

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

# 铁路通信信号工程技术

*Railway Signalling & Communication Engineering*

中国铁道学会通信信号分会指定期刊

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 2023. **3** 第20卷 总第147期

**CRSC**

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

## 信号系统仿真实训平台

打造职业化、专业化、现代化实训平台

全面覆盖产教融合型培训基地、站段培训基地、车间班组练功场建设需求

助力技能水平和应急处置能力全面提升



广告

# 铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

## 主管单位 Administrated by:

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

## 主办单位 Sponsored by:

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

## 主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

## 执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

## 编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

## 责任编辑 Editor in Charge:

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

## 网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

## 英文编辑 English Editor:

王锦 Wang Jin

## 编辑出版 Edited and Published by:

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

## 地址 Address

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

邮编: 100070 Postcode: 100070

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

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

## 编辑电话 Edition Tel:

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

## 广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

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

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

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

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

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

## 广告代理 Advertising Agency:

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

## 印刷 Printed by:

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

## 广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第20卷第3期总第147期 Vol.20 No.3 S.No.147

出版: 2023年3月25日 Published on: 3/25/2023

创刊: 2004年 First Issue: 2004

## 高级顾问: 倪光南院士

刘尚合院士

陈维江院士

## Senior Consultants:

Ni Guangnan: Member, Chinese Academy of Engineering

Liu Shanghe: Member, Chinese Academy of Engineering

Chen Weijiang: Member, Chinese Academy of Sciences

## 主任委员: 张啸林

委员: (按姓氏笔画排序)

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

## 本刊入选数据库:

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊;

RCCSE 中国准核心学术期刊;

日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊;

EBSCO 学术数据库收录期刊;

中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊;

中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊;

中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊;

中国学术期刊影响因子年报统计源期刊;

超星期刊域出版平台全文收录



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

扫码打开期刊官网,

阅读、下载本刊内容

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

2. 本刊文章版权所有, 未经书面许可, 不得以任何形式转载。

# 铁路通信信号工程技术 目次

## 技术创新

### 信号技术

更新改造工程信号系统动态检测技术研究 .....	郜新军, 刘德超, 林瑜筠	1-6
咽喉区设置总出站信号机特殊联锁处理方案 .....	雷少龙, 成 鹏, 莫运前	7-10
高速铁路列车DMI热备方法研究 .....	张友兵	11-16
一种铁路信号联锁表敌对信号的判定算法 .....	王成志, 赵 阳	17-22
一站两场场间渡线道岔场联电路设计 .....	李亚兰	23-26

### 通信及信息技术

上盖物业动车运用所无线网络覆盖方案分析 .....	张 健, 李津汉, 王伟力	27-31
CTCS-3级列控系统无线超时智能分析系统研究 .....	李 俏	32-36
关于eSIM在铁路专用移动通信系统应用的探讨 .....	宋 菁	37-41
CTC与RBC系统接口通信技术分析 .....	李寒冰	42-45
基于综合信息网的铁路局档案管理信息系统工程设计 .....	龚 雪	46-50

## 城轨交通

面向无人驾驶的地铁自动排班算法设计 .....	马伟杰, 王绍新, 饶 娅, 李鸿毛, 蒋 远	51-56
上海地铁智能运维平台的道岔设备管理 .....	于秦龙	57-62
温州轨道交通LTE系统共用区域覆盖解决方案 .....	林 静	63-67
灭灯模式下信号机点灯区域的分析与确定 .....	乔福明	68-71
计轴室外干扰故障的分析与解决方案 .....	田文礼, 马学霞, 谢志明	72-76

## 技术交流

区间综合监控设备存在设计问题的分析 .....	张 洁	77-80
扼流变压器磁化测试新思路 .....	吕大梅	81-85
使用IKVM长线驱动器串口鼠标误操作的研究 .....	张光辉	86-90

## 国外项目

匈塞铁路联锁数据工程化生成方法与实现 .....	郭晨彤	91-96
-----------------------------	-----	-------

## 国外信息

数字化货运列车创新项目启动 (76) OSDM 技术工作组的内部合作为愿意实施 OSDM 模型的公司提供有效的支持(85) DB 提出高性能网络(90) Rail Vision 公司将会为以色列列车提供传感器系统(封三) 第十二届国际铁路峰会呼吁通过创新推动可持续增长(封三)

# Railway Signalling & Communication Engineering

## CONTENTS

### Technological Innovation

#### Signalling Technology

Research on Dynamic Detection Technology of Signaling System after Infrastructure Renovation .....	Gao Xinjun, Liu Dechao, Lin Yujun	1-6
Special Interlocking Design Scheme for Advance Starting Signal in Throat Area .....	Lei Shaolong, Cheng Peng, Mo Yunqian	7-10
Research on DMI Hot Standby Method of High-speed Railway Trains .....	Zhang Youbing	11-16
Algorithm for Judging Conflicting Signals in Railway Signal Interlocking Table .....	Wang Chengzhi, Zhao Yang	17-22
Design of Liaison Circuit for Crossover Turnout Between Yards of Station with Two Yards .....	Li Yalan	23-26

#### Communication & Information Technologies

Analysis of Wireless Network Coverage for EMU Depot with Superstructures .....	Zhang Jian, Li Jinhan, Wang Weili	27-31
Research on Intelligent Analysis System for Wireless Communication Time-out of CTCS-3 Train Control System .....	Li Qiao	32-36
Application of eSIM in Railway Dedicated Mobile Communication System .....	Song Jing	37-41
Analysis of CTC and RBC Interface Communication Technology .....	Li Hanbing	42-45
Design of Railway Administration Archives Management Information System Based on Integrated Information Network.....	Gong Xue	46-50

### Urban Rail Transit

Design of Auto Crew Scheduling Algorithm for Driverless Metro .....	Ma Weijie, Wang Shaoxin, Rao Ya, Li Hongmao, Jiang Yuan	51-56
Turnout Equipment Management Based on Intelligent Operation and Maintenance Platform of Shanghai Metro .....	Yu Qinlong	57-62
Common Area Coverage Solution of LTE System for Wenzhou Rail Transit .....	Lin Jing	63-67
Analysis and Determination of Lighting Area of Signal in Off Mode .....	Qiao Fuming	68-71
Analysis and Solution of Outdoor Interference Fault of Axle Counter .....	Tian Wenli, Ma Xuexia, Xie Zhiming	72-76

### Technological Exchange

Analysis and Discussion on Design Problems of Section Integrated Monitoring Equipment .....	Zhang Jie	77-80
New Idea of Magnetization Test for Choke Transformer .....	Lü Damei	81-85
Research on Misoperation of Serial Mouse Using IKVM Long Line Driver .....	Zhang Guanghui	86-90

### Projects Abroad

Engineering Generation Method and Implementation of Interlocking Data for Hungary-Serbia Railway .....	Guo Chentong	91-96
---	--------------	-------

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.001

# 更新改造工程信号系统动态检测技术研究

郜新军<sup>1</sup>, 刘德超<sup>1</sup>, 林瑜筠<sup>2</sup>

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100081;

2. 南京铁道职业技术学院, 南京 210031)

**摘要:** 国内早期投入运营的高速铁路逐渐进入大修改造周期, 更新改造工程逐渐增多, 基础设施更新改造后信号系统动态检测验证需求也同步增加。然而, 目前国内仍缺少关于更新改造工程的动态检测技术方案和标准规范。研究更新改造工程信号设备改造情况, 并将更新改造工程分为3类。针对不同类型工程特点以及检测需求, 提出信号系统动态检测项目、案例选取原则、序列编制原理、动态检测方法、动态检测结果判断等, 为统一国内基础设施更新改造后高速铁路信号系统动态检测方法与标准提供技术支撑。

**关键词:** 更新改造; 信号系统; 动态检测

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0001-06

## Research on Dynamic Detection Technology of Signaling System after Infrastructure Renovation

Gao Xinjun<sup>1</sup>, Liu Dechao<sup>1</sup>, Lin Yujun<sup>2</sup>

(1. China Academy of Railway Sciences Co. Ltd., Beijing 100081, China)

(2. Nanjing Institute of Railway Technology, Nanjing 210031, China)

**Abstract:** In recent years, the high-speed railways that had been put into operation in the early stage in China have gradually entered the overhaul and renovation cycle. With the gradual increase of renovation projects, the demands for dynamic detection and verification of signaling systems after infrastructure renovation also increase simultaneously. However, there is still a lack of dynamic detection technical solutions and standards for renovation projects in our country. This paper studies the signaling equipment upgrading in the renovation projects, and divides the renovation projects into three categories. According to the characteristics and detection requirements of different types of projects, the dynamic detection items, case selection principles, sequence compilation principles, dynamic detection methods, and judgment of dynamic detection results of signaling systems are proposed. It can provide technical support for unifying the dynamic detection methods and standards

收稿日期: 2022-09-16; 修回日期: 2023-01-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFB1202004); 中国铁道科学研究院集团有限公司科研开发基金项目(2021YJ261)

第一作者: 郜新军(1987—), 男, 副研究员, 硕士, 主要研究方向: 高速铁路信号系统综合试验及联调联试技术, 邮箱: tkygxj@163.com.

of the high-speed railway signaling system after infrastructure renovation.

**Keywords:** upgrade; signaling system; dynamic detection

信号系统对保证列车安全运行至关重要，是高速铁路的重要组成部分。信号系统动态检测是工程动态验收的关键环节<sup>[1]</sup>。通过多年技术探索和工程实践，新建高速铁路工程竣工验收已摸索出一套较为完备的验收管理和评价技术体系，《高速铁路工程动态验收技术规范》(TB 10761-2013)<sup>[2]</sup>针对动态验收，规定了相关的检测项目、检测方法以及评价指标等内容；《高速铁路联调联试及运行试验技术规范》(Q/CR 472-2015)<sup>[3]</sup>详细规范了联调联试、运行试验的检测项目、检测方法、测点选取原则以及试验速度等级等相关内容。

早期建设的武广、合宁、合武、京石武等高铁已开通运营 10 余年，部分设备已进入大修改造周期。基础设施更新改造后需要通过动态检测验证基础设施各系统功能、性能以及系统接口间的相互匹配关系，为工程竣工验收提供数据支撑。然而，目前缺少相关动态检测技术方案和标准规范。尤其国内信号系统结构庞大、实际运营场景复杂，各个子系统的交互信息繁多，更新改造工程对信号系统完备的功能性测试与安全性测试要求极高<sup>[4-5]</sup>。因此，亟需开展更新改造工程信号系统动态检测技术方案研究，为下一步制定基础设施更新改造工程动态检测标准规范提供技术支撑。

## 1 工程特点及动态检测需求

### 1.1 更新改造工程特点

随着国内铁路基础设施更新改造工程逐渐增多，相关动态检测需求也同步增加<sup>[6]</sup>。已完成的更新改造工程包括京沪高铁达标提速、京津城际铁路列控系统技术改造、京广高铁京武段标准线达标建设、成渝客专提质达速工程、秦沈铁路能力加强、长白铁路设备补强、西安站改扩建工程等。更新改造工程可分为标准线达标建设、提质改造、灾害整治及改建 3 类。

#### 1.1.1 标准线达标建设

以京广高铁京武段标准线达标建设为例，工程按照 350 km/h 等级高速标准设计<sup>[7-8]</sup>。自 2012 年正式通车运营至 2022 年，按照初期运营速度 300 km/h 运行 10 年。既有信号设备存在列控工程数据表线路允许速度未按 350 km/h 配置、设备设计规范与现行技术规范不适应、设备即将到达寿命周期等主要问题。

根据设备运用情况、技术政策、服役状态等，按照设计速度 350 km/h 达标配套，对信号设备优化升级。

#### 1.1.2 提质改造

以成渝客专提质达速工程为例，既有成渝客专按照 350 km/h 等级高速标准设计，2015 年底按最高速度 300 km/h 开通运营<sup>[9]</sup>。根据高铁运营实践经验，信号部分标准和规范进行补充完善，部分系统设备设计与现行技术规范不适应。为使成渝客专提速后信号系统安全性及可靠性达到现行标准要求，根据专业设备运用情况、技术政策等，按照设计速度 350 km/h 达标配套，对站后设备进行优化升级，以确保成渝客专信号系统更安全、更可靠。

#### 1.1.3 灾害整治及改建

以京津城际列控系统综合改造工程为例，2018 年京津城际铁路已开通运营 10 年，信号系统设备已过或接近大修期<sup>[10]</sup>。改造工程可克服设备固有缺陷，有利于实现与其他接轨线路互联互通、减少维修维护成本、改善运行条件、提高升级改造的自主性，同时满足京津城际铁路达速 350 km/h 要求。

京津城际铁路采用西门子公司调度集中 (Centralized Traffic Control, CTC) 系统设备和 ETCS-1 级列控系统 (European Train Control System Level 1, ETCS-1) 叠加 CTCS-2 级列控系统 (Chinese Train Control System Level 2, CTCS-2)。随着国内高速铁路路网规模逐渐形成，相邻线路均

为 CTCS-3 级列控系统 (Chinese Train Control System Level 3, CTCS-3), 考虑到京津城际铁路信号系统在互联互通、维修维护以及未来面临的改造升级等方面暴露出其短板, 因此更新改造工程按照国内技术标准和装备体系全部改造为 CTCS-3 级列控系统, 主要工程改造如表 1 所示。

表1 京津城际信号工程改造

Tab.1 Beijing-Tianjin intercity signaling engineering reconstruction

类别	设备现状	整治方案	性质
线路速度不达标	无法满足 350 km/h 的速度要求	修改列控数据; 新设 RBC、TCC、LEU、应答器设备	达速/大修
信号制式不兼容; 设备升级改造受制外方	当前信号制式对互联互通形成制约; 维修维护成本逐年递增; 改造升级受外方制约; 固有缺陷无法得到解决	新设联锁设备; 新设信号机、转辙设备、轨道电路室内外设备及电缆; CTC 中心设备利旧改造, 新设车站分机	大修

## 1.2 更新改造工程动态检测需求

标准线达标建设工程通常基于既有信号设备利旧修改, 尽量减少新增设备, 一般修改无线闭塞中心 (Radio Block Center, RBC)、无源应答器等与线路速度相关数据。提质改造、灾害整治以及改建工程针对具体线路有所区别, 可能会存在信号制式升级, 如从 CTCS-0 级升级至 CTCS-2 级或者从 CTCS-2 级升级至 CTCS-3 级, 信号设备如列控中心 (Train Control Center, TCC)、临时限速服务器 (Temporary Speed Restriction Server, TSRS) 等将扩容或新建。

因此, 随着更新改造工程增多, 为了给动态验收提供技术依据, 急需制定一套针对更新改造工程的信号系统动态检测方法, 作为检测依据与支撑。

## 2 更新改造工程动态检测项目

### 2.1 动态检测项目选取规则

更新改造工程信号系统动态检测项目应根据变更设计文件及现场运营情况, 考虑不同型号系统设备间接口设计以及联锁和信号设备的影响范围等关键因素。依据信号设备软件变更申请单修改内容和

影响范围确定动态检测项目。在存在设备等级制式变化、新建线路工程等动态检测项目中增加车载设备兼容性测试<sup>[11]</sup>。

通过对已完成更新改造工程梳理与分类, 制定各类型更新改造工程动态检测项目选取规则, 如表 2 所示。

表2 更新改造工程动态检测项目

Tab.2 Dynamic detection items of renovation project

工程类型	动态检测序列	运营场景	备注
标准线达标建设	拉通测试	RBC 切换、行车许可、临时限速、自动过分相、等级转换、注册与启动、注销、正常行车、模式转换	车载兼容性 (可选)
提质改造	改造车站进路测试; 拉通测试	注册与启动、注销、等级转换、行车许可、RBC 切换、自动过分相、临时限速、调车作业、降级情况、灾害防护、设备冗余、正常行车、模式转换、大号码道岔 <sup>[12]</sup> 、引导作业、故障处理	特殊场景 (可选) 车载兼容性 (可选)
灾害整治及改建	改造车站进路测试; 拉通测试	注册与启动、注销、等级转换、行车许可、RBC 切换、自动过分相、临时限速、调车作业、降级情况、灾害防护、设备冗余、正常行车、模式转换、大号码道岔、引导作业、故障处理	车载兼容性 (可选)

### 2.2 动态检测案例选取规则

更新改造工程信号系统动态检测应结合更新改造工程特点, 以中国国家铁路集团有限公司于 2020 年颁布的 CTCS-3 级列控系统测试案例为基础<sup>[13]</sup>, 从中选取与地面设备功能、系统接口关系以及工程数据相关测试案例为原则。

在正常运营条件或典型故障条件下, 对列控系统各项功能测试, 验证车-地信息传输的正确性、各种运营场景和地面条件下列车超速防护设备 (Automatic Train Protection, ATP) 监督功能和地面系统提供控车信息的正确性, 验证列控系统功能是否满足需求规范及运营安全要求。

### 3 更新改造工程动态检测方法

#### 3.1 动态检测方法

##### 3.1.1 动态检测序列编制

依据列控工程数据表、设计变更、软件变更申请单等资料，结合工程特点及铁路局集团公司运营

需求，编制试验大纲以及试验方案，并形成动态检测序列。

动态检测序列应结合测试案例、列控系统功能特征编制。某动态检测序列定义了1列车从“注册与启动”到“注销”多个运营场景，如图1所示。

动态检测序列详细编制流程，如图2所示。

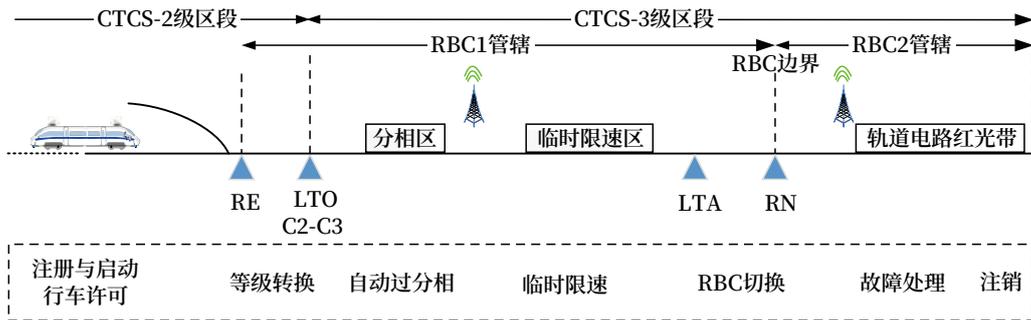


图1 信号系统动态检测运营场景

Fig.1 Dynamic detection operation scenarios of signaling system

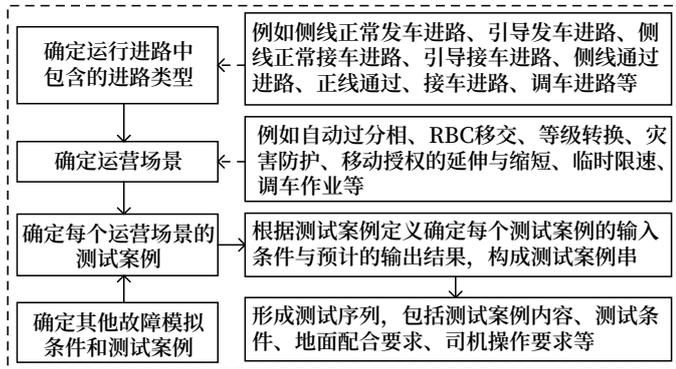


图2 动态检测序列编制流程

Fig.2 Dynamic detection sequence compilation process

##### 3.1.2 动态检测方法

通过 CTC 中心控制或车站控制模式，按照动态检测序列和测试案例要求准备试验进路等。将 ATP 作为标尺，验证地面信号设备如 RBC、TCC、TSRS 等发送应答器数据、临时限速、行车许可、等级转换等各项功能，验证各设备间接口功能。更新改造工程动态检测方法，如图3所示。

##### 3.1.3 动态检测结果判断

信号系统动态检测结果依靠3方面判断：1) 通过列控车载设备人机界面单元（Driver Machine Interface, DMI），根据运行提示和故障告警信息

对动态检测结果初步判断，如图4所示；2) 列控系统动态检测装置能够记录列车运行过程中列控系统重要信息<sup>[14]</sup>，实现速度曲线以及数据显示，包括应答器信息、列车接口信息、绝缘节信息等；3) 通过车载司法记录单元、RBC设备监测记录单元、铁路数字移动通信系统（Global System for Mobile Communication for Railway, GSM-R）核心机房监测记录设备、信号集中监测系统等设备对动态检测过程中的实时监测数据进行分析。

#### 3.2 动态检测计划合理性安排

更新改造工程信号系统动态检测几乎均需在夜间天窗进行，面临开通时间紧、任务急的试验组织压力。合理高效的检测计划是更新改造工程动态检测的研究重点。

根据试验方案和现场工程进度划分试验区段，对标准线达标建设等软件变更影响范围较小的工程可采取全线拉通方式；枢纽车站现场运营复杂、设备型号及接口数量多，动态检测应结合试验时间、天窗时间、软件换装时间、测试序列交叉影响、区间运行能力、测试列车数量、站内股道运用安排、工程进度和开通时间等因素综合考虑。实时跟踪试

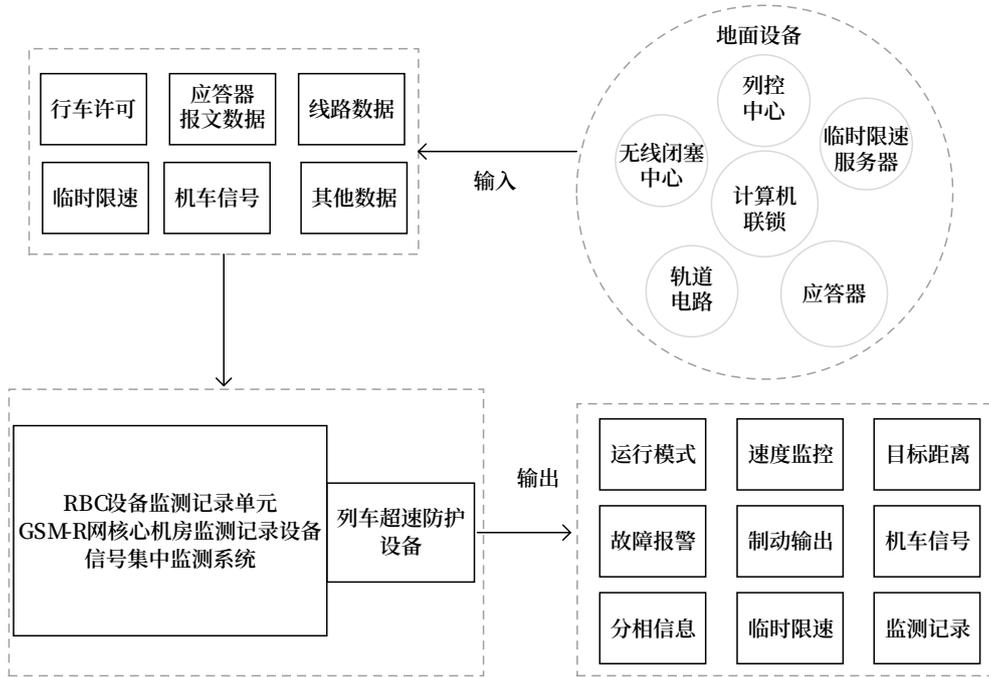


图3 更新改造工程动态检测方法

Fig.3 Dynamic detection method of renovation project

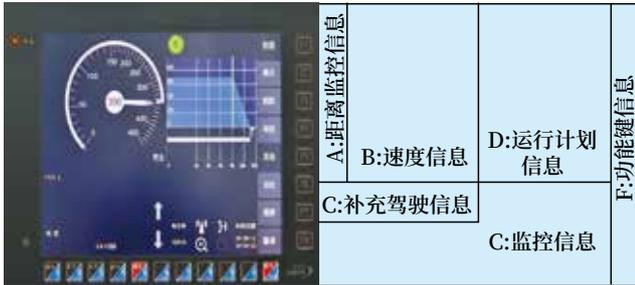


图4 DMI显示截图

Fig.4 DMI display diagram

验进展并动态调整总体试验计划。

#### 4 结束语

更新改造工程信号系统动态检测属于高速铁路联调联试的重要组成部分，通过规范更新改造工程动态检测项目、案例选取原则、序列编制原理、动态检测方法、动态检测结果判断等研究方法必然能够保障中国高铁实现完善的功能和优异的性能，满足铁路关键指标和安全稳定运营的要求。

#### 参考文献

[1] 禹志阳. 高速铁路信号系统测试技术研究及展望[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(S1): 137-141.

Yu Zhiyang. Research and Prospect on Test Technology for the Signaling System in High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(S1): 137-141.

[2] 中华人民共和国铁道部. 高速铁路工程动态验收技术规范: TB 10761-2013[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.

[3] 中国铁路总公司. 高速铁路联调联试及运行试验技术规范: Q/CR 472-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.

[4] 禹志阳, 陈晓明, 霍黎明. 高速铁路信号系统联调联试技术发展新思路[J]. 铁路技术创新, 2021(3): 45-50.

Yu Zhiyang, Chen Xiaoming, Huo Liming. New Thoughts for Development of Testing and Commissioning Technology of High Speed Railway Signal System[J]. Railway Technical Innovation, 2021(3): 45-50.

[5] 张秀广. 高速铁路通信信号系统联调联试关键技术[J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8(6): 1-6.

Zhang Xiuguang. Key Technology of Integrated

- Commissioning and Testing of Communication & Signal Systems for High-Speed Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2011, 8(6): 1-6.
- [6] 郜新军. 高速铁路信号系统联调联试典型问题[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(S1): 152-156.  
Gao Xinjun. Typical Problems for Integration Testing Commissioning of High-Speed Railway Signal System[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(S1): 152-156.
- [7] 易承龙. 武广高铁RBC改造方案研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(1): 5-8, 12.  
Yi Chenglong. Research on Renovation Scheme of Radio Block Center in Wuhan-Guangzhou High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(1): 5-8, 12.
- [8] 金鑫. 关于武广高铁列控系统达标改造工程达标范围的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(11): 111-116.  
Jin Xin. Research on Compliance Range of Reaching Standard Reconstruction Project of Wuhan-Guangzhou High-Speed Railway Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(11): 111-116.
- [9] 王嵩, 赵海宁, 岳剑勇, 等. 成渝高铁提质达标检测试验组织创新实践研究[J]. 铁路技术创新, 2021(3): 135-139.  
Wang Song, Zhao Haining, Yue Jianyong, et al. Research on Organization and Innovation for Inspection and Test of Chengdu-Chongqing HSR Quality Improvement and Standard Conformation[J]. Railway Technical Innovation, 2021(3): 135-139.
- [10] 王勇, 李东亮, 朱文平. 京津城际铁路信号系统升级改造技术[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(3): 39-43, 67.  
Wang Yong, Li Dongliang, Zhu Wenping. Signal System Upgrading Technology of Beijing-Tianjin Intercity Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(3): 39-43, 67.
- [11] 周永健, 刘德超, 李万生, 等. 联调联试中列控系统兼容性问题探讨[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(5): 25-29.  
Zhou Yongjian, Liu Dechao, Li Wansheng, et al. Problem Discussion about Compatibility of Train Control System during Integration Test and Commissioning[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(5): 25-29.
- [12] 郜新军, 王文涛, 周永健, 等. 高铁列控系统大号码道岔试验场景研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(4): 1-4.  
Gao Xinjun, Wang Wentao, Zhou Yongjian, et al. Research on Test Scene of Large-Number Turnout for High Speed Railway Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 1-4.
- [13] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-3级列控系统测试案例: TJ/DW 124-2020[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [14] 张纪周, 赵聪州, 张碧峰, 等. 列控系统动态检测装置研制[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(7): 15-21.  
Zhang Jizhou, Zhao Congzhou, Zhang Bifeng, et al. Development and Manufacture of Dynamic Detection Device for Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(7): 15-21.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.002

# 咽喉区设置总出站信号机特殊联锁处理方案

雷少龙, 成 鹏, 莫运前

(卡斯柯信号有限公司, 上海 200071)

**摘要:** 在广深港高铁项目中, 为满足隧道通风井区域仅有一辆列车运行, 且列车运行间隔 3 min 的需求, 在西九龙站 (WKT) 下行咽喉正向发车口特别设置一架总出站信号机 SZ。由于该站咽喉区比较短, 设置该信号机后, 对该发车口的接、发车进路以及调车进路的联锁关系都产生影响。针对这些影响进行深入分析, 通过卡控分段进路性质, 增加特殊联锁关系检查, 调整调车信号关闭时机和区段解锁方式等方法, 解决进路分割, 无岔调车进路等问题。采用该方案既满足运营要求, 又保证安全和效率。

**关键词:** 总出站信号机; 特殊站型; 计算机联锁; 铁路信号; 高速铁路

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0007-04

## Special Interlocking Design Scheme for Advance Starting Signal in Throat Area

Lei Shaolong, Cheng Peng, Mo Yunqian

(CASCO Signal Ltd., Shanghai 200071, China)

**Abstract:** In the Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link project, an advance starting signal SZ is specially installed at the forward departure exit in down direction throat area of West Kowloon Station (WKT) in order to meet the demands of only one train running in the ventilation area and a 3-minutes interval between trains. Since the throat area of this station is relatively short, the setting of the signal has impacts on the interlocking logic of the arriving and departure route as well as the shunting route of this departure exit. In this paper, an in-depth analysis of these effects is carried out, and the problems of route segmentation and switchless shunting route are solved by controlling the nature of segmented route, adding special interlocking relation checks, adjusting the timing of shunting signal at stop and section unlocking mode, etc. The use of the scheme not only meets the operational requirements, but also ensures safety and efficiency.

**Keywords:** advance starting signal; special station type; computer-based interlocking; railway signaling; high-speed railway

### 1 概述

广深港高铁西九龙站 (WKT) 为尽头式 C3 车站, 本站上行出站信号机与邻站 (NCV) 进站信号

收稿日期: 2022-01-07; 修回日期: 2023-01-17

第一作者: 雷少龙 (1987—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 计算机联锁, 邮箱: leishaolong@casco.com.cn。

机距离约为 3 km，区间有两个闭塞分区。本线路及车站均设置在地下，每隔一段距离会设置隧道通风井，西九龙站 7AG 处有一个通风井，下一处通风井位于邻站 (NCV) 进站信号机内方，根据要求，这两个通风井之间同时只能运行一列车，也就要求检查整个区间空闲后才能开放出站信号，并且两站之间列车最小发车间隔要满足 3 min。为此，设计单位在西九龙站下行咽喉内特别设置了一架总出站信号机 SZ，用于防护通风井区域，提高发车效率。SZ 的位置如图 1 所示，该信号机常态灭灯，具备发车引导和调车功能。SZ 信号机与调车信号 D1 并置，由于条件限制，这两架信号机位于线路同一侧。

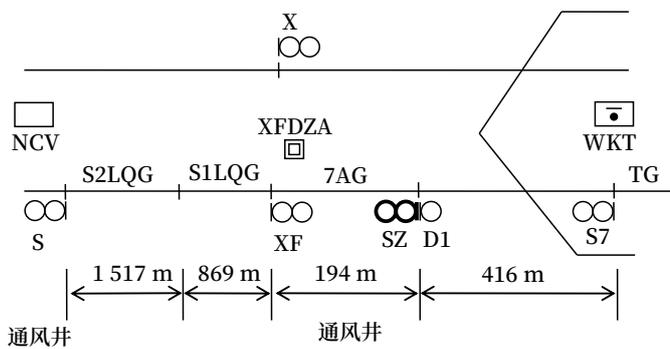


图1 站场示意  
Fig.1 Station diagram

## 2 影响分析

根据铁路信号设计规范，多车场车站宜设置进路信号机，单车场车站可根据需要设置进路信号机。本站为单车场车站，为满足运营要求，特别设置了 SZ 进路信号机作为总出站信号，该信号机内方为无岔区段，外方为道岔区段。SZ 信号机的引入，带来以下几个方面的影响。

### 2.1 分割正常发车进路

对上行发车而言，由于设置了 SZ 信号机，从股道到区间的发车进路被分割为两段进路，即出站信号机至 SZ，SZ-XF 两段进路。这两段列车进路没有重叠部分，可分别办理和取消，表面看两者没有太大关联。但本站咽喉区很短 (<1 km)，如有两列车在这么短的进路内追踪运行，不满足列车制动距离要求，

存在追尾风险。此外，SZ 外方为道岔区段，不是停车区，只能临时停车，如列车在 SZ 信号机外方长时间停车，必然会对整个咽喉的作业效率产生较大影响。根据设计意图，本站设置 SZ 信号机，是为了满足运营要求，只是受制于客观条件，SZ 信号机落到了咽喉区内，才导致发车进路被分割。对于本站发车作业而言，从股道到区间，必须是“一条”完整的进路，确保列车能够一次性发往区间，避免在咽喉区停车。同时，还要保证前、后列车有足够的空间间隔，确保行车安全。因此，这两段进路存在紧密的内在联系，需设置特殊联锁关系才能满足要求。

### 2.2 增加无岔调车进路

对调车作业而言，如没有 SZ 信号机，往 XF 进站口的调车进路，可直接用 D1 作为终端按钮，该进路不检查 7AG 的空闲状态，不需要对 7AG 进行锁闭，仅做白光带即可。但是，设置 SZ 信号机后，由于 SZ 具备调车功能，需在进站口设置虚拟调车终端 XFDZ，增加一段无岔调车进路。SZ-XFDZ 这段调车进路不检查 7AG 的空闲状态，理论上也可采用不设置区段锁闭的方式来简化处理。但是，本站 SZ 信号机具备点 / 灭灯功能，根据计算机联锁技术条件，其点 / 灭灯功能依赖对其内方第一区段锁闭状态的判断，只有当 7AG 在解锁状态时，才允许对 SZ 信号机进行点 / 灭灯操作。这就要求办理 SZ-XFDZ 调车进路必须将 7AG 锁闭。对于这样一条内方既无道岔，也不检查任何区段条件，同时又要求将经过的无岔区段 7AG 进行锁闭的调车进路，其联锁功能需要进行一些调整才能满足要求。

### 2.3 影响敌对关系

对下行接车而言，虽然 SZ 信号机没有分割接车进路。但它的插入，使得 XF 到所有股道的接车进路，与 SZ-XF 发车进路以及出站信号机到 SZ 的发车进路全部变成对向重叠进路，相当于一进路包含了两条反向的小进路，且这两条小进路跟大进路都是敌对进路，增加了大量敌对检查。此外，SZ 信号机具备发车引导和调车功能，这一点在设置接车进路敌对检查时容易疏漏，需要进行充分且详

细的梳理，以确保敌对检查完整正确。

### 3 方案介绍

#### 3.1 发车进路处理

##### 3.1.1 分段进路性质检查

以 7G 道往 XF 发车为例，该发车进路由两段进路组成：S7-SZ 与 SZ-XF。前面已经分析过，这两段进路虽彼此独立，但需设置特殊联锁关系。本站为 C3 高铁车站，列车信号机具备点 / 灭灯功能，可办理点灯和灭灯两种不同性质的列车进路（含引导进路）。同时，SZ 与 S7 具备调车功能，可办理调车进路。由于上述两段进路可以单独办理，因此会出现多种形式的进路组合，对于这些进路组合，有些是允许的，有些则不符合要求。正常情况下，值班员办理这两段进路，其进路性质应一致，但不排除特殊情况下，值班员会排列不同性质的进路，因此要在联锁关系上进行卡控。假定 SZ-XF(XFDZ) 为后段进路，S7-SZ (D1) 为前段进路，根据计算机联锁技术条件，结合现场作业实际需求以及运营场景综合分析可知，两段进路需要满足以下原则。

1) 当后段进路办理了调车进路，前段进路只能办理调车进路；

2) 当后段进路办理了灭灯列车或者灭灯引导进路，前段进路只能办理灭灯列车或者灭灯引导进路；

3) 当后段进路办理了点灯列车或者点灯引导进路，前段进路可以办理任意形式进路。

如表 1 所示，可以用不同性质进路联锁关系表直观反映前后两段进路在进路性质上的联锁关系。

为简化进路办理，提高作业效率，可将这两段列车进路设置为组合列车进路，使值班员能够一次性办理出这两段进路。这样也能规避由于操作不当，办理不同性质的进路而导致整个发车进路办理不成功的情况。

##### 3.1.2 分段进路特殊安全检查

发车进路被 SZ 信号机分割为两段后，每一段进路都非常短，本站出站信号机与 SZ 信号机距离 < 500 m，为规避紧跟踪运行发生追尾的风险，满足

表1 不同性质进路联锁关系

Tab.1 Interlocking table of different routes

后段进路性质	前段进路性质				
	点灯列车	灭灯列车	点灯引导	灭灯引导	调车进路
点灯列车	Y	Y	Y	Y	Y
灭灯列车	N	Y	N	Y	N
点灯引导	Y	Y	Y	Y	Y
灭灯引导	N	Y	N	Y	N
调车进路	N	N	N	N	Y

注：N 表示进路不能同时建立或者不能同时开放信号；Y 表示进路可以同时建立并开放信号

列车制动距离要求，不允许两段进路中同时有车。一般对于这种情况，可采用红灯重复的方案，即出站信号机检查 SZ 信号开放后才能开放。但由于通风井的关系，本站与邻站之间同时只允许运行一辆列车，SZ 信号机要检查整个区间空闲后才能开放，如设置红灯重复，本站出站信号机也要等到前方列车完全进入邻站后才能开放，这将无法满足最小 3 min 的发车间隔要求。为解决该问题，采用了如下方案，仍以 7G 道发车为例：尽管 S7 开放信号不检查 SZ 信号开放条件，但可以直接检查 SZ-XF 进路已锁闭，且 7AG 空闲（引导进路除外），以及区间 S1LQG 空闲。由于发车进路加 S1LQG 长度有 1.4 km，能满足制动距离要求，这样做可以确保 S7 在开放出站信号之前，已经办理了 SZ-XF 发车进路，且两段发车进路均空闲，相当于整条发车进路空闲，列车可以安全出站。可以看出，这种处理方式部分借鉴了延续进路的理念，将进路的防护范围进行了适当延长，但并非完全照搬延续进路，还考虑了进路办理和取消的灵活性。设置 SZ 信号机后，尽管发车进路被切分为两段，但在安全防护方面，还是按照一条进路进行处理。采用这个方案，只要前方列车出清 S1LQG，本站出站信号就可以开放，不必等到整个区间空闲，从而在保证安全的前提下，缩短了发车间隔，满足了运营要求。另外，出站信号机与 SZ 未设置红灯重复，在灭灯模式下，两者可按照四显示原则进行连续显示和追踪发码，提高了咽喉通过能力。

### 3.2 调车进路处理

根据前文分析，SZ-XFDZ 这段调车进路既不含道岔，也不包含轨道区段，同时办理进路还要将7AG 锁闭。这就带来两个问题：一是 SZ 调车信号何时关闭；二是 7AG 如何解锁。

#### 3.2.1 调车信号关闭时机

根据计算机联锁技术条件，调车信号在下列两种情况下应及时关闭：一是车列全部越过信号机时；二是在信号机外方区段留有车辆的情况下车列出清内方第一区段时。由于 SZ-XFDZ 调车进路只有 7AG 一个区段，且进路终点是进站信号机，不可能越站调车，调车过来后要么车列停留在 7AG，要么只能折返，加上 SZ 信号机外方为道岔区段，不允许留车，因此，第二种情况不适用于 SZ 信号机。办理 SZ-XFDZ 调车进路后，当且仅当车列全部越过 SZ 信号机时，其调车信号才会关闭，7AG 占用出清并不会关闭 SZ 调车信号。这里可以采用类似“两点检查”的方法来判断车列全部越过 SZ 信号机，即车列先后占用 SZ 外方区段和 7AG 后再出清 SZ 外方区段。

#### 3.2.2 无岔区段的解锁方式

办理调车进路 SZ-XFDZ 将 7AG 锁闭了，7AG 解锁方式如下：7AG 是进站信号机内方第一个无岔区段，SZ-XFDZ 为上行方向的调车进路，7AG 的下一个区段是 S1LQG。如跟列车进路一样，通过“三点检查”的方式使 7AG 解锁，就要求车列完全进入区间，但高铁车站不允许调车车列进入区间。如不考虑“三点检查”，列车完全进入 7AG 后就使其解锁，则 SZ 信号机灯光会自动熄灭，即由点灯状态自动变为灭灯状态，而此时车列并未出清 7AG，存在一定风险。通过分析可知，本站 SZ 信号机与 D1 信号并置，正好可以采用中途折返的方式来使 7AG 解锁。车列完全进入 SZ 信号机内方后，办理以 D1 为始端的调车进路，当车列出清 7AG，完全进入 D1 信号机内方后，7AG 即可解锁。对于一般站型的调车进路而言，进站信号机内方第一个无岔区段不存在锁闭与解锁的问题。但在本站这种特殊站型条件下，中途折返解锁反而成了 7AG 的主要解锁方式。为应

对极特殊情况下往站外调车的可能情形，在联锁软件中也保留了“三点检查”的解锁方式。

### 3.3 接车进路处理

对于下行接车进路而言，由于本站 XF 口接车进路众多，SZ 信号机的引入，导致增加了大量敌对检查。在进行联锁软件设计时，需要进行详细梳理，避免遗漏。尤其是接车进路跟 SZ 发车引导进路的敌对检查。由于办理接车进路是采用双按钮制，即按压进路的始端和终端，而办理引导进路则是采用单按钮制，即按下单独的始端引导按钮。当办理 XF 接车进路时，其终端按钮是反向的出站信号机，不是 SZ 信号机，因此 SZ 没有终端条件。如果忽略这一点，可能会导致 SZ 发车引导进路跟接车进路敌对卡控失效。本站应该将 XF 的始端条件纳入到 SZ 引导进路敌对检查，以规避上述情况。

## 4 结语

综上所述，本站咽喉区设置总出站信号机 SZ，打破了常规站型设置，虽有效解决了运营的痛点，但给联锁功能设计提出新的要求。设置一架总出站信号机对整个站场来说变化不大，但对于车站联锁关系的影响是多方面的，需结合运营和安全要求进行深入分析，并针对各种问题，给出恰当的解决方案，这样才能保证联锁关系正确，既满足运营要求，又能达到安全与效率的平衡。本文对于计算机联锁工程实践具有一定参考意义。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. 高速铁路设计规范: TB 10621-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路车站计算机联锁技术条件: TB/T 3027-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

(下转 16页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.003

# 高速铁路列车DMI热备方法研究

张友兵<sup>1, 2</sup>

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

**摘要:** DMI 是司机操作高铁列车控制系统的人机接口设备。高铁列车每一端安装两台 DMI, 由于两台 DMI 属于冷备关系, 不支持故障无缝自动切换, DMI 设备故障必然导致列车制动停车, 降低列车运行效率。给出高铁列车 DMI 热备方案, 并详细阐述 DMI 热备关键技术, 包括切换策略、窗口操作热备原理和文本确认热备原理。采用 DMI 热备方案开发 DMI 热备功能, 实现双 DMI 热备切换, 已得到工程应用和检验, 可提高系统可用性, 保障铁路运输效率。

**关键词:** 高速铁路; 车载设备; 人机接口设备; 热备

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0011-06

## Research on DMI Hot Standby Method of High-speed Railway Trains

Zhang Youbing<sup>1, 2</sup>

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

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

**Abstract:** DMI is the man-machine interface device for drivers to operate the high-speed train control system. At present, two DMIs are installed at each end of a high-speed train. Because the two DMIs are cold standby, seamless automatic switchover is not supported in case of failure. Therefore, the failure of DMI will inevitably lead to brake and stop of the train and reduce the operation efficiency of the train. In this paper, the DMI hot standby scheme of high-speed train is given, and the key technologies of DMI hot standby are elaborated in detail, including switching strategy, hot standby principle of window operation and hot standby principle of text confirmation. The DMI hot-standby scheme has been used to develop DMI hot-standby function and realize dual DMI hot standby switchover. It has been applied and tested in engineering, which can improve the availability of the system and guarantee the efficiency of railway transportation.

**Keywords:** high-speed railway; on-board equipment; driver machine interface; hot standby

收稿日期: 2022-04-11; 修回日期: 2023-01-17

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目 (2300-K1210019)

作者简介: 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研究和开发, 邮箱 zhangyoubing@crscd.com.cn.

在现有的高速铁路列车控制系统车载设备中, 人机接口设备 (Driver Machine Interface, DMI) 作为沟通司机和车载主机的桥梁, 扮演着至关重要的角色<sup>[1-2]</sup>。如列车每端只安装一台 DMI, 一旦 DMI 故障, 为保证行车安全, 车载主机必须向列车施加紧急制动停车, 虽然保证了行车安全, 但是却极大降低了列车运行效率, 造成列车晚点, 延误乘客旅行。如 DMI 上电重启, 故障依旧不能消除, 乘客还需要换乘其他列车, 造成更大旅行延误。为避免不能通过重启 DMI 恢复故障, 一般在列车两端分别安装两台 DMI。两台 DMI 互为冷备关系, 一台 DMI 故障, 司机可以停车后切换并使用另一台 DMI。通过 DMI 冷备, 虽然降低了 DMI 故障不可用的概率, 但是必须在列车停车后才能切换 DMI, 并没有显著降低 DMI 故障给列车运行效率造成的影响。

虽然单套 DMI 能够保证高速铁路列车的安全运行, 却不能满足可靠性要求<sup>[3-4]</sup>。为了提高列控系统 DMI 设备的可靠性, 本文提出高速铁路列车 DMI 热备方法, 两台 DMI 设备为热备关系, 主系 DMI 故障时, 备系 DMI 可以无缝接替工作, 不会造成列车停车, 可极大降低 DMI 故障影响行车效率事件的发生, 提高铁路运输效率, 提高乘客乘车舒适度。

### 1 人机接口设备热备方案

在 CTCS-3 级和 CTCS-2 级列控系统中, 车载主机根据行车许可、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<sup>[5-6]</sup>, 对列车位置和速度进行实时监控, 并将列车运行速度、位置、等级、模式等重要信息发送给 DMI, 司机通过观察和操作 DMI, 监控和调整列车运行状态。DMI 是司机与列控车载主机之间的桥梁, 也是通过观察掌握列车运行状态的关键设备<sup>[7-8]</sup>。

针对现有高铁列车上 DMI 均为冷备关系, 本文给出 DMI 热备方法, DMI 热备结构如图 1 所示。车载主机 (Automatic Train Protection, ATP)

具备两个 DMI 通道, 通过通道 1 与 DMI-A 建立连接, 通过通道 2 与 DMI-B 建立连接, DMI-A 与 DMI-B 通过总线建立连接。通过参数对 DMI-A 和 DMI-B 进行静态配置, 将 DMI-A 的初始状态配置为主系, 将 DMI-B 的初始状态配置为备系。DMI-A 和 DMI-B 作为两个功能相同的单元并联运行, 可靠性比任何一个单元独立运行更高。

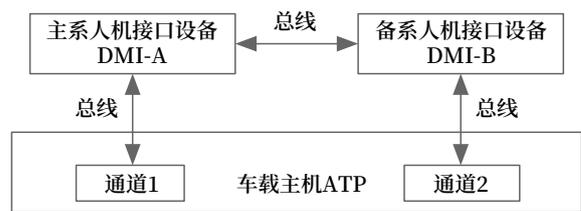


图1 DMI热备结构  
Fig.1 DMI hot standby structure diagram

车载主机通过总线与两个人机接口设备相连, 并建立通信连接。车载主机向主系人机接口设备 DMI-A 发送消息, 并向备系人机接口设备 DMI-B 转发所有消息。主系人机接口设备与车载主机执行正常交互, 界面正常显示, 从车载主机接收到待确认的文本信息或窗口信息后, 主系人机接口设备自动弹出文本或窗口等指导司机执行必要操作, 司机对待确认文本进行确认操作, 或在弹出窗口完成输入操作, 主系人机接口设备响应司机操作并向车载主机回复司机操作信息; 备系人机接口设备只显示速度表盘、实时速度和设备当前模式, 并显示一条提示文本“备系人机接口设备”, 界面上所有按键不可操作, 不弹出任何文本或窗口, 不响应司机操作, 也不向车载主机回复司机操作信息。但备系人机接口设备周期向车载主机发送状态信息, 用于报告设备状态, 也用于维护正常通信。

一般情况下, 主系人机接口设备 DMI-A 处于正常工作状态, 备系人机接口设备 DMI-B 处于预备工作状态。当主系人机接口设备故障时, 备系人机接口设备将从预备工作状态转入正常工作状态, 代替主系人机接口设备继续工作。两种情况下主、备系 DMI 发生切换: 一是如果主系人机接口设备 DMI-A 故障, 但两系 DMI 通信正常, 主系人机接

口设备主动命令备系人机接口设备 DMI-B 进入正常工作状态；二是两系 DMI 通信中断，备系人机接口设备检测到主系人机接口设备故障，主动进入正常工作状态。

大多数情况下，车载主机向人机接口设备发送控车信息，人机接口设备界面显示控车信息，发生切系并不会造成任何影响。但有些情况下，车载主机向人机接口设备发送信息，需要司机在弹出窗口中输入信息，或需要司机对文本信息进行确认。如司机尚未在主系人机接口设备 DMI-A 完成操作，两系人机接口设备发生切系，则备系人机接口设备 DMI-B 需要继续弹出窗口指导司机完成信息输入，或弹出文本提示司机完成确认。否则车载主机收不到窗口输入信息或文本确认信息，将导致车载主机进行异常防护，可能对列车施加制动停车，还可能进入死机状态。因此，需要对主系人机接口设备 DMI-A 弹出需要输入信息的窗口或显示待确认文本这两种情况下的切系进行特殊设计，保证这些情况下发生切系事件，备系人机接口设备 DMI-B 依旧能够指导司机完成必要操作，实现无缝安全切换，避免车载主机进行异常防护，进入异常或死机状态。

## 2 主备系切换

### 2.1 通信超时切系

主系人机接口设备与备系人机接口设备互相发送周期信息，用于监测对方工作状态。若主系人机接口设备故障导致通信中断，备系人机接口设备在设定时间内未接收到主系人机接口设备发送的通信数据，则备系人机接口设备判定主系人机接口设备发生硬件故障等事件，备系人机接口设备将代替主系人机接口设备继续工作，过程如图 2 所示。

### 2.2 根据命令切系

主系人机接口设备与备系人机接口设备周期通信时，若主系人机接口设备软件故障但不影响主备 DMI 之间的通信，仅是进入一种不正常工作状态，则主系人机接口设备向备系人机接口设备发送故障信息，并命令备系人机接口设备进入正常工作状态，

代替主系人机接口设备继续工作，过程如图 3 所示。

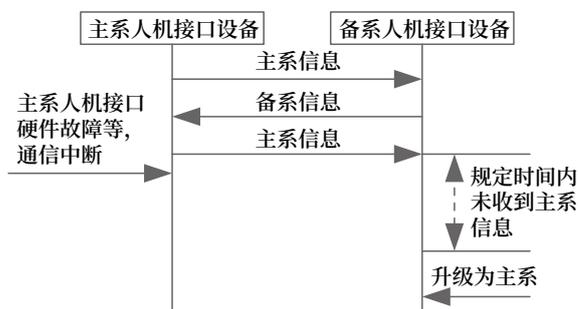


图2 通信超时切系

Fig.2 Switchover in case of communication timeout

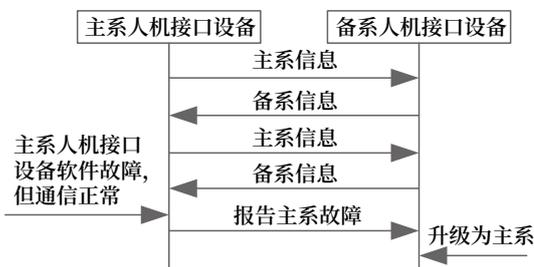


图3 根据命令切系

Fig.3 Switchover according to command

## 3 窗口操作

### 3.1 窗口操作热备原理

在车载主机运行过程中，车载主机向主系人机接口设备和备系人机接口设备同时发送一个窗口信息，主系人机接口设备自动弹出对应窗口，备系人机接口设备不弹出对应窗口，车载主机记录该窗口编号。司机在主系人机接口设备弹出的窗口内完成必要操作，并将操作信息发送给车载主机。当车载主机检查来自主系人机接口设备的操作信息和车载主机发送的窗口信息一致，将清除存储的窗口编号。当主系人机接口设备故障，备系人机接口设备进入正常工作状态时，车载主机将存储的窗口编号发送给备系人机接口设备，备系人机接口设备根据收到的窗口编号再次弹出对应窗口，指导司机继续完成操作。当车载主机检查来自备系人机接口设备的操作信息和车载主机发送的窗口信息一致，将清除存储的窗口编号。

当主系人机接口设备故障时，实现主系人机接

口设备和备系人机接口设备无缝切换，避免操作中  
断，导致车载主机进入混乱状态。

### 3.2 窗口操作时未发生切系

窗口操作时未发生切系的交互流程如图 4 所示。  
车载主机向主系人机接口设备和备系人机接口设备  
发送相同的窗口信息，包括窗口编号和窗口关键信  
息。同时，车载主机记录当前的窗口编号。

主系人机接口设备实现人机交互，备系人机接  
口设备不显示交互信息。主系人机接口设备根据窗  
口编号和窗口关键信息弹出对应窗口，司机按照弹  
出的窗口进行操作，并将操作信息发送至车载主机。  
车载主机检测来自主系人机接口设备的操作信息与  
窗口编号是否一致，若操作信息与窗口编号一致，  
则车载主机清除当前记录的窗口编号；若操作信息  
与窗口编号不一致，则车载主机不清除当前记录的  
窗口编号，直至来自主系人机接口设备的操作信息  
与窗口编号一致。

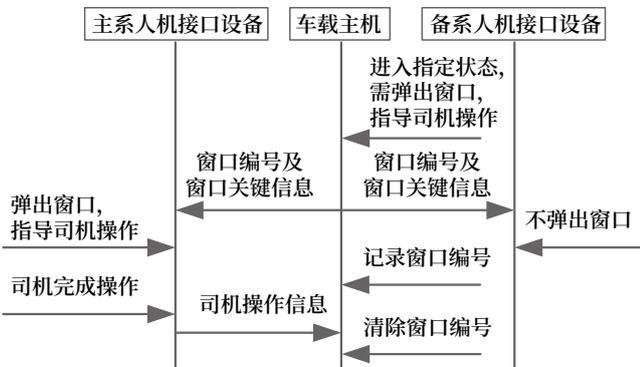


图4 窗口操作时未发生切系

Fig.4 No switchover occurred during window operation

### 3.3 窗口操作时发生切系

窗口操作时发生切系的交互流程如图 5 所示。  
在主系人机接口设备故障时，若司机正在进行窗口  
操作，车载主机将记录的窗口编号发送给备系人机  
接口设备，备系人机接口设备根据收到的窗口编号  
弹出对应窗口，替代主系人机接口设备实现人机交  
互，继续完成窗口显示和操作。司机按照弹出的窗  
口进行操作，并将操作信息发送至车载主机。车载  
主机检测来自备系人机接口设备的操作信息与窗口  
编号是否一致，若操作信息与窗口编号一致，则车  
载主机清除当前记录的窗口编号；若操作信息与窗  
口编号不一致，则车载主机不清除当前记录的窗口  
编号，直至来自备系人机接口设备的操作信息与窗  
口编号一致。

编号是否一致，若操作信息与窗口编号一致，则车  
载主机清除当前记录的窗口编号；若操作信息与窗  
口编号不一致，则车载主机不清除当前记录的窗口  
编号，直至来自备系人机接口设备的操作信息与窗  
口编号一致。

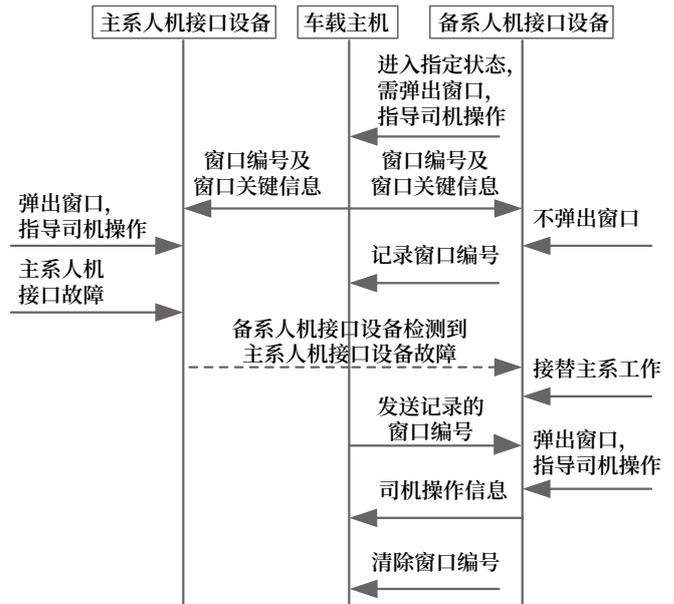


图5 窗口操作时发生切系

Fig.5 Switchover occurred during window operation

## 4 文本确认

### 4.1 文本确认热备原理

列车运行过程中，在某些条件下，车载主机向  
人机接口设备发送需要司机确认的文本提示信息并  
记录待确认的文本信息编号，主系人机接口设备显  
示需要确认的文本信息，备系人机接口设备不显示  
需要确认的文本信息；司机在主系人机接口设备确  
认了文本消息，车载主机收到司机的确认信息后，  
清除待确认的文本信息编号，并将确认信息转发给  
备系人机接口设备，备系人机接口设备删除已经被  
确认的文本消息，避免当主系人机接口设备故障，  
备系人机接口设备进入正常工作状态时，备系人机  
接口设备重新弹出已经被确认的文本消息，避免司  
机对已经确认过的文本信息进行第二次确认，造成  
系统混乱。当主系人机接口设备故障，发生切系后，

备系人机接口设备显示存储的待确认文本信息，替代主系人机接口设备实现人机交互，并在司机确认后，将确认信息发送至车载主机。

4.2 文本确认时未发生切系

文本确认时未发生切系的交互流程如图 6 所示。车载主机向主系人机接口设备和备系人机接口设备发送相同的待确认文本信息，并记录待确认的文本信息编号。

主系人机接口设备显示待确认文本信息，司机确认该文本信息，并将确认信息发送至车载主机。备系人机接口设备不显示待确认的文本信息，但存储待确认的文本信息。

在车载主机收到来自主系人机接口设备的待确认文本信息的确认信息后，将确认信息转发给备系人机接口设备，并删除存储的待确认文本信息编号。

备系人机接口设备从车载主机收到确认信息后，删除待确认文本信息。

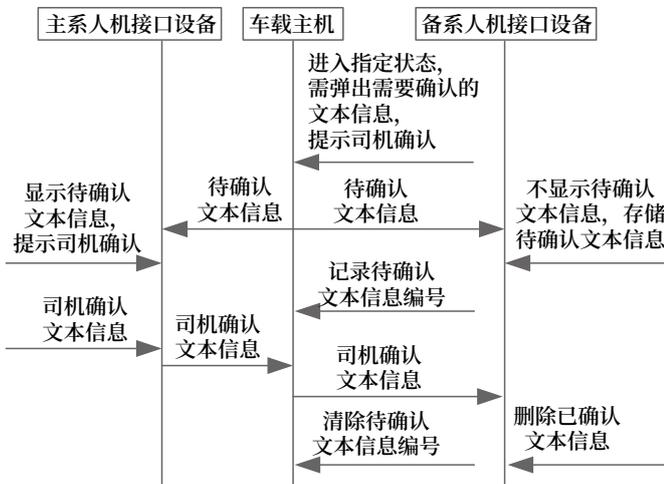


图6 文本确认时未发生切系  
Fig.6 No switchover occurred during text confirmation

4.3 文本确认时发生切系

文本确认时发生切系的交互流程如图 7 所示。在主系人机接口设备故障时，主系人机接口设备正在显示待确认的文本信息，发生切系后，备系人机接口设备显示存储的待确认文本信息，替代主系人机接口设备实现人机交互。司机在备系人机接口设备上对待确认的文本信息进行确认操作，备系人机

接口设备将确认信息发送至车载主机，并删除已确认的文本信息。

车载主机收到来自备系人机接口设备的确认信息后，清除存储的待确认文本信息编号。

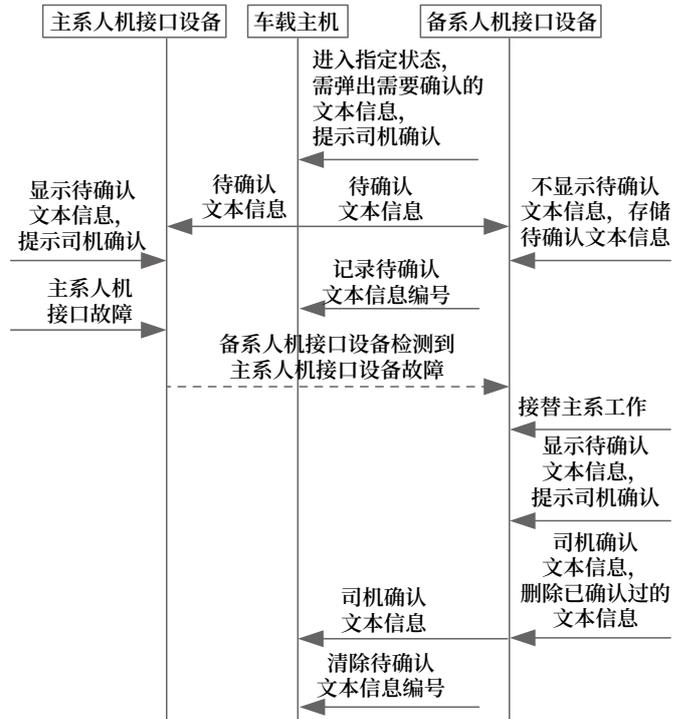


图7 文本确认时发生切系  
Fig.7 Switchover occurred during text confirmation

5 总结

本文设计了高速铁路列车 DMI 热备方法，实现 DMI 热备，主系故障，备系可以无缝接替主系工作，避免造成列车制动停车，提高了列车运行效率和乘车舒适度。本文提出的 DMI 热备方案可替代当前高铁列车 DMI 冷备方案，具有可行性和很高的实用价值，已成功应用于中国铁路通信信号股份有限公司海外列控系统 ETCS+LZB 车载设备项目中。

参考文献

[1] 张友兵, 陈志强, 王建敏, 等. 高速铁路 AT0 系统人机界面的新特征 [J]. 中国铁路, 2019 (6): 13-17.  
Zhang Youbing, Chen Zhiqiang, Wang Jianmin, et al. New Features of the Driver Machine Interface

- of Automatic Train Operation for High Speed Railway[J]. China Railway, 2019(6): 13-17.
- [2] 张友兵, 刘岭, 崔俊锋, 等. ETCSDMI 计划区速度曲线的绘制原理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12 ( 6 ): 20-23.  
Zhang Youbing, Liu Ling, Cui Junfeng, et al. Principle of Drawing ETCS DMI Planning Area Speed Profile[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2015, 12(6): 20-23.
- [3] 宋俊辉. 人机界面单元的高可靠性设计方案 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019, 19 ( 10 ): 12-15.  
Song Junhui. High Reliability Design Scheme of Human-Machine Interface Unit[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2019, 19(10): 12-15.
- [4] 孙野. 高速铁路车载信号系统外设冗余方案研究 [J]. 控制与信息技术, 2019 ( 3 ): 70-75.  
Sun Ye. Research on the External Device Redundancy Scheme of Onboard Signaling System for High-Speed Railways[J]. Control and Information Technology, 2019(3): 70-75.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] ERA, UNISIG, EEIG ERTMS USERS GROUP. System Requirements Specification: Subset-026[S]. Valenciennes: ERA, 2016.
- [8] ERA. ETCS Driver Machine Interface: ERA\_ERTMS\_015560[S]. Valenciennes: ERA, 2016.
- \*\*\*\*\*
- (上接 10 页)
- [4] 中华人民共和国国家铁路局. 机车信号信息定义及分配: TB/T 3060-2016E [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [5] 中华人民共和国国家铁路局. 集中联锁结合电路一般原则: TB/T 2307-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [6] 何文卿. 6502 电气集中电路 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.
- [7] 朱剑峰, 刘乐霞. 广深港香港段联锁系统特殊功能的设计与实现 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 ( 10 ): 13-15.  
Zhu Jianfeng, Liu Lexia. Design and Realization of Special Functions of Interlocking System in Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Section[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(10): 13-15.
- [8] 李玉月. 广深港 ( 香港段 ) 调度集中系统扩展功能设计与实现 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 ( 1 ): 27-30.  
Li Yuyue. Design and Realization of CTC System's Extended Functions for Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(1): 27-30.
- [9] 张昌平, 周章海. 信号道岔设计方案对联锁关系的影响与分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 ( 1 ): 91-94.  
Zhang Changping, Zhou Zhanghai. Impact and Analysis of Signaling Turnout Design Scheme on Interlocking Relation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 91-94.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.004

# 一种铁路信号联锁表敌对信号的判定算法

王成志, 赵 阳

(中铁工程设计咨询集团有限公司济南设计院, 济南 250022)

**摘要:** 铁路车站计算机联锁技术条件要求联锁设备不得排列联锁表中未列出的进路。基于此, 研究一种以可付诸工程实施的推荐进路为基础的敌对信号判定算法, 该算法通过需判断敌对信号的进路与符合条件的推荐进路进行比对, 筛选完成敌对信号的判定。再通过 C++ 编程语言和 MFC 框架类将判定算法集成到联锁表辅助编制软件中, 使用该软件可显著减少设计人员的工作量, 避免了敌对信号与实际推荐进路不一致的现象。

**关键词:** 推荐进路; 联锁表; 敌对信号; MFC

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0017-06

## Algorithm for Judging Conflicting Signals in Railway Signal Interlocking Table

Wang Chengzhi, Zhao Yang

(Jinan Institute, China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Jinan 250022, China)

**Abstract:** The computer based interlocking technical specifications require that the interlocking equipment shall not arrange routes not listed in the interlocking table. This paper studies a conflicting signal determination algorithm that is based on the recommended route and can be implemented in the project. The algorithm determines conflicting signals by comparing the routes that needs to be judged with the recommended routes that meets the requirements. Then the decision algorithm is integrated into the interlocking table auxiliary compilation software through C++ programming language and MFC framework class. Using this software can significantly reduce the workload of designers and avoid the inconsistency between conflicting signals and actual recommended routes.

**Keywords:** recommended route; interlocking table; conflicting signal; MFC

在铁路信号的设计过程中, 联锁表是最为关键的一环, 关系到车站各信号设备的联锁逻辑、车站设备的使用效率等。铁路信号联锁表的编制过程中,

敌对信号的判定占据了最大的工作量, 特别是在咽喉区较复杂的情况下, 敌对信号的判定时间往往能占据联锁表编制四分之三的工作量。

目前, 为降低设计人员的工作, 各设计院大多采用联锁表辅助编制软件完成联锁表的绘制, 各设计院软件对敌对信号的判定原则大致相同但是算法各异<sup>[1-5]</sup>。文献 [6-7] 要求: 不得排列联锁表中未列

收稿日期: 2022-06-09; 修回日期: 2023-02-10

基金项目: 2019 年中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题项目 (N2019G017)

第一作者: 王成志 (1988—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: chengzhi0538@163.com。

出的进路。基于此，研究一种基于推荐进路（可工程实施的进路）的敌对信号判定算法，该算法以可付诸工程实施的推荐进路为基础，进行敌对信号的逻辑判定，减少联锁表编制的工作量，保证敌对信号搜索的准确性。

### 1 敌对信号判定原则

联锁表中，常见有进站列车进路、出站列车进路、调车进路、转场进路、推送进路等，各种进路的敌对信号判定思路各不相同，但敌对信号的判定原则相同，主要有以下两个原则<sup>[8-9]</sup>：一是区段有重合；二是道岔位置相同。即要判定的进路与敌对进路所经过的区段必须有重合，两者均经过的道岔及道岔定、反位位置必须相同。

普通车站常见进路有进站列车进路、出站列车进路和调车进路，敌对信号判定时主要以这3种进路为基础进行。下面以这3种进路为例，介绍敌对信号的搜索方式。

### 2 进站和出站列车进路敌对信号判定

在进站列车进路搜索的过程中，可将经过的所有信号机、轨道区段和道岔的名称及属性等都记录在进路表中<sup>[10]</sup>，如图1所示。

```
struct JLB{
    CString str_Begin_XHD;           //起始信号名称
    CString str_End_XHD;             //终端信号名称
    ...
    JL_QD QD_ID[20];                 //经过的区段ID集合数组
    CString str_JJQD;                //接近区段名称
    JL_XHD Last_Fxdx_ID;            //最后一架反向调车信号机的ID
    JL_XHD XHD_ID[20];              //经过的信号机ID
    DDXH DDUL_XH_ID[20];           //敌对信号数组ID
    int n_JL_QD_NUM;                //进路中区段的个数
    int n_JL_XH_NUM;                //进路中信号机的个数
    int n_JL_DC_NUM;                //进路中道岔的个数
    CString str_FH_DC;               //防护道岔
    CString str_RJSJ;                //人解时间 30 s/3 min
    ...;
};
```

图1 进路表结构体  
Fig.1 Route sheet structure

根据判定原则，进站列车进路搜索过程中遇到的所有调车信号机及对应股道出站信号机的列车信号和调车信号均为该列车进路的敌对信号，即进站列车进路的敌对信号在进路搜索过程中即可完成，不必进行单独二次搜索或逻辑运算。与其类似，在

出站列车进路的搜索过程中，出站信号机的调车信号、调车信号机以及对应的进站信号机均为出站进路的敌对信号，在进路搜索过程中即可完成对敌对信号的搜索。

进站列车进路和出站列车进路的敌对信号均为无条件敌对，不需进行条件敌对的判定。

### 3 调车进路敌对信号判定

调车进路的敌对信号判定是最为复杂的，特别是在咽喉处的短调车进路。根据文献[11]，可将调车进路常见的敌对信号分为以下几大类：始终端之间的敌对信号、始端前方的敌对信号、终端后方的列车敌对信号和终端后方的调车敌对信号。敌对信号判定算法程序按照上述分类进行相应开发，主要程序框架如图2所示。

```
void CLSBDlg::OnBnClickedBTDDuiSig(){
for (int NO_DCJL=1;NO_DCJL<=DCJL_NUM;NO_DCJL++){
    switch (DCJL_STYLE_MAIN){
        case XXDCJL://下行咽喉下行调车进路
            //始端前方敌对信号
            for (int NO_JZLCJL=1;NO_JZLCJL<=JZLCJL_NUM;NO_JZLCJL++){...}
            //终端后方列车敌对信号
            for (int NO_CZLCJL=1;NO_CZLCJL<=CZLCJL_NUM;NO_CZLCJL++){...}
            //终端后方调车敌对信号
            for (int NO_DDCJL=1;NO_DDCJL<=DCJL_NUM;NO_DDCJL++){...}
        }break;
        case SSDCJL:{...}break;//上行咽喉上行调车进路
        case XSDCJL: {...} break;//下行咽喉上行调车进路
        case SXDCJL: {...} break;//上行咽喉下行调车进路
        case XSCZDCJL: {...}break;//下行咽喉上行出站调车进路
        case XSCZDCJL: {...}break;//上行咽喉下行出站调车进路
    }
}
```

图2 敌对信号判定算法框架  
Fig.2 Conflict signal decision algorithm framework

与列车进路敌对信号的判定类似，始终端之间的敌对信号可以在进路搜索过程中直接完成，其余3种敌对信号采用条件比对的方法按敌对信号判定原则进行。判定时不同类型敌对信号比对对象不一样，例如：

- 1) 调车进路始端前方的敌对信号：当调车进路为下行咽喉下行方向时，敌对信号通常为下行咽喉下行进站信号；当调车进路为下行咽喉上行方向时，敌对信号通常为下行咽喉上行出站列车信号。
- 2) 调车进路终端后方的列车敌对信号：当调车进路为下行咽喉下行方向时，敌对信号通常为下行咽喉上行出站列车信号和上行调车信号；当调车进路为下行咽喉上行方向时，敌对信号通常为下行咽喉下行进站列车信号和下行调车信号。

在枢纽站因可能出现转场进路还需考虑不同情况下的接车进路信号、发车进路信号。

调车敌对信号判定完成后，还需进行条件敌对的判定。

### 4 调车进路条件敌对信号的判定

上、下行咽喉的调车进路均可分为两个方向，上行和下行。判定时根据不同咽喉及方向选择不同的推荐进路进行比对，其中下行咽喉下行和上行咽喉上行、下行咽喉上行和上行咽喉下行敌对信号的比对判定原理相同，分别进行逻辑上的镜像设计即可。

根据第3章节中敌对信号的分类可知，下行咽喉下行和上行调车进路主要区别在于比对对象的不同，判定方法类似。现以下行咽喉下行调车进路始端前方的敌对信号进行分析条件敌对信号的判定方法，其他类型调车进路参照此原理分别进行相应设计。

下行咽喉下行调车进路始端前的敌对信号一般为进站信号，当判定进站敌对信号是否为条件敌对时，需分析进站列车进路至调车信号机前的关键道岔信息（开口方向、定反位和单/双动）和与敌对进路同始端的进路信息，共同判定是否为条件敌对，判定主要流程如图3所示。

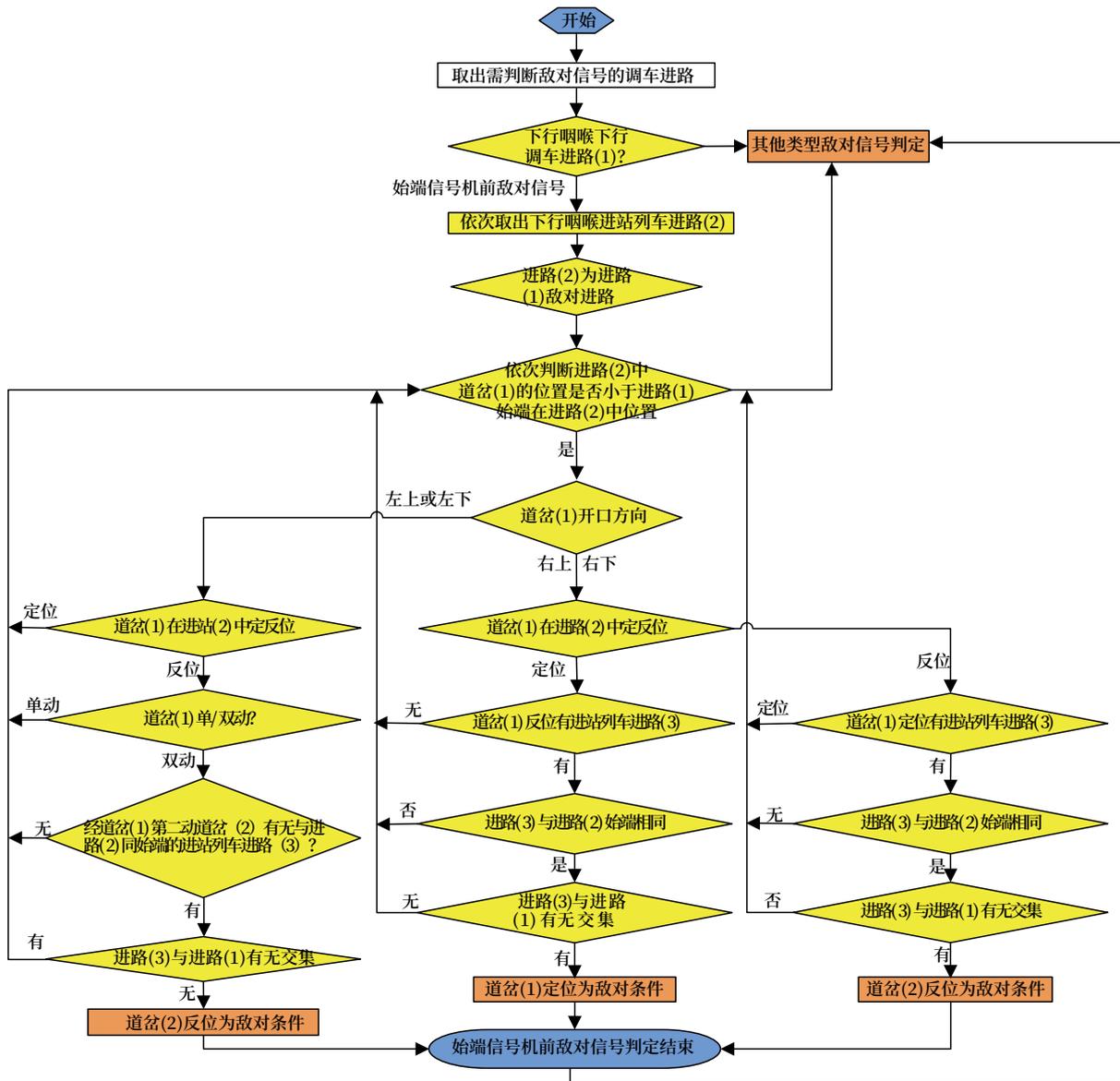


图3 始端前方敌对信号判定流程

Fig.3 Determination process of the conflicting signal ahead of the beginning of the route

假设进站信号机 X 是 D1 信号机某一调车进路（进路 1）的敌对信号（如图 4~8 所示），现判断 X 是否为进路 1 的条件敌对信号。根据关键道岔开口方向和定、反位信息，分析各种条件下的判断方法。

#### 4.1 关键道岔为左上、定位或左下、定位

如图 4 所示，X 进站信号机经 D1 信号机的进路须经 D1 前方的 5/7<sup>#</sup> 道岔定位（双动时）或 7<sup>#</sup> 道岔定位（单动时），将 5/7<sup>#</sup> 或 7<sup>#</sup> 道岔作为关键道岔。不论关键道岔是双动还是单动，进站信号机不存在其他不经过 D1 的进站列车进路，故此时为无条件敌对。

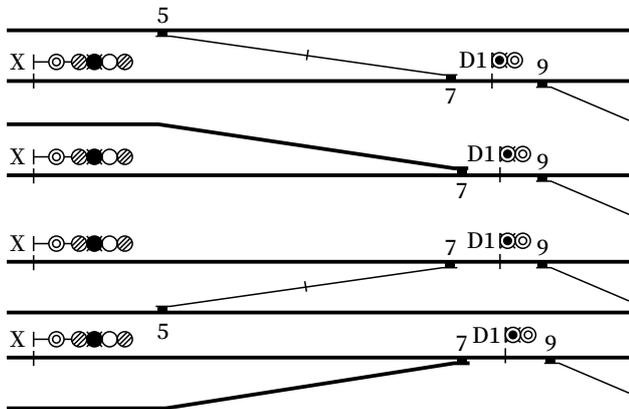


图4 关键道岔为左上/左下定位  
Fig.4 Key turnouts are in upper/lower left normal position

#### 4.2 关键道岔为左上、反位或左下、反位

如图 5 所示，X 进站信号机经 D1 信号机的进路须经 D1 前方的 5/7<sup>#</sup> 道岔反位（双动时）或 7<sup>#</sup> 道岔反位（单动时），将 5/7<sup>#</sup> 或 5<sup>#</sup> 道岔作为关键道岔。当关键道岔为单动道岔时，X 进站信号机不可能存在其他不经过 D1 的进站列车进路，此时为无条件敌对。当关键道岔为双动道岔时，需查询是否有经 5<sup>#</sup> 道岔定位的进站列车进路，若无则为无条件敌对，若有再判断该进站列车进路是否与当前判断的调车进路有交集，有交集则为无条件敌对，无交集则  $\langle (5/7) \rangle X$  为进路 1 的条件敌对信号。

#### 4.3 关键道岔为右上、定位或右下、定位

如图 6 所示，X 进站信号机至 D1 信号机的进路须经 5/7<sup>#</sup> 道岔定位（双动时）或 5<sup>#</sup> 道岔定位（单动时），将 5/7<sup>#</sup> 或 5<sup>#</sup> 道岔作为关键道岔。判断

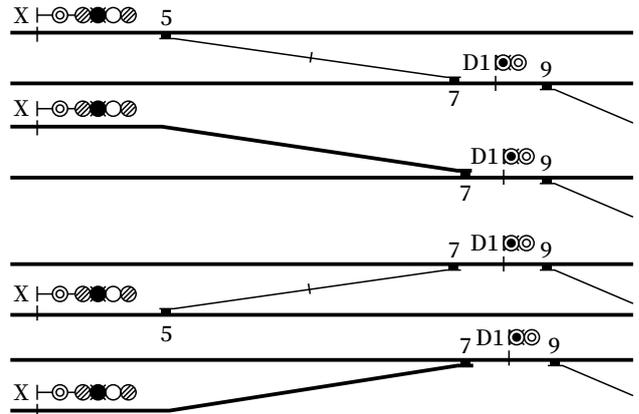


图5 关键道岔为左上/左下反位  
Fig.5 Key turnouts are in upper/lower left reverse position

时需查询是否有经关键道岔反位的进站列车进路，若无则为无条件敌对，若有再判断该进站列车进路是否与当前判断的调车进路有交集，有交集则为无条件敌对，无交集则  $\langle 5/7 \rangle X$  或  $\langle 5 \rangle X$  为进路 1 的条件敌对信号。其中， $\langle 5/7 \rangle X$  表示当 5/7<sup>#</sup> 道岔定位时 X 为进路 1 的敌对信号。

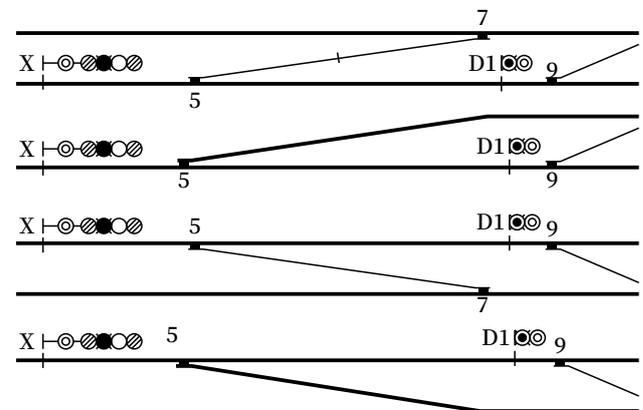


图6 关键道岔为右上/右下、定位  
Fig.6 Key turnouts are in upper/lower right and normal position

#### 4.4 关键道岔为右上、反位或右下、反位

如图 7 所示，X 进站信号机至 D1 信号机的进路须经 5<sup>#</sup> 道岔反位，将 5<sup>#</sup> 道岔作为关键道岔。判断时需查询是否有经 5<sup>#</sup> 道岔定位的进站列车进路，若无则为无条件敌对，若有再判断该进站列车进路是否与当前判断的调车进路有交集，有交集则为无条件敌对，无交集则  $\langle (5) \rangle X$  为进路 1 的条件敌对信号。

### 5 软件平台

以上述基于推荐进路的敌对信号搜索方法为

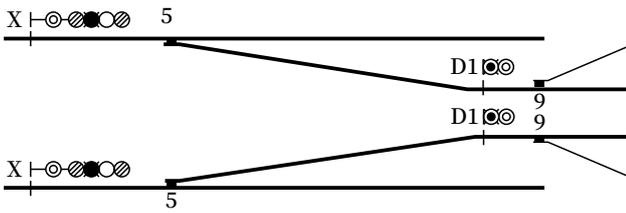


图7 关键道岔为右下/右上、反位  
Fig.7 Key turnouts are lower/upper right and reverse position

基础，开发了一款联锁表辅助编制软件。该软件以 Visual Studio 2010 作为开发平台和 C++ 作为编程语言，并基于 MFC (Microsoft Foundation Classes) 框架类进行开发。软件界面如图 8 所示，主要分为输入区、输入控制区、辅助输入区、进路调整区，并集成了本文所述的敌对信号判定算法。



图8 联锁表辅助编制软件  
Fig.8 Interlocking table auxiliary compilation software

进路调整区用于在软件遍历所有进路后进行调整，其中调车进路调整、进站列车进路调整和出站列车进路调整可直接删除无用或不得推荐的进路，条件调整如图 9 所示，可以按区段条件删除进路，或进行防护道岔、带动道岔等特殊联锁关系的设置。经过调整后即可得到可进行工程实施的推荐进路，为下一步敌对信号的判定做好数据准备。

## 6 结束语

在兖石线联锁更新改造工程及部分新建专用线工程设计中，对该软件进行生产验证，经人工核验，该软件可遍历全部进路，调整后可得到全面的可推荐进路，软件可保证敌对信号判定的准确度，未出现敌对信号与实际推荐进路不一致的现象。软件操作简便、降低了联锁表编制的工作量。

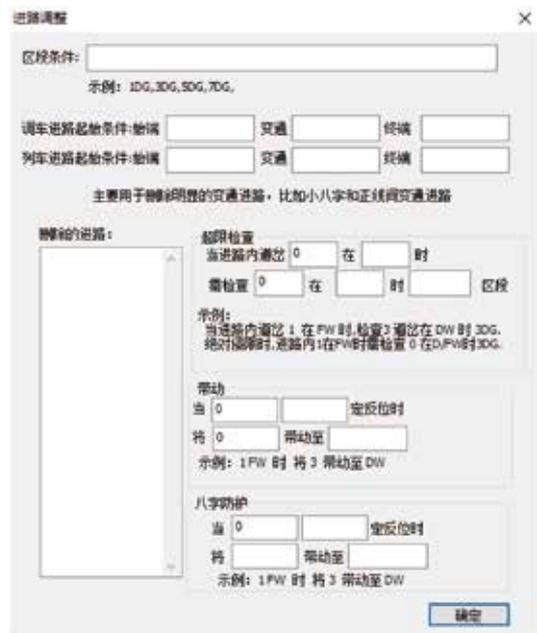


图9 条件调整窗口  
Fig.9 Route adjustment window

后期需针对不常遇到的联锁关系,例如非进路调车、延续进路等进行定向开发,提高软件针对不同车站、场型的适应性。

#### 参考文献

- [1] 董云清,黄平霞.基于ObjectARX的联锁表自动生成方法研究[J].铁道通信信号,2016,52(7):14-16,19.  
Dong Yunqing, Huang Pingxia. Automatic Generation Method of Interlocking Table Based on ObjectARX[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(7): 14-16, 19.
- [2] 于春花.城市轨道交通联锁表自动生成软件的开发与实现[J].铁路计算机应用,2016,25(12):65-68.  
Yu Chunhua. Automatic Generation Software of Interlocking Table for Urban Transit[J]. Railway Computer Application, 2016, 25(12): 65-68.
- [3] 唐劲旅,魏宗寿,徐登科.一种自动生成联锁表的实现方法[J].铁道通信信号,2007,43(10):11-13.
- [4] 李茂蛟.铁路信号联锁表计算机辅助设计主要算法与量化策略研究[J].铁道标准设计,2020,64(8):112-117.  
Li Maojiao. Research on Algorithms and Quantitative Strategies for Computer Aided Compiling of Interlocking-Sheet of Railway Signaling[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(8): 112-117.
- [5] 孙晓光.一种联锁图表自动生成软件研究与设计[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(6):1-6.  
Sun Xiaoguang. Research and Design of Software for Automatic Generation of Interlocking Charts[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 1-6.
- [6] 中国铁路总公司.计算机联锁车站联锁图表编制原则:Q/CR 654-2018[S].北京:中国铁道出版社,2018.
- [7] 中华人民共和国国家铁路局.铁路车站计算机联锁技术条件:TB/T 3027-2015[S].北京:中国铁道出版社,2016.
- [8] 王秉文.6502电气集中工程设计[M].北京:中国铁道出版社,2010.
- [9] 何文卿.6502电气集中电路(修订本)[M].北京:中国铁道出版社,2007.
- [10] 梅松.基于ActiveX技术的联锁表自动生成软件[J].铁道通信信号,2007,43(6):9-10.
- [11] 林炳龙.《联锁表》之敌对信号的设计方法[J].铁路通信信号工程技术,2014,11(4):75-77.  
Lin Binglong. Design Methods of Conflicting Signal in Interlocking Table[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2014, 11(4): 75-77.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.005

# 一站两场场间渡线道岔场联电路设计

李亚兰

(杭州铁路设计院有限责任公司, 杭州 310009)

**摘要:** 对一站两场车站场间渡线道岔处的场联电路从故障导向安全的角度出发, 在满足《集中联锁结合电路一般原则》(TB/T 2307-2017)对场联电路的技术要求的同时, 将场间渡线道岔按照双动集中控制于一车场, 将场间渡线道岔中间渡线绝缘作为两车场的运营界面划分, 利用在渡线绝缘处设置虚拟信号机的方法, 将跨线进路分为两段办理, 在保证行车安全的前提下, 简化场联电路设计, 为同类型的工程设计起一定的参考作用。

**关键词:** 场联电路; 场间渡线道岔; 集中控制

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0023-04

## Design of Liaison Circuit for Crossover Turnout Between Yards of Station with Two Yards

Li Yalan

(Hangzhou Railway Design Institute Co., Ltd., Hangzhou 310009, China)

**Abstract:** In this paper, a liaison circuit for crossover turnout between yards of a station with two yards is designed based on fail-safe principle and meeting the technical requirements for liaison circuit between yards in *General Principles for Combined Circuit of Centralized Interlocking* (TB/T 2307-2017). The crossover turnout between yards is double acting and centrally controlled by one of the two yards. The crossover insulation joint of the crossover turnout is taken as the operation interface between the two yards, and the overline route is divided into two sections by setting up a virtual signal at the crossover insulation joint. On the premise of ensuring the safety of train operation, the design of liaison circuit for crossover turnout is simplified, which plays a certain reference role for the same type of engineering design.

**Keywords:** liaison circuit between yards; crossover turnout between yards; centralized control

### 1 概述

铁路作为新时代交通强国的骨干力量, 多条线路引入同一车站的情况屡见不鲜, 这种车站多采用

分线分场的横列式方案设计, 两车场之间会设置一条渡线以衔接两场, 这样不仅满足列车跨场运行的需求, 也实现了线路的互联互通。有些车站不同车场归属于不同的管辖单位(地方铁路或者国铁), 此时, 不管从信号控制方式还是设备维修便捷的角度上, 均需要给出一个清晰的分界点, 这就对信号的控制方案和运营安全提出了更进一步的技术要求。

收稿日期: 2022-09-14; 修回日期: 2023-02-10

作者简介: 李亚兰(1988—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: liyl@hztlj.com。

场间联系电路并无定型参考电路图，需结合工程实际情况进行设计。本文以工程实例车站 1 为例，如

图 1 所示，阐述场间联系电路的设计方案。

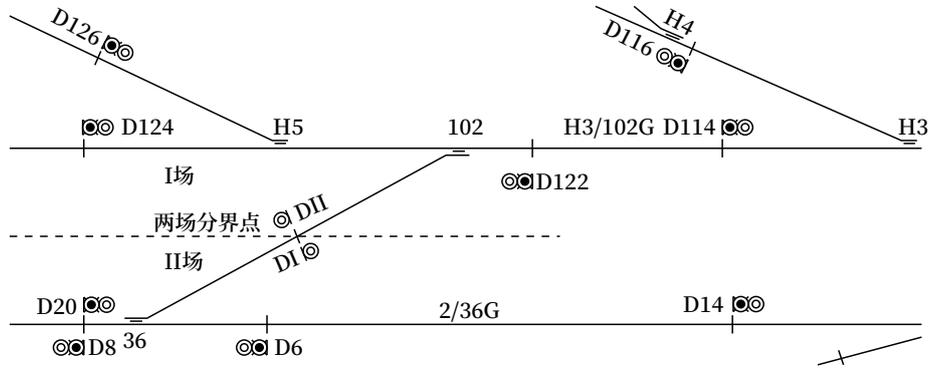


图1 实例车站1  
Fig.1 Example station 1

## 2 衔接道岔场联电路设计

### 2.1 场联电路技术要求

《集中联锁结合电路一般原则》(TB/T 2307-2017)“4.2 场间渡线道岔结合电路”对场间衔接道岔的场联电路提出如下要求：“4.2.1 渡线道岔应划归一方控制，并锁在将两联锁区隔开的定位位置进行防护，道岔位置转换应得到对方同意”“4.2.2 道岔恢复定位后，可随时取消同意”“4.2.3 排列经道岔反位的进路，应检查对方同意条件后，才能开放信号”“4.2.4 经渡线道岔的列车或调车进路应由两个车场的两段进路组成。只有两段进路均锁闭后才能开放信号，且两场均能随时关闭信号。解锁进路时应前段进路解锁后，后段进路才能解锁。前段进路有车占用时，后段进路不应解锁。”“4.2.5 两联锁区控制台应设下列按钮和表示灯：a) 控制道岔的一方应设同意动岔表示灯；b) 另一联锁区应设同意动岔按钮；c) 道岔定、反位表示灯；d) 根据需要还可设区段占用表示灯和信号开放表示灯”。

结合以上要求，在工程实例车站 1 的场联电路设计中，在两场衔接道岔的渡线绝缘处设置并置的虚拟调车信号机，以绝缘节为界，对 I 场和 II 场进行分界。I 场归属于地方铁路运营，为设计速度 160 km/h 的以货运为主客货运输共线铁路，属于

CTCS-0 级线路。II 场归属于国铁运营，为设计速度 250 km/h 的客运为主，兼顾货运的国家 I 级铁路，采用 CTCS-2 级列车控制系统。虚拟信号机 DI 归属 I 场控制，虚拟信号机 DII 归属 II 场控制，以下就场间联系电路的设计展开分析。

### 2.2 衔接道岔场联电路设计

I 场和 II 场的衔接道岔 36/102<sup>#</sup> 道岔为双动道岔，且由 II 场集中控制。具有道岔控制权的 II 场将道岔转至反位时必须取得没有控制权 I 场的同意。衔接道岔如已开始启动或已转至反位，I 场撤销同意应视为无效。在 I 场车站信号楼的联锁控显终端设置二位非自复式 36/102<sup>#</sup> 道岔同意动岔按钮 (TCA)，同时在场联组合中设置同意动岔按钮继电器 (TCAJ) 用以记录按钮的状态。经两场行车人员电话联系后，在 102-H5DG 未锁闭的情况下，I 场值班员按压 TCA 按钮，使 TCAJ 吸起。TCAJ 吸起后首先切断 I 场的同意动岔继电器 TCJ 电路，TCJ 落下后排除了 I 场经 36/102<sup>#</sup> 道岔办理进路的可能。由于 I 场 TCAJ 吸起、TCJ 落下，使 II 场的 TCJ 吸起，点亮同意动岔表示白灯，II 场如将 36/102<sup>#</sup> 道岔转到反位 (或已开始转岔) 后，TCJ 自保。II 场的 TCJ 吸起后并切断 I 场 TCJ 的励磁电路，即使 I 场值班员拉出 TCA 也不能使 TCJ 吸起。即 I 场按下 TCA 按钮 → 36/102TCAJ(I 场) ↑ → 36/102TCJ(I 场) ↓ → 36/102TCJ(II

场) ↑ → II场同意动岔表示灯点亮白灯。其电路设计如图2所示。同时,在II场36/102#道岔启动电路中加入TCJ前点,只有在TCJ吸起时才能动岔,道岔启动电路修改如图3所示。

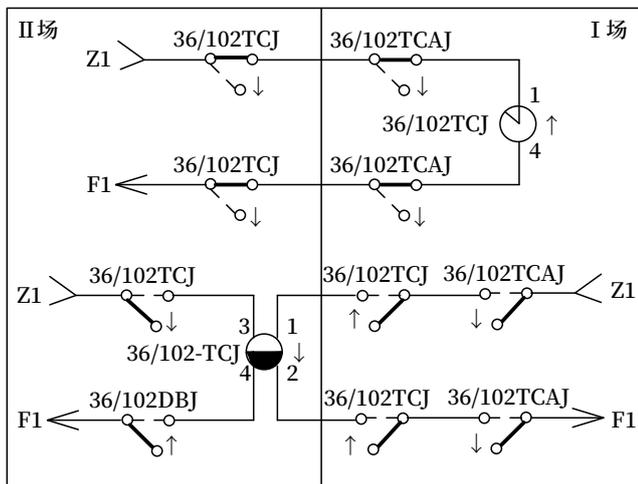


图2 TCJ控制电路设计  
Fig.2 TCJ control circuit design

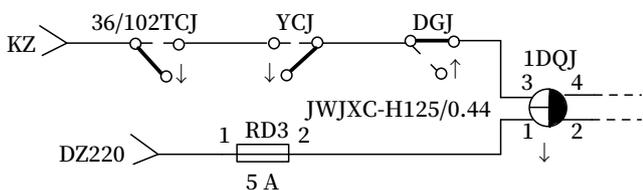


图3 36/102#道岔启动电路修改  
Fig.3 Modification of starting circuit for 36/102# turnout

为确保跨线调车作业的安全,两场系统间应实现闭环检查,通过场联电路将两场衔接处的轨道区段状态、衔接道岔表示状态、照查继电器状态以及相应 DIDXJ 和 DIIDXJ 的状态传递至对方车场,实现对场联电路逻辑上的检查,如图4所示。

### 2.3 进路办理操作流程

以II场经36/102#反位向I场的调车进路(需分段办理)为例,进路流程如下。

II场值班员电话联系I场值班员,请求办理D20至D114的调车进路,经双方沟通确认可办理后,I场值班员按压TCA按钮;此时II场的TCJ吸起,II场值班员将36/102#操纵至反位,且将信息送至I场;I场值班员收到道岔状态信息后,按

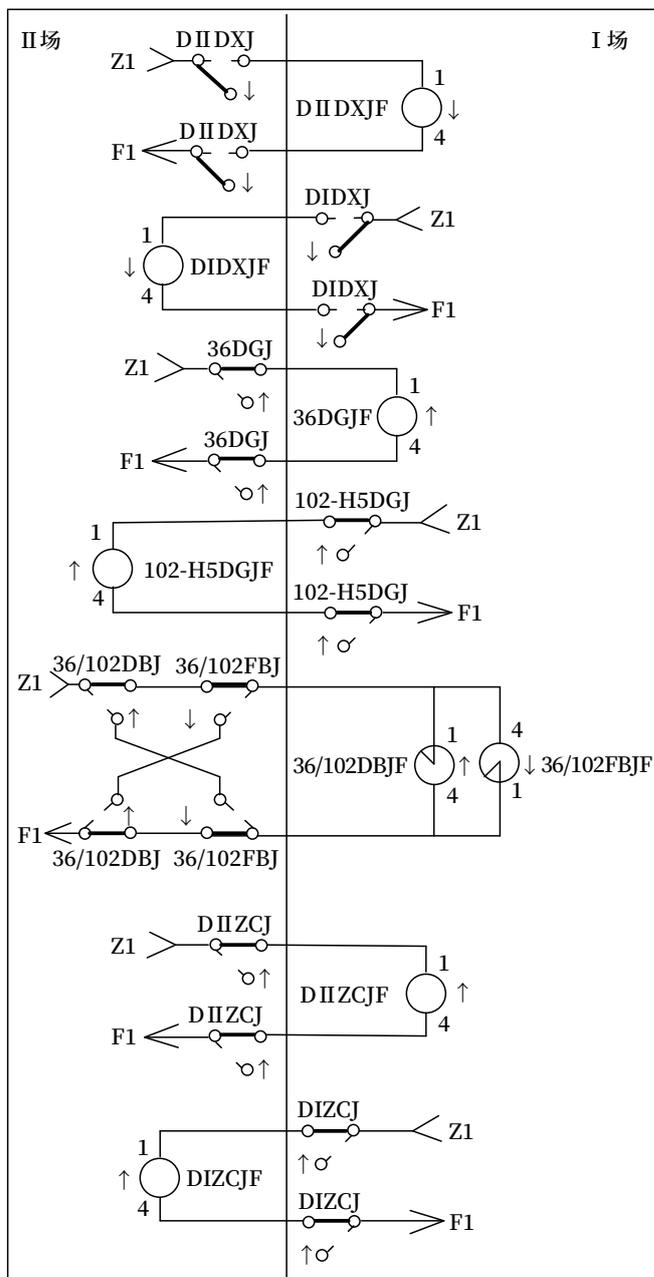


图4 场联电路  
Fig.4 Liaison circuit between yards

下DIA+D122A,联锁检查进路内道岔位置正确、区段空闲,进路锁闭后,DI虚拟信号机调车信号开放,I场将DIDXJ送至II场;II场值班员按下D20A+DIIA,联锁检查进路内道岔位置正确、区段空闲且I场未办理敌对进路,D20调车信号开放,办理调车进路。进路使用结束后,II场值班员需将36/102#操纵至定位,通过场联电路的信息传递,I场值班员在联锁控显终端确认道岔在定位后,将

TCA 按钮拉出, 场联电路恢复原位。

I 场经 36/102<sup>#</sup> 反位向 II 场调车进路 (需分段办理) 办理流程如下。

I 场值班员电话联系 II 场值班员, 请求办理 D122 至 D8 的调车进路, 经双方沟通认可办理后, I 场值班员按压 TCA 按钮; 此时 II 场的 TCJ 吸起, II 场值班员将 36/102<sup>#</sup> 操纵至反位并按下 DIIA+D20A, 联锁检查路内道岔位置正确、区段空闲, 进路锁闭后, 检查到 DIIA 虚拟调车信号开放后, II 场将 DIIDXJ 送至 I 场; I 场按下 D122A+DIA, 联锁检查进路内道岔位置正确、区段空闲且金台场未办理敌对进路, D122 信号机调车信号开放, 办理调车进路。进路使用结束后, II 场值班员需将 36/102<sup>#</sup> 操纵至定位, 通过场联电路的信息传递, I 场值班员在联锁控显终端确认道岔在定位后, 将 TCA 按钮拉出, 场联电路恢复原位。

### 3 结论

目前, 两车场并站互联互通的情况在工程设计中越来越多。本文对工程设计中实例车站两场衔接道岔的场联电路进行优化设计, 保证列车在跨线运行便利的同时, 充分考虑穿越两个联锁区的安全因素, 兼顾简化办理流程且场联电路结构简单、逻辑正确可靠的要求, 其可实施性已在工程中得到验证。电路设计在实际车站应用期间, 未发现问题。本文的研究方案对同类型车站可提供参考。

#### 参考文献

[1] 林引清. 车站信号 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1990.  
[2] 赵志熙. 微机联锁系统技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.  
[3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.  
[4] 中华人民共和国国家铁路局. 集中联锁结合电路一般原则: TB/T 2307-2017[S]. 北京: 中国

铁道出版社, 2017.

[5] 中华人民共和国铁道部. 铁路车站电码化技术条件: TB/T 2465-2010[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.  
[6] 王建龙. 并场车站场间渡线道岔信号控制方案探讨 [J]. 铁道标准设计, 2015, 59(5): 161-163, 171.  
Wang Jianlong. Discussion on Switch Signal Control of Section Crossover in Station with Multiple Depots[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(5): 161-163, 171.  
[7] 丁建莉. 关于计算机联锁场间渡线道岔设计方案的探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2013, 10(6): 24-27.  
Ding Jianli. Design Scheme of Computer Interlocking for Crossover Switch in Yards[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2013, 10(6): 24-27.  
[8] 王殿宝. 单线自动站间联系电路的改进 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52(6): 49, 65.  
Wang Dianbao. Improvement of Automatic Inter-Station Liaison Circuit within Single Track Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(6): 49, 65.  
[9] 童超. 既有枢纽车站改造信号过渡道岔处理方案研究 [J]. 铁道标准设计, 2015, 59(5): 153-157.  
Tong Chao. Research on Scheme of Signal Transition Switch Processing in Existing Hub Station Reconstruction[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(5): 153-157.  
[10] 周海龙. 高普速场互联互通时场联及列控系统方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(4): 24-28.  
Zhou Hailong. Research on Liaison between Yards and Train Control System in Interconnection of High-Speed and Conventional Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 24-28.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.006

# 上盖物业动车运用所无线网络覆盖方案分析

张 健<sup>1</sup>, 李津汉<sup>2</sup>, 王伟力<sup>2</sup>

(1. 中国铁路上海局集团有限公司电务部, 上海 200071;

2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

**摘要:** 全新的上盖物业结构设计使其下方的铁路建筑结构不同于常规动车所设计, 对其中的无线网络设计带来一定困扰。因此有必要针对该特殊环境, 对其中的无线覆盖情况进行研究, 以方便今后类似场景下的无线网络规划。结合杭州西动车运用所实地工程项目, 通过比较全向天线和定向天线在该环境下对无线覆盖效果的影响, 探讨此种铁路环境下的无线系统设计规则, 最终确定使用定向天线在此类场景中进行无线网络覆盖的方案为更优方案。

**关键词:** 动车运用所; 上盖物业; 无线覆盖

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0027-05

## Analysis of Wireless Network Coverage for EMU Depot with Superstructures

Zhang Jian<sup>1</sup>, Li Jinhan<sup>2</sup>, Wang Weili<sup>2</sup>

(1. Signaling &amp; Communication Division, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

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

**Abstract:** The new superstructure structure design makes the railway building structure below it different from the conventional EMU depot, which brings certain troubles to the wireless network design. Therefore, it is necessary to study the wireless coverage in this special environment, so as to facilitate future wireless network planning in similar scenarios. Combined with the Hangzhou west EMU depot project, this paper compares the influence of omnidirectional antenna and directional antenna on wireless coverage and discusses the design rules of the wireless system in such a railway environment. Finally, it is determined that the scheme of using the directional antenna for wireless network coverage in this kind of scenario is better.

**Keywords:** EMU depot; superstructures; wireless coverage

收稿日期: 2022-10-27; 修回日期: 2023-02-10

基金项目: 湖北省重点研发计划项目 (2021BAA170)

第一作者: 张健 (1966—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信安全运营, 邮箱: 13952159778@139.com。

动车运用所 (简称动车所) 大多位于高铁大型站附近, 是承担动车组的基本维修工作以及存车作业的维修整备场所<sup>[1-2]</sup>。由于动车所常位于大型城市内, 为提高城市土地利用效率, 近年来多个大型动

车建设项目都采用上盖物业设计，如杭州艮山门<sup>[3]</sup>、宁波邱隘<sup>[4]</sup>等多个建设中的附带上盖物业开发的新(改)建动车段所。

动车所内部的无线通信系统承载了调度通信、机车综合无线通信设备出/入库检测等行车和维护相关业务，对保障动车组列车和动车所正常运行具有重要作用，因此动车所内需要保证高质量的无线通信<sup>[5]</sup>。常规动车所存车场多采用开放空间设计，因此只需在动车所附近设置一处独立的无线基站即可完成对动车所存车场的无线覆盖。然而上盖物业极大程度的改变了存车场内的建筑结构布局，不仅将动车所结构从室外开放空间变为室内封闭空间，柱体和墙面等用于满足上方物业承重要求的室内空间结构也将动车所内部结构变得更为复杂。因此需要针对此种全新的铁路场景，对其中的无线网络覆盖方案进行分析和讨论。

本文采用由基站远拉 RRU、功分器、耦合器、天线、射频电缆、光缆等构成的 GSM-R 室内覆盖系统，通过每条股道设置一对天馈系统的设计方案，对杭州西动车所内存车场设置 GSM-R 室内覆盖系统，以满足存车场室内场强覆盖的需要。

## 1 动车所结构及无线覆盖方案

杭州西站动车所位于杭州西站西北方向，总规模为 12 条检查线，60 条存车线，湖杭铁路实施 6 条检查线，28 条存车线，2 条临修线；预留杭临绩场 6 条检查线、32 条存车线，存车线线间距 4.6 m。动车所以西设综合维修车间，大机停放线 1 条，有效长度 260 m，轨道车线 3 条，预留 1 条，有效长 120 m。

该动车所不同于常规动车所的地方在于其使用上盖物业设计，动车所位于整个建筑结构最下层。盖板区域根据功能和建造条件，竖向规划分为 3 个层次：±0.0 m 为铁路动车运用所工艺层，近期实施，主要布置检查库、盖下存车场、洗车库、临修镟轮线等；10.0 m 即首层盖板，目前正在实施，已基本完工，为铁路动车运用所屋盖，远期将为上盖

配套建筑汽车库层；16.0 m 即二层盖板，远期实施工程，作为景观及盖上建筑层，主要布置住宅、幼儿园、学校及配套服务开发建筑，建筑高度控制为 80 m。

杭州西动车所内存车场中的铁路专用网络无线网络覆盖，主要是通过设置 GSM-R 室内覆盖系统以满足存车场室内场强覆盖的需要。GSM-R 室内覆盖系统主要由基站远拉 RRU、功分器、耦合器、天线、射频电缆、光缆等构成。由于该动车所特殊的上盖设计，存车场作为该建筑结构中的基层部分，整个室内空间密集分布着数百根间距为 6~10 m 不等的承重柱如图 1 所示，从而增加了该区域无线网络环境的复杂度，使该区域无法参照常规动车段所进行无线系统设计，增加了设计结果的不确定性。



图1 杭州西动车所结构施工阶段现场照片  
Fig.1 Construction stage site photo of Hangzhou west EMU depot

存车线无线网络设计方案如图 2 所示。考虑到相邻车道间密集布放有大量钢筋混凝土承重柱，当在其中一条车道布放 GSM-R 天馈系统时，只能保证当前车道的无线信号覆盖质量，而相邻车道的远端信号会由于混凝土柱的遮挡而产生较大的损耗。因此在工程设计方案中，每一条车道首尾两端各设置一套天馈系统设备，用以实现冗余覆盖，整个存车场 28 条存车线总共需要 56 套天馈系统设备，用以完成这一片面积为 500 m×350 m 区域的 GSM-R 无线网络覆盖。

## 2 无线覆盖方案优化分析

为保障动车所内无线覆盖质量, 每条车道需单独设置天馈系统。如此密集的天线设置, 且动车所内为同一小区, 因此相邻车道间的同频干扰成为制约天线选型的重要因素之一。根据中国铁路 GSM-R 移动通信系统设计指南<sup>[6]</sup>, 当同一小区的两个直放站之间转换两路信号时延差不大于  $15\ \mu\text{s}$  时, 同频干扰保护比 C/I 值须大于 9 dB。

发射天线可采用定向天线, 也可采用全向天线。采用定向天线的无线设计方案如图 2 所示, 定向天线由于无线电波发射角受到限制, 能较好的抑制天线发射的无线电波对相邻车道的影响, 然而由于定向天线背向信号较弱, 当天线设置面向存车场区域时, 无法保证天线背向的存车场进、出口的无线覆盖强度, 因此需要另设独立天线, 方能保证动车所内 G 网信号的全覆盖, 增加了动车所内天馈系统数量。

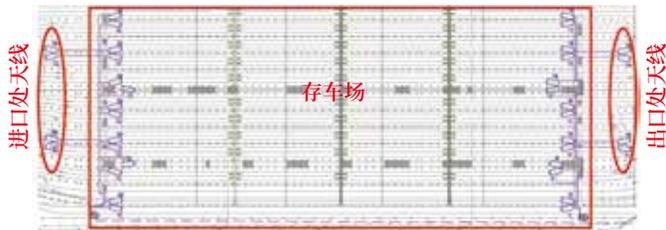


图2 动车所存车场无线设计方案

Fig.2 Wireless design scheme for the parking garage of the EMU depot

全向天线由于无线电波向所有方向辐射, 能较好的保证存车场进、出口与存车场内无线覆盖的一致性, 其设计相较图 2 所示方案, 可去掉进出口处的天线, 因此节省了动车所内天馈系统数量。然而其是否能满足相邻车道间的同频干扰要求, 需要进行实验论证<sup>[7]</sup>。

通过在动车所内设置使用全向天线的连续波发生设备, 对相邻车道的同频干扰情况进行实地测量。实验用连续波信号发生器为 Aeroflex 2023B, 用于发射频率为 930 MHz 的单波长连续波信号, 功率放大器最大输出功率为 5 W 的 GSM-R 模拟直放站设备, 使天线的出射功率为 37 dBm, 在动

车所中一条股道的两端分别设置相同的天馈系统。实验用信号接收装置为频谱仪, 型号是 Anritsu MT8222A。

实验测试中的发射天馈系统由信号发生器、功率放大器、发射天线、铅酸蓄电池以及 UPS 组成, 实验设备连接如图 3 所示。



图3 连续波测试实验设备连接

Fig.3 Continuous wave test equipment connection

现场实验是通过在动车所合适地点放置天线支架, 在支架上配置发射天线, 同时将接收天线设置在车顶, 通过驾驶汽车在车道上匀速行驶, 获得整条车道的无线电信号覆盖曲线, 获得实验结果。需要测试的主要内容为当天馈系统放置于当前股道和相邻股道时的信号覆盖情况, 当前车道和相邻车道的接收场强数据如图 4 所示。

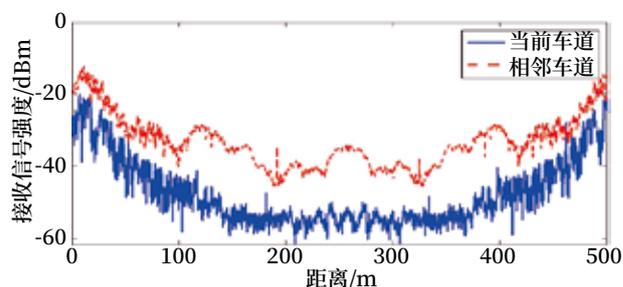


图4 全向天线测试结果

Fig.4 Omnidirectional antenna test results

同频干扰保护比如图 5 所示, 为图 4 中两条接收场强曲线之差。分析同频干扰保护比前 95% 的接收信号数据, 其中最大值为 26.46 dB、最小值为 6.57 dB, 平均值为 14.87 dB。从对比数据中可看

出, 虽然从平均同频干扰保护比来看, 全向天线设计能满足 GSM-R 设计指南要求, 然而还是有部分的区域无法完全满足要求。结合图 4、5 的分析可得, 这些不满足要求的区域主要集中在靠近天线的位置, 因此如果采用全向天线的覆盖方案, 可能导致距离天线较近的接收设备接收到的网络质量反而有所劣化的问题。

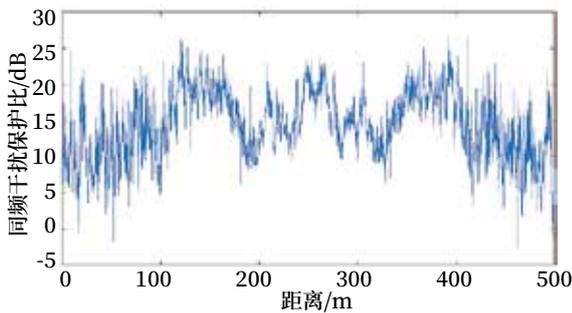


图5 全向天线同频干扰保护比

Fig.5 Co-frequency interference protection ratio of omnidirectional antenna

综上所述, 虽然在该动车所内采用定向天线进行无线系统设计方案, 需要使用更多的天馈系统用以覆盖定向天线的背向区域, 考虑存车场内无线服务质量, 采用定向天线而不是全向天线的设计方案依旧是更优的选择。

### 3 无线覆盖现场检验

动车所现场安装的天馈系统都是水平波瓣角为  $65^\circ$ 、增益 17 dBi 的极化定向天线。天线水平安装在承重柱上, 高度约为 5 m。天线经由馈线连接至最近的 RRU 设备, 用以提供动车所内无线覆盖, 所有的天馈系统输入功率都是 40 W。无线覆盖现场检验是在湖杭铁路动态检验过程中进行的。动态检测采用 CRH2C-2068 和 CRH380AJ-0203 综合监测列车, 对动车所内的 GSM-R 系统场强覆盖情况进行检测。GSM-R 系统场强覆盖测试系统安装在综合检测列车上, 天线安装在综合检测列车顶部。测试时, 综合检测列车按规定速度运行, 测量接收机锁定基站载频, 采用脉冲触发、均方根值检波方式采集测量接收机电平数据, 采样结果为 265 ms 周期内的平均接收信号电平测量样本, 单位为 dBm<sup>[8]</sup>。

杭州西动车所存车场无线覆盖情况如图 6 所示, 不同车道编号的无线接收信号强度曲线被展示在同一张图上。存车场长度为 470 m, 每一条车道的两端都分别有一套天馈系统, 因此每一条无线信号强度曲线都呈现两端较高, 中间较低的形态。由于 GSM-R 标准中接收机 RSSI 的值在  $-110$  dBm ~  $-47$  dBm 之间变化, 当检测到信号功率过大时报告为  $-47$  dBm, 因此两端接收信号强度较高的区域接收信号强度曲线呈  $-47$  dBm 的平直线。

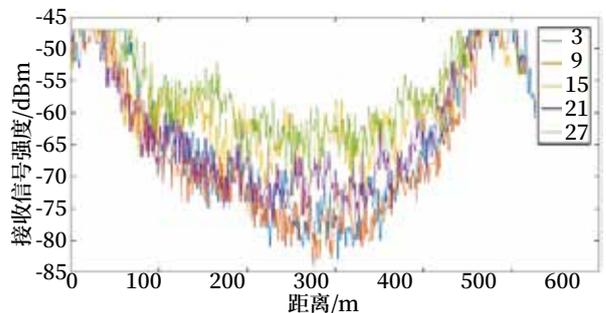


图6 杭州西动车所存车场无线覆盖情况

Fig.6 Wireless coverage of the parking garage of Hangzhou west EMU depot

从检验结果中可以看出, 所有的测试车道无线覆盖都能够达到覆盖标准, 然而不同车道间无线覆盖强度有一定的差异。其中 3 号和 9 号股道无线覆盖相对较弱, 而 15 号和 27 号股道的无线覆盖相对较强, 且股道中段的覆盖场强差异大于两端的差异, 最大的差异可达 20 dB 以上。相同的输入功率在不同股道产生有差异的覆盖场强的原因, 是不同股道的天线距离 RRU 设备的距离不同, 由此导致天馈系统的馈线长度有所不同。在无线系统设计图中可以看出, 存车场共 56 套天馈系统, 被分别连接到 6 个 RRU 设备上, 存车场两端分别有 3 个 RRU 设备用于支持本端的 28 套天馈系统。因此距离接入的 RRU 设备较近的 15 号和 27 号股道天馈系统, 其实际的出射功率相对较高, 带来更高的无线覆盖场强。

### 4 结论

本文结合杭州西动车运用所实地工程项目, 探讨此种铁路环境下的无线系统设计规则, 比较了全向天线和定向天线在该环境下使用的优劣, 最终确认了目前所采用的定向天线无线网络覆盖

方案在此类场景中为更优的方案。随着后续多个大型动车建设项目采用上盖物业设计, 本文提供的无线系统设计方案可为今后类似场景下的无线网络规划提供指导。

### 参考文献

- [1] 陈韬, 吕红霞, 潘金山, 等. 动车所通过能力计算模型与方法研究[J]. 铁道学报, 2016, 38(9): 9-17.  
Chen Tao, Lv Hongxia, Pan Jinshan, et al. Model and Optimization Algorithm of Maximal Capacity of Electric Multiple Units Depot[J]. Journal of the China Railway Society, 2016, 38(9): 9-17.
- [2] 王利军, 王利锋, 张雄. 中国高速铁路动车段及运用所设计技术发展[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(4): 36-42.  
Wang Lijun, Wang Lifeng, Zhang Xiong. Study on Design Technology Development of EMU Depot and Workshop of China's High-Speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4): 36-42.
- [3] 何树林. 杭州艮山门动车运用所上盖开发项目的立体交通系统设计[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(9): 99-103, 108.  
He Shulin. Multi-Dimensional Traffic System Design for the Upper Cover Development of Genshanmen EMU Station in Hangzhou[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(9): 99-103, 108.
- [4] 负毅超. 宁波邱隘动车所上盖物业开发策略研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(7): 143-147.  
Yun Yichao. Research on Overhead Property Development Strategy of Qiu'ai EMU Depot in Ningbo[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(7): 143-147.
- [5] 王开锋. GSM-R 分组域承载高速铁路应用业务现状研究[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(11): 87-89.  
Wang Kaifeng. Research of Application Services of GSM-R GPRS[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(11): 87-89.
- [6] 吴克非. 中国铁路 GSM-R 移动通信系统设计指南[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [7] 李津汉. 基于射线跟踪技术的上盖物业动车所无线覆盖预测研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(9): 33-40.  
Li Jinhan. Wireless Coverage Prediction for EMU Depot with Superstructures Based on Ray Tracing Technology[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 33-40.
- [8] 梁轶群, 李旭, 张哲. GSM-R 系统场强测试检波方式对比研究[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(2): 75-76, 79.  
Liang Yiqun, Li Xu, Zhang Zhe. Comparative Study of Field Strength Detection Mode of GSM-R System[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(2): 75-76, 79.

\*\*\*\*\*

## 本期广告企业简介

# 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

## 信号系统仿真实训平台

打造职业化、专业化、现代化实训平台; 全面覆盖产教融合型培训基地、站段培训基地、车间班组练功场建设需求; 助力技能水平和应急处置能力全面提升

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

(详见封面)

# CTCS-3级列控系统 无线超时智能分析系统研究

李 俏<sup>1, 2</sup>

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

**摘要:** 研究CTCS-3级列控系统无线超时智能分析技术, 并基于专家系统技术设计无线超时智能分析系统。一方面, 通过将知识库分组保证对数据完整性不同的无线超时事件分析的准确性。另一方面, 通过在推理机中采用优化的模式匹配算法保证分析效率。本系统能够满足无线超时分析对准确性和时效性的要求。

**关键词:** CTCS-3级列控系统; 无线超时; 智能分析; 专家系统

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0032-05

## Research on Intelligent Analysis System for Wireless Communication Time-out of CTCS-3 Train Control System

Li Qiao<sup>1, 2</sup>

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

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

**Abstract:** This paper studies the intelligent analysis technology for wireless communication time-out (WCTO) of Chinese Train Control System Level 3 (CTCS-3). The intelligent analysis system for the WCTO events of CTCS-3 is designed based on expert system technology. By grouping knowledge base, the accuracy of WCTO events analysis with different data integrity level is guaranteed. An optimized pattern matching algorithm is used in the inference machine to ensure the efficiency of analysis. The system can meet the requirements of WCTO analysis for accuracy and timeliness.

**Keywords:** CTCS-3; wireless communication time-out; intelligent analysis; expert system

### 1 概述

根据标准规范, CTCS-3级列控系统无线超时(以下简称无线超时)定义如下:当车载设备从监督无线闭塞中心(Radio Block Center, RBC)最近收到的消息时间戳与车载设备当前时间的差大于 $T_{$

收稿日期: 2022-03-07; 修回日期: 2023-02-05

基金项目: 中国铁路上海局集团公司科研计划课题项目(2021219)

作者简介: 李俏(1989—), 女, 工程师, 博士, 主要研究方向: 铁路通信信号, 邮箱: liqiao@crscd.com.cn.

NVCONTACT 参数（无线超时的判定时间，取值 10 ~ 20 s），则认为无线消息超时，车载设备应实施常用制动命令并向司机提示<sup>[1]</sup>。由于无线超时影响铁路运行效率，中国国家铁路集团有限公司、各铁路局以及通信和信号设备厂家一直在推进超时降级故障分析和整治工作<sup>[2]</sup>。无线超时故障分析基于车-地之间各通信接口监测数据、各设备日志数据以及网管数据对导致无线超时的故障进行定位，目前包括人工分析和机器分析<sup>[3-6]</sup>两种方式。人工分析的缺陷在于典型故障类型的无线超时事件分析中的重复工作，优势在于非典型故障类型以及原因未明的无线超时事件的故障定位仍需各专业技术人员合作完成<sup>[7-8]</sup>。机器分析采用的技术主要有特征关键词检索、故障树分析方法、基于案例的推理以及机器学习算法，能够减少部分人工重复工作。

无线超时分析需要满足准确性和时效性要求，这主要取决于数据的完整性以及采用的分析技术和分析系统的架构。目前，车-地之间全部通信接口的监测尚未实现全面部署，且有的设备日志数据（如 RBC Event Log）需要在天窗点获取<sup>[9]</sup>。发生在不同线路上的无线超时事件，其数据的完整性有可能不同，这就要求分析系统能够对不同完整性的数据进行分析，并得出相对准确的结论。此外，对于多个无线超时事件同时进行的情况，分析系统需要具备并发处理能力以满足时效性要求。针对以上现状和要求，本文研究设计了基于专家系统技术的无线超时智能分析系统。通过对知识库分组来处理不同完整性的数据，采用推理机中的优化算法在保证准确性的前提下提高分析效率，运用企业级应用的开发部署方式提供多用户并发处理能力。

## 2 无线超时智能分析技术介绍

无线超时分析涉及的数据：1) 通信接口监测数据包括： $I_{\text{GSM-R}}$  接口、车载侧 Um 接口、基站侧 Um 接口、Abis 接口、A 接口、PRI 接口以及  $I_{\text{FIX}}$  接口的监测数据，其中  $I_{\text{GSM-R}}$  接口、车载侧 Um 接口、基站侧 Um 接口以及  $I_{\text{FIX}}$  接口的监测仅在部分

线路部署；2) 设备日志数据：车载列车超速防护系统（Automatic Train Protection, ATP）日志、安全无线传输单元日志、RBC 主机日志以及综合业务数字网（Integrated Services Digital Network, ISDN）接口单元日志；3) 网管数据：基站管理器（Base Station Controller, BSC）网管、移动交换中心（Mobile Switching Center, MSC）网管以及传输网管数据。无线超时事件中，绝大部分有 Abis 接口、A 接口和 PRI 接口数据，一些有  $I_{\text{GSM-R}}$  接口、Um 接口或  $I_{\text{FIX}}$  接口数据，设备日志和网管数据需要协调设备厂家获取。

无线超时故障类型目前大致划分为铁路综合数字移动通信系统（Global System for Mobile Communications-Railway, GSM-R）网络侧、RBC 侧、车载侧以及 CTCS-3 数据传输机制等几大类，每个大类又细分为不同的子类。不同故障类型的无线超时事件的故障定位需要的数据有所不同。例如，GSM-R 网络侧 BSC 业务处理板故障，通过 Abis 接口、A 接口和 PRI 接口数据可初步定位，结合 BSC 网管告警数据可完成定位；车载侧移动终端（Mobile Termination/Terminated, MT）上报测量报告异常的情况，通过 Abis 接口、A 接口和 PRI 接口数据可大致定位，需要  $I_{\text{GSM-R}}$  接口、车载侧 Um 接口或基站侧 Um 接口数据完成定位。当数据不足时，基于现有数据可以得出故障所在范围，以及进一步分析所需数据的结论。

归纳无线超时故障类型与数据中所体现的故障特征的对应关系，形成无线超时分析知识库。作为无线超时分析的依据。对于大部分典型故障类型的无线超时事件的分析，主要工作是发现数据中的故障特征，并将这些故障特征与故障类型进行模式匹配：可能是基于完整数据的完整故障特征与其故障类型的精确匹配；也可能是基于部分数据的部分故障特征与其故障类型的模糊匹配。每次无线超时事件分析，都将多个故障特征与多种故障类型逐一进行模式匹配，其效率是受限的。事实是，能够进行归类的故障类型，尤其是典型故障类型，其特征相

对稳定，对于重复出现的典型故障类型的无线超时事件，记忆之前完成的模式匹配的结果，并且仅对出现新特征的无线超时事件进行模式匹配，能够避免重复工作但可以得到同样的结果<sup>[10]</sup>。

基于以上分析，采用专家系统技术构建无线超时智能分析系统，其中无线超时分析知识库和推理机作为两个主要模块与其他模块共同完成无线超时事件分析。

### 3 无线超时智能分析系统设计

无线超时智能分析系统包含客户端和服务端，如图 1 所示。客户端可以部署在电务段、电务处以及核心网等处，用户通过客户端提交无线超时事件故障分析请求并接收故障分析结论；智能分析系统服务器接收故障分析请求、进行故障分析并将故障分析结论发送到客户端。

无线超时智能分析系统的工作流程如图 2 所示。其中，数据预处理组件完成待分析的无线超时事件的故障特征提取，专家系统组件完成故障分析，以下对这两个组件进行详细介绍。

#### 3.1 数据预处理

数据预处理组件根据待分析的无线超时事件的超时时间、车次等信息，通过监测系统、离线或在线方式获取通信接口监测数据、设备日志数据以及网管数据，从数据中提取体现故障特征的表述并生成专家系统组件所需的标准化数据。通常，通过地面通信接口监测系统可以获取 Abis 接口、A 接口、PRI 接口的数据；通过空口监测系统可以获取 I<sub>GSM-R</sub> 接口和 Um 接口的数据；通过离线或在线方式可以获得 ATP 通信单元日志、司法 / 数据记录单元日志、安全无线传输单元日志、RBC 主机日志、ISDN 接口单元日志以及 BSC 网管、MSC 网管、传输网管数据。数据中体现故障特征的表述，举例如下。

Abis 接口：

1) Abis 接口信令：方向 BTS → BSC，信令类型 DATA INDICATION，Um 类型 IMSI DETACH INDICATION；方向 BTS → BSC，信令类型 CONNECTION FAILURE INDICATION，原因值 RADIO LINK FAILURE；方向 BSC → BTS，信令类型 DATA RELEASE，Um 类型 CHANNEL RELEASE，无线资源原因值 ABNORMAL RELEASE, UNSPECIFIED。

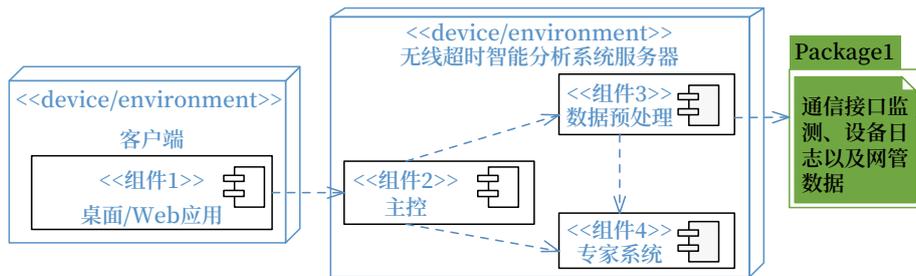


图1 无线超时智能分析系统部署  
Fig.1 Deployment diagram of WCTO intelligent analysis system

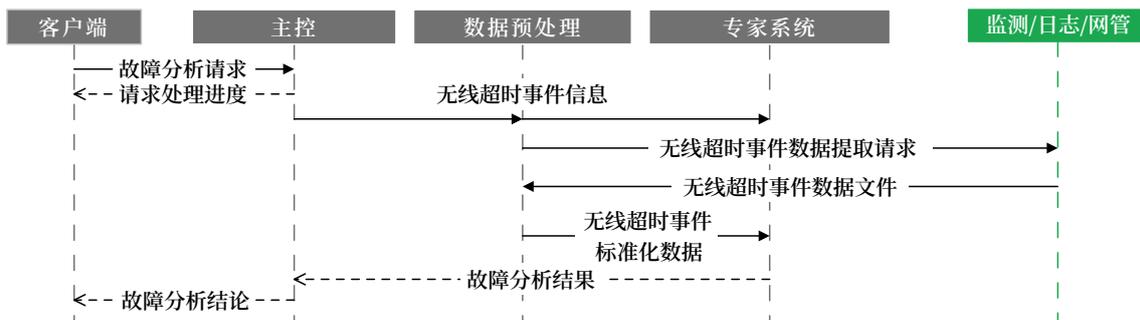


图2 无线超时智能分析系统时序  
Fig.2 Sequence diagram of WCTO intelligent analysis system

2) Abis 接口切换：切换结果，失败。

3) Abis 接口测量报告：上行接收电平 -110 dBm，上行通信质量 7 级，无下行接收电平、下行通信质量、TA 值、NBO；上行接收电平比下行接收电平低 20 dBm 及以上，上行通信质量 5~7 级，下行接收电平、下行通信质量正常。

A 接口：

A 接口信令：方向 MSC → BSC，BSSMAP 信息类型 CLEAR COMMAND，原因值 NORMAL EVENT / RADIO INTERFACE FAILURE。

PRI 接口：消息类型 HDLC FRAME，子类型 FRMR；消息类型 TPDU，子类型 ER；消息类型 SaPDU，子类型 DI；方向 MSC → RBC，DISCONNECT；方向 OBU → RBC，消息类型 HDLC FRAME，子类型 DISC；方向 OBU → RBC 或 RBC → OBU，信令类型 V.110 失步；CRC 校验，错误。

I<sub>GSM-R</sub> 接口：+CME ERROR, 10/13/14/15；+CREG, 0/3。

Um 接口：方向 MT → BTS，无 MEASUREMENT REPORT。

车载侧日志：

1) ATP 通信单元：MAC ERROR；SaPDU LENGTH ERROR；RD-B GPP DISCONNECTED WHILE RUNNING，RD GPP LINK CLOSED。

2) 司法/数据记录单元：NETWORK RESOURCE NOT AVAILABLE，RD CONNECTION CONFIRM TIME OUT，NVCONTACT TIME\_OUT REACTION SB。

3) 安全无线传输单元：ETHERNET LINK IS DOWN，INITIALIZED AND STARTED。

RBC 侧日志：

1) ISDN 接口单元：ISDN 服务器异常信息。

2) RBC 主机：RBC 重启信息；RBC 与联锁通信中断信息；RBC 与移交 RBC 通信中断信息。

网管数据：

1) BSC 网管：时钟板告警、业务板告警、故障基站异常信息、故障基站 GSM-TIME 告警。

2) MSC 网管：板卡异常信息、IWF 异常信息。

3) 传输网管：MSC 接口板告警、MSC 与 TRAU 接口板告警、BSC 与 TRAU 接口板告警、MSC 与 RBC 接口板告警。

从所有典型故障类型的典型无线超时事件案例中提取所有故障特征，形成标准化数据格式，如图 3 所示，其中每个故障特征对应一个特征标识。对于一个待分析的无线超时事件，提取其包含的故障特征，通过特征标识标记故障特征的出现情况以生成标准化数据。

### 3.2 专家系统

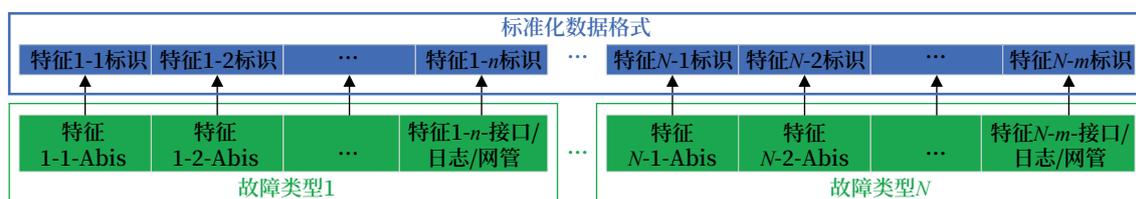


图3 标准化数据与故障特征的对应关系  
Fig.3 Mapping between standard data and fault features

专家系统组件根据数据预处理组件生成的待分析的无线超时事件的标准化数据，进行故障分析，得出故障分析结论。专家系统组件由知识库、推理机、工作存储区和执行机组成，如图 4 所示。

1) 工作存储区

工作存储区存放待分析的无线超时事件的标准

化数据。

2) 知识库

知识库存放基于故障特征判定各种故障类型的规则。由于不同的无线超时事件其数据完整性有可能不同，因而知识库分组构建。包括针对 Abis 接口、A 接口和 PRI 接口数据的分组；针对 Abis 接

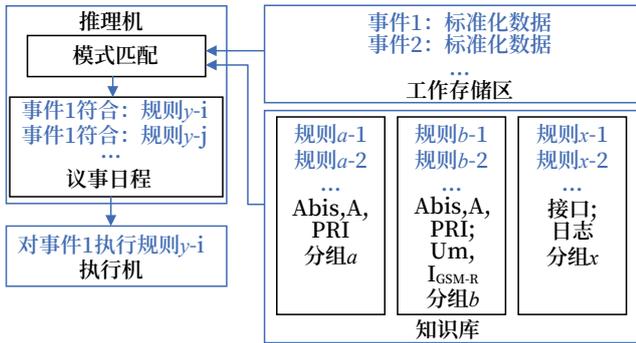


图4 专家系统组件架构  
Fig.4 Expert system component architecture

口、A 接口、PRI 接口、 $I_{GSM-R}$  接口和 Um 接口数据的分组；以及针对接口数据和日志数据或网管数据的其他分组。根据待分析的无线超时事件的数据完整性控制使用的规则分组。

### 3) 推理机

推理机将故障类型判定规则应用于待分析的无线超时事件的标准化数据，包括模式匹配和议事日程，其中，模式匹配基于 Rete 算法快速找出标准化数据所满足的故障类型判定规则。当多条故障类型判定规则被满足时，议事日程决定执行哪条。

### 4) 执行机

执行机根据议事日程的安排，执行故障类型判定规则，输出故障分析结论。

## 4 结论与建议

本文研究了无线超时智能分析技术，基于专家系统技术设计了无线超时智能分析系统。系统能够根据无线超时事件不同完整性的数据得出相应的故障分析结论，对于数据不足的情况给出故障所在范围和缺失数据的提示，并且能够保证故障分析的效率。

数据的完整性有助于精准定位导致无线超时事件故障的位置，进一步有助于故障问题整治，保证铁路运行效率。因此，建议针对出现频次较高但未实现故障精准定位的无线超时故障类型，完善缺失数据的监测手段。

### 参考文献

[1] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-3 级列车车载设备技术条件: TB/T 3483-2017[S]. 北京:

中国铁道出版社, 2017.

- [2] 中国国家铁路集团有限公司. 关于进一步加强 C3 无线超时降级 C2 问题专题整治的通知: 工电通号函 [2020]105 号 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [3] 金立新. RIMS 系统的 C3 无线超时智能分析案例 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51 (5): 85-87.  
Jin Lixin. Intelligence Analysis Case of C3 Wireless Connection Timeout in RIMS[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(5): 85-87.
- [4] 蒋文怡, 钟章队, 丁建文, 等. CTCS-3 级列控系统无线超时自动检测分析系统及检测方法: CN108773394A [P]. 2018-11-09.
- [5] 傅卫国. 一种 CTCS-3 列控系统无线超时降级故障诊断方法: CN110673588A [P]. 2020-01-10.
- [6] 钟宏光, 张朝, 张珺. 一种基于机器学习的 CTCS3 故障诊断方法: CN110816589A [P]. 2020-02-21.
- [7] 刘立海, 代赛. 郑徐高铁 CTCS-3 无线超时分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (5): 10-15, 26.  
Liu Lihai, Dai Sai. Analysis of CTCS-3 Radio Timeout of Zhengzhou-Xuzhou High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(5): 10-15, 26.
- [8] 陈小平. 基于 TA 值的 CTCS-3 无线超时分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (12): 32-37.  
Chen Xiaoping. Analysis of CTCS-3 Radio Timeout Based on TA Value[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 32-37.
- [9] 郭媛忠. CTCS-3 级列车运行控制系统无线超时故障分析 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (7): 73-75.  
Guo Yuanzhong. Fault Analysis of Wireless Connection Timeout in CTCS-3 ATC[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(7): 73-75.
- [10] Forgy C L. Rete: a Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem[J]. Artificial Intelligence, 1982, 19(1): 17-37.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.008

# 关于eSIM在铁路专用移动通信系统应用的探讨

宋 菁

(北京铁路通信技术中心, 北京 100038)

**摘要:** 根据铁路 GSM-R 数字移动通信系统的运用特点, 结合现有铁路专用移动通信终端及 GSM-R SIM 卡的管理现状, 分析 eSIM 卡在铁路领域的应用需求, 并从 eSIM 卡的远程管理及安全性等方面进行研究, 阐明铁路专用移动通信系统运用 eSIM 卡后, 在运营、管理、维修等方面的变化, 为开展铁路 eSIM 应用的进一步技术研究工作提供参考。

**关键词:** 铁路; GSM-R; eSIM

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0037-05

## Application of eSIM in Railway Dedicated Mobile Communication System

Song Jing

(Beijing Railway Communication Technology Center, Beijing 100038, China)

**Abstract:** According to the application characteristics of the railway GSM-R digital mobile communication system, combined with the present management status of dedicated terminal for railway mobile communication and GSM-R SIM card, this paper analyzes the application requirements of eSIM card in railway field, studies the remote management and security of eSIM card, and expounds the changes in operation, management and maintenance of the railway mobile communication system after using eSIM card. It provides a reference for further technical research on railway eSIM application.

**Keywords:** railway; GSM-R; eSIM

铁路 GSM-R 数字移动通信系统一直在高速铁路中承担着重要的通信作用。随着高速铁路智能化的发展和技术的不断演进, 铁路对高速无线数据传输的需求日益增加, 在“智慧”铁路中宽带移动通信更是作为重要基础。GSM-R SIM 卡作为用户移动通信业务中不可或缺的组件, 起到了重要作用,

在公网 2G 产业即将结束时, GSM-R SIM 卡也将逐步退出历史舞台。基于高速铁路的应用特点, 提前开展 eSIM 等先进技术在铁路专用移动通信系统中的应用研究, 对下一步制定技术政策和方向有着重大意义。

### 1 eSIM概述

#### 1.1 eSIM概念

eSIM 卡又叫嵌入式 SIM 卡, 将传统 SIM 卡直接嵌入到设备芯片上, 而不是作为独立的可移除

收稿日期: 2022-04-27; 修回日期: 2023-01-15

作者简介: 宋菁 (1982—), 女, 工程师, 主要研究方向: SIM 卡、终端数据, 邮箱: songjing1023@163.com。

零部件加入设备中，通过嵌入式软件可以实现远程管理等多项功能。eSIM 具备终端预装、独立载体、自主激活、灵活切换运营商等能力，较之传统 SIM 卡在便利性、灵活性、抗干扰性、低成本、安全性上具备优势。

## 1.2 运用现状

### 1) 国际现状

eSIM 最早广泛应用于车联网，从 2014 年 9 月起主流的汽车制造商奥迪、通用、雪佛兰等开始使用基于 GSMA M2M 标准的 eSIM 卡，主要面向车辆提供国际化的业务和个性化的服务。

### 2) 国内现状

国内 eSIM 的典型应用主要有共享单车、智能手表、智能电表等。2019 年中国联通已经率先全面推行 eSIM 的应用，并已建立了统一的 eSIM 远程数据管理平台。

## 1.3 标准制定

### 1) 国际标准

目前国际上主要遵循 GSMA 制定的标准，物理特性：遵循 ETSI-eUICC 的相关标准。

### 2) 国内标准

目前，国内行业标准由中国通信标准化协会 (CCSA) 物联网和网络信息安全工作组制定，主要包括 eSIM 远程管理系统和 eSIM 卡等。

## 2 eSIM概述铁路现状及需求分析

### 2.1 国内铁路GSM-R SIM卡运用现状

铁路 GSM-R 专用数字移动通信系统使用的 SIM 卡主要为 mini-SIM 卡 (2FF)，部分专业如：列车长和房建专业用户允许使用 micro-SIM 卡 (3FF)。

SIM 卡数据由铁路制卡中心统一管理，并负责完成制卡、发放等工作，全部流程控制在铁路系统内部管理。

### 2.2 运用需求分析

#### 1) 提高 SIM 卡的安全性及稳定性

铁路专用 SIM 卡因为直接参与行车通信业务，

所以在安全性、稳定性上有着较高的要求，首先改变传统 SIM 卡的封装模式，提高防尘、防水、防盗等性能，彻底解决 SIM 卡与 ATP 等模组之间因接触不良产生的问题。

#### 2) SIM 卡数据远程修改需求

随着铁路 GSM-R 无线网络覆盖范围的扩大，GSM-R SIM 卡所承载的各类业务逐步增多，铁路各个专业不断提出各种新业务需求。铁路新增业务应用时，可能需要修改 SIM 卡上的相关数据。由于现阶段不具备远程 SIM 卡数据修改能力，只能通过人工回收 SIM 卡统一修改数据后再重新发放的模式，费时费力。

#### 3) 减少现场 SIM 卡维护工作量

SIM 卡的发放由制卡中心到各铁路局集团公司电务部，再下发至站段的车间、班组，由现场维护人员负责按照设备类型安装相应类别的 SIM 卡。当机车发生跨局调拨时，需要接收局将原 SIM 卡取出归还给调出局，并安装本局 SIM 卡。各库检工区都要备有几张通用 APN 的应急 SIM 卡用作外局机车紧急故障处理，日常故障处理中需要对 SIM 卡芯片的触点等进行清理。

#### 4) 铁路物联网应用需求

随着铁路物联网应用的逐步增多，铁路沿线采集点通过部署 SIM 卡实现无线传输数据的需求逐步显现，对于室外部署的采集设备来说，采用既有插拔式 SIM 卡在防尘、防水等方面都存在一定问题。

## 3 eSIM关键技术

### 3.1 远程管理功能

远程管理的核心技术是具备可远程配置的 eSIM 卡片和能够实现远程配置管理的后台系统，国内目前还没有真正意义上的运营商网络自由切换，大多数还是在单一网络下实现空中写卡，配置自己的 profile。

远程配置管理是 eSIM 的一个颠覆式功能，远程配置功能可以实现运营商 profile 的下载、安装、激活、去激活及删除，从而实现灵活选择多家运营

商，并且可应用于终端出厂后批量业务开通、业务到期后续约、改变签约以及在漫游时变更运营商等场景，同样远程配置管理的出现，彻底改变了卡的发行、发放、开通等模式。

按照 GSMA 定义，实现 GSMA 规定的远程配置功能，需要有两个主要组件：eSIM (eUICC) 卡，远程配置管理平台 (RSP)。

要实现运营商间网络自由切换，可以将 eSIM 卡配置成支持各运营商的 Profile，远程配置管理平台 (RSP) 可以与各运营商数据平台互联，用于接收运营商用户数据，实现运营商之间的真正网络自由切换。由此可见，远程配置管理平台是未来 SIM 卡数据管理的关键所在。

### 3.2 远程配置管理实现

eSIM 符合 GSMA 的规范，在 eSIM 平台的配合下，可以实现码号的后下载和更换，如图 1 所示。

运营商将 Profile 模块和个人化数据发送给 SM-DP；SM-DP 根据模版生成相应数量的 Profile 包，并继承对应的个人化数据；SM-DP 将个人化后的 Profile 包，经由 SM-SR 发送给 eSIM；eSIM 卡安装 Profile 包，完成新的码号写入。



图1 eSIM数据远程下载流程  
Fig.1 Remote download process of eSIM data

### 3.3 安全性

eSIM 无论在物理安全还是软件安全都有所提升。物理上，普遍采用 DFN 封装，采用环氧树脂材料，具备抗高温，防腐蚀的特性；eSIM 采用的芯片满足 EAL4+ 的安全性。RSA 的标准定义了 eSIM 完整的证书链，采用非对称的 PKI 加解密体系，保证数据的安全。在 eSIM 生产、管理、安装和使用各个环节的安全性都不低于传统可插拔式 SIM 卡。

对于 eSIM 的远程数据下载，其安全性主要在于用户数据的传输，如图 2 所示。eSIM 与远程数

据下载服务器间采用双向认证，认证的基础是双方具有相同的根证书，基于被认证方的公钥进行检验。终端在与数据下载服务器间建立 TLS 连接后，只透传 eSIM 与数据下载服务器间的加密数据。用户的 Profile 信息明文只在数据生成服务器和 eSIM 内部存储，其他任何地方不可见明文 Profile。

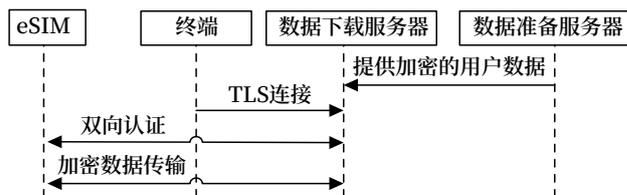


图2 eSIM远程数据安全传输  
Fig.2 Secure remote transmission of eSIM data

### 3.4 运营商间自由切换

eSIM 的远程管理能力可以满足用户自由选择运营商的需求，但这需要各运营商在用户 Profile 的制定上遵循 GSMA 的标准，同时拥有同根证书。对于铁路而言，可以用于在覆盖不好或者没有铁路专用移动通信网覆盖的地方，选择切换至运营商网络进行非行车安全类通信业务数据的传递，例如用于铁路物联网前端数据信息的采集。

## 4 铁路eSIM的运用与管理

SIM 卡将用户数据和终端分离，用户想要换运营商时直接更换 SIM 卡就可以，不用更换终端。eSIM 的诞生解决了换卡的问题，即用户无需更换终端和 SIM 卡一样可以自主选择运营商。而在铁路的应用场景里，同样存在类似的问题，只是场景略有不同。

### 4.1 eSIM运用场景

目前铁路移动通信运用场景主要包括：列控信息传递、调度行车指挥、车上人员通信、监控监测类设备数据回传、沿线人员外出作业通信等。归纳起来 SIM 卡主要用于车载设备、手持台、地面监测 3 大类设备中。

#### 1) 车载设备

需要安装 SIM 卡的车载设备主要包括 CIR、列

控设备、DMS等。各类车载设备在机车出厂前已完成设备安装，但是并未装配SIM卡。由接车局的接车人员携带SIM卡前往机车厂，安装SIM卡并配好相应的终端业务数据后，再将车开回局内动车所或机务段。由于eSIM是嵌入式SIM卡，也就是在CIR、列控MT、DMS等设备出厂前就已经安装于设备内部，所以接车人员无需再携带SIM卡接车。但是涉及到eSIM卡数据下载的问题，由于eSIM在生产的时候，并不知道会装配到哪台机车，也不知道该机车会最终配属到哪个路局集团公司，所以eSIM中并没有正式运用数据。需要接车人员输入相关信息，从eSIM远程配置管理平台下载数据。目前公网使用eSIM的数据下载方式主要有两种。

方式一：终端设备作为独立设备入网。

终端需要通过APP与内置eSIM进行通信，eSIM需要实现LPA功能，一般LPA功能在eSIM出厂前已完成配置，并预置了用户Profile。接车过程中，需要机车厂具备现网的无线环境，使eSIM可以连接到eSIM远程配置管理平台。采用这种方式操作简单，接车人员只需打开车载设备中的APP，填写相关的机车信息，例如：归属局、机车型号、机车号、SIM卡类别等信息，由eSIM将信息传递至eSIM远程配置管理平台，eSIM数据准备服务器将向SIM卡管理系统申请号码数据，包括IMSI、ICCID、鉴权数据等，通过下载服务器下发至eSIM中完成数据更新。如图3所示。

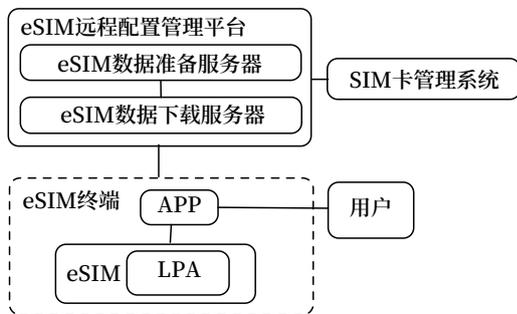


图3 终端设备作为独立设备入网  
Fig.3 The terminal device is connected to the network as an independent device

方式二：终端设备作为附属设备入网。

终端设备作为附属设备自身无法实现入网数据更新操作，需要通过主终端完成下载数据操作，也就是由主终端与eSIM远程配置管理平台通信，完成数据申请及下载操作。主设备与附属设备间通过本地连接（如蓝牙、有线等）方式进行通信。如图4所示。

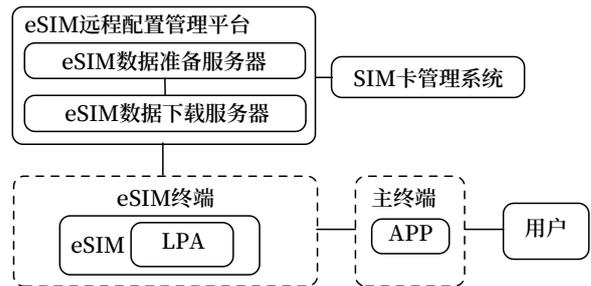


图4 终端设备作为附属设备入网  
Fig.4 The terminal device is connected to the network as an accessory device

## 2) 手持台

手持台中的eSIM可提前预置一个准备号码，在有铁路专用移动通信系统无线覆盖的地方完成正式数据的更新操作。同样需要手持终端中增加APP或终端管理软件用于触发数据下载流程。

## 3) 地面监测

地面监测类设备主要采集现场数据进行回传，前端的采集模块工作方式相对简单，SIM卡类型相对固定，但是由于沿线布放数量较大，应考虑简化前端设备数据下载的相关操作。采集设备中的eSIM提前预置准备号码，设备开机后由采集模块自动触发连接eSIM远程配置管理平台下载正式数据，减少人工干预。

## 4.2 管理模式

### 1) 预置数据管理

对于独立设备入网模式的终端，eSIM中需提前内置一个临时号码数据，用于连接eSIM远程配置管理平台下载正式数据时使用。从备用号段中选择一个号段作为临时号码段使用，临时号码的生成由SIM卡一级管理系统生成，鉴权数据和CA证书由密钥管理系统生成，临时号码仅开启必要的用于下载数据的功能。制卡中心负责统一进行eSIM

的临时号码数据的写入。终端下载正式号码后，将临时号码注销，同时回收临时号码的码号资源重复使用。

### 2) eSIM 卡数据管理流程

按照现有 SIM 卡管理模式，SIM 卡数据申请流程的发起者为各路局集团公司，采用 eSIM 后，SIM 卡申请流程的发起者不变，路局集团公司根据现场实际需求结合合同采购情况完成 SIM 卡数据的申请，SIM 卡申请通过 SIM 卡二级管理系统上报至总公司一级管理系统，一级系统确认后将数据发往共用设备核心网机房完成数据制作。

终端申请 eSIM 正式数据更新时，需携带 SIM 卡类型等信息，由 eSIM 远程配置管理平台传递至 SIM 卡一级管理系统进行规范性校核。通过校核后将用户数据和鉴权数据发往 eSIM 数据准备服务器，并通过 eSIM 数据下载服务器下发至 eSIM 卡中完成数据更新操作。同时 SIM 卡一级管理系统中将终端上报的数据与卡数据进行绑定，形成台账返回给申请局的 SIM 卡二级管理系统。如果 eSIM 中已分配有临时数据，SIM 卡一级管理系统还需通知核心网机房注销该临时数据。具体管理系统组网如图 5 所示。

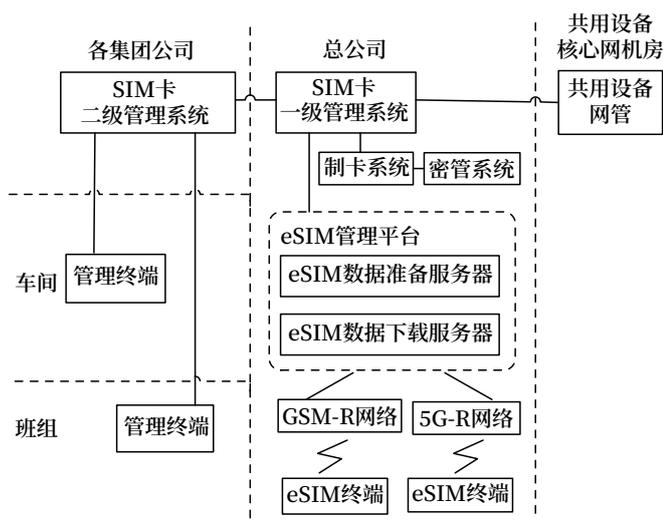


图5 铁路eSIM管理系统组网

Fig.5 Network diagram of the railway eSIM management system

### 3) eSIM 数据准备

eSIM 数据申请时，需提供 EID、归属局、终端

类型、SIM 卡类型、机车类型、机车号等相关信息。eSIM 数据准备服务器向 SIM 卡一级管理系统申请用户个性化数据，并由密钥管理系统提供用户鉴权数据。eSIM 数据准备服务器将数据进行格式转化、数据整合、加密处理后通过 eSIM 数据下载服务器发送至 eSIM 卡上，写卡完成后再将终端返回的确认信息返回给 SIM 卡一级管理系统，完成数据入库并下发至 SIM 卡二级管理系统。

### 4) 远程写卡安全管理

eSIM 远程写卡的数据安全是非常重要的，eSIM 在触发数据更新流程后，首先与 eSIM 数据下载服务器建立连接，通过 CA 认证鉴别服务器是否合法，并完成下载数据通道的建立，数据下载服务器通过向数据准备服务器申请数据，完成数据的下发。整个过程中，eSIM 终端只能与数据下载服务器建立连接，而数据下载服务器只存储加密后的用户数据。

### 4.3 小结

eSIM 的嵌入式安装模式，可以避免 SIM 卡与终端间接触不良的问题，相应减少了现场车载类设备 SIM 卡的维护工作量。远程数据管理功能可以通过网络完成 SIM 卡数据下发和终端数据的收集，并由后台运维支撑系统形成全路统一台账，减少了局、站段、车间、班组 SIM 卡台账建立、备件管理等工作，提高了用户数据台账的准确性和及时性。

## 5 结束语

eSIM 是随着物联网的应用发展起来的，其远程配置管理能力可以解决用户自由选择运营商的需求。通过本文的分析，eSIM 的特点在铁路系统有着不同意义的运用，可以有效提高行车设备稳定性、减少现场维护工作量、适应铁路物联网的发展。但是，新技术的应用也同样会带来运用、管理、维修上的变化，如何用好新技术，使之更加适用于铁路应用特殊场景，还需继续研究探讨。

(下转 50页)

# CTC与RBC系统接口通信技术分析

李寒冰

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** CTC与RBC之间的信息通信在满足安全通信协议要求的基础上, 交互列车状态和命令信息。基于目前列控系统的实际应用情况, 介绍CTC与RBC接口通信机制, 对新型列控系统中CTC与RBC的通信信息进行分析, 并对CTC如何应用RBC信息提出建议。

**关键词:** 高速铁路; CTC; RBC; 安全通信体系结构

中图分类号: U283.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0042-04

## Analysis of CTC and RBC Interface Communication Technology

Li Hanbing

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

**Abstract:** The radio block center (RBC) system is the core ground subsystem of the high-speed railway train control system. The centralized traffic control (CTC) system is an important part of the high-speed railway train control system. The communication information between CTC and RBC satisfies RSP-II protocol required, RBC sends train information to CTC, and CTC sends command information to RBC. Based on the actual application of train control system, this paper mainly introduces the communication mechanism of the interface between CTC and RBC, then analyzes the communication information between CTC and RBC in the new train control system, and gives some suggestions on how to apply RBC information to CTC.

**Keywords:** high-speed railway; centralized traffic control system; radio block center; safety communication architecture

### 1 概述

调度集中(CTC)系统是列控系统(CTCS)的重要组成部分, 负责调度列车和控制运行调整计划的系统。基于智能化分散自律的设计原则, CTC

以控制列车运行计划为核心, 保证列车、调车作业的高度自动化。CTC是保障高铁运营的重要设备, 能够对战场内信号设备进行控制和显示, 支持调度相关人员对列车和调车办理计划和作业。CTC系统作为高速铁路的非安全相关的系统, 已成为铁路高密度线路行车不可或缺的一部分, 运输部门在功能性、可靠性、安全性等方面对CTC系统也提出更高要求, 若要CTC系统实现和完善更多的功能, 需要来自其他系统的包含多种信号、列车相关运行信息的支持。

收稿日期: 2021-12-15; 修回日期: 2023-01-16

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-K1210003.05)

作者简介: 李寒冰(1989—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 通信信号, 邮箱: lihanbing@crscd.com.cn。

无线闭塞中心（RBC）系统是 CTCS 的核心设备，可以根据联锁、临时限速服务器、相邻 RBC、CTC 和车载设备提供的相关信息，生成行车许可等控制信息，并通过无线通信方式发送给车载设备，控制列车安全运行。

为提高中国高速铁路列控系统的先进水平，保持列控系统技术的领先地位，铁路运输对 CTC 和 RBC 提出更高的要求，本论文基于目前国内在用 CTC 和 RBC 的通信现状，介绍 CTC 与 RBC 之间的通信技术发展的新形式，分析 CTC 和 RBC 之间交互信息可以提升的部分，希望对完善 CTC 的功能做出贡献。

## 2 CTC与RBC系统的连接

### 2.1 物理连接

CTC 与 RBC 系统之间采用以太网连接，使用 2 M 专用数字通道，距离较近（小于 200 m）时可采用网络直连，物理接口应采用 RJ-45 接口。为保证 CTC 和 RBC 之间信息传输的安全性和可靠性，通信的网络通道设计为冗余的专用传输通道。

为满足冗余设计，位于 RBC 和 CTC 的通信机柜内的协议转换器设备、交换机和路由器均设置为冗余配置。RBC 系统通过接口服务器（VIA）与 CTC 通信，在实际应用中，CTC 设备位于调度中心，和 RBC 的接口服务器之间通过外部铺设的 2 M 专用数字通道进行通信。

RBC 和 CTC 之间的通信网络使用封闭的冗余以太网，信息交互路径为：RBC 核心逻辑处理单元 ↔ VIA 服务器 ↔ RBC 以太网接口 ↔ 通信主干网（2 M 数字通道） ↔ CTC 以太网接口 ↔ CTC 接口服务器 ↔ 中心 CTC。接口结构如图 1 所示，其中图中的 RBC 系统包括 RBC 核心处理单元和 VIA 服务器。

### 2.2 安全通信

为保障铁路运营信息交互的安全性、可靠性和实时性，CTC 和 RBC 系统间应采用《RSSP-II 安全通信协议》的 EC 通信模式，符合开放式传输系

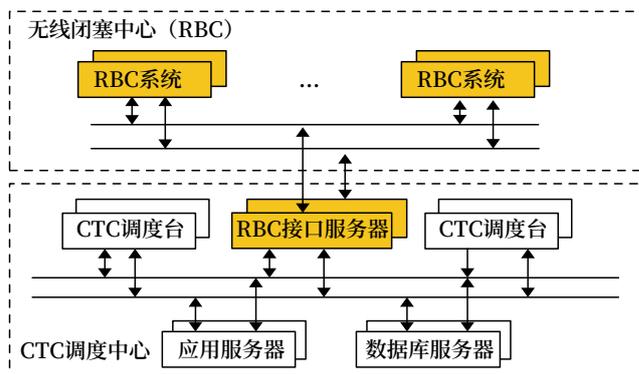
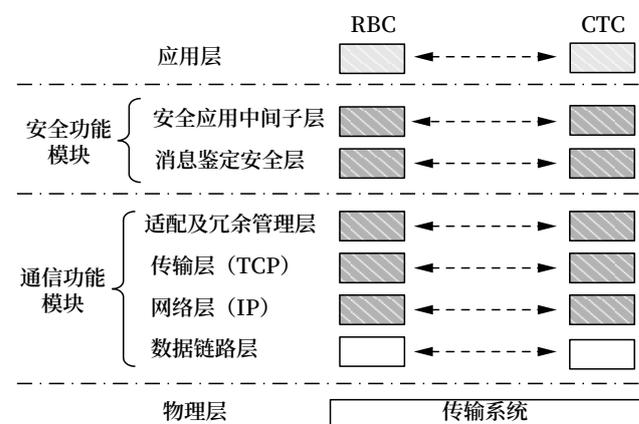


图1 RBC-CTC接口结构  
Fig.1 RBC-CTC interface structure

统的安全相关通信标准。

RBC 和 CTC 之间的安全通信接口采用分层结构，如图 2 所示。其中应用层协议由 RBC 和 CTC 双方制定；安全功能模块满足《RSSP-II 安全通信协议》的要求，由安全中间子层（SAI）和消息鉴定安全层（MASL）组成。



图例：□ 由本规范指定    ▨ 依据引用标准    □ 超出范围

图2 RBC-CTC接口通信协议层次结构

Fig.2 RCB-CTC interface communication protocol hierarchy

RBC 和 CTC 双方通过交互 AU1、AU2、AU3、AR、DT、DI 等信息建立 SAI 连接，此安全交互过程可以校验双方的发送序号、MAC 计算、CTCSID、Random 是否一致，从而保障 RBC 和 CTC 的交互过程安全可靠。

以往的安全通信密钥技术借鉴了国外铁路的相关密钥技术，为实现核心技术的自主化，新的列控系统中采用了完全本土研究的加密、解密算法。

CTC 为了支持和 RBC 的正常通信，必须实现新密钥的算法逻辑，因此，CTC 参考现行完全自主化的新型密钥算法，开发集成于 CTC-RBC 接口的密钥逻辑，实现了生成会话密钥、计算消息校验码和密钥传输等安全通信流程。

### 3 通信机制

#### 3.1 新旧通信信息比较

目前国内在用的列控系统中，CTC 和 RBC 之间通信机制是单向的，即 CTC 只接收 RBC 发送的列车状态信息，包括车次号、列车长度、最大速度、车载工作模式、位置状态、列车运行方向等信息，并将上述信息在 CTC 终端的 RBC 列车运行状态表中显示出来。

CTC 向 RBC 发送周期性消息，该消息中只包含时钟信息，仅能实现时钟同步功能或者心跳功能，并不包含任何命令或者应用信息。

为提升列控系统的效能水平，在列控系统日趋完善发展的新形势下，RBC 增加了诸多判断列车状态和信号状态的功能，并发送给其他系统。其中和 CTC 相关的包含头筛和尾筛状态、实时的虚拟区段占用状态信息和列车完整性状态等信息。

CTC 系统不再只是接收和显示 RBC 发送的列车状态信息，增加了向 RBC 发送人工确认空闲命令、紧急停车命令和文本消息的功能。

#### 3.2 新信息在 CTC 的应用

针对 RBC 新增的列车状态信息，CTC 增加了报警功能。所谓头筛和尾筛，即确认列车头部和尾部是否存在隐藏车的功能，列车未完成头筛、尾筛时，CTC 根据 RBC 报告的相应列车状态，显示头筛或尾筛未完成状态报警。当 RBC 发送列车完整性丢失时，CTC 根据 RBC 报告的列车状态进行报警提示。

RBC 还可以向 CTC 发送实时的虚拟区段状态信息，虚拟区段的状态有 3 种：空闲表示虚拟区段中无任何车辆占用；正常占用表示正常列车造成的虚拟区段站用；故障占用表示列车失去完整性、车载设备故障、车-地无线通信中断或轨旁占用检查

设备（如轨道电路、计轴设备）等故障导致的区段占用。CTC 增加虚拟区段的空闲、正常占用、故障占用状态的显示功能，其空闲与正常占用状态与实体轨道区段的状态一致，但是故障占用状态明显区别于正常占用的显示。另外，CTC 增加了虚拟区段上列车车次号占用和车次跟踪功能，上述功能与实体区段一致。

CTC 增加了向 RBC 发送人工确认虚拟区段空闲的功能，该功能的实现方式为调度人员在 CTC 操作终端上人工指定需确认空闲的区段，CTC 根据人工操作将确认命令发送至 RBC 执行。人工确认虚拟区段空闲的操作采用类似联锁的安全命令机制，即两次确认方式，先发送验证命令，RBC 验证通过后给 CTC 发送回执，CTC 收到验证成功的回执后发送执行命令。与联锁不同的是，非常站控模式下，CTC 的操作终端同样具备向 RBC 发送人工确认虚拟区段空闲的操作功能。

虚拟区段故障占用时，可在正常列车驶过该区段后，由调度员通过 CTC 人工确认空闲。若收到 CTC 发送的人工确认区段空闲命令，则 RBC 解除相应防护区域。

CTC 向 RBC 发送的时间和日期，是 RBC 用于日志记录的时间，RBC 的日志可以在出现行车故障、通信故障等问题时帮助分析原因，该时间意义重大，因此，CTC 应保障向 RBC 发送的时间准确。

### 4 问题及展望

当 RBC 收到 CTC 的紧急停车命令，需要向列车发送无条件紧急停车消息。若列车处于移动状态，由管辖 RBC 向列车发送无条件紧急停车命令；若列车正处于移交状态，则移交 RBC 和接收 RBC 均应给列车发送无条件紧急停车命令。CTC 尚不明确发送紧急停车命令的规则，更不具备发送紧急停车命令的卡控功能，因此向 RBC 发送紧急停车命令时，只向调度人员报告紧急命令提示信息。从安全角度考虑，未来 CTC 应具备判断是否能够下达紧急停车命令的功能，并且在满足条件和满足条件时均向

调度人员提示报警信息。

CTC 目前支持与 RBC 一致的安全密钥算法逻辑,但是在未来的应用中,为了更好控制密钥的保密性,防止未知的、不可控的解密方法入侵,笔者认为 CTC 应具备将安全密钥及密钥相关信息、密钥算法逻辑独立于应用层逻辑功能,这样可以在不变更应用程序的基础上修改密钥。密钥的安装、卸载和更新应该更灵活,如果密钥的计算逻辑不变,密钥的相关信息可以支持离线方式更新,并且这些信息对操作人员不可见。

## 5 总结

高速铁路列控系统中 RBC 和 CTC 之间的通信,传输的是行车相关的列车固定和移动状态,信息交互的安全性和实时性会影响调度工作人员对列车调度的准确性,因此稳定可靠的通信对保障列车安全运行有重要意义。CTC 和 RBC 接口通信已经广泛应用在国内和海外的高铁项目中,已成为构成列控系统不可缺少的一部分,并为列控系统的安全运营提供保障。

### 参考文献

- [1] 江明. 解读铁道行业标准《无线闭塞中心技术规范》[J]. 铁道技术监督, 2016, 44(7): 10-14.  
Jiang Ming. Interpretation of Railway Industry Standard Technical Specifications for Radio Block Center(RBC)[J]. Railway Quality Control, 2016, 44(7): 10-14.
- [2] 周南骏, 刘翔. CTC-3 级列控系统中 RBC 功能需求及接口分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8(2): 5-9, 12.
- [3] 石先明. 高速铁路 CTC-3 级列控系统无线闭塞中心工程设计 [J]. 中国铁路, 2009(11): 1-6.  
Shi Xianming. Engineering Design of Wireless Block Center for CTC-3 Train Control System of High-Speed Railway[J]. Chinese Railways, 2009(11): 1-6.
- [4] 何春明, 田振武, 史增树, 等. 临时限速服务器安全通信协议研究 [J]. 铁道通信信号, 2011, 47(10): 50-52.  
He Chunming, Tian Zhenwu, Shi Zengshu, et al. Study on Secure Communication Protocol of TSRS[J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(10): 50-52
- [5] 于宏博. 中国列车控制系统 (CTCS) 安全通信机制的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2004.
- [6] 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.

# 基于综合信息网的铁路局档案管理信息系统工程设计

龚雪

(中铁大桥勘测设计院集团有限公司武汉分公司, 武汉 430074)

**摘要:** 在铁路局建设档案管理信息系统, 配套建设档案智慧库房, 通过综合信息网对接路局既有办公管理信息系统平台, 提供档案的收集、整理、保管、利用、鉴定、统计等生命周期过程监控、管理的所有相关功能, 实现档案信息的网络化共享和高效利用。

**关键词:** 档案管理; 综合信息网; 档案信息网络化

中图分类号: G271

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0046-05

## Design of Railway Administration Archives Management Information System Based on Integrated Information Network

Gong Xue

(Wuhan Branch, China Railway Major Bridge Reconnaissance & Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In this paper, an archives management information system and a supporting archives smart warehouse are built in the railway administration, It is connected with the existing office management information system platform of the railway administration through the comprehensive information network to provide all relevant functions of lifecycle process monitoring and management such as collection, sorting, storage, utilization, identification, statistics of archives, etc. and realize networked sharing and efficient utilization of archival information.

**Keywords:** archives management; integrated information network; archival information network

### 1 概述

多年来, 部分铁路局积累了大量文书、科技、人事、会计、审计、声像、实物等档案, 但尚未建设档案管理信息系统, 档案资源未能得到充分管理和利用, 档案管理基本上停留在以原始手动的方式

为主, 用 Excel 等文件记录相关档案收录情况等方式辅助的档案工作模式。流程完全由档案管理工作人员自行掌握, 存在工作效率不高、档案检索不便与利用率低等问题。

2021年1月1日施行的《中华人民共和国档案法》以及国铁集团相关规定均明确提出了档案信息化和档案利用便捷化的工作要求, 铁路局档案管理工作距离上级要求存在较大差距, 加强档案信息化建设工作势在必行。

随着信息化的发展, 档案管理工作越来越多地

收稿日期: 2022-11-24; 修回日期: 2023-01-16

作者简介: 龚雪(1984—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信信息, 邮箱: 524873680@qq.com。

引入了计算机系统辅助，电子档案管理系统开始在档案管理的工作中占据越来越重要的地位，档案管理部门与用户对高效、精准的档案管理有着巨大的需求。目前市面上已有众多比较成熟的档案管理系统，这些系统大多都与其应用场景有着密切的关系，侧重点也有所不同。因为铁路部门业务的特殊性，很难有一款档案管理系统能完全满足铁路局各个应用场景的需求。

铁路局综合信息网承载了路局各办公、生产系统，是路局规模最大、承载应用最多的基础网络平台。各生产站段、非运输单位及辅助单位可以通过综合信息网及时向铁路局提供基础数据信息及日常文件的传送，使铁路局能够及时地掌握全局的铁路运营和生产任务的执行情况。综合信息网以核心防火墙为中心，将内网细分为机关办公区域、生产服务器区域、至国铁集团区域、至站段区域，涵盖了整个铁路系统运营的方方面面。

基于综合信息网开发适应铁路局需求的档案管理信息系统，使档案管理普及到全局生产管理的各个方面，是十分必要的。

## 2 档案管理信息系统建设

档案管理信息系统能够实现铁路局档案管理数字化、智能化管理，能够实现存量、增量档案的数字化与归档、档案利用、档案全生命周期管理，可以提升档案管理工作效率。

### 2.1 总体架构

如图 1 所示，档案管理信息系统依托于铁路局综合信息网，采用集中式部署，支持纵向、多级、多立档单位、多全宗管理，满足档案数据的在线管控和便捷使用，并通过网络安全平台与外部服务网进行连接，实现获得授权的路外单位经由互联网接入访问，从而实现内网、外网范围内档案资源的共享，保证档案数据的准确性和唯一性。

### 2.2 系统功能

铁路局档案管理信息系统需要针对电子档案的收集、分类整理、检索利用的管理流程提供数据录

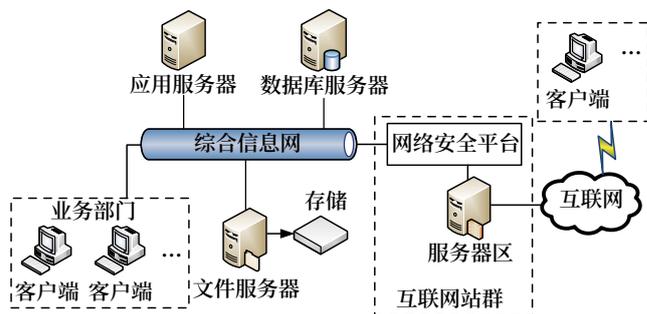


图1 档案管理信息系统架构

Fig.1 Archives management information system architecture

入、移交归档、数据导入与导出、档案检索、档案编研、档案销毁、数据统计、借阅管理以及针对电子档案的浏览、下载以及打印等完整、高效、易用的档案管理基本功能，并在此基础上引入人工智能技术，就智能检索、智能编研功能的添加进行研究。系统功能规划如图 2 所示。

数据采集	数据接收；数据检查；数据导入
档案管理	分类管理；组卷管理；编目归档；档案鉴定；档案销毁
借阅管理	借阅申请；借阅登记；档案借阅；档案归还；档案催还；借阅统计
档案利用	全库检索；全文检索；分类检索；分类统计；定制统计；档案编研
硬件管理	库房环控管理；智能密集架管理
系统管理	用户管理；角色管理；权限管理；日志管理；文件控制

图2 系统功能规划

Fig.2 System function planning diagram

系统包含数据采集、档案预归档、档案归档、档案检索、档案借阅、档案保管、档案统计、档案编研、系统管理、库房管理等 10 个部分的内容。主要实现如下功能。

#### 1) 收集整理

收集整理功能包括数据收集、数据整理、移交接收和数据归档 4 个环节。对收集到的数据进行整理，使其符合归档规范，是系统的数据来源。

#### 2) 档案利用

档案利用是档案工作的核心环节，也是档案收集、整理、保管、鉴定各个环节完成后最终价

值的实现过程，档案利用主要是线上阅览和实体借阅两种形式，系统结合档案的线上利用和线下利用途径，分别提供相应的功能，其中线上利用分为在线浏览、打印、下载，浏览主要是为全局系统覆盖的所有用户提供电子文件在线浏览功能；当利用人员自身权限不允许执行相关的操作或需要线下利用实体档案时，需发起线上流程审批。系统审批流程应由系统管理员在档案管理信息系统中的流程设计板块进行配置，可对审批模板进行新增、编辑，可将模板应用于具体的在线利用、实体借阅等业务中。

### 3) 档案检索

系统需具备较强的文档检索功能，满足文档利用人员的各类搜索需求，检索主要针对文档条目信息与电子文档内容信息，系统支持全库模糊搜索、高级检索、组合检索、结果内检索、目录树检索、以图搜图、音视频档案检索等。

### 4) 档案鉴定

对库房中保存期限已到期的档案进行鉴定，是否需要继续保存，需要继续保存的重新确定档案的保管期限，将其状态更改为“待调整期限”；不需要继续进行保存的，将其状态更改为“待销毁”。

### 5) 档案统计

档案统计包括档案分类统计、借阅统计、工作量统计、库房容量统计等基本统计功能，并根据实际需求增加统计内容事项。

### 6) 编研利用

按照数据结构方式设立专题库，选择专题类型进行编辑，建立编研库模板，在编研成果模板的基础上对专题库资料提炼，形成编研材料，进行发布，功能利用人员在线利用，系统可以提供常见的大事记、专题库、年鉴等编研成果。

### 7) 监督指导

将所属各单位的各门类数据库、管理规则、管理策略进行统一和标准化，打通利用壁垒、集成的档案系统，实现集团公司与所属单位、所属单位与集团公司、所属单位之间档案资源利用三方面多层次互

通，达到对于档案管理全过程控制和持续性监督。

### 8) 移交进馆

根据上级业务部门制定规范，到期移交档案相关数据进行鉴定，并报请上级审核后移出系统或执行后台备份（此为预设功能，后期可结合实际需求进行完善）。

### 9) 智慧库房一体化管理

智慧库房管理平台主要由控制台、控制服务器、液晶显示屏、电源集中管理系统、库房管理平台系统等组成，将多个库房的各项单元系统全部集成到一起方便实时管理，并与电子档案数据、智能密集架系统打通，使整个管理系统实现自动化平台运转。构建智慧库房一体化管理平台，集成库房内的所有智能化硬件进行统一管理、统一调配，将电子档案管理和实体档案管理进行有效结合，打破传统的电子档案管理和实体档案管理独立运行的痛点问题。

### 10) 档案库房环控系统

构造统一的环境监控和管理，通过数据采集和网络传输的方式，将各自独立的库房基础设施的运行指标、参数等数据集中存储、查询和监控，同时对于异常数据进行多种方式报警，从而缩短判断故障的时限，提高解决故障的能力，达到实时记录和监控、有效预警和报警，一定程度上改变设备出现故障再进行维修的被动局面，做到预防在先，把隐患和故障消灭在萌芽中，实现对库房环境系统的综合、安全和无人值守的高效能管理的目的，并接入到电子档案管理信息系统智慧库房一体化管理平台进行同步显示。

## 2.3 软硬件配置需求

1) 硬件配置需求，如表 1 所示。

2) 软件配置需求为档案管理信息系统与智能密集架控制系统、库房环控系统、门禁系统、BAS 系统应能兼容，系统之间设计接口。

## 3 档案智慧库房建设

为了适应智慧档案库房管理的需要，加快档案管理现代化建设的速度，严格按照档案库房安全保

表1 硬件需求

Tab.1 Hardware demand schedule

序号	硬件名称	规格	数量	备注
1	应用服务器	1CPU(16核); 32 GB 内存; 500 G 硬盘	2	主要进行系统程序的部署, 提供对外访问系统地址
2	数据库服务器	1CPU(16核); 32 GB 内存; 1 T 硬盘	1	主要用于结构化的数据的存储, 包括系统的配置数据, 电子档案元数据信息等
3	文件服务器	1CPU(16核); 32 GB 内存; 500 G 硬盘	2	主要用于部署对系统电子档案的存取及处理服务
4	存储	不小于 50 T	1	根据测算需求, 后期可根据数字化档案的实际存储需求增加

护的“八防”要求, 结合实体档案应用情况, 打造智慧档案库房。

档案智慧库房的建设需要考虑档案库房环境监测与实体档案的智能管理与利用两个方面, 包括智能密集架的建设及库房环控建设。

#### 1) 智能密集架

铁路局既有档案盒外形尺寸多为 310 mm × 220 mm (长 × 宽), 盒脊厚度有 30 mm、40 mm、50 mm 等, 档案盒多为横向摆放。为节省后期工作量, 智能密集架应考虑既有档案盒摆放模式。

为满足当前档案存放, 并预留不小于 8000 卷/年的增量, 密集架的设计应最大化利用空间, 同时将库房内主通道保证在不小于 1.5 m, 密集架行间距不小于 0.9 m。

#### 2) 库房环控

库房环控包含温、湿度检测控制系统、漏水报警监控系统、视频安防检测系统、红外防盗报警系统、门禁监控系统及智能防火报警、气体灭火系统、智能空气监测等。

### 4 基于综合信息网的档案管理信息系统

档案管理信息系统通过综合信息网对接路局既有办公管理信息系统平台, 提供档案的收集、整理、保管、检索、利用、鉴定、编研、统计等生命周期

过程监控、管理的所有相关功能, 实现档案信息的网络化共享和高效利用。按照长期规划、分期实施的理念, 首先实现局机关所有部门能够集中统一进行档案数据收集、整理、统计、发布等业务, 并预留全宗扩展通道, 后期逐步将各基层站段纳入到“档案云”管理中。

档案管理信息系统接入综合信息网能够实现以下几点:

1) 办公管理信息系统通过档案系统的标准接口直接推送数据至档案管理信息系统;

2) 通过调用办公管理信息系统中的流程审批功能, 实现档案管理工作中的档案借阅、鉴定销毁、赋权申请等各个方面的审批, 从而实现在同一个办公管理信息系统中完成档案系统的相关业务审批工作, 相关领导不需要单独关注档案系统中的审批事项;

3) 向办公管理信息系统提供目录检索、在线利用等接口, 以档案系统作为数据支撑, 实现全场景的利用;

4) 统一待办服务。将档案流程信息与办公管理信息系统消息集成配置, 可实现档案内部事项流转消息与办公管理信息系统进行统一提醒、统一办理, 从而增强用户体验。

### 5 总结

在铁路局部署档案管理信息系统, 实现铁路系统电子档案数据的集中和管理, 支持通过与其他应用系统进行接口对接, 进而实现对档案数据的归档, 应用系统可通过综合信息网按需调阅相应的档案数据, 实现了档案数据的更深层次的利用, 充分发挥档案数据的凭证性和知识属性。

#### 参考文献

- [1] 张冰. 高效档案系统智能管理的构建[J]. 现代信息科技, 2018, 2(3): 139-140.  
Zhang Bing. Construction of Intelligent Management of High Efficiency Archives

- System[J]. Modern Information Technology, 2018, 2(3): 139-140.
- [2] 王璐. 试论档案库房管理的现代化建设 [J]. 城建档案, 2020 (12): 56-57.  
Wang Lu. On the Modernization Construction of Archives Warehouse Management[J]. Future City Studies, 2020(12): 56-57.
- [3] 朱迎晓. 企业网络档案管理体系的形成与建设 [J]. 计算机与网络, 2008, 34 (16): 68-70.  
Zhu Yingxiao. Formation and Construction of Enterprise Network Archive Anagement System[J]. China Computer & Network, 2008, 34(16): 68-70.
- [4] 王居华. 铁路企业基层档案工作的思考 [J]. 办公室业务, 2018 (1): 115.  
Wang Juhua. Thoughts on Basic Archives Work in Railway Enterprises[J]. Office Operations, 2018(1): 115.
- [5] 许敏. 对加强新形势下企业档案管理工作的思考 [J]. 陕西档案, 2015 (2): 40.  
Xu Min. Reflections on Strengthening Enterprise Archives Management under the New Situation[J]. Shaanxi Archives, 2015(2): 40.
- [6] 李尚松. 办公自动化系统到档案管理系统对接的设计与实现 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019.
- [7] 周宝权. 基于UML的企业档案管理系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [8] 杨晓霞. 智能档案库房监控管理系统的设计与实现 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2021.
- \*\*\*\*\*

(上接 41页)

参考文献

- [1] 卢丹, 吴宏建. eSIM卡空中写号技术发展与安全问题分析 [J]. 电信网技术, 2016 (2): 1-6.  
Lu Dan, Wu Hongjian. Ananalysis of Embedded SIM Remote Provisioning Technologies and Security Problems[J]. Telecommunications Network Technology, 2016(2): 1-6.
- [2] 顾旻霞, 刘廉如, 陈豪, 等. 嵌入式UICC远程签约管理安全威胁分析 [J]. 信息通信技术, 2015, 9 (1): 7-10, 44.  
Gu Minxia, Liu Lianru, Chen Hao, et al. Security Threats Analysis of Embedded UICC Remote Provisioning[J]. Information and Communications Technologies, 2015, 9(1): 7-10, 44.
- [3] 王首婧. 基于GSM-R的通信模组管理平台的设计与研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 37-40, 50.  
Wang Shoujing. Design and Research on Communication Module Management Platform Based on GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 37-40, 50.
- [4] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路数字移动通信系统 (GSM-R) SIM卡管理系统技术条件: Q/CR 712-2019[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2019.
- [5] 中华人民共和国铁道部. 铁路数字移动通信系统: TB/T 3324-2013[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.011

# 面向无人驾驶的地铁自动排班算法设计

马伟杰<sup>1</sup>, 王绍新<sup>2, 4</sup>, 饶 娅<sup>3</sup>, 李鸿毛<sup>2</sup>, 蒋 远<sup>2</sup>

- (1. 上海地铁第一运营有限公司, 上海 200003;
2. 卡斯柯信号(成都)有限公司, 成都 610083;
3. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 上海 201103;
4. 西南交通大学信息科学与技术学院, 成都 611756)

**摘要:** 以上海地铁10号线为例, 在无人驾驶的运营模式上, 提出一种轮乘点推荐方法, 根据推荐指数计算结果, 将原来的单轮乘点调整为双轮乘点设置, 全面研究开发一套自动排班算法。与人工排班相比, 排班过程实现完全自动化, 司机人数减少30余人, 生产率由60%左右提高至约72%, 实现减员增效, 提高了地铁公司的运营能力。

**关键词:** 无人驾驶; 轮乘点推荐指数; 自动排班; 生产率

中图分类号: U231+.6 文献标志码: A 文章编号: 1673-4440(2023)03-0051-06

## Design of Auto Crew Scheduling Algorithm for Driverless Metro

Ma Weijie<sup>1</sup>, Wang Shaoxin<sup>2, 4</sup>, Rao Ya<sup>3</sup>, Li Hongmao<sup>2</sup>, Jiang Yuan<sup>2</sup>

(1. Shanghai NO.1 Metro Operation Co., Ltd., Shanghai 200003, China)

(2. CASCO Signal (Chengdu) Co., Ltd., Chengdu 610083, China)

(3. Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., Shanghai 201103, China)

(4. Technical Center of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

**Abstract:** Taking Shanghai Metro Line 10 as an example, this paper proposes a method of recommendation index for shifting station in the driverless operation mode. According to the calculation results of the recommendation index, the original single shifting station setting is adjusted to double, and a set of crew scheduling algorithm for driverless metro is developed. Compared with manual crew scheduling, the crew scheduling process is fully automated, the number of drivers is reduced by more than 30, the productivity is increased from about 60% to about 72%, and the operation capacity of the metro company is improved.

**Keywords:** driverless metro; recommendation index for shifting station; auto crew scheduling; productivity

收稿日期: 2022-03-11; 修回日期: 2023-01-05

基金项目: 上海申通地铁集团有限公司科研项目(JS-KY19R003)

第一作者: 马伟杰(1975—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通运营管理, 邮箱: 2320298967@qq.com.

## 1 概述

自动排班问题是一个典型的多目标多约束条件的组合最优化问题，属于著名的 NP 难题。合理的乘务排班不仅有利于安全正点的运行，还能够提高资源的利用率，有效地降低运营和维护成本。关于自动排班这个核心功能和业务，国内有众多的科技公司以此为核心技术，从事专业的排班和运营服务；国外典型的有 2 家公司也形成了专业化的软件产品，一家是加拿大的 GIRO 公司，产品是 HASTUS 软件。另一家是新加坡的 SMRT 公司，研发了 MrtSchedule 软件，此类产品均提供自动排班、运营、管理及数据服务等业务。

目前，上海地铁 10 号线信号系统采用先进的全自动运行系统，根据全自动运行线路的特性，10 号线采用了不同于其他线路的运维一体化管理模式。自 2015 年 4 月起，10 号线成立了运营维护管理部，全面负责对 10 号线控制中心、客运服务、乘务、相关设施设备的全寿命管理。

## 2 自动排班系统设计

自动排班问题就是按照乘务调度规则和资源约束条件，将所有列车运行区间组合成若干个可行的最小任务集合，按照劳动强度均衡的原则分配给乘务组，形成最优的乘务调度计划。

排班计划生成过程主要包括以下 4 步：

- 1) 确定轮乘点个数及站点；
- 2) 运行区间拆分最小任务段；
- 3) 形成最小任务集合；
- 4) 生成司机排班计划。

### 2.1 确定轮乘点个数及站点

轮乘点应根据当前的运行图和乘务资源信息，通过算法得到较为均衡的、轮乘成本较低的轮乘点，且个数可灵活配置。考虑到轮乘点除出勤、退勤的功能外，还承担着乘务人员休息、培训、管理等功能，建议由人工综合考虑选择较大的站点，能够提供较好的基础设施来实现休息、培训、管理等功能，

然后通过算法计算获得最佳的推荐结果。

推荐算法的参数有两个，分别是个数  $n$  和单次任务时长  $t_0$ 。根据参数设置，提取运行时刻表中的数据并重组为各车底的全天运行数据，由设置的轮乘点进行拆分为每一个最小任务段。

假设车底任务集合为  $\{R_i, i = 1, 2 \cdots N\}$ ，轮乘点集合为  $\{S_j, j = 1, 2 \cdots n\}$ ，车底号  $R_i$  运行任务被拆分为最小任务段集合  $T_i = \{T_i^1, T_i^2 \cdots T_i^{k_i}\}$ ，其中  $k_i$  为第  $i$  车底拆分的最小任务段数。

若车底  $R_i$  的最小任务段集合  $T_i$  对应运行时间为  $t_i = \{t_i^1, t_i^2 \cdots t_i^{k_i}\}$ ，其均值和方差表示当前车底任务的拆分状态，如公式 (1)、(2) 所示。

$$\text{mean}_i = \text{mean}\{t_i^1, t_i^2 \cdots t_i^{k_i}\} \quad (1)$$

$$\text{std}_i = \text{std}\{t_i^1, t_i^2 \cdots t_i^{k_i}\} \quad (2)$$

分别定义偏离度指数和均衡度指数，用来说明各车底拆分的一致性，如公式 (3)、(4) 所示。

$$\text{偏离度指数 } I_{\text{bias}} = 2 \times \text{abs}(\text{mean}\{\text{mean}_i, i = 1, 2 \cdots N\} - t_0) + \text{std}\{\text{mean}_i, i = 1, 2 \cdots N\} \quad (3)$$

$$\text{均衡度指数 } I_{\text{balance}} = 2 \times \text{abs}(\text{mean}\{\text{std}_i, i = 1, 2 \cdots N\}) + \text{std}\{\text{std}_i, i = 1, 2 \cdots N\} \quad (4)$$

最终的推荐指数为： $I_{\text{recommend}} = I_{\text{bias}} + I_{\text{balance}}$

### 2.2 运行区间拆分最小任务段

根据运行时刻表，不同的运行区间或路径可以用车底号来表示，设  $S$  为线路停发站，运行终到站在一天中的运行顺序可表示为： $(S) \rightarrow (1) \rightarrow (2) \rightarrow \cdots \rightarrow (i-1) \rightarrow (i) \rightarrow (i-1) \rightarrow \cdots \rightarrow (2) \rightarrow (1) \rightarrow (S)$ 。

假设第  $(i)$  站为轮乘点，则去除非轮乘点或停发站的站点，得到本车底的最小任务段为： $(S) \rightarrow (i) \rightarrow (S)$ 。

以线路两端始发站、车厂和轮乘点为分割点，将运行线路划分为乘务区段，划分为最小任务段集合： $\{T_n | n = 1, 2 \cdots N\}$ 。

其中  $T_n$  代表第  $n$  个乘务区段。

### 2.3 形成最小任务集合

本步骤的主要任务是拆分运行区间并形成最小任务集合。将乘务区段按照乘务规则组成最小任务，

一般最小任务均是开始并结束于乘务基地、车厂或轮乘点。最小任务的计划编制工作主要是根据轮乘点将列车运行线用算法等方法分成可行的、经过优化的乘务作业段。截止目前，只能知道总共有多少个最小任务，每一条任务必须且只能安排一组乘务人员负责，至于哪个乘务人员负责哪些最小任务此时还无法确定。最小任务分配中可能存在重复覆盖任务区段的情况，导致乘务组闲置，增加乘务调度成本。因此要从可行最小任务中选择出能覆盖所有区段并保证成本最小的最小任务，形成最优最小任务集合。

设当前运行时刻表中包含  $m$  个最小任务区段，建立具有  $m$  个节点的乘务区段有向图  $G$ 。则  $G$  中可行的最小任务集合可表示为  $C = \{C_1, C_2 \cdots C_n\}$ 。

建立问题的集合覆盖模型如下：

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, i = 1, 2 \cdots m \\ & x_j \in \{0, 1\}, j = 1, 2 \cdots n \end{aligned}$$

其中，

$c_j$  表示第  $j$  个可行最小任务对应的成本；

$x_j$  是 0-1 变量，是最小任务的取值变量；

$a_{ij}$  是 0-1 矩阵  $A = \{a_{ij} | i = 1, 2 \cdots m; j = 1, 2 \cdots n\}$  中第  $i$  行第  $j$  列的值，记录着第  $i$  个区段是否在第  $j$  个最小任务中，它保证在最优的可行最小任务集合中，每一个乘务区段至少被覆盖一次。

## 2.4 生成司机排班计划

排班计划生成过程的具体目标为“人”，即主要任务是把最小任务分配给各乘务人员或乘务组，计划好每天的最小任务由哪一组乘务来担当，采用遗传算法来实现，算法流程如图 1 所示。它是乘务组的综合工作计划，根据给定的最小任务、乘务方式及有关乘务规程等条件，对乘务人员（组）在什么时间、地点出乘，在什么时刻担当哪个车次，在什么时间和地点轮乘等工作做出具体的安排，以确保列车开行计划的实现。

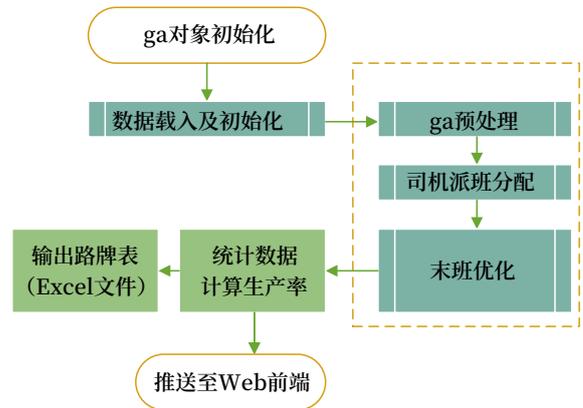


图1 自动派班算法

Fig.1 Auto crew scheduling algorithm

本文以生产率最高为目标，从时间和空间两方面来对问题进行约束，根据约束条件对司机资源进行任务分配如图 2 所示。计划操作完成后，进行排班任务的冲突检测与修复如图 3 所示，输出乘务人员工作计划（即路牌表）。

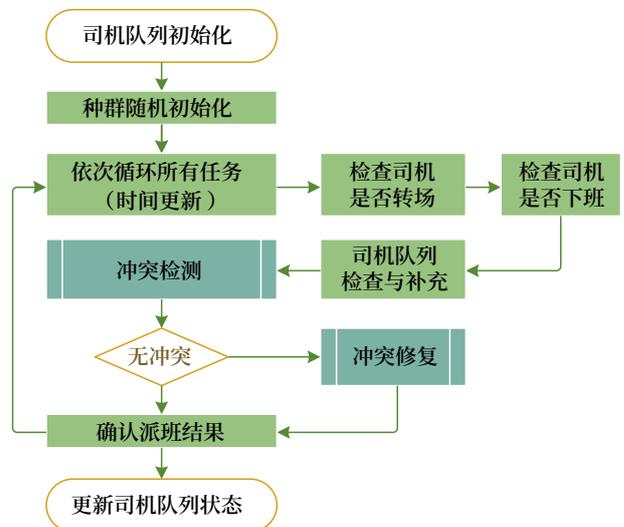


图2 司机任务分配

Fig.2 Crew task assignment

正线司机生产率，是体现地铁运营企业所有正线司机驾驶列车进行正线运行的效率重要指标，正线司机生产率是年总运营列小时与正线司机总工时的比值。其所得的结果，数值越大，指标表现越好。

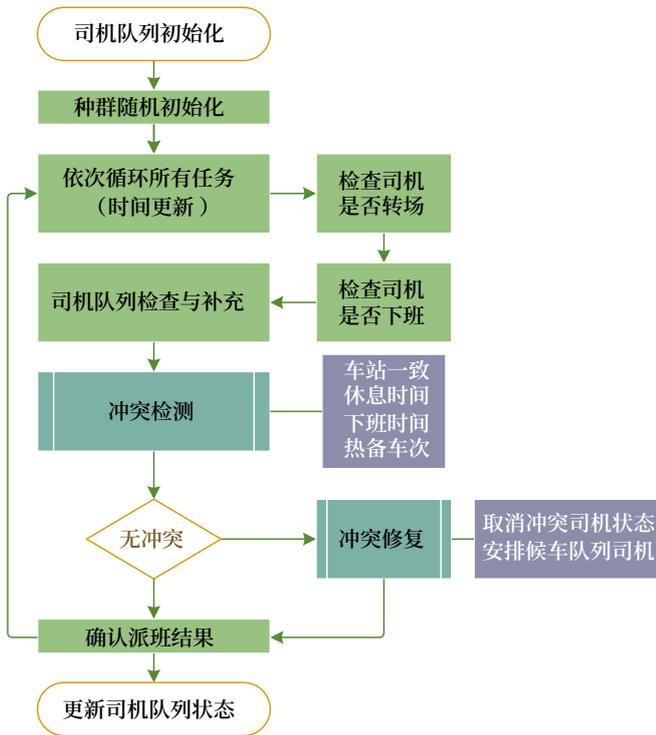


图3 排班冲突检测与修复  
Fig.3 Check and repair of conflict

### 3 生产率优化的排班结果

#### 3.1 轮乘点推荐结果

当前运营时刻表共有 46 个车底，去除 3 条热备线路外，有 43 个正常载客任务的车底。基础设施条件较好的 7 个候选轮乘点如表 1 所示。

表 1 轮乘点候选站点

Tab.1 Candidates of shift station

序号	轮乘点
1	陕西南路
2	基隆路
3	龙溪路
4	交通大学
5	四川北路
6	江湾体育场
7	新江湾城

推荐算法处理结果如表 2 所示。

由表 2 可知，在轮乘点个数为 2 个的条件下，最优的候选站点为陕西南路和基隆路。

表 2 推荐指数计算结果

Tab.2 Calculation Results of recommendation index

车站组合	车站 1	车站 2	偏离均值	偏离方差	均衡均值	均值方差	偏离度指数	均衡度指数	推荐总指数
12	陕西南路	基隆路	52.46	7.44	10.39	4.55	22.52	25.33	47.85
11	陕西南路	陕西南路	62.79	12.77	16.49	6.99	18.35	39.97	58.32
22	基隆路	基隆路	129.76	33.42	28.77	21.39	172.94	78.93	251.87
17	陕西南路	新江湾城	41.08	8.39	10.49	3.7	46.23	24.68	70.91
47	交通大学	新江湾城	41.14	8.42	9.01	4.96	46.14	22.98	69.12
46	交通大学	江湾体育场	35.03	6.09	9.12	3.07	56.03	21.31	77.34

#### 3.2 自动排班结果

当前排班结果的司机人数为 155 人，生产率为 71.67%。部分司机路牌表结果如图 4 所示。

工作时间总长暂定为 8 h，判断下班的弹性范围为 0.5 h；经过优化，大部分司机上班时间为 7 ~ 9 h，如图 5 所示。

目前的休息时间参数设定为 15 min。经过候车队列个数和次序的优化，目前约有 40% 的司机在休息结束后等待 3 min 内即可上车执行下一个任务；85% 的任务等候时间不超过休息结束的 15 min，如图 6 所示。

### 4 结论及展望

综上所述，通过自动排班算法的研发，实现了全自动排班结果的计算与输出，与人工排班动辄耗费数周的人力相比，排班过程实现完全自动化，司机人数减少 30 余人，生产率由原来人工排班的 60% 提高至约 72%，实现了减员增效，提升了地铁公司的运营能力。

未来可根据需求开展进一步优化，可能的方向如下。

#### 1) 任务排班定制

车次	司机	车次 (分钟)	车厂 (小时)	出发时间	到达时间	出发站	到达站	车型	车次 (分钟)	车厂 (小时)	出发时间	到达时间	出发站	到达站	车型
1	1	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	1	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	1
2	2	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	2	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	2
3	3	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	3	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	3
4	4	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	4	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	4
5	5	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	5	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	5
6	6	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	6	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	6
7	7	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	7	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	7
8	8	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	8	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	8
9	9	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	9	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	9
10	10	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	10	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	10
11	11	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	11	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	11
12	12	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	12	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	12
13	13	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	13	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	13
14	14	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	14	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	14
15	15	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	15	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	15
16	16	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	16	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	16
17	17	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	17	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	17
18	18	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	18	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	18
19	19	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	19	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	19
20	20	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	20	30	8:00	08:10	08:20	车厂	站	20

图4 司机路牌表  
Fig.4 List of crew task

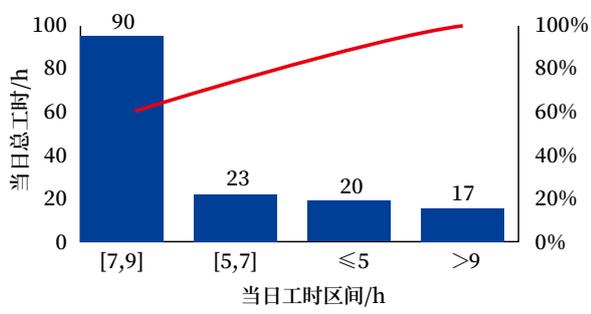


图5 工作时长  
Fig.5 Working hours

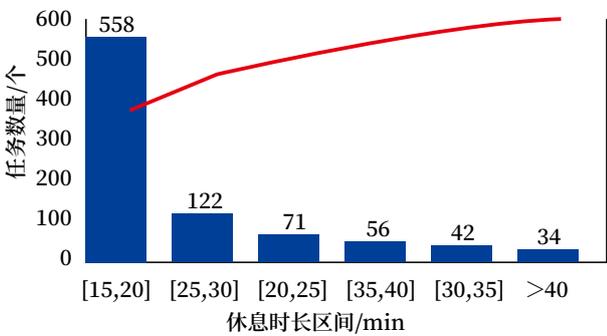


图6 休息间隔  
Fig.6 Rest interval

增加临时的、可控的在线约束条件，以解决客户的应急情况，如加班、生病、突发、指定换班、

临时请假调休、应急加开班次等情况，可在排班过程中增加功能函数，核心是在任务处理过程中，判断当前任务的时间及司机排班状态，增加新任务的条件下，重新调整种群 population 矩阵及司机队列，完成冲突检测与修复后实现新目标函数的排班。

2) 智能排班

算法经过地铁公司一段时间的试运营后，引入机器学习和大数据的机制，逐步由自动排班过渡为基于 AI 的智能排班。

参考文献

[1] 李子卿. 城市轨道交通乘务排班问题的策略优化研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.  
 [2] 银大伟. 乘务计划编制系统的研究与设计 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008.  
 [3] 金华, 陈绍宽, 彭小波, 等. 城市轨道交通乘务排班计划方案评价方法 [J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20 (3): 109-112.

Jin Hua, Chen Shaokuan, Peng Xiaobo, et al.

- Evaluation Method for Crew Scheduling of Urban Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(3): 109-112.
- [4] 丰富. 城市轨道交通乘务排班计划优化方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015
- [5] 石俊刚, 史宏杰, 徐瑞华. 城市轨道交通乘务任务划分模型及算法研究 [J]. 铁道学报, 2014, 36 ( 5 ): 1-7.  
Shi Jungang, Shi Hongjie, Xu Ruihua. Modeling and Solving Urban Rail Transit Crew Pairing Problems[J]. Journal of the China Railway Society, 2014, 36(5): 1-7.
- [6] 刘杰, 代佳妮. 基于驾驶质量的城市轨道交通乘务排班优化研究 [J]. 重庆交通大学学报 ( 自然科学版 ), 2019, 38 ( 4 ): 116-122.  
Liu Jie, Dai Jiani. Optimization of Crew Schedule of Urban Rail Transit Based on Steering Quality[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2019, 38(4): 116-122.
- [7] 吴玲玲, 晏克非, 陈刚. 基于遗传算法的轨道交通线路排班优化研究 [J]. 计算机科学, 2007, 34 ( 3 ): 211-212.  
Wu Lingling, Yan Kefei, Chen Gang. Optimization of Schedule of Rail Transit Based on Genetic Algorithm[J]. Computer Science, 2007, 34(3): 211-212.
- [8] 潘寒川, 刘志钢, 吴强, 等. 考虑用餐约束的城市轨道交通乘务计划编制优化研究 [J]. 铁道运输与经济, 2019, 41 ( 1 ): 121-126.  
Pan Hanchuan, Liu Zhigang, Wu Qiang, et al. A Study on the Optimization of Crew Scheduling in Urban Rail Transit with the Meal Constraint[J]. Railway Transport and Economy, 2019, 41(1): 121-126.
- [9] 陈仕军, 沈吟东, 苏璇, 等. 带中式用餐约束的乘务调度问题 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13 ( 2 ): 90-95.  
Chen Shijun, Shen Yindong, Su Xuan, et al. A Crew Scheduling with Chinese Meal Break Rules[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2013, 13(2): 90-95.
- [10] 陈明明, 牛惠民. 多车场公交乘务排班问题优化 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13 ( 5 ): 159-166.  
Chen Mingming, Niu Huimin. An Optimization Model for Bus Crew Scheduling with Multiple Depots[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2013, 13(5): 159-166.
- [11] 张增勇, 毛保华, 杜鹏, 等. 基于惩罚费用的城市轨道交通乘务排班优化模型与算法 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14 ( 2 ): 113-120.  
Zhang Zengyong, Mao Baohua, Du Peng, et al. Urban Rail Transit Crew Scheduling Model and Algorithm Based on Punishment Costs[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2014, 14(2): 113-120.
- [12] 许仲豪, 杜鹏. 基于列生成的城市轨道交通乘务计划优化编制方法研究 [J]. 铁道学报, 2019, 41 ( 3 ): 25-32.  
Xu Zhonghao, Du Peng. A Column Generation-Based Crew Scheduling Optimization Method for Urban Rail Transit[J]. Journal of the China Railway Society, 2019, 41(3): 25-32.
- [13] 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.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.012

# 上海地铁智能运维平台的道岔设备管理

于秦龙

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 上海 200237)

**摘要:** 研究以上海地铁 13 号线为试点的基于综合运维的信号设备维护模式转型, 以现场道岔设备为切入点, 通过对通号智能运维平台运用简介并结合现场设备管理的实施进行讨论, 为上海地铁向智慧通号的转型进行探索, 积累经验。

**关键词:** 上海地铁; 综合运维; 道岔; 设备管理

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0057-06

## Turnout Equipment Management Based on Intelligent Operation and Maintenance Platform of Shanghai Metro

Yu Qinlong

(Shanghai Metro Maintenance Co., Ltd., Shanghai 200237, China)

**Abstract:** This paper mainly studies the transformation of signaling equipment maintenance mode based on integrated operation and maintenance platform, which is piloted on Shanghai Metro Line 13. Taking the field turnout equipment as the example, this paper introduces the application of the intelligent operation and maintenance platform of signal and communication system, discusses the implementation of field equipment management, and explores the transformation of Shanghai metro to smart signal and communication, and accumulates experience.

**Keywords:** Shanghai metro; integrated operation and maintenance; turnout; equipment management

### 1 概述

上海地铁智能运维程度不断推进, 现场设备管理逐步从传统计划性维护向基于综合运维及在线监测的设备状态性维护转型, 对现场基础设备管理水平提出更高需求, 本文通过对上海地铁 13 号线

(简称 13 号线) 道岔设备管理现状及未来趋势进行探讨, 为今后道岔设备管理智能化积累经验。

### 2 现场情况

13 号线全线西起金运路东至张江路, 全线总计 50 km。由于城市规划需求及建设周期等原因, 全线分期开通, 造成全线设备制式不统一, 为设备集中管理造成难点, 以道岔转辙设备为例, 其中 1 期线路 (金运路站 - 长清路站), 采用 ZDJ9AB 型及 ZYJ7 型转辙机, 2、3 期线路 (成山路站 - 张江路站), 采用 ZDJ9CD 型转辙机, 全线共计转辙机 60

收稿日期: 2021-12-27; 修回日期: 2023-02-07

作者简介: 于秦龙 (1989-), 男, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号系统技术, 邮箱: yuqinlong1989@126.com。

组，年操动次数共计 110 余万次。随着上海地铁将迈入超大规模网络化运营阶段，如何确保线路道岔设备状态稳定是摆在信号人员面前一门重要的课题。传统的人工管理已经不能完全适应如今智能化地铁的设备管理理念，为探索基于综合运维的道岔设备管理，上海地铁通过研发通号系统智能化运维平台，并以 13 号线作为试点，开展基于设备动态变化的主动维护。现场基于此优势不断优化管理并对系统提出改进建议，逐渐完善设备状态，形成可控体系。

2019 年至今，13 号线全线取得连续 3 年道岔零故障的成绩。

### 3 系统功能

13 号线在线设备管理基于通号智能运维平台，应用图形化及模块化形式对设备状态进行在线监测，通过状态量变化提供主动预警及报警，提醒员工及时干预设备隐患，降低人工巡检成本，提升现场设备维护效率，如图 1 所示。



图1 通号智能运维平台界面

Fig.1 Intelligent operation and maintenance platform interface of signal and communication system

#### 3.1 道岔动作曲线生成及计算

通过对 1DQJ 接点增设开关量以及对 DBQ 三

相线圈进行感应，采集电流绘制道岔电流曲线，系统可计算获取道岔功率曲线，如图 2 所示。

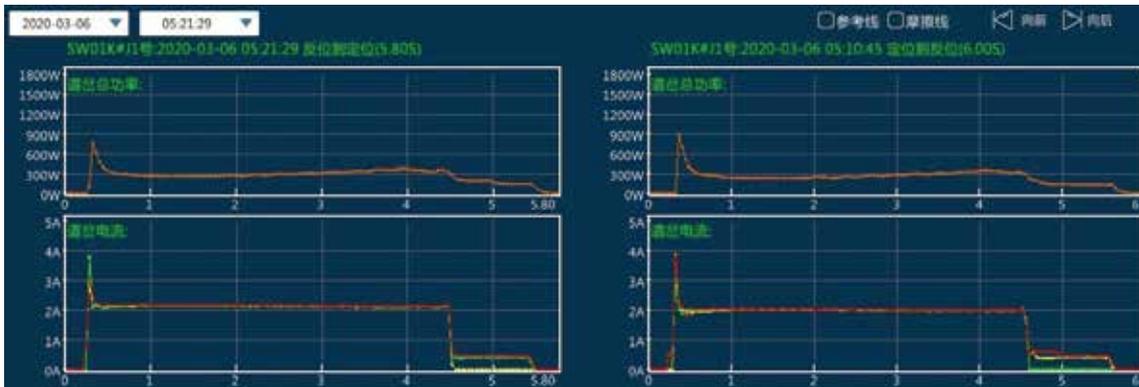


图2 电流及功率曲线

Fig.2 Current and power curve

系统根据内置 ZDJ9 型转辙机电路原理图采集 1DQJ、2DQJ 等关键继电器数据,进行故障曲线建模,故障一般分为 3 类。1) 控制电路故障(道岔组合继电器动作不正常);2) 启动电路故障(道岔

组合继电器动作正常,但道岔无法转换或转换不到位);3) 表示电路故障(道岔转换到位后无表示)。系统在道岔故障后给出相应报警,如图 3 所示。



图3 故障报警及预警

Fig.3 Fault alarm and early warning

### 3.2 对道岔实时值进行在线监测

系统通过对关键节点(分线盘)、继电器(DBJ/FBJ)等进行电压采集,计算道岔表示日曲线、月曲线及年曲线,并形成报表绘制趋势图,同时结合录入的现场维护及实验所得表示电压故障数

据,将系统监测到的电压异常数据进行智能比对,列出可能故障类型及故障点,进一步缩短现场道岔表示故障处置时间,同时在实测数据与标准数据发生偏差时,会给出相应报警,提醒现场维护人员及早解决,避免故障,如图 4 所示。

序号	设备名	道岔状态	1DQJ	道岔电压	道岔电流	道岔电压	道岔电流
1	SW07K#1	反位	落下	0.00V	14.76V	21.06V	60.22V
2	SW07K#2	反位	落下	0.00V	13.06V	21.18V	60.24V
3	SW05K#1	反位	落下	0.00V	13.54V	20.79V	60.44V
4	SW05K#2	反位	落下	0.00V	14.20V	21.07V	60.36V
5	SW03K#1	定位	落下	21.74V	68.74V	0.00V	13.68V
6	SW03K#2	定位	落下	22.39V	68.50V	0.41V	1.90V
7	SW12K#1	定位	落下	22.40V	59.72V	0.69V	12.38V
8	SW03K#3	定位	落下	21.57V	68.36V	0.00V	1.68V

图4 道岔实时值报表

Fig.4 Turnout real-time value report

### 3.3 对每组道岔设置参考曲线

道岔设备受外部工况影响较大,具体可通过功率曲线峰值及时间体现,系统可对单组道岔设置参考曲线,一旦曲线及功率发生变化并超过阈值,系统会相应给出预警。一般体现在转换过程中由于滑床板、尖轨等状态变化导致功率曲线突变及转换时间增加,现场维护人员可根据实际情况进行人为干预,确保设备状态可控,如图 5 所示。

### 3.4 接入道岔缺口信息

道岔缺口是道岔设备另一项重要的参数,缺口稳定一定程度体现设备机械状态的稳定,系统通过

在线摄像头对单组道岔缺口进行在线监测,缺口一旦发生变化,现场会及时调整检修计划,对可能导致缺口变化的原因,如外部工况变化、尖轨密贴变化、机械连接部分松动等,进行查看并做相应调整。

### 3.5 站场及开关量回放

系统目前对道岔组合内 SJ、DCJ、FCJ、1DQJ、DBJ、FBJ 等开关量进行监测,基本涵盖道岔控制电路、启动电路及表示电路,结合道岔动作时间点的站场回放可完整还原道岔动作场景,确认当时继电器时序状态,提高现场排故效率。

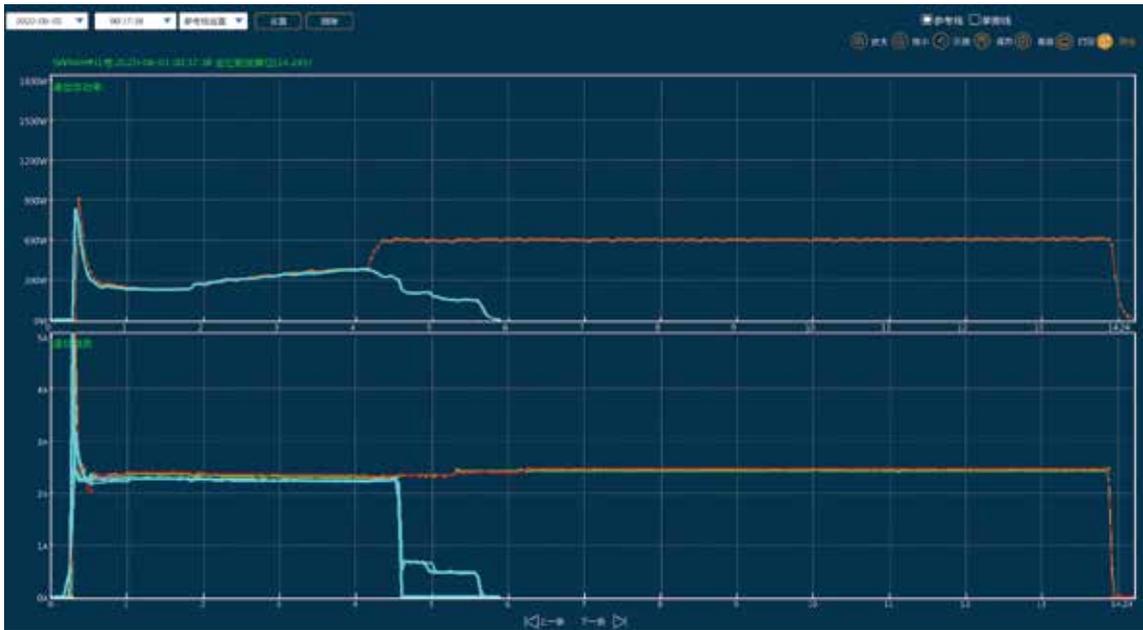


图5 故障电流及功率曲线与参考曲线对比  
Fig.5 Comparison between fault current and power curve and reference curve

## 4 系统应用

日常生产管理过程中，现场充分利用智能运维平台，对道岔设备进行智能化管理，根据设备状态变化灵活调整检修计划，效果良好，下面就几例基于在线监测预警进行人为干预的案例进行探讨。

### 4.1 华鹏路道岔动作曲线异常

现场在进行道岔日常巡检过程中发现华鹏道岔电流曲线异常，夜间临修对该组道岔绝缘进行测试发现4线、5线绝缘为0，进一步检查为机壳内03-04安全接点与机壳接触。这种情况下，当两台道岔同时动作时，导致A相与B相出现电流叠加，如图6所示。

后续维护人员对辖内设备进行普查，为螺杆进行绝缘包裹，同时利用智能运维平台对道岔线缆绝缘进行在线监测，杜绝该类故障重复发生。

### 4.2 华鹏路道岔日报表异常

现场在巡检道岔日报表时发现华鹏7号岔J2表示电压曲线异常，根据维护经验判断怀疑室外二极管部分开路导致，当晚对该隐患进行排查，首先对电压进行实测排除监测问题，再通过甩线确认室外二极



图6 华鹏路异常电流曲线  
Fig.6 Huapeng Road abnormal current curve

管部分开路导致表示直流电压降低，交流电压升高，更换二极管整流堆后恢复正常。后续维护人员将道岔电压实时值及日报表巡检列为常态化巡检内容。

### 4.3 华夏中路绝缘测试异常

现场在夜间施工期间通过系统对道岔线缆绝缘进行测试，发现华夏中路6号岔J1对地绝缘为0，随即甩开室内电源，用绝缘电阻表实测发现X4对地绝缘为0，通过逐断甩线排查，转辙机内12号端子至XB箱12号端子电缆对地绝缘为0，进一步发现该线缆有轻微破皮现象，现场对电缆进行绝缘包裹，测试设备正常，绝缘良好，如图7所示。

13	SW06I#J1-X4	0.1(MΩ)	2020-05-04 03:36:13
14	SW06I#J1-X5	1.3(MΩ)	2020-05-04 03:36:25
15	SW06I#J2-X4	20.0(MΩ)	2020-05-04 03:04:07
16	SW06I#J2-X5	20.0(MΩ)	2020-05-04 03:04:19

图7 电缆对地绝缘异常  
Fig.7 Abnormal insulation of cable to ground

## 5 现场管理手段

智能运维平台的日趋成熟，现场逐步通过学习与实践提高设备管理能力，主要通过以下几部分开展工作。

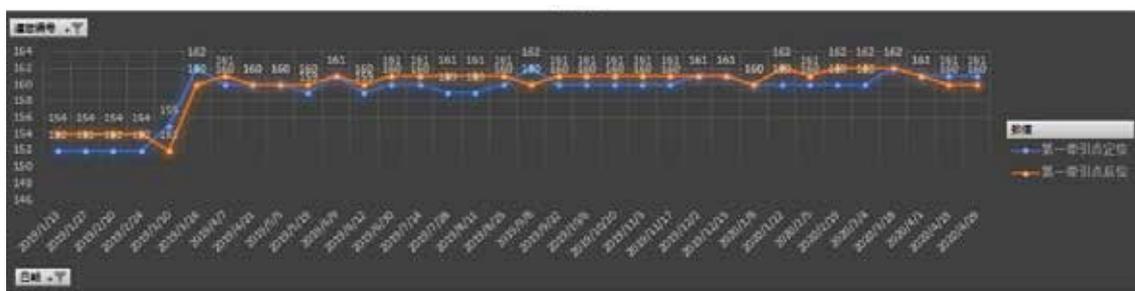
### 5.1 针对设备状态整改计划

将2019年度现场道岔自检自修故障进行汇总并梳理，发现多起隐患都是由于道岔线缆对地绝缘不良导致曲线异常。经过排查将问题定位于机内螺

杆与机壳接触导致，进一步分析根源还是在于建设期间施工遗留问题造成道岔角钢绝缘普遍不良。在申通地铁通号分公司年度绝缘分解工作的指导下，现场结合实际对角钢绝缘整治制定专项计划，整治完成后进行追踪与作业评估。本年度辖内道岔暂无因绝缘不良导致的异常曲线。

### 5.2 道岔大数据建立

在13号线2、3期所辖道岔设备的试点区，基于日常检修及工电联检，结合智能运维平台道岔设备的预警数据，以单组道岔为单位，将工电结合处、机械及电气参数等关键数据进行梳理统计并形成数据库，周期涵盖设备上道至今，做到设备全寿命周期管理，方便现场对所辖道岔进行维护数据溯源，利用大数据趋势分析并追踪设备状态，以此为依据对设备状态进行分类，确立阶段性维护重点，同时对智能运维平台数据进行补充，如图8所示。



(a) 道岔开程变化统计  
(a) Turnout throw change statistics



(b) 道岔密贴变化统计  
(b) Turnout closure change statistics

图8 道岔大数据统计

Fig.8 Big data statistics of turnouts

### 5.3 现场QC推进

现场以QC课题为抓手，开展ZDJ9型电动转辙机动作曲线分析，利用PDCA循环，对路网同类设备开展调查、梳理故障类别，现场模拟故障采集

数据，最终形成具有实际参考价值的报告、评估及改进建议。整个过程有效提升了现场员工电路分析能力，并发挥现场维护经验的优势，为智能运维平台的分析能力提供数据及模型支撑。

#### 5.4 建立现场设备双预防机制

以道岔设备为试点,开展现场层级设备双预防机制管控,即对设备进行“安全风险管控机制和隐患排查治理”。现场以 Fema 为手段对道岔设备进行风险识别,形成风险清单;以人为差错为切入点进行隐患排查治理,杜绝人为低级失误对设备造成的负面影响,此外现场还开展诸如工器具清点制度、螺栓放松标记等防差错手段对设备进行管控,并结合智能运维平台形成现场风险及隐患案例库。

### 6 系统改进建议

现场通过近两年来对系统的运用切实提高了道岔设备的管理水平,并结合现场 QC 开展的结果及需求对系统提出部分改进建议如下。

#### 6.1 增加开关量时序图形化监测

对各继电器采集将继电器开关量时序形成图形化输出,方便对操岔场景进行还原后进行逻辑分析,更直观定位故障点,同时根据继电器动作时间变化,对继电器状态进行盯控。

#### 6.2 对BHJ电压进行在线监测

2020年、2021年,现场发生多起因DBQ器材不良造成道岔表示突变从而影响行车的安全隐患。BHJ的状态是判断道岔启动电路中三相完整性的重要依据,现阶段监测功能无法满足相关故障点定位功能,建议增加DBQ输出电压监测,具体方法可通过采集BHJ线圈来进行DBQ输出监测。

### 7 小结

本文通过现场对13号线智能运维平台的运用,结合现场道岔设备管理诸多过程开展进行讨论,并提出系统改进建议,旨在提高现场设备管理水平,为推动基于综合运维的现场维护模式转型进行探索。

#### 参考文献

- [1] 林瑜筠. 铁路信号基础 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [2] 赵喜楨. 电气化轨道自动监控系统(轨道电路)

的研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.

- [3] 上海申通地铁集团有限公司, 轨道交通培训中心. 城市轨道交通变配电技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
- [4] 吕平. 城市轨道交通智能运维的研究与应用 [J]. 工程建设与设计, 2020(12): 251-252.
- Lv Ping. Research and Application of Intelligent Operation and Maintenance of Urban Rail Transit [J]. Construction & Design for Engineering, 2020(12): 251-252.
- [5] 张俊. 轨道交通智能运维系统应用探讨 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2020(5): 70-72.
- Zhang Jun. Discussion on the Application of Intelligent Operation and Maintenance System in Rail Transit [J]. Intelligent Building & Smart City, 2020(5): 70-72.
- [6] 林刚. 基于大数据云计算的铁路智能运维系统技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55(5): 37-41.
- Lin Gang. Study on Intelligent Operation and Maintenance System Based on Big Data and Cloud Computing [J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(5): 37-41.
- [7] 王庆锋, 杨剑锋, 刘文彬, 等. 过程工业设备维修智能决策系统的开发与应用 [J]. 机械工程学报, 2010, 46(24): 168-177.
- Wang Qingfeng, Yang Jianfeng, Liu Wenbin, et al. Development and Application of Process Industry Equipment Maintenance Information System for Intelligent Decision-Making [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(24): 168-177.
- [8] 滕东华, 汤春燕, 吴川, 等. 双重预防机制在道岔转辙设备维护作业中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(6): 82-87.
- Teng Donghua, Tang Chunyan, Wu Chuan, et al. Application of Dual Prevention Mechanism in Switch Equipment Maintenance [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 82-87.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.013

# 温州轨道交通LTE系统共用区域覆盖解决方案

林 静

(温州市铁路与轨道交通投资集团有限公司运营分公司, 浙江温州 325000)

**摘要:** 介绍温州轨道交通车-地无线通信方案, 指出线路共用区域无线覆盖方案面临的问题。为解决相关问题, 提出 LTE 系统共用区域 3 种覆盖方案并进行对比分析。针对不同应用场景选用不同的车-地通信 LTE 覆盖解决方案, 对其他轨道交通 LTE 系统建设具有一定的借鉴意义。

**关键词:** 轨道交通; LTE 系统; 共用区域; 覆盖方案

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0063-05

## Common Area Coverage Solution of LTE System for Wenzhou Rail Transit

Lin Jing

(Operating Branch, Wenzhou Mass Transit Railway Investment Group Co., Ltd., Wenzhou 325000, China)

**Abstract:** This paper introduces the train-ground wireless communication scheme of Wenzhou rail transit, and points out the problems of the wireless coverage scheme in the common area. In order to solve the related problems, three coverage solutions for the common area of LTE system are proposed and compared. Different train-ground communication LTE coverage solutions are selected for different application scenarios, which has a certain reference significance for the construction of other rail transit LTE systems.

**Keywords:** rail transit; LTE system; common area; coverage scheme

与 WLAN 技术相比, TD-LTE 车-地无线通信技术具备移动接入性强、抗干扰能力强、覆盖区域广等优势, 在轨道交通领域得到广泛推广和应用。在实际工程建设中, 轨道交通线路很难获批完整的 20 MHz 带宽资源 (1 785 ~ 1 805 MHz), 面对不断增长的轨道交通车-地无线需求, 以及越来越多的复杂场景 (如多线共用场段、同站台换乘、多线并行等), 需充分利用有限的 1.8 G 频率资源, 并考虑引入新的技术方案, 以实现车-地业务的安全、可靠承载, 并减少信号干扰。

收稿日期: 2022-01-19; 修回日期: 2023-02-06

作者简介: 林静 (1990—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通通信信号, 邮箱: 525843309@qq.com。

### 1 温州轨道交通车-地无线通信方案

温州轨道交通 S1 线和 S2 线车-地无线通信方案均采用 LTE 技术, 基于监管要求及行业竞争因素, 且 S1 线和 S2 线大部分均为高架线路, 未能完整获批 20 MHz 频段, 其中 S1 线获批使用频段 1 785 ~ 1 800 MHz, 承载集群、乘客信息系统 (PIS) 和视频监控 (CCTV) 业务, 信号系统为点式 ATC 系统, 仅在部分区域部署 WLAN 设备, 采用 IEEE802.11a 标准; S2 线获批使用频段 1 790 ~ 1 800 MHz, 采用双网方案, 除特殊区域外, A 网采用 1 790 ~ 1 795 MHz, 承载 CBTC 列控业务, B 网采用 1 795 ~

1 800 MHz, 承载 CBTC 列控业务和集群调度业务, 另采用 WLAN 方案承载 PIS、CCTV 和车辆维护信

息, 采用 IEEE802.11ax 标准。S2 线 LTE 系统原理如图 1 所示。

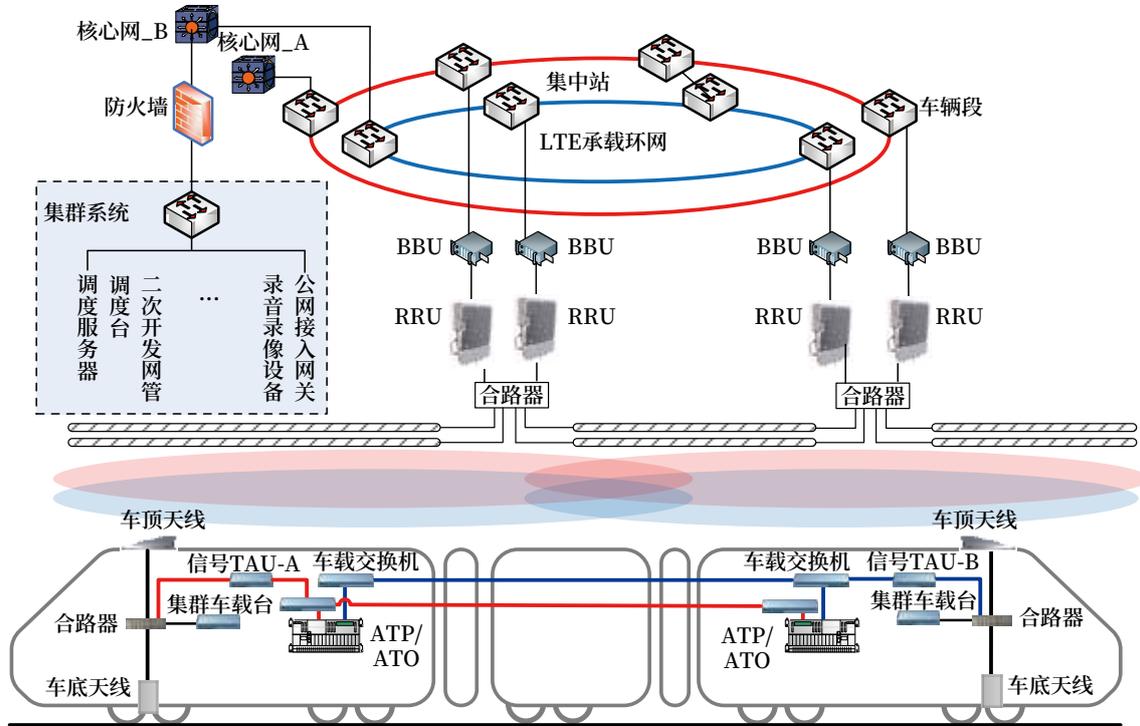


图1 LTE系统架构  
Fig.1 LTE system architecture diagram

由于频率资源有限, S1 线和 S2 线获批频段有 10 MHz 为重叠频段, 且控制中心、机场 / 灵昆两个换乘站、机场 - 灵昆区间共建并行段、联络线和灵昆车辆段为两线共用区域。因此 S2 线建设时, 不仅要考虑 S2 线和 S1 线共用区域无线覆盖重叠问题, 以减少系统间的信号干扰, 还需保证在控制中心、换乘站和灵昆车辆段等共用区域更好实现集群漫游功能。

## 2 共用区域可选覆盖方案

### 2.1 频率隔离方案

在机场 - 灵昆区间共建并行段和联络线 S1 频率变为 1 785 ~ 1 795 MHz 共 10 MHz, 用于承载集群、CCTV 及 PIS 业务。S2 采用的频率为 1 795 ~ 1 800 MHz 共 5 MHz, 用于组建 A/B 网, 其中 A 网独立承载 CBTC 列控业务, 频宽 1.4 MHz, 所用频率为 1 795.6 ~ 1 797 MHz, B 网综合承载 CBTC 列控业务及集群调度业务, 频宽 3 MHz, 所用频率为 1 797 ~ 1 800 MHz。S1 线与 S2 线使用

频率间隔 0.6 MHz 的保护带宽进行带宽隔离。下面根据带宽资源进行链路预算。

1) 3 MHz 频谱带宽: 上下行子帧配比为 1:1 的条件下, 小区边缘 (以下行 RSRP = -95 dBm 为标准) 的上行速率可以达到 1.5 Mbit/s 左右, 支持超过 10 路 CBTC 并发 +32 路集群通话。

2) 1.4 MHz 频谱带宽: 上下行子帧配比为 1:1 的条件下, 小区边缘 (以下行 RSRP = -95 dBm 为标准) 的上行速率可以达到 512 kbit/s 左右, 支持 4 路 CBTC 信号的上传和下发。

上海地铁 5 号线已实现 1.4 M 组网应用, 实现 500 kbit/s 的稳定速率, 该方案频率完全隔离, S1 和 S2 线双线不会产生干扰, 但在 A 网断掉的情况下, B 网超过 4 路以上的车辆, 会存在带宽不足的风险。

### 2.2 基站共用方案

S2 线 A 网采用 5 M 独立组网, 在 S1 线基站上配置 RAN SHARING 软件, S2 线 B 网共享 S1 基站。目前上海地铁 14 号线已开展相关测试, 使用

中兴基站接入华为核心网。

机场 / 灵昆换乘站和控制中心在 S1 线建设时已实现全部区域无线覆盖, S2 线 B 网直接共享 S1 线基站即可。机场 - 灵昆区间共线段, S2 线需在与 S1 线已装 RRU 相同的位置新装 RRU, 补充 S2 线轨行区无线覆盖, 同时将相同位置的 RRU 做超级小区, 并接入同一个 BBU。共用区域的 BBU 需要同时接入 S1 线核心网及 S2 线 B 网核心网。S1 线及 S2 线 B 网的终端将根据不同的 PLMN 号分别接入各自的核心网, 完成业务的分离。

考虑到 S1 线承载的业务为集群、PIS 和 CCTV, 需要在 10 MHz 组网情况下才能满足业务需求。同时两个小区必须在同样的频宽情况下才能组成超级小区。为此 S1 线在共线段需使用 1 785 ~ 1 795 MHz 组网, S2 线 B 网同样使用 1 785 ~ 1 795 MHz 组网, A 网使用 1 795 ~ 1 800 MHz 组网。S1 线目前已正式开通, 该方案需对 S1 线既有设备进行改造, 改造工作量较大, 可能对 S1 线正常运营造成影响。

### 2.3 核心网漫游互通方案

S2 线 A 网采用 5 M 独立组网, B 网核心网与 S1 线核心网互联互通, 实现集群终端漫游功能。该方案没有频率干扰, 能保证足够带宽, 但组网复杂, 在核心网设备为不同厂家时, 实施难度较大。

### 2.4 方案对比

方案优缺点如表 1 所示。

表1 方案对比

Tab.1 Comparison of solutions

序号	方案	优点	缺点
1	频率隔离方案	频率完全隔离 无需改动既有线设备 双方设备完全独立分开	S2 线业务带宽 相对减少
2	基站共用方案	频率利用充分, 业务带宽大 组网简单 只增加基站部分软件功能	需要既有设备增加 RAN SHARING 功能 需对既有线设备大规模改造
3	核心网漫游互通方案	频率利用充分, 业务带宽大	组网相对复杂 不同厂商设备需增加互联互通功能, 实施难度大

## 3 温州轨道交通 S2 线共用区域覆盖方案

### 3.1 控制中心及换乘站覆盖方案

控制中心的设备区域和控制大厅均已由 S1 线

实现信号覆盖, S2 线在控制中心利用 S1 线既有的无线设备进行覆盖, S2 线集群终端通过跨核心网漫游实现集群业务。控制中心覆盖示意如图 2 所示。

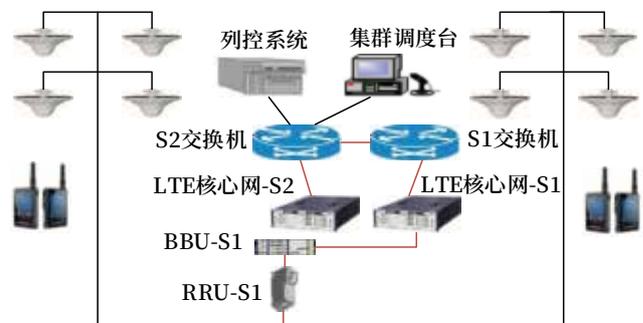


图2 控制中心覆盖示意

Fig.2 Control center coverage diagram

灵昆站、机场站两个换乘站站厅、设备区等 S1/S2 线共用区域均已由 S1 线实现信号覆盖, 采用控制中心相同方案。

### 3.2 S2 线与 S1 线共建并行段、联络线覆盖方案

在机场 - 灵昆区间共建并行段 (含灵昆站、机场站站台区域) 和联络线, 由 S1 线退出 5 M 的频率, S1 频率变为 1 785 ~ 1 795 MHz, 共 10 MHz, 用于承载集群、CCTV 及 PIS 业务。S2 线采用的频率为 1 795 ~ 1 800 MHz 共 5 MHz, 用于组建 A/B 网, 其中 A 网独立承载 CBTC 列控业务, 频宽 1.4 MHz, B 网综合承载 CBTC 列控业务及集群调度业务, 频宽 3 MHz。

通过对各种频谱宽带组网场景下的链路预算, 传输损耗取 4 dB/100 m, 95% 耦合损耗取 68 dB, 宽度因子取 6 dB, 车体损耗取 0 dB (TAU 设备天线放置在车体外部, 且与漏缆保持视距), 接头与线缆损耗取 5 dB, 衰减裕量取 6 dB, 上下行子帧配比为 1:1 的条件下, 结果如表 2 所示。

表2 链路预算结果

Tab.2 Link budget results

频宽 /MHz	边缘上行速率 / (Mbit/s)	边缘下行速率 / (Mbit/s)	覆盖距离 /km
5	2.5	2.5	1.33
3	1.5	1.5	1.44
1.4	0.5	0.5	1.63

考虑到要为后期网络优化预留足够的余量, 并且 A 网和 B 网的 RRU 需要同址布放, 因此 RRU

间距统一按照 1 200 m 考虑。

S1 退频后，机场 - 灵昆区间无线的边缘吞吐量下降，但由于 S1 线下行承载 PIS 业务，PIS 业务实际流量在 2.5 ~ 2.7 Mbit/s 之间，10 M 带宽下仍能够满足要求，S1 线的 CCTV 为 2 路，共计 4 M 业务，上行业务在 10 M 带宽下仍能够满足要求，因此 S1 退频对本身承载业务不受影响。退频前、后业务指标如表 3 所示。

表3 S1线退频前后业务指标

Tab.3 Operational indicators of S1 line before and after exiting 5M

frequency band					
模式	上行最大吞吐量	下行最大吞吐量	上下行边缘吞吐量	S1 承载业务需求	是否满足要求
15 M	不小于 40 M	不小于 15 M	不小于 6 M	PIS (下行: 3 M) +CCTV (上行: 2 路 2 M, 共计 4 M) + 集群业务	满足
10 M	不小于 30 M	不小于 10 M	不小于 4 M	PIS (下行: 3 M) +CCTV (上行: 2 路 2 M, 共计 4 M) + 集群业务	满足

### 3.3 S2线列车集群跨线方案

由于灵昆车辆基地为共用车辆基地，S2 线列车后期高级修时需在 S1 线停运后跨线运行到灵昆车辆段，S2 线集群车载台需在 S1 线和灵昆车辆段漫游，并实现与 S1 线调度和灵昆车辆段场调的正常通话。

1) 在 S1 核心网创建 S2 跨线联络组和 S2 车辆段组，S2 跨线联络组的组成员包括 S1 行调，S2 所有车载台，S2 车辆段组成员包括 S1 灵昆车辆段场调，S2 所有车载台。

2) S2 车载台在 S2 线路运行（此时能获取 S2 线路的 ATS 信息）时，将扫描组功能关闭；从联络线进入 S1 区域无法获取 ATS 信息（此时已经驶离 S2 线路）时，自动将两个群组加入扫描组列表并打开扫描组功能，司机需要根据列车实际位置，通过车载台提供的转组功能，手动切换到相应的通话组。

### 3.4 互联互通方案

温州轨道交通 S2 线无线集群业务采用 LTE 技术，通过 S2 线和 S1 线的集群核心网互联互通，解决共用区域无线覆盖问题，实现控制中心、换乘站、并行段、联络线及灵昆车辆段等跨线漫游功能。

根据 S2 线和 S1 线的互联互通需求，两条线路采用 B-TrunC R2 定义的核心网漫游互通的组网架构。两条线路的 LTE 核心网包括增强型移动性管理实体 (eMME)、服务网关 (SGW)、数据网关 (PGW)、集群控制功能体 (TCF) 和集群媒体功能体 (TMF)，同时共用归属签约用户服务器 (eHSS)，采用核心网之间互联互通支持跨线漫游业务。两条线路 LTE 核心网之间应支持 S5/S8、S10、S6a、Tc2 接口互联互通。互联互通架构示意如图 3 所示。

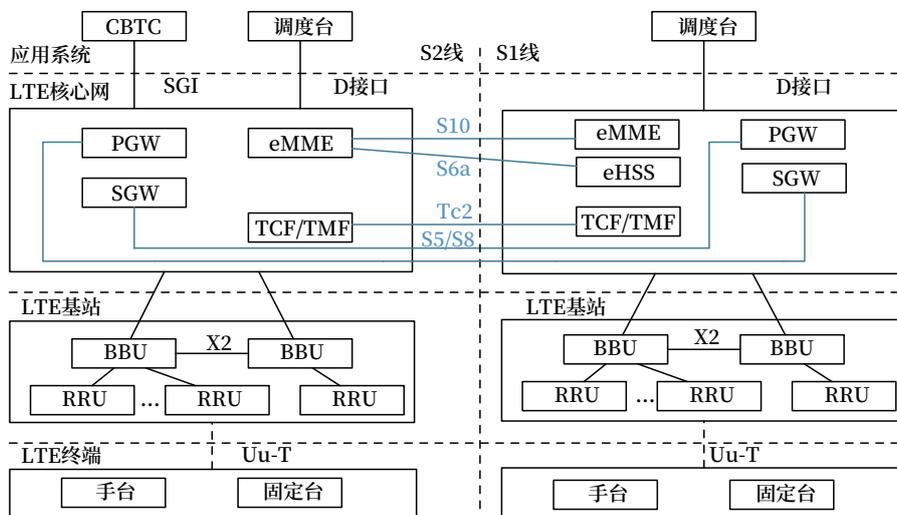


图3 互联互通架构示意  
Fig.3 Interconnection architecture diagram

## 4 结束语

对于 LTE 系统网络部署而言,需统筹考虑业务承载需求、获批频段资源及具体运营需求等方面,合理选择 LTE 覆盖方案。本文基于温州轨道交通车-地方案,对线网共用区域场景进行梳理,针对每个场景提出 LTE 系统覆盖解决方案,为信号系统提供可靠的车-地无线通信服务,可为后续类似工程建设提供一定的参考借鉴。

### 参考文献

- [1] 徐淑鹏. 轨道交通车地通信 LTE 特殊场景覆盖分析与解决方案 [J]. 都市快轨交通, 2018, 31(5): 17-21.  
Xu Shupeng. Special Scenario Coverage Analysis and Solutions to LTE Train-Ground Communications of Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(5): 17-21.
- [2] 刘建. 上海轨道交通 5 号线 LTE 系统方案设计与部署 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(11): 160-163.  
Liu Jian. Design and Deployment of LTE System on Shanghai Rail Transit Line 5[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(11): 160-163.
- [3] 顾蔡君. LTE 技术在城市轨道交通车地通信中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(3): 51-56.  
Gu Caijun. Application of LTE Technology in Train-Ground Communication for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(3): 51-56.
- [4] 潘皓, 丰磊. 北京轨道交通换乘站 LTE-M 系统干扰分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, (11): 70-75.  
Pan Hao, Feng Lei. Analysis of LTE-M System Interference of Beijing Rail Transit Transfer Stations[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, (11): 70-75.
- [5] 纪文莉. 上海轨道交通 LTE 综合承载网络架构研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(6): 146-150.  
Ji Wenli. Study on LTE Comprehensive Bearing Network Architecture of Shanghai Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(6): 146-150.
- [6] 肖清华, 汪丁鼎, 许光斌. TD-LTE 网络规划设计与优化 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- [7] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统 (LTE-M) 总体规范第 1 部分: 系统需求: T/CAMET 04005.1-2018 [S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2018.
- [8] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统 (LTE-M) 总体规范: T/CAMET 04006.2-2018 [S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2018.
- [9] 焦凤霞. TD-LTE 技术承载地铁 CBTC 系统应用研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(5): 63-66.  
Jiao Fengxia. Application of TD-LTE Technique in Metro CBTC System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(5): 63-66.
- [10] 郑傲醒. LTE-M 技术在温州市域铁路 S2 线一期工程信号系统的应用方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 82-85.  
Zheng Jingxing. Application Scheme of LTE-M in Signal System for Wenzhou Rail Transit Line S2 in the First Phase Project[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 82-85.

# 灭灯模式下信号机点灯区域的分析与确定

乔福明

(上海富欣智能交通控制有限公司, 上海 201203)

**摘要:** 信号显示模式为灭灯时, 支持 CBTC 列车和非 CBTC 列车混跑。对于 CBTC 列车, 司机依据车载信号行车, 无需关注轨旁信号。但对于非 CBTC 列车, 司机需根据轨旁信号显示行车。通过对不同运营场景进行分析, 给出信号机点灯区段的确定过程, 保证非 CBTC 列车接近前方信号机时, 信号机能及时被点亮, 以保证行车安全。

**关键词:** 信号机; 点灯距离; 点灯区段; 区域控制器; 计算机联锁

中图分类号: U284.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0068-04

## Analysis and Determination of Lighting Area of Signal in Off Mode

Qiao Fuming

(Shanghai Fuxin Intelligent Transportation Solutions Co., Ltd., Shanghai 201203, China)

**Abstract:** When the signal display mode is off, both CBTC and non-CBTC trains can run on the track. For CBTC trains, drivers operate trains according to on-board signals and do not need to pay attention to trackside signals. However, for non-CBTC trains, drivers must operate trains according to the trackside signals. Based on the analysis of different operation scenarios, this paper gives the determination process of signal lighting section, so as to ensure that the trackside signal can be lighted in time when the non-CBTC train approaches the signal in front, so as to ensure the safety of train operation.

**Keywords:** signal; lighting distance; lighting section; zone controller; computer based interlocking

轨旁信号机显示有 3 种方案: 点灯方案、灭灯方案和第三灯位方案<sup>[1]</sup>。对于灭灯方案, 当列车接近信号机时, 根据其控制级别决定是否点亮信号机。对于基于通信的列车控制 (CBTC) 控制级别列车, 司机根据车载人机界面 (DMI) 显示驾驶列车, 不看地面信号, 轨旁信号机无需点亮。对于非 CBTC 控制级别列车, 包括未装备 CBTC 车载设备的列车, CBTC 车载设备故障的列车, CBTC 车载设备

和轨旁区域控制器 (ZC) 通信中断的列车, 纯后备模式下联锁控制级别的列车, 应点亮其接近的信号机, 司机根据该信号机显示行车<sup>[2-6]</sup>。

通过对信号机配置显示属性<sup>[7-8]</sup>: 常态点灯, 常态灭灯, 当系统为后备模式时, 所有信号机应常态点灯。点灯模式时, 不区分接近信号机的列车类型, 所有信号机均常态点灯。对于 CBTC 列车, 对其移动授权范围的信号机进行点灯或者灭灯<sup>[9]</sup>, 非 CBTC 列车常态点灯。

收稿日期: 2022-01-19; 修回日期: 2023-02-07

作者简介: 乔福明 (1984—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 系统安全分析, 邮箱: QiaoFuming@Fitsco.com.cn。

## 1 信号机点灯安全分析

在灭灯模式下，轨旁信号机处于灭灯状态，司机已经习惯于灭灯模式驾驶，对于信号机的位置没有概念<sup>[10]</sup>，不利于司机熟悉信号机的位置。虽然信号机灭灯被视为禁止信号，但由于司机长期未确认信号机的位置，司机可能会漏确认。列车在距信号机预定义的范围（即信号机点灯距离）内，如果信号机由灭灯转点禁止灯光时，未能及时被点亮，待信号机禁止灯光被点起时，司机采取正常制动是不能停在信号机前方的，或者列车驾驶室已经越过信号机，列车冒进信号，造成脱轨或者撞车事故。

在灭灯模式下，若信号机的允许灯光没有及时点亮，虽然信号机内方进路已锁闭，不会造成脱轨和撞车事故，但考虑到事故若发生在夜间，司机在较远的地方看不到进站信号机，等司机驶近时，才发现信号机处于灭灯状态，为了不冒进信号，势必要对列车采取紧急制动。紧急制动可能会造成人员伤亡、货物碰撞受损以及机车车辆和线路设备（道岔等）受损。

在灭灯模式下，允许灯色应能被及时点亮，以保证列车不减速的情况下，正常通过允许灯色的信号机。

因此，信号机点灯距离应能保证司机看到禁止信号后，列车能够停在禁止信号机前方。当列车保护包络在信号机点灯距离范围内时，系统应保证信号机在禁止灯光灯丝未故障的情况下能被正常点灯，不应出现晚点灯情况。

## 2 信号机点灯距离计算

如图 1 所示，点灯距离  $D$  主要由 6 部分组成：信号机被点亮这段时间  $T$  内列车以最大速度行驶 ( $V_{\max}$ ) 的距离  $D_1$ ，司机看到红灯至采取常用制动时间内列车以最大速度行驶的距离  $D_2$ ，常用制动系统响应时间内列车以最大速度行驶的距离  $D_3$ ，列车常用制动至列车完全停下来所行驶的距离  $D_4$ ，列车外旋长度  $D_5$ ，额外的富余量  $D_6$ 。

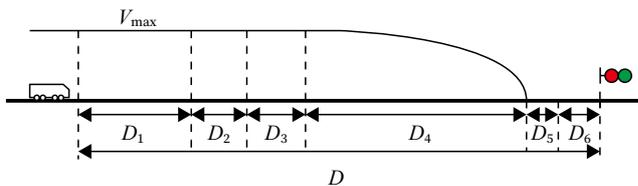


图1 信号机点灯距离  
Fig.1 Signal lighting distance

如图 2 所示，信号机被点亮所需时间  $T$ ，包括计轴系统 (ACS) 检测到列车占用计轴所需的时间  $t_1$ ，计算机联锁 (CBI) 获取到计轴占用所需的时间  $t_2$ ，CBI 内部处理时间  $t_3$ ，ZC 获取到计轴占用所需时间  $t_4$ ，ZC 内部处理时间  $t_5$ ，CBI 获取到 ZC 点灯命令所需时间  $t_6$ ，CBI 内部处理时间  $t_7$ ，灭灯继电器 (MDJ) 获取到 CBI 发送的落下命令所需时间  $t_8$ ，灭灯继电器落下所需时间  $t_9$ ，信号机被点亮所需时间  $t_{10}$ 。灭灯继电器落下表示设置信号机点灯。

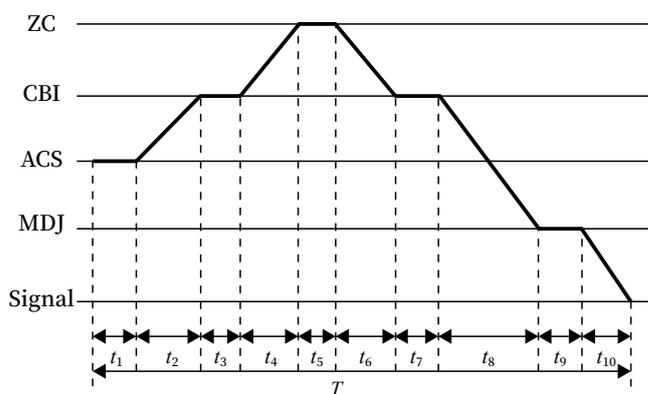


图2 点亮信号机所需时间  
Fig.2 Time required for lighting the signal

## 3 确定信号机点灯区段

基于上述计算出的点灯距离确定信号机相应的点灯区段。当计算出的点灯距离位于某个区段时，这个区段以及这个区段至信号机之间的所有区段作为该信号机的点灯区段。

### 3.1 信号机点灯距离不跨控区

当信号机点灯距离不跨控区时，信号机的点灯区段为点灯距离范围内所有的计轴区段。如图 3 所示，计轴区段 G1101 和 G1103 为信号机 X1105 的

点灯区段。

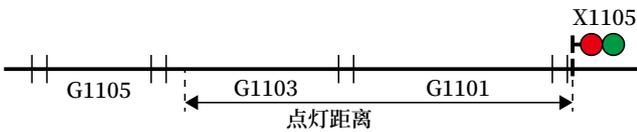


图3 信号机点灯区段不跨控区  
Fig.3 Signal lighting section not across control areas

当点灯距离跨越道岔时，需根据进路路径和道岔状态共同确定点灯区段。有进路且道岔位置被锁在进路要求的方向上时，则根据进路来确定点灯区段。如图4所示，当进路方向为道岔P1和P2侧向时，计轴区段G32、G34和G35作为信号机CD1的点灯区段。当进路方向为道岔P1直向时，计轴区段G33和G35作为信号机CD1的点灯区段。当道岔失表且失表不是由于进路或者操作员命令转动造成时，道岔直向和侧向上点灯距离范围内的所有区段作为点灯区段。图4中，当道岔P1或者P2失表且其不在转动过程中时，计轴区段G32、G33、G34和G35作为信号机CD1的点灯区段。

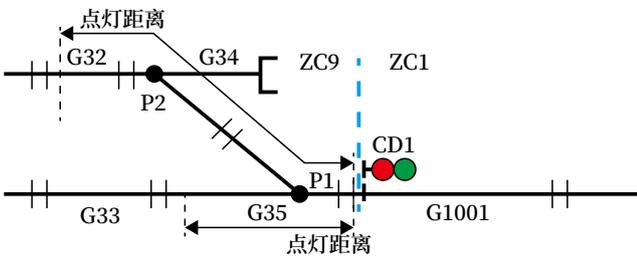


图4 信号机点灯区段跨道岔  
Fig.4 Signal lighting section across turnouts

### 3.2 点灯距离跨控区

当信号机点灯距离跨控区时，本控区ZC需将点灯区段的占用信息发送给相邻控区ZC<sup>[11]</sup>，相邻控区ZC基于收到的点灯区段占用信息来点亮信号灯。占用信息是指占用点灯区段的列车类型，即CBTC列车占用点灯区段时，占用信息为CBTC控制级别列车；非CBTC控制级别列车占用点灯区段时，占用信息为非CBTC列车。相邻控区ZC收到本控区ZC发送的占用信息为非CBTC控制级别列车时，则点亮其边界处信号灯，作为驾驶员驾驶列车过

控区边界的依据。相邻控区ZC收到本控区ZC发送的占用信息为CBTC控制级别列车时，则无需点亮边界处信号灯，列车根据ZC提供的移动授权过控区边界。

点灯距离跨控区时，点灯距离的计算还应考虑当前控区ZC和相邻控区ZC间的通信延时。所以该信号机的点灯距离还应加上控区间最大通信延时时列车以最大速度行驶的距离，如图5所示， $D_7$ 为增加部分。计轴区段G1201、G1111和G1110为信号机X1103的点灯区段。

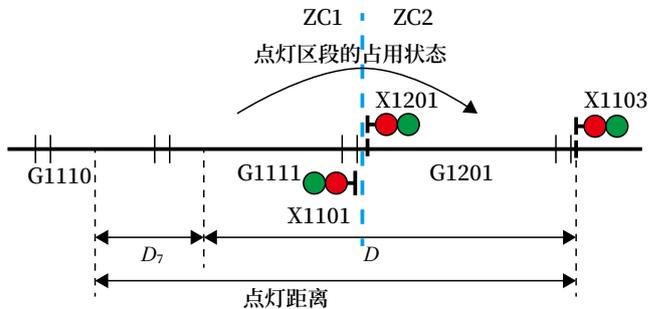


图5 信号机点灯区段跨控区  
Fig.5 Signal lighting section across control areas

当前ZC控区与其相邻ZC断通信，或者相邻ZC处于后备模式情况下，或者相邻控区ZC和其CBI断通信，应点亮点灯区段跨控区的信号机。

### 3.3 点灯区段跨外部线路

对于与正线控区相邻的外部线路（车辆段、停车场、联络线等）接口处，进入正线的边界信号机应设置为永久点灯<sup>[12]</sup>。对于非边界处的信号机，计算出的点灯距离越过控区边界至相邻线路时，该信号机也应设置为永久点灯。对于永久点灯的信号机，无需配置点灯区段。如图6所示，信号机CD1和X1001应配置为永久点灯。

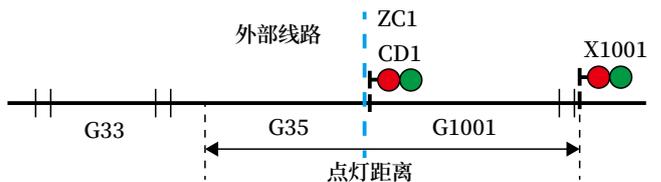


图6 信号机点灯区段跨外部线路  
Fig.6 Signal lighting section across the external line

对于虚拟信号机, 仅供软件内部使用, 实现线路中并无该信号机, 该类信号机无需配置点灯区段, 可设置为永久点灯, 以在自动监控系统 (ATS) 界面上显示。

#### 4 总结

本文介绍灭灯模式下信号机自动点灯的功能, 信号系统需保证非 CBTC 列车接近信号机时, 信号能被及时提前点亮。在确定信号机点灯区段时, 综合考虑计轴检测延时, 控区间通信延时, 列车制动时间等多种影响因素, 确保点灯距离满足安全要求以及运营需求, 以保证行车安全。点灯区段可采取线下配置, 软件使用时直接读取, 再结合进路信息和道岔状态确定点灯区段, 也可以通过软件在线计算, 但这会增加软件的复杂度以及增长软件运行周期。

#### 参考文献

- [1] 汪小勇. 基于通信的列车控制系统轨旁信号显示方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2011, 14(9): 69-72.  
Wang Xiaoyong. Wayside Signal Aspect Solution in CBTC System[J]. Urban Mass Transit, 2011, 14(9): 69-72.
- [2] 严建鹏. CBTC 系统正线信号机显示方案及逻辑实现分析 [J]. 现代城市轨道交通, 2015(6): 4-8.  
Yan Jianpeng. Analysis of Scheme and Logic Implementation for CBTC Main Line Signal Display System[J]. Modern Urban Transit, 2015(6): 4-8.
- [3] 董波, 左旭涛, 吴金元. 信号机显示方案在 CBTC 系统中的应用 [J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(S2): 35-36, 42.  
Dong Bo, Zuo Xutao, Wu Jinyuan. Application of Signal Machine Display in CBTC System[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(S2): 35-36, 42.
- [4] 朱莉. 基于通信的列车控制技术下城市轨道交通轨旁信号的分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(8): 77-79.  
Zhu Li. Analysis of Wayside Signals in CBTC Technology[J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(8): 77-79.
- [5] 王跃林. 大连地铁 1、2 号线信号机显示方案分析 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52(8): 62-64.
- [6] 弓剑. 地铁信号系统地面信号机常态显示方案分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2013, 16(12): 137-139.  
Gong Jian. Analysis of Ground Signal Normal Display Program in Subway Signal System[J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(12): 137-139.
- [7] 刘明霞. 一种 CBTC 系统的正线信号控制方法: CN113104068A [P]. 2021-07-13.
- [8] 刘明霞, 朱仰瑞, 李永康, 等. 一种基于通信的列车控制系统的正线信号显示方法: CN106494464A [P]. 2018-07-06.
- [9] 何秀霞. 地铁正线信号机显示方案设计分析 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50(9): 47-49.  
He Xiuxia. Design and Analysis of Metro Mainline Signal Display Scheme[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(9): 47-49.
- [10] 邹定锋. 基于移动闭塞系统的信号机显示方案分析 [J]. 现代城市轨道交通, 2012(2): 13-15.  
Zou Dingfeng. Analysis on Signal Display Options Based on Moving Block System[J]. Modern Urban Transit, 2012(2): 13-15.
- [11] 郜春海, 王伟. 一种适用于互联互通的信号机强制命令计算方法: CN-106697000B [P]. 2018-09-04.
- [12] 杨平, 秦凤杰. CBTC 系统中正线信号机点灯方案的研究 [J]. 电子技术与软件工程, 2021(3): 95-98.  
Yang Ping, Qin Fengjie. Research on Lighting Scheme of Trunk Signal in CBTC System[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2021(3): 95-98.

# 计轴室外干扰故障的分析与解决方案

田文礼<sup>1</sup>, 马学霞<sup>1</sup>, 谢志明<sup>2</sup>

(1. 杭州杭港地铁五号线有限公司, 杭州 311121;

2. 杭州杭港地铁有限公司, 杭州 311120)

**摘要:** 杭州地铁1号线三期信号系统在动车调试和运营初期出现计轴红光带故障, 经示波器监测计轴磁头板, 确定故障原因为外界干扰。介绍计轴的工作原理, 重点分析故障产生的原因, 详细介绍采取的对应措施。测试及实际运营表现证明车辆增加牵引逆变器与制动电阻双端屏蔽线、轨旁加装均流线可有效降低红光带故障率, 可作为其他线路类似故障处理参考方案。

**关键词:** 计轴故障; 电磁干扰; 屏蔽接地; 牵引回流

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0072-05

## Analysis and Solution of Outdoor Interference Fault of Axle Counter

Tian Wenli<sup>1</sup>, Ma Xuexia<sup>1</sup>, Xie Zhiming<sup>2</sup>

(1. Hangzhou MTR Line 5 Corporation Limited Company, Hangzhou 311121, China)

(2. Hangzhou MTR Corporation Limited Company, Hangzhou 311120, China)

**Abstract:** The red light strip fault of axle counter for signaling system of Hangzhou Metro Line 1 Phase 3 occurred during the early commissioning and operation period of EMU. The headplate of the axle counter is monitored by oscilloscope and the cause of the fault is determined to be external interference. This paper introduces the working principle of axle counter, analyzes the cause of the fault, and introduces the corresponding measures in detail. The test and actual operation performance prove that the fault rate of red light strip can be effectively reduced by adding the double shielding line of traction inverter and brake resistance and adding the current equalizer beside the track, which can be used as a reference scheme for similar fault treatment of other lines.

**Keywords:** axle counter fault; electromagnetic interference; shield grounding; traction return current

目前, 城市轨道交通信号系统中, 计轴设备对列车通过计轴点的轮轴数进行计数, 并通过对比2个计轴点间的轮轴数, 判断列车的占用和出清情

况<sup>[1]</sup>。相比较于轨道电路, 计轴系统可以忽视道床电阻、分路电阻、轨枕和轨缝位置、轨道区段的长度以及道床潮湿和钢轨生锈所带来的各种不利影响, 相对故障率低, 可用性强<sup>[2]</sup>。

杭州地铁1号线三期采用的计轴系统为永列电气提供的YLJZ-F1型计轴系统, 在动车调试和运营初期出现了非列车正常占用的红光带故障。经各方

收稿日期: 2022-01-07; 修回日期: 2023-01-16

第一作者: 田文礼(1988—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通通信信号系统应用与维护管理, 邮箱: wenli.tian@mtrhz.com.cn。

联合分析后,确定故障原因为外界干扰。本文主要对计轴系统的工作原理进行介绍,对计轴红光带故障的原因和对应的解决措施进行阐述。

## 1 计轴原理

计轴系统把微处理器技术、通信技术、自动控制技术和传感器技术等融为一体<sup>[3]</sup>。通过安装在钢轨上的磁头传感器和安装在轨旁的电子单元计算通过该计轴点的车轮数,并将相关轴数、状态等信息发送给室内计轴主机,由室内计轴板完成区段占用/空闲的判断,并控制区段轨道继电器的落下/吸起。

### 1.1 计轴系统结构

YLJZ-F1型计轴系统主要包括室内设备、室外设备和传输电缆,系统的结构如图1所示。

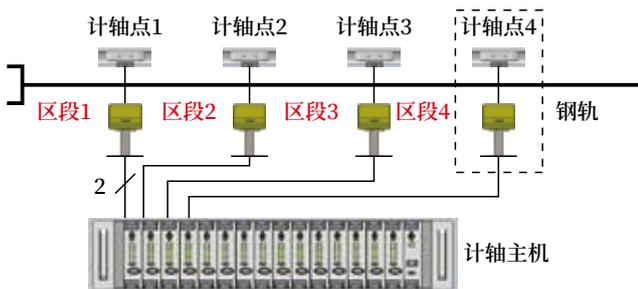


图1 计轴系统结构示意图  
Fig.1 Axle counter system structure diagram

从物理位置划分,YLJZ-F1型计轴系统可分为室外设备子系统和室内设备子系统两个部分。室内设备主要为计轴主机及电源设备,室外设备主要为计轴磁头传感器和轨旁电子单元。

### 1.2 室外设备及工作原理

计轴磁头传感器和轨旁电子单元的连接如图2所示。



图2 磁头传感器与轨旁电子单元连接示意图  
Fig.2 Connection between magnetic head sensor and trackside electronic unit

磁头传感器为保证安全及判断列车行驶方向(驶入区段与驶出区段),由两组独立线圈装置组成。

为防止两组线圈之间相互干扰,两组线圈分别采用不同的工作频率,发送线圈1约为30 kHz,发送线圈2约为27.5 kHz,产生的磁场使接收线圈中产生感应电压。当有车轮压在磁头正上方的钢轨上时,接收线圈中产生的感应电压的相位将翻转180°,轨旁电子单元根据这种相位变化即可检测到车轮。

轨旁电子单元为发送磁头提供信号源,并接收来自接收磁头的模拟信号,对模拟信号进行变换、处理后形成车轮脉冲信号,从而记录经过本计轴点的车轮数。电子单元将计算的轴数信息、状态信息等发送给室内计轴主机中的计轴板。

## 2 计轴红光带故障的产生与原因分析

### 2.1 故障现象

杭州地铁1号线三期在动车调试过程中发现,三期增购新车在列车经过或将要经过的区段频繁出现红光带故障,经车辆整改后,故障减少。运营初期,某折返站道岔处再次出现红光带,通过轨旁电子加装示波器,对正常波形和干扰波形进行捕捉,波形结果分别如图3、4所示。

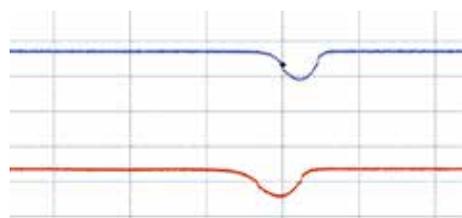


图3 正常占用出清波形  
Fig.3 Normal waveform during occupancy and clearing

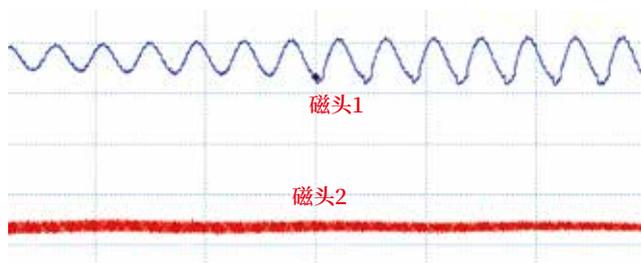


图4 磁头受到干扰波形  
Fig.4 Waveform in case the magnetic head is disturbed

### 2.2 故障原因分析

因在室外轨旁电子单元侧已经产生了干扰,可

以排除室内外线缆传输及室内接地等因素，将干扰定位在计轴磁头附近<sup>[4]</sup>。首先，应考虑计轴磁头本身的抗干扰能力是否符合标准；其次，因既有车经过磁头时，示波器监测波形均正常，初步判断与列车有关；最后，在折返岔区故障频率比较高并结合现场勘测结果，初步判断与牵引回流不畅有关。

从厂家提供的电磁干扰测试报告及第三方安全证明来看，计轴磁头符合设计标准，只能进一步优化抗干扰能力。

经对 01074 列车进行观察（该列车经过时易发生干扰），发现该型号的车配备有用于能量回馈系统的制动电阻装置及配套逆变器，该装置为株洲中车时代电气股份有限公司生产。针对 6 编组列车，在第 2、3、4、5 节车厢底部分别安装 1 套该装置，因为该制动电阻装置在列车制动时会发出较大的电磁干扰<sup>[5]</sup>，所以初步分析该装置是导致计轴受扰或故障的原因，且经过查阅资料，其他线路也出现过类似干扰。

折返站某道岔处，在列车靠近或经过安装在岔区的计轴点时，计轴轮对脉冲信号有大量的杂波干扰，波形如图 5 所示。

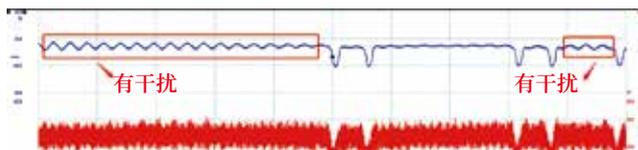


图5 轮对脉冲波形(受干扰)  
Fig.5 Wheelset pulse waveform (disturbed)

该线路采用直流 1.5 kV 的牵引电压，产生的牵引电流可达数百安培，通过牵引变电所-接触网-电客车-钢轨形成完整的牵引回流闭环<sup>[6]</sup>。钢轨作为重要的回流载体，在道岔区段有较多的迂回路径，具有共性阻抗耦合的特点，需要保证电流回归通路，才能降低杂流和不平衡电流对计轴的信号干扰。故障计轴点安装在岔区，道岔处的牵引电流回归则需要道岔辙叉心附近的道岔跳线构成通路。根据不平衡系数  $K$ ，即同一时间钢轨之间的不平衡电流与总电流之间的比值得出，两轨之间的电流差值越小越好<sup>[7]</sup>。

$$K = \frac{|I_{C1}(t) - I_{C2}(t)|}{|I_{C1}(t) + I_{C2}(t)|} \times 100\% \quad (1)$$

经过数据测试和上述理论分析，初步判断计轴磁头附近的牵引回流产生的杂波有一定的关联。现场实际均流线布置如图 6 所示。



图6 现场均流线布置  
Fig.6 Current equalizer layout on site

从现场布置来看，钢轨回流完全经过计轴点 A3309，通过前方岔尖，回流到等电位排，经过计轴磁头的牵引回流较大，容易造成干扰。因此，可通过在 A3309 磁头前方增加均流线，磁头前方的牵引回流通过分流到另外一侧钢轨流向等电位排，减少通过 A3309 磁头的回流，从而达到减小牵引回流造成的计轴设备受扰的目的。

### 3 计轴红光带故障的对应减轻措施

基于以上分析，考虑从提高计轴本身抗干扰能力、车辆对计轴干扰及岔区牵引回流不畅等方面，采取对应措施。

#### 3.1 计轴抗干扰能力的优化

根据同类产品的故障处理经验，可通过调高无轮时磁头接收电压值，使得即使干扰出现也达不到翻转的程度<sup>[8]</sup>。从测试干扰波形分析，干扰叠加后无轮时的最低电压约为 -50 mV，实现了翻转。如果将无轮时的接收电压值在原来的基础上调高 50 mV，那么干扰叠加后波形也不会过零轴变为负值，因考虑到软件中有滤波处理，所以将无轮时的接收电压值调高 40 mV 就可以抵抗干扰。但在实际测试过程中发现，调高电压后，虽能有效地滤除干扰，但仍有偶发的负轴故障，不能用于现场。

另外, 计轴厂家提出可以对干扰比较严重的单点进行软件升级, 原理为: 有较多干扰为时间间隔小于 70 ms 的连续脉冲, 由于车辆转向架固定轴距为 2.5 m, 当车辆最高运行速度为 33.33 m/s (即 120 km/h), 经过计轴设备时磁头所产生的连续脉冲最小时间间隔为 75 ms, 若将时间间隔小于 75 ms 的连续脉冲视为非正常行车出现的非法脉冲, 通过软件进行滤除可减少干扰。在实际测试过程中发现, 该软件对列车车轮还未压入计轴磁头的干扰进行了过滤, 未产生红光带, 但列车车轮压入磁头后的干扰因涉及有车及方向判断需求, 无法进行过滤, 因此, 产生了红光带。

基于上述测试结果, 计轴系统通过提高接收电压或单点软件升级, 均无法彻底解决红光带问题。

### 3.2 车辆增加牵引逆变器与制动电阻双端屏蔽线

根据 2.2 章节中的原因分析, 车辆方对 1 号线三期新车的牵引逆变器装置 P1、P2、N1、N2 高压线缆接口和制动电阻装置 CHN1、CHN2、CH1、CH2 高压线缆接口添加双端金属压接屏蔽层整改 (原高压线缆接口无金属压接屏蔽层) 以减少电磁干扰, 并将牵引逆变器直流侧盖板组件上的接地线改接地母排。车辆完成整改后, 计轴红光带故障明显减少。

### 3.3 岔区增加均流线

运营初期, 随着折返密度的增大和采用 ATB 模式折返后, 在折返站道岔处出现了计轴红光带, 经对计轴磁头板日志分析, 故障红光带时磁头受到持续的磁头单脉冲干扰报警 (dmcb) 和磁头 B 故障 (dfwb), 示波器显示波形产生了畸变与翻转。结合 2.2 章节中现场环境勘察和理论分析, 与供电专业沟通后, 在岔尖处及岔后各增加均流线, 日志显示动车期间磁头板未产生任何干扰报警, 且经示波器监测, 该计轴点处干扰明显减小, 最好和最坏监测波形如图 7 所示, 最好波形接近无干扰状态, 最坏波形也未达到故障翻转值, 动车测试及运营数据证明增加均流线是一个有效的方法。

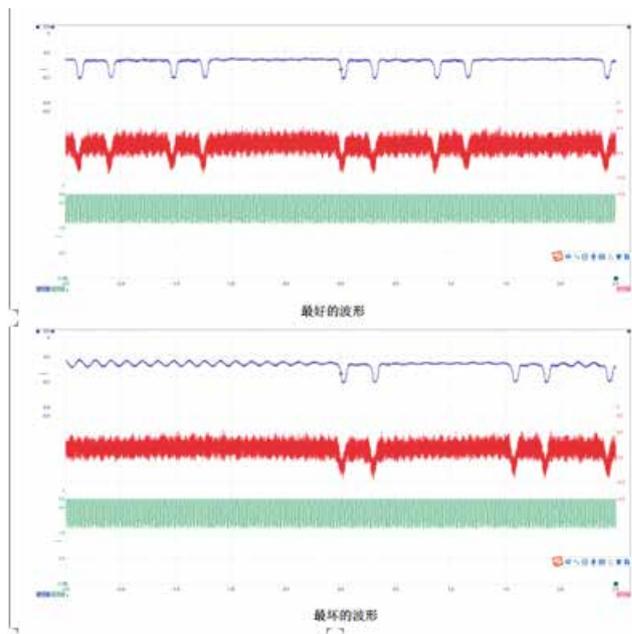


图7 增加均流线后测试结果  
Fig.7 Test result after adding current equalizers

## 4 结论

针对轨旁计轴受到干扰后产生红光带的故障, 通过充分了解计轴的工作原理、电磁兼容要求, 分析可能产生干扰的来源, 采取对应的措施。结果表明车辆增加牵引逆变器与制动电阻双端屏蔽线, 能够降低车辆能馈系统对计轴磁头的干扰; 在折返站道岔处增加安装均流线, 增加牵引回流的流畅性, 能够有效减少牵引回流对计轴系统的干扰。本文介绍的上述两种方法有效地降低因干扰产生的计轴红光带故障, 应用效果良好, 为后续故障处理提供可借鉴的经验。

计轴磁头的工作频率及车辆产生的干扰频率问题还需进一步实验和验证, 从设计角度避开干扰, 根本上解决计轴红光带干扰故障的发生。

### 参考文献

- [1] 张宏强. 计轴系统特殊故障的分析与解决方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19 (2): 125-127, 133.  
Zhang Hongqiang. Analysis and Solution of Special Axle Counter System Failures [J]. Urban Mass

- Transit, 2016, 19(2): 125-127, 133.
- [2] 糟明敏. 西安地铁计轴运用分析及维护 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018 (25): 1006.  
Zao Mingmin. Analysis and Maintenance of Axle Counting in Xi'an Metro[J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2018(25): 1006.
- [3] 曲育德. 电磁感应式计轴设备的常见干扰源与抗干扰方法研究 [J]. 数字通信世界, 2019 (3): 92, 105.  
Qu Yude. Research on Common Interference Sources and Anti-Interference Methods of Electromagnetic Induction Axle Counting Equipment[J]. Digital Communication World, 2019(3): 92, 105.
- [4] 任鹏超. 广州地铁 13 号线计轴轮轴脉冲畸变故障分析及解决方案 [J]. 电子元器件与信息技术, 2018, 2 (5): 24-27.  
Ren Pengchao. Fault Analysis and Solution of the Axle Counter Signal Pulse Distortion for Guangzhou Metro Line 13[J]. Journal of Electronic Components and Information Technology, 2018, 2(5): 24-27.
- [5] 付丽, 丛培城, 马兰. 地铁车辆牵引系统干扰计轴器问题的故障分析和解决方案 [J]. 铁道车辆, 2020, 58 (8): 26-28, 31, 6.  
Fu Li, Cong Peicheng, Ma Lan. Analysis of the Trouble of Traction System Interfering the Axle Counter on Metro Vehicles and Scheme of Solution[J]. Rolling Stock, 2020, 58(8): 26-28, 31, 6.
- [6] 王燕芬. 电气化牵引回流对信号控制系统的干扰分析及防护研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2012.
- [7] 蒋晶, 龙讯, 钟志辉. 浅谈如何降低牵引电流感应对计轴设备的影响 [J]. 信息通信, 2015, 28 (1): 278.  
Jiang Jing, Long Xun, Zhong Zhihui. Discussion on how to Reduce the Influence of Traction Current Induction on Axle Counting Equipment[J]. Information & Communications, 2015, 28(1): 278.
- [8] 杨子河. 广州地铁 3 号线计轴系统故障原因及查找分析 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (8): 67-70.  
Yang Zihé. Fault Analysis of Axle Counting System of Guangzhou Metro Line 3[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(8): 67-70.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### 数字化货运列车创新项目启动

法国 MONITOR 项目已启动, 通过将配备制动和转向架监测传感器的货车车厢之间的无线电通信与自动制动测试相结合, 支持数字货运列车的发展。其目的是减少脱轨和制动不及时的风险, 并减少列车整备时间。这个为期 3 年半的项目于 2 月 17 日由 Wabtec、国家货运运营商 Fret SNCF 和地区运营商 Régie des Transports des Bouches du Rhône 启动。这是法国“未来铁路货运”计划下的第一个创新项目, 由国家政府资助。

Wabtec 全球运输和货运欧洲总裁 Lilian Leroux 表示, 该项目“有潜力改变欧洲铁路货运的发展”。我们很高兴将我们在创新铁路技术方面的经验用于开发完全数字化的货运列车运营。

法国国家铁路公司欧洲铁路物流总裁 Frédéric Delorme 表示, 该项目将是“准备未来自主货运列车的重要组成部分”, 运营商将分享其运营专业知识, 并在现实条件下测试设备。货运数字化在运营安全、生产力、行业吸引力和改善工作条件方面为铁路运营商带来了重大机遇。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王锦翻译自: <https://www.railwaygazette.com> 2023-02-13)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.016

# 区间综合监控设备存在设计问题的分析

张 洁

(中国铁路上海局集团有限公司合肥电务段, 合肥 230012)

**摘要:** 以某站因区间综合监控设备问题导致信号不能开放问题为例, 从电路上分析问题发生的原因, 及区间综合监控系统设计上存在的缺陷和风险进行分析, 针对上述问题提出相应的解决方案和建议, 从而保证设备安全可靠地运行。

**关键词:** 区间综合监控系统; 设计缺陷; 安全可靠

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0077-04

## Analysis and Discussion on Design Problems of Section Integrated Monitoring Equipment

Zhang Jie

(Hefei Signaling &amp; Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Hefei 230012, China)

**Abstract:** Taking the problem that the signal cannot be put at clear due to the problem of section integrated monitoring equipment in a station as an example, this paper analyzes the cause of the problem from the circuit, as well as the defects and risks in the design of section integrated monitoring system, and puts forward corresponding solutions and suggestions for the above problems, so as to ensure the safe and reliable operation of the equipment.

**Keywords:** section integrated monitoring system; design defect; safety and reliability

区间综合监控系统(QJK)是利用计算机与数据通信技术完成站间安全信息传输、区间方向控制和区间占用逻辑检查的铁路信号控制设备。它的3个功能之间相互独立,可以在现场独立运用或组合运用,适用于自动闭塞线路、自动站间闭塞线路和半自动闭塞线路,目前管内正大量应用该设备,但在实际运营维护的过程中,发现其设计存在一定的缺陷,导致信号不能开放,影响行车。

### 1 问题现象

某站值班员排列上行通过进路时,如图1所示,按压STA-XFLA, S进站信号机开放L灯, SII出发信号机开放LU, SL2信号机点U灯, SZ1进路有白光带,但信号未开放;对SZ1进行补信号操作,信号不能开放;使用总人解取消进路后,再排列进路,信号仍不能开放;维修机无相关报警信息,联锁机无相关报警,区间综合监控机无相关报警,计算机调阅未发现报警信息,但从信号机组合观察发现SZ1-LXJ未吸起;在故障查找过

收稿日期: 2022-02-28; 修回日期: 2023-02-18

作者简介: 张洁(1976—),女,工程师,本科,主要研究方向: 铁路信号联锁应用与故障处理, 邮箱: babyyf@126.com。

程中，信号自动恢复，后通过回放发现故障时驱动板 SZ1-LXJ 不亮灯，SZ1 信号不能开放。

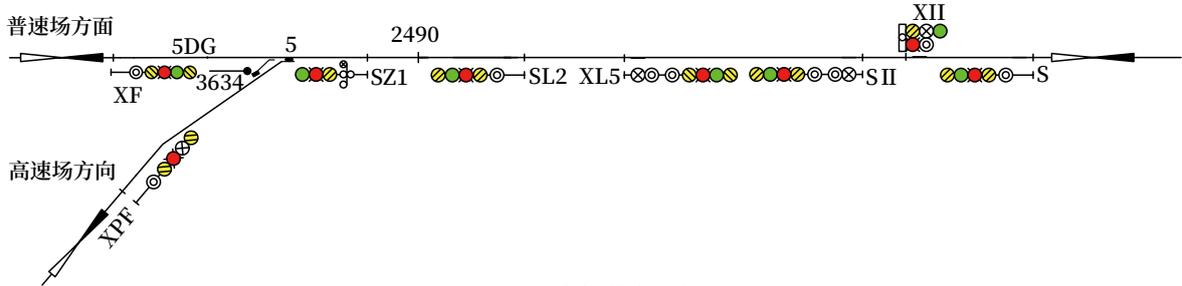


图1 该条进路示意  
Fig.1 Schematic plan of the route

## 2 原因分析

该站下行端发车共 2 个方向如图 2 所示，一个

是高速场，另外一个普速场，其中本站 - 高速场区间由列控控制，本站 - 普速场区间由 QJK 控制。

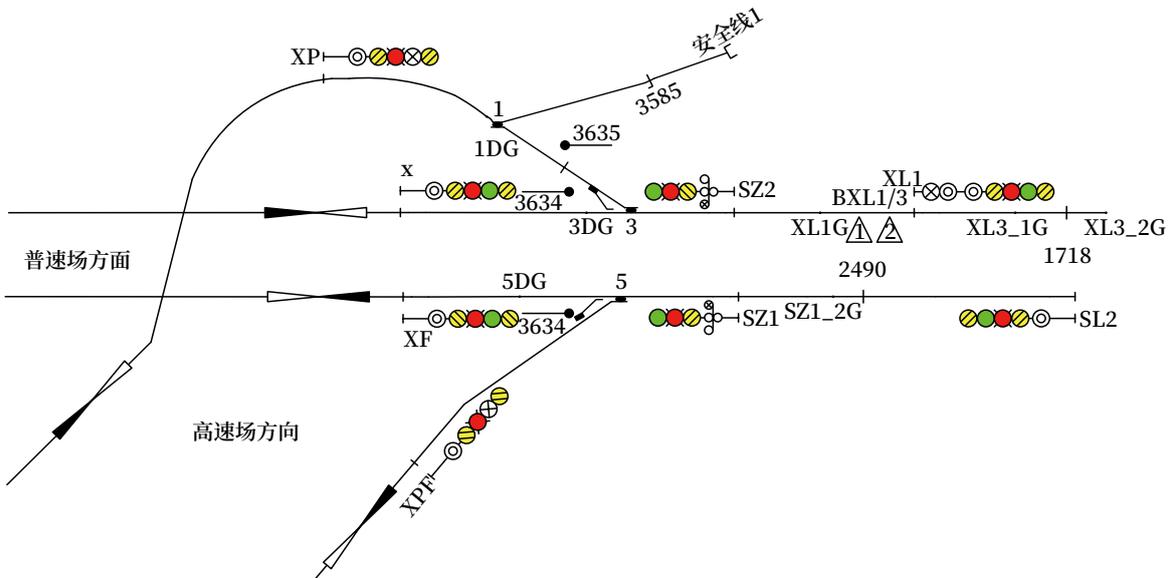


图2 某站下行端方向口示意  
Fig.2 Schematic diagram of the exit in down direction of a station

本站 - 普速场间上行线共 2 个区段，分别为 S1LQG（邻）、0468G，区间轨道电路归普速场管辖，且该区间方向电路、站联电路全由 QJK 实现，通过站间光纤通信传输，是否具备发车条件也由 QJK 检查，区间综合监控系统型号为 QJK-JS 型。

### 2.1 监测设备及电路原理分析

故障时，SZ1 信号机未瞬间闪绿灯，并且其 DJ 电流曲线未变化，说明计算机联锁未驱动 SZ1-LXJ，由此判断缺少必要联锁条件。FKTJ 驱动原理如图 3 所示，通过监测回放发现：在 01:10:46 前 XF 口的发车开通继电器 FKTJ 为吸起（常态为↑），但

在 01:10:46 时 XF-FKTJ 落下，在故障恢复前一直处于落下状态。

当 XF-FKTJ ↓，导致 XF 口的发车信号继电器 FXHJ 不能吸起，该继电器电路原理如图 4 所示。由于该继电器未吸起，计算机联锁未能采集到 XF-FXHJ 前接点，联锁逻辑不成立，系统不驱动 SZ1-LXJ，SZ1 信号不能开放。

### 2.2 XF-FKTJ落下原理分析

检查本站区间设备无任何报警信息，由于本站至普速场间区间轨道电路全归普速场管辖，区间方向电路、站联电路信息由普速场 QJK 通过站间光

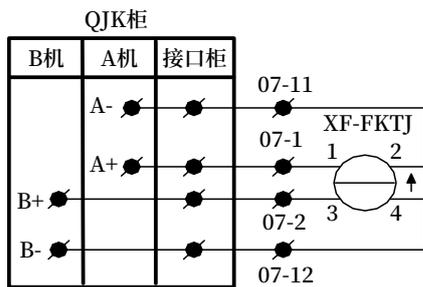


图3 FKTJ驱动原理  
Fig.3 Schematic diagram of FKTJ driving

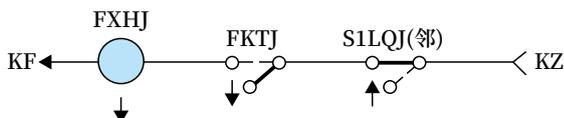


图4 本站XF-FXHJ励磁电路原理  
Fig.4 Schematic diagram of XF-FXHJ excitation circuit of the station

纤通信传输，于是继续检查普速场区间监控系统维修机。查看其报警信息，发现 QJK 维修机有“SP-GFZTJ 驱采不一致”报警信息，并且报警时间段与故障时间段一致。

改方状态继电器 GFZTJ 主要用于改方时，解决分界口及 2LQ (2JG) 瞬间闪红问题，在改方期间，该继电器励磁，强制使 XGJ 励磁，如图 5 所示，给出改方过程中小轨道条件，在区间小轨纳入

联锁时，克服改方过程中区间闪红光带问题，改方结束后，该继电器落下，检查真实小轨道条件。

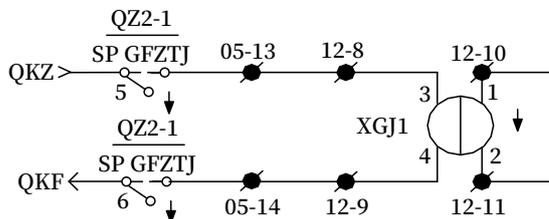


图5 改方状态继电器GFZTJ对XGJ的另外一条励磁电路  
Fig.5 Another excitation circuit of direction change state relay GFZTJ to XGJ

如图 6 所示，改方状态继电器 GFZTJ (常态为↓)，QJK 采集其落下接点，在改方时由区间综合监控系统根据逻辑状态驱动其吸起，给邻站发送发车授权的信息。本案例由于普速场 QJK 采集不到 SP-GFZTJ 后接点，认为驱采不一致，并撤销向区间发车授权，导致邻站 XF-FKTJ 未能吸起，最终导致 SZ1 信号不能开放。在该故障发生后，按 GFZTJ 采集电路，对组合侧面、内部焊点进行检査，未发现异常，测量采集接点压降为 2.5 mV，检查接口架、机柜内航空插头固定良好。

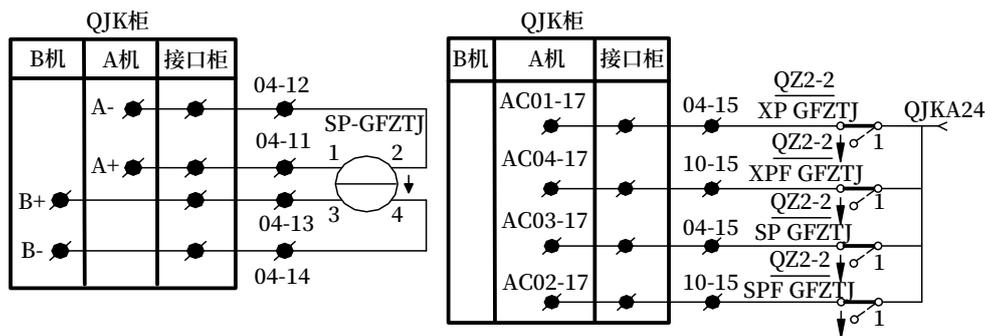


图6 改方状态继电器GFZTJ驱动、采集电路  
Fig.6 Drive and acquisition circuit of direction change state relay GFZTJ

### 3 解决方案

从故障案例中可以看出，该区间综合监控系统设备含改方功能的设计存在一定隐患，仅采集改方状态继电器 GFZTJ 的一组后接点，不采集前接点，当采集不到后接点时，即认为驱采不一致，并撤销向区间的发车授权。在逻辑设计上不合理，会造成

信号不能开放或已开放信号跳起，影响行车安全，为此提出以下解决方案及建议。

1) 正确的判断逻辑应为：未驱动相应继电器但采集到前接点或驱动相应继电器但未采集到前接点时，判断为驱采不一致。建议增加 GFZTJ 前接点采集，并修改判断逻辑；或取消该改方状态继电器 GFZTJ 在发车开通继电器 FKTJ 电路中的判断

逻辑,按四线制方向定型电路设计,检查方向正确和一离去空闲。

2) 修改双机倒机逻辑。目前区间综合监控设备仅在本系发生通信故障、板卡硬件故障且另一系无故障时才进行倒机,当本系采集故障,但另一系采集正常时,不会主动进行倒机切换,安全可靠不高。建议修改倒机方式,增加本系采集故障,另一系采集正常时,自动进行倒机切换,提高系统可靠性。

3) 增加集中监测报警信息。目前区间综合监控设备向集中监测传送报警数据不全,发生驱采不一致报警时,在集中监测上无报警信息记录,不便于现场调阅分析和提前发现并解决问题,也不利于故障时应急处置。

#### 4 结论

该案例具有普遍性和特殊性,要求设计单位一是要充分考虑逻辑关系及应用场景,提前做好软件功能的验证和测试,及时克服系统存在的缺陷;二是对于特殊场景,必须在技术说明书中做详细的说明,便于现场设备管理维护。同时也要求设备管理单位在接管新型设备时,必须提前学习,重点梳理特殊电路,并在联锁档案中记录说明;在施工初期,及时验证,提前发现设计缺陷,及时反馈并研究制定整改方案,确保设备运行安全可靠。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 李强. 特殊车站信号区间综合监控系统组网方案探讨[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(1): 58-61.  
Li Qiang. Discussion on Networking Scheme of Integrated Monitoring System for Special Station Signal Interval[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(1): 58-61.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路车站计算机联锁技术条件: TB/T 3027-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [4] 赵自信. ZPW-2000A 无绝缘移频自动闭塞系统的技术综述[J]. 铁路通信信号设计, 2003(21): 12-19.
- [5] 刘芳, 王海峰. 二乘二取二与双机热备计算机联锁系统性能比较[J]. 铁道通信信号, 2008, 44(2): 26-29.
- [6] 何涛, 范多旺, 魏宗寿, 等. 铁路车站信号计算机联锁全电子执行单元研究[J]. 铁道学报, 2007, 29(2): 118-121.  
He Tao, Fan Duowang, Wei Zongshou, et al. Research on the All-Electronic Performance Units for Computer Interlocking Systems at Railway Stations[J]. Journal of the China Railway Society, 2007, 29(2): 118-121.
- [7] 陈晓伟, 董昱, 薛红岩, 等. 新型分布式计算机联锁系统的研究与设计[J]. 铁道通信信号, 2009, 45(3): 24-27.  
Chen Xiaowei, Dong Yu, Xue Hongyan, et al. Study on New Distributed Computer Interlocking[J]. Railway Signalling & Communication, 2009, 45(3): 24-27.
- [8] 闫卫东. 区间逻辑检查设备原理、维护及故障处理[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
- [9] 王晓辉. 区间综合监控系统在特殊车站的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(2): 6-10.  
Wang Xiaohui. Application of Sectional Integrated Supervisory and Control System(QJK) in Irregular Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 6-10.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.017

# 扼流变压器磁化测试新思路

吕大梅

(固安北信铁路信号有限公司, 河北廊坊 065500)

**摘要:** 以扼流变压器为研究背景, 在深刻了解扼流变压器现场使用情况的基础上, 结合现有测试仪器和设备的能力, 提出扼流变压器磁化测试电路的新思路, 通过电路设计, 使扼流变压器的测试方案尽可能的接近其真实的使用状态, 在不使用信号线圈辅助测试的情况下, 实现单台扼流变压器的磁化测试, 使对扼流变压器的磁化测试更加真实、有效。为验证其可行性, 搭建测试环境, 对扼流变压器的磁化测试电路进行验证。

**关键词:** 磁化测试; 扼流变压器; 测试环境; 验证

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0081-05

## New Idea of Magnetization Test for Choke Transformer

Lü Damei

(Gu'an Beixin Signal of Railway Co., Ltd., Langfang 065500, China)

**Abstract:** Taking the choke transformer as the research background, this paper puts forward a new idea of the magnetization test circuit of the choke transformer based on the deep understanding of the field application of choke transformer and combined with the ability of existing test instruments and equipment. Through circuit design, the test scheme of choke transformer is as close as possible to the real state of use, and the magnetization test of a single choke transformer is realized without using signal coil to aid the test, which makes the magnetization test of the choke transformer more real and effective. In order to verify its feasibility, a test environment is set up and the magnetization test circuit of the choke transformer is verified.

**Keywords:** magnetization test; choke transformer; test environment; verification

### 1 概述

扼流变压器是电气化轨道电路的重要组成部分, 是强电与弱电的纽带, 在导通牵引电流的同时

完成信号的传输, 扼流变压器的性能直接影响到铁路运输的质量, 因此, 对于扼流变压器性能的把控显得尤为重要。

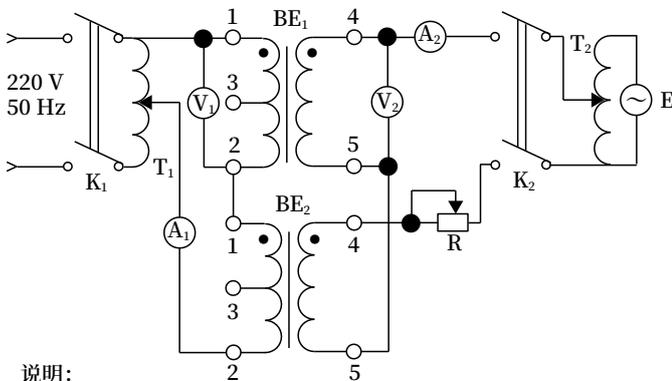
对扼流变压器性能要求中, 包含一项磁化测试, 此项测试的目的主要是验证扼流变压器抗不平衡电流的能力。扼流变压器牵引线圈由中间抽头的两个线圈组成, 其应用原理为, 牵引电流从两侧流入中间流出, 磁场相互抵消, 实现导通牵引电流的目的。但在实际应用中, 由于各种内部和外部原

收稿日期: 2022-08-30; 修回日期: 2023-02-16

作者简介: 吕大梅(1983—), 女, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号产品结构设计和电气测试, 邮箱: lvdamei1@163.com。

因，导致两侧牵引电流不等，磁场抵消不完全，造成了不平衡电流的出现。不平衡电流将直接施加于扼流变压器，这时就要依赖扼流变压器的承受能力，也就是扼流变压器是否会出现饱和现象。而磁化测试就是其对不平衡电流承受能力的一种检测方法，通过模拟给入扼流变压器不平衡电流的同时，测试其阻抗变化，验证其抗不平衡电流的能力。

以往对于扼流变压器的磁化测试，一般采用两台扼流变压器通过牵引侧正向连接、信号侧反向连接，极性抵消的方式。测试电路如图 1 所示。牵引侧正向连接后，模拟通入相应的 50 Hz 不平衡牵引电流，信号侧出现不平衡电流后，通过反向连接实现磁场抵消。同时从信号侧通入信号电压，可测得扼流变压器信号侧阻抗，根据变比进而得出牵引侧阻抗。通过此时牵引侧阻抗的变化情况，查验扼流变压器是否受到了不平衡电流的影响，进而验证扼流变压器对不平衡电流的承受能力。



说明：  
220 V、50 Hz：信号源；K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>：闸刀开关，双刀单掷，250 V、15 A；T<sub>1</sub>：调压器，250 V、3 kVA；V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>：数字真有效值表；BE<sub>1</sub>：合格变压器；E：25 Hz电源，经滤波器失真度应小于5%；R：变阻器，2.2 Ω/220 W无感电阻；T<sub>2</sub>：25 Hz调压器，250 V、3 kVA；A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>：交流电流表，0~5 A；BE<sub>2</sub>：被测变压器。

图1 牵引线圈经50 Hz电源磁化阻抗试验电路  
Fig.1 Traction coil magnetization impedance test circuit with 50 Hz power

经长期的测试验证，BE<sub>1</sub> 和 BE<sub>2</sub> 两台扼流变压器不可能完全相同，信号侧也存在磁场抵消不完全的情况。此种测试方式易造成两台扼流变压器的测试结果相互影响，使最终的测试结果存在偏差；而没有信号线圈的空扼流变压器，需增装信号线圈才能进行磁化测试，造成测试状态与实际使用状态不一致。

根据扼流变压器现场的实际使用情况，结合测试环境和测试条件，对扼流变压器的磁化提出了新的测试思路，无需信号线圈辅助测试，可实现单台扼流变压器即可完成对其的磁化测试，通过搭建测试环境，对测试电路进行分析验证，验证了测试电路的可行性。

## 2 磁化测试原理分析与验证

通过分析测试电路原理，经过测试环境搭建以及测试数据分析，初步验证测试电路可行性。

### 2.1 测试电路介绍

磁化测试电路如图 2 所示。

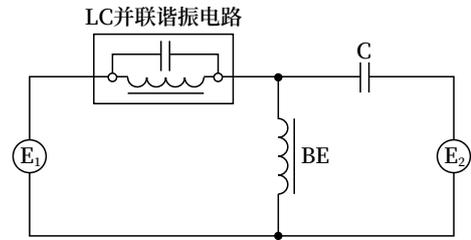


图2 磁化测试电路  
Fig.2 Magnetization test circuit

在图 2 所示电路中，E<sub>1</sub> 为 50 Hz 电源；E<sub>2</sub> 为移频信号电源；LC 并联谐振电路谐振频率分别为 ZPW-2000 各载频（1 700 Hz、2 000 Hz、2 300 Hz、2 600 Hz），其中，其电感 L 需确保在其通入 50 Hz 50 A 电流时不出现饱和现象，即并联谐振阻抗可看做定值；BE 为被测试扼流变压器；C 为电容，容值设置为 10 μF 左右。

### 2.2 分析与验证

由图 2 可以看出，当 50 Hz 电源给入信号时，电容 C 将会隔离其信号进入 ZPW-2000 信号电源支路，其等效电路如图 3 所示。

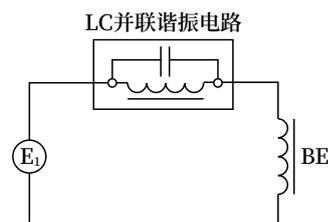


图3 50 Hz等效电路  
Fig.3 50 Hz equivalent circuit

当 ZPW-2000 电源给入信号时, 其等效电路如图 4 所示, 其中  $r$  为 50 Hz 电源内阻, 且  $I_0$  为  $I_1$  和  $I_2$  之和。

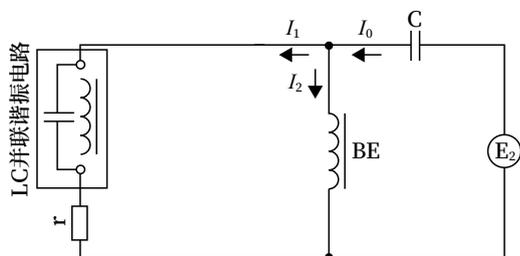


图4 移频等效电路

Fig.4 Frequency shift equivalent circuit

当 50 Hz 信号和 ZPW-2000 信号同时给入时, 可以测得移频信号  $I_1$ 、 $I_0$  值,  $I_2$  为扼流变压器牵引侧内部电流, 受结构限制不能通过仪表进行测量。亦可测得 BE 扼流变压器两端电压  $U_{BE}$ , 根据图 4 可知, 通入扼流变压器的电流  $I_2 = I_0 - I_1$ , 至此, 根据公式  $Z = U/I$ , 可计算出扼流变压器在磁化条件下的移频阻抗。

按测试电路搭建测试环境, 在此选用 BE (K) - 1000/ZPW 扼流变压器为例进行测试。当 50 Hz 电流为零 (即断开) 时, 通入移频信号, 测试  $U_{BE}$ 、 $I_0$ 、 $I_1$  值, 由  $I_2 = I_0 - I_1$ , 扼流变压器移频阻抗按公式  $Z = U_{BE}/I_2$  计算得出, 如表 1 中  $I_{50\text{ Hz}}$  为 0 A、20 A、50 A 时的测试数据。

表1 BE (K)-1000/ZPW扼流变压器磁化测试数据

Tab.1 Magnetization test data of BE(K)-1000/ZPW choke transformer

$I_{50\text{ Hz}}/\text{A}$	$I_0/\text{mA}$	$I_1$	$U_{BE}/\text{V}$	$Z/\Omega$
0	96	47 mA	0.965	19.7
20	133	0.04 A	0.72	7.74
50	137	0.03 A	0.48	4.49

当同时通入 50 Hz 和移频信号时, 对于移频信号  $I_1$  值的读取需采用具有选频功能的仪表, 经过验证, 虽选频功能仪表能够测得所需的数据, 但测得的数据精度不够, 如表 1 中所示, 当  $I_{50\text{ Hz}}$  为 0 A 时,  $I_1$  的示值为 47 mA, 精度为 0.001 安培级; 当两种信号共存时, 即当磁化电流  $I_{50\text{ Hz}}$  为 20 A、50 A 时, 读取的仪表的示值精度只能达到 0.01 安培级, 此数据使最终的结果存在偏差。

因此, 在对电流  $I_1$  值的求取方式改用计算得出, 即在两种信号同时给入的情况下, 测试 LC 谐振电路两端电压。在图 4 中, 当  $I_{50\text{ Hz}}$  为 0 A 时, 通过测得  $U_{LC}$  和  $I_1$  可求得 LC 谐振电路的阻抗值  $U_{LC}$ 。从图 3 中可知, 当两种信号同时给入时,  $I_0$  即为移频信号总电流, 混入的 50 Hz 信号几乎为 0, 电流  $I_1$  为计算所得, 因此可以保证电流  $I_2$  的精度。

按电路图搭建测试环境, 当 50 Hz 电流为 0 (即断开) 时, 通入移频信号, 测得  $I_1$  和  $U_{LC}$ , 计算可得 LC 谐振阻抗, 即  $0.96/0.047 = 20.4 \Omega$ , 然后同时通入 50 Hz 和移频信号, 测试移频信号  $U_{LC}$ 、 $U_{BE}$ 、 $I_0$  值, 则  $I_1 = U_{LC}/20.4$ , 通过公式  $I_2 = I_0 - I_1$  计算可得  $I_2$  值, 通过公式  $Z = U_{BE}/I_2$  计算可得扼流变压器阻抗  $Z$ 。测试数据如表 2 所示。

表2 BE (K)-1000/ZPW扼流变压器磁化测试数据  
( $I_1$ 计算得出)

Tab.2 Magnetization test data of BE(K)-1000/ZPW choke transformer

$I_{50\text{ Hz}}/\text{A}$	$I_0/\text{mA}$	$I_1/\text{mA}$	$U_{LC}/\text{V}$	$U_{BE}/\text{V}$	$Z/\Omega$
0	96	47	0.96	0.965	19.7
20	133	35.6	0.727	0.72	7.7
50	137	23.9	0.487	0.48	4.24

由测得的结果可以看出, 扼流变压器阻抗在磁化电流为 20 A 时阻抗已下降, 在磁化电流为 50 A 时, 扼流变压器磁化后阻抗下降严重。

为了进一步验证此电路, 通过更换被测扼流变压器和 LC 谐振电路分别进行测试。

首先, 将以上测试的 BE (K) - 1000/ZPW 扼流变压器更换为不饱和电感  $L$ , LC 谐振电路与上同, 同理进行测试, 测试数据如表 3 所示。

表3 不饱和电感磁化测试数据

Tab.3 Magnetization test data of unsaturated inductance

$I_{50\text{ Hz}}/\text{A}$	$I_0/\text{mA}$	$I_1/\text{mA}$	$U_{LC}/\text{V}$	$U_L/\text{V}$	$Z/\Omega$
0	0.939	48	1.002	1.008	1.125
20	0.937	50.7	1.034	1.032	1.16
50	0.937	51.2	1.044	1.038	1.17

通过以上测试数据, 不饱和电感阻抗在磁化电流为 20 A 和 50 A 时, 不饱和电感磁化后阻抗未发生明显的饱和现象。

然后将 LC 谐振电路中电感更换为空心线圈, 电感量约为 200 mH, 并接电容后构成 LC 谐振电路。同样按照前面的方法, 先通过测试, 计算出 LC 谐振电路的阻抗, 如表 4 所示。在 50 Hz 信号电流为零时的测试数据, 可以计算出谐振阻抗  $0.999/24 = 41.6 \Omega$ , 再对 BE (K)-1000/ZPW 扼流变压器进行测试, 测试数据如表 4 所示。

表4 BE (K)-1000/ZPW扼流变压器磁化测试数据  
(L为空心线圈)

Tab.4 Magnetization test data of BE(K)-1000/ZPW choke transformer

$I_{50 \text{ Hz}}/\text{A}$	$I_0/\text{mA}$	$I_1/\text{mA}$	$I_2/\text{mA}$	$U_{LC}/\text{V}$	$U_{BE}/\text{V}$	$Z/\Omega$
0	103	24	80	0.999	1.021	12.76
20	95	14.8	80.2	0.618	0.64	7.98
50	94	10.86	83.14	0.452	0.47	5.65

通过表 4 测试数据同样可以看出, 扼流变压器阻抗在磁化电流为 20 A 时阻抗也已下降, 在磁化电流为 50 A 时, 扼流变压器磁化后阻抗下降也比较严重。但是对比表 2 的测试数据, 略有不同, 在无 50 Hz 磁化电流条件时测得的移频阻抗偏低, 在有 50 Hz 磁化电流条件下测得的移频阻抗偏高。

两次测试的区别在于, 表 2 的测试数据的测试对象 BE (K)-1000/ZPW 扼流变压器内部增加了测试信号线圈, 而表 4 的测试数据的测试对象 BE (K)-1000/ZPW 扼流变压器内部未安装测试信号线圈。

通过表 2 和表 4 测试数据的对比可得知, 对于空扼流变压器内部增加信号线圈来实现磁化测试的方法存在一定的弊端, 在空扼流变压器内部增装信号线圈后, 改变了扼流变压器的原有电气性能, 虽能完成磁化测试, 却使其与现场的实际使用情况不同, 失去了原有测试的意义。

另外, LC 谐振电路在移频信号各频率下为并联谐振, 而在 50 Hz 频率条件下等效为容性, 扼流变压器线圈为感性。运用此电路时, 需注意 LC 谐振电路与所测扼流变压器参数, 避开两者在 50 Hz 的串联谐振点。

由以上分析可得知, 此电路可以针对单台扼流变压器进行磁化测试, 不受限于两台扼流才能进行磁化测试, 不存在两台扼流变压器通过极性抵消的方式, 造成测试结果相互影响的情况。扼流变压器

磁化移频阻抗是牵引侧真实通入磁化电流后测得的, 并且不要求其内部包含信号线圈, 几乎可以涵盖所有扼流变压器, 包括空扼流变压器、扼流电感器、扼流变压器以及扼流适配变压器的磁化测试。

### 3 结束语

本文提出的磁化测试的新思路, 从目前的测试和分析显示, 此磁化电路是可行的。在此磁化测试电路, 只需准备相应频率下的 LC 并联谐振电路, 电源以及其他辅助设备均可利用原磁化电路的设备进行, 甚至通过增大 LC 谐振电路的通流容量, 此磁化电路可以测试的磁化电流条件可以增加至 500 A。

实现单台扼流变压器即可完成磁化测试, 不受双台扼流变压器才能进行磁化测试的限制。在第三方产品检测、认证检测、现场抽检或是检修测试等情况下, 对于扼流变压器的磁化检测均可以通过一台来完成, 不需要多搬运另一台辅助测试, 简化了测试, 降低了劳动强度, 节约了劳动成本。

此磁化电路不依赖信号线圈辅助测试, 避免了增装信号线圈使扼流变压器性能发生变化的影响。同时, 在生产加工过程中, 不需要为了进行测试而制作信号线圈, 节省了材料成本, 降低了人工成本。

此磁化电路对扼流变压器的磁化测试更接近于其实际的工作状态; 测试电路简单, 测试真实、有效。

通过此磁化电路, 对扼流变压器的磁化测试提出了新思路, 如能被行业标准采纳, 将使行业适用性更强, 适用范围更广泛, 避免了不必要的资源浪费, 具有一定经济效益; 为将来行业标准更新制定提供了可靠的数据支持, 促进行业技术发展, 具有重大社会效益。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号用变压器 第 7 部分: BE 系列扼流变压器: TB/T 1869.7-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 邱关源. 电路 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [3] 安海君, 殷惠媛, 刘伟. 叠加预发码和闭环电码化技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社,

- 2008: 320-323.
- [4] 田铭兴, 史宏章, 闵永智. 扼流变压器的等效电路 [J]. 变压器, 2011, 48 (5): 30-32.  
Tian Mingxing, Shi Hongzhang, Min Yongzhi. Equivalent Circuit of Choke Transformer[J]. Transformer, 2011, 48(5): 30-32.
- [5] 逯凌娜, 杨晓锋. 空扼流变压器测试电路 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8 (2): 70, 76.  
Lu Lingna, Yang Xiaofeng. Test Circuits of Uncharged Impedance Transformers[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2011, 8(2): 70, 76.
- [6] 孟琳, 魏涛. 客专轨道电路扼流变压器常见故障分析与维护建议 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (3): 95-100.  
Meng Lin, Wei Tao. Suggestions on Common Faults in Impedance Transformers in Track Circuits of Passenger Dedicated Lines[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(3): 95-100.
- [7] 司静. 50 Hz 牵引回流干扰问题的研究与分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (2): 93-98.  
Si Jing. Research and Analysis of 50 Hz Traction Current Return Interference[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 93-98.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### OSDM技术工作组的内部合作为愿意实施OSDM模型的公司提供有效的支持

开放销售和分配模型 (OSDM) 是 UIC 的一项倡议, 旨在大幅简化并且改善公共交通用户的预订流程, 并为零售商、经销商和运输公司降低工作复杂性和分配成本。来自不同领域 (第三方经销商、IT 提供商和铁路公司) 的专家明确了 OSDM 规范, 他们自愿参加 OSDM 技术工作组的会议。在 [www.osdm.io](http://www.osdm.io) 网站上以开源方式公开提供 OSDM 规范。现在上述规范已经成熟, 多项 OSDM 实施工作正在持续进行中。为支持这些工作和未来将开展的工作, OSDM 执行委员会讨论了 OSDM 技术工作组如何为愿意实施 OSDM 的公司提供支持。

为减少这些公司的测试投资, 并且为潜在的新成员保证实施工作的互联互通和中立性, OSDM 技术工作组建议提供一份易于适应这些公司的环境的可配置测试场景目录, 允许公司快速测试自己的新 OSDM 应用程序编程接口 (OSDM API)。

目前, Bileto 公司 (票务技术公司)、Sqills 公司 (从事铁路和公共汽车行业的库存、预订和票务软件业务) 和 Turnit 公司 (提供客运行业旅游相关技术) 为自己的铁路和公共汽车客户提供 OSDM 2.0 版本。其中, Sqills 公司在 2021 年被西门子收购。上述 3 家公司和波兰国铁 (PKP) 表示愿意开发上述测试场景目录。UIC 代表 OSDM 执行委员会感谢这些公司所做的贡献, 他们的付出是促进人们采用 OSDM 的另一个重要里程碑。

为进一步帮助各公司采用 OSDM, Sqills 公司为 OSDM 执行委员会提供了一个自动化工具, 任何利益相关方都可以使用该工具, 验证他们的 OSDM API 端点 (API endpoint) 是否符合共同商定的实施场景。(工具信息详见网站: <https://www.sqills.com/osdm-validator-tool/>)。到 2023 年晚些时候, 每个提供 OSDM API 的车票提供商或运输公司都可以使用该工具, 从而自动验证他们的实施工作是否符合铁路界商定的标准。

Sqills 首席产品官约翰·纽沃斯 (Johan Nieuwerth) 解释说: “我们正在开发的工具将使工作过程变得非常容易, 输入您的 OSDM API 端点的详细信息和一些输入变量, 例如一个行程样本的起点 / 终点站, 之后您将自动收到一份报告, 说明您的 API 涵盖了多少经过共同商定的适用于运输公司 / 车票提供商的 OSDM 场景。我们自己的公司将使用这个工具, 并且决定为每个感兴趣的人提供这项工具, 从而为整个行业实现更多、更好的标准化做出贡献。”

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王冲翻译自: <https://uic.org/com> 2023-02-16)

# 使用IKVM长线驱动器串口鼠标误操作的研究

张光辉

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 现场计算机联锁设备在调试时控显机偶尔会出现串口鼠标在无人操作的情况下, 发生移动和点击的动作, 并对联锁软件形成有效但错误的操作, 怀疑与使用的 IKVM-1000 长线驱动器有关。为保证联锁设备的正常调试及使用, 针对 IKVM-1000 光纤接口、串口及串口鼠标进行一系列测试, 分析故障现象及原因, 以便解决控显鼠标误操作的问题。

**关键词:** IKVM-1000; 串口鼠标; 误操作; 串口通讯协议

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0086-05

## Research on Misoperation of Serial Mouse Using IKVM Long Line Driver

Zhang Guanghui

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

**Abstract:** During the commissioning of the on-site computer interlocking equipment, the action of moving and clicking of serial mouse occasionally occurs in the control & display computer when no one is operating, and results in effective but wrong operation on the interlocking software. It is suspected to be related to the IKVM-1000 long line driver. In order to ensure the normal commissioning and use of the interlocking equipment, a series of tests on the IKVM-1000 optical fiber interface, serial port and serial mouse is carried out, and the fault phenomena and causes are analyzed, so as to solve the problem of misoperation of control & display mouse.

**Keywords:** IKVM-1000; serial mouse; misoperation; serial communication protocol

### 1 联锁控显所用设备及连接方式介绍

IKVM-1000 是一种提高稳定可靠性和传输距离的光纤延长器, 相比于电缆通信, 能够实现传输距离长、延时低、抗干扰、信号稳定可靠、维护检修方便等优点。其包括发送端装置和接收端装置, 发送端装置和接收端装置通过光缆连接, 发送端装

置包括依次连接的发送端输入信号模块、发送端输入信号前期处理模块、发送端时分复用编解码装置和发送端 SFP 模块。接收端装置包括依次连接的接收端 SFP 模块、接收端时分复用编解码装置、接收端输出信号前期处理模块和接收端输出信号模块。IKVM-1000 功能示意以及接收端和发送端实际连接示意如图 1 所示。

联锁使用的鼠标为定制的铁路联锁系统专用抗干扰鼠标, 设计中已经对鼠标的 CMOS 电路、按键电路进行过改进处理, 在以往使用中有很强的抗无

收稿日期: 2022-02-28; 修回日期: 2023-02-07

作者简介: 张光辉 (1980—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 计算机联锁、列控等设备集成, 邮箱: 337zgh@crscd.com.cn。

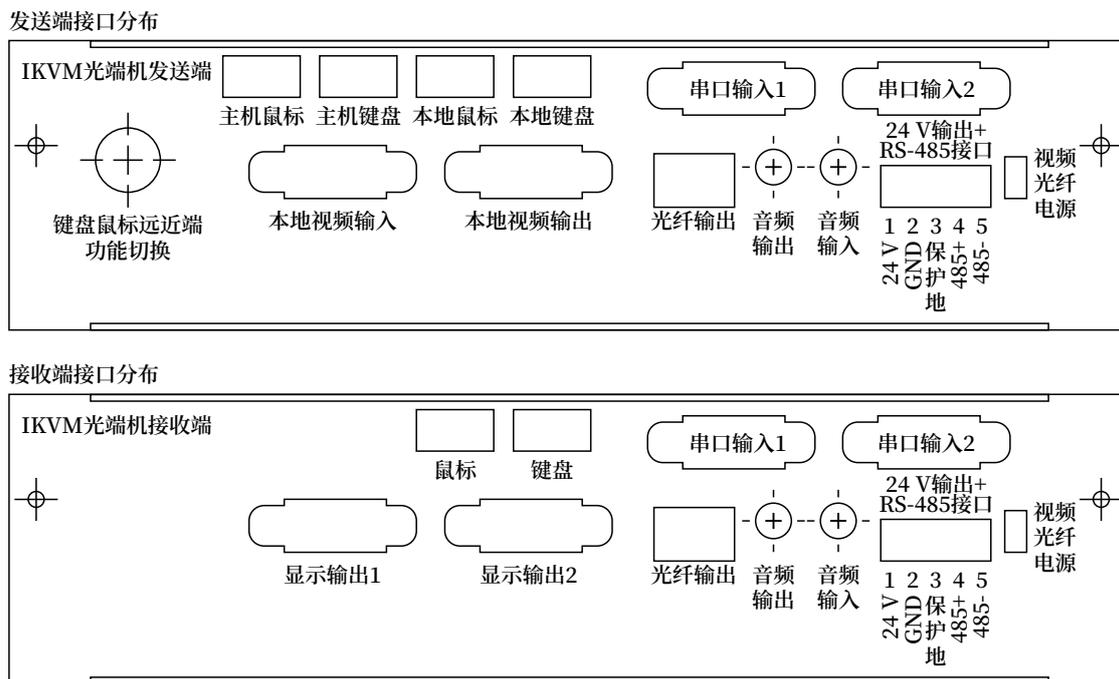


图1 IKVM-1000功能示意以及接收端和发送端实际连接示意  
Fig.1 Function diagram of IKVM-1000 and actual connection diagram of the receiver and sender

线射频干扰能力。

现场实际使用中，联控的控显机与控显显示器及控显鼠标之间由光纤通过长线驱动器 IKVM-1000 连接。控显机输出的信号通过 IKVM-1000 所配的电缆线与 IKVM-1000 的发送端连接，由发送端转换成光信号通过光模块、光缆传输到 IKVM-1000 的接收端，再由接收端转换成电信号连接控显显示器及串口鼠标进行操作控制及联控软件的显示。

## 2 鼠标误操作问题复现

为研究解决现场出现的鼠标误操作问题，把现场的 IKVM-1000 及其连接的串口鼠标整套设备寄回，在实验室模拟现场环境，对各种情况进行详尽的测试，主要是针对在光纤传输发生异常时，串口鼠标的反应情况，以复现故障现象，具体操作如下。

在控显机与鼠标之间连接 IKVM-1000 后，频繁拔插 IKVM-1000 发送端及接收端的光纤模块，屏幕上会出现鼠标移动及左右键点击的操作，鼠标实际上并没有进行任何人为操作。

频繁拔插发送端及接收端的光纤，屏幕上也会出现鼠标移动及左右键点击的操作，而鼠标实际上

也并没有进行任何人为操作。问题复现测试环境示意如图 2 所示。

经过上述实验，复现现场的故障现象，为此进行后续的分析研究。

## 3 鼠标误操作问题验证

首先，需要确认造成鼠标的误操作的信号源头是鼠标本身产生的还是 IKVM-1000 设备产生。测试如下。

不使用 IKVM-1000，串口鼠标直接接在工控机上，对鼠标进行频繁插拔，也会出现串口鼠标移动及左右键自主点击的现象。

拔掉串口鼠标，进行光纤及光模块的频繁插拔动作，不会出现串口鼠标移动及左右键自主点击的现象。

综合上述情况，确认造成串口鼠标误操作的信号的源头在于鼠标本身，而不是 IKVM-1000 设备。

其次，需要深入分析产生误操作的条件及原因。从现象上来看，连接鼠标的串口通讯出现中断或异常时，才会复现故障。鉴于串口鼠标供电的特殊性，判断鼠标误操作最有可能出现在串口鼠标上 / 下电过程中。

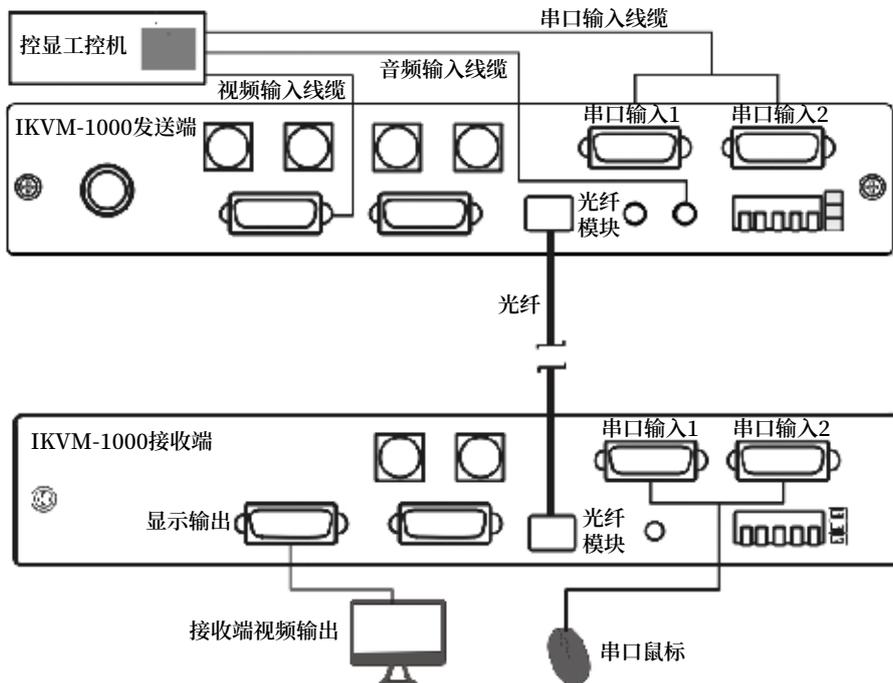


图2 问题复现测试环境示意  
Fig.2 Schematic diagram of problem recurrence test environment

基于上述考虑，用串口调试助手来监听鼠标对应串口数据，发现串口鼠标频繁上电再下电（拔掉鼠标再插上或光纤及光模块断开再连通）时，串口鼠标都会有一些初始化数据，而且除了正常初始化数据之外，还有一定概率出现非正常数据。

所以，鼠标的误操作，会出现在鼠标反复频繁的上 / 下电过程中。如果现场的光纤通路及光模块虚接或不稳定时，就会造成串口鼠标的上 / 下电，有概率出现这种问题。

## 4 串口通信原理及特性

### 4.1 串口的工作原理

串口通信比较简单，串口按位 (bit) 发送和接收字节。尽管比按字节 (byte) 的并行通信慢，但是串口可以在使用一根线发送数据的同时用另一根线接收数据。它很简单并且能够实现远距离通信。

9 针 RS-232 串口引脚的接口定义为 pin1 载波检测 (DCD), pin2 接受数据 (RxD), pin3 发出数据 (TxD), pin4 数据终端准备好 (DTR), pin5 信号地 (GND), pin6 数据准备好 (DSR), pin7

请求发送 (RTS), pin8 清除发送 (CTS), pin9 振铃指示 (RI)。其中 pin2 和 pin3 数据传输, pin1、pin4、pin6、pin7、pin8 数据握手, pin5 为地线。串口引脚定义如图 3 所示。

1 5 9 6 9 PIN-conn ector	25 PIN-connector	Name	Dir	Description
1	8	CD	input	Carrier Detect
2	3	RxD	input	Receive Data
3	2	TxD	output	Transmit Data
4	20	DTR	output	Data Terminal Ready
5	7	GND	--	System Ground
6	6	DSR	input	Data Set Ready
7	4	RTS	output	Request to Send
8	5	CTS	input	Clear to Send
9	22	RI	input	Ring Indicator

图3 串口引脚定义  
Fig.3 Serial pin definition

串口用于 ASCII 码字符的传输。通信使用 3 根线完成：地线、发送和接收。由于串口通信是异步的，端口能够在同一根线上发送数据，同时在另一根线上接收数据。其他线用于握手，但不是必需的。

串口鼠标使用的是 pin2、pin3、pin4、pin5、pin7 针。第 pin2、pin3、pin5 分别表示数据收发和信号地，在控显工控机开机配置鼠标初始化后，主机一直保持拉低 DTR 和 RTS，鼠标电源依靠控制信号 DTR 和 RTS 两个信号线窃电工作。

#### 4.2 串口电气特性

EIA-RS-232C 是美国电子工业协会 (Electronic Industry Association, EIA) 制定的一种串行物理接口标准。其中“推荐标准”的英文为 (Recommended Standard, RS), 232 为标识号, C 表示修改次数。RS-232-C 总线标准设有 25 条信号线, 包括一个主通道和一个辅助通道。对电器特性、逻辑电平和各种信号线功能都作了规定, 驱动器允许有 2 500 pF 的电容负载, 通信距离将受此电容限制, 传送的数字量采用负逻辑, 且与地对称。

在 TxD 和 RxD 上: 逻辑 1(MARK) =  $-3 \sim -15$  V。逻辑 0(SPACE) =  $+3 \sim +15$  V。

在 RTS、CTS、DSR、DTR 和 DCD 等控制线上: 信号有效 (接通, ON 状态, 正电压) =  $+3 \sim +15$  V。信号无效 (断开, OFF 状态, 负电压) =  $-3 \sim -15$  V。

#### 5 鼠标误操作问题原因分析

在光纤传输正常时, IKVM-1000 接收端 DTR 和 RTS 信号有效, 两个信号电平  $+3 \sim +15$  V, 串口鼠标可以窃到电, 工作正常。在光纤传输发生异常时, IKVM-1000 接收端 DTR 和 RTS 信号无效, 两个信号电平  $-3 \sim -15$  V, 串口鼠标不能窃到电, 无法正常工作。电路原理如图 4 所示。

经过上述分析, 故障原因为光纤通信故障或中断时, IKVM-1000 接收端串口 DTR 和 RTS 信号电平跳变后, 串口鼠标窃不到电, 但鼠标内部电容的电量还能维持工作一段时间, 电压会不断降低, 鼠标会进入不稳定的状态, 这时串口鼠标内部电容的电量没有消耗完, 通信恢复正常时, 串口鼠标又可以窃到电。这种窃电不稳定的情况下串口鼠标可能会发出点击、移动等错误操作, 通过 IKVM-1000 回传给控显工控机, 造成鼠标自主移动或点击操作。

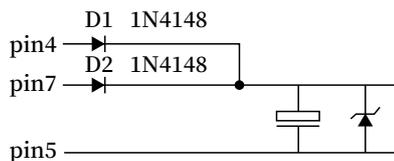


图4 pin4、pin5、pin7电路原理  
Fig.4 pin4, pin5 and pin7 circuit schematic

#### 6 解决方案及验证

由于长线驱动类产品对于串口传输的设计, 一般都是按照常规串口通讯协议的思路来进行设计, 将自身定位于透明传输的设备, 不干预 PC 的信号管理, 由 PC 端来决定串口信号的高低电平。而串口鼠标本身设计没有专门的供电引脚设计, 而是靠窃取信号上电压来工作, 直接连接 PC 时没有问题, 但在多环节光纤通讯应用场景下, 可能会有小概率的风险, 对此可以在 IKVM-1000 设备的接收端上进行优化, 调整 IKVM-1000 接收端串口权限, 具体措施如下。

为了充分保证串口鼠标的供电, 调整 IKVM-1000 接收端固件, 改变鼠标供电方案 (由于发送端不影响串口鼠标的供电, 所以不用调整), 如果鼠标由于通讯异常无法窃电时, IKVM-1000 设备主动替代联控显机接管 DTR 和 RTS 控制权, 强制控制 DTR 和 RTS 两个信号有效, 保证通信故障期间, 鼠标能够窃到电, 通信恢复 1 s 以后, DTR 和 RTS 两个信号控制权再交给控显机, 以确保鼠标一直工作于可靠的状态中。

按照上述方案, 调整 IKVM-1000 接收端固件后, 整套设备在实验室进行 24 h 不间断烤机, 可靠运行了一周时间, 在此期间进行多次试验, 无论怎样插拔光纤及光模块, 都没有发生串口鼠标误操作的情况发生。

#### 7 总结

通过对现场串口鼠标误操作的原因分析, 发现是由串口鼠标在工作中供电不稳定造成的。提出调整 IKVM-1000 接收端固件, 改变鼠标供电的方案, 经过验证能够有效解决在使用 IKVM-1000 时串口鼠标误操作的问题。

参考文献

- [1] 谢子馨. 计算机串口通信分析 [J]. 通信电源技术, 2019, 36 (9): 188-189.  
Xie Zixin. Analysis of Computer Serial Communication[J]. Telecom Power Technology, 2019, 36(9): 188-189.
- [2] 洪成泽, 郑颖. RS-232 串口通信在 PC 机与单片机通信中的应用 [J]. 南方农机, 2019, 50 (4): 175.  
Hong Chengze, Zheng Ying. Application of RS-232 Serial Communication in Communication between PC and MCU[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2019, 50(4): 175.
- [3] 吴斌, 李林, 张晓艳, 等. 基于 RS-232 串口的机载计算机自动测试方法 [J]. 信息通信, 2016, 29 (5): 140-141.  
Wu Bin, Li Lin, Zhang Xiaoyan, et al. Method of Automatic Test for Airborne Computer Based on RS-232 Serial Port[J]. Information & Communications, 2016, 29(5): 140-141.
- [4] 项河山. 铁路联锁专用串口鼠标干扰分析及解决办法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (12): 88-90.  
Xiang Heshan. Anti-Interference Analysis and Solution of Special Serial Mouse for Railway CBI System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(12): 88-90.
- [5] 周云波. 串行通信技术: 面向嵌入式系统开发 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2019.
- [6] 薛迎成, 何坚强. 工控机及组态控制技术原理与应用 [M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [7] 刘峰. CMOS 集成电路后端设计与实战 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [8] 李江全, 聂晶, 梁习卉子, 等. 单片机串口通信及测控应用实战详解 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- [9] 洪玲娇, 李卫娟. 计算机联锁与 TCC 接口自动化测试的研究和设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (10): 24-29.  
Hong Lingjiao, Li Weijuan. Research and Design of Automatic Test for CBI-TCC Interface[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 24-29.

\*\*\*\*\*

国外信息

DB提出高性能网络

德国联邦铁路公司 (Deutsche Bahn) 制定了一份由 40 个短期、中期和长期基础设施项目组成的方案的初步计划, 以改善铁路网的性能和容量, 并以此为基础与政府进行讨论。

这些建议涵盖 4 200 km 的线路, 预计将于 2030 年完工。DB 将把轨道更新和信号改造等措施捆绑在一起。这意味着一条线路将只关闭一段时间, 从而实现更高效的工作, 减少总关闭时间, 并且在几年内不再进行进一步的建设工作。长远规划亦有助在大型工程进行前, 预先准备分流线路。

德国联邦铁路基础设施管理委员会成员 Berthold Huber 在 2 月 9 日表示, 我们希望将铁路网络中使用频繁的部分扩展为一个高性能的网络。第一个走廊已经确定: 法兰克福和曼海姆 (Mannheim) 之间的 Riedbahn 的总体改造将于 2024 年夏天开始, 汉堡 - 柏林和艾默里奇 - 奥伯豪森 (Emmerich - Oberhausen) 走廊将在一年后开始。在此之后, 如何以及在哪里继续将由联邦政府决定。我很高兴我们现在可以就一个具体的提议展开进一步的谈判。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 黄双宁翻译自: <https://www.railwaygazette.com> 2023-02-13)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.03.019

# 匈塞铁路联锁数据工程化生成方法与实现

郭晨彤

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 联锁数据配置工程化辅助系统是面向国铁和海外信号系统工程化数据可视化和自动化的辅助系统。系统采用 C++ 面向对象的思想, 主要实现设计站场图的绘制、多视图显示站场图以及数据自动化配置生成等功能, 并通过对联锁数据结构的分析形成一套完整的数据配置工程化辅助系统。该系统在数据配置环节提高联锁软件数据的正确性、完整性和有效性, 大幅度提高软件制作效率, 有力保障信号系统集成实施。主要阐述联锁数据配置工程化辅助系统在匈塞铁路信号系统数据集成的应用情况。

**关键词:** 匈塞铁路; 联锁数据; 面向对象

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)03-0091-06

## Engineering Generation Method and Implementation of Interlocking Data for Hungary-Serbia Railway

Guo Chentong

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

**Abstract:** The interlocking data configuration engineering auxiliary system is an auxiliary system for the visualization and automation of the engineering data of the national railway and overseas signaling systems. This system adopts C++ object-oriented thinking, mainly realizes the drawing of station diagram, multi-view display of station diagram and automatic data configuration generation and other functions, and forms a complete set of data configuration engineering auxiliary system through the analysis of the interlocking data structure. The system improves the correctness, completeness and effectiveness of interlocking software data in the data configuration link, greatly improves the efficiency of software production, and effectively guarantees the implementation of signaling system integration. This paper mainly expounds the application of the interlocking data configuration engineering auxiliary system in data integration of signaling system for Hungary-Serbia railway.

**Keywords:** Hungary- Serbia railway; interlocking data; object-oriented

收稿日期: 2021-11-09; 修回日期: 2023-01-07

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-K1200004)

作者简介: 郭晨彤 (1993—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 基于 C++ 面向对象思想实现联锁工程化数据可视化和自动化生成, 邮箱: guochentong@crscd.com.cn.

## 1 概述

匈塞铁路是中国在欧洲主导建设的首条高速铁路，是中国高铁技术和装备“走出去”的重要组成部分<sup>[1]</sup>。根据塞尔维亚技术规范，工程采用DS6-60型全电子计算机联锁设备，联锁系统具备车站、区间的控制功能<sup>[2]</sup>。相对应的匈塞铁路联锁产品配置工程化工具较为缺乏，导致信号系统整体集成效率低下，影响数据配置的产出和工程实施的进度。

为提高匈塞铁路信号系统集成效率，能够精准高效可视化的完成联锁数据配置，根据联锁数据结构以及配置规则，研究一套完整的工程化数据实现

方法与实现方案，并基于此方案开发相应的工程化数据配置系统。该数据配置系统实现了站场图的可视化和快速生成联锁数据，显著节约人工成本、缩短项目周期。目前已成功应用于匈塞铁路项目联锁数据的工程化输出。

## 2 系统功能定义

为实现海外匈塞联锁产品应用数据的工程化配置，系统功能需求包括图形端功能、系统配置功能以及日志，具体内容如图1所示。匈塞联锁配置工具具体说明如下。

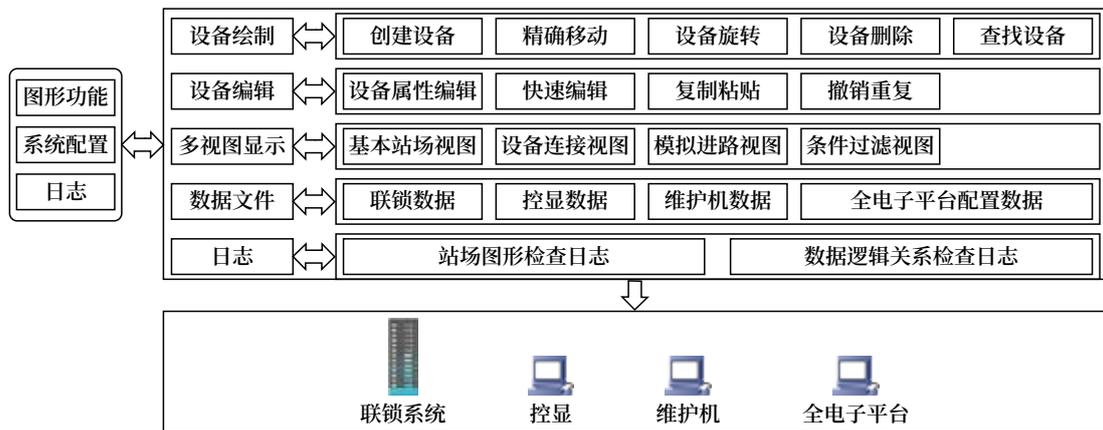


图1 匈塞联锁数据配置系统总体功能概述

Fig.1 General function overview of Hungary-Serbia interlocking data configuration system

1) 根据提供的平面图，绘制所需的站场图和属性，对单个设备包括信号机、道岔、道岔区段、按钮、指示灯、股道或无岔区段、绝缘节、通用设备（指示灯、特殊按钮、框）等属性进行设置；包含创建各设备、精确移动、设备旋转、设备删除、撤销重复、查找设备、快速编辑、复制粘贴、视图缩放移动等功能；提供多视图显示，包括基本站场视图、设备连接视图、模拟办理进路视图和条件过滤视图。

2) 数据文件生成：根据绘制的站场图以及站场数据的设置，生成联锁数据、控显数据、维护机数据和平台参数文件的输出。

3) 日志：在绘制站场图的过程中，需检查图形

设备间的连接关系，生成相应的图形检查日志；在生成数据文件时，根据计算机联锁设备间的逻辑关系，生成数据逻辑关系间的检查日志。

## 3 总体设计

### 3.1 设计原则

匈塞联锁数据配置工具采用结构化及面向对象方面对系统设计，各模块功能相对独立，模块对象设计满足高内聚、低耦合和配置文件的参数注入方式，提高软件的高扩展性及可维护性。

### 3.2 系统设计

设计采用面向对象的技术<sup>[3]</sup>，从图元的绘制到数据的生成采用类进行对象的封装。按功能分为前

端、接口层和后端 3 部分，如图 2 所示。

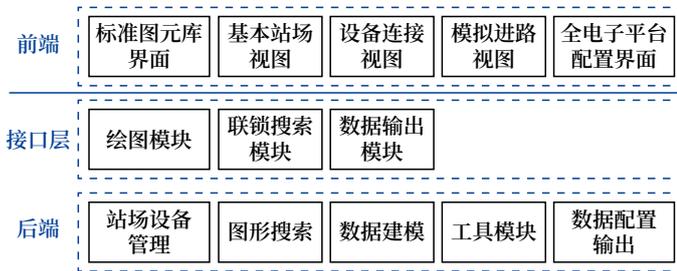


图2 模块结构  
Fig.2 Module structure diagram

系统前端：标准图元库界面、基本站场视图、设备连接视图、模拟进路视图和条件过滤视图。标准图元库界面包括信号机、区段、道岔、按钮、指示灯和绝缘节等单个设备的图元；基本站场视图实现基本站场的绘制和显示；设备连接视图显示了各设备的物理连接情况；模拟进路视图根据站场设备连接关系以及联锁进路搜索结果，实现用户模拟排列进路和显示进路功能。

接口层：绘图模块接口、联锁搜索模块和数据输出模块，各模块间通过接口方法进行访问。绘图模块接口，实现新建、删除、绘制全体设备、获得图形链表、选择设备、复制选择集等接口；联锁搜索模块，实现设置站场全体信息、进路信息（进站、出站、调车、变更、长调车、延续）等接口；数据输出模块接口，实现设置站场全体信息、输出控显数据、输出联锁数据、输出监测数据等接口。

系统后端：站场设备管理、图形搜索、数据建模、配置输出与工具模块，实现产品后端功能结构。站场设备管理，完成图纸中各图元的管理，即图元的增、删、改、查等操作；图形搜索，根据坐标位置信息搜索图元，建立各设备图元的连接关系；数据建模，按联锁业务搜索建立联锁表等数据模型；系统的另一重要功能是生成控显、监测和联锁的数据即配置输出。该部分的功能由一个独立的模块实现，即封装在数据生成的动态库中。在该模块中，每个子部分数据有专用的类进行封装，使整个结构清晰易读。其中联锁数据生成基于联锁搜索功能。

搜索功能也是在一个独立的模块中实现，模块之间由一个综合的数据结构进行数据传递；工具模块，提供各个模型完成联锁数据的输出功能。

主框架界面保持与 Windows 操作系统的界面一致，包含框架主窗口、视图、菜单工具栏、设备的属性对话框等<sup>[4]</sup>。主框架负责处理用户的各种输入消息，并将各种请求分派给自己或者其他模块<sup>[5]</sup>。系统主框架是多文档结构，具备同时打开显示多个站场图形文件功能。多视图的显示即在主框架的视图区，即根据用户选定的多视图切换按钮，框架自动对应显示相应站场视图。主框架布局如图 3 所示，各部分说明如下。

- 1) 主菜单：软件的所有功能均可从主菜单中调用。
- 2) 多视图切换按钮：可切换基本视图、连接视图、模拟视图和过滤视图。
- 3) 标准图元按钮：站场所有设备的绘制均可从此调用。
- 4) 辅助绘图的功能开关按钮区：显示提示信息以及帮助绘制的功能开关。
- 5) 图形编辑按钮：集中了编辑、移动及缩放等各种图形编辑功能。



图3 主框架布局  
Fig.3 Main frame layout diagram

### 3.3 软件处理流程

匈塞铁路联锁数据配置工程化系统的流程：启动软件，根据提供的平面图绘制所需的站场图和属性。然后建立图形设备连接，导入本站对应的联锁表，结合图形将进路数据和设备名称信息等分别生成到联锁数据配置文件中，生成匈塞控显所需要的设备代码信息、设备图形坐标信息等，并生成

维护机数据。软件处理流程如图 4 所示。

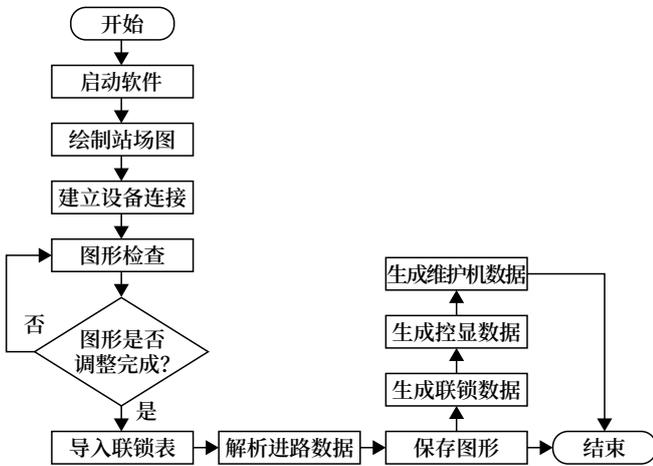


图4 软件处理流程  
Fig.4 Software processing flow

软件按照功能划分为图形绘制、数据输出和查看信息 3 部分，各用例如图 5 ~ 7 所示。如图 5 所示，本用例描述了用户使用软件绘制所需站场图的过程；如图 6 所示，本用例描述了用户使用软件生成联锁、控显、维护机数据的情况；如图 7 所示，本用例描述了用户通过软件查询各种表格信息及设备连接关系的情况，如设备代码表、按钮代码表及进路代码表等信息。

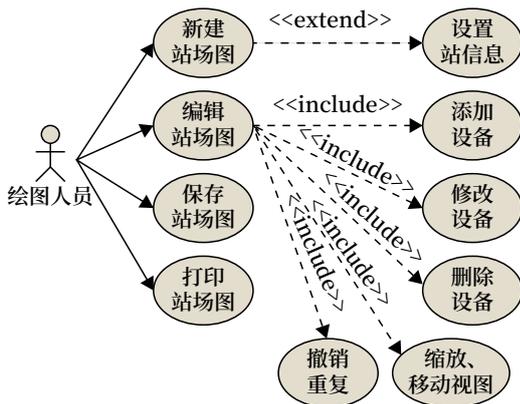


图5 图形绘制用例  
Fig.5 Graph drawing use case

## 4 应用

联锁数据配置工程化辅助系统能够有效实现匈塞联锁数据的配置过程，提高数据配置效率。以匈塞铁路泽蒙站为例，使用本软件进行数据配置工作。

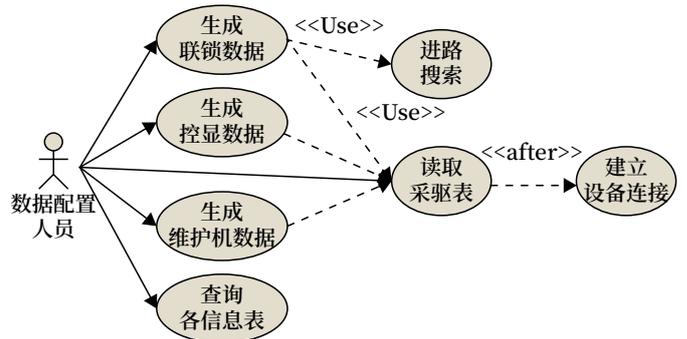


图6 数据输出用例  
Fig.6 Data output use case

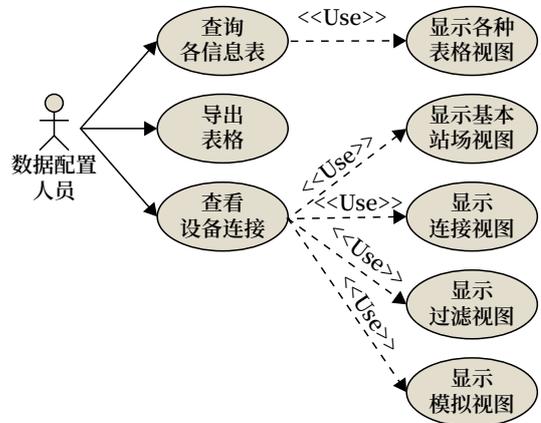


图7 查看信息用例  
Fig.7 View information use case

### 4.1 绘制图形

绘图人员设置站场的基本信息，包括设备字体名、各个设备字高、道岔斜率、信号机半径、站场分辨率等基础信息；然后根据信号平面布置图<sup>[6]</sup>绘制联锁站场图各个设备，包括信号机、道岔、绝缘节、区段、股道、按钮等设备的属性。软件可提供对设备的各属性编辑、移动、精确移动、删除、新增、旋转等操作，以及绘图辅助功能（包括缩放移动图纸、查找设备、对其设备、量取距离、文件自动保存等），可满足用户对站场图绘制的基本操作，具备可视化、易操作和界面友好等特性。

用本软件绘制的泽蒙站站场如图 8 所示。根据绘制好的站场图以及设备之间的联锁关系，可查看设备之间的连接关系，若有连接设备则绘制连接线，并在连接线的中间绘制从本设备指向对方的右侧半箭头，半箭头按前、后、侧分别对应白、绿、红 3

种颜色来进行区分；模拟排列进路，用户用鼠标点击想要查看的进路始端按钮，再点击进路的终端按钮，当存在该进路数据时系统根据数据模型将高亮显示该进路图形；过滤视图提供了条件显示的设置

界面，用户可以根据需要设置过滤显示的条件，系统将根据当前过滤条件，通过绘图管理器去重绘设备图元，完成过滤视图的显示，完成站场图形数据模型构建。

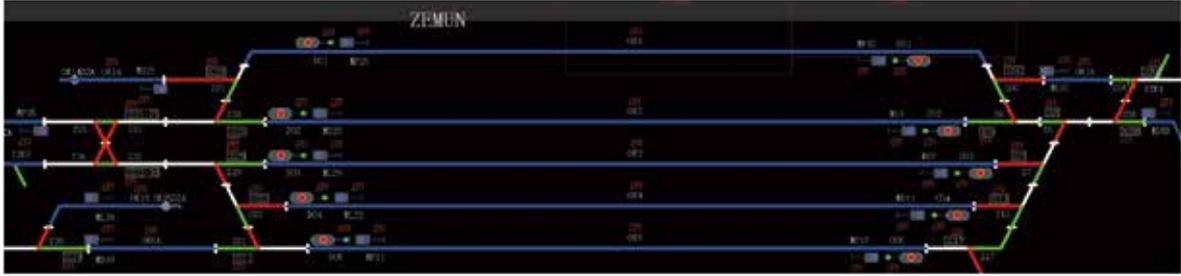


图8 泽蒙站站场  
Fig.8 Zemun station map

## 4.2 数据生成

根据站场图形模型，读取联锁表信息，解析进路数据，可模拟排列进路查看所有进路信息，生成满足联锁系统规则的数据结构体（c 源码）用于匈塞联锁系统<sup>[7]</sup>；生成满足控显系统的配置文件，包括设备状态解析类配置文件、数据解析配置文件、控显图形绘制等文件；生成监测数据以及全电子平台数据的输出。

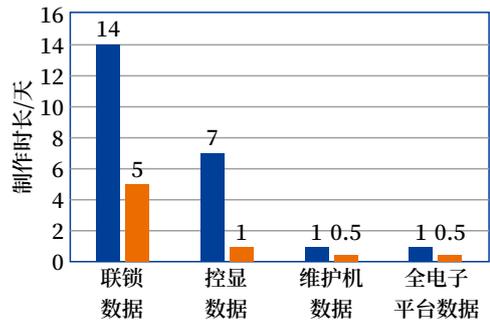
## 5 效果分析与结论

### 5.1 数据生成效果分析

目前，联锁数据配置工程化辅助系统已投入匈塞铁路实际生产过程中，满足对联锁数据、控显数据、维护机数据以及全电子平台数据的输出。基于这4种配置数据，统计在匈塞铁路车站使用情况，计算对比人工制作和数据配置工程化辅助系统两种配置数据生成方式所需要的平均时间，如图9所示。通过对比可得到相对于传统的人工制作方式，通过联锁数据配置工程化辅助系统可以在较短时间内完成相应的软件配置工作，极大地降低时间成本，提高站别数据的制作效率，缩短信号系统整体集成周期<sup>[8]</sup>。

### 5.2 结论

匈塞铁路联锁数据配置工程化辅助系统实现站场图的绘制、多视图显示站场图以及数据自动化配



图例：■人工制作 ■联锁数据配置工程化辅助系统

图9 人工制作与工程化辅助系统生成数据平均时长对比  
Fig.9 Comparison of average duration taken to generate data by manual and engineering auxiliary system

置生成等功能，已在匈塞铁路信号系统工程项目中应用，包括泽蒙、新贝尔格莱德、泽蒙波尔耶、巴塔基尼卡、新帕佐瓦和旧帕佐瓦等车站。实践证明，匈塞铁路联锁数据配置工程化辅助系统能够大幅提升工程图形绘制与数据配置的质量与效率，进一步提升联锁集成过程中的生产力，有力确保匈塞铁路工程项目的顺利进行。

### 参考文献

- [1] 马作泽. 匈塞铁路塞尔维亚段信号系统设计方案研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(3): 17-21.  
Ma Zuoze. Study on Design of Signaling System

- for Serbia Section of Hungary-Serbia Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(3): 17-21.
- [2] 陈立华. 匈塞铁路塞尔维亚境内信号系统技术方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(10): 94-100, 105.  
Chen Lihua. Technical Scheme of Signaling System for Serbia Section of Hungary-Serbia Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(10): 94-100, 105.
- [3] 何国斌, 吴春明. C++ 面向对象程序设计教学改革与实践 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2016, 41(11): 189-193.  
He Guobin, Wu Chunming. On Teaching Reform and Practice of C++ Object-Oriented Programming[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2016, 41(11): 189-193.
- [4] 陈豫. Windows 应用程序的用户界面设计研究 [J]. 电脑迷, 2018(21): 15.
- [5] 陈昭. 基于 C++ 语言的模块化框架的研究与实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [6] 范礼乾, 邓志翔, 刘新平. 信号平面布置图参数化设计软件的研究与开发 [J]. 铁路计算机应用, 2021, 30(1): 24-29.  
Fan Liqian, Deng Zhixiang, Liu Xinping. Research and Development of Parameterized Design Software for Signal Layout Plane[J]. Railway Computer Application, 2021, 30(1): 24-29.
- [7] 张杰. 铁路计算机联锁软件制作专家系统的研究 [J]. 铁道标准设计, 2019, 63(11): 165-171.  
Zhang Jie. Research on Expert System for Railway Computer Interlocking Software Production[J]. Railway Standard Design, 2019, 63(11): 165-171.
- [8] 徐强, 崔龙, 黄琨. CTCS3 无线闭塞中心工程化数据生成方法与实现 [J]. 铁路计算机应用, 2019, 28(8): 52-56, 74.  
Xu Qiang, Cui Long, Huang Kun. Engineering Data Generation Method and Implementation of CTCS3 Radio Block Center[J]. Railway Computer Application, 2019, 28(8): 52-56, 74.

\*\*\*\*\*

## 《铁路通信信号工程技术》期刊简介

《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管, 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办, 在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响, 深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准, 自 2005 年 12 月起面向国内外公开发行人。国内统一连续出版物号: CN11-5423/U。国际标准连续出版物号: ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计刊源期刊; RCCSE 中国准核心期刊; 日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊; EBSCO 学术数据库收录期刊; 中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊; 中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊; 中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊; 中国学术期刊影响因子年报统计源期刊; 超星期刊域出版平台全文收录; 中国铁道学会通信信号分会指定期刊; 国家新闻出版广电总局认定的 A 类学术期刊。

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导; 对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员, 在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流; 及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有: 学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

## Rail Vision公司将会为以色列列车提供传感器系统

Rail Vision 公司已经被以色列铁路公司指定负责在客运列车上安装光电传感器系统，这是一种驾驶辅助技术，支持列车远程检测物体和障碍物，属于发展列车自动运行（ATO）的重要基础。Rail Vision 公司是一家以色列公司，由克诺尔公司（Knorr-Bremse）持股 33%，将会在 2023 年年底为以色列铁路公司提供 10 套光电传感器系统。

克诺尔铁路车辆系统管理委员会主席尼古拉·朗格（Nicolas Lange）表示，“对于 Rail Vision 公司而言，这个订单是这种系统的首个商业订单，是我们成功将高科技产品投放到市场的里程碑。我们公司高性能、高可靠性的驾驶辅助技术能够使得铁路更加安全，并且使得铁路运营更加高效、可靠并且稳定。总而言之，这是未来铁路运营智能化和自动化的重要一步。”

Rail Vision 公司的系统基于传感器技术与人工智能和深度学习技术的智能结合。由于这种技术是专门针对铁路运输开发出来的，能够在许多运营场景下为列车司机以及运营人员提供非常高效的支持。

这种系统能够识别人员、动物、迎面驶来的列车和错误设置的道岔等潜在障碍物，最大检测距离为 2 km，即便处于不良天气或者光照条件，也能识别这些障碍物，并且能够向列车司机提供相应报警。由于这种设施还能识别基础设施、信号机和线路沿线的植被，能够向铁路运营人员提供有关线路状况的宝贵信息，从而方便规划维护等工作。

为将传感器系统投放到市场，Rail Vision 公司采用分布研发流程，其中包括在世界各地开展许多试点和测试项目，涉及以色列、澳大利亚、美国和多个德语国家。对于发展 ATO 而言，用于环境监测、物体检测和驾驶辅助的高科技系统都是关键因素，涉及将现在仍然需要人工操作的许多流程和子过程数字化，从而变得更加迅速、安全并且高效。在此方面，这些系统与列车制动系统的智能联网成为克诺尔公司和 Rail Vision 公司正在共同努力实现的重要研发目标。这种技术也将有助于根据需要弥补铁路领域的人员短缺。

（北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘旻翻译自：www.railwaypro.com 2023-02-14）

## 第十二届国际铁路峰会呼吁通过创新推动可持续增长

2023 年 2 月 21 ~ 23 日，在意大利罗马举行了第十二届国际铁路峰会（International Railway Summit），峰会的中心议题是以可持续创新、多式联运合作和社会责任感为基础，为铁路创造光明未来。在峰会期间，代表们参加了一对一特别会议，并且参加了一场为期两天的大会，一些交通领域级别最高的人士在会上发表了演讲。

意大利副总理萨尔维尼：意大利将为铁路提供大量投资

在会议开始时，意大利副总理兼基础设施与可持续交通部长马泰奥·萨尔维尼（Matteo Salvini）以“投资未来：铁路是可持续运输的核心”为主题，发表了特别主题演讲。他提出了关于雄心勃勃的项目的愿景，例如意大利和奥地利之间的铁路隧道——布伦纳基线隧道（Brenner Base Tunnel），以及意大利都灵（Turin）到法国里昂（Lyon）的高速铁路。

为呼应此次会议的主题，即“在充满挑战的时代，通过创新为可持续增长提供动力”，萨尔维尼表示，由他领导的政府部门把 70% 的资源用于数字化和绿色转型工作。

多式联运合作

意大利国家铁路集团（FS Italiane）首席执行官路易吉·费拉里斯（Luigi Ferraris）介绍了铁路如何成为无缝衔接的门到门运输的支柱，成为多式联运系统的核心。UIC 总干事弗朗索瓦·达韦纳（François Davenne）在会议上分享了一段视频信息，强调无缝衔接的运输概念对 UIC 而言是“绝对基础性”概念。此外，通过一场鼓舞人心的全体会议，探讨了不同的运输模式如何实现更紧密的合作，从而使无缝衔接的门到门运输成为可能。

在峰会期间，还介绍了铁路的能够改变生活的重要作用，组织了对意大利铁路的技术参观活动，并且提供了建立伙伴关系和结交朋友的人脉机会。

2024 年 2 月 20 ~ 22 日，将在巴黎举行第十三届国际铁路峰会。

（北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王冲翻译自：

<https://uic.org/com> 2023-03-03）



《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办，在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响，深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准，自2005年12月起面向国内外公开发刊。国内统一连续出版物号：CN11-5423/U。国际标准连续出版物号：ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊；RCCSE中国准核心学术期刊；日本科学技术振兴机构数据库(JST)收录期刊；EBSCO学术数据库收录期刊；中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊；中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊；中文科技期刊数据库(全文版)收录期刊；中国学术期刊影响因子年报统计源期刊；超星期刊域出版平台全文收录；中国铁道学会通信信号分会指定期刊；国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊。

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导；对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员，在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流；及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有：学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

### 投稿方式：

期刊官网投稿：<https://rsce.crsced.com.cn>

邮箱投稿：[rsce@crsced.com.cn](mailto:rsce@crsced.com.cn)

知网投稿：<http://www.tlx.cbpt.cnki.net/WKD>

地址：北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号B座

邮编：100070

电话：010-51865951

传真：010-51841598

网址：[www.crsced.com.cn](http://www.crsced.com.cn)

### 订阅方式：

邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，邮发代号80-532

编辑部订阅：e-mail或电话至编辑部

订 价：每期10元，全年(12期)120元

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U



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

扫码打开期刊官网，  
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

邮发代号：80-532 国内定价：10元/期