board equipment

ATP 角色	端口编号
A 端左系	Port1
A 端右系	Port2
B 端左系	Port3
B 端右系	Port4

### 3.3 首尾通信协议组成

在站后自动折返或原地自动换端过程中，两端

车载设备进行首尾通信，必须包含序列号、主备标志、应用数据共 3 部分内容。

序列号用于超时监控，本端每发送一条数据，序列号加 1，对端收到首尾通信数据时，检查序列号是否变化，如果序列号超过规定时间未发生变化，认为首尾通信中断，车载设备退出站后自动折返或原地自动换端过程，导向安全侧。

主备标志用于标记本条数据来自主系 ATP 或备系 ATP，对端车载设备收到数据后，只使用标记为主系的首尾通信数据。

应用数据用于支持站后自动折返或原地自动换端过程。

### 3.4 不对称通信方法

两端车载设备采用不对称通信方法进行首尾通信，方法如图 6 所示。两端车载设备使用 MVB 总线进行首尾通信时，为了减少通信数据量，发送端采用慢周期发送和突发性发送两种策略。当首尾通信协议里的重要数据发生变化时，立即发送给对方，称为突发性发送策略。当首尾通信协议里的重要数据未发生变化时，但又为了支持对端进行超时监控，以比较慢的周期发送数据，称为慢周期发送策略。

为了保证接收方及时接收到来自对方的数据并作出快速反应，接收方以比较快的周期读取数据，称为快周期读取策略。虽然每周都能读取到数据，但是当对端发送新数据，本端可以读取到新数据，本周期使用新数据并执行逻辑功能；如果对端未发送新数据，本端只能读到历史数据，本周期不使用历史数据但执行逻辑功能。

### 3.5 首尾通信的热备方案

两端车载设备在进行首尾通信时，本端车载设备同时接收对端车载设备的两系数据，并只使用对端车载设备的主系数据。如果对端车载设备主系死机，备系升级为主系，本端车载设备从首尾通信数据的主备系标志检测到原来的备系升级为主系，则判定对端车载设备发生切系，此后将一直使用新主系（从备系升级为主系）的首尾通信数据。

同时，在进行首尾通信时，发送端车载设备周

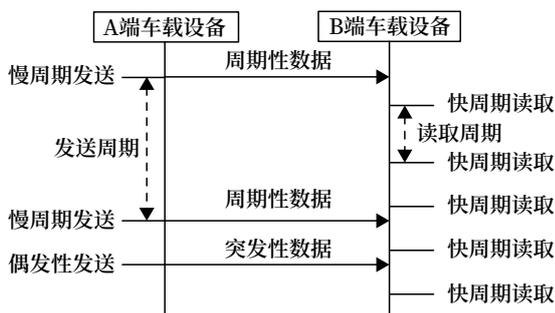


图6 不对称通信方法  
Fig.6 Asymmetric communication method

期性向对方车载设备发送数据，即使准备发送数据时发生切系，导致原来的主系未将数据发送出去，但是由于车载设备两系同时向对端车载设备发送相同的数据，对端车载设备依旧可以从新主系（从备系升级为主系）收到最新的数据，保证首尾通信不丢失数据。

可见，对端车载设备左右两系虽然发生主备切换，但是首尾通信正常，两端车载设备可以正常执行自动折返过程，实现首尾通信的数据热备。

### 3.6 MVB主设备死机下的异常处理

A 端左系为主设备，A 端右系、B 端左系、B 端右系为从设备，所以 A 端左系管理和调度两端车载设备的首尾通信。当 A 端左系死机，如果不进行任何处理，主设备死机，整个 MVB 总线故障，首尾通信中断，将导致列车出站后自动折返或原地自动换端过程，降低运行效率。因此，当 A 端左系死机时，A 端右系自动升级为 MVB 主设备，继续管理和调度两端车载设备的首尾通信。

## 4 首尾通信的数据收发策略

### 4.1 首尾通信数据接收策略

两端车载设备在进行首尾通信时，本端车载设备可以收到对端车载设备的两系数据，本端车载设备需要对两系数据进行检查，并使用主系数据。首尾通信数据使用策略如表 2 所示。

如果对端车载设备的两系未发生切系，当左系为主系，右系为备系时，两系主备角色正确，本端车载设备使用对端的左系数据；当左系为备系，右

表2 首尾通信数据使用策略

Tab.2 Strategy for the usage of data in head-to-tail communication

是否发生切系	左系角色	右系角色	决策
未发生切系	主系	备系	使用左系数据
	备系	主系	使用右系数据
	主系	主系	首尾通信故障
	备系	备系	首尾通信故障
发生切系	主系且死机	备系升为主系	使用右系数据
	备系升为主系	主系且死机	使用左系数据

系为主系时，两系主备角色正确，本端车载设备使用对端的右系数据；当左系和右系均为主系，或当左系和右系均为备系，两系主备角色错误，本端车载设备认为首尾通信故障，车载设备将退出自动折返过程。

如果对端车载设备的两系发生切系，即原来的左系由备系升级为主系，本端车载设备使用对端的左系数据；或原来的右系由备系升级为主系，本端车载设备使用对端的右系数据。

### 4.2 首尾通信数据发送策略

车载设备使用通用软件自动判断并向指定端口发送数据，数据发送策略如图 7 所示。A 端左系向 Port1 端口发送数据，A 端右系向 Port2 端口发送数据。B 端左系向 Port3 端口发送数据，B 端右系向 Port4 端口发送数据。

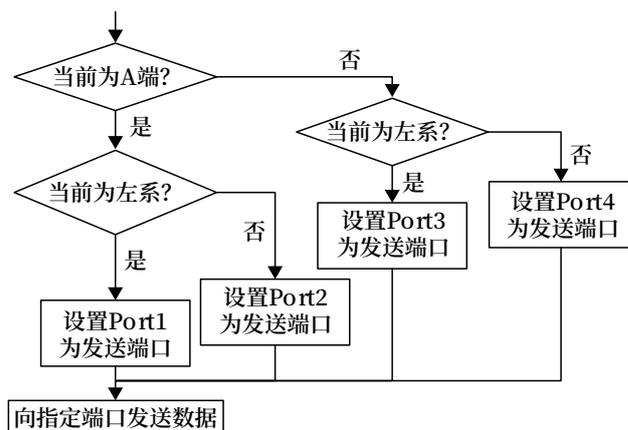


图7 数据发送策略  
Fig.7 Strategy for data sending

## 5 总结

近年来，市域铁路在国内得到蓬勃发展。为了

提高运输效率和自动化程度,市域铁路要求具备自动折返功能,均要求列车两端的车载设备能够进行首尾通信,实现站后自动折返和原地自动换端。本文提出了基于MVB总线的市域铁路车载设备的首尾通信方法,该方法和技术已经应用到市域铁路车载设备之中,经过实验室测试和检验,可以实现首尾两端车载设备高安全、高可靠的数据通信,是市域铁路列车实现站后自动折返和原地自动换端的重要基础技术。

### 参考文献

- [1] 童超. 市域铁路列车运行控制系统方案选择研究[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(7): 35-41.  
Tong Chao. Study on Scheme Selection of Train Operation Control System in Urban Railway[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(7): 35-41.
- [2] 邢科家, 郜洪民, 黄苏苏. 基于区域联动和多制式协调的铁路信号系统技术研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(5): 1-5, 10.  
Xing Kejia, Gao Hongmin, Huang Susu. Research on Railway Signaling System Technology Based on Regional Integration and Multi-System Compatibility[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(5): 1-5, 10.
- [3] 姜宏阔. 城际和城轨线路贯通运营的列车控制方法研究[J]. 控制与信息技术, 2022(1): 107-113.  
Jiang Hongkuo. Train Control Method for through Operation of Inter-City Railway and Urban Rail Transit[J]. Control and Information Technology, 2022(1): 107-113.
- [4] 吕文龙, 韩臻, 麻吉泉. 轨道交通“三网融合”跨线运行的方案分析[J]. 自动化仪表, 2022, 43(7): 61-66.
- [5] 刘魁. 市域铁路多网融合解决方案[J]. 都市快轨交通, 2017, 30(5): 103-108, 117.  
Liu Kui. The Solution of Multi-Network Integration in Suburban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(5): 103-108, 117.
- [6] 贾飞. 都市圈市域快线多网融合列控系统[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(1): 191-195.  
Jia Fei. Multi-Network Integrated Train Control System for Metropolitan Commuter Express[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(1): 191-195.
- [7] 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.
- [8] 张浙梁. 铁路CTCS2+ATO列车运行控制系统技术研究[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(6): 96-100.  
Zhang Zheliang. Research on CTCS2+ATO Train Operation Control System Technology[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(6): 96-100.
- [9] 吴培栋. 基于CTCS2+ATO的市域(郊)铁路列控系统技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(7): 16-23.  
Wu Peidong. Research on Technology of Suburban Railway Train Control System Based on CTCS2+ATO[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7): 16-23.
- [10] 张伟. CBTC与CTCS-2兼容互通方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 93-97.  
Zhang Wei. CBTC and CTCS-2 Compatible and Interoperable Scheme[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 93-97.
- [11] 申樟虹, 李名淦, 刘潇洋, 等. 跨线网互联互通运营信号系统技术方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(7): 66-70.  
Shen Zhanghong, Li Minggan, Liu Xiaoyang, et al. Research on Technical Scheme of Cross-Line Interoperation Signaling System[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(7): 66-70.
- [12] 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.
- [13] 全宏宇, 张敏慧. 市域铁路 CTCS-2 与 CBTC 列控系统切换方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(1): 61-66, 94.
- Quan Hongyu, Zhang Minhui. Scheme for Switching between CTCS-2 and CBTC Train Control Systems for Suburban Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 61-66, 94.
- [14] 赵岩. 市域轨道交通列控系统选型研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(7): 179-182.
- Zhao Yan. Type Selection of Train Control System for Regional Express Railway[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(7): 179-182.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 李莹莹, 张浩. 基于电子地图和卫星定位的列控技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(12): 23-27.
- Li Yingying, Zhang Hao. Research on Train Control Technology Based on Electronic Map and Satellite Positioning[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 23-27.
- [18] 张友兵, 王建敏, 张国振, 等. 高速铁路列车制动曲线计算精确度与效率分析 [J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(1): 10-18.
- Zhang Youbing, Wang Jianmin, Zhang Guozhen, et al. Accuracy and Efficiency Analysis of Braking Curve Calculation for High-Speed Railway Train[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(1): 10-18.
- [19] 张友兵, 陈志强, 王建敏, 等. 高速铁路列车制动曲线速度分段方法 [J]. 中国铁道科学, 2021, 42(5): 155-161.
- Zhang Youbing, Chen Zhiqiang, Wang Jianmin, et al. Speed Segmentation Method of Train Braking Curve for High-Speed Railway[J]. China Railway Science, 2021, 42(5): 155-161.
- [20] 孙二敬, 吴培栋, 张振兴. 基于 MVB 总线的 CTCS-1 无线传输单元与主控单元的通信方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(6): 50-53, 90.
- Sun Erjing, Wu Peidong, Zhang Zhenxing. Communication Method between CTCS-1 Radio Transmission Unit and Main Control Unit Based on MVB Bus[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 50-53, 90.
- [21] 孙二敬, 张国振, 张振兴. 一种基于 Socket 通信的车载设备 MVB 仿真方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 30-33.
- Sun Erjing, Zhang Guozhen, Zhang Zhenxing. MVB Simulation Method of On-Board Equipment Based on Socket Communication[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 30-33.

# 半自动不能正常复原故障分析处理

王昱翔<sup>1</sup>, 窦丽明<sup>2</sup>, 王淑琴<sup>3</sup>, 郗佃举<sup>3</sup>, 尤玉淇<sup>2</sup>, 王继柱<sup>2</sup>

(1. 中北大学, 太原 030051;

2. 国家能源投资集团有限责任公司神朔铁路分公司朔西站区, 山西朔州 038500;

3. 中国铁路太原局集团有限公司大同电务段, 山西大同 037000)

**摘要:** 通过逻辑分析半自动接车站、发车站到达复原故障现象, 确认故障情况下两站控制台显示器表示灯点灯情况, 观察故障情况下两站复原电路继电器动作情况, 测试故障情况下两站信号机械室分线盘接收、发送电压数值、幅度, 观察脉冲信号时间长度, 进而充分运用信号集中监测回放故障现象, 浏览比对故障情况下两站发送、接收负脉冲电压曲线状态、数据、幅度以及脉冲时间曲线状态、长度, 达到精准判定故障范围, 确认故障点, 快速处理故障之目的。

**关键词:** 逻辑分析; 半自动; 复原; 脉冲长度

中图分类号: U284.42

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0030-07

## Analysis and Processing of Failing to Recovery Normally for Semi-automatic Block

Wang Yuxiang<sup>1</sup>, Dou Liming<sup>2</sup>, Wang Shuqin<sup>3</sup>, Qie Dianju<sup>3</sup>, You Yuqi<sup>2</sup>, Wang Jizhu<sup>2</sup>

(1. North University of China, Taiyuan 030051, China)

(2. Shuoxi Station Area, Shenshuo Railway Branch, China Energy Investment Group Co., Ltd., Shuozhou 038500, China)

(3. Datong Signaling & Communication Depot, China Railway Taiyuan Group Co., Ltd., Datong 037000, China)

**Abstract:** Through logical analysis of the phenomenon of recovery faults after train arrivals in a semi-automatic receiving station from a departure station, this paper confirms the lighting status of the indicator lights on the console displays of the two stations under fault conditions, observes the operation of the relays in the recovery circuits of the two stations during faults, tests the receiving and sending voltage values and amplitude of the distributing terminal boards in the signal mechanical rooms of the two stations during faults, and observes the time length of the pulse signal. This paper then makes full use of microcomputer to monitor and replay the fault phenomenon, browses and compares the voltage curve status, data, amplitude and pulse time curve status and curve lengths of

the negative pulses sent and received by the two stations under the fault conditions, so as to accurately determine the fault range, confirm the fault point, and quickly deal with the fault.

**Keywords:** logical analysis; semi-automatic; recovery; pulse length

2021年以来,神朔线管内上亿吨至九圪塔站办理半自动闭塞时,多次不定期地发生从上亿吨车站发出的列车,到达九圪塔车站且出清进路后,上亿吨车站半自动闭塞设备不能正常复原,严重影响了九圪塔车站对上亿吨车站的发车。故障发生后,站区多次组织电务专业技术管理人员进行研究、分析、排查,最终查出故障原因并进行处理,现将故障处理过程分析如下。

## 1 故障现象

2021年6月21日神朔铁路半自动闭塞的上亿吨站(甲站)向九圪塔站(乙站)办理半自动闭塞后,当列车由发车站甲站出发运行至接车站乙站,并进入乙站股道后,乙站车站值班员确认列车完整到达,按规定进行了办理半自动电路正常复原,发现乙站能正常复原,乙站控制台显示器半自动接车表示灯、发车表示灯正常复原,表示灯红灯均熄灭,但发车站甲站控制台显示器半自动发车表示灯不能正常复原,发车闭塞表示灯仍显示红灯。

## 2 原因分析

### 2.1 半自动闭塞电路正常复原动作原理

在半自动闭塞电路正常复原过程中,一般情况是列车到达接车站乙站,进入乙站进站信号机内方的轨道电路,室内轨道继电器(GDJ),通过JSBJ前接点52吸起和GDJ后接点53闭合时,回执到达继电器吸起并自闭,HDJ吸起后,通过其前接点72使接车站乙站的车站表示灯(FBD)点亮红灯,此时,乙站的JBD和FBD均亮红灯,表示列车到达,乙站值班员确认列车完全到达、进路轨道区段出清以后,车站值班员点击行车室控制台显示器(FUA),使乙站负继电器(FDJ)吸起自闭,一方面使乙站的复原继电器(FUJ)吸起,通过FUJ

前接点42闭合,使乙站闭塞继电器(BSJ)吸起;另一方面通过乙站FDJ吸起向发车站甲站发送负极性的复原负脉冲信号,甲站接收负脉冲的信号继电器FXJ吸起,使甲站的FUJ也吸起,进而使甲站的闭塞继电器BSJ吸起并自闭,甲站FBD随之熄灭;接车站、发车站BSJ都吸起并自闭,双方电路都恢复到正常状态。列车到达复原电路图如半自动闭塞表示灯电路图1所示,乙站正电、负电脉冲信号发送继电器电路如图2所示,甲站、乙站复原继电器电路如图3所示,甲站、乙站闭塞继电器电路如图4所示,闭塞电铃电路如图5所示,列车到达时半自动复原电路动作过程详见有关继电器动作励磁电路、自闭电路。

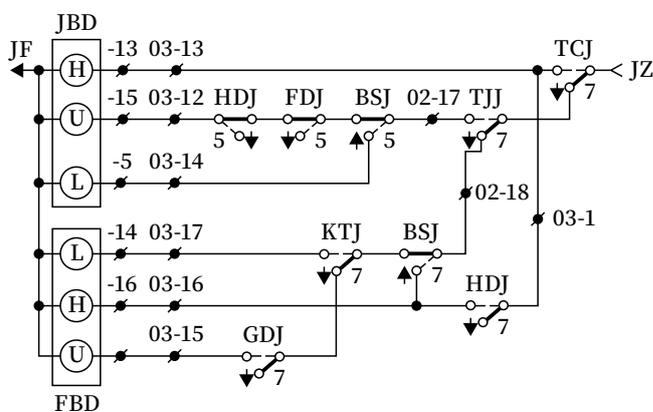


图1 半自动表示灯电路

Fig.1 Semi-automatic indicator-light circuit

1) 接车站乙站复原电路动作过程相关继电器励磁电路、自闭电路,如图3所示。

乙站值班员确认列车整列到达后,按下FUA按钮,办理到达复原。此时,乙站FDJ电路励磁吸起,同时向甲站发送到达复原负脉冲信号,甲站电铃鸣响,此时乙站FDJ励磁电路如下所示:

$KZ \rightarrow ZXJ5 \downarrow \rightarrow FXJ5 \downarrow \rightarrow GDJ2 \uparrow \rightarrow TCJ2 \uparrow \rightarrow HDJ2 \uparrow \rightarrow TJJ2 \downarrow \rightarrow BSA11-12 \rightarrow JSBJ3 \downarrow \rightarrow FDJ$   
线圈1-4  $\rightarrow KF$

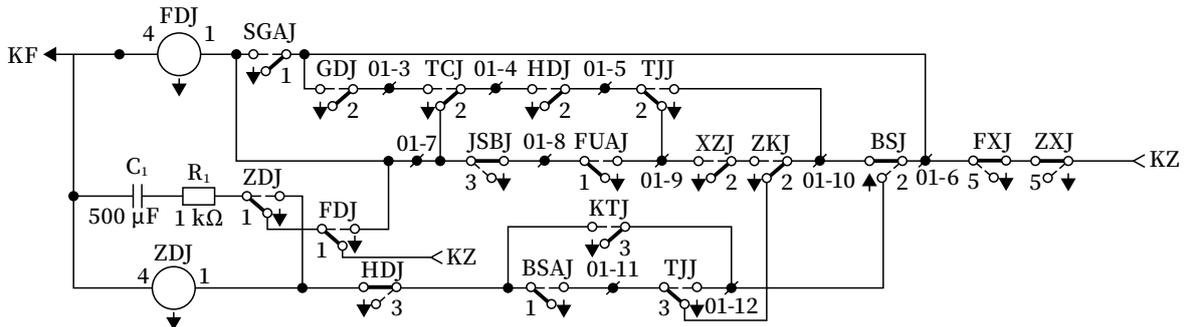


图2 脉冲信号发送器电路  
Fig.2 Circuit diagram of the pulse signal transmitter

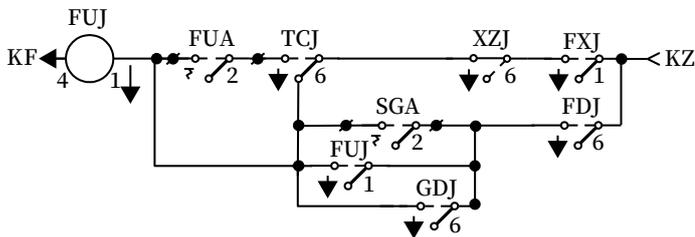


图3 复原继电器电路  
Fig.3 Circuit diagram of the recovery relay

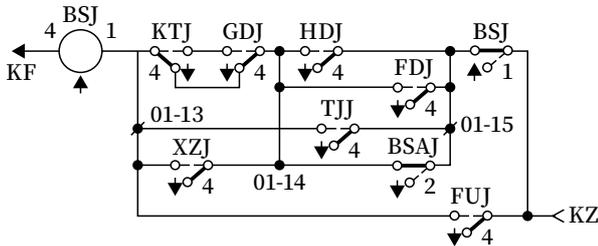


图4 闭塞继电器电路  
Fig.4 Block relay circuit

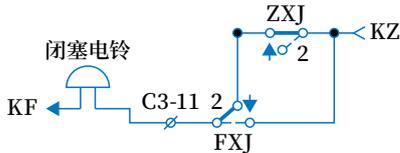


图5 半自动闭塞电铃电路  
Fig.5 Semi-automatic-block electric-bell circuit

乙站 FUJ 的励磁电路如下所示：  
 $KZ \rightarrow FDJ6 \uparrow \rightarrow GDJ6 \uparrow \rightarrow FUJ$  线圈 1-4  $\rightarrow KF$   
 乙站 FUJ 自闭电路如下所示：  
 $KZ \rightarrow FDJ6 \uparrow \rightarrow FUJ1 \uparrow \rightarrow FUJ$  线圈 1-4  $\rightarrow KF$   
 乙站 BSJ 励磁电路如下所示：  
 $KZ \rightarrow FUJ4 \uparrow \rightarrow BSJ$  线圈 1-4  $\rightarrow KF$   
 乙站 BSJ 自闭电路如下所示：  
 $KZ \rightarrow BSJ1 \uparrow \rightarrow TJJ4 \downarrow \rightarrow KTJ4 \downarrow \rightarrow BSJ$  线圈 1-4  $\rightarrow KF$

圈 1-4  $\rightarrow KF$

乙站 BSJ  $\uparrow$  并自闭  $\rightarrow TCJ \downarrow \rightarrow GDJ \downarrow \rightarrow$  乙站 JBD、FBD 熄灭

2) 发车站甲站闭塞电铃励磁电路、复原电路相关继电器励磁电路、自闭电路动作过程及 FUJ 继电器中 XZJ 和 TCJ 动作说明，如图 3、5 所示。

甲站闭塞电铃励磁电路如下所示：

$KZ \rightarrow FXJ2 \uparrow \rightarrow$  闭塞电铃  $\rightarrow KF$ ，电铃鸣响。

甲站 FUJ 的励磁电路如下所示：

$KZ \rightarrow FXJ1 \uparrow \rightarrow XZJ6 \downarrow \rightarrow TCJ6 \downarrow \rightarrow FUJ$  线圈 1-4  $\rightarrow KF$

圈 1-4  $\rightarrow KF$

发车站甲站 XZJ 选择继电器动作说明：甲站 FUJ 继电器电路中，使用 XZJ6 落下接点，说明甲站此时收到的乙站回送信号是列车到达，值班员办理的列车到达复原负脉冲信号；

发车站甲站 TCJ 通知出发继电器动作说明：使用 TCJ6 落下接点，说明甲站是发车站，以区别于接车站。

甲站 BSJ 励磁电路如下所示：

$KZ \rightarrow FUJ4 \uparrow \rightarrow BSJ$  线圈 1-4  $\rightarrow KF$

甲站 BSJ 自闭电路如下所示：

圈 1-4  $\rightarrow KF$   
 $KZ \rightarrow BSJ1 \uparrow \rightarrow TJJ4 \downarrow \rightarrow KTJ4 \downarrow \rightarrow BSJ$  线圈 1-4  $\rightarrow KF$

甲站 FUJ  $\uparrow \rightarrow BSJ \uparrow$  并自闭  $\rightarrow FBD$  熄灭

自此两站恢复定位，电路恢复正常，甲站、乙站 BSJ  $\uparrow$  并自闭，说明两站区间空闲。

## 2.2 故障现象分析查找

通过故障情况下，乙站值班员点击控制台显

示器 FUA，故障处理人员观察到乙站 FUJ ↑，乙站通知出发继电器 (TCJ) ↓，乙站控制台显示器接车、发车表示灯均熄灭，充分说明乙站的半自动复原电路动作正常，观察故障时乙站的信号脉冲发送电路，乙站 FDJ 可以励磁吸起，初步判定故障范围应在乙站的 FDJ 局部电路，或甲站的负线路继电器 (FXJ) 电路、复原继电器 FUJ 电路或闭塞继电器 BSJ 电路上。

1) 故障状态下，乙站故障处理人员用万用表在信号机械室分线盘测试故障时，乙站送出的复原脉冲信号，发现乙站瞬间发送电压为负脉冲，电压值 99 V，脉冲时间长度很短。

2) 故障状态下，甲站配合故障处理人员用万用表在信号机械室分线盘测试故障时，甲站接收到的瞬间脉冲信号为负极性，电压值 48 V，脉冲时间长度也很短。听到甲站的电铃鸣响一声，观察到甲站的 FXJ 微微跳动一下，然后恢复落下状态，不能正常吸起，导致甲站的复原继电器不能吸起，BSJ 更不能吸起，进而甲站的车表示灯不能熄灭，依然点亮红灯。由此可以进一步判定故障范围应在接车站乙站复原时，发送负脉冲信号的发送电路上。

### 3) 利用信号集中监测的故障分析

a. 回放乙站故障现象及对半自动脉冲信号电压幅度、数据以及脉冲时间长度曲线的分析。

如图 6 所示，从接车站按压 FUA 后的脉冲电压、时间曲线中可以看出，接车站乙站发送电压为 99 V，电压属于正常范围，但是乙站发送复原负脉冲信号时，电压脉冲时间长度不足 1 s，故怀疑甲站不能正常复原的原因应为乙站电压脉冲信号传输时间过短，造成发车站甲站不能正常复原。

b. 回放甲站故障现象及对甲站接收半自动闭塞脉冲信号电压幅度、数据以及脉冲时间长度曲线的分析。

如图 7 所示，接车站接收信号负脉冲电压为 48 V，电压属于正常范围，但是接收乙站发送的负脉冲复原信号长度不足 1 s，故此判定甲站不能正常复原的原因应为乙站发送的电压脉冲信号传输时

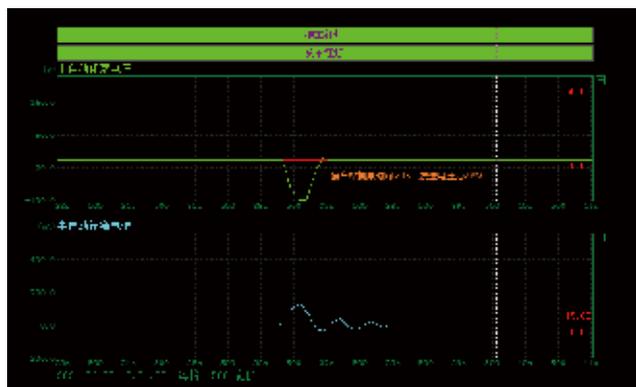


图6 乙站复原发送负脉冲电压、时间  
Fig.6 Voltage and time of the negative pulse signal sent by Station B for recovery

间过短，造成发车站甲站不能正常复原。

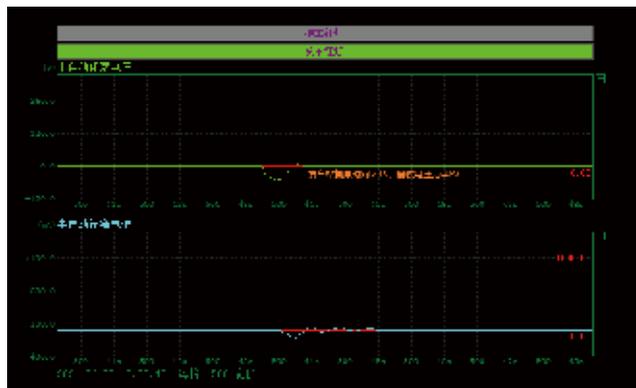


图7 甲站复原接收乙站发送负脉冲电压、时间  
Fig.7 Voltage and time of the negative pulse signal received by Station A from Station B for recovery

### 4) 信号集中监测脉冲信号曲线分析

根据回放、调阅信号集中监测发现接车站乙站发送的负极性脉冲信号时间长度仅仅为 0.5 s 左右，进一步说明乙站发送的负脉冲时间长度不够，远小于正常情况下的时间，即：在供电电压为 24 V， $R_1$  为 510  $\Omega$ ， $C_1$  为 500  $\mu\text{F}$ 、脉冲信号继电器采用 JWXC-1000 型，脉冲信号电路的放电时间常数为负电继电器或正电继电器由吸起至落下值 3.4 V 所需的 1.5 s 时间要求。脉冲时间长度过短使线路电压严重不足，不能满足继电器正常励磁吸起的工作值要求，甲站收到乙站的复原信号后，甲站负线路继电器 FXJ 励磁吸起后随即落下跳动一次，FXJ 吸起又落下后仅使电铃鸣响一声，造成甲站 FUJ 不能正常励磁吸起，进而不能使甲站的 BJS 正常励磁吸

起，实现不了甲站收到乙站列车到达后回送的复原信号，甲站 BSJ 正常励磁吸起，解除甲乙两站的半自动闭塞。

### 2.3 故障原因

如图 2 所示，FDJ 自闭电路为阻容盒、ZDJ1 ↓、FDJ1 ↑ 共 3 个条件，经过进一步测试、排查，发现

乙站负继电器 FDJ12 前接点接触不良，使 FDJ 吸起后的阻容自闭电路不能构成，从而造成乙站发送的负极性脉冲信号时间长度过短问题，更换乙站 FDJ 后，进行甲站发车、乙站接车联锁电路复原试验，复原电路恢复正常。更换乙站 FDJ 后，乙站向甲站发送复原负脉冲信号时间曲线如图 8 所示。

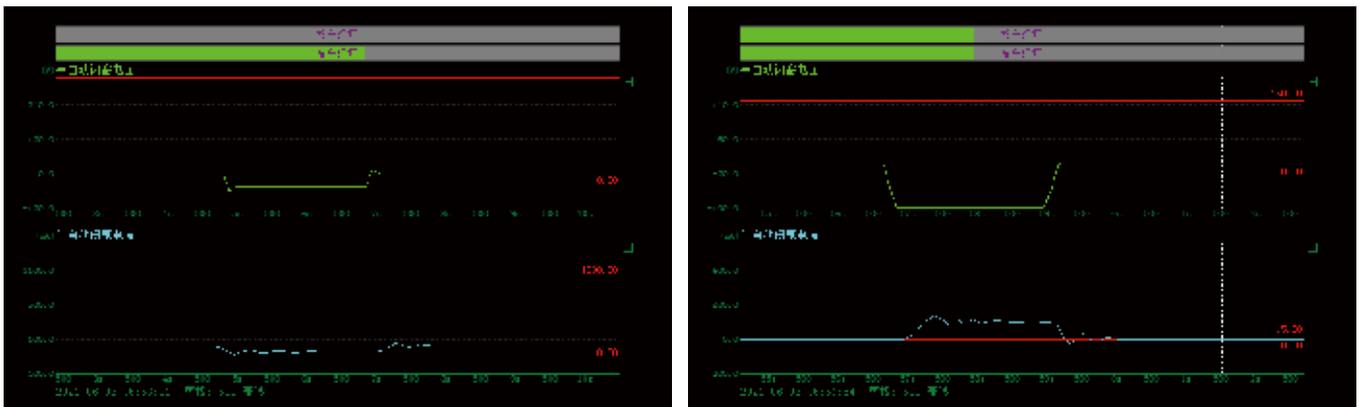


图8 乙站发车、甲站接车复原负脉冲电压、时间曲线  
Fig.8 Voltage and time curves of the negative pulse signal used for recovery during the train departure from Station B and train reception by Station A

从图 8 中可以看出发车站及接车站复原时电压曲线时间脉冲长度为 2 s 左右，至此可以更进一步说明乙站负继电器 FDJ12 前接点接触不良是造成发车站甲站不能正常复原的原因。

## 3 对策与实施

1) 在分析处理半自动闭塞电路异常故障时，一定要根据列车运行情况，控制台显示器表示灯点灯情况，接发车电路动作状况，以及利用信号集中监测回放当时站场前景、调阅分析各种动作过程脉冲信号电压数值、幅度、曲线，脉冲时间曲线数值、长度等，找准半自动电路关键继电器动作脉冲信息，与正常状态下的数值做比较，通过查看数据、分析比对数据曲线显示状态是否与正常信息曲线存在差异性，以此来判断半自动闭塞电路异常是室外故障还是室内设备存在问题。

2) 加强对半自动电路原理的学习，熟练掌握半自动闭塞电路发车站、接车站电路动作时机电压、电流的电气特性参数，以及电路中相关继电器动作

时间脉冲长度，促使故障处理人员能够通过测试半自动闭塞电路相关继电器动作触发的电压、电流脉冲数据，判定故障范围、进而快速查找到故障点，压缩故障时间，减少对铁路运输的影响。

3) 加强处置突发性半自动闭塞电路故障演练，充分利用技术比武演练基地，模拟操作半自动闭塞接车站、发车站控制台按钮的动作时机，掌握电路相关继电器逻辑动作关系、观察信号机械室电路相关继电器的动作状态，测试相关继电器动作时电路发送或接收的电压数据、电流数据、电压电流脉冲时间长度，日久天长熟记于心，从而达到快速处置特殊半自动闭塞电路故障。

## 4 结束语

半自动闭塞电路表面看起来简单，仅 13 个继电器，但电路结构、原理、动作过程中自动发送、回执的脉冲信息，环环相扣逻辑性非常强，一旦发生故障，处理起来较困难，所以要掌握设备原理和故障处理方法及流程；并能够熟练使用处理故障的

各类仪器仪表；加强对半自动闭塞特殊设备备用器材的检查核对，建立健全设备备用器材台账，定期对设备备用器材上电试验，确保备用器材状态良好；熟悉半自动闭塞电路的技术标准和电气特性参数；加强对管内半自动特电路的培训、技术技能提升演练；加强计算机信号集中监测半自动电气特性数据分析、曲线浏览，发现异常及时处理；一旦发现半自动闭塞电路问题加强盯控追踪、测试，确保问题得以解决落实。

### 参考文献

- [1] 林瑜筠. 区间信号自动控制 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [2] 王永信. 车站信号自动控制 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [3] 王民湘. 铁路信号微机监测智能分析与设备运用质量管理体系 [J]. 铁道通信信号, 2011, 47(5): 22-24.  
Wang Minxiang. Railway Signal Microcomputer Monitoring Intelligent Analysis and Device Operating Quality Management Systems[J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(5): 22-24.
- [4] 徐建华, 张国荣. 半自动闭塞区段列车整列到达智能分析系统设计与研究 [J]. 上海铁道科技, 2018(4): 68-70.
- [5] 杨亮. 企业铁路区间 64D 单线继电半自动闭塞故障分析与解决 [J]. 科技广场, 2017(8): 63-68.  
Yang Liang. Enterprise Railway Interval 64D Single Wire Relay Semi-Automatic Blocking Failure Analysis and Resolution[J]. Science Mosaic, 2017(8): 63-68.
- [6] 罗志刚. CTC 在自动站间闭塞中触发发车进路失败问题探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(2): 81-84, 93.  
Luo Zhigang. Problem of Automatic Trigger Departure Route of CTC in Automatic Interstation Blocking[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 81-84, 93.
- [7] 何占元, 张艳辉. 朔黄铁路重载无线闭塞中心系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 6-12, 18.  
He Zhanyuan, Zhang Yanhui. Radio Block Center System for Shuozhou-Huanghua Heavy Haul Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 6-12, 18.
- [8] 秦发园. 既有线区间单向改双向自动闭塞信号设计方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 90-94.  
Qin Fayuan. Signal Design Scheme of Changing Single-Direction to Double-Direction Automatic Block in Section of Existing Rail Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 90-94.
- [9] 程贵良. JZ1-H 型全电子计轴站间自动闭塞应急处置分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(9): 117-122.  
Cheng Guiliang. Analysis of Emergency Responses to Faults in JZ1-H Full-Electronic Axle-Counting Inter-Station Automatic Block[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 117-122.
- [10] 张小刚. 高速铁路连续长大坡道闭塞分区划分的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(10): 9-13, 23.  
Zhang Xiaogang. Research on Block Section Division of Continuous Long Heavy Grades of High-Speed Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 9-13, 23.
- [11] 李湘宜, 钟远宁, 王宇琮. 基于通信交互扩展信息实现半自动/自动站间闭塞的方案及优势分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19

- (10): 14-18.  
Li Xiangyi, Zhong Yuanning, Wang Yucong. Scheme of Semi-Automatic/Automatic Interstation Block Based on Communication Interactive Extended Information and Analysis of Its Advantages[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 14-18.
- [12] 赵泽. 基于 64D 的站间闭塞系统逻辑分析及改进建议 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (10): 104-108.  
Zhao Ze. Logic Analysis and Improvement Suggestions on Inter-Station Block Systems Based on 64D[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 104-108.
- [13] 田文礼, 马学霞, 谢志明. 计轴室外干扰故障的分析与解决方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (3): 72-76.  
Tian Wenli, Ma Xuexia, Xie Zhiming. Analysis and Solution of Outdoor Interference Fault of Axle Counter[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(3): 72-76.
- [14] 王雨, 刘军, 周灿伟, 等. 英国轨道交通大数据规划与开放共享的启示 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (10): 106-110.  
Wang Yu, Liu Jun, Zhou Canwei, et al. Inspirations from Big Data Planning and Open Sharing of Rail Transport in United Kingdom[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 106-110.
- [15] 谭艳, 范春学, 曹亚辉, 等. 一种基于信号设备监测图形化建模的方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 7-12, 17.  
Tan Yan, Fan Chunxue, Cao Yahui, et al. Method of Graphical Modeling Based on Signal Monitoring Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 7-12, 17.
- [16] 夏朋亮. RBC 设备常见无线连接超时原因分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (10): 86-91.  
Xia Pengliang. Cause Analysis of Common Wireless Connection Timeout Faults of RBC Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 86-91.
- [17] 宋宗莹, 王文斌, 刘子扬, 等. 重载铁路运输大数据分析平台架构设计研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (11): 44-49.  
Song Zongying, Wang Wenbin, Liu Ziyang, et al. Design and Research on Architecture of Big Data Analytics Platform in Heavy-Haul Railway Transportation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 44-49.
- [18] 王天友. 纹波小信号测试方法分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 115-120.  
Wang Tianyou. Analysis of Ripple Small Signal Test Method[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 115-120.
- [19] 邓浩江. 一种基于概率统计的列车定位算法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (4): 28-31, 42.  
Deng Haojiang. Train Positioning Algorithm Based on Probability Statistics[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 28-31, 42.
- [20] 赵浩森, 胡轶超. 安全监督在信号集中监测系统上的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 28-32.  
Zhao Haosen, Hu Yichao. Application of Train Control Safety Information Supervision in Centralized Signaling Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 28-32.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.06.006

# 雷电危害机理及ZPW-2000A轨道电路 防雷措施研究

刘春雷, 刘安波, 张浩, 张家强

(中国铁路沈阳局集团有限公司通辽电务段, 内蒙古通辽 028000)

**摘要:** 详细阐述不同雷电类型, 例如直接雷、静电感应雷、电磁感应雷的危害机理。结合现场调查情况和实验室的测试情况, 分析侵入 ZPW-2000A 轨道电路的途径, 综合分析危害机理及侵入途径后, 制定相应的横向、纵向防雷措施, 并对“泄”“抗”“悬浮”等防雷特点进行阐述。

**关键词:** 雷电; 直击雷; 感应雷; 横向防护; 纵向防护; 转移系数

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0037-05

## Research on Mechanisms of Lightning Hazards and Lightning Protection Measures for ZPW-2000A Track Circuits

Liu Chunlei, Liu Anbo, Zhang Hao, Zhang Jiaqiang

(Tongliao Signaling &amp; Communication Depot, China Railway Shenyang Group Co., Ltd., Tongliao 028000, China)

**Abstract:** This paper elaborates on the hazard mechanisms of different types of lightning, such as direct lightning, electrostatic induction lightning, and electromagnetic induction lightning. Based on on-site investigation and laboratory testing, this paper analyzes the pathways of lightning intrusion into ZPW-2000A track circuits, comprehensively analyzes the hazard mechanisms and intrusion pathways, formulates corresponding horizontal and vertical lightning protection measures, and explains the lightning protection characteristics such as "leakage", "resistance", and "suspension".

**Keywords:** lightning; direct lightning; induction lightning; horizontal protection; vertical protection; transfer coefficient

### 1 雷电的危害机理

如图 1 所示, 由于云层和大地之间异种电荷的存在, 在云层和大地之间存在非常高的电势差, 可以高达几百万伏甚至几千万伏。

#### 1) 直击雷

收稿日期: 2024-01-29; 修回日期: 2024-06-15

第一作者: 刘春雷 (1985—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: 76021117@qq.com。

如图 2 红圈①中所示, 雷电直接击中摩天大楼的顶部, 瞬间电压峰值可达几十万伏, 电流峰值将会达到几万至几十万安培。瞬时功率非常巨大, 以至于在电流通道上接触不良位置产生高温可以导致金属熔化。

#### 2) 感应雷

相较于直击雷, 感应雷发生过程看似没有那么猛烈, 但是发生概率却大得多, 灾害影响的范围也要大得多。

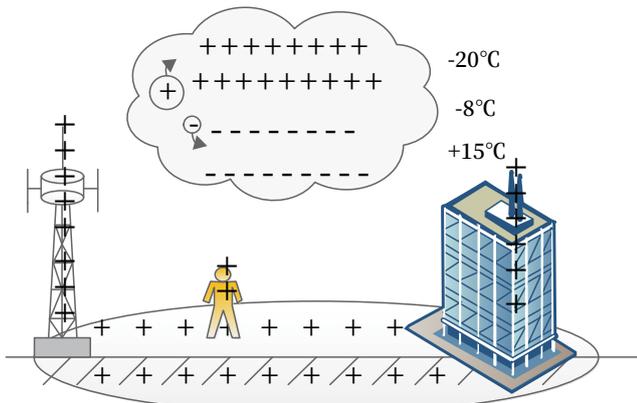


图1 雷雨云同大地之间电荷分布示意  
Fig.1 Schematic diagram of charge distribution between thunderstorm cloud and earth

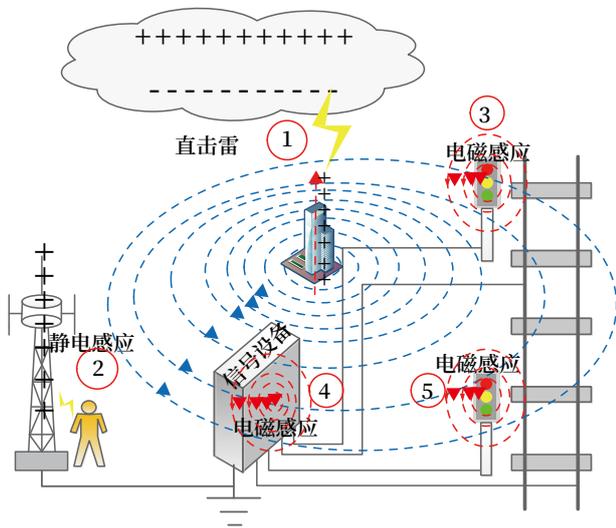


图2 雷击危害示意  
Fig.2 Schematic diagram of lightning hazards

### a. 静电感应雷

如图2中红圈②处所示，在铁塔上聚集了大量的正电荷。如果此时雷云在远处建筑物上进行放电，能导致雷云底层负电荷对铁塔上聚集正电荷的束缚力急剧降低或消失，使其成为自由正电荷。大量正电荷将要以冲击波的形式对地泄放，电流( $I$ )乘以导线的阻抗( $Z$ )，即为雷电感应电压。一般在高压架空线上可达300~400 kV，此时如果有人靠近铁塔将会对人身安全造成极大威胁。

### b. 电磁感应雷

如图2中红圈③④⑤处位置所示，当建筑物被直击雷击中时，雷电流瞬时产生强电磁脉冲信号。

变化的电场产生变化的磁场，变化的磁场产生变化的电场，如果有大量的磁力线穿过附近的架空线路、电子设备和电缆线等就会产生感应电动势。

## 2 ZPW-2000A轨道电路防雷研究

雷电发生瞬间导致了瞬时大量电荷的聚集和移动，产生强烈的感应电压、感应电流。当它们从电子产品某端口进入后，流经内部电路再寻找其他端口流出时，就可能导致电子产品故障失效。如何尽量杜绝这些电荷“穿过”产品内部电路，引导其流经人为设计的通道，便是提升产品防雷性能的技术方向。

1) 雷电信号侵入途径及电子设备受损原因分析  
ZPW-2000A 轨道电路自2005年全路推广应用，截至2023年底，全国铁路营业里程达到15.9万 km，其中高铁4.5万 km。高铁线路同普速线路应用环境差异大，例如：高铁线路桥梁居多，京沪80%、武广70%。高铁线路平面高于地平面，有时高达数十米甚至上百米，更容易遭受雷害侵袭；高铁采用无砟道床对地绝缘更好，不利于雷电泄放；高铁采用的综合接地技术，接触网的杆塔接地与轨旁信号设备连接在共同的接地体上，雷电侵入杆塔后向大地泄放时会侵害信号设备；高铁因为GSM-R的引入，通信杆塔数量很多，由此引入雷电的概率大大高于普速线路。这些因素交织一起，导致高铁信号设备遭受雷击故障概率较大。

汇总2009~2012年现场雷击情况，分析发现，故障设备主要为发送器和接收器。与之关联的电源屏和列控中心均未发生故障，且存在通信杆塔与机械室较近时雷害比例增大的特征。由此分析认为：雷电信号不是通过列控中心和电源屏侵入的，雷电信号通过通信杆塔和轨道电路信号传输电缆侵入的概率最大。

同一时期进行ZPW-2000A轨道电路系统防雷试验发现，模拟网络盘室外侧施加4500 V雷电信号后，室内侧端子和室外侧端子之间发生打火放电现象（绝缘受损被击穿，相当于纵向隔离能力失

效), 同时发送器、接收器伴随发生故障, 故障现象和故障位置同现场雷击后的情况一致; 试验中加大室内侧、室外侧端子距离, 施加 10 kV 雷电信号, 设备完好未发生故障现象。

综合现场调查情况及试验情况, 分析认为雷电信号侵入路径有两类: 一类是通信杆塔引入雷电信号后, 抬高信号机房地线的电位, 俗称“地反击”, 损坏发送器、接收器及模拟网络盘纵向隔离功能后, 经轨道电路信号传输电缆泄放到远端大地, 如图 3 所示; 另一类是轨道电路信号传输电缆引入雷电信号, 损坏模拟网络盘纵向隔离功能, 进而损坏发送器、接收器后泄放入机房地, 如图 4 所示。

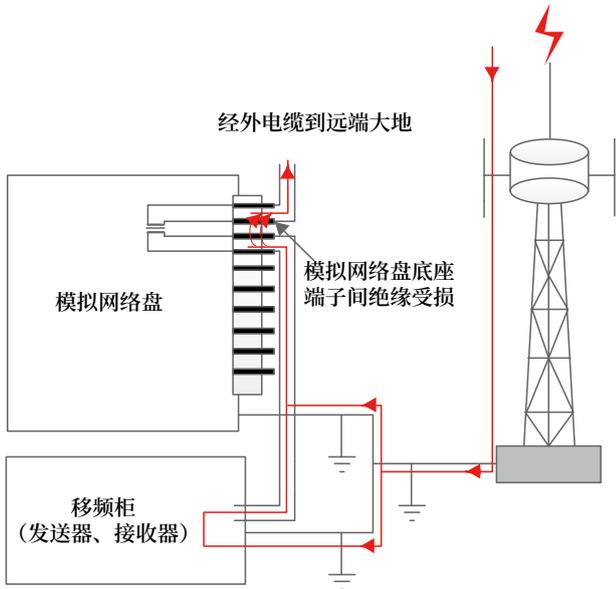


图3 通信杆塔引入雷电信号示意  
Fig.3 Schematic diagram of lightning signals led from communication tower

综上所述: 雷电信号提升到 4 500 V 后, 原模拟网络盘室内侧、室外侧端子距离较近, 纵向隔离能力容易失效。因此加大室内侧、室外侧端子距离, 提升模拟网络盘纵向隔离能力会是一个行之有效的方法, 以此思路为切入点, 2012 年全路启动了防雷综合专项整治工作, 将 2012 年之前对雷电 4 500 V 级别隔离能力提升到 10 kV 级别, 整治后极大提升了 ZPW-2000A 轨道电路系统防雷能力, 上述雷击故障现象鲜有发生。

2) 横向、纵向防护机理分析

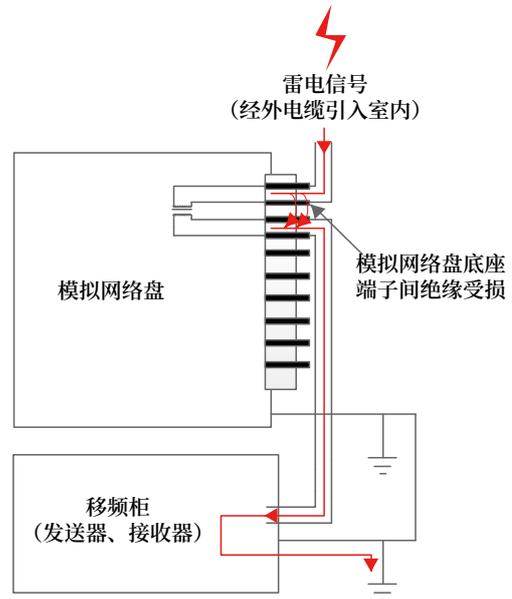


图4 轨道电路信号传输电缆引入雷电信号示意  
Fig.4 Schematic diagram of lightning signals led from signal transmission cable of track circuit

当钢轨或者电缆感应并积累雷电荷后, 大量的电荷寻找阻抗最低的通道泄放到大地中。当沿着钢轨传输时, 由于两根钢轨对地阻抗不完全一致, 将会在两根轨条之间形成差模雷电信号; 同理, 在沿着电缆传输时, 电缆芯线的线对间也能产生差模雷电信号, 所以 ZPW-2000A 轨道电路系统考虑雷电防护需要横向、纵向防护双管齐下。

横向防护是指在传输通道的线对间横向并联防雷元件, 将通道中差模传输的雷电信号吸收掉。

纵向防护是指采取“泄”和“抗”的方式。“泄”的方式是在线对与大地之间增加压敏电阻等瞬态防护器件, 将雷电信号直接泄放入大地, 如图 5 所示。

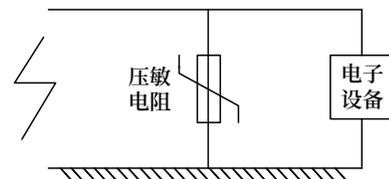


图5 纵向防护中压敏电阻“泄”的方式示意  
Fig.5 Schematic diagram of the "leakage" method via the varistor in vertical protection

“抗”的方式在应用中两种形式: 一种是靠设备自身绝缘耐压能力硬“抗”; 另一种是在通道上插入隔离变压器 (例如模拟网络盘中的变压器), 如图 6

所示，将雷电信号进行分压，极大降低侵入到电子设备的雷电压幅值。这里有一个“转移系数”的概念，当转移系数为1/100时，10 kV 雷电信号侵入变压器后，到达电子设备的电压为100 V，也就是说转移系数越低，雷电防护能力越强。

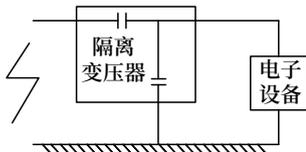


图6 纵向防护中隔离变压器“抗”的方式示意  
Fig.6 Schematic diagram of the “resistance” method via the isolation transformer in vertical protection

3) ZPW-2000 系列轨道电路采用的防雷措施总结  
ZPW-2000 系列轨道电路采用的防雷措施如下(如图7所示)。

1) 空心线圈中心抽头通过直接接地或者串联防雷元件接地的方式将雷电信号泄放到大地中，同时匹配变压器同钢轨连接位置的线对间并联防雷元件进行横向防护。

2) 在同室外电缆接口的室内侧，送端、受端模拟网络盘采用低转移系数防雷变压器进行纵向防护，同时该位置线对间还需并联防雷元件进行横向防护。

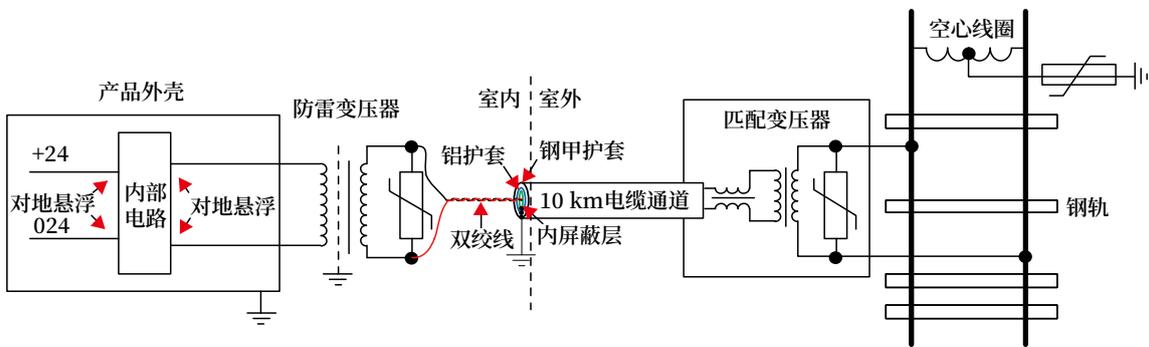


图7 ZPW-2000A轨道电路系统防雷示意  
Fig.7 Schematic diagram of lightning protection for ZPW-2000A track circuit system

3) 在模拟网络盘室内侧增加独立端子，加大室内、室外侧端子间距离，提升设备的纵向隔离性能。

4) 电缆由多层金属护套和内屏蔽层组成，极大降低感应雷害在芯线上导致的电荷集聚效应。同时采取芯线和芯线之间扭绞的形式，不仅可以抵御外界电磁干扰，也能够降低线对间相互的电磁干扰，还能保证芯线对大地的平衡性，以此降低共模传输的雷电信号转化为差模的概率。

5) 室内设备其他端口均采用“悬浮”理念，即不直接接地，也不采用防雷元件接地，就是用所谓硬“抗”的方式抵御雷电信号侵袭。在雷电信号突破上述的重重关卡后，剩余的部分能量将被最后这道关卡硬“抗”下来。

### 3 小结

本文以雷电危害机理为切入点，对直击雷、静电感应雷和电磁感应雷的危害机理进行了阐述。结合

ZPW-2000A 轨道电路在现场运行中遭受雷击的实际情况，详细分析雷电的侵入途径及设备受损的原因。制定有效的横向、纵向防雷措施，并对 ZPW-2000A 轨道电路的“泄”、“抗”、“悬浮”等防雷特点进行阐述。2012 年全路开展防雷专项整治后，ZPW-2000A 轨道电路因雷击导致的故障数量大幅降低，提高了在轨运行设备的可靠性，保证铁路运输安全。

### 参考文献

[1] 覃燕. 客专 ZPW-2000A 轨道电路防雷整治初探[J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12(2): 1-4, 9.  
Qin Yan. Lightning Protection Measures of ZPW-2000A Track Circuit Equipment for Dedicated Passenger Lines[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2015, 12(2): 1-4, 9.  
[2] 李文涛, 杨轶轩, 阳晋. 高速铁路轨道电路

- 技术创新与实践 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (S1): 1-5.
- Li Wentao, Yang Yixuan, Yang Jin. Technical Innovation and Practice of Track Circuit of High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(S1): 1-5.
- [3] 徐宗奇. 铁路信号基础装备雷电防护智能化技术及发展 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (9): 1-5, 9.
- Xu Zongqi. Intelligent Technology and Development of Lightning Protection for Railway Signal Basic Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(9): 1-5, 9.
- [4] 刘锐冬. 对客运专线 ZPW-2000A 轨道电路系统防雷问题的探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2012, 9 (5): 70-72.
- Liu Ruidong. Technical Discussion of Lightning Protection of ZPW-2000A Track Circuit System for DPL[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2012, 9(5): 70-72.
- [5] 廖显生, 阳晋. 驼峰信号设备区域防雷补强整治探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13 (1): 56-58.
- Liao Xiansheng, Yang Jin. Solution to Lightning Protection of Hump Signal Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(1): 56-58.
- [6] 胡建华, 宿志国, 许明. 雷电监测装置在轨道电路智能诊断系统中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (S1): 132-136.
- Hu Jianhua, Su Zhiguo, Xu Ming. Application of Lightning Monitoring Device in Intelligent Diagnosis System of Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(S1): 132-136.
- [7] 白英杰, 沈建平, 许明. ZPW-2000 系列轨道电路专用防雷柜可行性研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (S1): 118-121.
- Bai Yingjie, Shen Jianping, Xu Ming. Feasibility Study on ZPW-2000 Series Special Lightning Protection Cabinet for Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(S1): 118-121.
- [8] 王雪亮, 禹雪松. ZPW-2000 轨道电路系统加强雷电防护方案的探究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (S1): 103-107.
- Wang Xueliang, Yu Xuesong. Discussion on Strengthening Lightning Protection Scheme of ZPW-2000 Track Circuit System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(S1): 103-107.
- [9] 赫忠良, 王福文, 林智文. 轨道电路的雷击侵入路径分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (1): 106-110.
- He Zhongliang, Wang Fuwen, Lin Zhiwen. Analysis of Lightning Path of Track Circuits[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(1): 106-110.
- [10] 王坤. 关于铁路信号综合防雷智能监测系统的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (11): 15-20.
- Wang Kun. Study on Intelligent Monitoring System of Integrated Railway Lightning Protection[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(11): 15-20.
- [11] 许国权. 益湛线典型雷害故障分析及解决方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (8): 63-66.
- Xu Guoquan. Analysis and Solutions of Typical Lightning Faults in Yiyang-Zhanjiang Railway Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(8): 63-66.
- [12] 葛建平. 铁路信号设备防雷方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2010, 7 (1): 71-72.
- Ge Jianping. Lightning Protection Program of Railway Signal Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2010, 7(1): 71-72.

(下转 63页)

# 铁路信号设备用电量计算软件的设计与仿真

张文泉, 张新华, 陈 东

(中铁西安勘察设计研究院有限责任公司, 西安 710054)

**摘要:** 在铁路信号设计中, 铁路信号设备用电量的计算十分繁琐, 为简化铁路信号设备用电设计过程, 对各种信号负荷计算方法进行分析, 并采用 VB6.0 编程软件编写了铁路信号设备用电量计算软件, 降低铁路信号设备用电设计难度, 并提高设计效率。

**关键词:** 铁路信号设备; 用电量; 设计; VB6.0

中图分类号: U284.8

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0042-05

## Design and Simulation of Power Consumption Calculation Software for Railway Signal Equipment

Zhang Wenquan, Zhang Xinhua, Chen Dong

(Xi'an Survey, Design and Research Institute Co., Ltd. of CREC, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** In railway signaling design, the calculation of electricity consumption for railway signal equipment is very complicated. To simplify the process of electricity consumption design for railway signal equipment, this paper analyzes various calculation methods of signal load, and uses the VB6.0 programming software to compile the electricity consumption calculation software for railway signal equipment, reducing the difficulty of electricity consumption design for railway signal equipment and improving design efficiency.

**Keywords:** railway signal equipment; electricity consumption; design; VB6.0

### 1 概述

在铁路信号系统中, 从室内计算机联锁设备、信号集中监测设备, 到室外道岔转辙机、信号机、轨道电路等, 都离不开可靠的配电传输和电源分配。信号电源屏的容量应根据信号设备用电量经计算确定。由于信号设备繁多, 针对具体工程需要查找各类信号设备的用电量计算方法。本文通过对各种信

号负荷的分析, 编写信号设备用电量计算软件, 希望能够对铁路信号设备用电设计有所帮助。

### 2 信号设备用电量分析与计算

#### 2.1 信号设备用电分析

铁路信号系统是列车安全运行的重要保障, 其中包含联锁设备、继电器、信号机等多种信号设备, 按照电源类型划分, 常见信号设备如图 1 所示。

在铁路信号系统中, 从室内到室外、站内到区间, 都离不开可靠地配电传输和电源分配。对电源屏容量的合理计算是信号设备电源分配的基础。

收稿日期: 2022-11-23; 修回日期: 2024-04-15

第一作者: 张文泉 (1992—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: zwqt3@qq.com。

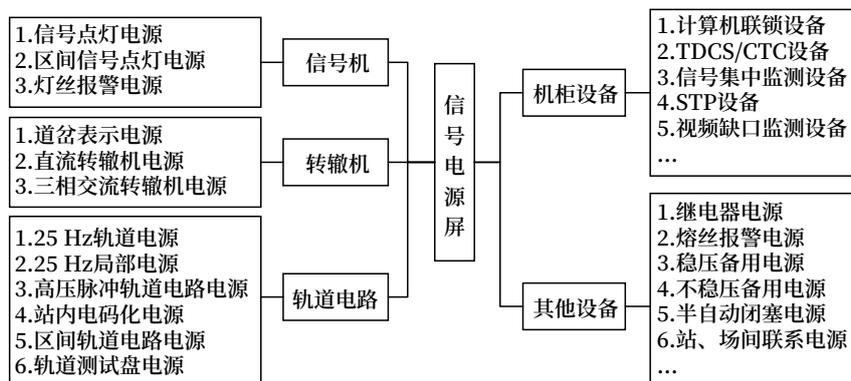


图1 常见信号设备电源类型

Fig.1 Types of power supply for common signal equipment

## 2.2 信号设备用电量计算

对于一个联锁车站而言，信号设备种类繁多，用电量也各不相同。下面对常见信号设备负荷计算方法逐一进行分析。

### 2.2.1 信号机设备电源

1) 信号点灯电源：该电源容量为同时工作的信号机点灯的容量，即  $P_x = N_x \times 220 \times 0.158$  (VA)，其中  $P_x$  为信号机点灯总容量， $N_x$  为信号机点灯数，220 为额定电压 AC 220 V，0.158 为 12 V 25 W 灯泡的电流值。

2) 灯丝报警电源：该电源容量应为灯丝报警继电器和灯丝报警主机的用电量之和，一般按照 DC24 ~ 60 V/1 A 进行配置。

### 2.2.2 转辙机相关电源

1) 直流转辙机电源：该电源容量为正常状态下动作一组道岔的用电量与同时动作的转辙机组数的乘积。以 ZD6 型转辙机为例， $P_D = N_Z \times 220 \times 2$  (VA)。其中  $P_D$  为电动转辙机总容量， $N_Z$  为同时动作转辙机的数量，220 为额定电压 DC 220 V，2 为输入电流值。若选用全电子联锁，则额定电压为 AC 220 V。

2) 交流转辙机电源：该电源容量为正常状态下开放最长径路经过的道岔电机数与单台电机转动功率的乘积。以 S700K 型转辙机为例， $P_D = N_Z \times 380 \times \sqrt{3} \times I$  (VA)。其中  $P_D$  为电动转辙机总容量， $N_Z$  为同时动作转辙机的数量，380 为三相交流转辙机的额定电压 AC 380 V， $I$  为三相交流转辙

机的输入相电流值 (1.65 A)。

3) 道岔表示电源：该电源容量为道岔表示变压器额定容量与变压器个数的乘积，一个道岔表示变压器容量一般为 7 VA。

### 2.2.3 轨道电路相关电源

1) 轨道电路及局部电源：以 25 Hz 轨道电路为例，一个送电端容量一般为 20 VA，一个受电端容量一般为 6 VA。

2) 轨道测试盘电源：轨道测试盘电源一般按照 AC 220 V/1 A 配置。若站较大，则相应增加容量。

3) 站内电码化电源：该电源容量根据站场电码化发送器个数确定。配置时，按照每台站内电码化发送器 5 A 配置。

4) 区间移频电源：该电源容量根据区间移频发送器个数确定，配置时，按照每台移频发送器 6 A 配置。

### 2.2.4 机柜设备电源

1) 计算机联锁设备电源：计算机联锁电源的配置容量要根据联锁机来确定，一般不超过 3 kVA (30 组道岔以内的车站)。站场规模比较大的车站，容量可达到 5 kVA (30 ~ 80 组道岔的车站)。站场规模特别庞大时，容量可达到 7 kVA (80 组道岔以上的车站)。若执行单元为全电子执行系统，则计算机联锁用电量不超过 3 kVA。

2) 信号集中监测设备电源：信号集中监测设备电源根据站场大小有所不同，一般不超过 1.5 kVA。

3) 调度指挥及调度集中系统电源：调度指挥

及调度集中系统，即 TDCS/CTC 系统目前有 2.0 和 3.0 两种版本。2.0 版本电源一般不超过 2 kVA，3.0 版本电源一般不超过 3 kVA。

4) 全电子电源：若选用全电子联锁，则需增加全电子机柜电源，一般不该超过 3 kVA（仅机柜用电）。车站规模较大时，需考虑增加容量。

### 2.2.5 其他设备电源

1) 熔丝报警电源：该电源容量一般按照 DC 24 V/1 A 进行配置。

2) 站内继电器电源：该电源容量一般按照车站规模确定，50 组道岔以内的车站按照 DC 24 V/16 A 配置，50 ~ 100 组道岔以内的车站按照 DC 24 V/40 A 配置，100 ~ 120 组道岔以内的车站按照 DC 24 V/50 A 配置。

3) 区间继电器电源：该电源容量一般按照区间轨道电路数量确定，15 个区段以下按照 DC 24 V/20 A 配置，15 ~ 30 个区段按照 DC 24 V/30 A 配置，30 ~ 40 个区段按照 DC 24 V/40 A 配置。

4) 备用电源：稳压备用电源用于系统扩容，或新增设备供电。负载情况不确定，一般配置 AC 220 V/5 A。不稳压备用电源用于维修供电，或临时用电，一般配置 AC 220 V/5 A。

5) 半自动闭塞电源：该电源容量一般按照 DC 24 V/2 A 进行配置，可根据车站实际调整分束及容量。

6) 站、场间联系电源：该电源容量一般按照 DC 24 V/2 A 进行配置，可根据车站实际调整分束及容量。

## 3 信号用电量计算软件设计

本文采用 VB6.0 编程软件进行开发。该软件共设计 4 个主要步骤，分别为信号用电设备统计、信号设备选型、计算总电源容量和生成 Excel 电子表格。具体软件设计流程如图 2 所示。

### 3.1 步骤1：信号用电设备统计

根据信号设备用电量的计算方法，道岔、轨道电路、信号机及电码化等设备的用电量和其设备数

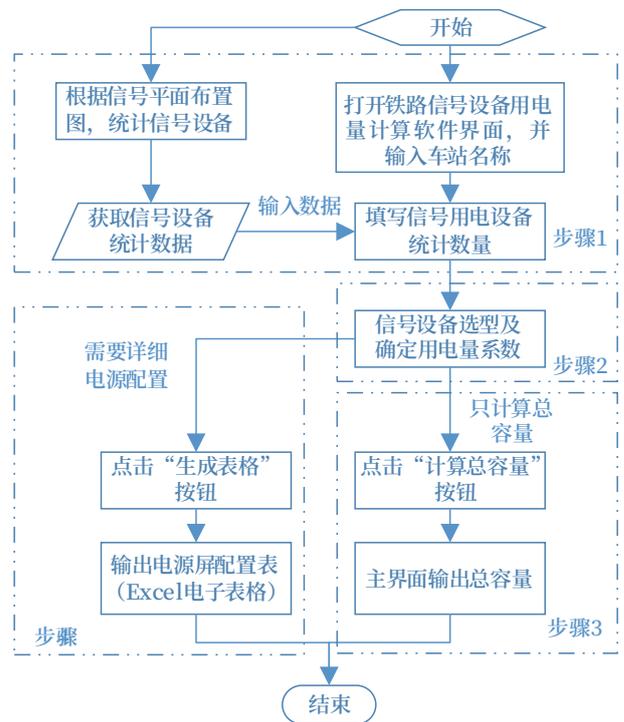


图2 软件设计流程  
Fig.2 Software design flowchart

量直接相关，因此该步骤主要是对车站及区间的信号设备进行统计，用于电源容量的计算。

### 3.2 步骤2：信号设备选型

除道岔、轨道电路、信号机等信号设备外，每个站根据其实际情况不同，所使用的信号设备也不尽相同。因此，该步骤便于根据每个站的具体情况选择设备类型。设备选型如表 1 所示。

表1 信号设备选型对照

Tab.1 Comparison of signal equipment selection

序号	选型设备			
	联锁系统	信号集中监测	TDCS/CTC	站间关系
1	继电联锁	有	3.0 版本	半自动闭塞
2	全电子联锁	无	2.0 版本	自动闭塞
3	—	—	无	场间联系

由于每个车站信号设备差别较大，无法一一列举，表 1 只列出部分常见信号设备。

### 3.3 步骤3：计算总电源容量

该步骤主要是根据电源容量计算方法，用统计来的信号用电设备数量和信号设备选型来计算各个信号设备的用电容量，例如车站信号机点灯电源容量计算代码如图 3 所示。

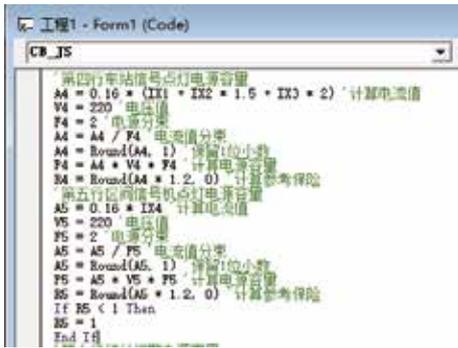


图3 信号用电量计算软件部分程序

Fig.3 Partial program of signal power consumption calculation software

将所有设备的用电量求和，即可得到整个车站的总电源容量。计算总容量时，可以根据需要调整

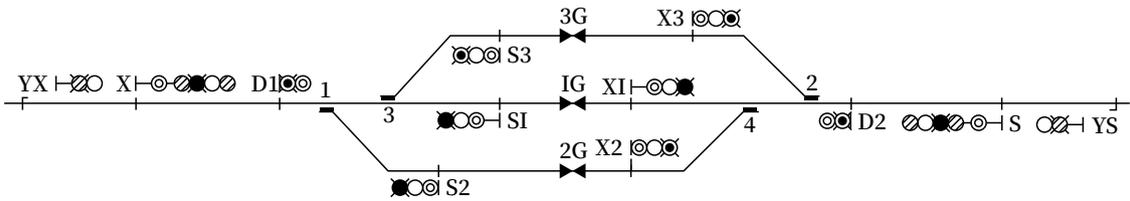


图4 举例站信号平面布置

Fig.4 Signal layout plan of the example station

根据信号平面布置图进行信号机、道岔、轨道电路等信号用电设备的统计。将信号用电设备的统计结果及设备选型输入信号电源容量计算软件的界面，如图5所示。

转辙机容量系数及总容量系数。

### 3.4 步骤4：生成Excel电子表格

该步骤主要是以 Excel 表格的形式输出电源容量统计的最终结果。设计人员可以通过表格对各个设备的电源容量和电源分束等数据进行二次修改。

此外，若该车站有其他设备，则可以通过 Excel 表格进行添加并计算其容量，便于设计人员使用。

## 4 信号用电量统计软件仿真

以某一个车站为例进行用电量计算，信号系统采用继电联锁、设信号集中监测及 CTC3.0 设备和半自动闭塞。站场信号平面如图4所示。

及外电容量的配置。若设计人员需要详细的电源模块配置方案，则点击生成表格按钮，则生成电源容量统计表（Excel 电子表格），如图6所示。



图5 信号用电量计算软件界面

Fig.5 Interface of signal power consumption calculation software

如图5所示，点击计算总容量按钮，则算出该车站所需的电源总容量为21 249.6 VA。该计算所得电源总容量，可以指导设计人员进行电源屏容量

序号	设备名称	电压(V)	电流(A)	功率(W)	容量(VA)	备注
1	信号机点灯	220	1.5	330	330	
2	轨道电路	220	1.5	330	330	
3	转辙机	220	1.5	330	330	
4	信号集中监测	220	1.5	330	330	
5	CTC3.0	220	1.5	330	330	
6	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
7	继电器	220	1.5	330	330	
8	信号机点灯	220	1.5	330	330	
9	轨道电路	220	1.5	330	330	
10	转辙机	220	1.5	330	330	
11	信号集中监测	220	1.5	330	330	
12	CTC3.0	220	1.5	330	330	
13	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
14	继电器	220	1.5	330	330	
15	信号机点灯	220	1.5	330	330	
16	轨道电路	220	1.5	330	330	
17	转辙机	220	1.5	330	330	
18	信号集中监测	220	1.5	330	330	
19	CTC3.0	220	1.5	330	330	
20	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
21	继电器	220	1.5	330	330	
22	信号机点灯	220	1.5	330	330	
23	轨道电路	220	1.5	330	330	
24	转辙机	220	1.5	330	330	
25	信号集中监测	220	1.5	330	330	
26	CTC3.0	220	1.5	330	330	
27	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
28	继电器	220	1.5	330	330	
29	信号机点灯	220	1.5	330	330	
30	轨道电路	220	1.5	330	330	
31	转辙机	220	1.5	330	330	
32	信号集中监测	220	1.5	330	330	
33	CTC3.0	220	1.5	330	330	
34	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
35	继电器	220	1.5	330	330	
36	信号机点灯	220	1.5	330	330	
37	轨道电路	220	1.5	330	330	
38	转辙机	220	1.5	330	330	
39	信号集中监测	220	1.5	330	330	
40	CTC3.0	220	1.5	330	330	
41	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
42	继电器	220	1.5	330	330	
43	信号机点灯	220	1.5	330	330	
44	轨道电路	220	1.5	330	330	
45	转辙机	220	1.5	330	330	
46	信号集中监测	220	1.5	330	330	
47	CTC3.0	220	1.5	330	330	
48	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
49	继电器	220	1.5	330	330	
50	信号机点灯	220	1.5	330	330	
51	轨道电路	220	1.5	330	330	
52	转辙机	220	1.5	330	330	
53	信号集中监测	220	1.5	330	330	
54	CTC3.0	220	1.5	330	330	
55	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
56	继电器	220	1.5	330	330	
57	信号机点灯	220	1.5	330	330	
58	轨道电路	220	1.5	330	330	
59	转辙机	220	1.5	330	330	
60	信号集中监测	220	1.5	330	330	
61	CTC3.0	220	1.5	330	330	
62	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
63	继电器	220	1.5	330	330	
64	信号机点灯	220	1.5	330	330	
65	轨道电路	220	1.5	330	330	
66	转辙机	220	1.5	330	330	
67	信号集中监测	220	1.5	330	330	
68	CTC3.0	220	1.5	330	330	
69	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
70	继电器	220	1.5	330	330	
71	信号机点灯	220	1.5	330	330	
72	轨道电路	220	1.5	330	330	
73	转辙机	220	1.5	330	330	
74	信号集中监测	220	1.5	330	330	
75	CTC3.0	220	1.5	330	330	
76	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
77	继电器	220	1.5	330	330	
78	信号机点灯	220	1.5	330	330	
79	轨道电路	220	1.5	330	330	
80	转辙机	220	1.5	330	330	
81	信号集中监测	220	1.5	330	330	
82	CTC3.0	220	1.5	330	330	
83	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
84	继电器	220	1.5	330	330	
85	信号机点灯	220	1.5	330	330	
86	轨道电路	220	1.5	330	330	
87	转辙机	220	1.5	330	330	
88	信号集中监测	220	1.5	330	330	
89	CTC3.0	220	1.5	330	330	
90	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
91	继电器	220	1.5	330	330	
92	信号机点灯	220	1.5	330	330	
93	轨道电路	220	1.5	330	330	
94	转辙机	220	1.5	330	330	
95	信号集中监测	220	1.5	330	330	
96	CTC3.0	220	1.5	330	330	
97	半自动闭塞	220	1.5	330	330	
98	继电器	220	1.5	330	330	
99	信号机点灯	220	1.5	330	330	
100	轨道电路	220	1.5	330	330	

图6 举例站电源容量统计

Fig.6 Statistics for the power capacity of the power supply of the example station

综上所述，通过使用该软件，既可以获得信号设备电源总容量，也可以获得详细的信号电源配置方案，能够满足设计人员各个阶段的信号电源设计

需求, 为设计人员提供了便利。

## 5 结束语

通过总结信号工程设计当中的电源计算方法, 采用 VB6.0 编程软件开发了信号设备用电量统计软件。该软件能够辅助设计人员进行电源容量的计算, 帮助设计人员合理提出供电需求, 实现铁路信号设备的安全、稳定供电, 降低了铁路信号设备用电设计难度, 并提高了设计效率。

### 参考文献

- [1] 鲍军银. 智能电源屏模块时序问题分析与对策 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 95-99.  
Bao Junyin. Analysis and Countermeasures of Timing Problems of Intelligent Power Panel Module[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 95-99.
- [2] 杨阳. 信号设备电源供电质量不良的解决方案与实际应用 [J]. 减速顶与调速技术, 2022(1): 4-8.  
Yang Yang. Solution and Practical Application of Poor Power Supply Quality of Signal Equipment[J]. Retarders & Speed Control Technology, 2022(1): 4-8.
- [3] 郑福林. 铁路信号电源安全性能的探讨 [J]. 铁路计算机应用, 2010, 19(4): 58-60.  
Zheng Fulin. Discussion on Safety Performance of Railway Signaling Power Supplies[J]. Railway Computer Application, 2010, 19(4): 58-60.
- [4] 李宗. 推进全电子联锁信号系统在南京地铁车辆段升级及应用 [J]. 中国信息化, 2021(12): 50-52.
- [5] 刘吉业. 一种铁路信号电源系统设备调试负载的设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 111-114, 120.  
Liu Jiye. Design of Commissioning Load of Railway Signal Power Supply System Equipments[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 111-114, 120.
- [6] 吴庆丰. 铁路信号电源系统中直流电源模块优化设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11): 115-120.
- [7] 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.
- [8] 刘家良. 匈塞铁路信号电源系统方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(4): 101-104.  
Liu Jialiang. Research on Signal Power Supply System for Hungary-Serbia Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(4): 101-104.
- [9] 赵祚义. 智能型铁路信号电源技术定义和分类 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2004, 1(4): 17-20.  
Zhao Zuoyi. Definrton and Classification of Intelligent Power Supply Technology Used for Railway Signal[J]. Railway Signalling & Communication, 2004, 1(4): 17-20.
- [10] 刘海龙. 铁路信号设备用电设计浅谈 [J]. 铁道建筑技术, 2013(S1): 207-209.
- [11] 中国铁路通信信号总公司研究设计院. 铁路工程设计技术手册: 信号 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1994: 12.
- [12] 国家铁路局. 铁路信号电源系统设备第3部分: 普速铁路信号电源屏: TB/T 1528.3-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [13] 白义凤. 铁路电源屏电源模块智能化测试系统设计 [J]. 数字通信世界, 2017(8): 25, 43.  
Bai Yifeng. Design of Intelligent Test System for Railway Power Panel Power Module[J]. Digital Communication World, 2017(8): 25, 43.
- [14] 周宪宝. 中国铁路信号系统设计手段的发展经验 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(8): 101-105.  
Zhou Xianbao, Development Experience of Railway  
(下转 57页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.06.008

# 列车UDP数据传输可靠性快速分析方法

项学海<sup>1</sup>, 于昊明<sup>2</sup>, 郁兆旺<sup>3</sup>, 陈奎<sup>1</sup>

(1. 南京紫台星河电子有限责任公司, 南京 210028;

2. 中车长春轨道客车股份有限公司, 长春 130062;

3. 中车南京浦镇车辆有限公司, 南京 210031)

**摘要:** 用户数据报协议 (User Datagram Protocol, UDP) 不采用重传机制, 在链路接触不良、电磁干扰影响下可能会丢包。研究 Wireshark 软件自带的统计功能和排序功能, 实现单个数据文件的快速分析。基于排序思想, 进一步研究使用软件算法的 Auto-Array 方法。通过实测对比, Auto-Array 方法能实现多个数据文件的快速分析, 并输出 UDP 数据文件中的详细的丢包信息, 为评价 UDP 传输可靠性提供依据。

**关键词:** UDP; 列车网络; 可靠性

中图分类号: U285.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0047-06

## Quick Analysis Method of Train UDP Data Transmission Reliability

Xiang Xuehai<sup>1</sup>, Yu Haoming<sup>2</sup>, Yu Zhaowang<sup>3</sup>, Chen Kui<sup>1</sup>

(1. Nanjing Zitai Xinghe Electronics Co., Ltd., Nanjing 210028, China)

(2. CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun 130062, China)

(3. CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing 210031, China)

**Abstract:** UDP (User Datagram Protocol) does not adopt retransmission mechanism. Packet loss may happen when poor contact or electromagnetic interference occurs, which can affect the link. Quick analysis for a single data file is achieved by using the Wireshark's built-in statistical and ranking functions. Based on the ranking idea, Auto-Array method, which adopts a software algorithm, is further studied. Tests and comparisons show that Auto-Array method can provide quick analysis for multiple data files. Details of the packet loss in UDP data files can also be output. The method can provide criteria for evaluating the reliability of UDP transmission.

**Keywords:** UDP; train communication network; reliability

收稿日期: 2023-03-17; 修回日期: 2024-05-20

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司系统性重大项目 (2023CTA449)

第一作者: 项学海 (1988—), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向: 列车转向架故障诊断系统、列车通信网络等, 邮箱: arnoldxiang@163.com。

基于用户数据报协议 (UDP) 的 TRDP 传输逐渐成为主流列车级通信网络之一, 通过低成本的嵌入式设计即可实现高速 UDP 通信。UDP 是一种面向无连接的传输协议, 数据传输过程只关注数据发送效率, 不关注接收端状态, 所以 UDP 传输实时性好, 但在链路不可靠的情况下会出现丢包。为增加 UDP 传输可靠性, 并保持低开销和实时性, 学者们从不同角度研究优化 UDP 传输协议。例如, 通过在应用层中增加两个子层解决 UDP 传输过程中存在的丢包、乱序等问题。采用对网络传输状况自适应的拥塞控制策略, 提高网络带宽的利用率。设计基于四度冗余拓扑的以太网总线结构, 实现基于多重校验的以太网通信协议, 可靠度提升至接近 100%。学者们对优化后的 UDP 传输可靠性进行了测试, 但都是通过定性测试, 未见通过实测大样本数据进行统计分析 UDP 传输的可靠性。

## 1 应用背景介绍

随着铁路运营速度的提升, 高铁列车上的设备也越来越多, 数据量也越来越大。列车上某车厢网络架构如图 1 所示, 列车中央控制单元与火灾报警主机、门控主机和轴承温度监测主机等子设备连接到同一台交换机上, 实现中央控制单元实时搜集所有子设备数据的功能, 中央控制单元根据子设备数据为司机提供行车信息或直接控制列车。通过配置网络交换机, 将所有端口数据映射到某一个固定端口, 连接安装有 Wireshark 软件的监控电脑即可实时获取到交换机上的数据。如果网络交换机具备实时记录功能, 也可通过电脑下载某一段时间的数据进行分析。

## 2 分析方法

常用的分析丢包方法是使用 Wireshark 自带的统计功能, 首先打开数据文件, 在 filter 栏中输入某设备的 IP 地址, 将其他不相关设备的 IP 地址都过滤掉。例如输入 “ip.addr == 10.2.1.213”, 然后在菜单栏中选择 “statistics → summary”, 即

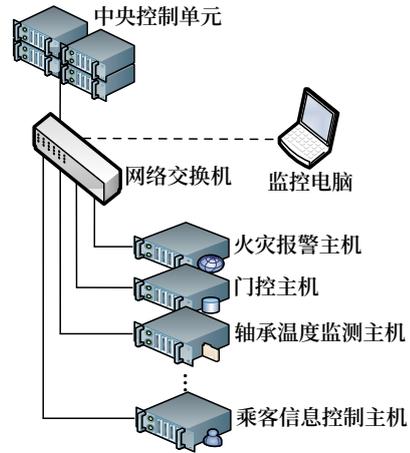


图1 列车设备网络架构  
Fig.1 Network architecture for train equipment

可显示统计数据。在已知该设备数据发送间隔  $\Delta t = 50 \text{ ms}$  的前提下, 从实际收取数据包总数 Packets ( $P_A$ ) 和 Between first and last packet ( $t$ ) 两个参数即可推算出是否存在丢包。如图 2 所示, 得出应收到数据包总数, 如公式 (1) 所示。

$$P_S = \frac{t}{\Delta t} = \frac{447\ 884 \text{ ms}}{50 \text{ ms}} \approx 8\ 958 \quad (1)$$

根据  $P_A < P_S$ , 可推测该设备发生了丢包, 丢包数量约为 103 包。将该方法命名为 Man-Sum 法。Man-Sum 法是通过 Wireshark 自带的统计功能反推出是否存在丢包, 优点是简单直观, 但缺点是需要通过计算才能反推出是否存在丢包, 效率较低。反推计算由于第一包和最后一包之间存在累积延时, 导致丢包数量计算也不准确, 并且无法定位丢包发生的时刻。

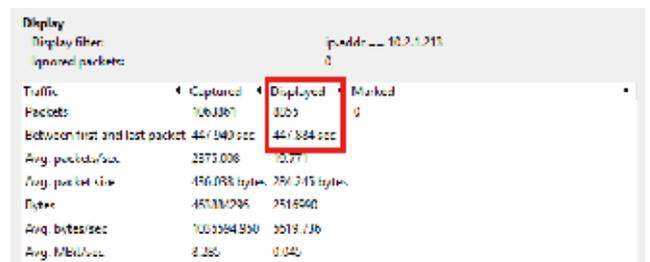


图2 数据统计结果  
Fig.2 Statistical results of the data

为准确统计丢包数量, 并快速定位丢包发生时刻, 研究软件自带的排序功能。同样先过滤不相关设备的 IP 地址, 由于 Wireshark 默认的 Time 数

据栏显示的是捕捉数据的时刻，所以无论将 Time 按升序还是降序排列，都无法直观分析出丢包结果。更改 Time 数据栏的显示内容，通过在菜单栏中选择“view → Time Display Format → Seconds Since Previous Displayed Packet”，将 Time 数据栏的显示内容切换为“与前一包的数据间隔”，然后点击两次“Time”列表的表头，使数据按 Time 降序排列，如图 3 所示。在已知该设备数据发送间隔  $\Delta t = 50 \text{ ms}$  的前提下，只要 Time 远比 0.05 大，即发生了丢包，图 3 中方框内的数据包都是因为连续丢包导致数据间隔时间长。将该方法命名为 Man-Array 法。Man-Array 法是通过将数据包间隔按降序排列，从而直观反映是否存在丢包的，优点是无需计算，效率高，丢包数量估算准确，并且可以定位丢包发生时刻，为进一步捕捉丢包时刻的外部环境信息提供依据。

No.	Time	Source	Destination	Protocol
266534	1.849715567	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
896772	1.799942208	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
348912	1.799679277	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
278633	1.750187114	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
853585	1.749830967	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
944473	0.051412739	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
931586	0.051316115	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
800886	0.051290147	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
146691	0.051268595	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
147403	0.051067415	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
156968	0.050982898	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP
922440	0.050954291	10.2.1.213	239.195.0.215	TRDP

图3 按数据间隔时间从大到小排列

Fig.3 Data arranged in descending order by its time intervals

Man-Sum 和 Man-Array 方法都能够实现单个设备数据传输可靠性快速分析，但网络交换机上通常连接多台设备，使用以上两种方法都必须按设备 IP 地址逐一过滤进行检查，耗时耗力，无法实现所有设备数据传输可靠性的快速分析。

### 3 改进方案

快速分析多台设备的瓶颈在于需要逐一输入设备 IP 地址过滤后再分析。为消除瓶颈，用软件算

法代替人工实现自动快速分析。通过软件算法实现 Man-Array 的开销比实现 Man-Sum 的开销更低（软件实现排序效率高），且 Man-Array 方法比 Man-Sum 具有更多优势，整体思路是通过软件自动遍历所有 IP 地址的数据，不同 IP 地址的数据按 Man-Array 方法进行判断。将这种方法命名为 Auto-Array 方法，具体设计如下。

- 1) 用户定义所需分析的设备 IP 地址。
- 2) 软件打开并读取原始数据文件。
- 3) 将原始数据中符合 IP 地址条件的数据在数据库中单独建表。
- 4) 根据数据记录的绝对时间，解算出每个 IP 地址的数据包相对上个数据包的时间间隔。
- 5) 基于 Man-Array 法对数据包按时间间隔降序法进行排序。
- 6) 从上到下逐个判断时间间隔是否异常，并对异常的数据包做标记。
- 7) 打印结果，输出分析报告。

Auto-Array 方法对应的软件设计流程如图 4 所示。

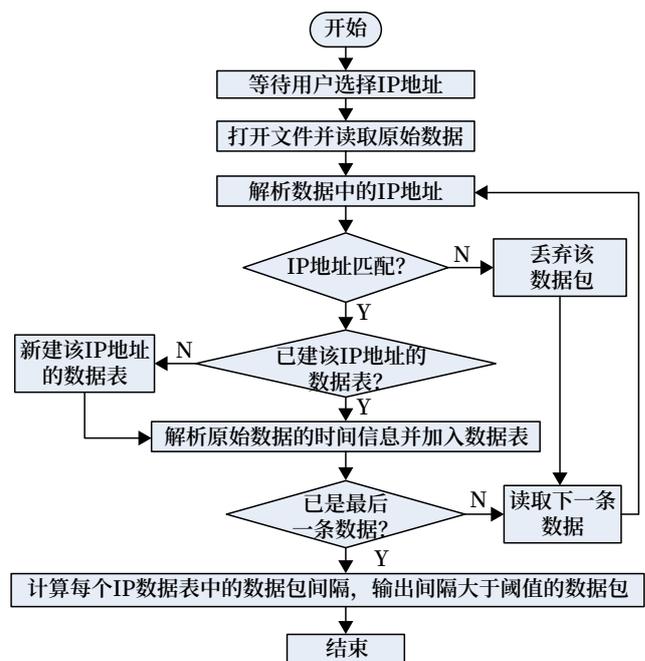


图4 软件设计流程

Fig.4 Flowchart of software design

#### 4 试验验证

基于如图4所示的流程编制分析软件，使用分析软件解析一段含有8个设备IP地址的数据，在一台CPU为Core(TM)i7-6500U CPU @ 2.50 GHz，内存为8 GB的计算机上耗时29 s，即完成了8个设备的数据传输可靠性分析。如图5所示，有3台设备出现了丢包，对应的IP地址分别为10.1.1.213、10.2.1.213和10.2.4.213。

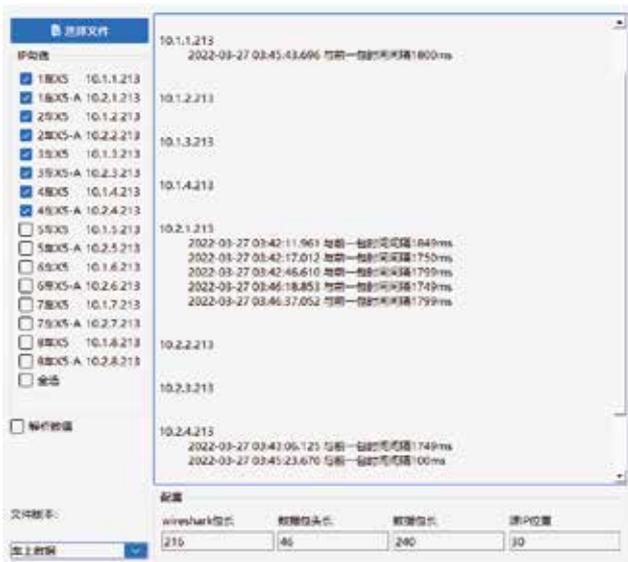
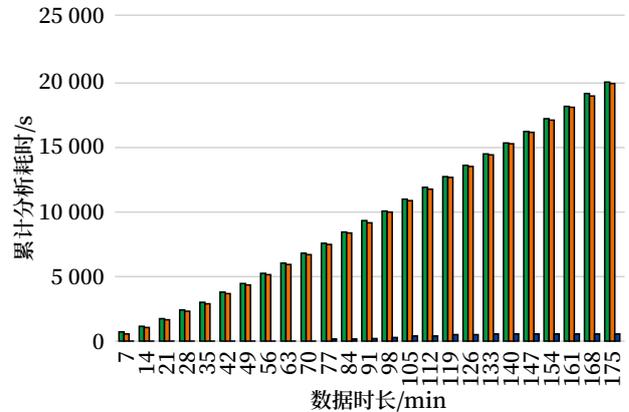


图5 软件分析结果  
Fig.5 Results of software analysis

分别采用Man-Sum和Man-Array方法对同样的数据进行分析，手动遍历数据中的8个IP地址，Man-Sum方法耗时11 min 13 s，Man-Array方法耗时9 min 36 s。采用Auto-Array方法效率提升95%以上。

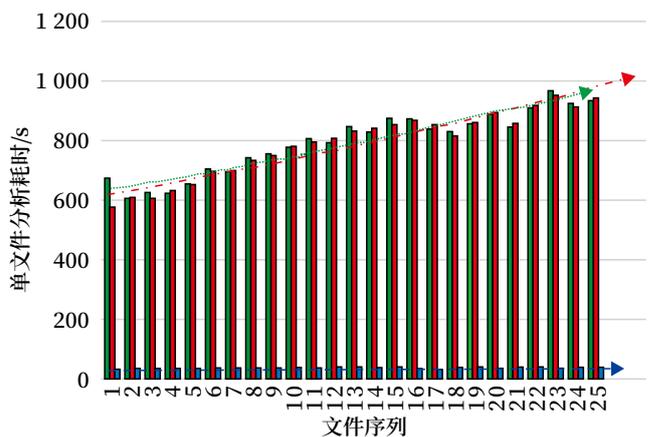
由于数据量大，通常从交换机下载的数据都是按每7 min单独保存一个文件，所以分析交换机上设备的长期稳定性，通常需要分析大量数据文件。以分析3 h的数据为例，共有25个数据文件。分别用本文描述的3种方法对数据进行分析并统计所耗时间，结果如图6所示。从图6中看出，Man-Sum和Man-Array耗时较为接近，Man-Array效率略高于Man-Sum。Auto-Array效率相比其他两

种具有绝对优势。



图例: ■Man-Sum ■Man-Array ■Auto-Array  
图6 3种方法耗时对比  
Fig.6 Comparison chart of time spent by three methods

对单个文件的耗时趋势进行统计，如图7所示，Man-Sum和Man-Array针对单个文件的分析耗时呈增长趋势，而Auto-Array的分析耗时趋势平稳。也就是说，针对长期监测的大容量数据，Man-Sum和Man-Array方法的分析耗时会越来越长，呈现非线性增长。而Auto-Array方法耗时只会随着数据容量的增加呈现线性增长。



图例: ■Man-Sum ■Man-Array ■Auto-Array  
- - - 趋势线 (Man-Sum) - - - 趋势线 (Man-Array)  
- - - 趋势线 (Auto-Array)  
图7 单个文件分析耗时趋势分析  
Fig.7 Analysis on the trend of time spent on analyzing a single file

#### 5 总结与展望

本文研究了几种分析UDP数据传输可靠性的

方法, 通过软件算法, 突破了 Man-Array 方法的瓶颈, 实现了 Auto-Array 方法。试验结果表明, Auto-Array 方法既能实现数据可靠性快速分析, 也能准确定位丢包发生的时刻, 并且针对大容量数据, Auto-Array 方法分析耗时趋势稳定, 相比其他两种方法具备较大优势。

目前 Auto-Array 方法仅实现了单文件处理, 未来增加批量文件处理功能, 可进一步减少人工干预, 提升效率。

### 参考文献

- [1] 李鲲鹏, 阎士奇. Modbus/TCP 通信在地铁列车网络显示屏的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (2): 76-80.  
Li Kunpeng, Yan Shiqi. Application of Modbus/TCP Communication on Human-Machine Interface for Train Control and Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 76-80.
- [2] 王作禹, 王翔, 刘景利. 基于以太网的列车灵活编组技术实现及研究 [J]. 工业控制计算机, 2024, 37 (2): 41-42, 45.  
Wang Zuoyu, Wang Xiang, Liu Jingli. Implementation and Research of Flexible Train Formation Technology Based on Ethernet[J]. Industrial Control Computer, 2024, 37(2): 41-42, 45.
- [3] 任祥臣, 石磊. 基于工业以太网的动车组列车通信网络设计 [J]. 铁路计算机应用, 2023, 32 (8): 43-51.  
Ren Xiangchen, Shi Lei. Design of Train Communication Network for EMU Based on Industrial Ethernet[J]. Railway Computer Application, 2023, 32(8): 43-51.
- [4] 吕龙, 李海龙, 刘晓磊. TRDP 协议及其解析技术的应用 [J]. 铁道机车车辆, 2023, 43 (3): 102-106.  
Lyu Long, Li Hailong, Liu Xiaolei. TRDP Protocol and Its Analytic Technology Application[J]. Railway Locomotive & Car, 2023, 43(3): 102-106.
- [5] 黄键, 薛顺虎, 宋晓. RTX 下基于 RTL8139 的 UDP 通信模块的实现 [J]. 测控技术, 2011, 30 (8): 71-74.  
Huang Jian, Xue Shunhu, Song Xiao. The Implementation of UDP Communication Module Based on RTL8139 in RTX[J]. Measurement & Control Technology, 2011, 30(8): 71-74.
- [6] 商艳娟, 徐卓汀, 王成群. 基于 FPGA 的 UDP - IP 协议栈的设计与实现 [J]. 智能计算机与应用, 2023, 13 (6): 7-12.  
Shang Yanjuan, Xu Zhuoting, Wang Chengqun. Design and Implementation of UDP\_IP Protocol Stack Based on FPGA[J]. Intelligent Computer and Applications, 2023, 13(6): 7-12.
- [7] 张会新, 林雅坤, 樊文韬. 基于千兆以太网的高速可靠数据传输系统 [J]. 电子器件, 2023, 46 (4): 927-931.  
Zhang Huixin, Lin Yakun, Fan Wentao. High-Speed and Reliable Data Transmission System Based on Gigabit Ethernet[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2023, 46(4): 927-931.
- [8] 孙振超, 朱广超, 李申龙, 等. 一种基于 TRDP 协议列车以太网卡的研制 [J]. 铁道机车车辆, 2022, 42 (1): 104-109.  
Sun Zhenchao, Zhu Guangchao, Li Shenlong, et al. Development of a Train Ethernet Card Based on TRDP Protocol[J]. Railway Locomotive & Car, 2022, 42(1): 104-109.
- [9] 董玉圻. 基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 33-39.  
Dong Yuqi. Transmission Delay Control Method of Railway Communication Networks Based on Neural Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 33-39.
- [10] 孙博伦, 赵国强, 丁百一. 常见扩频通信技术性能比较 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (2): 47-50.

- Sun Bolun, Zhao Guoqiang, Ding Baiyi. Performance Comparison of Common Spread Spectrum Communication Technologies[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 47-50.
- [11] 陈佳. 基于UDP的数据传输可靠性保障机制研究及应用[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- [12] 李忠, 赵兴强, 赵学. CTCS-3级列控数据链路层帧校验问题研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(5): 27-33, 43.  
Li Zhong, Zhao Xingqiang, Zhao Xue. Discussion on FCS of Data Link Layer of CTCS-3 Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 27-33, 43.
- [13] 富元, 吕建新. 基于UDP的可靠传输协议的研究与实现[J]. 光通信研究, 2009(5): 17-19.  
Fu Yuan, Lü Jianxin. Research on and Realization of a UDP-Based Reliable Data Transfer Protocol[J]. Study on Optical Communications, 2009(5): 17-19.
- [14] 吴桂龙. 提高传输以太网汇聚业务安全系数探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(2): 30-34.  
Wu Guilong. Discussion on Improving Security Factor of Transmitting Ethernet Aggregation Service[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 30-34.
- [15] 李国, 巩光志, 王冬冬. 一种提高UDP可靠性的数据传输方法研究[J]. 中国民航大学学报, 2012, 30(1): 41-45.  
Li Guo, Gong Guangzhi, Wang Dongdong. Research and Achievement of Way to Improve Data Transmission Reliability of UDP[J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2012, 30(1): 41-45.
- [16] 李浩, 赵晨希, 关冰. 基于超时重传和多重校验的UDP可靠通信设计[J]. 测控技术, 2022, 41(2): 105-110.  
Li Hao, Zhao Chenxi, Guan Bing. UDP Reliable Communication Based on Timeout Retransmission and Multiple Verifications[J]. Measurement & Control Technology, 2022, 41(2): 105-110.
- [17] 马玉敏, 张浩, 樊留群. 工业以太网的最新发展[J]. 测控技术, 2005, 24(12): 1-4.  
Ma Yumin, Zhang Hao, Fan Liuqun. Current Development of Industrial Ethernet[J]. Measurement & Control Technology, 2005, 24(12): 1-4.
- [18] 左登超, 贾涛. 基于以太网CAN模块的总线协议转换网关设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(5): 24-29, 35.  
Zuo Dengchao, Jia Tao. Design of Bus Protocol Conversion Gateway Based on Ethernet CAN Module[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(5): 24-29, 35.
- [19] 谢和欢. LTE-M通信系统接口在线监测技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(9): 39-45.  
Xie Hehuan. Interface Online Monitoring Technology of LTE-M Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(9): 39-45.
- [20] 李海龙, 张尧. 速度400 km/h高速动车组网络系统实时以太网技术应用研究[J]. 铁道机车车辆, 2023, 43(1): 54-58.  
Li Hailong, Zhang Yao. TRDP Application and Research for 400 km/h High-Speed EMU TCMS[J]. Railway Locomotive & Car, 2023, 43(1): 54-58.
- [21] 董渠江, 陆志伟, 曾庆文, 等. 基于Wireshark的铁路信号协议解析器的设计与实现[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(7): 80-86.  
Dong Qujiang, Lu Zhiwei, Zeng Qingwen, et al. Design and Implementation of Rail Signal Interface Protocol Parser Based on Wireshark[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7): 80-86.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.06.009

# 对铁路综合视频监控安全防护的思考

董相奎

(中国铁路北京局集团有限公司北京通信段, 北京 100038)

**摘要:** 对铁路综合视频监控系统安全平台的防护功能进行简要说明, 对其中存在的漏洞扫描、终端管控、网络配置核查等方面存在的典型问题进行探讨; 针对这些问题, 提出相应的解决方法或思路建议, 其中重点讨论漏洞扫描的维护周期与实现方法、终端管控功能需求的主要内容、网络配置核查的注意事项和特点等; 最后对视频安全平台在铁路综合视频监控系统中的发展前景进行简要说明。

**关键词:** 视频监控; 通信; 安全; 配置核查; 漏洞扫描

中图分类号: U298

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0053-05

## Conception of Security Defence in Integrated Video Monitoring Systems for Railways

Dong Xiangkui

(Beijing Communication Division, China Railway Beijing Group Co., Ltd., Beijing 100038, China)

**Abstract:** The paper describes the security defence function of the security platforms of integrated video monitoring systems of railways. Then it analyzes the classical problems in vulnerability scanning, terminal control, network configuration auditing, etc., within the systems. The paper provides corresponding solutions or suggestions for the problems. It focuses on the maintenance cycles and methods for vulnerability scanning, main requirements for terminal control, as well as key considerations and characteristics of network configuration auditing, etc. Finally, the paper briefly discusses the prospect of the development of the video security-defence platforms when applied in integrated video monitoring systems of railways.

**Keywords:** video monitoring; communication; security; configuration auditing; vulnerability scanning

### 1 概述

随着高速铁路、客运专线的逐步建成, 铁路综合视频监控系统作为高铁客专通信专业的重要子系

统, 逐渐在安全运输生产中发挥出重要作用; 各铁路局集团公司也在普速铁路中逐步开展大规模的综合视频监控系统建设。在此背景下, 铁路综合视频监控系统的安全防护功能及相关需求已经得到中国国家铁路集团有限公司(简称国铁集团)层面的高度重视, 为此国铁集团先后出台或修订发布了综合视频监控系统安全防护有关的标准、技术文件及其

收稿日期: 2023-11-03; 修回日期: 2024-05-13

作者简介: 董相奎(1973—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道通信, 邮箱: ma\_cd@163.com。

他相关规定，近两年逐步在各局的高铁客专线上推广应用。

目前，视频系统集成商采用全部自主研发、用于视频系统安全防护的视频安全平台解决方案较少，主要采用国内主流网络安全厂商提供的方案，包括奇安信、迪普、天融信等网络安全知名厂商。从实际应用情况看，不同的综合视频监控系统集成商，对视频安全平台相关功能要求的理解有较大差别，因而所集成的视频安全平台功能也不尽相同。

## 2 主要问题分析

已经实施的各线视频安全平台中，主要功能都集中在对视频监控系统前端摄像机/编码器、网络节点、后台服务器等设备设施的安全防护上，如前端设备（摄像头、编码器等）的变化、网络节点（如交换机等）的配置核查，以及后台服务器的漏洞扫描等方面。

同实际需求相比，现有视频安全平台的有关功能尚需进一步完善，相关技术标准在内容上也有进一步细化或明确的空间。

### 2.1 漏洞扫描的有关要求不明确，实施中存在困难

从国家有关部门发布的操作系统、网络设备漏洞与安全隐息信息看，Windows、Linux 等主流操作系统的漏洞层出不穷；这些操作系统在默认配置等方面与当前视频系统的运营要求不尽相符。因此，操作系统配置与漏洞对现有网络的安全威胁程度，应因地制宜地结合视频系统本身的应用特点进行有针对性的优化。

而在铁路综合视频监控系统相关技术标准对视频安全平台的有关要求中，此类问题的维护周期、紧迫性、威胁程度评估、实施标准、检测规则与修复要求、复核方法及效果确认等均无相关明确规定，给实际维护造成了一定程度上的困惑或混淆，各局甚至同一局内各条线的功能、实施周期、效果都大有不同，缺乏统一执行标准。

### 2.2 视频终端的管控功能不明确

除负责维护视频设备设施的单位外，视频终端广泛应用于运输调度、工务、电务、供电、公安等各专业中。相关终端均具备实时视频调看功能，其中部分专业终端还具备回放录像及下载等功能，显然此类设备的安全防护是重中之重。

从目前实际应用看，视频安全平台对视频终端的安全防护功能较弱。对视频终端的防护，除应具备口令核查、水印标记、入侵防范和访问控制外，更应该在终端本身的网络接入和安全行为审计等方面强化功能要求，如记录各种调取摄像机及控制摄像机动作，以及终端本身插拔外置存储、下载转储行为等重要功能。目前视频安全平台主要偏重于实现终端防病毒功能，在水印、行为监控等方面有一定进展，但尚不具备全网实施条件，且各线实现上述功能的标准也不统一，这与相关技术标准及规定在实现原理、展示效果等方面没有明确、细化的规定有一定关系。

在实际维护中，此类问题给综合视频监控系统的维护与管理工作造成了隐患：一方面综合视频监控系统的溯源、保密工作无法落实，视频流出后倒查无法实现；另一方面视频监控终端在无可靠技术手段限制的情况下，可不受限制地增加、移设或变更，在终端数量、带宽需求等管理方面均造成较大安全隐患。

### 2.3 网络设备的安全管理与维护要求应细化

铁路综合视频监控系统主要使用视频专用的 IP 交换机实现前端与后台设备间的互联互通。此类交换机本身大多具备 3 层路由交换与部署安全规则的能力。其中涉及实现视频安全平台控制与准入功能的，主要由视频安全平台通过控制交换机接入控制列表（Access Control List, ACL）的相关规则实现；涉及配置核查的，主要由视频安全平台对各个交换机的当前配置信息进行获取、核对和评估；涉及前端设备管控的，由视频安全平台通过交换机获取和比对前端设备的硬件信息（MAC 地址、

设备型号等)实现。因此,网络设备的管控是视频安全平台对综合视频监控系统的的核心安全控制顶点之一。

通过实际维护发现,视频安全平台对网络设备的管控存在以下两个问题。

一是网络配置核查的周期不明确。日常维护中视频交换机的配置基本不发生变化,但当出现网络安全事件时,对网络设备的配置变化应有及时的反应,以便及时发现和处理安全隐患。因此对交换机配置核查的技术要求(如核查周期、核查范围等)应进一步明确。

二是发现网络配置核查结果异常需进行相应处置时,视频安全平台的处理动作应经过确认。交换机的配置直接关系到某个子网以及该子网挂视频监控设备的正常运行,不恰当甚至错误的配置修改,有造成大范围视频网络故障的风险。因此当视频安全平台对网络设备的配置核查发现问题时,应经过网络维护人员的确认,避免系统级别的不当操作造成大面积监控失效故障。此类故障较为隐蔽,维护人员一时难以锁定和解决。

### 3 解决建议

#### 3.1 细化视频安全平台漏洞扫描的有关维护要求

一是应明确漏洞扫描的周期、目标范围、危害程度等内容,同时漏洞扫描结果应规范化、格式化,便于形成闭环管理、分类处置,考虑纳入电子化的归档管理。这样在形成完整处理档案的同时,也便于倒查问题,形成严谨的管理体系。

二是对操作系统及应用软件、网络设备等类型的安全漏洞,应明确锚定国家有关安全信息平台发布的信息,及时进行处置。需明确的有关要求包括:漏洞影响范围、触发条件、危害级别、解决时限和复查确认规定等,通过管理手段强化漏洞修补工作。

三是对于由集成的视频安全平台厂商自行发布的有关安全信息,应建立安全评估机制,结合综合视频监控系统自身的应用特点,评估对系统整体的

潜在影响程度、对既有应用功能的影响程度等内容,然后就是否执行、执行范围等进行评判和决策。

#### 3.2 强化视频安全平台对视频终端类设备的管控

视频终端的管控是视频安全平台安全防范的重中之重,应作为整个平台的核心顶点之一开展工作。在当前技术架构下,可以采用的主要手段如下。

1) 管理上,应强制要求各个视频终端必须安装终端管控软件,此类软件的主要功能须包括:用户行为记录与分析、病毒防护和网络安全和终端水印等功能。

2) 技术上,应与上述管理要求相对应,实现用户行为记录、关键行为分析等功能,对回放、下载和拷贝类的行为必须进行记录;实现防病毒和网络攻击功能;实现与视频软件结合的显性水印或隐性数字水印功能,用于录像或拍摄屏幕的溯源等。

#### 3.3 建立和完善网络设备安全管理制度与维护标准

1) 视频安全平台在定期进行网络配置核查的基础上,应明确提出采用技术手段对配置变化进行核查的要求。视频监控系统中的网络设备(如网络交换机)一般都支持简单网络管理协议(Simple Network Management Protocol, SNMP)标准协议,绝大部分交换机配置变化也可触发交换机的日志(log)记录、基于SNMP的陷阱(trap)消息等功能,因此可将配置变化纳入交换机监测系统,调整或优化相应配置即可。

2) 视频安全平台对网络配置核查后的修改动作必须经过确认后方可执行。交换机本身的配置变化,主要由维护人员根据需求主动操作触发;视频安全平台定时执行的配置核查功能,可与维护人员的维护操作进行印证,起到类似审计的作用。所以对视频安全平台配置核查的结果,理应由维护人员进行确认后执行。配置核查和漏洞扫描功能类似,视频安全平台应列出“问题清单”,由维护人员确认后续处理方案。相对于由视频安全平台自行处置的机制,上述流程显然对维护网络安全更具合理性,避免设置不当或与实际需求不符造成的网络安全风险。

## 4 结束语

在组织实施视频安全平台有关功能时, 终端管控、网络设备配置核查等功能是视频安全平台的功能核心。随着综合视频监控系统网络的不断发展壮大, 此类功能的必要性、重要性越来越突出, 也必将发挥越来越重要的作用。在建立和完善相关管理制度, 细化有关技术标准、方案或措施, 提高综合视频监控系统网络质量, 发现和消除综合视频监控系统网络安全事件等方面, 视频安全平台大有可为。

### 参考文献

- [1] 王公儒. 视频监控系统工程实用技术 [M]. 2 版. 北京: 中国铁道出版社, 2022.
- [2] 潘国辉. 安防天下 2——智能高清视频监控原理精解与最佳实践 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [3] 邓泽国. 安防视频监控实训教程 [M]. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [4] 罗世伟. 视频监控系统操作与维护 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2019.
- [5] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路综合视频监控系统技术规范: QCR 575-2022 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2022.
- [6] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信网络安全技术要求第 4 部分: 综合视频监控系统: Q/CR 783.4-2021 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.
- [7] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信网络安全技术要求第 2 部分: 承载网: QCR 783.2-2020 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [8] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路通信网络安全技术要求第 1 部分: 总体技术要求: QCR 783.1-2021 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.
- [9] 赵一颖, 姜志威. 铁路客站视频监控前端的设置方法与技术展望 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(2): 62-67.
- [10] 许辉. 铁路综合视频监控系统网络安全建设的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(5): 39-43.
- [11] 赵耀, 李珉璇, 柴天娇. 铁路综合视频监控系统与 BIM 融合应用研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(6): 26-30.
- [12] 刘跃遥, 陈谦, 曹坤. 铁路综合视频监控系统三种平台架构对比分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(8): 37-40, 58.
- [13] 陈宏宇. 铁路视频监控摄像机选型研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(8): 41-46.
- [14] 谢庆楚. 一体化综合视频监控技术在南崇高速铁路的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(9): 54-60.

- High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(9): 54-60.
- [15] 何姗. 会车图像采集技术在铁路货车装载视频监视系统中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 ( 1 ): 34-38.
- He Shan. Application of Image Acquisition Technology of Trains Crossing in Railway Wagon Loading Video Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 34-38.
- [16] 李宝军, 李庆怀, 陈曦宇, 等. 铁路视频监控体系化建设探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 ( 1 ): 39-43.
- Li Baojun, Li Qinghuai, Chen Xiyu, et al. Discussion on Systematic Construction of Railway Video Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 39-43.
- [17] 赵越, 杨家田, 王永岗, 等. 铁路综合视频监控系统 IPv6 升级改造方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 ( 10 ): 30-35.
- Zhao Yue, Yang Jiatian, Wang Yonggang, et al. IPv6 Upgrading Scheme of Railway Integrated Video Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 30-35.
- [18] 徐亚萍. 铁路视频运维管理系统设计与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 ( 1 ): 44-48, 72.
- Xu Yaping. Design and Implementation of Railway Video Operation and Maintenance Management System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 44-48, 72.
- [19] 张乐军. 铁路视频资源联网共享技术方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 ( 9 ): 41-45, 63.
- Zhang Lejun. Research on Technical Scheme of Railway Video Resource Networking and Sharing[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 41-45, 63.
- [20] 艾博慧. 铁路综合视频一体化安全防护平台研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 ( 2 ): 37-42, 47.
- Ai Bohui. Research on Integrated Security Protection Platform for Railway Integrated Video Surveillance System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(2): 37-42, 47.

\*\*\*\*\*

(上接 46页)

- Signal System Design Means in China[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17 ( 8 ): 101-105.
- [15] 杜晗, 温文博, 杨天顺, 等. 基于 VB 的扭矩扳子计量检定数据处理软件的实现 [J]. 工业计量, 2024, 34 ( 1 ): 97-99, 114.
- Du Han, Wen Wenbo, Yang Tianshun, et al. Implementation of Torque Wrench Calibration Data Processing Software Based on VB[J]. Industrial Metrology, 2024, 34(1): 97-99, 114.
- [16] 王博学, 王少奇, 张建忠, 等. 基于 VB 的气田报表核查核算及数据整理 [J]. 电脑知识与技术, 2021, 17 ( 36 ): 100-102.
- [17] 梅元昭. 基于 VB6.0 和 Excel 的工资系统的实现 [J]. 无线互联科技, 2015 ( 21 ): 40-42.
- [18] 何江洋, 凌海. 基于 VB 与 Excel 的勘察报价辅助软件设计应用研究 [J]. 电子技术与软件工程, 2020(19): 51-54.
- He Jiangyang, Ling Hai. Research on the Design and Application of Auxiliary Software for Survey and Quotation Based on VB and Excel[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2020(19):51-54.

# 基于北斗短报文的列车区间故障恢复技术 研究与应用

黄永聪

(国能新朔铁路有限责任公司, 呼和浩特 010300)

**摘要:** 铁路线路中存在区间无网络覆盖的情况, 当列车运行到区间故障重启, 无网络情况下无法与地面设备通信获得线路数据, 影响运行效率。主要研究列车在无网络覆盖区间故障恢复的方法, 利用北斗短报文技术, 解决区间列车故障重启恢复问题。

**关键词:** 故障恢复; 短报文技术; 数据校验

中图分类号: U269

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0058-06

## Research and Application of Fault Recovery Technology for Trains in Sections Based on Short Message of BeiDou Navigation Satellite System

Huang Yongcong

(GuoNeng Xinshuo Railway Co., Ltd., Hohhot 010300, China)

**Abstract:** There is a situation on railway lines where there is no network coverage in some sections. When the train restarts due to a fault in said sections and there is no network available, it is unable to communicate with trackside equipment to obtain line data, which affects operational efficiency. This paper mainly studies the method of train fault recovery in sections without network coverage, using Regional Short Message Communication (RSMC) technology of BeiDou Navigation Satellite System to solve the problem of train restart due to faults and recovery in these sections.

**Keywords:** fault recovery; Regional Short Message Communication(RSMC) technology; data verification

### 1 概述

由于历史发展原因, 重载铁路基础设施薄弱, 信号系统理念原始, 控车环节人工介入太多。以提升安全性、减少人工介入度、降低人员专业技能要

求、减少专业人员数量、提高运输效率、降低司机劳动强度为目标, 打造接轨世界标准的重载铁路列控系统成为下一阶段重载铁路技术的突破口。以推动北斗与交通运输有机融合为契机, 立足现实、吸收经验, 以易改造、易实施、低成本、低依赖的基本原则, 研发一套基于北斗全功能应用的高标准、高安全、高可靠的重载铁路列控系统。基于北斗的重载铁路列控是利用北斗定位、短报文应急通

收稿日期: 2023-12-28; 修回日期: 2024-05-18

作者简介: 黄永聪(1986—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: 10575255@ceic.com。

信、授时技术实现列车精准定位、应急恢复和时钟同步功能，满足重载铁路运营要求的列车运行控制系统。

基于北斗的重载铁路列控系统由调度集中(CTC)、联锁、临时限速服务器、数据管理控制设备、列车车载设备以及车站无线网络系统组成，如图1所示。列车车载设备通过无线网络与数据管理控制设备实现双向通信，数据管理控制设备通过以

太网与计算机联锁、临时限速服务器通信。根据进路、道岔、信号机状态和临时限速服务器下达的临时限速信息，计算列车运行路径下的线路信息和临时限速信息，实时生成无线报文消息，并通过无线网络向车载设备发送线路信息及临时限速信息。车载设备根据接收的线路数据信息、轨道电路信息及列车性能参数，生成目标-距离连续速度控车曲线，监控列车安全运行。

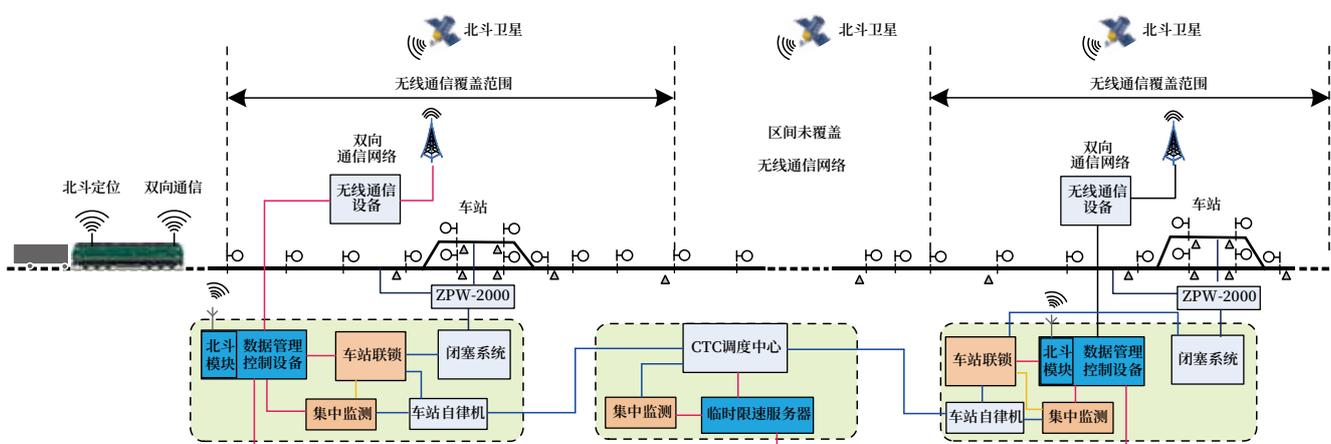


图1 系统结构示意图

Fig.1 System structure diagram

车-地无线传输线路数据作为重载铁路列控系统的基本功能，其直接影响整个系统的可用性。目前，国内高速铁路使用的CTCS-3列控系统，基于铁路移动通信专网(GSM-R)无线通信实现车-地信息双向传输。城市轨道交通使用的列车控制(CBTC)系统，基于长期演进技术(Long Term Evolution, LTE)无线通信实现车-地信息双向传输。车地传输交互的线路数据信息量大、内容复杂且使用的无线通信均为专用的封闭式传输系统，系统搭建的时间成本及经济成本高，无法在通信条件相对恶劣的重载货运铁路上大量推广。当列车运行到区间无网络覆盖区域故障重启后，无法通过无线网络接收地面发送的线路数据，导致司机只能以允许速度较低的目视模式驾驶列车运行，影响整条线路的运行效率。

本文主要研究列车在无网络覆盖区间故障恢复的方法。利用北斗短报文技术，解决区间无网络问

题，在保证数据准确、安全的前提下，快速完成列车区间故障恢复，保证列车运行效率，对重载铁路运营起到至关重要的作用。

## 2 北斗短报文技术

北斗短报文功能是指利用北斗卫星系统的短报文功能，在突发事件中进行紧急通信的一种方式。该通信方式具有信息传输速度快、覆盖范围广、抗干扰能力强等特点，可以有效地提高紧急通信的效率和可靠性。2003年以来，北斗就采用基于广义卫星无线电定位系统(RDSS)体制为用户提供短报文通信服务，用户可以采用RDSS体制进行定位，接收机接收一颗地球同步轨道(GEO)卫星播发的RDSS信号和卫星无线电导航业务(RNSS)1信号，同时接收至少一颗中轨道地球卫星(MEO)或倾斜地球同步轨道(IGSO)卫星的RNSS 2信号。如图2所示，接收机通过测量两个RNSS信号之间

的时间差，然后将该参数通过 GEO 卫星发送给主控站。主控站利用这些参数可进行用户机位置计算和双向定时，用户机可通过 GEO 卫星与主控站进行双向报文通信。

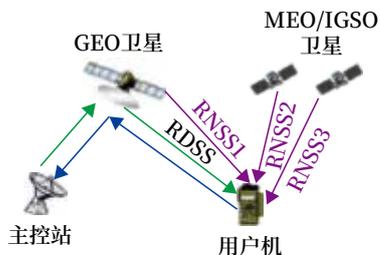


图2 北斗短报文通信  
Fig.2 Regional Short Message Communication of BeiDou Navigation Satellite System

目前北斗短报文的应用前景非常广泛。以航海和渔业为例，之前海上航行一旦出现事故主要靠卫星电话和陆地救援取得联系，但卫星电话服务费较高，使用北斗短报文技术，可满足船舶定位和紧急通信的需求。

### 3 列车区间故障恢复

基于北斗的重载铁路列控系统车载设备运行到站内时，根据接收到的站内应答器报文中的地面数据管理控制设备编号或者司机通过人机界面 (DMI) 手动输入的地面数据管理控制设备编号，通过无线网络与该站的地面数据管理控制设备建立连接。车载设备与数据管理控制设备建立连接后，车载设备向数据管理控制设备汇报列车位置，数据管理控制设备根据列车位置将前方区间的线路数据通过无线网络发送给车载设备。线路数据传输如图 3 所示，其中线路数据包括区间线路的经纬度范围，车载设备接收到线路数据并校验通过后存储到自身设备配置的铁电存储区中。

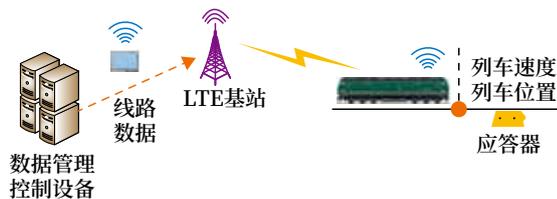


图3 线路数据传输  
Fig.3 Transmission of rail line data

列车安装北斗短报文设备，车载设备周期与列车北斗短报文设备通信，通过北斗短报文设备获取列车经纬度信息，并通过北斗短报文设备的短报文功能，与数据管理控制设备校验线路数据。北斗短报文设备、车载设备与数据管理控制设备通信关系如图 4 所示。为增加北斗短报文设备的可用性，列车安装两个北斗短报文设备，当其中一个北斗短报文设备故障后，车载设备通过另一个北斗短报文设备获取相关信息。



图4 设备通信关系  
Fig.4 Device communication relationship

#### 3.1 车载设备区间故障

车载设备接收到线路数据并校验通过后存储到铁电中，司机驾驶列车出站驶入区间。

列车运行在区间时，若车载设备宕机或意外掉电，司机重启车载设备。如图 5 所示，车载设备重启后读取铁电中的线路数据，首先需判断列车是否处于铁电存储的线路数据范围内。车载设备通过北斗短报文设备定位功能获取当前列车所处位置的经纬度信息，和铁电中存储的线路数据范围经纬度信息进行比较，当列车所处位置在线路数据范围内时，认为铁电中存储的线路数据是即将校验的线路数据。否则车载设备删除铁电中存储的线路数据，司机以目视模式驾驶列车运行。

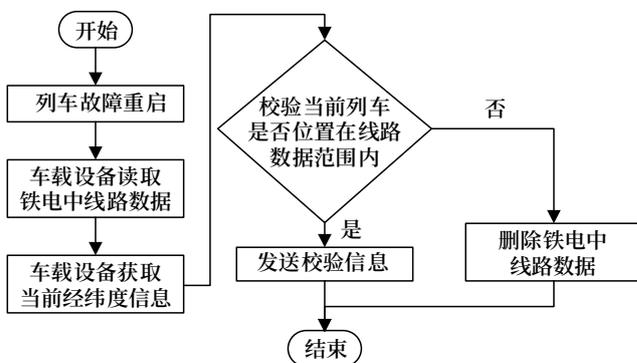


图5 车载设备发送校验流程  
Fig.5 Process of sending verification by on-board equipment

当车载设备判断铁电中线路数据可用于校验后, 车载设备需要向数据管理控制设备请求线路数据校验结果。车载设备周期向车载北斗短报文设备发送线路数据校验请求信息包, 信息包中包括列车 ID 信息、线路数据接收时间、线路数据计算的循环冗余校验码 (CRC) 信息、线路数据起始点信息等, 直至收到车载北斗短报文设备回复已收到线路数据校验请求信息包后, 停止发送。

车载北斗短报文设备收到车载设备的线路数据校验请求信息包后, 通过状态信息包回复已收到线路数据校验请求信息包, 并根据请求信息包中的“目的端北斗卡号”将线路数据校验请求转发到数据管理控制设备端北斗短报文设备。

### 3.2 接收数据管理控制设备的线路数据校验结果

数据管理控制设备通过北斗短报文设备, 接收到车载设备线路数据校验请求信息后, 首先校验列车 ID 和线路数据时间, 确保车载设备校验的线路数据确实是该数据管理控制设备发送的数据, 然后对 CRC 信息和线路数据起始点等信息进行校验。线路信息校验通过后, 数据管理控制设备通过地面北斗短报文设备, 向车载北斗短报文设备发送校验通过信息, 其中包括校验数据的 CRC 等信息。否则发送校验不通过。数据管理控制设备与车载设备数据交互如图 6 所示。

车载北斗短报文设备从地面北斗短报文设备收到线路数据校验结果后, 应保存线路数据校验结果, 并周期向车载设备发送线路数据校验结果信息包。直至收到车载设备的回复信息, 确认已收到线路数据校验结果后停止发送, 并废弃该线路数据校验结果。

车载设备收到车载北斗短报文设备发送的线路数据校验结果后, 首先校验信息包中的校验数据 CRC 信息, 确定该校验信息是对应车载设备之前发送的校验申请, 然后使用线路数据校验信息。当线路数据校验信息为通过时, 车载设备使用铁电中存储的线路数据, 车载设备可进入到允许速度较高的通常模式并根据线路数据计算行车曲线, 司机根据曲线驾驶列车, 直到运行到下一个车站, 车载设备与

数据管理控制设备通信后, 接收新的线路数据并替换铁电中存储的线路数据; 当线路数据校验为不通过时, 车载设备删除铁电中存储的线路数据, 以目视模式允许司机驾驶。

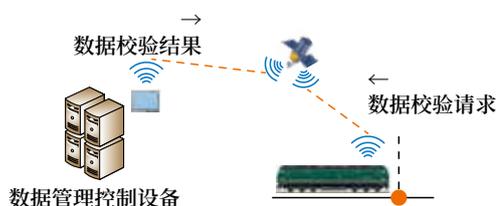


图6 通过短报文校验线路数据

Fig.6 Verification of rail line data through short messages

## 4 结束语

本文分析北斗短报文技术的特点, 并利用短报文技术的优势, 解决无网络区间列车故障恢复的问题, 通过短报文技术快速完成列车区间故障重启, 保证列车运行效率。该方案已在准池铁路基于北斗的重载列控系统改造中应用。北斗短报文列车区间故障恢复可增加整体系统的可用性, 为重载铁路改造升级打下良好的基础。

### 参考文献

- [1] 康熊, 宣言. 我国重载铁路技术发展趋势 [J]. 中国铁路, 2013 (6): 1-5.
- [2] 张友兵, 王建敏, 陈志强, 等. 自主化 CTCS-3 级列控车载设备的主要功能特点 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (2): 6-11.  
Zhang Youbing, Wang Jianmin, Chen Zhiqiang, et al. Main Functional Characteristics of CTCS-3 Train Control System On-Board Equipment with Intellectual Property Rights[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(2): 6-11.
- [3] 张友兵, 王建敏, 陈志强. ETCS-2 与 CTCS-3 在功能方面的差异性分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (6): 72-78.  
Zhang Youbing, Wang Jianmin, Chen Zhiqiang. Analysis of Functional Differences between ETCS-2 System and CTCS-3 System[J]. Railway

- Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(6): 72-78.
- [4] 王海忠, 韩恩索. 重载铁路采用移动闭塞的可行性分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14 (6): 8-11.  
Wang Haizhong, Han Ensuo. Feasibility Analysis of Adopting Movable Block in Heavy-Haul Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(6): 8-11.
- [5] 张舒黎, 石元兵, 王雍. 北斗短报文通信安全研究 [J]. 通信技术, 2019, 52 (11): 2776-2780.  
Zhang Shuli, Shi Yuanbing, Wang Yong. Communication Security of Beidou Short Messages[J]. Communications Technology, 2019, 52(11): 2776-2780.
- [6] 徐振华, 杨静. 基于北斗短报文的应急指挥系统的设计研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2020, 32 (16): 105-107.  
Xu Zhenhua, Yang Jing. Design of Emergency Command System Based on Beidou Short Message[J]. China Computer & Communication, 2020, 32(16): 105-107.
- [7] 梁楠, 高志军, 代洪卫. 北斗三号格式化短报文传输技术与推广应用 [J]. 中国自动识别技术, 2022 (3): 50-53.
- [8] 李昌, 李娟, 陈静雯. 基于北斗短报文的海上预警信息发布平台设计 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2022, 34 (9): 128-130.  
Li Chang, Li Juan, Chen Jingwen. Design of Marine Early Warning Information Release Platform Based on Beidou Short Message[J]. China Computer & Communication, 2022, 34(9): 128-130.
- [9] 苏耀伟, 曹晓宇, 史立柱. 基于北斗短报文的应用数据安全分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (1): 57-61.  
Su Yaowei, Cao Xiaoyu, Shi Lizhu. Safety Analysis of Application Data Based on Beidou Short Messages[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(1): 57-61.
- [10] 史立柱. 基于北斗的重载铁路列控系统新增功能测试方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (2): 54-59.  
Shi Lizhu. Test Method of New Functions of Heavy Haul Railway Train Control System Based on Beidou[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(2): 54-59.
- [11] 宋宗莹, 王文斌, 刘子扬, 等. 重载铁路运输大数据分析平台架构设计研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (11): 44-49.  
Song Zongying, Wang Wenbin, Liu Ziyang, et al. Design and Research on Architecture of Big Data Analytics Platform in Heavy-Haul Railway Transportation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 44-49.
- [12] 李雷, 余超. 复杂艰险山区铁路应急通信系统探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (2): 37-41, 48.  
Li Lei, Yu Chao. Discussion on Emergency Communication System of Railway in Complicated and Dangerous Mountainous Area[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 37-41, 48.
- [13] 李宝军. CTCS-3 级列控系统无线超时分析关键技术探索 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (5): 27-31.  
Li Baojun. Exploration on Key Technologies of Wireless Timeout Analysis of CTCS-3 Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 27-31.
- [14] 王梁, 谭金林, 孙晨红, 等. 基于天空地一体化监测的周界防范系统设计及应用示范 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (5): 32-38.  
Wang Liang, Tan Jinlin, Sun Chenhong, et al. Design and Application Demonstration of Perimeter Protection System Based on Space-Air-Ground Integrated Monitoring[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 32-38.

- [15] 刘天琦, 张浩, 焦名. 结合测速测距的卫星定位法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 17-20, 43.  
Liu Tianqi, Zhang Hao, Jiao Ming. Satellite Positioning Method in Combination with Speed and Distance Measurement[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 17-20, 43.
- [16] 何占元, 张艳辉. 朔黄铁路重载无线闭塞中心系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (4): 6-12, 18.  
He Zhanyuan, Zhang Yanhui. Radio Block Center System for Shuozhou-Huanghua Heavy Haul Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 6-12, 18.
- [17] 刘鸿飞. 适用于机车的列控系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (5): 21-26.  
Liu Hongfei. Research on Train Control System Applicable to Locomotives[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 21-26.
- [18] 李梅. 车-车通信与车-地通信信号系统方案可靠性分析对比 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (3): 64-68.  
Li Mei. Reliability Analysis and Comparison of Signaling System Schemes of Train Autonomous Circumambulate System and Communications Based Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(3): 64-68.
- [19] 韩兴邦. 基于北斗的重载铁路列控系统仿真测试系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (2): 60-66.  
Han Xingbang. Research on Simulation Testing System for Heavy Haul Railway Train Control System Based on Beidou[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(2): 60-66.
- [20] 蔡军. 重载铁路公专网车-地通信监测技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (2): 48-53.  
Cai Jun. Research on Vehicle-Ground Communication Monitoring Technology for Heavy Haul Railway Public and Private Networks[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(2): 48-53.

\*\*\*\*\*

(上接 41 页)

- [13] 李雪. 雷击导致轨旁信号设备故障原因分析及对策 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (7): 98-103.  
Li Xue. Fault Analysis and Solution of Tackside Signal Devices Caused by Lightning Strike[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7): 98-103.
- [14] 徐叶, 高彬, 李博, 等. 轨道电路设备雷电冲击传递特性试验研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 23-29.  
Xu Ye, Gao Bin, Li Bo, et al. Experimental Study on Lightning Impact Characteristics of Track Circuit Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 23-29.
- [15] 刘维国, 宿志国. 铁路信号机械室地网雷电暂态试验方法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (S1): 114-117.  
Liu Weiguo, Su Zhiguo. Research on lightning Transient Test Method for Grounding Grid of Signaling Equipment Room[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(S1): 114-117.

# GSM-R铁路数字移动通信基站设备可靠性的提升

洪 钰, 马海鑫

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200080)

**摘要:** 以既有 GSM-R 宏基站设备的架构特征和功能为研究对象, 从 RAMS 分析和现网工程测试来论证既有基站设备可以通过关键模块冗余的完善来提升单套基站设备的可靠性、可用性和可维护性, 从而降低在网基站退服发生的概率, 减少 GSM-R 基站单个模块故障对包括 CTCS-3 在内的铁路业务的影响, 降低对沿线基站设备模块故障维修时效性要求, 为 GSM-R 宏基站继续在网长期稳定运行奠定基础, 为铁路安全稳定运行提供支撑。

**关键词:** 冗余; 可靠性; 可用性; 可维护性

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0064-06

## Research on Reliability Enhancement of GSM-R Digital Mobile Communication Base Station Equipment

Hong Yu, Ma Haixin

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

**Abstract:** This paper takes the architecture features and functions of GSM-R Macro Site equipment in the existing network as the research object, and demonstrates, through RAMS analysis and engineering tests on the operating network, that the reliability, availability and maintainability of a single set of Base Transceiver Station (BTS) currently in use can be improved by enhancing the redundancy of key modules, so as to reduce the probability of the failures and out-of-service of base stations in the network. Reducing the impact of single-module failures of GSM-R base stations on railway services including CTCS-3, and lowering the maintenance timeliness requirements for BTS module failures along the line, both lay the foundation for the continuous, long-term and stable operation of GSM-R Macro Sites in the network, and provide a solid base for safe and stable railway operation.

**Keywords:** redundancy; reliability; availability; maintainability

收稿日期: 2023-10-08; 修回日期: 2024-04-11

第一作者: 洪钰 (1986—), 男, 高级工程师, 本科, 主要

研究方向: 通信工程, 邮箱: 18106562722@163.com.

### 1 GSM-R宏基站现状与基站可靠性增强研究的必要性

GSM-R 铁路数字移动通信基站子系统是国内

新建铁路线承载车地交互业务的通信系统，早期建设的 GSM-R 基站设备都是传统的宏基站，在网运行超过 10 年，基站模块故障率呈上升趋势，基站设备整机退出服务的现象发生概率也存在上升趋势。而根据欧洲铁路运营通信工业集团在 2019 年签署的一份联合声明承诺 GSM-R 至少支持到 2030 年，即 GSM-R 无线网络在网运行至少要到 2030 年。传统宏基站设备的架构为总线背板、插槽和功能模块，基站的关键功能模块包括核心控制模块、载频模块和合路器，在网运行的宏基站通用的配置为核心控制模块两块，载频模块至少两块，而基站关键功能模块合路器通常只配置一块。该模块故障将直接导致整个基站退出服务，即使在基站单点故障不会出现覆盖盲区的交织单网的场强冗余覆盖模式下，由于基站单点故障而引起的无线网络局部区域覆盖场强变换也会影响 GSM-R 无线网络所承载业务，特别是 CTCS-3 业务。因此，基于当前在网运行 GSM-R 无线基站设备的运行状态和技术生命周期规划，对在网运行的既有 GSM-R 无线网络设备，特别是基站设备，进行可靠性、可用性和可维护性提升，从而探讨研究延长既有基站设备持续稳定运行的生命周期势在必行。

## 2 GSM-R传统宏基站模块冗余功能分析

当前 GSM-R 铁路数字移动通信网络在网运行的宏基站至少配置核心控制模块和载频模块两块通用模块，任一单板故障时，另外一个模块将自动接管故障模块实现的功能，确保该基站设备仍能继续工作提供服务。但是作为基站设备中与无线小区相关的合路器模块包括发射（Duplexer Amplifier Multi Coupler, DUAMCO）和接收（Low Noise Amplifier, DULNA）两个功能，宏基站设备通常只配置一个模块。当此合路器出现硬件故障时，该基站对应的整个设备功能丢失，在该区段运行车辆存在因无线环境原因（无线覆盖、干扰、乒乓切、拥塞等）产生 CTCS-3 级列控业务超时降级风险。随着基站设备在网运行的时间延长，模块的故障率

升高，单个模块硬件故障影响业务的概率越来越大，沿线基站维护的时效性压力也越来越大。因此在网运行的 GSM-R 基站可靠性增强的研究势在必行，尤其是通常只配置单模块的合路器模块。

### 2.1 GSM-R传统宏基站合路器模块实现冗余功能的基础

GSM-R 铁路数字移动通信系统技术与设备是基于第二代公共移动通信系统技术和设备，增加了符合铁路相关系统需求和功能需求等系列规范定义的功能发展而来的。GSM-R 传统宏基站也是基于同时代的公共移动通信的基站设备，而公共移动通信基站设备的机柜一般都设置有多块合路器模块的插槽，如图 1 所示，既有宏基站设备具备支持双合路器模块配置进而实现铁路 GSM-R 宏基站合路器模块冗余的基础。

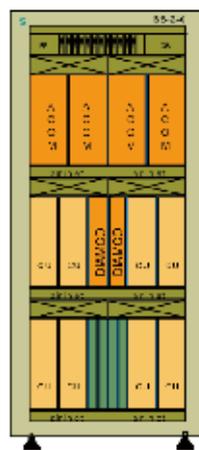


图1 GSM-R传统宏基站设备面板

Fig.1 Panel of traditional GSM-R Macro Site equipment

### 2.2 GSM-R基站关键模块的配置与基站可靠性的关系

根据 GSM 11.22(技术报告，版本 4.2.0 2000 年 5 月)，建议可靠性预测应用于设计评估，基于预测电子系统可靠性的模型，通过设备单元和不同配置的基站设备的平均无故障时间（Means Time Between Failure, MTBF）对 GSM-R 传统宏基站的可靠性预测和可用性分析，特别是对 GSM-R 基站的关键模块合路器冗余与不冗余配置对基站设备可靠性、可用性进行分析。

#### 2.2.1 宏基站每设备单元平均无故障时间

GSM-R 宏基站设备各个单元模块平均无故障

时间如表 1 所示。

表 1 宏基站各单元模块的平均无故障时间 (MTBF)  
Tab.1 Means Time Between Failure (MTBF) of modules for each unit of the Macro Site

No.	模块名称	MTBF@ 环境温度 25C°	
		年	小时
1	核心控制模块 (COBA)	30.6	268 056
2	合路器模块 (DUAMCO)	40	350 400
3	风扇 (FAN)	174.2	1 525 992
4	载频模块 (CU)	16.4	143 664
5	过压保护模块 (OVPT)	2 555	22 381 800
6	电源单元 (MSU)	563.2	4 933 632
7	告警收集模块 (ACTM)	78	683 280

基站设备可靠性方框图 (Reliability Block Diagram, RBD) 如图 2 所示, 主要用于分析基站的整体故障问题, 对整套系统故障没有影响的模块这里没有列出。

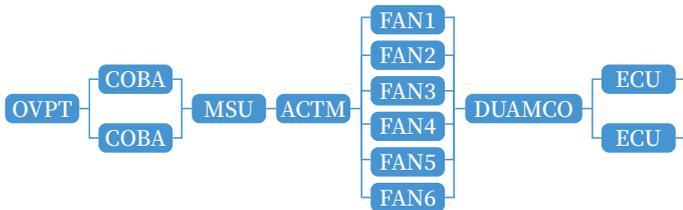


图 2 基站设备可靠性方框图 (RBD)

Fig.2 Reliability Block Diagram (RBD) of Base Transceiver Station

利用可靠性分析方法分析评估基站设备 (Base Transceiver Station, BTS) 退服时间。

### 2.2.2 GSM-R 基站核心控制模块与载频模块冗余配置的基站退服时间分析

故障平均恢复时间 (MTTR) 为 2 h 前提下, 在基站该配置条件下各类模块的 MTBF 和不可用时间, 也就是各类模块故障并导致该类模块所在基站设备退服的年平均时间为 5.49 min。

### 2.2.3 核心控制模块、载频模块和合路器冗余配置基站退服时间分析

GSM-R 宏基站设备合路器模块冗余配置的 RBD 如图 3 所示。

MTTR 为 2 h 前提下, 在基站该配置条件下各类模块的 MTBF 和不可用时间, 也就是各类模块故障并导致该类模块所在基站设备退服的年平均时间

为 2.49 min。

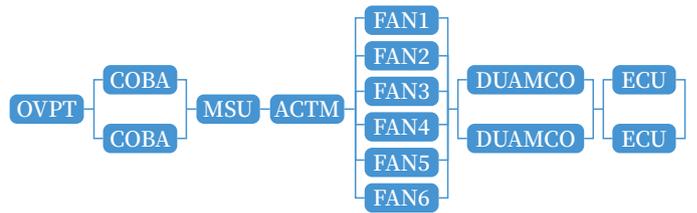


图 3 GSM-R 宏基站设备合路器模块冗余配置的 RBD

Fig.3 Reliability Block Diagram (RBD) of Base Transceiver Station

从以上可靠性预测和可用性分析, 在既有设备增加一块合路器模块实现基站关键模块核心控制模块, 载频单元模块和合路器模块的冗余配置后, 基站退服预测评估时间由既有配置下的每年 5.49 min, 降为每年 2.49 min, 基站设备基于 RAMS 体系评估的平均年退服时间减少, 一般为既有的 50%, 显著提升基站设备的可靠性。

### 2.3 GSM-R 宏基站关键模块冗余功能分析

传统的 GSM-R 宏基站设备小区级别模块典型配置如图 4 左侧所示, 一个合路器模块, 2 个载频模块, 任何一个载频模块故障, 该基站仍然能提供服务, 基站可承载业务容量 50% 的减损, 而合路器模块故障时, 该基站将发生退服现象, 无法提供服务。

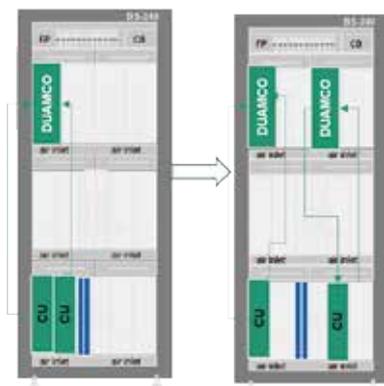


图 4 基站双合路器配置示意

Fig.4 Schematic diagram of the configuration of double combiners for base station

为实现基站合路器模块冗余功能, 需要在宏基站设备上新增一个合路器模块, 可共用该基站设备既有天馈线系统。如图 4 右侧所示, 新增合路器模块可以安装到基站设备第一层其他 3 个合路器插槽的任意一个插槽, 将原基站设备上的其中一个载频单元通过专用射频线与新增的合路器的对应接口相

连，并配置相关参数。

在以上配置下，如果一个载频模块或合路器模块故障，相连接的合路器和载频单元也不能正常工作，该基站承载的业务容量也将减少到原有的 50%，如图 5 左侧所示，在基站支持 TRX1+1 (Transceiver, TRX) 冗余功能机制下，可以在其中一个的合路器上配置 2 个载频模块 (如图 5 右侧所示)，一个载频模块属性配置为主用 (Providing Service)，另一个配置为备用 (Standby)，当主用载频模块故障时，备用载频模块将自动接管主用模块的业务，即一个载频模块的故障，不影响小区的正常工作和容量。

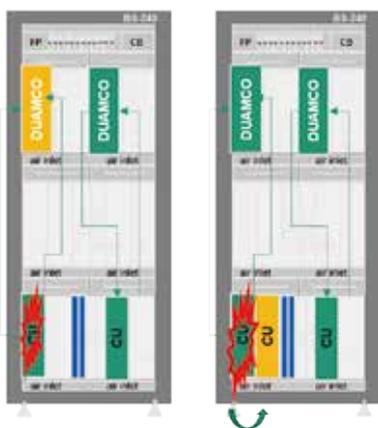


图5 基站载频单元故障倒换示意

Fig.5 Schematic diagram depicting the switching process between carrier-frequency units of the base station during faults

### 3 GSM-R基站合路器冗余功能的实现与验证

上海火车站由 GSM-R 铁路移动通信网络既有基站为宏基站，基站设备只配置了一块合路器模块，当合路器模块出现硬件故障时，该基站将退服，运行车辆在该区段因无线环境变化引起的（无线覆盖、干扰、乒乓切、拥塞等）的 CTCS-3 级列控业务超时降级的概率增加。

基于本文基站合路器冗余功能实现的探讨与分析，在上海火车站既有 GSM-R 基站设备上新增一个合路器模块，现网基站设备既有的载频模块分配在两个独立的合路器模块上，即该基站载频模块承载的业务由两块合路器模块来支撑。

#### 3.1 GSM-R基站合路器模块冗余功能验证基站的调整

利用上海火车站 GSM-R 既有基站对基站合

路器模块冗余功能的实现进行测试验证，首先要对基站设备上侧新增合路器的目标槽位的可用性进行核实，确定基站合路器目标槽位可用，然后将新增的 DUAMCO2:2 合路器 +HYBRID 扩展卡插入机柜相关的槽位，通过本地维护终端 (Local Maintenance Terminal)，LMT 修改基站合路器 DUVSWR 及 DULNA 配置。

#### 3.2 GSM-R基站合路器模块冗余功能验证测试

上海火车站 GSM-R 既有基站的合路器模块实现冗余配置后，首先对基站合路器模块冗余配置调整前后进行地面覆盖场强测试，覆盖场强电平基本没有变化，然后对合路器冗余配置后典型的故障场景对承载业务的影响进行验证测试，单个合路器模块故障，基站不会退服。

验证测试前完善基站配置，如下所示。

- 1) 两块合路器均只使用 1/2 跳线连接合路器 0 侧发端 (即每块合路器均只使用一半)，各连接二块载频。
- 2) 使用 LMT 登陆指定基站设备，创建配置相关数据。

验证测试典型场景，如下所示。

- 1) 锁闭槽位 0 的合路器功能单元 DUVSWR0, CU:0、CU:6 载频服务中断。广播控制信道 (Broadcast Control Channel, BCCH) 将由 CU:2 或 CU:3 载频模块接管，接管过程大概 20 s，由于 BCCH 所在的载波配置了负责小区用户接入信令消息传递的独立专用控制信道 (Standalone Dedicated Control Channel, SDCCH)，因此，接管过程期间小区不提供用户接入服务，待 BCCH 由 CU:2 或 CU:3 载频接管完成运行后，小区接入功能恢复正常，进行语音拨测验证。
- 2) 解锁槽位 0 合路器，基站恢复正常，BCCH 在 CU:2 或 CU:3 载频上运行，进行语音拨测验证。
- 3) 同样的步骤，锁闭槽位 1 合路器，BCCH 频点切换至 CU:0 或 CU:6 载频上，用户接入小区的功能恢复正常，进行语音拨测验证。
- 4) 解锁槽位 1 合路器，基站恢复正常，BCCH 在 CU:0 或 CU:6 载频上运行，语音呼叫正常。
- 5) 依次逐个锁闭 BCCH 频点对应 CU 载频模

块（模拟这个场景与基站单个合路器硬件故障的现象一致），BCCH 频点依次由其他 3 个载频模块支撑，每次新的载频模块接管完成，BCCH 信道正常工作后，进行语音拨测验证。

6) 功能验证完成后，闭锁 CU:6&CU:2&CU:3 载频模块，BCCH 频点切换至 CU:0 载频模块，解锁 CU:6&CU:2&CU:3 载频模块。（保证操作前、后 BCCH 频点都工作在 CU:0 模块上）

7) 锁闭通讯业务信道（Traffic Channel, TCH）频点对应的 CU 载频，TCH 频点会停止服务，但小区不会退服，可以继续提供服务。

现场测试验证结果如表 2 所示，证实了对既有宏基站通过对合路器模块冗余配置的实现，避免了单个合路器模块故障导致整个基站设备退服发生，在单个合路器模块故障或载频单元故障的场景下，基站设备仍然能继续提供业务承载服务。

表2 宏基站合路器冗余配置验证场景与结果统计

Tab.2 Verification scenarios and the statistical results of the redundant configuration of Macro Site's combiners

操作	合路器状态检查	BCCH 切换是否正常	拨打测试验证	基站是否退服
闭锁 DUAMCO:0	OK	OK	OK	否
闭锁 DUAMCO:1	OK	OK	OK	否
闭锁 CU:0	OK	OK	OK	否
闭锁 CU:6	OK	OK	OK	否
闭锁 CU:2	OK	OK	OK	否
闭锁 CU:3	OK	OK	OK	否

## 4 结论

本文以 GSM-R 宏基站设备的架构特征和功能为基础，从 RAMS 理论分析和实际工程实施与验证测试论证了通过基站关键模块冗余功能的增强与完善，可以显著提升铁路 GSM-R 现网既有宏基站设备的可靠性，降低基站退服发生概率，弱化 GSM-R 基站单个模块故障对包括 CTCS-3 在内的铁路业务的影响，减轻沿线基站设备模块故障维修时效性要求的压力，为 GSM-R 宏基站长期在网运行的稳定性提供坚实的依据。

## 参考文献

- [1] 张健, 朱啸豪, 王伟力. 高速铁路复杂线路区段 GSM-R 系统方案设计与网络优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (2): 42-48.  
Zhang Jian, Zhu Xiaohao, Wang Weili. Scheme Design and Network Optimization of GSM-R System in Complex Line Section of High Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 42-48.
- [2] 冯磊, 李雪, 许扬. 铁路 5G-R 与 GSM-R 基础设施共用共存工程建设方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (6): 44-49.  
Feng Lei, Li Xue, Xu Yang. 5G-R and GSM-R Infrastructure Sharing Project Scheme[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 44-49.
- [3] 刘盛尧, 费跃, 胡金涛. 苏州北铁路枢纽 GSM-R 系统网络规划的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (10): 22-29.  
Liu Shengyao, Fei Yue, Hu Jintao. Research on GSM-R System Network Planning of Suzhou North Railway Junction[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 22-29.
- [4] 艾武. 基站迁改后引起 GSM-R 直放站多径问题简析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 40-44.  
Ai Wu. Analysis of Multipath Problem of GSM-R Repeater Caused by Base Station Relocation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 40-44.
- [5] 刘威壮. 广湛高铁枢纽及交叉并线区段 GSM-R 网络规划研究 [J]. 中国铁路, 2021 (5): 131-136.  
Liu Weizhuang. Research on GSM-R Network Planning for Guangzhou-Zhanjiang HSR Terminal and Crossing and Shared Sections[J]. China Railway, 2021(5): 131-136.
- [6] 王伟力. 芜湖枢纽 GSM-R 覆盖方案设计 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 (8): 90-92.  
Wang Weili. Design of GSM-R Coverage Scheme in Wuhu Hub Region[J]. Railway Signalling &

- Communication, 2018, 54(8): 90-92.
- [7] 赵寅龙. GSM-R 线路交叉区域异常占用引起 CTCS-3 降级分析与优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 40-45.  
Zhao Yinlong. Analysis and Optimization of CTCS-3 Degradation Faults Caused by Abnormal Occupancy in GSM-R Line Crossing Area[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 40-45.
- [8] 欧阳朔. GSM-R 网络 BSC 设备热备份冗余方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (5): 48-51.  
Ouyang Shuo. Hot Backup Redundancy Solution of BSC Equipment in GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(5): 48-51.
- [9] 阚佳钰, 韩安平, 姜锡义, 等. 我国高速铁路通信信号设备服役状态趋势研究 [J]. 中国铁路, 2020 (9): 40-45.  
Kan Jiayu, Han Anping, Jiang Xiyi, et al. Trend Study on the Service Status of Communication and Signaling Equipment of High Speed Railway in China[J]. China Railway, 2020(9): 40-45.
- [10] 李红侠. 京张高速铁路智能化技术应用进展 [J]. 铁道标准设计, 2021, 65 (5): 158-161.  
Li Hongxia. Application Progress of Beijing-Zhangjiakou High-Speed Railway Intelligent Technology[J]. Railway Standard Design, 2021, 65(5): 158-161.
- [11] 赵留俊, 周建美. 铁路十字交叉区域 GSM-R 无线网络覆盖研究 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51 (10): 4-7.  
Zhao Liujun, Zhou Jianmei. Research of GSM-R Network Coverage Scheme for Railway Cross Region[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(10): 4-7.
- [12] 于佳亮, 于天泽, 程华. 关于 GSM 时钟同步标准及其影响 [J]. 电信工程技术与标准化, 2010, 23 (6): 61-64.  
Yu Jialiang, Yu Tianze, Cheng Hua. Study on GSM Clock Synchronization Standard & Its Influence[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2010, 23(6): 61-64.
- [13] 韩斌杰, 杜新颜, 张建斌. GSM 原理及其网络优化 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [14] 丁杰. 铁路枢纽地区 GSM-R 系统网络改造的探讨与研究 [J]. 上海铁道科技, 2017 (4): 73-75.
- [15] 阴同. 长大隧道 GSM-R 弱场解决方案 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (4): 84-86.  
Yin Tong. Solution of Weak Field Coverage of GSM-R System within Long-Distance Tunnel[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(4): 84-86.
- [16] 林思雨, 钟章队, 艾渤. GSM-R 无线通信网络指标评估体系研究 [J]. 铁道通信信号, 2010, 46 (9): 16-19.  
Lin Siyu, Zhong Zhangdui, Ai Bo. Evaluation Architecture of GSM-R Wireless Communication Network Indicators[J]. Railway Signalling & Communication, 2010, 46(9): 16-19.
- [17] 李兆宏. 对智能无线电监测的思考与研究 [J]. 中国无线电, 2012 (8): 57-59.
- [18] 袁廷瑞, 熊洁, 路晓彤, 等. 高速铁路长大隧道 GSM-R 网络冗余组网方案分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (1): 36-41.  
Yuan Tingrui, Xiong Jie, Lu Xiaotong, et al. Analysis of GSM-R Redundancy Networking Scheme for Long Tunnel of High Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(1): 36-41.
- [19] 江永超. 基于复杂网络理论的铁路网可靠性研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [20] 陈海波. 基于深度强化学习的超密集小基站网络资源分配算法研究 [D]. 济南: 山东大学, 2023.
- [21] 张丝颖. GSM-R 网络在铁路通信中的应用研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.
- [22] 丁杰. 分布式基站应用研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2015.

# CIR设备数据无线传输及智能分析系统研究

张孟<sup>1</sup>, 欧盛芬<sup>2</sup>

(1. 中国铁路呼和浩特局集团有限公司电务部, 呼和浩特 010057;

2. 湖南中车时代通信信号有限公司, 长沙 410000)

**摘要:** 旨在解决铁路行业中机车综合无线通信(CIR)设备数据下载和分析过程中存在的问题, 针对现有数据下载耗时长、人工分析困难等挑战, 提出一套CIR设备数据无线传输及智能分析系统的设计方案。当前CIR设备记录单元数据下载和分析仍然依赖人工操作, 存在时间滞后、效率低下的情况, 对铁路运输安全构成潜在风险。设计的系统架构分为车载采集设备和地面智能分析系统两部分, 通过现有的LMD系统进行通信连接。车载采集设备通过专用线缆与机车CIR设备记录单元监测接口连接, 数据通过无线网络传输至地面服务器。地面智能分析系统实现数据存储、智能分析、报表统计等功能, 基于大数据技术和分布式架构, 提高数据处理和分析效率。系统中的智能分析模块能够实现设备状态远程监测、智能分析、设备运用情况智能评分和标准化检测作业评分等功能。经过现场应用验证, 该系统可以缩短数据下载、分析时间, 减少人工成本, 提前预防CIR设备故障, 确保铁路运输安全和效率。

**关键词:** CIR设备; 数据无线传输; 智能分析; 设备质量评分; 标准作业评分

中图分类号: U285.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0070-08

## Research on Wireless Data Transmission and Intelligent Analysis System for CIR Equipment

Zhang Meng<sup>1</sup>, Ou Shengfen<sup>2</sup>

(1. Signaling & Communication Department, China Railway Hohhot Group Co., Ltd., Hohhot 010057, China)

(2. Hunan CRRC Times Signal & Communication Co., Ltd., Changsha 410000, China)

**Abstract:** This paper aims to solve the problems in the data download and analysis process of CIR equipment (Cab Integrated Radio) in the railway industry. In response to the current challenges of long data download time and difficult manual analysis, etc., a design scheme for wireless data transmission and intelligent analysis system for CIR equipment is proposed. The current CIR equipment still relies on manual operations for downloading and analyzing data from recording units, which poses potential risks to railway transportation safety due to time lag and low efficiency. The system architecture

收稿日期: 2023-12-29; 修回日期: 2024-05-07

基金项目: 湖南省重点研发计划项目(2023GK2052)

第一作者: 张孟(1979—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号工程领域, 邮箱: oushengfen@163.com.

designed in this article is divided into two parts: onboard acquisition equipment and trackside intelligent analysis system, which are connected through the existing LMD system for communication. The onboard data acquisition equipment is connected to the monitoring interface of the recording unit of locomotive CIR equipment through a dedicated cable, and the data is transmitted to the trackside server through wireless network. The trackside intelligent analysis system realizes functions such as data storage, intelligent analysis, and report statistics. Based on big data technology and distributed architecture, it improves the efficiency of data processing and analysis. The intelligent analysis module in the system can achieve functions such as remote monitoring of device status, intelligent analysis, intelligent evaluation of device usage, and standardized detection task evaluation. After on-site application verification, the system can shorten data download and analysis time, reduce labor costs, prevent CIR equipment failures in advance, and ensure railway transportation safety and efficiency.

**Keywords:** CIR equipment; wireless data transmission; intelligent analysis; equipment quality rating; standard task rating

## 1 概述

随着国内铁路的大量建设和铁路系统自动化水平的提高,铁路运输对铁路车载设备及其辅助系统的功能和要求也越来越高。机车综合无线通信(CIR)设备作为铁路运输的关键设备,其运用情况直接影响到铁路运输安全和效率。目前国内铁路行业各CIR设备厂家均配套对应的分析软件,能对CIR记录单元数据进行数据解析,无远程下载功能,仅具备少量异常提示信息,且自动化程度不高。CIR设备数据下载过程十分耗费时间和人力,主要表现为如下。

1) 每日只能等待列车入库后才能下载数据,数据时效性较差。

2) 下载列车数据前,需要提前协调上电,且必须派遣专人上车下载数据,增加人工成本。

目前,CIR设备记录单元日志主要全部靠人工进行下载和分析。随着运营车辆及设备的逐步增多,CIR设备日志下载和分析人员的工作量也在逐渐增加,CIR设备日志不能及时进行转储、分析,导致设备故障不能提前预防,成为铁路运输安全的一项重要隐患。铁路行业属于专业性强的行业,培养专业技术人员十分艰难且对其依赖性较高。CIR设备数据分析面临一系列挑战:不同CIR设备故障之间存在显著差异,要求维护分析人员熟悉各种故障类型,同时具备通信信号专业知识。这一过程需要长期

的一线工作经验。由于分析人员水平参差不齐,同类问题可能导致不同的分析结论。高效地数据统计和分析对确保行车安全至关重要。目前现有CIR设备的数据分析相对滞后,主要体现在以下几个方面。

1) 现有CIR数据分析环节涉及电务段分析人员、厂家现场支持和后端集成研发人员,导致问题从初步分析到最终确认所需时间较长。

2) 分析工作需要机车入库后下载日志,因此无法进行实时的事前分析。

3) 相关的周报、月报和年报等数据统计都依赖人工完成,工作量大,难以有效跟踪问题和追溯效果。

4) 数据依赖人工下载,不连续和离散性强,难以开展预防性维护。

目前呼和局CIR设备装车现有1445套,并且之后还会有增加的趋势。这对车载CIR设备的可靠性和稳定性提出了更严格的要求,同时也对快速、高效分析车载设备日志提出了更高要求;迫切需要开发一套具有CIR远程下载及智能分析功能的系统以解决现场作业压力。因此,本文设计CIR设备数据无线传输及智能分析系统,缩短人工下载、分析CIR设备日志的时间,减轻现场作业工作量;通过实时告警等功能,提前预防车载CIR设备故障的发生,确保铁路运输安全秩序。

## 2 系统架构

系统采用分布式数据采集与数据处理分离的形式，主要由车载采集设备和地面智能分析系统两部分组成，车载采集设备与地面智能分析系统间通过既有 LKJ 设备运行监测管理（LMD）系统进行通信。现有 LMD 系统已具备车载 LKJ、机车信号等设备的运行监测、报警监测、作业监测和版本监测等功能。系统网络拓扑如图 1 所示。

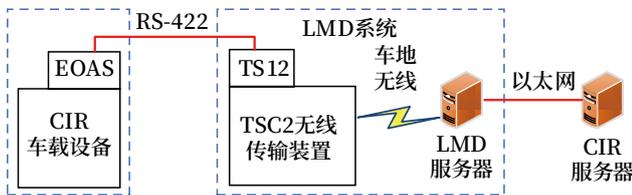


图1 系统网络拓扑  
Fig.1 System network topology

车载采集设备：TSC 设备通过专用线缆 RS-422 与机车 CIR 设备记录单元监测接口 EOAS 连接，实时采集记录单元监测接口输出的监测信息，并通过 GSM-R/2G/3G/4G 车地无线网络将监测信息传输至 LMD 地面服务器。采集接口符合电气隔离要求，采集装置故障，不影响既有 CIR 设备正常运行。

地面智能分析系统：主要为地面服务器中心平台，数据来源为 LMD 服务器，实现数据存储、监测数据智能分析、报表智能统计、数据综合展示和系统维护等功能。基于大数据技术，实现各类数据自动关联和智能分析，并将相关数据转发给客户端进行显示。同时，此系统中也可直接分析通过 U 盘下载的 CIR 记录单元数据，将既有的记录单元分析软件与实时监控系统进行整合。

CIR 设备数据无线传输及智能分析系统架构分为 3 层：分别是数据采集层、大数据平台层和应用平台层，如图 2 所示。

数据采集方面，系统使用数据接入程序和数据解析程序来收集车载 CIR 设备的运行数据和日志。在大数据平台层面，采用 Lambda 架构和 Hadoop 技术生态系统的相关技术。这些技术包括消息中间

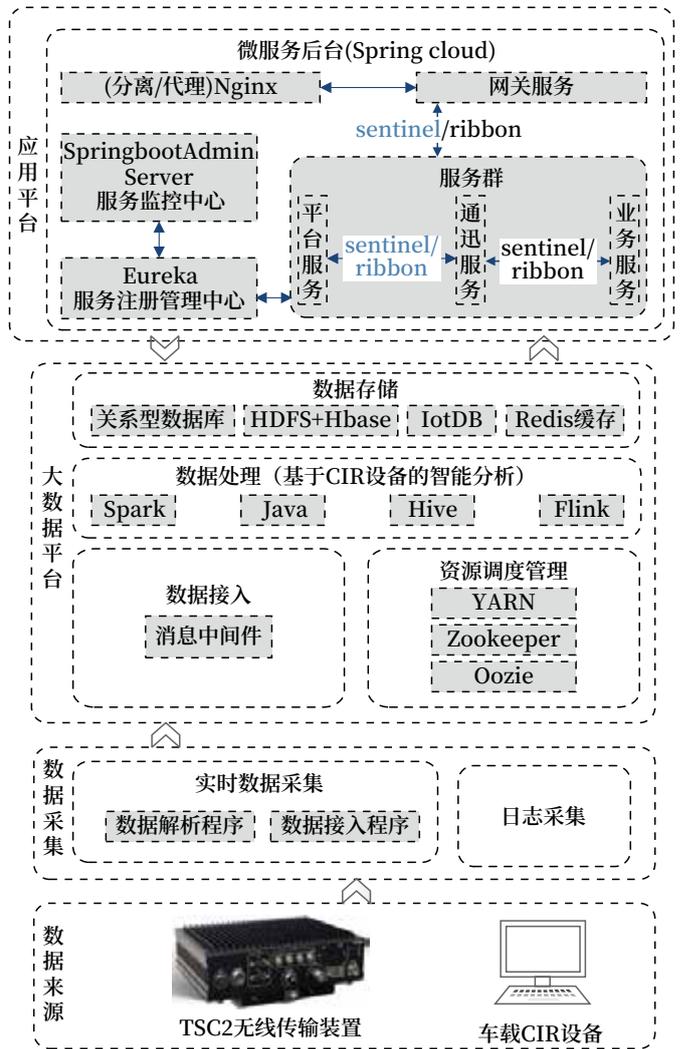


图2 系统架构示意  
Fig.2 Schematic diagram of system architecture

件，用于接收来自数据采集层的信息。在 CIR 大数据集群中，系统采用实时和离线处理技术，涉及到的主要组件包括 Spark、Spark Streaming、HBase、Hive、HDFS、Redis 缓存和关系型数据库等。系统应用平台采用基于 Spring Cloud 的微服务技术架构。微服务框架采用 Spring Cloud 技术，利用 Spring Boot 来监控服务的整体运行。对服务的注册和配置管理集群采用开源框架 Nacos。考虑到海量数据传输的需求，选择 Kafka 作为消息中间件。系统大数据平台和应用平台负责存储所有数据并进行智能分析，提供数据存储、数据解析、数据挖掘和智能分析等功能，并提供智能化的操作界面。

### 3 系统设计

#### 3.1 系统接口

系统接口设计包括结构设计、监测接口、录音控制方式、监测接口隔离和通信接口内容。

##### 1) 结构设计

记录转接单元前面板设有状态指示灯、监测接口和转储接口，如图 3 所示。

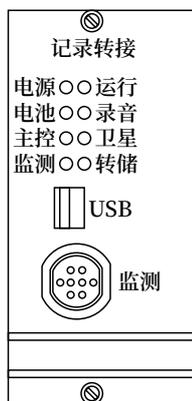


图3 记录转接单元前面板示意

Fig.3 Schematic diagram of the front panel of the recording transfer unit

##### 2) 监测接口

记录转接单元与 EOAS 车载设备之间通过异步串行接口进行通信，RS-422 电平，双工通信方式，数据传输速率 19 200 bit/s。数据基本格式为 1 个起始位，8 个数据位，1 个停止位，无奇偶检验，共 10 位。

##### 3) 录音控制方式

记录转接单元具有一个录音控制输入信号和一个录音控制输出信号，分别用于 CIR 主控单元控制记录转接单元和记录转接单元控制 EOAS 车载设备启动和停止录音。录音控制输入和输出均采用电平控制方式，录音控制信号为低电平（低于 0.3 V）时启动录音；录音控制信号为高电平或高阻时停止录音。

##### 4) 监测接口隔离

记录转接单元与 EOAS 车载设备之间的语音、数据通信和控制接口采用电气隔离，EOAS 车载设备发生故障时不应影响 CIR 的正常工作。

##### 5) 通信接口内容

通信接口内容包括运行区段和线路、调度通信及相关操作信息、CIR 工作状态信息、调度命令信息及相关操作、列车防护报警设备及相关操作信息、CIR 自检结果、450 MHz 列尾信息、无线车次号校核信息、CIR 查询当前 GRIS 信息、GPRS 活动性检测信息等。

#### 3.2 功能设计与实现

系统从 CIR 设备运维工作的现状与智能分析需求出发，实现缩短人工数据下载时间、分析数据的时间，减轻现场作业工作量和通过实时告警等功能，提前预防车载 CIR 设备故障的发生。

##### 3.2.1 设备状态远程监测

通过 LMD 系统接入 CIR 设备可远程实时监控 CIR 设备运行状态、对 CIR 设备运行中故障信息进行提前预警以及远程实时下载 CIR 设备运行记录数据。远程实时监测内容包括列车状态数据、列车位置信息、CIR 工作模式、网络注册 /KLW 连接状态、GSM-R/GPRS 场强、线路区间 / 运行时速、客列尾连接状态、客列尾风压数据和司机查询操作等，远程异常报警包括 CIR 掉线、CIR 网络状态异常、CIR 工作状态异常、客列尾风压异常、客列尾电压异常和排风制动警示等。CIR 设备软件版本号监测与校核，系统根据预设版本号与机车实际版本号进行校核，若版本不一致，则在系统中进行错误告警提示。设备状态远程监测界面如图 4 所示。

##### 3.2.2 智能分析

智能分析的主要处理流程如下。

- 1) 数据获取：远程从 CIR 记录单元中提取数据。
- 2) 数据分析：对已获取的数据进行智能化分析，分析内容包括设备运行质量、作业质量分析。
- 3) 数据存储：已分析后的数据进行本地化存储。
- 4) 数据展示：智能分析后的数据进行交互友好的显示。

通过 CIR 智能分析软件对车载 CIR 数据完成自动分析，可对分析数据进行关键信息的提取并生成报表。统计分析自动化，能够灵活按照设定的时间段、故障分类，完成分类统计对比等功能。智能分析界面如图 5 所示。



图4 CIR设备远程监测示意  
Fig.4 Schematic diagram of remote monitoring for CIR equipment



图5 智能分析界面示意  
Fig.5 Schematic diagram of intelligent analysis interface

数据分析完成后，按照智能分析要求，自动生成各类统计报表，通过报表可详细查看每项内容信息。同时，此报表可直接导出成 EXCEL 格式文件。智能分析报表界面如图 6 所示。

### 3.2.3 CIR设备运用情况智能评分

系统针对 CIR 设备运用情况进行智能评分，主要评分内容如下。

- 1) MMI 单元、LBJ 单元、450 M 单元、语音模块、数据模块和 TAX 箱等通信情况。
- 2) 活动性检测情况。
- 3) 卫星定位情况。
- 4) GSM-R 语音模块和数据模块上网情况。
- 5) 车次号和机车号注册、注销情况。
- 6) 450M 和 GSM-R 通话情况。

### 7) 进路预告接收情况。

系统对数据解析后的各项设备业务数据、业务操作进行判断后给出结果并进行评分，整个业务类型项目为百分制，均分到每一项。运行情况评分异常项判断原理如图 7 所示。

### 3.2.4 标准化检测作业智能评分

根据现场库检运用情况，目前库检均使用固定车次号，如 11111—88888，在进行数据分析时，自动判断从设置该车次号开始到注销该车次号结束，认为是一次完整库检过程。一次完整库检过程包括：自检、GPRS 数据、450 M 数据、450 MHz 同频通话、450 MHz 异频通话、GSM-R 通话、LBJ 出 / 入库检测和客列尾检测（列尾 ID 为 99999X，风压查询、排风、消号）。

序号	名称/内容	图标	日期	2023-10-20
1	机车号 (0231)	30300123	机车号	CIR设备 车号0231
2	司机姓名	张三	司机姓名	CIR设备 司机姓名
3	检测时间	2023-10-20 10:30:00	检测时间	CIR设备 检测时间
4	检测地点	北京	检测地点	CIR设备 检测地点
5	检测项目	语音、数据、定位	检测项目	CIR设备 检测项目
6	检测结果	通过	检测结果	CIR设备 检测结果
7	异常项	无	异常项	CIR设备 异常项
8	配置项	正常	配置项	CIR设备 配置项
9	评分	100	评分	CIR设备 评分
10	备注	本次检测一切正常	备注	CIR设备 备注

图6 智能分析报表界面示意

Fig.6 Schematic diagram of intelligent analysis report interface

按列表方式显示每个库检项检测结果，可直观地观察到已完成项目、失败项目、未检测项以及未配置项，双击某一项列出详细的库检操作过程，按照检测结果对此次库检过程给出评分，每项均需要人工复核。对标准化检测作业内容单独进行显示，并根据作业情况进行评分。使用特定的车次号，从

注册到注销为一个完整的检测过程，根据此时间段内的操作以及设备的响应情况，进行标准化作业评分。如图8所示，系统可直观地观察到已完成项目、失败项目、未检测项以及未配置项，双击某一项列出详细的库检操作过程，按照检测结果对此次库检过程给出评分，每项均需要人工复核。默认进行全功能测试，可通过人工设置检测项。

### 4 系统应用

通过现场应用与验证，CIR设备数据无线传输及智能分析系统实现缩短人工下载、分析CIR设备日志的时间，减轻现场作业工作量，通过实时告警，智能分析、设备运用情况智能评分和标准化检测作业评分等功能，提前预防车载CIR设备故障的发生，确保铁路运输安全秩序。经过现场验证，系统应用达到的主要效果如下。

1) 现有机车安装CIR设备1445套。CIR设备日志无线传输完成后，无需配置人员专门去机车上拷贝数据，可极大减少人工成本。

序号	异常信息名称	异常判断规则
1	MMI-1查询综合信息无返回	根据是否存在MMI-1发送的信息，判断MMI-1正常已连接，后续再判断MMI-1连续6次发送查询综合信息，无综合信息的返回信息。
2	MMI-2查询综合信息无返回	同上
3	MMI-1连接错误	根据是否存在MMI-1发送的信息，判断MMI-1正常已连接，再判断2分钟内无MMI-1发送的任何信息，则判断异常。（开关机和复位时间除外）
4	MMI-2连接错误	同上
5	450M连续异常	判断2分钟内无450M单元(源端口05-H)发送的任何信息，则判断异常。（开关机和复位时间除外）
6	TAX/DMS连接异常	先判断存在TAX/DMS信息，再判断3分钟内无TAX/DMS信息，则判断异常。（开关机和复位时间除外）
7	LBII连接异常	先判断存在LBII信息（源端口13H），再判断下列情况，发生一种则判断为连接异常： A. MMI查询LBII状态异常：存在连续10次（时间大于100秒）MMI发送的查询LBII状态，但是无LBII返回的状态信息。 B. LBII异常：连续2分钟无LBII发送的任何信息。 若中间存在开关机或者复位时，需重新进行计数/计时，故障开始和结束时间信息也需重新计算。
8	活动性检测失败	连续3次发送活动性检测信息，均未收到应答信息，并且1分钟内存在IP为0的情况。
9	450M主呼异常	MMI连续发送按键呼叫(450MHz)操作，大于6次，无450M单元反馈呼叫确认信息，则认为出现一次异常。
10	语音模块SIM卡异常	通过语音AT命令检测ERROR 10（无SIM卡）。
11	数据模块SIM卡异常	通过数据AT命令检测ERROR 10。
12	卫星定位异常	1) 开机或复位后3分钟没有GPS定位信息，直至恢复，认为卫星定位单元异常。 2) GPS定位信息中信息状态字段（41H-位置信息可用，56H-位置信息不可用）为51H持续时间超过10分钟，直至恢复，则认为卫星定位异常一次。
13	监控转非监控	TAX路信息（0600H）中存在监控转非监控，记录转非监控时间段，仅记录提示。
14	语音/数据小小区位置不一致	综合信息中无IP地址时，AT命令信息中数据和语音模块的位置ID不一致，则认为存在一次位置不一致异常。
15	语音/数据场强异常	通过综合信息判断，在数据模块没有获取IP时，如果数据和语音模块的场强差小于2级并且持续时间大于1分钟，认为一次语音和数据场强异常。
16	场强低于-97dBm	通过AT命令信息中CSQ，如果数据模块没有IP地址时，场强信号小于1级，或者语音信号小于1级认为场强低于-97dBm，直至场强信号大于1级，场强恢复正常。
17	车次号注册失败	记录信息中提示车次号注册或注销失败，并且次数 >= 4，记录一次异常。
18	机车号注册失败	记录信息中提示机车号注册或注销失败，并且次数 >= 4，记录一次异常。
19	参数配置错误	在版本号比对的基础上增加常用参数对比功能（主备用GROS、归属GRIS、APN）增强型标准型尾、450MHz尾部功能开启、GPRS活动性检测开启、调整若连续两条的时间差大于4秒，并且开始时间前70秒内存在关电源信息，或者时间差大于2分钟，则认为此时间段为断由关机。
20	关机	若连续两条的时间差大于4秒，排查关机情况的，则为关机。
21	复位	若连续两条的时间差大于4秒，排查关机情况的，则为复位。
22	数据模块通信异常	只有查询的AT命令，无返回信息
23	语音模块通信异常	只有查询的AT命令，无返回信息
24	数据模块复位	存在数据模块复位，复位原因存在如下两种情况。 POP数据失败引起的模块复位：前1分钟内的综合信息中IP地址一直为0。 若存在IP地址，则为活动性检测失败引起的数据模块复位。 记录时间点，查询时显示数据模块复位前后3分钟的活动性检测，数据模块AT命令和综合信息内容。

图7 设备运行情况评分异常项判断原理

Fig.7 Schematic diagram for identifying anomalies for rating equipment operation

序号	开始时间	结束时间	车次号	机车号	司机	GPRS 数据	450M 数据	450MH 数据传输	450MH 数据传输	GSM-R 数据	LBJ 数据	司机 评价	评价 人员
1	2023-04-10 13:25:00	2023-04-10 13:50:00	11111	123000123	张三	正常	正常	正常	正常	正常	正常	70	作业 员1
2	2023-04-10 15:10:00	2023-04-10 15:40:00	11111	12300456	李四	正常	正常	正常	正常	正常	正常	100	作业 员2

图8 标准化作业评分结果示意  
Fig.8 Schematic diagram of rating results of standardized tasks

2) 系统自动汇总数据记录, 自动完成数据分析、故障分析, 故障统计和报告报表的功能, 可极大减少人工成本。

3) 系统缩短人工分析数据的时间, 能在第一时间发现 CIR 设备的问题, 提高列车运输安全及效率。

## 5 结论

在铁路行业, CIR 设备作为关键设备, 其运用情况直接影响铁路运输的安全和效率。然而, 传统的数据下载和分析过程存在诸多挑战, 如耗时长、依赖人工操作等, 这些问题威胁着铁路运输的安全性。系统架构方面, 本文设计了一个分布式的数据采集与处理系统, 包括车载采集设备和地面智能分析系统两部分。通过专用线缆与机车 CIR 设备记录单元监测接口连接, 车载采集设备实现数据实时采集并通过无线网络传输至地面服务器。地面智能分析系统结合大数据技术, 实现数据存储、智能分析和报表统计等功能, 提高数据处理效率。

系统的核心功能包括设备状态远程监测、智能数据分析、设备运用情况智能评分和标准化检测作业评分等。经过实地验证, 取得一系列良好效果: 缩短了数据下载和分析时间、降低了人工成本、提前预防了 CIR 设备故障的发生, 从而有效保障了铁路运输的安全秩序和高效性。综上所述, 本文提出的 CIR 设备数据无线传输及智能分析系统方案, 为铁路行业带来显著的改进, 通过技术手段解决了传统数据处理方式存在的问题, 为铁路运输的安全性和效率性提供有效保障。

### 参考文献

[1] 王远波. 机车综合无线通信设备在无线网络安全监测中的应用 [J]. 中国安全科学学报,

2021, 31 (S1): 109-113.

[2] 颌康, 刘畅, 杨居丰, 等. 基于 GSM-R 的 CIR 动态线路数据传输可行性方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (8): 46-49, 54.

Xie Kang, Liu Chang, Yang Jufeng, et al. Feasibility Study on CIR's Dynamic Line Data Transmission over GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(8): 46-49, 54.

[3] 吴宇. 特殊业务动车组 CIR 收不到进路预告的典型故障分析 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (3): 68-71, 75.

Wu Yu. Typical Fault Analysis of Special Service EMU CIR Not Receiving Route Advance Notice[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(3): 68-71, 75.

[4] 吴宇, 刘渭滨. CIR 设备 GIS 数据远程升级系统研发 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 (8): 74-77.

Wu Yu, Liu Weibin. R & D of Remote GIS Data Upgrading System of Cab Integrated Radio Communication Equipment[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(8): 74-77.

[5] 李强. 机车综合无线通信设备 (CIR) 的运用与维护 [J]. 信息记录材料, 2017, 18 (12): 169-170.

[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.

[7] 吴宇. 基于数据挖掘的 CIR 设备运用质量分析 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (8): 82-84, 87.

Wu Yu. Quality Analysis of CIR Equipment Based on Data Mining[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(8): 82-84, 87.

[8] 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.

- [9] 王敏. GSM-R 数据通信业务解析 [J]. 内蒙古科技与经济, 2016 (24): 74-75.
- [10] 张志成, 赵文. 简析机车综合无线通信设备的应用及维护 [J]. 科技风, 2016 (20): 62.
- [11] 赵耀, 冯敬然, 周敏. 物联网技术在智能铁路客站的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 44-49.  
Zhao Yao, Feng Jingran, Zhou Min. Application of IoT Technology in Intelligent Railway Passenger Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 44-49.
- [12] 罗浩, 胡嗣钦. 信息化车载产品智能运维系统应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (5): 34-37.  
Luo Hao, Hu Siqin. Research and Application of Intelligent Operation and Maintenance System for Information Vehicle Products[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 34-37.
- [13] 范楷, 张淼, 滕达, 等. 基于北斗卫星的列车完整性检查技术方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 23-27.  
Fan Kai, Zhang Miao, Teng Da, et al. Research on Technical Scheme of Train Integrity Inspection Based on Beidou Satellite[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 23-27.
- [14] 李俊鹏, 石璧洲. 基于无线通信技术的车站站台地标显示管理系统 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 51-53, 101.  
Li Junpeng, Shi Bizhou. Station Platform Landmark Display System Based on Wireless Communication Technology[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 51-53, 101.
- [15] 陈苏, 赵晟. 新一代铁路通信系统演进探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 45-50.  
Chen Su, Zhao Sheng. Evolution of New Generation Railway Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 45-50.
- [16] 董玉圻. 基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 33-39.  
Dong Yuqi. Transmission Delay Control Method of Railway Communication Networks Based on Neural Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 33-39.
- [17] 李童瑶, 王啸阳. 铁路无线通信系统数据加密策略 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (2): 58-61.  
Li Tongyao, Wang Xiaoyang. Data Encryption Strategy of Railway Wireless Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 58-61.
- [18] 王锐. 机车综合无线通信设备功能号注册问题简析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (7): 55-58.  
Wang Rui. Analysis of Registration of CIR Function Number[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7): 55-58.
- [19] 展鑫, 孙颖. 列控系统车-地无线通信协议测试研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (10): 30-36.  
Zhan Xin, Sun Ying. Research on Testing and Implementation of Radio Communication Protocol for High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 30-36.
- [20] 卫磊. 叙毕铁路 GSM-R 系统干扰排查案例分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (11): 60-65.  
Wei Lei. Case Analysis of Interference Investigation of GSM-R System in Xuyong-Bijie Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 60-65.

# 基于全自动运行系统下自动跳跃功能设计与实现

傅 棣

(卡斯柯信号有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 在城市轨道交通全自动运行系统中, 由于制动故障时或轨道条件恶劣等特殊情况下, 列车进站不能对标停车, 导致无法开门, 维护人员不能登车处理故障。通过站内自动跳跃功能, 控制列车进行短距离的移动, 以使列车对标开门, 方便维护人员进行故障处理。对以上场景的自动跳跃功能进行设计, 针对不同的故障场景, 分别使用 Bangbang 控制和轻级制动功能, 并且在全自动运行系统项目上得到测试及使用, 停车精度满足 ATO 站台精确停车的指标要求, 提升故障场景下的处理能力。

**关键词:** 自动跳跃功能; ATO 控制策略; Bangbang 控制; 轻级制动; 全自动运行系统

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0078-06

## Design and Implementation of Generic Jog Based on Fully Automatic Operation System

Fu Di

(CASCO Signal Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** In the Fully Automatic Operation system of urban rail transit, due to braking failure or poor track conditions and other special circumstances, the train can not stop in the designated position as marked by the stop sign when entering the station, resulting in failure to open the doors, and maintenance personnel can not board the train to deal with the fault. Through the Generic Jog function in the station, the train is controlled to move a short distance, enabling the train doors to open when the train is aligned with the position of the stop sign. This facilitates maintenance personnel in handling faults. In this paper, the Generic Jog function for the above scenarios is designed, Bang-Bang control and Light Brake Demand functions are respectively used for different fault scenarios, and the fully automatic operation system project has been tested and used. The accuracy of train stopping meets the index requirements of ATO platform accurate stopping, which improves the processing ability under fault scenarios.

**Keywords:** Generic Jog; control strategy of ATO; Bang-Bang control; Light Brake Demand; FAO

收稿日期: 2023-09-08; 修回日期: 2024-04-09

基金项目: 卡斯柯信号有限公司应用工程项目 (A5.A0116310)

作者简介: 傅棣 (1991—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通线路的信号系统的列车自动控制, 邮箱: fudi@casco.com.cn.

城市轨道交通对信号系统 ATO 站台精确停车的指标要求：停车精度为  $\pm 0.5\text{ m}$  时，应保证列车停车在该停车精度范围内的概率为 99.999 8%，列车停在停车精度范围内时，才允许打开车门及站台门，停车误差超过停车精度范围 ( $\pm 0.5\text{ m}$ ) 时，不允许打开车门及站台门。

指标要求中有 0.000 2% 概率为停车误差超过  $\pm 0.5\text{ m}$  的停车精度范围，导致车门及站台门不能开启。在传统 CBTC 项目中，列车上有驾驶员可以通过有人驾驶进行对标开门。全自动运行系统由于自动化等级高，信号系统拥有列车上的驾驶员的职责，当列车无法停准时，需要信号系统执行对标开门的工作，保证列车可以对准停车标并开门。方便站台值班人员上车处理故障。本文针对在这种特殊场景下的站内自动跳跃功能，通过信号控制列车进行对标的设计与实现。

## 1 自动跳跃功能的使用场景

正常的控制列车运行模型主要有信号的采集单元、计算单元、输出单元和车辆牵引制动的控制单元、执行单元。结构如图 1 所示。信号通过滑模控制和 PI 控制策略通过加速度控制列车，列车将加速度转换成为力作用在车轮的牵引电机和制动缸上。信号和车辆进行配合，保证列车在车站内对标停准。

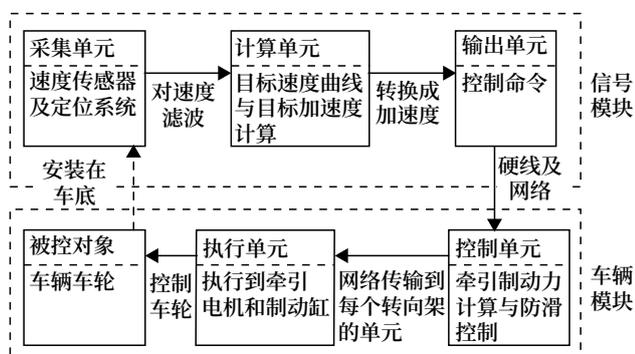


图1 ATO控车设备的结构

Fig.1 Structure of ATO train control equipment

信号和车辆之间配合差或者故障时，列车无法以 ATO 模式在车站停准。经过多条地铁线路对数

据分析，总结下来分为两种场景。

1) 列车定位、测速的精准性：列车进站对标停车时，信号系统发送给车辆的牵引 / 制动指令是根据列车距站台对标点的距离及当时的速度不断调整的，当车轮空转打滑、速度测量不精准时，信号系统计算的位移与实际位移的偏差过大，系统将根据当前位置计算的停站距离与列车速度，发送牵引 / 制动指令控制列车停车，会导致信号系统提前或滞后输出相应的制动命令，造成列车停车精度大于  $\pm 0.5\text{ m}$ 。

2) 车辆牵引 / 制动系统的跟随性：列车进站过程中，车辆牵引 / 制动系统未准确响应信号系统的指令，导致制动响应延时长，制动力不稳定，造成列车停车精度大于  $\pm 0.5\text{ m}$ 。

在这样的场景下使用正常的控车策略无法满足对标需求，需要使用自动跳跃功能来满足列车对位。

## 2 建立自动跳跃功能模型

针对两种不同的场景建立特定的 ATO 控制模型。

模型一：当列车定位、测速的精准性变差时，传统的 ATO 控制模型无法实现快速跟随的控制效果，为了实现跟随控制效果。需要采用一种快速响应的控制算法，综合考量下采用 Bangbang 控制。控制策略对比如图 2 所示。

在随动系统控制中，Bangbang 控制能够对目标参数的变化具有较强的抗干扰和适应能力。Bangbang 控制对系统具有很强的控制力，极大提高系统的快速反应特性以及控制精确性。系统的控制被 Bangbang 控制器维持在极限值上，而且不断从一个极限值到另一个极限值进行切换，构成一种极限控制。作为本质上的最优控制，Bangbang 控制在允许的控制范围内，确保系统能够用最短的时间从一个状态切换到另一个状态，达到系统状态的最优切换。

为了使列车加速度快速跟踪目标加速度，当两者偏差较大时，使用 Bangbang 控制调节列车加速度，逻辑方法如图 3 所示。

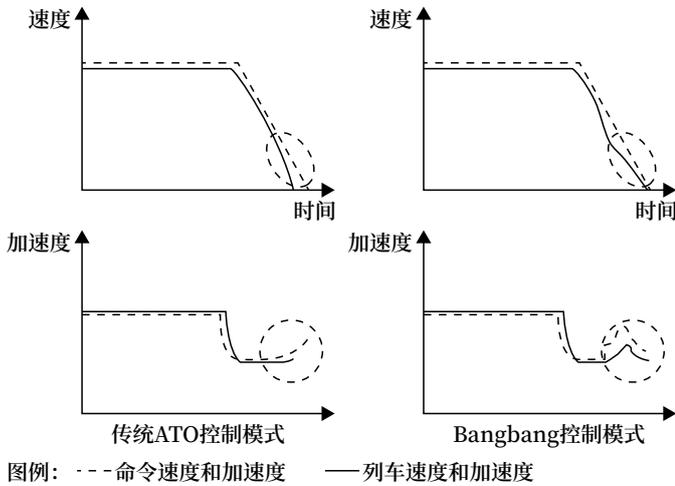


图2 控制策略的对比  
Fig.2 Comparison of control strategies

$E = A - A_0$	
IF $ E  < E_m$	Then $A_1 = A_0$
IF $ E  \geq E_m, A > A_0$	Then $A_1 = A_0 - 0.3 \text{ m/s}^2$
IF $ E  \geq E_m, A < A_0$	Then $A_1 = A_0 + 0.3 \text{ m/s}^2$

图3 Bangbang控制调节逻辑  
Fig.3 Bangbang controls regulatory logic

其中  $E_m$  为加速度阈值，当实际加速度超过  $E_m$  时，引入 Bangbang 控制逻辑进行加速度调整，根据车辆参数设定  $E_m = 0.2 \text{ m/s}^2$ ； $A$  为列车实际施加的制动加速度； $A_0$  为 ATO 计算的目标制动加速度； $A_1$  为引入 Bangbang 控制后的目标制动加速度值。

当实际制动加速度和目标加速度的偏差值小于  $0.2 \text{ m/s}^2$ ，列车的制动指令按照正常 ATO 策略控车；

当实际制动加速度和目标加速度的偏差值大于  $0.2 \text{ m/s}^2$ ，且实际制动加速度大于目标加速度时，列车的制动指令在正常 ATO 策略控车基础上加入 Bangbang 策略，输出比正常值小  $0.3 \text{ m/s}^2$  的加速度；

当实际制动加速度和目标加速度的偏差值大于  $0.2 \text{ m/s}^2$ ，且实际制动加速度小于目标加速度时，列车的制动指令在正常 ATO 策略控车基础上加入 Bangbang 策略，输出比正常值大  $0.3 \text{ m/s}^2$  的加速度；具体  $A_0$  值可根据车辆的性能现场进行调整。

模型二：车辆牵引 / 制动系统的跟随性。有些车辆要求在牵引和制动之间有最小的转换时间。通

常转换时间至少  $0.5 \text{ s}$ 。即在施加制动的过程中，不会立即产生制动力，需要用  $0.5 \text{ s}$  激活制动力来保证牵引制动指令不会出现冲突。这种延时性对于站内跳跃功能中使列车极短距离移动是不利的，需要增加轻级制动（Light Brake Demand）来保持制动力。

轻级制动是一个额外的制动器，通过布尔量在车辆硬线接口或网络接口进行传输，在列车移动极短的距离时输出稳定持续的制动力。持续的输出轻级制动解决了响应延时长和制动不稳定的问题。

下面分析增加控制轻级制动对列车的影响。

### 1) 列车启动时的影响

正常情况列车启动加速度指令应大于驻车制动时，驻车制动力退出后列车开始移动，这种情况下，列车速度增加很快。若让车移动更短的距离，必须使用轻级制动来减小启动加速度。例如：当驻车制动加速度是  $0.3 \text{ m/s}^2$ ，启动加速度指令为  $0.4 \text{ m/s}^2$  时，会缓解掉列车的驻车制动加速度，车辆实际施加的加速度为  $0.4 \text{ m/s}^2$ 。使用带有轻级制动策略时，设定轻级制动加速度为  $0.3 \text{ m/s}^2$ ，当启动加速度指令为  $0.4 \text{ m/s}^2$  时，车辆实际施加的加速度为  $0.4 - 0.3 = 0.1 \text{ m/s}^2$ 。启动加速度减小可以让车行驶更短的距离。

### 2) 列车停车时的影响

消除了牵引和制动之间的转换时间，让车更早的进入制动状态。轻级制动和牵引指令或轻级制动和制动指令可以同时控制，当制动能力弱时，通过用制动指令和轻级制动相互叠加输出相匹配的制动力；当制动能力正常时，仅轻级制动输出制动力可以将列车正确停车；当制动能力强时，通过用牵引指令和轻级制动相互抵消输出相匹配制动力，这时的牵引指令需要小于轻级制动输出的制动力。

站内自动跳跃功能使用两种方案，相互配合，可以克服列车定位、测速的精准性差和车辆牵引 / 制动系统的跟随性差的问题。

## 3 现场功能测试

以某城市的地铁线路为例，现场模拟欠标

2.5 m、0.8 m 的两种场景启动自动跳跃功能的测试。测试情况如下。

1) 欠标 2.5 m 时, 由于移动距离不需要施加轻级制动, 采用方案 1。

方案 1 使用 Bangbang 控制, 让车辆制动力快速响应, 达到对标停车的效果, 如图 4 所示。

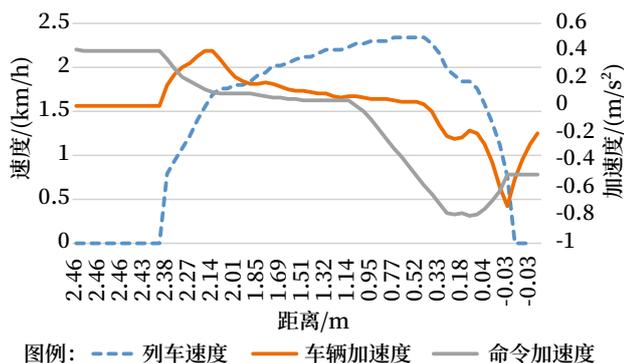


图4 欠标2.5 m的记录

Fig.4 Record of train stopping 2.5 m from the stop sign

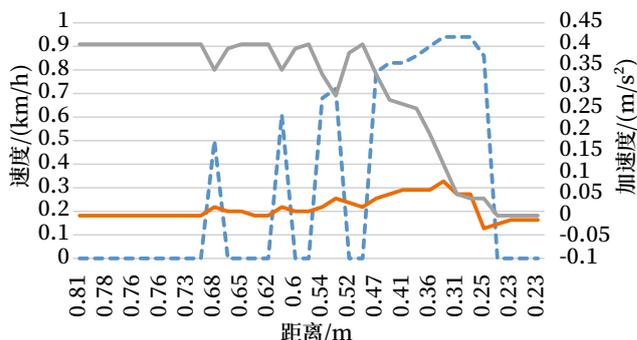
列车在距离停车标 1 m 左右时施加制动。当 0.8 m 时, 车辆加速度无法跟随命令加速度, 加速度阈值超过  $0.2 \text{ m/s}^2$ , 自动跳跃功能激活使用 Bangbang 控制策略, 提高命令加速度, 使运行曲线能够快速达到目标值附近, 使用 Bangbang 控制以最快的速度跟踪目标值, 控制车辆快速停车, 最终列车距离停车标 0.03 m 精确停车。

2) 欠标 0.8 m 时, 移动距离短, 需要施加轻级制动, 采用方案 2。

由于停车位置距离停车点只有 0.8 m, 自动跳跃功能激活了轻级制动。当撤销牵引命令时, 列车没有牵引和制动之间的转换, 快速进入制动状态, 如图 5 所示。

列车启动时, 当启动加速度指令为  $0.4 \text{ m/s}^2$  时, 使用了轻级制动后, 列车实际加速度为  $0.05 \text{ m/s}^2$ 。列车停车时, 列车消除了牵引和制动之间的转换时间。列车直接进入制动状态, 最终列车距离停车标 0.23 m 精确停车。

现场进行多次测试自动跳跃功能, 对停车精度进行统计, 得出以下对标的测试结果, 如图 6 所示。



图例: --- 列车速度 — 车辆加速度 — 命令加速度

图5 欠标0.8 m的记录

Fig.5 Record of train stopping 0.8 m from the stop sign

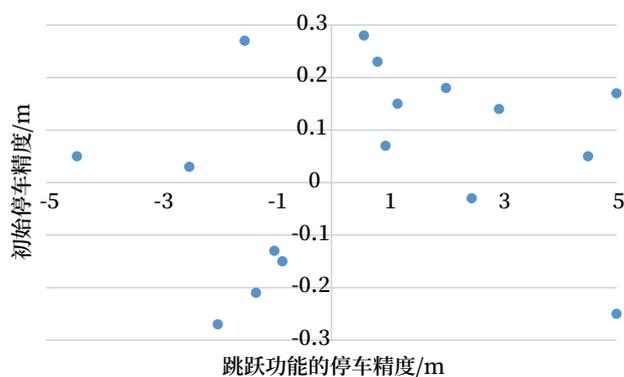


图6 停车精度统计

Fig.6 Stopping accuracy statistics

使用跳跃功能后的停车精度满足城市轨道交通对信号系统 ATO 站台精确停车的指标要求, 使用自动跳跃功能后停车精度在  $\pm 0.3 \text{ m}$  以内, 有显著的对标精确停车的效果。

后续对跳跃功能的可用性进行了优化, 若因为特殊原因, 导致列车第一次使用跳跃功能不能精确停车, 可设计列车使用 3 次跳跃功能, 列车可继续使用跳跃功能进行对标。

## 4 结束语

随着城市轨道交通行业的不断发展, 全自动无人驾驶技术将成为行业发展的主流, 近年来国内在列车无人驾驶技术等全自动运行技术方面的突破缩小了与国外技术的差距, 地铁项目的自动化水平越来越先进, 但仍然需要在系统可靠性保障和突发事件应急处置等方面进行研究探索。在执行过程中也将面临更加

复杂的场景，站内自动跳跃功能技术在项目中会得到逐步推广使用，以某城市的地铁线路进行测试功能，试验结果表明自动跳跃功能可以满足站内二次停准的需求。未来地铁列车ATO控制技术将上一个新台阶，进一步提高系统弹性和智能化水平的理论，更安全地处理和解决突发的地铁运营故障。

### 参考文献

- [1] 宁滨, 郜春海, 李开成, 等. 中国城市轨道交通全自动运行系统技术及应用 [J]. 北京交通大学学报, 2019, 43 (1): 1-6.  
Ning Bin, Gao Chunhai, Li Kaicheng, et al. Technology and Application of Fully Automatic Operation System for Urban Rail Transit in China[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2019, 43(1): 1-6.
- [2] 吴中华, 郝永常. 汽车 EHB 系统轮缸压力的 BangBang-模糊 PI 控制 [J]. 机械设计与制造, 2021 (1): 188-192.
- [3] 夏振东. 特殊场景下 ATO 控车方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (10): 79-84.  
Xia Zhendong. Discussion on ATO Train Control Schemes in Special Scenarios[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 79-84.
- [4] 王道敏. ATO 站台精确停车功能实现的制约因素分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2012, 9 (4): 41-43, 61.  
Wang Daomin. Analysis of Restriction Factors for Realizing Precise Train Stopping at Platform by ATO System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2012, 9(4): 41-43, 61.
- [5] 黎晨光, 邢科家, 王俊高. 基于列车安全包络延伸的全自动运行系统跳跃锁闭方案研究 [J]. 铁道标准设计, 2022, 66 (7): 155-160.  
Li Chenguang, Xing Kejia, Wang Jungao. Research on Jog Locking Scheme for Fully Automatic Operation System Based on Train Safety Profile Extension[J]. Railway Standard Design, 2022, 66(7): 155-160.
- [6] 周嘉俊, 吴萌岭, 刘宇康, 等. 基于改进史密斯预估器的列车制动减速度控制研究 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2020, 48 (11): 1657-1667.  
Zhou Jiajun, Wu Mengling, Liu Yukang, et al. Train Braking Deceleration Control Based on Improved Smith Estimator[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2020, 48(11): 1657-1667.
- [7] 李兆龄. 全自动运行系统中联锁功能的新变化 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (6): 82-85.  
Li Zhaoling. New Changes in Interlocking Function of Fully Automatic Operation System[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(6): 82-85.
- [8] 王洪亮, 谷文豪, 张庆渴, 等. 汽车坡起中 EPB 的 Bang-Bang 控制研究 [J]. 北京理工大学学报, 2017, 37 (1): 46-49.  
Wang Hongliang, Gu Wenhao, Zhang Qingke, et al. Research on Bang-Bang Control of EPB System in Vehicle Hill Start[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2017, 37(1): 46-49.
- [9] 吴大武. 城轨线路 ATO 系统控车策略优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (12): 60-63, 79.  
Wu Dawu. Optimization of Train Control Strategy of ATO System for Urban Rail Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 60-63, 79.
- [10] 吴培栋. 基于 CTCS2+ATO 的市域 (郊) 铁路列车控系统技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (7): 16-23.  
Wu Peidong. Research on Technology of Suburban Railway Train Control System Based on CTCS2+ATO[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7): 16-23.
- [11] 吴培栋, 王硕, 张友兵. 高速铁路 ATO 系统增加自动折返功能的方案研究及实验验证 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (8): 1-7, 22.  
Wu Peidong, Wang Shuo, Zhang Youbing. Research on Scheme and Experimental

- Verification of Adding Automatic Turn-back Function Based on High-Speed Railway ATO[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(8): 1-7, 22.
- [12] 张帆. 列车自动驾驶 (ATO) 季节性调节方案探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21(1): 87-91.  
Zhang Fan. Discussion on Seasonal Regulation Scheme of Automatic Train Operation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(1): 87-91.
- [13] 唐涛, 黄良骥. 列车自动驾驶系统控制算法综述 [J]. 铁道学报, 2003, 25(2): 98-102.  
Tang Tao, Huang Liangji. A Survey of Control Algorithm for Automatic Train Operation[J]. Journal of the China Railway Society, 2003, 25(2): 98-102.
- [14] 薛文静, 张东海. 自学习算法在列车自动驾驶系统的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(10): 68-72.  
Xue Wenjing, Zhang Donghai. Application of Self-Learning Algorithm in Automatic Train Operation System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 68-72.
- [15] 冯维佳. 适用于全自动运行信号系统的站台功能研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(12): 80-83, 92.  
Feng Weijia. Research on Platform Function of Fully Automatic Operation Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 80-83, 92.
- [16] 谭力天, 陈昕, 李澎东, 等. 基于统计学模型的CBTC系统ATO停车精度自适应优化算法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(8): 78-84.  
Tan Litian, Chen Xin, Li Pengdong, et al. Adaptive Optimization Algorithm for ATO Stopping Accuracy of CBTC System Based on Statistical Model[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(8): 78-84.
- [17] 张强, 陈德旺, 于振宇. 城市轨道交通ATO系统性能指标评价 [J]. 都市轨道交通, 2011, 24(4): 26-29.  
Zhang Qiang, Chen Dewang, Yu Zhenyu. Performance Evaluation of Urban Rail Transit ATO System[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2011, 24(4): 26-29.
- [18] 孟建军, 刘震. 城轨列车精确停车智能控制算法研究与仿真 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(23): 257-264.  
Meng Jianjun, Liu Zhen. Research on Intelligent Algorithm for Precise Parking of Urban Rail Transit Based on Predictive Fuzzy PID[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(23): 257-264.

\*\*\*\*\*

## 本期广告企业简介

# 成都运达科技股份有限公司

致力于为轨道交通业务领域提供智能化解决方案及服务

联系电话 :028-82839999

网址: <http://www.yd-tec.com>

地址: 四川省成都市高新区西部园区康强四路 99号

邮箱: [gtbg@yunda-tec.com](mailto:gtbg@yunda-tec.com)

(详见封面)

# 基于FMEA的FAO自动唤醒功能 安全设计与实现

贾 佳

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

**摘要:** 采用 FMEA 的分析方法对全自动无人驾驶列车自动唤醒功能进行深入研究, 分析可能产生危险后果的失效模式以及对应的失效原因, 并结合失效模式和失效原因设计相应的安全措施, 保证全自动无人驾驶系统将系统原有风险以及新增功能引发的风险均减轻至可接受程度, 真正实现安全可靠的运行。

**关键词:** 全自动无人驾驶; 自动唤醒; 安全分析; 安全设计; FMEA

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0084-05

## Safety Design and Implementation of FAO Automatic Wake-up Function Based on FMEA

Jia Jia

(Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037, China)

**Abstract:** In this paper, an in-depth study is conducted regarding the train automatic wake-up function of fully automatic driverless trains using FMEA method. The study analyzes the failure modes that may produce dangerous consequences, identifies their corresponding failure causes, and designs appropriate safety measures based on these failure modes and causes. This approach ensures that the fully automatic unmanned driving system reduces the original risks of the system, as well as the risks caused by new functions, to an acceptable degree, and achieves safe and reliable operation.

**Keywords:** FAO; automatic wake-up; safety analysis; safety design; FMEA

自北京燕房线后, 全自动无人驾驶系统以其提高运输效率、降低运维成本等显著优势得到业内普遍认可, 并在全国各大城市迅速推广应用。

如何满足 IEC 62267: 2009 中规定的安全防护, 如何进行系统设计才能实现安全可靠的无人驾

驶, 还需要进行详细分析和研究; 本文以列车自动唤醒为例, 诠释全自动无人驾驶技术不仅要考虑信号系统从技术角度替代人的作业, 更要考虑安全可靠地实现替代功能, 使得系统可以实现安全可靠的全自动无人驾驶。

### 1 全自动无人驾驶系统介绍

在 IEC 62290 标准中, 按照自动化程度将城

收稿日期: 2023-05-19; 修回日期: 2024-04-10

作者简介: 贾佳 (1985—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通系统 RAMS, 邮箱: jiajia1@bjucd.com。

市轨道交通管理与控制系统分为5个等级，其中无人驾驶有两个等级，一个是有司机值守的无人驾驶（DTO），其自动化等级为GoA3，另一个是自动化等级为GoA4的全自动无人驾驶（UTO）。

UTO信号系统保留了既有基于通信的列车运行控制系统（CBTC）的基本功能，并在此基础上又增加一些特有功能，主要体现在：车辆段（包括停车场）自动作业、正线自动作业、故障及紧急情况的自动检测与处理功能。具体来说就是系统可自动实现列车的自动唤醒、出库、区间自动运行、障碍物检测、开关车门/站台门、自动折返、回段和自动休眠等功能。

根据IEC 62267中的要求，全自动无人驾驶系统需要考虑运行中的列车安全（防止追尾、正面、侧面冲撞、脱轨、障碍物碰撞），以及乘客及运营人员的安全（上/下车乘客、车厢内乘客、站台上乘客、维护人员）；实现列车运行全过程（正线、停车场和车辆段）各种运行工况（正常和异常）的自动安全防护。

信号系统如何能够代替有人驾驶系统中由司乘人员承担的功能，如何降低原先由司乘人员承担的风险，如瞭望、判断等；同时，当在既有CBTC系统的基础上增加这些功能，是否会对系统引入新的风险，如何保证系统的安全性，还需要进行详细分析和进一步设计。

本文以列车自动唤醒功能为例，通过对全自动无人驾驶和传统有人驾驶技术的差异分析，对唤醒流程逐条进行失效模式的识别，以及失效原因的分析，并根据这些结果设计出安全合理的自动唤醒功能。

## 2 FMEA安全分析技术

失效模式与影响分析即“潜在失效模式及后果分析”，简称为FMEA。FMEA是在产品设计阶段和过程设计阶段，对构成产品的子系统、零件，对构成过程的各个工序逐一进行分析，找出所有潜在的失效模式，并分析其可能的后果，从而预先采取必要的措施，以提高产品的质量和可靠性的一种系

统化的活动。轨道交通行业通常用FMEA方法进行硬件元器件的故障影响分析。

信号系统的危害分析多采用HAZOP头脑风暴式分析。这种分析方法对系统顶层危害识别很有帮助，但是应用于具体功能的分析时，则有一定的局限性，分析结果不够全面，不能覆盖功能流程的每个环节。列车发车准备流程较为具体，本文将采用FMEA的方法对功能流程的每个步骤和环节都进行详细的故障模式识别，并针对这些故障模式分析原因，做出合适的安全设计，以保证功能的实现安全可靠。

## 3 自动唤醒功能分析

### 3.1 有人驾驶系统的发车准备

有人驾驶系统中的列车发车准备，需要运维或司乘人员人工为车载控制器（VOBC）上电，上电后列车自动防护（ATP）、列车自动运行（ATO）、人机界面（HMI）等设备进行自检，自检结果显示在HMI上。由司乘人员进行确认，自检通过后才允许设备正常运行。

车辆进行自检，包括网络本身、网络通信、牵引/制动系统、辅助系统、车门、空调系统、广播系统、烟火报警、PIS/CCTV和Tetra等，检测完成还需进行高压检测和充电机、风压机检测。

车辆自检结果显示在TCMS显示屏上，由司乘人员确定车辆是否自检成功。

如果车辆也自检成功，则需要司乘人员通过操作车辆设备对其牵引制动系统、照明、广播以及开/关门进行静态检测。

静态测试通过后，还需司乘人员进行试闸，即给车向前的牵引、停车、向后的牵引，停车，以确认牵引和制动的正常使用。

以上测试均通过后，才可以按照运营计划开车出库，测试不通过则不允许出库。

### 3.2 无人驾驶系统的发车准备（列车唤醒）

对于无人驾驶列车想要实现列车的自动上电，需要在列车休眠后，仍保持列车与中心的通信，对此有多种方案。本文采用的方案是使用车载辅助设备保证

列车与中心的通信状态，保证中心可以监视到列车的状态，并且车载设备可以正常接收到唤醒命令。

车载设备和车辆自检活动均与有人驾驶相同，只是之前由运维或者司乘人员人工操作的活动改为

由信号设备来实现。

### 3.3 无人驾驶和有人驾驶系统的差异分析

总结上文介绍，识别出无人驾驶和有人驾驶的唤醒功能中人和设备的功能对应关系如表 1 所示。

表1 功能对照

Tab.1 Functional comparison table

序号	人的行为	设备行为
1	人工上电，按压车载设备上电	TIAS 发送远程唤醒命令，设备自动上电
2	人工确认检测结果	车载 VOBC 判断，自检成功则进行下一项测试，不成功则唤醒失败，并将自检状态和报警汇报给中心
3	人工操作列车进行静态测试	车载 VOBC 向车辆顺序发送静态测试指令，驱动列车进行牵引 / 制动、照明、广播以及开关门等测试
4	人工确认静态测试结果的正确性	车载 VOBC 判断各个静态测试是否测试成功，不成功则唤醒失败，并向 TIAS 汇报测试状态和报警
5	人工操作列车进行试闸	车载 VOBC 顺序向车辆输出跳跃指令，驱动车辆向前 / 向后行进、停车，以验证牵引制动系统，即 VOBC 驱动列车进行动态测试
6	人工确认列车是否通过测试	车载 VOBC 确认是否唤醒成功

## 4 自动唤醒功能安全分析

本文采用 FMEA 的方式，对表 1 中的设备行为进行逐条分析。考虑到篇幅，本文仅列出可能会引起危害后果的失效模式和失效原因，结合失效模式和原因设计出合理的减轻措施，如表 2、3 所示。

发车准备（唤醒）功能存在的主要危害有以下

两条。

- 1) 列车检测未成功，但仍然上线运行，引起撞车。
- 2) 列车在库内测试过程中与库内其他列车或车库门相撞，或对地面维护人员造成伤害。

在有人驾驶系统中，以上危害所带来的风险由运维或司乘人员来承担。

人工保证列车检测成功的情况下，才能出库投

表2 上电及静态测试FMEA

Tab. 2 Power-on and static test FMEA worksheet

功能描述	失效模式	失效原因	影响后果	减轻措施（安全需求）
TIAS 发送远程唤醒命令，设备自动上电	为不该唤醒的列车发送唤醒命令	中心人员误触发或设备指令错误	列车在非安全状态下上电	S1 设置远程唤醒命令时，需在操作界面上设计确认框，以减低误操作的风险 S2 信号系统需能保证未处于安全状态下的列车不响应唤醒命令
VOBC 判断自检是否成功，成功则进行下一步测试，失败则唤醒失败	自检有未通过测试项，但汇报自检成功 自检有未通过测试项，但汇报自检成功	车辆自检状态反馈错误 VOBC 判断错误	列车带有故障上线运营引发事故	I1 车辆需保证正确反馈自检状态 S3 VOBC 对自检结果的判断逻辑应遵循 EN50128 中 SIL4 的要求开发 S4 VOBC 需将自检结果汇报给中心
	列车测试项不完整	静态测试有遗漏	列车带有故障上线运营引发事故	S5 VOBC 对车辆顺序输出静态测试指令，并逐条对静态测试结果进行回采，形成信息的闭环，以保证静态测试的完整正确实施
VOBC 驱动车辆进行静态测试	列车当前不在休眠停车窗	VOBC 误触发静态测试命令	引发撞车	S6 在进行静态测试前，VOBC 需先向 ZC 申请静态测试授权 S7 ZC 确认列车汇报位置仍在休眠停车窗内，且 SPKS 开关为关闭状态才允许进行静态测试
	列车当前不在休眠停车窗	VOBC 误触发静态测试命令	引发撞车	S6 在进行静态测试前，VOBC 需先向 ZC 申请静态测试授权
	SPKS 打开状态下进行静态测试	VOBC 误触发静态测试命令或无法获知 SPKS 状态	对维护人员造成伤害	S7 ZC 确认列车汇报位置仍在休眠停车窗内，且 SPKS 开关为关闭状态才允许进行静态测试
VOBC 判断各个静态测试是否成功	静态测试有未通过测试项，但 VOBC 汇报测试成功	VOBC 判断错误	列车带有故障上线运营引发事故	S5

表3 动态测试及唤醒判断FMEA  
Tab. 3 Dynamic test and wake-up FMEA worksheet

功能描述	失效模式	失效原因	影响后果	减轻措施 (安全需求)
VOBC 驱动列车进行动态测试	待测列车附近有运维人员	运维人员没有获知列车测试信息	测试列车撞击运维人员	I2 运维人员进场需要打开相应的 SPKS 开关 S8 VOBC 需在动态测试之前进行鸣笛示警
	待测列车相邻计轴有车时进行动态测试	VOBC 无法获知其他列车移动至待测列车相邻计轴的信息	测试列车与相邻列车相撞	S9 VOBC 需在动态测试之前向 ZC 申请动态测试授权 S10 ZC 需判断待测列车的前后计轴为空闲状态, 才允许列车进行动态测试
	车库门关闭时进行动态测试	VOBC 无法获知车库门状态	测试列车在靠近车库门的停车轨进行动态测试, 撞击车库门	S11 ZC 需判断待唤醒列车是否位于靠近车库门的停车轨, 若是, 则需在动态测试前检查车库门的打开状态, 并在测试中实时监测车库门状态, 非打开状态时需停止测试
	动态测试过程中车库门关闭	车库门无法维持打开状态	测试列车撞击车库门	I3 车库门应能保证库门的打开状态
	列车连续同方向跳跃	VOBC 连续输出同方向的牵引	测试列车撞击到车库门或撞击到相邻列车	S12 VOBC 需要对同方向的牵引次数做约束和防护
	列车跳跃距离过长	VOBC 对单方向跳跃距离未防护	测试列车撞击到车库门或撞击到相邻列车	S13 VOBC 需要对跳跃距离和速度进行防护 I4 库线的设计需满足在两个存车轨间设置保护区段
VOBC 判断是否唤醒成功	同库线两列车同时进行跳跃	VOBC 误触发动态测试指令	列车相撞	S14 ZC 需保证同一库线上的两列车不能同时进行动态测试 S15 列车申请动态测试时, 应将 I4 中所说保护区段锁闭, 且锁闭后不可被其他进路再次锁闭
	唤醒失败, 但却告知 TIAS 唤醒成功	通信故障	列车带有故障上线运营引发事故	S16 VOBC 与 TIAS 之间使用安全通信协议 S17 唤醒失败, VOBC 应输出紧急制动不再启动, 不允许列车出库

入运营; 同时人工保证测试和动车过程中当前列车不会与其他列车, 或者车库门相撞, 同时不会对地面维护人员造成伤害。

在全自动无人驾驶系统中, 信号系统需要保证以上危害不会发生, 同时还要保证既有 CBTC 系统基础上新增功能, 即设备行为的安全风险得以规避或降低。

## 5 结论

本文基于失效模式影响和分析的方法, 对全自动无人驾驶系统自动唤醒功能进行了研究和分析。通过分析人工发车准备流程, 识别出设备的行为。然后对设备行为进行了逐步的分析, 识别出可能导致危险后果的失效模式和原因, 并提出相应的安全减轻措施。

通过这样的安全分析方法, 可以保证全自动无人驾驶系统的整体设计不只是简单的考虑如何代替运维和司乘人员的工作, 还能充分地考虑如何规避

掉由于增加这些功能而对系统引入的风险, 最终实现无人驾驶系统的安全运行。

由于 FMEA 是一种自下而上的分析方法, 在系统设计阶段, 会因为人员经验的不足导致分析结果有遗漏。实际项目应用中还可结合故障树 (FTA) 的方法从上而下的分析, 以及随着设计的深入, 对场景的深入分析, 可继续分析出更完备的故障模式, 设计出更加安全可靠的系统。

## 参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 系统可靠性分析技术失效模式和影响分析: GB/T 7826-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全第 1 部分: 一般要求: GB/T 20438.1-2017[S]. 北京: 中国质检出版社, 2017.

- [3] 文峥, 吴卫平, 路向阳. 城市轨道交通全自动无人驾驶系统国际标准研究 [J]. 控制与信息技术, 2023 (2): 85-89.  
Wen Zheng, Wu Weiping, Lu Xiangyang. Research on the International Standards of Fully Automatic Operation System in Urban Rail Transit[J]. Control and Information Technology, 2023(2): 85-89.
- [4] 薛巧丽, 杨海鹏. 基于 FMEA 的城市轨道交通信号系统与站台门系统接口危害分析 [J]. 控制与信息技术, 2023 (1): 101-106.  
Xue Qiaoli, Yang Haipeng. Interface Hazard Analysis between Urban Rail Signal System and Platform Screen Door System Based on Functional FMEA[J]. Control and Information Technology, 2023(1): 101-106.
- [5] 姚媛, 唐涛, 吕继东, 等. 基于 HAZOP 的列车控制系统安全分析与验证 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (3): 50-53.  
Yao Yuan, Tang Tao, Lu Jidong, et al. Safety Analysis and Confirmation of HAZOP-Based Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(3): 50-53.
- [6] 郑鸿昌, 张涛, 何敏学. 无人驾驶信号系统中休眠和唤醒功能的设计 [J]. 电声技术, 2018, 42 (6): 51-52, 57.  
Zheng Hongchang, Zhang Tao, He Minxue. The Design of the Dormancy and Wake-up Function of UGTMS[J]. Audio Engineering, 2018, 42(6): 51-52, 57.
- [7] 丰文胜, 王永星, 薛强. 轨道交通全自动无人驾驶场景的新功能需求 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (2): 83-85.  
Feng Wensheng, Wang Yongxing, Xue Qiang. New Function Requirement of Completely Automatic Driverless Operation Scenarios in Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(2): 83-85.
- [8] 冯晶玮, 赵红芳. ZPW-2000G 型无绝缘轨道电路系统安全分析与验证 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (S1): 80-84.  
Feng Jingwei, Zhao Hongfang. Safety Analysis and Verification of ZPW-2000G Jointless Track Circuit System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(S1): 80-84.
- [9] 张坤, 张豪. 全自动驾驶列车唤醒逻辑流程阐述与分析 [J]. 现代城市轨道交通, 2023 (12): 46-50.  
Zhang Kun, Zhang Hao. Explanation and Analysis of the Wake-up Logic Flow of Fully-Automated Operation Trains[J]. Modern Urban Transit, 2023(12): 46-50.
- [10] 闫宏伟, 燕飞. 城市轨道交通全自动运行系统及安全需求 [J]. 都市轨道交通, 2017, 30 (3): 50-55, 87.  
Yan Hongwei, Yan Fei. Fully Automatic Operation System and Its Safety Requirement of Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(3): 50-55, 87.
- [11] 武长海. 城市轨道交通全自动无人驾驶技术应用探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13 (5): 54-58.  
Wu Changhai. Application of Full Automatic Driverless Technology in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(5): 54-58.
- [12] 宋传龙. 基于 CBTC 控制的列车全自动驾驶系统 (FAO) 的发展及应用 [J]. 电子世界, 2014 (3): 31-32.
- [13] 彭懿. 列车全自动驾驶系统休眠唤醒子系统可靠性研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2020.
- [14] 陈宁宁, 张琦, 郜洪民, 等. 城市轨道交通列车全自动运行系统的列车唤醒休眠方法研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25 (4): 160-164.  
Chen Ningning, Zhang Qi, Gao Hongmin, et al. Research on Train Wake-up and Sleep Method of

(下转 95页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.06.015

# 粤港澳大湾区市域快线多网融合 列控系统研究

曲睿<sup>1</sup>, 雷彬<sup>2</sup>

(1. 广州地铁集团有限公司, 广州 510145;

2. 广州铁科智控有限公司, 广州 510145)

**摘要:** 列控系统作为轨道交通保障行车安全和提高运输效能的核心系统, 在多网融合的设计、实施过程中, 发挥着重大作用。结合粤港澳大湾区市域快线多网融合建设需求, 从建设目标、系统选型、技术路线等方面重点分析主流列控系统的特点与差异, 阐述融合方案及难点, 为后续列控系统的选型与设计提供一定的思路与参考。

**关键词:** 列控系统; 多网融合; 市域快线

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0089-07

## Research on Multi-network Integrated Train Control System for Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Urban Express Line

Qu Rui<sup>1</sup>, Lei Bin<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou 510145, China)

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

**Abstract:** As the core system of rail transit to ensure traffic safety and improve transport efficiency, the train control system plays an important role in the design and implementation of multi-network integration. This paper focuses on analyzing the characteristics and differences of the mainstream train control systems from the aspects of construction objectives, system selection, technical routes and other aspects in combination with the construction needs of the multi-network integration of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area urban express line, and expounds the integration scheme and difficulties, so as to provide certain ideas and references for the selection and design of the follow-up train control systems.

**Keywords:** train control system; multi-network integration; urban express

收稿日期: 2023-04-07; 修回日期: 2024-04-10

基金项目: 广州市科技计划项目(2024A03J0761)

第一作者: 曲睿(1988—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号系统, 邮箱: qurui@gzmtr.com。

市域(郊)铁路是城市中心城区联接周边城镇组团及其城镇组团之间的通勤化、快速度、大运量的轨道交通系统, 提供城市公共交通服务, 是城市综合交通体系的重要组成部分<sup>[1]</sup>。其承担“内聚外联”重要

使命，助力城市轨道交通、国铁互联互通、便捷换乘，在国内当前城镇化发展大背景下应运而生。

2020年，国家发改委批复粤港澳大湾区城际铁路建设规划，提出构建大湾区主要城市间1 h通达、主要城市至广东省内地级城市2 h通达、主要城市至相邻省会城市3 h通达的交通圈。国铁干线、城际铁路、市域铁路及城市轨道交通“四网融合”的互联互通发展模式，既可有效盘活资源，又可提高运输组织灵活性，是实现轨道上的大湾区目标的最佳选择<sup>[2]</sup>。

## 1 建设目标

依据《城际铁路设计细则》要求，信号系统设计应满足粤港澳大湾区城际铁路路网规划、行车组织和运营管理要求，应符合网络化建设和公交化运营组织的要求，实现资源共享和互联互通<sup>[3]</sup>。既能够满足线网200 km/h速度目标值、2.5 min行车间隔以及线网统一行车调度指挥的要求，同时能够在一定程度上实现与既有珠三角城际铁路的兼容性<sup>[4]</sup>。

这既明确了市域铁路通勤化、快速度、大运量、智能化和网络化的线路功能定位，也对信号系统选型提出小间隔、高密度、灵活运行和网内互通的功能要求。

## 2 市域铁路列车控制系统选型

公交化、网络化运营是湾区市域铁路建设的首要目标。当前，在国内市域铁路列车控制系统中，应用较为广泛的是国铁的中国列车运行控制系统（Chinese Train Control System, CTCS）和城市轨道交通的列车自动控制系统（Automatic Train Control, ATC）<sup>[5]</sup>。

### 2.1 CTCS2+ATO系统

当前珠三角城际铁路所普遍采用中国列车运行控制系统2级（Chinese Train Control System level 2, CTCS-2），以计算机联锁、列车控制中心为核心，列车调度指挥系统居中统筹，配置临时限速服务器及轨旁电子单元实现对列车的控制与超速防护<sup>[6]</sup>。信息传输以铁路移动通信系统为主，辅以轨道电路、应答器报文等传输方式，并设置集中监测系统<sup>[7]</sup>。独立增设地面精确定位应答器、通信控制服务器、车载安全计算机ATO单元及车辆牵引制动接口等设备，以实现列车站间自动运行、站台门联动等功能，以满足最高250 km/h运行速度、最短3 min追踪间隔的行车能力<sup>[8]</sup>。CTCS构成及进路、区段信息交互如图1所示。

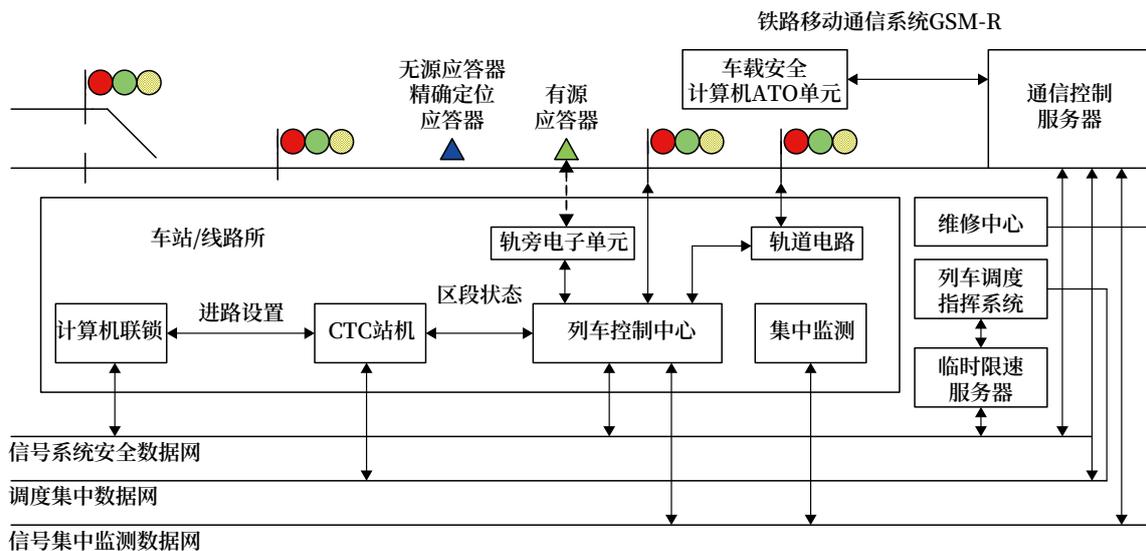


图1 CTCS构成及进路、区段信息交互示意  
Fig.1 CTCS composition and the exchange of route & section information

## 2.2 ATC 系统

城市轨道交通线路普遍采用 ATC 系统, 而当前应用最为广泛的是基于通信的列车控制系统 (Communication Based Train Control, CBTC), 其主要由列车自动监控 (Automatic Train Supervision, ATS)、列车自动防护 (Automatic Train Protection, ATP)、列车自动运行 (Automatic Train Operation, ATO)、计算机联锁 (Computer Interlocking, CI) 为核心, 实现一体化控制及集中调度; 数字通信子系统 (Data Communication Subsystem, DCS) 信息传输多以无线局域网 (Wireless Local Area Network, WLAN) / 长期演进 (Long Term Evolution for Machines, LTE-M) 无线技术为主; 列车定位与区段占用 / 出清采用应答器、计轴组合, 配置维护支持系统 (Maintenance Support System, MSS)。CBTC 系统支持车-地双向通信, 采用移动闭塞制式, 正线区间最短可达 90 s 的追踪间隔, 终点可实现 2 min 的折返间隔, 线路的运营调整能力强。CBTC 系统构成及子系统连接如图 2 所示。

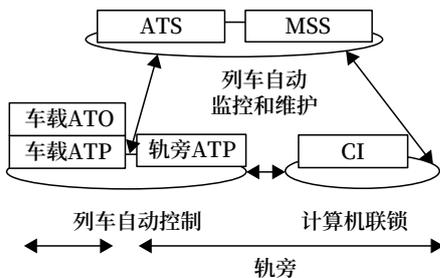


图2 CBTC构成及子系统连接示意  
Fig.2 CBTC composition and subsystem connection

## 2.3 CTCS系统与ATC系统的应用情况以及特点差异

CTCS系统和ATC系统均为保障列车安全、高效运行的列控系统, 均遵循故障导向安全原则, 控制理念与原理基本相同。但由于两者应用领域、服务目标不同, 故其设计、开发、测试、认证, 以及工程应用遵循的标准和规范存在较大差异, 进而带来软件功能、系统组成、逻辑处理和实现方式等方面均有所不同。CTCS系统与ATC系统对比差异如

表1所示, 湾区典型城际工程概况如表2所示。

表1 CTCS系统与ATC系统对比差异

系统制式	CTCS2+ATO	CBTC
闭塞制式	准移动闭塞	移动闭塞
运输组织	左线行车, 不同车型及线路混合运行, 列车待避及越行较多, 运输组织相对复杂	右线行车, 通常单一车型及线路连续运输, 运输组织相对简单
旅程及车站	旅程范围大, 车站配线多、规模大, 站间距长	旅程范围小, 车站配线少、规模小, 站间距较短
追踪间隔	最小追踪间隔 3 min	最小追踪间隔 90 s
速度匹配	≤ 250 km/h	80 ~ 160 km/h 200 km/h 的工程应用正在开展
折返能力	自动折返功能未得到广泛应用, 普遍采用人工折返方式, 多为站前折返, 折返间隔大于 10 min; 增设平行到发线可提高折返能力, 但土建工程量相对较大	具备自动折返功能, 折返间隔 2 min 左右, 通常配置站前、站后折返方式, 土建工程量相对较小
到发线有效长度	一般为 400 m (8 节编组列车)	一般为 220 m (8 节编组列车)
数据存储及授权方式	线路数据存储于地面设备, 通过地面应答器及轨道电路向车载设备发送目标距离、线路速度和长度、临时限速等信息, 车载 ATP 据此计算列车控制曲线	车载 ATP 保存线路地图信息, 地面 ATP 通过无线方式向车载发送目标点位置、临时限速等动态数据, 车载设备根据自身定位自动计算列车移动授权
互联互通	CTCS-2 系统间实现互联互通的技术及经验成熟	CBTC 系统间实现互联互通的技术及经验不够成熟
行车调度	行车调度指挥系统满足网络化调度指挥需求, 跨线调度能力强, 针对单线的精细化运营调整功能较弱	行车调度指挥系统针对单线具备完善的调度及调整功能, 但跨线路运行调度功能有待开发完善
研发认证	系统知识产权属于中国国家铁路集团有限公司, 产品研发及成果验证需要依据相关规范标准, 认证由铁路专业机构负责	系统知识产权分属于各系统承包商, 产品研发成果需获得独立第三方认证

## 3 湾区多网融合系统需求分析

目前国内尚无 CTCS、CBTC 两种制式融合的成熟列控系统, 多数有互通需求的工程采用换乘方式来实现客流的交换运输<sup>[9]</sup>。随着国家政策要求及城市群内轨道交通通勤化需求突显, 兼容两种制式信号系统的研发工作也在加速推进<sup>[10]</sup>。

表2 湾区典型城际工程情况  
Tab.2 Typical intercity projects in the Bay Area

线路	信号系统制式	线路特点
莞惠城际	CTCS2+ATO	全长 103.1 km, 设 18 座车站, 2017 年底全线开通运营, 目前日开行列车 21 对, 采用 CRH6A 型 8 节编组列车
佛肇城际		全长 84.52 km (不含广佛段), 设 11 座车站, 2016 年 3 月开通运营, 目前日开行列车 12 对, 采用 CRH6A 型 8 节编组列车
穗莞深城际		全长 76 km, 设 15 座车站, 2019 年 12 月开通运营, 目前日开行列车 18.5 对, 采用 CRH6A 型 8 节编组列车

适应湾区的多网融合列控系统若要实现列车在不同系统间的贯通运营, 需在运行与功能方面统一需求<sup>[11]</sup>, 满足如下几个方面要求:

- 1) 具备基于无线通信的列车运行控制功能, 可实现列车运行位置连续跟踪及移动授权控制, 以满足 2.5 min 行车间隔、3 min 折返间隔的公交化、高密度运营需求;
- 2) 可识别不同车型、编组动车组, 实现 200 km/h 最大运行速度列车的安全运行控制;
- 3) 具备自动驾驶、自动折返等 GoA2/GoA3 级全自动运行功能, 支持智能运维技术;
- 4) 具备与珠三角城际铁路互联互通网络化运营及行车调度条件, 列车具备跨线运行能力<sup>[12]</sup>。

#### 4 多网融合列控系统技术路线

当前业内主流的多网融合列控系统技术路线分两条: 一为轨旁兼容的共线运营方案, 二为车载兼容的跨线运营方案<sup>[13]</sup>。

##### 4.1 多网融合列控系统轨旁兼容方案运行

轨旁兼容方案特点为 CTCS-2、CBTC 线路配属列车均配置单制式车载设备不变, 地面区域按照控制制式划分为 CTCS 控制区、CBTC 控制区与共管区<sup>[14]</sup>。CTCS 控制区仅配置计算机联锁、CTC 站机、列车控制中心、轨旁电子单元等 CTCS 轨旁设备。CBTC 控制区仅配置计算机联锁、轨旁 ATP、ATS 站机等 CBTC 轨旁设备。而共管区需同时配置 CTCS 与

CBTC 系统轨旁设备, 以实现不同制式列车在共管区的共线运营<sup>[15]</sup>。轨旁兼容方案行车控制如图 3 所示。

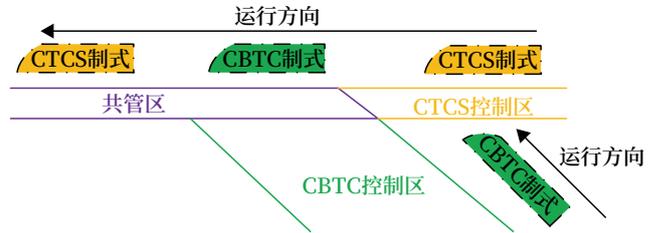


图3 轨旁兼容方案行车控制示意  
Fig.3 Train operation control diagram of trackside compatibility scheme

##### 4.2 多网融合列控系统轨旁兼容方案运行

车载兼容方案特点为列车需采用独立的 CTCS-2 与 CBTC 或是兼容一体化的车载设备。线路方面, CTCS 控制区仅配置 CTCS 轨旁设备, CBTC 控制区仅配置 CBTC 轨旁设备。设置切换区同时配置 CTCS 与 CBTC 系统轨旁设备, 以实现列车在切换区域自动或人工完成车载设备的制式切换<sup>[16]</sup>。下面以站台区域切换为例, 描述具体切换过程。

当列车由 CBTC 区域运行至 CTCS 区域时, 列车首先按照 ZC 发送的移动授权运行到站台停车, 在越过进站信号机前的应答器后获得线路数据, 并向 CCS 进行注册。当压入轨道电路获取移动授权后 CTCS 车载设备进入完全监控模式, 列车停站期间提示司机进行模式转换, 停站结束后 CTCS 车载设备根据轨道电路移动授权, ATO 控制列车发车进入区间运行<sup>[17]</sup>。车载兼容方案 CBTC 向 CTCS 级转换如图 4 所示。

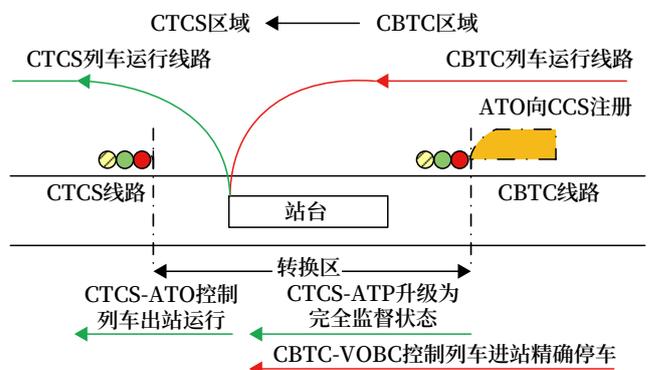


图4 车载兼容方案CBTC向CTCS级转换示意  
Fig.4 Schematic diagram of conversion from CBTC to CTCS of on-board compatibility scheme

当列车由 CTCS 区域运行至 CBTC 区域时, 列车首先越过进站信号机内方两个应答器后, CBTC 的车载设备建立了位置和方向, 车尾越过进站信号机后车载设备开始与 ZC、ATS 建立通信链接, 列车按照 CTCS 轨道电路的移动授权运行到站台停车, 在上、下客期间 ZC 完成列车的筛选升级, 提示司机模式切换, 列车停站完成后 VOBC 根据 ZC 的移动授权自动控制列车驶出车站进入区间运行<sup>[18]</sup>。车载兼容方案 CTCS 向 CBTC 级转换如图 5 所示。

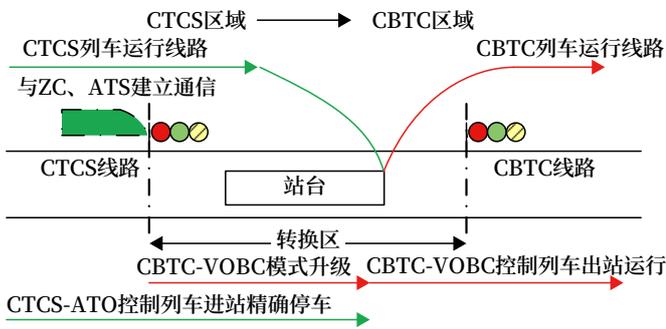


图5 车载兼容方案CTCS向CBTC级转换示意

Fig.5 Schematic diagram of conversion from CTCS to CBTC of on-board compatibility scheme

车载兼容方案中车载设备的一体化设计, 宜采用统一接口、融合功能、兼容终端的思路, 自动判断当前工作模式, 以实现不停车制式适应性切换(如切换区为区间)<sup>[19]</sup>。也可采用部分兼容的方案, 即“核心逻辑独立, 外部接口尽量共用”原则, 减少外围部件, 如共用应答器信息接收单元(BTM)系统(包含BTM主机和天线)、共用列车接口单元(主要包括安全输入输出单元、继电器等)、共用桌面管理接口/人机界面(DMI/MMI)、共用ATO, 统一多模无线通信平台等, 但保留双方核心主控单元独立, 以及独有设备, 如轨道电路读取器(TCR)和机车综合无线通信设备(CIR)。车载部分设备兼容建议方案如图6所示<sup>[20]</sup>。

综上所述, CTCS+CBTC多网融合列控系统以车载、地面为基础, 实施多网融合。综合工程造价、实施风险、技术成熟度及其发展趋势, 基于车载一体化、兼容原地面系统的融合方案更有优势。

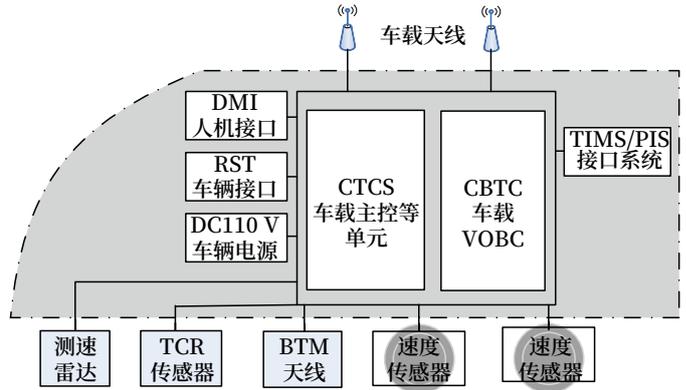


图6 车载部分设备兼容建议方案

Fig.6 Suggestions for compatibility scheme of on-board equipment

## 5 结语

相较于传统的线间换乘来实现客流交换, 多网融合在运输效率与资源共享上均有较大优势, 也符合当前技术创新发展方向<sup>[21]</sup>。虽然城轨CBTC系统与国铁CTCS系统之间的稳定互联还存在一些技术正逐步落地, 包括融合控制单元、统一车载接口、兼容车载通信、增强自动驾驶、智能运维等智慧化功能, 但综合经济、服务、发展考量, 取众所长的互联互通是当前轨道交通发展的最优选择。

本文结合粤港澳大湾区多网融合需求, 对列控系统互联方案及难点进行分析与总结, 有助于新建线路的系统选型与建设, 也为不同制式列控系统的设计与发展提供思路。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 周予婷, 戴新漆, 孙洪涛, 等. 多网融合下的都市圈客运系统发展思路[J]. 铁道经济研究, 2021(2): 42-46.  
Zhou Yuting, Dai Xinliu, Sun Hongtao, et al. Development of Metropolitan Area Passenger Transportation System with Multi-Network Integration[J]. Railway Economics Research, 2021(2): 42-46.
- [3] 蔡昌俊. 轨道交通助力粤港澳大湾区发展: 多网融合研究与实践[J]. 城市轨道交通, 2023(5): 38-41.

- [4] 何坚. 珠三角城际轨道交通信号系统功能优化探讨 [J]. 铁道通信信号, 2023, 59 (4): 21-26.  
He Jian. Discussion on Function Optimization of Signal System in Pearl River Delta Intercity Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2023, 59(4): 21-26.
- [5] 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 Sys-Tem under Multi-Network Integration[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 53-56.
- [6] 吴培栋. 基于 CTCS2+ATO 的市域(郊)铁路列车控制系统技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (7): 16-23.  
Wu Peidong. Research on Technology of Suburban Railway Train Control System Based on CTCS2+ATO[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7): 16-23.
- [7] 贾飞. 都市圈市域快线多网融合列控系统 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26 (1): 191-195.  
Jia Fei. Multi-Network Integrated Train Control System for Metropolitan Commuter Express[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(1): 191-195.
- [8] 徐轶劼. CTCS2+ATO 城际列控系统与高速铁路 ATO 系统差异性及应用趋势探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (3): 37-42.  
Xu Yijie. Discussion on Differences and Application Trends of CTCS2+ATO Intercity Train Control System and High-Speed Railway ATO System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(3): 37-42.
- [9] 张甬涛, 周欣, 金捷, 等. 市域铁路中 CBTC 与 CTCS 互联互通设计分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (12): 72-77, 92.  
Zhang Yongtao, Zhou Xin, Jin Jie, et al. Design Analysis of Interoperability between CBTC and CTCS in Suburban Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 72-77, 92.
- [10] 王悦欣. 多网融合背景下轨道交通网间互联互通适用性研究 [J]. 现代城市轨道交通, 2022 (9): 47-50.  
Wang Yuexin. Study on the Applicability of Interoperable Rail Transit Networks under the Background of Multi-Rail Network Integration[J]. Modern Urban Transit, 2022(9): 47-50.
- [11] 童超. 市域铁路列车运行控制系统方案选择研究 [J]. 铁道运输与经济, 2022, 44 (7): 35-41.  
Tong Chao. Study on Scheme Selection of Train Operation Control System in Urban Railway[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(7): 35-41.
- [12] 刘华祥, 陈恒宇. 面向多网融合的市域铁路信号调度系统研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25 (11): 32-38.  
Liu Huaxiang, Chen Hengyu. Research on Signal Dispatching System for Multi-Network Integrated Urban Railway[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 32-38.
- [13] 张伟. CBTC 与 CTCS-2 兼容互通方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (6): 93-97.  
Zhang Wei. CBTC and CTCS-2 Compatible and Interoperable Scheme[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(6): 93-97.
- [14] 池春玲, 张伟, 宋睿, 等. 都市圈轨道交通多网融合的信号系统方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (1): 1-9.  
Chi Chunling, Zhang Wei, Song Rui, et al. Research on Signaling System Scheme of Multi-Network Integration of Metropolitan Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(1): 1-9.
- [15] 张国慧. 轨道交通不同制式信号系统的兼容性及其互联互通 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (4): 39-44.  
Zhang Guohui. Compatibility and Interoperation between Different Formats of Rail Transit Signaling System[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 39-44.

- [16] 刘名元, 戴宏. 四网融合的信号系统方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (3): 1-6.  
Liu Mingyuan, Dai Hong. Research on Signal System Scheme for Integration of Four Networks[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(3): 1-6.
- [17] 全宏宇, 张敏慧. 市域铁路 CTCS-2 与 CBTC 列控系统切换方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 61-66, 94.  
Quan Hongyu, Zhang Minhui. Scheme for Switching between CTCS-2 and CBTC Train Control Systems for Suburban Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 61-66, 94.
- [18] 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.
- [19] 姜宏阔. 城际和城轨线路贯通运营的列车控制方法研究 [J]. 控制与信息技术, 2022 (1): 107-113.  
Jiang Hongkuo. Train Control Method for through Operation of Inter-City Railway and Urban Rail Transit[J]. Control and Information Technology, 2022(1): 107-113.
- [20] 蔡昌俊, 陈搏, 陈壁东, 等. 面向多网融合的列控系统双套车载控制模式切换方案探讨 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (3): 78-82, 89.  
Cai Changjun, Chen Bo, Chen Bidong, et al. Control Mode Switching of Dual Onboard Train Control Equipment for Multi-Network Integration[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(3): 78-82, 89.
- [21] 潘亮, 洪玲娇, 邢艳阳. 多网融合的列车运行控制系统研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (4): 35-38.  
Pan Liang, Hong Lingjiao, Xing Yanyang. Research on Train Control System Based on Multi-Railway Network Integration[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 35-38.
- \*\*\*\*\*
- (上接 88页)
- Urban Rail Transit FAO System[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 160-164.
- [15] 刘海涛, 王雨婷. 全自动驾驶车辆休眠逻辑说明 [J]. 数字通信世界, 2021 (1): 123-124, 205.
- [16] 范晓栋. 全自动驾驶系统列车正线休眠唤醒区域全覆盖的研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (11): 166-168.  
Fan Xiaodong. Research on Train Main Line Dormancy and Awakening Area Full Coverage in Fully Automatic Driving System[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 166-168.
- [17] 冯玮. 城市轨道交通全自动运行列车休眠与唤醒的执行方式 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 (S2): 106-108.
- [18] 戴成岩, 邱兆阳. FMEA 在铁路信号安全产品配置数据安全分析中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (11): 13-16, 43.  
Dai Chengyan, Qiu Zhaoyang. Application of FMEA in Safety Analysis of Railway Signal Safety Product Configuration Data[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(11): 13-16, 43.
- [19] 付文佳, 韩涛, 刘倩, 等. 基于场景的全自动运行系统安全分析方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (12): 83-87.  
Fu Wenjia, Han Tao, Liu Qian, et al. Scenario-Based Safety Analysis Method for Fully Automatic Train Operation Systems[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 83-87.

# 城市轨道交通智能召援系统建设研究

徐正<sup>1</sup>, 张炳森<sup>2</sup>, 刘泽远<sup>1</sup>

(1. 北京京城地铁有限公司, 北京 101300;

2. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

**摘要:** 轨道交通智慧乘客服务需要智能召援系统的建设, 针对召援方式的现状问题, 首先从乘客角度分析智慧召援系统的功能需求、系统需求, 并结合人工智能等新技术的应用, 提出基于“线上+线下”的召援方式, 建立智能召援、人工召援和现场召援的三级体系; 提出采用五层架构建设智能召援平台, 分为设备接入层、数据输入层、业务逻辑层、算法处理层和终端响应层, 设计该体系下的响应逻辑和业务流程, 智能分发算法保证召援的就近触发、及时响应; 最后从工程角度提出召援终端设备的设置和所需的系统间联动, 该研究为后续智能召援系统的建设提供参考。

**关键词:** 智能召援系统; 智慧乘客服务; 轨道交通

中图分类号: U293.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0096-06

## Research on Establishment of Intelligent Emergency Call System for Urban Rail Transit

Xu Zheng<sup>1</sup>, Zhang Bingsen<sup>2</sup>, Liu Zeyuan<sup>1</sup>

(1. Beijing Capital Metro Co. Ltd., Beijing 101300, China)

(2. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037, China)

**Abstract:** Intelligent passenger service in rail transit requires the establishment of an intelligent emergency call system. In response to the current situation of call methods, this article first analyzes the functional requirements and system requirements of the intelligent emergency call system from the perspective of passengers. Combining the system with the application of new technologies such as artificial intelligence, a call method based on both online and offline is proposed, establishing a three-level system of intelligent calls, manual calls, and on-site calls. In addition, the use of a five-layer architecture is proposed to establish a platform for intelligent calls for assistance, which is divided into device access layer, data input layer, service logic layer, algorithm processing layer, and terminal response layer. This paper designs the response logic and service processes under this system, and

收稿日期: 2023-11-21; 修回日期: 2024-04-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFB1600703)

第一作者: 徐正(1982-), 男, 本科, 助理工程师, 主要研究方向: 轨道交通运输, 邮箱: 19408771@qq.com.

uses intelligent distribution algorithms to ensure the nearby triggering and timely response to calls for assistance. Finally, from an engineering perspective, the settings of the call-for-assistance terminal equipment and the required inter-system linkage are proposed. The research in this article will provide reference for the development of intelligent emergency call systems in the future.

**Keywords:** rail transit; smart passenger service; intelligent emergency call system

## 1 概述

“十四五”时期，交通强国和智慧城市建设持续推进，轨道交通由高速发展转入高质量发展阶段<sup>[1]</sup>。2020年《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》（以下简称《纲要》）颁布实施，作为智慧城轨发展的指导性文件，以智慧城轨助推高质量发展和交通强国建设。

乘客服务的智慧化和高品质是智慧城轨的重要构成<sup>[2]</sup>，《纲要》指出创建智慧乘客服务体系的目标是乘客无感出行、舒适便捷、换乘高效等<sup>[3]</sup>；各地也对智慧乘客服务的建设进行了探索和研究<sup>[4]</sup>，例如智慧票务方面，武汉地铁实现了全线网的实名制乘车、人脸识别及二维码支付；深圳地铁创新应用数字人民币；南京地铁实现了都市圈的票务互认、清分互信、管理互通。乘客服务方面，北京搭建了智慧乘客服务平台，为乘客提供规划、乘车、求助等服务<sup>[5]</sup>；天津建设了智慧出行咨询服务系统，为乘客提供定制化的精准服务；苏州、佛山、深圳、广州等地均提供了不同程度的智慧乘客服务<sup>[6]</sup>。由此可见，乘客服务的研究方向主要围绕票务、出行规划、信息咨询等方面，对召援系统的创新研究较少。

召援是一种及时呼叫车站帮助的行为，由安防专业建设，在车控室设置召援主机，在车站固定位置（如垂梯旁、站厅两端等）设置求助终端<sup>[7]</sup>。其存在以下问题：一是召援方式的单一，仅在特定位置通过物理终端发起召援；二是召援的不被普及性，大部分乘客并不熟知如何使用；三是召援的滞后性，无法及时解决乘客问题。另一方面，枢纽、商业综合体及换乘车站日益增多，存在空间复杂及服务人

员不足等问题，亟需考虑智能化召援系统的建设，提高对乘客的服务水平<sup>[8]</sup>。基于上述分析，结合信息技术的发展、无人或少人值守的智慧车站建设背景<sup>[9]</sup>，从乘客需求出发，提出完善的系统功能需求，搭建基于线上+线下的智能召援体系。最后从工程应用出发，分析智能召援终端设备的设置及业务流程。该研究提升了乘客服务水平及运营管理，为轨道交通智慧客服的发展提供参考。

## 2 智能召援系统的需求分析

轨道交通乘客召援主要是指乘客在车站/列车范围内通过各类终端/途径向车站/中心值班员进行求助<sup>[10]</sup>，智能召援需要从系统和功能层面进行分析。

### 2.1 系统需求

#### 1) 召援渠道扩展

乘客的沟通方式随着互联网发生改变，当前物理召援终端存在单一隐蔽等问题<sup>[11]</sup>，本文针对性的提出增加二维码、线上小程序和APP召援方式，丰富了乘客的召援渠道，顺应乘客的沟通习惯，可满足不同类型的乘客需求。

#### 2) 召援的时效性

响应的及时性是乘客服务的重要指标<sup>[12]</sup>，针对传统召援的滞后性问题，提出多层次响应体系。响应终端在车站控制室基础上增加客服中心和站务人员，通过基于定位信息的智能响应算法，实现就近召援响应，保障召援的时效性。

#### 3) 智能召援系统平台

智能召援系统平台是在各召援渠道的基础上满足乘客服务需求的服务框架，整合了乘客的召援需求，针对不同乘客提供个性化的召援服务，实现多

召援渠道的统一管控、协同处置，同一位置的多个渠道输入会以一次召援呈现等。

## 2.2 功能需求

智能召援系统的功能需针对乘客在出行场景中需要的服务进行分析，本文基于乘客需求调研和技术发展研究开展<sup>[13]</sup>。

**AI 智能服务：**乘客召援时，对于常见的信息查询等，AI 虚拟人能自动给出预先设置的答案，提供沉浸式的实景交流，并可不断自我学习和持续优化。

**音视频交互功能：**乘客在通过不同渠道进行召援时，可弹出页面，选择语音通话或视频通话即可获取求助服务。客服人员根据乘客需要进行答疑解惑、远程辅助操作，或到现场为乘客提供服务。

**信息查询：**当通过二维码、小程序或 APP 等线上渠道进行召援时，可显示实时列车到站、天气、换乘路线等所有乘车信息，以及提供到站提醒服务，更贴心地服务于快速生活的乘客群体。

**无定位装置导航<sup>[14]</sup>：**可在没有定位装置的地下空间中目标路径以及导航服务。

**信息互动：**通过线上召援时，乘客可以获得与工作人员、同乘人员以及上层平台之间的信息交互，方便反映问题、兴趣交友等。

**系统网管：**可管控系统内设备，方便故障终端设备的查询、统计和维修，同时也可通过该功能对人员进行管理。

## 3 智能召援体系建设方案研究

### 3.1 召援方式

召援受体乘客类型不同，如老人、小孩、青年等，各类型群体对服务方式喜好不同。本文提出采用“线上+线下”相结合的召援方式，覆盖所有乘客类型的服务需求，线上采用二维码、小程序和 APP 方式，线下采用设置物理召援按钮方式。

为实现召援的快速响应，结合运营的管理配置，在客服中心和车控室配置召援响应终端，站务员配置手持终端，具备召援响应的功能。整体网络架构如图 1 所示。

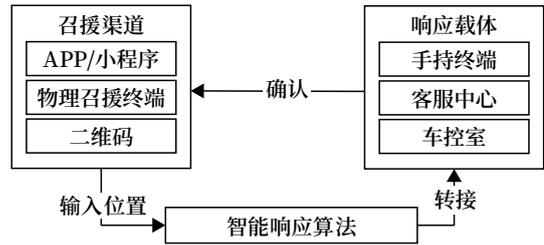


图1 整体网络架构

Fig.1 The overall network architecture

### 3.2 召援体系设计

AI 智能的发展已在乘客出行规划、语音交互、客服等方面取得了良好的应用<sup>[15]</sup>，大大提高了服务水平。本文考虑将 AI 智能引入召援体系，建立智能召援、人工召援和现场召援的三级体系，如图 2 所示。



图2 三级召援体系

Fig.2 The three-level emergency call system

智能召援是通过建设基于 AI、知识管理平台的引擎，通过卡通/虚拟人像为乘客提供常见问题的解答、智能导航等；当无法满足乘客需求时，可接入人工召援终端，由客服人员/站务员为乘客提供服务，了解乘客需求，在必要的情况下，到现场为乘客提供帮助。

### 3.3 智能召援平台方案设计

#### 3.3.1 系统架构

在上述建立三级召援体系及功能分析的基础上展开智能召援平台的方案设计，系统架构应是分层标准化的。本文提出采用五层架构建设智能召援平台，由设备接入层、数据输入层、业务逻辑层、算法处理层和终端响应层构成，如图 3 所示。

设备接入层包含不同的召援方式，如物理召援按钮、二维码、小程序和 APP 等；数据输入层包含

召援设备的 ID、位置数据、求助信息数据（如召援时间、状态、响应状态数据）等，其中召援求助信息包括召援时间、召援状态、召援响应状态；业务逻辑层是响应终端对召援响应的逻辑条件；算法处理层包含整个业务流程的处理算法，使得给各召援点匹配最优的响应终端；终端设备层包含客服中心终端、站务员手持终端和车控室终端。

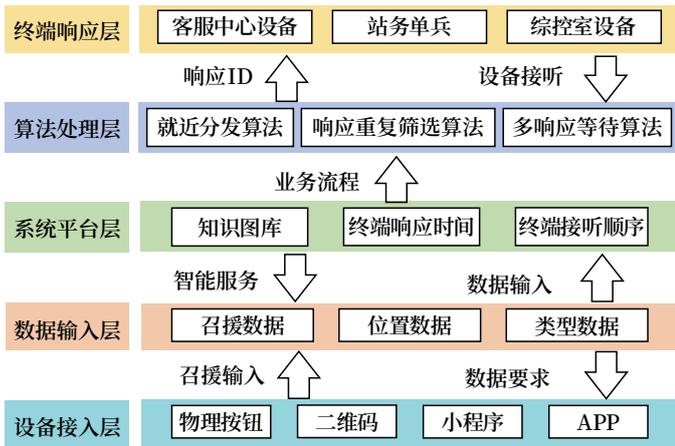


图3 智能召援平台系统架构

Fig.3 System architecture of the intelligent emergency call platform

### 3.3.2 召援响应流程设计

在多召援点输入和多响应输出的模式下，如何处理多输入信号与响应终端的匹配是该召援体系的关键。

本文针对性的进行响应逻辑设计。

#### 1) 基础输入内容

主要包含召援前端、响应终端的属性信息，有召援前端的 ID 信息、求助信息、响应终端的位置信息、状态信息等，为智能召援响应的判断提供依据。

#### 2) 响应逻辑原则

分级响应原则：设定响应顺序依次为客服中心终端、站务员手持终端和车控室终端，由于车控室 24 h 有人值守，将其设为最后一级确保能最终响应召援；客服中心终端可通过视频监控调看召援前端的状态，能更好的对现场情况做出判断，将其放在响应的第一级；站务员位置较为灵活，前往现场需与乘客确定更多信息，将其放在第二级响应。

就近响应原则：当发生召援信息时就近响应，智能召援平台根据召援点位置信息与响应终端位置信息，通过在同一坐标系下的二维坐标转换得到召援点与响应终端的欧式距离，距离最近优先响应，无人应答时自动转为下一级响应。

#### 3) 召援响应业务流程

在建立的三级召援体系的基础上，依托智能召援系统平台，形成的召援响应业务流程如图 4 所示。

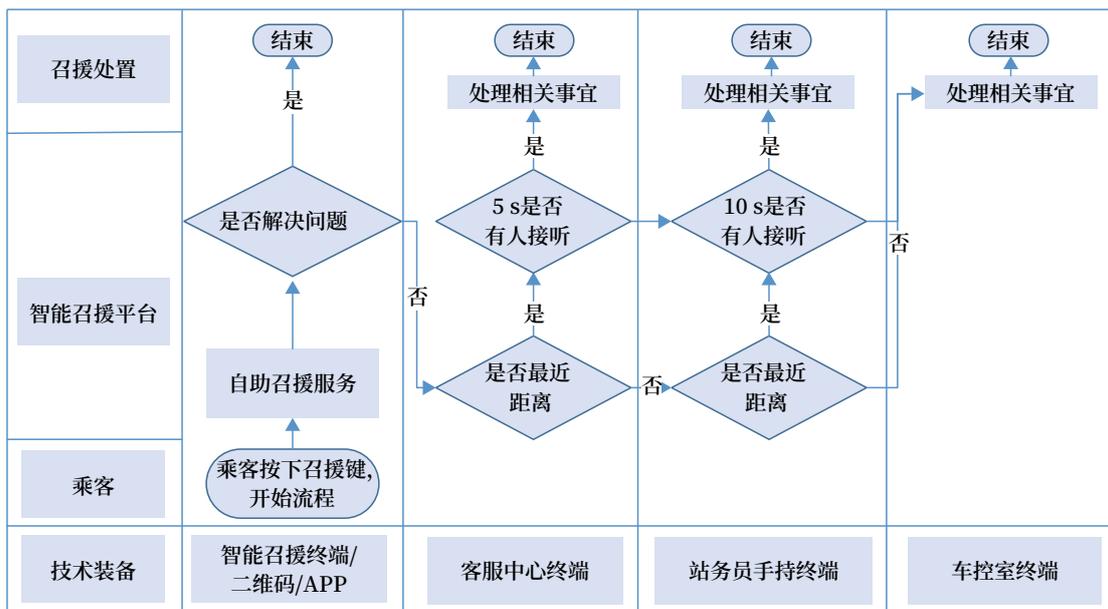


图4 召援响应业务流程

Fig.4 Flowchart of the response service for emergency calls

## 4 智能召援体系的应用

### 4.1 智能召援终端的设置

智能召援体系建立后，召援终端的设置是保证乘客服务水平的关键。根据乘客在车站使用的需求调研，建议召援终端按以下原则进行设置，如表1所示。

表1 智能召援终端的设置

Tab.1 Deployment of intelligent emergency call terminals

序号	召援终端型式	设置地点	备注
1	物理终端	垂梯门口	每层垂梯门口各1部
2		客服中心	兼顾付费区和非付费区
3		残疾人卫生间	
4		站厅非付费区车控室侧/对侧端墙	
5		站台车控室侧/对侧端墙	
6	召援二维码	出入口通道/进站闸机/出站闸机/扶梯上下端头/换乘通道/各独立区域	通道根据长短、形式确定数量
7	响应终端	客服中心/站务员/车控室	

### 4.2 系统间联动

结合轨道交通生产系统的建设，为更好了解召援乘客的现场情况，在车站与视频监控系统进行接口，当有乘客按下召援时，可联动调看实时的视频流，帮助响应人员进行判断；在车站与生产无线系统进行接口，能实现响应终端与手持终端的互通，确保发生意外情况时，能呼叫人员到现场进行处置。

## 5 结论

在轨道交通高质量发展的背景下，现有的召援体系存在方式单一、时效性差等不足。依托信息化技术，提出基于“线上+线下”的召援方式，建立智能召援、人工召援和现场召援的三级体系，响应逻辑和业务流程设计保证了召援的及时性，大大地提高了乘客的服务水平。后续可持续关注技术的发展，例如5G网络、人工智能等，丰富智能召援系统的功能，更好地服务乘客。

## 参考文献

- [1] 闫业凡, 李海鹰, 许心越, 等. 城市轨道交通乘客智慧出行信息服务平台构建研究[J]. 铁道运输与经济, 2023, 45(1): 115-122.  
Yan Yefan, Li Haiying, Xu Xinyue, et al. Research on Construction of Passenger Smart Travel Information Service Platform of Urban Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy, 2023, 45(1): 115-122.
- [2] 罗慧, 王建文, 耿杰, 等. 西安地铁智慧车站实施方案研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(4): 70-75.  
Luo Hui, Wang Jianwen, Geng Jie, et al. Study of Implementation Plan of Smart Station in Xi'an Metro[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(4): 70-75.
- [3] 付保明, 梁君, 张宁, 等. 基于智慧客服的城市轨道交通乘客服务体系[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11): 76-81.  
Fu Baoming, Liang Jun, Zhang Ning, et al. Passenger Service System Based on Intelligent Customer Service for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 76-81.
- [4] 蔺陆洲, 杨军, 张开婷. 基于北斗时空体系的智慧地铁乘客服务设计与分析[J]. 铁路技术创新, 2023(3): 79-87, 97.  
Lin Luzhou, Yang Jun, Zhang Kaiting. Design and Analysis of Smart Metro Passenger Service Based on Beidou Spatio-Temporal System[J]. Railway Technical Innovation, 2023(3): 79-87, 97.
- [5] 张义鑫, 张炳森. 轨道交通线网智能运维系统的设计方案思考[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(10): 58-62.  
Zhang Yixin, Zhang Bingsen. Design of Intelligent Operation and Maintenance System for Urban Rail Transit Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(10): 58-62.
- [6] 魏运, 白文飞, 李宇杰. 智慧地铁需求分析及

- 功能规划研究[J]. 都市轨道交通, 2020, 33(1): 40-48.  
Wei Yun, Bai Wenfei, Li Yujie. Development Demand and Function Planning of Smart Metro[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(1): 40-48.
- [7] 陆海亭, 付保明, 张宁, 等. 城市轨道交通车站智慧运营管理模式研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023(5): 18-22.  
Lu Haiting, Fu Baoming, Zhang Ning, et al. Research on Intelligent Operation and Management Mode of Urban Rail Transit Stations[J]. Modern Urban Transit, 2023(5): 18-22.
- [8] 吴昊. 北京智慧轨道交通的建设实践和启示有感于《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》发布两周年[J]. 城市轨道交通, 2022(4): 31-32.
- [9] 付保明, 李舜康, 张宁, 等. 基于信息融合的城市轨道交通站内信息服务[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(2): 83-88, 106.  
Fu Baoming, Li Shunkang, Zhang Ning, et al. Passenger Service of Urban Rail Transit Station Based on Information Fusion[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(2): 83-88, 106.
- [10] 李健, 毛新德, 刘英杰, 等. 城市轨道交通车站客服新模式探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(11): 74-78.  
Li Jian, Mao Xinde, Liu Yingjie, et al. Discussion on New Mode of Passenger Service of Urban Rail Transit Stations[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 74-78.
- [11] 刘琳婷, 王智永, 刘飞. 苏州市轨道交通智慧运营体系研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022(Z1): 113-117.  
Liu Linting, Wang Zhiyong, Liu Fei. Study on Intelligent Operation System of Suzhou Rail Transit[J]. Modern Urban Transit, 2022(Z1): 113-117.
- [12] 李樊, 杜呈欣, 王志飞, 等. 城市轨道交通智慧车站建设研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023(7): 16-20.  
Li Fan, Du Chengxin, Wang Zhifei, et al. Research on Smart Station Construction for Urban Rail Transit[J]. Modern Urban Transit, 2023(7): 16-20.
- [13] 瞿锡成, 朱嘉斌, 陆培庆. 苏州轨道交通集团智能客服系统研究与实践[J]. 城市轨道交通, 2022(5): 24-27.
- [14] 田源, 杜呈欣, 李樊, 等. 城市轨道交通智慧乘客综合服务平台方案研究与设计[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(1): 120-126.  
Tian Yuan, Du Chengxin, Li Fan, et al. Research and Design of Smart Passenger Integrated Service Platform for Urban Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(1): 120-126.
- [15] 史永飞. 厦门轨道交通建设数字化转型实践与思考[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(4): 35-39.  
Shi Yongfei. Digital Transformation in Xiamen Rail Transit Construction: Practices and Reflections[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023, 36(4): 35-39.

\*\*\*\*\*

## 广告索引

成都运达科技股份有限公司  
绵阳市维博电子有限责任公司  
卡斯柯信号有限公司

封面  
封三  
封底

# 城市轨道交通信号系统临时控制中心 方案研究

宋煜炜<sup>1</sup>, 肖克<sup>2</sup>, 白永杰<sup>2</sup>

(1. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037;

2. 郑州地铁集团有限公司运营分公司, 郑州 450046)

**摘要:** 由于郑州市轨道交通第二调度中心建设工期滞后, 导致新建全自动运行线路不能正常投入运营使用, 亟需过渡方案以满足新建线路开通初期需求。以郑州市轨道交通 10 号线信号专业为例, 提出利用备用控制中心作临时控制中心的过渡方案。通过介绍控制中心原方案, 综合考虑方案可行性、运营风险、投资金额三方面研究临时控制中心方案。利用规划采购原放置于第二调度中心各线路控制中心的设备以及备品备件, 通过借调搬迁使备用控制中心升级为临时控制中心, 为各线路开通提供必备条件; 当第二调度中心竣工接入, 各线路再有序进行设备搬迁、调试以及网络割接, 停用临时控制中心并恢复备用控制中心。方案通过设备借调降低了运营风险和投资成本, 对郑州后续线路以及其他地区轨道交通建设具有一定的参考价值。

**关键词:** 临时控制中心; 全自动运行; 备用控制中心; 终端拉远; 竣工搬迁

中图分类号: U239.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0102-08

## Research on Schemes for Temporary Operation Control Center of Urban Rail Transit Signaling System

Song Yuwei<sup>1</sup>, Xiao Ke<sup>2</sup>, Bai Yongjie<sup>2</sup>

(1. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037, China)

(2. Operation Branch, Zhengzhou Metro Group Co., Ltd., Zhengzhou 450046, China)

**Abstract:** Due to the delayed construction period of the Second Dispatching Center of Zhengzhou Urban Rail Transit, the newly built fully automatic operation line cannot be put into operation normally, and a transition plan is urgently needed to meet the initial demand of opening the newly built line for public use. Taking the signaling profession of Zhengzhou Metro Line 10 as an example, the transition scheme of using the standby control center as the temporary control center is proposed. Based on the introduction of the original plan of the control center, the temporary control center plan is researched, taking into consideration all three factors: the feasibility, operation risks and investment

amount. The equipment and spare parts originally placed in each line control center of the Second Dispatching Center are purchased through planning, and the standby control center is upgraded to the temporary control center through secondment and relocation, so as to provide necessary conditions for the opening of all lines. When the Second Dispatching Center is completed and connected, equipment relocation, debugging and network migration will be carried out for all lines in an orderly manner. The temporary control center will stop operations and the standby control center will resume operations. The scheme reduces operation risks and investment costs through equipment secondment, and has certain reference value for the subsequent railway construction in Zhengzhou and rail transit development in other areas.

**Keywords:** temporary operation control center; fully automatic operation; backup operation control center; remote terminal device; relocation after completion

根据郑州市轨道交通线网规划，7号线、8号线和10号线控制中心纳入第二调度中心（简称二调）集中管理。但目前二调建设工期不能满足上述线路开通运营需求，因此各线路亟需设置临时控制中心过渡，待二调建成后再进行割接、搬迁，启用主控制中心及恢复备用控制中心。本文以10号线为例，对临时控制中心过渡方案进行研究，对后续线路建设提供参考。

## 1 控制中心原设计方案

根据自动化等级（Grade of Automation, GoA），全自动运行系统可分为GoA3有人值守的全自动运行（Driverless Train Operating, DTO）和GoA4无人值守的全自动运行（Unattended Train Operating, UTO）。10号线一期工程信号系统开通初期采用DTO，远期采用UTO。控制中心作为城市轨道交通日常运营、设备维护、行车组织的指挥中心，也是运营信息收发中心。在全自动运行条件下，乘客服务、设备管理、列车调度等将在无人值守即全自动的条件下进行。全自动运行系统将司机的工作职能一部分由车载系统承担，另一部分由控制中心承担，因此控制中心在整个运营工作中的地位将进一步提升。由于车上无人值守，当控制中心失效时，列车运行将完全无人监控且无法进行运营调整，因此需要考虑控制中心失效情况下的应急方案。根据中国城市轨道交通协会发布的

《城市轨道交通全自动运行系统规范》，全自动运行系统宜设置备用控制中心。故10号线设置主备2座控制中心。

10号线主用控制中心设置于二调内，主控制中心系统结构如图1所示。主控制中心核心设备按照冗余配置，其中长期演进技术（Long Term Evolution, LTE）核心设备采取异地冗余配置，即主备控制中心各一套。调度大厅设置调度员工作站、调度长工作站、车辆调工作站、时刻表/运行图编辑工作站以及运行图显示工作站，从而实现行车计划的编制和管理以及对全线列车运行的自动监控和调整。培训室设置教员工作站、学员工作站以及模拟培训服务器，同时将维修中心与主用控制中心合设。

备用控制中心设置于车辆段内，与主控制中心共同构成热备冗余结构。相比于主控制中心，备控制中心核心设备减少为单套配置，其余设备配置与主控制中心保持一致。

## 2 临时控制中心方案

由于二调建设工期无法满足10号线于2022年12月投入试运营的需求，因此需要设置临时控制中心进行过渡以满足初期开通运营的需求。过渡方案应秉持以下3个原则：对运营影响小；施工综合实施难度小；资源共享，节约投资。故10号线开通初期可以将备控制中心作为临时控制中心，同时结合

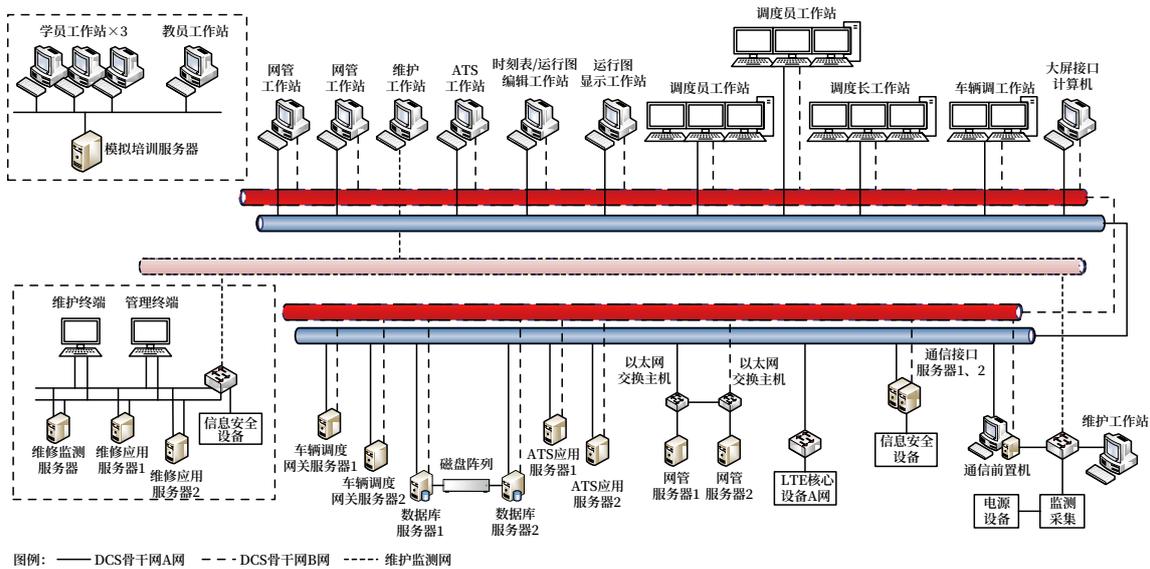


图1 主用控制中心系统结构示意图  
Fig.1 Structure diagram of master control center system

运营需求，将临时控制中心调度终端拉远至既有郑东调度中心，方便工作人员集中管理。

### 2.1 系统设备方案

#### 1) 方案一

备用控制中心直接作为临时控制中心开通。作为主控中心的热备冗余结构，备控中心能够实现主控中心的所有基本功能，因此可直接作为临时控制中心开通。

#### 2) 方案二

备控中心采购新设备升级为主控中心后作为临时控制中心开通。通过购入一套核心设备构成双套热备冗余结构，实现与主控中心设备一致后作为临时控制中心开通。

#### 3) 方案三

备控中心借用备品备件升级为主控中心后作为临时控制中心开通。通过借用备品备件构成双套服务器热备冗余结构，实现与主控中心设备一致后作为临时控制中心开通。

3种方案比选如表1所示。

方案一实施难度最小且没有任何新增投资。但从运营风险和可行性角度来看，其长时间单机运行，系统可靠性低，相比原主控中心设计方案存在新增

表1 方案比选

Tab.1 Scheme comparison

内容	方案一	方案二	方案三
工程实施	1) 对调度终端进行搬迁，由备用控制中心搬至郑东调度中心 2) 第二调度中心开通后，主控中心调试以及倒切	1) 对调度终端进行搬迁，由备用控制中心搬至郑东调度中心 2) 第二调度中心开通后，主控中心调试以及倒切 3. 供电电源扩容	1) 对调度终端进行搬迁，由备用控制中心搬至郑东调度中心 2) 第二调度中心开通后，主控中心调试以及倒切 3) 供电电源扩容 4) 借用设备拆卸归还
运营风险	长时间单机运行	双机运行	双机运行
可行性	不完全满足运营需求	满足运营需求	满足运营需求
新增投资	无	约300万元	约20万元

运营风险，不能完全满足运营需求。因此不推荐备控中心直接作为临时控制中心开通。方案二和方案三均为双机运行，相比原主控中心设计方案不存在新增运营风险，满足运营需求。但考虑到方案二需新增设备投资费用约300万元，远高于方案二新增部分设备搬迁和调试的费用，因此不推荐备控中心采购新设备作临时控制中心开通。方案三通过借调设备实现了资源共享，节约投资成本。同时也兼顾了对运营影响小和施工综合实施难度小，可行性好

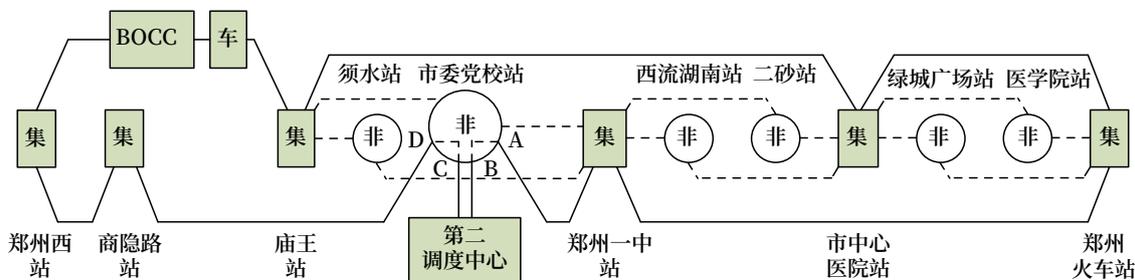
的原则。因此，系统设备方案推荐采用方案三。

## 2.2 系统传输方案

10 号线数据通信系统 (Data Communications System, DCS) 有线骨干网采用基于以太网技术的环网组网方案。在集中站、段场、主控中心、备控中心设置工业级骨干网交换机，这些交换机之间通过单模光纤组成 5 个独立的环状网络。非集中站通过 2 根单模光缆就近分别拉至相邻的两个集中站。

10 号线主控制中心设置在第二调度中心，在市委党校站通过 14 号线引入控制中心。郑州一中

站与市委党校站之间敷设 1 根单模光缆，并熔接在市委党校站光纤配线架 (Optical Distribution Frame, ODF) A 侧端子上；二调与市委党校之间敷设 2 根单模光缆，并熔接市委党校站 ODF 架 B 侧和 C 侧端子上；庙王站与市委党校站之间敷设 1 根单模光缆，并熔接市委党校站 ODF 架 D 侧端子上。在市委党校站 ODF 侧，将市委党校站的骨干网光缆配线端子 A、D 分别利用尾纤跳接至 B、C 侧配线端子，实现“郑州一中站 - 第二调度中心 - 庙王站”的骨干网成环组网。有线骨干网传输结构如图 2 所示。



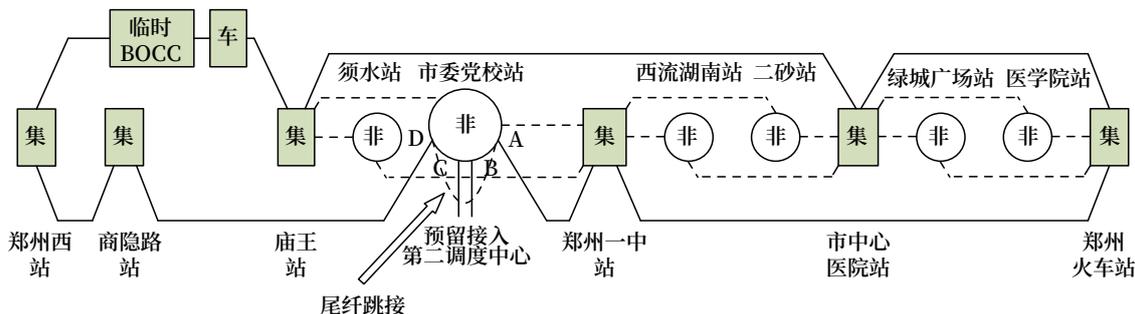
图例：[集]：集中站 [车]：车辆段 (非)：非集中站 BOCC：备控中心 ——：骨干网节点间光缆 ----：非集中站至集中站光缆

图2 有线骨干网传输结构示意图

Fig.2 Diagram of transmission structure of wired backbone network

临时控制中心开通时，拆除 A-B、C-D 之间的跳线，并将 A、D 端子用尾纤跳接实现“郑州一中站 - 庙王站”的骨干网成环组网，同时预留第二调

度中心后续接入条件。临时控制中心接入后有有线骨干网传输结构如图 3 所示。



图例：[集]：集中站 [车]：车辆段 (非)：非集中站 BOCC：备控中心 ——：骨干网节点间光缆 ----：非集中站至集中站光缆

图3 临时控制中心接入后传输结构示意图

Fig.3 Diagram of transmission structure of temporary control center after access

## 2.3 系统终端拉远方案

为满足线路集中指挥的运营需求，位于车辆段的临时控制中心调度终端需拉远至郑东调度中心的调度大厅。此举更有利于线网间各运营线路集中调

度指挥、协调，同时更利于优化调度配置。终端拉远的传输通道均采用通信专业提供的传输通道，接口界面分别在临时控制中心综合设备室通信 ODF 接线架和郑东调度中心大屏后的通信布线柜接线端

子外侧，同时郑东调度中心大屏后的通信布线柜为信号提供交换机的安装空间。另需新购置 1 套电源设备（包含电源屏、UPS、蓄电池）放置在郑东调

度中心 5 号线综合电源室，为拉远终端供电。终端拉远传输通道如图 4 所示。

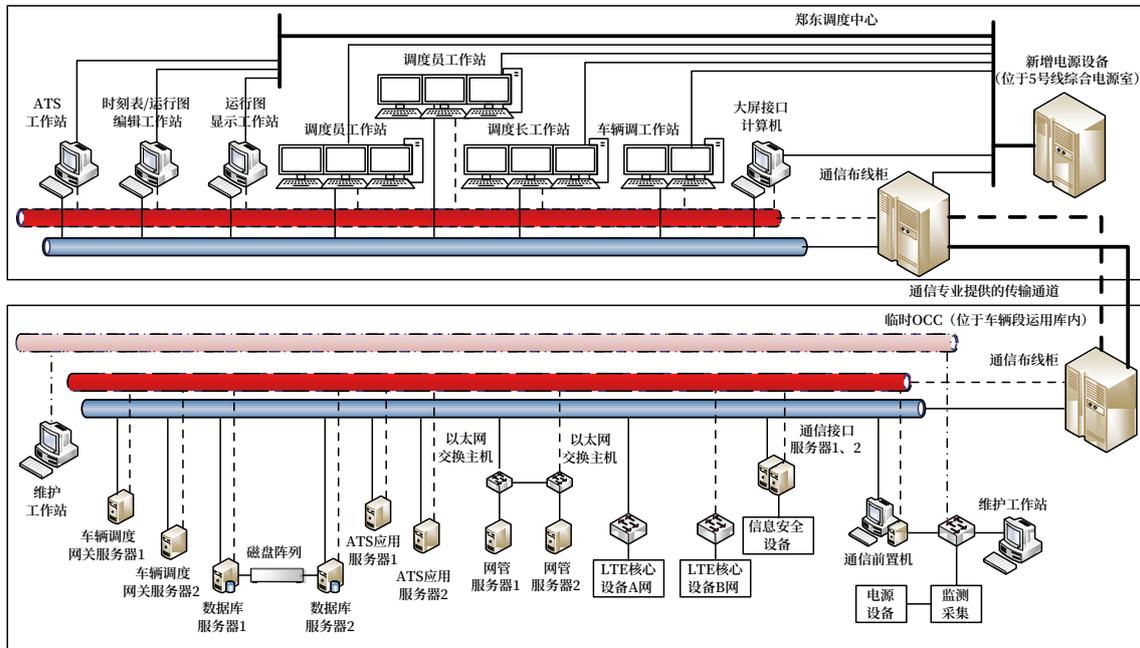


图4 终端拉远传输示意  
Fig.4 Terminal remote transmission diagram

### 3 接入第二调度中心搬迁方案

#### 3.1 临时控制中心设备借用方案

根据郑州市轨道交通线网规划，7 号线、8 号线、10 号线 3 座控制中心均纳入二调集中运营指挥，各线路全线设备一次性采购完毕。在接入二调前，7 号、8 号、10 号线采用临时控制中心方案过渡。

综合考虑有效降低工程投资、资产移交等因素，同时遵循对既有有线运营影响最小的原则，各线采用“借用设备安装”。搬迁时，按照顺序搬迁，各线按照设计方案实施，确保财产移交各环节相对应。

1) 7 号线为非全自动运行线路，设计初期未配置备用控制中心，因此 7 号线利用 8 号线二调设备，配置双套 7 号线临时控制中心信号设备，放置在 7 号线车辆段运用库综合设备室，另需新购置 1 套电源设备和 LTE 核心网设备。

2) 8 号线利用其备用控制中心设备和部分 10 号线二调中心设备，配置双套 8 号线临时控制中心

信号设备放置在 8 号线停车场。

3) 10 号线利用其备用控制中心设备和既有线库存备件、3 条线路（7 号、8 号、10 号线）建设移交备件及培训中心设备，配置双套 10 号线临时控制中心信号设备放置在 10 号线车辆段。

临时控制中心段 / 场设备布置方案如图 5 所示。

#### 3.2 第二调度中心竣工搬迁方案

随着第二调度中心竣工，所有设备搬迁归还至各线运营部门。具体搬迁分为 4 阶段完成。

##### 1) 7 号线搬迁

7 号线完成设备安装调试后进行网络割接和功能测试，测试正常后关停其临时控制中心设备，拆除“借用”8 号线的双套 ATS、DCS 和 LTE 核心网设备并搬迁至二调中心 8 号线设备所在位置，为 8 号线搬迁提供前置条件。新购置的 LTE 核心网设备转为备品备件和培训设备。

##### 2) 8 号线搬迁

8 号线完成设备安装调试后进行网络割接和功

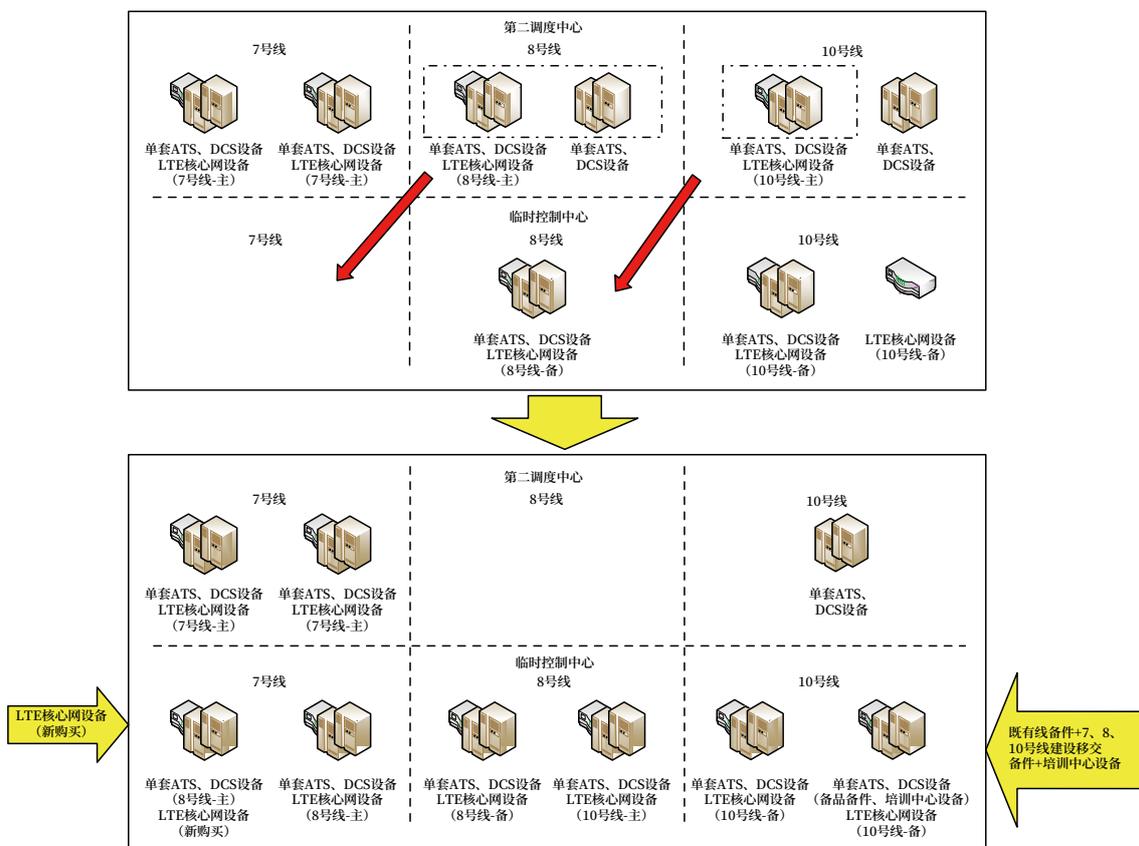


图5 临时控制中心设备布置示意

Fig.5 Diagram of the equipment layout of the temporary control center

能测试，测试正常后关停其临时控制中心设备，拆除“借用”10号线的单套ATS、DCS和LTE核心网设备并搬迁至二调中心10号线设备所在位置，为10号线搬迁提供前置条件。

### 3) 10号线搬迁

在完成归还的10号线二调信号设备安装及调试后，利用运营结束后作业点将10号线二调设备网络割接至10号线列车自动运行系统（Automatic Train Operation, ATC）深浅灰网、列车自动防护子系统（Automatic Train Protection, ATP）红蓝网和维护支持系统（Maintenance Support System, MSS）网，并进行其二调设备功能测试验证。随着二调中心10号线网络通信和操作功能正常，关停10号线临时控制中心设备，启用10号线二调主控中心，同时申请施工作业点拆除“借用”各线路的备品备件和培训设备。

### 4) 工作站搬迁

调度人员根据线路割接进度逐步搬迁至二调中心办公。已拆除的临时控制中心拉远终端工作站移至备控中心原位置，根据搬迁情况启用备用控制中心。至此，所有线路恢复原设计方案，完成临时控制中心方案的过渡。

接入第二调度中心搬迁方案如图6所示。

## 4 结论

针对城市轨道交通线路建设过程中出现的因控制中心工程施工、开通时间不协调，从而导致在建线路不能按期正常开通运营的情况，提出临时控制中心作为过渡方案。本着方案可行性高、对运营影响小、节约投资3个原则，以郑州市轨道交通10号线一期工程为例，选用位于车辆段的备用控制中心作为临时控制中心，采用设备借调、终端拉远的方案实现线路正常开通运营的需求。同时考虑后续二调接入的问题，ODF架完成一次性配置，在二调

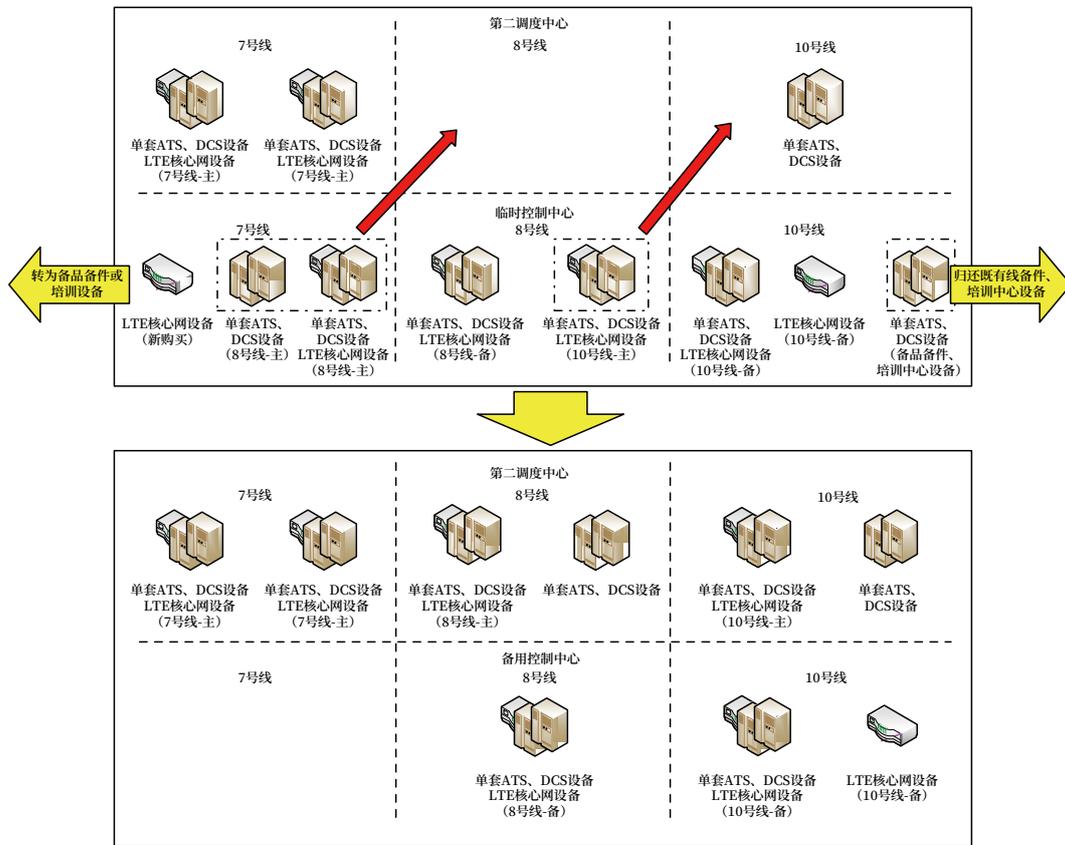


图6 接入第二调度中心后搬迁方案示意  
Fig.6 Diagram of relocation scheme after access to the Second Dispatching Center

未接入前，通过尾纤跳接的方式进行组网，为后续接入DCS骨干网预留条件。同时后续设备搬迁按线路分阶段进行，满足既有线关键系统设备双套运行以及灵活接入的需求，为后续轨道交通建设提供一定参考。

### 参考文献

[1] 李春宇. GoA2与GoA4信号系统技术要求对比分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(7): 61-64.  
Li Chunyu. Contrastive Analysis of Technological Requirements of GoA2 and GoA4 Signal Systems[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(7): 61-64.

[2] 冯维佳. 适用于全自动运行信号系统的站台功能研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(12): 80-83, 92.

Feng Weijia. Research on Platform Function of Fully Automatic Operation Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 80-83, 92.

[3] 薛强, 张永会. 全自动运行系统控制中心与备用控制中心切换方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(8): 78-82.  
Xue Qiang, Zhang Yonghui. Switching Scheme of OCC and BOCC in Fully Automatic Operation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(8): 78-82.

[4] 周竞. 全自动运行线路控制中心(OCC)失效应急管理探讨[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(S1): 77-81.  
Zhou Jing. Discussion on Failure Emergency Management of Automatic Operation Line Control Center (OCC)[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16(S1): 77-81.

- [5] 武长海. 城市轨道全自动无人驾驶技术应用探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(5): 54-58.  
Wu Changhai. Application of Full Automatic Driverless Technology in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(5): 54-58.
- [6] 苏志恒, 陈璇. 全自动运行线路备用控制中心的配置与管理 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 112-114, 117.  
Su Zhiheng, Chen Xuan. Configuration and Management of Backup Operation Control Center for Fully Automatic Operation Line[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 112-114, 117.
- [7] 陆鹏. 城市轨道交通全自动运行线路运营策略 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(2): 65-68.  
Lu Peng. Operation Strategy of Urban Rail Transit FAO Line[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(2): 65-68.
- [8] 曹启滨, 高伯翰. 城市轨道交通全自动运行系统工程设计联络要点分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(10): 52-56.  
Cao Qibin, Gao Bohan. Analysis of Key Points for Engineering Design Liaison of Fully Automatic Operation System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 52-56.
- [9] 付文佳, 韩涛, 刘倩, 等. 基于场景的全自动运行系统安全分析方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(12): 83-87.  
Fu Wenjia, Han Tao, Liu Qian, et al. Scenario-Based Safety Analysis Method for Fully Automatic Train Operation Systems[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 83-87.
- [10] 曹启滨. 城市轨道交通全自动运行FAO项目运营筹备中的启示 [J]. 铁道通信信号, 2023, 59(1): 59-62.  
Cao Qibin. Enlightenment from the Operation Preparation of FAO Project in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 59(1): 59-62.
- [11] 刘涛. 地铁全自动运行控制中心信号系统冗余设计方案 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57(9): 88-92.  
Liu Tao. Redundancy Design Scheme of Control Center Signal System in FAO Metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 57(9): 88-92.
- [12] 钟杰, 胡华. 城市轨道交通全自动运行系统联调临时控制中心方案研究与实践 [J]. 现代城市轨道交通, 2023(9): 19-23.  
Zhong Jie, Hu Hua. Research and practice on temporary control center scheme for integrated test of FAO system in urban rail transit[J]. Modern Urban Transit, 2023(9): 19-23.
- [13] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通全自动运行系统规范第1部分: 需求: T/CAMET 04017.1-2019[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2019.
- [14] 刘冬冬, 唐陶. 基于地铁CBTC信号系统的延伸预留设计方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(11): 97-101.  
Liu Dongdong, Tang Tao. Research on Reservation Design Scheme for Extension Based on Urban Rail Transit CBTC Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 97-101.
- [15] 马龙. 城市轨道交通信号系统DCS有线网络过渡方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(8): 62-64, 89.  
Ma Long. DCS Wired Network Transition Plan of Urban Rail Transit Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 62-64, 89.
- [16] 陈通. 复杂条件下地铁CBTC信号系统接入既有线的解决方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21(03): 69-72.  
Chen Tong. Solution for Connecting CBTC System to Existing Line Under Complex Conditions[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(3): 69-72.

# 基于车载ATC系统的车辆仿真模拟器制作与应用

蔡波, 方潇仪

(苏州市轨道交通集团有限公司运营二分公司, 江苏苏州 215000)

**摘要:** ATC信号设备是控制机车车辆(地铁)的重要设备, 车载系统与车辆的控制电路系统紧密联系, 之间存在许多电气接口和信息接口。由于车载ATC信号设备与车辆属于两个系统, 系统之间联合调试工作受时间、场地等诸多因素影响, 而目前还没有能单独检测车载板卡内部开关量功能的设备, 缺少专用工具对中大修后的板卡进行功能验证, 在静态检修后的试车线动调时存在安全风险。研究一种替代车辆专业设备的调试装置, 该装置与int连接器母头相连, 列车静态条件下通过电脑OMAP软件强制驱动板卡内部开关量, 从而测试板卡内部接点是否正常工作, 在列车动态测试前就能精准定位故障件, 提升列车动态调试效率, 进一步提高检修质量与标准。

**关键词:** 车载板卡; 车辆; 接口; 开关量

中图分类号: U284.91<sup>+</sup>1

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0110-06

## Creation and Application of Vehicle Simulator Based on On-board ATC System

Cai Bo, Fang Xiaoyi

(No.2 Operation Branch, Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., Suzhou 215000, China)

**Abstract:** ATC signal equipment is an important equipment for controlling rolling stock (subways). The on-board system is closely connected with the control circuit system of the vehicle, and there are many electrical interfaces and information interfaces between them. As the on-board ATC signal equipment and the vehicle belong to two systems, the joint debugging between the systems is affected by many factors such as time, site and so on. At present, there is no equipment available that can independently detect the internal digital signal functions of the boards and cards onboard the vehicle, and there is a lack of special tools to verify the functions of the boards and cards after medium and large-scale overhaul. There are safety risks during the dynamic debugging on the test line after static overhaul. This paper mainly describes a debugging device that replaces professional vehicle equipment. The device is connected with the female head of int connector. Under the static condition

收稿日期: 2023-03-08; 修回日期: 2024-04-07

第一作者: 蔡波(1989—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 地铁信号设备维护, 邮箱: 387837617@qq.com.

of the train, OMAP software is used to force and drive the internal digital signal of the board or card, so as to test whether the internal contact of the board or card works normally. The positions of faulty components can be accurately identified before dynamic train testing. This device improves the efficiency of dynamic train debugging and further improves the maintenance quality and standard.

**Keywords:** boards and cards onboard the vehicle; vehicle; interface; digital signal

为有效提高轨道交通新车调试效率、深度检测车载板卡维护质量,提升设备质量,设计制作基于车载 ATC 系统板卡测试的车辆仿真模拟器。该装置是一项针对轨道交通列车 CC 机柜板卡功能进行测试的工具,可批量化对列车信号涉及的输入/输出单元开关量以及功能进行测试,同时也可快速查找板卡内部开关量接点是否灵活可用,尤其是在与车辆接口故障及串线等难点故障的排查中可以发挥更加高效的作用。从而有效对车载板卡设备硬、软件性能及车辆继电器响应标准进行整体评判。在生产应用中该装置的使用,脱离列车环境单独对板卡进行检测,更加精确判定板卡内部是否稳定,有效提升设备检修质量及故障处理效率,降低轨道交通施工资源占用,达到研究目的。

## 1 需求分析

在列车静态条件下,U888 信号系统中车载信号板卡内部开关量无法直接判断是否功能正常。目前仅可能的静态测试方法:利用 OMAP 软件在列车上强制驱动板卡动作,但需重新刷车载板卡软件,一方面软件刷新的安全风险高,另一方面刷新软件步骤繁琐,不利于静态调试试验。故需要制作一种替代车辆专业设备的调试装置,在培训中心的车载 CC 机柜内,利用电脑 OMAP 软件强驱板卡,可对车载板卡内部开关量进行单独测试,精确定位故障点。一方面脱离列车环境进行检测,对上线列车影响较小;另一方面可直观反映功能链路是否正常通信。针对目前苏州轨道交通 3 号线现场情况,为确保日常维护需要以及提升检修效率,确定仿真模拟器功能需求如图 1 所示。

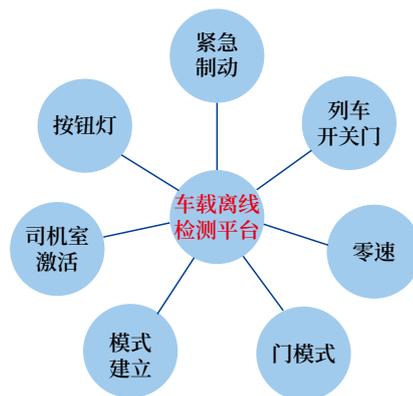


图1 仿真模拟器功能需求  
Fig.1 Functional requirements of the simulator

## 2 设计方案及制作

### 2.1 设计方案确定

车载 CC 机柜根据移动授权、位置报告及移动闭塞的原理执行 ATP 功能。通过 int 插头与车辆连接,输入和输出车载信号相关的信息。U888 信号系统车载 ATC 离线检测平台主要用于代替车辆专业设备对信号板卡与车辆输入、输出功能接口进行静态调试,和与车载板卡内部链路的接口故障排查。平台从电路结构上分为 4 大模块。

第一是供电模块:利用对车载核心处理器 CPS 的供电特性,支持检测平台的输入/输出相关功能回路供电。

第二是输入模块:提供手动操作平台设备,使电信号通过相关 int 端子,电脑 OMAP 软件上相应输入开关量从“0”变为“1”,代表此输入功能有效。比如 KSON 钥匙激活、TDCL 门关好且锁闭等。

第三是信息驱动模块:通过操作 OMAP 软件上的相关板卡功能开关量,使其变为“1”,平台内部相应指示灯点亮,代表板卡该路输出有效。比如

开门命令、关门命令、按钮灯、零速信号 ZVI 和门使能信号 DE 等。

第四是开关量检测孔：使用万用表对相关功能回路电压及电阻进行测试，保证该路功能电压和接点阻值在正常值范围内。

为保证平台的上述需求，小组制定了两种方案，如表 1 所示。

表1 方案对比  
Tab.1 Comparison of plans

方案一	方案二
自行连接电路，定制模具，设计外观	属于集成电路板
电路的连接容易出现错误	只需提供连接电路图
焊接时容易出现虚焊等情况	不需要人工焊接
相对厚重，不利于携带	美观，携带轻便
装置的电路连接可调整	一旦制成，电路连接不可改变
成本低	成本相对高

方案一：定制铝合金装置（孔尺寸已定）并对应插入元器件，最终进行焊接

小组根据车辆电气原理图、信号与车辆接口技术规格书及车载 ATC 维护手册等资料设计调试装置电路图，制作该装置。在设计电路图中可能存在不正确的电路，在连接电路的过程中容易出现错误；焊接时也容易出现虚焊，焊接不牢固等情况。但是，小组设计的电路图可在测试过程中验证其正确性，调试装置的电路连接可以随着电路图的改变而改变。

方案二：将调试装置制成 PCB 板

小组根据调试装置电路图设计制作 PCB 板。但是，若小组设计的电路图在测试过程中发现错误，PCB 板的电路图需要重新设计制作，设计及制作成本也会大幅增加。

## 2.2 平台制作

通过研究信号车载 CC 机柜背板电路图及列车布线图，制定检测平台的电路图，根据设计的电路图进行材料采购，随后进行平台雏形及正式版的制作，最终培训中心试验效果：利用 OMAP 软件对板卡内部功能开关量进行强制闭合，查看此时相应

功能的输出电是否使检测平台上相应灯位点亮；利用检测平台上的相应功能输入电信号至板卡内部，查看 OMAP 软件是否显示为高电平信号，以此来检测车载 CC 机柜 VIOM 层板卡内部开关量回路完整性。

经过小组讨论决定，首先研究其原理，手动绘制电路图并形成电子档，确定其规格，便于后期采购。

针对部分功能回路进行分析，分析如下。

1) 右侧门开门 DOC-B，需车载 CC 机柜供 110 V 电。故可以通过仿真模拟器的 CPS 提供的 110 V 电，通过板卡背板端子，经过电脑 OMAP 软件强驱板卡，使得内部开关量由“0”变为“1”，此时检测平台装置上相应灯位电路，以此检测此功能回路接口输出正常。

2) 所有车门关好且锁闭输入采集信号，门关好且锁闭的 110 V 信号由车辆提供，车门打开状态下则车载板卡的所有门关好信号功能无法采集。所以可用 CPS 板的 110 V 供电，通过平台内部相应开关闭合，使得板卡内部被采集到，通过电脑 OMAP 软件可观测到该开关量由“0”变为“1”，代表检测此功能回路接口输入正常。根据上述电路思想，小组设计制作了初代检测平台，如图 2 所示。



图2 检测平台雏形  
Fig.2 Initial prototype of the detection platform

采用多种电路设计思想，故检测平台可实现多种车载板卡功能接口测试的需求为减少装置元件使得装置变为便携式仪器，但仍然可以保证实现上述所有功能，故采购用 110 V 带指示灯拨动开关。具体仿真设备建模，如图 3 所示。

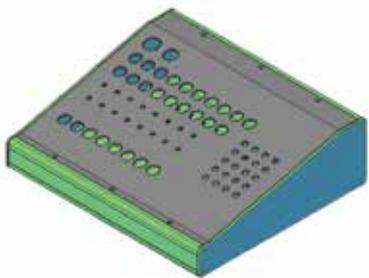


图3 正式版平台三维建模  
Fig.3 3D model of the official version of the platform

根据电路图要求，还需对培训中心车载 CC 机柜板卡背板进行引线，并进行 int 连接器接头制作，接头用于连接检测平台。之后进行雏形平台装置调试，电脑网线连接已经刷好培训中心测试版软件的 CMP 板网口，打开 OMAP 软件对板卡进行强驱测试，装置相应输出功能点亮；拨动装置输出空开，如 KSON，则可以在 OMAP 软件内部看到开关量变为“1”，代表该路输入检测正常。

测试通过后，小组遵循和运用 PDCA 科学方法，对检测平台制作过程中遇到的困难进行攻关，最终制作出具备语音模块功能及可用万用表测试板卡内部开关量电压的成熟调试装置。语音模块可对每一路功能检测正常进行判定及语音播报，测试电压孔可对导通的电路进行电压检测，保证开关量电路电压稳定可靠。之后对正式版检测平台进行测试，测试结果正常，可正常实现板卡开关量功能，如图 4 所示。



图4 测试平台环境  
Fig.4 Environment for testing the platform

### 3 仿真模拟器的优势

仿真模拟器制作完成后通过培训中心连接测试，通过驱动板卡均能正常实现模拟列车门使能输出、制动命令和紧急制动等功能，与线上运营列车的动态测试结果相一致，车载各项功能均符合设计需求要求，该离线检测平台测试一段时间后，通过对比分析，主要有以下几点优势。

#### 3.1 提升检修质量

通过将检测平台测试加入车载设备静态测试流程后，与现有维护流程相比，弥补了板卡内部检测方面的技术空白，提高了设备调试质量。并且利用该装置对车载板卡进行检测，能够在动车调试前及时发现板卡故障，防止动车调试时发现板卡故障而造成时间紧张导致的无法完成动调问题。另一方面也能针对备件存放时间过长的问题，通过此平台静态条件下进行可靠性和安全性功能验证，节省动车资源。

#### 3.2 加强故障判断效率

在列车上查看车载板卡灯位时，无法真正判断该板卡是否内部开关量功能都正常，将板卡脱离列车环境，在培训中心利用此平台检测车载板卡，可以进行故障件内部开关量测试，尤其针对输入/输出通道回采异常故障，准确定位故障点是在板卡某个开关量接点，还是在车辆专业设备上，有效定位了故障点，避免该板卡上线运行。后续也可以针对某个继电器进行自主维修更换，无需对整块板卡进行更换，降低运营成本。

在处理与车辆故障过程中，也存在设备时好时坏问题。故障数据里虽然 OMAP 指示输出或输入了相关功能，但无法判定输入/输出板卡是否真实开关量动作，导致车辆与信号方无法对接口故障进行有效判断，车辆继电器或车载 CC 机柜板卡又是偶发性故障，所以故障处理时间较长。在利用仿真装置后，可用几分钟来回不断地进行开关量测试，排查出故障点。

#### 3.3 降低试车线施工资源占比

检测平台于 2022 年 4 月投入试用，截至目前共

有效处理了 26 次接口问题，故障处理效率提升，试车线资源能耗持续降低，符合企业“十四五”绿色交通计划。3 号线列车接口故障时，在利用平台和不利用平台下的资源消耗对比统计，如图 5 所示。

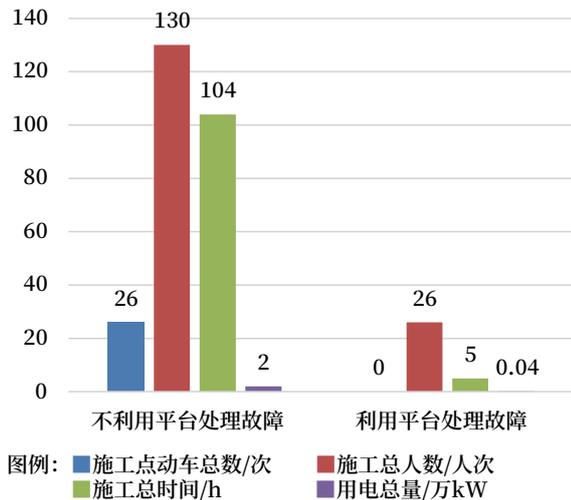


图5 故障处理时施工资源占比对比  
Fig.5 Comparison of the usage of construction resources during troubleshooting

### 3.4 安全质量管理提升

因为中大修时需拆除车载机柜背线及板卡机笼，在静态安装完成后，需万用表人工测试背线安装正确，耗时较大。针对设备中大修后列车的板卡测试，也无法验证功能和内部逻辑。现可通过此平台在静态条件下进行可靠性和安全性功能验证，达成了中大修后的列车首次动调前可以确认防护功能已经具备、板卡功能逻辑正常的目标，安全风险隐患被消除，避免试车线动车安全隐患。

## 4 结语

通过车辆离线检测平台的设计制作及使用，节省了大量试车线能源，更节省了设备检修、维护及故障判断的时间，提升作业效率，并降低车载设备的维修成本。后续将继续对车载信号设备进行深入探索，逐步向离线检测平台智能化方向考虑。该离线检测平台针对既有 U888 信号系统的线别及后续新线相应信号系统的调试，都可共享，具有一定的推广价值。

## 参考文献

- [1] 傅晓晖. 车载 ATP 控制功能板卡的测试设备研制 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [2] 石杰豪. 地铁车载信号与车辆接口功能及电路分析 [J]. 技术与市场, 2017, 24 (8): 63-64, 66.
- [3] 张凯, 冯虎, 廖湘华. 城市轨道交通车载列车自动防护设备仿真检测平台研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15 (3): 61-64, 76.  
Zhang Kai, Feng Hu, Liao Xianghua. Simulation and Detection System for Urban Rail Transit On-Board ATP Equipment [J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(3): 61-64, 76.
- [4] 陈鹏. 浅谈地铁交通信号系统故障处理 [J]. 中国科技博览, 2012 (33): 532.
- [5] 肖杰. 城市轨道交通车辆与信号系统接口研究 [J]. 信息系统工程, 2018 (10): 156.
- [6] 张磊. 浅谈基于轨道的列车自动控制 (ATC) 系统 [J]. 科技信息, 2013 (36): 127.
- [7] 石杰豪. 地铁车载信号与车辆接口功能及电路分析 [J]. 技术与市场, 2017, 24 (8): 63-64, 66.
- [8] 中华人民共和国交通运输部. 交通运输部关于印发《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》的通知 [EB/OL]. (2019-07-27) [2022-02-09]. [https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content\\_5453454.htm?ivk\\_sa=1024320u](https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5453454.htm?ivk_sa=1024320u).
- [9] 张振海, 王悦榕, 党建武. 考虑共因失效的列控车载子系统可靠性分析 [J]. 铁道学报, 2021, 43 (9): 63-70.  
Zhang Zhenhai, Wang Yuerong, Dang Jianwu. Reliability Analysis of Onboard Subsystem of Train Control System Considering Common Cause Failure [J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(9): 63-70.
- [10] 李梅, 孔维杰, 南楠, 等. 基于车车通信的信号系统运行服务可用性分析 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (10): 92-97.  
Li Mei, Kong Weijie, Nan Nan, et al. Availability Analysis of Signaling System Based on Train-

- Train Communication in Operation Services[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(10): 92-97.
- [11] 徐海贵, 汪小勇, 陆怡然. 一种基于车车通信的列车自主控制系统及方法: CN111776013A [P]. 2020-10-16.
- [12] 徐劲松. 城市轨道交通 CBTC 系统调试与维护 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [13] 靳小军, 王磊. 成都地铁 1 号线信号车载子系统与车辆接口技术改造 [J]. 科学技术与工程, 2011, 11 (26): 6486-6489.
- Jin Xiaojun, Wang Lei. Chengdu Metro Line 1 Signal the Vehicle Subsystems and Vehicle Interface Technology Reformation[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(26): 6486-6489.
- [14] 禹宏鹏, 徐伟. 城市轨道交通车辆与信号系统接口分析 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2010, 33 (4): 43-44.
- Yu Hongpeng, Xu Wei. Analysis of the Interface of RS-SIG System in Urban Mass Transit[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2010, 33(4): 43-44.
- [15] 崔志民. 信号系统与车辆紧急制动接口分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (2): 112-116.
- Cui Zhimin. Analysis of Interfaces between Signal System and Vehicle Emergency Braking[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(2): 112-116.
- [16] 王三乐. 城市轨道交通工程信号系统工程的接口管理分析 [J]. 低碳世界, 2017 (12): 200-201.
- [17] 徐玉宝. 地铁车载 ATC 系统的论述及分析 [J]. 数字化用户, 2016, 22 (49): 64.
- [18] 靳小军, 王磊. 成都地铁 1 号线信号车载子系统与车辆接口技术改造 [J]. 科学技术与工程, 2011, 11 (26): 6486-6489.
- Jin Xiaojun, Wang Lei. Chengdu Metro Line 1 Signal the Vehicle Subsystems and Vehicle Interface Technology Reformation[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(26): 6486-6489.
- [19] 宋锐. 地铁车载信号系统浅析 [J]. 电子世界, 2014 (22): 181.
- [20] 吕文龙, 韩臻, 李金峰. 城市轨道交通信号系统与站台门系统信息接口方式分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (9): 83-88.
- Lü Wenlong, Han Zhen, Li Jinfeng. Analysis of Information Interfaces between Signal Systems and PSD Systems in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 83-88.
- [21] 王永清. 车载 ATC 仿真模拟器设计与应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (4): 67-71, 84.
- Wang Yongqing. Design and Application of On-Board ATC Simulator[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 67-71, 84.
- [22] 曹晓宇. 车载 ATO 系统记录板数据解析工具设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21 (1): 62-68.
- Cao Xiaoyu. Design of Data Parsing Tool for Record Board of Onboard ATO System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(1): 62-68.
- [23] 王定明. 铁路信号智能模拟盘研制与应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (11): 20-25.
- Wang Dingming. Development and Application of Intelligent Simulation Panel for Railway Signal[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(11): 20-25.

# 基于城轨列车振动模式的三度振动测试系统的研究与设计

黄愉华, 沈 喆, 陈 琪, 钱 隽

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 上海 200235)

**摘要:** 列车运行时的振动会影响应答器传输系统工作, 导致信标丢失, 无法实现列车定位。理论分析振动引起故障的内在原理; 根据应答器传输系统构成以及列车运行时的状态, 定制振动试验台来模拟列车运行时的振动情况; 通过振动试验系统测试来验证理论的可靠性, 从而有针对性的采取防范措施, 减少信标丢失造故障。

**关键词:** 应答器传输系统; 振动测试系统; 信标; 城市轨道交通

中图分类号: U239.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0116-07

## Research and Design of 3D Vibration Test System Based on Vehicle Vibration Mode in Urban Rail Transit

Huang Yuhua, Shen Zhe, Chen Qi, Qian Jun

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

**Abstract:** The vehicle vibration during operation in the urban rail transit affects the operation of the balise transmission system, resulting in the loss of beacons and the failure of the train positioning. Firstly, this paper analyzes the fundamentals of the balise fault caused by vehicle vibration theoretically. Then, a customized vibration test bench is designed and utilized to simulate vehicle vibration states during operation based on the structure of the balise transmission system and the status of vehicle movements. Finally, the simulations conducted using the vibration test system verify the reliability of the theory, enabling the provision of the corresponding preventive measures to reduce the loss of beacons and the failure of the train positioning.

**Keywords:** balise transmission system; vibration test system; beacon; urban rail transit

随着城市化的发展, 城市轨道交通已成为人们日常出行的重要交通方式, 因此保证地铁列车的运

行安全是重中之重。在列车运行时需对列车进行精确定位来保证列车的运行安全。城市轨道交通中的应答器传输系统是实现列车精确定位、双向信息传输和速度检测等功能的关键系统, 该系统由车载定位天线、传输线缆和查询器组成。研究表明列车在运行过程中的振动会影响应答器传输系统的工作,

收稿日期: 2022-10-13; 修回日期: 2024-04-10

基金项目: 上海申通地铁集团科研项目(JS-KY19R041)

第一作者: 黄愉华(1988—), 男, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号项目与维护, 邮箱: 470347016@gg.com。

为进一步研究振动对该系统造成的影响,定制振动台来模拟列车运行时的振动情况,检测振动情况下应答器传输系统的工作状态。

## 1 故障原因

由于车载定位天线安装在车底转向架上,通过6个M12螺栓和螺母固定在转向架上,因此定位天线和转向架之间是刚性连接的。列车运行时产生的振动会通过转向架直接传递给定位天线,若振动强度过大或振动时间过长,这些都会导致定位天线的故障甚至损坏,因此列车运行时的振动直接影响车载定位天线的工作状态。

研究发现,列车运行时的振动对车载定位天线、传输线缆等车载设备的电气特性造成显著影响。由于定位天线与查询器之间通过传输线缆连接,传输线缆的两端为射频连接器,研究表明振动会使射频连接器与连接的设备之间产生缝隙,由于缝隙的存在会使信号在传输过程中产生相位噪声,相位噪声在高频传输系统中是常见的干扰信号。

定位天线与传输线缆之间的射频连接器通过拔插连接,由于拔插的关系射频连接器与设备之间会留有较小的缝隙,但不影响信号传输。由于列车在运行过程中的振动,会导致这个缝隙变大,导致电流在天线与射频连接器之间传输时会产生一个附加电容。由于附加电容的产生,会影响原始信号的传输速度,传输线模型是输入端为一个定位天线电感串联附加电容与输出端是一个射频连接器电容组合而成的一个电路模型。

根据传输线模型推导出的噪声信号功率谱如公式(1)所示。其中传输信号的频率为 $\omega$ ;传输信号波长 $\lambda$ ;射频连接器的振动频率为 $\omega_v$ ;无附加电容产生时信号传输的速度为 $V_0$ ;定位天线电感为 $L$ ;  $l$ 为射频连接器拔插部分的长度;振幅为 $A$ ;  $k$ 为附加电容的物理尺寸与电容量间的比例关系; $T$ 为 $>1$ 的常数。

$$S(\omega) = \frac{\pi}{2} \left( \frac{BV_0}{2T^2} \right)^2 [\delta(\omega_v) + \delta(2\omega - \omega_v) + \delta(2\omega + \omega_v)] + \frac{\pi}{2} \left( \frac{BV_0}{2T^3} \right)^2 [\delta(2\omega_v) + \delta(2\omega - 2\omega_v) + \delta(2\omega + 2\omega_v)] \quad (1)$$

其中符号 $B$ 为公式(2)的简记,

$$B = \frac{\pi Al}{\lambda \omega^2 Lk} \quad (2)$$

根据噪声功率谱可知频率间隔为射频连接器振动频率,噪声信号中存在与传输信号频率接近的频率分量,因此滤波器无法滤除这部分噪声信号,原始传输信号会夹杂噪声信号一起输入,对系统运行造成干扰。振动幅度越大,其产生的噪声功率也就越大,对系统造成的影响也就越大。由于列车运行时会使定位天线产生振动,长期振动情况下会使定位天线与射频连接器之间产生缝隙,进而在信号传输时会产生与其频率相近的相位噪声信号且滤波器无法滤除。由于频率相近,会使查询器无法区分传输信号和噪声信号,甚至噪声信号功率过大会覆盖传输信号,导致查询器无法正常解析信号从而导致信标数据丢失。

## 2 振动试验系统

本次设计的振动试验系统由电磁式振动试验台、滑轨以及数据采集装置组成。其中电磁式振动试验台是将车载定位天线固定在振动试验台上模拟列车运行时的振动情况;将信标固定在滑轨的滑杆上,滑动滑杆扫过振动的天线来模拟列车扫过信标时的情况;数据采集装置实时采集查询器端口数据,根据端口数据来判断振动对应答器传输系统造成的影响。

### 2.1 振动试验台工作原理

电磁式振动试验台的工作原理是通电导体在磁场中受到电磁力的作用而产生的运动,当电磁式振动台磁路中的动圈通过交变电流信号时,产生激振力在磁路中产生振动运动。电磁振动试验台的组成由基体、磁路结构、弹性支撑装置、电枢以及工作平台等部件组成,简化结构如图1所示。电磁振动试验台通常采用永磁体来提供磁场。永磁体S极和N极分别和内磁轭与外磁轭相连接,共同构成闭合磁路,并在内、外磁轭之间的气隙中形成垂直于振动方向的气隙磁场。电枢中嵌入驱动线圈并与工作平台刚性连接,基于安培定律,交流电可驱动线圈在闭环磁路内的气隙磁场中受到力的作用,推动电枢在弹性支撑装置作用下产生振动,为工作平台上

的待振物体提供激励信号。

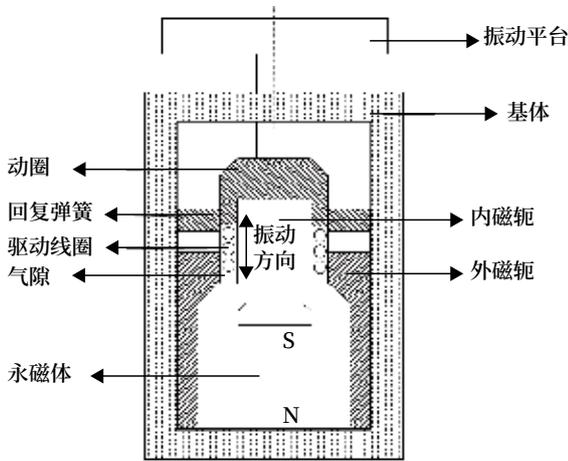


图1 电磁式振动试验台工作原理  
Fig.1 The principle of electromagnetic vibration test bench

## 2.2 振动试验台技术参数

城市轨道交通列车在运行过程中的机械振动是影响应答器传输系统能否正常运行的首要因素，《轨道交通机车车辆设备冲击和振动试验》是轨道交通行业对应答器传输系统设备的振动的检测标准。功能随机振动试验是指施加最小的试验量级，验证被测设备在轨道机车车辆上可能的环境条件下使用时能否正常工作。模拟长寿命振动试验验证在加速运行振动量级条件下设备机械结构的完好性。冲击试验的目的是模拟使用过程中的偶然情况，在此实验过程中不必检查设备的功能，但有必要证明工作状态未曾改变，也没有产生机械位移或损坏。

为模拟列车运行时的振动情况，研究振动对应答器传输系统造成的影响，设计的振动试验台需满足《轨道交通机车车辆设备冲击和振动试验》规定的测试标准。实验项目主要包括3个实验：功能随机振动试验、模拟长寿命试验、冲击试验。功能随机振动试验的垂向量级为  $5.4 \text{ m/s}^2$ ，横向量级为  $4.7 \text{ m/s}^2$ ，纵向为  $2.5 \text{ m/s}^2$ ，测试频率  $5 \sim 250 \text{ Hz}$ ，而模拟长寿命试验的3个取向量级分别为 42.5、37、20，测试频率也是  $5 \sim 250 \text{ Hz}$ ，最后一个冲击试验3个取向量级都为 200 并且持续时间为 18 ms。研究表明地铁列车运行时车载定位天线

的主要振动方向为垂向振动，振动频率集中在  $50 \sim 150 \text{ Hz}$ ，振动强度多次出现超过  $50 \text{ m/s}^2$  的情况，这是实际运行时定位天线的振动情况。根据列车运行时真实的振动情况，定制的振动试验台的技术参数如表 1 所示。

表1 振动试验台技术参数  
Tab. 1 Technical parameters of the vibration test bench

参数名称	参数值
试验负载	$\leq 100 \text{ kg}$
频率范围 (0.01 Hz)	$1 \sim 2\,000 \text{ Hz}$
振幅 (0.01 mm)	$0 \sim 5 \text{ mm}$
最大加速度	$20 \text{ g} (200 \text{ m/s}^2)$
振动方向	垂直、水平、纵向
振动波形	正弦波 (半波 / 全波)
额定功率	$3 \text{ kW}$
电源电压	$\text{AC } 200 \text{ V}$
工作平台尺寸 (长 × 宽 × 高)	$75 \times 75 \times 1 \text{ /cm}$

将车载定位天线固定于工作平台上，滑轨平行于定位天线放置，同时保证天线中心与信标中心一致。振动台设计效果如图 2 所示。

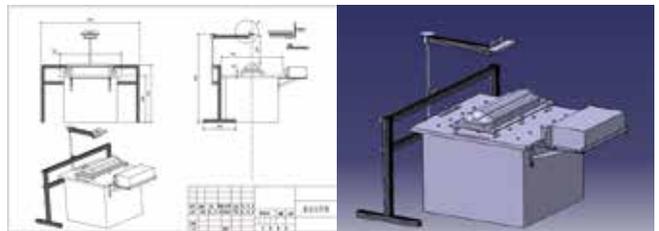


图2 振动试验台设计效果  
Fig.2 Vibration test bench design effect

## 2.3 振动台动力驱动

本次设计的振动试验台为电磁式振动试验台，其振源依赖电磁式振动电动机结构。本次设计的振动试验台的振动电动机其简化结构，电动机的磁轭部分采用硅钢片叠压组成，电动机的磁轭高度需根据实际使用环境来确定。为保证充分使用磁场的最大利用率，使磁轭中磁感应强度最大值小于硅钢片的饱和磁感应强度，据此来确定磁轭宽度和磁轭前端面高度。电动机的线圈缠绕在磁轭的磁芯柱上，该缠绕方式可使各个线圈独立串联连接，以此来提高输出电压。同时还可增加电动机的磁极对数以及

磁轭的纵向高度来获得更高的能量输出。

## 2.4 振动台功能控制

振动试验台包含定频模式、扫频模式、随机模式等。定频模式是指在固定的频率点上进行的各种振动参数不同量级的试验；扫频模式是指振动频率在一定范围内从低频到高频或从高频到低频不断振动往复的过程；随机模式是指振动试验的激励使用一个无规则的随机输入信号，该信号在所有的包括规定规格频率范围内的所有频率分量，其瞬时值服

从正态分布。在控制界面上切换不同的工作模式可验证不同的振动情况对应答器传输系统造成的影响，以定频模式为例，在控制面板中选择程式设定，设定振动时长为 5 min，选择“前后控制”为定频，关闭其余振动方向。随后可在底部方向编辑栏中点击需要编辑的振动方向，以“垂向编辑”为例，点击“垂向编辑按钮即可设置垂向振动时所需的振动频率、振幅和加速度等参数，振动试验台控制程式设定振动参数界面如图 3 所示。



图3 振动试验台控制程式设定振动参数界面

Fig.3 The interface for setting vibration parameters in the vibration test bench control program

## 2.5 数据采集装置

为研究振动对应答器传输系统造成的影响，需实时采集信标扫过振动天线时查询器的端口数据，因此需开发数据采集装置。数据采集装置实现 Lock 端口与 RS-232 串口数据的实时同步采集。

本次数据采集装置选用 STM32 单片机作为主

控芯片，选用 AD7606 模数转换芯片来采集 Lock 端口数据，选用 MAX3232 电平转换芯片来 RS-232 串口数据，选用 W5100 网卡芯片将采集到的数据同步传输至上位机进行分析。数据采集板卡的架构如图 4 所示。

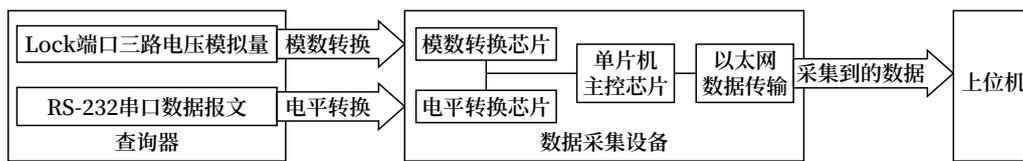


图4 数据采集板卡架构

Fig.4 The architecture of the data acquisition module

## 3 振动检测与分析

### 3.1 测试环境

列车运行时主要以垂向振动为主，振动频率介于 50 ~ 150 Hz 之间。由于车载定位天线安装在车底的转向架上，车载查询器安装在车身的机柜中，因此列车运行时的振动主要影响车载定位天线与传输线缆。将车载定位天线固定于振动台上，调整振动频率与振幅，利用故障检测系统采集在不同振动

情况下查询器的端口数据并判断查询器的工作状态，以此来判断振动对应答器传输系统造成的影响。检测环境如图 5 所示。

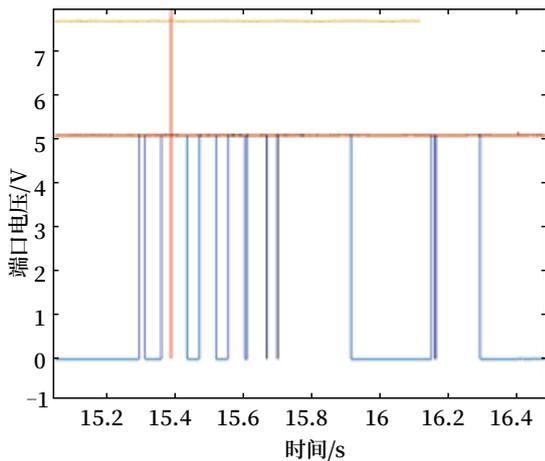
### 3.2 振动测试

检测振动频率对应答器传输系统造成的影响。由于列车的振动频率范围为 50 ~ 150 Hz，利用振动试验台的定频模式设置振动频率，依次设定为 0、50、60、70、80 Hz 一直到 150 Hz，固定振幅为 1 mm，一共测试 12 组，每组测试会扫过 10 个信标。以振



图5 振动测试环境  
Fig.5 The vibration test environment

动频率为 60 Hz、振幅为 1 mm 的测试结果绘制 Lock 端口波形如图 6 所示，所有测试结果统计如表 2 所示。



图例：— Lock1 — Lock2 — Lock3 — 信标ID解析时间点

图6 查询器端口电压波形

Fig.6 The voltage waveforms of the interrogator ports

从图 6 中可以看出，持续振动情况下 Lock1 端口电压波形由多个方波组成且信标解析时间点滞后，Lock2、Lock3 端口电压数据无异常。

从表 2 中可以看出，振幅固定的情况下，随着振动频率的提升，查询器 Lock1 端口的波形持续时间与无振动情况相比有着明显上升，Lock2 与 Lock3 端口电压无明显变化，信标数据可正常读取与解析，无信标丢失的情况。在天线无振动情况下扫过信标时，Lock1 端口的波形持续时间为 0.3 ~ 0.4 s，在模拟振动情况下虽无信标数据丢失，但 Lock1 端口波形持续时间增加了约 0.7 s，随着频

表2 不同频率下的振动测试结果

Tab. 2 Vibration test results vs. frequencies

频率 / Hz	振幅 / mm	Lock1 端口波形持续时间 /s (10 次均值)	Lock2 端口电压 /V	Lock3 端口电压 /V	信标扫过次数	采集到的信标个数
0	0	0.313	5.252	11.929	10	10
50	1	0.963	5.098	11.601	10	10
60	1	1.154	5.234	11.731	10	10
70	1	1.066	5.156	11.755	10	10
80	1	1.102	5.273	11.974	10	10
90	1	1.121	5.325	11.785	10	10
100	1	1.208	5.096	11.624	10	10
110	1	1.121	5.263	12.016	10	10
120	1	1.139	5.264	11.568	10	10
130	1	1.204	5.148	11.752	10	10
140	1	1.169	5.235	11.685	10	10
150	1	1.205	5.028	12.064	10	10

率的改变，Lock1 端口波形持续时间稳定在 1.0 ~ 1.2 s 不再变化。

### 3.3 振动测试结果分析

根据产生相位噪声的原理进行分析，由于持续振动导致天线与射频连接器之间产生缝隙，在信号传输时会产生附加电容，从而导致相位噪声的产生。由于相位噪声中包含与传输信号频率接近的噪声信号，滤波器无法滤除这部分噪声信号，因此传输信号与噪声信号都会进入查询器。噪声信号的进入会使查询器误以为接收到信标信号，拉升 Lock1 端口电压指示收到了信标信号，但噪声信号无法解析，直到实际信标信号解析完成后 Lock1 端口电压才拉低，因此加长了 Lock1 端口的波形持续时间。因此振动造成了相位噪声的产生，从而加长 Lock1 端口的波形持续时间，由于振幅较小，产生的噪声功率较低，不影响信标信号传输，但振动频率的改变影响 Lock1 端口波形持续时间。

## 4 结论

通过设计的振动试验系统在实验室模拟列车运行时的振动情况，采集振动情况下查询器端口数据来分析振动对应答器传输系统的影响。其结果表明，列车振动会影响应答器传输系统信号的传输，振动

强度过大会导致传输信号的丢失, 进而造成信标丢失故障。因此减缓车载定位天线在列车运行时的振动可有效减少信标丢失故障。

### 参考文献

- [1] 王梓丞, 易立富, 王坚强, 等. 悬挂式单轨列车绝对定位技术方案及试验研究 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (5): 73-76.  
Wang Zicheng, Yi Lifu, Wang Jianqiang, et al. Train Absolute Positioning Technology for Suspended Monorail and Experimental Study[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(5): 73-76.
- [2] 张春华. 钢丝绳减振器在列车定位天线安装中的应用设计 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (6): 69-72.  
Zhang Chunhua. Using Steel Cord Shock Absorber in Installation Design of Train Positioning Antenna[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(6): 69-72.
- [3] 闫宇智, 邵斌, 丁德云, 等. 地铁车辆段试车线车致振动特性实测与分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25 (1): 148-154.  
Yan Yuzhi, Shao Bin, Ding Deyun, et al. Field Measurement and Analysis of Characteristics of Vehicle Induced Vibration on Metro Depot Testing Line[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(1): 148-154.
- [4] 李智宇. 分相区应答器传输系统电磁干扰分析及防护技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 1-6.  
Li Zhiyu. Research on Electromagnetic Interference and Protection Technology of Balise Transmission System in Neutral Section[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 1-6.
- [5] 易立富, 王梓丞, 王坚强. 基于北斗卫星导航的悬挂式单轨列车定位技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (10): 80-84.  
Yi Lifu, Wang Zicheng, Wang Jianqiang. Study of Location Technique for Suspended Monorail Trains Based on Beidou Satellite Navigation System[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(10): 80-84.
- [6] 王立, 段恒毅. 射频连接器振动对信号相位噪声的影响 [J]. 电讯技术, 2014, 54 (7): 1002-1005.  
Wang Li, Duan Hengyi. Influence of Vibration on Phase Noise of Signal through RF Connector[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(7): 1002-1005.
- [7] 张丽, 朱小松. 基于 TRIZ 理论的电磁振动试验台设计 [J]. 内燃机与配件, 2020 (14): 39-40.  
Zhang Li, Zhu Xiaosong. Design of Electromagnetic Vibration Test-Bed Based on TRIZ Theory[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2020(14): 39-40.
- [8] 卢涛. 电磁式振动能量回收的研究 [J]. 电子测试, 2021 (12): 24-25.  
Lu Tao. Research on Electromagnetic Vibration Energy Recovery[J]. Electronic Test, 2021(12): 24-25.
- [9] 张旭飞, 姜文琦, 胡天恩, 等. 低频电磁振动台非均匀气隙磁场优化设计 [J]. 计量学报, 2022, 43 (1): 85-91.
- [10] 郭迎庆, 李宗荫, 杨晓璐. 机械式振动台结构设计及其波形复现性能测试研究 [J]. 上海航天 (中英文), 2021, 38 (1): 53-60.  
Guo Yingqing, Li Zongyin, Yang Xiaolu. Research on Structure Design of Mechanical Shaking Table and Its Waveform Recurrence Performance Test[J]. Aerospace Shanghai (Chinese & English), 2021, 38(1): 53-60.
- [11] 张宗峰, 张福有, 王墨新, 等. 一种交流传动机车牵引电机非传动端轴承失效分析与改进 [J]. 铁道机车与动车, 2021 (12): 40-44, 6.  
Zhang Zongfeng, Zhang Fuyou, Wang Zhaoxin, et al. Failure Analysis and Improvement of Non-Drive End Bearing of Traction Motor for a Type of AC Drive Locomotive[J]. Railway Locomotive and Motor Car, 2021(12): 40-44, 6.
- [12] 柴大鹏, 王晓雯. 异步电动机电磁振动噪声自动抑制方法 [J]. 计算机仿真, 2021, 38 (1):

- 326-330.
- Chai Dapeng, Wang Xiaowen. Automatic Suppression of Electromagnetic Vibration and Noise of Asynchronous Motor[J]. Computer Simulation, 2021, 38(1): 326-330.
- [13] 张露予, 李志鹏, 王博文, 等. 电磁式振动发电机结构设计及谐振频率分析 [J]. 河北工业大学学报, 2014, 43 ( 1 ): 1-3, 14.
- Zhang Luyu, Li Zhipeng, Wang Bowen, et al. Design of Electromagnetic Vibration-Powered Generator and Its Resonant Frequency Analysis[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2014, 43(1): 1-3, 14.
- [14] 田志昌, 张安康, 郝润霞. 简单单自由度振动台设计 [J]. 沈阳建筑大学学报 ( 自然科学版 ), 2019, 35 ( 3 ): 437-444.
- Tian Zhichang, Zhang Ankang, Hao Runxia. Design of Shaking Table with Simple Single Degree of Freedom[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2019, 35(3): 437-444.
- [15] 杜太行, 李文珊, 孙曙光, 等. 基于 LabVIEW 的电磁式振动台试验系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2017 ( 1 ): 105-109.
- Du Taihang, Li Wenshan, Sun Shuguang, et al. Electromagnetic Vibration Table Test System Based on LabVIEW[J]. Instrument Technique and Sensor, 2017(1): 105-109.
- [16] 刘平, 王鑫, 孙千志, 等. 永磁同步电机定子绕组温度估计的信号注入策略优化 [J]. 电机与控制学报, 2019, 23 ( 11 ): 18-26.
- Liu Ping, Wang Xin, Sun Qianzhi, et al. Signal Injection Strategy Optimization of Stator Winding Temperature Estimation for Permanent Magnet Synchronous Motor[J]. Electric Machines and Control, 2019, 23(11): 18-26.
- [17] 文孝霞, 杜子学, 许舟洲, 等. 单轨车辆耦合动力学模型与振动响应特性 [J]. 振动测试与诊断, 2017, 37 ( 3 ): 462-468, 625.
- Wen Xiaoxia, Du Zixue, Xu Zhouzhou, et al. The Coupling Dynamic Model and Vibration Response of Straddle Type Monorail Vehicle[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2017, 37(3): 462-468, 625.
- [18] 袁扬, 刘维宁, 刘卫丰. 基于现场测试的曲线段地铁地面振动传播规律 [J]. 中国铁道科学, 2012, 33 ( 4 ): 133-138.
- Yuan Yang, Liu Weining, Liu Weifeng. Propagation Law of Ground Vibration in the Curve Section of Metro Based on In-Situ Measurement[J]. China Railway Science, 2012, 33(4): 133-138.
- [19] 余浩伟, 徐银光, 李涛, 等. 悬挂式单轨交通在国内的适应性研究 [J]. 铁道工程学报, 2019, 36 ( 4 ): 70-74.
- Yu Haowei, Xu Yinguang, Li Tao, et al. Research on the Adaptability of Suspended Monorail in China[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(4): 70-74.
- [20] 乔志远. 美式应答器的在线动态监测诊断系统设计及研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 ( S2 ): 104-106, 110.
- Qiao Zhiyuan. Design and Rese Arch of the On-Line Monitoring System of American Transponder[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(S2): 104-106, 110.
- [21] 杜晓鑫. 轨道信号干扰分析仪的特点及应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 ( S1 ): 117-121.
- Du Xiaoxin. Characteristics and Application of Track Signal Interference Analyzer[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(S1): 117-121.
- [22] 曹鹤飞, 孟天旭, 李昊. 恒磁场对无源应答器影响及防护技术 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 ( 12 ): 1-6.
- Cao Hefei, Meng Tianxu, Li Hao. Impacts of Constant Magnetic Field on Passive Balises and Its Protection Technologies[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(12): 1-6.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.06.020

# 欧盟干线铁路法规进程研究

张 麒<sup>1</sup>, 高红娜<sup>2</sup>

(1. 中车株机(欧洲)有限责任公司, 奥地利维也纳 1220;

2. 中车株洲电力机车有限公司, 湖南株洲 412001)

**摘要:** 针对欧盟干线铁路法规, 梳理欧盟铁路法规的发展过程和变迁, 概括不同阶段法规制定的目标, 重点对欧盟正在执行的法规进行解读, 阐述最新法规体系的特点和变化。分析欧盟干线铁路的现状和遇到的挑战, 为进入欧洲市场的主机厂提供指导。

**关键词:** TSI; 互联互通; 第四铁路包; 认证; 欧盟法规

中图分类号: U141

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2024)06-0123-06

## Study on Progress of Railway Regulations of European Union on Mainline Railways

Zhang Qi<sup>1</sup>, Gao Hongna<sup>2</sup>

(1. CRRC ZELC Verkehrstechnik GmbH, Vienna, 1220, Austria)

(2. CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, 412001, China)

**Abstract:** Centering around the EU regulations on mainline railways, the paper reviews the development process and changes of the railway regulations of the European Union and summarizes the targets of regulation formulation in different stages, with focus on an interpretation of the currently applicable EU regulations and an elaboration of the characteristics and changes of the latest regulations system. It also analyzes the current situation and challenges of the mainline railways of the European Union, which provides guidelines for manufacturers entering the European market.

**Keywords:** TSI; interoperability; Fourth Railway Package; homologation; EU Regulation

### 1 欧盟铁路一体化进程

欧洲联盟 (European Union) 简称欧盟, 各国由于经济发展、历史、政治和语言等因素,

收稿日期: 2023-11-20; 修回日期: 2024-04-10

基金项目: 中国中车股份有限公司重大项目 (2023CKA443)

第一作者: 张麒 (1988—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 欧盟轨道交通产品认证, 邮箱: qi.zhang@crzczelc-europe.com.

各国铁路系统的供电、限界、轨距和信号系统等管理差异性较大, 跨境运输时需要更换机车或人员, 且各国对铁路系统的开放持保守态度, 因此铁路行业一直被认为是“夕阳产业”。直到 20 世纪 90 年代, 由于铁路系统的低效和持续发展问题, 欧盟将铁路系统问题提上议程, 并致力于推进泛欧铁路网的融合。

欧盟首先从国际货运和高速铁路着手, 开放

各国基础设施使用权，实现部分跨境运输；随后根据高速铁路经验制定互联互通法规及ERTMS (European Rail Traffic Management System)，实现部分跨境客运；设立并强化ERA (European Railway Agency) 权利，监管NSA (National Safety Authority) 的授权行为和政策，要求各国完全放开客运市场。欧盟最终目的是通过政策和技术手段，实现自由跨境运输推进各国铁路市场的完全开放。欧盟从制定铁路复兴计划，于2001年推出“第一铁路包”到2021年德国首先执行“第四铁路包”，欧洲铁路系统一体化走过了20年的时间，其关键节点如图1所示。

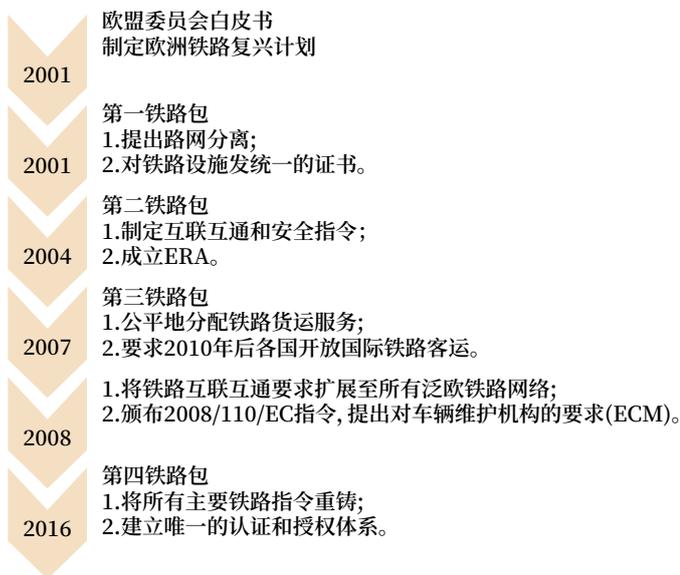


图1 欧盟铁路法规发展重要节点

Fig.1 Important milestones of development of railway regulations of European Union

### 1.1 第一铁路包

为改善铁路系统的低效和互联互通问题，欧共体理事会于1991年颁布了91/440指令，指出铁路改革的目的是“推动共同体铁路运输一体化”和“恢复铁路的效率和竞争力”，包括：

- 1) 改变铁路企业商业模式，要求政企分离；
- 2) 要求铁路基建与运营分开，至少财务独立；
- 3) 提出“开放路权”，要求各国开放基础设施，允许各国铁路企业公平使用；
- 4) 要求铁路企业的运营财务状况良好。

广泛认为91/440指令搭建了以“路网分离”为特色的欧洲铁路系统改革框架，随后欧委会于1996年发布了“复兴共同体铁路的战略”白皮书，目标为实现泛欧铁路一体化。2001年部长理事会通过2001/12/EC，2001/13/EC和2001/14/EC，以上3个指令称为“铁路基础设施一揽子方案 (Rail Infrastructure Package)”，又被称为“第一铁路包 (1st Railway Package)”，要求各成员国必须开放国际货运业务并保证公平的基础设施准入。

欧盟从1991年推行铁路改革，并分别针对高速和传统铁路颁布指令，最终于2001年发布“第一铁路包”，旨在消除各国基础设施的准入障碍和实现跨国货运，2001年也被称为欧盟铁路改革的元年。

### 1.2 第二铁路包

随着“第一铁路包”实施，出现了铁路运输需求与实际情况不匹配的问题。欧委会也指出了铁路改革的局限，如高速列车跨境取得进展，传统客运及货运铁路的互联互通问题未能有效解决，铁路子系统的授权不互认。针对以上问题，欧委会于2002年1月提出了“第二铁路包 (2nd Railway Package)”，主要举措为：

- 1) 设立专门的行政机构：成立ERA- 欧盟铁路局；
- 2) 扩大并加速铁路货运市场开放：要求各国开放全部泛欧铁路网；
- 3) 加速铁路系统互联互通法规的制定：根据高速铁路的经验，更新传统铁路技术规范，并推广至所有泛欧干线铁路；
- 4) 制定通用的铁路安全管理方法：强化各国铁路安全管理局 (NSA) 的权利，建立互认的车辆安全管理规则。

“第二铁路包”推行传统铁路互联互通技术法规，并制定通用铁路安全管理方法，成为欧盟铁路一体化的执行纲领和措施，引入欧洲铁路运输管理系统，用以消除各国基础设施准入障碍。

### 1.3 第三铁路包

“第二铁路包”的实施，解决了部分互联互通问

题，但缺乏通用法规，因此欧委会于 2007 年颁布“第三铁路包”。该铁路包推动国际客运开放：允许乘客在任何车站自由上下、发放欧盟认可的司机证、允许司机在泛欧铁路上驾驶、更好地保障乘客的权利（残疾人设施、事故的责任判定、车票有效性以及乘客在车站的人身安全），包含以下法规：

- 1) 2007/58/EC，要求各国市场开放和提升国际旅客服务，保障国内和国外乘客的相同权利；
- 2) 1370/2007/EC，关注乘客的权利，强制各运营商实施无歧视准则，评估各国补贴政策是否与法规冲突；
- 3) 1371/2007/EC，保障乘客线路上的最低权益：基于 COTIF 国际法，要求运营商提供乘客旅行前及过程中的信息，保证乘客事故发生后的权利，重点关注残障人士权益；
- 4) 2007/59/EC：规定了欧盟范围内司机驾驶证认证流程和有效性。

欧盟颁布 2007/58/EC，作为互联互通的基础指令推进“第三铁路包”的实施，重新定义了高速铁路互联互通的技术规范，澄清了欧盟 TSI 指令与 EN 标准的关系，该法规涵盖铁路系统设计、基建、投入使用、升级、翻新和运营及维护等方面。从技术、运营、财政、市场准入、跨境运输和政府机构权利等方面规划，为统一的欧盟铁路系统奠定了基础。从“第三铁路包”开始，车辆的互联互通要求以法规实施，铁路子系统在此基础上实施 TSI 认证。

## 2 第四铁路包

随着 3 个“铁路包”逐步实施，遇到许多新的问题和挑战，如铁路货运主要为跨境运营，而客运则主要集中在国内，授权管理以及各国补贴政策问题。同时消费者的需求和对铁路系统效率的要求持续上涨，铁路运输作为环境友好型的方式，仅占欧盟 6% 的份额。为了更好地推进各国铁路市场的开放和准入，欧委会于 2016 年发布“第四铁路包”。

欧盟要求 2020 年 6 月前，由各国将法规转化

至国家法律并实施，但受到新冠疫情的影响，最终于 2021 年 6 月首先在德国实施。“第四铁路包”包含以下法规：

- 1) EU 2016/796 欧盟铁路管理局运营法规，替代 EG 881/2004，成立新的欧盟铁路管理机构 (ERA)；
- 2) EU 2016/797 欧盟铁路通用性准则，统一高速和传统铁路互联互通要求；
- 3) EU 2016/798 铁路系统安全准则；
- 4) EU 2016/2338 区域内铁路客运服务市场开放法规；
- 5) EU 2016/2370 区域内铁路基础设施管理准则；
- 6) EU 2016/2337 铁路行业企业标准管理法规。

“第四铁路包”的政策及法规主要包含技术和市场两“支柱”，目的为降低车辆准入的技术门槛以及推进各成员国铁路客运市场的开放。

### 2.1 技术支柱 (Technical Pillar)

“技术支柱”要求各国 NSA 将部分安全审查权利让渡给 ERA，明确 ERA 为车辆授权以及 ERTMS 的推行方，确保整车认证仅需联络一个机构即可包含所有模块 (TSI、NNTR、CSM)，从而降低授权技术壁垒以及实现对各国 NSA 的统一管理，主要包括：

- 1) 各 NSA 让渡部分权利给 ERA，由其管理车辆授权，并监管 NSA 的授权行为；
- 2) Single Safety Certification，车辆认证仅需一个 AsBo 评估报告，且被欧盟各成员国认可；
- 3) 车辆授权系统 (One-Stop-Shop, OSS) 的应用，在线进行车辆授权工作的申请和审批，从而监管车辆授权周期；
- 4) 推行 ERTMS，降低各国基础设施入网技术壁垒和提高跨境运输效率。

“技术支柱”强化了 ERA 的权利并全面推行 ERTMS，从而简化主机厂认证和授权流程，降低各国基础设施入网技术门槛。

#### 2.1.1 欧盟铁路局 ERA

由于各国对一些车辆技术的不互认，形成技术保护，“技术支柱”强化 ERA 的权利，约束各国 NSA，确保对主机厂的需求及时响应。ERA 最初仅有推荐和建议权，新的法规将其升格为欧盟行政机构，赋予更高权力，可以颁发安全证书、车辆和车辆型号许可和 ERTMS 授权，用以降低车辆准入门槛和减少技术审查时间，推进车辆授权和破除技术壁垒。新法规下的管理职责包括：

- 1) 协助铁路安全及互联互通法规的修订和增补，支持欧盟铁路相关政策的实施；
- 2) 审查各国技术法规草案，并对各国技术法规进行裁决；
- 3) 作为 ERTMS 授权方，维护技术法规，监测和评估 NSA 政策，阻止与法规抵触的政策实施；
- 4) 管理 NoBo 认证行为和证书发布，有权对 NoBo 影响铁路安全和违背 TSI 法规的行为处罚；
- 5) 监测欧盟铁路网的安全，实现各国铁路安全数据共享，为欧盟的铁路项目实施和技术评估提供支持；
- 6) 建立 NSA 对话机制，推进安全认证和授权工作合作，保证铁路产品进入各国时受到公平待遇。

### 2.1.2 ERTMS

信号系统作为车辆安全最关键的子系统，受限于历史原因，欧盟各国拥有其特殊的系统，且各系统无法互通，从而形成区域封锁。为了破除这一技术壁垒，通过推行 ERTMS，提高车辆跨境运输效率。ERTMS 主要包括 ETCS 和 GSM-R 两大部分，由欧洲八大厂家成立的 UNIFE 联盟制定相应标准。因此 ETCS 成为各大主机厂开发的重点，车辆进入欧洲市场时需重点考虑的因素。

## 2.2 市场支柱 (Market Pillar)

第一和第二“铁路包”推进国际货运，“第三铁路包”关注国际客运，而“第四铁路包”则进一步将开放客运，“第四铁路包”在市场方面的要求如下：

- 1) 完全市场开放：开放国内客运业务，由于各国经济发展问题，需平衡政府和运营商之间的补贴政策；

- 2) 合理竞争：要求 2019 年以前，运营商对各国开放其国内铁路运输，提供优质的商业服务来促进客运；

- 3) 基础设施管理和分离：加强基础设施方对铁路网核心功能的控制，促进各国基础设施方跨国合作，推进核心铁路走廊建设。

## 3 欧盟法规发展及展望

欧盟铁路市场是全球最大的单一市场，但跨境铁路运输隔阂大、门槛高，造成车辆制造和认证成本居高不下，导致铁路行业萎缩。欧盟制定铁路复兴计划，推行铁路法规通过技术和政策手段推进铁路一体化，但实践过程中依旧面临诸多挑战。

欧盟实行路网分离，强化 NSA 及 ERA 权利，实施 TSI、NNTR 及 CSM 认证，同时许多相关方（如残疾人协会、司机协会、劳工保护协会）也影响车辆上线和运营，导致欧盟整个铁路系统机构极其繁杂。其铁路系统如图 2 所示。

欧盟最初为降低政府影响，实施政企分离，推进了铁路一体化进程，但在执行过程中机构不断分化，呈现出极度分散性，也在一定程度上降低了认证和授权的效率；因欧洲线路老旧，车辆运营中出现大量小概率的事故，各国 NSA 则不断增加 NNTR 要求，以规避小概率事件，法规制定容易而删除则极其困难，导致铁路法规“臃肿”。以上诸多因素拉高了铁路子系统的制造、试验、认证和授权成本，增加了主机厂和运营商的负担。

各国对待欧盟法规的态度不尽相同，如德国、奥地利等国持完全开放态度，对主机厂和供应商公平对待；而波兰、捷克、法国等大多数国家，态度保守，未完全开放市场。在车辆认证和授权实践中，存在的问题如下。

- 1) 部分国家政策及法规不透明：许多国家存在 TSI 以外的要求，如劳工保护、残疾人协会、压力容器审核等；部分国家存在与 TSI 冲突的条款，通过非 ERA 的官方渠道进行认证，影响车辆设计和认证进程。

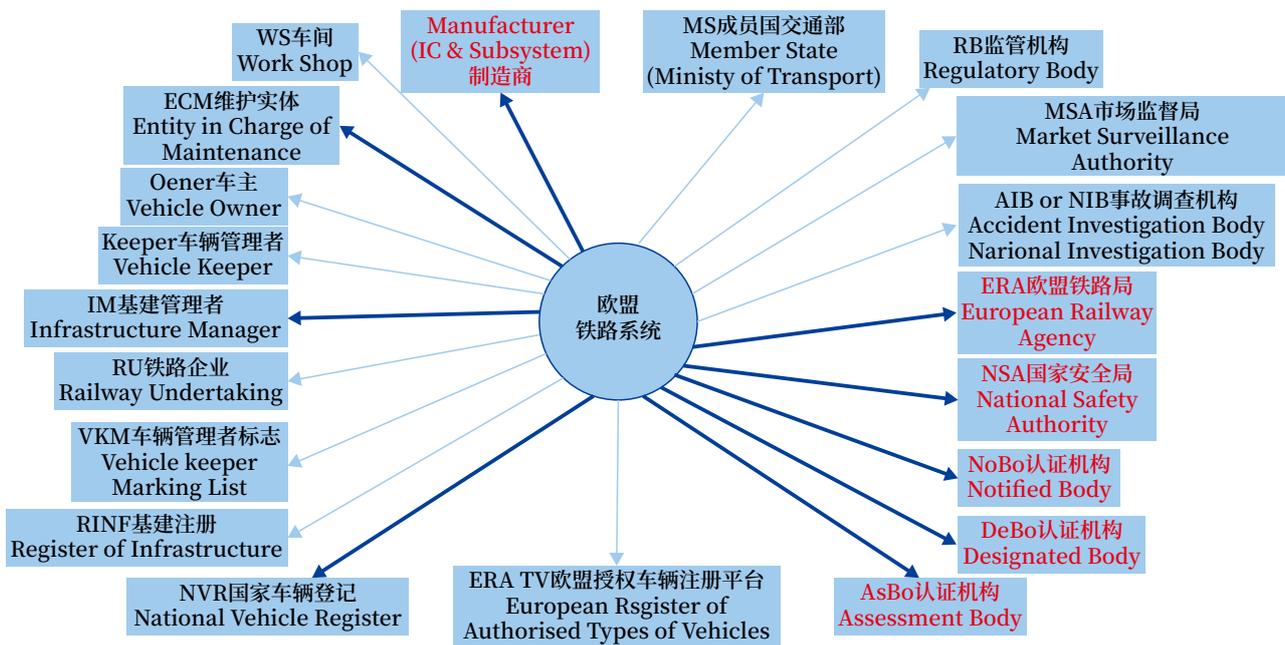


图2 欧盟铁路系统  
Fig.2 Railway system of European Union

2) 政府机关官僚气息浓厚：通过官方渠道与 NSA 或基建方联系响应很慢或无法取得联系；授权过程中，则会出现不同专家的解释不一致的情况，造成授权工作滞后。

3) ERA 地位弱势：针对车辆授权，各国 NSA 仍有很强的自主性，且 ERA 无法实时干预；ERA 仅能对 NoBo 违法行为进行处罚，且仲裁流程冗长；涉及跨境问题，ERA 无法组织关联国家合作处理，仅能依靠各国的自主或商业行为。

实施铁路一体化进程中，欧盟仍面临巨大的挑战，需要更加强势的 ERA 来规范认证机构及 NSA 行为和政策；从财务、政策方面强力推进 ERTMS，在技术层面完全消除技术壁垒；建立市场监督机构，规范运营商的行为，促使其提供更优质的商业服务，才能最终完成欧盟铁路一体化的目标。

参考文献

[1] 董艳华, 荣朝和. 欧盟铁路改革的方向与进程 [J]. 铁道学报, 2004, 26 (4): 120-125.  
Dong Yanhua, Rong Chaohe. Orientation and Process of EU Railway Reform[J]. Journal of the

China Railway Society, 2004, 26(4): 120-125.

[2] 汪朋. 欧盟铁路发展战略 [J]. 全球科技经济瞭望, 2002, 17 (12): 10-11.  
[3] 刘春青, 闫笑鸣, 徐世东, 等. 欧盟铁路系统技术法规体系构建初探 [J]. 中国标准化, 2014 (12): 59-64, 76.  
Liu Chunqing, Yan Xiaoming, Xu Shidong, et al. Study on Technical Regulation System of European Rail System[J]. China Standardization, 2014(12): 59-64, 76.  
[4] 孙明道, 林松, 唐红娟, 等. 欧盟铁路机车车辆子系统及 IC 部件互联互通技术规范认证解析 [J]. 中国机械, 2021 (4): 69-70.  
[5] 郭立平, 付江英. 欧盟铁路机车车辆互联互通技术规范“TSI” CE 认证解析 [J]. 机械工业标准化与质量, 2014 (12): 43-49.  
[6] 尹刚. 欧盟铁路信号系统互联互通技术规范 (TSI) 认证解析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14 (4): 105-108.  
Yin Gang. Interpretation of Railway Signaling System Certification Based on Technical Specification for Interoperability[J]. Railway

- Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(4): 105-108.
- [7] 郭玉华. 欧洲铁路互联互通技术规范体系分析研究 [J]. 中国铁路, 2015 (9): 52-56.
- [8] 蒋田芳, 张文斌. 欧盟铁路互联互通技术规范及欧盟指令符合性认证综述 [J]. 铁道技术监督, 2014, 42 (10): 1-6.
- [9] 秦亮, 朱志凌, 沈强. 轨道交通信号系统安全评估与认证体系研究 [J]. 江苏科技信息, 2010 (1): 19-20.
- [10] 杨硕, 徐杨. 简谈铁路信号产品在欧洲某国的 DeBo 认证 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 116-118.
- Yang Shuo, Xu Yang. DeBo Certification of Railway Signaling Products in a European Country[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 116-118.
- [11] Peter Winter, 温慧刚. 欧洲铁路通信信号系统的现状和发展 [J]. 中国铁路, 2002 (3): 55-57.
- [12] 卢乃宽. 欧洲铁路运输管理系统 ERTMS: 21 世纪的全球解决方案 (上) [J]. 铁道通信信号, 2001, 37 (7): 37-39.
- [13] 卢乃宽. 欧洲铁路运输管理系统 ERTMS: 21 世纪的全球解决方案 (下) [J]. 铁道通信信号, 2001, 37 (9): 37-40.
- [14] 卫强. 欧盟铁路互联互通标准及准入认证探析 [J]. 山西建筑, 2023, 49 (16): 127-129.
- Wei Qiang. Analysis of EU Railway Interconnection Standards and Access Certification[J]. Shanxi Architecture, 2023, 49(16): 127-129.
- [15] 耿宏亮, 张超, 孙野, 等. ETCS 体系发展技术分析 [J]. 控制与信息技术, 2020 (2): 80-84.
- Geng Hongliang, Zhang Chao, Sun Ye, et al. Technical Analysis of the ETCS Architecture Development[J]. Control and Information Technology, 2020(2): 80-84.
- [16] 徐征捷, 耿宏亮, 罗永升. 基于欧盟指令的信号系统互联互通技术规范符合性认证分析 [J]. 控制与信息技术, 2021 (4): 109-112.
- Xu Zhengjie, Geng Hongliang, Luo Yongsheng. Analysis of TSI Conformity Certification of Signal System Based on EU Directive[J]. Control and Information Technology, 2021(4): 109-112.
- [17] 蒋田芳, 张文斌. 欧盟铁路互联互通技术规范及欧盟指令符合性认证综述 [J]. 铁道技术监督, 2014, 42 (10): 1-6.
- [18] 康洪军, 司志强, 田婉琪, 等. 我国出口“一带一路”沿线重点国家或地区高铁列车产品认证策略研究 [J]. 北京交通大学学报 (社会科学版), 2021, 20 (1): 55-64.
- Kang Hongjun, Si Zhiqiang, Tian Wanqi, et al. Certification Strategy of China's High-Speed Train Products Exported to Key Countries or Regions along "One Belt and One Road"[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2021, 20(1): 55-64.
- [19] 朱云东. 铁路信号 TSI 互联互通国际标准认证探究 [J]. 铁道建筑技术, 2020 (Z1): 54-56.

\*\*\*\*\*

### 本期广告企业简介

## 卡斯柯信号有限公司



全面守护  
全程放心

您肯定的信号  
就是我们  
持续前进的方向

守护你的每一步

(详见封底)

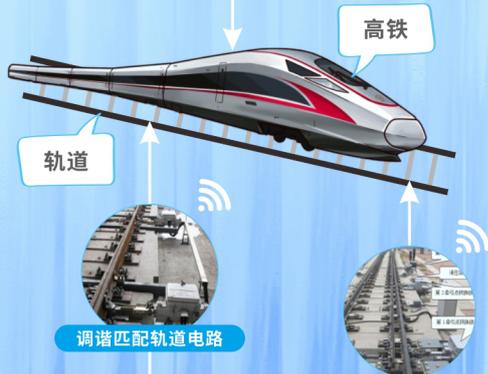


绵阳市维博电子有限责任公司  
Mianyang Weibo Electronic Co.,Ltd

# 轨道交通行业 电量监测解决方案



产品符合铁路相关设计标准和规范，可定制开发铁路信号集中监测、区间移频监测、道岔综合监测等系统的部件级、单元级和系统级产品，可实时监测道岔、转辙机、轨道电路、信号机、机车配电柜、牵引配电等铁路重要安全设备的电气特性，及时发现设备运行不良情况，对预防故障发生和维护轨道交通安全运行起到十分重要的作用。二十多年来，该系列产品进行了多次换代升级，产品已稳定运用于京沪、西成、武广、郑西等中国各大高铁干线和地铁线路。



室外监测传感器



移频电压传感器



道岔功率传感器



室外监测传感器



直流转辙机传感器



继电器盒系列  
传感器



信号机灯丝电流  
传感器



广告



华中：13667257665 华东：18601776399  
企业QQ及免费咨询电话：800-8865801  
网址：www.wbdz.cn www.wb-my.com

华西：13911010557 华南：18620054373 华北：13667257665  
电话：2278150/151/153/154  
地址：四川省绵阳市游仙区游仙东路98号（621000） E-mail:wb@wbdz.cn



全面守护 全程放心

广告

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U



<https://rsce.crsd.com.cn>  
扫码打开期刊官网，  
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440



9 771673 444248

邮发代号:80-532 国内定价:10元/期