

# 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. **4** 第20卷 总第148期

**CRSC**

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

## 信号系统仿真实训平台

打造职业化、专业化、现代化实训平台

全面覆盖产教融合型培训基地、站段培训基地、车间班组练功场建设需求

助力技能水平和应急处置能力全面提升



广告

# 铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

## 主管单位 Administrated by:

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

## 主办单位 Sponsored by:

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

## 主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

## 执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

## 编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

## 责任编辑 Editor in Charge:

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

## 网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

## 英文编辑 English Editor:

王冲 Wang Chong

## 编辑出版 Edited and Published by:

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

## 地址 Address

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

邮编: 100070 Postcode: 100070

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

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

## 编辑电话 Edition Tel:

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

## 广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

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

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

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

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

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

## 广告代理 Advertising Agency:

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

## 印刷 Printed by:

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

## 广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第20卷第4期总第148期 Vol.20 No.4 S.No.148

出版: 2023年4月25日 Published on: 4/25/2023

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

基于双滑块机构的GW-SH型道岔外锁闭装置研究 .....	刘振华, 王 华	1-4
电缆分布电容对交流道岔动作电路的影响 .....	王 勇, 赵 泽	5-10
一类高速铁路动车存车场信号设计方案的探讨 .....	石 磊	11-13
基于DRPP的列控车载设备测试序列生成方法 .....	王 硕, 吴培栋, 张友兵	14-20
基于ARM+FPGA架构的安全数字量输入输出信号系统设计 .....	马茗岗	21-25
异构双核处理器在多路模拟采集系统中的应用 .....	李安福	26-32

### 通信及信息技术

关于5G-R MCX漫游用户统一认证的探讨 .....	殷卫海	33-39
基站软件功能缺陷引起的CTCS-3无线超时案例简析 .....	许文渊	40-45
镇江枢纽地区GSM-R网络优化案例 .....	梅 靖	46-51
基于AI0ps的铁路机房运维管理系统研究 .....	袁振江	52-55

## 城轨交通

区域轨道交通协同运输与服务系统接口技术研究 .....	秦 宁, 谢和欢	56-62
全自动限速运行模式方案研究 .....	常 峰	63-67
基于互联互通的呼和浩特地铁信号网络监听方案 .....	吕 涛, 苏晓飞	68-72
CBTC系统点式模式下临时限速方案分析 .....	吴金元, 王 菁	73-76
大兴机场线草桥站快速换乘检票方案探讨 .....	孟凡琛, 翟 熙	77-81

## 标准与规范

装备技术标准与工程建设标准起草规则差异分析 .....	许 辉	82-89
中国铁道学会标准制定流程和起草规则研究 .....	冷 宁, 陈宏宇	90-95

## 国外项目

海外铁路信号特殊控制及信号显示规则研究 .....	赵 丽	96-100
匈塞铁路信号电源系统方案研究 .....	刘家良	101-104

## 国外信息

AŽD Praha 将在匈牙利试行捷克数字支线概念(89)		
-------------------------------	--	--

## 广告索引

.....		45
-------	--	----

## CONTENTS

### Technological Innovation

#### Signalling Technology

Research on GW-SH Turnout External Locking Device Based on Double-slider Mechanism .....	Liu Zhenhua, Wang Hua	1-4
Influence of Distributed Capacitance of Cables on AC Switch Transition Circuits .....	Wang Yong, Zhao Ze	5-10
Discussion on Signal Design Schemes for EMU Storage Yards of High-speed Railways .....	Shi Lei	11-13
Test Sequence Generation Approach for On-board Train Control Equipment Based on DRPP .....	Wang Shuo, Wu Peidong, Zhang Youbing	14-20
Design of Safe Digital Input and Output Signal System Based on ARM+FPGA Architecture .....	Ma Minggang	21-25
Application of Heterogeneous Dual-core Processors in Multi-channel Analog Acquisition Systems .....	Li Anfu	26-32

#### Communication & Information Technologies

Discussion on Unified Authentication of 5G-R MCX Roaming Users .....	Yin Weihai	33-39
Analysis of CTCS-3 Wireless Timeout Cases Caused by Functional Defects of Base Station Software .....	Xu Wenyuan	40-45
Case Study on GSM-R Network Optimization in Zhenjiang Hub Area .....	Mei Jing	46-51
Research on Operation and Maintenance System for Railway Equipment Rooms Based on AIOps .....	Yuan Zhenjiang	52-55

### Urban Rail Transit

Research on External Interface Technology of Regional Rail Transit Collaborative Transportation and Service System .....	Qin Ning, Xie Hehuan	56-62
Research on Fully Automatic Speed-restriction Operation Mode .....	Chang Feng	63-67
Monitoring Scheme for Hohhot Metro Signal Network Based on Interoperability .....	Lü Tao, Su Xiaofei	68-72
Research on Temporary Speed-restriction Scheme of CBTC System in Intermittent Mode .....	Wu Jinyuan, Wang Jing	73-76
Discussion on Scheme of Fast-Transfer Ticket Check for Caoqiao Station of Beijing Daxing International Airport Express .....	Meng Fanchen, Zhai Xi	77-81

### Specifications & Standards

Analysis of Differences between Drafting Rules of Equipment Technical Standards and Engineering Construction Standards .....	Xu Hui	82-89
Research on Standard Preparation Process and Drafting Rules of China Railway Society .....	Leng Ning, Chen Hongyu	90-95

### Projects Abroad

Research on Special Control and Signal Aspect and Indication Rules of Overseas Railway Signaling .....	Zhao Li	96-100
Research on Signal Power Supply System for Hungary-Serbia Railway .....	Liu Jialiang	101-104

### Advertiser Index

.....		45
-------	--	----



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.001

# 基于双滑块机构的GW-SH型道岔外锁闭装置研究

刘振华<sup>1</sup>, 王 华<sup>2</sup>

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 中国铁路北京局集团有限公司唐山电务段, 河北唐山 063000)

**摘要:** 高速铁路道岔转换设备自上道运用以来, 现场使用情况总体良好, 但仍会发生由于尖轨伸缩量较大导致的外锁闭装置转换卡阻、部分零部件磨损量较大和维护工作量较多等问题。为进一步提升高速铁路道岔转换设备适应性及可靠性, 减少现场的维护工作量, 提出 GW-SH 型道岔外锁闭装置的结构方案。该装置采用双滑块机构、弹性辊轮结构和减磨措施, 在提升安全性、可靠性的同时, 更好的满足高速铁路大号码道岔尖轨较大伸缩量、减少转换卡阻故障以及现场维护工作量等需求。

**关键词:** 道岔; 外锁闭装置; 双滑块机构; 尖轨伸缩

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0001-04

## Research on GW-SH Turnout External Locking Device Based on Double-slider Mechanism

Liu Zhenhua<sup>1</sup>, Wang Hua<sup>2</sup>

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

(2. Tangshan Communication Depot, China Railway Beijing Group Co., Ltd., Tangshan 063000, China)

**Abstract:** In general, the turnout switching equipment of high-speed railways has operated well on site since its application in China, but there are still some problems, such as external locking device transition jamming due to the considerable expansion of switch rails, more serious wear of some parts and more maintenance workload. In order to further improve the adaptability and reliability of this equipment and reduce the on-site maintenance workload, the structural scheme of GW-SH turnout external locking device is proposed. The device applies a double-slider mechanism with an elastic roller structure and friction reduction measures, which not only improves safety and reliability, but also

收稿日期: 2022-11-14; 修回日期: 2023-02-13

基金项目: 中国铁路总公司重点课题项目 (2013X013-C); 中国铁路总公司重点课题项目 (2017X012-J)

发明专利: 2020 年实用新型专利 (ZL 202020268028.4); 2015 年实用新型专利 (ZL 201520022051.4)

第一作者: 刘振华 (1983—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路道岔转换技术, 邮箱: liuzhenhua@crscd.com.cn.

meets the needs of high-speed railways in a better way by controlling the expansion of the switch rails of large-number turnouts and reducing transition jamming failures and on-site maintenance workload.

**Keywords:** turnout; external locking equipment; double-slider mechanism; switch rail scaling

道岔外锁闭装置是道岔转换系统中的关键设备之一，是通过转辙机转换并直接把道岔的尖轨与基本轨、心轨与翼轨锁闭在一起的机械装置。在正常状态下，外锁闭装置能够完成解锁、转换以及锁闭过程，但在变化的温度环境下，尖轨会发生热胀冷缩现象。高速铁路道岔大多采用 18 号及以上的大号码道岔，尽管道岔跟端采取了限位器等措施，但其尖轨相对于基本轨伸缩位移量仍较大，且高速列车通过时对设备产生更大的振动和冲击，对道岔转换设备的可靠性提出了更高要求。为此，依托中国铁路集团有限公司（以下简称“国铁集团”）重点科研课题，开展了高速铁路新型道岔外锁闭装置研究。

### 1 GW-SH型道岔外锁闭装置技术特点

新型钩型双滑块机构外锁闭装置（GW-SH 型道岔外锁闭装置），是在继承国内广泛运用的 GW 型钩型外锁闭成熟的动作原理及技术优势基础上，开展多项自主创新设计，更好地满足了高速铁路大号码道岔尖轨大伸缩量爬行要求，可减少转换卡阻故障，减小转换阻力，减少维护工作量。主要技术特点如下。

- 1) 采用创新设计的“双曲柄滑块”机构，能较好地适应尖轨伸缩变化，可减少由于尖轨伸缩造成的外锁闭装置转换卡阻现象；
- 2) 采用创新设计的“弹性辊轮”锁闭铁，可减少摩擦阻力和冲击磨耗，并可减少维护工作量；
- 3) 主要受力部件采用高强度合金钢材质，可提高部件的机械强度和冲击韧性；
- 4) 主要摩擦面采用新型减磨材料，提高了耐磨性，可减少现场的维护工作量。

### 2 GW-SH型道岔外锁闭装置结构组成

GW-SH 型道岔外锁闭装置主要由尖轨连接铁

组件、锁闭杆组件、锁闭框组件和锁钩组件组成，如图 1 所示。

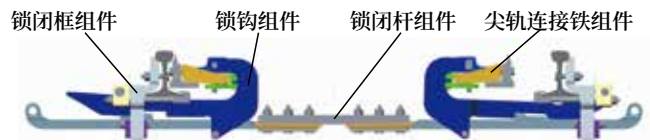


图1 GW-SH型道岔外锁闭装置结构组成  
Fig.1 The structure of GW-SH turnout external locking device

与 GW 型钩型外锁闭转换方式相似，GW-SH 型道岔外锁闭装置的锁闭杆组件在转辙机的驱动下进行水平运动，首先左侧锁钩开始解锁，同时右侧尖轨在右侧锁钩的推动下，向右侧基本轨方向运动；当左侧锁钩完成解锁后，锁钩推动两侧尖轨同时向右侧运动，之后右侧锁钩旋转，尖轨与基本轨密贴锁闭，待左侧尖轨转换至斥离位后，右侧锁闭杆与锁钩锁闭，完成转换全过程。

#### 2.1 尖轨连接铁组件

尖轨连接铁组件主要由尖轨连接铁、推拉板、连接铁座、连接铁座轴、滑块和短销轴组成，如图 2 所示。尖轨连接铁安装于尖轨，与推拉板、滑块和短销轴构成“双滑块机构”，是实现适应尖轨伸缩的核心机构。组件中的推拉板与尖轨连接铁平面贴合滑动，可绕连接铁座轴旋转；在尖轨连接铁滑动面及连接铁座轴孔间设置减磨材料，可减少相对运动时的摩擦阻力。

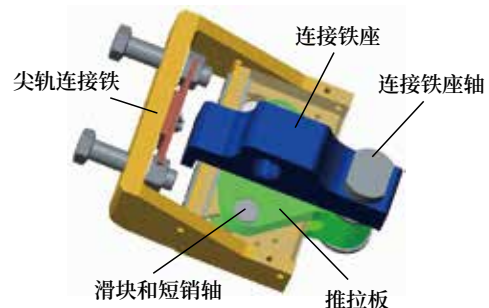


图2 尖轨连接铁组件  
Fig.2 Switch rail connector subassembly

基于“双滑块机构”设计适应尖轨伸缩机构，其中尖轨连接铁为机构的基础，推拉板通过“尖轨连接铁”长圆滑槽内的滑块和短销轴铰接，并通过连接铁座与锁钩连接。当尖轨伸缩时，尖轨带动尖轨连接铁沿尖轨伸缩方向做直线运动，推拉板仅做绕轴线的旋转运动。如图3所示为尖轨伸缩时“双滑块机构”的3种状态：1) 为尖轨相对于基本轨向尖轨根部方向收缩时的状态；2) 为尖轨未伸缩的原始状态；3) 为尖轨相对于基本轨向尖轨尖端方向伸出时的状态。



图3 双滑块机构  
Fig.3 Double-slider mechanism

## 2.2 锁闭杆组件

锁闭杆组件是传递转辙机输出力并执行转辙机动作的部件，主要由锁闭杆、连杆、绝缘垫板和导轮组成，如图4所示。该结构基于既有GW型道岔外锁闭装置进行了优化，锁闭杆与连杆间的梯形槽连接结构保证了锁闭杆组件安装的直线度和平行度，并在连接部分设置上、中、下3层绝缘，提高了绝缘可靠性；同时通过配置不同长度连杆来实现锁闭杆组件的设计长度要求，提高零部件的通用性。

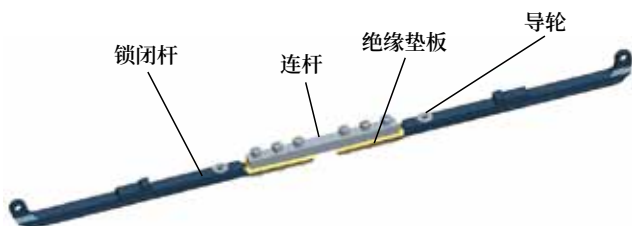


图4 锁闭杆组件  
Fig.4 Locking rod subassembly

## 2.3 锁闭框组件

锁闭框组件主要由锁闭框、弹性辊轮锁闭铁、固定螺栓和支撑块组成，如图5所示。该组件安装固定于基本轨，用于支撑导向锁闭杆。锁闭铁设置了弹性辊轮，锁闭方式由既有的斜面锁闭改为圆弧锁闭，一方面由滑动摩擦改为滚动摩擦，降低摩擦

阻力，更利于锁钩的解锁；另一方面弹性辊轮具有一定弹性，适应高速道岔过车引起的振动和冲击，有利于减少摩擦阻力和冲击磨耗。

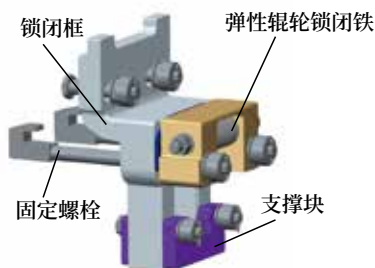


图5 锁闭框组件  
Fig.5 Locking frame subassembly

## 2.4 锁钩组件

锁钩组件主要由锁钩和销轴组成，如图6所示。锁钩是外锁闭装置的关键零部件，直接关系到道岔尖轨与基本轨的锁闭可靠性，其采用高强度合金材料，提高了耐磨性和抗冲击性能。



图6 锁钩组件  
Fig.6 Locking hook subassembly

## 3 GW-SH型道岔外锁闭装置现场试验及试用

为验证GW-SH型道岔外锁闭装置在时速350 km正线道岔运行环境的性能，2018年2月，国铁集团组织在京沈客专北票站配套客专线(07)009道岔进行动力学试验及试用。在京沈客运专线综合试验中，进行转换阻力试验、夹异物试验、动力学试验，试验结果均满足设计及技术标准要求，验证了GW-SH型道岔外锁闭装置在350 km/h正线道岔运用的安全性、可靠性，满足高铁正线道岔的应用要求；设备在东北地区经历了夏、冬季较大温差的运用环境，能够较好地适应尖轨的伸缩，转换稳定可靠，降低了故障率。

GW-SH型外锁闭装置从2015年11月起，在

北京、沈阳、西安、太原局集团公司共选取 11 组道岔上道试用。其中，在京沈客专正线高速道岔试用 4 组：动车直向过岔速度为 300 km/h，侧向速度为 60 ~ 70 km/h，日通行列车 46 列左右；在站线道岔试用 7 组，其中何寨站 44# 道岔运量最大：客车通过速度 200 km/h，日均通行货车约 80 列、客车约 20 列。以上试用道岔验证了 GW-SH 型道岔外锁闭装置在高速正线线路及运量繁忙线路运用的可靠性，在试用过程中设备运行稳定，转换锁闭可靠，达到了试用目标。

2021 年 4 月，国铁集团发布《铁路道岔外锁闭装置》(Q/CR 818-2021)，纳入 GW-SH 型外锁闭装置并规定产品结构、技术要求和试验方法。2021 年 7 月，GW-SH 型外锁闭装置通过了国铁集团技术评审，目前已在全路高速铁路道岔逐步推广运用。

#### 4 结束语

GW-SH 型道岔外锁闭装置的研发是在国铁集团的直接领导和大力支持下，严格按照科学、规范的科研开发流程形成的重要科技创新成果，具有完全自主知识产权。在研制过程中，课题组开展了严格的指标测试和试验，现场上道试用过程中运行稳定，转换锁闭可靠，达到了研究目标，满足高速铁路道岔的运用要求。运用表明，GW-SH 型外锁闭装置可进一步提高道岔转换设备使用的可靠性，降低故障率，减轻现场维护劳动强度，减少维护工作量，将进一步提高国内铁路运输效率发挥积极作用，具有显著的经济效益和社会效益。

#### 参考文献

- [1] 韩锐, 孙晓勇, 刘振华. 外锁闭道岔转换阻力分析与维护建议 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50(11): 30-32.  
Han Rui, Sun Xiaoyong, Liu Zhenhua. Analysis and Maintenance of External Locking Switch Operating Resistance Force[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(11): 30-32.
- [2] 张立军, 杨树仁, 黄天新, 等. 双曲柄滑块机构在道岔外锁闭装置中的应用研究 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52(10): 13-14, 17.  
Zhang Lijun, Yang Shuren, Huang Tianxin, et al. Application Study of Double Slider Mechanism in External Locking Device of Switch Machine[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(10): 13-14, 17.
- [3] 孙晓勇, 方嘉晟. 高速道岔钩型外锁闭装置对尖轨转换力的影响研究 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55(12): 46-49, 54.  
Sun Xiaoyong, Fang Jiangsheng. Research on Influence of Hook Type External Locking Device of High-Speed Turnout on Conversion Force of Tongue Rail[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(12): 46-49, 54.
- [4] Tian Shuang, Zhou Jianfeng, Liu Zhenhua, et al. Research on Wear Loss of Turnout Outside Locking Device[C]//2018 10th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA). February 10-11, 2018, Changsha, China. IEEE, 2018: 74-77.
- [5] 谢博才, 宫殿君. 基于机器学习的道岔故障诊断与预测研究综述 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(8): 93-99.  
Xie Bocai, Gong Dianjun. Overview of Turnout Fault Diagnosis and Prognostic Based on Machine Learning[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(8): 93-99.
- [6] 孙晓勇, 谢博才, 杨硕. 基于 PHM 技术的道岔转换智能诊断系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(10): 1-5.  
Sun Xiaoyong, Xie Bocai, Yang Shuo. Research on Turnout Switching Intelligent Diagnosis System Based on PHM[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 1-5.



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.002

# 电缆分布电容对交流道岔动作电路的影响

王 勇<sup>1, 2</sup>, 赵 泽<sup>1, 2</sup>

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

**摘要:** 针对三相交流道岔动作电路在室外转辙机发生断相后断相保护继电器不落的问题, 通过对在正常工况和断相工况下不同场景现场测试结果的深入研究, 以及对模拟式断相保护器和数字式断相保护器工作原理的详细分析, 揭示多源分布电容对动作电路影响的内在发生机理, 提出工程化改善措施和对行业标准的修改建议。

**关键词:** 动作电路; 分布电容; 断相保护器; 工程化措施

中图分类号: U213.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0005-06

## Influence of Distributed Capacitance of Cables on AC Switch Transition Circuits

Wang Yong<sup>1, 2</sup>, Zhao Ze<sup>1, 2</sup>

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

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

**Abstract:** The phase interruption protector relay of a three-phase AC switch transition circuit is not deenergized after the loss of phase occurred in an outdoor switch machine. In order to solve this problem, the internal mechanism of the influence of the multi-source distributed capacitance on this circuit is revealed through the in-depth study on the field test results in different scenarios under both normal and loss-of-phase conditions, and through the detailed analysis of the working principles of the analog phase interruption protector and the digital phase interruption protector. Moreover, the measures for engineering improvement and suggestions on how to modify the industry standard are put forward.

**Keywords:** transition circuit; distributed capacitance; phase interruption protector; engineering measures

### 1 概述

三相交流五线制道岔控制电路按照动作过程由启动电路、动作电路和表示电路构成, 其中启动电路是道岔接受联锁指令的电路、动作电路是转辙机牵引道岔动作的电路、表示电路是把道岔定/反位

收稿日期: 2022-11-14; 修回日期: 2023-02-13

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目(N2022G027)

第一作者: 王勇(1981—), 男, 正高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道信号, 邮箱: 511wy@crscd.com.cn。

位置反映到室内的电路。

动作电路是通过改变三相交流电源中两相（B相和C相）的相序来改变转辙机内电机的旋转方向，从而操纵道岔向定位和反位转换。三相交流电源AC380通过断相保护器接入动作电路，利用1DQJ和2DQJ接点实现电机的启动和改变旋转方向，其中1DQJ吸起将三相交流电源送向室外电机、2DQJ定/反位接点转换来改变向电机送电的相序；当三相电源的任一相发生断相时，通过断相保护器及时切断其余两相电源，以保护电机不被烧毁。

### 1.1 存在问题

某站在检修管内102<sup>#</sup>道岔时发现，102<sup>#</sup>道岔在转换过程中断开转辙机内安全接点后，该道岔转辙机的电机不停转，道岔能够继续转换并到位。经查阅信号集中监测站机数据发现，102<sup>#</sup>道岔在转换过程中断开转辙机内安全接点后，A相电流和B相电流由1.5 A升高至1.8 A，C相电流由1.5 A降为0.2 A，BHJ仍维持励磁状态，道岔转换到位后，正常接通表示电路，动作曲线如图1所示。

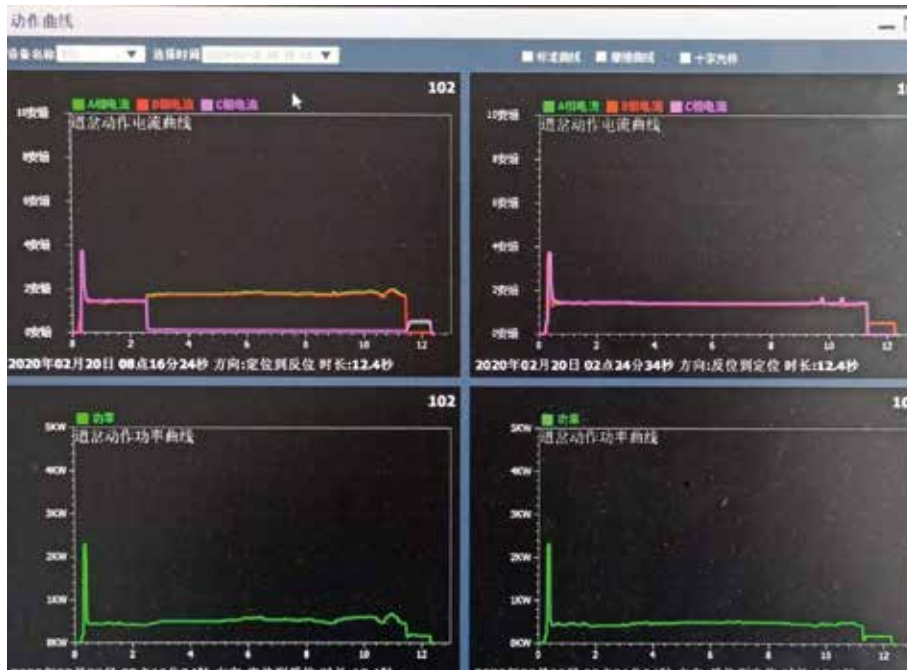


图1 信号集中监测站机记录的102<sup>#</sup>道岔动作曲线数据  
Fig.1 Graphs of data and curves showing the transition of Switch 102<sup>#</sup> recorded by the station equipment of centralized signaling monitoring system

既有102<sup>#</sup>道岔情况：该道岔转辙机电缆控制长度约为3 550 m；类型为60kg/m、18号道岔，由ZYJ7+SH6+SH6牵引，采用三相交流五线制道岔控制电路，其各线均加芯至2芯；BHJ采用JWXC-1700型继电器，前后线圈采用串接方式，其释放值不小于3.4 V；断相保护器采用模拟式断相保护器（电流互感型）。

既有电缆使用情况：从室外转辙机电缆盒至室内分线盘分为两段电缆；第一段约为1 925 m，X1和X2芯线（含加芯）共用一个四线组、X3和X4芯

线（含加芯）共用一个四线组、X5和道岔缺口共用一个四线组；第二段约为1 625 m，X1的一芯与其他转辙机芯线共用一个四线组，X1的另一芯与X2芯线（含加芯）和X3的一芯共用一个四线组，X3的另一芯与X4芯线（含加芯）和X5的一芯共用一个四线组，X5的另一芯和道岔缺口共用一个四线组。

### 1.2 断相保护器工作原理

目前，我国铁路信号系统采用的断相保护器按工作原理主要分为模拟式断相保护器（电流互感型）和数字式断相保护器（电子器件型）。

### 1) 模拟式断相保护器

模拟式断相保护器构造原理如图 2 所示。转辙机三相交流电源分别与互感器 I 次侧线圈串联，II 次侧三线圈串联输出感应交流电压后经全波整流并滤波成直流电源，该电源经过延时电路驱动继电器 BHJ 吸起。电流互感器的 II 次侧除基波外，还有高次谐波分量，当三相电源正常时三相电流相位相差  $120^\circ$ ，三相互感器 II 次感应电压也相差  $120^\circ$ ，合成输出 BHJ 可靠工作的电压；当三相电源出现断相时，剩余两相只能构成一个电流回路，此时流经两个互感器的电流相位相差  $180^\circ$ ，其 II 次感应电压相等，相位相反，无法合成输出 BHJ 电压，导致 BHJ 落下，实现断相保护功能。

### 2) 数字式断相保护器

数字式断相保护器构造原理如图 2 所示。转辙机电源 A、B、C 三相电流通过互感器感应后，经过放大电路和模数转换后由单片机 (MCU) 直接按照感应电流的大小，作为判断断相保护器是否进行断相保护的依据。若三相电流都大于预设的阈值时，则输出 24 V 直流电使 BHJ 励磁；若任一相电流小于预设的阈值，则判断为断相，断开 24 V 直流电，使 BHJ 落下，实现断相保护功能。

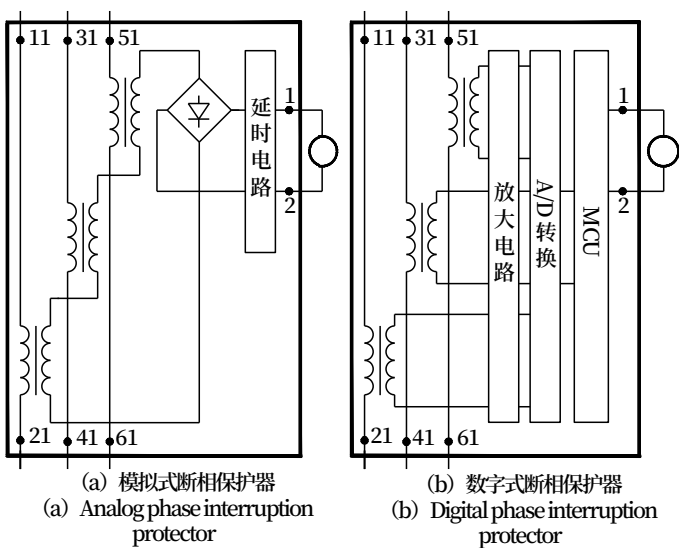


图2 断相保护器的构造原理示意

Fig.2 Schematic diagram of the construction principle of phase interruption protector

## 2 现场试验

### 2.1 试验方案

通过对 102<sup>#</sup> 道岔转辙机动作电路在不同工况下的断相保护器输出侧三相电流、转辙机内部三相电机的电流和 BHJ 继电器线圈两侧电压进行测试和记录，来系统分析动作回路的工作状态。

1) 在 102<sup>#</sup> 道岔的组合内部断相保护器 21、41、61 端子至 1DQJ-12、1DQJF-12、1DQJF-22 端子之间 (如图 3 中采集点 1、2、3 位置所示) 增加电流采集，在 BHJ 线圈的 1、4 端子处 (如图 3 中采集点 9 位置所示) 增加电压采集。

2) 在室外 102<sup>#</sup> 道岔的终端电缆盒的端子处 (如图 3 中采集点 5、7、8 或 4、6、8 位置所示) 设置电流采集传感器。

3) 采用 CE-YZ01 型无线干扰监测智能分析仪采集记录多通道电流数据，采用万用表测量电压数据。

### 2.2 试验场景

#### 1) 正常工况下测试情况

正常工况下，道岔由定位向反位、由反位向定位转动过程中，断相保护器输出侧三相电流波形如图 4 所示。

#### 2) 断相工况下测试情况

道岔由定位向反位或由反位向定位转动过程中，在转辙机处分别断开 A 相电 (断开 X1)、B 相电 (断开 X2 或 X4)、C 相电 (断开 X3 或 X5) 时，断相保护器输出侧三相电流波形如图 5 所示。

#### 3) 更换为数字式断相保护器后重复测试

更换为数字式断相保护器后重复试验，正常工况下 BHJ 两端电压为 24.75 V，断相工况下 BHJ 两侧电压均会降为 0 V，BHJ 正常落下。

### 2.3 试验总结

1) 在正常工况下，模拟式断相保护器可正常工作，断相保护器输出侧电流为 1.53 A 左右、输出继电器电压为 24.5 V，BHJ 继电器可靠吸起；转辙机处电流为 1.53 ~ 1.57 A。

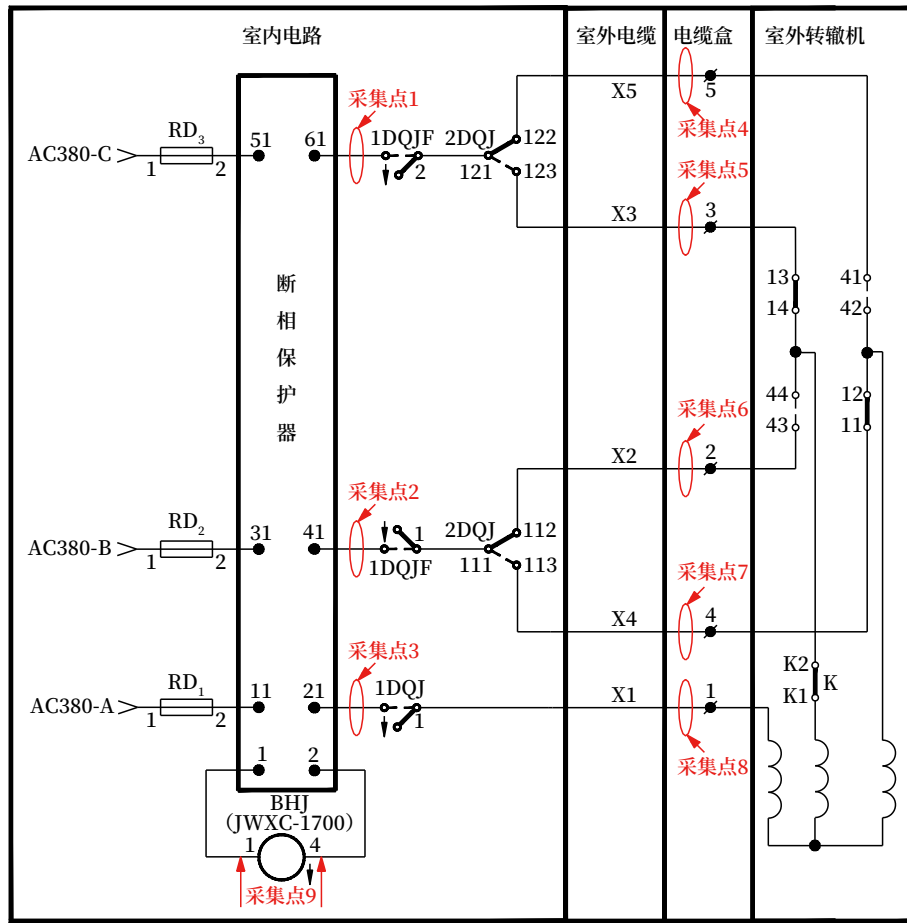


图3 动作电路原理和采集点位置  
Fig.3 Schematic diagram of transition circuit and locations of acquisition points

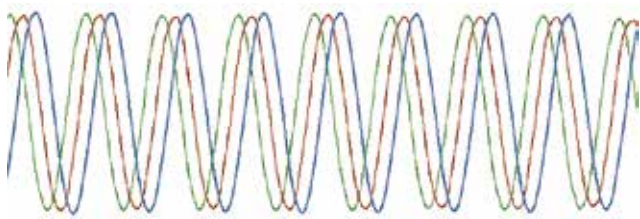


图4 正常工况下断相保护器输出侧三相电流波形  
Fig.4 Three-phase current waveform of the output of the phase interruption protector under normal working conditions

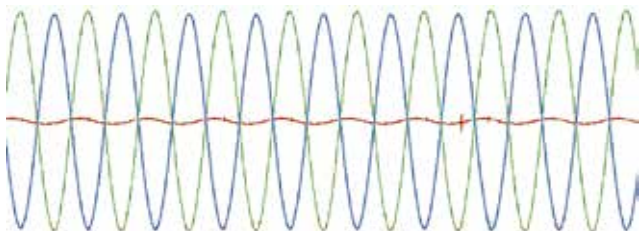


图5 断相工况下断相保护器输出侧三相电流波形  
Fig.5 Three-phase current waveform of the output of the phase interruption protector under loss-of-phase conditions

2) 在断相工况下，当转辙机处发生断相故障后，断相保护器断相的输出侧电流为 0.1 A 左右，其余相输出侧电流为 1.82 A 左右，较正常工况下提高 19%，输出的继电器电压会降到 5.5 ~ 6.5 V 左右（现场 BHJ 继电器释放值约为 5.8 V），导致部分场景下 BHJ 继电器不能可靠落下；转辙机处电流为 0 A。

3) 在相同的测试条件下，更换为数字式断相保护器后，当发生断相故障后，断相保护器输出的继电器电压从 24.75 V 降到 0 V，BHJ 继电器可靠落下；转辙机处电流为 0 A。

### 3 原因分析

基于前期研究成果，动作电路用铁路信号电缆中四线组相邻芯线间、四线组对角芯线间、四线组



与四线组间、四线组与对线组间、四线组与单线间、对线组与单线间、四线组和对线组芯线与金属护套（铝护套和钢带的统称）间等多源分布电容的存在，以及三相交流电源中除基波外还有高次谐波分量，造成在室外转辙机断相时交流电流会通过分布电容迂回至断相保护器，电缆越长，加芯越多，分布电

容就越大，流向断相保护器的电流就越大，同时断相保护器中未断相的输出侧电流也增大，互感器Ⅱ次感应电压也越大，直至维持断相保护继电器吸起，如图6所示。断相后的交流电流是通过两个途径的分布电容回路迂回至断相保护器：一是通过线间分布电容；二是通过线对金属护套的分布电容。

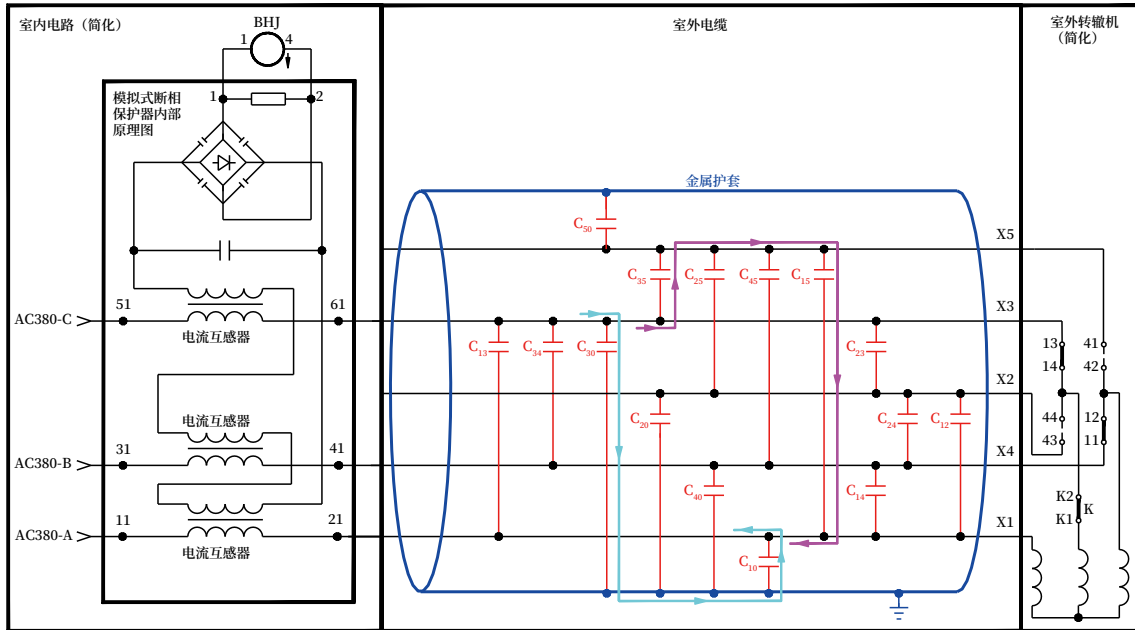


图6 考虑电缆分布电容的动作电路原理 (以定位转反位为例)

Fig.6 Schematic diagram of the transition circuit if the distributed capacitance of the cables is considered (taking the transition from normal position to reverse position as an example)

从现场测试结果来看，转辙机动作过程中，在室外转辙机出现断相时，由于多源分布电容的存在使得断相的芯线中仍会有少量感应电流。该感应电流（现场测得约为0.1 A）远小于转辙机正常工作电流，且从电流波形来看此时剩余两相电相位差近似为 $180^\circ$ ，但不能完全抵消，使得断相后模拟式断相保护器驱动的BHJ未能可靠落下，而断相后数字式断相保护器驱动的BHJ能可靠落下。

## 4 改进建议

### 4.1 标准修改建议

在行业标准《铁路信号用断相保护器》(TB/T 3327-2015)中第4.4.2条款规定“在任一相断路时，断相保护器输出直流电压应小于0.2 V”，针对第4.4.2条款的第5.2条款电气特性测试也仅是在室

内断相的场景，未考虑在室外转辙机侧断相的场景。

1) 建议标准应明确任一相电流值小于某一阈值时视为断相，并补充相应的电气特性测试场景。经了解，目前通过CRCC认证的数字式断相保护器一般采用0.6 A为断相阈值，低于0.6 A时断相保护器停止输出直流电压，保证BHJ可靠落下。

2) 建议标准应明确室外转辙机侧断相时断相保护器输出的最大直流电压值，建议小于BHJ继电器(JWXC-1700型)标准要求的释放值(3.4 V)，并补充相应的电气特性测试场景。

### 4.2 工程化改善措施建议

1) 鉴于模拟式断相保护器(电流互感器型)无法判定断相后电流阈值的原因，当遇到在室外转辙机侧断相后BHJ继电器不落问题建议采用数字式断相保护器(电子器件型)。

2) 基于前期研究成果, 信号电缆内同一四线组内相邻芯线间的分布电容约为两相邻四线组间分布电容的 13 倍, 外围四线组对金属护套的分布电容约为中心四线组对金属护套的分布电容的 6 倍, 两四线组间和中心四线组对金属护套的分布电容可忽略不计。综合表示电路对信号电缆芯线使用要求, 在控制电缆单线电阻值  $54\ \Omega$  的交流道岔转辙机(如 ZDJ9、ZDJ10、ZYJ7 等) 采用五线制控制电路时, 除要求 X1 ~ X5 均使用四线组且 X1 与 X2 ~ X5 不同缆外, 建议 X2 ~ X5 分别采用不同四线组, 有条件的情况下采用中心四线组, 来减少多源分布电容对道岔动作电路的影响。

3) 建议断相保护继电器 BHJ 采用高返还系数的无极继电器。在现有无极继电器的基础上增加继电器止片厚度来提高释放值; 通过出厂检测筛选出释放值较大的继电器(考虑余量), 并用鉴别销进行特殊区分及定期检测。

## 5 结束语

上文通过对交流道岔动作电路在室外转辙机发生断相后断相保护继电器不落问题的理论研究和分析, 提出了针对该问题的工程化改善措施和对行业标准的修改建议, 从而提高道岔控制系统对传输回路状态实时闭环检测的灵敏度。其中改善措施已在现场进行了初步验证, 但还需进一步扩大试用。希望本文能为工程设计和维修维护人员提供参考, 但需针对现场实际情况, 选择综合性解决措施。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. ZY 系列电液转辙机: TB/T 2673-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. ZDJ10 型电动转辙机: TB/T 3069-2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [3] 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.
- [4] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号用断相保护器: TB/T 3327-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [5] 王勇. 远距离交流道岔表示故障工程化措施研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(5): 6-11.  
Wang Yong. Research on Engineering Measures for Long-Distance AC Switch Indication Fault[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(5): 6-11.
- [6] 王勇, 张璐, 阳龙. 电缆分布电容对交流道岔表示电路的影响研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(1): 8-11.  
Wang Yong, Zhang Lu, Yang Long. Research on Influence of Cable Distributed Capacitance to AC Switch Indication Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(1): 8-11.
- [7] 李庆诗, 刘炜, 王勇, 等. 关于改进道岔表示继电器释放值的研究[J]. 科技与创新, 2018(1): 30-31.  
Li Qingshi, Liu Wei, Wang Yong, et al. Research on Improving Turnout to Indicate Relay Release Value[J]. Science and Technology & Innovation, 2018(1): 30-31.
- [8] 陈泽涛, 郑乐藩. ZYJ7 型转辙机道岔启动电路改进研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(2): 104-107.  
Chen Zetao, Zheng Lefan. Improving Turnout Starting Circuit of ZYJ7-Type Point Machine[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 104-107.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.003

# 一类高速铁路动车存车场 信号设计方案的探讨

石磊

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

**摘要:** 对高速铁路动车存车场的设置情况进行分析, 选取距离车站较近的动车存车场, 提出采用列车作业方式和调车作业方式的信号设计方案。通过比较列车运行方式和信号显示方式, 详细分析各方案的优缺点, 可以为这类动车存车场的信号设计提供参考。

**关键词:** 动车存车场; 列车作业; 调车作业

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0011-03

## Discussion on Signal Design Schemes for EMU Storage Yards of High-speed Railways

Shi Lei

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

**Abstract:** This paper analyzes the setting of the EMU storage yards of high-speed railways, takes an EMU storage yard close to a station as an example, and proposes a signal design schemes using the train operation method and the shunting operation method respectively. By comparing the train operation modes and signal aspect modes, the advantages and disadvantages of each scheme are analyzed in detail. These design schemes can provide a reference for the signal design of such EMU storage yards.

**Keywords:** EMU storage yard; train operation; shunting operation

国内高速铁路的建设, 路网密度进一步加大, 越来越多的地区开始新建动车存车场, 提高始发车能力, 同时缓解动车设施存车压力, 承担始发终到动车组存车作业任务。高速铁路动车存车场的建设, 对于加强周边高速铁路节点性运输能力,

优化路网动车设施设备布局, 提升车站、线路能力, 提高铁路运输综合效益都具有重要的意义。

本文首先对高速铁路动车存车场的设置情况进行分析, 然后选取动车存车场距离车站较近且纳入车站联锁统一控制的情况, 提出具备工程可实施性的信号设计方案, 并详细分析各个方案的优缺点。

### 1 问题的提出

当动车存车场站场规模较大, 或者距离车站较

收稿日期: 2022-03-03; 修回日期: 2023-02-13

基金项目: 中铁第四勘察设计院集团有限公司科研项目 (2020K065)

作者简介: 石磊 (1992—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 信号系统设计, 邮箱: tsyshilei@126.com.

远时，动车存车场一般采用独立联锁，动车组采用列车作业方式进/出动车存车场。

当动车存车场站场规模较小，且距离车站较近时，动车存车场一般纳入车站联锁统一控制。动车组进/出动车存车场有列车作业和调车作业两种方式。两种方式各有优缺点，需要根据存车场设置情况进行具体分析以选择合适的作业方式。

## 2 信号设计方案探讨

动车存车场仅考虑停放动车组，无其他维修车停放。根据《高速铁路设计规范》(TB 10621-2014)，“动车组走行线宜采用列车作业方式，根据需要也可采用调车作业方式。列车作业方式下的

动车组走行线及动车段(所)接发车进路宜采用CTCS-2级列控系统”，故动车组进/出动车存车场时有采用列车作业方式和采用调车作业方式两种方案，具体分析如下。

### 2.1 方案一：动车组以列车作业方式进/出动车存车场

该方案可分为两种：方案A是在动走线两端道岔前方设接车进路信号机，存车线设发车进路信号机、股道中间的调车信号机及尽头阻挡信号机，并相应设置地面应答器，如图1所示；方案B是仅存车线设发车进路信号机、股道中间的调车信号机及尽头阻挡信号机，并相应设置地面应答器，如图2所示。

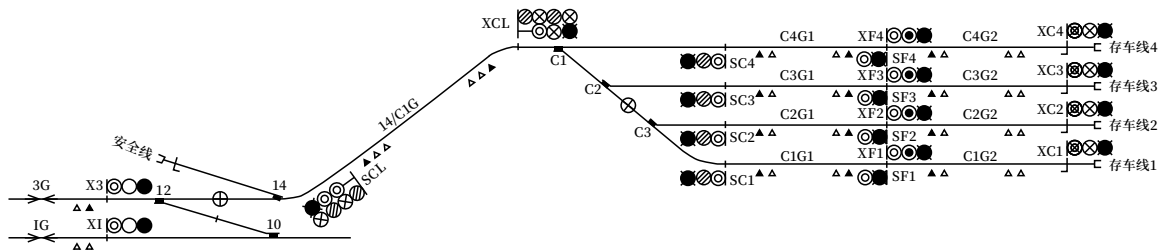


图1 列车作业方式示意A

Fig.1 The train operation method (Schematic Diagram A)

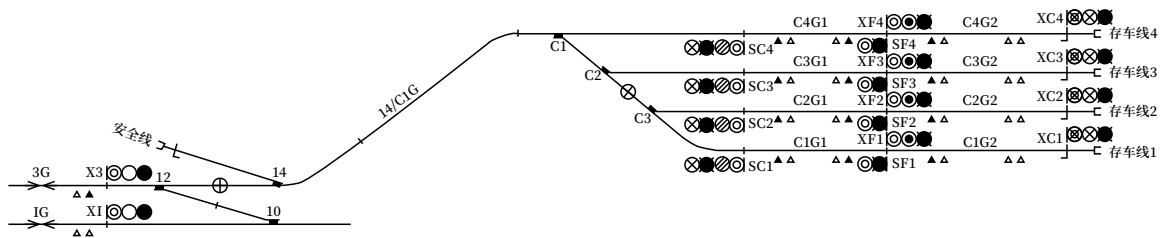


图2 列车作业方式示意B

Fig.2 The train operation method (Schematic Diagram B)

#### 1) 列车运行方式

动车组进入动车存车场时，短编组动车组以列车模式在 G2 一次停车到位，后一辆可以在 G1 停车到位。动车组出动车存车场时，在 G1 的动车组以列车模式运行至车站股道，在 G2 的动车组需先调车运行至 G1 后，再以列车模式运行至车站股道。长编组动车组进动车存车场时可以在存车线一次停车到位，出动车存车场时以列车模式运行至车站股道。

以 CTCS-2 (简称 C2) 模式运行的动车组可以

直接从车站股道进入动车存车场。以 CTCS-3 (简称 C3) 模式运行的动车组，方案 A 可以在车站股道停车后转 C2 模式进入动车存车场，或者是采取特殊的等级转换应答器设置方案实现自动转 C2 模式，即用 X3 出站有源应答器作为 C3 → C2 预告应答器，SCL 进路应答器作为 C3 → C2 执行应答器，动车组自动转为 C2 模式后进入动车存车场。方案 B 可以在车站股道停车后转 C2 模式进入动车存车场。

动车组出动车存车场时均以 C2 模式运行至车



站股道并以 C2 发车，在车站出站后利用正线设置的 C2 转 C3 应答器组自动转为 C3 模式运行。

## 2) 信号显示方式

方案 A 中，SCL、XCL 接车进路信号机及动车存车场内的信号机均为常态点灯。当办理经 SCL 接车进路信号机至车站股道的接车进路时，需先办理对应股道出站信号机的点灯操作。

当 X3 出站信号机和 XCL 接车进路信号机间距小于 800 m，不能满足 80 km/h 的制动距离要求时，需采取红灯重复措施。

方案 B 中，SC1 ~ SC4 发车进路信号机为常态

灭灯，动车存车场内其他信号机均为常态点灯。动车存车场向车站的进路均按灭灯办理，无需额外增加点灯操作。

## 2.2 方案二：动车组以调车作业方式进/出动车存车场

在动走线两端道岔前方及存车线上设调车信号机，并设调车防护应答器。该方案可分为两种：方案 A 是存车线股道中间和存车线尽头均设调车信号机，如图 3 所示；方案 B 是仅在存车线出口设调车信号机，如图 4 所示。

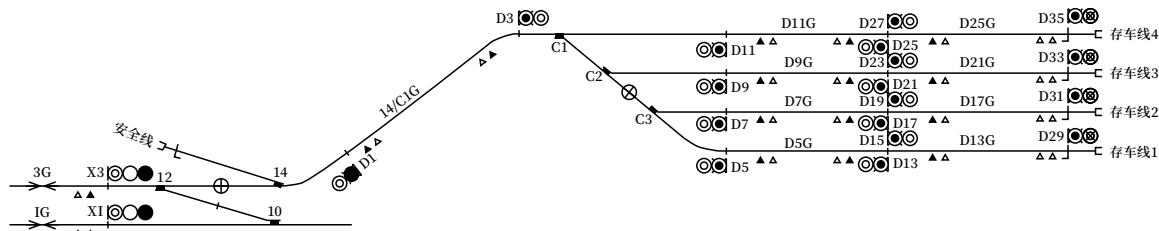


图3 调车作业方式示意A

Fig.3 The shunting operation method (Schematic Diagram A)

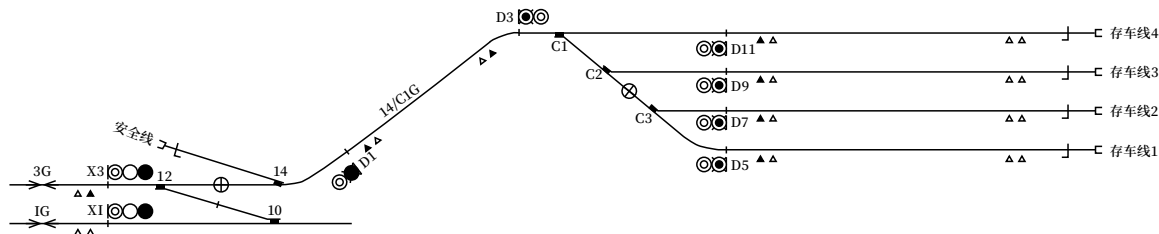


图4 调车作业方式示意B

Fig.4 The shunting operation method (Schematic Diagram B)

## 1) 列车运行方式

动车组进入车站股道停车转调车模式 (SH) 后，再以调车模式进入动车存车场停车。从动车存车场至车站方向，动车组以调车模式运行至车站股道停车人工转为完全监控模式 (FS) 或部分监控模式 (PS) 后，再发车出站。

## 2) 信号显示方式

方案 A 和方案 B 中调车信号机均为常态点灯。

## 2.3 方案对比分析

采用方案一，动车组经由与动车存车场有进路的车站股道进/出动车存车场时，在车站可以不停车，运输效率较高，且动车组有 ATP 设备保证安全。缺点是正常情况下列车进路操作权在列车调度

员，转车站控制时手续繁琐，运输组织灵活性差，且信号投资较大。

采用方案二，动车存车场与车站之间的联锁关系较为简单，在车站控制时车站对调车进路有操作权，运输组织灵活性大，且信号投资较少。缺点是动车组进/出动车存车场，均需要在车站股道停车转换模式。由于动车存车场距车站较近，两种方式对运输效率基本等同。

在工程设计中，动车存车场的信号设计方案，可以结合运营单位的运输需求、设备维护需求，合理选择相应的设计方案。

(下转 25页)

# 基于DRPP的列控车载设备测试序列生成方法

王 硕<sup>1, 2</sup>, 吴培栋<sup>1, 2</sup>, 张友兵<sup>1, 2</sup>

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

**摘要:** 在列控车载设备功能场景的测试序列生成过程中, 针对不能充分利用场景以外子序列衔接关系的问题, 提出一种基于有向乡村邮路问题的测试序列优化生成方法。将列控车载设备所有功能场景的子序列构建成一个强连通有向图模型, 并根据覆盖的功能场景构建需求弧集。利用有下界容量网络最小费用可行流算法, 实现以最小成本构建包含需求弧集的欧拉图, 再利用Hierholzer算法生成测试序列。以CTCS-2级列控车载设备的功能场景为例并相比于现有方法。结果表明: 所述方法能够充分利用所有子序列的衔接关系生成覆盖指定功能场景的最优测试序列, 等级转换和模式转换场景测试序列的成本分别降低4.2%和1.4%。

**关键词:** 测试序列; 列控系统; 车载设备; 有向乡村邮路问题; 容量网络

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0014-07

## Test Sequence Generation Approach for On-board Train Control Equipment Based on DRPP

Wang Shuo<sup>1, 2</sup>, Wu Peidong<sup>1, 2</sup>, Zhang Youbing<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:** In the process of generating test sequences for the functional scenarios of On-board Equipment in Train Control (OBE), the disadvantage is that the existing method cannot make full use of the concatenated relationship of sub-sequences in other scenarios. To solve this problem, an optimized method for the generation of test sequences based on Directed Rural Postman Problem (DRPP) is proposed. A model of strongly connected directed graphs is constructed according to the sub-sequences of all functional scenarios of the equipment under test. In addition, the required arc-set is created based on the functional scenario covered by the test sequences. By using the minimum-cost feasible flow algorithm of a capacity network with a lower limit, an Eulerian graph containing the required arc-set is produced at the minimum cost, after which the optimal test sequence is generated by

收稿日期: 2022-04-06; 修回日期: 2023-02-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1934221)

第一作者: 王硕 (1991—), 男, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向: 列控车载设备关键技术与方法, 邮箱: wangshuo3974@crscd.com.cn。

Hierholzer's algorithm. In an example of the functional scenario of CTCS-2 on-board equipment, the optimized method is compared with the existing one. The result shows that the method described in this paper can make the best use of the concatenated relationship of all sub-sequences to generate the optimal test sequence which covers the specified functional scenario. In the level-transition scenario and mode-transition scenario, the cost of test sequences is reduced by 4.2% and 1.4% respectively.

**Keywords:** test sequence; train control system; on-board equipment; Directed Rural Postman Problem; capacity network

列控车载设备 (On-board Equipment in Train Control, OBE) 是高速铁路列车控制系统的核心设备, 保证高速铁路列车的行车安全<sup>[1]</sup>, 在投入使用前应进行严格的测试。由于 OBE 的运行是一个动态连续的过程, 其测试案例均对应着由有序操作输入和响应输出构成的子序列。

在 OBE 的测试过程中, 测试案例不能单独直接执行, 需要通过一些功能操作将 OBE 调整至测试案例指定的初始状态, 而相关的功能操作又包含在其他测试案例之中。为了提高测试效率同时保证 OBE 动态连续的运行, 在测试之前需要构建测试序列。测试序列是根据子序列间的衔接关系串接而成的。如何充分利用子序列间的衔接关系构建测试序列, 使测试序列在覆盖所有子序列的条件下, 总的测试成本最小, 即测试序列优化生成问题。

近年来, 该领域的研究主要集中在两个方面。第一, 将子序列映射为有向图模型的弧, 通过求解有向中国邮路问题 (Directed Chinese Postman Problem, DCPP) 生成测试序列<sup>[2-4]</sup>。第二, 将子序列映射为有向图模型的顶点, 通过求解非对称旅行商问题生成测试序列<sup>[5-7]</sup>。其中, 基于 DCPP 的方法能够在多项式时间内生成测试序列, 是目前广泛采用的方法。

在 OBE 的测试过程中, 通常是以功能场景为单位进行测试。由于基于 DCPP 的生成方法必须覆盖有向图模型中的所有子序列, 导致其在实际应用过程中存在两个问题, 使得生成的测试序列可能不是最优的。第一, 对于不能构建为强连通图的功能场景, 需要人工补充衔接关系以构建强连通图。第二,

对于能构成强连通图的功能场景, 只能利用场景内子序列的衔接关系, 而不能利用场景以外其他子序列的衔接关系。

为解决上述问题, 本文提出基于有向乡村邮路问题 (Directed Rural Postman Problem, DRPP) 的测试序列优化生成方法。该方法利用所有子序列的衔接关系进行状态转移, 生成覆盖指定功能场景的最优测试序列。然后, 将该方法应用于 CTCS-2 级 OBE 的等级转换和模式转换功能场景中, 验证方法的有效性。

## 1 研究基础

### 1.1 OBE的测试需求

本文的测试序列生成主要针对实验室仿真测试阶段, 其中, 测试案例是根据需求规范编制的, 每个测试案例中包含了具体的操作输入和响应输出构成的子序列。由于 OBE 的功能需要在特定的状态下进行, 因此每条子序列均具有一个起始状态和一个终止状态, 对应 OBE 在执行前所处的状态以及正确执行后所处的状态。这些状态包括但不限于 OBE 的模式和等级。

在实际测试中, 测试人员通常会以功能场景为单位, 根据子序列起始终止状态将场景中的子序列串接为测试序列, 以提高测试效率并降低测试成本。在这种情况下, 需要利用所有子序列的衔接关系来生成覆盖指定功能场景的测试序列。

### 1.2 测试序列的优化生成策略

在 OBE 所有子序列确定的情况下, 生成覆盖特定功能场景的测试序列问题可以转换为如何充分利用所有子序列的衔接关系, 确保指定功能场景中的

子序列至少被包含 1 次，并且测试序列的总成本最小。如果将子序列的起始终止状态视为有向图的顶点，子序列视为顶点间的弧，则该问题实际上是具有多重弧的 DRPP。

中国邮路问题最初描述的是一个中国邮递员从邮局出发，向所管辖的每条街道的投递点运送快递，最终返回邮局并使总路程最短。但是在乡村地区，并不是所有的街道均具有投递点，邮递员利用无投递点的街道通行，向有投递点的街道完成运送任务并使总路程最短，即为乡村邮路问题。如果所有街道均指定了通行的方向，中国邮路问题和乡村邮路问题即为 DCP 和 DRPP。

具有多重弧的 DRPP 为给定一个多重弧强连通有向图  $D = (V, A)$ ，其中  $V$  是顶点的集合， $A$  是弧的集合，对于任意一条弧  $a_{ij}^{(k)}$  ( $k$  表示弧的编号) 带有一个非负的成本  $c_{ij}^{(k)} \geq 0$ ；一个需要被包含的需求弧集  $A_R \subset A$ 。目标为在  $D$  中寻找一条成本最小的回路，回路中包含  $A_R$  中的每条弧至少一次。特别地，如果  $A_R = A$ ，则 DRPP 等价于 DCP，即 DCP 是 DRPP 的一个特例。

本文的优化生成策略为先将测试序列优化生成问题转化为具有多重弧的 DRPP，再利用测试序列优化生成算法生成最优测试序列，其流程如图 1 所示。其中，构建具有多重弧的 DRPP 的过程分为两步。第一，根据 OBE 的所有子序列，建立多重弧强连通有向图模型。首先，将子序列的起始、终止状态映射为有向图模型的顶点集。然后，将所有子序列映射为有向图模型的弧集  $A$ ，弧的成本表示子序列的测试成本。第二，选择被覆盖的功能场景，根据功能场景中需要被覆盖的子序列构建需求弧集  $A_R$ 。



图1 优化生成流程  
Fig.1 Optimized generation process

为了在多项式时间内生成最优测试序列，本文

所述方法的前提条件为：根据 OBE 所有子序列建立的有向图为强连通有向图（如果  $D$  中任意两个顶点  $v_i$  和  $v_j$ ，存在以  $v_i$  为起点且以  $v_j$  为终点的路径，则称  $D$  为强连通图）；根据被覆盖子序列构建的需求弧集  $A_R$  能构成弱连通图（如果忽略  $D$  中弧的方向，任意两顶点间存在路径，则称  $D$  为弱连通图）。由于 OBE 的任意两个状态都可以直接或间接的相互转换，因此利用所有子序列建立的有向图均为强连通有向图。此外，任意功能场景中的子序列都是相关联的，因此，需求弧集  $A_R$  中的子序列能构成弱连通图。下文中如无特殊说明，均在满足前提条件的情况进行讨论。

## 2 测试序列优化生成算法

基于 DRPP 的测试序列优化生成算法如下。

输入：所有子序列构建的有向图模型  $D$ ，被覆盖功能场景子序列构成的需求弧集  $A_R$ 。

输出：覆盖  $A_R$  中所有子序列且成本最小的测试序列。

- 1) 如果  $A_R$  中的子序列构成欧拉图，转第 5 步；否则转第 2 步；
- 2) 根据有向图模型  $D$  和需求弧集  $A_R$ ，建立有下界容量网络 BN；
- 3) 求解 BN 的最小费用可行流  $F_{ij}$ ；
- 4) 将  $F_{ij}$  作为欧拉图顶点间弧的数量，利用  $A_R$  中的子序列及状态间最小成本子序列构建欧拉图；
- 5) 利用 Hierholzer 算法对欧拉图搜索欧拉回路，并选择相应的起始状态截断回路，获得最优测试序列。

### 2.1 建立有下界容量网络

从所有子序列中复制一些，如果能与  $A_R$  中的子序列一同构成欧拉图，则这些复制的子序列构成补充子序列集。如果选择的补充子序列集是成本最小的，则欧拉图的欧拉回路即为成本最小的，包含  $A_R$  中所有子序列的最优测试序列。以最小成本建立包含  $A_R$  欧拉图的模型如公式 (1) ~ (3) 所示。

$$\min b(A_E) = \sum_{a_{ij}^{(k)} \in A_E} c_{ij}^{(k)} \quad (1)$$



$$A_R \subseteq A_E \quad (2)$$

$$d^-(v_i) = d^+(v_i), \forall v_i \in V_E \quad (3)$$

公式中： $A_E$ 为欧拉图的弧集， $V_E$ 为欧拉图的顶点集， $c_{ij}^{(k)}$ 表示弧 $a_{ij}^{(k)}$ 的成本。其中，最小成本为欧拉图的每条弧的成本之和，如公式(1)所示。公式(2)为包含条件，保证 $A_E$ 中的弧包含 $A_R$ 中的所有弧；公式(3)为平衡条件，保证每个顶点的出度和入度相等。则 $A_E$ 构成的有向图即为以最小成本构造的包含 $A_R$ 的欧拉图。

本文提出利用有下界容量网络最小费用可行流来构造包含 $A_R$ 的欧拉图，其优势在于能够充分利用有向图模型中所有弧的衔接关系，便于表达需求弧集 $A_R$ ，并能够在多项式时间内构建包含 $A_R$ 的欧拉图。有上、下界容量网络忽略其容量上界的限制即可得到有下界容量网络，有下界容量网络是一个4元组 $BN = (V, A, L, B)$ 。其中：

$V = (v_0, v_1, \dots, v_{n-1})$ 为顶点向量， $n$ 为顶点个数；

$A = (A_{ij})_{n \times n}$ 为弧的邻接矩阵， $A_{ij} = 1$ 表示存在从顶点 $v_i$ 到 $v_j$ 的弧，反之 $A_{ij} = 0$ ；

$L = (L_{ij})_{n \times n}$ 为容量下界矩阵， $L_{ij}$ 表示从顶点 $v_i$ 到顶点 $v_j$ 通过流量的下界限；

$B = (B_{ij})_{n \times n}$ 为成本矩阵， $B_{ij}$ 表示从顶点 $v_i$ 到顶点 $v_j$ 通过单位流量的成本。

根据有向图模型 $D$ 和需求弧集 $A_R$ 建立有下界容量网络的规则为： $BN$ 的顶点集合等于 $D$ 的顶点集合；当 $i = j$ 时，规定 $A_{ij} = 0$ ， $L_{ij} = 0$ ， $B_{ij} = 0$ ；当 $i \neq j$ 时，若 $D$ 中存在从顶点 $v_i$ 到 $v_j$ 的弧，则 $BN$ 的 $A_{ij} = 1$ ， $L_{ij}$ 为 $A_R$ 中从顶点 $v_i$ 到 $v_j$ 弧的数量， $B_{ij}$ 为从顶点 $v_i$ 到 $v_j$ 弧中的最小成本，反之 $D$ 中不存在从顶点 $v_i$ 到 $v_j$ 的弧，则 $A_{ij} = 0$ ， $L_{ij} = 0$ ， $B_{ij} = \infty$ 。

一个示例有向图模型如图2所示，弧上的二元组分别表示子序列的编号和成本，编号为1、2、3的子序列为需要被覆盖的子序列并构成 $A_R$ 。将其转换为 $BN$ ，其矩阵 $V, A, L, B$ 如公式(4)所示。

$$V = \{v_0, v_1, v_2, v_3\} \quad A = \begin{Bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

$$L = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix} \quad B = \begin{Bmatrix} 0 & 3 & 2 & \infty \\ \infty & 0 & 2 & \infty \\ 6 & \infty & 0 & 5 \\ 5 & 1 & \infty & 0 \end{Bmatrix}$$

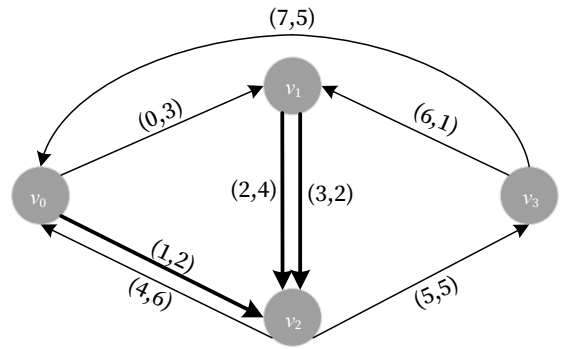


图2 示例有向图  
Fig.2 Example of directed graph

### 2.2 求解BN的最小费用可行流

以最小成本建立包含 $A_R$ 的欧拉图问题转化为求 $BN$ 的最小费用可行流问题，最小费用可行流 $F_{ij}$ 作为欧拉图中顶点 $v_i$ 到 $v_j$ 弧的数量。其中，求解 $BN$ 最小费用可行流的算法及原理参见文献[8]，对示例有向图模型的 $BN$ 求解的最小费用可行流矩阵 $F$ 如公式(5)所示。

$$F = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

### 2.3 构建欧拉图并生成测试序列

$F_{ij} = F'_{ij} + L_{ij}$ 是欧拉图中顶点 $v_i$ 所表示的起始状态到 $v_j$ 所表示终止状态间子序列的数量，其中 $L_{ij}$ 表示 $v_i$ 到 $v_j$ 中需要被覆盖子序列的数量， $F'_{ij}$ 表示 $v_i$ 到 $v_j$ 中需要补充最小成本子序列的数量。根据示例有向图模型 $BN$ 的最小费用可行流建立的包含 $A_R$ 的欧拉图如图3所示。其中，在需要被覆盖子序列1、2、3的基础上，以最小成本补充了1条子序列4，2条子序列5和2条子序列6。

最优的测试序列是欧拉图中的一条欧拉回路，本文利用Hierholzer算法搜索欧拉回路，并选择

回路中期望的起始状态截断回路，生成最优测试序列。由图 3 所示的欧拉图生成的测试序列为： $v_0-1-v_2-5-v_3-6-v_1-2-v_2-5-v_3-6-v_1-3-v_2-4-v_0$ ，总成本为 26。

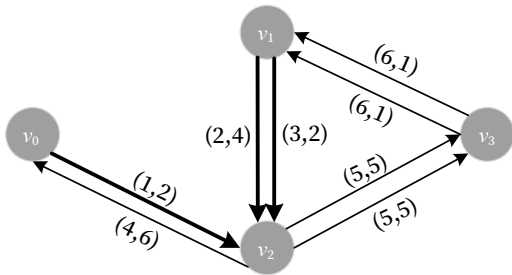


图3 包含 $A_r$ 的欧拉图  
Fig.3 Eulerian graph containing  $A_r$

### 3 实例分析

在测试 CTCS-2 级 OBE 的过程中，选取 48 条

关键子序列构建的有向图模型如图 4 所示。其中，有向图中的顶点表示子序列的起始、终止状态，每条弧上的二元组分别表示子序列的编号和测试成本；加粗实线表示等级转换场景的子序列，普通实线表示模式转换场景的子序列，虚线表示其他场景的子序列。关键子序列的起始终止状态包括 CTCS-2 级的待机模式 (SB)、部分监控模式 (PS)、完全监控模式 (FS)、引导模式 (CO)、目视行车模式 (OS)、调车模式 (SH)，CTCS-0 级的列车运行监控 (LKJ) 和未上电状态 (NP)。子序列的测试时间成本是在仿真测试平台上执行时所花费的最短时间 (单位：s)。下文以等级转换场景、模式转换场景以及所有场景的测试序列优化生成为例，对本文所述方法进行验证。

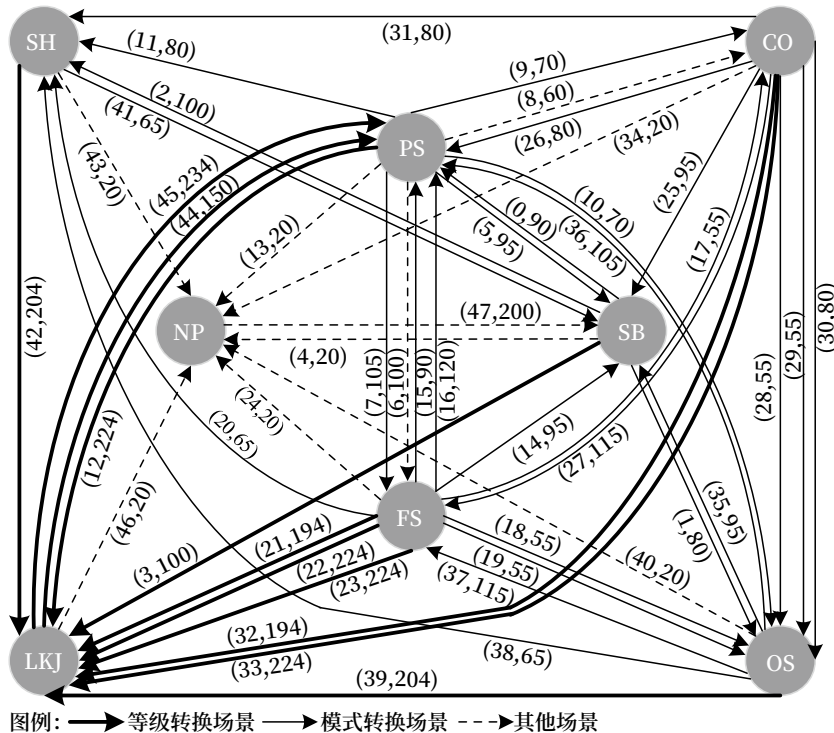


图4 OBE关键子序列集的有向图模型  
Fig.4 Directed graph model of the set of key sub-sequences of OBE

#### 3.1 等级转换场景的测试序列优化生成

根据图 4 的有向图模型，选择所属场景为等级转换的子序列构建需求弧集  $A_R$ 。其中，等级转换场景中的子序列不能构成强连通图，只能构成弱连通图，利用本文算法生成测试序列 1，如表 1

所示。

为进行对比分析，将等级转换场景的子序列利用基于 DCPP 的方法生成测试序列。由于等级转换场景的子序列不能构成强连通图，人工补充编号为 1、2、6、8、46、47 的子序列构建强连通图，生

成测试序列 2, 如表 1 所示。

表1 测试序列1和2的对比分析

Tab.1 Comparative analysis between Test Sequences No.1 and No.2

编号:测试序列	测试该序列所需的时间/s	补充子序列
1:SB-3-LKJ-44-PS-6-FS-21-LKJ-45-PS-6-FS-22-LKJ-44-PS-6-FS-23-LKJ-44-PS-8-CO-32-LKJ-44-PS-8-CO-33-LKJ-44-PS-10-OS-39-LKJ-44-PS-11-SH-42-LKJ-44-PS-12-LKJ-46-NP-47-SB	3 866	6, 8, 10, 11, 46, 47
2:SB-1-OS-39-LKJ-44-PS-6-FS-21-LKJ-45-PS-6-FS-22-LKJ-44-PS-6-FS-23-LKJ-44-PS-8-CO-32-LKJ-44-PS-8-CO-33-LKJ-44-PS-12-LKJ-46-NP-47-SB-2-SH-42-LKJ-46-NP-47-SB-3-LKJ-46-NP-47-SB	4 036	1, 2, 6, 8, 46, 47

通过表 1 的对比分析, 在基于 DCPD 的方法中, 由于人工选择补充子序列的随意性导致生成的测试序列往往不是最优的。而本文方法对于不能构建为强连通图的等级转换场景, 无需人工补充子序列, 能够在所有场景的子序列中选择成本最小的补充子序列集生成最优测试序列。测试序列 1 即利用了等级转换场景以外子序列 6、8、10、11、46、47 作为补充子序列, 使其总成本相比测试序列 2 的降低了 4.2%。

### 3.2 模式转换场景的测试序列优化生成

根据图 4 的有向图模型, 选择所属场景为模式转换的子序列构建需求弧集  $A_R$ 。其中, 模式转换场景中的子序列能构成强连通图, 利用本文算法生成测试序列 3, 如表 2 所示。为了进行对比分析, 将模式转换场景的子序列利用基于 DCPD 的方法生成测试序列 4, 如表 2 所示。

通过表 2 的对比分析, 测试序列 3 和 4 均覆盖了模式转换场景中的子序列至少 1 次, 但测试序列 3 利用了模式转换场景以外的子序列 6 和 8 构建补充子序列集, 使得总成本相比于测试序列 4 降低了 1.4%。说明对于能构成强连通图的场景, 本文方法能够充分利用场景以外其他子序列的衔接关系来生成最优的测试序列。

### 3.3 全部场景的测试序列优化生成

利用图 4 中全部的 48 条子序列构建需求弧集  $A_R$ , 利用本文算法生成的测试序列总成本为 9 081,

表2 测试序列3和4的对比分析

Tab.2 Comparative analysis between Test Sequences No. 3 and No. 4

编号:测试序列	测试该序列所需的时间/s	场景外子序列
3:SB-0-PS-5-SB-0-PS-7-FS-14-SB-0-PS-6-FS-15-PS-9-CO-25-SB-0-PS-8-CO-26-PS-8-CO-27-FS-16-PS-8-CO-28-OS-35-SB-0-PS-8-CO-29-OS-36-PS-8-CO-30-OS-37-FS-17-CO-31-SH-41-SB-0-PS-10-OS-37-FS-18-OS-37-FS-19-OS-37-FS-20-SH-41-SB-0-PS-11-SH-41-SB-1-OS-38-SH-41-SB-2-SH-41-SB	3 775	6, 8
4:SB-0-PS-5-SB-0-PS-7-FS-14-SB-0-PS-9-CO-25-SB-0-PS-9-CO-26-PS-9-CO-27-FS-15-PS-9-CO-28-OS-35-SB-0-PS-9-CO-29-OS-36-PS-9-CO-30-OS-37-FS-16-PS-10-OS-37-FS-17-CO-31-SH-41-SB-0-PS-11-SH-41-SB-1-OS-37-FS-18-OS-37-FS-19-OS-37-FS-20-SH-41-SB-1-OS-38-SH-41-SB-2-SH-41-SB	3 830	无

与基于 DCPD 方法生成测试序列的总成本相同。说明当  $A_R = A$  时, 两种方法是等价的。因此, 基于 DRPP 的测试序列优化生成方法是基于 DCPD 方法的推广。

## 4 结论

本文将 DRPP 引入到 OBE 的测试序列优化生成领域, 通过利用 OBE 所有子序列的衔接关系生成覆盖指定功能场景的测试序列。经过 OBE 中不能构成强连通图和能构成强连通图两个功能场景的实例验证, 本文所述方法能够利用场景以外的子序列生成更优的测试序列。同时, 该方法涵盖了基于 DCPD 的测试序列优化生成方法, 具有更广泛的应用范围, 为 OBE 的测试序列优化生成提供了一种新的思路与解决方案。

### 参考文献

- [1] 张友兵, 王建敏, 张国振, 等. 高速铁路列车制动曲线计算精确度与效率分析 [J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19 (1): 10-18.  
Zhang Youbing, Wang Jianmin, Zhang Guozhen,

- et al. Accuracy and Efficiency Analysis of Braking Curve Calculation for High-Speed Railway Train[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(1): 10-18.
- [2] 张勇, 王超琦. CTCS-3 级列控系统车载设备测试序列优化生成方法 [J]. 中国铁道科学, 2011, 32 (3): 100-106.  
Zhang Yong, Wang Chaoqi. The Method for the Optimal Generation of Test Sequence for CTCS-3 On-Board Equipment[J]. China Railway Science, 2011, 32(3): 100-106.
- [3] 赵晓宇, 杨志杰, 吕旌阳. 基于有色 Petri 网的车载设备模式转换测试序列生成方法 [J]. 中国铁道科学, 2017, 38 (4): 115-123.
- [4] 农梅. 简谈 CTCS-3 级列控车载设备测试序列的生成方法和原则 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12 (5): 15-18.  
Nong Mei. Test Sequence Generating Methods and Rules of CTCS-3 Onboard Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2015, 12(5): 15-18.
- [5] 李伟, 王海峰. CTCS-3 级列控系统车载设备测试序列的优化 [J]. 北京交通大学学报, 2010, 34 (2): 75-78.
- Li Wei, Wang Haifeng. Optimization Test Sequence of CTCS-3 On-Board Equipment[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010, 34(2): 75-78.
- [6] 窦磊, 李耀, 郭进, 等. 列控车载设备安全功能测试序列优化方法研究 [J]. 中国安全科学学报, 2019, 29 (5): 73-78.
- Dou Lei, Li Yao, Guo Jin, et al. Research on Optimization Method for Safety Function Test Sequence of On-Board Equipment[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(5): 73-78.
- [7] 王硕, 崔佳诺, 吴培栋, 等. 考虑顺序和组合关系的列控车载设备测试序列生成方法 [J]. 铁道标准设计, 2022, 66 (11): 167-174.  
Wang Shuo, Cui Jianuo, Wu Peidong, et al. A Test Sequence Generation Approach for On-Board Equipment in Train Control Considering Sequential and Combinatorial Relations[J]. Railway Standard Design, 2022, 66(11): 167-174.
- [8] 谢凡荣, 贾仁安. 网络流优化高效智能算法及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- \*\*\*\*\*

## 本期广告企业简介

# 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

## 信号系统仿真实训平台

打造职业化、专业化、现代化实训平台

全面覆盖产教融合型培训基地、站段培训基地、车间班组练功场建设需求

助力技能水平和应急处置能力全面提升

地址: 北京市丰台科技园区汽车博物馆南路 1 号院中国通号大厦

邮编: 100070 E-mail: swwzs@crscd.com.cn

(详见封面)



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.005

# 基于ARM+FPGA架构的 安全数字量输入输出信号系统设计

马茗岗

(湖南中车时代通信信号有限公司, 长沙 410100)

**摘要:** 采用 ARM+FPGA 架构方案, 构建安全数字量输入/输出系统的设计, 能够高效、实时、准确地处理安全输入/输出信号, 其设计思想是对输入信号进行安全编码, 且生成唯一预期的编码, 并对其进行故障检测; 对输出信号进行安全编码码序的匹配输出, 并回读状态反馈信号, 判断是否异常; 通过安全性和故障防御分析, 该设计在铁路产品的应用中通过采用 56 位编码的码序, 危险失效率均能满足安全认证标准中安全完整性等级四级 SIL4 的要求。

**关键词:** 安全数字量输入/输出信号; 数字量输入/输出; ARM+FPGA; ARM; FPGA

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0021-05

## Design of Safe Digital Input and Output Signal System Based on ARM+FPGA Architecture

Ma Minggang

(Hunan CRRC Times Signal &amp; Communication Co., Ltd., Changsha 410100, China)

**Abstract:** The design of a safe digital input and output system using the ARM+FPGA architecture scheme can efficiently, real-time, and accurately process safe input and output signals. The design concept is to encode the input signal safely with generating a unique expected code for performing the fault detection; and to match the output signal with a secure coding sequence and read back the status feedback signal to determine whether it is abnormal; Through safety and fault prevention analysis, this design can meet the requirements of safety integrity level of SIL4 in the safety certification standard by using a 56 bit code sequence in the application of railway products.

**Keywords:** safe digital input/output signal; digital input/output signal; ARM+FPGA; ARM; FPGA

### 1 概述

目前绝大多数的工业控制系统为计算机控制系

统, 采用安全可靠准确的信号处理显得尤为重要。系统不能正常工作或遇到紧急情况时, 有极大可能会向被控制的信号输出危险信号或者采集到不可信的信号信息, 从而可能造成不可估量的损失。因此铁路、石化、钢铁等领域要求计算机系统是高可靠、高安全的故障-安全系统。

收稿日期: 2022-03-02; 修回日期: 2023-03-16

作者简介: 马茗岗(1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 安全信号系统和车载显示系统的研究与应用, 邮箱: ma\_ming\_gang@163.com。

## 2 安全数字量信号方案设计

在安全信号系统中，广泛采用“二乘二取二”、“三取二”的系统冗余架构。在安全方面，采用两个相同的处理单元对采集或输出的信号进行同步比较后再输出，在处理单元硬件电路相同的情况下，软件设计则极具复杂度。CPU 对信号的处理能力则成为考验系统实时性和安全可靠性的一个硬指标，在多通道并行处理的过程中更甚。基于此，本文采用 ARM+FPGA 架构方式，将多通道并行处理部分交由 FPGA 处理，利用 FPGA 强大的并行处理能力，而 ARM 则进行处理相应的控制信号和对外通信。

如图 1 所示，安全数字量输入信号主要通过信号预处理电路、编码电路、FPGA、ARM 等模块实现。其设计思想为对采集的外部电平输入进行编码，仅在外围电平输入为高电平时，可生成唯一预期的码序，各通道表示输入高电平的预期码序各不相同；

对安全输入电路状态进行编码，根据安全输入电路的状态编码是否为预期值，判断是否故障。

具体的工作原理为：ARM 通过并行总线向 FPGA 周期性的发送预存码序信号，FPGA 通过并串转换后，周期性的发送给编码电路预存码信号 A、预存码信号 B、预存码信号 C；FPGA 周期性的向编码电路发送时钟信号、清零信号；编码电路以采集到的外部信号时开始供电，当外部电平输入为高电平时，则通过编码电路中的触发器、加法器和异或门电路生成编码信号和加法信号。第一通道的加法信号为预存码信号 A 与预存码信号 B 相加得到，编码信号为加法信号与预存码信号 C 异或得到；第二通道以后的加法信号则为上一路的加法信号与预存码信号 B 相加得到；FPGA 接收到每个通道的加法信号和编码信号后进行异或，将异或之后的信号串并转换后，发送给 ARM 处理器，ARM 处理器将接收到的信号与预存码信号进行比较，如果码序完

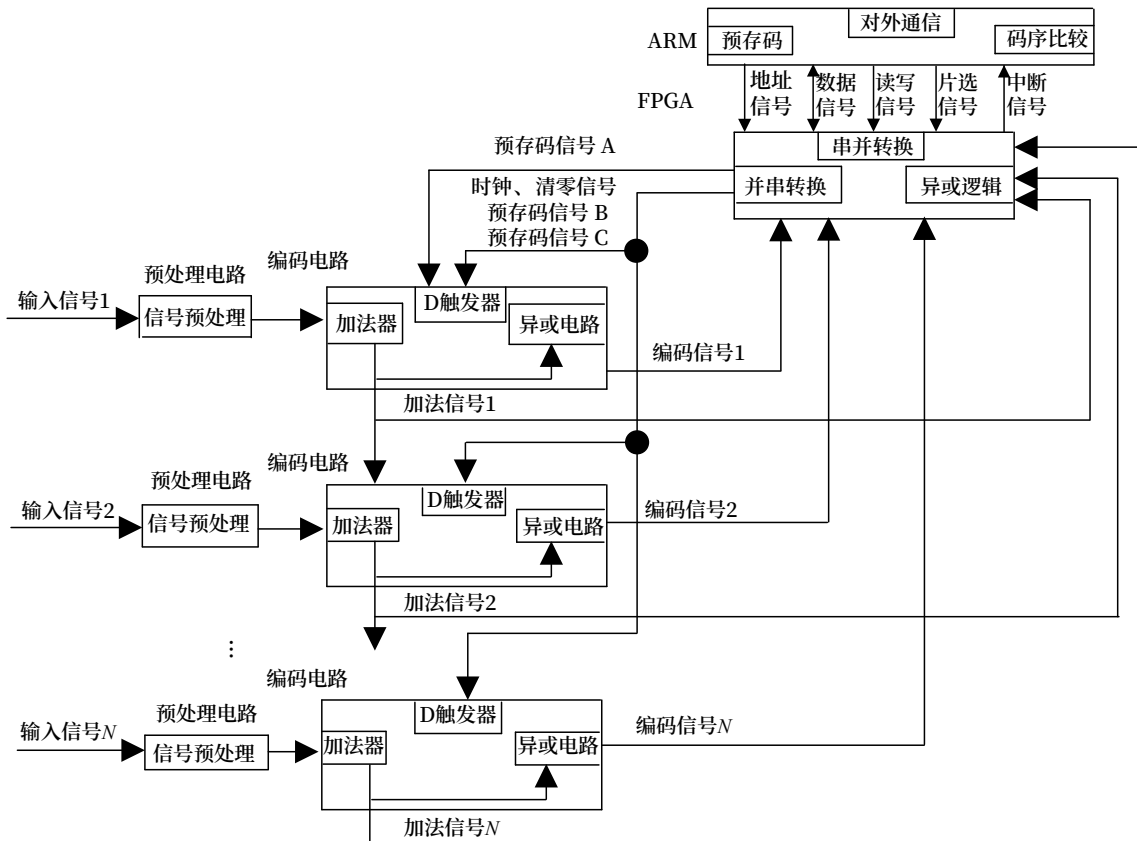


图1 安全数字量输入信号原理结构  
Fig.1 Schematic diagram of safe digital input signals

全一致，则认为安全输入正常，否则判断为故障。

为确保各环节同步，FPGA 向 CPU 提供同步的中断信号，作为周期的开始标识，编码电路中加法器、D 触发器所使用的时钟，均为同一中断信号。

如图 2 所示，安全数字量输出主要通过 ARM、FPGA、码型匹配电路、启动电路、反馈电路、隔离

输出电路组成；其设计思想为采用硬件电路对安全输出码序和取反的码序进行动态匹配，完全匹配才可输出高电平；启动电路仅在要求输出高电平时获得工作电源，要求输出低电平时处于无电状态；对实际的电平输出进行回读，根据回读状态判断是否故障。

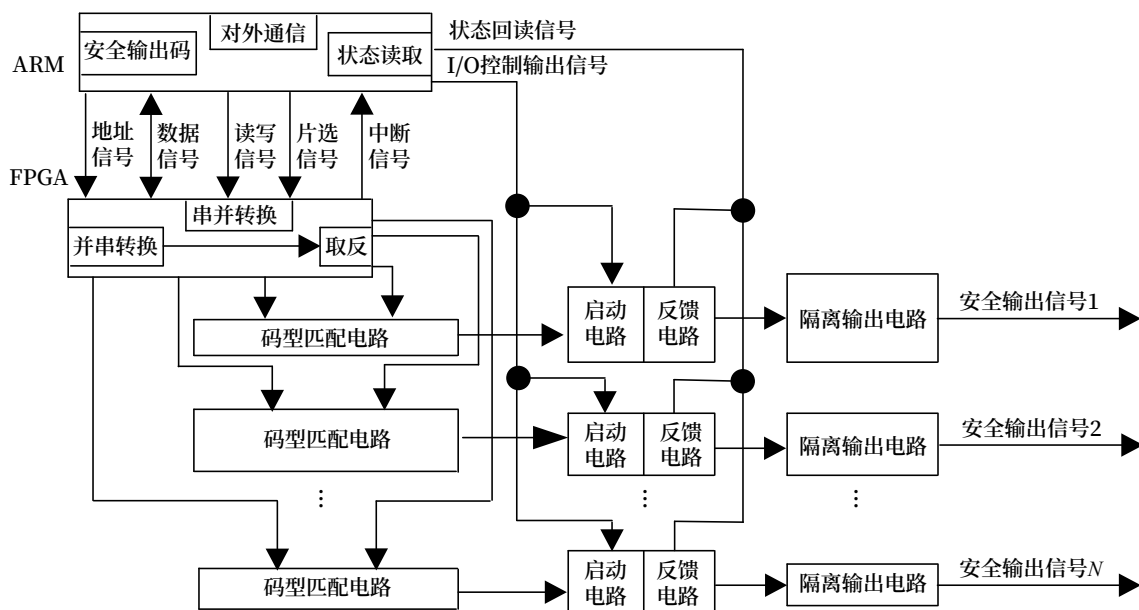


图2 安全数字量输出信号原理结构  
Fig.2 Schematic diagram of safe digital output signals

安全数字量输出具体工作原理为：ARM 根据安全输出命令形成安全输出码序，写入 FPGA；当安全输出命令要求输出高电平时，ARM 向启动电路发送输出启动信号，控制输出电路上电；FPGA 将 ARM 写入的安全输出码序并串转换成串行输出码序和取反运算，并将转换后的两路串行码发送至码型匹配电路，并将取反码串并转换发送给 ARM，用以检测 ARM 与 FPGA 的正常运行；启动电路在保持高电平的情况下，码型匹配电路匹配 FPGA 输出的两路串行码序，如果二者互补，则产生交变电平送至隔离输出电路，通过整流后形成高电平安全输出。如果码序匹配失败，码型匹配电路均不会产生交变电平，保证安全输出为低电平，码型匹配电路主要由异或电路和推挽电路组成；通过反馈电路，作为输出模块状态检测。

为实现码序动态匹配的同步，FPGA 向 ARM

提供同步的中断信号，作为周期的开始标识；ARM 在响应中断后向 FPGA 发送安全输出码序。

### 3 安全性及故障防御分析

在安全数字量输入中，自检方式为无输入的情况下仍可采集信号，此刻可通过得到的码序进行比较，用以检测编码电路、FPGA，ARM 则在上电时进行自检。

在安全数字量输出中，自检方式为反馈信号回读，用于反馈电路和码型匹配电路的检测，FPGA 通过将取反码发送给 ARM，ARM 通过异或预发码序进行比较，判断 FPGA 及 FPGA 与 ARM 之间的通信状态，ARM 则在上电时进行自检。

安全数字量输入 / 输出中的码序均由多位编码组成，可降低错误不可检出的概率，概率为  $\frac{1}{2^N}$ ，其中  $N$  为多位编码的位数。

## 4 结束语

本文阐述了 ARM+FPGA 架构的方案构建了安全数字量输入 / 输出系统的设计, 本设计在铁路列控车载产品采用 56 位编码的码序, 在现场的使用中的能够高效、实时、准确的处理安全数字量输入 / 输出信号, 满足安全完整性等级四级 SIL4 的要求。

后续的设计中, 在安全数字量输入信号处理中如不需要信号处理后的运算, 可减少加法信号的处理, 减少运算量; 在安全数字量输出信号处理中如不需要反馈信号, 可简化反馈电路; 本文基于编码序列的方式保证了安全性, 满足安全性的条件下可减少编码的位数, 将更进一步的减少复杂程度提高实时性。

### 参考文献

- [1] 袁俊杰, 朱鹏程. 基于 ARM 和 FPGA 的软体机器人的 CAN 总线运动控制器的设计 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (20): 8261-8267.  
Yuan Junjie, Zhu Pengcheng. Design of Motion Controller on CAN Bus for Soft Robot Based on ARM and FPGA[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(20): 8261-8267.
- [2] 马连川, 高倍力. 一种高安全、容错控制计算机的设计与实现 [J]. 中国安全科学学报, 2004, 14 (8): 101-105.  
Ma Lianchuan, Gao Beili. Design and Realization of Highly Safe Fault Tolerant Control Computer[J]. China Safety Science Journal, 2004, 14(8): 101-105.
- [3] 汤紫霖, 肖立志, 伍岳, 等. LKJ 无线安全通信装置设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (4): 39-42, 70.  
Tang Zilin, Xiao Lizhi, Wu Yue, et al. Design of LKJ Wireless Security Communication Device[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 39-42, 70.
- [4] 赵小军, 黄天天, 马金鑫. 列控系统信息安全风险分析与防护技术探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (9): 46-50.  
Zhao Xiaojun, Huang Tiantian, Ma Jinxin. Information Security Risk Analysis and Protection Technology of Chinese Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 46-50.
- [5] 邱兆阳. 故障 - 安全概念理解和应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (11): 80-84, 94.  
Qiu Zhaoyang. Understanding and Application of Fail-Safe Concept[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 80-84, 94.
- [6] 刘尚峰. 电磁兼容设计在铁路信号设备中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 105-110.  
Liu Shangfeng. Application of EMC Design in Railway Signal Equipments[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 105-110.
- [7] 宋绍华. 铁路信号系统区域边界信息安全风险评估 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (4): 38-42.  
Song Shaohua. Risk Assessment of Regional Boundary Information Security of Railway Signal Systems[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 38-42.
- [8] 赵浩森, 胡轶超. 安全监督在信号集中监测系统上的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (1): 28-32.  
Zhao Haosen, Hu Yichao. Application of Train Control Safety Information Supervision in Centralized Signaling Monitoring System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 28-32.
- [9] 谈秀华, 赵莹玉, 韩兵. 安全控制器结构分析与研究 [J]. 机电工程技术, 2011, 40 (11): 11-14.  
Tan Xiuhua, Zhao Yingyu, Han Bing. Structure of Security Controllers Analysis and Research[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2011, 40(11): 11-14.
- [10] 王新忠. 城市轨道交通和高速铁路列车的通用车载



- 安全平台研究[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(11): 136-137.
- Wang Xinzhong. Research on Universal Vehicle Safety Platform for Urban Rail and High-Speed Railway Trains[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2020, 43(11): 136-137.
- [11] 杨卫峰, 冯江华, 易伟民. 高速列车网络控制系统安全性设计[J]. 机车电传动, 2014(3): 14-17.
- Yang Weifeng, Feng Jianghua, Yi Weimin. Safety Design of Network Control System in High-Speed Train[J]. Electric Drive for Locomotives, 2014(3): 14-17.
- [12] 黄焜, 杨颖. 基于FPGA技术高精度响应时间测试装置的研究与开发[J]. 仪器仪表用户, 2021, 28(2): 65-68.
- Huang Kun, Yang Ying. Research and Development of High Precision Response Time Testing Device Based on the FPGA Technology[J]. Instrumentation, 2021, 28(2): 65-68.
- [13] 李辉, 罗正宇, 徐娟. 基于FPGA的速度信号测量[J]. 机车电传动, 2016(6): 81-83.
- Li Hui, Luo Zhengyu, Xu Juan. Velocity Signal Measurement Based on FPGA[J]. Electric Drive for Locomotives, 2016(6): 81-83.
- [14] 马帅旗. 基于FPGAARM的车载导航系统设计与实现[J]. 测控技术, 2014, 33(4): 41-45.
- Ma Shuaiqi. Design and Implementation of Vehicle Navigation System Based on FPGA and ARM[J]. Measurement & Control Technology, 2014, 33(4): 41-45.

\*\*\*\*\*

(上接13页)

### 3 总结

通过分析距离车站较近的动车存车场设置情况, 有针对性地提出多种信号设计方案并分析了优缺点, 可以为类似的动车存车场的信号设计提供参考。在后续的工程设计中, 也可从优化信号方案、提高运输效率等方面, 给动车存车场的平面布置提供建议。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 高速铁路设计规范: TB 10621-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [3] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程: TG/01-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [4] 中华人民共和国国家铁路局. 列控系统应答器应用原则: TB/T 3484-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [5] 中华人民共和国国家铁路局. 列控中心技术条件: TB/T 3439-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [6] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-3级列控车载设备技术条件: TB/T 3483-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [7] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-2级列控车载设备技术条件: TB/T 3529-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [8] 杨艳艳, 任迎钱. 一种现场动车调试快速测试方法研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(10): 71-75, 85.
- Yang Yanyan, Ren Yingqian. Fast Test Method for On-Site Train Commissioning[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 71-75, 85.

# 异构双核处理器在多路模拟采集系统中的应用

李安福

(西安铁路信号有限责任公司, 西安 710100)

**摘要:** 介绍真有效值的概念和计算原理, 阐述如何用软件算法来计算真有效值。描述一种基于异构双核处理器 F28M35 的 32 路模拟信号真有效值的采集系统; 其 C28 核专注于做数据采集和真有效值算法处理, M3 核专注于做人机交互、通讯等任务。两个核独立运行, 核之间通过 IPC 交换信息, 互不干扰, 各自发挥所长。详细介绍该系统中的硬件电路、参数设定、软件各模块的功能、软硬件如何协同工作以及核之间 IPC 通信机制, 使采集系统的设计更加完整。此设计极大地降低系统成本, 提高技术水平, 并具有较好的适应性。

**关键词:** 异构双核; 真有效值; F28M35

中图分类号: TP212

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0026-07

## Application of Heterogeneous Dual-core Processors in Multi-channel Analog Acquisition Systems

Li Anfu

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

**Abstract:** This paper introduces the concept and calculation principle of True Root Mean Square (TRMS), and expounds on how to use software algorithm to calculate TRMS. In this paper, a 32-channel analog signal TRMS acquisition system is described in detail, which is based on F28M35, a heterogeneous dual-core processor. Its C28 core focuses on data acquisition and TRMS algorithm processing, and its M3 core focuses on human-computer interaction, communication and other tasks. The two cores run independently, exchanging information through IPC without interfering with each other, and each has its own advantages. In addition, the paper introduces the hardware circuits, parameter settings, the functions of each software module, how the software and hardware work together, and the IPC communication mechanism between the cores, thus providing a more detailed description of the design of the acquisition system. This design leads to much lower system costs, higher technical level and better adaptability.

**Keywords:** heterogeneous dual-core processor; True Root Mean Square; F28M35

收稿日期: 2022-03-23; 修回日期: 2023-03-10

作者简介: 李安福 (1972—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 应答器、道岔融雪、屏蔽门等系统研发, 邮箱: lecanfux@sina.com。

在铁路信号领域如信号集中监测、道岔融雪、全电子联锁等产品中，通常需要采集各种模拟信号，如电流、电压等。本地或远程控制系统根据采集的各种模拟量，判断系统工作是否正常，是否需要报警和应急处置等。对于交流模拟信号的采集，通常采用传感器（如交流电压、电流传感器等）把交流信号转换成有效值（Root Mean Square Value, RMS）直流信号，或用互感器把大电流、高电压变成小电流、小电压，用 AD736/AD8436 等真有效值（TRMS）专用芯片变成直流信号，再送入嵌入式系统或 PLC 等进行 A/D 转换，进行后续处理和控制在。对于多路交流模拟信号的采集，通常每个通道都需要一个传感器或 AD736/AD8436；而传感器和 AD736/AD8436 的价格较高，在实际的工程应用中，系统显得庞大且成本较高。

本文采用一种异构双核处理器 F28M35 的方案，不需要使用价格较高的传感器和 TRMS 专用芯片。而使用价格较低的互感器，用双核处理器的 DSP 核对高达 32 路的交流电压、交流电流进行高精度、快速的数据采集和 TRMS 算法处理；使用 ARM 核处理人机交互和多种通信（RS-232、CAN-BUS、以太网等）任务。两个核各自独立运行、互不干扰，各自发挥所长；核之间通过 IPC 通信实现快速数据交换。

## 1 系统架构

### 1.1 模拟信号的 TRMS 测量方法

如何实现 32 路交流模拟信号 RMS 的准确计算，是本采集系统的关键所在。RMS 是指正弦量和周期量在一个周期内的做功能力换算成具有相同做功能力的直流量，该直流量的大小叫做有效值。在数学上有效值是指瞬时值的平方在一个周期内的平均值的平方根，或叫做“方均根”。一个交流信号可以表示为公式（1）。

$$V1(t) = E \times \cos(2\pi ft) \quad (1)$$

其中  $E$ 、 $f$  分别为交流信号的峰值、频率， $t$  为时间。 $V1(t)$  是正负双极性信号，嵌入式系统或

PLC 无法采集负值，需通过电平移位电路加上直流偏置电压  $E_0$ （通常为  $0.5 \times VCC$ ）变成单极性信号为公式（2）：

$$V2(t) = E_0 + E \times \cos(2\pi ft) \quad (2)$$

先测量出单极性  $V2$  的有效值，通过公式（3）就可得到  $V1(t)$  的有效值：

$$\begin{aligned} V1_{\text{RMS}} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V1^2(t) dt} \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V2^2(t) dt - E_0^2} \end{aligned} \quad (3)$$

由于交流信号  $V2(t)$  的幅值是随时间  $t$  连续变化，在计算 RMS 时，将模拟信号进行离散化处理。采集时按照一个微小的、固定的间隔  $\Delta t$  对信号的一个或几个周期进行采集。因为  $\Delta t$  很小，可以认为在  $\Delta t$  时间内交流信号的幅值保持不变，为  $V1(i \times \Delta t)$ ， $i=0, 1 \dots N$ ， $N=T/\Delta t$ 。所以有效值计算公式（3）就变为公式（4）：

$$\begin{aligned} V1_{\text{RMS}} &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N V1^2(i \times \Delta t)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N V2^2(i \times \Delta t) - E_0^2} \end{aligned} \quad (4)$$

理论上，当采集间隔  $\Delta t$  越小，即每个周期的采集点数  $N$  越多，则  $V(i \times \Delta t)$  越接近于实际的信号波形，这样计算出的有效值也就越接近真实值。然而在实践中，由于受到处理器的运算速度、内存大小、AD 转换速度和精度、元器件参数偏差等限制，以及信号的波形、频率、噪声干扰等因素，需要全面考虑，最终选择一个合理的采集间隔  $\Delta t$ 。

由于需在采集时间范围内按照一个精准、固定的时间间隔  $\Delta t$  对模拟信号进行大量的、连续的采集，进行滤波、平方、累加等处理，这就要求采集、处理等工作不能被别的任务中断、延时；但系统还有别的任务，如人机交互、通信等。如果用一个单核处理器，则在  $\Delta t$  内的任务无法保证精准执行，最终真有效值的准确性也就无法保证。这就需要将采集、处理等任务和人机交互、通信等任务分别由不同的处理器来完成。两个核各自独立运行、互不干扰，有效值处理完后，两个核

之间再进行高速信息交换，这样就保证采集的准确性。

这种测量方法严格遵循有效值的定义——做功等效的原理，它区别于通常采用峰值检波或均值检波，然后通过与有效值的比例关系换算而得到有效值的方法，故称其为 TRMS 测量。该测量方法不仅适用于标准的正弦信号，也适用于畸变的正弦波形，还适用于矩形波、三角波等波形，具有很好的适应性。

## 1.2 F28M35的内部结构

异构双核处理器采用 DSP 处理器 Concerto 系列的 F28M35，如图 1 所示。该芯片上有两个 CPU 核：Master Subsystem 和 Control Subsystem。Master Subsystem 的内核为 ARM Cortex-M3，Control Subsystem 的内核为 DSP TMS320C28x，M3 主要负责人机交互、数据通信等；C28x 具有浮点运算功能，主要负责对多路模拟信号进行连续、高速的 AD 采集和 TRMS 的算法处理。C28x 将最后的计算结果和工作状态，通过双核之间的 CTOM MSG RAM（类似于双端口 RAM）发送给 M3。M3 通过 MTOC MSG RAM 将远端或本地的控制指令发送给 C28x，并负责人机交互、各种通信任务。

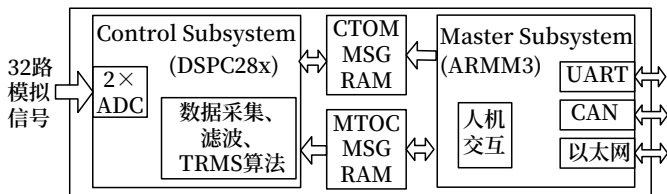


图1 F28M35内部系统  
Fig.1 Block diagram of internal systems of F28M35

## 2 硬件设计

### 2.1 互感器电路

如图 2 所示，TA1 为电流互感器，TV1 为电压互感器。互感器是根据电磁感应原理，将高电压、大电流按比例变成低电压、小电流，供测量仪表、保护设备、自动控制设备等使用。互感器是无源器件，工作无需电源；并且其输入侧与输出侧在电气上是隔离的，能最大程度阻断输入侧的噪声，干扰信号对采集、测量部分的影响，提高系统稳定性和可靠性。

电流互感器采用 TV125，它是母线型互感器，本身未装一次侧绕组，在使用时以母线穿过中心孔作为一次侧绕组。额定输入 AC 50 A，额定输出 AC 25 mA，输入输出绝缘电阻大于 1 000 mΩ，工作频率 20 Hz ~ 1 kHz。

电压互感器采用 TV1005，它实质上也是电流型互感器，但不是母线型穿心的。额定输入 AC 2 mA，额定输出 AC 2 mA，输入输出绝缘电阻大于 1 000 MΩ，工作频率 20 Hz ~ 1 kHz。

图 2 中  $R_1$  和  $R_{13}$  为采样电阻，TA1 为电流互感器，TV1 为电压互感器，U1 和 U2 为仪表放大器，放大比分别为 1 和 9.33 倍。TA1、U1 等组成的电路将 AC 50 A 变为偏置电压 DC 1.6 V、有效值为 900 mV 的交流电压信号；TV1、U2 等组成的电路将 AC 600 V 变为偏置电压 DC 1.6 V、有效值为 952 mV 的交流电压信号。

由于互感器只能感应交流信号，如果测量脉动、直流等波形，将电流互感器换成 HS01-50/0.05 A-C 和 HV03-5/25 mA-P，它是利用霍尔效应原理进行感应的，电气参数基本相同，只需改变采样电阻即可。

### 2.2 模拟信号分组电路

由于处理器 AD 输入通道的数量有限，无法直接采集高达 32 路的模拟信号，须通过分组以减少通道数量。如图 3 所示，U3 ~ U6 是双 4 选 1 的模拟开关，GroupSel<sub>0, 1</sub> 是 4 选 1 的选择信号，这样就将 32 路模拟信号分成 4 组，当 GroupSel<sub>0, 1</sub> 为 00, 01, 10, 11 时，分别选择第 0 组 Current<sub>0</sub>, Current<sub>4</sub>, Current<sub>8</sub>...Current<sub>24</sub>, Current<sub>28</sub>；第 1 组 Current<sub>1</sub>, Current<sub>5</sub>, Current<sub>9</sub>...Current<sub>25</sub>, Voltage<sub>0</sub>；第 2 组 Current<sub>2</sub>, Current<sub>6</sub>, Current<sub>10</sub>...Current<sub>26</sub>, Voltage<sub>1</sub>；第 3 组 Current<sub>3</sub>, Current<sub>7</sub>, Current<sub>11</sub>...Current<sub>27</sub>, Voltage<sub>2</sub>；其中 Current<sub>0</sub>, Current<sub>1</sub>, Current<sub>2</sub>...Current<sub>28</sub> 是电流信号，Voltage<sub>0</sub>, Voltage<sub>1</sub>, Voltage<sub>2</sub> 是电压信号。最后形成 8 路模拟信号 Channel<sub>0</sub>, Channel<sub>1</sub>, Channel<sub>2</sub>...Channel<sub>7</sub>，再送入处理器 U0 的 8 路 AD 输入通道。

### 2.3 显示电路

为增强人机交互功能，设计 LED 显示功能。如



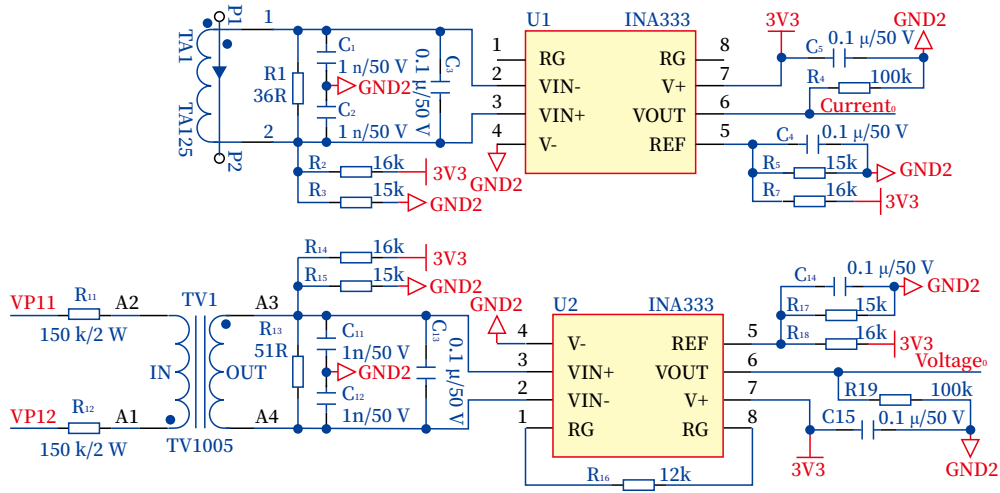


图2 互感器电路  
Fig.2 Transformer circuit

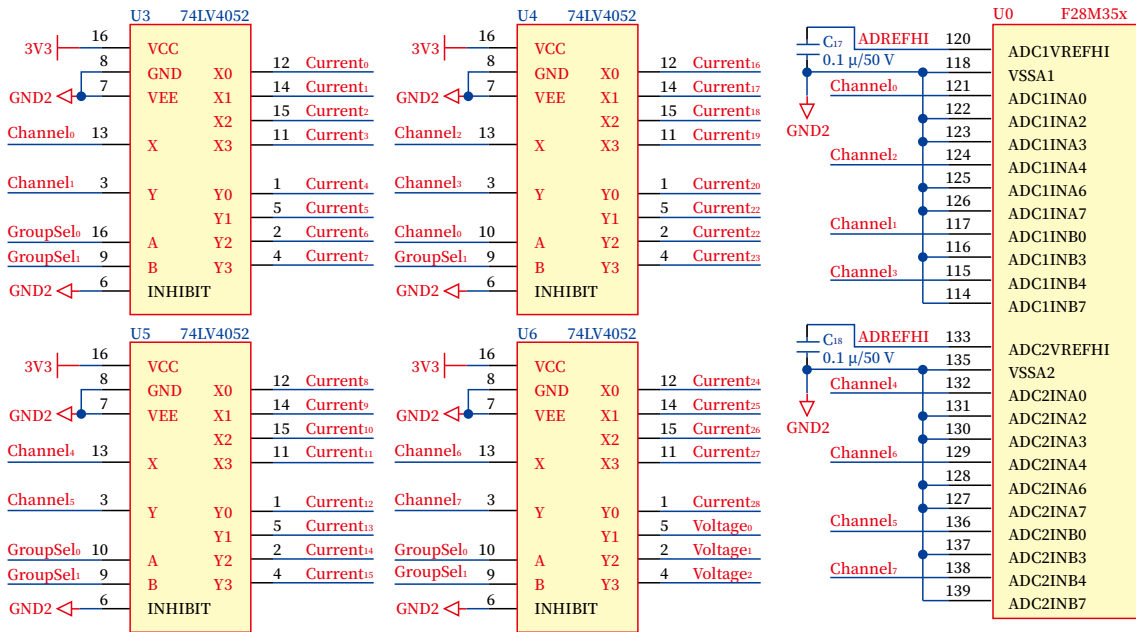


图3 多路模拟信号分组电路  
Fig.3 Multi-channel analog signals grouping circuit

图 4 所示，处理器通过 SPI 接口与两片串行转并行芯片 U7、U8 相连，U7 级联到 U8。LED1 为 2 位 8 段共阴数码管，LED2 为 4 位 8 段共阴数码管，U9 为达灵顿驱动芯片，驱动位选通信号。按键 LockKey 为锁定键，Calkey 为校准键。

### 2.4 通信电路

如图 5 所示，系统对外的通信方式有 RS-232 和 CAN-BUS。CTX, CRX 为 C28x 的 UART，为内部调试接口。MTX, MRX 为 M3 的 UART，为外部通

信接口。CANH, CANL 为 CAN-BUS。U10, U11, U12 为隔离器件，U13 为 RS-232 电平转换芯片，U14 为 CAN-BUS 收发器。另外 M3 核有 EMAC 资源，通过 PHY、网络变压器等，可获得 100 M 以太网接口，在此不再详述。

## 3 软件设计

### 3.1 AD采集及TRMS算法

以 1 s 为采集周期，32 路 50 Hz 电流、电压为

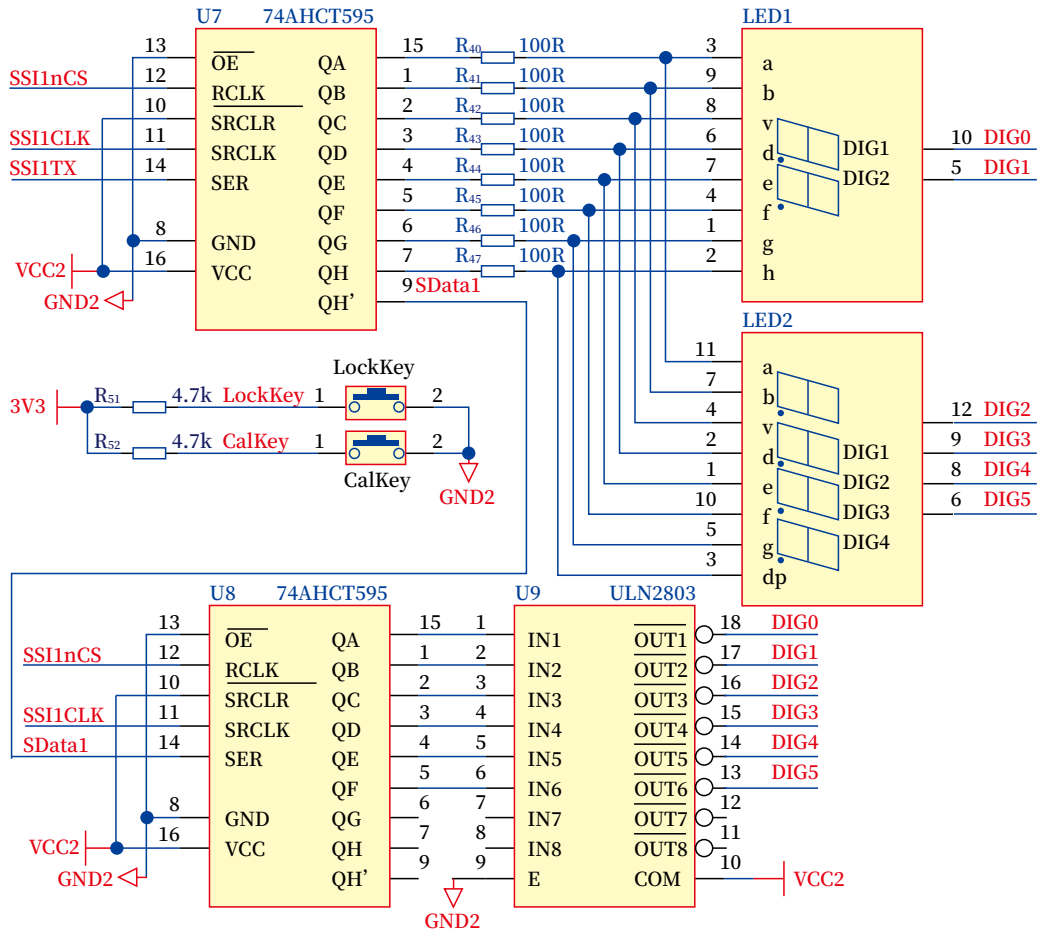


图4 显示电路  
Fig.4 Display circuit

例，详述如何用软件实现 AD 采集及 TRMS 算法。

在软件中，将 1 s 分为 4 个 250 ms 间隔。250 ms 由 Timer<sub>0</sub> 定时中断来完成。每 250 ms 内完成 32 路经 4 选 1 后的 1 组共 8 路模拟信号 AD 采集和 TRMS 计算。对于 50 Hz 信号，其周期为 20 ms，连续采集 10 个周期，共 200 ms 后进行 TRMS 计算。每个周期对 8 路信号中的每一路波形采集 400 个点，这样每个采样点之间的间隔为 50 μs。

50 μs 由 C28 的 Timer<sub>1</sub> 中断完成，由中断触发 AD 开始转换，连续采集 10 个周期共 200 ms，共触发 4 000 次。C28 有 2 个 12 位 ADC，每 50 μs 按设定的采样序列启动连续转换 32 个采样点。每组 8 个通道的每个通道连续转换 4 次，即对每个通道连续采集 4 次，求平均值作为这个通道的采样值。

然后将这个值累加到  $ADCValueSum$  中，并将这个值平方后进行累加到  $ADCSquareSum$  中，这些工作在 50 μs 内完成。经实测实际完成时间为 30 μs，任务开销为 60%，负荷适中。其计算为公式 (5) 和 (6) 所示，其中：

$$ADCValueMean = ADCValueSum/N = \frac{1}{N} \times \sum_{i=0}^N V2(i \times \Delta t) \quad (5)$$

$$ADCSquareMean = ADCSquareSum/N = \frac{1}{N} \times \sum_{i=0}^N V2^2(i \times \Delta t) \quad (6)$$

其中  $N = 4\ 000$ ， $\Delta t = 50\ \mu s$ ， $V2(t)$  在前面公式 (2) 中定义为： $V2(t) = E_0 + E \times \cos(2\pi ft)$ 。

连续采集 10 个周期 200 ms 共 4 000 个采样值后，将得到采集值的累加和 ( $ADCValueSum$ ) 和采集值平方的累加和 ( $ADCSquareSum$ )，分别除以

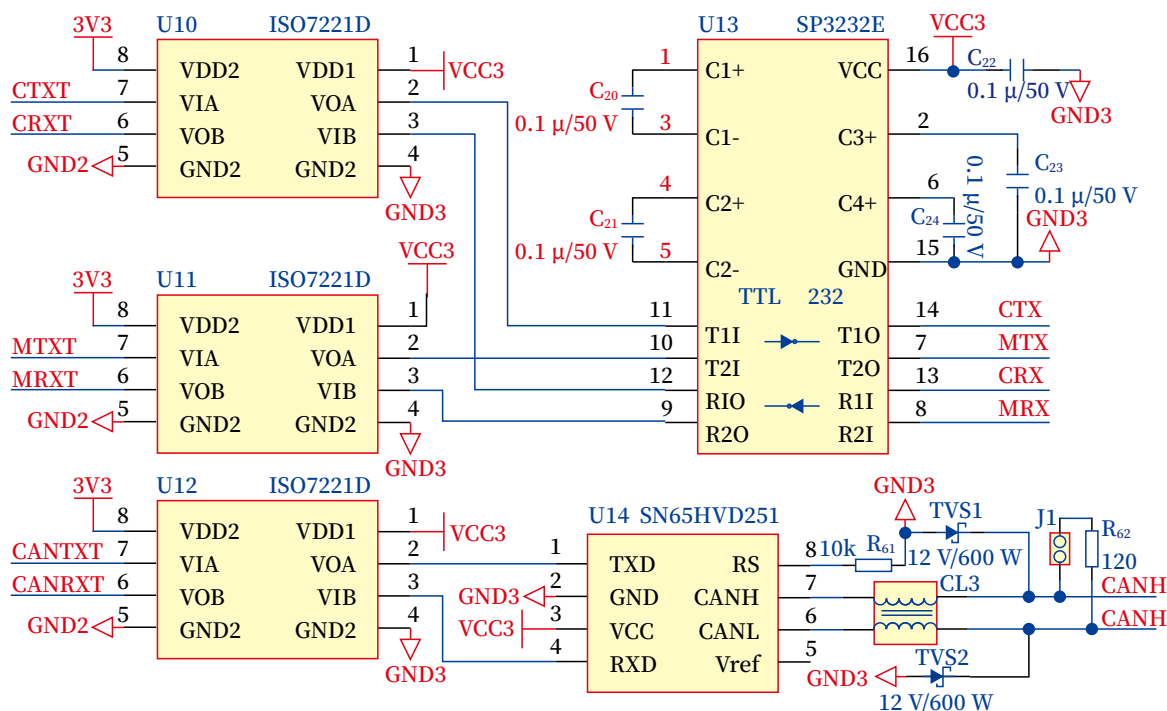


图5 通信电路

Fig.5 Communication circuit

4 000 后, 得到采集值的平均值  $ADCValueMean$  如公式 (5) 所示和采集值平方的累加和的平均值  $ADCSquareMean$  如公式 (6) 所示。对于模拟信号  $V_2(t) = E_0 + E \times \cos(2\pi f t)$ , 一个或几个完整周期的平均值等于其直流分量  $E_0$ , 所以  $ADCValueMean$  就是  $E_0$ , 即前面电路中说的偏置电压 DC1.6 V, 就巧妙地得到了直流分量  $E_0$ 。这样做的优点是不需要直接去测量这个偏置电压, 也克服了由于各个通道的元器件 (如电阻、运放等) 参数的偏差, 造成各通道的偏置电压的差异。最后有效值结果如公式 (7) 所示。

$$V_{1_{RMS}} = \sqrt{ADCSquareMean - ADCValueMean^2} \quad (7)$$

这样就完成了这一轮的 10 个周期 200 ms、1 组共 8 个通道模拟信号的采集。经过 4 轮后就得到 4 组共 32 通道模拟信号的有效值的原始值。此后程序按此循环往复运行。

### 3.2 IPC通信

如图 6 所示, C28 和 M3 之间有 2 K byte 的 CTOMMSGRAM 和 2 K byte 的 MTOCMSGRAM 可用于双核之间的通信。CTOMMSGRAM 对 C28

是既可读又可写的, 对 M3 来说是只读的; 同样 MTOCMSGRAM 对 M3 是既可读又可写的, 对 M3 来说是只读的。当 C28 完成 4 组共 32 个通道的有效值计算后, 将其按照既定的格式写入 CTOMMSGRAM, 然后向 CTOMIPCSET 寄存器的  $bit_0$ -IPC\_FLAG1 和  $bit_{31}$ -IPC\_FLAG32 写 1, 向 IPC\_FLAG1 写 1 可以引起 M3 的 CTOMIPCSTS Interrupt 1。M3 在中断程序中查询 CTOMIPCSTS 寄存器相应的标记位, 确定是否是来自 C28 相应的请求, 如果是, 则把 CTOMIPACK 的 IPC\_FLAG1 和 IPC\_FLAG32 写 1 以清除中断请求和标记, 并取出各通道的有效值。C28 在下次通信时, 先读取 CTOMIPCFLG 的 IPC\_FLAG1 和 IPC\_FLAG32, 确定上次数据是否被取走; 如果取走, 就可进行这一次通信。

M3 也采用相同的方式通过 MTOCMSGRAM 向 C28 传送数据。这样就可实现两个核之间的快速通信。

### 3.3 校准

由于在模拟链路上元件很多, 参数也存在偏

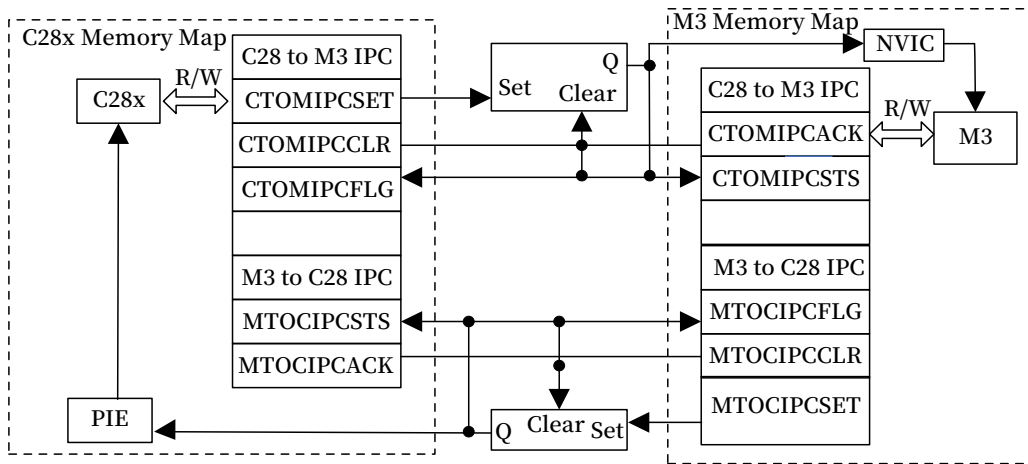


图6 带有IPC标志和中断的消息传递  
Fig.6 Messaging with IPC flags and interruptions

差，所以 C28 采集、计算后有效值的原始值不能直接当作有效值使用，需将其校准以减少误差。为此设计自校准功能，方法是将 29 路电流通道输入 50 A 电流，3 路电压通道输入 600 V 电压，使用精度较高的电流表和电压表监测各通道电流或电压值，调节电源使其稳定在 50 A 和 600 V，然后按压 Calkey 校准键 3 s 后，M3 进入校准程序，将此时 C28 发来的各通道有效值当做标定值，对应为 50 A 和 600 V；并将这些标定值存储在铁电存储器 (FRAM) ——FM25V02 中，然后结束校准程序，系统重启。此后每当系统重启时，先从 FRAM 中读出标定值。C28 发来的采集值，除以标定值，再乘以 50 A 或 600 V，就能得到各个通道的校准后的有效值，具体计算如公式 (8) 和公式 (9) 所示。

$$V1_{RMS} = 50/V_{\text{标定值}} \times V1_{\text{采集值}} \quad (8)$$

$$V1_{RMS} = 600/V_{\text{标定值}} \times V1_{\text{采集值}} \quad (9)$$

### 3.4 人机交互及通信

显示程序以 4 ms 间隔轮流刷新 6 个数码管的显示，刷新频率为  $1/(4 \times 6 \text{ ms}) = 41.7 \text{ Hz}$ ，不会有闪烁感。上电后 6 个数码管按通道顺序滚动显示 32 个通道的通道号和电流、电压值。当按下锁定键 LockKey 时，锁定显示该通道，不再滚动。再次按下该键时，恢复滚动显示。

系统对外通信方式有 RS-232、CAN-BUS 和以太网，M3 根据选定的通信方式和格式与本地或远

程控制系统进行信息交换。

此外，系统还设计了多个 LED，用于显示双核工作状态、通信状态、IPC 通信状态、电源指示灯等。8 位拨码开关，用于设置模块地址、量程、工作模式等。还有温度、湿度、气压度传感器，用于向本地或远程控制系统提供其工作环境参数。

## 4 结束语

本文详细论述真有效值的计算原理，并对 32 路模拟信号的真有效值硬件电路和软件算法进行详细的介绍。此设计采用软件真有效值算法代替传感器和真有效值专用芯片的方法，对于 32 路来说，极大地降低了系统成本，具有较好的工程应用价值。同时由于是真有效值算法，不仅适用于测量交流信号，更换相应的互感器和外围电路参数，也能测量脉动、脉冲等信号，具有较好的适应性。笔者采用该方案设计的道岔融雪系统，用于高铁、普速、城际、城轨、矿山等多条线路。由于方案设计合理，大大地降低了系统成本，整个系统运行稳定、可靠，取得了较好的效果。

### 参考文献

- [1] 陈洪亮, 田社平, 吴雪. 电路分析基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

(下转 39 页)



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.007

# 关于5G-R MCX漫游用户统一认证的探讨

殷卫海

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 5G-R MCX用户漫游到拜访地后, 要先经过统一认证IDMS的有效性校验和授权, 才能访问拜访地的MCX服务资源。从统一认证IDMS的组网部署、交互认证等角度进行研究和分析, 提出全路共用IDMS、全路/路局两级IDMS、路局IDMS等多种组网部署方式, 以及对应的交互认证处理机制。

**关键词:** 漫游; 统一认证; 公共配置管理; 5G-R; 关键集群业务

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0033-07

## Discussion on Unified Authentication of 5G-R MCX Roaming Users

Yin Weihai

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

**Abstract:** After roaming, a user of 5G-R Mission Critical X-Service (MCX) needs to pass the validity verification and authorization of the Identity Management Server (IDMS) for unified authentication in order to securely access the MCX service resources of the visited place. This paper studies and analyzes IDMS network deployment and interactive authentication, etc., and proposes a variety of networking methods such as IDMS shared by all railways, two-level IDMS of all railways/railway bureaus, and IDMS deployed by railway bureaus, as well as their corresponding interactive authentication mechanisms.

**Keywords:** roaming; IDMS; Common Service Configuration (CSC); 5G-R; MCX

### 1 概述

5G网络作为新一代信息技术的基础设施网络, 与经济社会各领域深度融合。铁路专用移动通信

信历经数十年的发展, 在技术迭代的关口, 结合国家“新基建”决策部署, 率先在铁路行业提出了5G专网的概念和系统目标<sup>[1]</sup>。铁路5G专用移动通信系统, 分为全路共用设备、局核心网设备两级架构。全路共用设备是全路公共访问的一级节点设备, 主要有智能网5G-IN、一级DNS、5G-EIR等网元。局核心网设备, 是路局自行管理维护的设备, 主要有5GC核心网、宽带集群调度业务(Mission Critical X-Service, MCX)等网元<sup>[2]</sup>。MCX包括SIP核心交

收稿日期: 2022-07-27; 修回日期: 2023-02-15

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司课题项目(P2021G012)

发明专利: 2022年国家发明专利(ZL2022112905470)

作者简介: 殷卫海(1980—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 5G-R核心网, 邮箱: yinweihai@crscd.com.cn。

换 (Sipcore)<sup>[3]</sup>、公共服务配置 (Common Service Configuration, CSC)<sup>[4]</sup>、语音 (MC Push to Talk, MCPTT)<sup>[5]</sup>、视频 (MC Video, MCVideo)<sup>[6]</sup>、数据 (MC Data, MCData)<sup>[7]</sup> 服务器等和终端 APP、网络管理维护 OMC 等网元。

全路共有 18 个路局，各路局自行管理各自的局核心网设备和用户签约 / 配置数据。在列车长途运行中，存在 5G-R 用户跨局切换的场景。当用户移动到拜访地后，漫游用户要尽量使用当前所在拜访地路局的网络资源或服务来开展业务，可大幅减少列控、列调等业务传输的时延。

5G-R MCX 的 CSC，是 MCX 业务的用户配置统一管理服务，包含统一认证服务 (Identity Management Server, IDMS)、密钥管理 (Key Management Server, KMS)、位置服务 (Location Management Server, LMS)、用户配置管理 (Configuration Management Server, CMS)、群组配置管理 (Group Management Server, GMS) 等网元。其中的 IDMS 是用户登录 5G-R MCX 业务的入口，是解决 MCX 用户跨局漫游时，如何访问拜访地的 MCPTT、MCData、MCVideo 以及 KMS、LMS、CMS、GMS 等服务资源的关键点。

## 2 5G-R MCX 域内用户统一认证及漫游问题

IDMS 的处理过程，即单点认证流程 (Single Sign On, SSO)，需 UE、IDMS、MCX 之间进行访问令牌 (Access Token) 的获取及校验。铁路 5G-R 路局域内的 IDMS 认证流程遵循 3GPP 《TS 33.180 MC 业务安全》<sup>[8]</sup> 的标准规范，如图 1 所示。

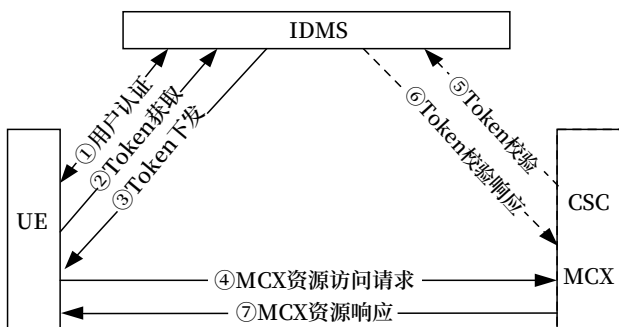


图1 IDMS 域内认证处理机制  
Fig.1 Authentication mechanism in IDMS coverage area

当用户漫游到拜访路局时，理想情况是，漫游用户重新在拜访地的 IDMS 服务进行认证，获取到拜访地 MCX 服务资源的 Access Token，从而能够使用拜访地的服务资源。但这种情况需要在拜访地的 IDMS 上配置该漫游用户的认证签约信息，不符合用户数据归所在路局管理的原则。如果漫游用户直接回到归属地 IDMS 服务进行认证，原有的处理流程是：用户认证通过后，用户可以获取到归属地 MCX 服务资源的 Access Token，但这些 Access Token 仅属于归属地，不能用于访问拜访地的 MCX 服务资源。

针对该问题，对于跨域 IDMS 的认证流程，3GPP 的《TS 33.180 MC 业务安全》中有一种 Partner IDMS、Primary IDMS 的交互认证方案。但是，相对于铁路的上述漫游场景，3GPP 的跨域统一认证流程不够完整，不能构成一个完整的铁路 5G-R MCX 的统一认证解决方案。因此，本文考虑了几种处理方式。

- 1) 方案一：IDMS 全路共用部署，全路统一认证和授权。
- 2) 方案二：IDMS 分成全路共用、路局两级部署，全路统一认证和路局自行授权。
- 3) 方案三：IDMS 路局部署，跨局 IDMS 间相互认证和路局自行授权。

## 3 5G-R MCX 跨域用户的统一认证机制研究

- 1) 方案一：IDMS 全路共用部署，CSC 其他网元归路局管理

从系统组网角度，将 IDMS 部署为全路共用设备，CSC 其他网元，如 CMS、GMS 等仍为路局设备，如图 2 所示。当用户跨局漫游时，用户在归属地和拜访地访问的都是相同的共用 IDMS，全路共用 IDMS 可以根据用户当前所在的路局情况，进行用户的统一认证、各路局 MCX 资源的令牌签发和权限分配，保证漫游用户能够利用拜访地的服务资源。

用户终端 (User Equipment, UE)，归属于路局 -1，现在漫游到路局 -2，需要访问使用拜访路

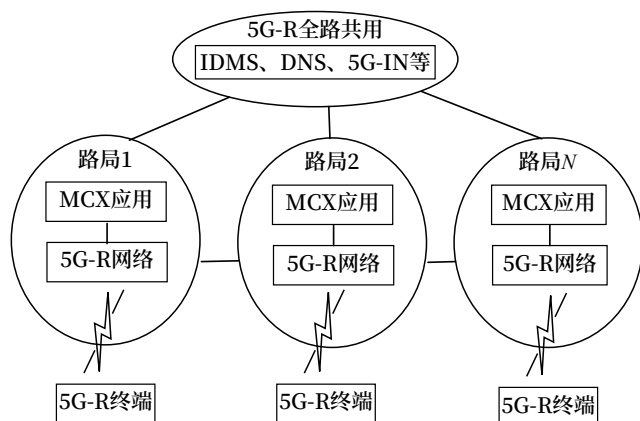


图2 全路共用IDMS部署组网框架

Fig.2 Networking framework of IDMS shared by all railways

局-2的服务资源，如图3所示。

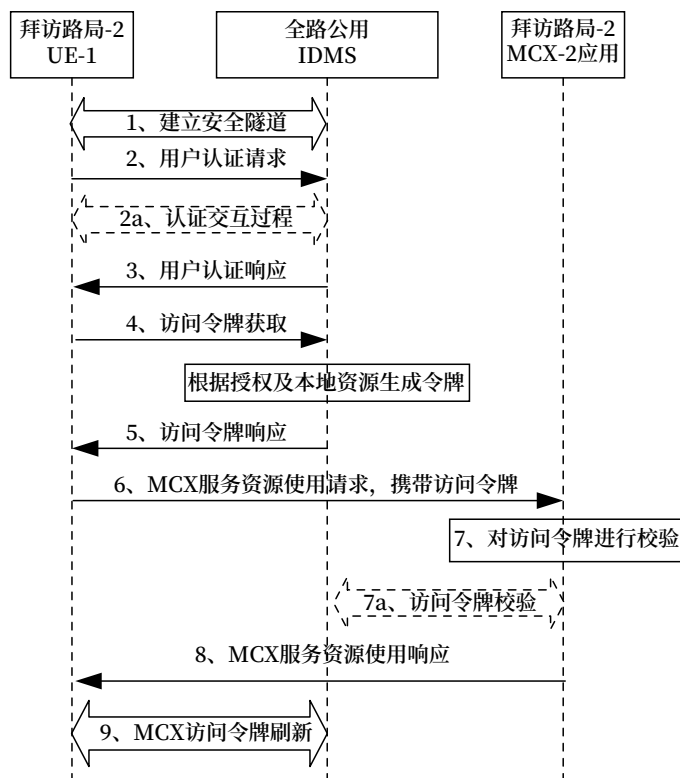


图3 全路共用IDMS统一认证流程

Fig.3 Workflow of unified authentication of IDMS shared by all railways

步骤1：漫游终端 UE-1 与全路共用 IDMS 建立安全隧道，以保证后续交互流程的消息安全。

步骤2：漫游终端 UE-1 发送用户认证请求消息给全路共用 IDMS，携带用户名标识 Client-ID、需要申请的 MCX 服务资源范围（如 MCPTT、MCData、MCVideo、CMS 等资源 URL 列表）以

及 Client 的重定向 Redirect\_URL 地址等信息。

步骤2a：全路共用 IDMS 服务器与漫游终端 UE-1 进行用户身份和关联的凭据的验证（可采用如 Digest、EAP-AKA 等多种认证方法）。

步骤3：全路共用 IDMS 对漫游终端认证通过后，返回用户认证响应消息给漫游终端 UE-1，携带授权码 Code。

步骤4：漫游终端 UE-1 发送访问令牌请求消息给全路共用 IDMS，携带终端设备 Client-ID、Client 的 Redirect\_URL 地址和步骤3下发的授权码 Code。

步骤5：全路共用 IDMS 收到漫游终端 UE-1 的认证请求后，根据预配置的用户签约放号信息，生成拜访地 MCX-2 服务资源访问令牌，如：MCPTT-ID 的令牌（ID Token）、MCX 各服务的访问令牌（Access Token）、令牌超时时间（Expires\_in）、超时刷新令牌（Refresh Token）等，通过访问令牌响应消息，返回给漫游终端 UE-1。

步骤6：漫游终端 UE-1 携带获取到的拜访地 MCX-2 各服务的 Access Tokens，请求使用拜访地的 MCX-2 的 CSC、MCPTT、MCData、MCVideo 等服务资源。

步骤7：拜访地 MCX-2 的各服务（如 MCPTT）收到漫游终端 UE-1 的服务请求消息后，对 UE-1 的 Access Token 进行有效时长和验证码的验证，判断该终端是否有访问资源的权限。方式一，拜访地 MCX-2 使用 JWT 规范进行 Access Token 的自校验；方式二，拜访地 MCX-2 将 Access Token 发给全路共用 IDMS 进行 Access Token 的校验。

步骤8：如果校验成功，漫游终端 UE-1 可进行拜访地 MCX-2 的服务发现、配置获取、注册、单呼、组呼等业务流程；如果失败，拜访地 MCX-2 返回漫游终端 UE-1 失败的响应消息，流程终止。

步骤9：漫游终端 UE-1 定期到全路共用 IDMS-1 去进行拜访地 MCX-2 访问令牌的刷新，以保持 MCX-2 各资源的 Access Token 的有效性。

2) 方案二 IDMS 分成全路共用、路局两级部署, CSC 其他网元归路局管理

从系统组网角度, 将 IDMS 分成全路共用、路局部署两部分, CSC 其他网元, 如 CMS、GMS 等仍为路局设备, 如图 4 所示。一级全路共用 IDMS 负责全路的用户认证及路局二级 IDMS 的访问令牌授权, 路局的二级 IDMS 负责各路局 MCX 资源的访问令牌授权, 保证漫游用户能够利用拜访地的服务资源。

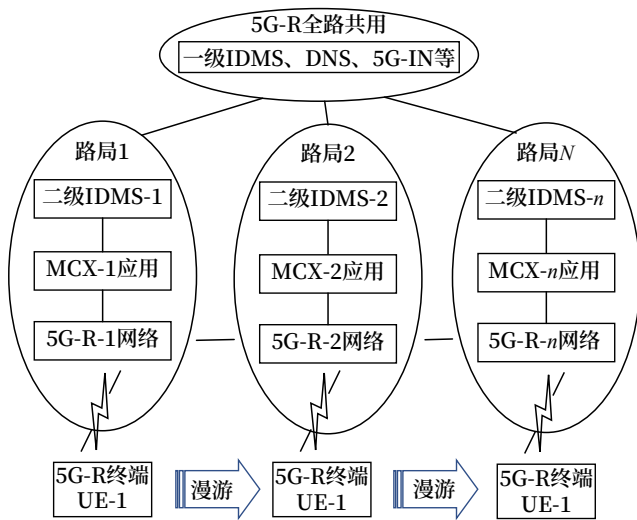


图4 全路/路局IDMS二级部署组网框架  
Fig.4 Networking framework of two-level IDMS of all railways/railway bureaus

用户终端 UE-1, 归属于路局 -1, 现在漫游到路局 -2, 需要访问使用拜访路局 -2 的服务资源, 如图 5 所示。

步骤 1 ~ 3, 漫游终端 UE-1 的用户认证过程, 与方案一的全路共用 IDMS 的业务流程相同, 区别是全路共用 IDMS 改为全路共用一级 IDMS。

步骤 4: 漫游终端 UE-1 发送拜访地二级 IDMS-2 的访问令牌请求消息给全路共用一级 IDMS, 携带用户名标识 Client-ID、Client 的重定向 Redirect\_URL 地址和步骤 3 下发的授权码 Code。

步骤 5: 全路共用一级 IDMS 收到漫游终端 UE-1 的拜访地 IDMS-2 认证请求后, 根据预配置的用户签约放号信息, 生成当前路局的 IDMS-2 服务资源的 Access Token、Expires\_in、Refresh Token

等, 通过访问令牌响应消息返回给终端 UE-1。

步骤 6: 漫游终端 UE-1 发送拜访地 MCX-2 的访问令牌请求消息给拜访地二级 IDMS-2, 携带终端设备 Client-ID、需要申请的 MCX 服务资源范围 (如 MCPTT、MCData、MCVideo、CMS 等)、Client 的重定向 Redirect\_URL 地址和步骤 5 下发的拜访地 IDMS-2 访问令牌。拜访地 IDMS-2 收到请求消息后, 对 UE-1 的 IDMS-2 访问令牌进行校验。

步骤 7: 如果校验成功, 则拜访地 IDMS-2 根据本地预配置的用户签约放号信息, 生成当前路局 MCX-2 的服务资源访问令牌, 如: MCPTT-ID 的令牌 (ID Token)、MCX 各服务的访问令牌 (Access Token)、令牌超时时间 (expires\_in)、超时刷新令牌 (Refresh Token) 等, 通过访问令牌响应消息返回给漫游终端 UE-1。

步骤 8 ~ 10, 与方案一的步骤 6 ~ 8 流程相同。

步骤 11: 漫游终端 UE-1 定期到全路共用一级 IDMS、拜访地的二级 IDMS-2 去进行访问令牌的刷新, 可以保持 IDMS-2 和 MCX-2 各资源的 Access Token 的有效性。

3) 方案三 IDMS 及 CSC 其他网元都归路局管理, 跨局 IDMS 之间相互认证

从系统组网角度, 将 IDMS 及 CSC 其他网元, 全部部署为路局设备, 如图 6 所示。当用户漫游到拜访地时, 用户拜访路局的 IDMS 与归属地 IDMS 进行交互认证, 结合本地的 MCX 资源配置情况, 生成该漫游终端能使用的本地 MCX 资源访问令牌, 下发给该漫游用户。漫游用户携带获取到的 MCX 资源访问令牌, 使用拜访地的各种 MCX 服务资源。

用户终端 UE-1, 归属于路局 -1, 现在漫游到路局 -2, 需要访问使用拜访路局 -2 的服务资源, 如图 7 所示。

步骤 1: 漫游终端 UE-1 与路局 IDMS-1、IDMS-2 等建立安全隧道, 以保证后续交互流程的消息安全。



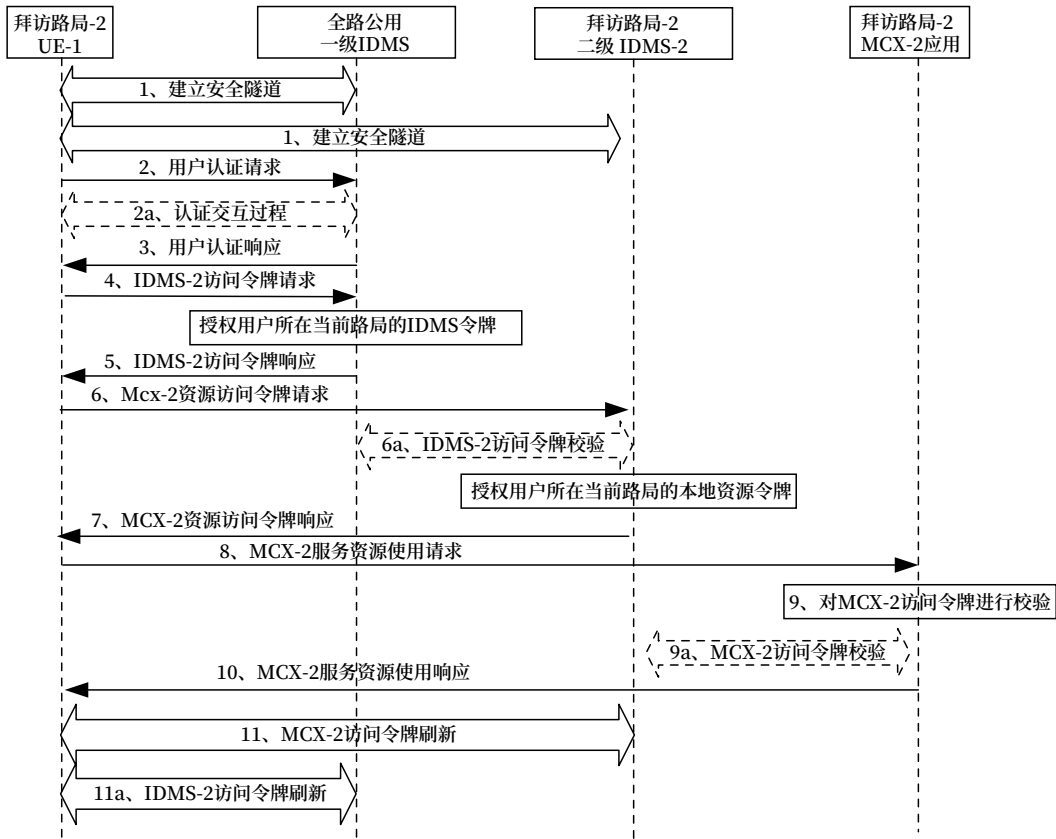


图5 IDMS共用/路局两级部署  
Fig.5 Workflow of two-level IDMS deployment

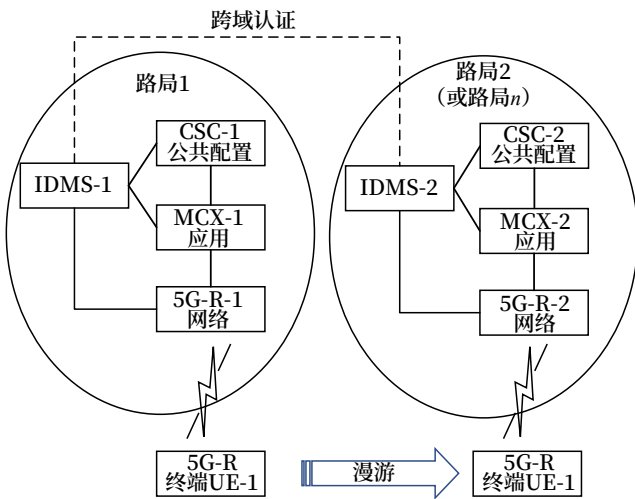


图6 路局IDMS部署组网框架  
Fig.6 Networking framework of IDMS deployed by railway bureaus

步骤 2：漫游终端 UE-1 发送用户认证请求消息给拜访地的 IDMS-2，携带用户名标识 Client-ID、需要申请 MCX 服务资源范围（如 MCPTT、MCData、MCVideo、CMS 等）以及 Client 的重定向 Redirect\_URL 地址等信息。

步骤 3：拜访地 IDMS-2 通过对漫游用户的号码进行分析，判断出该用户的归属地统一认证 IDMS-1。IDMS-2 发送 UE-1 重定向到归属地 IDMS-1 进行认证的响应消息给终端 UE-1，携带要访问的归属地 IDMS-1 的 URL 地址，并指示终端该流程为跨局漫游场景。

步骤 4：漫游终端 UE-1 与归属地 IDMS-1 进行认证授权的交互过程。

步骤 5：漫游终端 UE-1，在用户认证通过后，根据步骤 1 中 IDMS-2 的跨局漫游指示，向归属地 IDMS-1 发送拜访地 IDMS-2 的访问令牌请求消息，携带拜访地 IDMS-2 的 URL 地址、终端 UE-1 的 ID Token 等信息。

步骤 6：归属地的 IDMS-1 根据用户签约放号信息，生成拜访地 IDMS-2 的 Access Token、Token 过期时间等信息，返回 IDMS-2 访问令牌响应消息给漫游终端 UE-1。

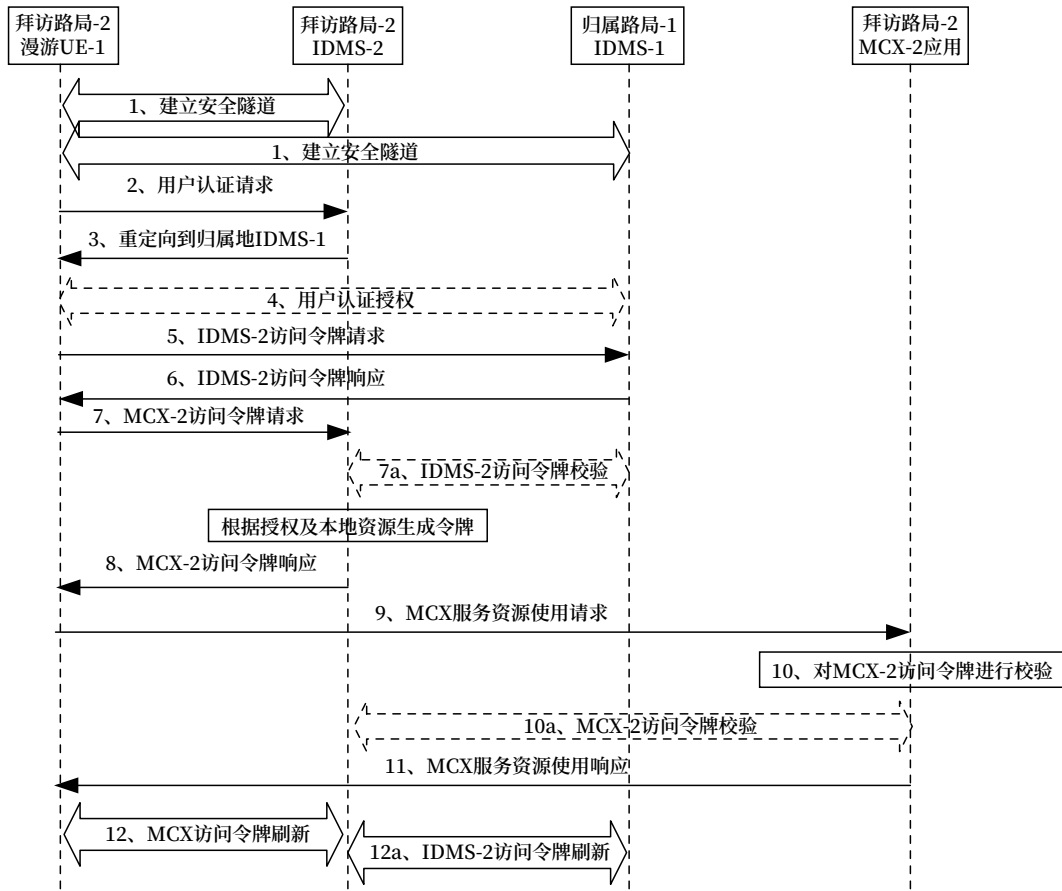


图7 IDMS路局部署相互认证流程

Fig.7 Workflow of mutual authentication of IDMS deployed by railway bureaus

步骤7：漫游终端 UE-1 发送 MCX-2 资源访问令牌申请消息给拜访地 IDMS-2，携带终端设备 Client-ID、拜访地 IDMS-2 的 Access Token、需要申请的拜访地 MCX-2 的服务资源范围（如 MCPTT、MCData、MCVideo、CMS 等）。拜访地 IDMS-2 收到 UE-1 的认证请求后，对 UE-1 的 IDMS-2 访问令牌进行校验。

步骤8：如果校验成功，拜访地 IDMS-2 根据本地预配置的用户签约放号信息，生成当前路局 MCX-2 的服务资源访问令牌，如：MCPTT-ID 的令牌（ID Token）、MCX 各服务的访问令牌（Access Token）、令牌超时时间（expires\_in）、超时刷新令牌（Refresh Token）等，通过访问令牌响应消息返回给漫游终端 UE-1。

步骤9～11：与方案一的步骤6～8流程相同。

步骤12：UE-1 定期到归属地 IDMS-1、拜

访地 IDMS-2 去进行访问令牌的刷新，以保持 IDMS-2 和 MCX-2 各资源的 Access Token 的有效性。

#### 4 结束语

综上所述，5G-R MCX 统一认证 IDMS 的几种组网方式及对应的认证处理机制，各有特点。方案一，全路公共 IDMS 的部署方式，用户认证、授权信息由全路统一配置、组网简单、容易维护；方案二，全路、路局两级 IDMS 部署，用户认证部分的信息由全路配置、授权部分的信息由路局配置、组网和维护也相对简单；方案三，路局 IDMS 部署，用户认证、授权信息全部由路局配置，用户跨局漫游需到归属地进行交互认证，组网相对复杂，但用户的签约配置由归属地路局管理、分工明确。

根据目前铁路 5G-R MCX 的研究进展和趋势，

建议采用方案三。

### 参考文献

- [1] 周宇晖. 铁路 5G 专网系统架构和组网技术研究 [J]. 中国铁路, 2020 (11): 10-15.  
Zhou Yuhui. System Architecture and Networking Technology of Railway 5G Private Network[J]. China Railway, 2020(11): 10-15.
- [2] 庞萌萌. 铁路 5G-R 系统核心网架构研究 [J]. 中国铁路, 2021 (8): 1-6.  
Pang Mengmeng. Research on Core Network Architecture of Railway 5G-R System[J]. China Railway, 2021(8): 1-6.
- [3] 3GPP. IP Multimedia Subsystem(IMS): TS 23.228[S].France: 3GPP, 2021.
- [4] 3GPP. Common Functional Architecture to Support Mission Critical Services: TS 23.280[S]. France: 3GPP, 2021.
- [5] 3GPP. Functional Architecture and Information Flows to Support Mission Critical Push To Talk(MCPTT): TS 23.379[S]. France: 3GPP, 2021.
- [6] 3GPP. Functional Architecture and Information Flows to Support Mission Critical Video(MCVideo): TS 23.281[S]. France: 3GPP, 2021.
- [7] 3GPP. Functional Architecture and Information Flows to Support Mission Critical Data(MCData): TS 23.282[S]. France: 3GPP, 2021.
- [8] 3GPP. Security of the Mission Critical(MC)service: TS 33.180[S]. France: 3GPP, 2021.
- \*\*\*\*\*
- (上接 32页)
- [2] 顾卫钢. 手把手教你学 DSP: 基于 TMS320X281x [M]. 3 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2019.
- [3] 周鹏, 杨会成, 许钢. DSP 原理与实践: 基于 TMS320F28x 系列 [M]. 3 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2021.
- [4] 单祥茹. Concerto 双核 MCU 重新构建嵌入式控制系统 [J]. 中国电子商情·基础电子, 2011 (7): 35.  
Shan Xiangru. Reconstructing Embedded Control System with Concerto Dual-Core MCU[J]. China Electronic Market, 2011(7): 35.
- [5] 吴兵. 基于 F28M35 的伺服控制器多轴同步设计 [J]. 仪表技术, 2016 (5): 1-5.  
Wu Bing. Synchronization Design of the Multi-Axis Servo Controller Based on F28M35[J]. Instrumentation Technology, 2016(5): 1-5.
- [6] 刘泽, 熊皓, 武继. 基于 F28M35 的 EtherNet/IP 从站设计 [J]. 微型机与应用, 2016, 35 (14): 5-7.
- [7] 倪小龙. 基于控制器 LPC1768 的射频增益测量系统设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (9): 51-53.  
Ni Xiaolong. Design of RF Gain Measurement System Based on Controller LPC1768[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 51-53.
- [8] 张磊, 杜晓岚. 一种精密控制直流电机伺服系统设计 [J]. 自动化技术与应用, 2016, 35 (2): 132-135.  
Zhang Lei, Du Xiaolan. Design of a Precision Control of DC Motor Servo System[J]. Techniques of Automation and Applications, 2016, 35(2): 132-135.
- [9] 肖贺, 管海兵, 宦飞. 工业以太网冗余技术分析 [J]. 信息安全与通信保密, 2012, 10 (3): 59-63, 67.  
Xiao He, Guan Haibing, Huan Fei. Analysis of Redundancy Technology for Industrial Ethernet[J]. Information Security and Communications Privacy, 2012, 10(3): 59-63, 67.

# 基站软件功能缺陷引起的CTCS-3无线超时 案例简析

许文渊

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200080)

**摘要:** 以上海局管内某高铁线小区内多趟列车发生上行电平值突降至 -110 dBm 引起的 C3 无线连接超时为案例, 通过基站日志分析, 实验室镜像等手段复现问题, 最终定位问题原因为该型号基站的智能自愈机制造成 RRU 长时间没有话务启动载频单板的射频环回。通过关闭该智能自愈功能后, 故障得以排除, 保障上述高铁线列车的运行稳定、有序。

**关键词:** CTCS-3 接口监测; 小区内; 上行电平突降; CTCS-3 无线超时

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0040-06

## Analysis of CTCS-3 Wireless Timeout Cases Caused by Functional Defects of Base Station Software

Xu Wenyan

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

**Abstract:** In a cell of the cellular network of a high-speed railway managed by China Railway Shanghai Group Co., Ltd., CTCS-3 wireless connection timeout caused by the sudden drop in uplink level to -100 dBm during the operation of several trains. This paper takes such recurring problem as an example to find a solution. Through the analysis of the base station log and the reproduction of on-site results in the laboratory and other means, the cause of the problem is finally identified that is the intelligent self-healing mechanism of this type of base stations starts the radio-frequency loopback of the carrier-frequency board when an RRU handles no traffic for a long time. By turning off such self-healing function, the fault is corrected, ensuring the stable and orderly operation of trains on this high-speed railway.

**Keywords:** CTCS-3 interface monitoring; in a cell of the cellular network; sudden drop in uplink level; CTCS-3 wireless timeout

### 1 概述

CTCS-3 (简称 C3) 无线超时分析工作的不断深入以及监测手段的健全, 大部分 C3 无线超时的原因均能被准确判断并定位具体故障点。通常车载

收稿日期: 2022-10-31; 修回日期: 2023-02-14

基金项目: 中国铁路上海局集团有限公司科研项目 (2022146)

作者简介: 许文渊 (1987—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁道通信信号, 邮箱: 184724461@qq.com。



MT 终端占用 GSM-R 基站过程中上行电平突降为 -110 dBm、上行质量 7 级且无下行电平质量及邻区电平信息造成连接释放的超时问题，一般会定义为 MT 工作异常。但如果同一基站多次发生，则可能是基站侧原因导致。本文以同一基站下多次出现小区内上行电平值突降至 -110 dBm，上行通信质量至 7 级且无下行测量报告的 C3 无线超时问题为例，说明排查过程、处理经验，并结合基站日志分析，实验室镜像等手段复现问题，定位问题原因，提出处理措施，为全路后续同设备型号线路网络优化提供经验参考。

## 2 C3无线超时分类及小区内无下行测量报告分析流程

### 2.1 C3无线超时分类

C3 无线超时故障原因，主要有车载原因、RBC 原因、通信原因及不明原因等。分析不同故障时所需要的数据及分析方法不同，本文将重点介绍小区内无下行测量报告导致 C3 无线超时故障的分析方法及流程。

### 2.2 小区内无下行测量报告类基本分析流程

在接口监测 Abis 口数据发现 MT 占用某基站过程中，无下行电平质量和邻区电平信息，造成车地连接释放，通常需要车载侧空口监测 Um 数据进

行分析，主要分为两种情况。

1) 未看到电台发送测量报告，基站正常发送系统消息，此类现象说明电台工作异常，如图 1 所示。

2) 电台按周期发送测量报告，且电台发送的测量报告显示车地数据交互下行链路方向电平值正常，车地数据交互下行链路方向通信质量降为 7 级，未见基站发射的任何系统消息，此类现象可以排除车载侧原因，可能是基站工作异常（无线网络干扰同时出现上 / 下行质差的概率较低），如图 2 所示。

以管内某条 CTCS-3 列控线路在同一基站下多次出现小区内上行电平突降至 -110 dBm，上行通信质量至 7 级且无下行测量报告的 C3 无线超时为例，详细介绍此类故障的分析及处置流程。

## 3 小区内无下行测量报告问题分析

### 3.1 故障基本描述

2022 年，上海局管内某高铁线 B 基站多次出现 C3 无线连接超时，超时现象均为 B 基站覆盖范围内测量报告显示上行电平值突降至 -110 dBm，上行通信质量至 7 级且无下行测量报告。

### 3.2 分析流程

#### 3.2.1 接口监测数据分析

2022 年 3 月，GXXXX 次列车运行至某高铁线 B 基站，测量报告显示上行电平值突降至

时间	频点	BCCCH	TCH	方向	频号	时隙	子载波	消息	功率	调制	速率	备注
2020-10-05 10:05 15 577	Chan5	1006	1006	U	714404	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	73	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 15 038	Chan1	1006	1006	D	714408	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	74	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 15 040	Chan5	1006	1006	U	714508	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	75	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:05 15 522	Chan4	1006	1006	D	714512	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	76	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 15 522	Chan5	1006	1006	U	714512	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	77	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 17 007	Chan4	1006	1006	D	714716	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	78	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 17 007	Chan5	1006	1006	U	714716	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	79	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 17 493	Chan4	1006	1006	D	714820	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	80	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 17 493	Chan5	1006	1006	U	714820	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	81	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 17 974	Chan4	1006	1006	D	714824	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	82	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 17 974	Chan5	1006	1006	U	714824	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	83	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 18 438	Chan4	1006	1006	D	715028	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	84	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 18 438	Chan5	1006	1006	U	715028	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	85	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 18 923	Chan4	1006	1006	D	715132	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	86	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 18 924	Chan5	1006	1006	U	715132	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	87	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 19 498	Chan4	1006	1006	D	715236	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	88	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 19 498	Chan5	1006	1006	U	715236	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	89	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 19 891	Chan4	1006	1006	D	715340	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	90	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 19 892	Chan5	1006	1006	U	715340	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	91	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 20 376	Chan4	1006	1006	D	715444	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	92	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 20 376	Chan5	1006	1006	U	715444	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	93	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 21 302	Chan4	1006	1006	D	715548	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	94	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 21 302	Chan5	1006	1006	U	715548	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	95	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 21 808	Chan4	1006	1006	D	715652	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	96	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 21 808	Chan5	1006	1006	U	715652	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	97	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 22 203	Chan4	1006	1006	D	715756	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	98	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 22 203	Chan5	1006	1006	U	715756	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	99	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 22 776	Chan4	1006	1006	D	715860	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	100	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 22 776	Chan5	1006	1006	U	715860	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	101	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 23 237	Chan4	1006	1006	D	715964	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	102	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 23 237	Chan5	1006	1006	U	715964	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	103	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 24 296	Chan4	1006	1006	D	716068	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	104	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 24 296	Chan5	1006	1006	U	716068	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	105	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 24 691	Chan4	1006	1006	D	716172	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	106	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 24 691	Chan5	1006	1006	U	716172	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	107	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 25 177	Chan4	1006	1006	D	716276	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 5	705+4964	108	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 25 177	Chan5	1006	1006	U	716276	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	109	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 25 638	Chan4	1006	1006	D	716380	2	7	SYSTEM INFORMATION TYPE 6	705+4964	110	L3.ind	SACCH/TF
2020-10-05 10:06 25 638	Chan5	1006	1006	U	716380	2	7	MEASUREMENT REPORT	705+4964	111	L3.ind	SACCH/TF

图1 电台工作异常时的Um口数据

Fig.1 Data from Interface Um during the abnormal operation of the onboard radio

2021-01-30 07:23:55.165	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	0, -47, -61, -63, -50, -66, -63, -57	06 15 3F 3F 01 BC 17 DA 97 FC 41 FD E1 EE C1 F5
2021-01-30 07:23:55.627	1000	1000	D	3	0	SACCH/TF	L3	isd	SYSTEM INFORMATION TYPE 3		06 1D 8F F7 67 00 00 00 00 00 00 00 00 00
2021-01-30 07:23:55.627	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	0, -47, -63, -63, -51, -65, -66, -55	06 15 3F 3F 01 BB 17 DA 17 FB C1 FD E1 EE D1 F9
2021-01-30 07:23:56.110	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	1, -47, -63, -64, -50, -66, -65, -57	06 15 3F 3F 11 BC 17 DA 97 FB C1 FD C1 EE C1 F5
2021-01-30 07:23:56.111	1000	1000	D	3	0	SACCH/TF	L3	isd	SYSTEM INFORMATION TYPE 6		06 1E 61 60 64 F0 02 18 0F 63 FF
2021-01-30 07:23:56.594	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	2, -47, -63, -64, -51, -66, -64, -62	06 15 3F 3F 21 BB 17 D8 17 FB C1 FD C1 EE E2 7F
2021-01-30 07:23:56.595	1000	1000	D	3	0	SACCH/TF	L3	isd	SYSTEM INFORMATION TYPE 5		06 1D 8F F7 67 00 00 00 00 00 00 00 00 00
2021-01-30 07:23:57.079	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	2, -47, -63, -63, -51, -65, -65, -60	06 15 3F 3F 21 BB 17 D9 17 FB 41 FD E1 EE D2 7F
2021-01-30 07:23:57.079	1000	1000	D	3	0	SACCH/TF	L3	isd	SYSTEM INFORMATION TYPE 8		06 1E 61 60 64 F0 02 18 0F 63 FF
2021-01-30 07:23:57.363	1000	1000	D	3	0	SACCH/TF	L3	isd	SYSTEM INFORMATION TYPE 3		06 1D 8F F7 67 00 00 00 00 00 00 00 00 00
2021-01-30 07:23:57.363	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	1, -47, -63, -63, -52, -64, -66, -60	06 15 3F 3A 11 BA 17 D9 17 FB C3 DD A0 FE E1 F5
2021-01-30 07:23:58.000	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	0, -47, -64, -63, -51, -65, -66, -58	06 15 3F 3F 01 BB 17 DA 17 FB C3 DD E3 EA E0 7F
2021-01-30 07:23:58.000	1000	1000	D	3	0	SACCH/TF	L3	isd	SYSTEM INFORMATION TYPE 6		06 1E 61 60 64 F0 02 18 0F 63 FF
2021-01-30 07:23:58.514	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	SYSTEM INFORMATION TYPE 3		06 1D 8F F7 67 00 00 00 00 00 00 00 00 00
2021-01-30 07:23:58.514	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	1, -47, -63, -63, -52, -64, -66, -64	06 15 3F 3F 11 BA 17 D7 17 FB C3 DD C3 EA F0 7F
2021-01-30 07:23:59.001	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	0, -47, -62, -63, -52, -65, -65, -63	06 15 3F 3F 01 BA 17 D7 87 BC 01 FD E3 EA F2 7F
2021-01-30 07:23:59.482	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	2, -47, -63, -64, -51, -66, -64, -59	06 15 3F 3F 2F BB 17 D9 97 FB C1 FD C1 EE C1 F5
2021-01-30 07:23:59.945	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	2, -47, -63, -64, -51, -67, -66, -60	06 15 3F 3F 2F BB 17 D9 97 FB C1 FD C1 EE C2 7F
2021-01-30 07:24:00.430	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	6, -47, -64, -62, -50, -66, -65, -58	06 15 3F 3F 2F BB 17 D9 97 FB C1 FD C1 EE C2 7F
2021-01-30 07:24:00.915	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	6, -47, -64, -62, -51, -65, -64, -58	06 15 3F 3F 2F BB 17 D9 97 FB C1 FD C1 EE C2 7F
2021-01-30 07:24:01.398	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -61, -62, -51, -63, -65, -56	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:01.883	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -62, -63, -51, -65, -65, -59	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:02.344	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -60, -63, -52, -65, -63, -58	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:02.829	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -60, -62, -53, -66, -64, -53	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:03.313	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -60, -63, -51, -65, -66, -58	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:03.796	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -61, -62, -48, -66, -64, -58	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:04.281	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -60, -63, -47, -67, -65, -61	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:04.743	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -58, -63, -50, -64, -66, -63	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:05.228	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -58, -63, -50, -66, -65, -64	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:05.711	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -47, -59, -63, -51, -66, -65, -68	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5
2021-01-30 07:24:06.196	1000	1000	U	3	0	SACCH/TF	L3	isd	MEASUREMENT REPORT	7, -50, -59, -64, -52, -66, -65, -68	06 15 3F 3F 2F BA 17 DA 17 FC 81 FD E1 EE D1 F5

图2 电台工作正常时Um口数据  
Fig.2 Data from Interface UmS during the normal operation of the onboard radio

-110 dBm, 上行通信质量至 7 级且无下行测量报告, 如图 3 所示。

3.2.2 Us口数据分析

车载 Um 口情况描述: 13:24:53.702 后, 下行电平值突降为 -90 dBm 以下, 下行通信质量突降至 7 级, 电台正常发送测量报告, 未见到基站发送系统消息, 如图 4 所示。

3.2.3 实验室镜像复现

在实验室环境对该基站环境进行模拟试验发现: 车载移动台正常起呼, 上行电平值为 -57 dBm, 如图 5 所示。

17:41:35 执行载频环回测试, 如图 6 所示。

载频环回前, 终端上行电平为 -59 dBm, 载频环回后, 测量报告上行电平突降为 -110 dBm, 6 s 后终端掉话, 与一线现象一致, 如图 7 所示。

3.2.4 基站日志分析

B 基站日志记录截图: BSC 时间 13:24:22 启动 RF 环回, 环回时长 20 s, 对应接口监测时间为 13:24:24, 与 Abis 口测量报告信息对应 (MT 占用 B 小区过程中, 上行电平值突降为 -110 dBm, 上行通信质量至 7 级且无下行电平质量和邻区电平信息), 如图 8 所示。

时间	频点	功率	质量	类型	小区	邻区	频点	功率	质量	类型	小区	邻区	频点	功率	质量	类型	小区	邻区	频点	功率	质量	类型	小区	邻区
13:24:22	132422	57	7	MEASUREMENT REPORT	132422	132422	132422	57	7	MEASUREMENT REPORT	132422	132422	132422	57	7	MEASUREMENT REPORT	132422	132422	132422	57	7	MEASUREMENT REPORT	132422	132422
13:24:24	132424	57	7	MEASUREMENT REPORT	132424	132424	132424	57	7	MEASUREMENT REPORT	132424	132424	132424	57	7	MEASUREMENT REPORT	132424	132424	132424	57	7	MEASUREMENT REPORT	132424	132424
13:24:26	132426	57	7	MEASUREMENT REPORT	132426	132426	132426	57	7	MEASUREMENT REPORT	132426	132426	132426	57	7	MEASUREMENT REPORT	132426	132426	132426	57	7	MEASUREMENT REPORT	132426	132426
13:24:28	132428	57	7	MEASUREMENT REPORT	132428	132428	132428	57	7	MEASUREMENT REPORT	132428	132428	132428	57	7	MEASUREMENT REPORT	132428	132428	132428	57	7	MEASUREMENT REPORT	132428	132428
13:24:30	132430	57	7	MEASUREMENT REPORT	132430	132430	132430	57	7	MEASUREMENT REPORT	132430	132430	132430	57	7	MEASUREMENT REPORT	132430	132430	132430	57	7	MEASUREMENT REPORT	132430	132430
13:24:32	132432	57	7	MEASUREMENT REPORT	132432	132432	132432	57	7	MEASUREMENT REPORT	132432	132432	132432	57	7	MEASUREMENT REPORT	132432	132432	132432	57	7	MEASUREMENT REPORT	132432	132432
13:24:34	132434	57	7	MEASUREMENT REPORT	132434	132434	132434	57	7	MEASUREMENT REPORT	132434	132434	132434	57	7	MEASUREMENT REPORT	132434	132434	132434	57	7	MEASUREMENT REPORT	132434	132434
13:24:36	132436	57	7	MEASUREMENT REPORT	132436	132436	132436	57	7	MEASUREMENT REPORT	132436	132436	132436	57	7	MEASUREMENT REPORT	132436	132436	132436	57	7	MEASUREMENT REPORT	132436	132436
13:24:38	132438	57	7	MEASUREMENT REPORT	132438	132438	132438	57	7	MEASUREMENT REPORT	132438	132438	132438	57	7	MEASUREMENT REPORT	132438	132438	132438	57	7	MEASUREMENT REPORT	132438	132438
13:24:40	132440	57	7	MEASUREMENT REPORT	132440	132440	132440	57	7	MEASUREMENT REPORT	132440	132440	132440	57	7	MEASUREMENT REPORT	132440	132440	132440	57	7	MEASUREMENT REPORT	132440	132440
13:24:42	132442	57	7	MEASUREMENT REPORT	132442	132442	132442	57	7	MEASUREMENT REPORT	132442	132442	132442	57	7	MEASUREMENT REPORT	132442	132442	132442	57	7	MEASUREMENT REPORT	132442	132442
13:24:44	132444	57	7	MEASUREMENT REPORT	132444	132444	132444	57	7	MEASUREMENT REPORT	132444	132444	132444	57	7	MEASUREMENT REPORT	132444	132444	132444	57	7	MEASUREMENT REPORT	132444	132444
13:24:46	132446	57	7	MEASUREMENT REPORT	132446	132446	132446	57	7	MEASUREMENT REPORT	132446	132446	132446	57	7	MEASUREMENT REPORT	132446	132446	132446	57	7	MEASUREMENT REPORT	132446	132446
13:24:48	132448	57	7	MEASUREMENT REPORT	132448	132448	132448	57	7	MEASUREMENT REPORT	132448	132448	132448	57	7	MEASUREMENT REPORT	132448	132448	132448	57	7	MEASUREMENT REPORT	132448	132448
13:24:50	132450	57	7	MEASUREMENT REPORT	132450	132450	132450	57	7	MEASUREMENT REPORT	132450	132450	132450	57	7	MEASUREMENT REPORT	132450	132450	132450	57	7	MEASUREMENT REPORT	132450	132450
13:24:52	132452	57	7	MEASUREMENT REPORT	132452	132452	132452	57	7	MEASUREMENT REPORT	132452	132452	132452	57	7	MEASUREMENT REPORT	132452	132452	132452	57	7	MEASUREMENT REPORT	132452	132452
13:24:54	132454	57	7	MEASUREMENT REPORT	132454	132454	132454	57	7	MEASUREMENT REPORT	132454	132454	132454	57	7	MEASUREMENT REPORT	132454	132454	132454	57	7	MEASUREMENT REPORT	132454	132454
13:24:56	132456	57	7	MEASUREMENT REPORT	132456	132456	132456	57	7	MEASUREMENT REPORT	132456	132456	132456	57	7	MEASUREMENT REPORT	132456	132456	132456	57	7	MEASUREMENT REPORT	132456	132456
13:24:58	132458	57	7	MEASUREMENT REPORT	132458	132458	132458	57	7	MEASUREMENT REPORT	132458	132458	132458	57	7	MEASUREMENT REPORT	132458	132458	132458	57	7	MEASUREMENT REPORT	132458	132458
13:25:00	132500	57	7	MEASUREMENT REPORT	132500	132500	132500	57	7	MEASUREMENT REPORT	132500	132500	132500	57	7	MEASUREMENT REPORT	132500	132500	132500	57	7	MEASUREMENT REPORT	132500	132500
13:25:02	132502	57	7	MEASUREMENT REPORT	132502	132502	132502	57	7	MEASUREMENT REPORT	132502	132502	132502	57	7	MEASUREMENT REPORT	132502	132502	132502	57	7	MEASUREMENT REPORT	132502	132502
13:25:04	132504	57	7	MEASUREMENT REPORT	132504	132504	132504	57	7	MEASUREMENT REPORT	132504	132504	132504	57	7	MEASUREMENT								









C3 超时。

关闭智能自愈机制命令：SET BTSPATCHPARA:  
IDTYPE=BYID, BTSID=XX, RSVDPARA2=239;

说明：关闭该开关对业务无影响。后续针对同  
设备型号新线开通时即关闭智能自愈机制开关。

#### 4 总结及建议

本次故障的定位主要通过 Abis 口数据、Um 口  
数据、实验室镜像复现及基站日志的分析情况，最  
终定位 C3 超时原因为上海局某高铁线路设备参数  
设置启用智能自愈机制。总结此次故障处置的经验，  
在故障预防、降低设备故障率方面，还需各设备厂  
家针对设备运用的实际情况进行不断完善优化。

#### 参考文献

- [1] 中国国家铁路集团有限公司. 关于进一步加强  
CTCS-3 级 ATP 无线通信超时降级故障分析和整  
治的通知：工电通号函 [2020]55 号 [S]. 北京：  
中国国家铁路集团有限公司，2020.
- [2] 中国国家铁路集团有限公司. 关于进一步加强  
C3 无线超时降级 C2 问题专题整治的通知：工电  
通号函 [2020]105 号 [S]. 北京：中国国家铁路  
集团有限公司，2020.
- [3] 韩斌杰，杜新颜，张建斌. GSM 原理及其网络优  
化 [M]. 2 版. 北京：机械工业出版社，2009.
- [4] 林德志. CTCS-3 级无线连接超时典型故障分析  
及措施 [J]. 铁路通信信号工程技术，2020，17  
(4)：51-56.  
Lin Dezhi. Typical Fault Analysis and Measures for  
CTCS-3 Level Wireless Connection Timeout[J].

- Railway Signalling & Communication Engineering,  
2020, 17(4): 51-56.
- [5] 刘立海，代赛. 郑徐高铁 CTCS-3 无线超时分析  
[J]. 铁路通信信号工程技术，2020，17 (5)：  
10-15，26.  
Liu Lihai, Dai Sai. Analysis of CTCS-3 Radio  
Timeout of Zhengzhou-Xuzhou High-Speed  
Railway[J]. Railway Signalling & Communication  
Engineering, 2020, 17(5): 10-15, 26.
- [6] 李昌根，卢明. GSM-R 系统 Um 接口监测与智  
能分析系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术，  
2017，14 (2)：27-32.  
Li Changgen, Lu Ming. Study on Um Interface  
Monitoring and Intelligent Analysis System in  
GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication  
Engineering, 2017, 14(2): 27-32.
- [7] 沈洪波，陈曦. CTCS-3 级列控系统无线超时自  
动分析系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术，  
2020，17 (6)：1-7.  
Shen Hongbo, Chen Xi. Research on Automatic  
Wireless Timeout Analysis System of CTCS-3  
Train Control System[J]. Railway Signalling &  
Communication Engineering, 2020, 17(6): 1-7.
- [8] 艾武. 基站迁改后引起 GSM-R 直放站多径问题  
简析 [J]. 铁路通信信号工程技术，2022，19  
(8)：40-44.  
Ai Wu. Analysis of Multipath Problem of GSM-R  
Repeater Caused by Base Station Relocation[J].  
Railway Signalling & Communication Engineering,  
2022, 19(8): 40-44.

\*\*\*\*\*

#### 广告索引

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司  
上海锦申铁道科技有限公司

封面  
封三

# 镇江枢纽地区GSM-R网络优化案例

梅 靖

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200080)

**摘要:** 镇江枢纽区域铁路包含既有沪宁城际(上海-南京)客运专线、京沪高速铁路(北京南-上海虹桥)以及新接入的连镇铁路(连云港-镇江)客运专线,这3条铁路均采用CTCS-3信号列控制式。在连镇铁路引入镇江枢纽时,既要保证不影响既有GSM-R网络不受影响,还要解决新建线路的网络覆盖需求,因此需采取合理的优化调整措施解决各条线路的覆盖需求。通过对镇江枢纽GSM-R覆盖方案进行研究并提出相应优化方案,为其他多条CTCS-3线路并线优化提供思路。

**关键词:** 铁路枢纽; GSM-R; 无线覆盖

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0046-06

## Case Study on GSM-R Network Optimization in Zhenjiang Hub Area

Mei Jing

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

**Abstract:** The railways in the hub area of Zhenjiang include the existing Shanghai-Nanjing Intercity Railway passenger dedicated line, the Beijing-Shanghai High-speed Railway (from Beijing South Railway Station to Shanghai Hongqiao Railway Station) and the newly connected Lianyungang-Zhenjiang High-speed Railway (passenger dedicated line), all of which are controlled by CTCS-3 signal systems. In terms of the introduction of Lianyungang-Zhenjiang High-speed Railway into the hub area of Zhenjiang, it is not only necessary to ensure that the existing GSM-R network is not affected, but also to meet the network coverage demands of new lines. Therefore, reasonable optimization and adjustment measures need to be taken to satisfy the coverage demands of each line. In this paper, the GSM-R coverage scheme of this hub area is studied and the corresponding optimization scheme is proposed, which provides an idea for the optimization of the radio-sharing sections of multiple other CTCS-3 lines.

**Keywords:** railway hub; GSM-R; wireless coverage

### 1 概述

随着国内高速铁路和客运专线快速建设以及既有线和编组站电气化改造的快速进行,应用GSM-R网络的铁路线路和编组站越来越多。在GSM-R网

收稿日期: 2022-10-31; 修回日期: 2023-02-17

基金项目: 中国铁路上海局集团有限公司科研项目(2022146)

作者简介: 梅靖(1975—),男,正高级工程师,硕士,主要研究方向: 铁道通信信号,邮箱: meij\_sh@sina.com。

络的建设过程中,存在着不同铁路线路在地理位置上相隔很近、完全并行或相互跨越的情况。由于中国铁路 GSM-R 只有 4 MHz 频率资源,因此,如何在保证并线区段无线覆盖的前提下,有效运用有限的频率资源并避免网内干扰,是 GSM-R 网络规划的重点。另外,由于各线路的建设工期和模式不同,后规划线路的覆盖方案要兼顾考虑到既有线路的规划情况,因而使得此类区域的 GSM-R 无线优化成为难题。

铁路并线主要分为并行、多条铁路交汇两种情况。

1) 并行区段指在某个区域至少有两条铁路线路相距很近,近乎平行。对于这种情况,从节省频率以及降低工程建设投资的角度出发,在具备共线覆盖条件的并线区段优先考虑采用共基站的覆盖方式,并根据各条线路业务需求对基站容量进行统一规划。

2) 多条铁路线路交汇区域的典型结构可以分为交汇点、交汇点无联络线、交叉点带联络线等结构形式。在交汇点和交叉带联络线结构形式下,宜采

用共基站覆盖模式,交叉无联络线结构可根据频率资源情况,采用共基站或分设基站等覆盖方式。下面讨论这两种情况的典型案例。

## 2 并线区段GSM-R覆盖需求

既有京沪高铁和沪宁城际共用 DT-ZJ01A/B 基站在镇江枢纽区段形成交叉,新建连镇高铁正线在 DT-ZJ01A/B 基站引入沪宁城际铁路,形成三角关系区域枢纽。连镇铁路与既有京沪高铁、沪宁城际交叉并线区段如图 1 所示。新建连镇铁路引入既有京沪高铁、沪宁城际交叉区域,频率规划要求:一是在降低干扰的同时,满足话务量需求;二是依据不同线路等级,满足各线路需要的场强覆盖;三是外部信号不能影响铁路正常通信。

## 3 并线区段GSM-R覆盖问题及方案

### 3.1 枢纽地区测试期间发现的问题

1) 综合检测车对沪宁城际奇数基站覆盖下

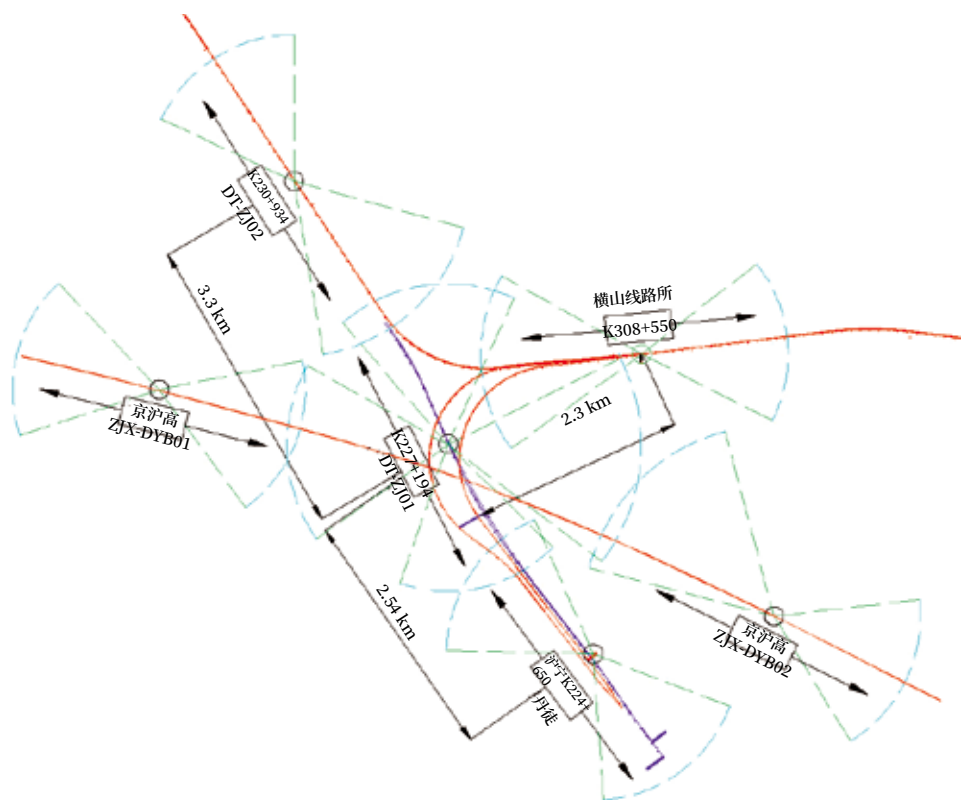


图1 连镇线与既有京沪、沪宁线交叉并线区段示意

Fig.1 Schematic diagram of the radio-sharing section of the three intersecting railways

CSD 传输干扰率、CSD 建立丢失概率、切换成功率  
的测试发现均不达标，数据分析发现主要是由于错

切京沪 ZJN-DYB02 基站最终掉话，另外有部分干  
扰点影响 CSD 传输干扰率，如图 2 所示。



图2 沪宁测试车错切至京沪线ZJN-DYB02基站  
Fig.2 Incorrect handover to Base Station ZJN-DYB02 of the  
Beijing-Shanghai High-speed Railway performed by the test train of the Shanghai-Nanjing Intercity Railway

2) 综合检测车对京沪高铁奇数基站覆盖下  
CSD 传输干扰时间和传输无差错时间、CSD 建  
立丢失概率、CSD 连接建立失败率、切换成功  
率均不达标，数据分析主要是由于错切连镇铁路  
HengShanXLS 导致；同时京沪高铁偶数基站覆盖  
下 CSD 传输干扰时间和传输无差错时间、CSD 建

立丢失概率、切换成功率也不达标，主要是由于  
ZJN-DYB04 过覆盖乒乓切换导致。如图 3 所示。

3) 试验列车在连镇高铁上行方向运行时发生  
错切至京沪高铁 ZJN-DYB02 基站现象，经数据分  
析是由于连镇高铁旁新盖高楼的遮挡，造成 DT-  
ZJ01A/B 基站在连镇高铁上覆盖存在陡降现象，导

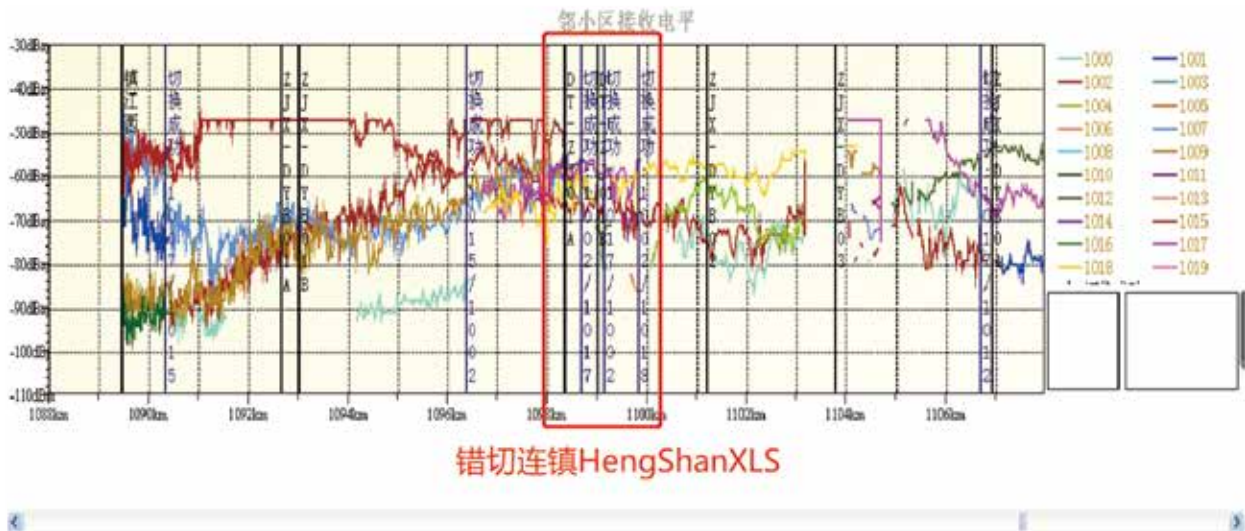


图3 京沪测试车CSD指标不合格  
Fig.3 Substandard CSD indices of the test train of the Beijing-Shanghai High-speed Railway



致错切 ZJN-DYB02 基站，如图 4 所示。

4) DanTu 基站与 ZJN-DYB01A 基站存在邻频

关系，DT-ZJ01A/B 基站与 ZJN-DYB04 基站存在同频关系，如图 5 所示。

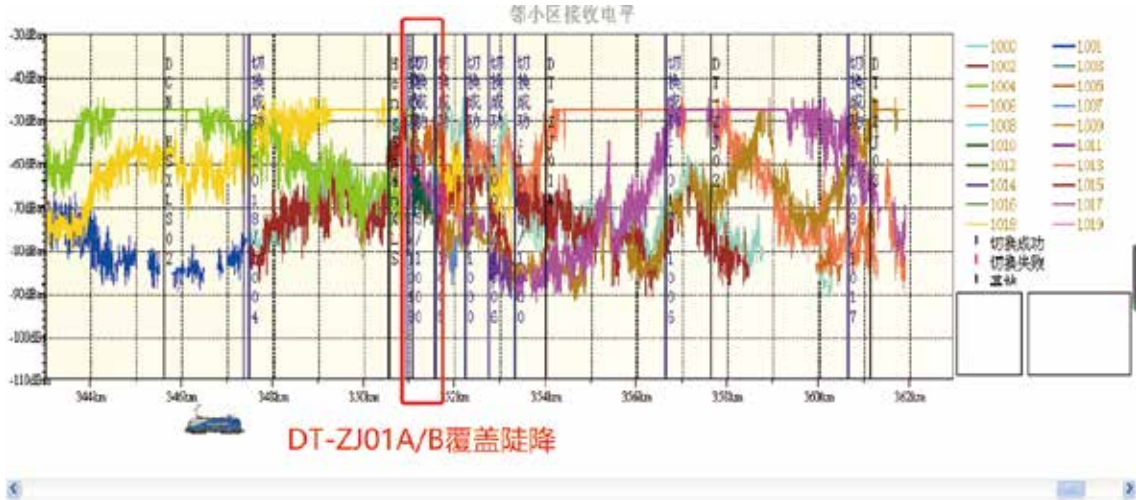


图4 连镇测试车错切至京沪线ZJN-DYB02基站  
 Fig.4 Incorrect handover to Base Station ZJN-DYB02 of the Beijing-Shanghai High-speed Railway performed by the test train of the Lianyungang-Zhenjiang High-speed Railway



图5 枢纽地区频率分布  
 Fig.5 Frequency distribution in the hub area

### 3.2 枢纽地区覆盖优化方案

1) 数据分析发现 ZJN-DYB02 基站电平在沪宁城际 DanTu 基站位置过强，导致沪宁测试车在 DanTu 基站错切至 ZJN-DYB02 基站，同时有部分干扰点影响 CSD 传输干扰率。由于 ZJN-DYB02 基站往沪宁城际 DanTu 基站方向覆盖强，需要降低 ZJN-DYB02 基站功率，同时调整其天线角度降低对沪宁城际的影响，增加 ZJN-DYB02 到 DY-DT04 基

站外部邻区，确保沪宁城际 DanTu 基站关闭情况下不会发生掉话降级，同时对质差位置进行外部干扰排查处置。

2) 京沪高铁检测车在 DT-ZJ01A/B 基站有概率错切连镇铁路 HengShanXLS 基站和沪宁城际 DanTu 基站，主要是由于连镇铁路 HengShanXLS 基站下行方向天线指向京沪高铁，引起切换异常；沪宁城际 DanTu 基站上行方向覆盖较

强，引发京沪线列车切换异常。通过将连镇铁路 HengShanXLS 基站下行方向平板天线替换成窄波瓣天线，即可降低对京沪高铁的影响，同时调整沪宁城际 DanTu 基站天线角度及切换门限，避免京沪高铁发生错切。

3) 由于在连镇铁路该区域周边有两栋新建高楼，遮挡了 DT-ZJ01A/B 基站信号，导致该区段 DT-ZJ01A/B 基站覆盖陡降，从而错切京沪高铁 ZJN-DYB02 基站造成乒乓切换。调整京沪高铁 ZJN-DYB02 基站的的天线角度及切换参数，使其对连镇铁

路 HengShanXLS 基站覆盖变弱，避免切换异常。

4) 沪宁城际 DanTu 基站 BCCH 频点 1014、TCH 频点 1016 与京沪高铁 ZJN-DYB01A 基站 BCCH 频点 1015 存在邻频关系，京沪高铁、沪宁城际共用基站 DT-ZJ01A 基站 BCCH 频点 1010、DT-ZJ01B 基站 BCCH 频点 1008 与京沪高铁 ZJN-DYB04 基站存在同频关系。通过对枢纽区域既有京沪高铁、沪宁城际共 8 个基站频率进行规划调整，并对 5 个基站频点进行减容，同时关闭既有京沪高铁 ZJN-DYB01B 基站，降低网内干扰，如表 1 所示。

表1 枢纽地区基站频率调整  
Tab.1 Adjustments to the frequencies of the base stations in the hub area

序号	名称	公里标	BSIC	BCCH	TCH1	TCH2	BCCH (原)	TCH1 (原)	TCH2 (原)
1	ZJN-DYB01A	K1092+642	52	1015			1015	1000	
2	ZJN-DYB01B	K1092+642	53	关闭			1002		
3	DT-ZJ01A	K1098+343	53	1000	1012		1008	1012	
4	DT-ZJ01B	K1098+343	54	1002			1010		
5	ZJN-DYB02	K1101+193	54	1005			1003	1005	
6	DT-ZJ02	K230+934	55	1006			1006	1004	
7	DanTu	K224+488	52	1014	1016		1014	1016	1018
8	DY-DT04	K221+734	51	1007			1001	1007	

### 3.3 枢纽地区覆盖优化效果

枢纽地区覆盖优化完成后，京沪高铁、沪宁城际、连镇铁路在镇江枢纽地区经综合检测车测试各场景切换及覆盖均正常，满足相关指标，如图 6 ~ 8 所示。

## 4 总结

由于枢纽区域网络环境复杂，受频率资源和站点分布的影响，可能存在基站位置不在本线路、建筑物遮挡等原因造成覆盖无法满足的情况，在网络

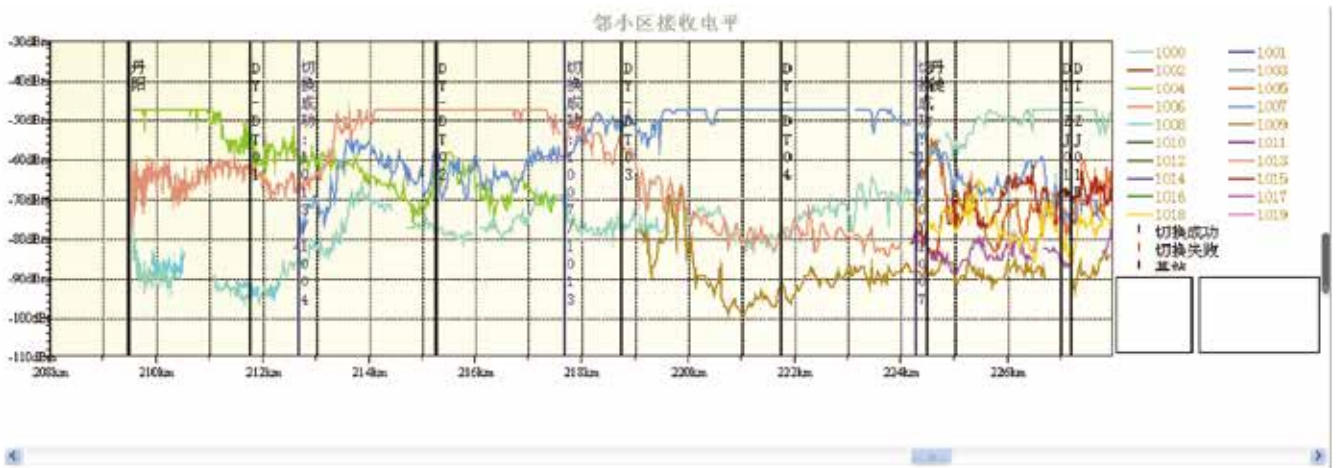


图6 沪宁城际测试  
Fig.6 Test results of the Shanghai-Nanjing Intercity Railway



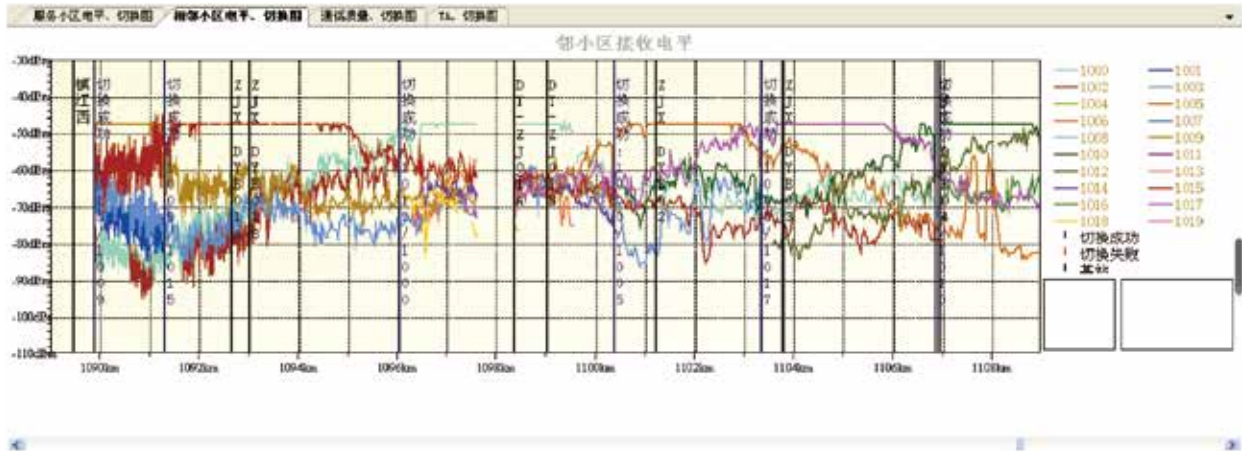


图7 京沪高铁测试

Fig.7 Test results of the Beijing-Shanghai High-speed Railway

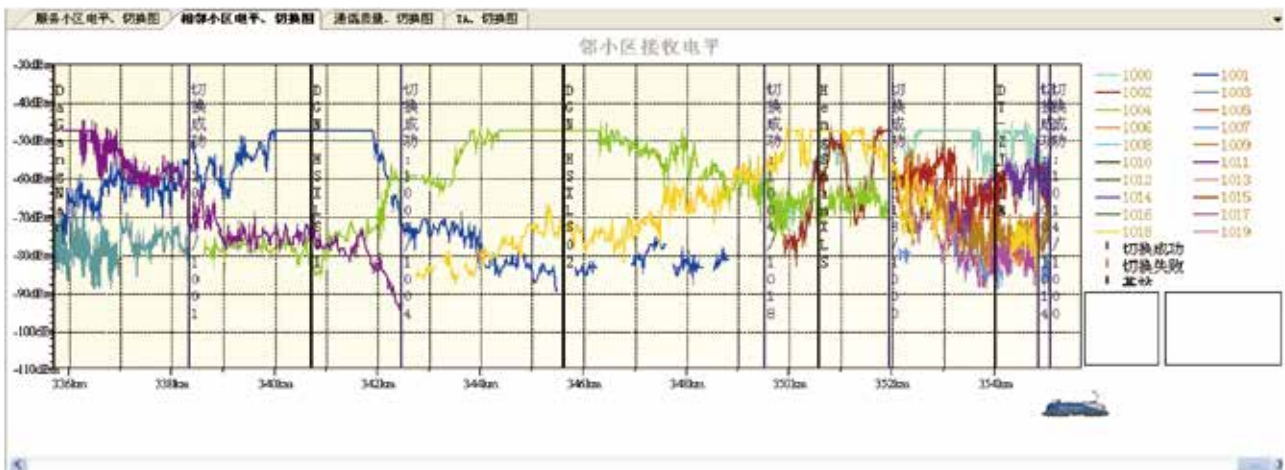


图8 连镇高铁测试

Fig.8 Test results of the Lianyungang-Zhenjiang High-speed Railway

规划阶段应充分考虑并合理规划站点分布。需要说明的是，由于本文中提及的建筑物是在网络规划后新建的，在铁路联调联试阶段发现其影响了连镇铁路的切换，还可以通过相应的网络优化方案解决。若该建筑物在连镇铁路运营后建造，势必会影响连镇铁路 GSM-R 覆盖，且涉及到其他 2 条运营线路，再想通过网优手段解决将及其困难。因此在网络规划阶段应避免基站位置不在本线路的情况，必要时需增设分布式基站或直放站等方案进一步优化。

#### 参考文献

[1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 设计规范: TB 10088-2015 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.

[2] 中华人民共和国铁道部. CTCS-3 级列控系统 GSM-R 网络需求规范: 科技运 [2008]168 号 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2008.

[3] 张健, 余长义, 王伟力. 合杭高铁与既有线并线区段 GSM-R 系统方案设计与优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 47-53, 87. Zhang Jian, Yu Changyi, Wang Weili. Solution Design and Optimization of GSM-R System for Shared Section of Hefei-Hangzhou High-Speed Railway and Existing Line [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 47-53, 87.

[4] 葛伟涛. 南通枢纽 GSM-R 覆盖方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 54-58.

(下转 72 页)

# 基于AIOps的铁路机房运维管理系统研究

袁振江

(北京国铁华晨通信科技有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 传统电源及机房环境监控系统设计思想以监测为主, 旨在发现设备故障, 指导运维人员进行故障抢修, 存在管理分散、管理水平不高、数据可视化程度低等缺点。提出基于AIOps的铁路机房运维管理系统研究, 通过对机房内环境和各类设备的远程监控, 运用大数据技术、关联告警分析技术、可视化技术等, 充分挖掘系统运行过程中积累的海量历史数据, 实现对机房运行状况的预警, 提前发现设备运行隐患, 提高机房安全保障水平。

**关键词:** 自动化运维; 关联告警; 电源及环境监控

中图分类号: U285.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0052-04

## Research on Operation and Maintenance System for Railway Equipment Rooms Based on AIOps

Yuan Zhenjiang

(Beijing Guotie Huachen Communication & Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** The traditional design idea of power and environment monitoring systems for equipment rooms focuses on monitoring, which aims at finding equipment faults and helping the maintenance professionals with the repairing. However, there are some disadvantages to these traditional systems, such as decentralized management, a low level of maintenance management and a low level of data visualization. In order to find out the potential failures and to make railway equipment rooms safer, this paper proposes the research on an operation and maintenance management system based on AIOps for the equipment rooms of railways. This new method realizes the early warning of the status of the equipment rooms by the remote monitoring of the environment and various devices in these rooms, and by fully mining the massive amount of historical data collected during the operation of the system, utilizing big data, alarm correlation analysis and visualization.

**Keywords:** AIOps; alarm correlation; power and environment monitoring

收稿日期: 2022-08-01; 修回日期: 2023-03-19

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司揭榜挂帅重点课题项目(N2021S004-B); 通号通信信息集团有限公司科研项目(4560-K1200006.01)

作者简介: 袁振江(1981—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信信息, 邮箱: yzj2009@126.com。

随着智能运维技术的发展, 自动化运维(AIOps)开始在大中型数据中心的监控管理领域崭露头角。为提高铁路通信信息机房运维管理水平, 提前发现设备运行隐患, 本文提出基于AIOps的铁路机房运维管理系统研究, 通过采集机房内环境监测



传感器和各类被监控设备的实时性能数据和告警数据,结合系统运行过程中积累的海量历史数据,利用大数据分析、数据可视化等技术,实现对铁路通信信息机房整体运行状况的实时监控,通过关联告警分析技术对存在隐患的机房及监控对象进行告警聚合。

## 1 AI Ops技术简介

AI Ops 是结合大数据、人工智能或机器学习功能的软件技术<sup>[1]</sup>,用以增强和部分取代现有 IT 运维流程和事务,包括可用性和性能监控、事件关联和分析、IT 服务管理以及运维自动化。AI Ops 具备跨平台的多数据源接入能力和多种大数据分析技术的融合能力,其技术热度指数在 2021 年中国 ICT 市场技术成熟度曲线报告中处于领先地位<sup>[2]</sup>。

传统的被动运维模式存在诸多痛点,如告警不及时、重复性告警多等问题。AI Ops 技术体系中的大数据技术及人工智能技术在海量运维数据的深度挖掘利用方面具备先天的优势,能够自动发现问题、准确定位问题。不仅可以提高一线运维效率,还能为维管单位节约运维成本,具备效率和效益的同步提高能力。

## 2 铁路机房监控系统现状

随着中国高速铁路的迅速发展,铁路通信网络规模不断扩大,通信机房数量剧增。为确保通信机房内设备可靠运行,每处机房均安装电源及环境监控设备,通过远程网管实现无人机房设备实时监控<sup>[3]</sup>,可以实时掌握机房电源设备、门禁设备、空调设备、环境传感器等的运行状态,完成对通信信息机房的集中化管理。

传统的机房监控系统功能以监测为主,重在发现设备故障,指导运维人员进行故障抢修。在近年来的企业数字化运维转型浪潮中,上述运维模式的弊端和局限性已逐渐凸显。

### 1) 智能运维水平不高

由于缺少数据共享机制,系统不具备机房内不同设备之间告警及业务数据关联分析能力,监控系统

产生的不同告警消息之间的归因分析需要由有经验的运维人员完成,故障分析频次高,故障处理周期长。

### 2) 可视化水平不高

传统的机房监控系统以目录树为核心,并辅以实时数据表、实时告警表、历史告警表、资产台账表等,完成业务系统的基本功能展示。系统对 3D、地理信息系统(GIS)、仪表盘、热力图等技术的应用不多,人机交互模式仍停留在较为初级的阶段,运维管理不够直观。

## 3 基于AI Ops的铁路机房运维管理系统研究

### 3.1 设计思想

本文论述的机房监控系统采用 AI Ops 体系,借助大数据技术、关联告警分析技术、数据可视化技术等,实现铁路机房运行状态的实时监控、告警数据自主分析、关联告警自动聚合、业务数据可视化呈现等功能,形成具备自主学习和科学决策能力的智能化运维管理系统,提高系统运用水平,提升用户运维质量。

### 3.2 关键技术

#### 1) 大数据技术

本文设计采用基于 Hadoop 的大数据技术实现海量监控数据的分布式采集、数据加工、分布式存储、大数据分析和应用服务等问题。Hadoop 是一款开源的分布式存储框架,在分布式集群部署中,可实现海量数据存储,具有高容错性、海量存储、流式数据访问等优点<sup>[4]</sup>。

AI Ops 体系大数据架构如图 1 所示。

系统数据类型包括流式数据源、静态数据源和 API 数据源 3 种。为实现多源数据采集需求,系统内置数据采集器,完成对上述 3 种业务数据的整合,并提供采集插件,在满足常规数据采集需求的同时,支持对第三方 SDK 数据接入。系统设计采用自定义数据采集架构,根据数据体量分布式部署数据采集器,对数据处理任务进行分解,实现并行多任务采集,提高数据处理效率及准确性。

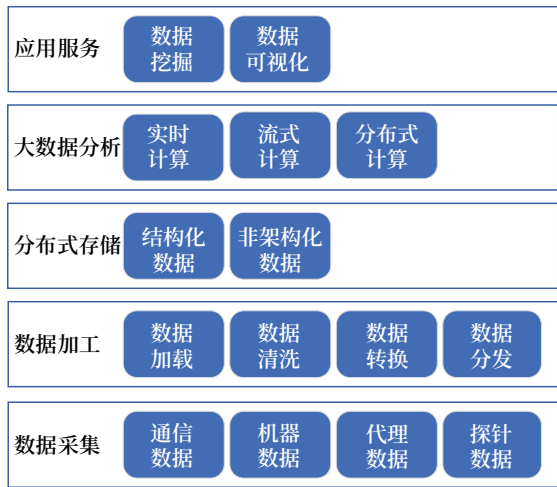


图1 AIOps体系大数据架构  
Fig.1 Big data architecture of AIOps

在对拉林铁路机房监控业务数据进行结构化设计中，系统采用数据汇聚、数据仓库建设、标签体系建设和应用数据建设4个步骤。面向机房监控数据组织和管理机制，通过数据汇聚建立基础性能数据、实时告警数据、历史变化数据等根源数据库。在此基础上按照性能域、告警域和历史共享域等对数据进行组织，建立机房监控信息资源目录体系，形成面向机房设备、机房环境、外部互联系统等统一的数据仓库。并通过业务需求分析和设计，围绕性能数据、当前告警数据、历史告警数据这3类对象，建立对象标签，形成设备、数据、告警和终端用户等关系矩阵。

系统数据采集层设计采用A接口协议采集拉林铁路沿线机房的智能设备实时数据，通过在林芝通信车间的监控中心服务器和沿线监测单元部署代理服务、数据探针等方式，完成对监测中心服务器、现场监测单元等设备自身工作状态的监测，对于机房环境则通过部署不同的环境探测器完成状态采集。监测单元完成数据采集层初始数据的预处理，经数据加载、数据清洗、数据转换后的业务数据被分发至监控中心分布式存储模块和大数据分析模块。大数据分析模块通过对标准的机房监控基础数据进行分析，对设备运行状况及运行质量进行评估，实现海量数据的处理，及时准确发现设备故障并进行告警预警。

## 2) 关联告警分析

拉林铁路通信机械室除基站主设备外，还建设了电源电池设备、环境调节设备、消防设备、外电监测设备、智能防雷设备等，部分机房还建设了节能通风设备、固定油机等<sup>[5]</sup>。按照传统的标准化字典表，拉林铁路机房监控系统的监测对象共包括11大类118种告警信息，上述告警信息按照重要性又被划分为一般、重要、紧急3个告警等级<sup>[6]</sup>。以传统的电源及机房环境监控系统网管告警情况为例，如果一个网管中心放置两套机房监控系统，平均1 min 30 s会有一条告警发生<sup>[7]</sup>，维护人员工作量非常大。

本文通过对拉林铁路机房监控系统所采集的设备间告警关系的分析获得设备故障关联关系，并利用上述关系，结合实时监测的业务数据和关联告警分析算法，识别并发告警中的重复告警，减少维护人员的处理工作量。

如图2所示，本系统设备关联告警分析采用基础数据层、数据存储层、算法模型层和功能实现层4层架构，各层之间通过内部接口互联。数据清洗和装载实现从原始告警数据到数据存储层的转换。通过为告警数据建立相应关联告警分析模型，实现从数据到模型的抽象，并在功能层提供告警数据的查询、分析和预警方法，可帮助运营人员提高设备维护的便捷性。

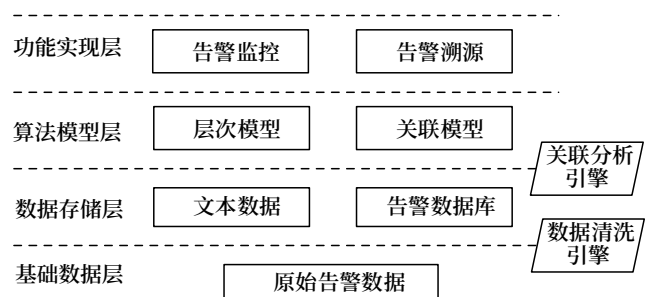


图2 设备关联告警分析设计  
Fig.2 Design of alarm correlation analysis of equipment

关联告警分析算法核心采用贝叶斯模型，并初始设定各关联规则之间具有独立性。设 $p_{i,j}$ 表示由设备 $i$ 告警引起设备 $j$ 告警产生的概率( $i, j$ 为设备编

号), 则设备  $j$  告警的概率为  $P_j = \sum p_{i,j} \cdot p_{i0}$ 。该算法由分析模块相关程序实现, 并在现有数据集上通过外部专家系统对机房监控系统的最佳参数进行校准。

关联告警分析算法用于发现相互独立告警之间具有的关联性属性, 在系统中主要关注时间纬度上的关系, 通过给定筛选的支持度和置信度指标, 挖掘出所有满足要求的对象。该算法用于发现在时间流数据里由时间先后相关性决定的告警链关系, 可通过分析告警集合构建出级联模式树。

以机房市电断电事件为例, 断电事件发生后, 传统的电源及机房环境监控系统会上报“交流输入停电”“输入市电缺相”“交流输入故障”“交流输入频率故障”“整流模块前端交流停电”等 10 余条告警, 本系统在对多元告警信息进行聚合收敛后, 仅向用户发出“市电停电”一条告警消息。

### 3) 数据可视化技术

HTML5 作为 Web 前端开发的新标准超文本标记语言, 为开放 Web 平台及跨平台的 Web 应用提供了强有力的技术支持<sup>[8]</sup>。本文采用基于数据驱动完成页面渲染的 HTML5 技术来实现数据可视化功能, 后端服务的 Web Service 向客户端传输轻量级的数据封装格式 json, 客户端浏览器接收到数据后, 通过 HTML5 提供的绘图技术渲染出相应的图形, 并根据需求提供功能组件的交互、展示与实时渲染。

在具体实现过程中, 数据可视化对象负责接收后端 Web Service 数据以完成目标视图在浏览器的渲染。数据可视化对象按照功能分为静态模块和功能组件模块, 前者使用 Canvas 进行位图渲染, 在浏览器第一次初始化时完成, 不再接收数据更新; 功能组件模块使用 SVG 矢量图进行渲染, 由后台数据驱动完成数据展示和交互等动作, 充分发挥 SVG 矢量图易于扩展和交互方便的优点。

## 4 结束语

在智能运维技术快速发展的今天, 通过人工分析问题的运维方式已经很难适应业务发展需求, 海量监控数据对使用传统机房监控系统的运维人员构成极大的挑战。本文针对铁路通信电源及机房环境

监控系统运用现状, 结合 AIOps 技术在 IT 系统运维数字化转型中的发展, 提出基于 AIOps 技术的铁路机房运维管理系统, 并于 2021 年在新建拉林铁路项目投入使用。系统监控中心部署在林芝通信车间, 监控站共 112 处, 分别部署在拉林铁路沿线各通信机械室、信号机械室、联合机械室、公安派出所等机房。本系统实现了拉林铁路机房监控的告警聚合化、运维智能化和数据可视化, 解决了传统机房运维工作中无效告警多、故障处置慢和数据查找难等问题, 为提高拉林铁路机房监控运用质量提供有力保障, 具有较好的经济和社会效益。

### 参考文献

- [1] Gartner. Market Guide for AIOps Platforms[R]. USA: Gartner Group, 2016: 3.
- [2] Gartner. Hype Cycle for ICT in China, 2021[R]. USA: Gartner Group, 2021: 17.
- [3] 马乐君. 铁路电源及环境监控系统集中化管理研究与应用 [J]. 上海铁道科技, 2018 (1): 32-33.  
Ma Lejun. Research and Application of Centralized Management of Railway Power Supply and Environmental Monitoring System[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2018(1): 32-33.
- [4] 许松. 基于 Hadoop 的公共交通大数据平台设计开发与应用 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2021.
- [5] 倪昀炜. 大数据时代动环集中运维管理浅析 [J]. 信息技术, 2015, 39 (11): 144-146, 151.  
Ni Yunwei. Analysis of Power and Environment Centralized Monitoring in the Big Data Era[J]. Information Technology, 2015, 39(11): 144-146, 151.
- [6] 中国铁路总公司. 铁路通信电源及机房环境监控系统技术条件: Q/CR 10-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [7] 姜秋妍. 电源及机房环境监控系统运行维护建议 [J]. 铁路技术创新, 2014 (1): 50-56.  
Jiang Qiuyan. Suggestions on Operation and Maintenance of Power Supply and Computer Room

(下转 67页)

# 区域轨道交通协同运输与服务系统 接口技术研究

秦 宁<sup>1</sup>, 谢和欢<sup>2</sup>

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100081;

2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 介绍协同运输与服务系统的概念、组成和作用及其在重庆轨道交通基地的示范应用。重点介绍系统对外接口的种类、作用及相应的数据采集和数据处理技术等。按该研究方法构建的接口服务器在重庆轨道交通基地成功和既有城轨运营系统完成对接, 成为重庆城轨协同运输与服务系统的重要组成部分。协同运输与服务系统示范工程在重庆轨道交通基地落地实施, 帮助提升了重庆地区城轨的总体运能、安全保障以及服务水平, 为区域轨道交通多制式协同技术发展提供借鉴。

**关键词:** 协同运输与服务系统; 接口; 工程示范

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0056-07

## Research on External Interface Technology of Regional Rail Transit Collaborative Transportation and Service System

Qin Ning<sup>1</sup>, Xie Hehuan<sup>2</sup>

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

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

**Abstract:** This paper introduces the concept, composition and functions of a collaborative transportation and service system and its demonstration application in a rail transit base in Chongqing. This paper focuses on the types and functions of the external interfaces of the system and the corresponding data acquisition and data processing technology. The interface server constructed according to the method described in this paper has been successfully connected with the existing urban rail operation system in the rail transit base, and has become an important part of the urban rail collaborative transportation and service system of Chongqing. The implementation of the

收稿日期: 2022-03-09; 修回日期: 2023-03-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (U1834209)

发明专利: 2020 年国家发明专利 (CN202010409902.6)

第一作者: 秦宁 (1980—), 男, 副研究员, 本科, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: qning1980@sina.com.



demonstration project of this collaborative system can improve the overall transport capacity, safety guarantee and service level of urban rail in Chongqing, and provide a reference for the development of multi-standard collaborative technology of regional rail transit.

**Keywords:** collaborative transportation and service system; interface; engineering demonstration

近年来，城市化进程加快，一线城市规模不断扩大，新一线城市快速崛起，加快城际快速交通体系建设，完善城市内部交通运输系统，成为轨道交通高质量发展的重要方向。在这种需求下，铁路和城市轨道交通迎来快速发展，逐步形成了多层次、多主体轨道交通网络一体化运营的良好态势。但也要看到，国内交通跨主体、跨线路的网络化水平还不高，各种运输方式缺乏有效衔接，各制式间缺乏实际意义上的协同运营，不同轨道交通方式的组合效益无法充分显现，不能充分发挥对城市群空间布局优化和功能拓展的引导作用。面对国家交通强国战略的要求和城市群及都市圈的发展对高水平轨道交通的需要，构建区域内多种轨道交通制式综合立体交通网络，充分发挥轨道交通总体运输能力并提高服务质量，满足区域经济发展和人民出行需要成为迫切需要面对的问题。一方面需要仔细研究轨道交通建设如何纳入综合运输体系建设及城市运输枢纽布局，另一方面需要深入探讨各制式交通如何有效衔接以发挥协同效应，提升综合运输效率、提高安全保障，实现创新发展。

## 1 区域轨道交通协同运输与服务系统简介

为解决上述问题，实现各种交通运输模式无缝衔接与融合发展，区域轨道交通协同运输与服务系统（简称系统）应运而生，它是面向城市群/都市圈范围内干线铁路、城际铁路、市域（郊）铁路与城市轨道交通组成的多制式轨道交通网络，用于综合保障区域轨道交通运营安全，提高总体运能及效率，提升服务质量的成套设备。系统基于系统论与协同论，融合大数据、人工智能等先进信息技术，突破单制式独立运营现状，为区域多制式管理机构与单制式运营企业提供轨道交通协同运输组织调度、全方位综合安全保障与全出行链智能信息服务解决

方案。

系统包含协同运输指挥系统、安全综合保障系统、智慧出行服务系统、协同运输与服务信息平台及多制式轨道交通仿真系统共计5个子系统以及相应的对外接口服务器。

## 2 重庆轨道交通协同运输与服务应用示范

区域轨道交通协同运输与服务系统在完成研发和实验室测试后，在重庆市城轨协同调度与应急指挥中心的建设中进行示范验证。结果表明系统实现了以重庆城轨为中心，协同本地区其他制式轨道交通共同提供运输服务的目标，提升了重庆交通网的总体供给能力。

指挥中心包含协同运输指挥子系统、综合安全保障子系统、智能信息服务子系统，并部署了满足信息集中、综合感知、协同联动要求的通信网络，在童家院子ACC清分中心部署了相关客票数据接入设备，在重庆北站南广场站部署了相关感知接入设备以及乘客智能信息服务设备。通过虚实结合的方式，接入了重庆地铁4、5、10号线和环线，以及单轨3号线、国铁成渝客专和市域江跳线等7条多制式线路。重庆城轨示范系统设备系统结构如图1所示。

## 3 系统对外接口

协同运输子系统基于一体化平台，分为中心服务器和应用终端两个层级。中心设备需要通过各个接口采集线路、客流等数据信息，这些数据是进行出行需求分析预测、有效承载力计算、运能匹配、运输计划“一张图”生成以及协同优化和列车运行图应急智能联动调整决策的基础和依据。

### 3.1 系统网络结构

系统在通信传输骨干网中，协同运输计划数据、安全保障设备设施状态数据、智能旅客信息服务数

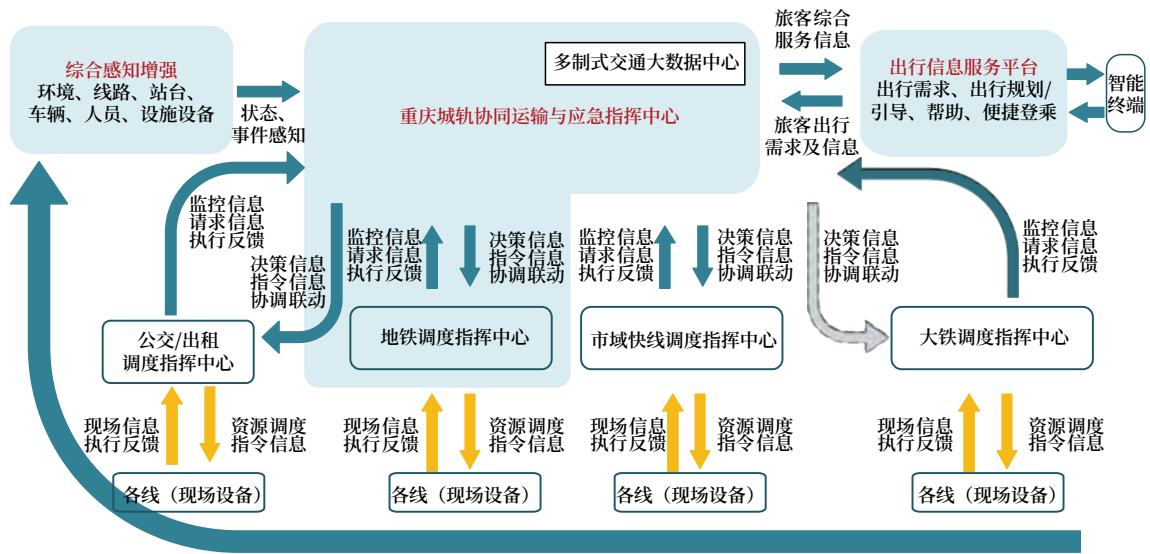


图1 重庆城轨示范系统结构  
Fig.1 Structure of Chongqing urban rail demonstration system

据信息，利用既有 10 号线通信专业传输通道大竹林控制中心以及重庆北站南广场示范枢纽车站连接组网，AFC 客票数据利用既有上层传输通道大竹林控制中心以及童家院子 ACC 中心连接组网，如图 2

所示。

系统既存在与既有轨道交通系统的接口，也与重庆其他制式轨道交通存在衔接，以采集与本系统运行密切相关的运行信息，共同服务于区域交通。

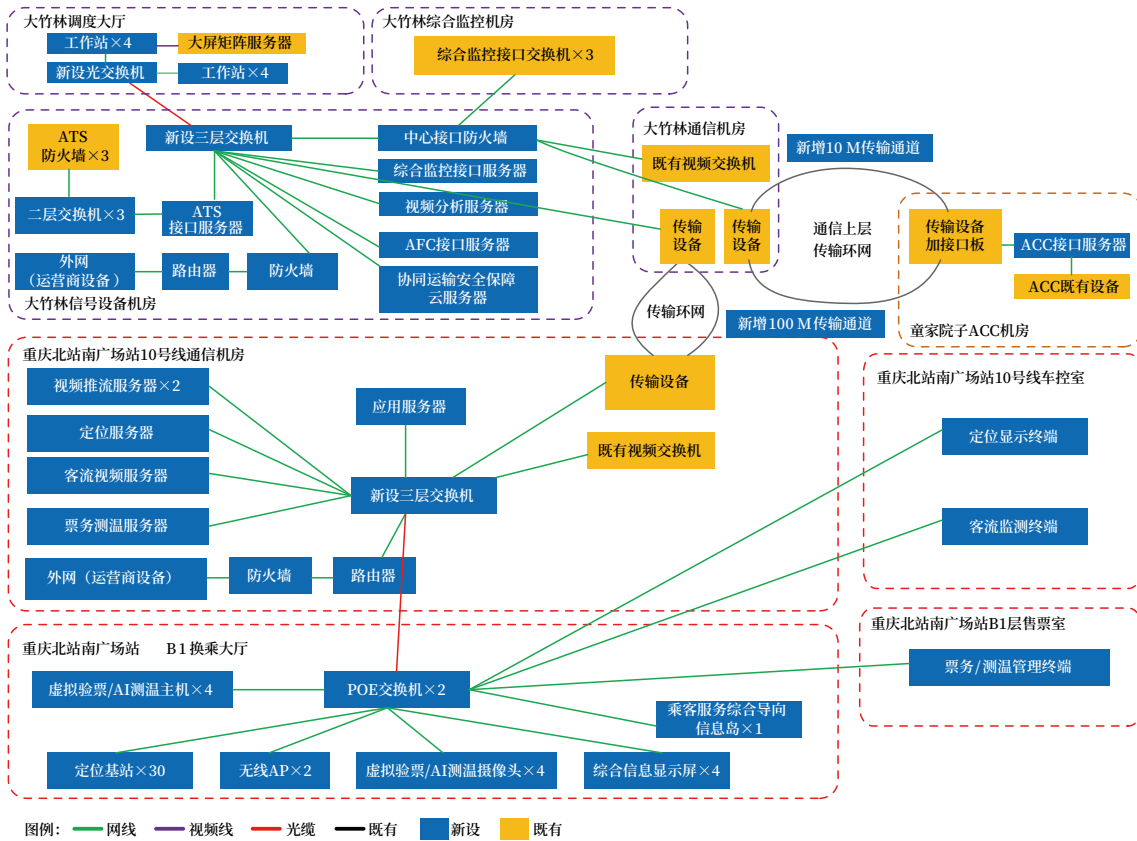


图2 重庆城轨协同运输与服务系统组网  
Fig.2 Network diagram of Chongqing urban rail collaborative transportation and service system

主要接口如图 3 所示。

### 3.2 与ATS的接口

列车自动监控系统 (Automatic Train Supervision, ATS) 的主要作用是对城轨系统中

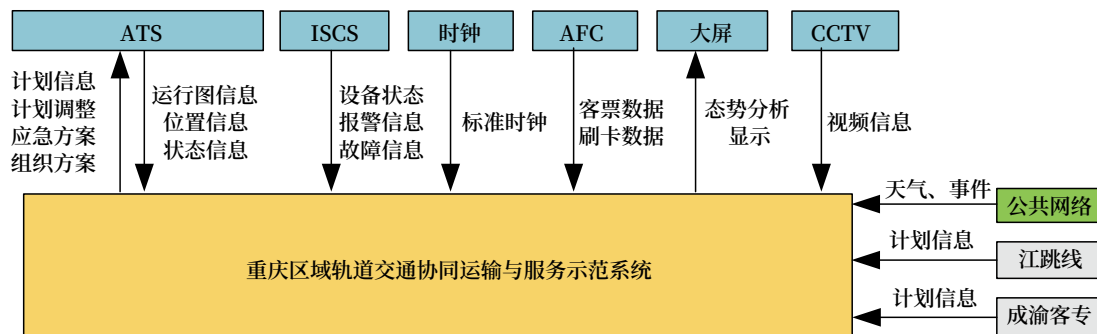


图3 重庆城轨协同运输与服务系统接口示意

Fig.3 Interface diagram of Chongqing urban rail collaborative transportation and service system

列车的运行进行监督，并且配合行调人员对整条线路的列车进行自动化管理，在保障列车运行安全的前提下尽可能提高运输效率。主要功能包括：自动生成运行图，以计划图为依据自动办理进路，根据计划图与实际运行的偏差自动调整列车运行间隔时间，并且能在自动控制和人工干预之间做出转换，自动记录列车历史运行和操作记录等。

全局调度系统用于实现网络化运营下全线网的列车运营监督、调度、协调、应急指挥等功能。它和各线路的ATS存在接口。一方面用于从ATS接收线路设备状态信息、列车报点信息、列车信息、告警信息、运营计划图等消息；另一方面用于向ATS发送调度命令、调整运行计划等控制命令。全局调度系统接口和ATS系统接口通信时，全局调度系统和ATS系统之间的数据交换通过基于TCP/IP协议来进行。ATS系统接口为服务端，全局调度系统接口为客户端。数据分为实时信息和非实时信息，采用不同的端口来传输。

由于既有的全局调度系统和ATS接口消息已经包含系统所需要的信息（线路运营计划图和列车报点信息等），示范工程为了尽可能减少系统对既有系统带来的改动和影响，采用交换机端口镜像技术来获取系统需要从ATS系统获得的信息。

#### 1) 端口镜像基本原理

端口镜像是指通过配置交换机或者路由器，将

经过指定端口（源端口）的数据报文复制一份到另一个指定端口（目标端口）上，这样连接在目标端口上的监控设备就可以完整获取经过源端口的数据报文，如图4所示。其中被复制的端口称为镜像源端口，复制的端口称为镜像目的端口（观察端口），通过观察端口可以看到镜像源端口的流量。端口镜像不影响原有网络，应用起来方便快捷，且采集的是实时数据流，真实可靠。

这样，通过配置ATS与全局调度系统通信的交换机，再将系统接口服务器的网卡通过网线与观察端口连接，接口服务器就可以获取ATS与全局调度系统之间的全部通信原始数据包，可以从中提取系统所需要的信息包。

#### 2) 信息解析原理

接口服务器通过端口镜像获取的链路层数据包是一个个符合DIX Ethernet V2标准的以太帧，一个以太帧包括6 Byte的目的地址、6 Byte的源地址、2 Byte的以太帧类型、46~1500 Byte的数据以及4 Byte的帧序列检测值，如图5所示。其中，数据内容为包含其他协议报头的数据包，接口服务器所需要的信息就包含在里面。

当系统（例如ATS和全局调度系统）通过TCP协议传输应用数据的时候，数据被送入TCP/IP协议栈中，然后逐个通过传输层、网络层、数据链路层，直到最后由物理层将数据帧转换成比特流，

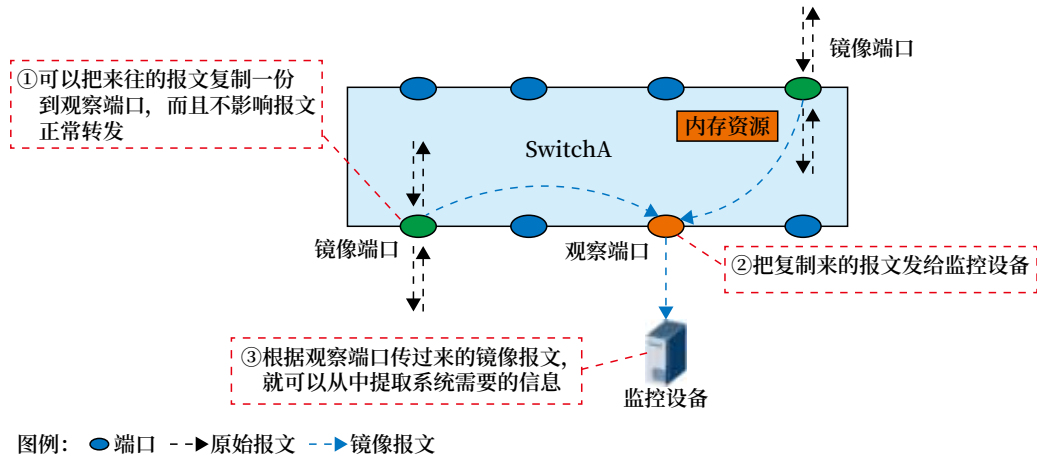


图4 交换机端口镜像原理示意  
Fig.4 Schematic diagram of switch port mirroring

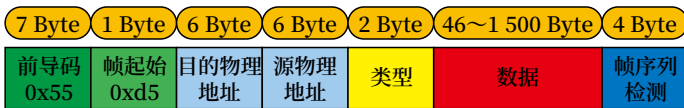


图5 以太帧数据结构  
Fig.5 Ethernet frame data structure

送入网络。而在这个过程中，每一层都会对上层要发送的数据包添加一些首部信息以进行本层数据封装处理，最后在数据链路层形成以太帧。整个过程如图 6 所示。

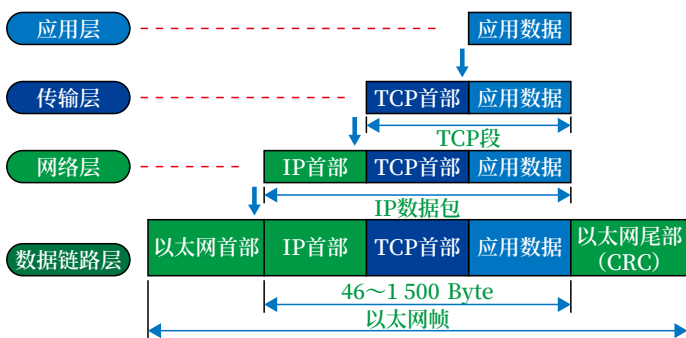


图6 应用数据传输封装过程示意  
Fig.6 Schematic diagram of application data transmission packing process

接口服务器采集到以太帧后，首先根据帧类型判断该帧是否携带 IP 协议包。如果是，则从中取出 IP 数据包，然后根据 IP 包首部的源地址和目的地址确定该 IP 包是否为 ATS 和全局调度系统之间的通信数据包，如果不是就丢弃，如果是就进行下一步处理。IP 数据包去除 IP 首部后得到 TCP 数据包。可以根据 TCP 包中的端口号来区分本通信数

据包是实时信息还是非实时信息，TCP 数据包去除 TCP 首部后得到应用数据信息包，被分别送到实时信息队列和非实时信息队列，待进一步进行应用数据处理。

### 3) 应用数据处理

ATS 和全局调度系统之间的应用信息帧由固定长度的信息头和信息正文组成，从信息头可以判定该信息属于哪条线路，并判断信息类型，从而可以把协同运输与服务系统需要的列车报点信息和列车运行图信息识别出来，进行进一步处理。列车报点信息包括车次号、车组号、到达（或出发或通过）的站台编码和时间等字段。运行图信息包括各趟列车的车次号、列车经过的各个站台编号、到站时间、离站时间等字段。接口服务器提取这些信息后，按照一定格式发送给系统服务器进行线路车流分析。

### 3.3 与ACC的接口

自动售检票系统 (AFC) 是实现轨道交通售票、检票、计费、收费、统计、清分、管理等全过程的自动化系统。轨道交通清分系统 (ACC) 作为 AFC 系统最上层管理中心，主要负责城轨车票的发行与管理，以及票务数据的收集和分析，是票务结算处理中心。

通过 ACC 可以获得各线路各车站的实际客流，实现轨道交通线网客流实时状态监测，并在此基础



上开展城轨路网实时客流态势分析与预测。根据历史 AFC 数据及历史客票数据实现客流短期预测与回溯, 结合点-线-网的资源情况和状态进行承载能力评估, 可以对城轨线网的运能进行匹配, 依托列车运行图编图系统对全网运输计划进行一体化编制, 并以无缝换乘为目标进一步协同优化, 为城轨线网实际运营提供基本列车运行图图库。

服务系统接口服务器与 ACC 系统之间通过 TCP/IP 协议交换数据, 接口服务器为服务端, ACC 为客户端。数据帧为两者进行应用数据交互的最小信息单位。应用数据应封装在数据帧中, 单个数据帧携带最多 2 048 个字节长的应用数据。超长信息可以拆分成至多 32 个数据帧。数据帧由帧头、总帧数、当前帧号、数据域长度、数据域、帧尾组成, 如表 1 所示。

表1 数据帧格式  
Tab.1 Data frame format

序号	消息组成	字节	内容说明
1	帧头	2	帧头, 两个 Byte, 固定为 0EFH, 0EFH
2	总帧数	1	数值
3	当前帧号	1	从 1 开始编号
4	数据域长度	2	值为 $n$ , 表示数据域的长度, 两个字节, 低字节在前, 高字节在后
5	数据域	$N$	表示发送的应用数据, 长度最长为 2 048 Byte
6	帧尾	2	帧尾, 两个 Byte, 固定为 0FDH, 0FDH

系统与 ACC 系统之间的应用信息分为心跳信息、请求信息、刷卡记录信息和确认信息, 每类信息都有自己特定的格式定义。其中, 心跳信息用于保持双方的连接。请求信息用于系统向 ACC 系统请求发送指定时间后的刷卡记录信息。刷卡记录信息则包括票卡号、票卡种类、交易时间、交易车站编码、交易设备等基础信息。ACC 向接口服务器实时发送各线路各站的刷卡信息, 接口服务器收到信息后会回馈确认信息并按照约定格式发送给系统服务器进行线路客流分析。超时未回馈的信息 ACC 会重发。

信息必须封装在信息帧里然后由数据帧携带。信息帧由长度、时间、类型、版本号、信息正文组

成, 如表 2 所示。

表2 信息帧格式  
Tab.2 Information frame format

序号	消息组成	字节	内容说明
1	长度	2	不包括长度本身, $\leq 65\ 533$
2	时间	7	年: 2 Byte 月日时分秒各 1 Byte
3	预留	20	填 0
4	类型	1	用于区分信息包的类型
5	版本号	1	本协议为 0x01
6	信息正文		$N$

### 3.4 与ISCS的接口

城轨综合监控系统 (ISCS) 是覆盖全线运营工点 (控制中心、车站、车辆基地) 的大型分层分布式的系统, 主要实现固定机电设备监控、远程调度及各专业的协调调度功能, 实现线路运营实时信息共享, 从而实现系统间的高效联动机制, 提高城市轨道交通运营服务质量和服务水平。

系统接口服务器与 ISCS 之间接口协议采用 TCP/IP Modbus 协议。也就是说物理层采用以太网, 传输层和网络层采用 TCP/IP 协议, 而应用层则采用总线通信协议 Modbus, 它定义了控制器能够认识和使用的消息结构。

Modbus 协议是一个主从架构的协议, 有一个节点是主节点, 其他使用 Modbus 协议参与通信的节点是从节点。每一个从设备都有一个唯一的地址。基本的 Modbus 请求能指令一个远程终端改变它的寄存器的某个值, 控制或者读取一个 I/O 端口, 以及指挥设备回送一个或者多个其寄存器中的数据。一个 Modbus 请求包含打算执行的设备的 Modbus 地址。所有设备都会收到请求, 但只有指定位置的设备会响应或执行该请求。所有的 Modbus 请求都包含了检查码, 以确定到达的请求没有被破坏。TCP/IP 上的 Modbus 的请求 / 响应数据单元结构如图 7 所示。

在 TCP/IP 上使用一种专用报文头识别 Modbus 应用数据单元。将这种报文头称为 MBAP 报文头 (Modbus 协议报文头)。MBAP 报文头包

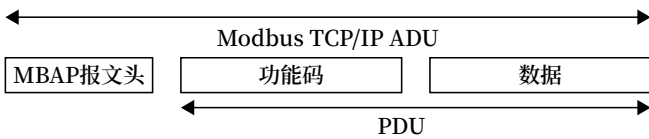


图7 TCP/IP网络上的Modbus应用数据单元

Fig.7 Schematic diagram of Modbus application data unit on TCP/IP network

括事务元标识符、协议标识符、长度域以及单元标识符共 7 个 Byte。Modbus 的功能码分为读取线圈状态（取得一组逻辑线圈的当前状态）、读取输入状态（取得一组开关输入的当前状态）、读取保持寄存器（在一个或多个保持寄存器中取得当前的二进制值）、读取输入寄存器（在一个或多个输入寄存器中取得当前的二进制值）等。接口服务器通过 Modbus 提供的功能码获取想要监测的设备状态或数值。

每个运行周期，接口服务器向 ISCS 服务器发送获取命令，获取所需机电设备的各种状态或数值信息。ISCS 服务器根据接口服务器的数据请求，向接口服务器发送相应设备的状态信息。接口服务器在获取所需的监测点相关信息后，系统按特定格式定期发送。系统收到信息后将刷新设备状态显示并对故障设备报警，然后根据值班人员要求启动相关应急处理流程。

#### 4 结束语

协同运输与服务系统是帮助提高区域轨道交通总体运能及效率，完善区域轨道交通安全保障机制，提升区域运输服务质量的核心系统，而接口服务器又是该系统的关键设备之一。按照本文所述方法构建的接口服务器已经开发完成，并在重庆轨道交通基地成功和既有城轨运营系统对接，为协同运输与服务系统的顺利运作提供了数据支撑。以协同运输与服务系统为依托的重庆城轨协同调度与应急指挥中心的建设，提升了重庆区域城轨的总体运能与综合安全保障等级，为旅客出行全过程提供了便捷高质量服务。总体上，协同运输与服务系统为支撑构

建安全、高效、经济、绿色、便捷的多制式协同运输轨道交通体系奠定了基础，有助于提升综合交通运输发展水平，将为国家“交通强国”战略发挥积极作用。

#### 参考文献

- [1] 付保明, 梁君, 张宁, 等. 基于智慧客服的城市轨道交通乘客服务体系 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (11): 76-81.  
Fu Baoming, Liang Jun, Zhang Ning, et al. Passenger Service System Based on Intelligent Customer Service for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 76-81.
- [2] 吴楠. 跨区域城市轨道交通建设与运营实践 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [3] 张泉艳, 刘建强, 周勇. 城市轨道交通规划设计与建设管理 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2021.
- [4] 温慧敏. 城市交通大脑——未来城市智慧交通体系 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2021.
- [5] 郭戈, 岳伟. 智能交通系统中的车辆协作控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [6] 大卫·博伊斯. 城市出行预测学历史现状与未来 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [7] 公安部交通管理科学研究所. 城市道路交通组织精细化典型案例汇编 (第二辑) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2022.
- [8] 交通运输部推进交通强国建设领导小组. 交通强国建设专项研究成果汇编 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [9] 彭中阳, 王国钰. 大交通时代: 行业数字化转型之道 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2022.
- [10] 魏中华, 张伟, 邱实. 综合交通枢纽一体化设计理论与实践 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.012

# 全自动限速运行模式方案研究

常 峰

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:** 列车在全自动运行驾驶模式下会出现丢失定位的故障情况, 需快速获取定位或者运行至就近站台区域。结合列车在正线区间、折返轨、车辆段运行等场景, 对全自动限速运行模式的申请流程、移动授权距离、场景处置等进行全面分析研究, 并提出解决方案。

**关键词:** 全自动运行系统; 信号系统; 限速运行; 移动授权

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0063-05

## Research on Fully Automatic Speed-restriction Operation Mode

Chang Feng

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In view of the fault that a train loses positioning in the fully automatic operation mode, it is necessary to quickly regain the positioning or operate the train to the nearest platform area. In this paper, the application process, movement authority distance and the handling of scenarios in the fully automatic speed-restriction operation mode (FRM) are comprehensively analyzed and studied, and the solutions are put forward. The following scenarios are discussed: operation in a section on a main line, the turning back of a train, and train movements in a depot, etc.

**Keywords:** fully automatic operation system; signal system; speed-restriction operation; movement authority

城市轨道交通的发展, 越来越多的城市建设采用全自动运行系统, 实现多系统联动、高度自动化、远程控制等一系列新功能<sup>[1-2]</sup>。

在全自动驾驶模式下, 当列车出现定位丢失, 无法以全自动驾驶模式继续运行<sup>[3]</sup>。在这种故障场景下, 如何让列车快速重新获得定位或者运行至站台区域后人工处理故障, 已成为采用全自动运行系统地铁信号系统亟待解决的难题。

本文将在此种故障场景下远程应用模式称为全自动限速运行模式 (FRM), 其含义是: 全自动驾驶模式下, 列车定位丢失, 无法以全自动运行模式 (FAM) / 蠕动模式 (CAM) 继续运行, 行调确认远程操作后列车以限速继续运行一定距离, 使列车再次获得 FAM/CAM 模式运行条件或使列车能够运行至就近站台区域的一种模式<sup>[4-5]</sup>。

### 1 FRM模式申请流程

若车载设备失去定位, 或者由于重启丢失定位, 且在全自动运行模式选择 (FAM 模式开关位

收稿日期: 2022-03-29; 修回日期: 2023-04-05

作者简介: 常峰 (1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 交通信息工程及控制, 邮箱: 123cf88@163.com。

于 FAM 位，当前车载信号为主控端，司机钥匙未激活）下，向区域控制器（ZC）注册成功后，进入 FRM 模式选择，并向 ATS 申请进入 FRM 模式。ATS 二次确认后，进入 FRM 模式。具体流程如下。

1) 车载设备判断满足申请进入 FRM 条件后（车载 ATO 可用、接口状态正常等），向 ATS 发送进入 FRM 请求；

2) 行调确定申请授权列车前方进路已经开放；

3) ATS 触发远程列车 FRM 模式授权二次确认，列车自动切换到 FRM 模式；

4) ZC 判断 FRM 申请列车所在区域和前方授权区域进路已开放、无人员防护开关（SPKS）激活、无允许无人驾驶，发送 FRM 移动授权给列车；

5) 车载设备收到 ATS 的 FRM 发车指令后控制列车发车，累计运行距离不超过 ZC 的授权距离；

6) 列车运行至移动授权终点停稳后，若列车未升级到 FAM/CAM 模式，车载设备再次向 ZC 申请 FRM 移动授权，车载设备收到 FRM 移动授权和 ATS 的发车指令后，继续控制列车运行；

7) 系统连续最多支持 5 次（可配置）FRM 授权，并在最大运行次数范围内到达最近站台区域；

8) 车载设备周期报告列车累计运行距离给 ZC 和 ATS，ZC 和 ATS 对列车累计运行距离进行监督。

FRM 模式申请流程如图 1 所示。

## 2 移动授权计算

### 2.1 定位获取

车载控制器在丢失定位（含重启）后，ZC 根据计轴占用计算列车位置，其车长为整个区段，或车头为前车（通信车）车尾，且根据计轴占用 / 出清情况进行延伸 / 回撤<sup>[6]</sup>。

ZC 收到车载设备进入 FRM 模式消息后，周期性向车载控制器发送列车位置信息。

车载设备在信标定位之前，一直使用 ZC 给的定位信息。

### 2.2 移动授权计算

ZC 在 FRM 列车前方至少一个区段空闲且进路

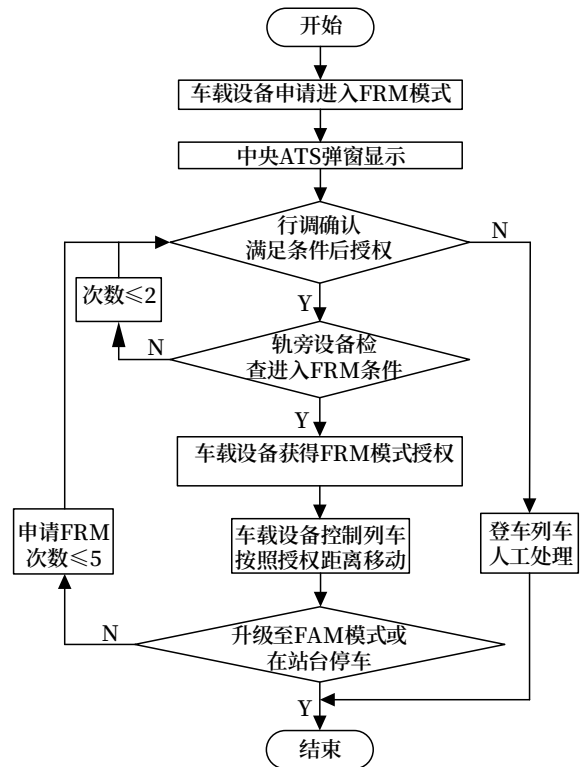


图1 申请进入FRM  
Fig.1 Application to start FRM

开放后才给出移动授权，且列车可移动距离为空闲区段起点至前车（CBTC）车尾的距离。后车追踪 FRM 列车也需要空闲一个区段。

ZC 对于 FRM 模式的列车前方信号机模式按照点式的方式进行管理<sup>[7]</sup>。所以 ZC 给 FRM 模式移动授权与 CBTC 移动授权不同。FRM 模式移动授权如下。

1) 移动距离：最大长度为全线相邻 2 个应答器最大距离（L），若进路条件（线路条件）不满足，则按照列车当前所在区段前方若干个空闲区段长度计算；

2) 运行方向：ZC 授权列车运行方向（上行或下行）；

3) 道岔状态：ZC 授权范围内道岔状态，包括列车所在区段道岔状态；

4) 限速：25 km/h（可配置）。

## 3 场景分析

### 3.1 区间运行

追踪列车 M2 失去定位后停在岔区 ST7（有岔



区段 7), 头部筛选未丢失, 待前行列车 M1 离开站台 1 后, 行调触发 M2 的 FRM 模式授权, 授权完成后车载设备由 FAM/CAM 模式切换到 FRM 模式<sup>[8]</sup>。

ZC 根据前方区段  $T1$  (无岔区段 1)、 $T3$ 、 $T5$  空闲锁闭情况授权 M2 上行方向运行距离  $L$  ( $L < T1 + T3 + T5$ ), 累计运行距离不超过  $L$ , 并周期报告运行距离给 ZC 和 ATS。若在此过程中重新获取定位, 将定位后的信息发送到 ZC 和 ATS, 收到 ZC 的 CBTC 移动授权后升级到 FAM/CAM 继续运行。列车区间运行场景如图 2 所示。

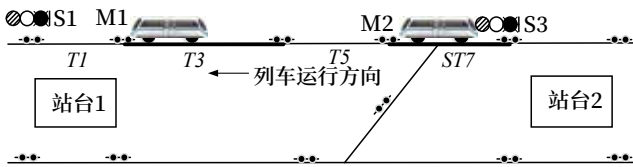


图2 列车区间运行场景  
Fig.7 Scenarios of trains running in sections

### 3.2 列车紧追踪运行

前后列车紧追踪场景下, 后车 M2 失位后完全或部分进入前车 M1 所在的区域  $T3$ 。若 M1 能够快速离开  $T3$  区域和站台区域  $T1$ , M2 列车头部筛选能够保持, 即两车空间上间隔一个空闲物理区段, 处理方式同上述区间运行场景; 若 M1 车未出清  $T3$ , 此时无法授权 M2 进 FRM 模式。列车紧追踪运行场景如图 3 所示。

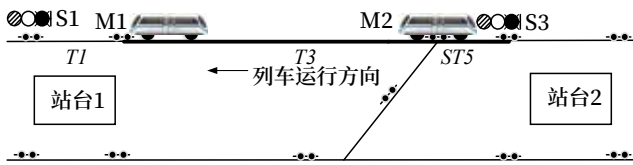


图3 列车紧追踪运行场景  
Fig.3 Scenarios of train closely following operation

### 3.3 列车即将进站

列车 M1 失位后停在  $ST6$ , 位于站台 2 的进站口, 列车头部筛选未丢失。

列车获得 FRM 授权后, 若 X2 出站进路未开放, ZC 授权 M1 下行方向运行距离  $S = T8$  ( $T8 < L$ )。

若 X2 出站进路已经开放, ZC 授权 M1 下行方向运行距离  $L$  (出站进路空闲区段长度 +  $T8 > L$ ),

列车进站过程中升级 FAM/CAM, 并控制列车在站台 2 停车。列车即将进站运行场景如图 4 所示。

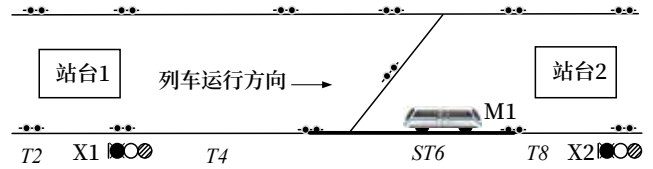


图4 列车即将进站运行场景  
Fig.4 Scenario where the train is about to enter the station

### 3.4 部分列车已进站

列车 M1 失位后跨压在区段  $ST6$  和  $T8$  上, 列车已经部分进入站台区域, 列车头部筛选未丢失。

列车获得 FRM 授权后, 若 X2 出站进路未开放, ZC 授权移动距离为 0。

若 X2 出站进路已经开放, ZC 授权 M1 下行方向运行距离  $L$  ( $L <$  出站进路空闲区段)。

为防止由于其他故障, 列车进站过程无法升级 FAM/CAM 越过站台 2, 建议这种情况下登车人工驾驶。部分列车已进站场景如图 5 所示。

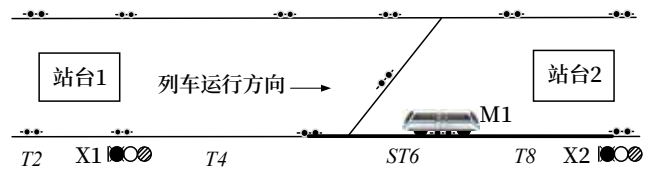


图5 部分列车已进站场景  
Fig.5 Scenarios of some trains entering the station

### 3.5 列车折返

#### 1) 列车折入

若 M1 在终点站折入的时候失位, 列车停在岔区  $ST4$ , 列车头部筛选未丢失。行调触发 M1 的 FRM 模式授权, 授权完成后车载由 FAM/CAM 模式切换到 FRM 模式。ZC 授权 M1 上行方向运行距离  $S = T6$ 。控车端车载设备完成定位后, 接收到 CBTC 移动授权后列车由 FRM 升级到 FAM 模式。

若 M1 在终点站折入的时候失位, 列车停车后跨压在  $ST4$  和  $T6$  区段上, 列车头部筛选未丢失, 此时列车离车档太近, ZC 无法给出 FRM 移动授权, 需要登车人工驾驶。列车折入场景如图 6 所示。

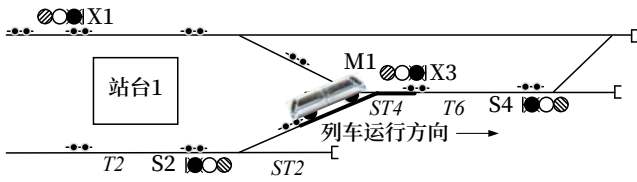


图6 列车折入场景

Fig.6 Scenarios of trains entering the turn back area

## 2) 列车折出

M1 在终点站折出时失位，列车停在岔区  $ST_4$ ，列车头部筛选未丢失。

行调触发 MA 的 FRM 模式授权，授权完成后车载由 FAM/CAM 模式切换到 FRM 模式。

若 X1 出站进路未开放，ZC 授权 M1 下行方向移动距离  $S = ST_3 + T_1$  ( $L < S$ )。

若 X1 出站进路开放，ZC 授权 M1 下行方向移动距离  $L$  ( $L < \text{出站进路空闲区段长度}$ )。

车载设备完成定位后发送定位信息给 ZC 和 ATS，收到 CBTC 移动授权后升级到 FAM/CAM 继续运行。列车折出场景如图 7 所示。

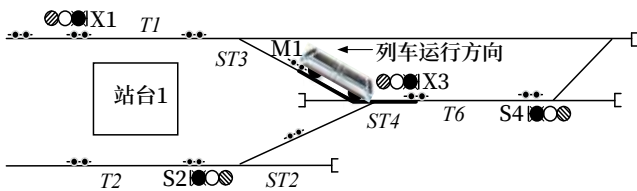


图7 列车折出场景

Fig.7 Scenarios of trains exiting the turn back area

## 3.6 车辆段运行

M2 计划进  $IAG$  停车，在  $ST_3$  失位，列车停在  $ST_3$  岔区，列车头部筛选未丢失。1BG 轨停有一辆休眠列车、CBTC 列车或非 CBTC 列车。

行调触发 M2 的 FRM 模式授权，授权完成后车载设备由 FAM/CAM 模式切换到 FRM 模式。

ZC 授权 M2 列车下行移动距离  $S = ST_1 + IAG$  ( $L < S$ )，若  $L > S$ ，则每次授权距离为  $L$ ，直到达到系统最大授权次数  $N$ 。列车库内限速运行，ZC 授权最高运行速度不能超过车辆段最大允许速度。车辆段内运行场景一如图 8 所示。若 1BG 无车占用，M2 准备进 1BG，在  $ST_3$  岔区失位，列车停在  $ST_3$  岔区，列车头部筛选未丢失。

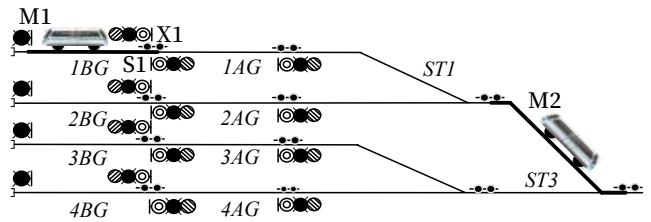


图8 车辆段内运行场景一

Fig.8 Scenario 1 of train operation in the depot

行调确认 X1 进路已开放，触发 M2 的 FRM 模式授权，授权完成后车载设备由 FAM/CAM 模式切换到 FRM 模式。ZC 授权 M2 列车下行移动距离  $L$ 。列车进入  $IAG$  建立定位后发送定位信息给 ZC 和 ATS，收到 CBTC 移动授权后升级到 FAM/CAM 继续运行，运行至 1BG 轨停车。

若 M2 准备进  $IAG$ ，在  $ST_1$  岔区失位，列车停车后跨压在区段  $ST_1$  和  $IAG$  上。ZC 无法给出 FRM 移动授权，需要登车人工驾驶，按照库内限速运行。车辆段内运行场景二如图 9 所示。

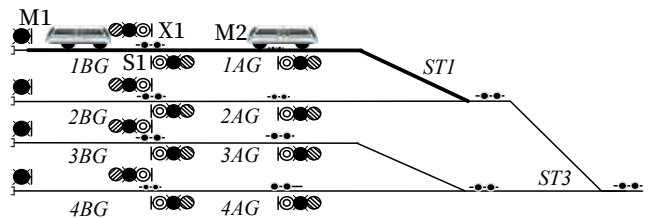


图9 车辆段内运行场景二

Fig.9 Scenario 2 of train operation in the depot

## 4 结语

采用全自动运行系统的列车丢失定位后，列车无法获取准确的位置信息，影响行车密度和安全，运营服务质量降低。本文在基于此种故障场景下提出的 FRM 模式解决方案，能够实现快速、安全的驾驶模式来继续限速运行，直至重新获取定位或者运行至就近站台区域，为全自动运行系统列车的高效运营和故障处理提供有力的保障。

### 参考文献

- [1] 朱翔, 陈丽君. 地铁全自动运行系统运营场景的几点探讨 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24

- (10): 228-232.
- Zhu Xiang, Chen Lijun. Research of Operation Scenarios for Metro Fully Automatic Operation System[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(10): 228-232.
- [2] 景元广, 时序松, 宋明厚, 等. 基于目标和场景的全自动运行系统需求分析 [J]. 计算机与网络, 2021, 47 (18): 64-68.
- Jing Yuanguang, Shi Xusong, Song Minghou, et al. Research on Requirement Analysis Method of Fully Automatic Operation System Based on Target and Scenarios[J]. Computer & Network, 2021, 47(18): 64-68.
- [3] 温朋哲, 徐道亮, 高士杰, 等. 城市轨道交通全自动运营场景及功能需求分析 [J]. 机车电传动, 2020 (3): 132-136.
- Wen Pengzhe, Xu Daoliang, Gao Shijie, et al. Analysis on Full Automatic Operation Scenes and Related Functional Requirements of Urban Railway Transport[J]. Electric Drive for Locomotives, 2020(3): 132-136.
- [4] 张辉, 肖孟, 孙晓光. 基于列车全自动驾驶下的联动预案研究与设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (5): 63-66.
- Zhang Hui, Xiao Meng, Sun Xiaoguang. Research and Design of Coordinated Operation Plans Based on Fully Automatic Operation System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(5): 63-66.
- [5] 公吉鹏. 全自动运行系统中信号系统新增配置和功能 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (3): 76-78.
- Gong Jipeng. New Configuration and Functions of Signalling System in Fully Automatic Operation System[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(3): 76-78.
- [6] 赵鹏, 耿鹏. CBTC系统中列车占用位置判断方法 [J]. 都市轨道交通, 2021, 34 (6): 144-148, 154.
- Zhao Peng, Geng Peng. Train Position Estimation in CBTC System[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(6): 144-148, 154.
- [7] 余伟雄. 城市轨道交通信号系统点式后备模式设计简析 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (7): 86-89.
- Yu Weixiong. Brief Introduction to Intermittent Fallback Mode of Signaling System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(7): 86-89.
- [8] 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.

\*\*\*\*\*

(上接 55页)

- Environment Monitoring System[J]. Railway Technical Innovation, 2014(1): 50-56.
- [8] 黄术, 田文军, 杨建楠. 基于 HTML5 的油田地质图形数据可视化方法研究 [J]. 信息系统工程, 2020 (10): 12-16.
- Huang Shu, Tian Wenjun, Yang Jiannan. Research on Visualization Method of Oilfield Geological Graphic Data Based on HTML5[J]. China CIO News, 2020(10): 12-16.

# 基于互联互通的呼和浩特地铁信号网络监听方案

吕涛<sup>1</sup>, 苏晓飞<sup>2</sup>

(1. 呼和浩特城市轨道交通投资建设集团有限公司, 呼和浩特 010000;

2. 内蒙古中车长客轨道车辆有限公司, 呼和浩特 010000)

**摘要:** 通过对呼和浩特市互联互通地铁信号网络特点的研究, 阐述网络监听对提升 CBTC 模式信号系统维护力的重要性。通过对 DCS 系统的抓包部署, RSSP-I 协议的监听解析以及真实运营案例的分享, 介绍轨道交通网络监听方案的设计思路和优化方向。

**关键词:** 互联互通; 网络监听; 抓包

中图分类号: U282.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0068-05

## Monitoring Scheme for Hohhot Metro Signal Network Based on Interoperability

Lü Tao<sup>1</sup>, Su Xiaofei<sup>2</sup>

(1. Hohhot Urban Transportation Investment and Construction Group Co., Ltd., Hohhot 010000, China)

(2. Inner Mongolia CRRC Changke Railway Vehicle Co., Ltd., Hohhot 010000, China)

**Abstract:** Through the research on the characteristics of the interoperable metro signal network in Hohhot, this paper expounds on the importance of network monitoring for improving the maintenance of CBTC signal systems. This paper also introduces the design ideas and optimization directions of a network monitoring scheme for rail transit by describing the packet capture tools deployed in the DCS system and the methods for monitoring and analyzing information according to RSSP-I Protocol, and by sharing real operation cases.

**Keywords:** interoperability; network monitoring; packet capture

### 1 概述

地铁信号系统是控制列车运行、守护乘客安全的系统, 作为主流标准的 CBTC 模式, 对信号系

统的网络能力提出了很高的要求。众多信号设备工作于此环境下, 网络的可靠性和易维护性是保证地铁安全稳定运营的前提条件, 其中对网络健康的在线监听和实时追踪是运维环节的重要手段。随着近年来对 CBTC 基础上兴起的互联互通架构的不断推广, 城市地铁在享受跨线调度便利的同时, 也承受着网络环境复杂化的代价, 因此网络监听方案值得

收稿日期: 2022-09-02; 修回日期: 2023-02-18

第一作者: 吕涛 (1985—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 交通管理与控制, 邮箱: 76412627@qq.com。



进一步研究和设计。

## 2 呼和浩特地铁信号系统分析

呼和浩特市目前运营的地铁线路有两条：呼和浩特地铁1号线和呼和浩特地铁2号线，均采用业内先进的互联互通架构基于通信的列车控制（CBTC）模式。其特点是统一各种信号设备的有线通信安全协议为铁路信号安全通信协议I型（RSSP-I）协议，满足城轨互联互通标准的要求，使得两条线路上的车辆可以根据运营需求，灵活组织跨线运行，有效提升两条线路的整体效率。

传统的地铁列车运行控制系统采用基于轨道电路的列车控制（TBTC）模式，车载与轨旁交互的数据量较小，轨旁对车载的控制力较弱。而目前成为主流模式的CBTC，则是把整个轨道交通路网构建在一个大的通信环境下，通过无线信号控制命令实现车-地之间的全双工大容量双向数据交互，能够对列车精确控制以提高行车效率，同时大量减少轨旁设备以节省维护成本。

在城市轨道交通CBTC模式基础上兴起的互联互通架构是指同一城市不同线路设施的相互兼容，采用统一的技术标准和运营组织方式，实现车辆在不同线路之间连续运行，进一步提升地铁综合管理能力。呼和浩特地铁最典型的特点是装备不同信号厂家车载设备的列车可以在装备不同信号厂家轨旁设备的一条线路内或多条线路间无缝互联、安全互通的行进。呼和浩特地铁信号系统架构如图1所示。

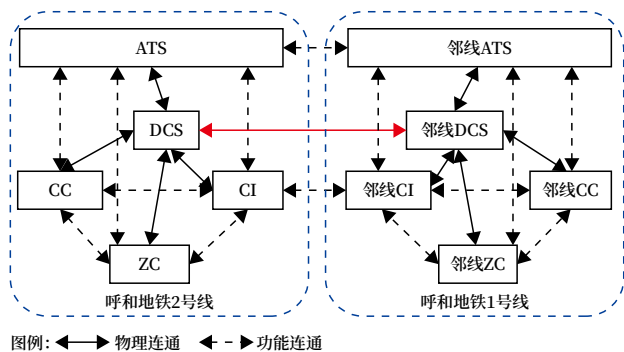


图1 新华广场站互联互通CBTC接口

Fig.1 Interoperable CBTC interface of the Xinhua Square Station

图1以两条线的交汇站新华广场信号区域为例，相对于非互联互通架构的CBTC模式，互联互通下CBTC系统物理接口和功能接口，增加了列车与邻线地面设备间的联系，以及各线路间地面设备间的联系。信号系统网络能力在拓宽的同时，复杂性有所增加，且具有如下特点。

1) 区域控制器（ZC）、车载控制器（CC）、计算机联锁（CI）、列车自动监控（ATS）等安全或非安全设备通过数据通信系统（DCS）交互信息。大量的通信节点存在于同一局域网内，通信数据量大，网络故障频发且多样。

2) 跨线运营使原本独立的线路相互连通，不同线路中的设备故障、节点异常都会使既有的风险范围（如网络风暴等）扩大化。

3) 采用不同厂家的信号设备，可能会使设备间的网络纠纷从一家全权负责变为两家互相推诿，给运营方快速定位问题增加难度。

这些特点都给地铁信号系统的可靠性和可维护性带来了新挑战。由于地铁具有长时段、高强度的安全运行要求，少部分网络问题可以事后慢慢排查，但绝大多数网络故障需要快速解决甚至是在线排除。为了实现精确定位、快速分析，第一时间获取网络环境中各设备之间最原始最全面的通信数据至关重要。

## 3 信号系统网络监听

网络监听是在线网络管理中监测与分析网络节点健康状况的常用手段，合理部署于网络环境中，以不干扰网络工作节点的方式，实时抓取环境中所有的流通数据，暂存于本地供分析人员使用。更智能的监听工具还可以通过初级筛选、远程界面显示的功能提高技术人员定位问题的效率。

以图1为例，节点DCS通过IEEE802.3标准协议和扩展的IEEE802.11无线标准协议为列车自动控制（ATC）各子系统提供通信链路，CC、CI、ATS等实体通过DCS提供的路由进行端到端通信。DCS可以理解为一个单独的数据通信层，对于DCS来说，不关心ATC各子系统的工作逻辑，只提供稳

定可靠的 ATC 报文传输通道。对于像呼和浩特地铁这种互联互通架构来说，DCS 系统还充当着跨线网络间的交互接口。因此在 DCS 上部署网络监听抓包工具最为合适，一是可以利用 DCS 系统网络枢纽的优势，尽可能地抓到所有 ATC 子系统设备的交互数据；二是 DCS 系统本身不执行涉及地铁安全的逻辑，监听行为可最大限度地减小对列车自动控制的安全影响。网络监听部署在 DCS 系统管理的主干网交换机环境下，可以获取尽可能多的网络节点信息。网络中无论传输什么，网络介质中实际流转的都是二进制数据，通过抓包工具抓取原始数据，并按照不同的网络协议进行解析，解析的过程可以是人工翻译，也可以对抓包工具二次开发实现自动翻译。

根据城市轨道交通互联互通系统规范的要求，各信号子系统的通信须采用 RSSP-I 协议，符合 EN50159-1 安全通信标准，实现系统间的互联互通功能。以 CC 与 CI 通信为例，车载设备和联锁设备可以来自同一厂家供应，也可以来自不同厂家，只要双方用 RSSP-I 协议实现接口通信，应用数据就可以顺畅交互，比如厂家 A 的车载从一条线路厂家 B 的联锁管辖区无缝驶入另一条线路厂家 C 的联锁管辖区。虽然 RSSP-I 协议经过多年的发展已经成为中国轨道交通行业的主流，且各厂家都在致力于该协议的开发优化和联调确认，但在地铁正式开通运营后依然存在一些网络问题。具体表现在不同的信号设备运行周期不同，网络的交互频次有别，时序的偏差会带来小概率通信异常；不同厂家的系统冗余方式不同（三取二架构、二乘二取二架构等），单系故障触发的切机机制就会不同，网络的短暂中断和恢复对远端设备的影响也就不同。这些在非正常状态下产生的通信故障都需要当时网络监听抓到的原始数据作为分析问题的素材和处理纠纷的证据。CI 与 CC 之间数据交互示意如图 2 所示。

图 2 简易描述了联锁 CI 与车载 CC 使用 RSSP-I 协议进行的数据交互。通常各信号设备都有维护终端，但各自的维护系统由于性能限制，记录的信息往往是筛选或者加工过的，双方各自负责各自网口内

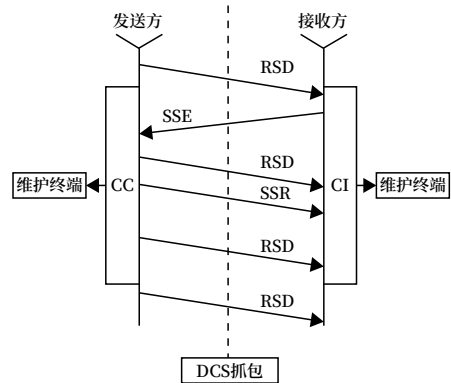


图2 CI与CC之间数据交互示意  
Fig.2 Interaction between data signals of CI and CC

的系统行为，但对于网口外的网络中间地带跟踪力度不够。假定当前 CC 是发送方，CI 是接收方，按照 RSSP-I 协议特点，监听工具至少要关注 3 种类型的消息包：实时安全数据帧（RSD），用于 CC 发送正常的安全应用数据给 CI；时序校正请求帧（SSE），当 CI 接收到的 CC 安全应用数据已超时或者连续不合法，CI 会向 CC 发送重新建立连接请求；时序校正应答帧（SSR），当 CC 收到 CI 发送的 SSE 消息包后做出的应答。一旦 CI 收到 SSR 之后，双方再次建立连接，之后的 RSD 信息恢复有效。

DCS 系统上部署的监听软件可站在第三方角度如实记录全部过程，以备后续分析使用。具体监听部署方案如图 3 所示。

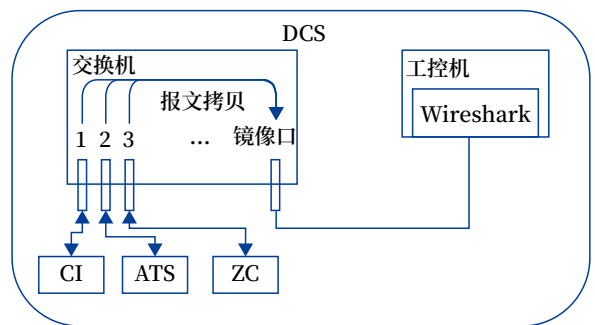


图3 监听部署方案  
Fig.3 Deployment scheme for monitoring

DCS 系统通常会配备工控机开展维护作业，可在工控机上安装监听软件，本方案采用老牌抓包工具 Wireshark 来举例。DCS 主干网上的交换机，作为网络枢纽，各端口与地铁系统中的 CI、ZC、

CC等信号设备相连。由于交换机中转数据包严格按照MAC地址表进行,正常情况下,工控机网线接入交换机无法抓取如CI与CC之间交互的信息,此时需要对工控机接口做交换机镜像设置,镜像端口将会把其他口的信息流拷贝发往工控机,关联工控机网卡的Wireshark软件对信息流进行抓取操作。具备镜像功能的交换机拥有区别于自身CPU的独立交换芯片ASIC,拷贝转发的规则在此芯片中运行,时延低很稳定,且不影响CPU管理其他端口正常收发数据行为。Wireshark软件对抓取数据进行分包管理,可以设置为运行24h一包,工控机本地保存,存储期30天一清除,适用于地铁运营响应强度。

## 4 案例分析

在呼和浩特地铁2号线开通前的动车调试阶段,运维人员发现正线某站信号区间内的车载DMI短暂提示屏蔽门状态未知告警,随即组织排查工作。技术人员调取提前部署于DCS系统工控机中的监听数据,以地铁安全冗余网中的蓝网为例,具体抓包数据分析如下:联锁CI的A机蓝网IP为10.202.146.111,联锁CI的B机蓝网IP为10.202.146.105,车载CC当时的主系蓝网IP为10.202.91.24。监听工具数据包解析如图4所示。

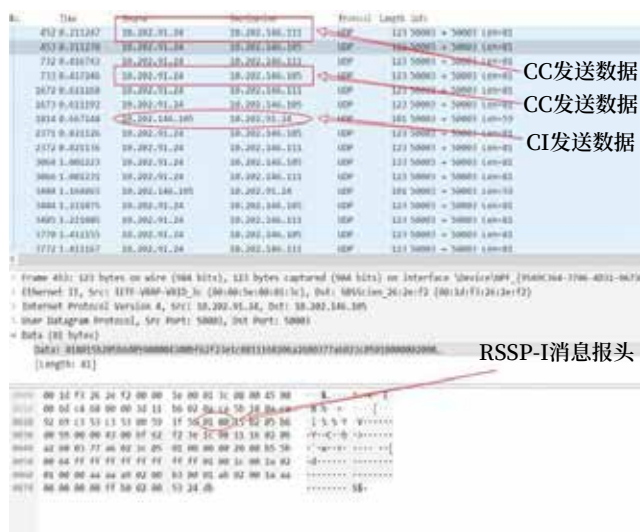


图4 监听工具数据包解析

Fig.4 Analysis of the packets captured by the monitoring tools

图4中车载CC给联锁CI的A/B机正常发送RSD消息包,但联锁CI只有B机正常回复CC信息,A机不做应答。后查看冗余网抓包数据,现象一致。由于故障时联锁A机为主系,根据RSSP-I协议要求,作为备系的联锁B机发送的数据不被车载CC作为安全码位使用,所以导致列车行驶入该站联锁管辖区时,短暂出现收不到屏蔽门状态的问题。通过抓包数据分析,快速定位到故障点在联锁CI的A机对外通信板上。

## 5 结束语

为适应城市发展,轨道交通越来越智能,路网结构越来越复杂。不论是集成商还是运营方都应该以第三者独立仲裁的姿态去冷静快速地处理网络故障纠纷,其中合理的网络监听布局和数据跟踪优化,都会带来事半功倍的效果。

### 参考文献

- [1] 张国慧. 轨道交通不同制式信号系统的兼容性及其互联互通[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 39-44.  
Zhang Guohui. Compatibility and Interoperation between Different Formats of Rail Transit Signaling System[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 39-44.
- [2] 龚仁树. 基于CBTC的DCS通信系统介绍与网络风暴成因及其处理方式[J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12(6): 69-74.  
Gong Renshu. Introduction of CBTC-Based DCS System and Causes of Network Storm and Troubleshooting[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2015, 12(6): 69-74.
- [3] 黄鲁江, 雷烨, 成毅. Wireshark协议解析在网络故障排查中的应用[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(10): 52-55.  
Huang Lujiang, Lei Ye, Cheng Yi. Application of Wireshark Protocol Dissectors in Network Troubleshooting[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(10): 52-55.

- [4] 郝晓平. 针对国产加密技术的信号系统网络数据包解密方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 88-91.  
Hao Xiaoping. A Method of Decrypting Network Packet in Encrypted Signaling System Targeting Domestic Cryptographic Technology[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 88-91.
- [5] 段碁, 孙章, 徐金祥. 基于无线通信的列车控制技术与互联互通 [J]. 城市轨道交通研究, 2004, 7(1): 10-12.  
Duan Qi, Sun Zhang, Xu Jinxiang. Inter-Operability on Radio CBTC Technology[J]. Urban Mass Transit, 2004, 7(1): 10-12.
- [6] 朱翔. 实现基于通信的列车控制互联互通的若干思考 [J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9(9): 6-8.  
Zhu Xiang. How to Put the CBTC Interoperability System into Practice[J]. Urban Mass Transit, 2006, 9(9): 6-8.
- [7] 柴涌, 汪小勇, 查伟, 等. 应用在国产密码加密的信号系统中解析网络捕包的方法: CN111064575A [P]. 2020-04-24.
- [8] 曹然. 地铁信号系统设计验证的研究和应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 86-89.  
Cao Ran. Application of Design Verification of Signal System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 86-89.

\*\*\*\*\*

(上接 51 页)

- Ge Weitao. Research on GSM-R Coverage Scheme of Nantong Hub[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 54-58.
- [5] 胡田立. GSM-R 网络质差优化分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(11): 71-75.  
Hu Tianli. GSM-R Network Quality Optimization Analysis[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(11): 71-75.
- [6] 赵春和. 复杂地理条件下普铁、高铁并行区段 GSM-R 系统无线覆盖分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(4): 49-52.  
Zhao Chunhe. Analysis of GSM-R System Wireless Coverage in PGE and HSR Parallel Section under Complex Geographic Conditions[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(4): 49-52.
- [7] 刘顺. 高速铁路 GSM-R 干扰问题分析及对策 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(8): 47-51.  
Liu Shun. Analysis and Countermeasure of GSM-R Interference in High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(8): 47-51.
- [8] 吴浠桥, 向志华, 梁莹. 大型铁路枢纽 GSM-R 系统规划的探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(3): 33-36, 58.  
Wu Xiqiao, Xiang Zhihua, Liang Ying. GSM-R System Planning for Large-Scale Railway Junction Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(3): 33-36, 58.



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.014

# CBTC系统点式模式下临时限速方案分析

吴金元<sup>1</sup>, 王 菁<sup>2</sup>

(1. 浙江海宁轨道交通运营管理有限公司, 浙江海宁 314400;

2. 浙江省轨道交通运营集团有限公司, 杭州 310000)

**摘要:** 为提升列车在基于通信的列车控制系统点式模式下通过临时限速区段的安全和效率, 首先对点式模式下传统临时限速实现方式存在的问题做分析。然后以杭州至海宁城际铁路(以下简称杭海线)CBTC系统点式模式下临时限速方案为例, 提出计算机联锁档位的(共三档: 25 km/h、40 km/h、60 km/h)临时限速方案, 并对该临时限速方案涉及的信号系统各子系统功能分配和接口协议变化进行阐述。该方案将临时限速信息的传递、确认、执行、反馈由人控转变为机控, 在实际运营生产中取得良好的应用效果。

**关键词:** 信号系统; 计算机联锁系统; 点式模式; 临时限速

中图分类号: U239.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0073-04

## Research on Temporary Speed-restriction Scheme of CBTC System of in Intermittent Mode

Wu Jinyuan<sup>1</sup>, Wang Jing<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Haining Rail Transit Operation Management Co., Ltd., Haining 314400, China)

(2. Zhejiang Rail Transit Operation Management Group Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** This paper aims at improving the safety and efficiency of a train passing through a Temporary Speed Restriction (TSR) section in the intermittent mode of a signal system. Firstly, the problems existing in traditional TSR in such intermittent mode are analyzed. Then, taking the TSR scheme for the CBTC system in the intermittent mode of the Hangzhou-Haining Intercity Railway as an example, this paper puts forward a scheme of CI TSR levels (with three levels: 25 km/h, 40 km/h and 60 km/h), and expounds on the function distribution and the changes in the interface protocols of each subsystem of the signal system involved in the proposed scheme. This new scheme changes the transmission, confirmation, implementation and feedback of TSR information from manual control to machine control, and has achieved good results when applied to actual operation and production.

**Keywords:** signal system; computer interlocking system; intermittent mode; temporary speed restriction

收稿日期: 2022-04-24; 修回日期: 2023-02-20

第一作者: 吴金元(1987—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 城市轨道交通信号, 邮箱: wu791825428@126.com.

城市轨道交通在运营过程中, 会发生隧道沉降、区间积水、运营线路附近存在外部作业、天气极端恶劣等情况, 需对列车运行速度进行临时性限制,

结合调度与司机操作的安全性、便捷性要求，信号系统临时限速功能显得尤为重要。目前 CBTC 模式下主要采用由列车自动监控 (ATS) 设定，区域控制器 (ZC) 负责分发到车载控制器 (CC)，CC 执行的一套成熟化的临时限速方案<sup>[1-7]</sup>。但点式模式下，大多数地铁线路还停留在关闭信号的临时限速方案上，易造成列车晚点，严重影响行车效率，降低运营服务质量。现就杭州至海宁城际铁路（简称杭海线）信号系统在点式模式下的临时限速提出优化方案。

## 1 传统点式模式下临时限速实现方式

行车调度员通过 ATS 调度工作站或车站行车值班员通过 ATS 现地控制工作站或综合后备盘 (IBP) 设置临时限速，临时限速范围通过输入临时限速起始和终止公里标或选择计轴区段实现。设置临时限速时，若临时限速范围所在进路信号已开放，则临时限速设置成功后信号关闭；若临时限速范围所在进路信号未开放，则临时限速设置成功后信号无法开放。列车在设有临时限速所在进路的每架禁止信号机前停车后，司机须与行车调度员通信，从而获知通过前方区段的临时限速信息，待行车调度员与司机确认完临时限速信息后，在 ATS 调度工作站上对禁止信号机设置引导信号。传统点式模式下临时限速功能如图 1 所示。

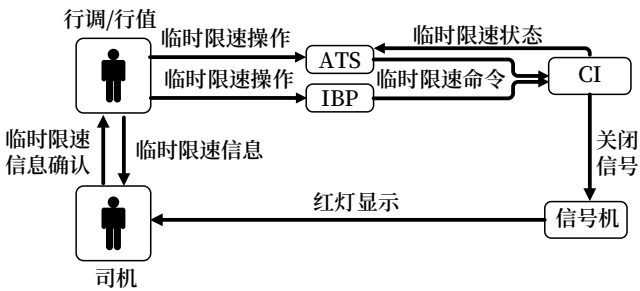


图1 传统点式模式下临时限速功能示意  
Fig.1 Schematic diagram of TSR function in traditional intermittent mode

上述方案中，计算机联锁 (CI) 未发送临时限速信息至 CC，而是在信号开放条件中检查临时限速信息，关闭信号。后续点式列车只能通过人工办理引导信号的方式以限制人工 (RM) 模式或切除信号模式通过已设置临时限速区域的进路，故存在

以下两方面问题。

1) 每列通过临时限速区域的列车均需人工办理引导进路，大大增加人力的投入。同时，临时限速信息由行车调度员告知司机，司机确认后执行，存在信息传递错误或限速执行错误等安全隐患。

2) 由于点式模式下列车无法实时获取临时限速值信息，只能以 RM 模式或切除信号模式通过引导进路的方式低速行车，严重降低行车效率，尤其是站间距大于 3 km 的线路，极易造成列车晚点，影响运营服务质量。

## 2 杭海线点式模式下临时限速方案

杭海线点式模式下临时限速功能如图 2 所示。

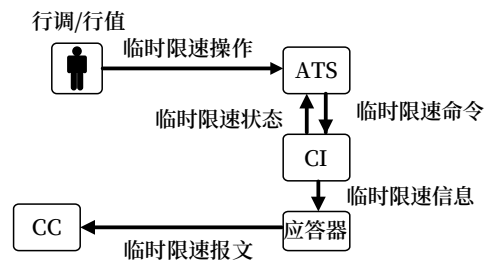


图2 杭州至海宁城际铁路点式模式下临时限速功能示意  
Fig.2 Schematic diagram of TSR function in the intermittent mode of the Hangzhou-Haining Intercity Railway

### 2.1 临时限速设置

行车调度员通过 ATS 调度工作站以逻辑区段或公里标设置临时限速，ATS 系统按 5 km/h 一档提供临时限速设置菜单。系统根据行车调度员选择的临时限速值，向下自动匹配推荐的 CI 临时限速档位（共 3 档：25 km/h、40 km/h、60 km/h）。临时限速设置命令分验证命令和执行命令两种，当 ATS 向 CI 下发验证命令后，仅当收到 CI 回复的验证成功，经调度人员校验后方可下发执行命令。ATS 下发临时限速时，以临时限速区段为单位向 CI 下发。临时限速区段在无岔物理区段内，按逻辑区段划分，在道岔物理区段内，按三段式轨道区段划分。

CI 临时限速设置过程中及设置成功后，CI 向 ATS 反馈临时限速状态，ATS 在人机界面上提供临时限速显示。当进路内设有多个档位不同的临时限速时，CI 选取进路内区段已设置的最低临时限速值

作为进路临时限速值，将临时限速包加入进路对应的有源应答器中，再发送至 CC，但向 ATS 反馈的临时限速区段状态仍为各区段的临时限速值。

调度人员通过 ATS 向 CI 和 ZC 同时设置临时限速时，由于 CI 临时限速共 3 档（25 km/h、40 km/h、60 km/h），ZC 临时限速按 5 km/h 一档划分，故同一逻辑区段上的 CI 临时限速和 ZC 临时限速可能不一致。CC 在计算最限制速度曲线时，会根据不同模式考虑临时限速，当 CC 处于 CBTC 级别时，仅采用 ZC 移动授权中的临时限速信息；当 CC 处于点式模式时，仅采用有源应答器报文中的临时限速信息。

## 2.2 临时限速取消

行车调度员通过 ATS 调度工作站以逻辑区段或公里标方式取消临时限速，也可以线路为单位取消线路上所有已设置的临时限速。

临时限速取消命令分验证命令和执行命令两种，当 ATS 向 CI 下发验证命令后，仅当收到 CI 回复的验证成功后，方可下发执行命令。CI 收到 ATS 下发的执行命令后，若判断执行命令与验证命令完全一致，则可取消临时限速。

## 3 临时限速方案中各子系统功能分配

### 3.1 CI

当 CI 收到 ATS 下发的临时限速执行命令后，若判断执行命令与验证命令完全一致，则按以下条件进行检查并执行。

CI 检查进路（包含单列车进路、多列车进路）接近锁闭时，CI 不允许对此进路的锁闭区段（包含保护区段）设置临时限速，并向 ATS 反馈执行结果。

CI 检查进路内（包含单列车进路和未被重复锁闭的多列车进路）有区段占用时，CI 不允许对此进路的锁闭区段（包含保护区段）和占用区段设置临时限速，并向 ATS 反馈执行结果。

多列车进路重复锁闭后，至进路接近锁闭前，CI 不允许对此进路中列车占用区段至进路出口范围内的锁闭区段（包含保护区段）和列车占用区段设置临时限速，并向 ATS 反馈执行结果。

其他情况下，CI 允许设置临时限速。

### 3.2 ATS

ATS 按 5 km/h 一档提供临时限速设置菜单，根据行车调度员选择的临时限速值，向下自动匹配推荐的 CI 临时限速档位（共 3 档：25 km/h、40 km/h、60 km/h），供调度人员确认。

### 3.3 CC

CC 可从应答器获得临时限速状态，并进行处理。

CC 在计算最限制速度曲线时，可根据不同模式选择 ZC 临时限速或 CI 临时限速。

## 4 信号系统接口协议变化

相较传统点式模式下关闭信号的临时限速方案，杭海线点式模式下所采用的档位临时限速方案中对应答器报文规范、ATS-CI 接口协议、CI-CI 接口协议、ATS-ATS 接口协议进行如下修改。

### 4.1 应答器报文规范

利用应答器报文规范中的“城市自定义包（205 包）”传递临时限速报文<sup>[8]</sup>。

临时限速始端位置为进路起点，临时限速终端为进路终点。若设置外置保护区段，临时限速描述主进路临时限速，不描述保护区段临时限速。

临时限速值设置为 3 档，CI 选取进路内区段已设置的最低临时限速值作为已开放进路的临时限速值使用。

### 4.2 ATS-CI 接口协议

#### 4.2.1 ATS→CI

在设置限速验证命令、取消限速验证命令、设置限速执行命令、取消限速执行命令、取消全线限速验证命令、取消全线限速执行命令、终止限速验证命令（包括设置和取消验证）中新增临时限速值。

#### 4.2.2 CI→ATS

在设置限速验证命令反馈、取消限速验证命令反馈、设置限速执行命令反馈、取消限速执行命令反馈、取消全线限速验证命令反馈、取消全线限速执行命令反馈、终止限速验证命令反馈（包括设置和取消验证）中新增临时限速值。

### 4.3 CI-CI 接口协议

在临时限速状态信息中新增临时限速值。

#### 4.4 ATS-ATS接口协议

在临时限速状态信息中新增临时限速值。

### 5 结语

本文提出在点式模式下 CI 档位临时限速方案。根据行车调度员在 ATS 调度工作站上选择的临时限速值，ATS 系统向下自动匹配推荐的 CI 临时限速档位，供调度人员确认，进而实现点式列车在运行中不停车以匹配限速值的速度通过限速区域，在保证列车运行安全的同时，也有效提升了运营效率。

#### 参考文献

- [1] 凌小雀. 地铁 CBTC 信号系统中临时限速方案应用研究 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (6): 80-82.  
Ling Xiaoque. Application Research of Temporary Speed Restriction Scheme in Metro CBTC Signal System[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(6): 80-82.
- [2] 耿鹏. CBTC 系统区域控制器重启后的临时限速控制方法研究 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (3): 90-93.  
Geng Peng. Research on Temporary Speed Limit Control Method after Restarting CBTC System's Zone Controller[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(3): 90-93.
- [3] 陈雁冰. 一种 CBTC 系统中点式临时限速设置方案 [J]. 铁道建筑技术, 2015 (S1): 345-347.  
Chen Yanbing. One Solution of Block TSR Settings in CBTC System[J]. Railway Construction Technology, 2015(S1): 345-347.
- [4] 中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会. 城市轨道交通 CBTC 信号系统-ATS 子系统规范: CZJS/T 0030-2015 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [5] 中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会. 城市轨道交通 CBTC 信号系统-ATP 子系统规范: CZJS/T 0028-2015 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [6] 徐先良, 冯雷, 蒋红军, 等. 列控系统临时限速技术方案优化研究 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (S2): 35-38.
- [7] 宋莉, 刘伯鸿. 基于 UPPAAL 的列控系统临时限速建模与验证 [J]. 铁路计算机应用, 2020, 29 (5): 12-16.  
Song Li, Liu Bohong. UPPAAL-Based Modeling and Verification of Temporary Speed Restriction in Train Control System[J]. Railway Computer Application, 2020, 29(5): 12-16.
- [8] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统 (CBTC) 互联互通接口规范-第 1 部分: 应答器报文: T/CAMET 04011.1-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

\*\*\*\*\*

### 本期广告企业简介

## 上海锦申铁道科技有限公司



锦申科技  
JINSH TECH

铁路数字孪生



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

电话: 021-65012136 (详见封三)



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.015

# 大兴机场线草桥站快速换乘检票方案探讨

孟凡琛, 翟 熙

(北京轨道交通路网管理有限公司, 北京 100101)

**摘要:** 北京地铁大兴机场线是连接中心城与大兴机场的轨道交通专线, 有着不同于路网内其他线路的票制票价, 与其他线路的非付费区换乘方式存在着一定的不便之处。结合草桥站换乘厅布局及既有换乘模式, 从闸机设置、支持票种、异常处理等方面对快速换乘方案进行研究分析。可供机场专线后续换乘车站建设改造, 或不同票制票价线路间的换乘提供参考, 实现轨道交通融合发展。

**关键词:** 轨道交通; 机场线; 检票; 换乘

中图分类号: U293.2<sup>+</sup>2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0077-05

## Discussion on Scheme of Fast-Transfer Ticket Check for Caoqiao Station of Beijing Daxing International Airport Express

Meng Fanchen, Zhai Xi

(Beijing Metro Network Administration Co., Ltd., Beijing 100101, China)

**Abstract:** Beijing Daxing International Airport Express (Daxing Airport Express), which is a dedicated rail transit line connecting the central city and Beijing Daxing International Airport, has ticket system and fares that are different from those of other lines. It is inconvenient to transfer passengers between this Airport Express and other lines with non-paid areas. Based on the layout of the transfer station halls and existing transfer modes of Caoqiao Station (Caoqiao Zhan), a fast transfer scheme is analyzed in terms of ticket gate settings, ticket types and the handling of exceptions, etc. This scheme can serve as a reference for the subsequent construction and renovation of transfer stations of airport express lines, or for transfers between lines with different ticket systems, so as to realize the integrated development of rail transit.

**Keywords:** rail transit; airport express; ticket check; transfer

### 1 概述

为满足机场航空客流的通行需求, 国内许多城

市已完成连接市区与机场的轨道交通机场线建设, 实现了机场客流的快速集散, 满足了综合交通快速发展的需要。

根据不同的线路特征和服务对象, 机场线可以分为共享型和专用型两种。前者为城市轨道交通系统的延伸线, 特点是机场距离市区较近, 城区设站

收稿日期: 2022-02-21; 修回日期: 2023-02-17

第一作者: 孟凡琛(1988—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 自动售检票系统, 邮箱: m.fch@163.com。

较多，运行速度与普通城轨线路相同，未将航空乘客与城市通勤客流分开，服务水平较低。后者为机场专用线，一般为机场距离市区较远，设站较少，旅行速度较高，主要服务对象是航空乘客群，提供较高的服务水平，如伦敦希斯罗机场专线、上海磁浮线均为机场专用线，北京大兴机场线也采用此种模式。

北京地铁大兴机场线定位为快速、直达、高品质的轨道交通专线。其一期工程线路全长约41 km，设有3座车站——草桥站、大兴新城站及大兴机场站，全部为地下车站，已于2019年9月开通运营。草桥站是目前位于城区的唯一车站，与路网内10号线、19号线进行换乘，其中19号线于2021年底开通运营。作为进城方向的接驳线路，航空乘客可通过一次换乘接驳直达金融街、北部城区，然而大兴机场线与其他线路的非付费区换乘方式对乘客造成了一定的不便。

## 2 北京轨道交通票制体系

自动售检票（AFC）系统是轨道交通各系统中最早实现自动化联网运行的系统，也是轨道交通运营管理中直接面对乘客的系统。北京市轨道交通自动售检票系统均采用全封闭式的票务收费管理，并形成全网统一的AFC运行检测标准，但存在着不同的票制票价。

两条机场线外的路网线路目前为计程限时票制，单程3元起步，最高票价10元。而两条机场专线因具有速度快、耗时短的优势及较高的服务水平，故而票价水平较高。首都机场线采用25元单一票制，大兴机场线商务车厢采用50元单一票价，普通车厢虽为计程限时票制，但票价较路网线路更高，为10、25、35元。两条机场线所使用的单程票卡与路网其他线路单程票样式不同，使用及流转范围也不同，同时机场线也都有其仅限各自线路使用的电子计次票、空轨联运票特有票种，无法使用电子定期票且乘车费用不参与累积优惠。

## 3 草桥站既有非付费区换乘方案

换乘车站是轨道交通线网骨架的支撑点，是提供乘客在轨道交通线路间进行换乘的主要场所。由于大兴机场线不进入中心城区，三线换乘的草桥站是大兴机场线乘客最主要的换乘站点。大兴机场线在草桥站与各类接驳方式中，地铁对其客流的分担率预测占比为70.7%，从而可知大兴机场线在草桥站的换乘量很大。19号线开通后，19号线与10号线通过付费区通道联通，大兴机场线与两条线路的换乘客流均在19号线站厅层进出。

大兴机场线在草桥站为侧式站台，同时受制于非付费区及与19号线共用出/入口的布局影响，其站厅层的付费区被分割为3块，导致进城方向与出城方向的付费区域无法连通。目前草桥作为大兴机场线在市区的终点车站，可以将付费区划分为“进站付费区”及“出站付费区”。19号线在草桥站为岛式站台，19号线站厅层付费区为一个整体紧邻大兴机场线出站的付费区。

为保证机场线服务水平，方便客运组织管理以及不同类型车票的分区使用，两条机场线与路网其他线路换乘车站在建成时均采用非付费区有障碍换乘的形式，即机场线付费区与其他线路付费区被非付费区隔离，乘客无论使用何种车票，换乘时均需从某一线路的付费区刷闸出站，进入非付费区后再次刷闸进入另一线路的付费区乘车，如图1所示。

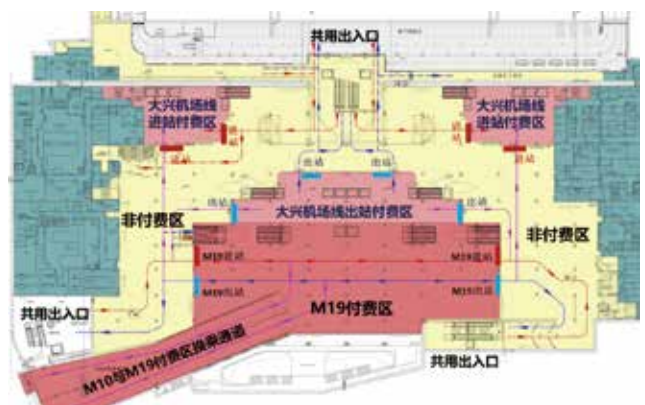


图1 草桥站大兴机场线与19号线非付费区换乘示意  
Fig.1 Schematic diagram of the transfer between Daxing Airport Express and Beijing Subway Line 19 across the non-paid area at Caoqiao Station

对于乘客出行，与首都机场线换乘形式保持一致，维持了既有乘客在北京乘坐机场线的习惯，无论出站转乘其他交通工具还是换乘市内地铁线路，皆为刷闸出站，选择唯一，不会误刷误入。但对于换乘乘客，需在草桥站额外刷出刷进两次检票机，增加了走行距离及换乘时间。

对于运营管理，大兴机场线票制票价与路网其他线路不同，交易清分独立，非付费区的换乘方式无需对既有 AFC 系统进行改造，大兴机场线付费区与路网其他线路物理隔离，客流组织路线明晰，便于车站现场客运组织。

## 4 草桥站付费区换乘方案比较

### 4.1 付费区无障碍换乘

从方便乘客出行、减少乘客换乘刷闸次数考虑，如实现付费区无障碍换乘，需联通既有的 4 块付费区，并对 AFC 系统进行改造以维持大兴机场线单独计费方式。也需对目前不同区域内特有票种的票价及使用规则进行调整，如大兴机场线的计次票、路网内的定期票。

但是大兴机场线即将北延至丽泽商务区站与 14 号线、16 号线换乘，且另外两座车站也都规划为换乘车站，如按照服务一致性在其他大兴机场线车站也实施无障碍换乘，将导致未来售检票系统无法区分路网内乘客是否曾乘坐过大兴机场线，从而也无法对乘坐过大兴机场线的乘客按照大兴机场线票价进行计费。

同时另一方面，当实施无障碍换乘时，路网内乘客也可以通过换乘站乘坐大兴机场线体验快线服务，但不刷卡出站而是再乘车回到路网内从普线车站出站，将造成票款损失的同时也会挤占专线资源，增加运营管理的难度，降低航空乘客体验，违背机场专线设置的初衷。

### 4.2 快速换乘方案——付费区有障碍换乘

充分借鉴非付费区换乘与无障碍换乘两种方案的优点，可以在草桥站大兴机场线与 19 号线付费区之间设置特有的“快速换乘闸机”，实现乘客一次

刷闸过程中系统完成两笔动作，即同时完成大兴机场线的出站交易与 19 号线的进站交易。

这样既可以区分两种票制票价体系下的乘客，保持机场专线的服务品质，对清分系统也无影响，减少对 AFC 系统的改造与影响，同时也可在一定程度上方便有换乘需要的乘客，减少换乘乘车流程，提高其出行效率。

## 5 快速换乘方案分析

### 5.1 快速换乘闸机设置

考虑大兴机场线与 19 号线两条线路均已投入正式运营使用，充分结合既有付费区划分、出/入口布局及售检票等各系统专业在草桥站的设备布置。如实现双向的快速换乘，需将厅内目前分割的 4 块付费区连成一片，会导致厅内非付费区不连通、整体售检票设备位置调整、影响草桥值机业务的开展等问题，且需通信、导向、装修等众多专业配套拆改，施工工程量乃至影响车站的正常运营使用。

大兴机场线在草桥站上/下行付费区不连通，以避免设备拆改和减小对运营影响为前提，可仅在大兴机场线出站付费区与 19 号线付费区之间的隔离栏杆处设置“快速换乘闸机”，如图 2 所示。优先实现进城方向的快速换乘，主要服务于从大兴机场线前往 19 号线或 10 号线的返京航空旅客，方便其转乘市内轨道交通。单向的快速换乘闸机设置，同时也可避免客流流线冲突，方便车站现场组织管理。

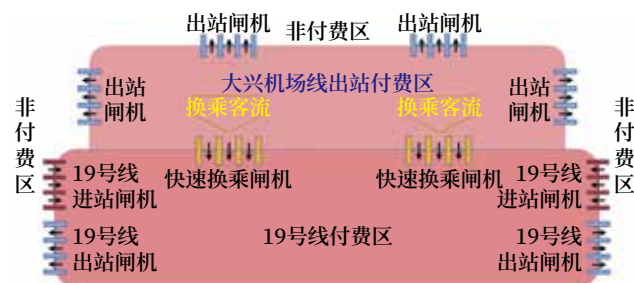


图2 快速换乘闸机设置示意  
Fig.2 Layout of fast transfer ticket gates

### 5.2 支持车票种类分析

受国际及国内疫情影响，大兴机场线客流起伏



波动较为明显，考虑上述方案中快速换乘闸机服务于大兴机场线草桥站换出客流，故以其截止至 2021 年底草桥站出站日均客流最大且受疫情影响较小的 5 月份为例，对其票种组成进行分析，如图 3 所示。

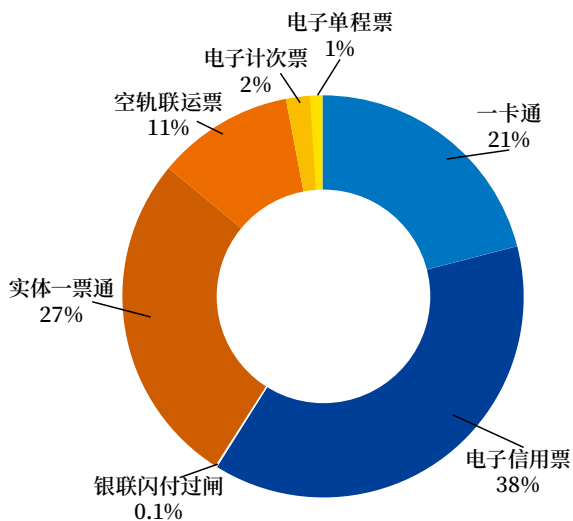


图3 大兴机场线草桥站出站量分票种占比  
Fig.3 The share of ticket types in the total number of passengers leaving Caoqiao Station of Daxing Airport Express

电子信用票、一卡通卡（含互通卡）、银联闪付，在大兴机场线草桥站使用所占比例已近六成。与单程票、空轨联运票、电子计次票需预付车费提前选定起始终点站或使用区间不同，这几类车票类型具有后付费或经储值后无需购票的特点，且可在北京城市轨道交通各线路通用。

此部分票种在普通线路上的占比更是长期稳定在九成以上，同时此部分乘客也是最有轨道交通换乘需求的乘客。而对于使用需提前选定进出车站站点的大兴机场线空轨联运票、定期计次票、专用单程票的乘客，往往到达草桥站后会选择出站搭乘的士或继续购买单程票出行。维持既有票种规则同时充分满足乘客需求，建议快速换乘闸机应支持电子信用票、一卡通卡、银联闪付 3 类车票种类。

### 5.3 异常处理及实施建议

对于使用电子信用票的乘客，在通过快速换乘闸机时需确保其账户有可用的支付渠道，且支付渠道内资金充足。若乘客出站后支付渠道内金额不足，

则按照既有规定执行。

对于使用一卡通卡的乘客，目前在大兴机场线车站进站时乘客卡内余额不可低于其单程最低票价 10 元，此规定仍应继续保留。但在专用快速换乘闸机过闸时，可不再限制卡内最低金额需高于路网单程最低票价 3 元，从而方便乘客能够顺利刷闸换乘。若乘客在路网车站出站时卡内余额不足以支付行程费用，须在出站车站完成补票扣费。

对于使用银联闪付过闸的乘客，目前在大兴机场线车站进站时乘客卡内预授权额度不可低于进站车站及车厢类型的最高票价和超时费之和，如从大兴机场站进站预授权金额普通车厢为 45 元、商务车厢为 60 元，此规定仍应继续保留。但在专用快速换乘闸机过闸时，可不再限制卡内预授权金额的 13 元，从而方便乘客能够顺利刷闸换乘。若乘客在路网车站出站时卡内余额不足以支付行程费用，可由银联保付相关费用，乘客出站后向卡内转账完成扣费，在扣费成功前将无法再次乘坐轨道交通。

此外因乘车二维码、银联闪付后付费车票出站时不判断其进站刷闸记录，且目前北京所支持的互联网票务 APP 已多达 10 余种，个别乘客可能发生不同票种或不同 APP 间的混合使用，此类情况本质与乘客在单一行程中使用两个票种或两款 APP 一样，与快速换乘闸机的设置无必然联系，乘客可按照既有流程申请退费。

如设置快速换乘闸机在北京乃至全国将均属首次，且与已运营多年的北京机场专线换乘方式不同，可能导致部分无需换乘且使用支持在换乘闸机使用车票的乘客，不小心误刷或误入至 19 号线付费区且并没有乘坐其他地铁，运营企业宜对此部分乘客免收本站进出费用或经联系客服后予以退款。

同时建议车站现场通过张贴指示标识、配置站务人员指引等措施。对无换乘意愿的乘客加强引导，避免其误刷换乘；对持无法通过换乘闸机票种的乘客，疏导其直接前往出站闸机，减少快速换乘闸机前的客流拥塞，真正发挥方便乘客的功效。



## 6 结语

北京大兴机场线草桥站付费区有障碍的快速换乘方案,能够为机场专线乘客换乘城市轨道交通提供更加便利的选择,且对系统改造小、实施快捷合理可行。尽管受限于既有车站布局,可能实施后会对运营组织管理带来一定的考验,但可供机场专线后续其他换乘车站的建设改造,乃至不同城市的轨道交通之间、市郊铁路与城市轨道交通之间等票制票价不同线路的快速换乘方案提供参考借鉴,从而进一步实现轨道交通融合发展,为乘客提供更加优异便捷的乘车出行体验。

### 参考文献

- [1] 鲁放,周旭,乔颖丽,等.2020年中国轨道交通机场线统计及空轨协同运营分析[J].都市快轨交通,2020,33(6):1-6.  
Lu Fang, Zhou Xu, Qiao Yingli, et al. China's Airport Rail Lines in 2020: Statistics and Analysis of Cooperative Operation[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(6): 1-6.
- [2] 卢恺,韩宝明,鲁放.我国轨道交通机场线规划与运营主要问题探讨[J].城市轨道交通研究,2014,17(8):1-5.  
Lu Kai, Han Baoming, Lu Fang. Typical Problems in Planning and Operation of Rail Transit Airport Line in China[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(8): 1-5.
- [3] 周敏.国内外经验对北京新机场线规划的启示[J].都市快轨交通,2012,25(2):16-20.  
Zhou Min. Inspiration from Domestic and International Experience for Planning Beijing New Airport Line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2012, 25(2): 16-20.
- [4] 鲁玉桐,李鹏,金艳萍,等.城市轨道交通不同编组列车行车组织方案编制方法研究:以北京大兴机场线为例[J].现代城市轨道交通,2021(7):82-87.  
Lu Yutong, Li Peng, Jin Yanping, et al. Study on Formation Method of Train Operation Organization Scheme for Different Train Consist on Urban Rail Transit[J]. Modern Urban Transit, 2021(7): 82-87.
- [5] 李郁,张东辉.城市轨道交通AFC监视中心系统方案的研究[J].铁路通信信号工程技术,2020,17(7):55-59.  
Li Yu, Zhang Donghui. Research on Scheme of AFC Monitoring Center System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(7): 55-59.
- [6] 陈楠.北京轨道交通信息化总体规划的研究[J].铁路通信信号工程技术,2020,17(9):49-55.  
Chen Nan. Research on Overall Planning of IT Application in Beijing Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 49-55.
- [7] 王宁波.值机付费条件下的轨道交通AFC系统研究[J].中国铁路,2014(9):99-102.  
Wang Ningbo. Research on AFC System of Rail Transit under the Condition of Check-in Payment[J]. Chinese Railways, 2014(9): 99-102.
- [8] 陈楠,李郁,李爱琦,等.北京地铁自动售检票系统技术改造的探索[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(5):77-82,94.  
Chen Nan, Li Yu, Li Aiqi, et al. Technical Transformation of Automatic Fare Collection System for Beijing Metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 77-82, 94.

# 装备技术标准与工程建设标准起草规则 差异分析

许 辉

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 通过对比《标准化工作导则 第1部分: 标准化文件的结构和起草规则》(GB/T 1.1-2020) 和原建设部《工程建设标准编写规定》(建标 [2008] 182号), 从标准的编制阶段、结构、名称和正文起草等方面对装备技术标准和工程建设标准的起草规则进行差异性分析和梳理, 希望能够为从事标准起草工作的人员提供更清晰的针对不同类型标准的起草办法说明, 提高标准起草的规范性和准确性。

**关键词:** 差异; 装备技术标准; 工程建设标准

中图分类号: G307

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0082-08

## Analysis of Differences between Drafting Rules of Equipment Technical Standards and Engineering Construction Standards

Xu Hui

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

**Abstract:** By comparing *Directives for standardization--Part 1: Rules for the structure and drafting of standardizing documents* (GB/T 1.1-2020) and *Regulations on the preparation of engineering construction standards* (JB [2008] No. 182), the latter of which is developed by the former Ministry of Construction of the People's Republic of China, this paper analyzes and explicates the differences between the drafting rules of equipment technical standards and engineering construction standards in terms of the drafting stages, structures, names and text preparation of these standards, hoping to provide writers of such documents with a clearer description of the methods for compiling different types of standards, so as to improve the standardization and accuracy of drafting.

**Keywords:** difference; equipment technical standard; engineering construction standard

### 1 概述

2021年, 中共中央、国务院印发了《国家标准化发展纲要》。“纲要”中指出: 标准是经济活动和社会发展的技术支撑, 是国家基础性制度的重要方面。标准化在推进国家治理体系和治理能力现代化

收稿日期: 2022-08-01; 修回日期: 2023-02-22

作者简介: 许辉(1978—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 通信工程及标准化, 邮箱: xuhui@crscd.com.cn。

中发挥着基础性、引领性作用。“纲要”明确将标准化提升到党和国家事业发展全局的战略高度，这是国内标准化事业发展史上重大的里程碑事件。加强标准化工作，实施标准化战略，是一项重要和紧迫的任务。标准的规范性起草是加强标准化工作的最基本措施，正确运用起草文件的原则，遵循起草文件的途径和步骤。本文针对不同类型标准的起草容易产生混淆的方面进行分析和解剖，希望能对标准化工作有所贡献。

目前，铁路标准体系包括装备技术、工程建设、运输服务 3 个标准子体系。其中，装备技术、运输服务标准是依据《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》(GB/T 1.1-2020) 进行起草，工程建设标准依据《工程建设标准编写规定》(原建设部建标 [2008]182 号) 进行起草。

GB/T 1.1 参考了“ISO/IEC 导则，第 2 部分，2018，《ISO 和 IEC 文件的结构和起草原则与规划》”起草，其中 ISO 是国际标准化组织的简称，IEC 是国际电工委员会的简称。IEC/TC 9 “铁路牵引电气设备与系统”技术委员会主要负责制定铁路及城市轨道交通领域(包括地铁、有轨电车、无轨电车和全自动运输系统以及磁浮交通运输系统)牵引电气、机车车辆运行控制系统(含通信、信号和处理系统)、接口和环境条件等的国际标准。ISO/TC 269 “铁路应用”技术委员会是 ISO 在轨道交通领域设立的专门技术委员会，成立于 2012 年。ISO/TC 269 下设 3 个分技术委员会，SC1、SC2 和 SC3，分别负责基础设施、机车车辆、运营和服务 3 个领域的工作。由此可以看出，ISO 和 IEC 更加偏重于系统、设备、产品的功能和性能，所以 GB/T 1.1 更适用于装备技术标准(以下简称“技术标准”)的起草。

中华人民共和国建设部(原建设部)于 1988 年 4 月设立。2008 年 3 月 15 日，组建中华人民共和国住房和城乡建设部，组织制定工程建设实施阶段的国家标准，不再保留中华人民共和国建设部。

原建设部建标 [2008]182 号文是从工程建设勘

察、设计、施工及验收的需求角度，制定工程建设标准(以下简称“建设标准”)的起草原则。目前工程建设标准起草仍旧依据原建设部建标 [2008]182 号文。

技术标准和建设标准二者的侧重面不同，在标准起草中也存在一些差异。下面将从标准的编制阶段、结构、名称以及标准起草具体内容几个方面进行差异分析。

## 2 编制阶段

技术标准的编制一般分为 3 个阶段，分别是征求意见稿、送审稿和报批稿。送审稿报送后，由标准归口单位组织相关专家对送审稿进行审查。

建设标准的编制一般分为 4 个阶段，分别是工作大纲、征求意见稿、送审稿和报批稿。工作大纲、征求意见稿和送审稿完成后，均需进行审查。其中，工作大纲和送审稿由标准管理部门组织审查，征求意见稿由标准归口单位组织审查。

## 3 标准结构

建设标准和技术标准在结构上的差异主要体现在以下几点。

### 1) 扉页和公告

在建设标准中会有扉页和公告，技术标准中无此项。其中公告会包含标题及公告号，标准名称和编号，标准实施日期，强制条文编号，被替代的标准相关信息，以及批准部门需要说明的其他事项等。技术标准的相关公告会发布在行业或企业管理部门的官网上。如图 1 所示。

### 2) 引用标准

标准正文中引用过的标准，在技术标准中列在“规范性引用文件”一章中，位于标准正文技术要求之前；在建设标准中列在“引用标准目录”中，位于标准正文技术要求之后。

### 3) 其他

建设标准与技术标准相比，还多出两个内容，分别是标准用词说明、条文说明。具体内容在本文

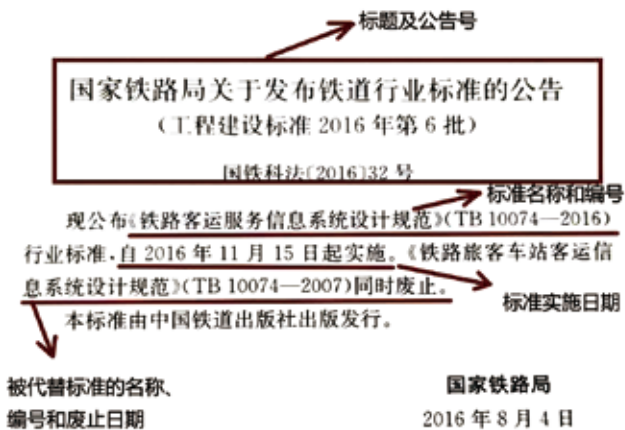
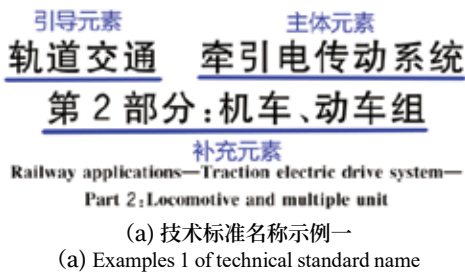


图1 公告示例  
Fig.1 Example of an announcement



(a) 技术标准名称示例一  
(a) Examples 1 of technical standard name



(b) 技术标准名称示例二  
(b) Examples 2 of technical standard name

图2 技术标准名称示例  
Fig.2 Examples of the technical standard name



图3 建设标准名称示例  
Fig.3 Example of a construction standard name

## 5 标准起草

### 5.1 前言

技术标准和建设标准中都有“前言”，但是两类标准前言中包括的内容并不相同。技术标准的前言中包括文件起草所依据的标准，文件与其他文件的关系，文件与代替文件的关系，文件与国际文件关系的说明，有关专利的说明，文件的提出和归口信息，主要起草单位和起草人，历次版本发布情况。

建设标准的前言中包括制修订标准的任务来源，标准的主要工作和技术内容、主要修订内容，强制性条文说明及条文管理、解释部门，标准管理机构、技术内容解释单位名称及地址，标准的主参编单位、

的第4章“标准起草”中说明；技术标准根据需要可设置“引言”，用来说明与文件自身内容相关的信息。

### 4 标准名称

技术标准和建设标准的名称均由3个部分组成，而技术标准中只有主体元素为必备的，其他两个元素为可选的，如图2所示；建设标准中的3个部分都是必备的，无可选项，如图3所示。

由上可以看出，技术标准名称的组成元素间会采用“空格”隔开，而建设标准名称的各组成部分间并不会分隔开，并且建设标准不会分为几个部分。

起草人和审查人员。

对比技术标准和建设标准中的前言内容，技术标准的前言主要是说明该文件与相关各文件的关系，以及专利说明；对于任务来源、标准主要工作内容是在编制说明中论述，主要技术内容在第1章“范围”中说明；技术标准可分为推荐性标准和强制性标准，并没有针对某个条文做强制性要求；技术标准的前言中仅有起草单位和人员，不体现审查人员，审查人员在会议纪要中体现。

如图4、5所示，分别为技术标准和建设标准的前言示例。

### 5.2 引言

“引言”是技术标准中的可选要素，位于前言之后，正文之前；在建设标准中没有这个部分。

在技术文件中，只有分为部分的文件，或者文件中涉及专利，才必须设置引言。引言中主要给出与文件自身内容相关的一些背景信息，主要说明为什么要起草该文件，该文件是如何通过确立技术条款；文件分为部分的原因，以及每个部分之间的关



系；对文件涉及的技术的特殊信息或说明；已经识别出涉及专利的说明等。

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 TB/T 3324—2013《铁路数字移动通信系统(GSM-R)总体技术要求》，与 TB/T 3324—2013 相比，除编辑性改动外，本文件主要技术变化如下：

- 删除了“范围”中“运维管理”(见 2013 年版的第 1 章)；
- 删除了“术语和定义”中“增强型位置寻址”、“公众紧急呼叫”和“多司机通信”，不作为术语进行定义(见 2013 年版的 3.10.3、12 和 3.14)；
- 删除了“术语和定义”中“网车作业模式通信”、“直通模式”及相关内容(见 2013 年版的 3.15、3.16.5.2.4.5.3、4.8.2)；
- 更改了“GSM-R 系统主要设备组成及接口示意图”(见图 1，2013 年版的图 1)；
- 更改了核心网设备的功能和性能要求(见 6.2.6.3.6.4，2013 年版的 6.2.6.3.6.4)；
- 增加了基站设备分体式、接口 IP 互联网协议化、冗余备份等要求(见 6.5.2.6.5.2)；
- 更改了 BSC、PCU、TRAU 设备的电磁兼容要求(见 6.5.2.2.6.5.3.2、6.5.4.2，2013 年版的 6.5.2.2.6.5.3.2、6.5.4.2)；
- 增加了基站设备的雷电防护要求和所有设备的大气压力要求(见 6.2.6.3.6.5 和 6.8)；
- 更改了无线终端的分类及相关要求(见 6.6，2013 年版的 6.6)；
- 更改了运营与支撑系统的功能(见 6.2.9.1.6.8、12.47，2013 年版的 6.2.9.1.6.8、12.47)；
- 更改了无线子系统的组网要求(见 7.4，2013 年版的 7.4)；
- 更改了“编号与编制原则”，不再重复规定具体内容，引用相关标准(见第 9 章，2013 年版的第 9 章)；
- 更改了“优先级呼叫源”(见 10.2.3，2013 年版的 10.2.3)；
- 增加了电路域核心网设备接口的 IP 化要求和运营与支撑系统相关的接口(见第 12 章)；
- 增加了 STP 的设备技术要求(见 13.6)；
- 更改了 BSC 的时钟同步要求(见 14.1，2013 年版的 14.1)；
- 增加了 BTS 的时钟同步要求(见 14.1)；
- 删除了“与公众 GSM 移动通信网的互连要求”(见 2013 年版的 15.3)；
- 增加了终端认证要求和网络安全要求(见第 16 章)。

请注意本文件的部分内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京全路通信信号研究设计院集团有限公司归口。

本文件起草单位：北京全路通信信号研究设计院集团有限公司、北京交通大学、中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所、北京铁路通信技术中心。

本文件主要起草人：周宇峰、史勇、陈勇、王芳、丁建文、冯磊、李雪、周伟、杨磊。

本文件及其代替文件的历次版本发布情况为：

——2013 年首次发布为 TB/T 3324—2013；

——本次为第一次修订。

图4 技术标准前言示例

Fig.4 Example of the forward to a technical standard

## 前 言

本规程充分吸纳了近年来铁路列车运行控制系统工程检测和检测经验，并在广泛征求意见的基础上，经审查编制而成。

本规程共分 7 章，包括总则、术语和缩略语、基本规定、单机设备、信号安全数据网、系统接口、系统功能。

主要内容如下：

- “总则”章主要规定了编制目的、适用范围，以及对检测方法 and 检测数据等的总体要求。
- “术语和缩略语”章明确了本规程的术语和缩略语。
- “基本规定”章规定了铁路列车运行控制系统工程检测项目、检测依据、检测设备等等要求。
- “单机设备”章规定了 RBC、TSRS、TCC、LEU 及应答器等单机设备工程检测内容。
- “信号安全数据网”章规定了网络冗余、拓扑管理、配置管理、告警管理等工程检测内容。
- “系统接口”章规定了列车运行控制系统内部 RBC、TSRS、TCC、LEU 及应答器等接口的工程检测内容，以及与 CH1、CTC、CSM、GSM-R、轨道电路、继电器之间接口的工程检测内容。
- “系统功能”章规定了轨道电路状态判断、轨道电路编码、异物侵限及地震信息处理、轨道电路发码方向控制、区间改变运行方向、区间通过信号机点灯控制、临时限速及信号降级处理、有源应答器报文发送、区间占用逻辑检查、时间校准等工程静态检测内容，以及注册、注销、模式转换、行车许可、正反向运行、临时限速动

图5 建设标准前言示例

Fig.5 Example of the forward to a construction standard

## 5.3 目次

建设标准和技术标准中均有“目次”章节，但“目次”的起始章节略有不同。

技术标准中的目次是从“前言”开始列出，而建设标准中的目次是从“第 1 章”按顺序列出。标准目次对比如图 6 所示。

## 5.4 引用标准

引用标准是指在标准正文中引用过的文件。

### 5.4.1 章节位置

在技术标准中，这类文件名列在第 2 章“规范性引用文件”中，并由规范的引导语引出；在建设标准中，这类文件名列在正文后面“引用标准目录”，不用引导语引出，直接列出。技术标准中的引导语可参见 GB/T 1.1-2020。

### 5.4.2 标准排序

在技术标准中，引用国家标准、ISO 或 IEC 标准按文件顺序号排列；行业标准、地方标准、团体标准、其他国际标准化文件先按文件代号的拉丁字母和 / 或阿拉伯数字的顺序排列，再按文件顺序号排列。

在建设标准中，按先工程建设标准、再产品标准的顺序，依标准编号顺序排列。

态检测、CTCS-2 级引导接/发车、自动过分相、RBC 移交、等级转换、CTCS-3 级地面设备故障、CTCS-3 级调车作业等工程动态检测的内容。

本规程在执行过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见及有关资料交北京全路通信信号研究设计院集团有限公司(北京市丰台区南四环汽车博物馆南路 1 号院中国通号大厦，邮编：100160)，并抄送中国铁路经济规划研究院有限公司(北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号，邮编：100038)，以供今后修订时参考。

本规程由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位：北京全路通信信号研究设计院集团有限公司。

参编单位：中铁二院集团有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、北京和利时系统工程有限公司。

主要起草人：付长宁、刘长波、徐 昱、徐 鹏、闫宏伟、苏筱玲、徐铁勤、赵岩峰、朱昭银、蒋 林、王 勇、杨 岗、蔡 亮、赵 琳、周水健、万 林、汪 洋、程 远、易海旺、梁 迪、王东民、于 磊、杨 盛、王千兴、陈英南。

主要审查人：禹志阳、戴启元、纪振洪、殷继宏、张 伟、王哲浩、李 凯、杨 晖、武汝涵、张 源、王 东、左林华、周 杰、郑小燕、张小刚、沈新龙、李红侠、郑文字、武长海、王 杰、李堂堂、周兴韬、丁建莉、尹福康、高 健、尚 宁、蒋红军、穆建成、徐慧敏、李光东、张大威、邵博博、吴歆彦、赵泽宇、程维洲。

目次		技术标准	
前言	1	1 总则	1
1 范围	1	2 术语和符号	3
2 规范性引用文件	1	2.1 术语	3
3 术语和定义	1	2.2 符号	4
4 缩略语	4	3 主要技术标准	5
5 体系与功能	8	4 综合系统	5
6 系统组成和设备主要技术要求	18	5 线路平面	11
7 接口技术要求	46	5.1 一般规定	11
8 频率配置	46	5.2 高速铁路线路平面	12
9 编写与编制说明	47	5.3 城际铁路线路平面	17
10 项目管理	47	5.4 客货共线铁路、重载铁路线路平面	21
11 服务质量	48	6 线路纵断面	30
12 接口要求	58	6.1 一般规定	30
13 指令系统	58	6.2 高速铁路线路纵断面	31
14 冗余要求	60	6.3 城际铁路线路纵断面	32
15 系统间互操作性	61	6.4 客货共线铁路、重载铁路线路纵断面	33
16 安全要求	62	7 车站分布	41
参考文献	63	8 铁路交叉、接轨设施及其他	43
		8.1 铁路交叉	43
		8.2 接轨设施及其他	45
		附录 A 铁路建筑限界	47

图6 标准目次对比  
Fig.6 Comparison between the table of contents

### 5.4.3 限定条件

需要注意的是，在技术标准中，对被引用的文件是有限定条件的，主要有以下几点。

- 1) 被规范引用的文件须是国家、行业或国际标准化文件。
- 2) 起草文件时不能引用“不能公开获得的文件”“已被代替或废止的文件”。
- 3) 起草文件时不能规范性引用法律、行政法规、规章和其他政策性文件，也不能普遍性要求符合法规或政策性文件的条款，如“……应符合国家有关法律、法规”的表述是不正确的。
- 4) 上述表述中具体内容可参见 GB/T 1.1-2020。

### 5.4.4 引用描述方式

在采用国际标准或国外标准的有关内容时，技术标准直接引用标准号即可，而建设标准则需将采纳的相关内容结合标准编写的实际，作为标准的正式条文列出，不能直接引用标准号或者标准名称。

在技术标准的正文中引用文件，直接引用相关的标准号，无需写标准名称，如：系统的整流模块应符合 TB/T 2993.4 的要求；而在建设标准的正文中引用文件，需写出引用标准的名称，并在名称后面写出标准号，如：“应符合《铁路数字移动通信系统（GSM-R）设计规范》（TB 10088）等有关技术

标准的规定”。

### 5.5 术语和定义

“术语和定义”的意义主要是提高文件的易用性，同一个概念尽量使用同一个术语，避免使用同义词。

在技术标准中，必须有“术语和定义”的章标题，如果没有需要定义的内容，可说明“本文件没有需要界定的术语和定义”；而在建设标准中，当内容较少时，可不设此章。

在技术标准中，当术语是抄录其他文件中的术语条目时，在该术语下需标明准确的来源，如 [来源：GB/T 20000.1-2014, 5.3]，当术语是改写所抄录的术语条目时，在该术语来源处需予以说明，如 [来源：GB/T 20000.1-2014, 5.3, 有修改]。在建设标准中并没有相关的要求。

### 5.6 正文层次和编号

技术标准和建设标准在起草过程中，正文的层次和编号也是不同的。技术标准分为章、条、段和列项；建设标准分为章、节、条、款和项。

两种标准的主要区别是：

- 1) 技术标准中的第二层次为“条”，而建设标准中的第二层次为“节”，第三层次才是“条”。
- 2) 在技术标准中，为了不在引用时产生混淆，不在章标题与条之间或条标题与下一层次条之间设

段（称为“悬置段”），如图 7 所示。

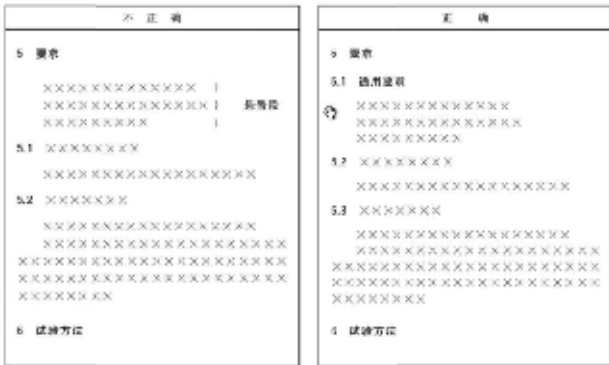


图7 悬置段示例

Fig.7 Example of unnumbered paragraphs (“hanging paragraph”)

3) 在建设标准中，需要注意章内可以不分节。当章内不分节时，条的编号中对应节的编号应采用“0”表示，如图 8 所示。

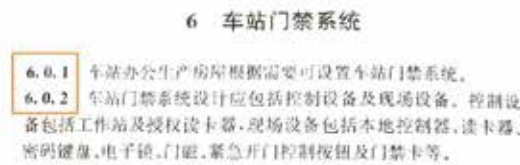


图8 条示例

Fig.8 Example of clause and subclause

5.7 层次编排

层次的编排是保证文件内容清晰、重点突出的方法。下面分别针对技术标准和建设标准的层次编排加以描述，结合以下的图文描述可以清晰地看出两类标准之间的差异。

5.7.1 技术标准

1) 章、条和段

章、条编号顶格起排，空一个汉字的间隙排章、条标题。

章编号和章标题应单独占一行，上下各空一行；条编号和条标题也应单独占一行，上下各空半行。

无标题条的条编号之后，空一个汉字的间隙接排条文。

段的文字应空两个汉字起排，回行时顶格编排。

2) 列项

第一层次列项的各项之前的破折号、字母编号均应空 2 个汉字起排；第二层次列项的各项之前的间隔号、数字编号均应空 4 个汉字起排。

层次编排如图 9 所示。

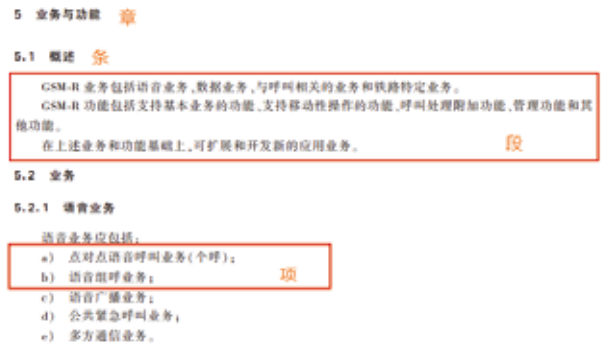


图9 技术标准层次编排示例

Fig.9 Example of the typographic hierarchy of a technical standard

5.7.2 建设标准

1) 章、节

标准中的每章应另起一页编排；章、节号后空一字加标题居中。

2) 条、款和项

条、款的内容在编号后空一字书写，换行时应顶格书写；项号左起空 3 字书写，其内容在编号后接写，换行时应与上行首字对齐。

层次编排如图 10 所示。

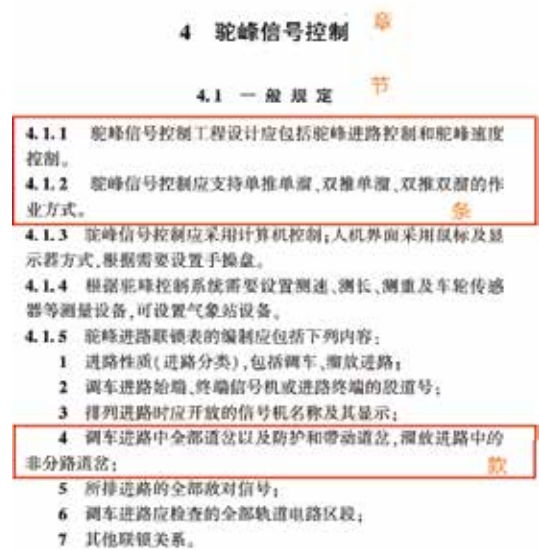


图10 建设标准层次编排示例

Fig.10 Example of the typographic hierarchy of a construction standard



## 5.8 典型用语

作为标准的起草者，规范性用词至关重要，规范性用词会避免对标准使用者造成误解和困惑。接下来将主要针对技术标准和建设标准在规范用词当中的区别加以描述。

1) 在技术标准中，根据 GB/T 1.1-2020 中的规定，全文采用“本文件”称呼文件自身，而不应称呼“本标准”、“本部分”“本指南”等；建设标准中采用“本规范”称呼文件自身。

2) 在技术标准中，使用“应”和“不应”作为意愿动词，对要求型条款进行描述，不使用“必须”作为“应”的替代词，不使用“不可”“不得”“禁止”代替“不应”来表示禁止；而在建设标准中，是可以使用上述词语的，用“必须”和“严禁”表示很严格，可以用“不得”表示严格，即正常情况下应这样做。

3) 在技术标准条文中，采用“符合……规定”或“满足……要求”的固定搭配作为对下文的引导语；但在建设标准条文中，“条”“款”之间采用“符合下列规定”或“符合下列要求”等连接用语来承上启下。

4) 在技术标准中，用符号“~”表示数值的范围，或者公差的范围值，用“+”“-”“±”表示数值范围或偏差；在建设标准中，描述偏差范围时，采用“允许偏差为”的典型用语，不能写成大于（或小于）等。

## 5.9 图/表、公式和注

技术标准和建设标准中图/表、公式和注的要求也略有不同，下面就这些差异性予以说明。

### 5.9.1 图/表

技术标准的图/表编号由“图”/“表”和从1开始的阿拉伯数字组成，图/表编号从引言开始一直连续到附录之前，与章、条和表的编号无关。附录中的图/表编号重新从1开始（如图/表 A.1、图/表 A.2 等）。分图使用后带半圆括号的小写拉丁字母编号 [如 a)、b) 等]。

建设标准条文中的图/表按条号前加“图”/“表”字编号（如图/表 3.2.5-1、图/表 3.2.5-2 等）。分图采用 (a)、(b)、(c) 等顺序编号。

### 5.9.2 公式

技术标准中使用带圆括号从1开始的阿拉伯数字对数学公式编号 [如 (1)、(2) 等]，公式编号从引言开始一直连续到附录之前，与章、条、表和图的编号无关。附录中的公式编号重新从1开始 [如 (A.1)、(A.2) 等]。

建设标准条文中的公式按条号编号加圆括号 [如 (3.2.5)]，当同一条文有多个公式时，连续编号 [如 (3.2.5-1)、(3.2.5-2) 等]。

### 5.9.3 注

技术标准条文中的注一般置于所需要说明的章、条或段之下；而在建设标准中，一般不在条文下进行注释，需要注释的内容会纳入条文说明当中。

在技术标准中，注属于附加信息，不对所注的内容进行规定；但在建设标准中，表注是可以对表的内容作补充说明和补充规定的。

## 5.10 条文说明

建设标准和技术标准还有一处明显的区别，建设标准一般在“本规范用词说明”后还有关于标准的“条文说明”，这是技术标准中没有的内容。条文说明是对标准正文中条文的解释，便于读者对标准内容的理解。标准中的强制性条文是必须编写条文说明的，说明定为强制性条文的理由；条文说明不可以对标准正文的内容做补充规定或加以引申。

## 6 结束语

上述内容对技术标准和建设标准中容易混淆的几个方面进行差异性分析，希望能够对从事标准起草工作的人员起到一定的帮助作用。

标准化文件的起草是通过确立条款、搭建文件结构、编写文件要素、标书文件内容，形成清楚、准确、无歧义的条款，进而形成高质量、适用性好的文件。本文中未对标准的具体起草细节进行描述，还需要编写人员对 GB/T 1.1-2020 和原建设部建标



[2008]182 号文件中详细的标准起草要求进行仔细地研读，制定高质量的标准化文件。

### 参考文献

- [1] 白殿一, 刘慎斋. 标准化文件的起草 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [2] 李照敬, 陈梅. 解读新修订《中华人民共和国标准化法》的相关规定 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (3): 85-88.  
Li Zhaojing, Chen Mei. Interpretation of Relevant Provisions in Newly Revised Standardization Law of the People's Republic of China[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(3): 85-88.
- [3] 国家市场监督管理总局. 国家标准化管理委员会. 标准化工作导则第 1 部分: 标准化文件的结构和起草规则: GB/T 1.1-2020 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [4] 国家市场监督管理总局. 国家标准化管理委员会. 标准化工作导则第 2 部分: 以 ISO/IEC 标准化文件为基础的标准化文件起草规则: GB/T 1.2-2020 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局. 标准编写规则第 1 部分: 术语: GB/T 20001.1-2001 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. 中国国家标准化管理委员会. 标准编写规则第 2 部分: 符号标准: GB/T 20001.2-2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局. 中国国家标准化管理委员会. 标准编写规则第 5 部分: 规范标准: GB/T 20001.5-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### AŽD Praha将在匈牙利试行捷克数字支线概念

欧洲 AŽD Praha 表示, 在完成对捷克共和国 Obrnice 和 Čížkovice 之间的 Plum 铁路的现代化改造后, 计划将其“智能铁路 4.0”数字支线概念应用于匈牙利的 Szeged-Röszke 线路。

2016 年, 信号供应商收购了 Plum Railway, 并花了 3 年时间对其进行升级, 以实现高度数字化运营; 2019 年 12 月, 该线路恢复客运服务。安装的技术包括 ETCS 1 级和 ETCS 2 级以及 LTE/wi-fi, 以支持自动化运营。平交道口还配备了状态数据传输工具, 使其能够与带有数字化装备的道路车辆通信, 符合新兴的 C-Roads 规范。

AŽD Praha 表示, 从那时起, 他们一直在优化各种控制、自动化和资产监控系统的可靠性, 以期开发一种可应用于其他区域铁路的模型。

AŽD 首席执行官 Zdeněk Chrdle 在 2023 年 2 月 16 日表示: “3 年来, 我们集中研发, 投入大量资金, 然后逐步安装技术, 多亏了数字通信, 现在构成了智能铁路 4.0。我们现在正在每小时的正常交通负荷下, 从安全性、可靠性和可用性的角度验证这一点。”

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 黄双宁翻译自: www.railwaygazette.com 2023-03-09)

# 中国铁道学会标准制定流程和起草规则研究

冷宁<sup>1</sup>, 陈宏宇<sup>2</sup>

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京国铁华晨通信科技有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 从需求出发, 结合铁道学会标准化专业委员会和从事中国铁道学会团体标准起草的工作组工作需要, 简要介绍团体标准的概念、中国铁道学会团体标准的定位和研制范围, 详细梳理研究铁道学会团体标准管理模式、标准分类、阶段划分、文件组成及各类标准编制的工作流程及标准起草规则, 对从事起草和编制铁道学会团体标准人员及标准化工作人员起到积极指导作用。

**关键词:** 铁道学会标准; 制定过程; 编制流程; 起草规则

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0090-06

## Research on Standard Preparation Process and Drafting Rules of China Railway Society

Leng Ning<sup>1</sup>, Chen Hongyu<sup>2</sup>

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

(2. Beijing Guotie Huachen Communication & Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** This paper briefly introduces the concept of association standards, the position and scope of the association standards of the China Railway Society (CRS) considering the needs of the standardization technical committees of CRS and the working groups undertaking the drafting tasks. This paper also provides a detailed study on these CRS standards in terms of the management modes, classification, stages of formulation and composition of documents, as well as the workflows and rules of drafting different types of standards, offering positive guidance to the professionals involved in the drafting and preparation of CRS association standards and in standardization.

**Keywords:** standards of China Railway Society; process of standard development; process of standard preparation; drafting rules

随着国际市场的激烈竞争, 标准的作用和地位  
尤显突出, 团体标准被正式纳入 2018 年实施的新

《中华人民共和国标准化法》中, 期间《国家标准化  
发展纲要》《团体标准管理规定》等各项标准化政策  
相继出台, 指导和推动团体标准化工作的开展。根  
据铁道行业发展的迫切需要, 2017 年 4 月, 中国铁  
道学会标准化委员会(简称标委会)正式成立, 作

收稿日期: 2022-08-10; 修回日期: 2023-03-22

第一作者: 冷宁(1990—), 女, 硕士, 主要研究方向: 标  
准化、标准翻译, 邮箱: lengning@crscd.com.cn。

为铁道行业团体标准的最高决策机构，负责铁道行业团体标准发布、实施和审批。从2018年起，铁道学会标委会陆续制定发布了《中国铁道学会标准化委员会章程》《中国铁道学会标准管理办法》《中国铁道学会标准化专业技术委员会工作细则》和《中国铁道学会标准编写规则（试行）》等管理规定和相关要求，2017年发布了中国铁道学会第一个团体标准《铁路市域设计规范》（T/CRS C0101-2017）。

## 1 团体标准

### 1.1 团体标准的定义和作用

团体标准是依法成立的社会团体为满足市场和创新发展需要，协调相关市场主体共同制定的标准。团体标准是以市场为主导。

2022年1月，17部委联合下发的《关于促进团体标准规范优质发展的意见》中指出：“发展团体标准能够充分释放市场主体标准化活力，优化标准供给结构，提高产品和服务竞争力，助推高质量发展”。结合目前的发展情况和今后的发展目标，给出10项具体要求，充分显示了国家各领域对团体标准化发展的重视程度和决心。

### 1.2 中国铁道学会团体标准的定位和范围

铁道行业团体标准应坚持先进性原则，与铁路政府标准、企业标准等共同构成配套衔接、优势互补、良性互动、协同发展的新型标准体系。

制定范围覆盖勘察、设计、土木工程、装备制造到运营管理的铁道行业全产业链，包括铁路工程建设勘察、设计、施工（安装）、验收及装备制造；铁路工程建设的试验、检验和评定等方法；铁路装备、设备、产品技术条件及其试验方法；铁路运输服务质量及运营管理要求铁路工程建设、装备制造及运营管理中需要统一的其他技术要求等。

## 2 中国铁道学会团体标准管理工作流程

### 2.1 管理模式

中国铁道学会团体标准（简称铁道学会标准）

采用标委会管理模式，下设标准与认证部（标委办），负责日常管理工作；标准化专业委员会（标专委），按照不同的专业领域和功能分类，目前成立了15个专业委员会，秘书处挂靠和技术能力强、标准化管理经验丰富的单位，标专委负责所属范围内标准项目的编制工作，具体标准研制项目由临时成立的工作组承担，待项目完成后，即可解散。学会标准化组织工作架构如图1所示。其中，通信信号标专委秘书处挂靠在北京全路通信信号研究设计院集团公司。

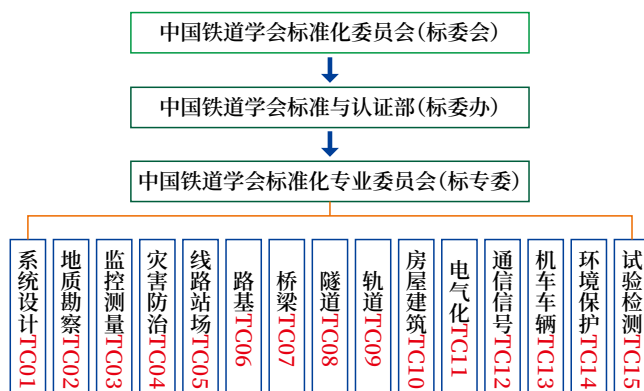


图1 学会标准化组织工作架构  
Fig.1 CRS standardization organization work structure

### 2.2 中国铁道学会标准分类及阶段划分

#### 2.2.1 分类

中国铁道学会标准由工程建设类（代号C）、产品类（代号P）、运营维护类（代号M）等3大类组成，其中，工程建设类标准的衍生类型有设计参考图（代号D）和设计软件（代号S）等。

#### 2.2.2 阶段划分及文件组成

##### 1) 产品类标准

产品类标准包括征求意见稿、送审稿、报批稿3个阶段，各阶段文件组成如下。

征求意见稿：工作组在调查研究、试验验证的基础上，总结相关产品生产、使用经验，提出标准征求意见稿、标准正文、研制说明、引用或涉及的标准文献及相关附件等。其中，研制说明包括标准项目的任务来源、研制依据、研制原则、研制目的、适用范围、主要内容、需研究解决的问题、关键技

术指标的确定过程、必要的科研及测试验证项目、各阶段工作进度安排、工作组组成及分工、存在的问题及建议等。送审稿：标准正文、研制说明、意见汇总处理表。其中，研制说明需在征求意见稿研制说明的基础上增加意见征求过程的说明和结果及送审稿形成过程的相关说明。

报批稿：标准正文、研制报告以及必要的专题报告。研制说明需要在送审稿研制说明基础上，增加送审稿审查的过程和结果及报批稿形成过程的相关说明。

## 2) 工程建设类和运营维护类标准

工程建设和运营维护类标准编制过程相关，均包括工作大纲、征求意见稿、送审稿和报批稿4个阶段，各阶段文件组成如下。

工作大纲：由工作组在调查研究、试验验证的基础上，总结相关工程建设和运营维护的实践经验提出，包括标准名称、章节目录、主要内容及研制说明。研制说明包括标准项目的任务来源、研制依据、研制原则、研制目的、适用范围、主要内容、需研究解决的问题、关键技术指标的确定过程、必要的科研及测试验证项目、各阶段工作进度安排、工作组组成及分工、存在的问题及建议等。

征求意见稿：标准正文及条文说明、编制报告及必要的附件、引用或涉及到的标准文献及有关附件。

送审稿：标准正文及条文说明、编制报告及必要的专题报告。

报批稿：标准正文及条文说明、报批报告及必要的专题报告。

## 3) 设计参考图

设计参考图定位于相关设计规范（或标准）的衍生物，应在编制说明中明确所依据的相关标准。包括设计意见书、送审图和报批图3阶段。

设计意见书：由工作组在调查研究、试验验证的基础上，总结相关工程建设实践经验提出。包含任务来源、编制必要性说明、设计依据、适用范围、主要设计原则、设计内容、相关科研成果与建设经

验等技术支撑以及需重点解决的问题等。

送审图：目录、编制说明、全部设计图表及必要的配图等。

报批图：目录、编制说明、全部设计图表、必要的配图；同时，需要提交报批报告、设计意见书、送审图审查会议纪要等。

## 4) 设计软件

设计软件包括需求分析、系统设计、软件开发和评估验收4个阶段。

需求分析：工作组在调查研究、深度分析的基础上形成需求分析报告。

系统设计：概要设计报告，包含软件流程、功能模块、系统界面等。

软件开发：研制报告，包含软件测试报告、详细设计报告、用户使用手册等。

评估验收：评估验收报告，包含需求分析报告、概要设计报告、软件测试报告、详细设计报告、用户使用手册等。

## 2.3 中国铁道学会标准编号

中国铁道学会标准编号是在团体标准编号原则规定的基础上进行扩展，增加标准类别和标专委的识别字段。团体标准编号原则如图2所示，中国铁道学会标准编号原则如图3所示。

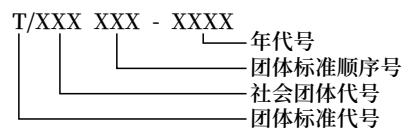


图2 团体标准编号

Fig.2 Composition of association standard number

## 3 中国铁道学会标准制定工作流程

### 3.1 中国铁道学会标准制定过程

中国铁道学会团体标准制 / 修订过程包括提案、立项、草案、意见征求、技术审查、批准、发布、实施监督和复审9个阶段。

提案阶段：标委会会员单位或委员根据“铁道学会的年度标准计划征集的通知”要求，进行项目申报，填写《铁路团体标准项目申报建议》并在铁





图3 中国铁道学会团体标准编号  
Fig.3 Composition of CRS association standard number

道学会标准管理平台上进行网上申报。

**立项阶段：**项目建议书经标专委评议和标委会评审，批准的项目通过“中国铁道学会团体标准制修订年度计划”下发。

**草案阶段：**各工作组根据标准计划要求开展工作，在广泛调研和论证的基础上，形成标准草案。

**意见征求阶段：**标专委秘书处组织标准征求意见稿的专委会委员意见征集，并在全体委员投票结果3/4以上同意的基础上，方可通过；对送审稿初稿向社会进行意见征求，按照征求的意见对送审稿初稿进行修改完善，形成送审稿。

**技术审查阶段：**由标专委组织全体委员对送审稿进行会议评审，送审材料由秘书处提前7天以上送至参会委员，审查会应形成会议纪要，包含审查意见、参会人员名单和专家名单，由秘书处将会议纪要及其他相关资料上传管理平台，作为委员投票表决的参考依据。

**批准和发布阶段：**标专委将标准报批稿上报标委会办，由标委会办进行审核后报标委会批准，经标委会办编号后，标委会负责发布，标委会办上报全国统一的团体标准信息平台自我声明公开。

**实施和监督阶段：**准发布后，组织标准宣贯和培训，鼓励采用和实施标准，并接受行业监管、实施自我监督机制。

**标准复审阶段：**复审周期一般为5年，复审结论：继续有效、全面修订、局部修订和废止。

### 3.2 标准编制流程

标准编制是指起草文件，履行征求意见、技术审查等程序的活动。

各类标准编制流程如图4~7所示。

## 4 中国铁道学会标准起草规则

### 4.1 产品标准

产品标准的起草应按照《标准化工作导则 第1

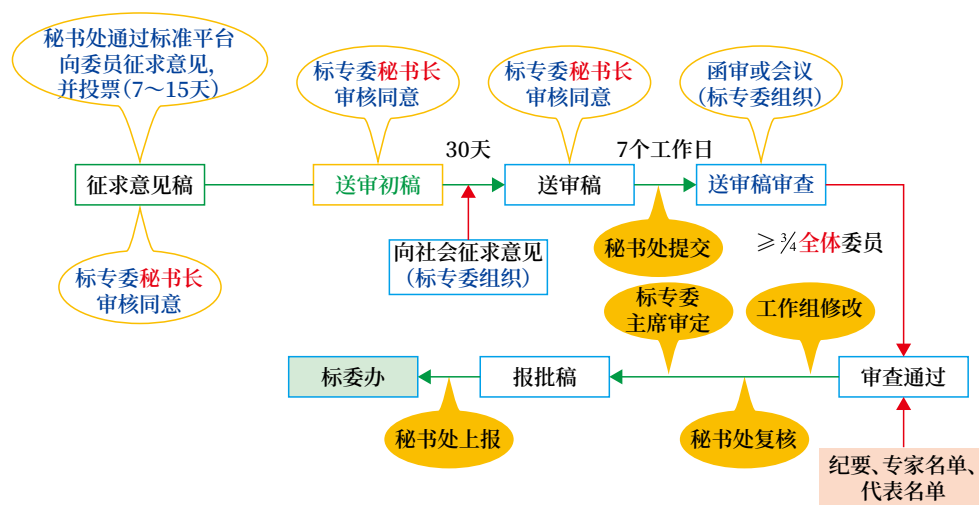


图4 中国铁道学会标准—产品类标准编制流程  
Fig.4 CRS standards-flowchart for preparation of product standards

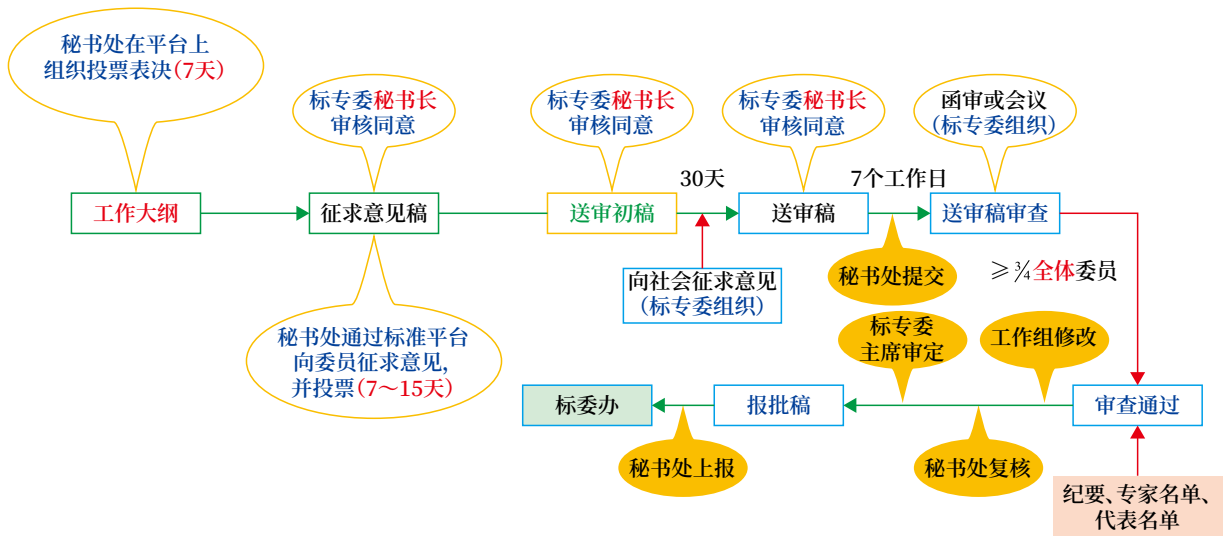


图5 中国铁道学会标准—工程建设(运营维护)类标准编制流程  
Fig.5 CRS standards-flowchart for preparation of engineering construction (operation and maintenance) standards

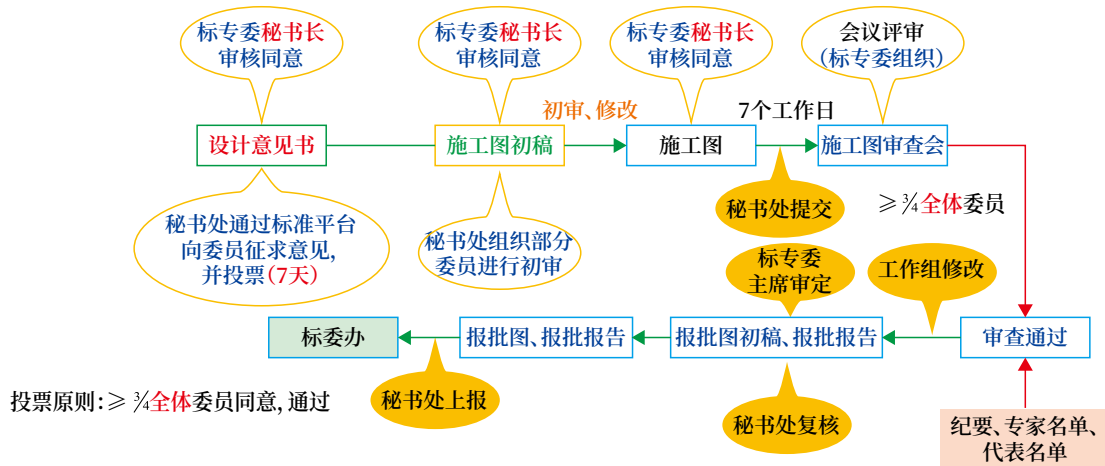


图6 中国铁道学会标准—设计参考图编制流程  
Fig.6 CRS standards-flowchart for preparation of design reference drawings

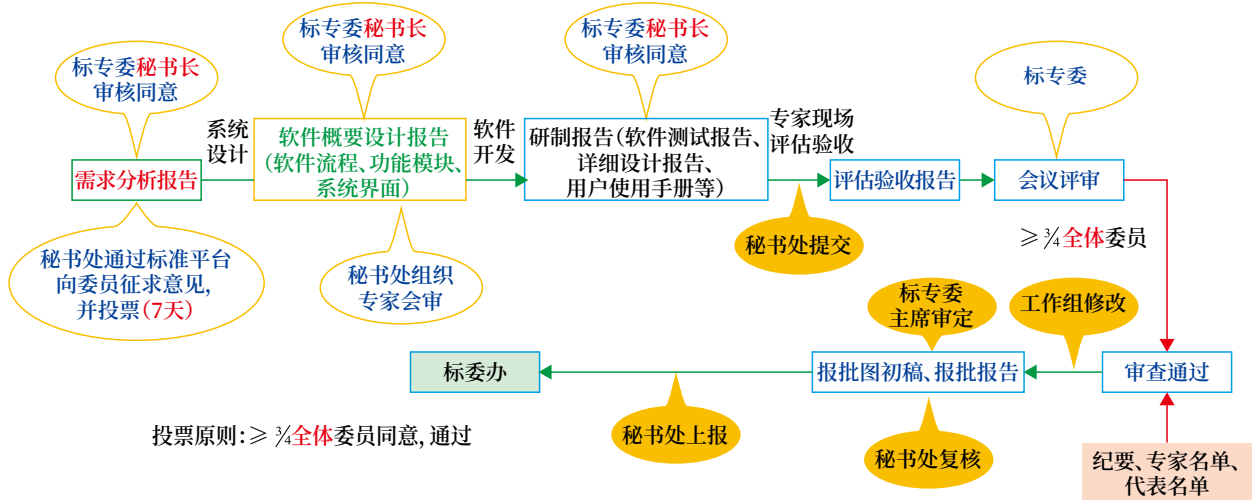


图7 中国铁道学会标准—设计软件编制流程  
Fig.7 CRS standards-flowchart for preparation of design software

部分：标准化文件的结构和起草规则》(GB/T 1.1-2020)、《标准化工作导则 第2部分 标准中规范性技术中要素内容的确定》(GB/T 1.2-2002)、《标准编写规则 第10部分：产品标准》(GB/T 20001.10-2014)和《中国铁道学会标准编写规则》(试行)进行起草，涉及专利的标准还应执行《标准制定的特殊程序 第1部分：涉及专利的标准》(GB/T 20003.1-2014)及其他相关规定。

#### 4.2 工程建设(运营维护)标准

工程建设(运营维护)标准的起草应执行《工程建设标准编写规定》(建标[2008]182号)、《工程建设标准编制指南》和《中国铁道学会标准编写规则》(试行)的相关规定，与产品类标准在结构、行文规则、图、表、公式编号等方面存在较大差异，符号、单位、量纲等均执行国际统一要求。

#### 4.3 设计参考图和设计软件

“设计参考图”和“设计软件”类标准起草按《中国铁道学会标准编写规则》(试行)的规定执行。

## 5 结束语

中国铁道学会团体标准定位于铁道行业团体标准，与铁道行业国家标准、铁道行业标准、国铁集团企业标准协调互补，地位特殊，作用明显，标准制定的规范性和标准质量尤为重要。铁道学会标委会虽然成立刚刚5年，但拥有长期从事铁道行业国家标准和铁道行业标准的标准化团队，聚集了各领域最高技术水平和管理水平委员团队做支撑，管理制定的铁道学会标准定会发挥应有的作用。

#### 参考文献

- [1] 新华社. 中共中央国务院印发《国家标准化发展纲要》[J]. 轻工标准与质量, 2021(5): 20-24.
- [2] 中国铁道学会. 市域铁路设计规范: T/CRSC0101-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [3] 李照敬, 陈梅. 解读新修订《中华人民共和国标准化法》的相关规定[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(3): 85-88.
- Li Zhaojing, Chen Mei. Interpretation of Relevant Provisions in Newly Revised Standardization Law of the People's Republic of China[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(3): 85-88.
- [4] 国家市场监督管理总局. 国家标准化管理委员会. 标准化工作导则第1部分: 标准化文件的结构和起草规则: GB/T 1.1-2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [5] 陈梅, 许辉, 顾嘉伟. 解析《标准化工作导则第1部分: 标准化文件的结构和起草规则》GB/T 1.1-2020的相关规定[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(10): 99-103.
- Chen Mei, Xu Hui, Gu Jiawei. Analysis of Relevant Provisions in GB/T 1.1-2020 Directives for Standardization-Part 1: Rules for the Structure and Drafting of Standardizing Documents[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(10): 99-103.
- [6] 黄雅倩. 轨道交通通信信号设备与系统标准化发展研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 112-115.
- Huang Yaqian. Standardization Development of Signaling and Communication Equipment and System for Rail Transit [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 112-115.
- [7] 中国铁道学会. 中国铁道学会关于印发《中国铁道学会标准管理办法》的通知: 学秘[2018]23号[S]. 北京: 中国铁道学会, 2018.
- [8] 中国铁道学会. 关于印发《中国铁道学会标准编写规则(试行)》的通知: 学秘[2021]35号[S]. 北京: 中国铁道学会, 2021.

# 海外铁路信号特殊控制及信号显示规则研究

赵 丽

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 结合英国铁路信号工程设计基础理论和美国铁路信号基础知识, 介绍海外铁路信号运营规则相关的指导文件和信号控制原理, 详细说明英国、美国铁路运营规则中特有的控制方式及信号显示规则的差异, 并提出海外铁路信号工程实施的建议, 以期对海外项目设备研制及工程实施提供一定参考。

**关键词:** 运营规则; 控制方式; 信号显示规则

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0096-05

## Research on Special Control and Signal Aspect and Indication Rules of Overseas Railway Signaling

Zhao Li

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

**Abstract:** Combining the basic theory of the United Kingdom(UK) railway signaling engineering design and the basic knowledge of the United States(US) railway signaling, this paper introduces related guidance documents of operating rules and signaling control principle adopted in overseas railways, elaborates the unique control methods and the difference regarding to signal aspect and indication rules in the UK and the US railways and puts forward suggestions for the implementation of overseas railway signalling engineering. It is expected to provide some reference for equipment development and engineering implementation of overseas projects.

**Keywords:** operating rules; control method; signal aspect and indication rules

### 1 概述

自国内实施“一带一路”倡议以来, 大批中国企业紧跟国家步伐, 承建了很多海外项目, 高铁作为中国面向世界的一张名片, 既是机遇又是挑战。海外铁路各国的信号制式存在较大差异, 因为对海

外铁路信号系统不了解, 导致工程实施过程中频繁变更, 投资成本显著增加, 需要对海外的运营规则和关键技术要求进行研究, 降低海外投资的风险。近年来在海外铁路项目的招投标中发现, 信号系统采用的标准主要是英标、美标及欧洲区域标准, 本文主要对英国和美国现有的运营规则中特殊的控制方式及信号显示规则进行分析, 以期对海外项目工程建设提供一定参考。

收稿日期: 2022-08-01; 修回日期: 2023-04-11

作者简介: 赵丽(1984—), 女, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号系统研究及标准化, 邮箱: zhaoli@crscd.com.cn.



## 2 海外铁路运营规则的差异

国内大铁采用国家集中管理的方式，运营规则统一。与国内不同，英国铁路运营规则不集中在某一个或某几个标准中，而是渗透在一系列铁路集团标准（Railway Group Standard, RGS）中，随着欧盟互操作法令的执行，欧盟铁路互联互通技术规范（Technical Specification for Interoperability, TSI）需要强制执行，已在 TSI 中规定的运营规则将不在 RGS 中提及，部分非强制执行的运营规则也从 RGS 转化成为铁路工业标准（Railway Industry Standard, RIS）。而美国的市场开放性更高，强调结果导向，无论采用哪种方式实现目标即可，对运营规则没有从标准层面进行强制统一的要求，导致美国现存的铁路信号运营规则、信号机类型、显示及含义种类繁多，不同铁路公司甚至同一铁路公司管辖的不同区域采用的运营规则和信号机显示都不尽相同。目前，大部分美国一级铁路公司普遍使用两种运营规则手册，分别为《运营规则通用规程》（General Code of Operating Rules, GCOR）和《美国东北部运营规则建议委员会规则手册》（Northeast Operating Rules Advisory Committee Operating Rules, NORAC Operating Rules）。其中 GCOR 适用于密西西比河以西的一级铁路，大多数二级铁路和许多短线铁路。康雷尔公司（Conrail），美国国家铁路客运公司（Amtrak）以及美国东北部的几条通勤和短线铁路使用 NORAC 规则手册。此外，还有一些铁路公司，包括诺福克南方铁路公司（Norfolk Southern）、CSX 铁路公司、伊利诺伊州中央铁路公司（Illinois Central）、大都会北方铁路公司（Metro North）、佛罗里达州东海岸铁路公司（Florida East Coast）采用自己的规则手册。

## 3 海外铁路信号控制的差异

与中国的集中控制理念不同，英、美国家采用的是分散控制，并不是将车站和区间作为最小控制范围划分的依据，而是将线路上的信号元素划分成若干区域，每一区域在轨旁布设信号设备

箱，英国的单个控制区域为 Location，美国为控制点（Control Point），每个 Location 和 Control Point 控制范围的大小取决于电源计算、电缆的最大控制长度、设备的控制能力及设备箱的容量等因素。需要注意的是，联锁功能仍在中心检查，直接控制轨旁设备的继电器设置在轨旁信号箱内。此外，英美在联锁、行车指挥、信号显示等方面存在诸多的特殊控制。

### 3.1 英国采用的特殊控制

英标联锁将进路分为 5 种类型，分别是主进路、预警（Warning）进路、连挂作业（Call-on）进路、调车进路和目视行车（Proceed on Sight Aspect, POSA）进路，以上每种进路应用的场景、配置的保护区段类型、控制手段和检查的条件各不相同。主进路应用于列车进路，配置完全保护区段（Full Overlap），信号开放时除检查进路内区段无车占用外，还需检查保护区段无车占用，可能有侧冲风险的进路未建立；Warning 进路也应用于列车进路，但由于保护区段长度限制，配置受限保护区段（Restricted Overlap），需要同时采用接近控制降低列车速度，减少冒进风险；Call-on 进路用于列车连挂的特殊作业，排列进路时需要检查终端信号机外方第一区段占用，不设保护区段；调车进路用于调车作业，信号开放不需检查进路空闲；POSA 进路是轨旁信号设备故障时允许列车越过红灯时采用的进路，需确认进路内道岔及可移动设施锁闭在正确的位置，司机以可随时停车的速度运行，类似国内的引导进路，不设置保护区段。

在具体的工程实施中，保护区段根据其长度限制、站场作业需要，分为完全保护区段（Full Overlap）、缩减保护区段（Reduced Overlap）、受限保护区段（Restricted Overlap）3 种。进路一般默认配置 Full Overlap，按经验值通常设置在距信号机 180 m 处。当保护区段长度受地理位置限制无法满足时，设置 Reduced Overlap，设置此类保护区段时需要在接近信号机处设速度标，提示列车提前减速。还有一类保护区段较为特殊，与 Full

Overlap 或 Reduced Overlap 共同存在，应用场合较少，主要为满足特殊站场形状下车站灵活作业的需要，设置 Restricted Overlap，设置了此类保护区段的进路需要采用接近控制降低列车接近速度，进一步降低冒进风险。

当保护区段中设有道岔时，保护区段按优先级划分为优先保护区段 (Preferred Overlap) 和可选保护区段 (Swing Overlap) 两种。这两种不同的保护区段对区段内道岔的控制较为特殊：如果进路设置的是 Preferred Overlap，排列进路时，进路会自动将保护区段内的道岔锁闭在优先选择的位置，锁定优先保护区段；如果进路设置的是 Swing Overlap，在进路排列时不会锁闭道岔，只有当排列了后续进路时才会将道岔带动到所需的位置且仍不锁闭。需要提示的是，在工程设计中应尽量避免在保护区段中设置道岔，以降低由于设计的复杂性导致的安全风险。

接近控制是英标联锁中特有的控制方式，主要原理是在列车未到达接近区段前信号机先显示限制级别高的灯光，保证车速已降低，列车到达接近区段后，信号机显示变为限制级别较低的灯光。主要应用在制动距离不足及过岔等场景。

### 3.2 美国采用的特殊控制

北美铁路公司采用 4 种主要的运营方式：交通控制 (Traffic Control, TC)、单方向运行 (Current of Traffic, COT)、线路授权控制 (Track Warrant Control, TWC) 和限制速度运行。此外，还有直接交通控制 (Direct Traffic Control, DTC)、表格 D 控制 (Form D Control System, DCS)、绝对或人工闭塞控制。

交通控制类似国内的调度集中 (CTC)，由调度中心下达命令控制现场信号机和道岔，轨旁联锁将显示信息回传至调度中心，列车根据区间或联锁信号机显示运行。单方向运行是指列车在该区域与其他列车保持同方向运行，并遵从区间或联锁信号机的显示，通常应用于双线线路。线路授权控制是指列车按调度员或中心下达的线路授权命令运行，通常应用于无信号系统区域 (Dark 区域)。线路授权一般是通过

无线授权列车在特定的范围内运行，边界常为公里标或是车站。限制速度运行是指列车在编组和存车区域 (Yard 区域) 或其他限制控制区域以限制速度运行。DTC 和表格 D 控制与 TWC 类似。在 DTC 区域，线路被划分为多个闭塞分区，调度人员授权列车可以通过闭塞分区的数量，表格 D 控制是《NORAC 规则手册》中的名词，因乘务人员拷贝授权的表格为 D 而得名。绝对或人工闭塞控制是指列车按调度员的授权进入闭塞分区运行。在人工闭塞控制区域，线路被划分为多个闭塞分区，每个分区设有固定标志。在没有无线通信之前，进入每一个闭塞分区以及其他指令是通过轨旁电话由车站工作人员传递给乘务员的。无线通信广泛应用后，列车命令可以直接传递给乘务员。

## 4 海外铁路信号显示的差异

### 4.1 英国信号显示

英标中标准的显示序列分为三显示和四显示，当进路中有道岔时显示序列在标准的三显示或四显示中增加闪灯显示。标准的三显示序列为绿 - 黄 - 红；四显示序列为绿 - 双黄 - 单黄 - 红。当进路中有道岔时，三显示序列为绿 - 单黄闪 - 单黄 (防护道岔的信号机) - 红；四显示序列为绿 - 双黄闪 - 单黄闪 - 单黄 (防护道岔的信号机) - 红。

英国色灯信号机的显示名称及含义如表 1 所示。

表1 色灯信号机的显示及含义 (英国)

Tab.1 Signal aspect and indication of a color-light signal (the UK)

显示	显示名称	含义
红灯	禁止 (Danger)	停车
黄灯	警惕 (Caution)	准许列车运行：准备在次一架信号机前方停车
双黄灯	预先警惕 (Preliminary Caution)	准许列车运行：次一架信号机显示单黄
单黄闪	侧向进路预先警惕 (Preliminary caution for a diverging route)	准许列车运行：次一架信号机显示单黄，进路指示器显示开放侧向进路
双黄闪	下一架信号机开放侧向进路的显示 (Indication of diverging route ahead of next but one signal)	准许列车运行：次一架信号机显示单黄闪
绿灯	开放 (Clear)	准许列车运行：次一架信号机显示允许信号

## 4.2 美国信号显示

美国地面信号机的信号显示制度可以分为进路式和速差式，进路式信号显示区分不同的进路，但无速度含义，而速差式则恰恰相反。GCOR 采用进路式显示制度，NORAC 采用速差式显示制度。随着铁路技术的发展，显示制式在发展过程中也衍生出两种制式互相融合的新方式。美国几大运营商中，CSX 公司、AMTRAK 公司及通勤铁路使用速差式，美国联合太平洋铁路公司（UP）和美国伯灵顿北方圣太菲铁路运输公司（BNSF）使用速度加强进路式，诺福克南方铁路公司（NORFOLK SOUTHERN）公司使用混合式。

当采用速差式显示制度时，显示名称中的速度名称及对应的速度含义如表 2 所示。

表2 采用速差制时速度名称及速度含义（美国）

Tab.2 Speed names and indications in speed signaling (the US)

速度名称	速度含义
常速 (Normal)	最大授权速度
受限速度 (Limited)	一般不超过 40 ~ 45 mph，也可作为 20 号道岔过岔速度
中速 (Medium)	一般不超过 30 mph，也可作为 16 号道岔过岔速度
慢速 (Slow)	一般不超过 15 mph，也可作为 12 号及以下道岔过岔速度
限制速度 (Restricted)	指可以使列车在视距范围一半的距离内遇到障碍物时能够立即停车的速度，一般不超过 15 ~ 20 mph

目前，美国各铁路公司采用的显示规则不同，采用 GCOR 的铁路公司以及个别运营商采用自己内部的特殊指令或显示规则，有的铁路公司采用 NORAC，造成各个公司采用的信号显示制度、信号机机构和形式、安装方式、显示、显示名称和含义都不尽相同，显示和显示名称之间往往难以概括总结，而显示名称和显示含义之间具有一定的规律性。

在自动闭塞区域，信号机的显示向司机传达了闭塞分区的占用信息。信号机显示名称及含义与英国大致相同，接近 (Approach) 对应英标的警惕 (Caution)，预先接近 (Advance Approach) 对应英标的预先警惕 (Preliminary Caution)，如表 3 所示。

表3 自动闭塞区域信号机显示名称及含义（美国）

Tab.3 Names and indications of signal aspects in automatic block sections (the US)

显示名称	显示含义
开放 (Clear)	准许列车运行
预先接近 (Advance Approach)	准许列车运行，准备在内方第二架信号机处停车
接近 (Approach)	准许列车运行，准备在内方次一架信号机处停车。车速必须降至 Medium Speed
停车后行进 (Stop and Proceed)	停车后以限制速度在区间继续运行

除以上基本的显示名称及含义外，美国还有以特定速度接近 (Approach at Speed)、通过道岔侧向继续行进 (Diverge to Clear)、通过道岔侧向准备停车 (Diverge to Stop)、通过道岔侧向和以特定速度接近的组合显示、限制速度显示、禁止显示等。

## 5 针对海外信号工程实施的几点建议

### 1) 提前做好知识储备，以不变应万变

在海外铁路项目的招投标、设备研制、工程实施、交付、维修维护阶段，运营规则贯穿始终。英美在信号系统方面的特殊控制与国内现有的信号装备差异较大，简单的适配修改无法满足用户需求，信号装备需要重新研发，系统需求、硬件设计、软件设计都需要结合具体的特殊控制方式进行详细设计。应提前了解海外主流运营理念和控制方式，融入到现有成熟的技术当中，提高产品和设计的适用性。

### 2) 有针对性的调研

海外市场不仅有新建工程，也有既有线改造或与既有线接口的工程，而且占比较高，技术调研工作尤为重要。前期调研需深入理解招标单位所在国家的运营和技术要求，投标时更有针对性，提高中标概率。对运营规则的研究分析也有助于明确用户需求，完善的顶层设计将使设备研发事半功倍，工程实施难度降低。

### 3) 优化信号系统装备，提供定制化系统解决方案

以研究各国运营规则为契机，通过学习、消化



和吸收海外铁路信号技术及经验，融入到国内先进的高铁系统设计理念当中，形成完善的海外铁路系统解决方案，以满足海外市场多元化及互联互通需求，为中国铁路装备走出国门奠定坚实的基础。

4) 完善国内铁路信号技术标准体系，推动国际标准转化

随着国内铁路建设的高速发展，中国列车控制系统(CTCS)技术标准体系已经很完善，标准外文版已陆续发布，迈出了中国标准走出去的重要一步。但在信号、联锁、闭塞领域尚无国际标准，海外运营规则的不同导致信号系统制式差异性较大，应当梳理运营规则相关的国际标准化文件，为技术人员提供研究路径，以国内“信联闭”技术标准为基础，求同存异，孕育国际标准提案，抢夺“信联闭”国际标准的的话语权，同步制定国家标准或行业标准，完善信号技术标准体系，以标准带动装备走出去。

5) 海外铁路信号技术人才培养

在海外铁路工程项目中，负责人不但需具备过硬的国内铁路专业知识，海外铁路的运营规则和技术要求也必须掌握，国内应当建立一个海外工程项目专家库和知识分享平台，为从事海外工程人员提供经验分享和业务指导。

## 6 结束语

国内的信号制式与发达国家的差异较大，在海外项目既有线改造工程占比高、高铁走出去需求迫切的大形势下，信号装备直接走向海外难免水土不服。只有对海外市场进行充分的调研，对目标市场的运营规则和特殊控制方式提前进行研究，将设备研发和适配的基础打牢、做实，才能在国际市场中抢占先机。

### 参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程(普速铁路部分): TG/01-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [2] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程(高速铁路部分): TG/01-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [4] 傅世善. 铁路信号显示[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [5] 李嘉, 郭华真, 刘春卉. 海外铁路工程中信号专业的主要标准和应用[J]. 中国标准化, 2015(6): 90-94.  
Li Jia, Guo Huazhen, Liu Chunhui. Application of the Main Standards on Foreign Railway Engineering Signal[J]. China Standardization, 2015(6): 90-94.
- [6] 姚文华. 英标联锁系统关键技术研究及实现[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(1): 6-9.  
Yao Wenhua. Research and Realization of Key Technologies of RGS-Based Interlocking System[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(1): 6-9.
- [7] 黄蔚. 海外信号系统需求分析研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(3): 71-75.  
Huang Wei. Signaling Requirements Analysis for Overseas Market[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(3): 71-75.
- [8] 胡永祥, 王勇, 刘文博. 高速铁路信号系统走向海外市场适用性探讨[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(7): 7-9, 12.  
Hu Yongxiang, Wang Yong, Liu Wenbo. Adaptability Study of High-Speed Railway Signaling System for Oversea Market[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(7): 7-9, 12.
- [9] 于长洪, 吴炳昊, 刘刚. 中欧铁路标准体系差异及海外铁路项目对策分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(4): 89-99, 103.  
Yu Changhong, Wu Binghao, Liu Gang. Analysis of Chinese and European Railway Standard System Differences and Foreign Railway Projects Solutions[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 89-99, 103.



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.04.019

# 匈塞铁路信号电源系统方案研究

刘家良

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

**摘要:** 匈塞铁路是首条由中方牵头主导建设的欧洲高铁项目, 也是塞尔维亚首条时速 200 km 的电气化铁路, 信号设备用电及不间断电源需求较国内有较大区别。根据塞尔维亚段铁路当地需求, 提出信号电源系统技术方案, 并针对当地规范及标准, 从技术要求方面对国产设备及技术方案适应性进行研究。为中国铁路设备“走出去”及再创新提供经验积累。

**关键词:** 信号电源; 不间断电源; 塞尔维亚铁路

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)04-0101-04

## Research on Signal Power Supply System for Hungary-Serbia Railway

Liu Jiali

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

**Abstract:** The Hungary-Serbia railway is the first high-speed railway led by China in Europe, and the first high-speed electrified railway in Serbia with a speed of 200 km/h. The requirements for power supply systems and UPS schemes of the signaling equipment are quite different from those in China. According to the local requirements of the Serbia section of the railway, this paper puts forward a technical scheme for the signal power supply system, and studies the adaptability of domestic equipment and technical scheme for meeting the technical requirements specified in local regulations and specifications. This research will provide guidance and experience for Chinese railway equipment "going out" and re-innovation.

**Keywords:** power supply for signal system; UPS; Serbia section of Hungary-Serbia railway

匈塞铁路是首条由中方牵头主导建设的欧洲高铁项目, 是国家“一带一路”倡议下的跨境铁路工程。其中, 塞尔维亚段铁路自首都贝尔格莱德至

苏博蒂察站至匈塞边境全长 184 km。线路最高速度 200 km/h, 满足塞尔维亚本国客货混运以及与欧洲的互联互通需求。本线采用了 ETCS-2 级列控系统及 Indusi I-60 自动停车系统、全电子联锁系统 (CBI)、调度集中系统 (CTC)、信号集中监测 (CSM)、道岔融雪系统、计轴系统以及防雷接地系统等。并设置智能电源屏为信号设备保障在任何运行情况下均可提供可靠供电。

收稿日期: 2022-02-28; 修回日期: 2023-03-28

基金项目: 中国铁路设计集团有限公司科技开发课题项目 (721844)

作者简介: 刘家良 (1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号设计, 邮箱: liujiali

本文介绍总体信号系统技术方案，并从技术要求等方面对电源屏（包括 UPS 和蓄电池）设备的适应性应用进行研究，同时对塞尔维亚采用的干扰防护措施进行研究。

## 1 塞尔维亚段信号方案及用电源需求

### 1.1 总体技术方案

塞尔维亚段信号系统包括 ETCS-2 列控系统及自动停车 Indusi I-60 系统、联锁系统、计轴系统、CTC 系统、信号集中监测系统、道岔融雪系统、防雷接地系统等。车站及线路所设置全电子计算机联锁设备，实现对车站联锁及区间闭塞控制。

全电子计算机联锁系统取消了传统计算机联锁中的继电器接口部分，采用电子执行单元直接控制信号设备。整个系统由 3 个部分组成，分别为交互层、逻辑层和执行层。逻辑层根据塞尔维亚联锁技术条件，综合交互层终端设备的操作命令以及执行层对室外信号设备采集状态信息，完成逻辑计算，并通过执行层相应模块完成进路及闭塞控制。

利用全电子联锁的易于扩展性，通过在区间设置电气控制柜达到“分散控制”，对闭塞信号机、计轴、Indusi 应答器等轨旁信号设备集中控制，并对其工作状态采集。电气控制柜内设置各类联锁模块，如信号机模块、转辙机模块、输入输出模块、计轴模块、电源模块、网络模块和防雷模块等设备。

室外电气控制柜由车站信号电源屏通过电缆提供两路 AC 220 V 电源供电，数据传输通过光缆与室内主机进行通信。结构示意图如图 1 所示。

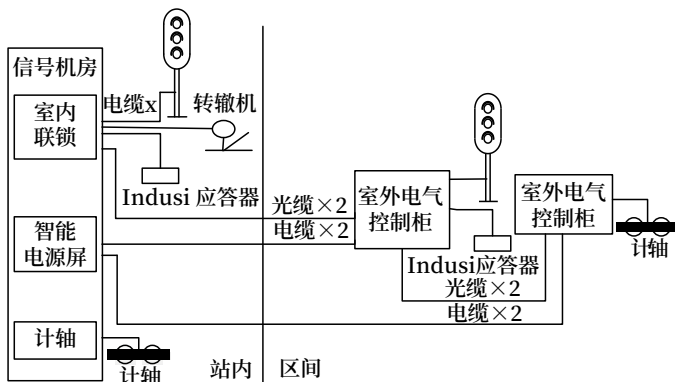


图1 轨旁信号系统结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the structure of the trackage signaling system

### 1.2 电源需求分析

铁路信号系统对信号电源的要求是高可靠性、高稳定性和高安全性。根据塞尔维亚当地要求，车站信号设备以及区间室外控制柜由信号智能电源屏供电。此外，信号设备房屋的照明、插座、打印机等非不间断用电设备也由电源屏供电。

塞尔维亚铁路信号电源方案参照 CENELEC 标准，信号电源采用一级负荷，并配置不间断电源设备。不间断电源容量满足包括转辙机在内全部信号设备的不少于 3 h 完全供电以及额外 8 h 信号机红灯显示和区段空闲检查的供电需求。

## 2 塞尔维亚信号电源方案研究

### 2.1 电源屏技术方案

根据塞尔维亚当地常规方法，信号电源屏采用市电 ( $3 \times 400/230 \text{ V}$ , 50 Hz) 作为主电源，利用杆式变电站从接触网取电作为辅助电源 (25 kV, 50 Hz)，并设置备用电源 (UPS 及蓄电池)。两路外部电源正常时主要由三相主电源经 UPS 供电，单相辅助电源处于备用状态，当三相电源故障时，由单相电源经 UPS 向负载供电。配置两台 UPS 并联冗余，均分负载，当一台 UPS 故障时，由另一台 UPS 承担全部负载工作。在两路电源同时故障时，通过由蓄电池组、UPS 逆变器、交直流转换器等组成的备用电源为信号设备供电，确保电源输出不会有中断，从而实现保障输出负载的需求。

所有转换器、整流器均为冗余结构，保证主要转换器故障情况下，自动切换到备用设备。此外，电源系统预留移动柴油发电机接口。

根据信号设备用电电压等级，电源屏需提供以下负载模块。

单相 220 V 电源模块：为信号机点灯、道岔表示器、室外控制柜、车站电子联锁设备等采用单相电。

三相 380 V 电源模块：为转辙机设备供电。

直流电源模块：为室内设备主机、安全数据网、继电器等供电。



既有自然通风条件是否达标及是否增加通风设备。

#### 2.4 干扰防护

匈塞铁路塞尔维亚段没有轨道电路设备，也没有贯通地线，而钢轨作为牵引回流和接地的导体，是接地系统基础。电气化区段线路中心线 8 m 范围内所有金属部件需接钢轨。轨旁设备以及信号设备房屋的综合防雷均通过钢轨连接实现接地。针对室内外信号设备防护要求还包括以下内容。

1) 室外电缆：应满足欧洲 EN 50121 标准关于强电干扰的要求，牵引电流额定工作情况下信号电缆的感应电压不大于 250 V，牵引电流短路（时间小于 1 s）条件下信号电缆感应电压不大于 1 500 V。对于强电干扰超标的信号电缆需更换为铝护套电缆从而降低对信号电缆的干扰；

2) 设备机柜：机柜金属外壳应符合 EN 50121 标准提出的电磁屏蔽需求，且需要可靠接地，当地信号设备房屋无法拉第笼。

### 3 结语

铁路信号设备作为维持铁路运行的重要一个环节，智能电源屏是保证信号设备正常运行的重要组成部分。本文立足匈塞铁路塞尔维亚段当地规范、标准及需求，利用国内成熟的技术经验和成果，通过对信号电源屏、蓄电池容量、通风及防护等方面研究，对国产设备及技术提出“适应性”技术方案，也为中国铁路发展创新提供了经验积累。

#### 参考文献

- [1] 马作泽. 匈塞铁路塞尔维亚段信号系统设计方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (3): 17-21.  
Ma Zuoze. Study on Design of Signaling System for Serbia Section of Hungary-Serbia Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(3): 17-21.
- [2] 陈立华. 匈塞铁路塞尔维亚境内信号系统技术方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (10): 94-100, 105.  
Chen Lihua. Technical Scheme of Signaling System for Serbia Section of Hungary-Serbia Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(10): 94-100, 105.
- [3] 何瑾. 全电子计算机联锁发展的思考 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8 (4): 21-23.
- [4] 薄云览, 杨涛. 全电子计算机联锁系统架构与关键技术研究 [J]. 铁路技术创新, 2018 (6): 11-16.  
Bo Yunlan, Yang Tao. Study on the Architecture and Key Technologies of Full Electronic Computer Interlocking System[J]. Railway Technical Innovation, 2018(6): 11-16.
- [5] IEEE. IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications: IEEE Std 485-1997[S]. New York: IEEE, 2003.
- [6] CENELEC. Railway Applications Electromagnetic Compatibility. Part 5: Emission and Immunity of Fixed Power Supply Installations and Apparatus: EN 50121-5: 2006 [S]. Brussels: CENELEC, 2006.
- [7] CENELEC. Railway Applications Electromagnetic Compatibility Part 4: Emission and Immunity of the Signalling and Telecommunications Apparatus: EN 50121-4: 2000[S]. Brussels: CENELEC, 2000.
- [8] CENELEC. Railway Applications Communication, Signalling and Processing Systems Safety Related Electronic Systems for Signalling: EN 50129: 2003[S]. Brussels: CENELEC, 2003.
- [9] IEC. Safety Requirements for Secondary Batteries and Battery Installations - Part 2: Stationary Batteries: IEC 62485-2:2010[S]. Geneva: IEC, 2010.

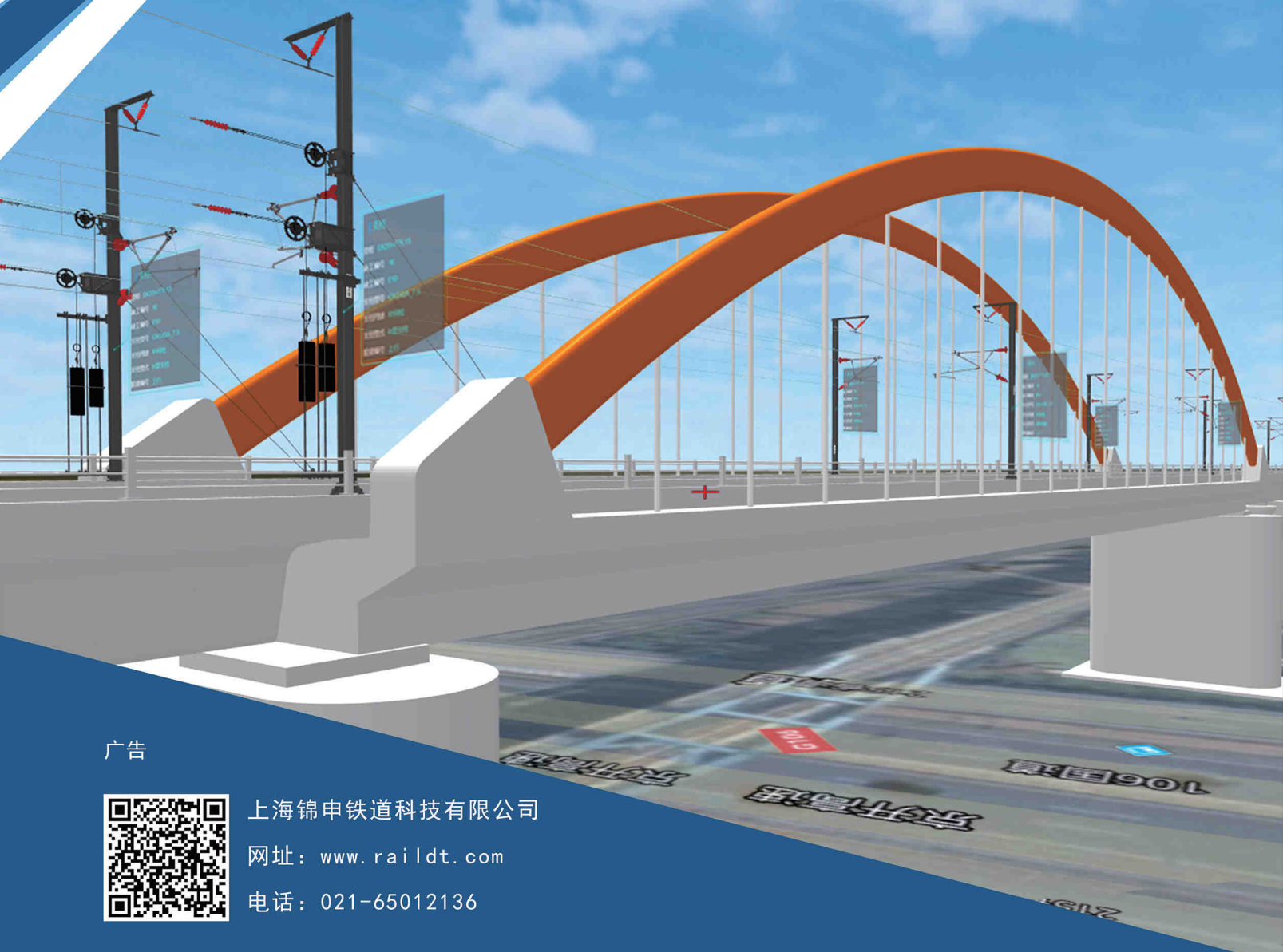




# 锦申科技

JINSH TECH

# 铁路数字孪生



广告



上海锦申铁道科技有限公司

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

电话: 021-65012136



# 《铁路通信信号工程技术》

Railway Signalling & Communication Engineering

## 月刊



《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办，在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响，深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准，自2005年12月起面向国内外公开发刊。国内统一连续出版物号：CN11-5423/U。国际标准连续出版物号：ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计刊源期刊；RCCSE中国准核心学术期刊；日本科学技术振兴机构数据库（JST）收录期刊；EBSCO学术数据库收录期刊；中国核心期刊（遴选）数据库收录期刊；中国学术期刊（光盘版）全文收录期刊；中文科技期刊数据库（全文版）收录期刊；中国学术期刊影响因子年报统计源期刊；超星期刊域出版平台全文收录；中国铁道学会通信信号分会指定期刊；国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊。

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导；对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员，在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流；及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有：学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

### 投稿方式：

期刊官网投稿：<https://rsce.crsd.com.cn>

邮箱投稿：[rsce@crscd.com.cn](mailto:rsce@crscd.com.cn)

知网投稿：<http://www.tltx.cbpt.cnki.net/WKD>

地址：北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号B座

邮编：100070

电话：010-51865951

传真：010-51841598

网址：[www.crsd.com.cn](http://www.crsd.com.cn)

### 订阅方式：

邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，邮发代号80-532

编辑部订阅：e-mail或电话至编辑部

订 价：每期10元，全年(12期)120元

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U



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

扫码打开期刊官网，  
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

邮发代号：80-532 国内定价：10元/期