

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

# 铁路通信信号工程技术

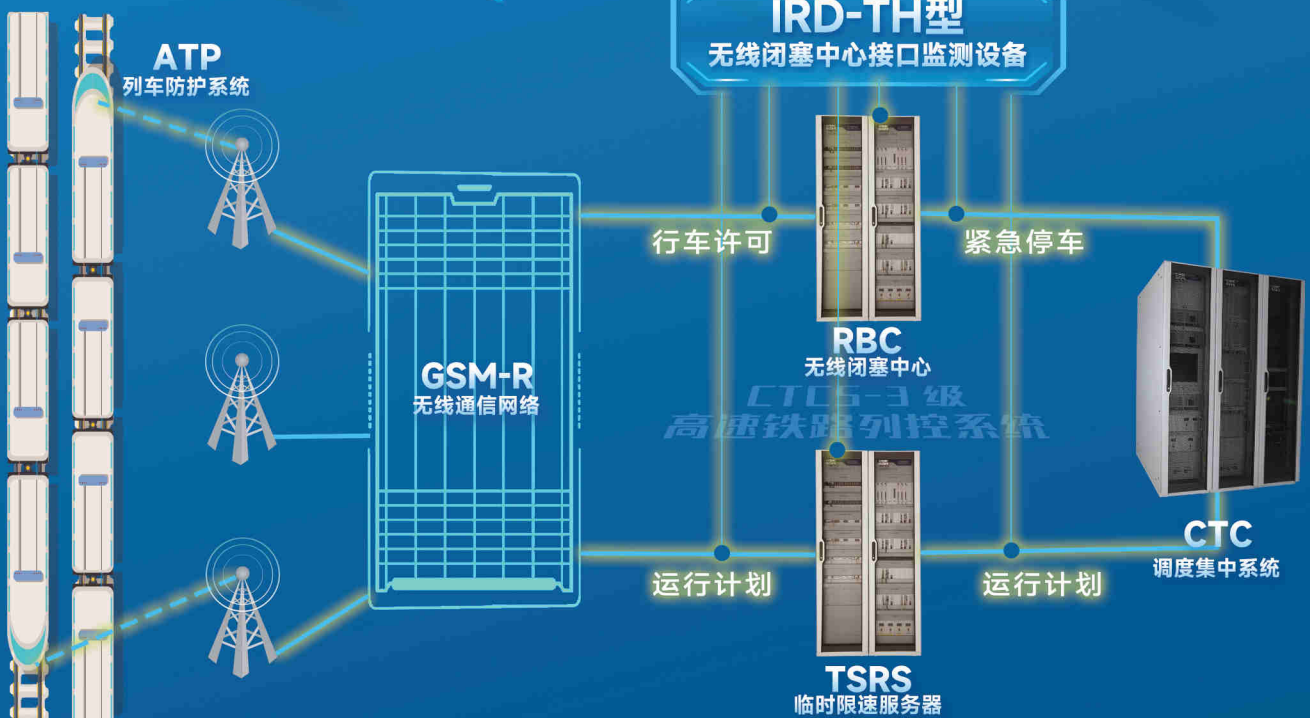
Railway Signalling & Communication Engineering

中国铁道学会通信信号分会指定期刊

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 2023. **12** 第20卷 总第156期

CRSC

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司



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:

刘旸 Liu Yang

## 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12期总第156期 Vol.20 No.12 S.No.156

出版: 2023年12月25日 Published on: 12/25/2023

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

恒磁场对无源应答器影响及防护技术 ..... 曹鹤飞, 孟天旭, 李 昊	1-6
列控中心临时限速信息包 [CTCS-2] 编码方案研究 ..... 陈 滨, 周小辉	7-13
多联锁共享室外信号设备切换控制电路设计 ..... 王定明	14-20
关于到发线出岔联锁技术条件的探讨 ..... 丁建莉	21-25
铁路信号安全数据网网络管理系统优化方案研究 ..... 李 想, 赵京京	26-30
适用于四线制双机牵引控制电路的ZD9直流电动转辙机 ..... 张 辉	31-36
一种转辙机运行参数综合监测系统 ..... 黄晨涛	37-42

### 通信及信息技术

RTP流音频回放技术在400 MHz数字列调系统中的应用 ..... 赵文杰	43-46
STP在GSM-R网络中的主要作用及故障判断 ..... 闫慧霞, 赵建国, 李秀芳, 杨志斌	47-54
高铁隧道公网覆盖5G改造研究 ..... 陈荣超	55-60
简谈虚拟防火墙技术在铁路通信网管网络安全中的应用 ..... 唐 璐	61-65
通信光缆障碍的分析查找及处置 ..... 姚 伟	66-71

## 城轨交通

市域铁路中CBTC与CTCS互联互通设计分析 ..... 张雨涛, 周 欣, 金 捷, 朱锁明	72-77
量子保密通信在AFC系统的应用 ..... 王 健, 李 郁, 张亦然, 吴 娟, 张明柱	78-82
基于场景的全自动运行系统安全分析方法 ..... 付文佳, 韩 涛, 刘 倩, 朱天民	83-87
双UPS并机直流母线过压故障研究 ..... 廖百睿, 刘鹏鹏, 江梁智, 孙晓伟, 易炳强	88-92
城市轨道交通信号电源子系统不对称双母线冗余方案探讨 ..... 谢 桥	93-98
基于VRRP的ATS主备中心网络切换方案的研究 ..... 石 斌	99-105

## 国外项目

塞尔维亚联锁侧防功能研究 ..... 金松岳	106-109
---------------------------	---------

## 项目管理

IRIS配置管理在铁路信号工程项目中的实践与应用 ..... 朱 倩	110-114
---------------------------------------	---------

## 行业信息

阿尔斯通公司推出带有综合编码功能的欧洲应答器 (65) 安全可控引领智能铁路发展——第十三届轨道交通 交通安全与视频发展论坛成功举办 (封三)	
--	--

## 总目次

《铁路通信信号工程技术》2023年总目次	I-VI
----------------------	------

# Railway Signalling & Communication Engineering

## CONTENTS

### Technological Innovation

#### Signalling Technology

Impacts of Constant Magnetic Field on Passive Balises and Its Protection Technologies .....Cao Hefei, Meng Tianxu, Li Hao	1-6
Research on Encoding Scheme of Balise Telegram [CTCS-2] for Temporary Speed Restriction of Train Control Center .....Chen Bin, Zhou Xiaohui	7-13
Design of Switching Control Circuit for Outdoor Signal Equipment Shared by Multiple Interlocking Systems .....Wang Dingming	14-20
Discussion on Interlocking Technical Conditions for Switches Lying Midway in Receiving-Departure Tracks .....Ding Jianli	21-25
Research on Optimization Scheme of Network Management System for Railway Vital Signaling Data Networks .....Li Xiang, Zhao Jingjing	26-30
DZ9 DC Electric Switch Machines Suitable for Four-wire Double-machine Driving Control Circuit .....Zhang Hui	31-36
Comprehensive Monitoring System for Operating Parameters of Switch Machines .....Huang Chentao	37-42

#### Communication & Information Technologies

Application of RTP Stream Audio Playback Technology in 400 MHz DRTD System .....Zhao Wenjie	43-46
Main Roles and Fault Diagnosis of STP in GSM-R Networks .....Yan Huixia, Zhao Jianguo, Li Xiufang, Yang Zhibin	47-54
Research on 5G Renovation Project for Public Network Coverage in Tunnels of High-speed Railways .....Chen Rongchao	55-60
Discussion on Application of Virtual Firewall Technology to Network Security in Railway Communication Network Management .....Tang Lu	61-65
Analysis, Locating and Disposal of Obstacles of Communication Optical Cables .....Yao Wei	66-71

### Urban Rail Transit

Design Analysis of Interoperability Between CBTC and CTCS in Suburban Railways .....Zhang Yongtao, Zhou Xin, Jin Jie, Zhu Suoming	72-77
Application of Quantum Secure Communication in AFC Systems .....Wang Jian, Li Yu, Zhang Yiran, Wu Juan, Zhang Mingzhu	78-82
Scenario-Based Safety Analysis Method for Fully Automatic Train Operation Systems .....Fu Wenjia, Han Tao, Liu Qian, Zhu Tianmin	83-87
Research on DC Bus Overvoltage Fault in Double UPS Parallel Operation .....Liao Bairui, Liu Kunpeng, Jiang Liangzhi, Sun Xiaowei, Yi Bingqiang	88-92
Discussion on Asymmetric Double Bus Redundancy Scheme of Signal Power Subsystem for Urban Rail Transit .....Xie Qiao	93-98
Research on Network Handover Scheme of ATS Master/Standby Center Based on VRRP Protocol .....Shi Bin	99-105

### Projects Abroad

Study of Flank Protection Function of Computer Based Interlocking in Serbia .....Jin Songyue	106-109
---	---------

### Project Management

Practice and Application of IRIS Configuration Management in Railway Signal Engineering Projects .....Zhu Qian	110-114
---	---------

### General Contents, 2023

.....	I-VI
-------	------

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.001

# 恒磁场对无源应答器影响及防护技术

曹鹤飞<sup>1, 2</sup>, 孟天旭<sup>1, 2</sup>, 李昊<sup>3</sup>

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070

3. 石家庄铁道大学, 石家庄 050043)

**摘要:** 磁悬浮交通是一种新型城市轨道交通技术, 其产生的恒磁场对附近的无源应答器会带来影响, 从而使列车安全运行风险增加。分析应答器所处电磁环境, 开展无源应答器受扰测试, 定位设备的敏感器件, 针对恒磁场与电感器件的耦合特点, 提出磁场疏导及角度优化等防护技术, 并进行有效性验证, 显著提高无源应答器在恒磁场下的适应性, 为磁浮系统其他列控设备恒磁场抗扰度提供参考。

**关键词:** 磁悬浮; 恒磁场; 无源应答器; 电感器件; 磁通分路

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0001-06

## Impacts of Constant Magnetic Field on Passive Balises and Its Protection Technologies

Cao Hefei<sup>1, 2</sup>, Meng Tianxu<sup>1, 2</sup>, Li Hao<sup>3</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)

(3. Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** Maglev transportation is a new technology for urban rail transit; and its emitted constant magnetic field affects passive balise, which may cause additional risks to the safe operation of trains. This paper first analyzes the electromagnetic environment of balises, performs the disturbance test for the passive balise, and locates the sensitive parts of the device. It then puts forward such protection technologies as magnetic field dredging and angle optimization, according to the coupling characteristics of the constant magnetic field with the inductive parts, and conducts the effectiveness verification. This research achieves substantial improvement for the adaptability of the passive balise under constant magnetic field; and provides reference for the immunity of other train control

收稿日期: 2023-07-17; 修回日期: 2023-12-10

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-K1230005)

第一作者: 曹鹤飞 (1978—), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向: 电磁兼容, 邮箱: caohfeifei@crscd.com.cn.

equipment of the maglev system under constant magnetic field.

**Keywords:** maglev transportation; constant magnetic field; passive balise; inductive part; magnetic flux shunt

## 1 概述

磁悬浮交通是一种新型城市轨道交通技术，利用磁场产生的力来实现列车的悬浮和推进。相较传统的轮轨列车系统，磁悬浮列车具有零机械接触磨损、高运行速度、更高的安全性和可靠性以及环境友好性等显著优势，是未来城市间快速交通的重要解决方案之一<sup>[1]</sup>。目前，国内已经有多条磁悬浮运输线投入运营，其中包括长沙磁悬浮快线、上海高速磁悬浮示范线、北京 S1 线和凤凰县观光快线<sup>[2]</sup>。

磁悬浮系统的直流供电系统会在其周围产生恒磁场，磁浮环境中的磁场值也引起关注<sup>[3]</sup>。现行的轨道交通电磁兼容标准对列控设备在恒磁场下电磁抗扰度不做要求。应答器作为列车控制车辆设备和磁悬浮列车之间的重要通信工具，传递线路速度信息、道岔信息和基本线路参数等关键信息，其能否正常工作直接影响到磁悬浮列车的行车安全<sup>[4-5]</sup>。在对无源应答器进行恒磁场测试时，出现了性能指标偏移的现象。本文通过应答器系统原理及其电磁环境分析，开展无源应答器受扰测试，定位敏感器件，总结规律，提出磁场疏导及角度优化等防护技术，有效提高了无源应答器在恒磁场下的适应性，为磁浮系统其他列控设备恒磁场抗扰度提供参考。

## 2 应答器电磁环境分析

应答器系统结构由车载 (Balise Transmission Module, BTM) 设备和地面设备组成。地面设备包括地面应答器、下行接收电路和报文信息模块。根据是否需要电源供应，地面应答器可分为两类：无源应答器和有源应答器。本文只针对无源应答器开展研究。

磁悬浮交通系统的直流磁场源主要由悬浮电磁铁和接触轨构成。磁悬浮电磁铁的三维结构如图 1 所示。当向电磁铁的励磁绕组通入直流电流时，将会产

生一个静态磁场，以及磁浮力所需的气隙磁场。此外，电磁铁的两侧、上方和下方也会产生一个漏磁场。

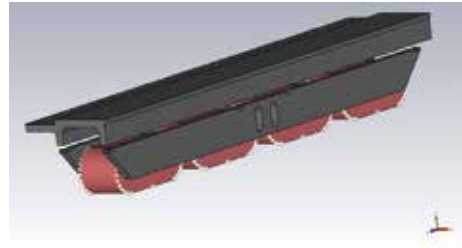


图1 磁悬浮电磁铁  
Fig.1 Maglev electromagnet

目前主流的接触轨供电采用集电靴受流方式，通过从转向架上伸出的集电靴与接触轨接触并将电能引入列车主电路和辅助电源中，最后经过转换用于列车牵引、空调和照明等负载中。以中低速磁浮为例，两条接触轨分别为正极和负极，通过受流器与车上的直线异步电机连接，形成闭合回路。直线异步电机将电能转换为动能，驱动列车运行。牵引逆变器可以调节直线异步电机的频率和相位，实现列车的加速、减速和制动。轨道梁两侧的正负接触轨的位置如图 2 所示。



图2 中低速磁悬浮接触轨  
Fig.2 Medium and low speed maglev contact rail

考虑到国际非电离辐射防护委员会 (ICNIRP) 建议的静态磁场最大暴露限值为  $40 \text{ mT}$ <sup>[6]</sup>，本文仅研究  $40 \text{ mT}$  及以下恒定磁场对无源应答器的影响机理及相应的防护措施。

### 3 无源应答器受扰测试及敏感器件定位

列车的行驶速度与 BTM 天线接收报文所需的距离<sup>[7]</sup>成正比关系,因此列车速度越快,越需要应答器系统的工作范围足够大以满足译码要求。无源应答器能正常激活和发出有效的上行链路信号,是应答器系统正常工作的关键。

为准确地采集并分析上行链路信号的特性变化,选用已投入使用的应答器作为测试对象,设计了如图 3 所示的应答器上行链路信号特性测试平台。该平台由便携式应答器测试仪、励磁线圈、直流电源、特斯拉计和应答器印制板组成。

将无源应答器印制板置于便携式应答器测试仪和励磁线圈之间,通过改变直流电源大小来控制励磁线圈产生不同大小的恒磁场,具体数值由特斯拉计进行测量。便携式应答器测试仪内置发射天线与接收天线,通过发射天线发射 27.095 MHz 信号激活应答器,再利用接收天线接受应答器发出的上行链路信号,测试并记录其上行链路信号特性和上行

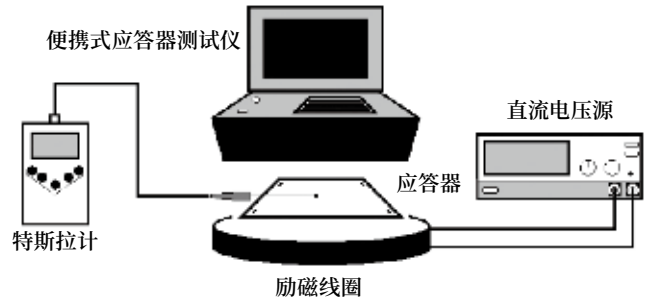


图3 应答器上行链路信号特性测试示意  
Fig.3 Balise uplink signal characteristic test diagram

链路信号频谱分析等。此外还可通过横向移动无源应答器,以此确定其有效工作范围,来观察恒磁场是否会对上行链路信号的接收范围造成影响。

利用直流电源向励磁线圈馈入 80 V 直流电,在应答器处产生大小为 23.34 mT 的恒磁场,重复上述操作。当应答器印制板移动距离 344 mm 时,此时测试仪测得的上行链路信号主要特性参数如图 4 所示。

根据图 4 所示的测试结果,可以看出在施加恒磁场干扰时,应答器的上行链路信号各特性参数发生了不同程度的畸变,中心频率、频率偏移、振幅

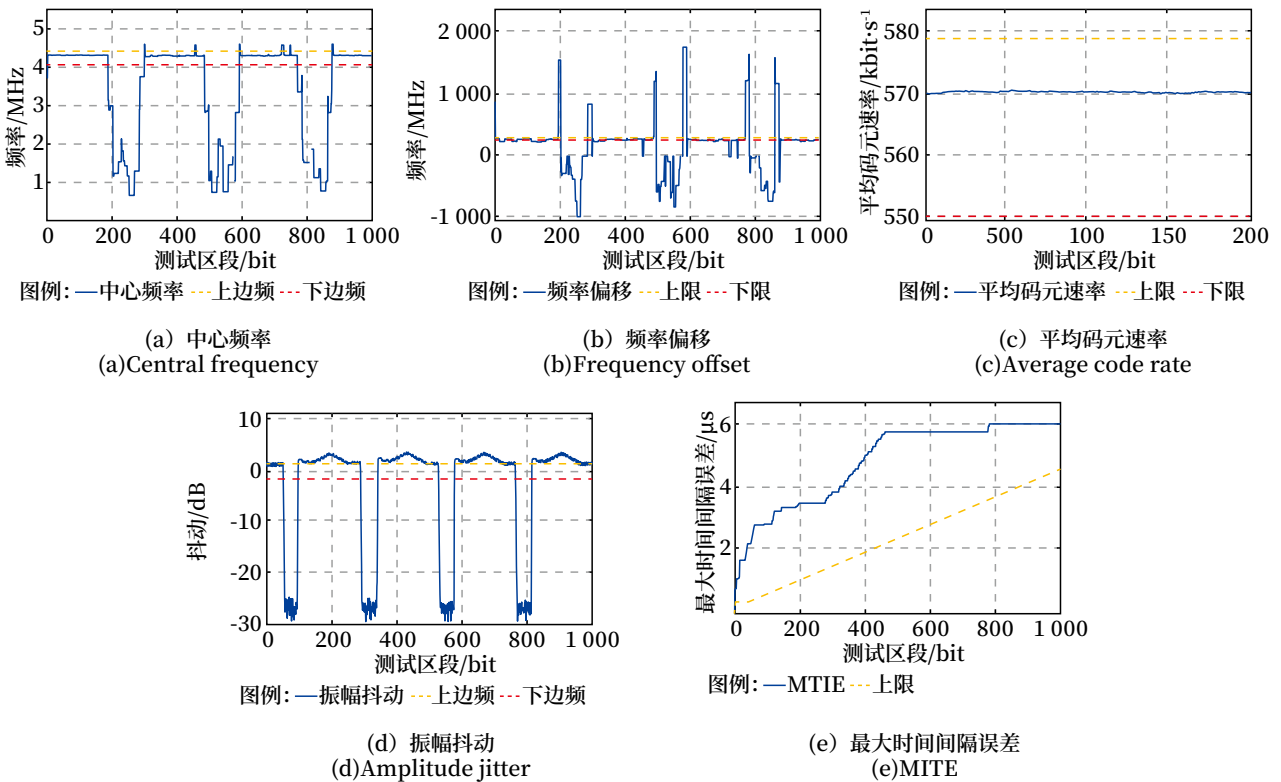


图4 受恒磁场干扰的上行链路信号特性参数

Fig.4 Characteristic parameter diagram of uplink signal with constant magnetic field interference

抖动以及最大时间间隔误差 (MTIE) 均已超出正常范围, 平均码元速率虽然仍在正常范围内, 但偏移了 6 kbit/s 左右, 频谱也无法清楚的测得上行链路信号。说明由于恒磁场的干扰, 应答器的工作距离缩小, 这可能导致在车速稍快的时候 BTM 设备无法收到正常的上行链路信号。在列车实际运行中如果发生这种情况可能会危害行车安全, 因此需要对应答器受恒磁场干扰原因进行测试分析。

由于磁悬浮系统的直流恒磁场环境, 很有可能导致这些电感特别是带磁芯电感的特性发生变化, 从而影响其对应模块的功能, 导致应答器无法正常工作。为此需要准确的定位应答器中易受恒磁场影响的电感器件, 从而可以针对性的进行抗干扰优化设计。为了精确定位受扰器件类型, 采用 TDY.Y 型无源应答器上所使用的包含带磁芯电感、无磁芯螺旋电感以及贴片电感在内的 3 类共计 6 种电感器件作为测试对象, 设计如图 5 所示的电感器件特性测试系统示意图, 该系统由阻抗分析仪、励磁线圈、直流电源、特斯拉计以及各类电感器件组成。

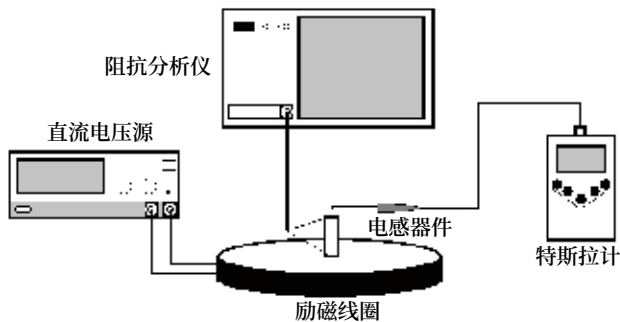
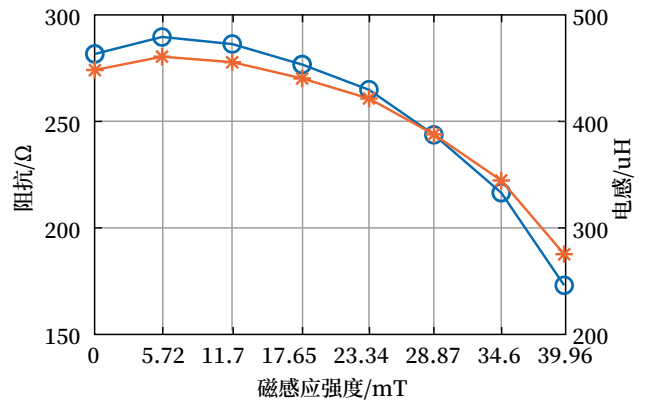


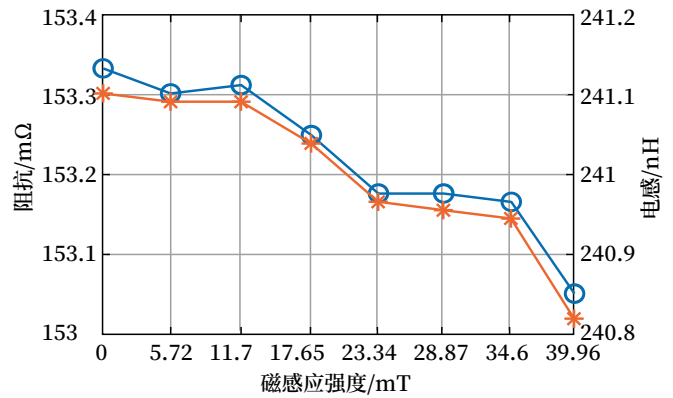
图5 电感器件特性测试系统示意图  
Fig.5 Inductance device characteristic test system diagram

将设备中的关键电感器件置于励磁线圈中心位置, 通过阻抗分析仪测量其在不同大小的恒磁场下的阻抗及电感值。测试得到的电源模块电感、空心电感和贴片电感的阻抗特性和电感特性曲线如图 6 所示。

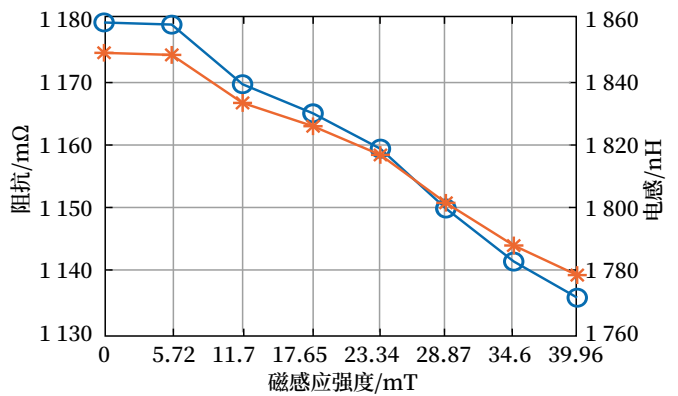
在恒磁场影响下, 应答器的上行链路信号特性会发生不正常的偏移甚至畸变, 并且有效作用范围会缩小。进一步分析, 造成这种现象的根本原因是应答器印制板上采用的电感元件在直流磁场下被磁



(a) 电源模块电感器件特性曲线  
(a) Inductor characteristic curve of power module



(b) 空心电感器件特性曲线  
(b) Hollow inductor characteristic curve



(c) 贴片电感器件特性曲线  
(c) Chip inductor characteristic curve  
图例: ○ 阻抗 \* 电感

图6 阻抗特性和电感特性曲线  
Fig.6 Impedance characteristics and inductance characteristics curves

化所致, 因此对此类器件开展防护即可解决恒磁场对设备性能指标的影响<sup>[8]</sup>。

#### 4 无源应答器恒磁场防护技术

本文设计并制作了如图 7 所示的屏蔽罩样品。



该屏蔽罩的形状和尺寸与电源变压器相匹配，长宽高均为 18 mm，厚度为 1 mm。屏蔽罩材料选用具有较高磁导率的镍铁合金。



图7 屏蔽罩实物

Fig.7 Physical diagram of shielding cover

在前文所述的测试条件下，分别给电源模块电感、空心电感和贴片电感等不同类型的电感器件加上屏蔽罩，然后在不同大小的恒磁场下，测量其阻抗特性和电感特性，与未加屏蔽罩时进行比较。电源变压器的器件特性测试结果如表 1 所示，无磁芯电感的参数如表 2、3 所示。

表1 不同恒磁场下电源变压器优化前后参数

Tab.1 Parameters of power transformer under different constant magnetic fields before and after optimization

磁感应强度 /mT	未加屏蔽罩		加屏蔽罩	
	阻抗 / $\Omega$	电感 / $\mu$ H	阻抗 / $\Omega$	电感 / $\mu$ H
0	281.78	448.42	281.78	448.42
5.72	289.76	461.04	286.74	456.27
11.7	286.46	455.82	292.65	465.65
17.65	276.80	440.52	290.83	462.47
23.34	264.99	421.66	290.27	461.88
28.87	243.79	387.92	286.71	456.21
34.60	216.59	344.64	282.54	449.56
39.96	173.08	275.40	272.29	433.25

即使无磁芯电感 E 受恒磁场影响很小，但屏蔽罩仍可进一步地减少其影响。当恒磁场强度达到 39.96 mT 时，未添加屏蔽罩的器件阻抗和电感对比无磁场时分别降低 1.31% 和 1.88%，而添加屏蔽罩后的器件阻抗和电感均仅降低 0.38%。

为研究电感器件不同摆放角度在固定恒磁场下的阻抗特性及电感特性，固定恒磁场的强度为 39.96 mT，方向垂直于桌面。测试了电感器件与桌面平行放置视为  $0^\circ$ ，与桌面垂直放置视为  $90^\circ$ ，以此为基准调整其他电感器件的摆放角度。

表2 不同恒磁场下无磁芯电感1优化前后参数

Tab.2 Parameters of coreless inductor 1 under different constant magnetic fields before and after optimization

磁感应强度 /mT	未加屏蔽罩		加屏蔽罩	
	阻抗 /m $\Omega$	电感 /nH	阻抗 /m $\Omega$	电感 /nH
0	153.33	241.1	153.33	241.1
5.72	153.3	241.09	153.3	241.09
11.7	153.31	241.09	153.3	241.09
17.65	153.25	241.04	153.28	241.06
23.34	153.18	240.97	153.26	241.03
28.87	153.18	240.96	153.23	240.98
34.60	153.17	240.95	153.26	241.06
39.96	153.06	240.83	153.2	240.93

表3 不同恒磁场下无磁芯电感2优化前后参数

Tab.3 Parameters of coreless inductor 2 under different constant magnetic fields before and after optimization

磁感应强度 /mT	未加屏蔽罩		加屏蔽罩	
	阻抗 /m $\Omega$	电感 /nH	阻抗 /m $\Omega$	电感 /nH
0	93.8	111.14	93.8	111.14
5.72	92.21	108.35	93.54	110.68
11.7	91.84	107.58	93.46	110.54
17.65	91.46	106.99	93.38	110.41
23.34	91.23	106.47	93.3	110.25
28.87	90.77	105.65	93.16	109.97
34.60	90.15	104.47	92.89	109.54
39.96	89.05	102.55	92.53	108.93

分别测量了器件相对恒磁场角度为  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$  和  $90^\circ$  共 7 种情况的阻抗特性以及电感特性。如图 8 所示。

电感与阻抗的值随着器件相对恒磁场的角度的增大而减小，此外该器件在无磁场情况下测得的阻抗值与电感值分别为 153.33 m $\Omega$  和 241.1 nH，可以看到当器件摆放角度在  $15^\circ$  时，恒磁场对它特性的影响是最小的，阻抗和电感相较无磁场时分别仅变化了 0.06% 和 0.02%；当器件摆放角度为  $90^\circ$  时，阻抗值较无磁场时降低了约 3.27%，电感值较无磁场时降低了约 1.55%。说明实际应用中可以通过将该器件的摆放角度调整至一个合适的值，以此来进一步减小恒磁场对其特性的影响。对无源应答器施加文中所提防护措施后，特性参数恢复正常值。

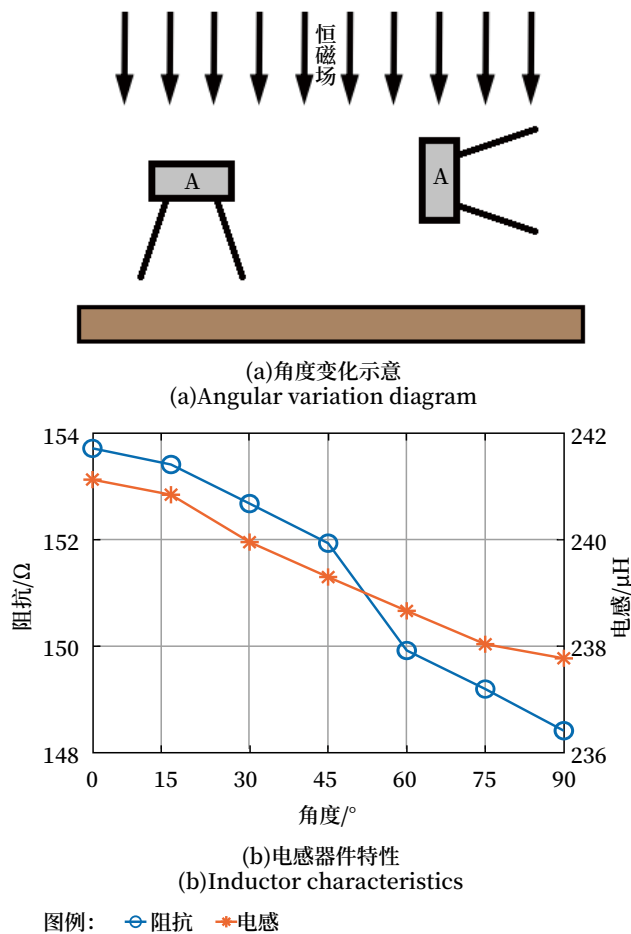


图8 不同摆放角度无磁芯电感的阻抗及电感特性  
Fig.8 Impedance and inductance characteristics of coreless inductor at different placement angles

## 5 结束语

本文针对磁悬浮系统中无源应答器受恒磁场干扰的问题, 基于其工作原理和电磁特性, 采用理论分析与试验测试相结合的方法, 探讨恒磁场对无源应答器影响的机理, 并提出了有效提高应答器抗扰度的技术措施。通过试验验证了防护措施的有效性, 为无源应答器在恒磁场下正常工作提供保障, 也为同样处于恒磁场下的其他产品的恒磁场防护提供了借鉴意义。

### 参考文献

[1] 朱庆厚. 通信干扰技术及其在频谱管理中的应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.  
[2] 胡基士. 我国磁浮列车技术研究的现状及工程

化水平 [J]. 学术动态, 2001 (3): 11-12.  
[3] 姜早龙, 刘晓君, 金波, 等. 强电、强磁场对钢箱梁跨越磁浮快线轨道顶推落梁施工的影响 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2019, 46 (11): 164-171.  
Jiang Zaolong, Liu Xiaojun, Jin Bo, et al. Influence of Steel Electromagnetic Field on Pushing and Falling Construction of Steel Box Girder over Maglev Track[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2019, 46(11): 164-171.  
[4] 马文俊, 赵蕾. 应答器功能简介及典型故障分析 [J]. 铁道通信信号, 2011, 47 (1): 35-37.  
Ma Wenjun, Zhao Lei. Balise Function Introduction and Typical Fault Analysing[J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(1): 35-37.  
[5] 蔡世东. 外界电磁干扰引起应答器接收模块故障的原因分析 [J]. 铁道通信信号, 2012, 48 (3): 19-20.  
Cai Shidong. Cause Analysis of Balise Receiver Module Faults Caused by External Electromagnetic Interference[J]. Railway Signalling & Communication, 2012, 48(3): 19-20.  
[6] 罗凌峰, 曹鹤飞. 中低速磁浮 BTM 设备电磁干扰分析及优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (7): 64-69.  
Luo Lingfeng, Cao Hefei. Analysis and Optimization of Electromagnetic Interference of Medium-low Speed Maglev BTM Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(7):64-69.  
[7] 郝丽. 电磁脉冲对应答器上行链路的影响研究 [D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2018.  
[8] 李智宇. 分相区应答器传输系统电磁干扰分析及防护技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 1-6.  
Li Zhiyu. Research on Electromagnetic Interference and Protection Technology of Balise Transmission System in Neutral Section[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7):1-6.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.002

# 列控中心临时限速信息包[CTCS-2] 编码方案研究

陈 滨, 周小辉

(北京和利时系统工程有限公司, 北京 100176)

**摘要:** 列控中心是CTCS-2级列车运行控制系统的关键地面设备, 列控中心根据临时限速命令和列车进路状态, 实现应答器临时限速报文的实时编码。通过应答器报文容量对侧线发车临时限速报文编码的影响分析, 结合《列控中心技术条件》尝试提出侧线发车临时限速报文编码新的解决方案, 解决方案能够满足高速铁路CTCS-2级列车运行控制系统普遍场景的要求, 简化工程实施方案, 减少工程软件的编制及测试的工作量。达到保证行车安全、提高列车的运行效率的目的。

**关键词:** 列控中心; 临时限速; 编码; 应答器; 技术条件

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0007-07

## Research on Encoding Scheme of Balise Telegram [CTCS-2] for Temporary Speed Restriction of Train Control Center

Chen Bin, Zhou Xiaohui

(Beijing Hollysys Co. Ltd., Beijing 100176, China)

**Abstract:** As key wayside equipment of the CTCS-2 train control system, the train control center achieves real-time encoding of balise telegrams for temporary speed restriction according to the temporary speed restriction command and train route status. On the basis of an analysis of the impacts of the balise telegram capacity on the telegram encoding of temporary speed restriction for siding track departure, and in view of the Technical Specification of Train Control Center, this paper proposes a new solution for the telegram encoding of temporary speed restriction for siding track departure. The proposed solution can meet the requirements of the common scenarios of the CTCS-2 train control system for high-speed railways, simplify the plan for engineering implementation, and reduce the workload of engineering software development and testing, which achieves the goals of ensuring train operation safety and increasing train operating efficiency.

**Keywords:** train control center; temporary speed restriction; encoding; balise; technical specification

收稿日期: 2023-05-16; 修回日期: 2023-11-29

第一作者: 陈滨(1968—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: chenbin@hollysys.com.

在 CTCS-2 级列控系统中, 临时限速是列控中心实现的主要功能之一<sup>[1]</sup>。列控中心根据临时限速调度命令, 结合区间及站内进路状态, 实现有源应答器报文的实时组帧、编码、校验, 并通过 LEU 控制有源应答器发送 CTCS-2 级列控报文<sup>[2]</sup>。

根据列控中心技术规范, 站内侧线发车临时限速管辖范围内有限速时, 临时限速发送一条全进路报文, 临时限速报文受站内限速和区间限速共同影响。

## 1 应答器报文容量对临时限速的信息包 [CTCS-2] 影响分析

### 1.1 CTCS-2 级列控系统应答器报文容量

一般情况下, 地面有源应答器组由有源应答器和无源应答器组成。有源应答器的用户信息包总容量为 772 个信息位<sup>[3]</sup>。

在 CTCS-2 级列控系统应答器报文中, 定义了轨道区段信息包 [CTCS-1]、临时限速信息包 [CTCS-2]、链接信息包 [ETCS-5]、坡度信息包 [ETCS-21]、速度信息包 [ETCS-27]、特殊区段信息包 [ETCS-68] 等应答器报文, 为 CTCS-2 级列控系统车载设备提供地面信息<sup>[4]</sup>。

临时限速命令作为动态信息, 由列控中心实现临时限速报文实时编码, 通过 LEU 有源应答器发送给 ATP 车载设备<sup>[5]</sup>。当应答器临时管辖范围有 1 条临时限速时, 临时限速信息包 [CTCS-2] 需要占用 107 个信息位。在此基础上, 每增加 1 条临时限速, 临时限速信息包 [CTCS-2] 需要增加 38 个信息位。

### 1.2 侧线发车时, 报文容量对出站信号机应答器 [CTCS-2] 信息包影响分析

在侧线发车进路时, 出站信号机开放后, 出站有源应答器需要发送轨道区段信息包 [CTCS-1]、临时限速信息包 [CTCS-2]、链接信息包 [ETCS-5]、速度信息包 [ETCS-27] 和特殊区段信息包 [ETCS-68] 5 个信息包。

在侧线发车进路时, 如果临时限速信息包 [CTCS-2] 按发送管辖范围内所有临时限速的方式进

行报文组帧, 需要占用应答器用户信息包 259 个信息位 (107 位 + 38 位 + 38 位 + 38 位 + 38 位)。其他的信息包仅剩下 516 个信息位。

轨道区段信息包 [CTCS-1] 需要涵盖站内发车进路从应答器至出站口再延伸一个不引起列车制动的距离内所有轨道电路区段信息。一般至少需要 400 ~ 500 个信息位。

在侧线发车进路时, 还要发送链接信息包 [ETCS-5]、速度信息包 [ETCS-27]、特殊区段信息包 [ETCS-68], 有源应答器报文容量严重不足。

在实际工程中, 出站信号机应答器临时限速信息包 [CTCS-2] 发送 1 条全进路限速报文。当总报文超过总容量 772 个信息位时, 可以通过合并闭塞分区内轨道电路区段的方式缩短报文长度。但是在大型站场及特殊场景中, 仍会出现报文严重超长, 轨道区段信息包 [CTCS-1] 描述长度不足而可能导致列车降速的情况出现。

综上所述, 在侧线发车时, 由于有源应答器报文总容量 772 信息位的限制, 出站应答器管辖范围内有限速时, 发送 1 条站内全进路的临时限速信息包 [CTCS-2], 临时限速占用 107 个信息位。

### 1.3 正线通过时, 报文容量对进站信号机应答器 [CTCS-2] 信息包影响分析

在排列正线通过进路时, 进站信号机应答器单方向临时限速管辖范围内, 最多满足发送 3 条临时限速的条件。加上临时限速管辖范围末端强制 100 m 45 km/h 的末端限速共 4 条限速<sup>[6-8]</sup>。

当正线通过时, 进站信号机应答器发送临时限速信息包 [CTCS-2] 和链接信息包 [ETCS-5] 2 个信息包。

当正线通过时, 信号开放后, 进站有源应答器最多发送 4 条限速报文, 临时限速信息包 [CTCS-2] 最大占用 221 个信息位 (107 位 + 38 位 + 38 位 + 38 位)。

当正线通过时, 信号开放后, 应答器用户信息包总容量 772 个信息位中, 临时限速信息包 [CTCS-2] 最多占用 221 个信息位, 留给链接信息包 [ETCS-5] 551 个信息位, 应答器用户信息包容量比较富裕, 不会出现应答器报文容量超限的情况。

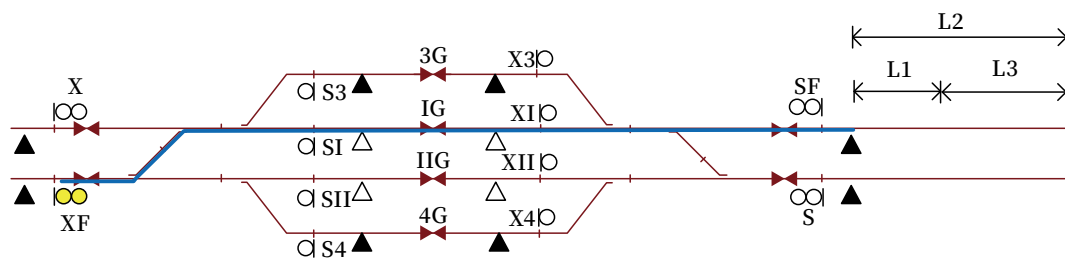
## 2 在《列控中心技术条件》中，出站应答器的临时限速信息包[CTCS-2]发送原则分析

由于有源应答器报文容量限制，办理侧线发车（含带直向发车的侧向接车进路）临时限速管辖范围内有限速时，列控中心控制有源应答器发送1条站内全进路临时限速的信息包[CTCS-2]，临时限速有效范围由涵盖应答器至出站口的发车进路。

当列车从侧线股道发车（包括带直向发车的侧

向接车进路）时，列车进路上按全进路限速运行。当列车运行至区间，经过反向进站应答器时，车载ATP更新临时限速信息。在此情况下应保证列车不能出现紧急制动的情况<sup>[9-10]</sup>。

根据《列控中心技术条件》（Q/CR 817-2021），以带直向发车的侧向接车进路为例，为保证列车在进入区间时不产生紧急制动，车站范围的全进路限速值不仅由进路内临时限速决定，同时受区间临时限速的影响。区间影响范围包括L1、L2、L3。如图1所示，从进站信号机向区间方向定义L1、L2、L3长度。



注: L1 = 进站信号机应答器开始向区间, 从85 km/h制动到45 km/h的距离  
L2 = 进站信号机应答器开始向区间, 从线路最高速度(不超过305 km/h)制动到45 km/h的距离  
L3 = L2-L1

图1 排列带有直向发车的侧向通过进路示意

Fig.1 Schematic of divergent through route with straight departure route

以带直向发车的侧向接车进路为例，在L1范围内有45 km/h临时限速时，列控中心应发送进站信号机弯进直出进路范围内45 km/h的临时限速，同时控制进站信号机降级UU。否则列车全部进入股道后可以提速至线路最高速度，当列车运行至出站口反向进站应答器时，车载ATP收到L1范围内45 km/h临时限速，列车将产生紧急制动。

在L3范围内有45 km/h临时限速时，列控中心应发送进站信号机弯进直出接发车进路范围内80 km/h的临时限速。否则列车全部进入股道后可以提速至线路最高速度，当列车运行至出站口反向进站应答器时，车载ATP收到L3范围内45 km/h临时限速，列车将产生紧急制动。

在L2范围内有80 km/h临时限速时，列控中心应发送进站信号机弯进直出进路范围内80 km/h的临时限速。否则列车全部进入股道后可以提速至线路最高速度，当列车运行至出站口经过反向进站应答器时，车载ATP收到L2范围80 km/h临时

限速，列车将产生紧急制动。

综合以上分析，由于有源应答器报文总容量772信息位限制，在《列控中心技术条件》（Q/CR 817-2021）6.9.4、6.9.5、6.9.6条文中详细规定了侧线发车、带直向发车的侧向接车进路，临时限速管辖范围内有限速时，有源应答器发送1条站内全进路临时限速报文、以及在L1、L2、L3内以及L3外方的有临时限速的条件下临时限速报文的发送原则。

## 3 临时限速信息包[CTCS-2]编码及信号降级方案研究

在《列控中心技术条件》（Q/CR 817-2021）中，当排列侧线发车进路（包括以带直向发车的侧向接车进路）时，定义的L1、L2、L3及相关报文发送逻辑、信号降级方式，工程技术人员理解难度较大，工程实施过程中，工程应用软件数据编制、软件测试验证等工作量比较繁琐。以下针对“临时限速信息包[CTCS-2]编码及信号降级”尝试提出

新的解决方案，新的方案能够达到保证行车安全，提高列车行车效率的目的。

### 3.1 临时限速报文[CTCS-2]包编码方案原则

1) 侧线发车时（包括排列带有直向发车的侧向通过进路的场景），由于有源应答器报文总容量 772 信息位限制，应答器发送 1 条临时限速报文。

2) 站内进路范围内有临时限速时，应答器发送 1 条全进路范围限速报文。

3) 区间范围内有临时限速（站内接发车进路无临时限速），应答器发送 1 条临时限速报文。当管辖范围有 2 条或 3 条临时限速（管辖范围内最多只

能下 3 条限速）时，将多条临时限速归档合并为 1 条，限速值取临时限速中最小值。

4) 区间范围内有临时限速（站内接发车进路无临时限速），不会导致站内进路限速、信号机降级 UU、股道降 UU 码，从而提高列车的运行效率。

### 3.2 列控中心侧线发车临时限速报文编码方案场景

1) 当侧向发车进路上有  $< 80 \text{ km/h}$  临时限速时，侧向发车信号开放后，出站应答器发送  $45 \text{ km/h}$  临时限速，临时限速有效范围到出站口，列控中心应控制对应的发车股道降级 UU 码，如图 2 所示。

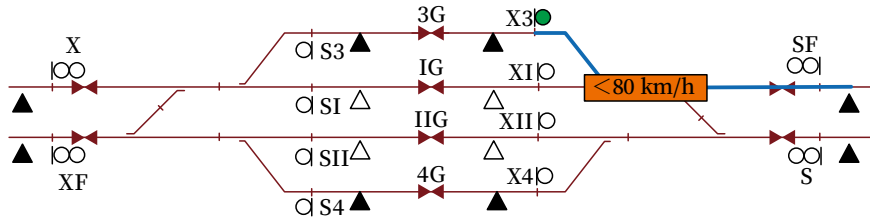


图2 侧向发车进路上有  $< 80 \text{ km/h}$  临时限速示意  
Fig.2 Schematic of temporary speed limit less than  $80 \text{ km/h}$  on divergent departure route

2) 当侧向发车进路上有  $\geq 80 \text{ km/h}$  的临时限速时，侧向发车信号开放后，出站应答器发送

$80 \text{ km/h}$  临时限速，临时限速有效范围到出站口，如图 3 所示。

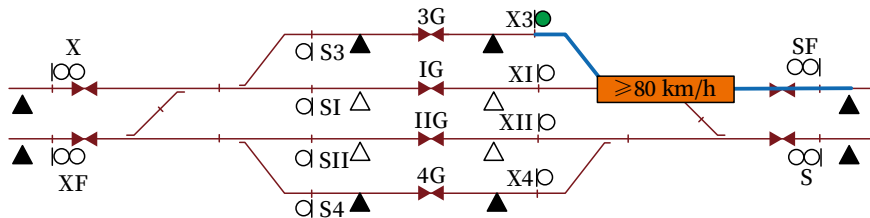
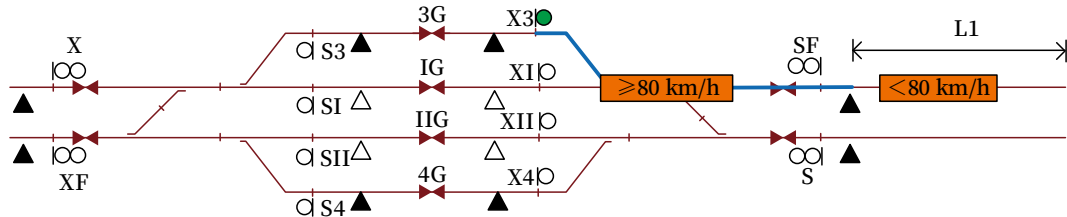


图3 侧向发车进路上有  $\geq 80 \text{ km/h}$  临时限速示意  
Fig.3 Schematic of temporary speed limit no less than  $80 \text{ km/h}$  on divergent departure route

3) 当侧向发车进路上有  $\geq 80 \text{ km/h}$  的临时限速，同时在 L1 范围内有低于  $80 \text{ km/h}$  临时限速，侧向发车信号开放后，出站应答器发送 L1 范围内最小临时限速值，临时限速有效范围到出站口，列控中心

应控制对应的发车股道降级 UU 码，如图 4 所示。

4) 当侧向发车进路上没有临时限速，侧向发车信号开放后，列控中心将区间临时限速 3 条限速归档合并为 1 条限速，出站应答器发送归档合并为



注: L1 = 进站信号机应答器开始向区间, 从  $85 \text{ km/h}$  制动到  $45 \text{ km/h}$  的距离

图4 侧向发车进路及 L1 范围内同时有临时限速示意  
Fig.4 Schematic of temporary speed limit both on divergent departure route and within L1

1 条临时限速。到临时限速区段的距离 (D\_TSR) 为应答器至限速 1 的始端长度；限速值 (V\_TSR)

为管辖范围内最小临时限速值；临时限速的长度 (L\_TSR) 为合并后的总长度，如图 5 所示。

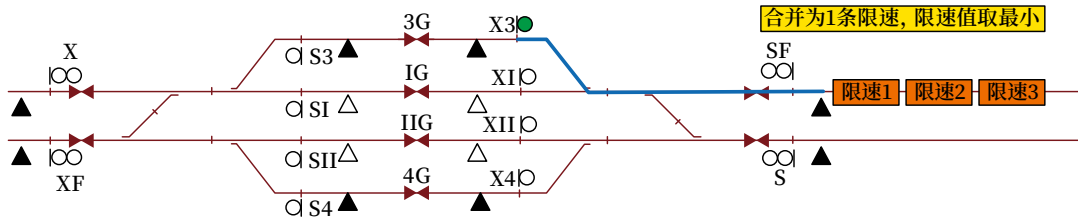


图5 侧向发车合并区间限速示意

Fig.5 Schematic of divergent departure route and speed limit in combined sections

5) 排列带有直向发车进路的侧向通过进路上有低于 80 km/h 的临时限速时，进站信号机开放后，进站应答器发送 45 km/h 临时限速，临时限速有效

范围到出站口，列控中心应向计算机联锁设备发送进站信号机降级显示 UU 命令，并控制接近区段发 UU 码，如图 6 所示。

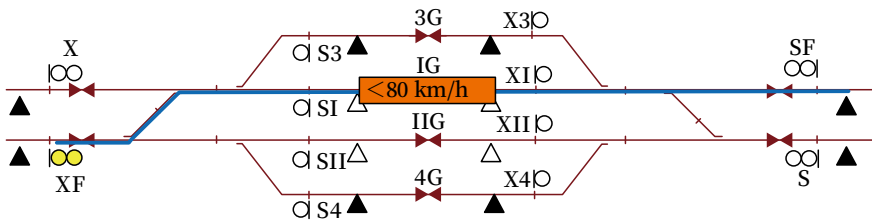


图6 弯进直出通过进路有<80 km/h临时限速示意

Fig.6 Schematic of speed limit less than 80 km/h on through route from curve track to straight track

6) 排列带有直向发车进路的侧向通过进路上有 ≥ 80 km/h 的临时限速时，进站信号机开放后，进

站应答器发送 80 km/h 临时限速，临时限速有效范围到出站口，如图 7 所示。

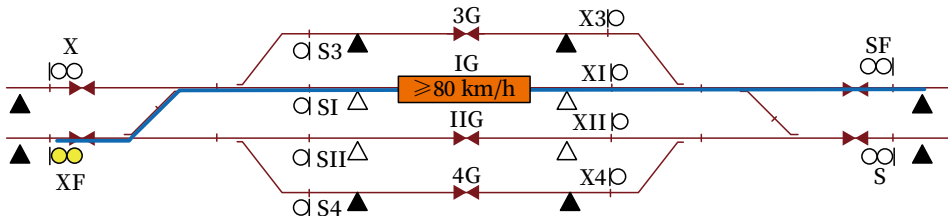
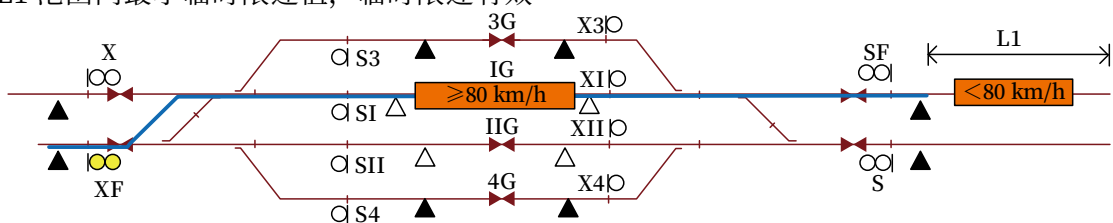


图7 弯进直出通过进路有≥80 km/h临时限速示意

Fig.7 Schematic of speed limit no less than 80 km/h on through route from curve track to straight track

7) 排列带有直向发车进路的侧向通过进路上有 ≥ 80 km/h 的临时限速，同时在 L1 范围内有低于 80 km/h 的临时限速，进站信号开放后，进站应答器发送 L1 范围内最小临时限速值，临时限速有效

范围到出站口，列控中心应向计算机联锁设备发送进站信号机降级显示 UU 命令，并控制接近区段发 UU 码，如图 8 所示。



注: L1= 进站信号机应答器开始向区间, 从 85 km/h 制动到 45 km/h 的距离

图8 弯进直出通过进路及L1范围内同时有临时限速示意

Fig.8 Schematic of speed limit both on through route from curve track to straight track and within L1

8) 当排列带有直向发车进路的侧向通过进路上没有临时限速时, 进站信号开放后, 列控中心将区间临时限速 3 条限速归档合并为 1 条限速, 进站信号机应答器发送合并为 1 条临时限速。到临时限速

的距离 ( $D_{TSR}$ ) 为应答器至限速 1 的始端距离; 限速值 ( $V_{TSR}$ ) 为管辖范围内最小临时限速值, 临时限速的长度 ( $L_{TSR}$ ) 为合并后的总长度, 如图 9 所示。

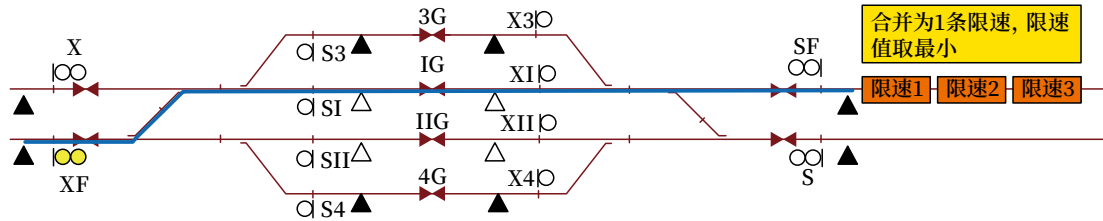
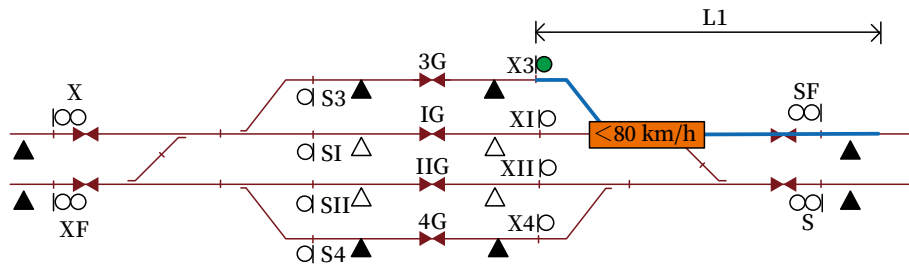


图9 弯进直出通过进路合并区间限速示意

Fig.9 Schematic of through route from curve track to straight track and speed limit in combined sections

9) 其他场景 1: 出站信号机至区间离去口反向进站信号机应答器长度小于  $L_1$  (80 km/h 至 45 km/h 的距离)。在  $L_1$  范围内, 有低于 80 km/h 临时限速时, 侧向发车信号开放后, 出站应答器发送

45 km/h 临时限速, 临时限速有效范围到出站口, 列控中心应控制对应的发车股道降级 UU 码, 如图 10 所示。



注:  $L_1$  = 进站信号机应答器开始向区间, 从 85 km/h 制动到 45 km/h 的距离

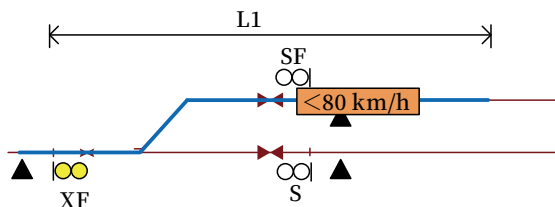
图10 其他场景1 (全进路临时限速)

Fig.10 Other scenario 1 (speed limit on whole route)

10) 其他场景 2: 进站信号机至区间离去口反向进站信号机应答器长度小于  $L_1$  (80 km/h 至 45 km/h 的距离), 在  $L_1$  范围内, 有低于 80 km/h 临时限速时, 列控中心应向计算机联锁设备发送进站信号机降级显示 UU 命令, 并控制接近区段发 UU 码, 如图 11 所示。

如: 当区间一离去区段有低于 80 km/h 临时限速时, 是否可以考虑站内信号降级, 同时取消图 10 其他场景 1 (全进路临时限速)。

建议方案对临时限速报文研究仅作为理论研究, 是否真正可行, 还需要经过软件编制、测试、车载适应性等系统性验证。



注:  $L_1$  = 从 85 km/h 制动到 45 km/h 的距离

图11 其他场景2 (全进路临时限速)

Fig.11 Other scenario 2 (speed limit on whole route)

### 3.3 建议方案进一步分析研究

建议方案中, 一些场景还需要进一步分析。比

### 3.4 侧线发车出站应答器发送1条归档合并临时限速报文的影响分析

在行车组织中, 一个应答器管辖范围内有多条临时限速的情况并不普遍。

调度员在一个应答器管辖范围内设置了多条临时限速时, 侧线发车时出站应答器发送 1 条归档合并后的临时限速报文, 会出现调度限速命令与实践限速不符的情况, 由于限速值与限速范围进行了安



全侧归档合并,能够保证行车安全。按此方案需要征求行车部门意见。

调度员在一个应答器管辖范围内设置了多条临时限速时,如果其中取消1条限速,列控中心需要实时进行报文归档合并。

在图5与图9的场景中,到临时限速的距离(D<sub>TSR</sub>)的计算,站内进路部分按列控数据表的车站进路长度计算,区间部分按列控数据表的信号里程进行计算,同时考虑里程系的装换。

当列车越过反向进站信号机应答器时,车载ATP会更新区间前方临时限速报文。

侧线发车列车在站内运行时,由于道岔侧向限速及车尾保持,列车在站内速度不高,越过反向进站信号机应答器时会更新区间临时限速,对行车影响较小。

侧线发车列车,越过反向进站信号机时,如果应答器丢失,列车按归档合并临时限速运行,能够保证行车安全。

综上所述,建议方案理论上能满足常规站场及各种运行场景工程实施的要求。尤其在区间有临时限速情况下,减少站内进路限速、信号机降级、股道降UU码,从而提高列车的运行效率。

#### 4 结束语

本文通过列控中心临时限速报文编码方案的理论研究,尝试提出新的解决方案,可以达到保证行车安全、提高列车的运行效率的目的,更好满足工程实施的要求。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-2级列控系统总体技术要求: TB/T 3516-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [2] 中国国家铁路集团有限公司. 列控中心技术条件: Q/CR 817-2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [3] 中国国家铁路集团有限公司. 列控系统应答器应用技术条件: Q/CR 769-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
- [4] 中国国家铁路集团有限公司. 列控系统临时限速技术规范: Q/CR 662-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [5] 中国国家铁路集团有限公司. 列控中心接口规范: Q/CR 864-2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [6] 中国国家铁路集团有限公司. 临时限速服务器技术条件: Q/CR 672-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [7] 徐啸明. CTCS-2级列车运行控制系统应用丛书: 列控地面设备[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [8] 张伟. 对CTCS-2级区段应答器运用的分析[J]. 铁道通信信号, 2007, 43(7): 4-5.
- [9] 徐效宁, 范明. 关于进站信号机应答器丢失防护的研究[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(11): 8-10. Xu Xiaoning, Fan Ming. Research of Prevention Against Home Signal Balise being Missing[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(11): 8-10.
- [10] 项守宽. 几种特殊情况的列控应答器布置及工程数据处理方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2012, 9(3): 5-7. Xiang Shoukuan. Research on Balise Arrangement and Engineering Data Processing Scheme in Special Conditions[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2012, 9(3): 5-7.
- [11] 张友兵, 王建敏, 于晓娜, 等. 基于参考应答器的列车位置和方向计算原理[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(3): 6-11. Zhang Youbing, Wang Jianmin, Yu Xiaona, et al. Calculation Principle of Train Position and Direction Based on the Last Relevant Balise Group[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 6-11.

# 多联锁共享室外信号设备切换控制电路设计

王定明

(中国铁路昆明局集团有限公司普洱职工培训基地, 昆明 650208)

**摘要:** 在信号专业实训基地建设中, 需实现多套联锁切换控制同一室外站场信号设备功能, 减少室外设备重复建设、场地占用和资金投入。采用继电器逻辑电路的方法, 设计切换控制电路实现了5套联锁共享同一室外站场信号设备、多套联锁之间物理互斥、同一时间仅有一套联锁控制室外站场信号设备的功能, 切换控制电路故障时每一套联锁均能独立工作; 设计按钮电路实现双按钮切换选择及控制; 设计表示灯电路显示当前控制室内、外设备的联锁类型及状态。经试验表明, 该电路满足多联锁共享室外信号设备切换控制需要, 具有一定推广价值。

**关键词:** 铁路信号; 信号联锁; 室外信号设备; 切换选择电路; 切换执行电路

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0014-07

## Design of Switching Control Circuit for Outdoor Signal Equipment Shared by Multiple Interlocking Systems

Wang Dingming

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

**Abstract:** In the construction of practical training bases for signaling systems, there is a need for switching the control by multiple interlocking systems over one set of outdoor signal equipment at the station, to reduce the repetitive construction, site occupation and capital investment of outdoor equipment. Based on the relay logic circuit method, a switching control circuit is designed to allow five interlocking systems to share one set of outdoor signal equipment at the station. The multiple interlocking systems are physically excluded, and only one interlocking system can control the outdoor signal equipment at the station at a time. In the event of any fault of the switching control circuit, each interlocking system can operate independently. The button circuit is designed to achieve the switching selection and control of two buttons; and the indicator circuit is designed to display the interlocking type and status of the current interlocking system that controls the indoor and outdoor equipment. The tests indicate that the proposed circuit can meet the requirements for switching the control by multiple interlocking systems over one set of outdoor signal equipment, and that it has certain promotion value.

收稿日期: 2023-08-24; 修回日期: 2023-12-04

基金项目: 中国铁路昆明局集团有限公司科技计划重点课题项目(K23Z50)

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

**Keywords:** railway signaling; signal interlocking; outdoor signal equipment; switching selection circuit; switching execution circuit

## 1 概述

中老铁路是“一带一路”、中老友谊标志性工程，是国内与南亚、东南亚国家基础设施互联互通的重要项目，全部采用中国铁路标准建设。为满足中老铁路信号专业技能人才培养需要，兼顾老挝、缅甸、泰国等外籍人员培训需求和新技术发展，在综合培训基地信号专业实训设施设备建设方案中，尽可能将现场在用的每一生产厂家、不同型号的联锁设备建设1套，并预留后期增建信号设备条件，满足开展不同制式信号联锁实训需要。但实施中受场地占地面积、资金投入、建设周期及建设必要性等因素制约，采取多套室内联锁切换控制同一室外站场信号设备的方式进行设计、建设。当某一套室内联锁控制室外站场信号设备时，其余室内联锁采用信号智能模拟盘替代室外设备配合独立工作。若室内联锁设备增减变化或者控制范围大小与室外不一致时，需由室外站场信号设备和信号智能模拟盘同时配合使用。为实现每一套室内联锁互斥、共享控制同一室外站场信号设备、切换连接对应信号智能模拟盘功能，笔者在牵头组织实训基地建设实施中，因没有现成定型电路而组织研发了该套电路。该电路经验证，除满足上述功能外，还具有通用性和易扩展性的功能，拟在普洱培训部实训楼投入应用。

## 2 设计思路

该套电路按5套室内联锁切换控制同一室外站场信号设备设计，并预留扩展功能。

### 2.1 按钮设置

设1个允许切换按钮(YQA)、1个复原按钮(FA)，对应每一套室内联锁设置1个联锁按钮(LA)，所有按钮均采用二位自复式按钮。每一按钮对应控制按钮继电器的励磁吸起或自闭。

### 2.2 表示灯设置

FA设置1个红色表示灯，YQA和5套联锁对应LA，分别设置1个绿色表示灯和1个红色表示灯，各表示灯颜色灯光反映室内联锁切换控制状态。按钮和表示灯设置在切换操作面板上，如图1所示。蓝色为按钮，绿色和红色为表示灯。

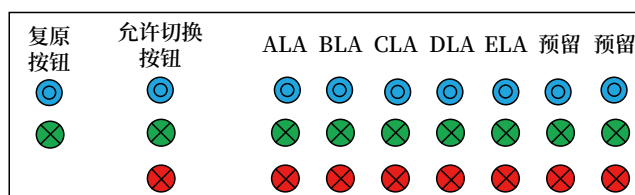


图1 切换操作面板设计  
Fig.1 Design of switching operation panel

### 2.3 继电器设置

对应每一个按钮设置1个按钮继电器，即复原按钮继电器(FAJ)、允许切换按钮继电器(YQAJ)和联锁按钮继电器(LAJ)，按钮继电器实现室内联锁切换选择逻辑功能。每一套室内联锁设置多个信号机切换控制继电器(XQJ)、道岔切换控制继电器(DQJ)和轨道电路切换控制继电器(GQJ)，切换控制继电器实现室内联锁切换执行逻辑功能。继电器均采用JWXC-1700型铁路信号无极安全型继电器，继电器励磁电路由KZ(24V)和KF(24V)供电。

### 2.4 切换执行柜设计

采用现场通用的组合柜改装用作切换执行柜，柜内安装控制面板、切换选择组合(QXZ)和切换执行组合(QZZ)，QZZ也可安装在对应室内联锁组合柜空余位置。设置1个QXZ，安装FAJ、YQAJ和对应LAJ，并考虑预留。对应每一套室内联锁至少设置1个QZZ，安装XQJ、DQJ、GQJ。切换执行柜和接口柜安装在一起，尽可能距离分线盘最近。切换执行柜与分线盘间配线可采用信号电缆连接。

### 2.5 电路技术要求

切换控制电路分为切换选择组合电路和切换执行组合电路，需满足“故障-安全”原则。切换控

制电路均采用按钮+安全型信号继电器方式实现, 切换控制电路故障时, 所有室内联锁断开与室外站

场信号设备的连接, 自动转接至对应智能模拟盘, 确保每一套室内联锁均能独立工作。系统结构示意图如图 2 所示。

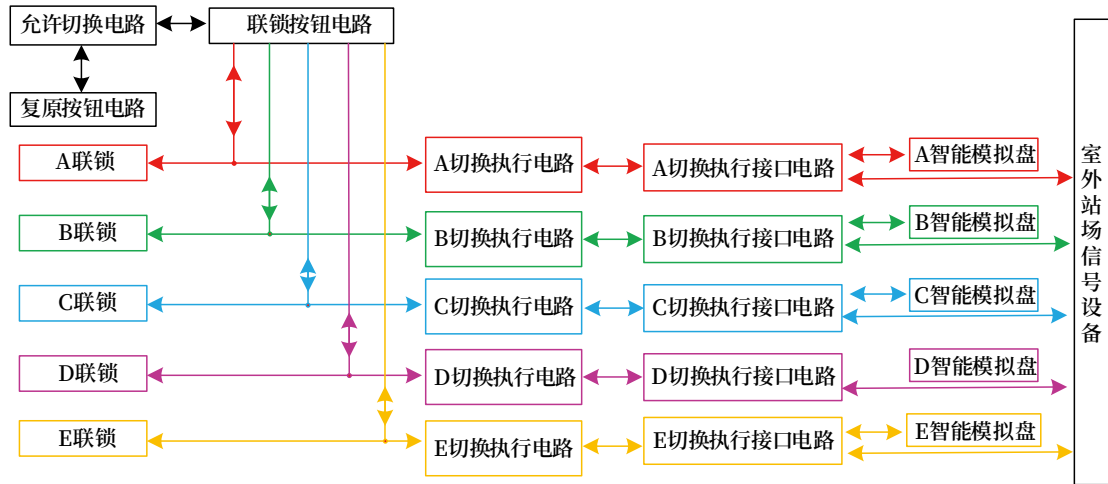


图2 系统结构示意图  
Fig.2 Schematic of system structure

### 3 切换选择组合电路设计

切换选择组合电路采用双按钮方式操作, 能有效防止误碰而错误切换室内联锁控制。由复原按钮电路、允许切换按钮电路、联锁按钮电路和表示灯电路组成。

#### 3.1 复原按钮电路设计

复原按钮电路由复原按钮、复原按钮继电器和表示灯构成, 控制允许按钮继电器励磁条件, 以断开室内联锁对室外站场信号设备的控制, 为切换选择电路工作提供条件。复原按钮继电器表示灯反映室内联锁切换选择的可能性, 复原按钮灯 (FAD) 常态灭灯, 表示可进行切换选择操作, FAD 亮红灯, 表示需办理复原后才能进行切换选择操作, 复原按钮电路原理如图 3 所示。

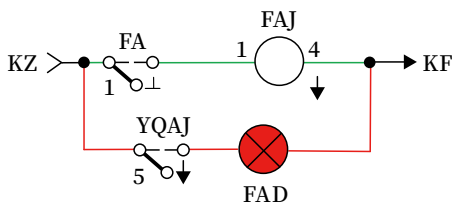


图3 复原按钮电路原理  
Fig.3 Circuit principle diagram of reset button

在切换选择操作时, 若 FAD 亮红灯, 需按压

FA 使之灭灯。按压 FA, FAJ 励磁吸起, FAJ 励磁电路: KZ-FA-FAJ1-4 线圈 -KF。FAD 红灯点灯电路: KZ-YQAJ51-52-FAD-KF。

#### 3.2 允许切换按钮电路设计

允许切换按钮电路由 YQA、YQAJ 和表示灯构成, 与联锁按钮电路共同完成控制切换选择外, 实现切换执行和监督切换控制状态功能。允许切换按钮灯 (YQAD) 常态亮绿灯, 表示室内联锁均未控制室外站场信号设备, YQAD 亮红灯, 表示有一套室内联锁控制室外站场信号设备, 如图 4 所示。

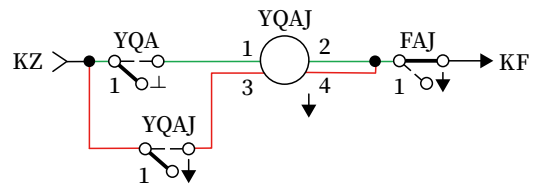


图4 允许切换按钮电路原理  
Fig.4 Circuit principle diagram of switching allowed button

按压 YQA, YQAJ 励磁吸起, 经 YQAJ 第 1 组前接点构成自闭电路。YQAJ 励磁电路: KZ-YQA-YQAJ1-2 线圈 -FAJ11-13-KF。YQAJ 自闭电路: KZ-YQAJ11-12-YQAJ3-4 线圈 -FAJ11-13-KF。

#### 3.3 联锁按钮电路设计

联锁按钮电路由 LA、LAJ 和表示灯构成, 与

允许切换按钮电路共同完成控制切换选择外，还反映切换控制状态和监督切换执行功能。5套联锁分别用A、B、C、D、E表示，每一套联锁按钮和联锁按钮继电器分别为A联锁按钮（ALA）和A联锁按钮继电器（ALAJ）、B联锁按钮（BLA）和B联锁按钮继电器（BLAJ）、C联锁按钮（CLA）和C联锁按钮继电器（CLAJ）、D联锁按钮（DLA）和D联锁按钮继电器（DLAJ）、E联锁按钮（ELA）和E联锁按钮继电器（ELAJ）。

按钮继电器（BLAJ）、C联锁按钮（CLA）和C联锁按钮继电器（CLAJ）、D联锁按钮（DLA）和D联锁按钮继电器（DLAJ）、E联锁按钮（ELA）和E联锁按钮继电器（ELAJ）。电路如图5所示。

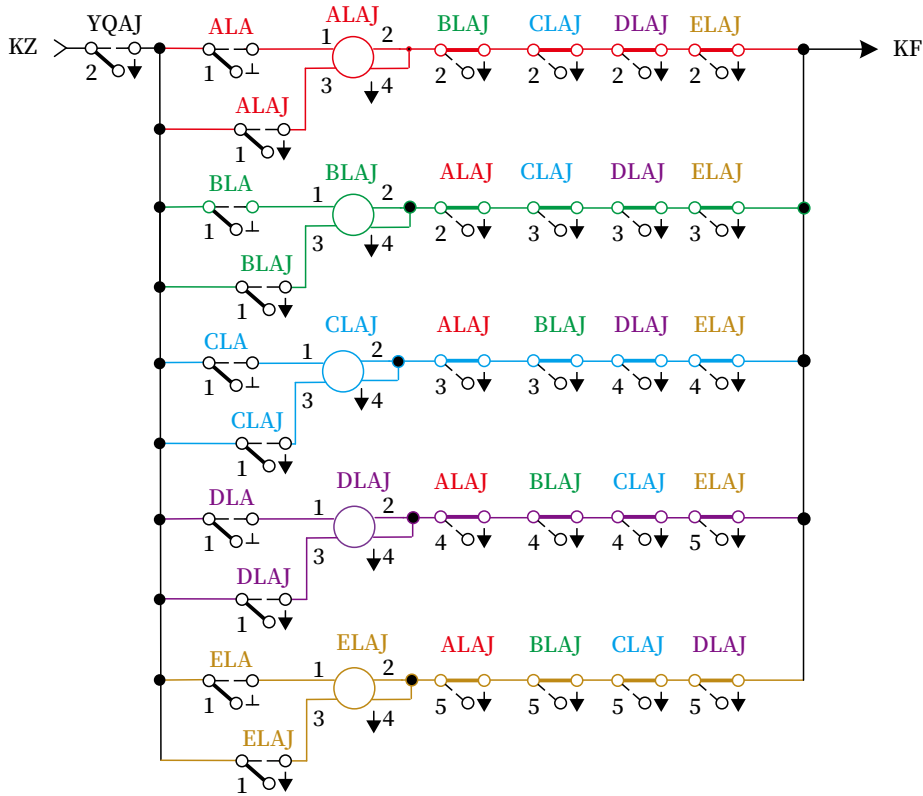


图5 联锁按钮电路原理

Fig.5 Circuit Principle diagram of interlocking button

以切换选择A联锁控制操作为例，当YQAD亮绿灯时，先按压YQA，YQAJ励磁吸起自闭，按压ALA，ALAJ励磁吸起自闭。ALAJ励磁电路：KZ-YQAJ21-22-ALA-ALAJ1-2线圈-BLAJ21-23-CLAJ21-23-DLAJ21-23-ELAJ21-23-KF，ALAJ自闭电路：KZ-YQAJ21-22-ALAJ11-12-ALAJ3-4线圈-BLAJ21-23-CLAJ21-23-DLAJ21-23-ELAJ21-23-KF。在ALAJ励磁和自闭电路中，串接YQAJ前接点和除本联锁以外的联锁按钮继电器后接点，确保在同一时间仅有1套联锁控制室外站场信号设备，实现控制的唯一性和室内联锁互斥。其余联锁按钮及按钮继电器工作原理与上述相同，此不赘述。

### 3.4 表示灯电路设计

在切换操作面板上，所有按钮指示灯采用LED

灯。复原按钮灯设计在复原按钮电路中，其余5套联锁按钮和YQAD在表示灯电路中设计，如图6所示。联锁按钮表示灯常态亮绿灯，绿灯表示该联锁未连接室外站场信号设备，红灯表示该联锁连接室外站场信号设备。切换控制操作时，按压YQA，YQAD由绿灯改点红灯，选择按压需控制室内的联锁按钮，室内联锁按钮灯由绿灯改点红灯，其余联锁灯保持不变。

YQAD亮绿灯点灯电路：KZ-YQAJ41-43-ALAJ83-81-BLAJ83-81-CLAJ83-81-DLAJ83-81-ELAJ83-81-KF。

YQAD亮红灯点灯电路：KZ-YQAJ41-42-KF。

以A联锁为例，ALA灯亮绿灯，YQAJ和ALAJ落下，绿灯点灯电路：KZ-ALAJ71-73-

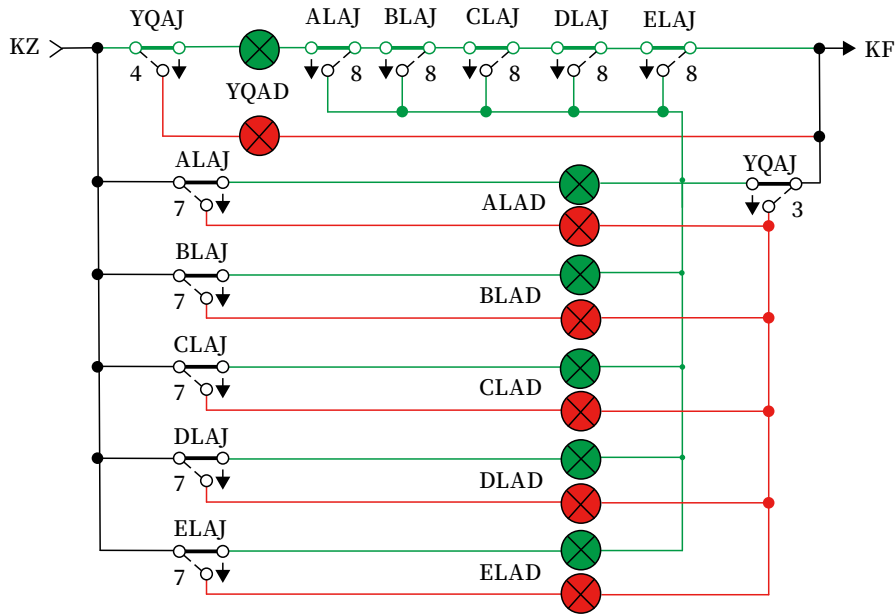


图6 按钮表示灯电路  
Fig.6 Circuit of button indicator

YQAJ33-31-KF。ALA 灯亮红灯，YQAJ 和 ALAJ 吸起，红灯点灯电路：KZ-ALAJ71-72-YQAJ32-31-KF。其余联锁按钮灯与 A 联锁按钮灯同理，分别接入相应 LAJ 前接点或者后接点控制点灯。仅当所有表示灯亮绿灯时，才可进行切换执行操纵。

### 3.5 切换选择组合电路安全措施

QXZ 故障时，可能导致 FAJ、YQAJ 和 LAJ 不能励磁吸起或自闭。当 FAJ 不能励磁吸起时，若无室内联锁控制室外站场信号设备，不影响切换选择，若有则保持现有控制状态而失去切换选择操作功能。当 YQAJ 不能励磁吸起或自闭时，失去切换选择操作功能。当某一 LAJ 不能励磁吸起或自闭时，仅该套联锁失去切换选择及控制功能。

## 4 切换执行组合电路设计

切换执行组合电路由切换执行电路和切换执行接口电路构成。对应每一套联锁需设置切换执行组合，组合内安装 XQJ、DQJ 和 GQJ，组合和继电器数量由所需控制室外站场信号设备数量合理确定。

### 4.1 切换执行电路

切换执行电路主要实现 XQJ、DQJ 和 GQJ 的励磁吸起，由 YQAJ 和对应该联锁按钮继电器控制，

实现切换执行的唯一性，如图 7 所示。

以 A 联锁中 XQJ 为例，XQJ 励磁电路：KZ-YQAJ61-62-XQJ1-4 线圈 -ALAJ61-62-KF。A 联锁中 DQJ、GQJ 励磁电路与 XQJ 励磁电路原理相同，其余 4 套联锁与 A 联锁分析一致，此不赘述。若 3 种控制继电器数量较多，可以按照 XQJ、DQJ、GQJ 分类组成独立的控制组合使用。

### 4.2 切换执行接口电路

每一套联锁对应的切换执行接口电路分别设置多个不等的 XQJ、DQJ、GQJ，分别在继电器名称后面加序号予以区别，如 XQJ1、XQJ2、XQJ3、XQJ4.....、DQJ1、DQJ2、DQJ3.....、GQJ1、GQJ2、GQJ3、GQJ4.....。均用继电器前接点连接室外对应信号机、道岔、轨道电路的电缆配线，落下接点连接智能模拟盘配线。以 A 联锁切换控制室外设备为例，选取 1 架出站兼调车信号机 (X3)、1 组六线制道岔 (3<sup>#</sup>)、3 区段轨道电路 (2DG、4DG、1G) 为例，室内与室外、智能模拟盘间切换执行接口电路如图 8 所示，其余信号机、道岔、轨道电路切换控制分析与上述相同。同理，其他 4 套联锁与 A 联锁分析一致，此不赘述。

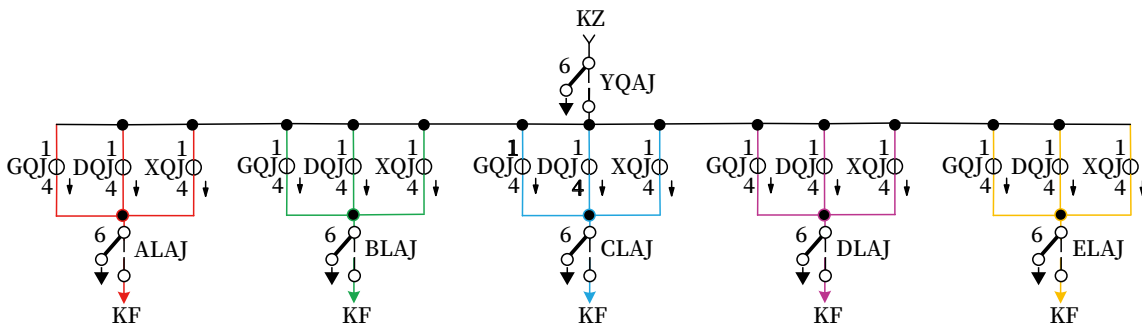


图7 切换执行电路原理

Fig.7 Principle diagram of switching execution circuit

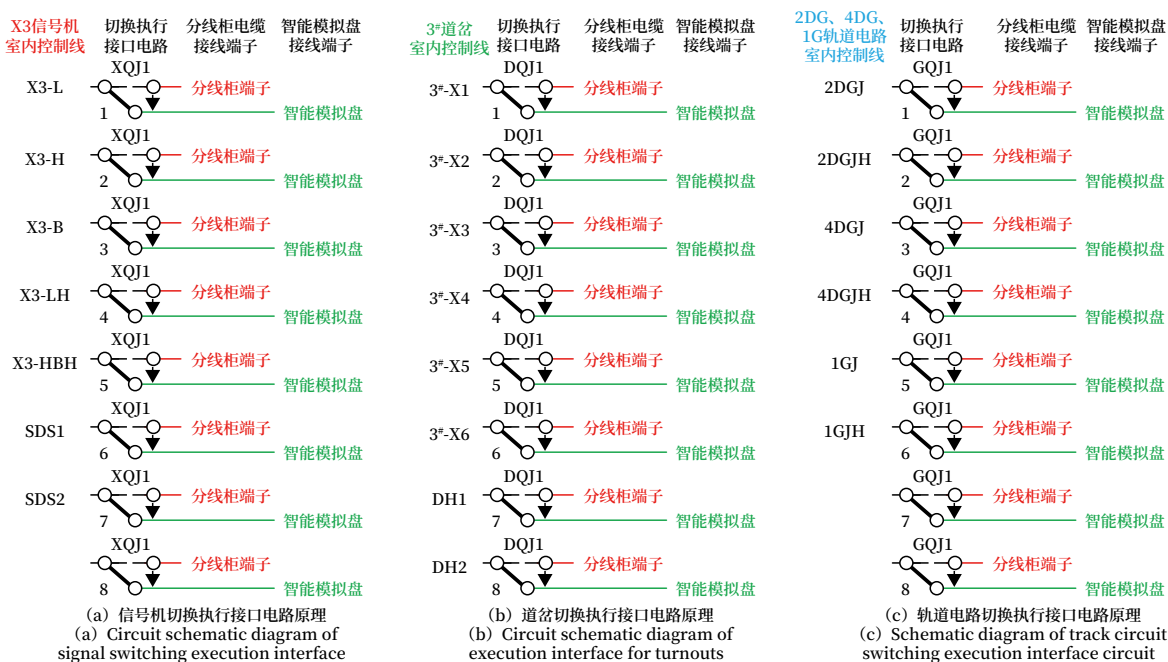


图8 切换执行接口电路原理

Fig.8 Principle diagram of switching execution interface circuit

## 5 切换控制电路功能验证及拓展

### 5.1 切换控制电路功能验证

第一，在同一室内联锁中试验。任意选取信号机、轨道电路、道岔之一代表1种联锁设备，经试验切换控制功能正常。增选设备数量以代表2~5种不同类型联锁设备逐项试验，切换控制功能均正常。

第二，在不同室内联锁中试验。选取6502电气集中联锁、iLOCK计算机联锁、TYJL-ADX计算机联锁进行验证，同样实现设计功能。该套电路为后期信号专业实训设备建设、实现多联锁共享室外站场信号设备切换控制及预留扩展功能提供了技术保障。

### 5.2 切换控制电路功能通用性拓展

该套电路室内联锁数量和控制室外站场设备数量均可拓展，无论设计几套室内联锁，仅需设置1个FA和1个YQA，对应设置1个FAJ和1个YQAJ。对应每一套室内联锁设置1个LA、1个LAJ及表示灯，室内联锁数量超过5套，因LAJ接电不够，需增设联锁按钮继电器的复示继电器(LAJF)。XQJ、DQJ和GQJ的数量由控制室外信号机、道岔和轨道电路区段的数量多少而选定，并依据XQJ、DQJ和GQJ数量合理采取独立设置组合或合并共用组合的方式。

## 6 结束语

切换选择组合电路、切换执行组合电路为一套完整的5套联锁共享室外站场信号设备控制电路,在未改变原联锁设备联锁关系的基础上,实现安全、可靠的切换控制功能。基于这套电路,可任意增减室内联锁和室外设备控制数量,满足了信号实训基地多套联锁切换控制室外站场信号设备和预留增减室内、外设备的发展需要,控制功能、电路安全性和易扩展性都达到了设计目的。但该电路仅在培训基地开展了信号联锁安全验证,暂不能用于现场行车控制,可为实训基地建设或设计人员提供借鉴。

### 参考文献

- [1] 钱广民, 阎娟. 全自动运行线路间隙探测装置与行车相关系统联动方式优化方案[J]. 铁路计算机应用, 2022, 31(8): 77-80.  
Qian Guangmin, Yan Juan. Optimization of Linkage Mode between Gap Detection Device and Train Operation Related System for Fully Automatic Operation Line[J]. Railway Computer Application, 2022, 31(8): 77-80.
- [2] 钟志旺, 陈建译. 基于多联锁共享的道岔控制切换电路设计[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(3): 101-106.  
Zhong Zhiwang, Chen Jianyi. Design of Switch Control Circuit Based on the Multi-Interlock Sharing[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(3): 101-106.
- [3] 赵虹, 黄海霞, 梁汝军. 基于车载ATC系统冗余切换的地铁车辆控制电路优化设计[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(6): 182-185, 190.  
Zhao Hong, Huang Haixia, Liang Rujun. Optimal Design of Metro Vehicle Control Circuit Based on Redundant Switching of On-Board ATC Control System[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(6): 182-185, 190.
- [4] 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.
- [5] 谭艳, 范春学, 曹亚辉, 等. 一种基于信号设备监测图形化建模的方法[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 7-12.  
Tan Yan, Fan Chunxue, Cao Yahui, et al. Method of Graphical Modeling Based on Signal Monitoring Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 7-12.
- [6] 安伟光, 阚焕章, 窦振荣. 车站信号工程施工[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [7] 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.
- [8] 林瑜筠, 吕永昌. 计算机联锁[M]. 4版. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [9] 阮振铎. 铁路信号设计与施工[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [10] 袁成华. 铁路信号设备故障分析与处理[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [11] 张庆重, 胡诗锦, 石玉. 基于AD8306的参考源自动切换电路设计[J]. 电子科技, 2016, 29(2): 137-140.  
Zhang Qingzhong, Hu Shijin, Shi Yu. Design of Automatic Switching Circuit for Reference Source Based on AD8306[J]. Electronic Science and Technology, 2016, 29(2): 137-140.
- [12] 白昊, 王艳荣. 基于单片机的LED广告信息显示屏控制电路设计[J]. 电子设计工程, 2016, 24(18): 175-177, 181.  
Bai Hao, Wang Yanrong. Design of Control Circuit for LED Advertising Information Display Screen Based on MCU[J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(18): 175-177, 181.



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.004

# 关于到发线出岔联锁技术条件的探讨

丁建莉

(中铁电气化局集团有限公司设计研究院, 北京 100071)

**摘要:** 铁路车站到发线出岔的种类比较多, 对某些特殊形式的到发线出岔, 现有到发线出岔技术条件无法满足实际应用需求。介绍实际工程中遇到的不同类型到发线出岔应用场景, 并针对这些不同场景, 一一分析在标准到发线出岔电路基础上, 计算机联锁还需做哪些特殊处理, 以兼顾确保行车安全和满足车站运输作业需要。

**关键词:** 到发线出岔; 计算机联锁; 列车行车安全

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0021-05

## Discussion on Interlocking Technical Conditions for Switches Lying Midway in Receiving-Departure Tracks

Ding Jianli

(Design &amp; Research Institute, China Railway Electrification Bureau (Group) Co., Ltd., Beijing 100071, China)

**Abstract:** There are many kinds of switches lying midway in receiving-departure tracks at railway stations. For some special switches lying midway in receiving-departure tracks, the existing technical conditions for switches lying midway in receiving-departure tracks cannot meet the actual application requirements. This paper introduces the application scenarios for different types of switches lying midway receiving-departure tracks in actual projects, and analyzes what special treatments computer based interlocking needs to provide for each application scenario on the basis of the standard protection circuit for switches lying midway in receiving-departure tracks, to ensure the safety of train operation while meeting the needs of transportation operations at stations.

**Keywords:** switch lying midway in receiving-departure track; computer based interlocking; train operation safety

### 1 概述

在铁路车站的站型中, 到发线出岔的情况普遍存在如图 1 所示, 是解决中小车站办理零担货运和

专用线接入的有效手段。到发线出岔电路既要满足调车作业的方便, 同时又要保证接、发列车作业的安全。

在《铁路车站计算机联锁技术条件》(TB/T 3027-2015) 和《集中联锁结合电路一般原则》(TB/T 2307-2017) 中均有相应规定, 其中《集中联锁结合电路一般原则》(TB/T 2307-2017) 明确

收稿日期: 2023-06-26; 修回日期: 2023-11-24

作者简介: 丁建莉 (1980—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: dj10118@163.com。

规定到发线出岔需满足以下技术条件。

1) 向有分歧道岔的到发线排列接车进路，或由有分歧道岔的到发线排列发车进路，该分歧道岔自动转换到规定位置并锁闭，进站或出站信号机才能开放。

2) 当防护该分歧道岔的调车信号机开放时，通向该到发线的接车进路不应建立，但发车进路可以建立。

3) 接车时分歧道岔的解锁应满足下列要求：

a. 进站列车全部进入到发线并顺利通过道岔，分歧道岔应自动解锁；

b. 进站列车全部进入到发线，但未压入分歧道岔区段，分歧道岔应经 3 min 限时后自动解锁；

c. 进站列车全部进入到发线，占用分歧道岔区段，该分歧道岔不应解锁，待列车出清后自动解锁；

d. 取消或人工解锁接车进路，需待接车进路解锁后，分歧道岔才应解锁。

4) 发车时分歧道岔的解锁应满足下列要求：

a. 出发列车全部出清到发线，分歧道岔应立即解锁；

b. 无岔区段留有车辆时，出发列车出清出站信号机内方第一区段后，分歧道岔才能解锁；

c. 取消发车进路，分歧道岔和发车进路应同时

解锁。当分歧道岔区段有车占用时，应保留锁闭。

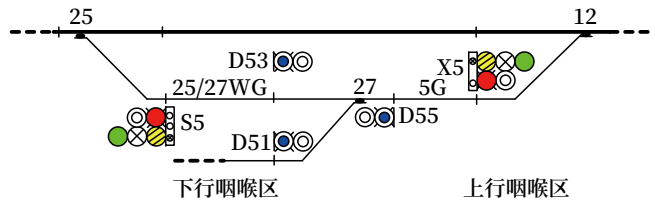


图1 标准到发线出岔

Fig.1 Standard switch lying midway in receiving-departure track

到发线出岔的种类比较多，对某些特殊形式的中岔布置和特殊情况的调车作业，仅满足上述技术条件尚不能同时达到保障现场运输作业安全和提高运输效率的目的。以实际工程遇到的到发线出岔为例，对其联锁技术条件进行探讨研究。

## 2 常见到发线出岔场景

实际工程中，除标准到发线出岔外，还有以下几种常见出岔场景。

### 2.1 场景一：股道中间设置渡线道岔，并有列车作业需求

为满足车站运输作业需要，在股道之间设置渡线道岔（以下简称为腰岔），并且设置发车进路信号机或调车信号机防护的车站，腰岔一端为发车进路信号机，一端为调车信号机，如图 2 所示。腰岔两端均为发车进路信号机如图 3 所示。

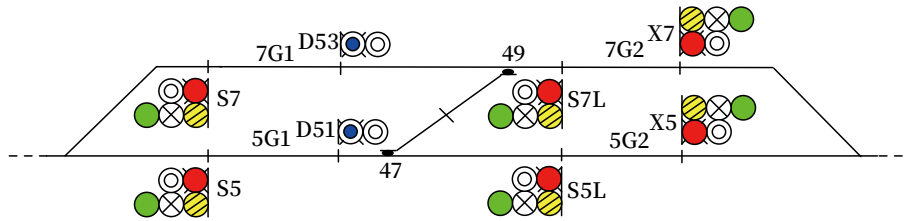


图2 腰岔一端为发车进路信号机一端为调车信号机

Fig.2 Crossover switch with starting signal at one end and shunting signal at the other end

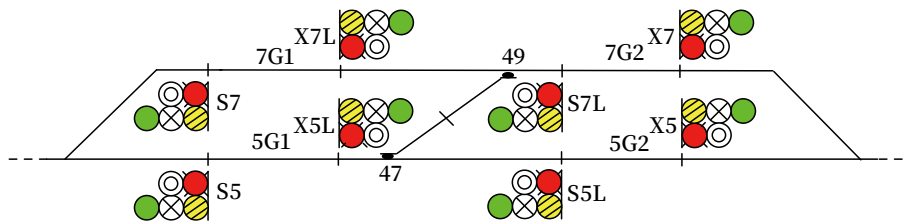


图3 腰岔两端均为发车进路信号机

Fig.3 Crossover switch with starting signal at both ends

在这种情况下，如直接采用到发线出岔电路处理方式，接发车时直接将腰岔防护到规定位置并锁闭，则会导致行车效率的降低，不能起到设置腰岔及列车信号机的目的。为此，可采用以下方式进行处理。

1) 接车进路：以下行咽喉接车至 5G1 为例，图 2 腰岔无列车信号机防护则按照标准中岔处理；图 3 腰岔有列车信号机防护，接车进路锁闭至 X5L 信号机前，腰岔可结合车站运输作业实际采用以下两种方式之一处理：a. 检查是否有 X5L 至 5G2 或 7G2 的进路锁闭，如有进路，进路取消时也将 47/49<sup>#</sup> 道岔锁闭在原位置，如无相应进路锁闭，则需要将 47/49<sup>#</sup> 道岔防护至定位；b. 腰岔因有列车信号机防护，也可按正常的接车进路处理。上述两种处理方式在保证行车安全的同时，又能为运输组织提供便利，可办理经 5G1、47/49<sup>#</sup> 道岔反位至 7G2 的接车组合进路以满足特殊情况下运输需求。

2) 发车进路：以 5G1 向下行咽喉发车为例，图 2 腰岔无列车信号机防护则按照标准中岔处理；图 3 腰岔有列车信号机防护，腰岔可结合车站运输作业实际采用以下两种方式之一处理：a. 检查是否有 S5L 或 S7L 至 5G1 的进路锁闭，如有进路，进路取消时也将 47/49<sup>#</sup> 道岔锁闭在原位置，如无相应进路锁闭，则需要将 47/49<sup>#</sup> 道岔防护至定位；b. 腰岔因有列车信号机防护，也可按正常的列车进路处理。上述两种处理方式在保证行车安全的同时，又能为运输组织提供便利，可办理由 7G2 经 47/49<sup>#</sup> 道岔反位的发车组合进路以满足特殊情况下运输需求。

3) 接近锁闭：侧线股道防护腰岔列车信号机接近锁闭可延长至进站内方，侧线股道出站信号机接近锁闭可延长至防护腰岔信号机内方，如腰岔位于正线股道，则按照线路速度设置接近锁闭长度。

#### 4) 腰岔解锁时机

a. 为保障行车安全且便于使用，在相应股道上设置“腰岔解锁按钮”（铅封自复式）；道岔总锁时，上行、下行咽喉都需锁闭腰岔。

b. 若防护腰岔的为调车信号机时，按照标准中岔处理。

c. 若防护腰岔的为列车信号机时，以图 3 中 X5L 至 5G2（腰岔反位进路处理方式相同，腰岔解锁按钮可使用进路终端所在股道的）为例，按如下方式进行处理。

列车压入腰岔区段，但未进入 5G2，此时进路用任何方式都不得解锁；

当列车压在腰岔区段（有多个腰岔时，进路后方腰岔区段可顺序出清自动解锁）及 5G2 时，进路不能解锁（包括延时解锁）。如需解锁，则需按压相应股道腰岔解锁按钮且向 5G1 的接车进路已解锁，此时腰岔进路方可延时 3 min 解锁；

列车完全进入 5G2，腰岔区段正常解锁。

## 2.2 场景二：两区段到发线出岔

到发线中间只有一个分歧道岔、一个无岔区段，常见的有以下两种。

### 2.2.1 道岔定位开通股道

如图 4 所示，道岔定位开通股道时标准到发线出岔技术条件未覆盖。在工程设计及联锁软件处理时，还需满足以下条件。

1) 当办理 D18 或 D20 至 4G 的调车进路时，进路终端应为 D22，不能以 X4D 作为其终端；当办理以 D22 为始端的调车进路时，X4DA 为终端按钮；D22 可向咽喉区办理长调车进路。

2) X4D 按股道出站信号机调车处理，解锁时只做两点检查。

3) D18 或 D20 向 4G 调车时，车列压入 22DG 出清 20DG 后，计时 3 min 4G 解锁，如车列顺序进入 4G，22DG 按三点检查解锁。

4) 4G 可根据实际情况设置是否可同时往里调车。

### 2.2.2 道岔反位开通股道

如图 5 所示，道岔反位开通股道时，标准到发线出岔技术条件未覆盖。在工程设计及联锁软件处理时，还需满足以下条件。

1) X9 发车时，22DG 解锁需满足三点检查，即 22DG 不得留车。

2) X9D 按照普通调车处理，解锁时需做三点检查。

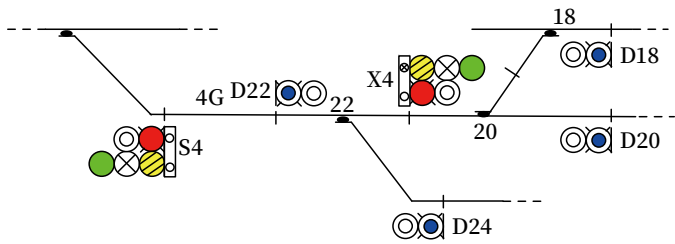


图4 两区段到发线出岔 (道岔定位开通股道)  
Fig.4 Switch lying midway in receiving-departure track of two sections (with normal position of switch opening to traffic)

- 3) D10 可向咽喉区办理长调车进路。
- 4) D6 向 9G 调车时, 车列压入 22DG 出清 20DG 后, 计时 3 min 9G 解锁, 如车列顺序进入 9G, 22DG 按三点检查解锁。
- 5) 由于 22<sup>#</sup> 定位开通安全线, 按照常规做法, 经 20<sup>#</sup> 道岔定位进路应将 22<sup>#</sup> 道岔防护至定位; 如按防护处理, 当车占用 22<sup>#</sup> 反位, 并准备发车时, 则无法办理上行咽喉至 7G 的接发车进路。在此情

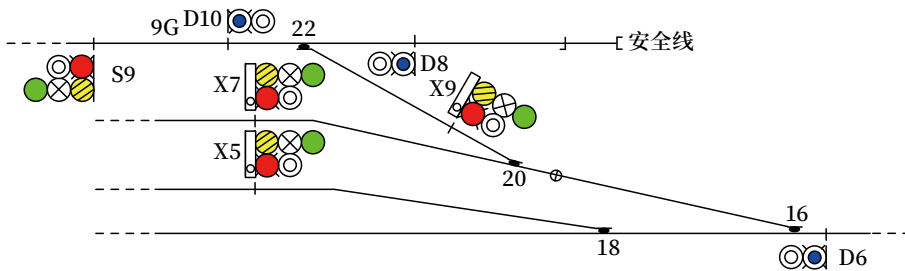


图5 两区段到发线出岔 (道岔反位开通股道)  
Fig.5 Switch lying midway in receiving-departure track of two sections (with reverse position of switch opening to traffic)

况下, 可根据运输作业实际需求与运输部门商榷是否进行防护处理。

2.3 场景三: 到发线出岔为渡线道岔, 反位为进站口  
到发线出岔为渡线道岔, 反位开向为进站口, 有接发车进路, 如图 6 所示。对下行咽喉来说, S5I

为其对应 5G 出站信号机; 对 XZ 口来说, S5II 为其对应出站信号机。为此, S5II 信号机设置一个蓝色灯光, 仅在 SB 向 5G 接车时显示, 表示准许列车越过 S5II 信号机可行驶至出站信号机 S5I 前准备停车。

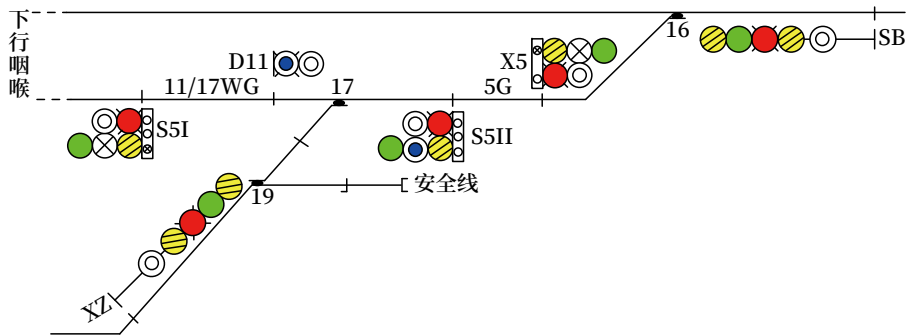


图6 到发线渡线道岔反位为进站口  
Fig.6 Crossover switch in receiving-departure track, with reverse position of switch as station entrance

在此种情况下, 仅遵循标准到发线出岔技术条件无法确保在保障行车安全的同时又不降低运输效率。工程设计及联锁软件处理时, 还需满足以下条件。

- 1) 下行至 5G 接车进路、X5 发车进路及 S5I 发车进路, 按照标准到发线出岔电路处理。
- 2) SB 至 S5I 接车进路及 SB 至 5G 引导进路, 按照标准中岔电路处理, 进路锁闭至 11/17WG, 其

中 SB 至 S5I 接车进路终端按钮需为 D11LZA。S5I 未开放时, S5II 信号机点蓝灯; 当 S5I 开放后, S5II 完全重复 S5I 的显示, 需注意 S5II 信号机点灯电路处理。列车进入 5G 后, 在 S5II 开放蓝灯的情况下, 列车压入 S5II 内方后开始计时 3 min, S5II 至 S5I 部分进路自动解锁; 在 S5II 开放列车信号的情况下, 列车压入 S5II 内方后按普通列车进路的解

锁条件解锁,如列车在5G停车,S5II至S5I部分进路可以人工解锁或区段解锁。

3) SB往XZ口接发车可分段办理(SBLA至X5LA,S5IILA至XZLA),也可排列长列车进路SBLA至XZLA;为保证行车安全,下行咽喉不得开放至5G引导信号。

4) 为确保行车安全,X5发车进路联锁检查条件一致,建议不允许办理XZ至SB连续进路,待XZ至5G接车进路解锁后,并且17/19<sup>#</sup>道岔在定位,X5才能排列向SB口发车进路。

### 3 结束语

本文通过对实际工程中遇到的不同类型到发线出岔联锁处理技术条件进行分析,提出不同场景下存在的问题及解决方法,满足了到发线出岔在实际工程中的特殊运用需求。

实际工程中各线路车站运输作业需求存在差异,且由于新技术的引入而引发特殊需求,这些都可能对到发线出岔电路联锁技术条件有影响。为此,在确定实际工程中到发线出岔电路联锁技术条件时,需综合进行考虑,特别是各系统间的闭环检查,以便在保证运输作业安全、满足故障-安全原则的基础上,能最大限度提升运输效率。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 何文卿. 6502电气集中电路[M]. 修订本. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [4] 李嘉. 大秦线扩能改造的特殊信号、联锁设计—2万吨重载条件下站场股道有效长2 800 m及多组腰岔的联锁处理方案[C]//2007年铁路通信、信号、信息专业工程设计年会论文集. 北京: 中国铁道学会, 2007: 281-287.
- [5] 潘继军. 到发线出岔联锁技术条件分析[J]. 铁路技术创新, 2012(6): 12-13.  
Pan Jijun. Analysis on Technical Conditions of Bifurcation Interlocking of Arrival-Departure Line[J]. Railway Technical Innovation, 2012(6): 12-13.
- [6] 宋志红. 瓦日线车站到发线中间出岔信号设计[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(6): 38-40.  
Song Zhihong. Signalling Design of Switch in the Middle of Receiving-Departure Track within Stations on Wari Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(6): 38-40.
- [7] 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 Zhangha. Impact and Analysis of Signaling Turnout Design Scheme on Interlocking Relation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 91-94.
- [8] 李彩霞, 陈晓周, 王燕芬. 交叉渡线增设信号机对联锁逻辑的影响分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(6): 40-43.  
Li Caixia, Chen Xiaozhou, Wang Yanqin. Analysis of Impact of Interlocking Logic Due to Installation Additional Signal on Double Crossover[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 40-43.
- [9] 温继常. 集中联锁车站动车存车线信号工程设计方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(12): 19-22.  
Wen Jichang. Signaling Engineering Design Scheme of Parking Line in Centralized Interlocking Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 19-22.

# 铁路信号安全数据网 网络管理系统优化方案研究

李 想, 赵京京

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 为进一步提高铁路信号安全数据网系统性能, 在分析现有信号安全网络管理系统的基础上, 对现有带内网管系统及其存在的问题进行分析。提出对带内网管网格结构和 NMS 和 CTC 时间同步的优化方案, 并指出在当前铁路网管系统中引入带外网管系统, 通过带内外系统协同作用的优化方案。为进一步提高国内铁路信号安全数据网络管理系统的可靠性提供参考。

**关键词:** 安全数据网; 网管系统; 带内管理; 带外管理

中图分类号: U285.8

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0026-05

## Research on Optimization Scheme of Network Management System for Railway Vital Signaling Data Networks

Li Xiang, Zhao Jingjing

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

**Abstract:** To further improve the system performance of railway vital signaling data networks, this paper analyzes the existing in-band network management system and its problems based on an analysis of the existing management system for vital signaling networks. Then, it proposes an optimization scheme of the grid structure for in-band network management system and the time synchronization of NMS and CTC. Moreover, it points out that the out-of-band network management system can be introduced into the current railway network management system, and that the optimization scheme can be achieved through the cooperation of the in-band and out-of-band systems. This research can provide reference for further improving the reliability of the network management system for railway vital signaling data networks in China.

**Keywords:** vital data network; network management system; in-band management; out-of-band management

### 1 概述

信号安全数据网是保障铁路信号系统稳定、安

全、高效运行的专用通信网络, 承载着计算机联锁设备、列控中心、中继站与无线闭塞中心和临时限速服务器等中心设备间的信息传输安全。铁路信号安全数据网网管系统负责监管铁路局管内所有线路的信号安全数据网设备、网管服务器、企业信息服

收稿日期: 2022-08-24; 修回日期: 2023-12-01

第一作者: 李想(1989—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 信号系统集成, 邮箱: lixiang0309@crscd.com.cn.

务器 (Enterprise Messaging Server, EMS) 和网络管理系统 (Network Management System, NMS) 之间的网络设备的运行状态。铁路信号安全网网络管理系统具有重要作用, 一旦发生故障则损失重大, 因此对其进行方案优化具有重要意义。

## 2 当前管理系统及其存在问题

网络管理系统是一种通过结合软件和硬件用来对网络状态进行调整的系统, 以保障网络系统能够正常、高效运行, 使网络系统中的资源得到更好地利用。网络管理系统具有故障管理、配置管理、性能管理和安全管理等主要功能。从技术角度来说, 网络管理可分为带内管理和带外管理两种管理模式, 带内管理是管理信息与数据信息在同一物理通路上传输。带外管理是通过不同的物理通路分别传送管理信息和数据信息。当前铁路信号安全数据网网络管理系统主要通过带内管理实现。

### 2.1 带内管理系统方案

安全数据网二级网管架构由现场级和路局级网

管构成, 现场级网管直接通过南向接口与现场网络设备交互, 获取现场设备状态信息、性能信息、故障信息和配置信息。路局级网管不直接与现场设备通信, 而是通过现场级网管提供的北向接口间接获取各条线路的设备状态信息和故障信息, 通过整合分析后, 绘制区域和全网的拓扑图, 提供资产统计信息、故障统计、性能统计以及报表和趋势信息。按照目前的组织方式, 两级网管系统信息传输架构如图 1 所示。

现场级网管和路局级网管的通信基于 Corba 技术, 该技术包含北向接口和南向接口对接的标准接口通道。北向接口是现场级网管向路局级网管、部级网管发送网管信息的接口, 南向接口是路局级网管、部级网管向现场级网管读取网管信息接口, 这两个接口都是业界通用的接口管理规范。

### 2.2 带内管理系统方案存在的主要问题

信号安全数据网作为信号系统重要的基础通道, 对于保证列车正常运营至关重要, 必须装备完善的网络管理系统, 确保在异常情况下仍能够实施网络监

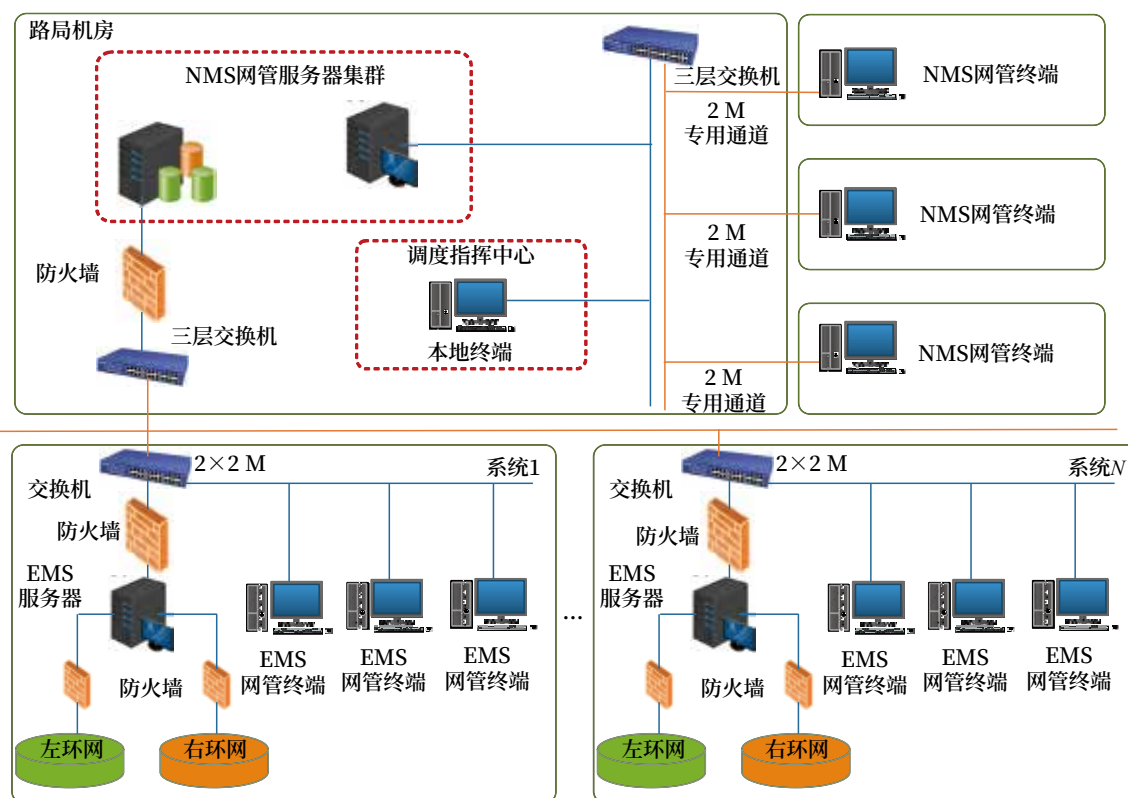


图1 两级网管架构示意

Fig.1 Schematic of two-level network management architecture

控。当前以带内管理系统方法为主的铁路信号安全数据网络管理系统主要存在以下几个方面的问题。

1) 带内管理是管理信息与数据信息在同一物理通路上传输,一旦网络或设备出现故障,带内管理将无法管理设备,必须由管理员到达现场才能确定网络状况,浪费大量人力和财力,效率极其低下。

2) 带内管理由于安全原因,无法在任意时间和任意地点对网络进行远程管理和维护,而带外管理可以不考虑时间和地理位置限制,对分布式网络系统进行集中管理和维护。网络管理员可以更有效地对网络管理系统进行管理和维护,这既降低了用户网络运营成本,又提高了网络运营效率和服务质量。

### 3 网管系统优化

#### 3.1 对带内网管优化

##### 3.1.1 网络结构优化

原技术规范中 EMS 终端与 EMS 服务器采用直连的方式,由于用户经常接触 EMS 终端,EMS 终端暴露在相对不安全的使用环境中,有一定安全风险。优化方案中调整了防火墙位置和 EMS 终端的位置,一方面 EMS 终端和 EMS 服务器之间有了防火墙的边界防护,相对更安全;另一方面,NMS、EMS 服务器、EMS 终端位于相互连通的网络中,当 NMS 服务器部署杀毒软件的服务器端,EMS 服务器和终端都能通过网络自动更新病毒库,并且能够完成主机时间同步,网络结构更合理、更优化。

##### 3.1.2 NMS和CTC时间同步

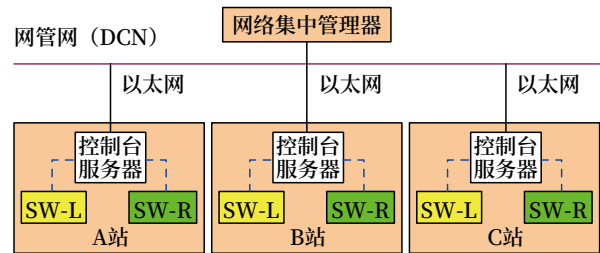
经过调研,在调度集中系统(Centralized Traffic Control, CTC)中心时间服务器通过串行接口从原子钟接口获取时间,并且通过网络接口对外提供时间信息。NMS 和 CTC 时间同步如果直接使用网络连接,明显违背信号安全数据网封闭性原则。CTC 时间服务器对外发布时间信息采用 NTP 协议,可以在该链路上串入以太网 TAP,监听 CTC 时间服务器与 CTC 之间交互的时间信息进行解析。TAP 为监听设备,只能接收数据,不发送数据,并且断电之后具有旁路功能,对通信双方不造成任何

影响,因此该方案非常安全。

#### 3.2 加入带外网管进行优化

##### 3.2.1 带外网络管理方案简介

带外管理是一种国际先进的网络管理方式,不同于传统的带内管理方式,将管理信道和数据信道相分离,从而避免带内管理方式中由于网络故障所导致的设备管理问题,既可以减少运营成本,又可以提高运营效率和服务质量。基本结构如图 2 所示。



图例: --- 串口连接

图2 带外管理结构

Fig.2 Structure of out-of band management

带外管理系统由控制台服务器、远程 KVM 和网络集中管理器组成。控制台服务器通过把机房内部的网络设备端口集中起来联网,建立一套独立于数据网络之外的专用管理网络。网络集中管理是整个网络设备的综合集中监控管理平台,多种网络设备通过 SLM 内置的 https 或 SNMP 图形化管理界面统一监控、管理。系统管理员还可以通过 SLM 对网络内部的计算机或网络设备进行统一系统升级,而无需管理员对设备进行逐一安装。

##### 3.2.2 在带内网络基础上加入带外管理的优点

带内管理和带外管理是网络管理的两个方面,带内管理一般作为正常网络管理的手段,带外管理则作为应急通道和安全通道来使用。在带内管理基础上还需要建设带外管理,可以通过带外网络管理系统建立一套同时具备网络集中监控、事故预警、管理、维护等功能的管理网络系统,在出现网络故障或通信中断时都可以通过专用的管理通道对网络进行管理和维护。

虽然带外管理在信号系统还是新事物,但是在银行、大企业、电信领域分布式设备管理以及机房



设备管理方面应用十分广泛，方案成熟。国外很多大公司都有整套解决方案，比如 securelinx。信号安全数据网之所以引入带外管理系统，最突出的优势能够实现任意时间和任意地点对网络进行安全的远程管理和维护。比如使用网管网或者使用 Modern 接入维护，该方案的安全性体现在以下几个方面。

1) 信号安全数据网和网管网完全独立，两者之间不存在任何网络的连接。

2) 控制台服务器作为网管网的接入设备，通过串口与设备的 Console 端口连接。

3) 带外网管系统可确保管理数据安全可靠，其原因是由于带外网管系统支持 128-bit、SSHv2、SSLv3 等数据加密技术，可将运维管理人员的所有管理控制信息都以加密方式传送到被管理设备。

4) 带外网管系统可以防止未经授权用户非法访问，主要方法是通过轻型目录访问协议、SecurID、终端访问控制器访问控制系统、NIS、Kerberos 认证、RADIUS 协议等身份认证系统及加密系统，对运维管理人员的身份、管理权限、管理范围进行界定来实现。

5) IP 地址过滤技术由管理员配置 IP 分组过滤表，IP 过滤模块根据 IP 分组中报头的源地址、目的地址、端口号等信息，对来往的 IP 分组进行过滤，允许或者禁止某些 IP 地址的访问。

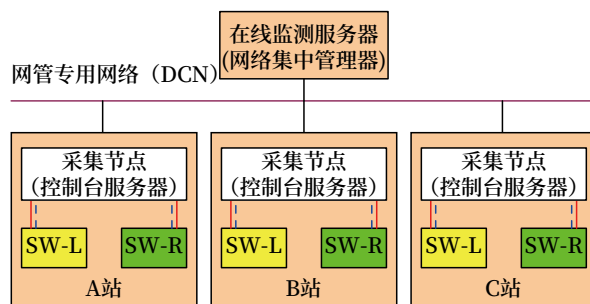
6) 远程安全接入可以配合管理制度实施，在故障发生时，由人工连通通道。

### 3.2.3 带外网管优化

在铁路信号安全数据网络管理系统中引入带外管理系统，并结合实际需求进行优化，新增设备和 DCN，使之成为信号系统的综合监控平台，实现信号系统各种设备接口数据采集。该系统就类似于信号系统的云计算平台，具有计算能力、存储能力以及 I/O 能力的高扩展性，提供串口 (RS-232、RS-485、RS-422)、网口以及 CAN 总线等多种接口，在应用中硬件配置非常灵活。

综合监控平台结构由一台中心监测服务器以及

若干分布式的采集节点构成，其中，中心监测服务器由网络集中管理器扩展而来，但性能更加强大，采集节点由控制台服务器扩展而来，但是具备串口 / CAN / 网络接口，同时计算能力和存储能力伸缩性很强。采集节点通过两个串行接口连接信号安全数据网交换机的 console 端口，用于交换机的带外管理，同时通过交换机的镜像端口以及自身的 CAN 总线 / 串口接口捕获设备所有的通信数据，采集节点获得的这些数据将通过大容量网管专用网络汇集至中心监测服务器供其存储分析预警。其系统结构如图 3 所示。



图例：—— 以太网连接    - - - 串口连接

图3 综合采集平台系统的架构

Fig.3 Architecture of integrated acquisition platform system

网管专用网络 (DCN) 采用与信号安全数据网物理隔离的单环网结构，部署非常容易，不用单独敷设通道，直接利用安全数据网剩余的独立光纤即可。网管专用网络和信号安全数据网有直接连接，但是完全可以保证信号安全数据网的安全性，因为信号安全数据网与采集节点只有串口和镜像口连接，其中交换机镜像口为单向通信接口，采集节点只能接收网络中数据，不能向信号安全数据网发送任何数据。

在网管网络中所有的采集节点与在线监测服务器实现全网时间同步，采集的原始数据都带有时间戳，经过网管网汇集至中心，可用于数据的记录和高级分析（比如时序分析、端到端丢包率分析），也可应用于运维系统和带外管理等应用。

## 4 结束语

现阶段国内铁路信号安全数据网网络管理系统

多采用带内网络管理,随着国内铁路行业安全管理等级的逐步提升,带内网络管理在一些方面的劣势日益突出。本文分析了带外网管的安全可靠性、硬件配置灵活性等优点。希望通过带内、外系统协同作用,进一步地提高国内铁路信号安全数据网络管理系统的可靠性。

### 参考文献

- [1] 李赛飞, 闫连山, 郭伟, 等. SD-SSDN: 基于SDN架构的高速铁路信号系统安全数据网的安全管控研究[J]. 铁道学报, 2018, 40(12): 81-92.  
Li Saifei, Yan Lianshan, Guo Wei, et al. SD-SSDN: Software-Defined Signal Safety Data Network for High-Speed Railway Systems[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(12): 81-92.
- [2] 王大群. 客运专线信号安全数据网网管系统安全防范及优化措施[J]. 铁路通信信号工程技术, 2013, 10(5): 32-34.  
Wang Daqun. Safety Protection and Improvement Measures of Network Management System of DPL Signal Safety Date Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2013, 10(5): 32-34.
- [3] 赵建章. 简谈信号系统安全数据网综合网管NMS系统的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(3): 46-50.  
Zhao Jianzhang. Application of Integrated Network Management System in Signal Security Data Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(3): 46-50.
- [4] 王帅, 薄天麒. 铁路数据通信网网管系统安全防护的探索[J]. 魅力中国, 2018(8): 334.  
Wang Shuai, Bo Tianqi. Exploration on Security Protection of Network Management System of Railway Data Communication Network[J]. Charming China, 2018(8): 334.
- [5] 王旭煜, 刘天旭. 铁路信号安全数据网安全分析[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(10): 44-46.  
Wang Xuyu, Liu Tianxu. Security Analysis of Railway Signal Safety Data Network[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(10): 44-46.
- [6] 冯飞, 赵红霞. 信号安全数据网故障分析及改进对策[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(10): 71-75.  
Feng Fei, Zhao Hongxia. Fault Analysis and Improvement Countermeasures of Signal Safety Data Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(10): 71-75.
- [7] 付长宁. 信号安全数据网的可靠性研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2010, 7(6): 16-20, 26.  
Fu Changning. Research on Reliability of Signal Safety Data Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2010, 7(6): 16-20, 26.
- [8] 李岩. 综合网管在铁路通信网安全生产中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(S2): 51-56.  
Li Yan. Application of Integrated Network Management in Work Safety of Railway Communication Network[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(S2): 51-56.
- [9] 张卫军. 铁路通信网络安全管理中心技术方案研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(Z2): 88-92.  
Zhang Weijun. Research on Technical Scheme of Railway Communication Network Security Management Center[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(Z2): 88-92.
- [10] 李赛飞, 闫连山, 李洪赭, 等. 铁路通信网络安全分析测试与可信防御研究[J]. 西南交通大学学报, 2018, 53(6): 1130-1136, 1149.  
Li Saifei, Yan Lianshan, Li Hongzhe, et al. Analysis and Testing of Network Security for China Railway Communication Networks and Proposed Architecture Based on Trusted Computing[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2018, 53(6): 1130-1136, 1149.

(下转 42页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.006

# 适用于四线制双机牵引控制电路的 ZD9直流电动转辙机

张 辉

(天津铁路信号有限责任公司, 天津 300399)

**摘要:** 为满足现场单机牵引道岔改造为 ZD9 直流双机牵引, 开展适用于四线制双机牵引控制电路的 ZD9 型直流电动转辙机研究。通过调整齿轮箱和丝杠构成的传动系统传动比来使 ZD9 转辙机转换时间、工作电流满足技术要求。根据四线制双机牵引控制电路使用特点, 对适用于四线制双机牵引控制电路的 ZD9 直流电动转辙机进行测试, 测试结果表明可以满足现场的使用要求, 同时对现场使用维护提出建议。

**关键词:** 四线制; 直流转辙机; 大修改造; 双机牵引; 维护建议

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0031-06

## DZ9 DC Electric Switch Machines Suitable for Four-wire Double-machine Driving Control Circuit

Zhang Hui

(Tianjin Railway Signal Co., Ltd., Tianjin 300399, China)

**Abstract:** To support the on-site switch transformation from single-machine driving to double-machine driving with ZD9 DC switch machines, research work is conducted for ZD9 DC switch machines suitable for four-wire double-machine driving control circuit. The transmission ratio of the transmission system composed of gear box and lead screw is adjusted to allow the ZD9 switch machine to meet the technical requirements for switching time and working current. The ZD9 switch machine suitable for four-wire double-machine driving control circuit is tested in view of the usage characteristics of the four-wire double-machine driving control circuit. The test results indicate that the proposed switch machine can meet the requirements for on-site application. Moreover, maintenance recommendations are made for on-site application.

**Keywords:** four-wire system; DC switch machine; overhaul and renovation; double-machine driving; maintenance recommendation

收稿日期: 2023-10-13; 修回日期: 2023-12-16

作者简介: 张辉 (1980—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号基础设备研发, 邮箱: zhanghui11@crsc.cn.

### 1 概述

为适应铁路提速的发展需要, 既有单机牵引

道岔（如 50 kg/m 钢轨 9<sup>#</sup> 道岔）在大修改造时，更换为 60 kg/m 钢轨 9<sup>#</sup>、12<sup>#</sup> 道岔（如 CZ577、SC330 等），道岔由一个牵引点改为两个牵引点。为减少现场维护工作量，用户希望在道岔单机改两机牵引时采用长寿命、少维护的 ZD9 型转辙机。为满足现场需求，开展适用于四线制双机牵引控制电路的 ZD9 型直流电动转辙机研制工作。

## 2 直流四线制双电动转辙机应用情况

直流双电动转辙机电路包括四线制和六线制。为了解直流四线制双电动转辙机在现场应用情况，笔者对某铁路局新下陆站进行现场调研。新下陆站是武九铁路货运车站，自 20 世纪 90 年代改造为 6502 电气集中联锁系统时，即一直采用四线制直流双电动转辙机控制电路，室外道岔由 ZD6-E/J 型电动转辙机牵引。

现场道岔转辙机使用状态良好，现场维护测试电流时分别测试每台转辙机的电流，室内计算机联锁监测系统显示两台转辙机的总电流。现场测试尖轨第一牵引点的 ZD6-E 型转辙机动作电流约 0.7 A，摩擦电流约 2.2 A；尖轨第二牵引点的 ZD6-J 型转辙机动作电流约 0.9 A，摩擦电流约 2.1 A。室内计算机联锁监测系统显示两台转辙机同时工作的总电流为 1.7 A，打摩擦时的摩擦电流约 4.2 A。

## 3 ZD9型直流电动转辙机适配方案

根据现场调研，采用 ZD6 型电动转辙机配套四线制双电动转辙机控制电路可以满足现场道岔转换要求。当采用现有 ZD9 型直流电动转辙机配套四线制双电动转辙机控制电路时，在额定负载条件下总工作电流 3 A 以上。采用 ZD9 型直流电动转辙机配套直流双电动转辙机控制电路时，两台转辙机的总工作电流应 ≤ 2.0 A，具体方案如下。

### 3.1 设计要求

按照《铁路道岔转换设备安装技术条件》（TB/T 3508-2018）中 7.4 的要求，两点及三点牵引内锁闭单开道岔，尖轨第一牵引点应采用 190 ~ 220 mm

动程的转辙机，转辙机牵引力应为 1 800 ~ 4 500 N；其余牵引点转辙机应满足空动 10 ~ 90 mm，转辙机的牵引力应为 4 500 N 和 6 000 N 两种。

按照《ZD9/ZDJ9 系列电动转辙机》（TB/T 3113-2015）中 4.3 的要求，ZD9 型转辙机动作时间 ≤ 10 s，工作电流 ≤ 2.0 A。

### 3.2 技术参数

根据上述技术要求，ZD9 型直流电动转辙机配套四线制双电动转辙机控制电路时，转辙机参数如表 1 所示。

表1 ZD9-G型直流电动转辙机技术参数  
Tab.1 Technical parameters of ZD9-G DC electrical switch machine

牵引点	型号	动程 / mm	额定转换力 /N	工作电流 /A	动作时间 /s
尖 1	ZD9-220/2.5/(G)	220	2 500	≤ 2.0	≤ 10
尖 2	ZD9-150/4.5/(G)	150	4 500	≤ 2.0	≤ 10

为与现有 ZD9 型直流电动转辙机区分，适用于四线制双电动转辙机控制电路的 ZD9 型直流电动转辙机在对应型号后增加“/（G）”，例如，现有双机牵引道岔常用直流转辙机型号 ZD9-220/2.5、ZD9-150/4.5，适用于四线制双电动转辙机控制电路的 ZD9 型直流电动转辙机在对应型号为 ZD9-220/2.5/（G）、ZD9-150/4.5/（G）。为方便概括所有直流系列转辙机，简称为 ZD9-G 型直流电动转辙机。

### 3.3 技术方案

根据上述确定的技术参数，转辙机的动程、负载力、接口尺寸均与现有 ZD9 型直流电动转辙机保持一致，只需降低两牵引点转辙机的工作电流，从而达到降低双机牵引总工作电流的目的，使其满足 ≤ 2.0 A 的要求。

ZD9 系列电动转辙机传动系统主要由直流电动机、电机减速齿轮箱、摩擦联结器、滚珠丝杠组和推板套构成，如图 1 所示。在额定负载条件下，保持现有直流电动机负载特性不变的前提下，工作电流主要与传动系统的总传动比有关。因此可以通过调整齿轮箱和丝杠构成的传动系统传动比来实现

ZD9 转辙机转换时间、工作电流满足技术要求。

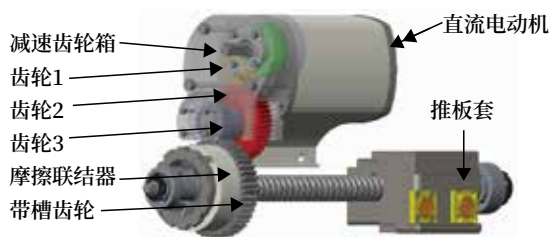


图1 ZD9系列电动转辙机传动系统原理  
Fig.1 Principles of transmission system of ZD9 series DC electrical switch machines

ZD9 系列电动转辙机的传动系统可视为由三级传动构成：其中第一级为齿轮 1（电机齿轮）和齿轮 2 构成的圆柱齿轮减速，第二级为齿轮 3 和带槽齿轮构成的圆柱齿轮减速，第三级为丝杠和丝母构成的滚珠丝杠副。

结合现有 ZD9 系列电动转辙机减速齿轮箱配置及滚珠丝杠组型号，配套四线制双电动转辙机控制电路的 ZD9-G 型直流电动转辙机方案如下。

尖 1、尖 2 转辙机均采用 5 mm 导程丝杠，5 mm 导程丝杠成熟应用于 ZD9-S 型双杆转辙机，已上道应用多年。

尖 1 转辙机采用现有 ZD9-170/4.0 型转辙机的齿轮箱，尖 2 转辙机采用现有 ZDJ9-120/4.5 型转辙机的齿轮箱。

齿轮箱详细配置方案如表 2 所示。

表2 ZD9-G型直流转辙机齿轮箱配置

Tab.2 Configurations of gear box of ZD9-G DC electrical switch machine

转辙机型号	齿轮 1	齿轮 2	齿轮 3	带槽齿轮	总传动比	备注
ZD9-220/2.5/(G)	22	42	18	46	4.88	现有 170 动程转辙机齿轮箱
ZD9-150/4.5/(G)	19	45	18	46	6.05	现有 120 动程转辙机齿轮箱

#### 4 样机测试

根据上述技术方案，开展了样机试制，并按照《铁路道岔转辙机第 2 部分：试验方法》(GB/T 25338.2-2019) 中的测试要求对转辙机进行测试，测试情况如下。

#### 4.1 ZD9-G型直流电动转辙机单机测试

适用于四线制双电动转辙机控制电路的 ZD9-220/2.5/(G)、ZD9-150/4.5/(G) 型电动转辙机，在额定电压 DC 160 V、额定转换力条件下的电气特性均满足技术要求，如表 3 所示。

表3 ZD9-G型直流电动转辙机单机电气特性测试数据  
Tab.3 Test data of single-machine electrical characteristics of ZD9-G DC electrical switch machine

机型	工作电流 /A		动作时间 /s	
	推	拉	推	拉
ZD9-220/2.5/(G)	0.82	0.81	9.2	9.3
ZD9-150/4.5/(G)	1.04	1.06	9.7	9.7

#### 4.2 ZD9-G型直流电动转辙机双机测试

在额定电压 DC 160 V、额定转换力条件下，测试适用于四线制双电动转辙机控制电路的 ZD9-G 型直流电动转辙机电气特性，总工作电流  $\leq 2.0$  A，动作时间  $\leq 10$  s，测试数据如表 4 所示。测试曲线如图 2 所示。

在打摩擦条件下，适用于四线制双电动转辙机控制电路的 ZD9-G 型直流电动转辙机双机同时打摩擦时总摩擦电流  $< 3$  A，测试数据如表 5 所示。

在额定电压 DC 160 V、双机均在空载条件下，对适用于四线制双电动转辙机控制电路的 ZD9-G 型直流电动转辙机电气特性进行测试，测试数据如表 6 所示。测试曲线如图 3 所示。

#### 4.3 模拟道岔负载变化测试

为模拟双机牵引道岔负载变化对转辙机同步性的影响，进行模拟道岔负载变化测试，测试如下。

1) A 机带额定负载，B 机带空载，测试转辙机的电气特性，测试数据如表 7 所示。

2) A 机带空载，B 机带额定负载，测试转辙机的电气特性，测试数据如表 8 所示。

通过模拟道岔负载变化测试数据，ZD9-G 型直流电动转辙机配套四线制双电动转辙机控制电路，模拟负载变化时，同步性良好。

#### 4.4 道岔安装测试

在某道岔转换设备试验基地进行道岔安装测试，

表4 ZD9-G型直流电动转辙机双机转换额定负载测试数据

Tab.4 Test data of double-machine driving under rated load of ZD9-G DC electrical switch machine

序号	测试台电压 /V	A 机工作电流 /A		B 机工作电流 /A		总工作电流 /A		A 机动作时间 /s		B 机动作时间 /s		总动作时间 /s	
		推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉
1	160	0.83	0.82	1.05	1.10	1.85	1.88	9.58	9.74	9.68	9.70	9.68	9.74
2		0.83	0.81	1.05	1.05	1.85	1.88	9.62	9.64	9.69	9.72	9.69	9.72
3		0.82	0.84	1.02	1.05	1.85	1.89	9.58	9.70	9.68	9.74	9.68	9.74

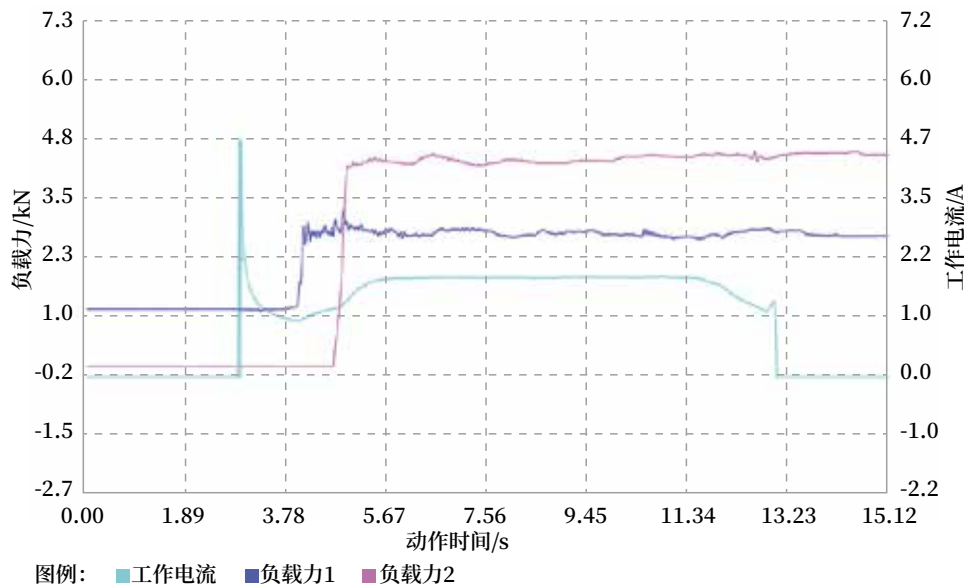


图2 ZD9-G型直流电动转辙机双机均转换额定负载测试曲线

Fig.2 Test curve of double-machine driving under rated load of ZD9-G DC electrical switch machine

表5 ZD9-G型电动转辙机双机打摩擦测试数据

Tab.5 Test data of double-machine friction of ZD9-G DC electrical switch machine

序号	试验台电压 /V	A 机摩擦电流 /A		B 机摩擦电流 /A		总摩擦电流 /A		A 机摩擦力 /kN		B 机摩擦力 /kN	
		推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉
1	160	1.01	1.02	1.4	1.37	2.47	2.4	5.7	5.6	8.3	8.2
2		1.03	1.02	1.41	1.39	2.43	2.42	5.6	5.8	8.3	8.4
3		1.04	1.04	1.41	1.37	2.45	2.43	5.8	5.9	8.2	8.4

表6 ZD9-G型直流电动转辙机双机空载测试数据

Tab.6 Test data of double machines in no-load state of ZD9-G DC electrical switch machine

序号	测试台电压 /V	A 机工作电流 /A		B 机工作电流 /A		总电流 /A		A 机动作时间 /s		B 机动作时间 /s		总时间 /s	
		推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉
1	160	0.42	0.39	0.30	0.30	0.71	0.72	6.26	6.44	6.30	6.38	6.30	6.44
2		0.41	0.40	0.30	0.31	0.72	0.72	6.18	6.26	6.24	6.34	6.24	6.34
3		0.43	0.41	0.28	0.30	0.72	0.71	6.24	6.34	6.26	6.30	6.26	6.34

测试数据如表 9 所示。

#### 4.5 测试结论

通过上述测试，得出适用于四线制双电动转辙机控制电路的 ZD9-G 型直流电动转辙机具有以下性

能指标。

1) 在额定负载条件下单机测试时，单台转辙机工作电流  $\leq 2.0$  A，动作时间  $\leq 10$  s，均符合《ZD9/ZDJ9 系列电动转辙机》(TB/T 3113-2015) 的要求。

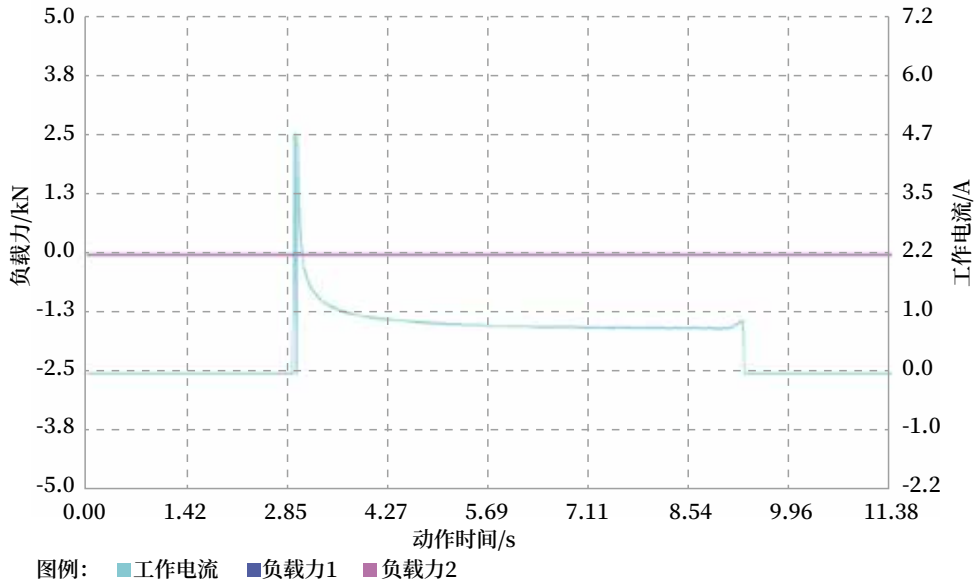


图3 ZD9-G型电动转辙机双机空载测试曲线  
Fig.3 Test curve of double machines in no-load state of ZD9-G electrical switch machine

表7 A机带额定负载B机带空载测试数据

Tab.7 Test data of machine A in rated-load state and machine B in no-load state

序号	试验台电压/V	A机工作电流/A		B机工作电流/A		总电流/A		A机动作时间/s		B机动作时间/s		总时间/s	
		推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉
1	160	1.08	1.05	0.20	0.20	1.28	1.27	8.20	8.18	8.18	8.12	8.20	8.18
2		1.07	1.06	0.21	0.20	1.27	1.27	8.20	8.14	8.20	8.10	8.20	8.14
3		1.08	1.06	0.20	0.21	1.28	1.26	8.18	8.16	8.20	8.18	8.20	8.18

表8 A机带空载B机带额定负载测试数据

Tab.8 Test data of machine A in no-load state and machine B in rated-load state

序号	测试台电压/V	A机工作电流/A		B机工作电流/A		总电流/A		A机动作时间/s		B机动作时间/s		总时间/s	
		推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉	推	拉
1	160	0.48	0.50	1.05	1.10	1.85	1.88	9.58	9.74	9.68	9.70	9.68	9.74
2		0.46	0.52	1.05	1.05	1.85	1.88	9.62	9.64	9.68	9.72	9.68	9.72
3		0.46	0.52	1.02	1.05	1.85	1.89	9.58	9.70	9.68	9.74	9.68	9.74

表9 ZD9-G型电动转辙厂内道岔安装测试数据

Tab.9 Test data of ZD9-G DC electrical switch machine installed at in-factory switches

序号	测试项目	技术指标	测试数据		
			定位	反位	
1	道岔开程测试/mm	尖1	160 <sup>+5</sup> <sub>-3</sub>	162	163
		尖2	75 <sup>+5</sup> <sub>-3</sub>	76	75
2	动作电流/A	≤ 2.0 A	1.64	1.68	
3	转换时间/s	≤ 10 s	5.83	5.98	
4	道岔转换同步性测试	道岔转换宏观同步, 转换过程平稳	√	√	

2) 在额定负载条件下双机测试时, 双机总电流 ≤ 2.0 A。

3) 双机均空载测试时, 总工作电流约为 0.7 A, 可以满足道岔小负载情况下道岔控制电路正常转换的要求。

4) 双机牵引道岔时, 道岔转换过程平稳, 宏观同步。

### 5 日常维护建议

根据现场调研情况, 四线制双电动转辙机控制电路道岔日常使用和维护与现有 ZD9 型直流电动转

辙机配套六线制双电动转辙机控制电路道岔基本一致，日常维护项目和测试方法如下。

### 5.1 工作电流测试

工作电流依据室内计算机联锁监测，测试的是线路总电流，也可以在现场分别测试各个牵引点转辙机的工作电流。采用指针电流表，断开安全开关，将红黑表笔串联在转辙机安全开关（K01、K02）中，测试方法与现有 ZD9 型直流电动转辙机配套六线制双电动转辙机控制电路道岔完全一致。

### 5.2 摩擦力测试和调整

现场摩擦力调整范围：A 机（3.8～6）kN，B 机（6～8.5）kN，与现有 ZD9 型直流电动转辙一致，摩擦力调整时两牵引点转辙机可单独调整，互不影响。

现场测试转辙机摩擦电流时两个牵引点的转辙机分别测试，采用指针电流表，断开安全开关，将红黑表笔串联在转辙机安全开关（K01、K02）中，测试方法与六线制双电动转辙机控制电路道岔一致。与六线制双电动转辙机控制电路道岔不同的是，测试任一牵引点摩擦电流时，另一牵引点转辙机打摩擦，不影响其他牵引点的测试结果。

### 5.3 4/6 mm障碍物测试

4/6 mm 障碍物测试与六线制双电动转辙机控制电路道岔方法和要求相同，各牵引点分别测试和调整。

## 6 总结

为满足现场需求，开展适用于四线制双机牵引控制电路的 ZD9-G 型直流电动转辙机的研究。采用选配齿轮箱和丝杠构成的传动系统速比的技术方案，实现动作时间、工作电流满足标准要求，与原有 ZD9 转辙机安装接口一致，配套安装装置通用。进行样机测试，在额定负载条件下单机测试时，单台转辙机动作电流 $\leq 2.0$  A，动作时间 $\leq 10$  s，均符合《ZD9/ZDJ9 系列电动转辙机》的要求。双机在额定负载条件下测试时，双机总电流 $\leq 2.0$  A，双机在空载测试时，总工作电流约为 0.7 A，可以满

足四线制双电动转辙机控制电路要求。双机牵引道岔时，道岔转换过程平稳，宏观同步。进行了高低温、寿命、振动和交变湿热等型式试验，均满足标准要求。2023 年 7 月 21 日，适用于四线制直流双电动转辙机控制电路的 ZD9 电动转辙机通过了技术评审。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. ZD9/ZDJ9 系列电动转辙机: TB/T 3113-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路道岔转换设备安装技术条件: TB/T 3508-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [3] 樊西宁. 道岔控制电路分布电容探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(1): 92-95.  
Fan Xining. Discussion on Distributed Capacitance in Switch Control Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 92-95.
- [4] 李卫锋. 集中供电 ZD6-E/J/J 型转辙机控制距离的分析与计算[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(8): 11-14, 23.  
Li Weifeng. Analysis and Calculation of Control Distance of Centralized Power Supply ZD6-E/J/J Switch Machine[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 11-14, 23.
- [5] 王宏亮, 黄凯腾, 王礼俊, 等. 单相交流转辙机的电缆距离计算[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(6): 96-99.  
Wang Hongliang, Kui Kaiteng, Wang Lijun, et al. Calculation of Cable Distance for Single-Phase AC Switch Mechanism[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 96-99.
- [6] 李亚兰. 一站两场场间渡线道岔场联电路设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(3): 23-26.  
Li Yalan. Design of Liaison Circuit for Crossover Turnout between Yards of Station with Two Yards[J].

(下转 46 页)



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.007

# 一种转辙机运行参数综合监测系统

黄晨涛

(西安铁路信号有限责任公司, 西安 710100)

**摘要:** 为提高维修水平, 提升管理效能, 需要对转辙机运行参数进行监测。阐述一种转辙机运行参数综合监测系统, 其可以监测转辙机内包括推板套、动作杆、表示杆、电机、动接点等多个关键零部件的工作情况, 并以此为依据对转辙机内由运动零部件导致的故障进行预警、报警和故障位置判断, 使现场维护人员能在故障发生前及时对设备进行维护维修, 以最终实现“状态修”。

**关键词:** 转辙机监测; 运动参数; 故障预警

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0037-06

## Comprehensive Monitoring System for Operating Parameters of Switch Machines

Huang Chentao

(Xi'an Railway Signal Co., Ltd., Xi'an 710100, China)

**Abstract:** To improve the maintenance level and management efficiency, it is necessary to monitor the operating parameters of switch machines. This paper describes a comprehensive monitoring system for the operating parameters of switch machines. The proposed monitoring system can monitor the working conditions of several key components in the switch machine, including the push plate sleeve, throw rod, indication rod, motor and movable contact. On this basis, it can provide early warning, alarming and fault location judgment for faults caused by moving components in the switch machine. Thus, it enables the on-site maintenance personnel to maintain and repair the equipment in time before the failure occurs, so as to achieve "preventative maintenance".

**Keywords:** switch machine monitoring; motion parameter; fault early warning

随着国内铁路运输的发展, 尤其高速铁路的快速发展, 道岔转换设备发展也取得了长足的进步,

上线运行的设备和系统越来越多, 运输业务对道岔转换设备的依赖性也越来越高, 由于所处位置的特殊性及所处环境的恶劣性, 道岔转换设备的故障率在铁路运输设备总故障中所占比例明显高于其他类别设备或系统。尤其电动转辙机作为铁路运输控制系统最底层的执行设备, 其故障直接影响铁路运输的效率及安全。

收稿日期: 2022-10-31; 修回日期: 2023-10-24

发明专利: 2018 年国家发明专利 (ZL201821576842.1)

基金项目: 陕西省 2022 年重点研发计划项目 (2022ZDLGY04-07)

作者简介: 黄晨涛 (1987-) 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号智能监测, 邮箱: 294961901@qq.com.

由于转辙机的特殊性，目前其工作参数及运行状态难以及时掌握，导致其维修管理目前仍以“天窗修”为主，难以推进维修模式的升级改进。只有掌握了设备的工作状态，才可以据此由有经验的人员或通过计算机辅助，做出适当的维修计划，并对维修部位做出明确判断，以实现防患于未然，从而降低设备的故障率。

目前国内市场上主流的对转辙机进行在线长时间监测的设备是缺口监测设备及功率监测，主要对转辙机的表示缺口进行监测并进行预警、报警，同时附加温、湿度，振动加速度等环境监测量。但是其监测量单一，仅对表示缺口监测，缺乏对转辙机运行情况的综合监测设备，现场无法了解转辙机的真实运行情况，对缺口以外的其他运动件导致的故障无法探知。

本文介绍一种转辙机参数综合监测系统的监测方法，在ZDJ9转辙机上实现了所有关键零部件的监测，从而给维护人员提供更加详尽的信息，用于分析判断故障，规划安排维护工作。

## 1 转辙机参数综合监测系统原理

转辙机参数综合监测系统（简称监测系统）采用高精度的磁阻感应传感器、电力载波传输技术以及编码器技术，监测项点不仅包含传统缺口监测的转辙机表示缺口、转辙机振动、温/湿度，同时囊括转辙机斥离缺口、动作杆运动参数（位置或位移、速度）、推板套运动参数、表示杆运动参数、电机运动参数（圈数或角度、角速度）、动接点转动角度或者角度位置和转辙机动作杆转换力。通过这些关键项点的监测并利用计算机强大的处理能力，对各项数据进行判断分析，对所涉及的各项功能进行判断，依据预先设定的阈值进行预警报警，及时发现转辙机状态参数变化趋势，指导维护人员提前排除故障隐患，从而提高维护水平和工作效率。结合转辙机3D模型数据驱动的方法，用户可以足不出户地实时观测转辙机内部运动过程和状态。

## 2 监测系统的组成

转辙机参数综合监测系统由采集处理分机、上位机数据处理平台、高速载波网络和多个位移、转角传感器总共4部分组成，系统框如图1所示。

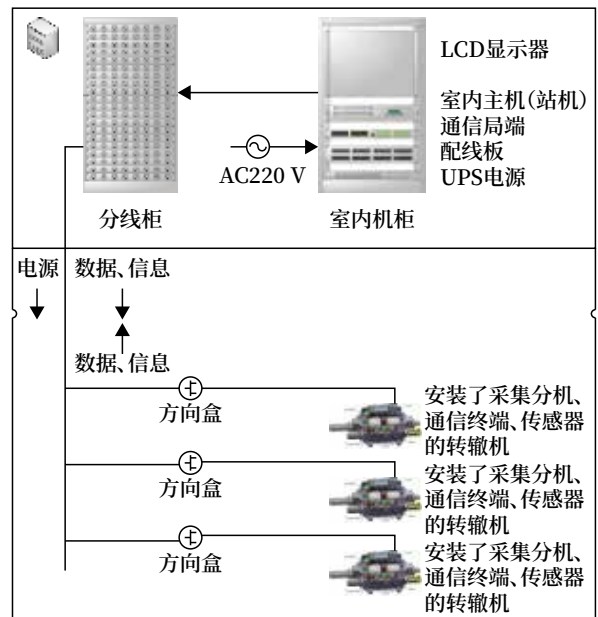


图1 系统框

Fig.1 System block diagram

### 2.1 传感器

线性位移和转角传感器可以采集转辙机主要动作部件的运动信息并传递至采集分机进行分析和解算。位移传感器种类繁多，常用的有应变式位移传感器、磁致伸缩位移传感器、光栅位移传感器和激光位移传感器等。

由于转辙机内空间狭小且工作环境恶劣，监测系统对于线性位移的监测方案使用磁阻芯片检测磁场变化的非接触方法。这种检测方法具有体积小、非接触、耐油污和抗干扰的优点，非常契合转辙机内的工作环境。磁阻芯片监测线性位移的原理为：在被检测零件上安装磁栅尺，在距离磁栅尺一定范围内安装传感器，传感器输出模拟量电压信号，经主控板采样处理后计算位移数据。监测系统使用的线性位移传感器具有自主知识产权技术，具体见专利《一种线性往复运动零件位置的检测装置》

(ZL201821576842.1), 线性位移传感器用于采集转辙机推板套、动作杆和表示杆这类直线运动的运动件动作参数。位移监测示意如图 2 所示。

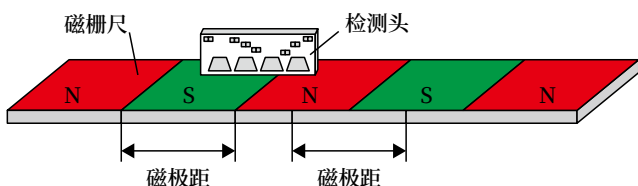
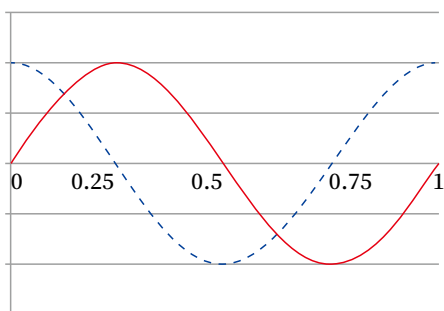


图2 位移检测示意  
Fig.2 Schematic of displacement detection

线性位移传感器的测量原理如下。

当霍尔元件在磁栅表面做线性运动或者旋转运动时，会输出相位差为  $90^\circ$  的正余弦电压信号，该方法通过对霍尔元件输出的正余弦电压信号进行采集、处理和分析得到运动物体在一个磁栅周期内的绝对位置。

霍尔元件输出的正余弦电压信号如图 3 所示，其相位差为  $90^\circ$ ，正余弦的零点电压为  $2.5\text{ V}$ ，峰值为  $3.6\text{ V}$ ，霍尔元件经过每一个磁栅周期或者磁极周期都会对应输出一个周期的正弦波和余弦波。通过采集正余弦信号的值可以得到传感器在一个磁栅周期内的正弦值  $\sin\theta$ 、余弦值  $\cos\theta$  以及过零点值 MID。由三角转换公式可知  $\tan\theta = \sin\theta/\cos\theta$ ，通过将  $\tan 0^\circ \sim \tan 45^\circ$  的值平均分为 256 份得到  $0^\circ$  到  $45^\circ$  内相位角  $\theta$  与正切值  $\tan\theta$  的对应关系数组，因此只要将  $\tan\theta$  值转化  $\tan 0^\circ \sim \tan 45^\circ$  范围内，就可以通过  $\tan$  关系数组查到对应的角度值。



图例：--- V1 — V2

图3 正余弦电压信号  
Fig.3 Sine and cosine voltage signals

通过三角变换公式，可以将  $0^\circ \sim 45^\circ$  的角度值

扩展到整个磁栅周期  $0^\circ \sim 360^\circ$ ，由图 3 可知，磁栅周期的位移值与正余弦波的相位角成正比对应关系，设磁栅一个周期的总长度或者角度为 MAXS，当前相位角为  $\theta$ ，则当前位移值或者角度值为  $\text{MAXS} \times (\theta/360)$ ，由此可以得到传感器在当前磁栅周期内的位移值或者角度值，然后再加上传感器已走过的整数周期的距离，即可得到传感器的实际位移。

转角传感器与线性位移类似，在被监测零件轴心安装磁柱，在磁柱与监测芯片一定距离内安装角位移检测头，安装结构符合要求，当检测头和磁柱相对转动时，检测头输出相对转角分别为正弦和余弦的电压信号，经处理计算，得出磁柱和检测头的相对转角。转角的检测同样应用专利《一种线性往复运动零件位置的检测装置》(ZL201821576842.1) 技术。角位移传感器用于采集转辙机电机、动接点这类转动件的动作参数。

## 2.2 高速宽带电力载波

高速宽带电力载波 (HPLC) 利用电力线为传输媒介，将信息调制到  $1 \sim 30\text{ MHz}$  频带范围进行高速通信的一种电力线载波通信方式。与传统的低速窄带电力线载波技术相比，HPLC 技术具有带宽大、传输速率高、抗干扰能力强等特点，可以满足低压电力线载波通信更高的需求。现场只需要两根  $220\text{ V}$  电力线，即可实现既供电又通信，满足部分铁路现场备用线少的情况。

## 2.3 采集分机

采集分机主要完成转辙机表示缺口、斥离缺口、动作杆运动参数 (位置或位移、速度)、推板套运动参数、表示杆运动参数、电机运动参数 (圈数或角度、角速度)、动接点转动角度或者角度位置、转辙机动作杆转换力、转辙机振动、温湿度的数据采集、数据处理、预报警判断，然后将这些信息发送到载波终端。同时采集分机上安装蓝牙通信模块，现场维护人员可以通过手持机或者微信小程序与目标采集分机配对连接，以获得采集分机的状态和数据。

## 2.4 上位机数据处理平台

上位机数据处理平台的硬件为工控机，其与载波

局端均安装于机柜内，以网线连接，载波局端与各转辙机内载波终端进行通信，实现上位机与各个采集分机之间的数据通信。系统管理软件运行在上位机数据处理平台上，可以对采集的数据进行分类存储、数据显示、预报判断和数据处理，并具备历史数据的分时分类读取功能，可以以图表、列表的方式重现转辙

机动作过程中各个参数的变化情况，甚至可以以数据驱动 3D 模型的方式还原转辙机动作细节。

### 3 主要功能

监测系统会记录转辙机工作过程中的各项参数和状态信息，其主要监测对象如图 4 所示。

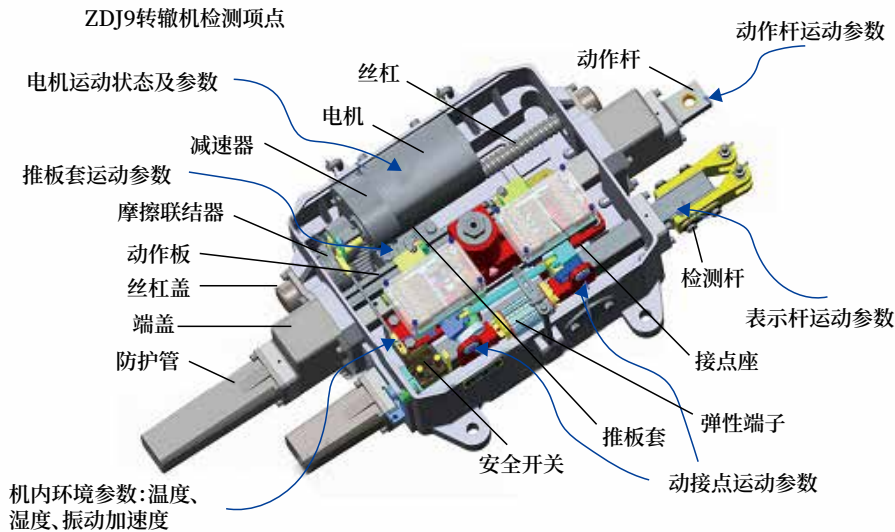


图4 系统监测对象与结构组成  
Fig.4 Monitored objects and their structure

系统将采集到的监测对象以图表、曲线、数据列表、数据驱动 3D 模型的方式供用户进行查看分析，系统主要功能如下。

#### 3.1 转辙机缺口监测

由于系统对表示杆位移的监测为全量程监测，所以不仅能监测到密贴缺口，也可以监测到斥离缺口。以表示杆的零位设置为密贴缺口的中间位置，当表示杆位移在密贴缺口量程内变化时，系统会自动换算出密贴缺口数值，同时以动接点角度为辅助，可判断检查柱是否已落入缺口。同理，对斥离缺口数值也可以进行计算，实现监测斥离缺口的目的。

#### 3.2 转辙机推板套、动作杆监测

系统可以监测转辙机推板套和动作杆的位置状态，用于判断锁闭情况并对锁闭深度不足进行预警报警，从而为现场人员维护设备提供指导。

#### 3.3 转辙机动接点的监测

系统在转辙机两个动接点转动轴上均装有转角

传感器，可以测量动接点的转动角度和角速度，实现对接点打入深度及接点转换过程转角的持续检测。若发生明显变化，可以进行预警报警，提醒维护人员进行检查维护。同时通过接点转换过程角度变化值，检测检查柱（锁闭柱）是否落入表示杆缺口，结合缺口间隙数值，可以进行比较准确和深入的无表示故障模式分析，如卡缺口故障、接点转换故障等。

#### 3.4 转辙机振动监测

系统配有三轴加速度传感器，当邻线列车通过时，振动达到一定阈值会使传感器判断为过车状态，由此可以排除因过车振动而导致的缺口误报警，提高预警报警正确率。

#### 3.5 转辙机温/湿度监测

温湿度传感器完成室外转辙机箱内温 / 湿度的测量，通过长期监测积累数据，掌握温 / 湿度变化与缺口变化相互关系或规律，为转辙机预防修和状

态修提供支持。

### 3.6 现场标定及查询

系统配置手持机，用于现场人员查看采集模块监测数据和状态。采集分机上安装有蓝牙通信模块，现场维护人员可以通过手持机或者微信小程序在目标转辙机附近配对查看转辙机采集分机的状态、数据、预报警信息。也可以设置此采集分机的参数或者对系统零位基准重新标定，尤其是现场调整转辙机表示缺口时，可以用手持机实时查看缺口数值，方便维护人员调整过程，缩短维护时间。

## 4 系统特点

### 4.1 监测范围广

系统的监测项点不仅包括传统缺口监测的参数，还含有转辙机内多个重要运动件的动作参数。可以对除卡缺口之外的多个故障进行预警报警，对转辙机的锁闭功能、转换功能、接点转换功能等所涉及的故障进行预警报警，进一步为现场维护提供数据支持。同时大量的数据积累也为未来基于数据挖掘和大数据分析的专家预测系统打下基础。

### 4.2 直观的数据驱动3D模型显示方式

系统为用户提供了虚拟的转辙机3D模型。模型中的零件动作均由实际采集到的运动数据作为驱动，通过模型像素与实际转辙机零件测量量程的比例关系，可以使转辙机3D模型的运行过程符合实际转辙机的运行过程。现场人员可以通过类似于直播的方式，查看选定转辙机的运动过程，同时配合历史数据，甚至可以具有动作回放功能，相对于图表、曲线的查看方式，这种数据驱动3D模型显示方式更加直观、更加利于理解，如图5所示。

### 4.3 合理的历史数据查看功能

监测系统自动记录转辙机工作过程中的数据图表、曲线，并按照动作、过车类型划分数据，使用户更方便地分析查找数据，有利于维护人员追踪分析。

### 4.4 系统适应性强。

监测系统利用站场备用信号电缆传输数据，从电缆方向盒到转辙机电缆盒采用一对芯线，即可实



图5 数据驱动3D模型  
Fig.5 Data-driven 3D model

现信息传输和设备供电，采用不同安装装置，可实现对不同型号转辙机缺口的监测。系统在采集分机采用防浪涌元器件和抗干扰措施，具有良好的防雷和抗干扰性能。

### 4.5 方便现场维护

系统可为维护人员提供用于现场维护的手持机设备，通过手持机，维护人员可以在转辙机附近通过无线连接，获得转辙机的实时参数信息，如缺口值、各个杆件的位置、位移等。这为维护人员调整缺口大小、排除故障过程提供了详实的数据依据，可以加快维护进度。

## 5 结束语

转辙机参数综合监测系统采用了工作可靠的磁感应传感器，实现对转辙机关键运动零件的运行参数监测，能对运动零件异常导致的故障进行预警、报警或在故障后帮助维护人员及时确定故障位置及故障原因，防止故障扩大。也能为实现“状态修”积累数据，探索经验，为实施故障诊断与健康管理打下基础，为设备的合理维修，减少无效维护，降低设备故障率提供有力保证。转辙机综合监测设备可以改善转辙机的可靠性，提升转辙机的维护模式，提高维护效率，具有明显的应用价值和社会意义。

### 参考文献

- [1] 于秦龙. 上海地铁智能运维平台的道岔设备管理[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(3): 57-62.

- Yu Qinlong. Turnout Equipment Management Based on Intelligent Operation and Maintenance Platform of Shanghai Metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(3): 57-62.
- [2] 许辉. 铁路综合视频监控网络安全建设的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (5): 39-43.
- Xu Hui. Research on Cyber-security of Railway Integrated Video Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 39-43.
- [3] 史龙, 周荣, 王智新, 等. 道岔转换设备故障诊断与预测系统研究与设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (7): 5-8, 13.
- Shi Long, Zhou Rong, Wang Zhixin, et al. Research and Design of Fault Diagnosis and Prediction System for Switch Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(7): 5-8, 13.
- [4] 中国铁路总公司. 关于印发《道岔缺口监测系统技术规范》的通知: 铁总运 [2015] 315 号 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2015.
- [5] 中华人民共和国铁道部. 关于印发《铁路信号集中监测系统技术条件》的通知: 运基信号 [2010] 709 号 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2010.
- [6] 西安铁路信号有限责任公司. 一种线性往复运动零件位置的检测装置: CN208736334U [P]. 2019-04-12.
- [7] 胡卫岩, 杨晓飞. 信号设备大数据应用分析与评价 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 (5): 37-40.
- Hu Weiyan, Yang Xiaofei. Analysis and Evaluate of Signal Equipment Large Data Platform[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(5): 37-40.
- [8] 鲍才让太, 莫重明, 翟文革, 等. 转辙机综合监测的需求及方法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (4): 5-10.
- Bao Cairangtai, Mo Chongming, Zhai Wenge, et al. Research on Demand and Method of Comprehensive Monitoring of Switch Machine[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 5-10.
- [9] 刘克强. 高速客运专线道岔监测系统研究及应用 [J]. 中国铁路, 2009 (4): 38-41.
- Liu Keqiang. Research and Application of Turnout Monitoring System for High-Speed Passenger Dedicated Line[J]. Chinese Railways, 2009(4): 38-41.
- [10] 杨济琛, 杨云, 张玉东, 等. 基于 ZigBee 与 GPRS 的无线通信网络在铁路上的新应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12 (2): 40-42.
- Yang Jichen, Yang Yun, Zhang Yudong, et al. Application of Zig Bee & GPRS-Based Wireless Communication Network in Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2015, 12(2): 40-42.
- \*\*\*\*\*
- (上接 30页)
- [11] 王颖, 赵京京. 铁路信号安全数据网网络安全整体解决方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 72-76.
- Wang Ying, Zhao Jingjing. Research on Network Security System Solution of Railway Signaling Safety Data Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 72-76.
- [12] 王华伟. 基于 K8S 平台的铁路信息系统工程化网络设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 69-75.
- Wang Huawei. Engineering Network Design of Railway Information System Based on K8S Platform[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 69-75.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.008

# RTP流音频回放技术在 400 MHz数字列调系统中的应用

赵文杰

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 介绍 DRTD 系统中无线列调语音业务的音频回放技术。DRTD 系统有线通信基于 SIP 协议和 RTP 流进行音频传输, 通过混音、加窗语音检测、缓存、格式转换、信令控制等处理流程, 将音频流在无线空口上进行传输, 并最终在移动终端上实现语音波形回放, 从而桥接无线列调中的有线通信和无线通信, 为 DRTD 系统的核心业务提供支撑。

**关键词:** 400 MHz 数字列调系统; 实时传输协议; 音频回放; 语音活动性检测

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0043-04

## Application of RTP Stream Audio Playback Technology in 400 MHz DRTD System

Zhao Wenjie

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

**Abstract:** This paper introduces the audio playback technology for wireless voice services in the DRTD system. The wired communication of the DRTD system is based on the SIP protocol and RTP stream for audio transmission. The audio stream is transmitted via the wireless air interface through such processing processes as mixing, windowing based VAD, caching, format conversion, and signaling control, and finally voice waveform playback is achieved at the mobile terminal, thus bridging the wired communication and wireless communication in the train dispatching communication and providing support for the core services of the DRTD system.

**Keywords:** 400 MHz Digital Radio Communication System for Train Dispatching (DRTD); Real-time Transport Protocol (RTP); audio playback; Voice Activity Detection (VAD)

### 1 概述

无线列调系统是用于指挥列车运行的专用无线

通信系统, 实现列车与车站值班室、调度中心或其他列车之间通信。近年提出的列车数字无线调度通信系统 (Digital Radio Communication System for Train Dispatching, DRTD) 基于数字通信技术实现铁路专用通信, 将语音调度与数据调度业务融合, 可提供“大三角”“小三角”的个呼、组

收稿日期: 2023-10-07; 修回日期: 2023-11-13

作者简介: 赵文杰 (1974—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信信号, 邮箱: zhaowenjie@crscd.com.cn。

呼等功能，并支持加密通信等。DRTD 系统工作于 400 MHz 频段，主要包含数字列调接口服务器、调度操作台、固定电台控制设备、车站操作台、固定电台、光纤直放站、天线、机车综合无线通信设备 (CIR)、列调对讲设备、网络管理设备以及其他相关设备。

与既有 450 M 模拟列调系统相比，本系统采用了数字技术。在有线侧，系统采用符合《会话初始协议 (Session Initiation Protocol, SIP) 技术要求第 1 部分：基本的会话初始协议》(YD/T 1522.1) 的基于 IP 的通话体制，并依据该协议采用实时传输协议 (Real-time Transport Protocol, RTP) 报文承载音频流。在无线空口侧，系统采用符合《专用数字对讲 (Private Digital Mobile Radio, PDR) 设备技术要求和测试方法》(GB/T 32659-2016) 中 6.2 体制 A。由固定电台负责将有线、无线通信桥接起来，并新增了全呼、个呼、邻站组呼、优先级、强拆等丰富的语音功能。

固定电台为了实现有线、无线通信桥接，需针对有线侧 SIP 协议和 RTP 音频流进行处理和传输。本文将研究如何通过一系列处理流程和技术，实现 RTP 音频流转发至无线空口，最终在移动终端上进行回放。反之，也通过类似处理把来自移动终端的音频流在有线侧进行回放。上述处理可为 DRTD 系统的核心业务即列调语音通话提供支撑。

## 2 语音业务软件架构及基本流程

系统语音业务软件逻辑架构如图 1 所示，主要包含固定电台控制设备软件、固定电台软件、调度/车站操作台软件等。设备软件间相互配合，用于实现系统所需的语音通话处理功能等。

其中，SIP 服务器可包含注册服务、位置管理服务、代理服务、背靠背用户代理 (B2BUA)、重定向服务模块等，用于实现基于 SIP 协议的有线侧通话建立流程、RTP 音频流接收和转发。

媒体服务支持多方会话中 RTP 音频的混音和分发，并支持多个通话同时进行，互不干扰。

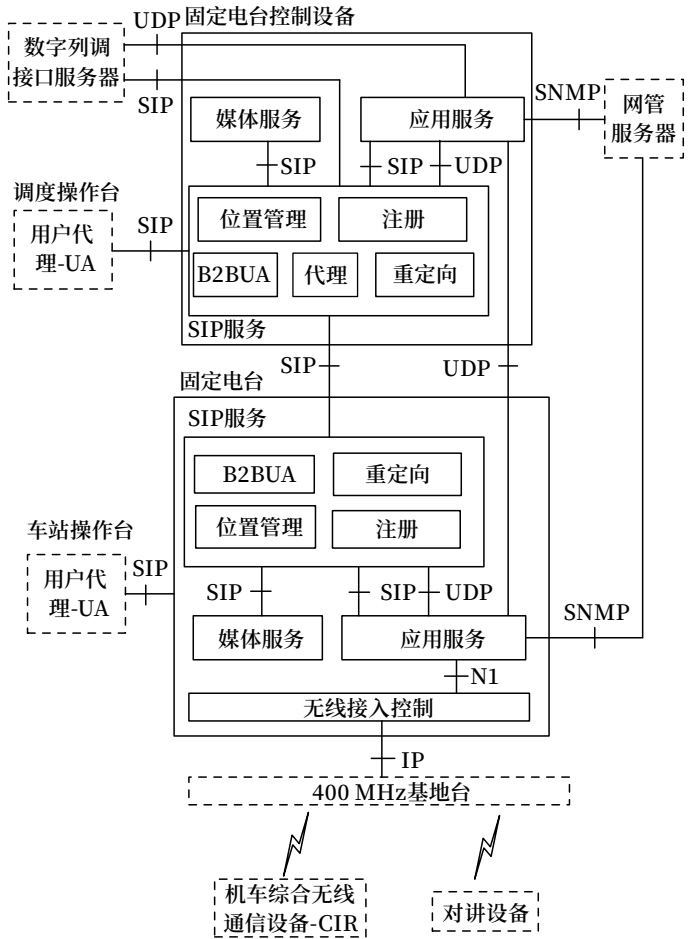


图1 语音业务软件逻辑架构  
Fig.1 Logical architecture of voice service software

应用服务器包含了针对 DRTD 系统专有协议及专有功能开发的处理逻辑，包含语音呼叫类型的识别和会话管理、将已注册无线终端映射为内部用户代理 (UA)、对无线信道机即 400 MHz 基地台的控制、语音的格式转换、接口服务器及网管服务器的接入等。

以调度员个呼列车司机为例，系统语音业务软件对信令及音频传输的流程如下：

- 1) 调度员操作调度操作台个呼某列车 CIR，其 UA 模块向固定电台控制设备的 SIP 服务模块发送 SIP 呼叫信令；
- 2) 固定电台控制设备响应后，依据位置管理查询目标列车归属车站的位置信息，向目标归属车站发送 SIP 呼叫信令；
- 3) 该车站的固定电台响应后，向应用服务模



块中映射无线侧移动终端的 UA 发送 SIP 呼叫信令，该 UA 响应后，通过无线接入控制模块控制 400 MHz 基地台，向 CIR 发送无线呼叫信令；

4) 有线、无线呼叫信令流程完成后，参与通话的各方音频流可以在系统中相互传递。例如调度员使用麦克风说话时，向固定电台控制设备媒体服务模块发送 RTP 音频流，该音频流被传输至固定电台的媒体服务，经应用服务的处理，再从空口转发至 CIR，CIR 将其转化后在扬声器上回放。反之亦然。

### 3 RTP音频流处理的具体流程

如第 2 节所介绍，调度员或车站值班员说话时，其语音将被调度 / 车站操作台打包在 RTP 格式的音频流中发出。该 RTP 流主要经过如图 2 所示的处理流程后，实现语音波形在移动终端上回放。

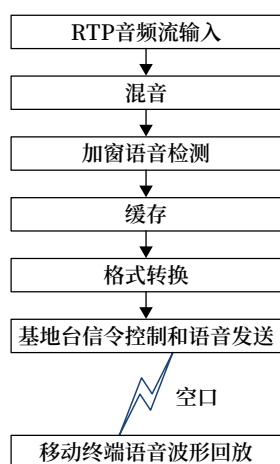


图2 RTP流音频处理及回放过程

Fig.2 Processing and playback processes of RTP stream audio

流程图中各步骤的实现方式介绍如下。

1) RTP 音频流输入：系统基于 SIP 协议建立通话时，各终端可通过携带多媒体会话描述协议 (SDP) 字段内容进行协商，确定 RTP 音频流格式。

2) 混音：由于 SIP 支持全双工通信，多方会话中存在多方同时说话的情况，各设备的媒体服务模块负责将多方 RTP 流解析还原为语音波形并做混音处理。经混音融合后的语音重新组装为新的 RTP 流，同时发送给通话的所有参与方。

3) 加窗语音检测：固定电台的应用服务模块需

要借助语音检测实现有线侧全双工通信与无线侧半双工通信的桥接，即通过检测确认当前有线侧存在有效语音时，再触发无线侧空口发送语音，以避免持续占用空口资源，导致移动端无法发送上行语音。语音检测常见方式包括波形能量 / 音量检测、频域分析 / 过零率检测、基于人声模型或人工智能模型检测等，或结合使用多种方式。加窗则是调节语音检测的时间灵敏度参数，以便匹配不同场景需求。

4) 缓存：应用服务模块对 RTP 音频流做一定缓存，当加窗检测到当前存在语音时，加窗的前面几帧语音也是有效语音，从缓存中取出并发送出去。缓存不宜过多，避免语音延迟过大。

5) 格式转换：从有线侧到无线侧，语音格式需从 SIP/RTP 协议转为 400 MHz 基地台的语音接口协议，包括语音编码格式、采样率、帧长度等。

6) 基地台信令控制和语音发送：无线接入控制模块可触发对 400 MHz 基地台的信令控制，启动语音通话，并将音频流发送给它，以便依据 PDR 协议将音频流从空口发送出去。

7) 移动终端语音波形回放：CIR 或对讲设备从空口接收到音频流后，依据 PDR 协议解析并还原为语音波形，在扬声器上进行回放。

上述流程体现了 RTP 流音频回放技术在 DRTD 系统中的应用方式。当用户在移动终端侧说话时，则是将语音反向处理并形成 RTP 音频流的过程，最终在调度 / 车站操作台上进行回放。

### 4 与既有450M列调系统对比

由于采用了 SIP 通信和 RTP 音频流处理技术，相比于既有 450M 列调系统基于电路交换的音频通信技术，DRTD 系统具有如下优势。

系统容量大：RTP 音频流由以太网中的 IP 分组报文承载，对网络带宽为共享方式占用，传统列调系统有线侧采用电路交换，每个通话独占专门分配的带宽资源。因此，RTP 方式对带宽的利用率更高。

系统可塑性强：RTP 音频流处理即为 IP 报文处理，便于与计算机处理技术结合，实现包括语音

加密、通话优先级管理、抗干扰编码等新功能特性。

系统兼容性好：目前铁路越来越多通信系统向 IP 化、网络化发展，通过设置媒体网关，DRTD 系统的 RTP 音频流可以较方便地与铁路未来 IMS 多媒体调度通信系统、5G-R MCx 调度通信系统等进行互联互通。

系统可靠性高：DRTD 系统可针对 RTP 音频流提供冗余保障措施。设备不同板卡上设置多个媒体服务模块，通过控制 RTP 流向，既可对音频流进行负载分担，也可通过自动倒切应对单板卡的故障。

### 5 结论

本文介绍了 DRTD 系统中语音业务软件架构及基本流程，以及 RTP 音频流处理和回放的具体流程，分析了其具体实现方式。通过 RTP 流的音频回放技术，固定电台桥接了无线列调中的有线通信和无线通信，为 DRTD 系统的核心通话业务及其在无线列调场景中的应用提供了有效支撑。相比于传统 450 MHz 列调系统，RTP 音频流处理技术可为 DRTD 系统提供容量大、可塑性强、兼容性好和可靠性高等优势。

#### 参考文献

[1] 燕翔, 师进, 吴昊. 基于 DRTD 系统支持普速铁路 CTC 区域集中控制升级改造方案 [J]. 电脑采

购, 2020 (17): 157-159.

[2] 洪峰, 刘畅. 基于 4G 专线 APN 技术的新型铁路应急通信系统 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (6): 43-46.

Hong Feng, Liu Chang. New Railway Emergency Communication System Based on 4G Dedicated APN Technology[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 43-46.

[3] 武云花. 一种便携式户外应急通信系统研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2022.

[4] 李铎, 尹宝才, 苏海斌, 等. 无线流媒体服务系统的设计与实现 [J]. 北京工业大学学报, 2006, 32 (5): 424-430.

Li Xin, Yin Baocai, Su Haibin, et al. Design and Implementation of Video Streaming Service System for Wireless Network[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(5): 424-430.

[5] 苑江涛, 王新勇, 马金鑫, 等. STP-yh 系统无线通信损耗来源分析及技术要求 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (2): 43-46, 80.

Yuan Jiangtao, Wang Xinyong, Ma Jinxin, et al. Analysis of Source of Wireless Communication Loss and Technical Requirements of STP-Yh System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 43-46, 80.

\*\*\*\*\*

(上接 36页)

Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(3): 23-26.

[7] 刘振华. 铁路道岔转换阻力分析与监测技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (5): 6-9, 15.

Liu Zhenhua. Study on Monitoring Technology for Switching Resistance of Railway Turnout[J].

Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(5): 6-9,15.

[8] 中国铁路武汉局集团有限公司. 信号集中监测信息分析指南 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.

[9] 中华人民共和国国家铁路局. 普速铁路信号维护规则: 铁总运 [2015]238 号. 北京: 中国铁道出版社, 2015.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.009

# STP在GSM-R网络中的主要作用及故障判断

闫慧霞<sup>1</sup>, 赵建国<sup>1</sup>, 李秀芳<sup>2</sup>, 杨志斌<sup>1</sup>

(1. 中国铁路北京局集团有限公司北京通信段, 北京 100086;

2. 中国铁路北京局集团有限公司北京铁路通信技术中心, 北京 100086)

**摘要:** STP 作为全路 GSM-R 网络的“心脏”, 提供各端局 MSC 至 HLR、各端局 SGSN 至 HLR、各端局 MSC 至 SCP、SCP 至 HLR、MSC 间跨局呼叫时的信令转接功能。结合 GSM-R 网络组网架构及铁路行车通信业务运用, 对全网信令路由及信令消息的转接进行详细研究和分析, 并针对可能发生的设备隐性故障, 判断故障点及影响范围, 进而实施有效、及时的应急处置, 为日常维护、故障分析、应急处置等提供参考。

**关键词:** 信令转接点; 归属位置寄存器; 位置更新; 字符串; 短号码; 智能网; GSM-R

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0047-08

## Main Roles and Fault Diagnosis of STP in GSM-R Networks

Yan Huixia<sup>1</sup>, Zhao Jianguo<sup>1</sup>, Li Xiufang<sup>2</sup>, Yang Zhibin<sup>1</sup>

(1. Beijing Communication Depot, China Railway Beijing Group Co., Ltd., Beijing 100086, China)

(2. Beijing Railway Communication Technology Center, China Railway Beijing Group Co., Ltd., Beijing 100086, China)

**Abstract:** As the “heart” of GSM-R networks across China’s railway network, STP (Signaling Transfer Point) provides the function of signaling transfer from local MSC to HLR, from local SGSN to HLR, from local MSC to SCP, from SCP to HLR, and during inter-local calls between MSCs. Based on the networking architecture of GSM-R networks and the application situation of GSM-R networks for communication services in railway train operation, this paper conducts detailed research and analysis on the signaling routing and signaling message switching across China’s railway network, and judges the fault point and impact scope of the potential hidden equipment faults, to take effective and timely emergency disposal measures. Thus, it provides reference for day-to-day maintenance, fault analysis and emergency disposal.

**Keywords:** STP; HLR; location update; USSD; short number; intelligent network; GSM-R

收稿日期: 2023-08-10; 修回日期: 2023-11-07

基金项目: 中国铁路北京局集团有限公司科研项目 (2022CD08)

第一作者: 闫慧霞 (1980—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信, 邮箱: 13683336534@163.com。

GSM-R 铁路数字移动通信系统 (简称 GSM-R 系统) 是铁路专用移动通信系统。信令转接点 (STP) 负责完成各局移动交换中心 (MSC)、服务 GPRS 支持节点 (SGSN) 与全路共用设备归属位置

寄存器 (HLR)、智能网 (SCP) 的信令转接功能, 是全网 GSM-R 系统的核心。目前全路 STP 分设北京、武汉两地地理冗余。

全路共用 GSM-R 核心设备包括北京、武汉 SCP、HLR、STP 等。北京、武汉及其他 16 个局的 MSC、SGSN 均与 STP 冗余互联, 实现 GSM-R 线路 CTCS-3 列控信息传输、车机联控、进路预告、调度命令等行车业务的运用。网络互联如图 1 所示。

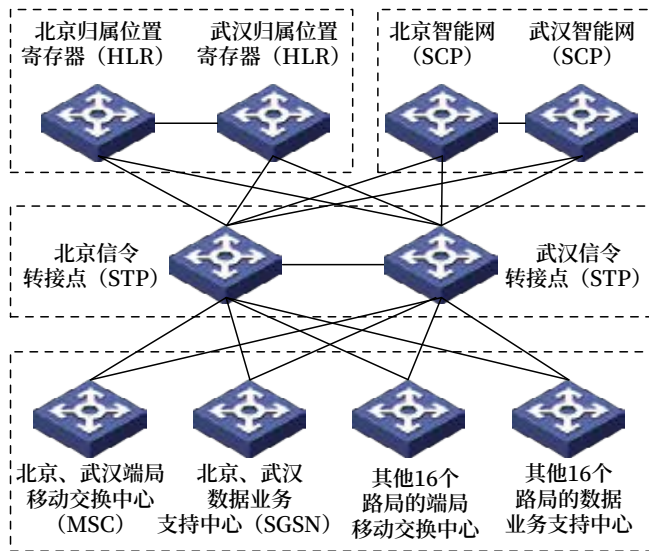


图1 信令转接点STP互联  
Fig.1 Interconnection of signaling transfer point (STP)

### 1 GSM-R网络STP中信令单板运用方式

GSM-R 系统 STP 设备为实现信令转接功能, 需要配置处理信令的单板, 目前采用西门子厂家 CMX-5000 型 STP 设备信令单板 (MP 单板) 配置具有以下几种功能: 分别用于网络管理及硬盘接入、信令管理、话单记录、GT 翻译、MTP 信令转接等, 并将不同功能的 MP 板进行功能及冗余方式的定义, 如表 1 所示。

其中 MP11-15 用来处理 MTP 二层及 MTP 三层信令转接功能。每个 MP 单板最多可承载 127 条信令。MP 单板承载的信令主要包含与北京、武汉 HLR/SCP 互联以及与各局 MSC/SGSN 互联。信令链路负荷分担配置在不同的 MP 单板上, 避免由于某一块 MP 单板异常, 导致某一网元的信令不可达。

表1 STP设备信令单板运用方式

Tab. Signaling movement method in single board of STP equipment

板件类型	功能定义	功能解释	单板配置	板件数量	冗余方式
MP	1	OAM	网络管理及硬盘接入	0 侧 1 侧	2 主、备
MP	2	SM	信令管理	0 侧 1 侧	2 主、备
MP	8	ACC	话单记录	0 侧 1 侧	2 主、备
MP	10	GTT	GT 翻译	0 侧 1 侧	2 主、备
MP	11	MTP	MTP 信令转接	0 侧 1 侧	2 主、备
MP	12	MTP	MTP 信令转接	0 侧 1 侧	2 主、备
MP	13	MTP	MTP 信令转接	0 侧 1 侧	2 主、备
MP	14	MTP	MTP 信令转接	0 侧 1 侧	2 主、备
MP	15	MTP	MTP 信令转接	0 侧 1 侧	2 主、备

因此, STP 设备在配置 MP 板时实现 0 侧和 1 侧冗余配置的同时, 还要考虑 STP 与对端设备互联链路采用不同 MP (11 ~ 15) 板件来承载信令链路。

每一个完整的信令流程有近十多次的信令交互, 每一次都是一个全新的选择, 不会固定在某一个单板、某一个时隙上。正常情况下, 某块 MP 信令板故障, 此单板承载的信令链路不可用, 并不影响 GSM-R 网络 NO.7 信令的处理。如果遇到信令链路发生错误, MTP 二层信令会被重新传送, MTP 三层信令则会将故障链路上的流量转移到其他链路上, 均不会影响使用。

但是如果某块 MP 信令单板存在隐性故障, 承载至相应局向的链路状态显示正常, 其信令链路仍会被占用, 信令处理会出现异常, 影响 GSM-R 业务。

### 2 GSM-R网络中STP主要功能运用

GSM-R 网络中 STP 主要负责各端局 MSC 至 HLR、各端局 SGSN 至 HLR、各端局 MSC 至 SCP、SCP 至 HLR、MSC 间跨局呼叫时的信令转接。

目前组网中将 STP 与 TMSC 进行了合设。TMSC 主要提供跨局呼叫业务转接 (根据铁路实际行车调度指挥需求, 这类呼叫业务需求较少), 减少了 GSM-R 系统端局之间需要互通的星星组网连接。

## 2.1 各端局MSC/SGSN与HLR之间信令转接方式及信令消息流程

### 2.1.1 各端局MSC/SGSN至HLR的信令路由

1) 北京、武汉端局 MSC/SGSN 至 HLR 信令由北京、武汉 STP 采用主 / 备方式进行转接, 以本地 STP 为主、异地 STP 为备。其他各端局 MSC/SGSN 至 HLR 的信令由北京、武汉 STP 采用负荷分担的方式进行转接。

2) 北京 STP 至 HLR 首选 BJHLR21/BJHLR22 两个前端节点, 备用选武汉 WHHLR21/WHHLR22 两个前端节点; 武汉 STP 至 HLR 首选 WHHLR21/WHHLR22 两个前端节点, 备用选北京 BJHLR21/BJHLR22 两个前端节点。

### 2.1.2 HLR至各端局MSC/SGSN的信令路由

4 个 HLR 前端节点至各端局 MSC/SGSN 信令路由通过北京、武汉 STP 负荷分担方式进行转接。即 BJHLR21/BJHLR22、WHHLR21/WHHLR22 至各端局 MSC/SGSN 信令均通过北京、武汉 STP 负荷分担方式进行转接。

### 2.1.3 各端局MSC/SGSN与HLR之间信令消息

1) 全新用户第一次开机上线, 做位置更新。信令消息包含鉴权加密信息 (MAP-SEND-AUTHENTICATION), 一次 4 组鉴权相量; 位置更新 MAP-UPDATE-LOCATION; 用户签约信息的插入 MAP-INSERT-SUBSCRIBER。这些信息交互完成之后就会存在相应的 VLR 内。移动用户位置更新及用户签约信息流程如图 2 所示。

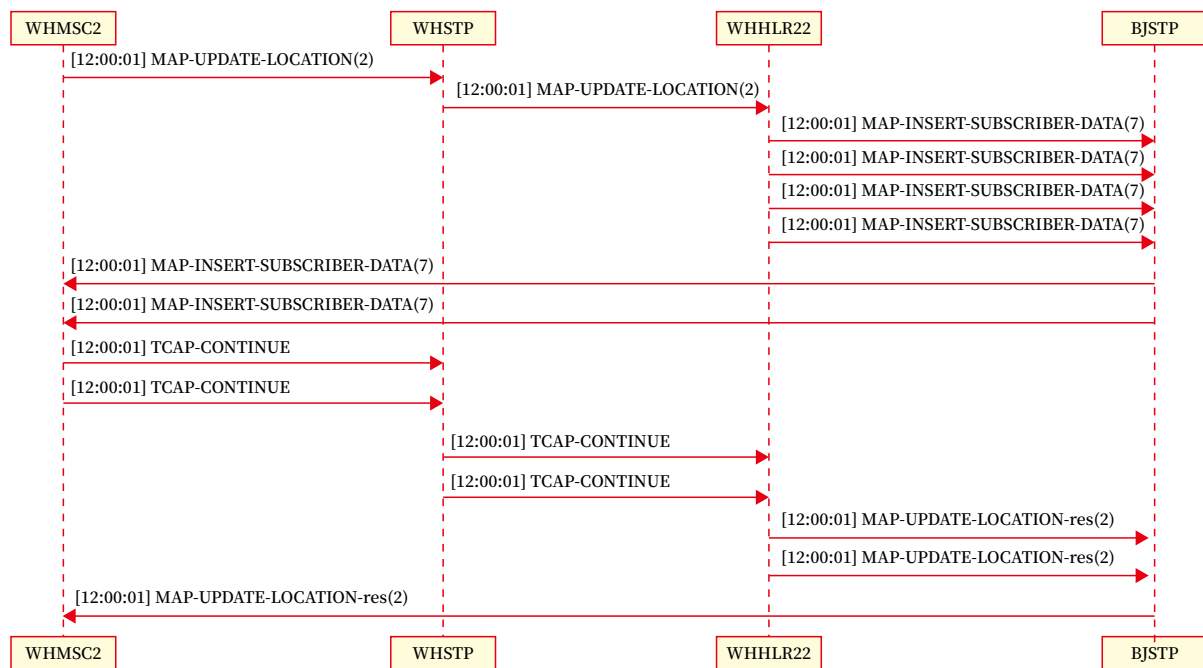


图2 位置更新及用户签约信息流程  
Fig.2 Information flow of location update and subscriber sign-up

2) 终端用户关机 48 h MSC/VLR/SGSN 自动删除该用户、人为手动对用户进行删除操作。HLR 将用户位置信息删除时, 信令消息包含鉴权加密信息 (MAP-SEND-AUTHENTICATION), 一次 4 组鉴权相量; 位置更新 MAP-UPDATE-LOCATION; 用户签约信息的插入 MAP-INSERT-SUBSCRIBER。这些信息交互完成之后就会存在相

应的 VLR 内。

3) 跨 MSC 位置更新时, 移动用户会找 HLR 进行位置更新, 信令消息包含位置更新 MAP-UPDATE-LOCATION 和用户签约信息的插入 (MAP-INSERT-SUBSCRIBER)。而鉴权相量是找原 MSC/VLR 要, 身份识别信息 (MAP-SEND-IDENTIFICATION), 如果够用就不需要找 HLR。

4) HLR 执行 RESET 之后, 移动用户进行活动如开关机、做主叫时, 需要交互两类信息: 位置更新 MAP-UPDATE-LOCATION; 用户签约信息的插入 MAP-INSERT-SUBSCRIBER。

5) 注册、注销功能号时, \*\*214\*086+FN 字符串信令消息为非对称结构化请求 (UUS, MAP-PROCESS-UNSTRUCTURED-SS-REQUEST), 会先找 HLR 进行补充业务时, 在 HLR 中会对 086 进行处理, 指向对应的 SCP。

6) MS 做被叫时, 需找 HLR 要漫游号码信息, 信令消息为请求路由信息 (SRI, MAP-SEND-ROUTING INFORMATION) 和提供漫游号码 (PRN, MAP-PRIVIDE-ROAMING-NUMBER)。SRI:MSC 根据 MS 发起呼叫携带的被叫号码 (MSISDN) 向被叫 MS 归属 HLR 查询用户当前的路由信息。该消息通常包含: MSISDN、IMSI、MSRN、VMSC 地址、CAMEL 签约信息、位置信息、用户状态和 GMSC 地址等。PRN: HLR 向当前用户所在的 MSC 发起请求用户的漫游号码。该消息通常包含: IMSI、MSISDN、MSRN、MSC 地址、GMSC 地址和相关信令消息等。

7) 由于 HLR 鉴权信息一次给 4 组, 每次开关机、位置更新都会消耗鉴权相量, 4 组用完之后会找 HLR 再要 4 组鉴权相量。有剩余鉴权相量时开关机、呼叫 RBC、呼叫短号码、呼叫固话, 均不需要与 HLR 有任何交互信令。

## 2.2 各端局 MSC 与 SCP 之间信令转接方式信令消息流程

### 2.2.1 各端局 MSC 至 SCP 信令路由

1) 各端局 MSC/SGSN 至 SCP 的信令负荷由北京、武汉 STP 采用主备方式进行转接, 其中北京 STP 为主用, 武汉 STP 为备用。现网武汉、昆明 MSC 设置至 SCP 的信令转接主用为武汉 STP, 备用为北京 STP。其余各局均按北京 STP 主用, 武汉 STP 备用进行配置。

2) STP 至 SCP 的信令路由为主 / 备方式, 北京 SCP 为主用, 武汉 SCP 为备用, 或武汉 SCP 为主用, 北京 SCP 为备用。根据运维需求, 北京、武

汉 SCP 主 / 备用实施季度倒换方式。如北京 SCP 为主用时, 则北京 STP 设置 BJSCP21\BJSCP22 为主用 (北京 SCP 两个节点为负荷分担方式), WHSCP21、WHSCP22 分别设置为 BJSCP21、BJSCP22 的备用。

### 2.2.2 SCP 至各端局 MSC 信令路由

SCP 至各端局 MSC 信令路由采用主 / 备方式由北京、武汉 STP 转接: 至以北京 STP 为第一归属的 MSC, 北京 STP 为主用, 武汉 STP 为备用; 至以武汉 STP 为第一归属的 MSC, 武汉 STP 为主用, 北京 STP 为备用 (以北京 STP 为第一归属的 MSC: 北京、沈阳、哈尔滨、济南、太原、呼和浩特、乌鲁木齐、兰州、西宁和拉萨; 以武汉 STP 为第一归属的 MSC: 武汉、上海、南昌、广州、郑州、南宁、西安、昆明和成都)。

### 2.2.3 各端局 MSC 与 SCP 之间信令消息流程

智能业务呼叫 (功能号呼叫、短号码呼叫) 启动检测点 (Initial DP, IDP), 智能网用户进行呼叫后, MSC 发给归属用户 SCP 用于触发智能业务流程。该消息通常包含: 业务键、位置信息、用户状态、主被叫号码。该信令消息可在 7 号信令中查 CAP 话单或 CAP 信令。

1) 功能号或短号码的呼叫, 从端局发起找 SCP (信令通过 STP 转接)。

2) 短号码呼叫, SCP 根据主叫用户携带的小区信息, 智能网直接查询静态数据, 将小区对应的 FAS 号码返回 MSC 端局, 端局根据返回号码进行接续 FAS 用户。真正接续时为 ISUP 信令和话务通信。

3) 功能号呼叫, SCP 根据被叫功能号码, 智能网直接查询移动用户注册的功能号码信息, 进行任意时间查询 (Any Time Interrogation, ATI), SCP 向 HLR 发起查询用户位置信息的请求 (该信息包含 LAC/CI 等信息), HLR 再找端局 MSC 查询用户信息, 提供用户信息 (Provide Subscriber Information, PSI) 流程, HLR 回复 SCP 具体的 LAC\CI 信息, SCP 根据位置信息与主叫用户的调度辖区 DA 值是否一致进行判断应该建立与哪个

149 号码移动用户之间的呼叫。之后执行是被叫流程，建立之后就属于 ISUP 信令和话务通信。

### 2.3 SCP与HLR之间信令转接

#### 2.3.1 SCP至HLR之间的信令路由

目前新共用设备 SCP 中制作情况为：北京 SCP 做主用时，至 HLR 信令采用北京 STP 主用，武汉 STP 备用。武汉 SCP 做主用时，至 HLR 信令采用武汉 STP 主用，北京 STP 备用。

#### 2.3.2 HLR至SCP之间的信令路由

HLR 至 SCP 信令路由采用北京 STP、武汉 STP 负荷分担的方式。

#### 2.3.3 SCP至HLR之间信令消息

基于位置呼叫限制，在 FAS 呼叫车次、机车功能号时，会启用基于位置呼叫限制。被叫号码为 2xxxxxxx 功能号时，MSC-STP-SCP，SCP 翻译 2xxxxxxx 对应 86149 号码，并提示要进行基于位置呼叫限制流程，这时 SCP 就会去 HLR 中查询 ATI 消息，返回所有注册该功能号的 149 号码。HLR 根据 149 号码向相应的 VLR 查询具体的 LAC CI，即 PSI 消息，返回给 SCP。SCP 进行主被叫 DA 的判断之后，允许则进行接续，不允许则拒绝，如图 3 所示。

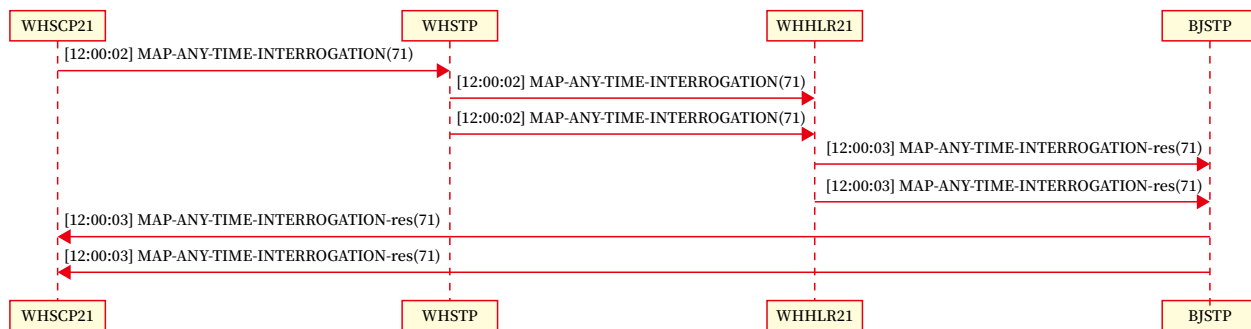


图3 任意时间查询信息流程  
Fig.3 Information flow of any time interrogation

#### 2.3.4 HLR至SCP之间的信令消息

HLR 至 SCP 之间的信令消息有注册、注销功能号信息，消息类型为 MAP 信令，在 7 号信令监测系统可以查询 MAP 话单或 MAP 信令。具体应用为终端用户发送注册 (register) 消息，消息里带有主叫 IMSI，根据 GT 翻译将其通过 STP 转接至 HLR。HLR 判断该用户是否有 Follow Me 功能，根据用户数据侧 086 补充业务，指向 SCP 的 GT 号码，向 SCP 发送 USSD 字符串 (如

\*\*214\*086FN\*\*\*#)。HLR 至 SCP 之间请求 UUS 信息流程如图 4 所示。

### 2.4 各端局MSC之间信令转接

#### 2.4.1 MSC间跨局呼叫的信令转接

端局与邻局虽有互联电路，但只开话路，不开信令链路，信令仍旧依靠北京、武汉 STP 进行转接。

类似的呼叫包含：1) CTCS-3 业务的跨局呼叫，属于长呼业务，ATP 车载移动用户呼叫固定用户 RBC 号码，通常 RBC 与本局 MSC 实施互联，

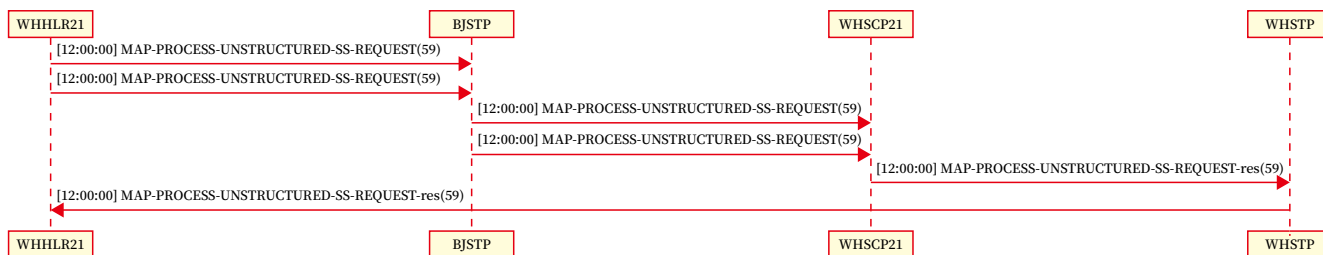


图4 请求UUS信息流程 (HLR至SCP之间)  
Fig.4 Process of UUS information request (from HLR to SCP)

车载 ATP 在移动网络下有跨局呼叫邻局 RBC 的需求，会形成 MSC 间的跨局呼叫业务；2) 通常 FAS 系统与本局 MSC 实施互联，同样存在 FAS 调度用户呼叫邻局网络下局界列车的需求，也会形成 MSC 间的跨局呼叫业务。

#### 2.4.2 MSC间跨局呼叫的信令路由

北方局使用北京 STP 主用，武汉 STP 备用。北方局包含北京、沈阳、哈尔滨、济南、太原、呼和浩特、乌鲁木齐、兰州、西宁、拉萨。

南方局使用武汉 STP 主用，北京 STP 备用。南方局包含武汉、上海、南昌、广州、郑州、南宁、西安、昆明和成都。

#### 2.4.3 MSC间跨局呼叫的信令消息

MSC 间跨局呼叫时的信令为 ISUP 信令消息。

### 3 GSM-R网络如何通过呼叫测试、信令消息分析判断故障点

在 GSM-R 网络中，一般设备故障网管会有声光告警提示，根据网管告警维护人员可以做到及时应急处置。但有时也会发生设备没有任何告警提示，但业务受到影响的设备隐性故障，此时需要进行模拟测试并结合信令消息判断故障并查找原因，及时进行应急处置。

#### 3.1 智能网故障判断

##### 3.1.1 通过模拟呼叫测试判断故障点

一是为准确判断故障点，需北京、武汉核心网共同测试；二是北京、武汉核心网各需 2 台可以注册功能号的移动终端，并注册测试功能号；三是测试基站小区标识在智能网关关联测试 1200/1300 并对应相关测试 FAS 号码；四是判断故障时两地需同时呼叫拨打 1200/1300 短号码，收集北京、武汉测试结果并进一步判断故障点。

1) 如果当前为北京智能网 SCP 主用，北京、武汉核心网均测试短号码呼叫异常，则判断可能为北京 SCP 系统故障。

2) 如果当前为武汉智能网 SCP 主用，北京、

武汉核心网均测试短号码呼叫异常，则判断可能为武汉 SCP 系统故障。

综合测试情况分析，如仅有一方测试异常，非智能网设备故障。北京、武汉双方都测试异常，判断智能网 SCP 故障。同样可以对功能号注册、注销、功能号呼叫等进行业务的测试，进一步判断智能网 SCP 是否存在异常情况。

##### 3.1.2 通过接口监测信令消息判断故障点

通过核查 NO.7 信令监测系统，选择同一时间段查看 CAP 和 MAP 话单，若查询的 MAP 话单正常，但 CAP 话单中功能寻址、位置寻址出现大量不成功结果，则判断智能网业务异常。通过查看“超时”话单的详细信令消息中的“目的信令点编码”，可进一步确定具体的故障智能网节点。

#### 3.2 HLR故障判断方法

##### 3.2.1 通过模拟呼叫测试判断故障点

由于 HLR 系统北京、武汉 4 个信令节点同时都在处理业务，当由于 HLR 异常影响业务时，判断 4 个节点中哪一个异常需要进行大量的呼叫并进行信令的分析，在短时间内判断故障存在一定的难度。因此为保证出现上述问题后能够迅速定位故障节点，北京 STP 系统在应急预案方面进行了如下完善。

1) 在北京 STP 中制作 4 个号码 GT 数据分别指向北京、武汉 4 个 HLR 前端节点，其中 149XXX99022 指向 BJHLR21，149XXX99023 指向 BJHLR22，149XXX99024 指向 WHHR21，149XXX99025 指向 WHHLR22。

2) 当反应部分呼叫等业务异常时，北京核心网第一时间使用铁路固定电话进行多次呼叫测试上述 4 个移动号码，如呼叫无异常，排除 HLR 系统问题。

3) 如多次测试某个号码有异常情况，则本号码所指向的 HLR 存在问题，可及时将异常 HLR 与 STP 进行断链操作，网内 3 个节点运行，并进一步对问题节点进行排查。

上述方法可以及时准确定位全网 4 个 HLR 节点的运用情况，日常应急预案完善到位，为应急预案启动、压缩故障延时提供了条件。



### 3.2.2 通过接口监测信令消息判断故障点

通过核查 NO.7 信令监测系统，选择一个时间段查看 MAP 话单，若查询的话单中出现大量不成功结果，则判断 HLR 业务异常。通过查看“超时”话单的详细信令消息中的“目的 GT 值”，可进一步确定具体的故障 HLR 节点。

## 3.3 STP故障判断方法

### 3.3.1 通过模拟呼叫测试判断故障点

北京核心网利用测试手机多次拨打济南局跨局 FAS 号码 (7401XX09)；利用模拟 ATP 呼叫济南局跨局 RBC 号码 9243XX01、郑州跨局测试 RBC 号码 9253XX99，如果均存在呼叫不通的现象。但拨打北京局 PSTN 号码 9010212XX76 正常。

由于上述跨局呼叫 FAS 和 RBC 号码均需要通过 STP 进行信令转接，而且与 SCP/HLR 无关，同时呼叫测试又在北京 MSC 端局下，所以上述跨局呼叫均通过北京 STP 转接。结合北京 MSC 端局下呼叫 PSTN 正常，再通过接口监测及信令跟踪消息分析，初步判断北京 STP/TMSC 系统问题。立即启动将北京 STP/TMSC 系统退网应急倒带，暂时将业务恢复，再进一步判断北京 STP/TMSC 故障原因。

### 3.3.2 通过接口监测信令消息判断故障点

同样通过核查 NO.7 信令监测系统，选择同一个时间段查看 CAP、MAP 以及 ISUP 话单，若查询的三类话单中均出现大量不成功结果，则判断 STP 业务异常。立即启动将北京 STP/TMSC 系统退网应急倒带，暂时将业务恢复，再进一步判断北京 STP/TMSC 故障原因。

## 3.4 MSC故障判断方法

### 3.4.1 通过模拟呼叫测试判断故障点

判断端局业务是否正常，可以进行如下测试。

- 1) 已开机的语音用户终端、模拟测试 ATP 用户终端呼叫本局 RBC、呼叫固话、呼叫本局 FAS；
- 2) 已开机的 GPRS 用户 PDP 激活及进路预告下发；
- 3) 有剩余鉴权相量（共有 4 个鉴权相量）的

用户终端时开关机、呼叫 RBC、呼叫 FAS、呼叫固话均不受影响。

### 3.4.2 通过接口监测信令消息判断故障点

如果 2 条 CTCS-3 列控线路均存在如下监测信息，若 A 接口查询的信令中同时出现大量 MSC 向 BSC 发起的原因值为“Resource Unavailable”的拆链请求；查看 PRI 接口信令，如出现大量的车地间数据交互正常的情况下，MSC 向 RBC 发送 DISCONNECT 拆链，并且拆链无 156 号包和 39 号包，初步判断端局 MSC 异常。

立即排查北京 MSC 端局有无异常告警，首先确定是 MSERVER 问题还是 MGW 问题，其次采取冗余板件切换措施，最后采取主/备系统倒换等应急措施。

## 4 北京 STP入网恢复链路的顺序

北京 STP 故障脱网修复之后入网时，需恢复与武汉 STP、北京武汉共用设备 SCP、HLR 以及各局 MSC/SGSN 之间的互联电路。为减少对业务的影响，恢复互联电路须遵循以下顺序。

如果优先恢复北京 STP 至各局端局 MSC/SGSN 的互联，由于 BJSTP 与 SCP、HLR 为断开状态，此时会影响各端局通过北京 STP 访问 SCP 或 HLR 业务，所以需优先恢复 BJSTP 至 WHSTP 之间的互联电路。其次恢复至 SCP、HLR 的互联，最后恢复至各端局 MSC/SGSN 的互联。

## 5 总结

STP 在 GSM-R 网络中承担着承上启下的作用。全路 GSM-R 共用设备与各局互联均通过 STP 进行转接。在日常维护过程中，由于设备机制等原因，设备隐性故障将可能影响全路 GSM-R 业务运用。本文结合 GSM-R 实际网络组网，通过详细分析研究信令路由及信令消息的转接，对各网元间信令转接消息进行详细阐述，重点是希望通过实际业务影响范围判断故障点，并进行应急处置。

参考文献

- [1] 姜永富. 我国铁路专用移动通信技术发展思路探讨 [J]. 中国铁路, 2019 (4): 73-78.  
Jiang Yongfu. Development of China's Railway Dedicated Mobile Communication Technology[J]. China Railway, 2019(4): 73-78.
- [2] 杨锐. GSM-R 网络新设共用设备入网实施方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (2): 48-52.  
Yang Rui. Research on Scheme of Connecting Newly-Equipped Shared Equipment into GSM-R Network[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(2): 48-52.
- [3] 中华人民共和国铁道部. 铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 总体技术要求: TB/T 3324-2013[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [4] 马金鑫, 苑江涛, 赵小军, 等. 编组站内 STP 系统无线通信补强方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (9): 59-63.  
Ma Jinxin, Yuan Jiangtao, Zhao Xiaojun, et al. Wireless Communication Reinforcement Scheme of STP System at Marshalling Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 59-63.
- [5] 王建敏. 兼容 GSM-R 和 5G-R 互联互通的列控系统无线通信方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 42-46.  
Wang Jianmin. Research on Wireless Communication Scheme of Train Control System Compatible with 5G-R and GSM-R Interoperability[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 42-46.
- [6] 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.
- [7] 中国铁路总公司. 铁路通信维护规则设备维护: TG/TX 106-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [8] 中国铁路总公司. 高速铁路通信技术-铁路数字移动通信系统 (GSM-R) [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [9] 佟立本. 铁道概论 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
- [10] 中国铁路总公司. 高速铁路通信概论 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [11] 吴昊, 钟章队. GSM-R 业务及在中国铁路的应用 [J]. 移动通信, 2007, 31 (8): 18-22.  
Wu Hao, Zhong Zhangdui. GSM-R Service and Its Application in China Railway[J]. Mobile Communications, 2007, 31(8): 18-22.
- [12] 中华人民共和国铁道部. GSM-R 无线网络覆盖和服务质量 (QoS) 测试方法 (V1.0): 科技运 [2007]17 号 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2007.

\*\*\*\*\*

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**

**无线闭塞中心设备接口信息安全传输监测系统 (IRD-TH 型)**

实现了 RBC 侧通信接口的全方位深度监测, 解决 RBC-MSD 通道干扰、V.110 失步等行业痛点问题, 同时为电务侧提供实时数据, 提高运维时效性; 实现了中心机房通用服务器硬件健康监测, 达到提前预知硬件故障的能力, “故障修”到“状态修”的转变; 实现了列控系统地面网络状态监测, 统计地面网络运行状态, 提高列控设备可用性。

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

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.010

# 高铁隧道公网覆盖5G改造研究

陈荣超

(中铁第五勘察设计院集团有限公司郑州分院, 郑州 450001)

**摘要:** 依托京沪高铁山东段隧道公网覆盖5G改造工程, 对漏缆选择、链路预算、电源及传输等进行方案研究, 在分析公网设备既有情况后考虑对既有公网设备及配套电源、传输光缆进行统一整治, 为今后此类工程提供设计经验。

**关键词:** 公网覆盖; 5G改造; 漏泄电缆; 链路预算

中图分类号: U285.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0055-06

## Research on 5G Renovation Project for Public Network Coverage in Tunnels of High-speed Railways

Chen Rongchao

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

**Abstract:** Based on the 5G renovation project for public network coverage in tunnels of the Shandong section of Beijing-Shanghai High-speed Railway, this paper studies the scheme for such issues as leakage cable selection, link budget, power supply, and transmission. After analyzing the existing situation of the public network equipment, it proposes the integrated renovation of the existing public network equipment and its supporting power supply and transmission optical cables, which provides design experience for similar projects in the future.

**Keywords:** public network coverage; 5G renovation; leakage cable; link budget

### 1 概述

随着国内经济及铁路运输的快速发展, 保障公众在乘坐列车时享受不间断的移动通信覆盖服务显得愈发重要。铁路隧道内公众无线通信网络覆盖工程的建设, 对于满足运营商市场需求、提

高网络质量和市场竞争力、提高运营商和铁路部门的服务水平、提升国门通道形象等均有重要作用, 同时也为铁路旅客提供了更全面的服务。因此, 推进铁路公网覆盖工程的建设是运营商和铁路部门的共同目标。

随着5G技术的成熟, 5G覆盖已成为近期重要的工作之一, 高铁场景下的5G覆盖也是用户口碑评价和业务体验的关键场景。京沪高铁山东段现有的公网覆盖无法实现高铁隧道内的5G信号连续覆盖, 需要在原有系统基础上进行改造。

收稿日期: 2023-05-15; 修回日期: 2023-12-03

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

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

## 2 工程概况

京沪高铁于2008年4月18日全线正式开工建设,2011年6月30日建成通车,正线长1 318 km,是世界上一次建成里程最长、技术标准最高的高速铁路,设计目标速度为350 km/h。

京沪高铁纵贯北京、天津、上海三大直辖市和河北、山东、安徽、江苏四省,全线共设24个车站,其中山东段设6个车站:德州东站、济南西站、泰安站、曲阜东站、滕州东站和枣庄站。

京沪高铁山东段隧道总长度10.044 km,均为单洞双线高速铁路隧道,其中大于1 km的隧道有4座,小于1 km的隧道有4座。沿线隧道详细情况如表1所示。

表1 京沪高铁山东段隧道

Tab.1 Tunnels of Shandong section of Beijing-Shanghai High-speed Railway

序号	隧道名称	单程隧道长度/km	所在城市
1	罗而庄隧道	0.595	济南市
2	西渴马1号隧道	2.812	济南市
3	西渴马2号隧道	0.978	济南市
4	张夏隧道	0.692	济南市
5	凤凰台隧道	1.168	泰安市
6	金牛山隧道	1.905	泰安市
7	龙山隧道	0.39	枣庄市
8	滕州隧道	1.504	枣庄市

京沪高铁公网覆盖工程最早于2012年竣工,随着公网覆盖设备的历次升级改造,目前隧道洞室内有各个运营商的:2G、3G光远端机,3G、4G射频拉远单元(Remote Radio Unit, RRU),移动2.6G RRU、多系统合路平台(Point Of Interface, POI)等设备。

大部分既有公网设备使用时间已久,不同程度出现设备老化、损坏等现象,存在设备停产、无备件/备件、难以升级或扩容、故障率高、维护成本高等问题,无法保证继续安全稳定运行,且部分原有老旧设备性能指标也无法满足现在先进的通信技术需要。

隧道洞室内既有公网覆盖设备电源直接接引自

相应洞室内的铁路照明配电箱。4G改造后,既有公网设备使用已造成铁路照明配电箱出现跳闸等现象,对隧道内既有铁路照明系统造成较大影响,同时也影响到既有公网设备的正常运行。

隧道内既有敷设公网24芯光缆1条,该光缆部分芯线已损坏。4G改造时,为节约光缆资源,部分RRU设备采用手拉手级联方式,一旦某台设备出现故障,会造成整条隧道公网覆盖彻底瘫痪。

因此,本工程对隧道内进行公网5G覆盖的同时,同步考虑对既有公网设备及配套电源、传输光缆进行统一整治。

## 3 方案研究

### 3.1 无线设备频率选择

根据各运营商需求,隧道内引入的公网无线通信系统包含:移动LTE FDD 1 800、移动TD-LTE(F&A/D)、移动5G NR 2.6G、联通/电信LTE 1.8G、联通/电信5G NR 2.1G、联通/电信5G NR 3.5G共计7个系统,详细情况如表2所示。

表2 运营商需求情况

Tab.2 Operator demand situation

序号	运营商	名称	频段/MHz	
			上行	下行
1	移动	LTE FDD 1 800	1 710 ~ 1 735	1 805 ~ 1 830
2		TD-LTE(F&A)	1 885 ~ 1 915	2 010 ~ 2 025
3		TD-LTE(D)	2 515 ~ 2 675	
4		5G NR 2.6G	2 515 ~ 2 675	
5	联通 电信	LTE 1.8G	1 735 ~ 1 785	1 830 ~ 1 880
6		5G NR 2.1G	1 920 ~ 1 975	2 110 ~ 2 165
7		5G NR 3.5G	3 400 ~ 3 600	

### 3.2 组网方式

组网方式采用分布式基站及射频拉远技术。隧道内采用RRU+漏缆进行覆盖,通过POI技术将各运营商多个系统信号合路后引入天馈系统。

RRU、POI安装在隧道内的综合洞室内,漏缆挂在隧道墙壁上。

### 3.3 漏泄电缆

泄漏电缆是一类特殊的同轴电缆，与同轴电缆具备一样的同轴结构，所以也受到同轴电缆截止频率的制约，只能传播频率在截止频率以下的横电磁波 (Transverse Electromagnetic Wave, TEM 波)。同轴电缆的截止频率可用公式 (1) 计算。

$$f_c = \frac{2c}{(D+d)\pi\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

公式 (1) 中：

$f_c$ ：截止频率，单位 Hz；

$c$ ：光速， $3 \times 10^8$  m/s；

$\epsilon_r$ ：相对介电常数 (物理发泡聚乙烯取 1.20 ~ 1.30)；

$D$  和  $d$ ：外导体内径和内导体外径，单位 m。

京沪高铁山东段隧道内已布放公网 13/8" 漏缆 2 条，13/8" 漏缆 ( $D = 43$  mm、 $d = 17.30$  mm) 按照公式 (1) 计算，截止频率为 2.8 GHz。

按照公式 (1)， $f_c$  与  $(D+d)$  成反比，漏缆越细则截止频率越高，损耗也越高。5/4" 漏缆 ( $D = 32.20$  mm、 $d = 12.80$  mm) 按照公式 (1) 计算，截止频率为 3.7 GHz。

因此，既有 13/8" 漏缆无法支持联通 / 电信 5G NR 3.5G，需采用新型 5/4" 漏缆及 5G POI，以实现 700 ~ 3 700 MHz 全频段或 1 700 ~ 3 700 MHz 高频段接入，最大化实现共享。

本工程考虑移动、联通、电信共建 2 条新型 5/4" 漏缆替换既有 13/8" 漏缆，通过双缆实现 4G/5G 2T2R 部署。漏缆挂高距轨面分别为 2.1 m 及 2.6 m，漏缆孔指向车窗。

由于高铁的运营特点，隧道内所有施工必须在“天窗点”内完成，施工周期较长。为避免公网覆盖的长时间中断，需先将新漏缆敷设到位，在一个“天窗点”内完成新、老漏缆的切换，卡具等配套设施也需同步新设。

### 3.4 链路预算

信号源从漏缆的一端注入射频信号，经过一定距离的传输衰减会无法满足覆盖要求，该距离可视

为漏缆的覆盖距离，可用公式 (2) 计算。

$$L = \frac{Pin - (P + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5)}{S} \quad (2)$$

公式 (2) 中：

$L$ ：漏缆的覆盖距离，单位 m；

$Pin$ ：漏缆输入端注入功率，单位 dBm；

$P$ ：覆盖边缘场强，单位 dBm；

$L_1$ ：漏缆耦合损耗 (95%，2 m，dB)，漏缆指标；

$L_2$ ：人体衰落，取 3dB；

$L_3 = 20 \lg \frac{d}{2}$ ：宽度因子，单位 dB， $d$  为移动台距漏缆的距离，按 4 m 考虑取 6 dB；

$L_4$ ：衰减余量，取 2 dB；另外再考虑跳线及接头损耗 1 dB，POI 损耗 5 dB；

$L_5$ ：车体损耗，与车体相关，取 23 dB；

$S$ ：每米馈线损耗，单位 dB，漏缆指标。

公式 (2) 变形可得公式 (3)：

$$P = Pin - (L_2 + L_3 + L_4 + L_5) - (L \times S + L_1) \quad (3)$$

公式 (3) 中：

$L \times S + L_1$ ：漏缆的综合损耗，单位 dB。

由于既有隧道洞室间距为 500 m 无法改变，结合不同系统的切换时间计算出本工程所必需的漏缆单边覆盖距离  $L$ ，从而计算出  $L$  为定值条件下的公网覆盖边缘场强进行比较。

将本工程引入的公网无线通信系统各个参数代入公式 (3) 中，对比 5/4" 高频缆 (1 700 ~ 3 700 MHz) 及 5/4" 全频缆 (700 ~ 3 700 MHz)，可得数据如表 3、4 所示。在相同条件下 5/4" 高频缆的网络覆盖质量优于 5/4" 全频缆，因此本工程建议采用 5/4" 高频缆。

### 3.5 电源

京沪高铁山东段隧道内，既有综合洞室内设置有公网专用电度表箱 (容量 3 kW)，从相同综合洞室内的铁路照明配电箱取电，铁路照明配电箱电源接引自隧道洞口的隧道照明箱变。电度表均采用智能型，可通过远程终端单元 (Remote Terminal Unit, RTU) 上传至济南维修中心计费。

表3 链路预算 (移动)

Tab. 3 Link Budget (for China Mobile)

参数	LTE FDD1800		TD-LTE (F&A)		5G NR 2.6G	
$P_{in}/\text{dBm}$	15.2		15.2		18.2	
$L_2 + L_3 + L_4 + L_5/\text{dB}$	40		40		40	
系统切换时间 /s	1		1		1.2	
列车速度 / (km/h)	350		350		350	
切换距离 /m	97		97		117	
$L/\text{m}$	300		300		309	
$L \times S + L_1/\text{dB}$	5/4" 高频缆	5/4" 全频缆	5/4" 高频缆	5/4" 全频缆	5/4" 高频缆	5/4" 全频缆
	85	85.5	83	85	86	87.2
$P/\text{dBm}$	-109.8	-110.3	-107.8	-109.8	-107.8	-109

表4 链路预算 (联通/电信)

Tab.4 Link Budget (for China Union and China Telecom)

参数	LTE 1.8G		5G NR 2.1G		5G NR 3.5G	
$P_{in}/\text{dBm}$	15.2		15.2		18.2	
$L_2 + L_3 + L_4 + L_5/\text{dB}$	40		40		40	
系统切换时间 /s	1		1		1	
列车速度 / (km/h)	350		350		350	
切换距离 /m	97		97		97	
$L/\text{m}$	300		300		300	
$L \times S + L_1/\text{dB}$	5/4" 高频缆	5/4" 全频缆	5/4" 高频缆	5/4" 全频缆	5/4" 高频缆	5/4" 全频缆
	85	85.5	84	86.2	87	93.1
$P/\text{dBm}$	-109.8	-110.3	-108.8	-111	-108.8	-114.9

表5 典型洞室RRU用电量统计

Tab. 5 Statistical of RRU electricity consumption in typical caverns

RRU 用电量 /kW							总用电量 /kW
移动			联通 / 电信				
LTE FDD1800	TD-LTE (F&A/D)	5G NR 2.6G	LTE 1.8G	5G NR 2.1G	5G NR 3.5G		
0.4	0.8	0.8	0.8	0.4	1	4.2	

本工程实施后典型综合洞室内公网设备用电量如表 5 所示。

经计算，既有综合洞室内设置的公网专用电度表箱不能满足本工程实施后各个洞室用电负荷 (4.2 kW)，洞室内需新设计量分配电箱并拆除既有电度表箱。

由于既有铁路照明配电箱预留容量有限，既有公网设备使用已出现铁路照明配电箱跳闸等现象，已对隧道内既有铁路照明系统造成较大影响。根据铁运 [2008]184 号中严禁超负荷用电的规定，本工程考虑全部新敷设低压电缆，将新设计量分配电箱接入隧道洞口（隧道照明箱变附近）新设的计量总

配电箱，计量总配电箱再接入隧道照明箱变，并结合实际情况对隧道照明箱变进行扩容改造，增加一个公网专线回路。

计量总配电箱采用落地式安装，分电度表箱采用壁挂式安装，利用铁路远程控制系统对新增回路进行管理控制。

根据《铁路工程设计防火规范》要求，低压电缆采用 WDZNB-YJY23 型（低烟无卤阻燃 / 耐火铠装）电缆。电缆截面根据用电点的负荷以及计量箱至用电点的距离考虑 ±10% 电压损失，确保设备用电运行安全。电缆估算如表 6 所示。

总配电箱（无总配电箱时在分配电箱）内设

远程抄表终端，在供电单位指定综合工区设远程抄表中心与互联网相连组成虚拟专用网络 (Virtual

表6 电缆估算

Tab. 6 Cable estimation

隧道名称	洞室编号	分配电箱	总配电箱	电缆 (隧道口至洞室)	
		容量 / kW	容量 / kW	长度 / km	截面 / mm <sup>2</sup>
罗而庄隧道	1#	5	—	0.48	5×10
西渴马1号隧道	1#	5	15	1.39	4×35 + 1×16
	2#	5			
	3#	5			
	4#	5	15	1.39	4×35 + 1×16
	5#	5			
	6#	5			
西渴马2号隧道	1#	5	10	0.90	5×16
	2#	5			
张夏隧道	1#	5	—	0.50	5×10
凤凰台隧道	1#	5	10	0.98	5×16
	2#	5			
金牛山隧道	1#	5	10	0.90	5×16
	2#	5			
	3#	5	10	0.90	5×16
	4#	5			
龙山隧道	—	—	—	—	—
滕州隧道	1#	5	—	0.50	5×10
	2#	5	10	0.90	5×16
	3#	5			

Private Network, VPN)。所有抄表终端通过 4G 等网络实现远程数据传输。

### 3.6 传输

京沪高铁山东段隧道内，既有敷设公网 24 芯光缆 1 条，该 24 芯光缆部分芯线已损坏。

本工程实施后，单个隧道内洞室将安装 6 套 RRU。根据运营商意见，RRU 不考虑级联，光纤每个 RRU 均按 6 芯（2 芯使用、4 芯备用）预留，共计需要 36 芯光纤，既有光缆无法满足需求。

隧道口两端红线内外交界处各设置落地式光交箱 1 套，隧道内洞室在隧道壁设置壁挂式光交箱 2 套。新建 GYTAH58 型（室外松套层绞式铠装阻燃）主干光缆 2 根贯通隧道，通过光缆掏纤方式，

为隧道内移动、电信、联通开通网络。光缆及光交箱需求如表 7 所示。

表7 传输线缆、设备统计

Tab. 7 Statistics of transmission cables and equipment

隧道名称	洞室数量	共需芯数	光缆芯数 (根数)	落地式光交箱数量 (容量)	壁挂式光交箱数量 (容量)
罗而庄隧道	1	36	48 (2)	2 (72 芯)	2 (48 芯)
西渴马1号隧道	3	108	96 (2)	1 (144 芯)	6 (48 芯)
	3	108	96 (2)	1 (144 芯)	6 (48 芯)
西渴马2号隧道	2	72	96 (2)	2 (144 芯)	4 (48 芯)
张夏隧道	1	36	48 (2)	2 (72 芯)	2 (48 芯)
凤凰台隧道	2	72	96 (2)	2 (144 芯)	4 (48 芯)
金牛山隧道	2	72	96 (2)	1 (144 芯)	4 (48 芯)
	2	72	96 (2)	1 (144 芯)	4 (48 芯)
龙山隧道	—	—	48 (2)	2 (72 芯)	—
滕州隧道	1	36	48 (2)	1 (72 芯)	2 (48 芯)
	2	72	96 (2)	1 (144 芯)	4 (48 芯)

隧道内每个 RRU 处根据设备归属分歧引入 24 芯光缆 2 根至各设备柜的光纤配线架处成端。

### 3.7 环境监控系统

根据铁总发改 [2017]332 号及铁运 [2008]184 号文件，在各个隧道洞室内设置环境监控设施，纳入铁路综合环境监控系统统一监控管理。

### 3.8 干扰分析

#### 1) 公网对铁路专网的干扰分析

铁路专网为铁路综合数字移动通信系统 (Global System for Mobile Communications-Railway, GSM-R)，上行 885 ~ 889 MHz，下行 930 ~ 934 MHz。

公网系统对铁路专网系统的干扰，主要考虑杂散隔离度，必须保证公网信号的频率、频点不能侵占铁路专网频率、频点。本工程引入的公网系统使用的频段与铁路 GSM-R 频段相距较远。因此只要移动、联通 / 电信的设备射频指标等满足规范要求，其信号不会对 GSM-R 系统造成干扰。

#### 2) 铁路专网对公网的干扰分析

GSM-R 系统均采用漏缆进行覆盖，安装高度

距轨面 4.5 ~ 4.8 m。考虑公网漏缆耦合损耗和专网漏缆的空间隔离及器件隔离后, GSM-R 系统不会对公网系统造成干扰。

### 3) 天线间隔高度要求

天线间垂直隔离距离即上层天线底端与下层天线顶端的距离, 按 0.5 m 控制。

### 4) 电磁环境检测

铁路 GSM-R 系统承载调度通信等重要业务, 直接影响到行车安全, 因而本工程实施后, 开通的前提条件是引入的公网移动通信系统不能影响铁路 GSM-R 系统的正常使用。故开通前必须由第三方检测机构对公网信号覆盖项目进行电磁兼容测试, 电磁兼容测试是多系统运行环境下, 对各系统共用的电磁兼容进行现场测试, 特别是针对公网系统对 GSM-R 系统语音、数据通信的干扰进行测试, 用以评估公网系统对铁路 GSM-R 系统的干扰情况和影响, 并根据影响的程度向业主单位提供能否开通的意见。

## 4 结语

本文主要从无线、电源、传输 3 方面对京沪高铁山东段隧道内公网覆盖 5G 改造做了细致、完整地研究。从方案研究过程中可以看出, 5G 改造与隧道内公网设备既有情况有很大关系, 需详细调查、收集各个运营商的实际需求, 同时充分征求铁路部门的意见。高频缆、全频缆的选择是以运营商决定是否保留低频系统为基础, 本文中对两种缆进行链路预算的结果对比, 可为运营商判断是否保留低频系统提供参考。另外, 隧道内拆除既有 13/8" 漏缆等需建设单位与其产权单位提前对接, 征得其同意并做好相关手续办理。同时, 建议建设单位提前协调各个运营商提供拟采用设备的详细、准确规格参数, 如 RRU 功率、POI 端口、各设备长/宽/高尺寸等, 以减少后期方案反复修改。

### 参考文献

[1] 京沪高速铁路股份有限公司. 主营业务 [EB/OL]. (2018-05-31) [2023-05-14]. [http://](http://www.cr-jh.cn/websiteMenu/194/3)

[www.cr-jh.cn/websiteMenu/194/3](http://www.cr-jh.cn/websiteMenu/194/3).

- [2] 郭希蕊, 张涛. 中国联通传统室内分布系统向 5G 演进探讨 [EB/OL]. (2019-10-28) [2023-05-14]. [https://lmtw.com/mzw/content/detail/id/177439/keyword\\_id/-1](https://lmtw.com/mzw/content/detail/id/177439/keyword_id/-1).
- [3] 中华人民共和国铁道部. 关于中国移动通信公司在铁路用地范围内设置网络通信设备的意见: 铁运 [2008]184 号 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2008.
- [4] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路工程设计防火规范: TB 10063-2016 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [5] 中国铁路总公司. 关于铁路沿线公网覆盖合作建设的指导意见: 铁总发改 [2017]332 号 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2017.
- [6] 白东晖. GSMR 无线通信系统漏泄同轴电缆施工技术探讨 [J]. 中国新技术新产品, 2015 (10): 128.
- Bai Donghui. Discussion on Construction Technology of Leaky Coaxial Cable in GSMR Wireless Communication System [J]. New Technology & New Products of China, 2015(10): 128.
- [7] 何丽. 基于高铁环境下的 5G 网络建设与规划 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (11): 42-46.
- He Li. 5G Network Construction & Planning Based on High-speed Railway Environment [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 42-46.
- [8] 冯斯麒. 高速铁路民用通信系统建设策略研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2017.
- [9] 谢和欢. 基于 5G 技术的新一代列控通信系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (12): 38-45.
- Xie Hehuan. Research on New Generation of Train Control Communication System Based on 5G Technology [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 38-45.



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.011

# 虚拟防火墙技术在铁路通信网管网络安全中的应用

唐璐

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200434)

**摘要:** 铁路通信数据网、传输网等网络安全等保建设陆续开展, 根据铁路通信网络安全防护“整合、集中、防护”的策略, 提出在各通信网管网络安全边界利用虚拟防火墙技术共享一套网络安全等保系统的思路, 以实现各系统业务隔离、管理控制隔离、共享设备资源的目的, 满足各通信系统网管网络安全的需求。

**关键词:** 铁路通信; 网络安全; 虚拟防火墙; 业务隔离

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0061-05

## Discussion on Application of Virtual Firewall Technology to Network Security in Railway Communication Network Management

Tang Lu

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

**Abstract:** Against the background of the development of network security technologies such as railway communication data network and transmission network, and in accordance with the strategy of "integration, centralization and protection" for security protection in railway communication networks, this paper puts forward the concept of using the virtual firewall technology to share one network security protection system at the network security boundary of various communication network management systems. The proposed concept aims to achieve the purposes of service isolation, management and control isolation, and equipment resource sharing among various systems, so as to meet the network security needs of various network management systems for communication systems.

**Keywords:** railway communication; network security; virtual firewall; service isolation

### 1 虚拟防火墙技术概述

传统防火墙应用需要部署多台独立防火墙, 放

置的多个独立防火墙占用机房较大空间, 且增加网络管理的复杂度。虚拟防火墙技术在共享 CPU、内存等物理资源的基础上, 将一台物理防火墙从逻辑上划分为多台虚拟防火墙, 如图 1 所示。

每个虚拟防火墙系统都可以被看成是一台独立的防火墙设备, 可拥有独立的系统资源、管理员、

收稿日期: 2023-03-28; 修回日期: 2023-10-03

作者简介: 唐璐 (1984—) 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 铁路通信, 邮箱: 563252139@qq.com。



图1 虚拟防火墙逻辑系统  
Fig.1 Logical system diagram of virtual firewall

安全策略、用户认证数据库等。每个虚拟防火墙能够实现防火墙的大部分特性。每个虚拟防火墙之间相互独立，一般情况下不允许相互通信。通过虚拟防火墙技术将配置、转发完全隔离，从而实现功能定制、个性化管理以及资源的最大化利用。

在华为系列设备中，虚拟防火墙技术被称为虚拟系统（Virtual System），华为系列防火墙上存在两种类型的虚拟系统：根系统（Public）和虚拟系统（VSYS），根系统是防火墙上缺省存在的一个特殊的虚拟系统，即使虚拟系统功能未启用，根系统也依然存在。此时，管理员对 FW 进行配置等同于对根系统进行配置。启用虚拟系统功能后，根系统会继承先前防火墙上的配置。在虚拟系统这个特性中，根系统的作用是管理其他虚拟系统，并为虚拟系统间的通信提供服务。而 VSYS 是在防火墙上划分出来的、独立运行的逻辑设备，通过绑定接口等资源，为不同网管系统提供不同的 VSYS。每个 VSYS 在创建时会分配一个虚拟系统 ID 和虚拟接口（Virtual-if），创建虚拟系统后，根系统下会生成 Virtual-if 0 接口，虚拟系统从 1 开始分配。根系统与虚拟系统通过 Virtual-if 接口进行通信，如图 2 所示。

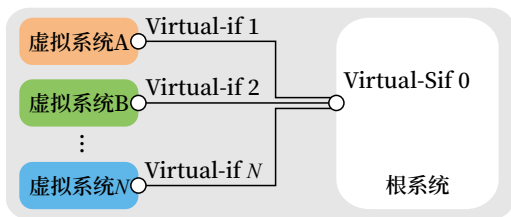


图2 虚拟接口  
Fig.2 Virtual interface

虚拟系统数据转发：报文在接入口上被打上标

记，此标记即为接口所属虚拟系统 ID。通过虚拟系统 ID 来查找其对应的 FIB 表、策略或者规则等，来正确处理报文。利用防火墙虚拟化技术可以有效解决不同信息系统业务隔离、控制分离和个性化定制问题，使各信息业务系统既在物理上共享一套网络安全管理平台进行网络安全管控，又在逻辑上各自网络分离，网络间互不相通。

## 2 上海局组网情况和问题分析

上海局铁路通信网络系统包括数据通信网系统、传输网系统、同步网系统、接入网系统、GSM-R 网系统、电源环监系统、视频监控系统、应急通信和可视会议等多种网络系统。各系统网络相互独立，各自业务和管理隔离，无相互访问需求，如图 3 所示。数据通信网系统和传输网系统作为承载网系统，为上海局各类业务提供通道。随着承载业务量及业务种类的增多，承载网网络安全等级也随之提高。根据《信息系统安全等级保护基本要求》（GB/T 22239-2008）以及《铁路通信网络安全技术要求第 2 部分：承载网》规范要求，上海局数据通信网系统和传输网系统均需边界增加防火墙设备，启用访问控制功能，依据安全策略控制用户对资源的访问。不同系统增加的防火墙设备型号厂家各不相同，无法进行统一管理，大大提升了各系统网络安全维护难度。

## 3 优化思路与配置

利用防火墙虚拟化技术可以有效解决各网管系统业务隔离、控制分离和个性化定制问题，使各业务网管系统既在物理上共享一套网络安全管理平台进行网络安全管控，又在逻辑上各自网络分离，网络间互不相通。

防火墙的虚拟化技术，就是在共享 CPU、内存等物理资源的基础上，将一台物理防火墙从逻辑上划分为多台虚拟防火墙，不同的虚拟防火墙之间，配置、转发完全隔离，从而实现功能定制、个性化管理以及资源的最大化利用。

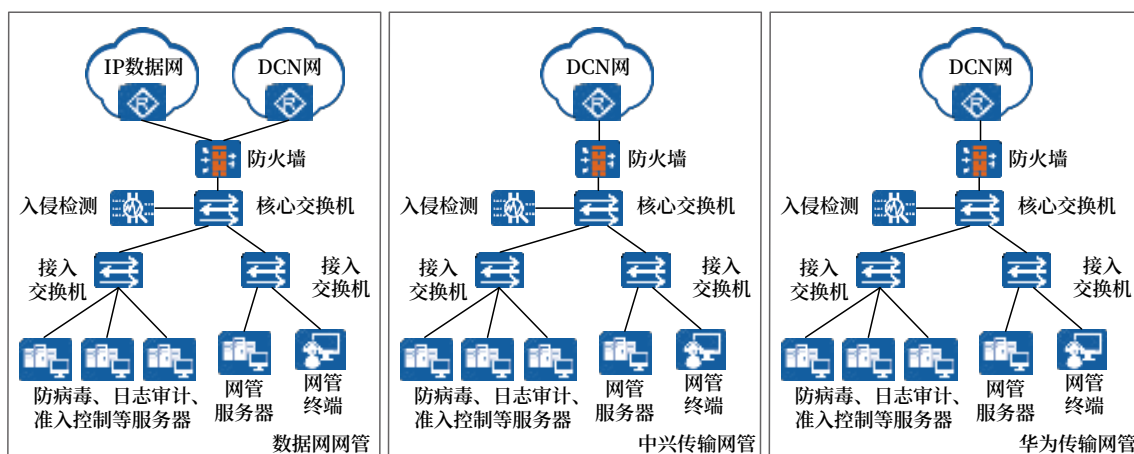


图3 各网管系统安全组网示意

Fig.3 Schematic of secure networking of network management systems

通过应用防火墙虚拟系统可以很好地实现一套安全等保设备，对多个网管系统进行安全管理的需求。

通过虚拟防火墙技术，将入侵检测、日志审计、堡垒机、防病毒、数据库审计、准入控制等公共安全服务器划为根系统。数据网网管接入交换机

与相应防火墙上行接口划为数据网（SJW）虚拟系统，华为传输网管接入交换机与相应防火墙上行接口划为华为传输（HWCS）虚拟系统，中兴传输网管接入交换机与相应防火墙上行接口划为中兴传输（ZXCS）虚拟系统，如图4所示。

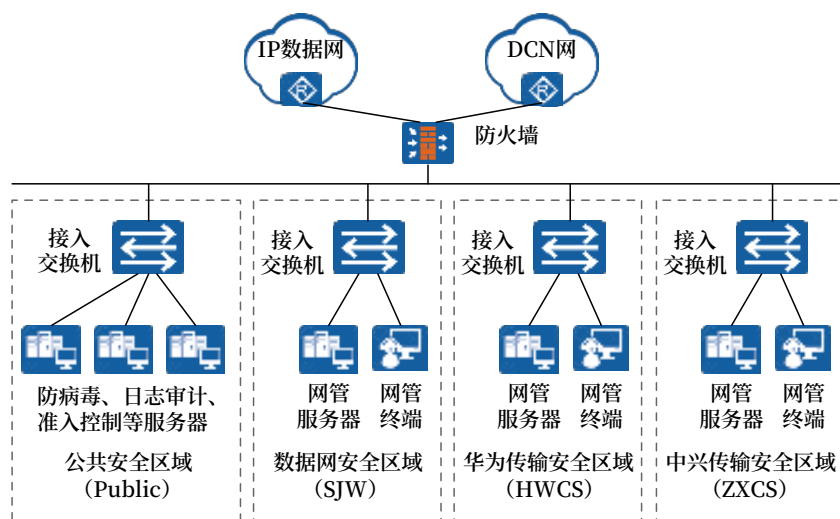


图4 网络安全物理连接

Fig.4 Sketch of network security physical connection

在防火墙进行相关路由配置，可以实现各虚拟系统与根系统互访的同时，各虚拟系统之间不能相互访问。做到了安全设备的充分利用，在逻辑上各系统又相互隔离，保证业务系统间的安全。在逻辑上各网管系统组网与传统组网方式一致，能正常与各安全服务器通信，逻辑关系如图5所示。

在启用虚拟防火墙技术后，系统存在根系统、

数据网虚拟系统（VSYS SJW）、华为传输网虚拟系统（VSYS HWCS）和中兴传输网虚拟系统（VSYS ZXCS），同时生成相关虚拟专用网络（Virtual Private Network, VPN）实例和虚拟系统实例、Virtual-if 接口。

其中安全平台区域部署堡垒机、防病毒、日志审计、网络审计、安全管理中心平台等公共安

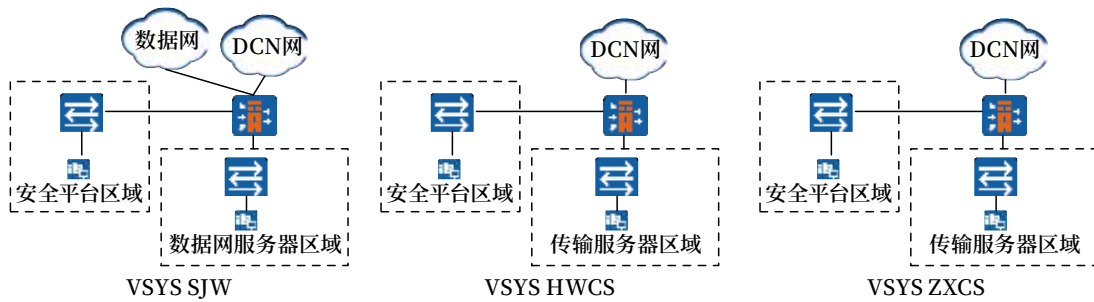


图5 虚拟防火墙系统逻辑连接  
Fig.5 Logical connection diagram of virtual firewall system

全设备，直接属于 Public。与 VSYS SJW、VSYS HWCS、VSYS ZXCS 各服务器通过防火墙系统内部 Virtual-if 接口互通。数据网服务器、对接数据网路由器和 DCN 出口为 VSYS SJW 内，通过静态、动态等路由协议，在 VPN 实例内互通。华为传输服务器、对接 DCN 路由器出口为 VSYS HWCS，通过静态、动态等路由协议，在 VPN 实例内互通。中兴传输服务器、对接 DCN 路由器出口为 VSYS ZXCS，通过静态、动态等路由协议，在 VPN 实例内互通。

在虚拟系统间，各系统的管理、安全策略、数据配置是独立存在的，根系统管理员 admin 用户可以管理整台防火墙设备。

各虚拟系统管理员只能看到本身系统内的端口、账号、安全策略、策略日志等信息。

根系统管理员管理安全策略为 Public 下安全策略，无法直接管理虚拟系统下的安全策略，虚拟系统管理员管理自身虚拟系统下的安全策略。

#### 4 结论

本文主要采用虚拟防火墙技术有效解决上海局数据通信网及传输网网管系统网络安全隔离、访问控制分离问题，使数据通信网及传输网网管系统既在物理上共享一套网络安全管理平台进行网络安全管控，又在逻辑上各自网络分离，实现网络安全统一管理，保障铁路承载业务系统更加安全、可靠、高效。

#### 参考文献

[1] 邹景燎. 虚拟防火墙的前世今生 [J]. 保密科学

技术, 2017 (10): 23-25.

Zou Jingliao. Past Lives of Virtual Firewall[J]. Secrecy Science and Technology, 2017(10): 23-25.

[2] 刘龙. 数据中心虚拟防火墙的设计与实现 [D]. 济南: 山东大学, 2015.

[3] 田爱宝. 中国石油大学: 防火墙虚拟化应用于虚拟网 [J]. 中国教育网络, 2015 (1): 52-53. Tian Aibao. China Shiyou University: Firewall Virtualization Applied to Virtual Network[J]. China Education Network, 2015(1): 52-53.

[4] 王宝石. 防火墙实现原理与应用部署研究 [J]. 中国传媒科技, 2019 (1): 107-110. Wang Baoshi. Research on Implementation Principle and Application Deployment of Firewall[J]. Science & Technology for China's Mass Media, 2019(1): 107-110.

[5] 易磊磊. 使用虚拟化技术简化复杂的安全网络架构 [J]. 科技风, 2012 (12): 17-18. Yi Leilei. Simplify the Complex Security Network Architecture with Virtualization Technology[J]. Technology Wind, 2012(12): 17-18.

[6] 张斌. 探讨双路虚拟防火墙在民航气象信息安全体系的应用 [C] // 第 34 届中国气象学会年会 S20 气象数据: 深度应用和标准化论文集. 郑州, 2017: 193-200.

[7] 杨雪婵. 管理虚拟防火墙 [J]. 网络安全和信息化, 2018 (2): 135-138. Yang Xuechan. Manage Virtual Firewalls[J]. Security & Informatization, 2018(2): 135-138.

[8] 周学兵, 王坚, 陈小柱, 等. 网络虚拟化在智

- 能铁路调度中心的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (9): 43-48.
- Zhou Xuebing, Wang Jian, Chen Xiaozhu, et al. Application of Network Virtualization in Intelligent Railway Dispatching Center[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 43-48.
- [9] 王颖, 赵京京. 铁路信号安全数据网网络安全整体解决方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): : 72-76.
- Wang Ying, Zhao Jingjing. Research on Network Security System Solution of Railway Signaling Safety Data Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 72-76.
- [10] 胡楠. 虚拟防火墙在供电公司广域网络架构中的应用 [J]. 科技资讯, 2012, 10 (1): 27-29.
- Hu Nan. Application of Virtual Firewall in Wide Area Network Architecture of Power Supply Company[J]. Science & Technology Information, 2012, 10(1): 27-29.
- [11] 王志红, 成彪. 虚拟防火墙在企业网络中的应用 [J]. 价值工程, 2011, 30 (26): 127.
- Wang Zhihong, Cheng Biao. Virtual Firewall is Applied in the Enterprise Network[J]. Value Engineering, 2011, 30(26): 127.
- [12] 杨丽波, 朱迅. 思科 FWSM 防火墙模块研究与应用 [J]. 网络安全技术与应用, 2007 (12): 55-56.
- Yang Libo, Zhu Xun. Research and Application of Cisco FWSM Firewall Module[J]. Network Security Technology & Application, 2007(12): 55-56.

\* \* \* \* \*

## 行业信息

### 阿尔斯通公司推出带有综合编码功能的欧洲应答器

阿尔斯通公司已经推出创新型欧洲应答器, 这种应答器集成欧洲铁路交通管理系统 (ERTMS) 的简化版编码功能, 以便服务多种应用场景。推出这种创新型解决方案, 标志着在提升铁路安全标准上迈出重大一步, 可以满足在线路施工过程中提升安全性这个迫切需求。这种系统便于安装, 可以为铁路运营单位提供高性价比的方案。

阿尔斯通公司已经从负责运营比利时铁路网络的比利时基础设施管理公司 (Infrabel) 获得首个确定订单。这个订单现在涉及 50 套系统以及为期 20 年的维护服务, 未来可能涉及总共 100 套系统。阿尔斯通公司位于法国维勒班 (Villeurbanne) 和比利时沙勒罗瓦 (Charleroi) 的工程和制造单位企业将会负责生产工作。

这个解决方案将会首次部署在比利时基础设施管理公司的线路上, 包括用于保护线路施工人员的自动报警系统。通过自动向列车发送“停车”或者“前进”消息, 这个解决方案可以有效确保施工区域的安全。

阿尔斯通公司负责比利时市场的董事总经理伯纳德·贝尔沃 (Bernard Belvaux) 表示, “阿尔斯通公司很骄傲可以将这种改变游戏规则超级应答器投放市场。这种创新体现出我们致力于通过数字解决方案提升铁路安全性, 以便满足这个行业不断变化的需求。”

如果应用在欧洲列车控制系统 1 级 (ETCS L1) 有限监督模式 (LS) 下, 这个解决方案可以自主从 16 种可能的消息中选择正确的消息, 并且按照 SIL4 (最高安全完整性等级) 的要求将正确的消息发送给列车。这种系统便于安装, 在单一产品中集成欧洲应答器和编码功能, 可以为客户提供非常有竞争力的解决方案。

此外, 这个解决方案可以满足在线路维护过程中提升安全性这个重要需求。通过允许运营人员远程控制列车运行, 这种系统可以最大限度降低事故风险, 并且提升整体安全标准。欧洲应答器可以用于进行数据传输和列车定位, 以及满足 ERTMS 系统的要求。这种先进的应答器基于阿尔斯通公司的 Onvia 应答器技术, 这种技术在全球范围内应用在超过 40 万套应答器中, 可以大幅提升铁路运营安全性。

(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 2023-11-28)

## 通信光缆障碍的分析查找及处置

姚 伟

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200434)

**摘要:** 探讨铁路通信光缆维护过程中发生的常见障碍, 针对障碍如何进行分析查找、处置进行探索。根据光纤纤芯阻断情况, 将光缆障碍分为完全阻断障碍、部分阻断障碍和光纤衰耗过大导致的障碍等几种类型, 分析造成光缆障碍的原因, 包括自然灾害、外力因素、人为因素及光缆自身缺陷等。针对不同类型的光缆障碍提出相应的处理方法, 包括确定故障障碍处置原则、抢通和恢复顺序, 以及查找和处理光缆故障(障碍点)等。强调铁路通信光缆线路的日常维护管理至关重要, 以确保铁路通信设备能够安全运行, 从而保障铁路运输的安全。

**关键词:** 通信光缆; 障碍; 分析; 处置

中图分类号: U285.16

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0066-06

### Analysis, Locating and Disposal of Obstacles of Communication Optical Cables

Yao Wei

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

**Abstract:** This paper aims to discuss the common obstacles detected during the maintenance of railway communication optical cables, and explore the methods to analyze and locate and deal with such obstacles. According to the situation of fiber core blocking, the obstacles of optical cables are divided into several types, such as complete blocking, partial blocking, and excessive fiber attenuation. The causes of optical cable obstacles are analyzed, and are divided into natural disasters, external forces, human factors, and cable defects. For different types of optical cable obstacles, corresponding handling methods are proposed, including the principles for dealing with faults and obstacles, the sequences for achieving emergent reconnection and recovery, and the methods for locating and dealing with cable fault points. This paper emphasizes the importance of day-to-day maintenance management of railway communication optical cable lines, to ensure the safe operation of railway communication equipment, so as to guarantee the safety of railway transportation.

**Keywords:** communication optical cable; obstacle; analysis; disposal

收稿日期: 2023-07-28; 修回日期: 2023-10-30

作者简介: 姚伟(1979—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道通信、光纤通信, 邮箱: 13615586668@139.com。

通信光缆在铁路通信承载网中扮演着至关重要的角色, 为各种业务之间的传输提供通信信息通道, 铁路通信光缆的稳定运行至关重要, 现就通信光缆

日常维护和管理，发生故障后的分析处置进行探讨，以进一步提升应急处置能力，缩短障碍延时。

## 1 通信光缆线路常见故障（障碍）及原因

根据光缆纤芯阻断情况，可以将光缆障碍类型划分为4种：完全阻断障碍、部分阻断障碍、光纤衰耗过大导致的障碍以及机房线路终端障碍。本文重点论述前3种故障（障碍），机房线终端障碍不再赘述。

根据光缆承载通信业务运用情况可将光缆障碍分为：通信全部中断、个别系统通信中断、个别系统通信质量下降等3种情况。

### 1.1 光缆线路障碍现象

1) 光缆全阻障碍造成该光缆承载的通信业务全部中断，主要现象是网管终端上报承载在该光缆上的所有通信业务本端、对端无信息交换，收不到对方传送光。

2) 光缆部分阻断障碍，网管监控终端上报个别系统通信中断。

3) 光纤衰耗过大造成的障碍，网管监控终端上报个别系统通信质量下降，日常检修发现备用纤芯有较大插入损耗。

### 1.2 光缆线路故障（障碍）产生的原因分析

光缆线路障碍原因大致可分为自然灾害、外力因素、人为因素及光缆自身缺陷4类。

#### 1.2.1 外力因素导致的光缆线路故障

1) 挖掘：挖掘是导致直埋光缆和管道光缆损坏的最主要因素之一。在建筑施工、地下设备维修、道路修建、沟渠开挖、农田机械化作业等活动中，都存在对光缆线路造成潜在威胁的风险。

2) 砸伤：在槽道敷设区段光缆，踩踏盖板、盖板与槽道不匹配、槽道塌陷等情况易造成盖板脱落，砸伤槽道内光缆。

3) 直埋径路物理变化：直埋区段光缆径路塌陷易造成光缆受损，也存在直埋光缆径路树木根系生长挤压光缆现象。

4) 啮齿类啃咬：啮齿类动物喜啃咬坚硬物体，

对槽道、管道以及通信机房光缆存在安全隐患。

5) 白蚁：白蚁挖掘能力较强，危害建筑物、光缆以及接头盒。

#### 1.2.2 自然灾害导致的光缆线路故障

自然灾害是光缆线路障碍的主要原因之一，其中包括火灾、洪水、雷击和电击等因素。当光缆径路上发生火灾时，高温会导致光缆线路损坏；洪水可能会冲断光缆，或者使光缆长时间在水中浸泡，从而导致衰减增大；当光缆线路上或附近遭受雷击时，高电压放电可能会损伤光缆；而当高压输电线与光缆相碰时，强大的高压放电电流也可能导致光缆烧损。

#### 1.2.3 光纤自身原因导致的光缆线路故障

1) 自然断纤：是指由于光纤材料（如玻璃和塑料纤维）的老化和静态疲劳，随着时间的推移，光纤会逐渐变得脆弱并最终断裂。

2) 自身工艺：光纤纤芯包层以及涂覆层工艺不达标，投入使用后包层畸变以及涂覆层脱落，造成光信号传输衰减增大。

#### 1.2.4 人为原因造成的光缆线路障碍

1) 偷窃：人为盗割光缆，导致光缆线路障碍。

2) 破坏：人为蓄意破坏，导致光缆线路障碍。

3) 作业人员操作错误：在光缆接续过程中，可能会遇到多种导致光纤断纤的问题，例如：光缆弯曲半径过小；在不中断业务的情况下错误地割断了正在使用的光缆；开拨时光缆被划伤；接头盒封装时加强芯固定不紧及接续质量不佳等因素。

## 2 通信光缆故障（障碍）处置原则

在处理通信光缆线路故障（障碍）时，应遵循“先抢通后修复”“先行车后一般”和“先干局线后地区”的原则。根据电路和业务级别进行抢修，以将故障（障碍）的影响降到最低。

通信光缆线路发生故障（障碍）时，应及时准确判断部位、区段，并启动相应应急处置预案，迅速组织修复，努力缩短故障（障碍）延时。在涉及行车调度指挥、铁路行车安全保障及信息系统等重

要通信设备和电路的通信故障发生时，应立即采取应急措施，如倒代、迂回等，以将故障影响控制在最小范围内。处理障碍时，要求做到“五清”，即明确时间、地点、原因、影响范围和处理过程。

### 2.1 光缆故障（障碍）处置流程

为能够清晰表述障碍处置各个环节，便于分析改进障碍处置步骤，编制光缆故障障碍处置流程，如图1所示。

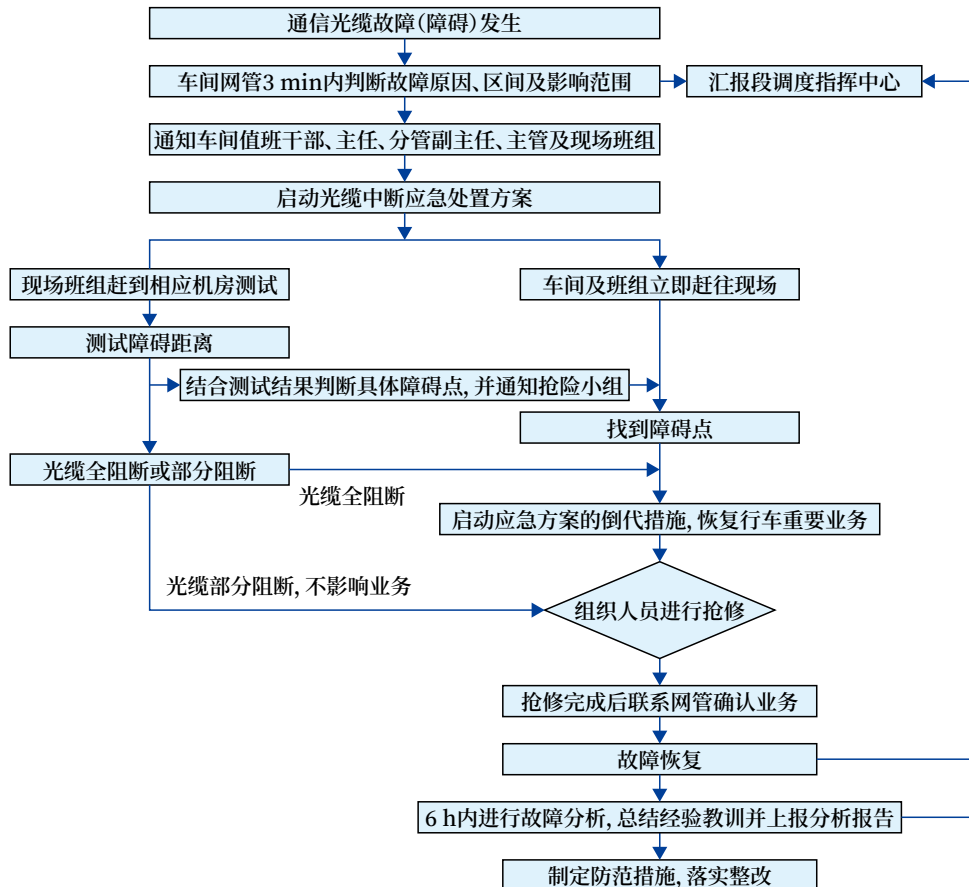


图1 光缆故障（障碍）处置流程  
Fig.1 Flow chart of dealing with faults and obstacles

### 2.2 铁路通信线路故障（障碍）抢通和恢复顺序

普速铁路和高速铁路通信线路故障（障碍）时的抢通和恢复顺序有所不同。普速铁路的抢通和恢复顺序包括：承载列车调度电话、站间行车电话、扳道电话、信号闭塞线路、列车调度指挥系统和调度集中系统的通道、牵引供电远动通道的传输系统；信号安全数据网通道；车辆运行安全监测通道；旅客服务系统通道；客票系统通道；车号自动识别系统通道以及其他。而高速铁路的抢通和恢复顺序则不包括车号自动识别系统通道，其余与普速铁路相同。

## 3 通信光缆故障（障碍）分析

光缆故障（障碍）信息主要来源网管上报异常监测信息以及日常检修光缆测试异常数据，光缆承载业务网管终端监测信息主要是光通信是否正常以及光功率变化情况，通过分析判断光缆故障（障碍）对应区间，根据对应区间到达通信机房仪器测试后再进一步精确定位。

### 3.1 光缆故障（障碍）判断常用仪器

常用仪器有：光万用表和光时域反射仪（OTDR）。其中 OTDR 测量数据，通过分析能精准定位障碍点。



### 3.1.1 OTDR参数设置要求

故障（障碍）光缆纤芯测试时，OTDR 需根据纤芯测试设置脉宽、测试时间、有效折射率和测试量程。

其参数设置要求如下。

1) 脉宽与测试时间设置，如表 1 所示。

表 1 脉宽与测试时间设置参照

Tab.1 Reference table of pulse width and testing time configurations

距离/km	脉宽	平均时间
≤ 30	300 ns	30 s ~ 1 min
≤ 50	1 μs	30 s ~ 1 min
≤ 80	1 μs	1.5 min
≥ 100	3 μs	3 min

2) 有效折射率：依据厂家出厂光纤折射率设定 1 310 nm/1 550 nm 折射率设置为 1.460 ~ 1.480 之间。

3) 量程设置：设置为实际距离 1.5 ~ 2 倍。

### 3.1.2 OTDR纤芯测试曲线分析

1) 正常光纤测试曲线

判断曲线是否正常，可以通过观察曲线视图主体的斜率来判断，要求曲线斜率较小且是一条光滑直线，从而说明线路衰减系数较小、衰减的不均匀性较好。

2) 异常光纤曲线分析

a. 曲线图中有大台阶

如果测试曲线中出现明显的“台阶”，若该处是接头，则表示该光纤在盘纤盒中的受挤压、打小弯或此接头接续不合格；若该处不是接头，则此处光缆可能受到了外力挤压。

b. 曲线远端无反射峰

测试曲线远端尾部无反射峰，此段光纤光信号无回波，说明光纤远端受损在此处中断。

c. 光纤跳接点衰耗大

两段光纤连通采用跳纤进行连接，跳接点尾纤端面平整光滑产生反射峰，反射峰两段曲线斜率基本一致斜率较小，出现明显台阶说明该跳接点跳接质量不良衰耗大。

d. 测试无曲线

需重新设置 OTDR 相关参数，把测试距离、

脉冲调到最小，如仍无测试曲线说明光纤配线架（ODF）内法兰障碍或纤芯障碍点距离较近，法兰更换后仍然无测试曲线，需在测试光纤前介入 2 km 裸纤光纤消除测试盲区，再进行测试定位。

综上所述各事件曲线，如图 2 所示。

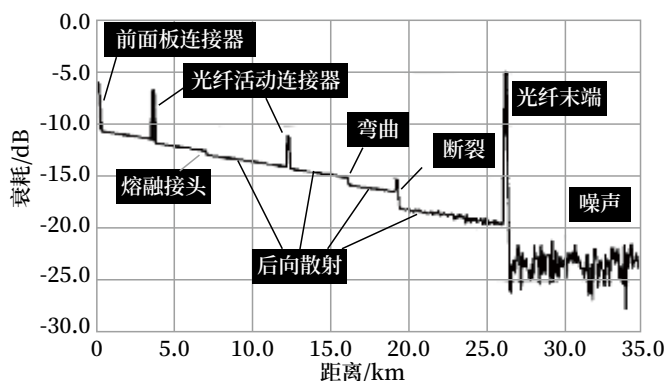


图2 各事件曲线

Fig.2 Curves for various events

## 4 通信光缆障碍查找

### 4.1 光缆完全阻断障碍

光缆完全阻断障碍通常是由外部因素引起的，因此障碍点相对容易找到，主要原因为外界施工或自然灾害等外力影响造成光缆阻断，此时光缆路由上一般都有比较明显的变化或破坏痕迹。通过 OTDR 测试数据和台账资料确定障碍点的初步位置后，组织现场人员沿光缆路由巡查，找到障碍点。但要注意的是当线路路由上有明显痕迹，但光缆无明显损伤时，不能轻易下结论障碍点就在此处，而应当扩大搜索范围，防止一些假象引发错误作业。

### 4.2 部分阻断障碍

排除设备故障的前提下，通过 OTDR 测试曲线与线路图纸核对确定相近接头点位置，根据维护资料判断是否为接头盒内光纤障碍，距离相近可初步判断为光缆接头盒内障碍。如果障碍点与接头的距离相差很大，很可能是光缆障碍。这类障碍通常比较难以找到，若定位不准确就盲目查找的话，可能会导致不必要的人力和物力浪费。例如，直埋式光缆需要大量的土方开挖来处理障碍，这会延长处置时间。因此，可以采用精确的方法来确定障碍点的位置。

#### 4.2.1 接头盒纤芯“○”型弯曲定位法

当障碍点附近线路上没有明显变化时,巡查人员很难通过路由上的异常现象找到障碍点。这时根据图纸资料与 OTDR 测试的障碍点距离进行核对,确定障碍点位于哪两个接头盒之间。打开距离障碍点最近的光缆接头盒,对接头盒内未承载业务的备用纤芯打“○”型弯曲处理,弯曲半径控制在 2.5~5 mm 之间,OTDR 测试该弯曲点光信号产生较强回波形成较大“台阶”或远端无反射峰。拆除纤芯“○”弯曲,光纤测试曲线斜率均匀远端有反射峰,测试“○”弯曲纤芯距离与障碍纤芯障碍点距离对比,确定障碍点距离该接头盒位置。

#### 4.2.2 光缆“开天窗”定位法

光缆路由无明显异常变化且光缆障碍点距离两端接头盒位置都较远,可采用光缆“开天窗”定位法,天窗开在障碍区域附近 200 m 范围内,便于障碍点查到后割接。

开天窗障碍点定位是针对直埋区段或者槽道区段光缆采取的障碍定位法,根据缆线冗余情况光缆开天窗分为:环切窗、富裕窗两种方式。

环切窗:用横环切刀、纵向开剥刀沿光缆确定方向进行开剥,将这一段内外护套全部剥掉后裸露束管的部分,称为“环切窗”。该方法主要用于障碍定位判断。

富裕窗:光缆长度有冗余,先将余缆拉回,然后确定开剥位置和长度,用横向环切刀在确定位置两端进行环切,并用纵向开剥刀进行开剥,直到将内外护套剥除掉,找到障碍光纤或束管,进行熔接处理,而对未发生障碍的光纤或束管直接收容,由于该方法有冗余,故称为“富裕窗”。该方法主要用于槽道区段部分光缆个别束管内纤芯障碍或单纤芯障碍处置。

障碍判断“环切窗”开天窗操作步骤:

1) 清洁光缆 1 m 左右,把清洁后的光缆整理平直。

2) 采用纵剥刀开剥光缆外护套,开剥长度根据接头盒腔体长度(光缆接头盒腔体长一般为 350~

450 mm)开天窗长度应控制在小于接头盒腔体长度 50 mm 以内,再用环切刀绕光缆环切一圈去掉纵剥开的外护套。

3) 光缆内护套开剥采用外护套同样开剥方式,也可用美工刀沿光缆内护套垂直对称划开内护套,美工刀的刀口深度控制在 0.5 mm 以内。

4) 去除束管油膏填充物以及缠绕的丝线,将束管扭绞分开,不中断加强芯。

5) 取出无承载业务的备用纤芯束管,用束管到纵向开剥束管,开剥长度比光缆外护套纵向开剥小 100 mm。

6) 清除开剥后束管内光纤填充阻水膏,备用纤芯打“○”型弯曲进行测试,测试数据与障碍数据进行对比,进一步确定障碍点。

7) 该光缆开过天窗后如需恢复,纵剥束管采用保护软管破开保护纤芯,光缆纵向开剥处安装接头盒进行防护处理。

#### 4.2.3 数值换算定位法

由于 OTDR 测量的是光缆内光纤纤芯长度而不是光缆长度,所以在实际寻找故障点时就存在明显的偏差。由于纤长大于缆长,所以在寻找故障点时就应该向反方向巡查,如测量到 10 km 处断,应该在 9~10 km 段巡查。当然如果采用光纤纤芯长度与光缆皮长换算,那么对精确定位会有很大的帮助。光纤纤芯长度与光缆皮长换算如公式(1)所示。

$$La = \frac{S_1 - S_2 \times n}{1 + P} \quad (1)$$

其中:La 表示光缆长度;S<sub>1</sub> 表示测试距离长度;S<sub>2</sub> 表示光缆接头盒内的盘留长度;n 表示接头数量;P 表示光缆的绞缩率,因光缆结构不同而异,绞缩率通常在 5%~10%之间,也有的厂家提供该项指标。通过换算光纤纤芯长度与光缆皮长对应关系约为 1.005:1(单位 m)。

## 5 通信光缆故障(障碍)点处理

### 5.1 光缆接头盒障碍处理

打开障碍接头盒,检查接头盒是否存在以下问题。

1) 光纤接续托盘内光纤盘留不规范会导致光纤在托盘内产生扭力, 接头盒震动也会引起光纤弹起至托纤盘边缘或盘上螺丝处。长时间的震动和挤压可能会导致插损增大, 严重情况下甚至会压伤、压断光纤。

2) 若光纤收容时弯曲半径过小, 会产生较大的静态疲劳和弯曲损耗。在 1.31  $\mu\text{m}$  波长的测试中, 该损耗变化可能不太明显; 但在 1.550  $\mu\text{m}$  波长的测试中, 接头损耗会显著增大。

3) 光纤熔接时, 如果裸光纤开剥过长, 热缩保护管保护位置不准确, 导致一部分裸光纤在保护管之外, 可能会导致裸光纤断裂。

4) 在光纤接续过程中, 如果纤芯除涂覆层时受到损伤, 长时间后这种损伤会劣化, 从而导致接头损耗逐渐增加。

5) 接头盒密封不严进水, 导致接头盒内金属部件锈蚀, 腐蚀光纤纤芯造成光缆纤芯中断或衰减增大, 冬季结冰导致光纤损耗大, 甚至发生断纤。

6) 接头盒加强芯松动造成纤芯束管扭绞, 造成光纤该处插入损耗增大。

处理方法: 对存在弯曲半径过小的光纤进行整理, 对故障光纤进行重新熔接接续, 进水接头更换接头盒盒体重新进行密封处理, 松动加强芯释放扭力重新进行紧固处理。

### 5.2 单芯或多芯光纤非接头盒处障碍处理

单芯或多芯光纤非接头盒处障碍多为砸伤或缆线受外力扭绞, 如有明显的扭绞, 进行顺直处理后再次测试纤芯性能, 若扭伤不严重, 性能则可恢复; 如果扭伤严重或砸伤部分束管, 对障碍光缆纤芯可采用“富裕窗”开天窗法进行重新接续处理。

### 5.3 光缆全阻障碍处理

外力因素、自然灾害造成光缆全阻障碍, 对中断光缆进行接续处理, 介入光缆应该采用与障碍光缆由同一家工厂生产的相同规格型号的光缆。同时应尽量避免光缆接头和减少光纤接续损耗, 介入其

长度一般应不小于 200 m, 光纤接头双向平均损耗应不大于 0.08 dB。

## 6 结束语

通过上述对铁路通信光缆故障(障碍)的分析查找及处置论述, 可认识到通信光缆障碍处置是一项复杂的问题, 分析处理障碍还有许多方面需要进一步探讨。综上所述, 铁路通信光缆线路日常维护应从源头治理防范, 从细节入手抓好通信线路日常维护管理, 提升通信光缆线路运用质量, 保证铁路通信设备安全运行, 保障铁路运输安全。

### 参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 高速铁路通信技术-无线通信终端 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [2] 中国铁路上海局集团有限公司上海通信段. 铁路建设工程通信配合指南 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.
- [3] 中华人民共和国工业和信息化部. 光缆型号命名方法: YD/T 908-2020 [S]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部. 光缆线路性能测量方法 第 1 部分: 链路衰减: YD/T 1588.1-2020 [S]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
- [5] 中华人民共和国工业和信息化部. 光缆线路性能测量方法 第 2 部分: 光纤接头损耗: YD/T 1588.2-2020 [S]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
- [6] 李仁友. 基于铁路通信光缆维护要点分析与故障处理探究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(2): 72-74.  
Li Renyou. Research on Maintenance Key Points Analysis and Fault Handling Based on Railway Communication Optical Cable [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 72-74.

# 市域铁路中CBTC与CTCS互联互通设计分析

张甬涛<sup>1</sup>, 周欣<sup>1</sup>, 金捷<sup>2</sup>, 朱锁明<sup>1</sup>

- (1. 卡斯柯信号有限公司, 上海 200436;  
2. 上海申通地铁集团有限公司, 上海 200031)

**摘要:** 国内核心都市圈的发展规划同时承担拉开城市框架的市域铁路建设提速, 市域铁路信号系统的选型需求也日益迫切。结合信号系统行业现状和技术规范, 市域铁路信号系统选型主要是CTCS-2+ATO系统、CBTC系统等。地铁CBTC制式和国家铁路CTCS制式的选择与融合需充分讨论。结合车载架构、地面设备、系统软硬件、通信协议等方面两套系统需综合考虑。从市域铁路信号选型的需求出发讨论CTCS-2和CBTC两种方案互相融合及互联互通的可能性。将从CTCS-2和CBTC互相完全融合, 互联互通, 双套切换的3种不同方案提出相关设计并分析可行性。特别是针对互联互通的需求, 对互联互通方案、接口、切换区域和切换流程等进行研究分析, 给出详细的方案。互联互通方案比完全融合方案可行性更高。

**关键词:** 市域铁路; CBTC; 中国列车控制系统; 互联互通; 设计分析

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0072-06

## Design Analysis of Interoperability Between CBTC and CTCS in Suburban Railways

Zhang Yongtao<sup>1</sup>, Zhou Xin<sup>1</sup>, Jin Jie<sup>2</sup>, Zhu Suoming<sup>1</sup>

- (1. CASCO Signal Ltd., Shanghai 200436, China)

- (2. Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., Shanghai 200031, China)

**Abstract:** With the issuance of the development plans for core metropolitan areas in China, and the acceleration of the construction of suburban railways that expand the urban framework, there is an increasingly urgent demand for the selection of signal system modes for suburban railways. In view of the status and technical specifications of the signal system industry, the main signal system modes selected for suburban railways are CTCS-2+ATO system, CBTC system, etc. Therefore, a sufficient discussion is needed for the selection of and integration between CBTC system for metro lines and CTCS system for national railways. The two systems need to be comprehensively considered in terms of onboard equipment architecture, wayside equipment, system software and hardware, communication

收稿日期: 2023-04-15; 修回日期: 2023-11-02

基金项目: 上海市自然科学基金资助项目(22ZR1422200)

第一作者: 张甬涛(1988—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: zhangyongtao@casco.com.cn.

protocol, etc. This paper discusses the possibility of integration and interoperability between CTCS-2 and CBTC on the basis of the requirements for the selection of signal system modes for suburban railways. It proposes relevant designs and conducts feasibility analysis for three different schemes, i.e. CTCS-2 and CBTC fully integrated with each other, interoperable with each other and switching between each other. In particular, it performs research and analysis in terms of the interoperability scheme, interfaces, switching area, switching process, etc., and provides detailed schemes, on the basis of the requirements for interoperability. The interoperability scheme is found to be more feasible than the full-integration scheme.

**Keywords:** suburban railway; CBTC; CTCS; interoperability; design analysis

设计速度 100 ~ 160 km/h 的市域(郊)铁路,一般是中心城市连接外围城镇,作为快速便捷的交通系统多布局在经济发达、人口聚集都市圈内的中心城市,以满足 1 h 通勤圈快速出行需求。文献 [1] 中划分都市快线和市郊铁路共同组成了市域快速轨道交通。国内的市域铁路有:温州 S1 线、重庆江跳线、成都 18 号线、北京 S2 线、上海金山铁路等。国内市域(郊)铁路里程仅千余公里,远不及地铁的 7 000 多 km 里程。相较于发达国家的纽约、东京、伦敦等都市圈交通建设,市域铁路规模相对薄弱,发展潜力较大。

2004 年原铁道部参照欧洲列车控制系统标准,并结合中国铁路具体情况,定义了中国列车控制系统(Chinese Train Control System, CTCS)的 5 个等级:CTCS-0、CTCS-1 级是用于普速铁路的固定闭塞模式控制系统;CTCS-2、CTCS-3 级是高速铁路和城际铁路常用的准移动闭塞模式列控系统;CTCS-4 级是基于无线的移动闭塞列车运行控制系统。地铁信号控制采用基于通信的列车自动控制系统(Communication Based Train Control System, CBTC)。近年来中国发布的《市域(郊)铁路设计规范》《市域快轨交通技术规范》中 CTCS-2+ATO 列控系统及 CBTC 系统均为推荐的列控系统<sup>[2]</sup>。其中文献 [3] 定义的原则:1) 市域铁路信号可采用 CTCS 制式或 ATC 制式;2) 与干线铁路、城际铁路跨线运行的市域铁路信号系统采用 CTCS 制式。

CTCS 主要针对适用于城际铁路的 CTCS-2+

ATO 列车运行控制系统。由于市域铁路的站线范围、运营规程不同,信号系统关注的市域铁路特殊需求、追踪间隔和功能架构不同于国铁和 CBTC。因此基于 CTCS-2+ATO 和 CBTC 的系统功能架构,为实现市域铁路和地铁互联互通有如下 3 个方案:方案 1 是完全独立方案,方案 2 是大铁与地铁互相融合合并,方案 3 是互联互通方案。

## 1 CTCS和CBTC完全独立方案

完全独立方案即轨旁核心设备互相独立。车载控制器主机(CBTC 或 CTCS-2+ATO)的核心计算单元、外围设备接口单元、车辆 I/O 采集单元都独立分开。包括车载设备测速和定位等设备全部独立部署。

对于 CTCS-2+ATO 系统,列车通过线路应答器定位,结合轨道电路等读取线路数据,列车控制中心将进路状态和授权报文传给有源应答器发送至车载。车地通信将列车位置状态等发送给列车调度集中系统,结合轨道电路的占用/出清追踪列车实现调度运营<sup>[4]</sup>。市域铁路在 CTCS-2 列控系统上新增功能有:自动运行、扣车、自动折返、区间运行等级调整、车门/站台门联动和防护、节能舒适运行等自动驾驶功能<sup>[5-6]</sup>。

CTCS-2+ATO 系统需增加精确定位应答器实现精确停车;增加车门/站台门联动功能;车载增加列车自动驾驶功能;CTC 升级运行等级调整功能;联锁额外开发备站台门和站台紧急关闭的采集驱动功能。城轨 CBTC 列控系统组成有计算机联锁(CI)、区域控制器(ZC)和列车自动监督系统

(ATS) 等。联锁负责排列进路提供的轨道占用信息；ZC 主要计算列车的移动授权；ATS 对列车实时追踪显示、运行调整等功能。

因此，采用单一系统 CBTC/CTCS-2+ATO 或者配置双系统均可，具体示意如图 1 所示。

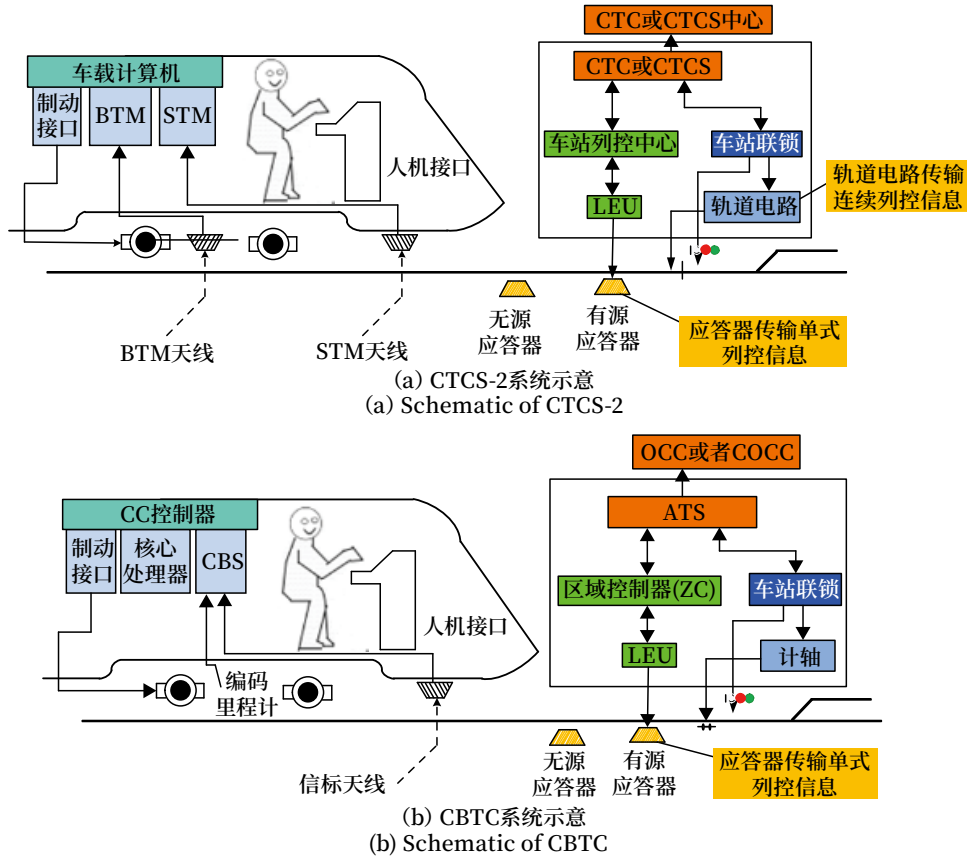


图1 CTCS-2和CBTC系统独立示意

Fig.1 Schematic of independence between CTCS-2 and CBTC

配置两套独立的系统虽然均可实现信号控制的功能，但是系统之间不能实现互联互通。

## 2 CTCS与CBTC融合方案

国铁和城轨信号系统因为架构和设计及软件数据计算不同，国铁和城轨在通信交互、数据流、编码格式也不相同，相关规范和报文编码互异。地铁CBTC、铁路的CTCS-2+ATO中的核心设备融合，列车控制中心（TCC）和ZC融合、轨旁线路控制器（LC）和TCC、临时限速服务器（TSRS）或者至少是一定程度的融合或者合并。本文从车载融合、地面融合、系统融合、通信制式协议4个方面描述融合兼容。

### 2.1 车载融合

CTCS-2 车载子系统主要功能包括：列车防护功能（计算列车速度位置、管理轨旁设备接口、计算制动曲线、管理制动命令），控车并与车辆交互信息，并将信息显示给司机，事件记录和审计，监控系统状态等。CBTC 车载则计算安全的驾驶移动信息、定位轨道上的列车、计算自动保护、设置并处理运行授权限制、监控列车能量、紧急制动触发、管理防护区域、管理列车车门、车站精确停车及全自动无人驾驶特色功能等。

CTCS-2 列控系统车载与城轨 CBTC 列控系统车载的设备组成类似，主要包括主控单元、人机界面、速度传感器和雷达传感器等测速测距设备、点式应答器传输模块、轨旁无线传输、列车接口单元、ATO

子系统、数据记录单元。同时，列控车载还有轨道电路读取器和机车综合无线通信子系统（CIR）。

CTCS-2 和 CBTC 车载设备内部子系统的融合，具体技术融合方案如下：1) 车载控制器：基于安全平台布置车载核心计算单元，或参考巴黎地铁 RER-E 的技术方案，将 CBTC 系统功能全部纳入欧洲列车控制系统（European Train Control System, ETCS）定义的专用传输模块（Specific Transmission Modulo, STM）中，额外增加扩展单元来实现多种 CBTC 的相应接口。2) 人机界面因按键和显示规范 CTCS-2 和 CBTC 差异较大，可统一显示界面，配置相同的按键和触摸屏，显示功能取舍合并至同一个显示屏。3) 应答器传输系统、车辆接口硬线和网络、ATO 子系统和数据记录单元等互相统型，软硬件统一设计即可。4) 外围设备：两套车载所需的外围设备（测速和定位设备）合并为一套部署。

## 2.2 地面融合

地面融合是指采用兼容的外围基础设备，如使用统一型号的轨道电路或计轴作为区段检测设备<sup>[11]</sup>，信号机统一显示。定位设备融合可采用相同的应答器设备和兼容的应答器系统软件。地面融合相对比较容易，地面设备和接口数据等采用通用的设计即可。

联锁系统主要的功能差异包括联锁管辖区域、站台相关功能、进路防护和道岔控制功能等。CBTC 和 CTCS-2 差异具体如下：CBTC 联锁系统实现了站区联锁一体化功能，而 CTCS 仅实现站内联锁功能。CBTC 联锁具备站台门控制、站台区域防护和扣车防护等；CTCS 站台门的关闭防护需要 TCC 控制。CBTC 联锁具有进路设置取消检查、自动触发进路、驱动轨旁设备等功能，同时具备道岔的强扳等独有功能。因此联锁融合方案主要是联锁逻辑和联锁功能在软件内部实现统一，存在一定的可能性。

## 2.3 系统融合

系统完全融合是在地面融合和车载融合均可实现的基础上，选择以 CTCS 为标准或者 CBTC 技术为标准的架构或者全新的架构，将 CBTC 的功能和

CTCS 的功能需求融合，选择合适的安全平台，开发一套全新的融合系统。

CTCS-2 列控系统的设备组成、技术方案和标准等与 CBTC 系统差异巨大，系统的管理权限、技术架构规格等适用状况也不同。复杂场景或降级模式以及算法判断条件等两个系统互异，如果强行融合，在功能安全和软件安全等方面存在耦合异构排斥等复杂场景，如何保障安全将是重中之重；同时核心设备融合，底层硬件平台和软件平台需要统一架构，相关规范体系标准等需统筹合并，面对铁路和市域铁路以及地铁的复杂需求系统开发困难重重<sup>[7]</sup>。因此地面轨旁融合来兼容不同类型车载设备的方案难度非常大，开发一套全新系统的安全风险不可忽视。

## 2.4 通信制式和协议

无线传输制式，国内 CBTC 系统多采用 WLAN 或者 LTE-M，其中 WLAN 支持列车运行速度 120 km/h 以下，LTE 支持 300 km/h<sup>[8]</sup>。CTCS-2 多采用 GSM-R 无线，因此建议互联互通采用 LTE 通信。安全传输协议：CBTC 系统安全协议常用 FSFB2、RSSP\_ I 及 RSSP\_ II，CTCS-2 系统常用 RSSP\_ II（Sub037）协议。互联互通可采用安全传输 RSSP\_ II 协议，应用层协议需要 CBTC 和 CTCS 双方统筹编号。而且对于应用层协议：一般 CTCS 采用铁路总公司的协议标准，CBTC 采用私有协议或者中城协互联互通接口协议，因此需要统筹选择其中一方作为主导<sup>[9]</sup>。

从安全通信协议的分析来看，CTCS 与 CBTC 系统融合合并存在问题较大，而核心逻辑独立地面设备融合车载兼容是具备一定的可行性。

## 3 CTCS与CBTC互联互通分析

两者互联互通主要需要考虑车载和联锁及 ATS 调度、ZC、线路控制器（LC）、列车控制中心（TCC）和临时限速服务器（TSRS）等。整个开发过程需满足欧标、国标和行业标准，完成产品测试同时通过产品安全评估和系统评估<sup>[10]</sup>，并获取相关认证。

### 3.1 互联互通方案

CTCS-2 和 CBTC 从设计编制、功能需求、软

硬件架构、轨旁设备等方面均存在较大差异，互相融合合并存在较大难度。CBTC 和 CTCS-2 互联互通主要考虑两个系统核心设备的信息交互，保持各自制式不变，在接口处进行，主要是在联锁、核心轨旁实现主要数据的交互。

### 3.2 互相接口

TCC 和 ZC 的接口通信模型如图 2 所示。

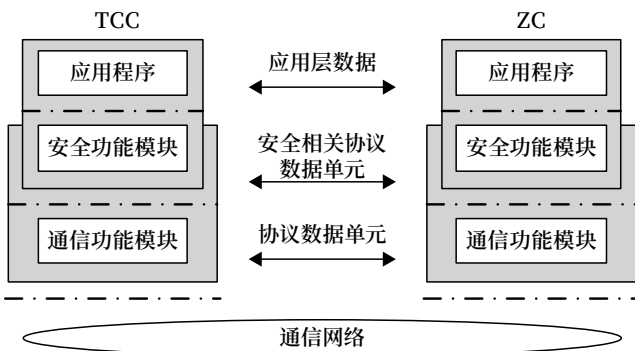


图2 TCC和ZC间通信协议模型

Fig.2 Model of communication protocol between TCC and ZC

交互机制：ZC 和 TCC 间通信采用周期发送的方式进行通信；通信双方均采用大端字节序序列进行数据传输。数据类型定义包括 ZC 和 TCC 之间通信的所有应用信息类型及其含义、发送方向、长度范围、发送方式（周期 / 非周期）进行定义。具体应用信息类型需要根据详细应用场景定义。

### 3.3 叠加覆盖转换切换区域设置来实现双套切换

信号系统为通信列车设置车辆检测与控制切换功能，通过在设置的转换区域实现两套系统控制权的交接。具体为，首先设置重叠区（Common Area）。其次定义列车详细的移交流程。列车设置两套车载控制器（CC），联锁和 ATS 及轨旁互相独立，双方的设备在重叠区共同布置。同时尽可能地采用高可信嵌入式软件实现地铁系统与铁路系统的无缝切换。

#### 3.3.1 边界列车安全包络处理方案

列车安全包络是计算列车定位的重要模型，在 CBTC 系统和 CTCS 系统互联互通中需要设置安全包络的转换区域。

如图 3 所示，列车安全包络：近端近侧包络到远端远侧包络范围，列车最大安全前端到列车最小

安全后端范围。近端、远端：以 ZC 移交边界为基准，向 ZC 内部计算，靠近 ZC 移交边界的列车端为近端，远离 ZC 移交边界的列车端为远端；近侧、远侧：以某点为基准，该点靠近 ZC 移交边界的一侧为该点的近侧，远离 ZC 移交边界的一侧为该点的远侧。

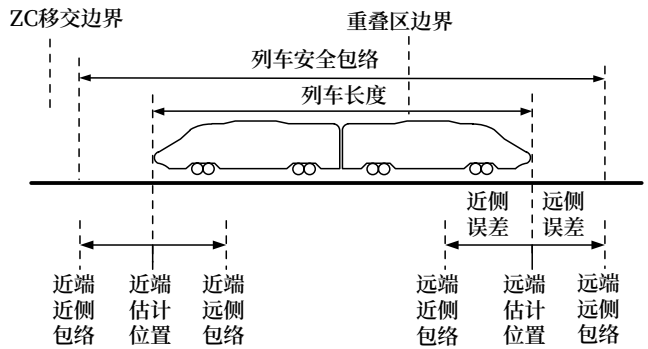


图3 列车安全包络示意

Fig.3 Schematic of train safety envelope

#### 3.3.2 列车控制权切换正常流程示例

列车控制权切换的正常流程示例如图 4 所示，其中 ZC1 为移交设备，TCC 为接管设备。通过设置 ZC1 和 TCC 管辖边界及重叠区域作为转换的流程。

控制权转换需要考虑：ZC 和 TCC 将包络处于重叠区域内的列车位置报告等列车信息周期互传，边界点的移交状态等信息周期互传。移交流程如下。  
 步骤 1：列车 1 安全包络未进入 ZC1 重叠区范围，仅与 ZC1 建立通信，移交流程未启动。列车 1 完全受 ZC1 的控制，使用 ZC1 发送的移动授权运行。  
 步骤 2：列车 1 对应最大安全包络驶入 ZC1 管辖重叠区，列车还是只跟 ZC1 通信，移交列车过程未启动。ZC1 开始向 TCC 发送列车 1 的移交列车信息。  
 步骤 3：列车 1 的安全包络完全进入 ZC1 重叠区范围后，列车 1 注册 TCC，同时与 ZC1 和 TCC 建立通信。  
 步骤 4：ZC1 为列车 1 计算的移动授权终点到达移交边界，移交流程启动。ZC1 向 TCC 发送的移交列车信息包含列车 1。  
 步骤 5：TCC 获得 ZC1 的移交状态消息中含有列车 1 的“列车移交”状态，TCC 独立计算列车 1 的相关移动授权，如果 TCC 计算的移动授权可伸入 TCC 管理范围，则 TCC 给



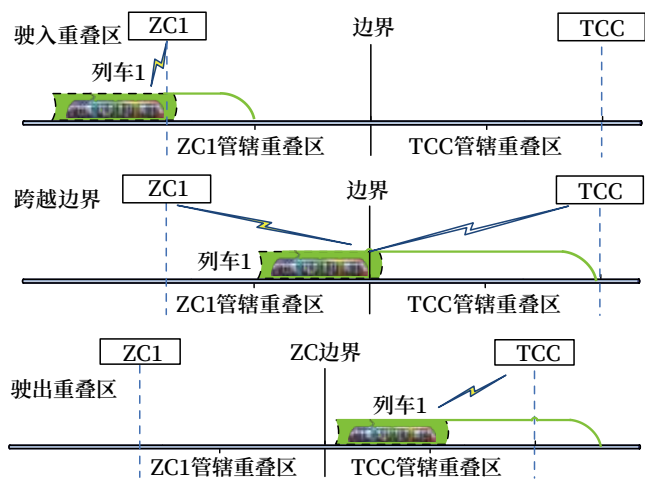


图4 列车控制权切换流程示例

Fig.4 Example of switchover flow of train control right

ZC1 发送的“列车移交接管”变成“列车接管”，ZC1 计算的列车 1 移动授权延伸进入 TCC 管辖范围。步骤 6：列车 1 继续前行，最大包络前端驶出 ZC1 管理区域，ZC1 与 TCC 相互给对方发送列车 1 的移交状态和移交列车消息，同时给列车 1 发送移动授权。列车 1 根据自身位置判断使用的移动授权。步骤 7：列车 1 安全包络驶过移交边界，完全驶出 ZC1 管辖范围后，列车 1 断开与 ZC1 的通信。至此，列车 1 完成控制权由 ZC1 向 TCC 的切换。

#### 4 结语

针对市域铁路信号系统存在 CBTC 和 CTCS-2 的信号制式，依据两者互联互通的需求出发，从 3 个不同的角度开展具体讨论，CTCS 和 CBTC 完全独立方案双套方案技术上可行但造价过高；CTCS 与 CBTC 系统融合合并困难较大，地面设备融合联锁合并车载部分合并的方案仅仅是个别设备可合并；CTCS 与 CBTC 互联互通则相对清晰可行。综上所述可知，针对市域线路运营的实际需求，信号系统制式的选取可结合建设、管理、维保等多角度综合研判。

#### 参考文献

[1] 周宇冠. 关于市域快速轨道交通的思考 [J]. 铁道标准设计, 2012, 56(9): 22-27.

Zhou Yuguan. Thinking about Regional Rail Rapid

Transit[J]. Railway Standard Design, 2012, 56(9): 22-27.

[2] 中国城市轨道交通协会. 市域快轨交通技术规范: T/CAMET 01001-2019[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

[3] 中华人民共和国国家铁路局. 市域(郊)铁路设计规范: TB 10624-2020 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.

[4] 史宁娟, 孙旺. CBTC 和 CT-CS 系统差异性分析及兼容性方案探讨 [C] // 第十四届中国智能交通年会论文集. 青岛, 2019: 89-102.

[5] 郑理华. 基于 CTCS2-200C 的城际列控车载 ATP 总体技术方案的研究和实现 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50(12): 9-12.

Zheng Lihua. Research and Implementation of General Technical Solution of Intercity Railway On-Board ATP Bases on CTCS2-200C[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(12): 9-12.

[6] 邢科家, 郜洪民, 黄苏苏. 基于区域联动和多制式协调的铁路信号系统技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57(5): 1-5, 10.

Xing Kejia, Gao Hongmin, Huang Susu. Research on Railway Signaling System Technology Based on Regional Integration and Multi-System Compatibility[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(5): 1-5, 10.

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

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

[8] 刘智平, 王松林. 市域(郊)铁路功能定位与系统制式选择分析 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56(9): 81-84.

Liu Zhiping, Wang Songlin. Analysis on Functional Orientation and System Mode Selection of (下转 92页)

# 量子保密通信在AFC系统的应用

王 健<sup>1</sup>, 李 郁<sup>2</sup>, 张亦然<sup>1</sup>, 吴 娟<sup>3</sup>, 张明柱<sup>2</sup>

(1. 南京地铁集团有限公司, 南京 210008;

2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

3. 南京地铁建设有限责任公司, 南京 210008)

**摘要:** 量子保密通信技术在理论上具有不可破解性, 相比于传统加密手段安全防护能力更强。根据城市轨道交通自动售检票(AFC)系统实际需求, 结合AFC系统架构及网络传输方案, 提出量子保密通信在自动售检票系统中的应用设计方案。通过在清分中心、线路中心及车站分别部署量子安全设备, 采用量子保密通信技术对AFC系统敏感信息进行加密传输, 保证核心业务系统的数据传输安全, 提升AFC系统的安全防护能力。此设计方案具备安全性高、对AFC系统影响小、实施难度小、可复制性强等特点, 可以为其他各城市轨道交通AFC系统量子保密通信技术应用提供借鉴。

**关键词:** 城市轨道交通; 自动售检票; 量子保密通信; 数据安全

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0078-05

## Application of Quantum Secure Communication in AFC Systems

Wang Jian<sup>1</sup>, Li Yu<sup>2</sup>, Zhang Yiran<sup>1</sup>, Wu Juan<sup>3</sup>, Zhang Mingzhu<sup>2</sup>

(1. Nanjing Metro Group Co., Ltd., Nanjing 210008, China)

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

(3. Nanjing Metro Construction Co., Ltd., Nanjing 210008, China)

**Abstract:** The quantum secure communication technology is theoretically unbreakable; and has stronger security protection capabilities than traditional encryption methods. This paper proposes an applied design scheme for quantum secure communication in automatic fare collection (AFC) systems of urban rail transit on the basis of the actual requirements of the AFC system, and in view of the architecture and network transmission scheme of the AFC system. The quantum security equipment is deployed at the clearing center, the line center, and various stations; and the quantum secure communication technology is used to encrypt and transmit the sensitive information of the

收稿日期: 2023-05-19; 修回日期: 2023-12-09

第一作者: 王健(1969—), 男, 正高级工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通自动售检票系统, 邮箱: wang\_j@njmetro.com.cn.

AFC system. Thus, the data transmission security of the core service system is ensured, and the security protection capability of the AFC system is improved. The proposed design scheme has the characteristics of high security, low impact on AFC system, low implementation difficulty, and strong replicability; and can provide reference for the application of the quantum secure communication technology in various AFC systems of urban rail transit.

**Keywords:** urban rail transit; automatic fare collection; quantum secure communication; data security

## 1 概述

自动售检票系统 (Automatic Fare Collection System, AFC) 安全性的高低直接影响票务收益安全, 在整个地铁运营中起着至关重要的作用。随着移动支付技术、人脸识别技术、语音识别技术等在地铁 AFC 系统中不断发展应用, 对 AFC 系统的可靠性、安全性、实时性和开放性的要求越来越高, AFC 系统与外部系统的接口也越来越多, 面临的外部风险也越来越大。在日常的运营过程中, AFC 系统产生了大量的重要数据信息, 例如设备运行指令信息、交易信息、乘客支付信息、乘客注册信息、人脸信息等, 其中很多数据信息涉及到系统安全、财务安全甚至人身安全, 伴随着海量的数据交互的产生, 如何保障 AFC 系统的数据安全就显得尤为重要。同时, 随着计算机的计算能力不断增强, 传统的数据加密算法仍有一定被破解的风险。此外, 国家对信息安全等级保护工作要求也不断提升, 出台了一系列法律法规, 要求保障网络与信息的安全, 对于自动售检票系统的安全防护提出了更高的要求。因此需要更加安全的防护手段, 确保 AFC 系统安全稳定可靠的运行。

为了弥补传统 AFC 系统加密的不足, 提高数据传输的安全性, 本文设计了一种基于量子密钥分发 (Quantum Key Distribution, QKD) 和对称加密技术的地铁 AFC 系统量子保密通信传输方案, 采用更加安全可靠的量子保密通信技术来提升数据的安全。

## 2 自动售检票系统数据安全防护现状

AFC 系统根据各层次设备和子系统各自的功能、管理职能和所处的位置划分为 5 层系统架构, 系统架构具有一定的伸缩性, 自动售检票系统架构如图 1

所示。从车站到清分中心, 自动售检票系统与通信、综合监控、一卡通、第三方支付等存在多个外部系统接口, 系统生产环境复杂, 不确定风险较多。

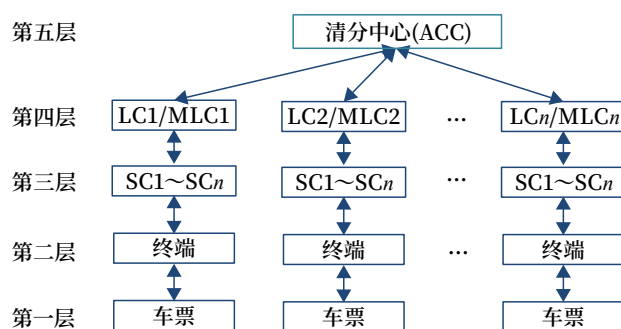


图1 自动售检票系统架构  
Fig.1 Architecture of AFC system

传统 AFC 系统采用基于公钥基础设施 (Public Key Infrastructure, PKI) 的方式部署加密模块 (Security Access Module, SAM) 卡, 对系统进行身份认证、文件签名、数据加密等, 其安全机制的保障是基于密钥的安全性, 通过复杂算法对数据进行加密。由于现有技术尚不具备破解能力, 信息传输整体安全性能得到有效保障。随着人类计算能力的增强, 以及密钥破解算法的突破, 非对称 SM2 加密算法的破解难度和时间将大幅降低, 攻击者通过窃听密钥协商过程有可能破解出双方协商的密钥, 窃取核心信息, 传统密码保密体系的破解风险与日俱增。由于地铁密钥更新频率低, 一旦被破解, 将会对地铁造成不可估量的损失, 因此需要构建更安全的数据保密措施, 来保证数据的安全。

## 3 量子保密通信在 AFC 系统的应用

量子保密通信的原理是基于量子密钥分发的密码通信解决方案, 量子密钥分发不依赖于计算的复杂性来保证通信安全, 而是基于量子力学基本原理,

从原理上保证了一旦存在窃听就必然被发现。同时，量子密码系统的安全性不会受到计算能力和数学水平的不断提高的威胁，理论上可实现不可破译的安全保密通信。因此，可以利用量子保密通信技术，对 AFC 系统数据进行加密传输，从而提高数据传输的安全性。

### 3.1 自动售检票系统数据安全加密需求

AFC 系统内主要数据流向如图 2 所示，按照数据流向分为上传数据流及下载数据流。下载数据流，即从清分中心（ACC）将指令、运营参数、票务库存数据等下载到线路中心（LC）/ 车站（SC）/ 车站终端设备；上传数据流，即收集与设备交易有关的交易数据、设备状态等，上传至 SC/LC/ACC。AFC 系统内大部分数据按照系统架构逐层上传，但是根据业务需求不同，部分数据由终端设备直接与 ACC 进行传输。因此，在减少对既有系统的影响的前提下，基于地铁 AFC 系统架构及数据流向，在原有的安全性措施的基础上，在清分中心、线路中心及车站部署量子安全设备，建立量子安全加密隧道，形成量子保密通信网络，构建更高安全等级、更全面的 AFC 系统数据加密传输体系。

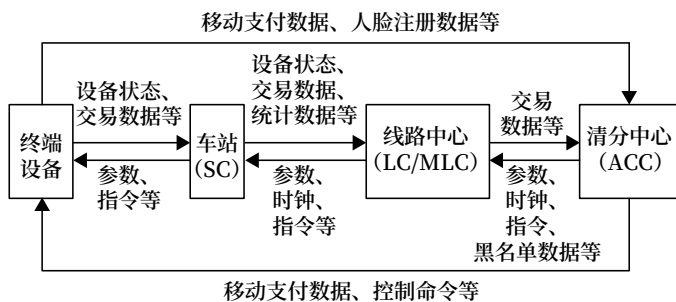


图2 AFC系统内主要数据流向  
Fig.2 Flow of main data in AFC system

### 3.2 量子保密通信设备部署应用方案

清分中心与线路中心之间有大量的交易数据、对账数据、系统参数等关键数据，数据交互量大，对于系统安全要求比较高，因此，在清分中心与线路中心之间采用基于量子加密机结合 QKD 的量子安全传输方案。车站的半自动售票机、智慧客服等终端设备不仅包含交易信息，还可以进行人脸注册、

移动支付票务处理等，涉及到许多个人信息，并且车站分布广、现场环境复杂，车站到中心的信息安全很难保障。因此，在车站与线路中心及清分中心之间采用基于量子加密机的量子安全终端防护方案，建立车站到线路中心及清分中心的量子密钥体系，对敏感的人脸信息、交易信息、二维码信息等数据提供高安全的加密传输通道，保障车站与线路中心及清分中心之间的数据业务传输安全。量子保密通信在 AFC 系统的网络拓扑如图 3 所示，在清分中心、线路中心及车站分别部署量子保密通信设备。

在清分中心部署量子密钥分配终端、密钥服务终端、量子加密机、量子云控系统、量子网络管理系统、量子密钥管控系统等设备，在各线路中心对应清分中心部署密钥分配终端、密钥服务终端、量子加密机等设备，在各车站部署量子加密机。形成清分中心、各线路中心及车站之间的量子保密通信网络。

量子密钥服务终端负责产生量子密钥，清分中心与各线路中心的量子密钥服务终端利用裸光纤协商生成点对点的安全量子密钥。量子密钥分配终端负责对生成的量子密钥进行安全分配、密钥管理等。量子加密机从量子密钥分配终端读取量子密钥，使用国密算法或国际算法对数据进行加密处理，数据通过量子加密机给数据量子加密后传输到对端量子加密机，由对端的量子加密机对数据进行解密。

量子云控系统采用量子随机数生成量子密钥，负责密钥的产生、密钥的分发使用规则、密钥的充注使用等，并通过加密通道实时把密钥更新到各车站的量子加密机。车站量子加密机部署在车站的网络出口处，采用串联的方式接入网络，使用预先充注好的密钥与线路中心及清分中心的量子安全加密机进行加密通信。

在清分中心设置量子网络管理系统，实时检测整个量子通信网络设备之间的网络关系和量子链路的实时运行情况，查看量子设备网络配置、监管量子设备、了解量子设备状况、查找告警设备/链路、分析故障原因等。此外，由于线路中心与清分中心的量子加密机采用量子密钥服务终端产生的密钥，

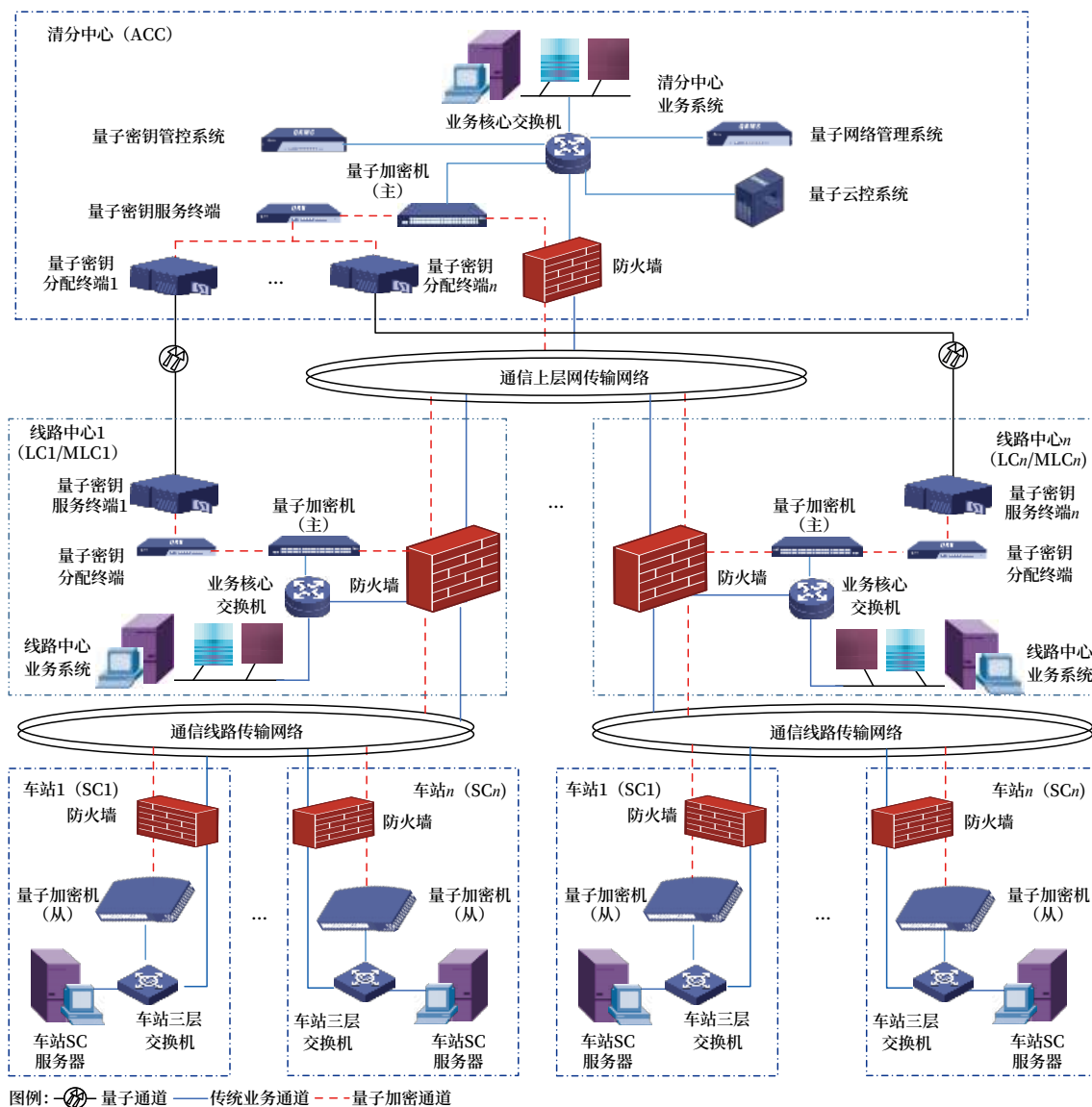


图3 量子保密通信在AFC系统的网络拓扑

Fig.3 Network topology of quantum secure communication in AFC system

车站的量子加密机采用量子云控系统产生的密钥，车站与中心之间量子加密机之间无法直接进行保密通信，因此，在清分中心部署一套量子密钥管控系统，管理整个量子密钥网络的量子密钥，实现了各量子密钥的互联互通。

### 3.3 方案部署特点

清分中心与线路中心之间采用点对点的量子密钥分配终端，密钥生成速率高，QKD支持实时协商产生对称量子密钥，并对量子密钥服务端的密钥池进行实时更新，可做到一次一密的高强度数据加密方式。QKD的密钥分发是基于BB84协议设计的，

其具备理论上的无条件安全性，具备不可窃听、不可破译的特性，安全性能极高。

车站到线路中心及清分中心自己采用量子加密机进行数据加密，量子云控系统和量子安全加密机设备使用的量子密钥更新频率可自由设定（量子安全加密机最小可以按小时为单位密钥更新策略），更新时间可以根据业务的需求灵活设定（如地铁运营时间结束以后更新等）。量子云控系统的密钥都是由量子随机数源生成，生成速率及密钥随机性高于传统密钥，量子安全加密机和量子云控系统之间通过安全算法进行密钥更新，实现量子安全加密机内密

码的按需更新。

此外,量子保密通信网络与传统非加密 AFC 业务传输网络分别采用通信传输通道进行传输,量子保密通信网络与传统业务传输形成互为双备网络,在量子保密通信发生故障时,系统可自动切换到传统业务传输通道,优先保障业务正常运行。

#### 4 结语

在 AFC 系统已设置入侵检测、访问控制、防火墙、病毒防护等安全性措施的基础上,采用量子保密通信对系统内的敏感信息及重要信息进行加密传输,是对现有的保密通信技术中的对称加密体系的一种安全性提升,解决了密钥分发部分的安全性问题,提升对称加密通信的安全性水平,构建了更高安全等级、更全面的网络安全防护体系,保证了核心业务系统的数据传输安全。同时,在移动支付快速发展的背景下,各城市轨道交通对 AFC 系统的安全越来越重视,该应用方案具备安全性高、对 AFC 系统影响小、实施难度小、可复制性强等特点,具备在 AFC 系统应用的条件。但是,量子保密通信也存在如设备成本比较高、使用不够灵活、不同厂家互联互通存在困难等劣势,同时,量子保密通信并不能完全解决 AFC 系统中面临的所有安全性问题,在不同的应用场景下仍需要采取针对性的安全防护措施来保证 AFC 系统的安全。

#### 参考文献

- [1] 张明柱,李郁,焦景丽.基于移动支付乘车数据的地铁乘客画像分析[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(7):83-86.  
Zhang Mingzhu, Li Yu, Jiao Jingli. Analysis of Subway Passenger Profiles Based on Mobile Payment Data[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 83-86.
- [2] 陈园园,吴娟.轨道交通自动售检票 MLC 系统信息安全实践[J].工业信息安全,2022(3):70-78.
- [3] 景亮,方晖,蒋坚迪.城市轨交 AFC 系统安全建设方案的设计与分析[J].信息安全研究,2018,4(1):91-96.  
Jing Liang, Fang Hui, Jiang Jiandi. Design and Analysis of Security Construction Scheme for City Rail AFC Systems[J]. Journal of Information Security Research, 2018, 4(1): 91-96.
- [4] 张晶鑫.无锡地铁自动售检票系统安全性分析[J].职业技术,2017,16(2):113-116.  
Zhang Jingxin. Analysis on the Security of AFC System in Wuxi Metro[J]. Vocational Technology, 2017, 16(2): 113-116.
- [5] 程明,张成良,唐建军.量子保密通信应用与技术探讨[J].信息通信技术与政策,2022(7):14-19.  
Cheng Ming, Zhang Chengliang, Tang Jianjun. Discussion on Quantum Secure Communication Application and Technology[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2022(7): 14-19.
- [6] 申虹.量子保密通信技术发展及应用分析[J].邮电设计技术,2019(5):69-73.  
Shen Hong. Development and Application Analysis of Quantum Secure Communication Technology[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019(5): 69-73.
- [7] 赖俊森,赵文玉,张海懿.量子保密通信技术进展及应用趋势分析[J].信息通信技术与政策,2020(12):64-69.  
Lai Junsen, Zhao Wenyu, Zhang Haiyi. Research Progress and Application Analysis of Quantum Secure Communication[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2020(12): 64-69.
- [8] 王俐宏,孙强.量子保密通信在铁路调度通信中的应用[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(6):38-42.  
Wang Lihong, Sun Qiang. Application of Quantum Private Communication in Railway Dispatching Communication[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 38-42.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.015

# 基于场景的全自动运行系统安全分析方法

付文佳, 韩 涛, 刘 倩, 朱天民

(卡斯柯信号有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 提出一种基于场景的全自动运行系统安全分析方法, 对全自动运行系统每一个运行场景进行建模, 识别该场景下的作用因素, 以便快速识别出全自动运行系统每一个运行场景下可能存在的操作方面的风险及规避措施, 根据剩余风险评估措施是否有效, 从而得出的一系列全自动系统各运行场景下应如何人为介入的防护措施, 解决多家供应商提供的系统无法整体分析的问题, 提升全自动运行系统的运营安全。

**关键词:** 全自动运行系统; 安全分析方法; 场景安全分析

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0083-05

## Scenario-Based Safety Analysis Method for Fully Automatic Train Operation Systems

Fu Wenjia, Han Tao, Liu Qian, Zhu Tianmin

(CASCO Signal Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** This paper proposes a scenario-based safety analysis method for fully automatic train operation systems. All the operation scenarios of fully automatic train operation systems are modeled, and the influencing factors in each scenario are identified, to quickly identify the possible operational risks and avoidance measures in each operation scenario of fully automatic operation systems. The effectiveness assessment of such measures is made on the basis of the residual risks. Thus, a series of protection measures through human intervention are obtained for various operating scenarios of fully automatic systems, which solves the problem that the systems provided by multiple suppliers cannot be analyzed as a whole, and improves the operation safety of fully automatic systems.

**Keywords:** fully automatic train operation system; safety analysis method; scenario-based safety analysis

城市轨道交通全自动运行系统在部分城市近几年得到广泛应用。全自动运行系统需要多家不同供

应商的系统联动方可实现, 包括信号系统、车辆系统、站台门系统、综合监控系统和专用通信系统等。信号系统实现列车防护与自动控制, 车辆系统负责实施牵引制动与车门控制, 站台门系统控制站台门开关及状态检测, 综合监控系统监控关键设备状态, 专用无线通信系统实现列车的广播及中心与乘客的应急通信, 另外还包括车库门, 洗车机等。列车在

收稿日期: 2023-04-21; 修回日期: 2023-11-01

发明专利: 2023 年国家发明专利 (CN202310286683.0)

基金项目: 卡斯柯信号有限公司工程项目 (A5.A0121078)

第一作者: 付文佳 (1984—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通信号系统安全分析, 邮箱: fuwenjia@casco.com.cn.

无司机值守的情况下，需要运营人员在各种运行场景尤其是降级场景、应急场景下进行正确的人为介入才能确保系统运行安全。

## 1 全自动运行系统安全分析现状

与传统的CBTC有人驾驶系统相比，有人驾驶系统由于有运营人员、司机等的实时介入，不需要各系统的深度联动，也就不需要对多个系统进行整体分析。具体工程实施时以单个系统为层级进行安全分析，甚至部分项目仅信号系统进行了安全分析，其他系统未开展相关安全分析工作。对于全自动运行系统来说，正常运营时运营人员承担的工作大部分由各全自动运行系统来实现。但在降级模式下或应急模式下（包括列车区间运行、列车休眠、站台门故障、区间火灾等场景）运营人员应如何介入，采取怎样的措施才能保证系统运行安全，这就需要对多个不同供应商提供的系统进行各全自动运行场景下的安全分析，识别相关危害及缓解措施。

当前常用的安全分析技术为失效模式及影响、严重度分析（FMECA）方法。但该方法可应用的对象较为单一，为单系统或单个部件或单个功能，对多系统（尤其是由不同供应商提供的）交互下的场景尚无系统全面的安全分析方法，也就无法系统地识别各场景下的危害及制定相应的防护措施，给整个全自动运行系统带来较大的运营安全隐患。

## 2 基于场景的全自动运行系统分析方法

针对当前安全分析方法的不足，本文提出了一种基于场景的全自动运行系统安全分析方法。对全自动系统每一个运行场景进行建模，识别该场景下的作用因素，以便快速识别出全自动运行系统每一个运行场景下可能存在的操作方面的风险及规避措施，并提出一种自动计算剩余风险计算方法，从而得出一系列全自动系统各运行场景下应如何人为介入的防护措施，可解决多家供应商提供的系统不易整体分析的问题。

### 2.1 全自动运行场景

全自动运行场景识别了运营过程中所面对的运营管理场景，包括正常运营、降级情况、应急处理场景等。通常由轨道交通建设方提供或由一致性牵头方提供，一致性牵头方通常由信号系统集成商担任。

### 2.2 分析步骤

本方法分析步骤如图1所示。



图1 分析方法步骤

Fig.1 Procedure of the analysis method

1) 识别全自动运行场景文件中每个场景的基本流程，识别该基本流程中的具体任务，提炼关键步骤，并对任务步骤进行细分，识别该任务中需要人为操作的部分，识别该操作涉及的系统，可以是一个或多个系统，对该流程建立人员操作模型，即人员在何种情况下操作了何种系统。

2) 识别操作模型中参与的角色，包括运营人员、操作人员、值班员、车站人员和调度员等，视涉及的系统而有所不同。

3) 识别该参与人员在该操作模型中可能的失效模式，即对于上述步骤1)操作模型中规定的步骤，相关执行对象可能无法满足过程要求，包括错误确认、未确认、提前确认、延迟确认、错误激活和未激活等，并和操作的的目标系统关联起来。

4) 识别在操作某一系统时人员失效可能对应的原因，包括人员疏忽、人员意识问题、操作失误等。

5) 识别该失效可能对应的影响，与人员操作模型中识别的系统关联起来，定位到该失效直接可能



的影响，如乘客被夹在站台门与车门之间。

6) 识别该影响可能导致事故，即在操作相关系统出现操作失效的情况下可能导致的后果，包括乘客受伤、死亡、列车相撞、脱轨、疏散延迟、火灾等。

7) 识别该失效对应的缓解措施，针对人员失效原因提出缓解措施。此缓解措施通过辅助系统以进行正确地判断，并采取可行的缓解措施，可以通过操作其他正常运行的系统来实现，可能涉及一个或多个系统。

8) 识别步骤6)的严重性等级，分为4个等级：灾难性的(S1)、重大的(S2)、次要的(S3)、无关紧要的(S4)；

9) 识别该危害的频率，分为6个等级对频率进行划分：A 频繁、B 可能、C 偶然、D 很少、E 不可能、F 高度不可能。

10) 识别所提出的缓解措施可能的风险降级系数 RRF，定义为5个等级，可降低的概率分别为 a:1、b:10<sup>1</sup>、c:10<sup>2</sup>、d:10<sup>3</sup>、e:10<sup>4</sup>。

11) 计算采取了缓解措施以后的事故频率，算法为  $f' = f/RRF$ 。

12) 根据风险接受矩阵（来自于业主提供或 EN50126 标准）判定剩余风险是否可接受，定义为4个等级：不可容忍的(R1)、不希望的(R2)、可容忍的(R3)、可忽略的(R4)。

13) 将相关操作方面的缓解措施整理成册，输出给相关责任方。

### 3 分析方法示例

以列车探测到障碍物场景（无司机值守）为例，下面为该分析方法的具体实施步骤。

建立该场景的操作模型，即中心调度员收到综合监控系统报警后通过综合监控工作站联动对应摄像头查看现场障碍物情况，派遣车站人员确认障碍物情况，车站人员处置后复位障碍物检测装置继续运行。涉及的系统有主要执行系统车辆（需要探测轨道上的障碍物）、信号系统（检测到障碍物后施

加紧急制动），辅助系统综合监控（接收障碍物报警信息）。

识别该场景操作模型涉及的人员，包括中心调度员和车站人员，如图2所示。

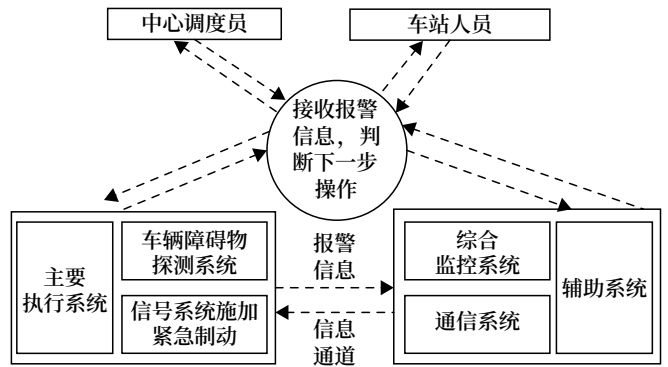


图2 场景操作涉及人员  
Fig.2 Personnel involved in operations of the scenario

根据上述操作模型，识别此场景中人员可能的失效模式，包括中心调度员未通过综合监控系统的摄像头查看现场情况，未派遣车站人员去现场处理，派遣工作人员处理前未采取合理的措施让列车保持不动，工作人员未正确处置该情况即复位障碍物检测装置，如图3所示。

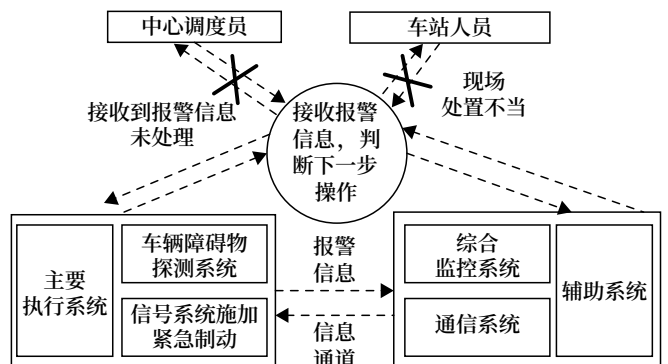


图3 场景操作失效模式  
Fig.3 Failure mode of operations of the scenario

识别导致步骤3)失效可能的原因，中心调度人员疏忽、工作人员操作不当。

识别步骤3)失效模式下可能的影响、障碍物未得到处理、列车可能自动发车、障碍物检测装置错误被复位。

识别步骤3)失效模式下可能的事故，复位障

碍物检测装置时列车可能突然启动，撞伤工作人员，障碍物未被清除（既有存在的障碍物或工作人员使用的工具遗落）造成列车损伤。

识别缓解措施，对应步骤 3) 的失效模式，制定缓解措施为：1) 收到综合监控系统障碍物报警后，中心调度员应立即查看相关区域的摄像头并及时激活列车附近的防护区域，确保列车保持不动，激活此区间的人员防护开关，安排工作人员进入现场处理。2) 当工作人员进入区间处理障碍物报警时，运营人员应确保所有的人员、工具或障碍物已出清线路，才能复位障碍物检测设备，避免人员、工具或障碍物遗留在轨道区域。3) 若障碍物探测装置无法恢复，应采取适当的防护措施让列车低速运行至下一站清客。

判定事故的严重性等级，按 EN 50126 标准，如表 1 所示。

表1 事故严酷度等级

Tab.1 Accident severity level

事故严酷度等级	定义
灾难性的 (S1)	影响大量人员且导致多人死亡
重大的 (S2)	影响非常少的人员且导致至少一人死亡
次要的 (S3)	无死亡，只有严重或者轻微伤害
无关紧要的 (S4)	可能会造成轻微伤害

按照上述失效模式，若中心调度员未采取防护措施，则可能导致列车与进入区间处理障碍物的工作人员相撞，造成至少一人伤亡，因此严重性定义为 S2。另外障碍物处理不当，最严重情况下可能造成列车脱轨，进而导致多人死亡，因此严重性定义为 S1。

定义初始危害频率，因列车在每天运营前均会低速巡道，因此发生的概率极低，定义为 D，如表 2 所示。

判定识别初始风险是否可接受。选取 EN 50126 标准（铁路应用可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例）第一部分的附录 C.9 作为判定依据，以中心调度员未采取防护措施所造成的可能事故为例，事故严重性等级为 S2，S2-D 在风险接受矩阵中为不希望的，如表 3 所示。

表2 初始危害频率

Tab.2 Initial hazard frequency

等级	描述	定义	频率范围示例，基于单一项目运行 24 h/天	参考频率（每车每小时）
A	频繁	频繁地出现，事件将连续发生	约 6 周内发生一次或者更多	$10^{-3} \leq f$
B	可能	发生多次，事件可以预期经常出现	约每 6 周发生一次到每年发生一次	$10^{-4} \leq f < 10^{-3}$
C	偶然	可能发生几次，事件预期有几次出现	约每年发生一次到每 10 年发生一次	$10^{-5} \leq f < 10^{-4}$
D	很少	在系统生命周期的某个时期可能发生，事件能合理地预期出现	约每 10 年发生一次到每 1 000 年发生一次	$10^{-7} \leq f < 10^{-5}$
E	不可能	不太可能发生但可能存在，假定事件极少出现	约每 1 000 年发生一次到每 100 000 年发生一次	$10^{-9} \leq f < 10^{-7}$
F	高度不可能	几乎不可能发生，可假定事件不会发生	约 100 000 年或者更多时间内发生一次	$f < 10^{-9}$

表3 风险可接受矩阵

Tab.3 Risk acceptability matrix

事故严酷度分类					
事故频率分类	灾难性的 (S1)	重大的 (S2)	次要的 (S3)	无关紧要的 (S4)	
A 频繁	不可容忍的	不可容忍的	不可容忍的	不希望的	
B 可能	不可容忍的	不可容忍的	不希望的	可容忍的	
C 偶尔	不可容忍的	不希望的	不希望的	可容忍的	
D 很少	不希望的	不希望的	可容忍的	可忽略的	
E 不可能	不希望的	可容忍的	可忽略的	可忽略的	
F 高度不可能	可容忍的	可忽略的	可忽略的	可忽略的	

识别提出的缓解措施所能达到的风险降低系数 (Risk Reduction Factor, RRF)，在对调度人员加强培训以后，可以达到 D 级别，如表 4 所示。

计算采取了缓解措施以后的事故发生频率， $f' = f/RRF$ ，仍以中心调度员未采取防护措施所造成的可能事故为例，落在  $10^{-9}$  至  $10^{-8}$  范围内，即 E 区。

判定剩余事故频率及事故严重性等级，是否在可接受范围内，若判定在可接受范围内，则认为缓解措施行之有效。若不在可接受范围内，则应补充其他的缓解措施，确保剩余风险可接受。经判定，

表4 风险降低系数

Tab.4 Risk reduction factor

系数	描述	定义	风险降低系数
a	低	由于操作环境和 / 或已有防护的低风险降低措施	RRF=1
b	中	由于操作环境和 / 或已有防护的中等风险降低措施	RRF=10
c	高 High	由于操作环境和 / 或已有防护的高风险降低措施	RRF=10 <sup>2</sup>
d	非常高	由于操作环境和 / 或已有防护的非常高风险降低措施	RRF=10 <sup>3</sup>
e	超常	由于操作环境和 / 或已有防护的超常风险降低措施	RRF=10 <sup>4</sup>

S2-E 为可容忍的, 给相关责任方输出限制即可, 至此完成了一个完整的判定过程。

对其他运行场景进行逐项分析, 识别出风险场景, 给出规避措施。

#### 4 总结

全自动运行系统引入大量新技术, 涉及多系统相互协作, 同时无司机值守, 系统失效时处理起来更加复杂, 给运营安全带来挑战。对各种故障运行场景应如何处理, 人员应如何介入才能够保证系统安全运行, 需要系统性考虑。本文提出一种基于全自动运行场景的针对多家不同供应商提供的系统构建操作模型的方法, 根据操作模型进行多系统场景安全分析, 为如何人为介入系统操作提供更有效、更具体、更全面的安全措施, 可有效解决全自动运行系统操作不当带来的风险。

#### 参考文献

- [1] 谢迎锋, 王蓉. GoA4 级全自动运行系统驾驶模式切换的安全性建模 [J]. 信息技术与网络安全, 2022, 41 (2): 15-19.  
Xie Yingfeng, Wang Rong. Security Modeling of Driving Mode Switching in GoA4 Level Automatic

Operation System[J]. Information Technology and Network Security, 2022, 41(2): 15-19.

- [2] 黄宏伟, 谢雄耀, 胡群芳. 轨道交通工程建设风险管理及其应用 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2009.
- [3] 杜薇, 王道敏, 徐鼎. 燕房线全自动运行系统安全保障管理实践 [J]. 都市轨道交通, 2020, 33 (2): 30-36.  
Du Wei, Wang Daomin, Xu Ding. Safety Assurance Management Practice of Fully Automatic Operation System for Yanfang Line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(2): 30-36.
- [4] 陈黎洁, 黄银霞, 刘宏杰, 等. 基于通信的列车运行控制系统安全通信协议的性能分析 [J]. 铁道学报, 2017, 39 (5): 71-77.  
Chen Lijie, Huang Yinxia, Liu Hongjie, et al. Performance Analysis of Safety Communication Protocol in Communication Based on Train Control System[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(5): 71-77.
- [5] 郭仲伟. 风险分析与决策 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [6] 邓宇. 海外铁路通信工程风险简谈 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (11): 90-94.  
Deng Yu. Discussion on Risk of Overseas Railway Communication Project[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 90-94.
- [7] 刘涛. 地铁全自动运行线路信号系统 RAMS 指标分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (9): 47-50.  
Liu Tao. RAMS Index Analysis of the Signal System of Metro Fully Automatic Operation Line[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(9): 47-50.

# 双UPS并机直流母线过压故障研究

廖百睿, 刘鹞鹏, 江梁智, 孙晓伟, 易炳强

(广州地铁集团有限公司, 广州 510415)

**摘要:** 针对广州地铁6号线海珠广场站信号系统UPS并机改造后频繁报直流母线过压等报警故障, 深入分析论证报警故障原因, 提出故障解决方案, 总结UPS并机改造注意事项, 以期对各城市同行提供借鉴、参考。

**关键词:** UPS并机; 直流母线; 过压

中图分类号: U231.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0088-05

## Research on DC Bus Overvoltage Fault in Double UPS Parallel Operation

Liao Bairui, Liu Kunpeng, Jiang Liangzhi, Sun Xiaowei, Yi Bingqiang

(Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou 510415, China)

**Abstract:** In view of such frequent alarm-triggering failures as DC bus overvoltage reported by the signal system of Haizhu Square Station of Guangzhou Metro Line 6 after the transformation into UPS parallel operation, this paper provides an in-depth analysis, demonstrates the causes, and puts forward a solution of such failures. It also summarizes the matters needing attention in the transformation into UPS parallel operation, with a view to providing reference for peers in various cities.

**Keywords:** UPS parallel operation; DC bus; overvoltage

不间断电源(Uninterruptible Power Supply, UPS)在城市轨道交通信号系统中应用广泛, 为各类信号设备提供稳定可靠的、不间断的电源。随着城市轨道交通发展, 信号系统电源设备逐渐向着双UPS冗余设计方向发展。但既有线路信号电源大多为单UPS设计, 一旦UPS发生故障, 将导致全部负载设备断电, 广州地铁6号线曾因此导致大面积晚点。

2018年, 为了提高信号系统电源可靠性, 在广

州地铁6号线海珠广场站和天平架站进行了UPS并机改造, 在原来1套UHA3R-0160L小型UPS和蓄电池组的基础上新增1套同型号的UPS和蓄电池组, 实现双UPS并机供电。然而改造完成后, 海珠广场站UPS频繁发生故障, 给信号系统供电带来了较大隐患。

### 1 双UPS并机实现方式

海珠广场站原信号电源系统包括1套电源屏、稳压器, 1台UHA3R-0160L小型UPS和1组蓄电池。并机改造增加1套相同型号UPS及1组蓄电池组, 与原UPS做1+1并机冗余输出。2台UPS主路输入、旁路输入同源, 保证了并机系统转旁路工作时, 每个

收稿日期: 2022-11-16; 修回日期: 2023-11-24

基金项目: 广州地铁集团有限公司技术改造(包括国产化)项目(16B0040)

第一作者: 廖百睿(1989—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号, 邮箱: liaobairui@gzmt.com。

UPS 的输出电源、频率和相位仍为同步。旁路输入前级接 1 台稳压器提供稳定电压。输出端并联接入电源屏端子。改造后的系统设计如图 1 所示。

另根据 UPS 技术资料要求，每台 UPS 必须加

配外部输入空开和外部输出空开。于是在设备房墙面增加了 1 套电源空开箱，将 2 台 UPS 输入、输出空开和蓄电池组空开放置在空开箱内，重新布放了配线电缆，如图 1 所示。

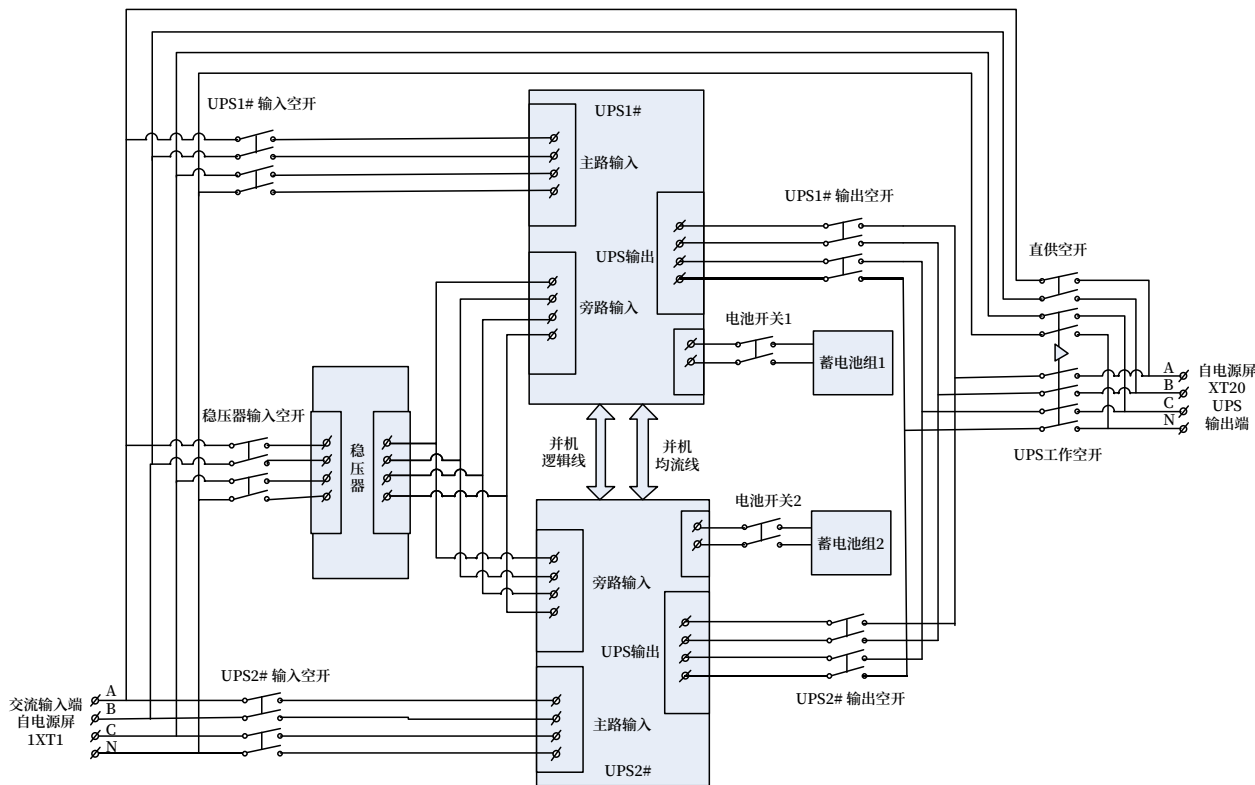


图1 UPS并机改造系统

Fig.1 System diagram of transformation into UPS parallel operation

并机逻辑控制电路采用平均电流法设计方式，通过并机线连接在 2 台 UPS 并机逻辑控制电路的接口端。并机逻辑控制电路采集到两 UPS 逆变器输出参数差值信号后进行比对，再对各自的 UPS 逆变器进行微调，使输出参数保持同步。正常情况下 2 台 UPS 主路逆变供电，各自承担 50% 的系统负载。单台 UPS 故障不影响系统供电，故障的 UPS 自动退出并机系统，负载由另一台 UPS 继续供电。故障消除后，人工手动开启逆变器，2 台 UPS 恢复并机工作状态，如表 1 所示。

## 2 广州地铁6号线并机故障

### 2.1 故障概述

2018 年 3 月 2 日，海珠广场站 UPS 故障报警，现场检查 UPS1 停止工作，UPS2 工作正常。UPS1

显示告警内容：直流母线过压、整流器故障、电池变换器故障、均不供电。此后海珠广场站 UPS1 和 UPS2 频繁发生故障，无任何规律，现象和告警内容均与 3 月 2 日首次故障一致。发生故障后，人工按压 UPS 主机的故障消除按钮，重新开启逆变器，UPS 可以恢复正常工作。

### 2.2 故障排查及处理情况

2018 年至 2021 年 3 年，海珠广场站 UPS 同类故障多次出现。故障发生周期长短不一，有的相隔数天，有的相隔数周、数月。为解决故障，对所有涉及并机改造的设备、线缆进行了逐一检查、排除，故障没有消除。处理情况如表 2 所示。

此外对比了同样实施改造但无一故障的天平架站，查找可疑问题点。除房间内设备布局不同，两

表1 并机工作逻辑

Tab.1 Working logic of UPS parallel operation

故障现象	UPS1 工作状态	UPS2 工作状态
两路市电均出现异常或断电, UPS 无故障	蓄电池组 1 放电	蓄电池组 2 放电
两路市电均出现异常或断电, 且 UPS1 逆变器故障	停止输出	蓄电池组 2 放电
市电正常, UPS1 整流器故障	先蓄电池组 1 放电, 后停止输出	主路输出
市电正常, UPS1 逆变器故障	停止输出	主路输出
市电正常, UPS1 与 UPS2 同时整流器故障	蓄电池组 1 放电, 后与 UPS2 同时转自动旁路	蓄电池组 2 放电, 后与 UPS1 同时转自动旁路
市电正常, UPS1 整流器故障, UPS2 逆变器故障	先蓄电池组 1 放电, 后与 UPS2 同时转自动旁路	先无输出, 待蓄电池组 1 放完后与 UPS1 同时转自动旁路
市电正常, UPS1 与 UPS2 同时逆变器故障	与 UPS2 同时转自动旁路	与 UPS1 同时转自动旁路
市电正常, UPS1 两个逆变静态开关故障、UPS2 正常	无输出	主路正常输出
市电正常, UPS1 两个逆变静态开关故障、UPS2 整流器故障	无输出	先 电 池 组 2 放 电, 后 转 自 动 旁 路 输 出
市电正常, UPS1 两个逆变静态开关故障、UPS2 逆变器故障	无输出	自动旁路输出
市电正常, UPS1、UPS2 主路及蓄电池组、自动旁路均故障	无输出, 通过手动维修开关恢复紧急直供	无输出, 通过手动维修开关恢复紧急直供

表2 故障排除处理情况

Tab.2 Disposal results of troubleshooting

排查点	操作	处理结果
UPS	替换 2 台 UPS 主机	仍然故障
输入 / 输出线缆	绝缘测试	达标
输入 / 输出线缆	更换	仍然故障
新增空开箱	拆除	仍然故障
蓄电池组	替换蓄电池	仍然故障
地线	测试接地电阻	良好
并机线	替换并机线	仍然故障
UPS 三相输入 / 输出端子	更换端子	仍然故障
稳压器	旁路稳压器	仍然故障

站实施改造的系统结构设计一致, 使用的设备、线缆、空开型号一致, 输入电源和输出负载设备一致。未发现两站改造存在明显差异。

### 2.3 故障原因分析

根据故障告警信息“直流母线过压、整流器故

障、电池变换器故障、均不供电”, 首先判断故障关键点在于直流母线过压。直流母线的电压指的是当交流输入电网正常时, 由交流输入电网经过整流器变换为直流母线电压, 作为逆变器的输入源。当交流输入电网发生故障或者无法提供足够的能量时, UPS 的输入电源由交流输入电网切换至蓄电池组供电。蓄电池组经过放电器转换为直流母线电压, 作为逆变器的输入。由于整流器、逆变器、电池变换器均接在直流母线上, 当 UPS 检测直流母线异常后, 设备内部软件逻辑认为整流器、逆变器和电池变换器存在异常, 所以产生上述报警信息并停止输出。再结合故障后可以重新开启逆变器恢复正常工作的情况, 分析直流母线电压为瞬时异常, 当直流母线电压恢复正常, UPS 可恢复正常工作。

为进一步判断故障位于 UPS 前级或者后级, 在 2 台 UPS 的输入端和输出端分别加装 1 组电流传感器, 共加装了 4 组, 监测发生故障时 2 台 UPS 三相电流变化情况。随后通过监测发现了电流异常情况。并机正常工作时, UPS 输出端三相电流经常发生突变, 在监测曲线上形成向上尖峰; 在故障发生时, 输出端电流波动变得剧烈, 而 UPS 输入端电流从始至终无明显变化, 如图 2 所示。

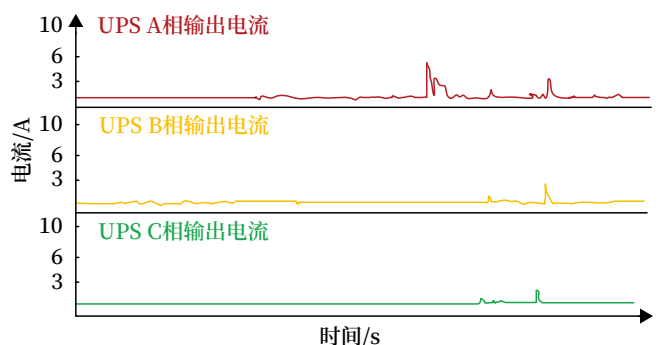


图2 故障时输出端电流曲线

Fig.2 Current curve at output end during failure

经过一段时间的 UPS 输出电流监测, 发现 UPS 输出端电流出现尖峰时间与故障的发生时间具有很强的关联性。同时输出端电流变化也为瞬时变化, 与直流母线电压瞬时异常的情况相吻合, 判断 UPS 输出端电流瞬时尖峰变化是引起直流母线过压的原因。由于前期已经尝试替换 UPS 主机硬件, 可

排除 UPS 整流器、逆变器和电池变换器等内部硬件问题，将故障原因基本锁定在 UPS 输出端外部环境。

通过仔细检查 UPS 输出端配线及负载设备情况，发现海珠广场站 2 台 UPS 输出电缆长度存在差异，UPS1 电缆长度 3.3 m，UPS2 电缆长度 3.7 m，而天平架站 2 台 UPS 输出电缆长度相当。查阅相关资料，多台 UPS 并机时，输入 / 输出电缆的截面积和长度应尽量相同，以提高 UPS 工作均流程度。均流是指 2 台 UPS 并机运行时，需要确保 UPS 中逆变器输出电压的幅值、相位以及频率保持同步，给负载均流供电。而 UPS 内部功率元器件的差异、采集采样电路元件差异、两逆变器输出端连接电缆的等效电阻差异都会影响并机系统均流效果，产生并机环流。并机环流导致了 2 台 UPS 逆变器所输出的电流不是全部流向负载，而会有部分电流在 2 台 UPS 逆变器之间流动。较大的环流会冲击其中一台 UPS，造成设备过载。

海珠广场站施工放缆时，考虑设备布置以及电缆余量，在静电地板下对电缆进行了盘圈处理。在随后故障处理换缆时，亦未关注双机输出电缆的长度要求。所以布放的电缆仅满足技术资料中关于截面积的要求，未考虑电缆长度的一致性。因此，海珠广场站 UPS 并机后频繁发生直流母线过压等故障告警，原因在于 2 台 UPS 输出电缆长度不一致引起的逆变器等效阻抗差异，造成并联系统模块之间产生较大环流。

### 3 故障解决方案

抑制环流有以下措施。

1) 控制两逆变器输出端至电源屏的连接电缆的等效电阻，保证逆变器的等效阻抗相同。

2) 控制 2 台 UPS 并机逆变器输出电压的差值。因此海珠广场站采取以下解决方案。

1) 替换 UPS 输入 / 输出电缆。2 台 UPS 的输入和输出电缆都采用最高等级 WDJAN 型号电缆，逆变器输出侧至电源屏端子之间的电缆截面积和长度相同。

2) 重新调校 UPS 逆变输出参数。更换电缆后，对逆变器输出电压、频率和幅值参数进行调校，尽量保证 2 台 UPS 逆变器输出电压一致。

经过以上整改后，海珠广场站 2 台 UPS 供电系统运行至今近 1 年的时间，未再发生直流母线过压等故障告警。通过监测观察 2 台 UPS 输出端电流曲线，亦未再出现尖峰变化，可以确定故障已经解决。

### 4 总结

海珠广场站 UPS 故障的根本原因是 2 台 UPS 输出电缆长度不同带来等效阻抗差异，在 UPS 间产生并机环流，造成 UPS 过载。通过本次故障处理得到的经验是：

1) 并机环流是 UPS 并机系统中的重大隐患，在后续并机改造工作中应当引起重视。

2) 为避免产生环流问题，实现并机均流供电，在并机系统安装调试阶段，一方面要调校 UPS 输出参数，将逆变器输出电压差控制在最小范围；另一方面输入 / 输出电缆的型号、截面积应该符合技术资料要求，UPS 输出端至电源屏的电缆长度应尽量相等。

#### 参考文献

- [1] 邹学毅, 刘向东, 严建海, 等. 电厂直流系统的母线失压补偿技术研究 [J]. 电工技术, 2021 (20): 97-99.  
Zou Xuanyi, Liu Xiangdong, Yan Jianhai, et al. Research on Compensation Technology of Busbar Voltage Loss of DC System in Power Plant[J]. Electric Engineering, 2021(20): 97-99.
- [2] 余蜜, 康勇, 张宇, 等. 基于环流阻抗的逆变器并联控制策略 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (18): 42-46.
- [3] 尹国强. 民航空管 UPS 供电系统中并机环流的危害与抑制措施 [J]. 电子世界, 2021 (6): 129-131.  
Yin Guoqiang. Harm and Suppression Measures of Parallel Circulation in UPS Power Supply System of Civil Aviation Air Traffic Control[J]. Electronics

- World, 2021(6): 129-131.
- [4] 杨帅帅, 卢子广, 宫萍萍. 基于等效阻抗的逆变器并联与环流抑制研究 [J]. 电力电子技术, 2021, 55 (7): 64-67.  
Yang Shuaishuai, Lu Ziguang, Gong Pingping. Research on Parallel Connection and Circulating Current Suppression of Inverters Based on Equivalent Impedance[J]. Power Electronics, 2021, 55(7): 64-67.
- [5] 张继红, 杨建民. 孤岛微网并联逆变器环流抑制与母线电压控制 [J]. 电测与仪表, 2021, 58 (2): 125-132.  
Zhang Jihong, Yang Jianmin. Circulating Current Restraining and Bus Voltage Control of Parallel Inverters in Islanding Micro-Grid[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2021, 58(2): 125-132.
- [6] 孙志强. 简谈地铁信号电源的双UPS并机方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13 (5): 76-78.  
Sun Zhiqiang. Scheme of Dual-UPS for Metro Signal Power Supply[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(5): 76-78.
- [7] 王颖, 李新, 冯前进, 等. 城市轨道交通信号UPS电源系统优化配置方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 62-67, 96.  
Wang Ying, Li Xin, Feng Qianjin, et al. Optimal Configuration Scheme of Signaling UPS System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 62-67, 96.
- [8] 杨勇. 高速铁路客运专线信号机械室UPS的环流分析 [J]. 上海铁道科技, 2015 (4): 108-109.  
Yang Yong. Circulation Analysis of UPS in Signal Machinery Room of High-Speed Railway Passenger Dedicated Line[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2015(4): 108-109.
- [9] 龚聪, 龙广钱, 陈微, 等. 广州地铁3号线非联锁站UPS并机系统实现 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (5): 68-70.  
Gong Cong, Long Guangqian, Chen Wei, et al. Realization of UPS Parallel Operation System at Non-Interlocking Station in Guangzhou Metro Line 3[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(5): 68-70.

\*\*\*\*\*

(上接77页)

- Suburban Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(9): 81-84.
- [9] 张敏慧. 国铁与城轨信号系统差异及互通性探讨 [J]. 铁道工程学报, 2019, 36 (12): 76-80.  
Zhang Minhui. Exploration on the Difference and Interoperation between National Railway and Urban Signaling Systems[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(12): 76-80.
- [10] 刘宏伟. 温州市域铁路S1线信号系统独立安全评估应用 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (2): 78-82.  
Liu Hongwei. Application of Independent Safety Assessment on Signalling System in Wenzhou City Railway S1 Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(2): 78-82.
- [11] 全宏宇, 张敏慧. 市域铁路CTCS-2与CBTC列控系统切换方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 61-66.  
Quan Hongyu, Zhang Minhui. Scheme for Switching Between CTCS-2 and CBTC Train Control Systems for Suburban Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 61-66.



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.017

# 城市轨道交通信号电源子系统不对称 双母线冗余方案探讨

谢 桥

(南宁轨道交通运营有限公司, 南宁 530025)

**摘要:**城市轨道交通信号系统可以确保行车安全、提高运输效率、改善工作环境、促进管理现代化,因此配备一套稳定可靠的电源子系统来确保信号系统稳定可靠工作至关重要。分析南宁轨道交通1号线至5号线信号电源子系统结构方案,总结不同结构方案的优缺点,结合现场实际情况提出不对称双母线冗余改造方案,提升电源子系统的稳定性、安全性、可靠性,确保满足城市轨道交通信号系统用电需求。

**关键词:**信号系统;电源子系统;不对称双母线

中图分类号:U284.8

文献标志码:A

文章编号:1673-4440(2023)12-0093-06

## Discussion on Asymmetric Double Bus Redundancy Scheme of Signal Power Subsystem for Urban Rail Transit

Xie Qiao

(Nanning Rail Transit Operation Co., Ltd., Nanning 530025, China)

**Abstract:** The signal system for urban rail transit can ensure train operation safety, increase transportation efficiency, improve the working environment, and promote management modernization. Therefore, a stable and reliable power subsystem is crucial for the stable and reliable working of the signal system. This paper analyzes the structure schemes of the signal power subsystems of Nanning Rail Transit Line 1 to Line 5. By summarizing the advantages and disadvantages of different structure schemes, and considering the actual situation at the site, it puts forward the asymmetric double bus redundancy scheme, to improve the stability, safety and reliability of the power subsystem, so as to meet the power supply needs of the signal system for urban rail transit.

**Keywords:** signal system; power subsystem; asymmetric double bus

城市轨道交通信号系统是实现行车指挥、列车运行监控和管理所需技术措施及配套装备的集合,

信号系统不论是整体设备失电或局部设备失电均会对运营服务造成不同程度的安全威胁和准点影响。因此,如何配备一套能保证从外电网端到信号系统设备端可靠供电的电源子系统一直是行业内研究的重点课题,下面以南宁轨道交通信号电源子系统为

收稿日期:2022-08-10;修回日期:2023-11-20

作者简介:谢桥(1991—),男,工程师,本科,主要研究方向:城市轨道交通信号系统工程,邮箱:421890149@qq.com。

例进行分析探讨。

## 1 南宁轨道交通运营线路信号电源子系统配置情况

经过前两轮规划建设，南宁市已开通城市轨道交通运营线路 5 条，分别是南宁轨道交通 1 号线、2 号线（含东延长线）、3 号线、4 号线、5 号线，运营里程达到 128 km，形成了“十”字轨道骨架和“井”字放射网络，为广大市民乘客提供安全舒适准点的交通方式，极大地舒缓了市区地面交通压力，为后续南宁城市轨道交通线路建设规划和大都市区空间布局奠定基础。在已建成运营线路中，1 号线至 4 号线为列车自动运行（Automatic Train Operation, ATO）线路，5 号线为无人值守全自动运行（Unattended Train Operation, UTO）线路，每条线路配备的信号电源子系统包含智能电源屏、不间断电源（Uninterrupted Power System, UPS）、蓄电池组、交流稳压柜、配电箱等设备，以上设备以不同的结构组合方案，通过整流、逆变、隔离变压等技术手段确保输出信号系统设备所需的高品质电源，承载着南宁轨道交通信号系统的供电安全。

### 1.1 南宁轨道交通1号线至4号线设备集中站、控制中心、车辆段/停车场供电方案

如图 1 所示，南宁轨道交通 1 号线至 4 号线设备集中站、控制中心、车辆段 / 停车场采用单 UPS+ 旁路交流稳压柜 + 单供电母线供电方案，由智能电源屏（含两路电源自动切换装置）、UPS、交流稳压柜、配电箱等功能单元组成。该方案的两路输入市电由配电箱转接，经电源自动切换装置后，分别给 UPS 主路、交流稳压柜供电（由交流稳压柜输出至 UPS 旁路），经 UPS 输出给电源模块和隔离变压器后向各类信号设备供电，同时 UPS 给蓄电池进行充电。电源子系统提供三级集散式监控体系，具备模块级、设备级、线路级（线网级）监控功能，各级监控自成体系，互不影响，满足运营维护人员

实时监控电源子系统工作状态的需求。

该方案优缺点分析如下。

1) 可对外电网输入电压进行采样检测，实现外部供电的自动切换功能，同时具备手动切换功能。不论何种切换，其响应完成时间不大于 150 ms。

2) 配备的 UPS 提供主路、稳压旁路、后备逆变、维修旁路 4 种工作模式，保证在外电网停电、UPS 整流器（或逆变器、静态开关）等内部部件故障等多场景下不间断供电的功能。

3) 可根据用户用电需求灵活配置电源屏交 / 直流模块、隔离变压器，单独模块化设计保证更换模块耗时少，更换过程不影响系统输出。

4) 受限于单 UPS 和单供电母线结构，缺乏冗余功能，UPS 整机故障、后端短路损毁母线、母线缆缆接触不良等故障将造成无电源输出，导致信号设备失电，严重影响行车。

### 1.2 南宁轨道交通5号线设备集中站、控制中心、备用控制中心、车辆段/停车场供电方案

如图 2 所示，南宁轨道交通 5 号线设备集中站、控制中心、备用控制中心、车辆段 / 停车场采用“双 UPS+ 双旁路交流稳压柜 + 双供电母线供电方案”，该方案在南宁轨道交通 1 号线至 4 号线设备集中站供电方案的基础上，增加一套电源屏（含两路电源自动切换装置）、一套 UPS 和输出母线。该方案的两路市电输入经配电箱转接，经电源自动切换装置后，分别给一系的 UPS 和另一系的电源模块提供电源，两系互为冗余。UPS 与另一系的电源模块输出物理隔离，故障时相互不影响。当其中一系设备出现故障时，切换由另外一系设备承担起所有信号设备供电，该方案同样具备三级集散式监控功能。

该方案优缺点分析如下。

1) 该方案为“单 UPS+ 旁路交流稳压柜 + 单供电母线”供电方案的优化升级版，不仅具备前述方案的优点，而且克服了单 UPS 和单供电母线的缺点，具有较高的供电可靠性。

2) 由于配备冗余设备，建设前期应充分考虑更大的地下空间布局和较高的设备采购成本。



图1 设备集中站单UPS+旁路交流稳压柜+单供电母线供电方案

Fig.1 Power supply solution of single UPS + bypass AC voltage regulator cabinet + single bus in centralized station

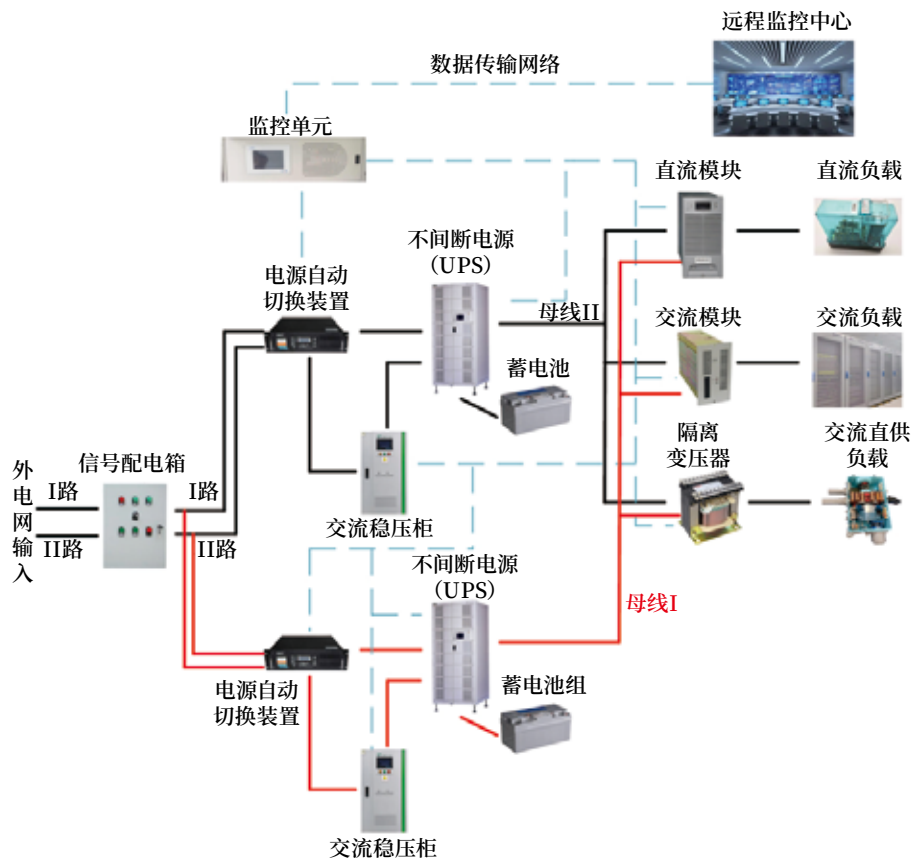


图2 设备集中站双UPS+双旁路交流稳压柜+双供电母线供电方案

Fig.2 Power supply solution of double UPS + double bypass AC voltage regulator cabinet + double bus in centralized station

### 1.3 南宁轨道交通1号线至5号线非集中站电源子系统结构

如图3所示, 南宁轨道交通1号线至5号线非

集中站采用“单UPS+交流稳压柜+单供电母线供电”方案。该方案与南宁轨道交通1号线至4号线设备集中站供电方案的不同之处在于UPS与交流稳

压柜的连接方式、容量，该方案的 UPS 主路、静态旁路和维修旁路均与交流稳压柜串联连接，仅使用单相电源经稳压、隔离变压后供负载使用，因非集中站负荷低，其容量较集中站而言也较小，一般小于 15 kVA。该方案两路输入市电经配电箱转接，经

电源自动切换装置后给 UPS 供电，UPS 输出至交流稳压柜，最终交流稳压柜输出至隔离变压器后向各类信号设备供电，该方案同样具备三级集散式监控功能。



图3 非设备集中站单UPS+交流稳压柜+单供电母线供电方案

Fig.3 Power supply solution of single UPS + AC voltage regulator cabinet + single bus in non-centralized station

该方案优缺点分析如下。

1) 受限于单 UPS 和单供电母线结构，对 UPS 整机故障、后端短路损毁母线、母线线缆接触不良等故障无抵御能力，但由于非集中站信号负载一般为监视工作站、发车计时器、轨旁车-地通信等设备，且相邻轨旁车-地通信设备布置点交叉供电，范围可冗余覆盖，上述设备失电对运营安全影响较小。

2) 该方案对地下空间布局和设备采购成本要求较低。

## 2 电源子系统供电情况及整体信号设备失电影响情况

南宁轨道交通各条线路均采用基于通信的列车控制 (Communication Based Train Control, CBTC) 信号系统，包含列车自动监控 (Automatic Train Supervision, ATS)、列车自动防护 (Automatic Train Protection, ATP)、ATO、计算机联锁 (Computer Interlocking, CI)、数据传输 (Data Communications System, DCS)、信号集中监测等子系统，各子系统采用国内

外不同厂商的设备，这些设备按不同需求分布在控制中心、设备集中站、车辆段/停车场、非设备集中站等不同场所，因此不同场所的电源子系统故障后造成整体信号设备失电的影响范围也不同。一般而言，设备集中站/车辆段/停车场整体信号设备失电会造成本联锁区信号功能丧失、线路降级运营等影响，控制中心整体信号设备失电会造成线路降级运营、线路集中控制功能丧失等影响，非集中站整体信号设备失电会造成本站行车监视和辅助设备功能丧失、轨旁车-地通信设备物理位置冗余失效等影响。如表 1 所示，下面以南宁轨道交通 2 号线为例，阐述不同场所信号电源子系统供电情况和整体设备失电造成的影响。

## 3 改造方案

综上所述，控制中心、设备集中站、车辆段/停车场信号设备失电将对线路运营造成重大影响，因此对于使用单 UPS+旁路交流稳压柜+单供电母线供电方案的控制中心、设备集中站、车辆段/停车场来说，研究一种可用于实践并克服单点故障造成信号设备失电缺点的供电方案十分必要。前文已

表1 南宁轨道交通2号线信号电源子系统供电情况及整体信号设备失电对运营造成的影响

Tab.1 Power supply situation of power subsystem for signal system of Nanning Rail Transit Line 2 and impacts of power failure of all signal equipment on train operation

场所	电源子系统供电的主要信号设备	整体信号设备失电对运营造成的影响
控制中心	应用服务器、数据库服务器、病毒库服务器、网关服务器、磁盘阵列、通信前置机、工作站大屏计算机等	全线路降级运营，运行中的CBTC列车触发紧急制，线路集中控制功能丧失等
一级设备集中站	区域控制器、线路控制器、本地ATS设备、CI设备、DCS设备、计算机监测设备、工作站、转辙机、信号机、计轴、发车计时器、轨旁车-地通信设备等	全线路降级运营，运行中的CBTC列车触发紧急制，跨故障联锁区进路（含敌对检查进路）无法办理，无法监控故障联锁区内行车情况等
二级设备集中站	本地ATS设备、CI设备、DCS设备、计算机监测设备、工作站、转辙机、信号机、计轴、发车计时器、轨旁车-地通信设备等	运行中的CBTC列车触发紧急制，跨故障联锁区进路（含敌对检查进路）无法办理，无法监控故障联锁区内行车情况等
车辆段/停车场	本地ATS设备、CI设备、DCS设备、计算机监测设备、工作站、转辙机、信号机、轨道电路、轨旁车-地通信设备等	跨故障车辆段/停车场进路（含敌对检查进路）无法办理，无法监控故障车辆段/停车场内行车情况等
非设备集中站	工作站、发车计时器、轨旁车-地通信设备等	无法监视故障联锁区内行车情况，本站无法按计时器显示发车，可能造成列车降级运行等

分析“双UPS+双旁路交流稳压柜+双供电母线供电”方案供电可靠性较高，“单UPS+旁路交流稳压柜+单供电母线”供电方案在某些不利条件下会造成信号设备失电，因此通过改造增加电源子系统的冗余功能为可行之策。现提出3种冗余改造方案并说明各种改造方案的适用场景。

### 3.1 双UPS并机冗余改造方案

双UPS并机方案设置双套相同的UPS设备，一套电源自动切换装置和一套交流稳压柜，双套UPS的静态旁路共用一套交流稳压柜。该方案在正常运行方式和非正常运行方式下均能可靠工作，有效克服单UPS+旁路交流稳压柜方案下UPS整机故障造成信号设备失电的缺点，但仍无法具备抵御母线类故障的能力。该方案需要新增一套UPS，宜在

空间布局宽裕和设备失电后影响范围小的非集中站使用。

### 3.2 双UPS+双旁路交流稳压柜+双供电母线冗余改造方案

“双UPS+双旁路交流稳压柜+双供电母线”方案目前尚未大范围普及使用，多用于国内各城市新建的UTO线路。该方案要求更大的地下空间布局和更高的设备采购成本，从空间布局方面考虑不宜在既有线空间紧凑的设备集中站使用，从设备失电影响程度较小和运营成本更高方面考虑，不宜在既有线非集中站使用。从规划建设和开通运营后成本考虑，长期成本较双UPS并机方案低，宜在新建线路使用。

### 3.3 不对称双母线冗余改造方案

如图4所示，不对称双母线冗余方案在单UPS+旁路交流稳压柜+单供电母线供电方案的基础上，增加一套电源自动切换装置、一套母线和按需配置的交流电源模块。不对称双母线方案的两路市电输入经电源自动切换装置后，正常情况下给一系的UPS和电源模块提供电源，另一系经新增的自动切换装置经新增母线直连电源模块后输出至负载，两系互为冗余。UPS与另一系的电源模块输出物理隔离，故障时相互不影响。当其中一系设备出现故障时，切换由另外一系设备承担起所有负载的供电需求。该方案主要优点是无需新增机柜，仅增加较少的设备，可以利用原有电源屏补空位置和旁路交流稳压柜进行设置，采用双总线冗余方式，有效抵御母线类故障，提升电源子系统整体可靠性。但该方案未设置UPS，缺少稳压、稳频、滤波、抗电磁和射频干扰等净化作用和后备供电功能，存在因外电网污染造成后端设备发生干扰、损伤的潜在风险，在切换至该方案工作的情况下，如外电网停电会造成整体信号设备失电，对正常运营造成影响。宜在既有线设备集中站和非设备集中站使用，且不建议长期使用该方案对信号设备进行供电。

## 4 结束语

本文提出的城市轨道交通信号电源子系统不对

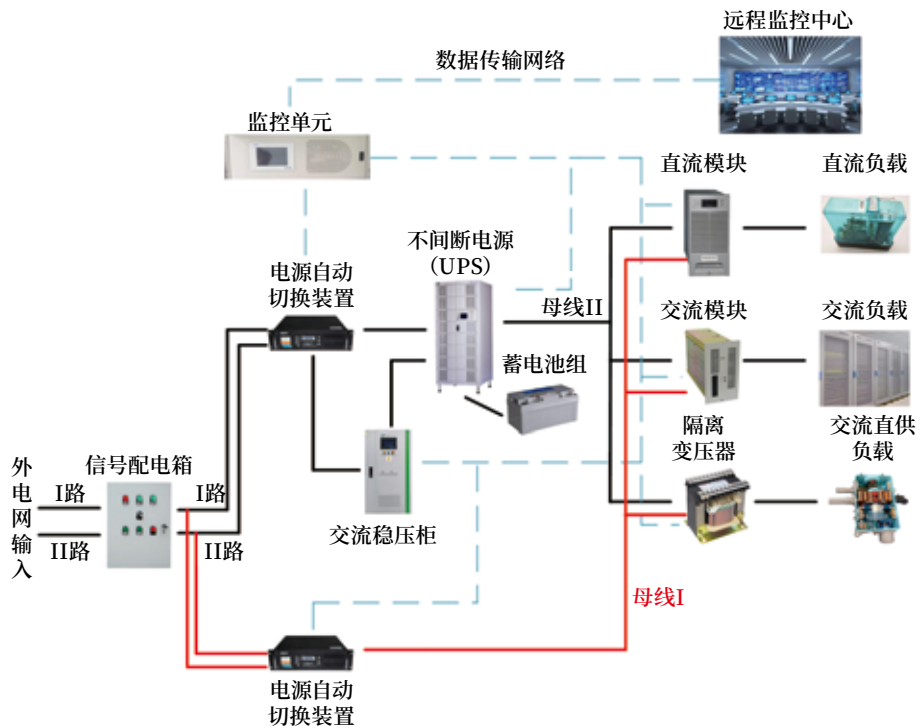


图4 不对称双母线冗余方案  
Fig.4 Asymmetric double bus redundancy scheme

称双母线冗余方案仅增加少量模块化设备，可以有效利用既有设备机柜的空间进行布置安装。该方案设计简约，易于施工，不仅降低了需投入的成本，而且便于后期运维人员开展维保工作，可为行业内电源子系统的设计、建设和既有有线改造等工作提供参考依据。

#### 参考文献

[1] 国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会．城市轨道交通信号系统通用技术条件：GB/T 12758-2004[S]．北京：中国标准出版社，2005．

[2] 孙志强．简谈地铁信号电源的双UPS并机方案[J]．铁路通信信号工程技术，2016，13(5)：76-78．

Sun Zhiqiang. Scheme of Dual-UPS for Metro Signal Power Supply[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(5): 76-78.

[3] 龚聪，龙广钱，陈微，等．广州地铁3号线非联锁站UPS并机系统实现[J]．铁道通信信号，

2017，53(5)：68-70．

Gong Cong, Long Guangqian, Chen Wei, et al. Realization of UPS Parallel Operation System at Non-Interlocking Station in Guangzhou Metro Line 3[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(5): 68-70.

[4] 刘可昌，黎鹏飞，潘雷．城轨信号电源系统方案研究比较[J]．铁道通信信号，2018，54(2)：92-94．

Liu Kechang, Li Pengfei, Pan Lei. Study of Power Supply for Signal System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(2): 92-94.

[5] 孙梦剑．UT0线路下轨道交通信号的电源系统设计[D]．南京：南京邮电大学，2020．

[6] 庄维，凡振松，王利．信号机房双电源改造技术方案可行性研究[J]．铁路通信信号工程技术，2020，17(11)：20-24．

Zhuang Wei, Fan Zhensong, Wang Li. Feasibility Research on Technical Scheme of Dual Power (下转 114页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.018

# 基于VRRP的ATS主备中心 网络切换方案的研究

石 斌

(卡斯柯信号有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 提出在城轨云平台架构下, 基于虚拟路由器冗余协议(VRRP)的ATS主备中心网络切换技术, 并对ATS主备中心切换的组网需求、切换原理、组网结构、网络设计等方面进行分析和阐述。旨在以ATS主用中心和备用中心网络均健壮的基础上, 实现ATS主备容灾切换, 从而提高运营效率和服务质量, 并且对城市轨道交通信号系统ATS融合云平台架构的主备中心切换需求提供一定的参考意义, 为同场景的地铁信号系统项目提供参考。

**关键词:** 虚拟路由器冗余协议; 云平台; 城市轨道交通信号系统; 列车自动监控子系统; 信息安全

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0099-07

## Research on Network Handover Scheme of ATS Master/Standby Center Based on VRRP Protocol

Shi Bin

(CASCO Signal Ltd, Beijing 100070, China)

**Abstract:** This paper proposes a network switching technology for ATS master and backup centers based on VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol) under the cloud platform architecture for urban rail. It also analyzes and discusses the networking requirements, switching principles, networking structure, network design and other aspects of the switching of ATS master and backup centers. It aims to achieve the switching of the ATS master and standby centers for disaster recovery on the basis of the robustness of the networks of the ATS primary and standby centers, so as to improve the operation efficiency and service quality. It has certain reference value for the switching needs of the master and standby centers of the ATS system of signaling systems for urban rail transit under the cloud platform architecture, and provides reference for subway signal system projects in the same scenario.

**Keywords:** virtual router redundancy protocol; cloud platform; signal system for urban rail transit; automatic train supervision; information safety

收稿日期: 2023-01-04; 修回日期: 2023-11-29

基金项目: 卡斯柯信号有限公司应用工程项目(A5.7W118055)

作者简介: 石斌(1993-), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通线路(地铁、市域铁路、有轨电车)的信号系统有线和无线网络设计以及互联互通线路网络结构设计, 邮箱: shibin@casco.com.cn.

城市轨道交通信号系统列车自动监控系统 (Automatic Train Supervision, ATS) 是一个分布式的计算机监控系统, 主要分布于控制中心、灾备中心、正线车站、停车场和车辆段<sup>[1]</sup>。ATS 通过对列车运行监视、自动排列进路、自动列车调整、自动生成时刻表、自动记录和统计运行数据并生产报表、自动检测设备运行状态等, 实现对列车运行的监视和控制, 辅助调度员完成对全线列车的远程管理。系统采用热备冗余的方式, 保证系统有高度的可用性<sup>[2]</sup>。随着地铁信号系统中对 ATS 的调度效率和系统安全可靠性的提高, 信号系统网络化承载业务的能力不断提升。在 ATS 融合云平台全新的业务模式背景下, 需要通过承载网络实现车站和主/备中心 ATS 之间的业务通信需求。本文根据新的业务需求提出详细的网络设计方案并进行论述。

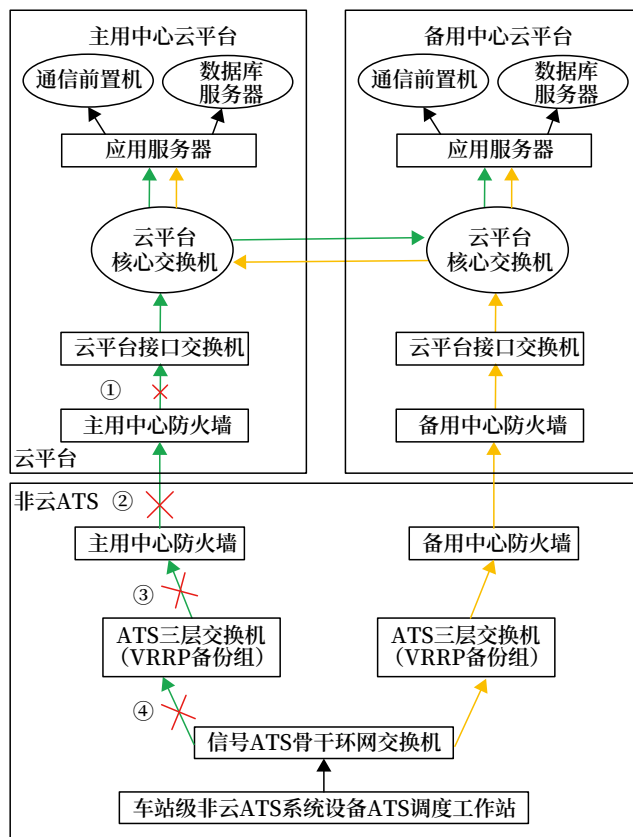
## 1 业务需求

在 ATS 主/备中心设置的通信前置机、数据库服务器和应用服务器均部署于云平台进行资源整合, 不再设置独立的硬件设备。在 ATS 主/备中心设备融合云平台的背景下, 实现车站级非云 ATS 系统与 ATS 主/备中心云平台进行信息交互。其中, 车站级非云 ATS 系统设备主要包括车站 ATS 自律机、ATS 现地控制工作站、ATS 监视工作站和 ATS 调度工作站等。数据库服务器在云平台 IaaS 层采用裸金属服务器方式部署, 应用服务器和通信前置机在云平台 IaaS 层采用虚拟化云主机方式部署。

当控制中心非云 ATS 通信链路或设备故障时, 可无缝切换至灾备中心非云链路, 完成车站级非云 ATS 系统设备与云平台的通信, 保证 ATS 系统实时监控在线列车运行的功能以及行车调度任务<sup>[3]</sup>。业务需求如图 1 所示。

1) 为实现全部线路包括场段的 ATS 功能处理, 实现信号设备和列车的远程自动控制功能, 车站级非云 ATS 系统设备需要和 ATS 主用中心及备用中心云平台应用服务器同时通信。

2) 为辅助调度员实现对全线列车的指挥和控



图例: → 主链路数据流向 → 备链路数据流向

图1 ATS业务需求架构  
Fig.1 Architecture of ATS service requirements

制, ATS 调度工作站, 需要和 ATS 主用中心及备用中心云平台应用服务器同时通信。

3) 正常情况下, 车站级非云 ATS 系统设备、调度工作站和主用中心云平台之间的通信链路如图 1 所示的绿色箭头; 车站级非云 ATS 系统设备、调度工作站和备用中心云平台之间的通信链路如图 1 所示的绿色箭头。

4) 在非云部分通往主用中心云平台核心交换机之间的传输链路发生故障时, 即如图 1 中的①、②、③和④任意一处链路或者所连接设备出现故障, 车站级非云 ATS 系统设备和主用中心云平台应用服务器之间的通信数据包经由图 1 中黄色箭头链路所示; 车站级非云 ATS 系统设备和备用中心云平台应用服务器之间的通信数据包亦如此。

5) 在非云部分通往主用中心云平台核心交换机之间的传输链路恢复正常后, 即在 4) 的故障场景



修复后, 则车站级非云 ATS 系统设备和主、备用中心云平台应用服务器之间的通信将恢复至 3) 的数据流状态。

## 2 技术原理

为实现以上业务需求, 并保证网络可靠性的前提下, 实现车站级非云 ATS 系统设备、ATS 调度工作站与主/备中心云平台网络间的平滑切换, 引入 VRRP 技术。VRRP 是一种提高网络稳定性和可靠性的技术手段, 它将多个路由虚拟成一个网关, 只要其中有一条路由可用, 网络传输就不会中断, 同样, VRRP 还可以实现上/下链路的故障检测和负载均衡, 保证业务实时稳定传输<sup>[4]</sup>。通常, 在地铁信号系统 ATS 局域网络环境中, 需对外通信的车站级非云 ATS 系统设备都需要设置一个网关地址, 而这个网关地址就是 ATS 对外通信的三层网络地址, 用户主机通过该三层网络地址实现与主/备中心云平台网络交互信息。但是在上述业务需求的情况下, 需保证 ATS 可以通过两个三层网络地址实现与主/备中心云平台业务网络进行通信, 而通过 VRRP 技术恰恰可以解决多网关路由通信。

利用 VRRP 技术, 一组路由器中, 仅有一个将处于主用 (Master) 状态, 而其余路由器均处于备用 (Backup) 状态, 或者称为监听状态。而处于 Master 状态的路由器将承担实际的数据流量转发任务, Backup 路由器始终监听 Master 路由器的状态, 一旦 Master 路由器或者其所在的上、下联链路出现故障, 处于监听状态的路由器将升为 Master 承担转发任务。如果在组路由器中 Master 路由器配置抢占模式, 则在 Master 路由器或者其所在的上、下联链路故障修复后, 将再次承担转发任务。在这一组路由器中, 共用一个虚拟网关地址, 作为所有主机的缺省网关地址。VRRP 备份组原理如图 2 所示, 主机 PC 通过交换机 (SW) 连接双归属路由器  $R_1$  和  $R_2$ 。在路由器  $R_1$  和  $R_2$  之间配置 VRRP 备份组, 对外体现为一台虚拟路由器 (Virtual Router) 来实现链路冗余备份<sup>[5]</sup>。

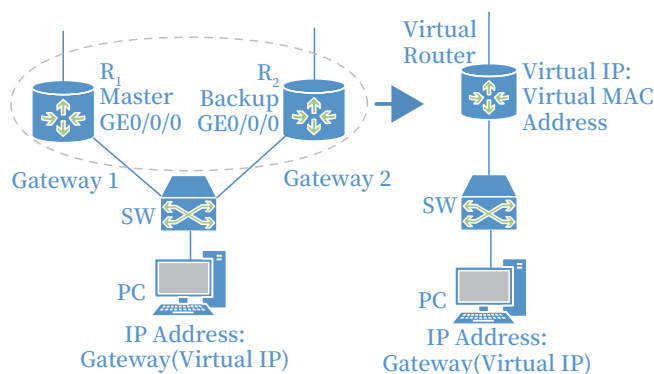


图2 VRRP备份组原理

Fig.2 Principle of VRRP backup group

## 3 网络设计

以 ATS 单张网络为例进行 VRRP 环境测试部署, 如图 3 所示。

1) 配置主用、备用中心 VRRP 备份组 ATS 三层交换机 L3 SW1、L3 SW2, 连接非云部分 ATS 骨干环网, 通过信号系统防火墙连接云主用、备用中心防火墙。其中 ATS 骨干环网采用二层环保护技术, 防止物理成环导致网络风暴的产生。这里采用信号系统中常用的 Hirshmann MACH1000 系列的交换机构建信号 ATS 骨干环网, 具体工作原理如下。

非云 ATS 网络部分的 ATS 骨干环网通常采用介质冗余协议 (MRP), 这种协议将确保网络始终是一个无环拓扑。这种协议的重置时间低于 50 ms。该协议是“Hello”数据包的扩展应用。这些数据包由环网服务器设备的一个环接口 (环接口 1) 发送, 在环网服务器设备的另一个环接口 (环接口 2) 接收 (环上每台交换机有 2 个环接口)。一旦收到“Hello”数据包, 环接口 2 将保持在监听模式; 也就是说环接口 2 接收但不能转发任何数据包, ATS 骨干环协议原理如图 4 (a) 所示。

若断了一根光纤, 环接口 2 收不到“Hello”数据包。当接口 2 连续 3 次收不到“Hello”数据包, 环服务器认为环上有一个链路断开: 环接口 2 将改变发送模式, 开始发送数据包。环网被重新配置, 所有连接至环网上的设备都可以正常通信, 如

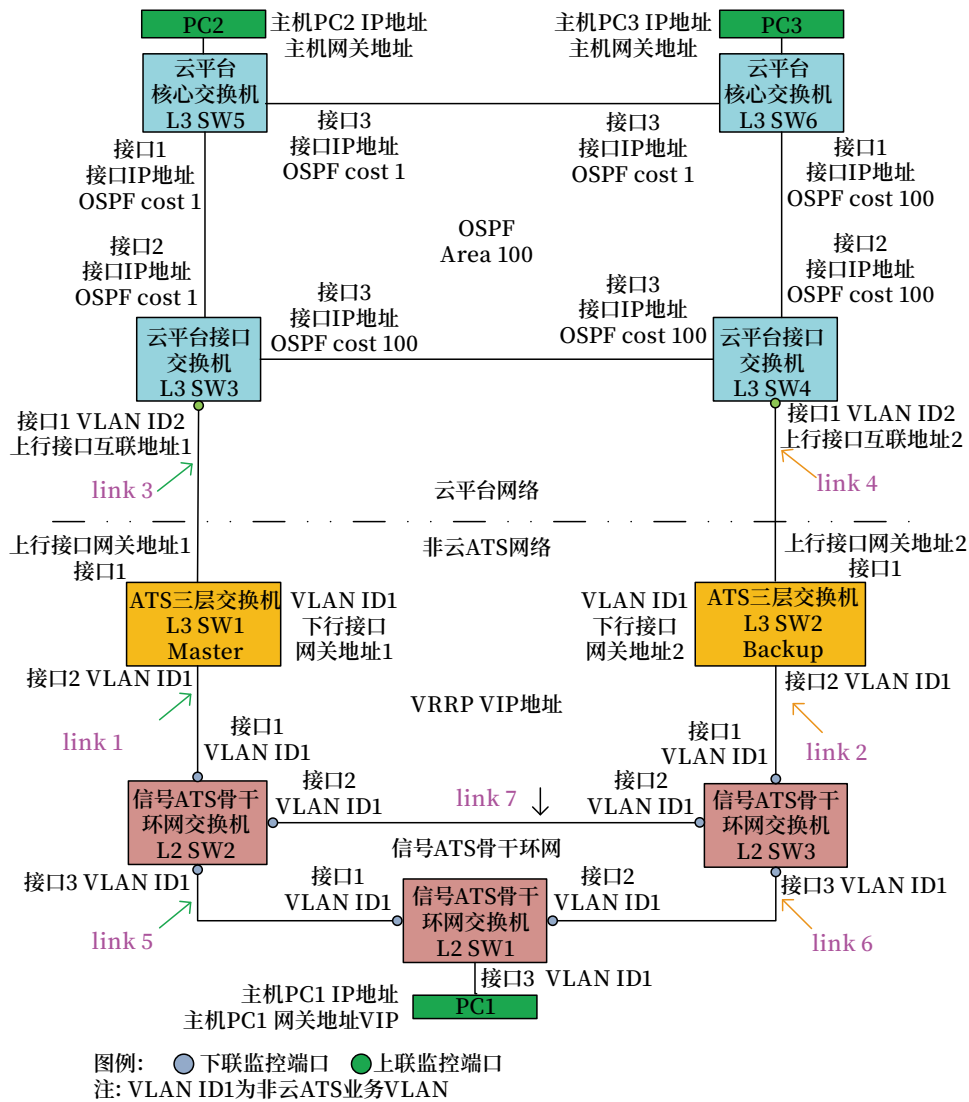


图3 ATS网络设计拓扑  
Fig.3 Topology of ATS network design

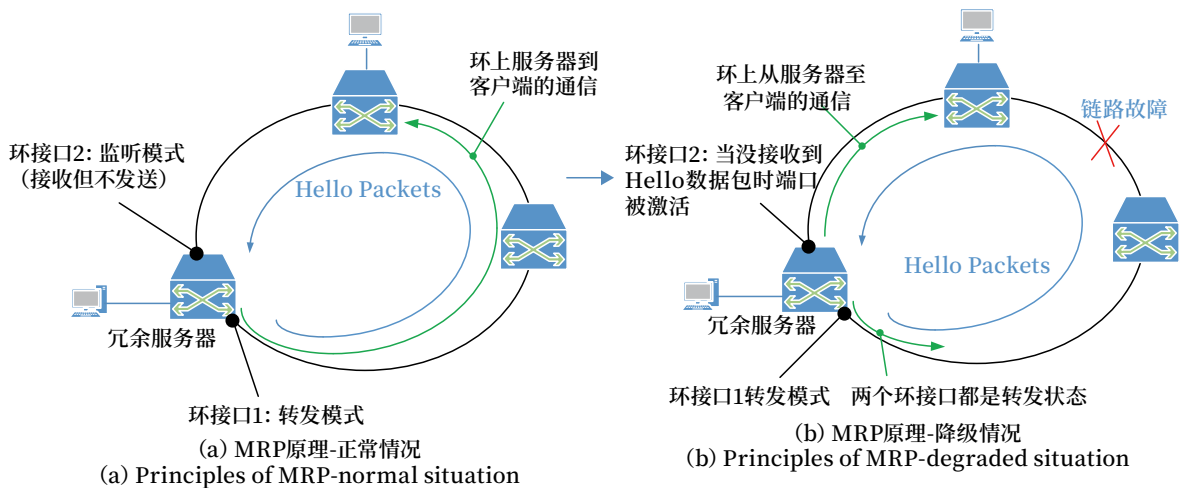


图4 ATS骨干环协议原理  
Fig.4 Principle of ATS backbone ring protocol

图 4 (b) 所示。

如果环接口 2 再次收到“Hello”数据包，那么环网服务器将强制环接口 2 恢复监听模式。

2) 在 L3 SW1、L3 SW2 之间启用 VRRP，生成一个虚拟 IP 地址 VIP，并开启抢占模式和联动功能，监听上联接口（上行接口互联地址 1、2）或链路（link3、4）的状态。

3) 在 L3 SW1 设置优先级为 120，即高优先级，作为 Master，设置延时抢占；在 L3 SW2 设置优先级为 100，即低优先级，作为 Backup，设置立即抢占。配置 Master 设备为延时抢占，Backup 设置为立即抢占的目的是防止频繁进行状态切换导致网络运行紊乱。

4) 在 L3 SW1 配置实时监控 L3 SW3 的接口 1 状态，一旦该接口中断将 VRRP 备份组的优先级降低 30，即由原来的 120 降低至 90，此时 L3 SW1 的优先级低于 L3 SW2 的优先级，将自动切换为 Backup 状态。

5) 在 L3 SW1 和 L3 SW2 上增加通向云平台主机 PC2 和 PC3 的静态路由条目。

6) 在 L3 SW3 和 L3 SW4 上增加至非云 ATS 主机 PC1 的回程路由条目。

7) 车站 ATS 站机 PC1 以虚拟 IP 地址 VIP 作为默认网关。

8) 云平台网络中需要将通向车站 ATS 站机的路由导入到 OSPF Area100 的路由表中。

为了更加直观地观察 VRRP 备份组切换过程中数据流的流向动态，需在 L3 SW1 中设置静态路由条目：L3 SW4 的接口 1 IP 地址 目的掩码 L3 SW2 下行接口网关地址 2；在 L3 SW2 中设置静态路由条目：L3 SW3 的接口 1 IP 地址 目的掩码 L3 SW1 下行接口网关地址 1；在检测 VRRP 主/备切换的稳定性时，可以通过 PC1 长 ping 上联接口地址：L3 SW3 的接口 1 IP 地址和 L3 SW4 的接口 1 IP 地址。通过 PC1 长 ping 上联链路各个接口 IP 和 PC2、PC3 的主机 IP，判断 VRRP 状态变化是否符合预期，测试结果统计如表 1 所示。

表1 VRRP主备切换测试现象统计

Tab.1 Statistics of switching test results of VRRP master/backup group

操作	L3 SW3 的接口 1 IP 地址	L3 SW4 的接口 1 IP 地址	PC2	PC3	VRRP Master
正常状态	√	√	√	√	L3 SW1
断开 link1	×	√	√	√	L3 SW2
恢复 link1	√	√	√	√	L3 SW1
断开 link2	√	×	√	√	L3 SW1
恢复 link2	√	√	√	√	L3 SW1
断开 link3	×	√	√	√	L3 SW2
恢复 link3	√	√	√	√	L3 SW1
断开 link4	√	×	√	√	L3 SW1
恢复 link4	√	√	√	√	L3 SW1
断开 link5	√	√	√	√	L3 SW1
恢复 link5	√	√	√	√	L3 SW1
断开 link6	√	√	√	√	L3 SW1
恢复 link6	√	√	√	√	L3 SW1
断开 link7	√	√	√	√	L3 SW1
恢复 link7	√	√	√	√	L3 SW1

注：通√ / 断×

由于 ATS 骨干网启用二层环保护功能，所以在二层环网中任意单一连线中断，都不会影响数据的正常传输，亦不会导致 VRRP 状态的切换，为上层链路提供更加可靠的保证。

用户侧的数据流量符合业务需求 3)、4) 和 5) 中的描述，测试结果均符合预期，能够满足 ATS 业务传输的通信网络质量需求。

## 4 典型配置

### 1) L3 SW1

执行语句：vrrp vrid 1 virtual-ip VIP 地址；

创建 VRRP 虚拟路由器的标识 vrid 为 1，并配置 vrid 1 的虚拟 IP 地址；

执行语句：vrrp vrid 1 priority 120；

设置设备 L3 SW1 的优先级为 120（缺省值为 100），数值越大越优先；

执行语句：vrrp vrid 1 preempt-mode timer delay 30；

配置 Master 设备的抢占延时为 30 s（缺省值为 0，立即抢占）；

执行语句：vrrp vrid 1 track interface Vlan-interface vlan id2 reduced 30；

跟踪上行接口的状态，如出现端口 1 或者链路 link3 故障，则 Master 优先级降低 30（缺省值为 10）；

执行语句：vrrp vrid 1 track interface Vlan-interface vlanID1；

跟踪下行接口。

## 2) L3 SW2

配置下行接口网关地址；

执行语句：vrrp vrid 1 virtual-ip VIP 地址；

配置 VRRP 虚拟网关地址；

执行语句：vrrp vrid 1 priority 100；

设置设备 L3 SW2 的优先级为 100；

执行语句：vrrp vrid 1 preempt-mode timer delay；

配置 Backup 设备为立即抢占（缺省值为 0，立即抢占）<sup>[6]</sup>。

## 5 应用实例

呼和浩特市地铁 2 号线信号系统中，采用上述基于 VRRP 的 ATS 主/备中心网络切换技术实现 ATS 子系统与主备中心云平台的对接难题。在 ATS 系统双网冗余架构的前提下，如上述图 3 中的结构描述，考虑主备异地容灾设计原则，在主/备中心分别设置 ATS 三层交换机，用于组建 VRRP 备份组路由器，保证非云 ATS 主机始终保持唯一的网关地址，解决 ATS 对主/备中心云平台通信的路由选择问题和 ATS 与主/备中心云平台业务传递的主/备切换难题，实现上述业务需求中对于主备中心双链路正常情况和故障场景下的业务传递需求。以上技术在本项目中的实际应用不仅实现非云车站级 ATS 主机、主/备中心 ATS 调度台与主/备中心云平台应用服务器同时通信的需求，也进一步提高了 ATS 与云平台间业务传输的可靠性<sup>[7]</sup>。

根据网络设计对工程使用设备进行部署，ATS 网络整体采用全透明传输设计方式，依据 ISO 的

OSI 7 层参考模型进行搭建。信号专业接入层使用 MRP 协议创建 ATS 无环拓扑结构，网络层使用 VRRP 技术解决 ATS 通信的多网关问题，确保 ATS 主机有唯一网关地址进行对外通信。VRRP 技术启用联动功能，实时检测上、下联接口的活动状态，保证网络连接的可靠性。另外，设置抢占模式和延时抢占模式，保证网络中无“双主”问题的出现和网络的持续稳定状态。

由于信号系统信息安全三级等保的要求，需要在外部接口的位置设置边界防护设备进行隔离，所以在工程实例中引入云边界防火墙，作为信号系统 ATS 和云平台的区域边界隔离设备，如图 5 所示，保证信号系统 ATS 与云平台的安全隔离，满足网络安全等级保护对边界防护、访问控制的要求<sup>[8]</sup>。非云 ATS 区与云平台区应设置为双向通信、二层透明传输模式，并在云边界防火墙设置网段级访问控制策略，设定源目 IP 地址、源目端口号、通信协议等信息<sup>[9]</sup>。

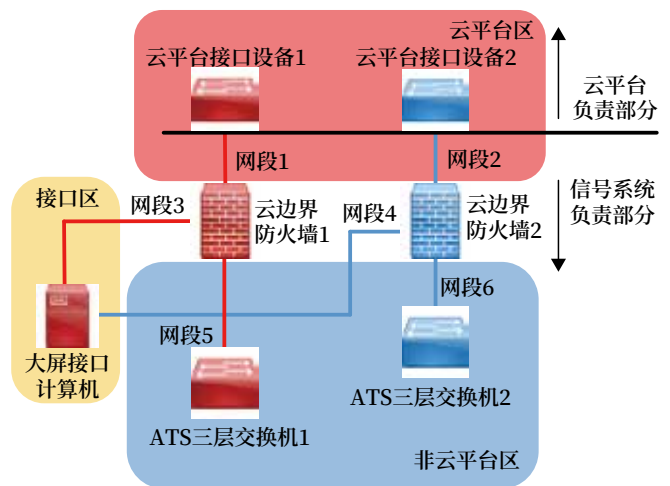


图5 ATS—云平台边界隔离示意  
Fig.5 Schematic of ATS-cloud platform boundary isolation

## 6 结束语

在城市轨道交通信号系统 ATS 融合云平台的大趋势下，满足 ATS 主/备中心切换功能的网络需求已迫在眉睫，与非云平台方式的 ATS 主/备中心切换方案不同的是，基于云平台的 ATS 主/备中心

网络切换方案依托 VRRP 技术可以实现主 / 备中心 ATS 数据业务的实时传输和数据链路的无缝切换。由于 ATS 位于主 / 备中心的服务器均于云平台进行资源整合, 所以车站级非云 ATS 系统设备与主 / 备中心服务器之间的通信需通过非云 ATS 与云平台网络接口进行信息传输。基于 VRRP 的 ATS 主 / 备中心网络切换方案, 提高了 ATS 系统的可靠性和运维效率<sup>[10]</sup>。此外, 统一的千兆接口连接和全透明的信息传输方式, 也为实现 ATS 大带宽业务的传输提供保证, 达到通信传输延时的最小化。呼和浩特市地铁 2 号线的实施案例, 也为后续线路的方案设计和实施提供极大的理论支撑和参考价值。

#### 参考文献

- [1] 蔡絮, 王一凡. 构建同城双活数据中心光传输网络 [J]. 金融电子化, 2017 (2): 74-75.  
Cai Xu, Wang Yifan. Constructing Optical Transmission Network of Active and Passive Data Center in the Same City[J]. Financial Computerizing, 2017(2): 74-75.
- [2] 赵威. 城市轨道交通列车自动监控系统的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2008, 5 (5): 30-32, 48.  
Zhao Wei. Study on Automatic Train Supervision System of Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2008, 5(5): 30-32, 48.
- [3] 赵琳. VRRP 工作原理和配置 [J]. 网络安全和信息化, 2022 (4): 86-88.  
Zhao Lin. Working Principle and Configuration of VRRP[J]. Cybersecurity & Informatization, 2022(4): 86-88.
- [4] 左延智, 牛晓华. VRRP 及其在专网中的应用 [J]. 无线电工程, 2008, 38 (2): 13-15.  
Zuo Yanzhi, Niu Xiaohua. The VRRP and Its Application in a Private Network[J]. Radio Engineering, 2008, 38(2): 13-15.
- [5] 陈瑞军, 孟伟君, 胡晓伟, 等. 城市轨道交通云平台容灾方案研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (9): 184-188.  
Chen Ruijun, Meng Weijun, Hu Xiaowei, et al. Research on Disaster Recovery Solution of Urban Rail Cloud Platform[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(9): 184-188.
- [6] 陈显毅. VRRP 技术在局域网中的应用 [J]. 中国科技信息, 2009 (10): 116-117.  
Chen Xianyi. Application of VRRP Technology in LAN[J]. China Science and Technology Information, 2009(10): 116-117.
- [7] 王彪. 城轨云架构下灾备方案研究 [J]. 都市轨道交通, 2019, 32 (3): 25-31.  
Wang Biao. The Disaster Preparedness Scheme under the Urban Rail Cloud Architecture[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019, 32(3): 25-31.
- [8] 孟伟君, 刘芽, 郭旭东, 等. 城市轨道交通云平台信息安全等级保护方案研究 [J]. 世界轨道交通, 2022 (3): 64-67.  
Meng Weijun, (Ya L, Yai), et al. Research on Information Security Level Protection Scheme of Urban Rail Cloud Platform[J]. World Railway, 2022(3): 64-67.
- [9] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 信息安全技术网络安全等级保护基本要求: GB/T 22239-2019 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [10] 陈瑞军. 基于云平台的 ATS 子系统建设方案 [J]. 世界轨道交通, 2019 (10): 58-59.  
Chen Ruijun. Cloud Platform Based ATS Subsystem Construction Plan[J]. World Railway, 2019(10): 58-59.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.12.019

# 塞尔维亚联锁侧防功能研究

金松岳<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:** 侧防是计算机联锁中保障行车安全的重要手段, 二级侧防则是在保障行车安全的基础上提高运营效率的技术方法。分析侧防、二级侧防典型的应用场景, 介绍了侧防及二级侧防在塞尔维亚联锁中的应用, 以及计算机联锁对于侧防, 二级侧防功能的实现方法。

**关键词:** 侧防; 二级侧防; 计算机联锁; 安全; 效率

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0106-04

## Study of Flank Protection Function of Computer Based Interlocking in Serbia

Jin Songyue<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:** Flank protection is an important means in computer based interlocking to ensure train operation safety; and level-two flank protection is a technical method to improve efficiency while ensuring train operation safety. This paper analyzes the typical application scenarios of flank protection and level-two flank protection, introduces the application situation of flank protection and level-two flank protection by computer based interlocking in Serbia, and the realization method of flank protection and level-two flank protection by computer based interlocking.

**Keywords:** flank protection; level-two flank protection; computer based interlocking; safety; efficiency

### 1 概述

计算机联锁系统是铁路信号系统中, 用于保证行车安全的重要的基础信号系统。在计算机联锁系统中, 有多种手段保证行车安全, 侧防便是其中非常重要的一种。

随着现代高速铁路发展, 人们对铁路运输的效率要求越来越高。二级侧防是在保障安全前提下, 提高站场使用效率的一种有效手段。以塞尔维亚联锁为例介绍侧防、二级侧防在计算机联锁中的应用。

侧防, 即侧面防护, 是利用进路外的道岔或信号机, 防止其他线路的列车冲入本进路、造成与本进路列车冲撞的一种方法。塞尔维亚联锁对于侧防、二级侧防有几个基本要求。

1) 不同线路之间优先使用物理隔离方式实现

收稿日期: 2022-07-13; 修回日期: 2023-07-15

作者简介: 金松岳(1981—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 计算机联锁, 邮箱: 324jsy@crscd.com.cn。

侧防；

2) 当信号机为进路提供侧防时，调车信号不能为列车进路提供侧防，但列车信号可以为调车进路提供侧防；

3) 理论上，存在多级侧防设备可以为进路提供防护，但联锁只处理到第二级。

## 2 侧防应用场景

### 2.1 场景分析

首先介绍只有一级防护设备为进路提供防护的场景。如图 1 所示，塞尔维亚联锁要求，对于经过 S1 道岔定位的调车进路，进路办理信号开放必须检查 D1 信号机为禁止信号。将 D1 称为进路的侧防信号，当 D1 灭灯或开放允许信号时认为侧防失效。而对于经过 S1 道岔定位的列车进路，由于调车信号机 D1 不能为列车进路提供侧防，因此列车进路的侧防信号机是 X1，进路办理信号开放必须检查 X1 信号机为禁止信号。此场景下，不管列车进路还是调车进路，都只有 D1/X1 一个信号设备为进路提供侧防。塞尔维亚联锁中把此类必须检查禁止信号的信号机称为一级侧防信号。

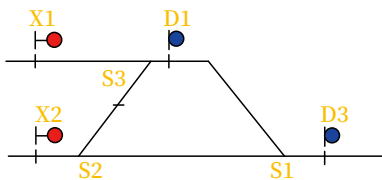


图1 只有一级侧防防护场景

Fig.1 Scenario only including level-one flank protection

二级侧防：表示有优先级关系的、两级防护设备为进路提供防护，是相对只有一级侧防而言。为保证行车安全，塞尔维亚联锁要求将不同线路优先使用物理隔离方式进行防护。物理隔离的意思就是要求用道岔将不同线路隔开，类似国铁联锁的防护道岔，但国铁防护道岔只在安全线等部分线路设置，而不是所有线路都要进行物理隔离。如果只使用物理隔离一种手段，则又会影响运营效率，为兼顾两者，提出二级侧防的概念。二级侧防要求，不同线路之间，优先使用物理隔离方式进行防护，如果做

不到物理隔绝，则使用其他防护手段保证安全。如图 2 (a) 中，对于经过 S1、S3 道岔反位的调车进路，优先要求将 S5 道岔转换到反位将两条线路隔绝开，但如果 S5 道岔因故障无法转换到反位，那么 D1 信号机为禁止信号，也认为侧防条件满足。

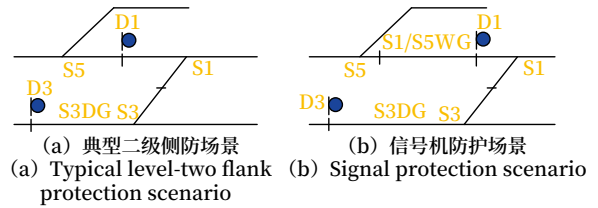


图2 典型二级侧防与信号机防护场景对比

Fig.2 Comparison between typical level-two flank protection scenario and signal protection scenario

从上面这个例子可以看出，优先使用的侧防条件为 S5 道岔反位，在该条件无法满足时退而求其次，使用 D1 禁止信号作为次一级侧防条件。当存在两个不同优先级的侧防时，把优先使用的侧防称为第一级侧防，第一级侧防不满足时，检查的其他侧防条件称为第二级侧防。

站场图形的细微变化可能导致侧防条件的变化。图 2 (a) 和图 2 (b) 的区别是图 2 (b) 多了一个无岔区段 S1/S5WG，其他设备均无变化。同样对于经过 S1、S3 反位的进路，无论 S5 道岔在什么位置，都没有办法阻挡 S1/S5WG 上的列车闯入进路，必须是 D1 信号机禁止信号才满足侧防条件，因此该场景就不是二级侧防，D1 是经过 S1、S3 反位的进路一级侧防信号。

此外，为提高效率，塞尔维亚联锁把所有道岔都设置为独立的单动道岔。如图 2 (a) 中，对于经过 S1 定位的道岔，如果 S1 和 S3 设置为双动道岔，那么任意一个道岔故障都会导致经过另一个道岔定位的进路无法办理。但 S1 和 S3 设置为两个独立的单动道岔后，对于经过 S1 定位的进路，优先要求将 S3 转换到定位，但假如 S3 无法转换到定位，那么检查 D3 禁止信号且 S3DG 空闲后，也认为侧防条件满足，可以办理经过 S1 定位的进路。此场景下，第一级侧防为 S3 道岔定位，第二级侧防为 D3 禁止信号。

以上场景中，第二级侧防都只有一个信号机，

是比较简单的二级侧防场景。一个复杂二级场景如图3所示，对于经过S5定位的调车进路，第一级侧防是S7道岔反位，第二级侧防是D1禁止信号，和之前场景没有区别；但是对于经过S5定位的列车进路，由于调车信号机不能为列车进路提供侧防，即不管D1还是D3都不能为经过S5定位的列车进路提供侧防，因此第一级侧防虽然还是S7道岔反位，但第二级侧防就不是一个信号机那么简单：当S7不能转换到反位时，除了X2信号机可以直接通向当前进路外，S3道岔反位也可以通向进路，此场景下，第二级侧防除了X2禁止信号，还包括S3道岔定位。当然，如果S3无法转换到定位时，X1信号机禁止信号也能为进路提供侧防，但X1明显属于第三级防护。此外，不管第一级侧防设备S7是否在反位，道岔S7与进路之间的区段S11DG必须空闲（不包括S7DG）。

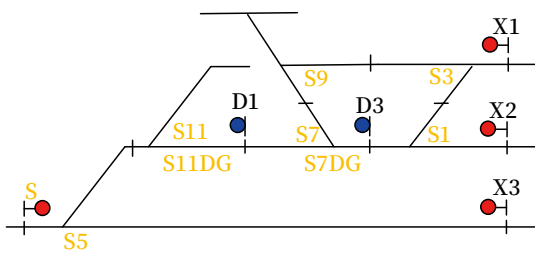


图3 复杂二级侧防场景  
Fig.3 Scenario including complex level-two flank protection

## 2.2 小结

根据以上几类场景分析，得出以下结论。

- 1) 二级侧防中，第一级侧防是道岔，而且是离进路最近、岔后开向进路的道岔；
- 2) 第一级侧防道岔与进路之间的区域，称为一级防护区域（不包含第一级侧防道岔所在区段），无论哪级侧防为进路提供防护，一级防护区域必须全部空闲；
- 3) 二级侧防中，第二级侧防设备可以有多个，而且必须是多个设备条件同时满足，才认为是二级侧防条件满足；
- 4) 第一级侧防和第二级侧防设备之间的区域，称为二级防护区域（包含第一级侧防道岔所在区段，

不包含第二级侧防道岔所在区段），当第二级侧防为进路提供防护时，二级防护区域也必须全部空闲；

5) 由于调车信号不能为列车进路提供侧防，因此对于经过相同道岔相同位置的列车进路和调车进路，侧防要求可能不一样。

## 3 计算机联锁对二级侧防的处理

根据以上二级侧防要求，计算机联锁需在保障安全前提下尽可能提高站场的使用效率。计算机联锁在处理二级侧防时应遵循以下原则。

### 3.1 进路选岔处理

值班员下达办理进路选岔命令后，联锁应同时对不在进路要求位置上的进路内道岔、二级侧防第一级侧防道岔、二级侧防第二级侧防道岔（如果存在）下达转岔命令。

### 3.2 进路锁闭处理

联锁在选岔等待过程中，二级侧防在以下3种场景应锁闭进路。

- 1) 第一级侧防道岔满足进路要求位置时应立刻锁闭进路；
- 2) 如果选岔等待时间结束时第一级侧防道岔无法转换到位，检查第二级侧防条件都满足后也应锁闭进路；
- 3) 在选岔等待过程中，判断第一级侧防道岔确定无法转换到位（如道岔处于单锁状态），那么检查第二级侧防条件都满足后应提前锁闭进路。

在选岔等待时间内，如果第一级侧防道岔没有转到位，但没有办法判断该道岔不允许转动时，应持续等待，直到出现以上3种场景中的任意一种。

### 3.3 信号开放检查

进路锁闭后，只要第一级侧防或者第二级侧防任何一个满足条件，即可认为侧防条件满足，允许开放信号。信号开放后，第一级侧防和第二级侧防条件都不满足时应立刻关闭信号。

### 3.4 侧防道岔锁闭原则

- 1) 第一级侧防道岔锁闭要求  
进路锁闭后，第一级侧防道岔满足进路要求位



置后应立刻锁闭，不允许再转动该道岔；不满足进路要求时不应锁闭。

2) 第二级侧防道岔锁闭要求（如果存在第二级侧防道岔）

a. 当第一级侧防道岔不在进路要求位置，且第二级侧防道岔在进路要求位置时应锁闭第二级侧防道岔，防止第二级侧防道岔转动导致两级侧防条件都不满足信号关闭；

b. 第一级侧防道岔在进路要求位置上锁闭后，第二级侧防道岔不应锁闭，如果锁闭第二级侧防道岔会导致部分平行进路无法办理。在图3中，对于经过S5定位进路，第一级侧防道岔S7锁闭在反位，如果把第二级侧防道岔S3锁闭在定位，会导致经S1、S3、S7、S9反位的进路无法办理，但该进路与经过S5定位的进路为平行进路，平行进路应允许同时作业。

#### 4 结束语

塞尔维亚联锁使用的侧防、二级侧防虽然在保证安全的同时能提高效率，但在一些场景下，防护要求过于严格。

1) 二级侧防强调将线路之间用道岔物理隔离，但未考虑线路之间的距离，即不管两条线路距离多远，都要求优先物理隔开；

2) 采用信号机禁止信号显示提供防护时，未考虑信号机外方是否有列车接近，只要信号机不是禁止信号就认为侧防条件不满足，因此会导致信号机故障情况下，即使该信号机外方没有列车也会导致相关进路无法办理。

以上两点导致一些场景下，在一定程度上会影响使用效率。国铁联锁也有类似手段，如防护道岔、

敌对信号、超限区段等为进路提供防护。另外，国铁还有一套完善的行车管理制度能保障安全、提高效率。

#### 参考文献

- [1] 傅世善. 傅世善铁路信号论文选集 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
- [2] 林炳龙. 联锁表的带动道岔、防护道岔设计方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(2): 56-60.  
Lin Binglong. Methods of Switch with Follow up Movement and Protective Switch for Design of Interlocking Table[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(2): 56-60.
- [3] 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.
- [4] 夏从东. 信号联锁关系中的侧防研究 [J]. 铁道通信信号, 2009, 45(5): 3-5.  
Xia Congdong. Flank Protection in Signal Interlocking Relation[J]. Railway Signalling & Communication, 2009, 45(5): 3-5.
- [5] 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.1673-4440.2023.12.020

# IRIS配置管理在铁路信号工程项目中的 实践与应用

朱倩<sup>1, 2</sup>

(1. 卡斯柯信号有限公司, 上海 200072;

2. 上海市铁路智能调度指挥系统工程研究中心, 上海 200072)

**摘要:** 结合铁路项目实践, 阐述 IRIS 配置管理在铁路信号工程项目上的实践与应用。通过运用 IRIS 配置管理的相关技术管理手段, 在项目生命周期内对保证产品的可追溯性、安全性和可靠性, 起到非常重要的支撑作用。

**关键词:** IRIS; 配置管理; 铁路信号; 实践与应用

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)12-0110-05

## Practice and Application of IRIS Configuration Management in Railway Signal Engineering Projects

Zhu Qian<sup>1, 2</sup>

(1. CASCO Signal Ltd., Shanghai 200072, China;

2. Shanghai Engineering Research Center for Railway Intelligent Dispatching and Commanding Systems, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** This paper discusses the practice and application of IRIS configuration management in railway signal engineering projects in view of the practice in railway projects. The technology management means related to IRIS configuration management are used to ensure product traceability, safety and reliability in the project life cycle, thus playing a very important supporting role.

**Keywords:** IRIS; configuration management; railway signaling; practice and application

近年来, 随着国内铁路建设蓬勃发展, 对铁路信号产品质量的要求也越来越高。如何建立一套更加完善、更有针对性的质量管理体系, 来提升产品的生产效率、确保产品交付的安全可靠, 显得至关

重要。目前国际通用的配置管理标准大多适用于软件开发产品, 而适用于铁路信号工程项目的相关标准却很少提及。

铁路信号工程项目实施有着其固有的特殊性, IRIS 质量管理体系中明确了铁路信号项目配置管理的相关质量标准。国际铁路行业标准(International Railway Industry Standard, IRIS), 这是一套适用在铁路行业的评估标准

收稿日期: 2022-09-26; 修回日期: 2023-10-19

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司重大课题项目(K2021X001)

作者简介: 朱倩(1984—), 女, 工程师, 本科, 主要研究方向: 质量管理及配置管理, 邮箱: zhuqian@casco.com.cn。

和质量管理体系,最早由欧洲铁路行业协会 (UNIFE) 发起<sup>[1]</sup>。IRIS 质量管理体系不仅兼顾了 ISO9001:2000 质量体系的内容,同时也根据铁路行业的特殊要求,增加面向铁路行业的相关质量标准,具有鲜明的行业特点。配置管理是 IRIS 标准中的一个重要条款,属于 IRIS 强制性标准过程之一。IRIS 配置管理通过对项目全生命周期中各个过程的输入/输出进行管理,确保项目生命周期内所有技术状态项都有标识,并且是受控的。在项目实施的各个阶段建立技术状态基线,实现项目的可追溯和易追溯,确保项目最终可以安全可靠的交付。本文通过介绍铁路信号工程项目实施过程,阐述 IRIS 配置管理在铁路信号工程项目中的具体应用。

## 1 IRIS配置管理的内容

配置管理,IRIS 质量管理体系中又称为技术状态管理,要求必须建立、形成文件和保持与产品相适应的技术状态管理过程。为实现技术状态文件的可控和可追溯,通过人员和技术管理手段,对项目生产全周期的各个阶段进行技术状态文件标记、跟踪记录、版本控制和追溯,建立技术状态管理清单,维护项目生产全周期的完整性、一致性和可追溯性,确保项目生产全周期交付的各功能得以实现,满足客户需求<sup>[2]</sup>。其中的技术状态文件,是指用于确定技术状态项的需求、计划、生产、测试和验证等所必须的文件,即项目实施过程中的各类配置项文件。

铁路信号工程项目在实施过程中,技术状态管理始终贯穿着项目的整个生命周期过程<sup>[3]</sup>,从项目立项开始,项目启动,接收项目立项通知,编制项目启动会议纪要;到项目计划阶段,项目开始组织计划和需求管理,提交项目计划及其附属计划;再到设计、测试,现场安装调试阶段,开展相关的测试和验证活动,确认项目测试报告和调试记录;最后到项目开通,项目验收交付,汇总项目交接内容与验收报告。技术状态管理在每个过程阶段都对项目实施进行跟踪和监控,通过技术状态管理清单,跟踪记录每一个技术状态文件特性,建立技术状态

基线,保证每个技术状态文件的可控和可追溯。技术状态管理清单如表 1 所示。

表1 技术状态管理清单

Tab.1 List of technology status management

项目实施过程	阶段过程的技术状态文件
项目立项阶段	立项通知,项目启动会会议纪要
项目计划阶段	项目实施计划及附属计划,如质量保证计划、风险管理计划
项目需求阶段	系统功能需求调查表、项目设计输入需求
应用设计阶段	应用数据制作,应用数据测试报告、仿真测试记录表
集成测试阶段	机柜检验报告,项目集成测试报告
项目发货阶段	项目发货清单
安装调试阶段	安装、调试记录表
项目验交阶段	设备交接清单,自验报告,验收报告,顾客培训记录
项目结项阶段	归档清单,项目结项报告

## 2 IRIS配置管理在铁路信号工程项目上的应用

国铁项目在实施过程中,通常伴随着运输组织繁忙、业务需求复杂、工期紧张等一系列不确定因素,给项目实施带来一些未知风险。本文结合项目实施,在满足项目 IRIS 配置管理的总体要求上,从确认项目配置管理方案、变更管理、基线管理和文件化信息管理等 4 个方面<sup>[4]</sup>,详细阐述 IRIS 配置管理思路在铁路信号工程项目上的应用。

### 2.1 确定配置管理流程,提高配置管理效率

项目执行配置管理活动的前提是,首先确定一套适用于本项目配置管理的标准流程。根据 IRIS 质量管理体系的要求,制定项目配置管理策略,采用统一的配置管理工具,有助于提高配置管理的效率。

项目实践中,根据项目计划制定项目配置管理策略,选择适用于本项目的生命周期模型,明确项目各阶段的输入/输出,编制项目配置管理计划,根据国铁项目实施特点,按各路局归属建立项目配置库,并建立配置库的子分支,即开发分支和集成分支,开发分支分配给项目组终端用户访问权限,用于项目的日常维护,根据角色分工,进行配置库读写操作,包括获取配置库的技术状态文件,相关文件的签出、修改、签入、版本树查询等;集成分

支由配置管理员操作，用于创建技术状态基线，组织项目发布，日常基线的维护管理。

识别并标识项目实施过程中纳入配置管理的技术状态项，包括项目实施各过程所有的输入输出文档，项目使用的软件版本和硬件型号清单，数据、工具、客户蓝图，机柜生产图纸等，创建技术状态管理清单、跟踪技术状态文件的提交情况，并对所有技术状态文件的版本进行受控管理。配置管理计划批准后，建立技术状态基线，报告基线状态，组织项目发布，定期执行配置库审计活动。配置管理流程如图 1 所示。

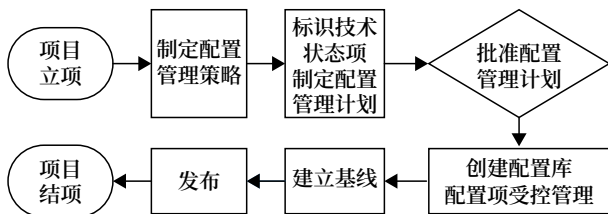


图1 项目配置管理流程  
Fig.1 Process of project configuration management

## 2.2 加强变更管理，实现技术状态版本可控

变更管理是项目生命周期中重要的过程之一，也是配置管理活动的关键环节之一，运用统一的变更管理工具对客户的需求变更，测试阶段发现的问题缺陷等进行规范管理，实现对技术状态文件版本的有效控制<sup>[5]</sup>。在项目实践中，结合 IRIS 配置管理执行标准，体现在以下两个方面的具体应用。

### 2.2.1 定义变更控制权限

项目执行过程中，设置了项目变更控制委员会(Change Control Board, CCB)，提供项目变更的授权机构。CCB 负责执行和修改配置管理策略，审查基线的建立和技术状态文件的标识，组织项目的变更和缺陷分析活动，同时审查和批准基线的变更。设置变更控制委员会能够有效防止技术状态文件的随意变更，加强了变更的准确性和及时性，使变更管理得到有效的控制。

### 2.2.2 选择变更管理工具

项目执行中采用了统一的变更管理工具，更利于变更的集中管理。实践过程中，通过以下 7 个过

程进行项目的变更管理：1) 变更负责人提交项目变更请求，填写项目变更原因和变更内容，本次变更引入的项目基线等；2) 项目经理记录变更请求，初步分析变更请求的完整性，同时指定相关分析人员对变更请求进行详细分析；3) 被指定的项目组分析人员分析变更请求及其有效性，描述变更对系统可能造成的影响，给出影响项分析描述及建议；4) 决策，由变更控制委员会或者项目经理，决定批准或者拒绝该变更请求，并指定实施人和验证人；5) 实施人通过修改文档或者数据，实现变更请求或解决问题，明确解决本次变更需要修改的文件及版本，软件和数据版本；6) 验证变更请求，由验证人员执行必要的验证活动，确认变更请求是否正确实现，相关软件、数据及要修改的文档是否完成；7) 关闭变更请求，变更流程中，质量工程师负责确认变更请求的实施过程是否符合规范，并最终关闭该变更请求。项目变更管理流程如图 2 所示。

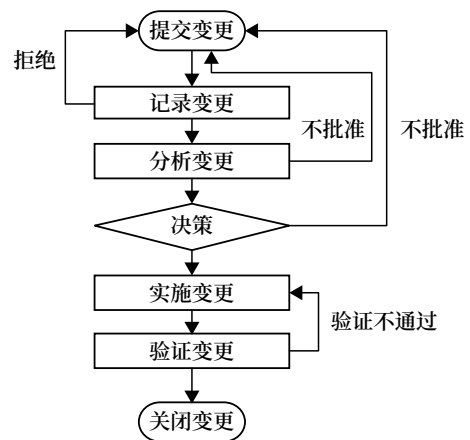


图2 项目变更管理流程  
Fig.2 Process of project change management

在项目实践中，及时有效的变更管理，对未知或潜在问题发生的可能性和影响范围进行评估，能够防范和规避项目实施风险，对降低项目成本，提高项目交付质量和及时率，起到至关重要的作用。

## 2.3 明确项目基线管理，合理规划项目基线

IRIS 配置管理要求建立技术状态基线，保持其可追溯性。建立基线是为了实现对技术状态文件的重现性、可追溯性和报告，是对项目阶段成果的稳定输出和项目进入下一阶段的基础<sup>[6]</sup>。在项目的每

个关键里程碑处都应该创建基线来进行管理。项目实践中, 通过在项目计划阶段、需求设计阶段、测试验证阶段、交付阶段等多个关键里程碑处建立技术状态基线来进行项目的基线管理。

纳入基线管理的技术状态项, 经过评审和批准后, 建立相应技术状态基线。基线变更前, 需经过 CCB 的评审和批准, 才能进行技术状态基线变更, 变更后的基线通过基线状态报告进行跟踪记录, 分析项目基线变化轨迹, 将基线项、变更项一同纳入基线状态报告, 提升了报告的查阅效率, 增加了基线报告的全面性和准确性。技术状态基线报告对照如表 2 所示。

表2 技术状态基线报告对照

Tab.2 Comparison of baseline reports of technical status

技术状态基线类型	基线报告对象
计划基线	项目经理、项目组成员
需求基线	项目经理、项目组成员
设计输入基线	项目经理、项目组成员
设计基线	项目经理, 项目组设计人员
测试基线	项目经理, 项目组测试人员
应用数据基线	项目经理, 项目组设计、调试人员
交付基线	客户方

## 2.4 文件化信息管理

及时保持文件化的相关信息, 意味着项目执行过程必须遵照相关项目管理程序文件, 及时保留相应文件化信息作为项目执行各阶段的输入/输出记录, 根据技术状态管理清单, 配置管理活动跟踪项目各阶段实施过程, 提高了项目过程管理的及时性和完整性, 有利于跟踪项目实施进度, 确保项目 KPI 指标的准确性<sup>[7]</sup>。

同时铁路工程项目接口复杂、变更频繁、外来技术状态资料众多, 针对项目特点, 通过增加设计输入基线, 进行外来技术状态资料的管理<sup>[8]</sup>。设计输入文件应包括: 1) 性能和功能满足要求, 能够体现产品功能的充分性和适用性, 例如合同、顾客图纸; 2) 满足相应的法律法规要求, 主要是指社会和其他各相关方的要求, 如通用标准、专业技术规范、生命周期成本 LCC、RAMS 指标等。为保证设计输

入资料的完整性和适用性, 项目组组织 CCB 或者专业负责人进行完整性和适用性评估。评估之后的设计输入资料, 在项目配置库中以路局管辖下的车站为单位, 进行技术状态文件的版本管理和基线管理, 同时将设计输入资料的版本、接收时间、接口联系人、对应设计输入基线名称等信息记录在项目设计输入文件评审表中跟踪。项目实践中, 通过建立设计输入基线有效提高了外来设计输入资料的可追溯性和版本准确性。同时, 通过阶段配置库审计, 及时发现问题并督促项目组按照 IRIS 质量管理体系的要求整改。建立信息化管理平台, 结合 IT 管理工具, 将原来大部分需要线下人工维护和跟踪版本的文件化信息, 整合到信息化管理平台, 通过技术方法, 实现技术状态文件的信息化管理, 更容易追溯和查找, 大大提升了配置管理的效率。设计输入资料管理流程如图 3 所示。

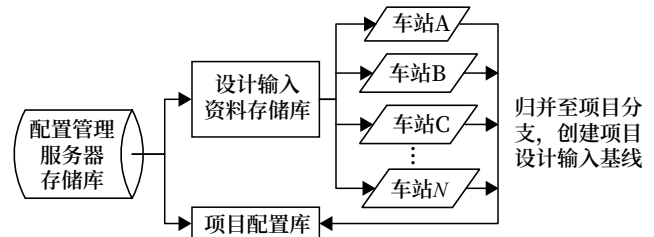


图3 设计输入资料管理流程

Fig.3 Process of design input document management

## 3 结束语

在以 IRIS 质量管理体系要求为基础的前提下, 项目实践结合实际需求, 通过细化配置管理过程, 标准配置管理流程, 优化配置管理工具, 形成一套适用于铁路信号工程项目的配置管理流程规范, 使配置管理过程更高效有序, 能够更好地适应铁路信号工程项目配置管理过程, 为保证项目最终高质量的交付提供有力的技术保证。

## 参考文献

- [1] 朱平. 国际铁路行业标准 (IRIS) 和能力成熟度模型集成 (CMMI) 在企业中的推行应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (11): 89-93.

- Zhu Ping. Application of IRIS and CMMI in Enterprises[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(11): 89-93.
- [2] 哈斯. 配置管理原理与实践 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 钟晖. 基于 CMMI 的软件配置管理实践浅析 [J]. 电子质量, 2018 (8): 58-62.
- Zhong Hui. A Brief Analysis of Software Configuration Management Practice Based on CMMI[J]. Electronics Quality, 2018(8): 58-62.
- [4] 赵彦力, 闫昊, 王梵希, 等. 项目配置管理应用研究: 以“华龙一号”项目为例 [J]. 项目管理技术, 2020, 18 (7): 67-70.
- Zhao Yanli, Yan Hao, Wang Fanxi, et al. Research and Application of HL Project Configuration Management-Take ‘HPR1000’ Project as an Example[J]. Project Management Technology, 2020, 18(7): 67-70.
- [5] 马腾达, 程昭, 宿伟成. 配置管理理念在核电项目变更管理中的应用 [J]. 工程经济, 2020, 30 (8): 25-29.
- Ma Tengda, Cheng Zhao, Su Weicheng. Application of Configuration Management Concept in Change Management of Nuclear Power Plant Project[J]. Engineering Economy, 2020, 30(8): 25-29.
- [6] 张凯, 何小红, 龙英睿. 基于 PLM 的 IRIS 配置管理的实施和应用 [J]. 技术与市场, 2014, 21 (3): 63, 65.
- Zhang Kai, He Xiaohong, Long Yingrui. Implementation and Application of IRIS Configuration Management Based on PLM[J]. Technology and Market, 2014, 21(3): 63, 65.
- [7] 祖金霞, 盖昕. 浅谈工程设计项目设计输入的控制 [J]. 山东化工, 2016, 45 (19): 89, 94.
- Zu Jinxia, Gai Xin. On the Control of Design Input of Engineering Design Project[J]. Shandong Chemical Industry, 2016, 45(19): 89, 94.
- [8] 徐方雪. 浅谈如何加强建设工程档案的归档质量 [J]. 辽宁经济, 2017 (5): 88-89.
- Xu Fangxue. On how to Strengthen the Filing Quality of Construction Project Files[J]. Liaoning Economy, 2017(5): 88-89.

\*\*\*\*\*

(上接 98 页)

- Reformation in Signaling Equipment Room[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(11): 20-24.
- [7] 李卫锋. 李卫锋. 信号设备电源导线截面的设计选型探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (7): 97-101.
- Li Weifeng. Design and Selection of Power Conductor Section of Signaling Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 97-101.
- [8] 高志. 地铁信号电源系统切换方案研究 [J]. 设备管理与维修, 2020 (24): 113-115.
- Gao Zhi. Research on Switching Scheme of Metro Signal Power System[J]. Plant Maintenance Engineering, 2020(24): 113-115.
- [9] 王小军. 轨道交通通信和信号电源合设方案 [J]. 通信电源技术, 2020, 37 (3): 76-77.
- Wang Xiaojun. The Joint Scheme of Rail Transit Communication and Signal Power Supply[J]. Telecom Power Technology, 2020, 37(3): 76-77.
- [10] 王颖, 李新, 冯前进, 等. 城市轨道交通信号 UPS 电源系统优化配置方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 62-67, 96.
- Wang Ying, Li Xin, Feng Qianjin, et al. Optimal Configuration Scheme of Signaling UPS System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 62-67, 96.

## 《铁路通信信号工程技术》2023年总目次

(本刊总目次著录规则: 文献主要责任者. 文献题名. 期刊名(略), 年, 卷(期): 起止页码)

## 技术创新

## 信号技术

方明亮, 卫旭初, 严之伟. 采用车地融合方式开展列控过分相计算研究..... 2023, 20(1): 1-6

宁咏梅, 闫宏伟. 铁路道岔融雪装置工程设计标准优化研究..... 2023, 20(1): 7-13

周晏. 动车组受电弓状态图像检测技术研究..... 2023, 20(1): 14-19

丁旭. 双压力传感器冗余设计的故障检测方法..... 2023, 20(1): 20-23

殷琴, 张立伟. 一种基于开放网络的安全通信协议实现方法..... 2023, 20(1): 24-27

赵浩森, 胡轶超. 安全监督在信号集中监测系统上的应用..... 2023, 20(1): 28-32

乔永涛, 孙猷. 基于情景推理的列车运行图调整方法..... 2023, 20(2): 1-6

孙志科. 应用图像识别技术开发联锁自动测试工具的研究..... 2023, 20(2): 7-12

蒋先进, 范建伟, 蒋淮申, 韩志鹏. 铁路信号系统室内智能试验仪的研制..... 2023, 20(2): 13-17

李亚兰. ZPW-2000A预叠加电码化机车信号载频切换电路设计..... 2023, 20(2): 18-21

马盼, 林子明. 铁路专用芯片服务器端可重用开发环境的研究..... 2023, 20(2): 22-26

卿文杰. 宁启铁路电码化设计方案研究及应用..... 2023, 20(2): 27-32

郜新军, 刘德超, 林瑜筠. 更新改造工程信号系统动态检测技术研究..... 2023, 20(3): 1-6

雷少龙, 成鹏, 莫运前. 咽喉区设置总出站信号机特殊联锁处理方案..... 2023, 20(3): 7-10

张友兵. 高速铁路列车DMI热备方法研究..... 2023, 20(3): 11-16

王成志, 赵阳. 一种铁路信号联锁表敌对信号的判定算法..... 2023, 20(3): 17-22

李亚兰. 一站两场场间渡线道岔场联电路设计..... 2023, 20(3): 23-26

刘振华, 王华. 基于双滑块机构的GW-SH型道岔外锁闭装置研究..... 2023, 20(4): 1-4

王勇, 赵泽. 电缆分布电容对交流道岔动作电路的影响..... 2023, 20(4): 5-10

石磊. 一类高速铁路动车存车场信号设计方案的探讨..... 2023, 20(4): 11-13

王硕, 吴培栋, 张友兵. 基于DRPP的列控车载设备测试序列生成方法..... 2023, 20(4): 14-20

马茗岗. 基于ARM+FPGA架构的安全数字量输入输出信号系统设计..... 2023, 20(4): 21-25

李安福. 异构双核处理器在多路模拟采集系统中的应用..... 2023, 20(4): 26-32

刘磊, 徐效宁, 李辉, 易海旺, 孙帝. 车站站名与电务设备相关数据的关联性研究..... 2023, 20(5): 1-5

刘振华. 铁路道岔转换阻力分析与监测技术研究..... 2023, 20(5): 6-9

陈新梅. 智能黄闪黄点灯装置分析研究..... 2023, 20(5): 10-15

梁晓波. 教培基地联锁模拟与现场控制结合设计..... 2023, 20(5): 16-20

魏博. 新型列控系统中列车完整性功能测试方法探讨..... 2023, 20(5): 21-26

陆兴程, 杨武东. 无人区铁路断轨检测系统设计..... 2023, 20(6): 1-5

孟润虎, 陈洪雨, 韩成彦. 红灯重复显示CTC跨站自触功能的设计与实现..... 2023, 20(6): 6-10

胡博. 车号地面识别设备在CIPS系统的应用..... 2023, 20(6): 11-14

徐海波, 王定明. 基于TYJL-ADX型计算机联锁模拟道岔电路的设计与优化..... 2023, 20(6): 15-19

江明, 张万强, 张嘉扬. 列车追踪间隔时间的分解及影响分析..... 2023, 20(7): 1-9

徐高珍. 融合点式后备模式的CTCS-4级新型列控系统研究..... 2023, 20(7): 10-15

吴培栋. 基于CTCS2+ATO的市域(郊)铁路列控系统技术研究..... 2023, 20(7): 16-23

邴锐, 马文慧. 特殊场景下电码化电路设计..... 2023, 20(7): 24-28

齐舍. 铁路信号用机柜的工业设计及可靠性仿真探讨..... 2023, 20(7): 29-33

文武臣. 铁路信号平面图超限绝缘的设置和联锁关系分析与研究..... 2023, 20(7): 34-39

吴培栋, 王硕, 张友兵. 高速铁路ATO系统增加自动折返功能的方案研究及实验验证..... 2023, 20(8): 1-7

张昌平, 白书涵. 铁路信号电路设计安全性研究与分析..... 2023, 20(8): 8-12

张会志. CTC-2级列控系统大号码道岔有源应答器组特殊场景探讨..... 2023, 20(8): 13-16

靳栋, 周永健. 盐通客专信号系统联调联试范围及问题分析..... 2023, 20(8): 17-22

李永强, 方玉宝, 席春华. CTC区域集控系统实施应用的研究..... 2023, 20(8): 23-27

王宝宝. 基于CTC系统的城际折返站车次号实现自动变更的研究..... 2023, 20(8): 28-31

徐华沙, 张超凡. 动车组车尾保持场景的深度分析和优化建议..... 2023, 20(9): 1-6

刘光宇, 马盼, 刘肖婷, 孟博洋, 林子明. 基于UVM的应答器传输模块验证方法研究..... 2023, 20(9): 7-10

胡威. 深圳都市圈城际铁路信号系统综合智能运维平台建设方案..... 2023, 20(9): 11-14

裴志斌, 吕媛媛. 基于TMS570的SIL4级列控系统安全平台设计..... 2023, 20(9): 15-18

谢兰英, 许海祥. 铁路线路属性对信号系统的影响及解决方案..... 2023, 20(9): 19-22

付志, 张文斐. 桑梓店站信号过渡处理方案研究..... 2023, 20(9): 23-29

徐华沙, 劳烁业. 基于实时参数化数据的应答器报文智能管理系统..... 2023, 20(10): 1-5

马云鹏, 贺广宇, 罗飞豹, 牛勤, 吉志军. 200C型车载设备常见掉码故障分析..... 2023, 20(10): 6-12

周单路, 潘圣浩, 王一波. 信号集中监测系统采集设备安装探讨..... 2023, 20(10): 13-17

谢再盛. 车载接口仿真系统实现..... 2023, 20(10): 18-21

卢瑞冰. 一种列控车载系统的优化与实现..... 2023, 20(11): 1-6

张超凡, 刘俊, 罗汉冬, 蒋晓鸽. 多因素条件下高速轮轨关系对轨道电路性能影响..... 2023, 20(11): 7-13

孙哲, 王嵩, 赵佳. 高精度轨道电子地图生成系统设计与应用..... 2023, 20(11): 14-19

王定明. 铁路信号智能模拟盘研制与应用..... 2023, 20(11): 20-25

王鹏跃, 朱良, 谭树林, 姜增刚, 康剑. 变温环境下超声导波钢轨结构健康监测技术研究..... 2023, 20(11): 26-33

杨韬, 黄佳. 站内长短进路的列控系统处理方案研究..... 2023, 20(11): 34-38

王莉, 余园园. 应答器传输模块发射功率控制分析..... 2023, 20(11): 39-43

曹鹤飞, 孟天旭, 李昊. 恒磁场对无源应答器影响及防护技术..... 2023, 20(12): 1-6

陈滨, 周小辉. 列控中心临时限速信息包[CTCS-2]编码方案研究..... 2023, 20(12): 7-13

王定明. 多联锁共享室外信号设备切换控制电路设计..... 2023, 20(12): 14-20

丁建莉. 关于到发线出岔联锁技术条件的探讨..... 2023, 20(12): 21-25

李想, 赵京京. 铁路信号安全数据网网络管理系统优化方案研究..... 2023, 20(12): 26-30

张辉. 适用于四线制双机牵引控制电路的ZD9直流电动转辙机..... 2023, 20(12): 31-36

黄晨涛. 一种转辙机运行参数综合监测系统..... 2023, 20(12): 37-42

### 通信及信息技术

董玉圻. 基于神经网络的铁路通信网络传输延迟控制方法..... 2023, 20(1): 33-39

赵寅龙. GSM-R线路交叉区域异常占用引起CTCS-3降级分析与优化..... 2023, 20(1): 40-45

高原, 邱萍. 基于SRv6的铁路承载网隧道技术研究..... 2023, 20(1): 46-51

张晓东, 陈延春, 陈铮. CTCS-3级列控系统无线超时GSM-R电台SIM卡故障分析及解决措施..... 2023, 20(1): 52-55

徐华, 任贸城. TDCS/CTC系统局间信息交互方式优化..... 2023, 20(1): 56-60

葛伟涛. 铁路5G网络边缘计算技术研究..... 2023, 20(2): 33-36

李雷, 余超. 复杂艰险山区铁路应急通信系统探讨..... 2023, 20(2): 37-41

张健, 朱啸豪, 王伟力. 高速铁路复杂线路区段GSM-R系统方案设计与网络优化..... 2023, 20(2): 42-48

谢和欢. 支持电路域与分组域的车载通信技术研究..... 2023, 20(2): 49-57

李童瑶, 王啸阳. 铁路无线通信系统数据加密策略..... 2023, 20(2): 58-61

赵一颖, 姜志威. 铁路客站视频监控前端的设置方法与技术展望..... 2023, 20(2): 62-67

夏炎. 论MSP保护环业务开通要求..... 2023, 20(2): 68-72

张健, 李津汉, 王伟力. 上盖物业动车运用所无线网络覆盖方案分析..... 2023, 20(3): 27-31

李俏. CTCS-3级列控系统无线超时智能分析系统研究..... 2023, 20(3): 32-36

宋菁. 关于eSIM在铁路专用移动通信系统应用的探讨..... 2023, 20(3): 37-41



李寒冰. CTC与RBC系统接口通信技术分析 ..... 2023, 20(3): 42-45	张驰, 寇鸣, 刘兴, 郭瑞彬. 下一代铁路移动通信中公网 系统间干扰协调的研究..... 2023, 20(8): 32-36
龚雪. 基于综合信息网的铁路局档案管理信息系统工程设计 ..... 2023, 20(3): 46-50	刘跃遥, 陈谦, 曹坤. 铁路综合视频监控系统三种平台架构 对比分析..... 2023, 20(8): 37-40
殷卫海. 关于5G-R MCX漫游用户统一认证的探讨 ..... 2023, 20(4): 33-39	陈宏宇. 铁路视频监控摄像机选型研究 ..... 2023, 20(8): 41-46
许文渊. 基站软件功能缺陷引起的CTCS-3无线超时案例简析 ..... 2023, 20(4): 40-45	冯迎辰. Apriori算法在C3无线通信超时分析中的应用与研究 ..... 2023, 20(8): 47-51
梅靖. 镇江枢纽地区GSM-R网络优化案例 ..... 2023, 20(4): 46-51	王军栋. 基于GPRS的智能高铁自动驾驶技术应用研究 ..... 2023, 20(9): 30-35
袁振江. 基于AI0ps的铁路机房运维管理系统研究 ..... 2023, 20(4): 52-55	周海龙. 铁路GSM-R系统核心网改造工程方案研究 ..... 2023, 20(9): 36-41
李宝军. CTCS-3级列控系统无线超时分析关键技术探索 ..... 2023, 20(5): 27-31	张国振, 田宏达, 李杰, 郭瑞彬. GSM-R网络分组域仿真系统 关键技术研究..... 2023, 20(9): 42-47
王梁, 谭金林, 孙晨红, 吴意, 王伟明, 杨笑天, 刘焱. 基 于天空地一体化监测的周界防范系统设计及应用示范 ..... 2023, 20(5): 32-38	张妍君, 赵耀. 铁路车站能源管理系统集成方案设计 ..... 2023, 20(9): 48-53
许辉. 铁路综合视频监控系统网络安全建设的研究 ..... 2023, 20(5): 39-43	谢庆楚. 一体化综合视频监控技术在南崇高速铁路的应用 ..... 2023, 20(9): 54-60
陈怡. 铁路客运站调车计划编制系统研究 ..... 2023, 20(5): 44-47	刘盛尧, 费跃, 胡金涛. 苏州北铁路枢纽GSM-R系统网络规划 的研究..... 2023, 20(10): 22-29
顾闻. 列车运行及货车装载状态智能化检测技术优化 ..... 2023, 20(5): 48-52	展鑫, 孙颖. 列控系统车-地无线通信协议测试研究 ..... 2023, 20(10): 30-36
龚雪. 铁水联运车船直取信息多重匹配技术研究 ..... 2023, 20(5): 53-56	杨刚. 基于5G NR的车联网在铁路智慧工地车辆管理的研究与 应用..... 2023, 20(10): 37-42
谢联莲, 虞凯, 刘孜学, 王梓丞. 长大干线高速磁浮无线通 信系统工程方案研究..... 2023, 20(6): 20-25	张峻赫. MSTP+VRRP在编组站中的设计与实现 ..... 2023, 20(10): 43-47
赵耀, 李珉璇, 柴天娇. 铁路综合视频监控系统与BIM融合应 用研究..... 2023, 20(6): 26-30	张舒. 基于AOP的动态数据翻译框架 ..... 2023, 20(10): 48-51
庄文林. 铁路数据通信网SRv6应用技术探讨 ..... 2023, 20(6): 31-35	宋宗莹, 王文斌, 刘子扬, 周瑾, 刘永壮. 重载铁路运输大 数据分析平台架构设计研究..... 2023, 20(11): 44-49
吴宇, 董成文, 李鹏. 基于5G-R的CTCS-3列控业务接口监测 系统研究..... 2023, 20(6): 36-43	张羽白, 孙启民, 张驰. 铁路5G-R基站绿色化运行分析 ..... 2023, 20(11): 50-53
冯磊, 李雪, 许扬. 铁路5G-R与GSM-R基础设施共用共存工程 建设方案..... 2023, 20(6): 44-49	王玉龙. 智慧综合调度信息系统的三级部署研究 ..... 2023, 20(11): 54-59
杨柳青青. 基于铁路GPON系统保护机制的应用研究 ..... 2023, 20(6): 50-54	卫磊. 叙毕铁路GSM-R系统干扰排查案例分析 ..... 2023, 20(11): 60-65
陈舒. 高速铁路手提式二氧化碳灭火器远程监测装置的设计 ..... 2023, 20(6): 55-59	赵文杰. RTP流音频回放技术在400 MHz数字列调系统中的应 用..... 2023, 20(12): 43-46
陈建鑫. 基于GSM-R的通知外勤方案研究 ..... 2023, 20(7): 40-43	闫慧霞, 赵建国, 李秀芳, 杨志斌. STP在GSM-R网络中的主 要作用及故障判断..... 2023, 20(12): 47-54
邓辉飞. 铁路通信网智能架构研究 ... 2023, 20(7): 44-48	陈荣超. 高铁隧道公网覆盖5G改造研究 ..... 2023, 20(12): 55-60
李珉璇, 赵耀, 吴绍华, 周敏. 基于5G的新型铁路隧道防灾 疏散救援监控系统研究..... 2023, 20(7): 49-54	唐璐. 简谈虚拟防火墙技术在铁路通信网网络安全中的应 用..... 2023, 20(12): 61-65
王锐. 机车综合无线通信设备功能号注册问题简析 ..... 2023, 20(7): 55-58	姚伟. 通信光缆障碍的分析查找及处置 ..... 2023, 20(12): 66-71

## 城轨交通

全宏宇, 张敏慧. 市域铁路CTCS-2与CBTC列控系统切换方案  
..... 2023, 20(1): 61-66

徐余明, 石光明, 刘利平, 胡祖翰, 黄智杰, 罗斌. 面向铁路  
异构监测数据的光电混合接入系统 ... 2023, 20(1): 67-71

梁君, 付保明, 张宁, 何铁军. 都市圈轨道交通票务一体化  
研究..... 2023, 20(1): 72-76

仲晓辉. 机电设备技术融合和信号系统总承包的探析  
..... 2023, 20(1): 77-82

牛江涛, 孟天旭. 金属对中低速磁浮BTM天线谐振频率影响  
..... 2023, 20(1): 83-87

景顺利. 一种有轨电车跟踪方法的设计与实现  
..... 2023, 20(1): 88-94

王锋. CBTC信号系统信息安全问题分析  
..... 2023, 20(1): 95-98

周欢. 城轨信号系统智能运维信息采集方案  
..... 2023, 20(2): 73-78

王宏明, 宁博, 金云, 聂超. 微服务架构在有轨电车控制系  
统的应用..... 2023, 20(2): 79-82

付保明, 李舜康, 张宁, 陆海亭, 汪林. 基于信息融合的城  
市轨道交通站内信息服务..... 2023, 20(2): 83-88

陈尔超, 王喜军, 杨立新, 武少峰. 轨道交通改造工程漏泄  
电缆敷设方案..... 2023, 20(2): 89-94

马伟杰, 王绍新, 饶娅, 李鸿毛, 蒋远. 面向无人驾驶的地  
铁自动排班算法设计..... 2023, 20(3): 51-56

于秦龙. 上海地铁智能运维平台的道岔设备管理  
..... 2023, 20(3): 57-62

林静. 温州轨道交通LTE系统共用区域覆盖解决方案  
..... 2023, 20(3): 63-67

乔福明. 灭灯模式下信号机点灯区域的分析与确定  
..... 2023, 20(3): 68-71

田文礼, 马学霞, 谢志明. 计轴室外干扰故障的分析与解决  
方案..... 2023, 20(3): 72-76

秦宁, 谢和欢. 区域轨道交通协同运输与服务系统接口技术  
研究..... 2023, 20(4): 56-62

常峰. 全自动限速运行模式方案研究  
..... 2023, 20(4): 63-67

吕涛, 苏晓飞. 基于互联互通的呼和浩特地铁信号网络监听  
方案..... 2023, 20(4): 68-72

吴金元, 王菁. CBTC系统点式模式下临时限速方案分析  
..... 2023, 20(4): 73-76

孟凡琛, 翟熙. 大兴机场线草桥站快速换乘检票方案探讨  
..... 2023, 20(4): 77-81

肖孟, 郭佳. 城市轨道交通列车节能度量探讨  
..... 2023, 20(5): 57-61

崔惠珊, 盖克荣, 李雪枝, 刘伊敏. FA0下信号系统与站台门  
一体化方案..... 2023, 20(5): 62-66

孙志法, 程世杰. 加强型接点继电器贮存失效机理分析  
..... 2023, 20(5): 67-70

陈莹, 付保明, 张宁, 张鲁栋, 陆海亭. 城市轨道交通票务  
管理系统设计与实现..... 2023, 20(5): 71-75

魏文涛, 魏倩. 道岔安装绝缘烧损分析及解决方案  
..... 2023, 20(5): 76-80

于秦龙. 上海地铁13号线信号与屏蔽门系统接口分析  
..... 2023, 20(5): 81-85

周丽华, 吴亮, 柴荣阳, 彭朝阳, 李涛涛, 张晨. 基于恒定  
冲击率模型的列车运行时间计算方法  
..... 2023, 20(6): 60-64

熊栋宇. 市域铁路5G无线通信应用方案研究  
..... 2023, 20(6): 65-70

江坤, 杨迪飞, 刘佳. 轻轨CBTC信号与DTC信号多制式兼容方  
法研究..... 2023, 20(6): 71-76

何泉勃. 市域铁路公文化运营客票系统设计方案探讨  
..... 2023, 20(6): 77-82

曹启滨. 城市轨道交通新线工程信号系统运营需求要点分析  
..... 2023, 20(6): 83-86

宿秀元. 联挂解编进路处理逻辑研究  
..... 2023, 20(6): 87-92

张伟. CBTC与CTCS-2兼容互通方案 ... 2023, 20(6): 93-97

曹李竹, 何富君, 刘佳. 一种互联互通线路跨线运行图调整  
实现方案..... 2023, 20(7): 59-63

罗凌峰, 曹鹤飞. 中低速磁浮BTM设备电磁干扰分析及优化  
..... 2023, 20(7): 64-69

江坤, 杨迪飞. 双速度传感器冗余策略研究  
..... 2023, 20(7): 70-74

杨俐, 胡光祥, 林强, 罗志刚. 市域铁路调度集中系统异构  
融合探讨..... 2023, 20(7): 75-79

董渠江, 陆志伟, 曾庆文, 刘晨. 基于Wireshark的铁路信号  
协议解析器的设计与实现..... 2023, 20(7): 80-86

黄愉华, 金捷. 基于故障树的速度传感器检测方法研究  
..... 2023, 20(7): 87-91

周浩. 城轨道岔融雪系统集成到FA0子系统TIAS的可行性讨论  
..... 2023, 20(7): 92-97

贺航宇, 王岁儿, 吴春晓, 王晟, 李擎. 基于FBG和EMD的悬  
挂式永磁磁浮轨道梁应力检测技术研究  
..... 2023, 20(8): 52-58

杨勇, 孙舒淼, 王国华, 吴可. 南京地铁5G公网智能应用  
探索及实践..... 2023, 20(8): 59-65

李现鹏, 白磊, 吕金桐, 丁明, 李擎. 曲线钢轨打磨质量与  
地铁运行振动响应的相关性分析..... 2023, 20(8): 66-71

刘浚锋, 蒋彪, 王成. 齿轨列车齿轨轮轨切换车载ATP控制研究.....	2023, 20 (8): 72-77
薛强, 张永会. 全自动运行系统控制中心与备用控制中心切换方案.....	2023, 20 (8): 78-82
李安福. 工业以太网PROFINET在站台门系统中的应用及优化.....	2023, 20 (8): 83-89
张楠乔, 耿鹏. FAO互联互通系统保护区段解锁优化方案研究.....	2023, 20 (9): 61-65
秦柳. 集中判图技术在城市轨道交通安检系统中的应用.....	2023, 20 (9): 66-70
刘小龙, 朱今朝, 龙飞. 城市轨道交通信号与车辆融合控制技术研究.....	2023, 20 (9): 71-76
司福强. 人车定位系统在地铁施工中的研究与应用.....	2023, 20 (9): 77-82
杨震, 邝荣华, 蔡景俏, 熊文. 基于PRP提升CBTC车地无线通信可靠性方案研究.....	2023, 20 (9): 83-86
曹启滨, 高伯翰. 城市轨道交通全自动运行系统工程设计联络要点分析.....	2023, 20 (10): 52-56
付保明, 梁君, 张宁, 朱铭, 宋晓. 城市轨道交通智慧安检发展趋势.....	2023, 20 (10): 57-62
王军贤. 自动化测试在城轨联锁产品测试中的应用.....	2023, 20 (10): 63-69
徐晔, 徐钟全. 城市轨道交通车站智慧客服系统的研究与实践.....	2023, 20 (10): 70-74
汪沛. 基于城轨车辆升级扩容的信号系统方案研究.....	2023, 20 (10): 75-79
李浩, 辛鑫. 城市轨道交通信号系统分段式改造方案.....	2023, 20 (10): 80-85
曹凯, 张宁. 基于运行状态评价的城市轨道交通安检配置优化.....	2023, 20 (11): 66-73
李健, 毛新德, 刘英杰, 黄健. 城市轨道交通车站客服新模式探讨.....	2023, 20 (11): 74-78
于秋波, 韩朝建, 张晓飞, 王宝顺, 陈振, 倪国政. 基于接触网扩展监测的区间综合智能检测研究.....	2023, 20 (11): 79-84
裴立原. 城市轨道交通Y形线路信号系统拆分改造方案.....	2023, 20 (11): 85-91
张世铭, 张建明, 许瑜. 成都地铁1号线信号系统车地无线改造工程方案.....	2023, 20 (11): 92-96
刘冬冬, 唐陶. 基于地铁CBTC信号系统的延伸预留设计方案.....	2023, 20 (11): 97-101
张甬涛, 周欣, 金捷, 朱锁明. 市域铁路中CBTC与CTCS互联互通设计分析.....	2023, 20 (12): 72-77
王健, 李郁, 张亦然, 吴娟, 张明柱. 量子保密通信在AFC系统的应用.....	2023, 20 (12): 78-82

付文佳, 韩涛, 刘倩, 朱天民. 基于场景的全自动运行系统安全分析方法.....	2023, 20 (12): 83-87
廖百睿, 刘鹏鹏, 江梁智, 孙晓伟, 易炳强. 双UPS并机直流母线过压故障研究.....	2023, 20 (12): 88-92
谢桥. 城市轨道交通信号电源子系统不对称双母线冗余方案探讨.....	2023, 20 (12): 93-98
石斌. 基于VRRP的ATS主备中心网络切换方案的研究.....	2023, 20 (12): 99-105

## 技术交流

窦磊. 嘉兴站上行出站信号机点灯电路修改及验证.....	2023, 20 (1): 99-104
常斌. CTCS3-300T车载设备VDX时序问题分析与解决措施.....	2023, 20 (1): 105-109
毛芳. 关于全电子联锁与计算机联锁系统的对比分析.....	2023, 20 (1): 110-114
方明亮. 张吉怀高铁沙堤所设置临时限速引起列车制动问题的探讨.....	2023, 20 (2): 95-100
何涛, 李建锋, 张晓东. 动车组进站掉码问题分析及改进措施.....	2023, 20 (2): 101-106
张洁. 区间综合监控设备存在设计问题的分析.....	2023, 20 (3): 77-80
吕大梅. 扼流变压器磁化测试新思路.....	2023, 20 (3): 81-85
张光辉. 使用IKVM长线驱动器串口鼠标误操作的研究.....	2023, 20 (3): 86-90
陈波. 轨道电路“死区段”成因分析及对策.....	2023, 20 (5): 86-91
罗颖. 补偿电容故障对ZPW-2000A轨道电路影响分析.....	2023, 20 (5): 92-96
李学强. 新型铁路信号继电器重锤片的研制.....	2023, 20 (5): 97-100
周彬, 刘峰, 万园园. 铁路信号电缆低压快速在线测试装置研究.....	2023, 20 (6): 98-101
张国防. 一起线路所CTCS-2/CTCS-3边界停车的案例分析.....	2023, 20 (6): 102-105
李雪. 雷击导致轨旁信号设备故障原因分析及对策.....	2023, 20 (7): 98-103
吴敬华, 冯飞. 基于车-地数据联合分析的三起列车制动原因及对策.....	2023, 20 (7): 104-109
戴明福. 一起计算机联锁与CTC通信异常故障案例简析.....	2023, 20 (7): 110-114
李厦. 某站接近信号机点灯电路的分析及优化设计.....	2023, 20 (8): 90-94

胡井海, 王宇琮, 蔡微微. 站间联系电路的问题分析与改进  
..... 2023, 20(8): 95-100

温术来, 张磊, 于树永, 卢江. 双极型晶体管PN结电容温度特性研究..... 2023, 20(8): 101-106

牛颖聪. PCB印制板的通流量影响因素分析  
..... 2023, 20(8): 107-111

陈波. 区间逻辑检查进站外方区段延迟解锁原因分析及对策  
..... 2023, 20(9): 87-91

达兴亮. 不同制式轨道电路相邻时存在问题及解决方案  
..... 2023, 20(9): 92-96

苏向棋. 既有线增加区间占用逻辑检查试验方法思考  
..... 2023, 20(9): 97-100

夏朋亮. RBC设备常见无线连接超时原因分析  
..... 2023, 20(10): 86-91

何华海, 谢伟金. 高铁有砟线路信号设备运用十年的现状及维护探讨..... 2023, 20(10): 92-96

徐伟朝. 机车信号异常信息处置及研究  
..... 2023, 20(10): 97-101

曾峰. 单机运行引起轨道电路之间不匹配的研究  
..... 2023, 20(10): 102-105

刘骄, 夏朋亮. 关于CR300BF动车组BTM天线周围谐波干扰问题的研究..... 2023, 20(11): 102-105

胡婕, 徐锦材, 郭予广. ZD-6型电动转辙机“接点反弹”的故障分析及预防..... 2023, 20(11): 106-111

柳晓鹏. 铁路信号设备辐射发射超标分析及对策  
..... 2023, 20(11): 112-116

## 标准与规范

许辉. 装备技术标准与工程建设标准起草规则差异分析  
..... 2023, 20(4): 82-89

冷宁, 陈宏宇. 中国铁道学会标准制定流程和起草规则研究  
..... 2023, 20(4): 90-95

## 国外项目

郭晨彤. 匈塞铁路联锁数据工程化生成方法与实现  
..... 2023, 20(3): 91-96

赵丽. 海外铁路信号特殊控制及信号显示规则研究  
..... 2023, 20(4): 96-100

刘家良. 匈塞铁路信号电源系统方案研究  
..... 2023, 20(4): 101-104

纪伟, 杨志, 吴桦林, 路晓彤, 焦晓辉. 境外铁路互联网售票系统方案研究..... 2023, 20(6): 106-111

王雨, 刘军, 周灿伟, 李慧. 英国轨道交通大数据规划与开放共享的启示..... 2023, 20(10): 106-110

金松岳. 塞尔维亚联锁侧防功能研究  
..... 2023, 20(12): 106-109

## 项目管理

朱倩. IRIS配置管理在铁路信号工程项目中的实践与应用  
..... 2023, 20(12): 110-114

## 安全可控引领 智能铁路发展

### ——第十三届轨道交通安全与视频发展论坛成功举办

Guidance of Safe Control, Development of Smart Railways

--13th Forum on Development of Rail Transport Safety and Video Technologies Held in Beijing



2023年11月17-18日，由中关村轨道交通视频与安全产业技术联盟（以下简称联盟）举办的“第十三届轨道交通安全与视频发展论坛”在京召开，论坛采取线上线下结合方式同步进行。本届论坛主题为“安全可控引领，智能铁路发展”，是一年一度围绕轨道交通安全与视频技术进行广泛研讨交流的行业盛会。论坛邀请了国家铁路局、国铁集团、各路局、设计院、客专公司、地方铁路、地铁和联盟会员单位及行业相关科研院所等单位170余人参加线下会议，线上点击量超6万，同时在线3万余人，是历届论坛中参会人数最多的一次。论坛由联盟秘书长于格主持。

联盟理事长张跃致开幕辞。张跃理事长简述了13年来联盟在轨道交通特别是铁路行业所做的贡献，阐述了当今世界大变革背景对轨道交通提出的新要求，肯定了本届论坛的技术思路和发展方向。今年，联盟两项团标获国家铁路局科技成果入库，这是联盟团标工作的新突破。经过多年不懈的努力，论坛已经成为大家务实开展合作的新平台。我们要继续建设好、运用好这一平台，进一步加强交流、创造机会、共享成果。

论坛期间，共计20位专家就轨道交通视频新技术发展方向、重要标准规范、典型工程设计、信创与安全、AI智能和5G-R应用等议题作了精彩讲演，现场专家、学者围绕专题进行了热烈讨论。各专题报告涉及诸多国内外轨道交通领域新趋势、新技术，与会厂商、用户和研究单位深受启发，更有助于解决技术如何落地问题。论坛诸多重点、热点问题引起参会嘉宾的极大兴趣，会场互动交流氛围浓厚。

最后联盟名誉理事长田裳做了会议总结，她首先感谢各位领导、专家对联盟一贯的支持帮助，也指出近年来智能化、数字化成为各行业发展的主流，视频技术也从监视走向监控，从后台服务走向前台的生产指挥、安全控制，国铁集团线路安全环境管控平台的建设推动了AI视频技术的落地，这些为联盟各企业发展开辟了更广泛的前景。今后联盟将更加努力，为轨道交通数智发展，为联合创新、共建良好的生态产业链贡献更大力量。

论坛回放链接：<https://v.alltuu.com/r/BFFbme>。

（联盟秘书处供稿）

# 《铁路通信信号工程技术》

Railway Signalling & Communication Engineering

## 月刊



《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办的国家级期刊。在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响，深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准，自2005年12月起面向国内外公开发刊。国内统一连续出版物号：CN11-5423/U。国际标准连续出版物号：ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计刊源期刊；RCCSE中国准核心学术期刊；日本科学技术振兴机构数据库（JST）收录期刊；EBSCO学术数据库收录期刊；中国核心期刊（遴选）数据库收录期刊；中国学术期刊（光盘版）全文收录期刊；中文科技期刊数据库（全文版）收录期刊；中国学术期刊影响因子年报统计源期刊；超星期刊域出版平台全文收录；中国铁道学会通信信号分会指定期刊；国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊。

主要内容是围绕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。

投稿方式：

期刊官网投稿：<https://rsce.crscd.com.cn>

邮箱投稿：[rsce@crscd.com.cn](mailto:rsce@crscd.com.cn)

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

联系方式：

邮编：100070

电话：010-51865951

网址：[www.crscd.com.cn](http://www.crscd.com.cn)

订阅方式：

邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，邮发代号80-532

编辑部订阅：e-mail或电话至编辑部

订 价：每期10元，全年（12期）120元



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

扫码打开期刊官网，  
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U

ISSN 1673-4440



邮发代号：80-532 国内定价：10元/期